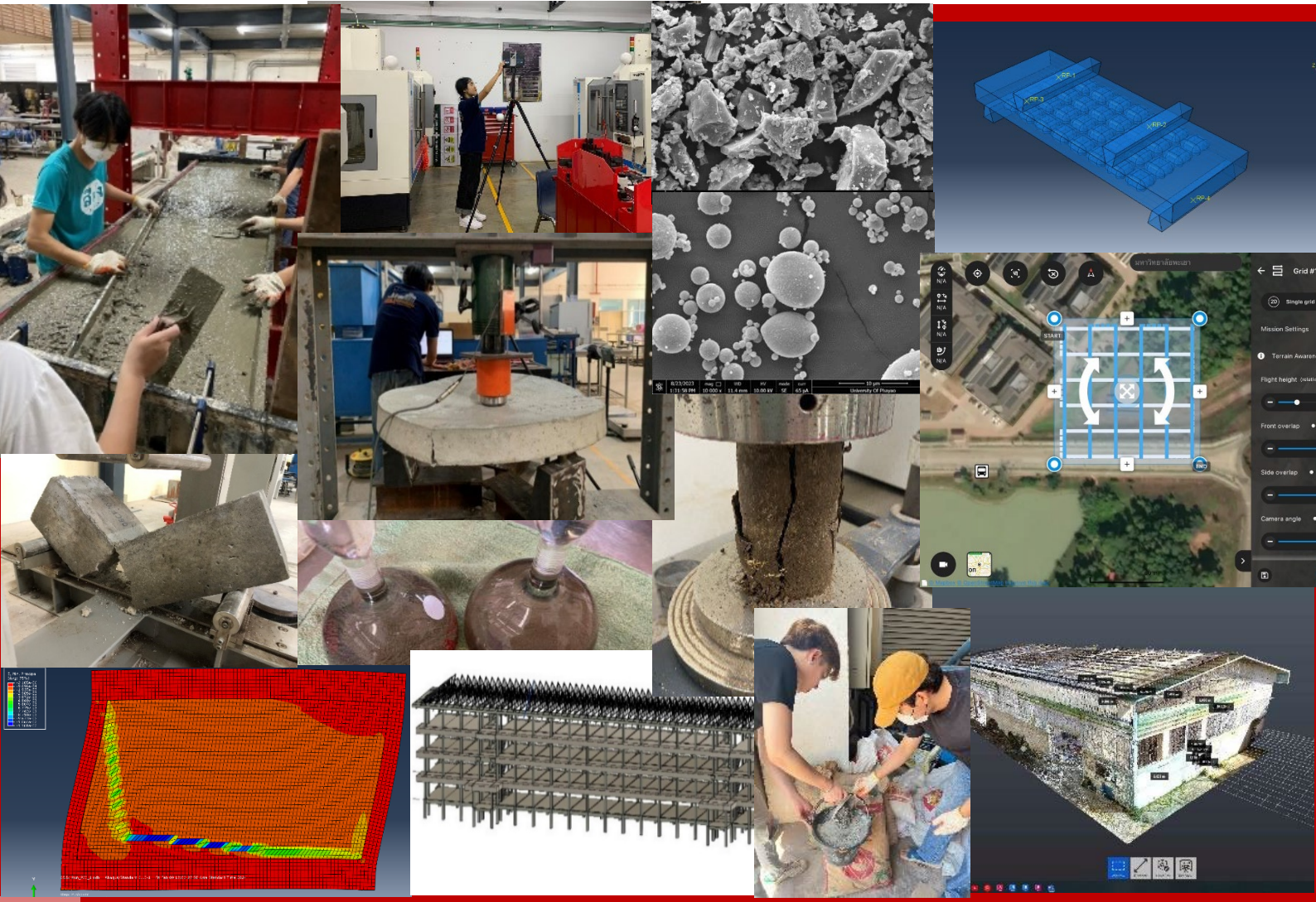


โครงงานทางวิศวกรรมโยธา

รวมบทความ ประจำปีการศึกษา พ.ศ. 2566

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

Faculty of Engineering, University of Phayao

โครงงานทางวิศวกรรมโยธา ประจำปีการศึกษา 2566

วิศวกรรมโครงสร้าง (Structural Engineering: STR)

ชื่อเรื่อง	อาจารย์ที่ปรึกษา
การศึกษาความแตกต่างของพลังงานที่ดูดซับในคอนกรีตพ่นตามมาตรฐาน ASTM C1550 และ EN 14488-5 *ธนวัฒน์ สมหวัง, พงศกร จันทร์ตะละ และ โอบนิธิ ธะรงค์*	รศ.ดร.ปรีดา ไชยมหาวัน
การเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมที่ได้จากแบบจำลองกับแบบก่อสร้างจริงของอาคารระบบผนังสำเร็จ *ปฏิภูมิ กาญจนจูฑะ, หรรษา ยิ้มใย, วิภาดา เสนาประโคน และ กนกนิภา เสริฐวิชา*	รศ.ดร.ปรีดา ไชยมหาวัน
ผลของความถี่และทิศทางของการเคลื่อนที่ที่ฐานต่อแรงเฉือนที่ฐานของอาคาร *วรัชยา ค้ำชู, หลิววารินทร์ กันธวัง และ ทรงพล กิตติเกริกพล*	ผศ.ดร.สมบูรณ์ เชี่ยงฉิน
การเพิ่มความสามารถการรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานของแผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูปโดยการเสริมเหล็กตามยาวเพิ่มพิเศษ *กิตติชัย หว่างพัฒน์, กิตติศักดิ์ ฝั้นกาศ, พิสุทธิ์ผกา ม่วงประเสริฐ, สุจิตรา ปักเขทานัง และ จักรรินทร์ งามเมือง*	ผศ.ดร.สมบูรณ์ เชี่ยงฉิน
ผลของปริมาตรช่องกลวงในพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กต่อกำลังรับแรงเฉือนโดยใช้โปรแกรม ABAQUS *ณัฐกร อาจดำเกิงไกร, นิศาชล ทองม้วนวง, ปรัชญา เตี้ยเนตร และ นภัสรพี ทวีทรัพย์ล้ำเลิศ*	ผศ.ดร.สมบูรณ์ เชี่ยงฉิน
การเสริมกำลังโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐเติมเต็มในช่องว่างโดยการคาดรัดด้วยเหล็กเส้นแบนเพื่อรับแรงด้านข้าง *ธนะพล หมื่นศรี, ธัชชานนท์ คำแก่น, ชณิภรณ์ กุมพล และ ณัฐณิชา เขียวปัญญา*	ผศ.ดร.สมบูรณ์ เชี่ยงฉิน

วิศวกรรมปฐพี (Geotechnical Engineering: GTE)

ชื่อเรื่อง	อาจารย์ที่ปรึกษา
การปรับปรุงคุณสมบัติของดินตะกอนด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวล *ชลธิชา ปรียนันท์, นุสตานี แสงเวช, จิตตินันท์ แก้วกัน และ เมธาสิทธิ์ กาทอง*	รศ.ดร.ธนกร ชมภูรัตน์
การปรับปรุงดินตะกอนด้วยจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มและเถ้ายาง *เจษฎากร นรรัตน์, ชลสิทธิ์ ดวงแก้ว และ สุทธิดา ลือโฮ้ง*	รศ.ดร.ธนกร ชมภูรัตน์
การพัฒนาการควบคุมกำลังต่ำจากคอนกรีตรีไซเคิลโดยใช้สารกระตุ้นอัลคาไลน์สำหรับประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมผิวทาง *ทัศน์พล บุญโกมล, นฤนาท วงค์สถิตย์, ศุภชัย ยวงคำ และ คมสันต์ ฉายาวรรณ*	รศ.ดร.ธนกร ชมภูรัตน์
การปรับปรุงดินตะกอนซีเมนต์ด้วยเส้นใยเปลือกข้าวโพด *ชลธิชา จันต๊ะ, ณัฐชนน วงค์แสงธรรม และ ธัญญาลิริ ทองสุข*	รศ.ดร.ธนกร ชมภูรัตน์

วิศวกรรมขนส่ง จราจรอัจฉริยะ และโลจิสติกส์ (Intelligent Transportation, Traffic and Logistics Engineering: TRL)

ไม่มี

วิศวกรรมวัสดุก่อสร้าง (Construction Material Engineering: MAT)

ชื่อเรื่อง	อาจารย์ที่ปรึกษา
การศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้เศษหิน *ปิยาพร บัวคลี่, ณัฐกานต์ ทองศรี และ วีระพงษ์ ใจใชย*	อ.วรจักร จันทร์แว่น
การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้เศษหิน *เดชธนา ยาดี, นภัสสร เทพอินถา และ อัจฉราพร อนันตสิทธิ์*	อ.วรจักร จันทร์แว่น
กำลังอัดของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนัก *เกื้อกูล เอื้อทาน, ศักดินนท์ แมะบ้าน, พันพัสสา สร้อยตะกลาง และ อัครพล นันทะพรม*	ผศ.ดร.วรเทพ แซ่ล่อง
กำลังอัดของมอร์ต้าผสมเถ้ายางหนัก *ชลธิชา โลเกตุ, ธีรวุธ สุทธิประภา, นภัสสร ทองคำดี และ พิชญาภา ไชยะ*	ผศ.ดร.วรเทพ แซ่ล่อง
กำลังดัดของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนัก *กีรติกา อวดกล้า, เกียรติชัย สุพรรณ์, นรภัทร มงคลพงษ์, วนัสบดี วังหน้า และ อุบลวรรณ สังกรณีย์*	ผศ.ดร.วรเทพ แซ่ล่อง
กำลังดึงของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนัก *ธมลวรรณ อินทะสี, สมฤทธิ์ ซือมื้อ และ อภิชยา ดวงสุวรรณ์*	ผศ.ดร.วรเทพ แซ่ล่อง
การศึกษาการหดตัวแห้งของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าถ่านหินแคลเซียมสูงภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน *กฤตญกร กันธิยะ, ยศพัฒน์ ทองเหลือ, อัญธิกา หอมแก่นจันทร์ และ วทัญญู ทันใจ*	ผศ.ดร.ปิยพงษ์ สุวรรณมณีโชติ
การพัฒนาส่วนผสมคอนกรีตแข็งตัวเร็ว 24 ชั่วโมง *สุภาพร ศรีจันทร์, ปวีณ์กร กับบุญ, สุรชัย บุญเลิศ, จารุภพ พันธุลี และ ภานุวัฒน์ วงค์สวัสดิ์*	ผศ.ดร.ปิยพงษ์ สุวรรณมณีโชติ
การศึกษาศักยภาพเถ้าชานอ้อยที่ไม่ผ่านการบดละเอียดเพื่อใช้ในทดแทนปูนซีเมนต์ *ศุภาพิชญ์ ชุมมวล, นราวิชญ์ ปัจถาใจ และ ราชวัติ ปันจี้*	ผศ.ดร.ปิยพงษ์ สุวรรณมณีโชติ
สมบัติทางวิศวกรรมของอิฐโบราณสถานเวียงลอ อายุ 1600 ปี ด้วยเครื่องอัลตราโซนิค *ศักดิธัช กันทะจักร์, ณัฐดนย์ นิลสนธิ และ ชัยวัฒน์ ภัทรภูติ*	รศ.ดร.ปรีดา ไชยมหาวัน

วิศวกรรมแหล่งน้ำ (Water Resource Engineering: WRE)

ชื่อเรื่อง	อาจารย์ที่ปรึกษา
การจำลองการปลูกพืชโดยแบบจำลอง AquaCrop: กรณีศึกษาการปลูกข้าวในจังหวัดพะเยา *พัชนก พรมมา และ ภัทรพร โฉมงาม*	ดร.ขวัญสิรินภา ธนะวงศ์

วิศวกรรมสำรวจและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Survey and Geographic Information System Engineering: SGI)

ชื่อเรื่อง	อาจารย์ที่ปรึกษา
การใช้ข้อมูลกลุ่มเมฆในการติดตามพืชพรรณ กรณีศึกษาสวนลำไย ในจังหวัดพะเยา *นนทวัฒน์ คำหมาย, ธนพงษ์ ธนัตถ์ปรีดากุล, ระชา ตันพิชัย และ กรชวัล เฌอมือ*	อ.ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง
การศึกษาเปรียบเทียบเทคโนโลยีสารวจ เพื่อการพัฒนาแผนที่โครงการ *พงศกร ดุษฎีคุณากร, เกษมสันต์ ไชโย, อภิวัฒน์ ชัยเรือง และ กัญชพร หมื่นคายอง*	อ.ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง
การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสำรวจป่าไม้เพื่อเก็บข้อมูลคาร์บอนเครดิต กรณีศึกษาพื้นที่ศูนย์อนุรักษ์นกยูง มหาวิทยาลัยพะเยา *จันทราพร ผิวผ่อง, นพชัย สุยะตุ่น, เพียงหทัย รินทร และ ชยากร ศรีอ้น*	อ.ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง

วิศวกรรมการบริหารงานก่อสร้าง (Construction Engineering and Management: CEM)

ชื่อเรื่อง	อาจารย์ที่ปรึกษา
การประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพเพื่อลดความสูญเสียในงานก่อสร้าง กรณีศึกษา บริษัทอสังหาริมทรัพย์โครงการ ABC *อารยา สุขระหัด, วิไลพร นามบุญลือ และ อรสา รมราษฎร์*	อ.ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง ผศ.ดร.อภิชาต บัวกล้า
การพัฒนาแม่แบบสำหรับการประมาณราคางานโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมออโตเดสก์ เรฟวิต *วริทธินันท์ วรรณเลิศ, ปรัชญา เบื้องสุวรรณ์, วรกร วงเวียน และ กมลลักษณ์ แขมคำ*	อ.ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง ผศ.ดร.อภิชาต บัวกล้า
การศึกษาการตลาดเพื่อการพัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์ ประเภทที่อยู่อาศัยในจังหวัดพะเยา *พีรพัฒน์ ตัวลือ, พงษ์พิสิทธิ์ ชาวส้าน, สุพัตรา รักไพรบุญ และ ฟาริดา เจริญศิริ*	อ.ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง ผศ.ดร.อภิชาต บัวกล้า
การศึกษาผลิตภาพแรงงานของงานฉาบผนังคอนกรีตบล็อก *นพรัตน์ วงค์แก้ว, นิศามณี ทับทิมเงิน, ดุษสิตา วงศ์ศิลปชัย และ ศศิกานต์ จันมณี*	อ.ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง ผศ.ดร.อภิชาต บัวกล้า

การประยุกต์ใช้ BIM สำหรับงานวิศวกรรมโยธา (BIM for Civil Engineering: BIM)

ชื่อเรื่อง	อาจารย์ที่ปรึกษา
การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองสารสนเทศอาคารที่สร้างโดยข้อมูลจากเครื่องสแกน 3D *กนกวรรณ วังตา, กาญจนา ทองกล่ำ และ พิทักษ์พล เพ็ชรทอง*	อ.ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง
การทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร *กฤษฎา ไชยโย, พลกฤต ปันรัตน์ และ สุธาทิพย์ ทะริน*	อ.ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง
การใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อออกแบบและวิเคราะห์ระบบป้องกันอัคคีภัย กรณีศึกษาโรงงานเฟอร์นิเจอร์ในจังหวัดพิษณุโลก *บารมี เขตปิยรัตน์, จักราวุธ เหล็กแก้ว, ธีระพันธ์ นาสวน และ ศิวกร ใหม่ธิมา*	อ.ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง

การศึกษาความแตกต่างของพลังงานที่ดูดซับในคอนกรีตพ่นตามมาตรฐาน ASTM C1550 และ EN 14488-5
Study of difference in energy absorption for sprayed concrete between ASTM C1550 and EN 14488-5

ธนวัฒน์ สมหวัง[1]พงศกร จันทร์ตะละ[2] โอบนิธิ ธะรงค์[3]
[1,2,3] *คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา*
**Corresponding author; E-mail address:* 63101922@up.ac.th

บทคัดย่อ

เนื่องจากโครงการสร้างทางรถไฟสายเด่นชัย-เชียงราย-เชียงของ มีการเจาะอุโมงค์ และใช้ Shotcrete ในการฉีดพ่นผนังอุโมงค์ จึงมีความต้องการทดสอบคุณภาพของคอนกรีตที่ฉีดพ่น ซึ่งมาตรฐานในการทดสอบที่ได้รับการยอมรับมี 2 มาตรฐาน ได้แก่ มาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) ชิ้นทดสอบมีลักษณะเป็นวงกลมขนาดเส้นเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร หนา 7.5 เซนติเมตร และมาตรฐานยุโรป (EN-14488) ชิ้นทดสอบมีลักษณะสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 60 x 60 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร บทความนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรม แรงกระทำสูงสุด และพลังงานที่ดูดซับจากการทดสอบทั้งสองมาตรฐาน เพื่อเปรียบเทียบกัน ผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปเป็นข้อมูลอ้างอิงเบื้องต้น ในการเทียบเคียงผลการทดสอบที่ได้จากทั้ง 2 มาตรฐาน

คำสำคัญ: คอนกรีตเสริมใย,การดูดซับพลังงาน, คอนกรีตฉีดพ่น, การก่อสร้างอุโมงค์

Abstract

Due to The Den Chai-Chiang Rai-Chiang Khong railway line construction project has to drill the tunnels and shotcrete was used to spray the tunnel walls. There is a need to test the quality of the sprayed concrete. There are two accepted testing standards: the American standard (ASTM C1550), the tested specimen is circular shape in diameter, 80 cm., and 7.5 cm. thickness, and the European standard (EN-14488), the tested specimen is square shape 60 x 60 cm, thickness 10 cm. This article studied the behaviour of tested specimen, maximum load and energy absorbed from both standards, in order to compare tested result. The results of the study can be used as a preliminary reference to compare the test results obtained from both standards.

Keywords: Fiber-reinforced concrete, energy absorption, shotcrete, tunnel construction

1. คำนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากมีโครงการสร้างทางรถไฟสายเด่นชัย-เชียงราย-เชียงของ ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2566 ถึง 16 มีนามคม 2570 โดยแบ่งเป็น 3 สัญญา ได้แก่ สัญญาที่ 1 เด่นชัย-งาว ระยะทาง 103 กม. ดำเนินการโดย บมจ.อิตาเลียนไทย ดีเวล้อปเมนต์ ร่วมกับ บมจ.เนาวรัตน์พัฒนาการ สัญญาที่ 2 งาว-เชียงราย ระยะทาง 132 กม. ดำเนินโดยกลุ่มกิจการร่วมค้า CKST ประกอบด้วย บมจ. ช.การช่างร่วมกับ บมจ.ชิโน-ไทย เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น และสัญญาที่ 3 เชียงราย-เชียงของ ระยะทาง 87 กม. ดำเนินการโดยกิจการร่วมค้า CKST ประกอบด้วย บมจ. ช.การช่างร่วมกับ บมจ.ชิโน-ไทย เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น ในการก่อสร้างทางดังกล่าวจะต้องมีการก่อสร้างอุโมงค์ทั้งหมด 5 อุโมงค์ โดยแบ่งเป็น สัญญาที่ 1 มี 2 อุโมงค์ ความยาว 1.2 กม. และ 6.2 กม. สัญญาที่ 2 มีการขุดเจาะอุโมงค์ยาว 2.7 กม.บริเวณหน้ามหาวิทยาลัยพะเยา และสัญญาที่ 3 มีการขุดเจาะอุโมงค์ยาว 3.4 กม. ที่อำเภอดอยหลวง จังหวัดเชียงราย

โดยการเจาะอุโมงค์จะต้องมีการฉีดพ่นผนังอุโมงค์ด้วยวิธี Shotcrete เพื่อให้ผนังอุโมงค์มีความแข็งแรงในขณะก่อสร้างโครงสร้างค้ำยันชั่วคราวก่อนการทำผิวปิดอุโมงค์ (concrete lining) อีกครั้งในภายหลัง ดังนั้นเพื่อให้การก่อสร้างด้วยวิธีการฉีดพ่นผนังอุโมงค์เป็นไปตามมาตรฐาน การรถไฟแห่งประเทศไทยได้กำหนดวิธีการตรวจสอบการฉีดพ่นผนังอุโมงค์ไว้ด้วยกัน 2 มาตรฐานได้แก่ วิธีการทดสอบของอเมริกาตาม ASTM-C1550 [1] Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Round Panel) และการทดสอบตามมาตรฐานของยุโรป EN 14488-5 [2] Testing sprayed concrete-Part5: Determination of Energy absorption capacity of fibre reinforced slab specimens. ซึ่งมาตรฐานการทดสอบดังกล่าวเป็นการคำนวณพลังงานที่สูญสลาย (energy absorption) ภายใต้แรงกดจนกระทั่งวิบัติ และมีการเคลื่อนตัวตามที่แต่ละมาตรฐานกำหนด ตามข้อตกลงของการก่อสร้างโครงการรถไฟฯ ได้ระบุเพียงมาตรฐานของ ASTM แต่ไม่ได้ระบุตัวเลขของพลังงานที่ต้องการ อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM ยังไม่มีความพร้อมในช่วงต้นของการก่อสร้าง ทางบริษัทผู้รับจ้างขุดเจาะอุโมงค์จึงได้ขอทำรายการทดสอบเทียบเท่า คือใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน EN ยื่นเสนอต่อโครงการ

ทำให้ผู้วิจัยเกิดความสงสัยว่าผลที่ได้จากการทดสอบดังกล่าวของทั้ง 2 มาตรฐาน มีค่าแตกต่างกันอย่างไร มีพลังงานที่สูญสลายแตกต่างกันอย่างไร จึงทำให้เกิดการศึกษาในครั้งนี้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษา และทำการเปรียบเทียบการทดสอบการฉีดพ่นผนังอุโมงค์ (shotcrete) ตามมาตรฐาน ASTM C1550 กับ มาตรฐาน EN 14488-5 ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร วิธีการทดสอบ ชิ้นทดสอบที่ใช้สำหรับการทดสอบ ค่าการดูดซับพลังงาน และค่าการโก่งตัวแตกต่างกันอย่างไร

1.3 ขอบเขต

ใช้คอนกรีตสำหรับการฉีดพ่นที่เสริม steel fiber ปริมาณ 30 กิโลกรัมต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร ตามที่มีการใช้งานจริงจากโครงการก่อสร้างทางรถไฟสายเด่นชัย-เชียงราย-เชียงของ ทำการทดสอบการรับน้ำหนัก และ

คำนวณค่าการสลายพลังงานตามมาตรฐาน ASTM-C1550 และมาตรฐาน EN-14488-5 ทำการทดสอบคอนกรีตที่อายุ 14 วัน และ 28 วัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ทราบถึงความแตกต่างระหว่างมาตรฐานการทดสอบทั้ง 2 มาตรฐาน เปรียบเทียบวิธีการทดสอบ ข้อดีข้อเสีย ความยากง่ายของแต่ละวิธีการทดสอบ ความแตกต่างของการดูดซับพลังงาน ค่าการโก่งตัว และการรับน้ำหนัก เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการปฏิบัติงานจริงต่อไป

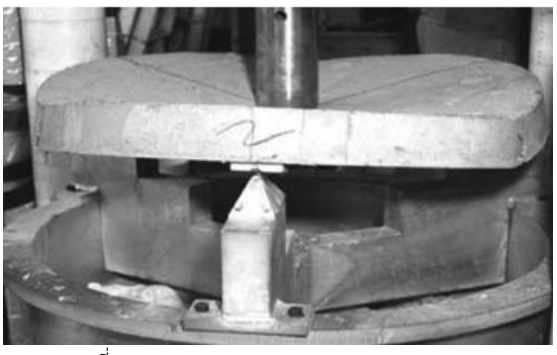
1.5 แผนการทำงาน

ที่	ขั้นตอนการทำงาน	เดือน											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ศึกษาหาข้อมูล												
2	เตรียมฐานรองรับ												
3	ทำการหล่อตัวอย่าง												
4	ทำการบ่มตัวอย่าง												
5	ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ												
6	วิเคราะห์ผลการทดสอบ												
7	สรุปผล												

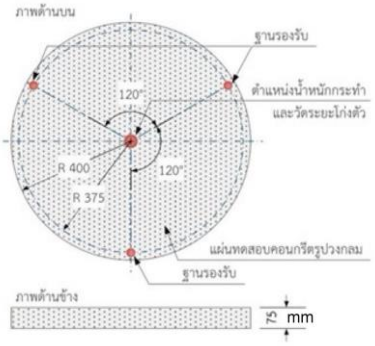
1.6 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 การทดสอบตามมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550)

Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Roun Panel) เป็นการทดสอบคอนกรีตเสริมเส้นใยตามมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) โดยเป็นการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ Load-Displacement ของคอนกรีตเสริมเส้นใยในหน่วย SI และแสดงผลเป็นค่าการดูดซับพลังงานในช่วงที่แผ่นคอนกรีตแตกร้าว โดยชิ้นทดสอบมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร และมีความหนา 7.5 เซนติเมตร และฐานรองรับการทดสอบตามมาตรฐานมีรูปทรงคล้ายแท่งสามเหลี่ยมมีจุดรองรับ 3 จุด โดยทำมุม 120 องศาเข้าหากันตามจุดรองรับ จากรูปที่ 2 จากนั้นทำการทดสอบโดยตำแหน่งที่น้ำหนักกระทำและวัดระยะการโก่งตัวจะอยู่ที่จุดศูนย์กลางของแผ่นคอนกรีต และการวิเคราะห์ค่าการดูดซับพลังจะคำนวณพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Load-Displacement โดยคิดที่ค่าการโก่งตัว 40 มิลลิเมตร



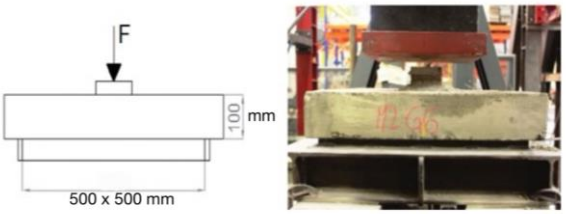
รูปที่ 1 การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1550



รูปที่ 2 ชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1550

1.6.2 การทดสอบตามมาตรฐานยุโรป (EN-14488-5)

Testing sprayed concrete : Determination of energy absorption capacity of fiber reinforced slab specimens English version of DIN EN 14488-5:2006-08 เป็นการทดสอบแผ่นคอนกรีตโดยใช้ชิ้นทดสอบขนาด 60 x 60 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร และวางบนฐานรองรับแบบสี่เหลี่ยมมีขนาด 50 x 50 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน EN-14488-5 เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ Load-Displacement ของคอนกรีตจะต้องรับน้ำหนักภายใต้การควบคุมการโก่งตัวผ่านบล็อกเหล็กสี่เหลี่ยม 10x10 เซนติเมตร ที่วางตำแหน่งศูนย์กลาง และการวิเคราะห์ค่าการดูดซับพลังงานโดยทำการทดสอบชิ้นตัวอย่างจนกระทั่งชิ้นทดสอบวัดค่าการยุบตัวได้ที่ 30 มิลลิเมตร



รูปที่ 3 ตำแหน่งและขนาดของแผ่นทดสอบมาตรฐาน EN-14488-5

1.6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มาโนช สรรพกิจทิพากร และคณะ (พ.ศ.2555) ได้ศึกษาวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของเส้นใยสำหรับการเสริมแรงในคอนกรีต ผลการศึกษาพบว่าการที่เสริมเส้นใยในคอนกรีตสามารถลดความรุนแรงของการแตกร้าวได้และเพิ่มความสามารถในการดูดซับพลังงานการแตกร้าว โดยเมื่อคอนกรีตเกิดรอยร้าวและรอยร้าวมีแนวพาดผ่านเส้นใย เส้นใยจะช่วยรับความเค้นดึงนั้นโดยอาศัยแรงยึดเหนี่ยวของเส้นใยที่ฝังตัวในคอนกรีต และอิทธิพลของการกระจายตัวแบบสุ่มของเส้นใยที่มีต่อการแปรปรวนของค่าความเหนียวของคอนกรีตเสริมเส้นใยลดลง

N.Buratti และคณะ (ค.ศ.2019) ได้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่อง Energy absorption test on fiber-reinforced-shotcrete round and square panels โดยทำการเปรียบเทียบจากคอนกรีตพ่นกับคอนกรีตหล่อที่ผสม polymeric fiber และ steel fiber โดยวิธีการทดสอบ 2 มาตรฐานคือมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550) และมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) โดยผลการวิจัยพบว่าการทดสอบมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) และมาตรฐานยุโรป (EN-14488-5) ของคอนกรีตพ่น ให้ค่าการดูดซับพลังงาน

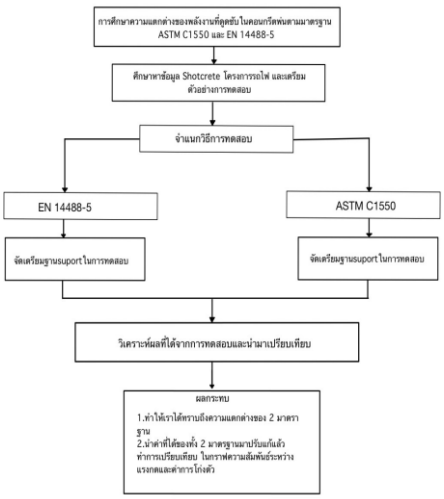
และค่าแรงต้านทานน้ำหนักกดสูงกว่าคอนกรีตหล่อในอัตราส่วนผสม polymeric fiber และ steel fiber ที่เท่ากัน

สิทธิศักดิ์ แจ่มน้ำ และคณะ (พ.ศ.2561) ได้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องการดูดซับพลังงาน และรูปแบบการวิบัติของผนังคอนกรีตกันกระสุนแบบหลายชั้น งานวิจัยนี้ได้ศึกษารูปแบบการวิบัติและการดูดซับพลังงานของคอนกรีตผสม steel fiber ผลการทดสอบพบว่า การดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้นตามความหนาที่เพิ่มขึ้น สำหรับคอนกรีตผสม steel fiber ค่าการดูดซับพลังงานขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณเส้นใยเหล็ก เมื่อทำการเปรียบเทียบความหนาที่เท่ากันจะพบว่า คอนกรีตผสม steel fiber มีประสิทธิภาพในการดูดซับพลังงานมากที่สุด

จากงานวิจัยที่ศึกษาที่กล่าวมาข้างต้นยังไม่มีงานวิจัยที่เปรียบเทียบคอนกรีตฉีดพ่นอุโมงค์จากการทดสอบตามมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) และมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) แต่อย่างใด ผู้ศึกษาคาดว่างานวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลที่ดีสำหรับการเปรียบเทียบการทดสอบทั้ง 2 มาตรฐานและนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยสามารถเขียนเป็นแผนผังได้ดังนี้



2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบมีดังต่อไปนี้

3.2.1 Load Cell ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร มีความสูง 12 เซนติเมตร รับน้ำหนักกดสูงสดที่ 100 ตัน ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 Load Cell

2.2.2 Transducer ความละเอียดในการวัด 0.01 มิลลิเมตร วัดได้สูงสุดที่ 50 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 Transducer

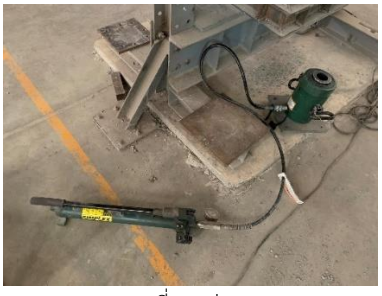
2.2.3 เครื่องอ่าน Load Cell และ Transducer

เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่ออ่านค่าจากโปรแกรม DC-7004P-T เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับอ่านค่า และบันทึกแรงกระทำ กับการยุบตัว ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เครื่องอ่าน Load Cell และ Transducer

2.2.4 แม่แรง ขนาดความสามารถแม่แรง เท่ากับ 50 ตัน ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แม่แรง

2.2.5 แผ่นเหล็กขนาดต่างๆใช้สำหรับการหมุนแม่แรงให้แนบชิดกับ Load Cell โดยมีขนาด 10 x 10 ถึง 25 x 25 เซนติเมตร ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผ่นเหล็ก

2.2.6 ฐานรองรับตามมาตรฐานยุโรป (EN-14488-5)

เป็นฐานรองรับแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยเป็นการเชื่อมเหล็กทั้ง 4 ด้าน มีขนาด 50 x 50 เซนติเมตรตามมาตรฐานยุโรป (EN-14488) มีในห้องปฏิบัติการ ดังรูปที่ 9

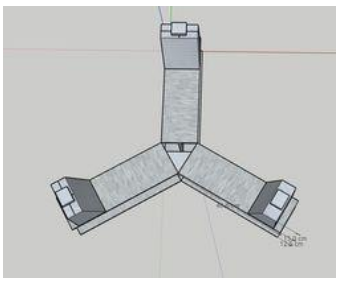


รูปที่ 9 ฐานรองรับตามมาตรฐานยุโรป (EN-14488-5)

2.2.7 ฐานรองรับตามมาตรฐานอเมริกา (ASTM-C1550)

เนื่องจากฐานรองรับตามมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) ไม่มีในห้องปฏิบัติการ ผู้วิจัยจึงต้องทำการสร้างขึ้นมาให้เป็นไปตามมาตรฐาน

- ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบฐานรองรับ มีรูปทรงตามมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) โดยเป็นสามเหลี่ยมด้านเท่าทำมุม 120 องศา ทั้ง 3 ด้าน ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แบบของฐานรองรับตามมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550)

- นำแบบที่ออกแบบให้ช่างเหล็กเชื่อมเหล็กสร้างเป็นฐานรองรับ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ฐานรองรับและหัวกดตามมาตรฐาน (ASTM C1550)

2.2.8 แบบหล่อชิ้นตัวอย่างตามมาตรฐานยุโรป(EN-14488)

มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส 60 x 60 เซนติเมตร มีความหนาของแบบหล่อเท่ากับ 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 แบบหล่อชิ้นตัวอย่างมาตรฐานยุโรป(EN-14488)

2.2.9 แบบหล่อชิ้นตัวอย่างมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550)

มีลักษณะเป็นรูปทรงวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 80 เซนติเมตร มีความหนาของแบบหล่อเท่ากับ 7.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แบบหล่อชิ้นตัวอย่างมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550)

2.2.10 โครงเฟรมสำหรับการทดสอบแสดงดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 เครื่องทดสอบรับกำลังอัดของคอนกรีต

2.3 การเก็บตัวอย่าง

การศึกษานี้ได้เก็บตัวอย่างจากหน้างานของโครงการก่อสร้างทางรถไฟสายเด่นชัย-เชียงราย-เชียงของ โดยผู้วิจัยได้เตรียมแบบหล่อสำหรับชิ้นทดสอบทั้ง 2 มาตฐาน และให้ทางบริษัทที่รับผิดชอบโครงการก่อสร้างทางรถไฟเป็นผู้ฉีดพ่นตัวอย่าง ดังนั้นชิ้นทดสอบที่ได้จากการศึกษานี้ จึงมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับชิ้นงานที่ได้จากการก่อสร้างงานจริงจากโครงการก่อสร้างทางรถไฟฯ โดยทำการเก็บตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM-C1550 จำนวน 3 ตัวอย่าง และตามมาตรฐาน EN-14488-5 จำนวน 3 ตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบที่อายุ 14 วันและ 28 วัน โดยใช้อัตราส่วนผสมของ steel fiber 30 กิโลกรัมต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร เท่ากันทั้งหมด

2.4 วิธีทดสอบ

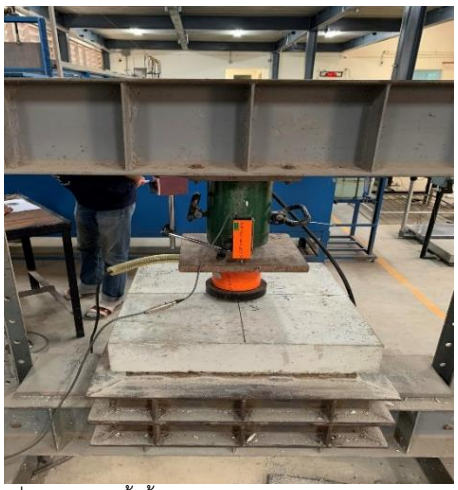
2.4.1 วิธีทดสอบตามมาตรฐานยุโรป (EN-14488-5)

- เก็บตัวอย่างจากโครงการชิ้นตัวอย่างขนาด 60 x 60 เซนติเมตร ความหนา 10 เซนติเมตร จำนวน 6 ชิ้น ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 การเก็บตัวอย่างจากโครงการมาตรฐาน (EN-14488-5)

- นำตัวชิ้นอย่างตามมาตรฐานขนาด 60 x 60 เซนติเมตร ความหนา 10 เซนติเมตร ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างจากโครงการจากนั้น ทำการบ่มน้ำเป็นระยะเวลา 14 วัน 3 ชิ้น และ 28 วัน 3 ชิ้น
- ทำการติดตั้งโปรแกรมและเครื่องอ่านค่า Load Cell และ Transducer จากนั้นต่อสายเชื่อม Load Cell และ Transducer กับเครื่องอ่าน
- ทำการตรวจสอบความเรียบร้อยของฐานรองรับ จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างขึ้นเครื่องทดสอบวัดระยะให้ชิ้นทดสอบให้พอดีกับฐานรองรับ ติดตั้ง Load Cell กับแม่แรง จากนั้นวางแผ่นเหล็กรอง Load Cell กับชิ้นทดสอบ และวางแผ่นเหล็กรอง Load Cell กับ แม่แรงจากนั้นกดแม่แรงเพื่อให้ชิดกับแผ่นเหล็กเล็กน้อย ติดตั้ง Transducer บริเวณแผ่นเหล็กลอง Load Cell กับแม่แรง ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของชิ้นทดสอบ ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 การติดตั้งชิ้นตัวอย่างและอุปกรณ์ก่อนการทดสอบ

- ทำการกดชิ้นทดสอบโดยการโยกแม่แรงอย่างสม่ำเสมอ กดชิ้นตัวอย่างจนค่าการโก่งตัวของชิ้นตัวอย่างถึง 30 มิลลิเมตร จากนั้นโยกแม่แรงขึ้นแล้วนำอุปกรณ์ที่ติดตั้งออกทั้งหมด จากนั้นทำการบันทึกรูปและวิดีโอขณะทำการทดสอบและหลังนำอุปกรณ์ออก ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 หลังทำการทดสอบมาตรฐานยุโป (EN-14488-5)

- คำนวณและทำกราฟเปรียบเทียบค่าการดูดซับพลังงานที่เกิดขึ้นของมาตรฐานยุโรป (EN-14488-5) ของชิ้นตัวอย่างระยะเวลา 14 วัน และ 28 วัน

2.4.2 วิธีทดสอบตามมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550)

- เก็บตัวอย่างจากโครงการชิ้นตัวอย่างเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 80 เซนติเมตร ความหนา 7.5 เซนติเมตร จำนวน 6 ชิ้น ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 การเก็บตัวอย่างจากโครงการมาตรฐาน (ASTM C1550)

- นำตัวชิ้นอย่างตามมาตรฐานเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 80 เซนติเมตร ความหนา 7.5 เซนติเมตร ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างจากโครงการเป็นระยะเวลา 14 วัน 3 ชิ้น และ 28 วัน 3 ชิ้น
- ทำการติดตั้งโปรแกรมและเครื่องอ่านค่า Load Cell และ Transducerจากนั้นต่อสายเชื่อม Load Cell และ Transducer กับเครื่องอ่านทำการตรวจสอบความเรียบร้อยของฐานรองรับ จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างขึ้นเครื่องทดสอบวัดระยะและจัดวางฐานรองรับเพื่อให้ชิ้นทดสอบพอดีกับฐานรองรับติดตั้ง ติดตั้ง Load Cell พร้อมหัวกด จากนั้นวางแผ่นเหล็กลอง Load Cell กับ แม่แรงจากนั้นกดแม่แรงเพื่อให้ชิดกับแผ่นเหล็กเล็กน้อย

ติดตั้ง Transducer บริเวณแผ่นเหล็กลอง Load Cell กับแม่แรง ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของชิ้นทดสอบ ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 การติดตั้งชิ้นตัวอย่างและอุปกรณ์ก่อนการทดสอบ

- ทำการกดชิ้นทดสอบโดยการโยกแม่แรงอย่างสม่ำเสมอ กดชิ้นตัวอย่างจนค่าการโก่งตัวของชิ้นตัวอย่างถึง 40 มิลลิเมตร จากนั้นโยกแม่แรงขึ้นแล้วนำอุปกรณ์ที่ติดตั้งออกทั้งหมด ทำการบันทึกรูปและวิดีโอขณะทำการทดสอบและหลังนำอุปกรณ์ออก ดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 หลังทำการทดสอบมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550)

- คำนวณและทำกราฟเปรียบเทียบค่าการดูดซับพลังงานที่เกิดขึ้นของมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) ของชิ้นตัวอย่างระยะเวลา 14 วัน และ 28 วัน

2.4.3 ทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตฉีดพ่น

- เก็บตัวอย่างลูกปูนจาก Shotcrete ที่ใช้พ่นจากโครงการ ขนาดตามแบบหล่อจำนวน 6 ชิ้น ดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 การเก็บตัวอย่างลูกปูนของ Shotcrete ที่พ่นจากโครงการ

- ทำการบ่มตัวอย่างเป็นระยะเวลา 14 วัน 3 ชิ้น และ 28 วัน 3 ชิ้น
- ทำการนำลูกปูนที่บ่มใส่เครื่องทดสอบกำลังอัดจากนั้นทำการเปิดเครื่องและเริ่มทำการทดสอบ ดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 นำลูกปูนใส่เครื่องทดสอบกำลังอัด

- ทำการจดบันทึกและถ่ายรูปค่ากำลังอัดของลูกปูนที่ระยะเวลา 14 วัน และ 28 วัน ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 ค่าจากการกดลูกปูนจากเครื่องทดสอบ

3. ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของลูกปูนที่อายุ 14 วัน 3 ตัวอย่าง มีค่ากำลังอัดประลัยเฉลี่ย 341 MPa และที่อายุ 28 วัน 3 ตัวอย่าง มีค่ากำลังอัดประลัยเฉลี่ย 371 MPa

ผลการทดสอบตามมาตรฐานอเมริกา (ASTM-C1550) ที่อายุ 14 วัน 3 ตัวอย่าง มีค่าการดูดซับพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 211 kN.mm (ตารางที่ 2) ที่ค่าการโก่งตัว 40 มิลลิเมตร และสามารถรับแรงสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 30 กิโลนิวตัน (ตารางที่ 3) สำหรับชิ้นทดสอบที่อายุ 28 วัน 3 ตัวอย่าง มีค่าการดูดซับพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 257 kN.mm (ตารางที่ 2) ที่ค่าการโก่งตัว 40 มิลลิเมตร และสามารถรับแรงสูงสดุเฉลี่ยเท่ากับ 30 กิโลนิวตัน (ตารางที่ 3)

สำหรับผลการทดสอบตามมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) ที่อายุ 14 วัน 3 ตัวอย่าง มีค่าการดูดซับพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 533 kN.mm (ตารางที่ 2) ค่าการโก่งตัว 30 มิลลิเมตร โดยสามารถรับแรงกระทำสูงสุดเฉลี่ย 40 กิโลนิวตัน (ตารางที่3) ในขณะที่ชิ้นทดสอบที่บ่มอายุ 28 วัน 3 ตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ยนการดูดซับพลังงานเท่ากับ 771 kN.mm (ตารางที่ 2) ค่าการโก่งตัว 30 มิลลิเมตร และต้านแรงกระทำสูงสุดเฉลี่ย 47 กิโลนิว (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของลูกปูน

อายุลูกปูน (วัน)	จำนวนตัวอย่าง	ความหนาแน่น (kg/m^3)	กำลังอัดประลัย (MPa)
14	1	2333	34
	2	2280	35
	3	2331	34
	ค่าเฉลี่ย	**2315**	**34**
28	1	2310	37
	2	2291	38
	3	2300	36
	ค่าเฉลี่ย	**2300**	**37**

3.1 ตารางบันทึกผลเปรียบเทียบค่าการดูดซับพลังงานและน้ำหนักกดสูงสุดของชิ้นตัวอย่างทดสอบที่อายุ 14 วัน และ 28 วัน ระหว่างมาตรฐานยุโรป (EN-14488-5) และมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550) และตารางบันทึกผลกำลังอัดของลูกปูนที่อายุ 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาค่าการดูดซับพลังงานของ Shotcrete ตามมาตรฐานอเมริกา(ASTM-C1550) และมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5)

ตัวอย่าง	อายุ 14 วัน		อายุ 28 วัน	
	ASTM-C1550 (kN.mm)	EN-14488-5 (kN.mm)	ASTM-C1550 (kN.mm)	EN-14488-5 (kN.mm)
1	189	538	-	795
2	244	504	257	755
3	199	556	110	763
เฉลี่ย	211	533	257	771

หมายเหตุ : ค่าการดูดซับพลังงานของมาตรฐานอเมริกา(ASTM-C1550) (1) ที่อายุ 28 เกิดการทดสอบผิดพลาดจึงทำให้ไม่ได้ค่าการดูดซับพลังงานของชิ้นตัวอย่างที่ 1 และค่าการดูดซับพลังงานของมาตรฐานอเมริกา (ASTM-C1550) (3) ที่อายุ 28 วัน เกิดการทดสอบผิดพลาดจึงทำให้ได้ค่าการดูดซับพลังงานน้อยกว่าชิ้นตัวอย่างที่อายุ 14 วัน ดังนั้น ค่าเฉลี่ยมาตรฐานอเมริกา(ASTM-C1550) ที่อายุ 28 วัน จึงใช้ผลการทดสอบชิ้นตัวอย่างที่ (2) เพียงชิ้นเดียว

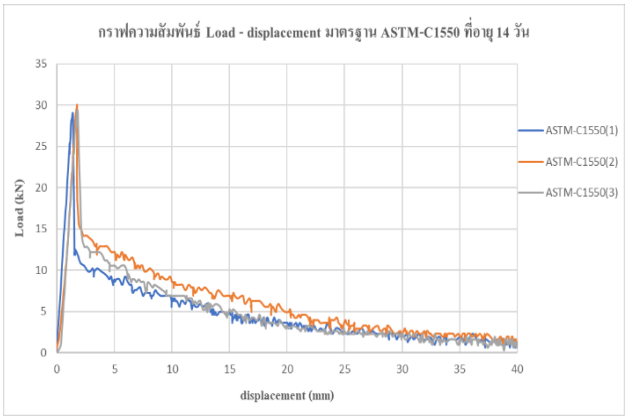
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาการรับกำลังของ Shotcrete ตามมาตรฐานอเมริกา(ASTM-C1550) มาตรฐานยุโรป(EN-14488-5)

ตัวอย่าง	อายุ 14 วัน		อายุ 28 วัน	
	ASTM-C1550 (kN)	EN-14488-5 (kN)	ASTM-C1550 (kN)	EN-14488-5 (kN)
1	29	42	-	50
2	30	37	29	45
3	29	40	30	47
เฉลี่ย	29	40	30	47

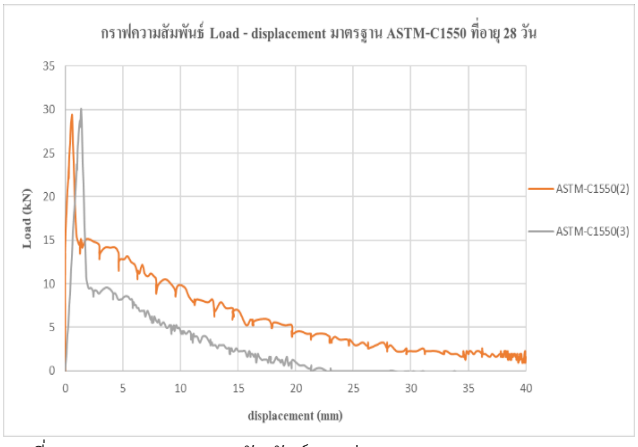
หมายเหตุ : ค่าการรับกำลังของ Shotcrete ของมาตรฐานอเมริกา (ASTM-C1550) ตัวอย่างที่ 1 ที่อายุ 28วัน เกิดการทดสอบผิดพลาด จึงไม่นำผลมาแสดง

3.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการยุบตัวของชิ้นทดสอบ

จากลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการยุบตัวของทั้ง 2 มาตรฐาน กราฟของมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) ที่อายุ 14 วัน และ 28 วัน มีลักษณะกราฟคล้ายภูเขา 1 ลูก และมีความสามารถลดลงของการรับแรงแบบค่อยเป็นค่อยไป ส่วนกราฟของมาตรฐานยุโรป (EN-14488-5) ที่อายุ 14 วัน และ 28 วัน มีลักษณะกราฟคล้ายรูปภูเขา 2 ลูก และมีการลดลงของการรับแรงที่ช้ากว่า มาตรฐอเมริกา ซึ่งพอจะสรุปได้ว่า การทดสอบของมาตรฐานยุโรป (EN-14488-5) ให้กำลังต้าน และพลังงานดูดซับที่สูงกว่า (ASTM C1550)

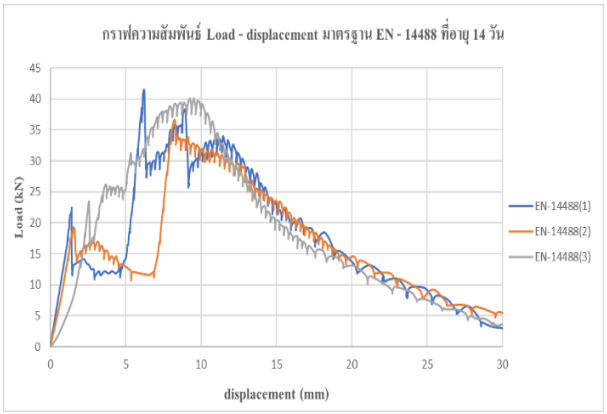


รูปที่ 24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Load-Displacement ตามมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550) ที่อายุ 14วัน

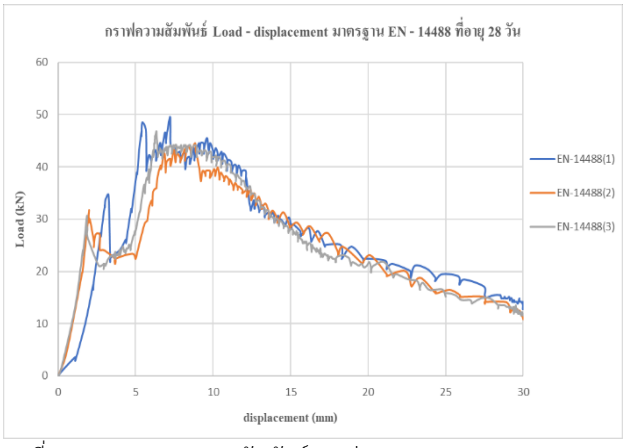


รูปที่ 25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Load-Displacement ตามมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550) ที่อายุ 28 วัน

หมายเหตุ : ค่าการรับกำลังของ Shotcrete ของมาตรฐานอเมริกา (ASTM-C1550) ตัวอย่างที่ 1 ที่อายุ 28 วัน เกิดการทดสอบผิดพลาด จึงทำให้มีข้อมูลในกราฟ 2 เส้น



รูปที่ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Load-Displacement ตามมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) ที่อายุ 14วัน

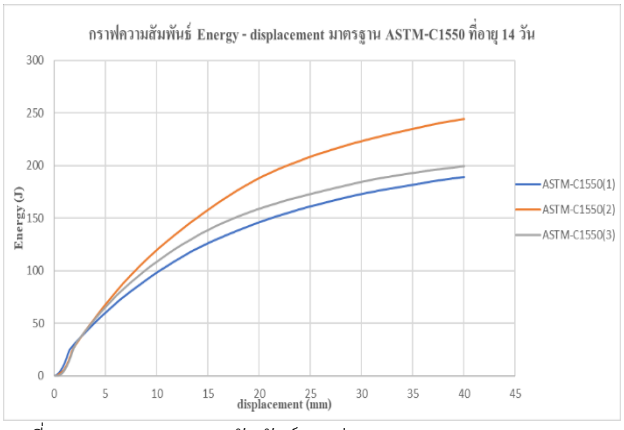


รูปที่ 27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Load-Displacement ตามมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) ที่อายุ 28 วัน

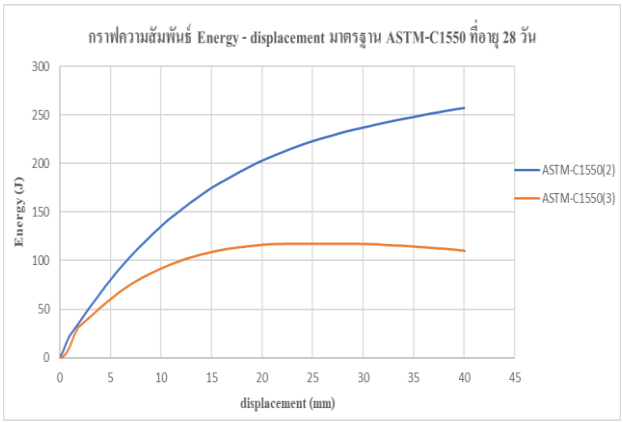
3.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับพลังงานและการยุบตัว

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับพลังงานและการยุบตัวของทั้ง 2 มาตรฐาน คำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟของกราฟความสัมพันธ์น้ำหนักกระทำกับการยุบตัวตามหัวข้อ 4.2 กราฟมีลักษณะโค้งคว่ำในมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) ที่อายุ 14 วัน และ 28 วัน และลักษณะแตกต่างจากกราฟในมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) อย่างชัดเจนที่มีความชัน 2 ช่วง คือ ความชั้นต่ำในช่วงแรกและมีความชันเพิ่มขึ้นเป็นเส้นโค้งคว่ำ เช่นเดียวกับมาตรฐาน ASTM-C1550 สอดคล้องกับกับกราฟความสัมพันธ์แรงกับการยุบตัวที่มีลักษณะเป็นภูเขาลูกเดียวในมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550) และภูเขา 2 ลูก ในมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5)

ทั้งนี้คาดว่าจะเกิดจากฐานรองรับที่แตกต่างกัน มาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) มีฐานรองรับเป็นจุด 3 จุด ในขณะที่มาตรฐานยุโรป (EN-14488-5) มีฐานรองรับตลอดความยาวรอบแผ่น อีกทั้งลักษณะของฐานรองรับของมาตรฐาน (ASTM C1550) มีลักษณะ pin ทำให้ชิ้นทดสอบสามารถหมุนและแอ่นตัวได้ง่ายกว่าชิ้นทดสอบของมาตรฐาน (EN-14488-5) ซึ่งเป็นการวางบนแท่นทานเหล็ก ชิ้นทดสอบถูกดัดได้ยากกว่า ส่งผลให้ชิ้นทดสอบของมาตรฐานยุโรป (EN-14488-5) รับแรงได้สูงกว่า และมีการดูดซับพลังงานได้สูงกว่าอย่างชัดเจน

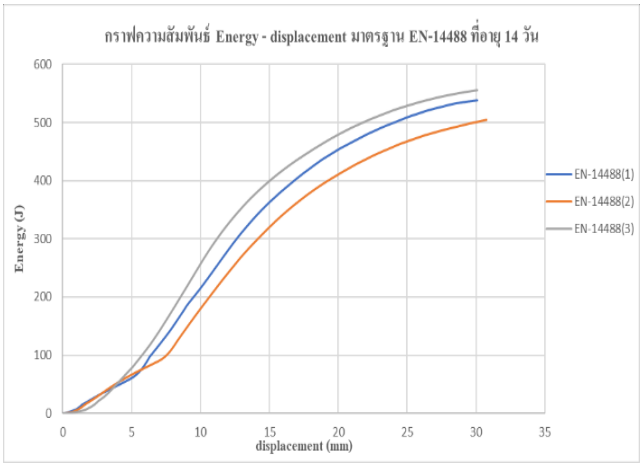


รูปที่ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Energy-Displacement ตามมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550) ที่อายุ 14วัน

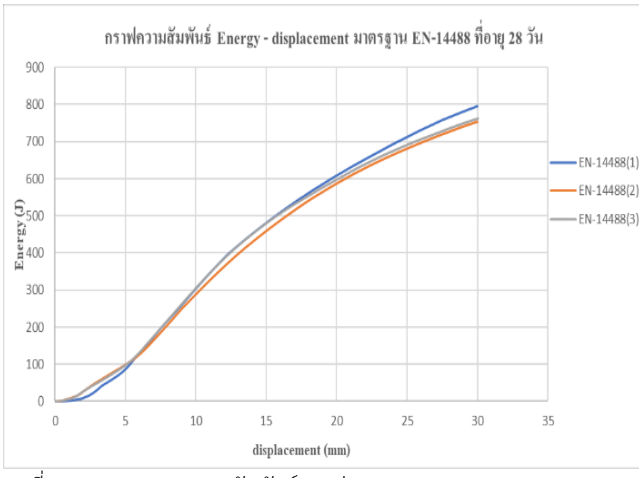


รูปที่ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Energy-Displacement ตามมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550) ที่อายุ 28วัน

หมายเหตุ : ชิ้นทดสอบ ASTM-C1550 ตัวอย่างที่ 1 เกิดการทดสอบผิดพลาดจึงทำให้มีข้อมูลในกราฟ 2 เส้น



รูปที่ 30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Energy-Displacement ตามมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) ที่อายุ 14 วัน



รูปที่ 31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Energy-Displacement ตามมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) ที่อายุ 28 วัน

3.4 ลักษณะการวิบัติของแผ่นทดสอบตามมาตรฐานทั้ง 2 มาตรฐาน และลูกปูน

3.4.1 ลักษณะการวิบัติของมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550)

มีลักษณะการวิบัติจากจุดศูนย์กลางแยกออกมา 3 เส้น ทั้งนี้ลักษณะการวิบัติสอดคล้องกับฐานรองรับที่มีจุดรองรับ 3 จุด ทำให้เกิดการวิบัติ ดังรูปที่ 32



รูปที่ 32 ลักษณะการวิบัติของมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550)

3.4.2 ลักษณะการวิบัติของมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5)

มีลักษณะการวิบัติแบบแยกจากจุดศูนย์กลาง และมีรอยร้าวจำนวนมากกว่าจึงสลายพลังได้มากกว่า ทั้งนี้ลักษณะการวิบัติสอดคล้องกับฐานรองรับตลอดความยาวรอบแผ่น ดังรูปที่ 33



รูปที่ 33 ลักษณะการวิบัติของมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5)

3.4.3 ลักษณะการวิบัติของลูกปูน 14 วัน เป็นการวิบัติแบบ Combination shear and Splitting Failure ดังรูปที่ 34



รูปที่ 34 ลักษณะการวิบัติของลูกปูน 14 วัน

3.4.4 ลักษณะการวิบัติของลูกปูน 28 วัน เป็นการวิบัติแบบ Shear Failure ดังรูปที่ 35



รูปที่ 35 ลักษณะการวิบัติของลูกปูน 28 วัน

4. วิเคราะห์ผลการทดสอบ

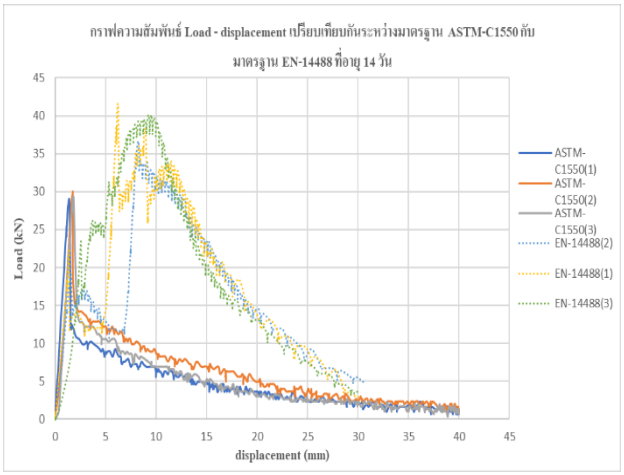
จากการทดสอบตามมาตรฐานอมริกา (ASTM C1550) พบว่าค่าการดูดซับพลังงานตามมาตรฐานของชิ้นตัวอย่างที่อายุ 14 วัน ได้ค่าต่ำกว่าชิ้นตัวอย่างที่อายุ 28 วัน คิดเป็นร้อยละ 82.13 ของชิ้นตัวอย่างที่ 28 วัน ซึ่งค่าการดูดซับพลังงานดังกล่าวสอดคล้องกับค่ากำลังอัดของคอนกรีตโดยชิ้นตัวอย่างที่อายุ 14วัน ได้ค่าต่ำกว่าชิ้นตัวอย่างที่อายุ 28 วัน คิดเป็น ร้อยละ 91.91 ของชิ้นตัวอย่างที่อายุ 28 วัน และพบว่าค่าการรับน้ำหนักกดสูงสุดของชิ้นตัวอย่างที่อายุ 14 วัน และ 28วัน ได้ค่าแรงต้านทางสูงสุดไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามผู้วิจัยไม่แน่ใจในผลการทดสอบดังกล่างเนื่องจากการทดสอบตามมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) ของชิ้นตัวอย่างที่อายุ 28 วัน มีค่าการดูดซับพลังงานและค่าการรับน้ำหนักกดสูงสุดมีค่าที่ค่อนข้างแตกต่างกัน และไม่เกาะกลุ่มกันซึ่งควรมีการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อยืนยันผลดังกล่าว

จากผลการทดสอบตามมาตรฐานยุโรป (EN- 14488-5) ดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือสูงเนื่องจากมีค่าการดูดซับพลังงาน และค่าการรับน้ำหนักกดสูงสุดค่อนข้างใกล้เคียงกัน และเกาะกลุ่มกัน ทั้งชิ้นตัวอย่างที่อายุ 14 วัน และ 28 วัน ค่าการดูดซับพลังงาน และค่าการรับน้ำหนักกดสูงสุดของชิ้นตัวอย่างที่อายุ 14 วัน ได้ค่าต่ำกว่าชิ้นตัวอย่างที่อายุ 28 วัน คิดเป็นร้อยละ 69.13 และ 85.11 ตามลำดับ

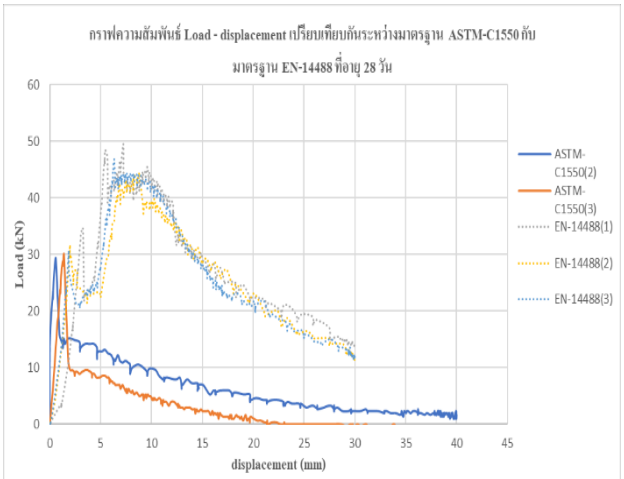
เมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของทั้ง 2 มาตรฐาน พบว่ามาตรฐานยุโรป (EN-14488-5) จะให้ค่าการดูดซับพลังงานสูงกว่ามาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) คิดเป็น 2.57 และ 3.00 เท่าของชิ้นตัวอย่างที่อายุ 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ ในกรณีค่าการรับน้ำหนักกดสูงสุดคิดเป็น 1.38 และ 1.57 เท่า ของชิ้นตัวอย่างที่อายุ 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ ปัจจัยที่เป็นสาเหตุต่อความแตกต่างของค่าทั้ง 2 มาตรฐานแม้ว่าความหนาที่แตกต่างกันโดยมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) มีความหนาเพียง 7.5 เซนติเมตร ส่วนมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) มีความหนาถึง 10 เซนติเมตร ส่วนการวัดค่า displacement ของทั้ง 2 มาตรฐานที่แตกต่างกัน แม้ว่ามาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) วัดค่า Displacement ที่ไกลกว่าถึง 40 มิลลิเมตร ส่วนมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) วัดค่า Displacement เพียง 30 มิลลิเมตร แต่ในช่วงดังกล่าวเป็นช่วงที่ชิ้นทดสอบสูญเสียการรับน้ำหนักแล้ว

4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการยุบตัวเปรียบเทียบกันระหว่างมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550)กับมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5)

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Load-Displacement เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) กับมาตรฐานยุโรป (EN-14488-5) จะเห็นได้ชัดว่ามาตรฐานยุโรป (EN-14488-5) มีค่าแรงกระทำสูงกว่ามาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) ดังรูปที่ 36 และรูปที่37 ตามลำดับ



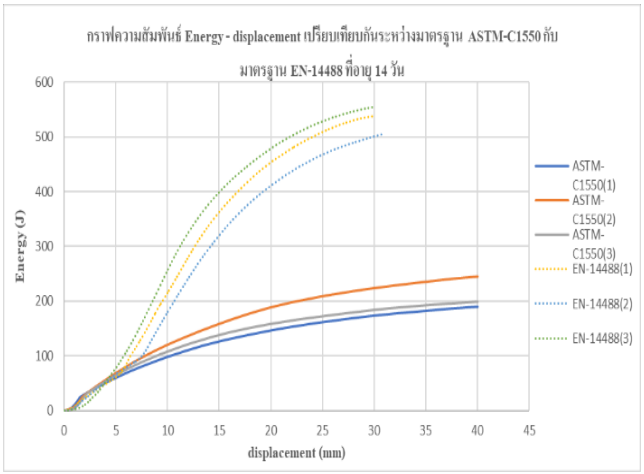
รูปที่ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Load-Displacement เปรียบเทียบกันระหว่างมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) กับมาตรฐานยุโรป (EN-14488-5) ของทั้ง 2 มาตรฐานที่อายุ 14 วัน



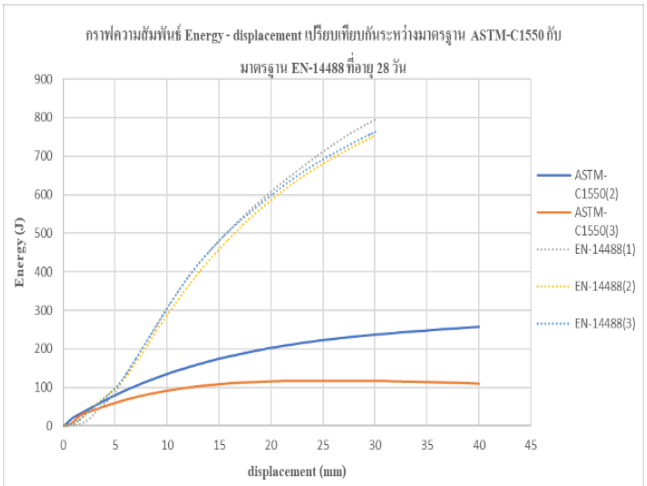
รูปที่ 37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Load-Displacement เปรียบเทียบกันระหว่างมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550)กับมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) ของทั้ง 2 มาตรฐานที่อายุ 28 วัน

4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับพลังงานและการยุบตัวเปรียบเทียบกันระหว่างมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550)กับมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5)

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Energy-Displacement เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) กับมาตรฐานยุโรป (EN-14488-5) จะเห็นได้ชัดว่ามาตรฐานยุโรป (EN-14488-5) มีค่าการดูดซับพลังงานมากกว่ามาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) ดังรูปที่ 38 และรูปที่ 39 ตามลำดับ



รูปที่ 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Energy-Displacement เปรียบเทียบกันระหว่างมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) กับมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) ของทั้ง 2 มาตรฐานที่อายุ 14 วัน



รูปที่ 39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Energy-Displacement เปรียบเทียบกันระหว่างมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550)กับมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) ของทั้ง 2 มาตรฐานที่อายุ 28วัน

5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาความแตกต่างระหว่างมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550)และมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

5.1 จากการทดสอบตามมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550) ของชิ้นตัวอย่างที่อายุ 14 วัน และ 28 วัน พบว่าค่าการดูดซับพลังงานเฉลี่ยของชิ้นตัวอย่างที่อายุ 14วัน ได้ค่าต่ำกว่าชิ้นตัวอย่างที่อายุ 28วัน คิดเป็นร้อยละ 82.13 ของชิ้นตัวอย่างที่อายุ 28 วัน และพบว่าน้ำหนักกดสูงสุดของชิ้นตัวอย่างที่อายุ 14 วัน ไม่แตกต่างกับชิ้นตัวอย่างที่อายุ 28 วัน

5.2 จากการทดสอบตามมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) ของชิ้นตัวอย่างที่อายุ 14 วัน และ 28 วัน พบว่าค่าการดูดซับพลังงานเฉลี่ยและค่าการรับน้ำหนักกดสูงสุดเฉลี่ยของชิ้นตัวอย่างที่อายุ 14วัน ได้ค่าต่ำกว่าชิ้นตัวอย่างที่อายุ 28วัน คิดเป็นร้อยละ 69.13 และร้อยละ 85.11 ตามลำดับของชิ้นตัวอย่างที่อายุ 28 วัน

5.3 จากการศึกษาและวิจัยความแตกต่างระหว่างมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) และมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) โดยเปรียบเทียบชิ้นตัวอย่างที่อายุ 14 วัน ที่ค่า Displacement 30มิลลิเมตร ทั้งมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550) และมาตรฐานยุโรป(EN- 14488-5) พบว่าการทดสอบตามมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) ให้ค่าการดูดซับพลังงานเฉลี่ยและค่าการรับน้ำหนักกดสูงสุดเฉลี่ยสูงกว่าการทดสอบตามมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550) คิดเป็น 2.57 เท่า และ 1.38 เท่า ตามลำดับ

5.4 จากการศึกษาและวิจัยความแตกต่างระหว่างมาตรฐานอเมริกา (ASTM C1550) และมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) โดยเปรียบเทียบชิ้นตัวอย่างที่อายุ 28 วัน ที่ค่าDisplacement 30 มิลลิเมตร ทั้งมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550) และมาตรฐานยุโรป(EN- 14488-5) พบว่าการทดสอบตามมาตรฐานยุโรป(EN-14488-5) ให้ค่าการดูดซับพลังงานเฉลี่ยและค่าการรับน้ำหนักกดสูงสุดเฉลี่ยสูงกว่าการทดสอบตามมาตรฐานอเมริกา(ASTM C1550) คิดเป็น 3.00 เท่า และ 1.57 เท่า ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถดำเนินมาจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากได้รับการสนับสนุนเป็นอย่างดียิ่ง จากอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย รศ.ดร.ปรีดา ไชยมหาวัน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ให้การปรึกษา ให้ความรู้ และชี้นำแนวทางในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และทางบริษัท RIGHT TUNNELLING ที่ให้ความอนุเคราะห์ฉีดพ่นชิ้นตัวอย่างให้ใช้ในการทดสอบ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยาที่ให้การสนับสนุนและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูลเพื่อทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ASTM C1550, Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber-Reinforced concrete (Using centrally-Loaded Round Panel), American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2003.

[2] European Standard, 2006,“Testing sprayed concrete - Part 5: Determination of energy absorption capacity of fibre reinforced slab specimens,” This European Standard was approved by CEN on 27 February 2006

[3] มาโนช สรรพกิจทิพากร, อุทัยฤทธิ์ โรจนวิภาต และ ปิติ สุคนธสุขกุล ,พ.ศ.2555, “วิธีการทดสอบประสิทธิภาพของเส้นใยสำหรับการเสริมแรงในคอนกรีต,”วารสารวิชาการพระจอมพระนครเหนือ ปีที่22 ฉบับที่3 ก.ย.-ธ.ค.

[4] N. Buratti, A. Incerti, M. Paparella, M. Draconte, A.R. Tilocca and C. Mazzotti, 2019, “Energy absorption test on fiber-reinforced-shotcrete round and square panels,” Interdepartmental Center for Industrial Research – Buildings and Construction (CIRI-B&C), University of Bologna, Bologna, Italy

[5] สิทธิศักดิ์ แจ่มนาม, บูชิต มาโฮ, ปิติ สุคนธสุขกุล, คาซูโนริ ฟูจิคาเกะ และ เนมกุมาร บันเทีย,พ.ศ.2561,”การดูดซับพลังงาน และรูปแบบการวิบัติของผนังคอนกรีตกันกระสุนหลายชั้นจากเส้นใยเหล็กแผ่นโฟม และยางพารา,”วารสารวิชาการพระจอมพระนครเหนือ ปีที่ 28 ฉบับที่3

การเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมที่ได้จากแบบจำลองกับแบบก่อสร้างจริงของอาคารระบบผนังสำเร็จ

Comparative Analysis of Reinforcement Steel Quantities between Structural Modeling Program and Structural Shop Drawing

ปฏิภูมิ กาญจนจูฑะ[1]* หรรษา ยิ้มใย[2] วิภาดา เสนาประโคน[3] กนกนิภา เสริฐวิชา[4] และ รศ.ดร.ปรีดาไชยมหาวัน

[1,2,3,4] **คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา**

***Corresponding author; E-mail address: 63102169@up.ac.th**

บทคัดย่อ

การสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมที่แตกต่างระหว่างการใช้แบบจำลองผนังสำเร็จรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งที่ใช้จุดต่อสปริงแทนจุดเชื่อมต่อในการออกแบบเหล็กเสริมและยังช่วยให้ผู้ออกแบบเข้าใจถึงพฤติกรรมของแรง ในการทดสอบนี้จะสร้างแบบจำลองในโปรแกรม ETABS การวิเคราะห์ผลเพื่อมาคำนวณปริมาณเหล็กเสริมในกำแพงในกรณีแรงกระทำต่างๆแล้วนำแรงที่ได้ไปคำนวณปริมาณเหล็กโดยใช้ข้อกำหนด วสท. ไปเปรียบเทียนในแบบก่อสร้างจริง ในการทดสอบข้างต้นผลที่ได้ออกมามีบางจุดต้องเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมถึงจะสร้างรับแรงได้อย่างปลอดภัย

Abstract

Modeling to study and compare the amount of reinforcement that differs between the use of vertical load-bearing prefabricated wall models that use spring connections instead of connection points in the design of reinforcement and also helps the designer understand the behavior of forces. In this test, a simulation was created in the ETABS program, the analysis of the results to calculate the amount of reinforcement in the wall in the case of various forces, and then use the force obtained to calculate the amount of steel using the requirements of the ACI to compare the candles in the actual construction. In the above tests, the results showed that there were some points where the amount of reinforcement had to be increased in order to safely withstand the force

1. คำนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อออกแบบเหล็กเสริมภายใน สำหรับโครงสร้างผนังรับน้ำหนักคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป ยังเป็นข้อกังขาสำหรับวิศวกร ด้วยพฤติกรรมการเชื่อมต่อระหว่างจุดต่อ ไม่ใช่พฤติกรรมที่มีความต่อเนื่องมีรายละเอียดเหล็กเสริมที่จุดเชื่อมต่อ ทำให้พฤติกรรมแตกต่างจากระบบผนังหล่อในที่ ซึ่งการสร้างแบบจำลองนั้นมีผลต่อปริมาณเหล็กเสริม ภายในผนังอย่างแน่นอน โดยเฉพาะการสร้างแบบจำลองที่มีความต่อเนื่อง 100% เสมือนคอนกรีตเทในที่ กับกรณีที่สร้างแบบจำลองและใช้จุดเชื่อมต่อแบบสปริง แรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างมีความแตกต่างกัน และส่งผลต่อปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้เสริมภายในผนัง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างอาคารระบบผนังสำเร็จรับน้ำหนักบรรทุก (precast bearing wall) ที่มีการสร้างแบบจำลองแบบต่อเนื่อง และมีการสร้างแบบจำลองโดยใช้สปริงแทนพฤติกรรมของจุดต่อ

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมที่แตกต่างระหว่างการใช้แบบจำลองผนังสำเร็จรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งที่ใช้จุดต่อสปริงแทนจุดเชื่อมต่อในการออกแบบเหล็กเสริม กับปริมาณเหล็กเสริมที่ระบุตามแบบก่อสร้างที่มีอยู่ จากแบบจำลองผนังสำเร็จที่มีความต่อเนื่อง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ใช้โปรแกรม ETABS ในการสร้างแบบจำลอง

1.3.2 พิจารณาและศึกษาแบบจำลองผนังสำเร็จอาคาร 2 ชั้น และ 5 ชั้นระบบผนังรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง

1.3.3 พิจารณารูปแบบจุดเชื่อมต่อแนวราบแบบเหล็กเดือยเสียบในท่อลอนลูกฟูกและใช้ปูนกรอกในช่องว่างเท่านั้น สำหรับจุดเชื่อมต่อแนวดิ่งเป็นแบบเหล็กห่วงยื่นจากผนัง และสอดด้วยเหล็กเส้นตรงกลาง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อให้เข้าใจในการออกแบบกำแพงรับแรง และ พฤติกรรมของแรง

1.4.2 เพื่อเข้าใจจุดต่อผนัง precast wall

1.4.3 เพื่อลดความเสี่ยงจากการก่อสร้างโดยการใส่เหล็กเสริมรับแรง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 หลักการออกแบบผนังกำแพงคอนกรีตเหล็กให้รับน้ำหนักตามแนวแกน

การคำนวณออกแบบกำแพงหรือผนังคอนกรีตเสริมเหล็กให้รับน้ำหนักบรรทุกเยื้องศูนย์หรือแรงด้านข้างใดๆ อาจพิจารณาให้ส่วนโครงสร้างนั้นเสมือนเป็นเสาปลอกเดี่ยว โดยใช้อัตราส่วนของเหล็กเสริมในแนวตั้งไม่เกินกว่า 0.04 ในกรณีที่น้ำหนักกระทำเยื้องศูนย์แต่มีค่าไม่เกินหนึ่งในหกของความหนาของกำแพงจะถือว่าน้ำหนักนั้นกระทำร่วมศูนย์กับกำแพง ดังนั้นเมื่อกำแพงรับน้ำหนักบรรทุกร่วมศูนย์อาจพิจารณาคำนวณออกแบบโดยใช้สูตรสำเร็จตามที่ มาตรฐาน ACI และ วสท. กำหนดให้ดังสมการ

$$\emptyset P_{aw} = 0.55 f_c' A_g \left[1 - \left(\frac{k l_c}{32h}\right)^2\right] \quad (1)$$

เมื่อ P_{aw} = กำลังรับน้ำหนักบรรทุก (กก.)
A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด (ซม.^{2})
l_c = ความสูงของกำแพงระหว่างที่รองรับ (ซม.)
h = ความหนาของกำแพง
$\emptyset$ = 0.7
k = ตัวประกอบความยาวประสิทธิผล
= 0.8 เมื่อกำแพงไม่มีการหมุนที่ปลายทั้งสองข้าง
= 0.1 เมื่อกำแพงไม่มีการยึดรั้งต้านการหมุดที่ปลายทั้งสอง
= 2.0 เมื่อกำแพงไม่มีการค้ำยึดเพื่อต้านการเซด้านข้าง

และจะต้องมีการตรวจสอบกำลังรับแรงแบกทาน (Bearing strength) ที่ด้านบนของกำแพงซึ่งสามารถหา ได้จากสมการ (2) ดังนี้

กำลังต้านทานแรงแบกทานของคอนกรีต ≥ แรงที่กดลงคอนกรีต

$$\emptyset 0.85 f_c' A_1 \geq W_u \quad (2)$$

เมื่อ $\emptyset$ = 0.70
A_1 = พื้นที่ที่รับแรงกด (ซม.^{2})
W_u = น้ำหนักที่มากระทำ (กก.) คิดต่อความยาว 1 ม.

2.1.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับกำแพงหรือผนัง คสล.

2.1.2.1 ความหนาต่ำสุดของกำแพง มีข้อกำหนดดังนี้

(ก) ความหนาของกำแพงที่รับใช้น้ำหนัก (Bearing Wall) ต้องไม่น้อยกว่า 1/25 ของความสูงหรือความกว้างระหว่างที่รองรับ ทั้งนี้ให้ใช้ค่าที่น้อยกว่า แต่ต้องไม่น้อยกว่า 10 ซม.

(ข) ความหนาของกำแพงห้องใต้ดิน (Basement Wall) ที่อยู่ริมนอกหรือกำแพงฐานรากหรือกำแพงกันไฟ ต้องไม่น้อยกว่า 20 ซม.

2.1.2.2 ความยาวประสิทธิผลของกำแพงในแนวนอน

ในกรณีที่น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบจุด ความยาวประสิทธิผลของกำแพงในแนวนอนที่ใช้รับน้ำหนักบรรทุกนั้น ต้องไม่เกินกว่าระยะศูนย์ถึงศูนย์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและต้องไม่เกินความกว้างของที่รองรับด้วยสี่เท่าของความหนากำแพง

2.1.2.3 ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดในกำแพง

(ก) สำหรับเหล็กในแนวตั้ง

- ต้องไม่น้อยกว่า 0.0012 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด สำหรับเหล็กข้ออ้อย $d_b \leq 16$ มม. และ $f_y \geq 4{,}000$ กก./ซม.^{2}
- ต้องไม่น้อยกว่า 0.0015 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด สำหรับเหล็กอ้อยขนาดอื่น

(ข) สำหรับเหล็กเสริมในแนวนอน

- ต้องไม่น้อยกว่า 0.0020 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด สำหรับเหล็กข้ออ้อย $d_b \leq 16$ มม. และ $f_y \geq 4{,}000$ กก./ซม.^{2}
- ต้องไม่น้อยกว่า 0.0025 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด สำหรับเหล็กอ้อยขนาดอื่น

2.1.2.4 การจัดวางเหล็กเสริม

(ก) ระยะเรียงเสริมเหล็กในแนวตั้งและแนวนอน

ต้องไม่เกิน 3 เท่าของความหนาของกำแพงแต่ไม่เกิน 50 ซม. หากผนังกำแพงหนากว่า 25 ซม. (ยกเว้นผนังกำแพงห้องใต้ดิน) ต้องเสริมเหล็กในแต่ละทิศทางเป็นสองชั้น ชั้นหนึ่งประกอบด้วยเหล็กไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งแต่ไม่เกินสองในสามของเหล็กทั้งหมด โดยวางห่างจากผิวด้านนอกไม่น้อยกว่า 5 ซม. แต่ไม่เกินหนึ่งในสามของความหนาของกำแพง ส่วนอีกชั้นหนึ่งให้ใช้เหล็กส่วนที่เหลือวางห่างจากผิวด้านในไม่น้อยกว่า 2 ซม. แต่ไม่เกินหนึ่งในสามของความหนาของกำแพง

(ข) ต้องยึดผนังกำแพง คสล.

ให้ติดกับพื้น เสา หรือผนังที่มาบรรจบกันด้วยเหล็กเสริมของแต่ละชั้น

(ค) ที่ช่องเปิดของผนังกำแพง คสล.

ต้องเสริมเหล็กเพิ่มพิเศษ ขนาดไม่เล็กกว่า 16 มม. อย่างน้อยสองเส้นรอบช่องเปิด โดยยื่นปลายเหล็กเสริมให้เลยจากมุมช่องเปิดไปเป็นระยะเท่ากับระยะที่ต้องการฝังยึดเหล็กเสริม แต่ไม่น้อยกว่า 60 มม.

2.1.3 วิธีการออกแบบเหล็กเสริมบริเวณช่องเปิดและรอยต่อของผนังรับน้ำหนัก คสล.

2.1.3.1 เหล็กตามยาวบนและล่างช่องเปิด

สามารถคำนวณได้จากสมการ (3) ซึ่งจะใช้ความสัมพันธ์ของกำลังดึงของเหล็ก

$$T_u \leq \emptyset n A_s f_y \quad (3)$$

เมื่อ T_u = แรงดึงที่เกิดขึ้นภายในผนังบนและล่างช่องเปิด (กก.)
n = จำนวนของเหล็กที่ใช้
A_s = พื้นที่หน้าตัดของเหล็ก (ซม.^{2})
f_y = กำลังดึงครากของเหล็ก (กก./ซม.^{2})
$\emptyset$ = 0.9

2.1.3.2 เหล็กทแยงกันร้าวตรงบริเวณมุมของช่องเปิด

สามารถคำนวณได้จากสมการ (4) ซึ่งจะใช้ความสัมพันธ์ของกำลังดึงของเหล็ก

$$T_u \leq \emptyset n A_s f_y cos45 \quad (4)$$

เมื่อ T_u = แรงดึงที่เกิดขึ้นบริเวณมุมของช่องเปิด (กก.)
n = จำนวนของเหล็กที่ใช้
A_s = พื้นที่หน้าตัดของเหล็ก (ซม.^{2})
f_y = กำลังดึงครากของเหล็ก (กก./ซม.^{2})
$\emptyset$ = 0.9

2.1.3.3 เหล็กเชื่อมต่อผนังชั้นล่างกับผนังชั้นบน (Dowel Bars)

สามารถคำนวณได้จากการสมมุติให้จุดต่อระหว่างผนังบนและล่างเป็น link ตามผลงานวิจัยของ ปรีดา และคณะ(2023) และตรวจสอบแรงดึงที่เกิดขึ้น และนำเหล็กเสริมมาใส่ให้เพียงพอกับแรงดึงที่ต้องการ เช่นเดียวกับสมการที่ (3) หรืออาจใช้การวิเคราะห์โมเมนต์ (M_0) และ แรงตามแนวแกน (N) ที่เกิดขึ้นในกำแพงแต่ละแผง จากความสัมพันธ์

$$M_0 = \left(\omega_0 T_y + \frac{N}{2}\right) l_w \quad (5)$$

เมื่อ M_0 = เป็นโมเมนต์ที่เกิดขึ้นภายหลังจากเหล็กเสริมเกิดการครากจนเลยถึงกำลังสำรองของสมมุติฐาน โดยให้จุดปลายของเป็นจุดหมุน

เมื่อ l_w = เป็นความยาวของกำแพง
n = เป็นแรงอัดในแนวแกนของกำแพง
ω_0 = เป็นอัตราส่วนกำลังสำรองของเหล็กเสริม
T_y = เป็นแรงดึงครากในกลุ่มเหล็กเสริม เชื่อมระหว่างผนังบนและล่าง สามารถคำนวณได้จาก

$$T_y = \frac{A_{st} f_y}{2} \quad (6)$$

เมื่อ A_{st} = เป็นพื้นที่เหล็กเสริมในแนวดิ่งที่ทั้งหมดในกำแพง
$A_{st}/2$ = เป็นพื้นที่เหล็กเสริมที่ปลายกำแพง
f_y = เป็นกำลังครากของเหล็กเสริม

2.1.3.4 ออกแบบหูยก

สามารถคำนวณได้จากสมการ (7)

$$W_s = \emptyset n A_s f_y \quad (7)$$

เมื่อ W_u = น้ำหนักของผนัง + 30% ของน้ำหนักผนังเนื่องจากแรงกระแทก ในที่นี้น้ำหนักผนังทั้งหมดไม่ใช่เพียงครึ่งเดียว เนื่องจากอาจเกิดกรณีที่ลวดสลิงที่รอยหูทำงานเพียงข้างเดียว

$\emptyset$ = 0.9

n = จำนวนของเหล็กที่ใช้

A_s = พื้นที่หน้าตัดของเหล็ก (ซม.^{2})

f_y = กำลังดึงครากของเหล็ก (กก./ซม.^{2})

2.1.3.5 ระยะฝังเหล็กเสริมข้ออ้อยที่รับแรงดึง

(ก) ระยะฝังเหล็กเสริมข้ออ้อยที่รับแรงดึง

ระยะฝังพื้นฐาน(l_{db})ต้องไม่น้อยกว่า 30 ซม. สำหรับเหล็กเสริมข้ออ้อยที่รับแรงดึง สามารถคำนวณได้จากสมการ (8) ดังนี้

$$l_{db} = \frac{0.06A_b f_y}{\sqrt{f'_c}} \quad (8)$$

เมื่อ l_{db} = ระยะฝังพื้นฐาน (ซม.)

A_b = พื้นที่หน้าตัดของเหล็ก (ซม.^{2})

f_y = กำลังดึงครากของเหล็ก (กก./ซม.^{2})

f'_c = กำลังของคอนกรีต (กก./ซม.^{2})

สำหรับเหล็กเสริมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 43 มม. และ 57 มม. ให้คำนวณจากสมการ (8) แต่ให้ลดระยะฝังลงร้อยละ 6 และร้อยละ 22 ตามลำดับ

(ข) ระยะฝังเหล็กเสริมข้ออ้อยที่รับแรงอัด

ระยะฝังพื้นฐาน(l_{db})ของเหล็กข้ออ้อยที่รับแรงอัดต้องไม่น้อยกว่า 20 ซม. สามารถคำนวณได้จากสมการ (9) ดังนี้

$$l_{db} = \frac{0.075d_b f_y}{\sqrt{f'_c}} \geq 0.0043 d_b f_y \quad (9)$$

เมื่อ l_{db} = ระยะฝังพื้นฐาน (ซม.)

A_b = พื้นที่หน้าตัดของเหล็ก (ซม.^{2})

f_y = กำลังดึงครากของเหล็ก (กก./ซม.^{2})

f'_c = กำลังของคอนกรีต (กก./ซม.^{2})

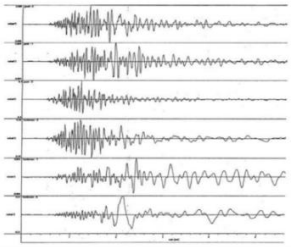
2.1.3.6 การต่อทาบเหล็กเสริม

ความยาวของระยะต่อทาบเหล็กเสริมข้ออ้อยที่รับแรงอัดอย่างน้อย $1.0l_{db}$ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 30 ซม.

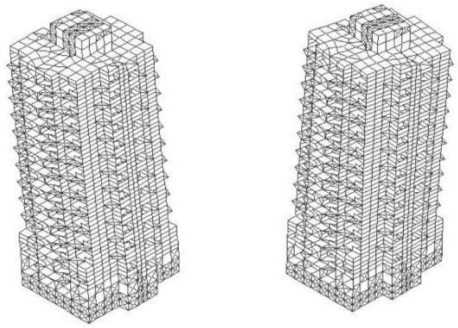
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การออกแบบผนังรับแรงเฉือน

งานวิจัยของ Piotr Berkowski และคณะ [1] งานวิจัยนี้เสนอผลการวิเคราะห์อาคารคอนกรีตสำเร็จรูปหลายชั้นภายใต้แรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากอาฟเตอร์ช็อกแผ่นดินไหว มีการใช้แบบจำลอง FEM 3 มิติของอาคารทั้งหลัง รวมถึงการเชื่อมต่อเฉพาะในข้อต่อ ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขถูกนำไปเปรียบเทียบกับการทำลายที่สังเกตได้ในอาคารจริงที่เกิดจากอาฟเตอร์ช็อกการทำเหมือง



รูปที่ 1 ภาพความเร่งของแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากการใช้ประโยชน์จากการขุด (ความเร็วเทียบกับเวลา) – E = 1.70e8 J

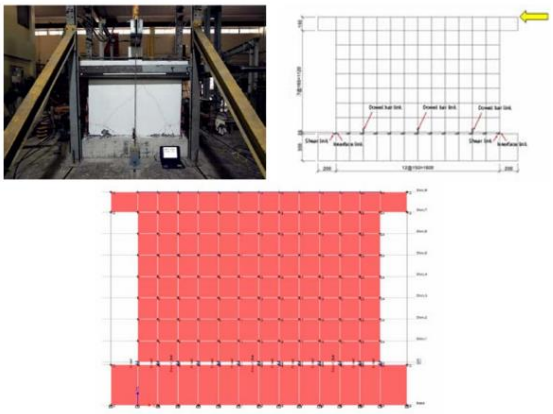


รูปที่ 2 การสั่นสะเทือนแบบไอเกน

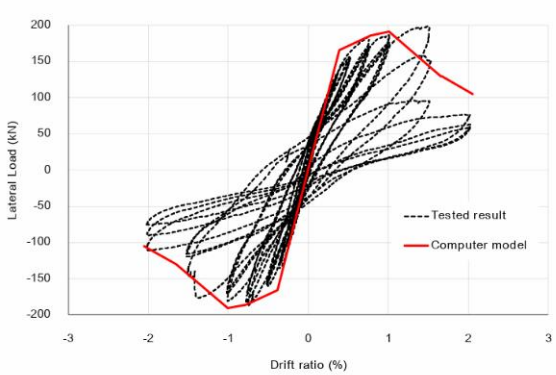
2.2.2 การออกแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของข้อต่อแนวนอนของอาคาร

งานวิจัยของ ปรีดา และคณะ (2023) [2] ศึกษาการวิเคราะห์ผลการทดสอบระบบผนังสำเร็จรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง (precast bearing wall) ที่มีจุดเชื่อมต่อด้วยเหล็กเดือยสวมในท่อนลูกฟูก ภายใต้แรงกระทำด้านข้างแบบสลับทิศ โดยได้สร้างแบบจำลองผนังสำเร็จด้วย sell element และใช้จุดเชื่อมต่อด้วยสปริงที่แทนพฤติกรรมรอยต่อเหล็กเดือย และปูนกรอกที่รอยต่อในแนวราบ (รูปที่3) ซึ่งเป็นการคำนึงถึงพฤติกรรมที่ไม่ได้เชื่อมต่ออย่างสมบูรณ์ของผนังสำเร็จ เหมือนผนังหล่อเป็นชิ้นเดียวกัน

ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองสามารถทำนายพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเคลื่อนที่สัมพันธ์ได้สอดคล้องกับผลการทดสอบผนังสำเร็จในห้องปฏิบัติการได้เป็นอย่างดี (รูปที่4) ซึ่งแนวทางการใช้สปริงเป็นจุดเชื่อมต่อนี้ จะนำมาใช้สร้างเป็นแบบจำลองสำหรับอาคารทั้งหลังในการศึกษานี้



รูปที่ 3 แบบจำลองที่นำเสนอสำหรับผนังชิ้นงานทดสอบ1



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเคลื่อนที่สัมพันธ์ของชิ้นทดสอบผนังสำเร็จที่ใช้จุดต่อด้วยเหล็กเดือยสวมด้วยท่อลอนลูกฟูก

2.2.3 การวิเคราะห์อาคารหลายชั้นที่มีผนังรับน้ำหนักสำเร็จรูป

งานวิจัยของ Chaitanya Kumar J.D. และคณะ[3] การก่อสร้างแบบสำเร็จรูปกำลังได้รับความสำคัญโดยทั่วไปและโดยเฉพาะในเขตเมือง กำลังได้รับความนิยมมากขึ้นจากการเติบโตอย่างรวดเร็วของโครงสร้างพื้นฐานในเมือง ในบริบทนี้อาคารที่พักอาศัย G+11 ชั้นที่มีผนังรับน้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปได้รับการพยายามวิเคราะห์ ระบบโครงสร้างประกอบด้วยผนังรับน้ำหนักและแผ่นพื้นทางเดียวสำหรับแรงโน้มถ่วงและแรงด้านข้างที่นำมาวิเคราะห์โดยใช้ ETABS แรงผนัง การกระจัด และโมเมนต์ต่างๆ ได้ถูกนำมาใช้สำหรับชุดโหลดที่แตกต่างกัน ฐานข้อมูลจะถูกนำเสนอสำหรับชุดโหลดที่แย่ที่สุด งานนี้จำกัดเฉพาะการวิเคราะห์องค์ประกอบโครงสร้างเท่านั้น ไม่ใช่รายละเอียดการเชื่อมต่อ

3.ขั้นตอนการทดสอบ

3.1 แนวทางการสร้างแบบจำลอง

3.1.1 ชนิดของแบบจำลองในแต่ละองค์กร

การสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์อาคารทั้งหลัง อาจแบ่งเป็น 5 องค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ผนังสำเร็จ พื้น คาน เสา และจุดเชื่อมต่อ link หรือ spring ที่ใช้แทนพฤติกรรมการไม่ได้เป็นชิ้นส่วนที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกันของระบบผนังรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง การศึกษานี้ได้ใช้โปรแกรม ETABS ในการสร้างแบบจำลอง ดังนั้นจะขออ้างอิงการเรียกองค์อาคารตามระบุในโปรแกรม

ตาราง 3.1.1 ชนิดของแบบจำลองที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

ลำดับที่	องค์อาคาร	ชนิดของแบบจำลอง
1	ผนังสำเร็จ	Wall section / Shell element
2	พื้น	Slab section / Shell element
3	เสา	Frame section / Line element
4	คาน	Frame section / Line element
5	สปริง	Link element / Linear or Multi Linear

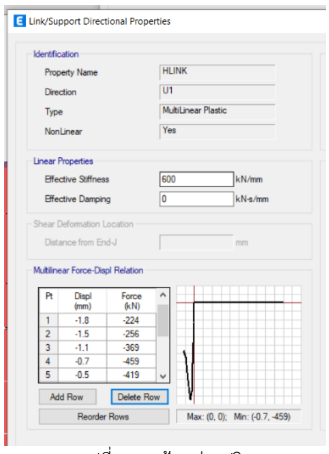
3.2 การป้อนค่าสปริง

ค่าสปริงใช้สามารถป้อนในรูปของ link element โดยให้เว้นช่องว่างระหว่างผนังบนและผนังล่างประมาณ 20 มม. ซึ่งอาจใช้วิธีการกำหนดความสูงชั้นเพื่อเป็นช่องว่างสำหรับการป้อนตำแหน่งสปริง หรือใช้วิธีการวาดผนังให้หดเป็นระยะ 20 มม. ตามที่ต้องการ

การป้อนค่าสปริง จะป้อนอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่ เป็นคู่ลำดับ ชนิดของ Link อาจเป็น Multi Plastic หากมีข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่หลายความชัน แต่หากมีความสัมพันธ์เพียงความชันเดียว สามารถเลือก Link type เป็นแบบ Linear ได้

ในข้อมูลของ Link element จะมีการเคลื่อนที่อยู่ 6 ทิศทาง ได้แก่การเคลื่อนที่ตามแนวแกน U1 การเคลื่อนที่ในทิศทางตั้งฉากในระนาบ U2 และตั้งฉากนอกระนาบ U3 และมีการหมุนรอบแกน 1 2 และ 3 ได้แก่ R1 R2 และ R3 สำหรับการพิจารณาในแบบจำลองอาคารนี้ จะพิจารณาเฉพาะทิศทางตามแนวแกนของ link คือ U1 กับทิศตั้งฉากในระนาบ U2 เท่านั้น โดยให้ U3 เป็น Fixed และไม่พิจารณา R1 R2 และ R3

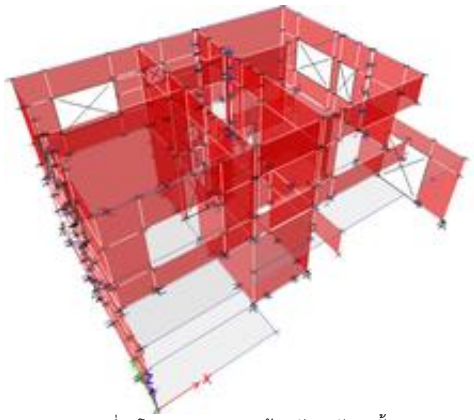
ในการป้อนความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่ในแต่ละทิศทางให้เลือก Modify show for U1 หรือ Modify show for U2 แล้วป้อนคู่ลำดับความสัมพันธ์แรงและการเคลื่อนที่



รูปที่ 5 การป้อนค่าสปริง

3.3 การคำนวณอาคารพักอาศัย 2 ชั้น

ตัวอย่างแบบอาคารบ้านพักอาศัย 2 ชั้นที่ใช้เป็นอาคารที่มีพื้นที่ใช้สอย 140 ตร.ม. ซึ่งเป็นระบบกำแพงสำเร็จน้ำหนักบรรทุกดิ่ง (bearing wall) โดยชั้นที่1 มีกำแพงคอนกรีตหล่อสำเร็จ จำนวน 14 แผ่น และชั้นที่2 มีจำนวน 16 แผ่น รายละเอียดของแบบอาคาร 2 ชั้น โดยป้อนค่าสปริงในแนวดิ่งและสปริงในแนวราบแทนจุดต่อที่เชื่อมต่อระหว่างกำแพงสำเร็จเข้าด้วยกัน ทำให้สามารถสร้างเป็นแบบจำลองทั้งหลัง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 โมเดล 3D อาคารบ้านพักอาศัย 2 ชั้น

คุณสมบัติวัสดุ

คอนกรีต

- คอนกรีตมีกำลังอัด $f_c' = 240$ กก./ซม.^{2} ขณะยกและขนย้าย
- คอนกรีตมีกำลังอัด $f_c' = 350$ กก./ซม.^{2} ขณะใช้งาน

เหล็กเสริม

$f_y = 2400$ กก./ซม.^{2} สำหรับ $SR\ 24$

$f_y = 4000$ กก./ซม.^{2} สำหรับ $SR\ 40$

ชุดการรวมแรง Load Case

$U1 = 1.4DL + 1.7LL$

$U2 = 0.75(1.4DL + 1.7LL) + 1.0EQ$

$U3 = 0.9DL + 1.0EQ$

เมื่อ DL = น้ำหนักบรรทุกคงที่ LL = น้ำหนักบรรทุกจร

EQ = แรงจากแผ่นดินไหวแบบสเปกตรัมผลตอบสนอง

ตาม มยผ. 1301/1302 – 61

การป้อนแรงกระทำ

การวิเคราะห์โครงสร้างทำด้วยการป้อนน้ำหนักบรรทุกในกรณีต่างๆ ประกอบไปด้วย

น้ำหนักบรรทุกตายตัวเพิ่มเติม 50 กก./ตร.ม.

น้ำหนักบรรทุกจร 200 กก./ตร.ม.

แรงแผ่นดินไหวแบบสเปกตรัมผลตอบสนอง กำหนดให้ เป็นพื้นที่เสี่ยงภัย อ.เมือง จ.เชียงราย ซึ่งมีค่าความเร่งสูงสุด $S_{Ds} = 0.693g$ และ $S_{D1} = 0.317g$ เมื่อสมมุติให้ดินเป็นประเภท D กราฟสเปกตรัมแผ่นดินไหวกรณีวิเคราะห์แบบ สถิตศาสตร์ และพลศาสตร์

อาคารมีความสูง $H = 5.57$ ม. ทำให้สามารถคำนวณคาบธรรมชาติของอาคารอาคารตามวิธี ก. จาก $T = 0.02H$ จะได้ $T = 0.02x5.57 = 0.11$ วินาที เมื่อตรวจสอบคาบธรรมชาติของอาคารตามวิธี ข. จากโปรแกรม $T = 0.21$ วินาที มยผ.1301/1302-61 กำหนดให้ใช้คาบธรรมชาติสูงสุดได้ไม่เกิน 1.5 วิธี ก. ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.17 วินาที ทำให้สามารถอ่านค่าความเร่งตองสนองด้วยวิธีสถิตศาสตร์ได้เท่ากับ(Sa) $0.693g$ เมื่ออาคารมีความสำคัญปกติ $I = 1.0$

ระบบโครงอาคาร กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall) ใช้ค่าตัวประกอบปรับผลตอบสนอง

$R = 3.0$ $\Omega_0 = 2.5$ $C_d = 3.0$

สามารถคำนวณแรงเฉือนที่ฐานตามวิธีสถิตศาสตร์ได้จาก$V = S_a\left(\frac{I}{R}\right)W$

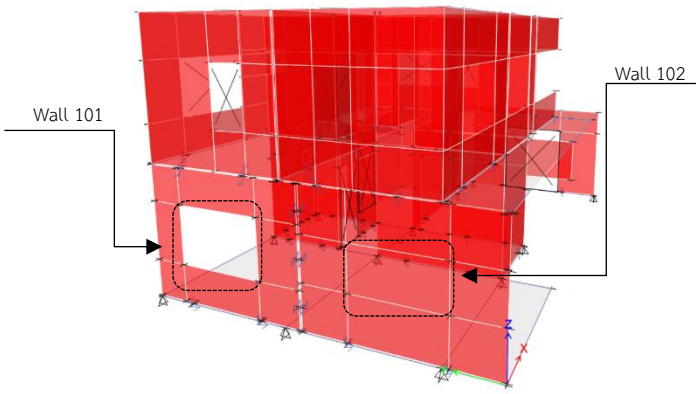
เมื่อน้ำหนักอาคาร $W = 128.19$ ตัน

จะได้แรงเฉือนที่ฐาน $V = 0.231x128.19 = 29.61$ ตัน

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ได้ค่าแรงเฉือนที่ฐานในทิศทางตามแกน $x(V_{tx}) = 12.55$ ตัน และทิศทางตามแกน $y(V_{ty}) = 15.93$ ตัน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าแรงเฉือนที่ฐานจากวิธีสถิตศาสตร์ ดังนั้นต้องปรับแก้ด้วย ประกอบปรับค่า $sacling\ factor = 0.85\frac{V}{V_t}$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 2.006 และ 1.580 สำหรับแรงแผ่นดินไหวทิศทาง x และ y ตามลำดับ

4.การวิเคราะห์ผล

4.1 อาคาร 2 ชั้น



รูปที่ 7 โมเดล 3D อาคารบ้านพักอาศัย 2 ชั้น

การวิเคราะห์หาแรงภายในแต่ละแผ่นนั้น ใช้การวิเคราะห์ Load Case ทั้ง 3 กรณี ซึ่งได้ยกตัวอย่างการออกแบบผนังรับแรงในครั้งนี้ จำนวน 2 แผ่น คือ กำแพง Wall 101 และ Wall 102 ผลการตรวจสอบสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1.1และ 4.1.2 สำหรับผนัง W101 และ W102 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1.1 ผลการตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมตามแบบก่อสร้างและผลการตรวจ W101

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียดตามแบบก่อสร้าง	ผลการตรวจสอบ (ค่าที่แนะนำ)
1	เหล็กเสริมกระจายแนวตั้ง	RB6@0.28 ม.	ไม่เพียงพอ(RB6@0.20)
2	เหล็กเสริมกระจายแนวนอน	RB6@0.25 ม.	ไม่เพียงพอ(RB6@0.125
3	เหล็กเสริมตามยาวบนและล่างช่องเปิด	3-RB8	ไม่เพียงพอ(2-DB12)
4	เหล็กทแยงกันร้าวมุมช่องเปิด	4-RB8	ไม่เพียงพอ(3-DB12)
5	กำลังต้านแรงแบกทาน	เพียงพอ	เพียงพอ
6	ปฏิสัมพันธ์แรงอัดและโมเมนต์ดัด	เพียงพอ	เพียงพอ
7	แรงเฉือนในผนัง	เพียงพอ	เพียงพอ
8	เหล็กเดือยในท่อลอนลูกฟูก	1-DB16ยาว0.5 ม. จำนวน2 เส้น	เพียงพอ
9	ตามแบบใช้ เชื่อม insert plate ขนาด 150x100x6mm	เพียงพอ	เป็นเหล็ก loop RB6@0.15 ม.จะปลอดภัยและมีความเหนียวมากกว่า

ตารางที่ 4.1.2 ผลการตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมตามแบบก่อสร้างและผลการตรวจ W102

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียดตามแบบก่อสร้าง	ผลการตรวจสอบ (ค่าที่แนะนำ)
1	เหล็กเสริมกระจายแนวตั้ง	RB6@0.28 ม.	ไม่เพียงพอ(RB9@0.25)
2	เหล็กเสริมกระจายแนวนอน	RB6@0.25 ม.	ไม่เพียงพอ(RB9@0.25)
3	เหล็กเสริมตามยาวบนและล่างช่องเปิด	ไม่เสริม	ไม่เสริม
4	เหล็กทแยงกันร้าวมุมช่องเปิด	ไม่เสริม	ไม่เสริม
5	กำลังต้านแรงแบกทาน	เพียงพอ	เพียงพอ
6	ปฏิสัมพันธ์แรงอัดและโมเมนต์ดัด	เพียงพอ	เพียงพอ
7	แรงเฉือนในผนัง	เพียงพอ	เพียงพอ
8	เหล็กเดือยในท่อลอนลูกฟูก	1-DB16ยาว0.5 ม. จำนวน2 เส้น	เพียงพอ
9	ตามแบบใช้ เชื่อม insert plate ขนาด 150x100x6mm	เพียงพอ	เป็นเหล็ก loop RB6@0.15 ม.จะปลอดภัยและมีความเหนียวมากกว่า

4.2 อาคาร 5 ชั้น



รูปที่ 8 โมเดล 3D อาคารคอนโด 5 ชั้น

อาคารตัวอย่าง 5 ชั้น หลังนี้เป็นอาคารหอพัก ขนาดกว้าง 16.9 ม. ยาว 24 ม. พื้นที่ใช้สอย 2,028 ตร.ม รับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง แผ่น ซึ่งแรงภายในที่เกิดขึ้นในแต่ละแผ่นนั้น จะถูกนำมาใช้ในการออกแบบเพื่อหาปริมาณของเหล็กเสริมที่จะใช้ในการออกแบบให้กำแพงสามารถที่จะรับน้ำหนักที่มากระทำ จากน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักจากบรรทุกจรได้อย่างปลอดภัย

การวิเคราะห์หาแรงภายในแต่ละแผ่นนั้น ใช้การวิเคราะห์ Load Case ทั้ง 3 กรณี ซึ่งได้ยกตัวอย่างการออกแบบผนังรับแรงในครั้งนี้ จำนวน 2 แผ่น คือ กำแพง Wall 16B และ Wall 3 ผลการตรวจสอบสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2.1และ 4.2.2 สำหรับผนัง W 16B และ W 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2.1 ผลการตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมตามแบบก่อสร้างและผลการตรวจ W16B

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียดตามแบบก่อสร้าง	ผลการตรวจสอบ (ค่าที่แนะนำ)
1	เหล็กเสริมกระจายแนวตั้ง	DB10@0.25 ม.	เพียงพอ
2	เหล็กเสริมกระจายแนวนอน	DB10@0.25 ม.	เพียงพอ
3	เหล็กเสริมตามยาวบน	3-DB20	เพียงพอ
4	เหล็กเสริมตามยาวนอน	6-DB20	เพียงพอ
5	เหล็กทแยงกันร้าวมุมช่องเปิด	3-DB16	เพียงพอ
6	กำลังต้านแรงแบกทาน	เพียงพอ	เพียงพอ
7	ปฏิสัมพันธ์แรงอัดและโมเมนต์ดัด	เพียงพอ	เพียงพอ
8	แรงเฉือนในผนัง	ไม่เพียงพอ	ไม่เพียงพอ(DB20@0.25)
9	เหล็กเดือยในท่อลอนลูกฟูก	1-DB16	เพียงพอ
10	ตามแบบใช้ เชื่อม insert plate ขนาด 150x100x6mm	เพียงพอ	เป็นเหล็ก loop RB6@0.15 ม.จะปลอดภัยและมีความเหนียวมากกว่า

ตารางที่ 4.2.2 สรุปผลการตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมตามแบบก่อสร้างและผลการตรวจ W3

ลำดับที่	รายการ	รายละเอียดตามแบบก่อสร้าง	ผลการตรวจสอบ (ค่าที่แนะนำ)
1	เหล็กเสริมกระจายแนวตั้ง	DB10@0.25 ม.	เพียงพอ
2	เหล็กเสริมกระจายแนวนอน	DB10@0.25 ม.	เพียงพอ
3	เหล็กเสริมตามยาวบนและล่างช่องเปิด	ไม่เสริม	ไม่เสริม
4	เหล็กทแยงกันร้าวมุมช่องเปิด	ไม่เสริม	ไม่เสริม
5	กำลังต้านแรงแบกทาน	เพียงพอ	เพียงพอ
6	ปฏิสัมพันธ์แรงอัดและโมเมนต์ดัด	เพียงพอ	เพียงพอ
7	แรงเฉือนในผนัง	เพียงพอ	เพียงพอ
8	เหล็กเดือยในท่อลอนลูกฟูก	1-DB16	เพียงพอ
9	ตามแบบใช้ เชื่อม insert plate ขนาด 150x100x6mm	เพียงพอ	เป็นเหล็ก loop RB6@0.15 ม.จะปลอดภัยและมีความเหนียวมากกว่า

5.สรุปผลการทดลอง

1.จากการตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมในผนังสำเร็จรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งด้วยจำลองสปริงแทนจุดเชื่อมต่อ พบว่าปริมาณเหล็กเสริมที่มีตามแบบมีค่าเพียงพอในบางตำแหน่ง และมีบางตำแหน่งที่ไม่เพียงพอ ดังนี้

กรณีอาคาร 2 ชั้น กำแพง Wall 101 และ Wall 102 ที่ใช้เป็นตัวแทนของอาคาร พบว่า ปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำแนวตั้งไม่เพียงพอ เนื่องจากอัตราส่วนปริมาณเหล็กเสริมน้อยกว่า0.0012 ดังนั้นควรเพิ่มอัตราส่วนปริมาณเหล็กเสริมให้มากกว่า

2.เหล็กเสริมบนและล่างของช่องเปิดใน Wall 101 ปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำดังกล่าว ไม่เพียงพอ ดังนั้นควรเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมเป็น2-DB12

3.เหล็กทแยงกันร้าวของช่องเปิดใน wall101 ไม่เพียงพอ ดังนั้นควรเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมเป็น3-DB12

4.กรณีอาคาร 5 ชั้น ผลการศึกษา W16B ที่เป็นตัวแทนผนังที่มีช่องเปิด พบว่าแรงเฉือนใน W16B ไม่เพียงพอ ดังนั้น ควรเสริมเหล็ก DB20@0.25 เพื่อป้องกันการแตกร้าว

5.แบบจำลองด้วยสปริงที่ศึกษาแม้จะมีความซับซ้อนในการป้อนค่า แต่ทำให้สามารถจำลองพฤติกรรมที่เสมือนจริง เมื่ออาคารเป็นระบบผนังสำเร็จภายใต้แรงแผ่นดินไหวได้อย่างไรก็ตามจะต้องเพิ่มปริมาณเหล็กในบริเวณต่างๆ จึงจะเพียงพอและต้านแรงกระทำได้อย่างปลอดภัย

6.การเปลี่ยนรูปแบบรอยเชื่อมต่อ ในแนวดิ่งระหว่างผนังด้วยการใช้เหล็ก loop แทนการใช้รอยเชื่อมต่อด้วยแผ่นเหล็ก (insert plate) ที่ตรวจพบตามแบบจะทำอาคารมีความเหนียวและมีความแข็งแรงมากกว่า

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จได้ เนื่องจากได้รับทุนสนับสนุนจากหาวิทยาลัยพะเยาและได้รับความอนุเคราะห์สนับสนุนด้านคำปรึกษาและวิธีการแก้ปัญหารวมถึงคำชี้แนะ จากอาจารย์ที่ปรึกษา

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ปรีดา ไชยมหาวัน เป็นอย่างยิ่งสำหรับการให้ความรู้อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยและยังเอาใจใส่ในทุกๆรายละเอียดและขั้นตอนของงานวิจัย ทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์รวมไปถึงงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และสุดท้ายผู้เขียนหวังว่าวิจัยเล่มนี้จะสามารถสร้างคุณค่าและคุณประโยชน์ให้สำหรับทุกท่านที่สนใจในเนื้อหาดังกล่าวได้ไม่มากก็น้อย ถ้าหากงานวิจัยฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใดผู้เขียนขอน้อมรับไว้และขออภัยเป็นอย่างสูง

6.เอกสารอ้างอิง

[1] Piotr Berkowski, Jacek Baranski, Faculty of Civil Engineering, Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland, 3DFEM ANALYSIS OF PRECAST CONCRETE APARTMENT BUILDINGS UNDER MINING TREMORS-A CASE STUDY

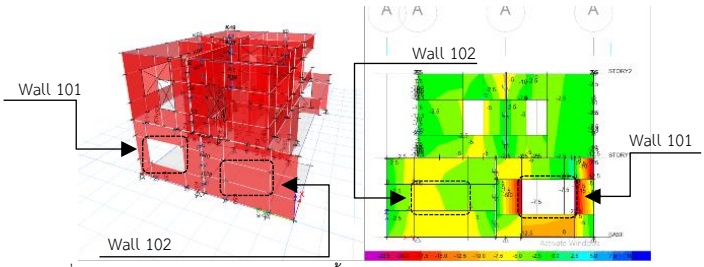
[2] Preeda Chaimahawan, Somboon Shaingchin, Worathep Sae-Long, Ekkachai Yooprasertchai and Amorn Pimanmas [1]School of Engineering, University of Phayao, Phayao, Thailand[2], Department of Civil Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand[3], Department of Civil Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

[3] Chaitanya Kumar J.D., Lute Venkat, 1-PG Scholar, Department of Civil Engineering, GVP College of Engineering (A), Visakhapatnam-530 048, India, 2 Associate Professor, Department of Civil Engineering, GVP College of Engineering (A), Visakhapatnam-530 048,India,Analysis of multi storey building with precast load bearing walls

[4] Khaja Rasool Thagaragunta, M.Helen Santhi, M.Tech Structural Engineering, SMBS, VIT Chennai, India, SMBS, VIT Chennai, India, Analysis and Design of a G+7 storeyed Precast Building

7.ภาคผนวก

รายละเอียดการคำนวณเพิ่มเติม



รูปที่ 9 โมเดล 3D อาคารบ้านพักอาศัย 2 ชั้น และแรงดึงด้านบนสูงสุดกับแรงดึงด้านล่างสุดสุด

7.1 การออกแบบกำแพง Wall 101 และ Wall 102

7.1.1 รายละเอียดการคำนวณใน Wall 101

ความหนา 10 ซม. คิดที่ความกว้าง 100 ซม.

ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดในกำแพง

แนวตั้ง ต้องไม่น้อยกว่า 0.0012 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด ตามแบบระบุ 6 mm. @0.28 m.

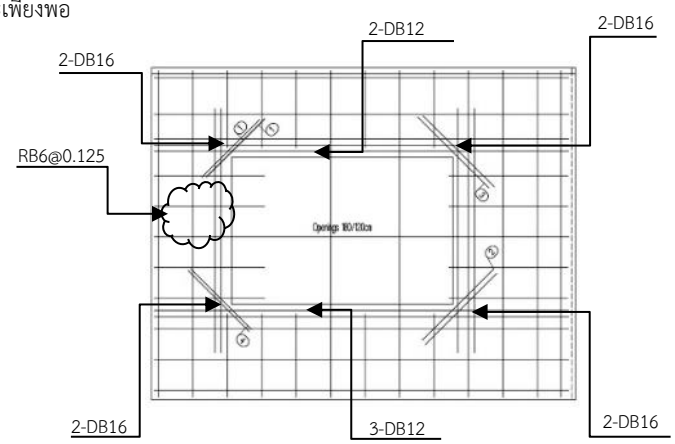
เมื่อคำนวณเป็นพื้นที่เหล็กเสริม $A_s = 1.01$ ซม.^{2}/ม.

ดังนั้น ปริมาณเหล็กเสริมในแนวตั้งไม่เพียงพอ หากใช้เหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง6 ควรมีระยะเรียง0.20 ม.จะมีปริมาณเหล็กเสริม 1.41 ซม.^{2}/ม. จึงจะเพียงพอ

แนวนอน ต้องไม่น้อยกว่า 0.002 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด ตามแบบระบุ 6 mm. @0.25 m.

เมื่อคำนวณเป็นพื้นที่เหล็กเสริม $A_s = 1.13$ ซม.^{2}/ม.

ดังนั้น ปริมาณเหล็กเสริมในแนวนอนไม่เพียงพอ หากใช้เหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง6 ควรมีระยะเรียง0.125 ม.จะมีปริมาณเหล็กเสริม2.26 ซม.^{2}/ม. จึงจะเพียงพอ



รูปที่ 10 เหล็กเสริมแนวทแยงที่มุมช่องเปิด และ ตะแกรงเหล็กเสริมแนวตั้งและแนวนอนในผนัง

เหล็กตามยาวบนและล่างช่องเปิด

แรงที่เกิดขึ้นด้านบนสูงสุด 6,900 กก. ตามแบบใช้เหล็ก 3-RB8

$N \geq 6.4$ เส้น ตามแบบ

ดังนั้นใช้เหล็ก 2-DB12 $N \geq 1.7$ เส้น

แรงที่เกิดขึ้นด้านล่างสูงสุด 9,290 กก. ตามแบบใช้เหล็ก 3-RB8

$N \geq 8.6$ เส้น ตามแบบ

ดังนั้นใช้เหล็ก 3-DB12 $N \geq 2.3$ เส้น

เหล็กทแยงกันร้าว

แรงดึงที่เกิดขึ้นแนวทแยงสูงสุด 5,182 กก. ตามแบบใช้ 4-RB8

$\emptyset T_n = 5{,}426$ กก.

ตรวจสอบกำลังต้านแรงแบกทาน (Bearing Strength)

น้ำหนักบรรทุกรวม $W_u = 3{,}886$ กก./ม.

วางพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปบนผนัง $b = 5$ ซม. คิดต่อ 1 ม. หรือ 100 ซม.

เนื้อที่รับแรงกด $A_1 = 500$ ซม.^{2}

กำลังรับแรงกดของคอนกรีต $= \emptyset 0.85 f_c' A_1 = 104{,}125$ กก.

กำลังของผนังรับน้ำหนัก (Bearing Wall) ในจุดวิกฤติ

แรงอัดที่เกิดขึ้นสูงสุด22,960 กก.ที่ด้านขวาของช่องเปิดซึ่งกว้าง65 ซม.

$\emptyset P_{nw} = 0.55 f_c' A_1 \left[1 - \left(\frac{kl_c}{32h}\right)^2\right] = 33{,}386$ กก. $> 22{,}960$ กก.

ตารางที่ 7.1.1(1) การออกแบบเพื่อต้านทานแรงอัดและโมเมนต์ดัดพร้อมกัน

Load Case	Location	P_u (ton)	M_u (ton)	V_u (ton)
U1	Top	12.6558	-0.2594	0.3382
U1	Bottom	17.1897	-0.1969	-1.4125
U2EQDX	Top	6.408	1.9901	3.4784
U2EQDX	Bottom	9.2476	3.6794	1.3003
U2EQDX	Top	12.5758	-2.3791	-2.9712
U2EQDX	Bottom	16.5369	-3.9748	-3.419
U2EQDY	Top	6.7573	1.0803	3.1477
U2EQDY	Bottom	8.2927	2.5739	1.5317
U2EQDY	Top	12.2264	-1.4693	-2.6404

U2EQDY	Bottom	17.4918	-2.8693	-3.6504
U3EQDX	Top	3.0537	2.0304	3.4105
U3EQDX	Bottom	5.1319	3.61	1.6912
U3EQDX	Top	9.2215	-2.3388	-3.0392
U3EQDX	Bottom	12.4213	-4.0441	-3.0281
U3EQDY	Top	3.403	1.1206	3.0797
U3EQDY	Bottom	4.1771	2.5046	1.9226
U3EQDY	Top	8.8721	-1.429	-2.7084
U3EQDY	Bottom	13.3762	-2.9386	-3.2595

การออกแบบเพื่อต้านแรงเฉือน

กำลังต้านแรงเฉือนคอนกรีต $fV_c = f0.53sqrt(f_c')td = 11{,}091$ กก. หรือ 11.09 ตัน

ดังนั้น 11.09 ตัน > 3.56 ตัน ผนังปลอดภัยจากแรงเฉือน

ตารางที่ 7.1.1(2) ออกแบบเหล็กเชื่อมต่อระหว่างผนังชั้นที่ 1 กับคานคอดิน

Line	Load Case	P (ton)	Line	Load Case	P (ton)
K51	U1	-0.0069	K52	U1	0.0069
K51	U1	0.0069	K52	U1	-0.0069
K51	U2EQDX Max	0.0063	K52	U2EQDX Max	0.0166
K51	U2EQDX MAX	0.0166	K52	U2EQDX Max	0.0063
K51	U2EQDX Min	-0.0166	K52	U2EQDX Min	-0.0063
K51	U2EQDX Min	-0.0063	K52	U2EQDX Min	-0.0166
K51	U2EQDY Max	0.0043	K52	U2EQDY Max	0.0146
K51	U2EQDY Max	0.0146	K52	U2EQDY Max	0.0043
K51	U2EQDY Min	-0.0146	K52	U2EQDY Min	-0.0043
K51	U2EQDY Min	-0.0043	K52	U2EQDY Min	-0.0146
K51	U3EQDX Max	0.0083	K52	U3EQDX Max	0.0147
K51	U3EQDX Max	0.0147	K52	U3EQDX Max	0.0083
K51	U3EQDX Min	-0.0147	K52	U3EQDX Min	-0.0083
K51	U3EQDX Min	-0.0083	K52	U3EQDX Min	-0.0147
K51	U3EQDY Max	0.0063	K52	U3EQDY Max	0.0127
K51	U3EQDY Max	0.0127	K52	U3EQDY Max	0.0063
K51	U3EQDY Min	-0.0127	K52	U3EQDY Min	-0.0063
K51	U3EQDY Min	-0.0063	K52	U3EQDY Min	-0.0127

แรงดึงสูงสุด เท่ากับ 0.0166 ton ในขณะที่แรงอัดสูงสุด เท่ากับ 0.0166 ton

ตามแบบจะใช้เหล็กเสริม DB16 เสริมเพื่อต้านแรง

คำนวณจาก $0.9A_sf_y = 7.24\ ton > 0.0166\ ton$ ใช้ได้

ดังนั้น ไม่ต้องการเหล็กเสริม จึงให้เหล็ก DB16

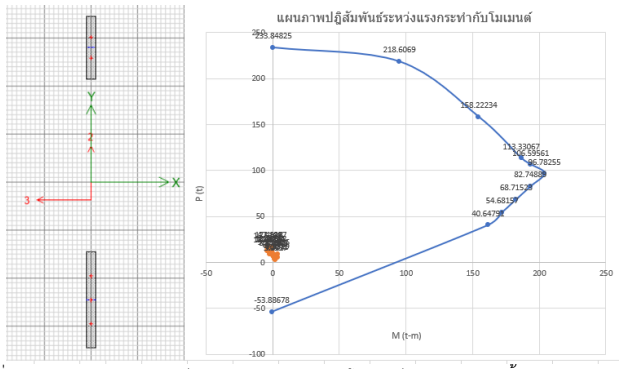
ระยะฝังเหล็กระหว่างผนังกับคานคอดิน

$$l_{db} = \frac{0.075d_bf_y}{\sqrt{f'_c}} \geq 0.0043d_bf_y$$

$l_{db} = 25.66$ ซม. ≥ 27.52 ซม.

ระยะฝังที่ต้องการ 27.52 ซม.

ดังนั้น ใช้ระยะฝังเท่ากับ 30 ซม. > 27.52 ซม. ใช้ได้



รูปที่ 11 กราฟแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและโมเมนต์ ของอาคาร 2 ชั้น กำแพง Wall101

7.1.2 รายละเอียดการคำนวณใน Wall 102

ความหนา 10 ซม. คิดที่ความกว้าง 100 ซม.

ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดในกำแพง

แนวตั้ง ต้องไม่น้อยกว่า 0.0012 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด ตามแบบระบุ 6 mm. @0.28 m.

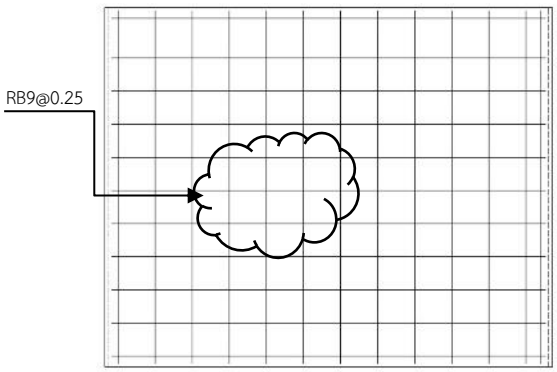
เมื่อคำนวณเป็นพื้นที่เหล็กเสริม $A_s = 1.01$ ซม.^{2}/ม.

ดังนั้น ปริมาณเหล็กเสริมในแนวตั้งไม่เพียงพอ หากใช้เหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง9 ควรมีระยะเรียง0.25ม.จะมีปริมาณเหล็กเสริม 2.54 ซม.^{2}/ม. จึงจะเพียงพอ

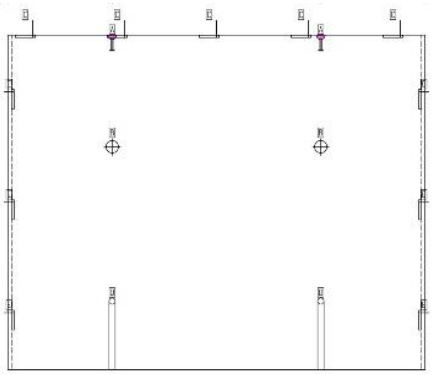
แนวนอน ต้องไม่น้อยกว่า 0.002 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด ตามแบบระบุ 6 *mm. @*0.25 m.

เมื่อคำนวณเป็นพื้นที่เหล็กเสริม $A_s = 1.03$ ซม.^{2}/ม.

ดังนั้น ปริมาณเหล็กเสริมในแนวนอนไม่เพียงพอ หากใช้เหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง9 ควรมีระยะเรียง0.25 ม.จะมีปริมาณเหล็กเสริม2.54 ซม.^{2}/ม. จึงจะเพียงพอ



รูปที่ 12 ตะแกรงเหล็กเสริมแนวตั้งและแนวนอนในผนัง



รูปที่ 13 ตะแกรงเหล็กเสริมแนวตั้งและแนวนอนในผนัง

ตรวจสอบกำลังต้านแรงแบกทาน (Bearing Strength) ที่ด้านบนของกำแพง

น้ำหนักบรรทุกรวม $W_u = 2{,}300$ กก./ม.

วางพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปบนผนัง $b = 10$ ซม.คิดต่อ 1 ม. หรือ 100 ซม.

เนื้อที่รับแรงกด $A_1 = 1{,}000$ ซม.^{2}

กำลังรับแรงกดของคอนกรีต $= \emptyset 0.85 f_c' A_s = 208{,}250$ กก.

ดังนั้นกำลังต้านทานแรงแบกทาน208,250กก.>แรงกระทำ2,300กก.

กำลังของผนังรับน้ำหนัก (Bearing Wall) ในจุดวิกฤติ

แรงอัดที่เกิดขึ้นสูงสุด7,502 กก.ที่ด้านขวาของช่องเปิดซึ่งกว้าง100 ซม.

$$\emptyset P_{nw} = 0.55 f_c' A_g \left[1 - \left(\frac{kl_c}{32h}\right)^2\right] = 54{,}440 \text{ กก.} > 7{,}502 \text{ กก.}$$

ตารางที่ 7.1.2(1) การออกแบบเพื่อต้านทานแรงอัดและโมเมนต์ดัดพร้อมกัน

Load case	Location	P_u (ton)	M_u(ton-m)	V_u (ton)
U1	Top	14.8344	4.3802	-3.6241
U1	Bottom	15.9071	-1.2765	-2.2014
U2EQDX	Top	5.2914	6.1722	-1.4271
U2EQDX	Bottom	3.9312	0.5078	0.1004
U2EQDX	Top	16.9602	0.29	-4.009
U2EQDX	Bottom	19.9294	-2.4227	-3.4025
U2EQDY	Top	8.0713	4.6053	-0.8348
U2EQDY	Bottom	8.1974	0.2536	0.2863
U2EQDY	Top	14.1803	1.8569	-4.6013
U2EQDY	Bottom	15.6632	-2.6184	-3.5883
U3EQDX	Top	1.1276	5.062	-0.4588
U3EQDX	Bottom	-0.0741	0.776	0.7096
U3EQDX	Top	12.7963	-0.8203	-3.0407
U3EQDX	Bottom	15.9241	-2.1545	-2.7932
U3EQDY	Top	3.9074	3.4951	0.1335
U3EQDY	Bottom	4.1921	0.5218	0.8955
U3EQDY	Top	10.0165	0.7467	-3.633
U3EQDY	Bottom	11.6579	-1.9003	-2.9791

การออกแบบเพื่อต้านแรงเฉือน

กำลังต้านแรงเฉือนคอนกรีต $fV_c = f0.53sqrt(f_c')td = 22{,}790$ กก. หรือ 22.79 ตัน

ดังนั้น 22.79 ตัน > 4.60 ตัน ผนังปลอดภัยจากแรงเฉือน

ตารางที่ 7.1.2(2) ออกแบบเหล็กเสริมเชื่อมต่อระหว่างผนังชั้นที่ 1 กับคานคอดิน

Line	Load case	P (ton)	Line	Load case	P (ton)
K19	U1	0.0114	K50	U1	-0.0078
K19	U1	-0.0114	K50	U1	0.0078
K19	U2EQDX Max	0.0316	K50	U2EQDX Max	0.0099
K19	U2EQDX Max	0.0145	K50	U2EQDX Max	0.0216
K19	U2EQDX Min	-0.0145	K50	U2EQDX Min	-0.0216
K19	U2EQDX Min	-0.0316	K50	U2EQDX Min	-0.0099
K19	U2EQDY Max	0.0282	K50	U2EQDY Max	0.0083
K19	U2EQDY Max	0.0111	K50	U2EQDY Max	0.02
K19	U2EQDY Min	-0.0111	K50	U2EQDY Min	-0.02
K19	U2EQDY Min	-0.0282	K50	U2EQDY Min	-0.0083
K19	U3EQDX Max	0.0282	K50	U3EQDX Max	0.0122
K19	U3EQDX Max	0.0179	K50	U3EQDX Max	0.0194
K19	U3EQDX Min	-0.0179	K50	U3EQDX Min	-0.0194
K19	U3EQDX Min	-0.0282	K50	U3EQDX Min	-0.0122
K19	U3EQDY Max	0.0248	K50	U3EQDY Max	0.0105
K19	U3EQDY Max	0.0145	K50	U3EQDY Max	0.0177
K19	U3EQDY Min	-0.0145	K50	U3EQDY Min	-0.0177
K19	U3EQDY Min	-0.0248	K50	U3EQDY Min	-0.0105

แรงดึงสูงสุด เท่ากับ 0.0316 ton ในขณะที่แรงอัดสูงสุด เท่ากับ 0.0316 ton

ตามแบบจะใช้เหล็กเสริม DB16 เสริมเพื่อต้านแรง

คำนวณจาก $0.9A_s f_y = 7.24\ ton > 0.0316\ ton$ ใช้ได้

ดังนั้น ไม่ต้องการเหล็กเสริม จึงให้เหล็ก DB16

ระยะฝังเหล็กระหว่างผนังกับคานคอดิน

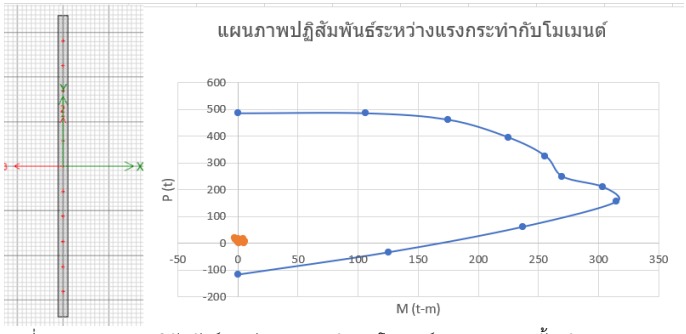
$$l_{db} = \frac{0.075 d_b f_y}{\sqrt{f'_c}} \geq 0.0043 d_b f_y$$

$l_{db} = 25.66$ ซม. ≥ 27.52 ซม.

ระยะฝังที่ต้องการ 27.52 ซม.

ดังนั้น ใช้ระยะฝังเท่ากับ 30 ซม. > 27.52 ซม. ใช้ได้

ใช้เหล็ก dowel bar 1-DB16



รูปที่ 14 กราฟแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและโมเมนต์ ของอาคาร 2 ชั้น กำแพง Wall102

7.2 การออกแบบกำแพง W16B และ W3

7.2.1 รายละเอียดการคำนวณใน W16B

ความหนา 12 ซม. คิดที่ความกว้าง 100 ซม.

ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดในกำแพง

แนวตั้ง ต้องไม่น้อยกว่า 0.0012 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด

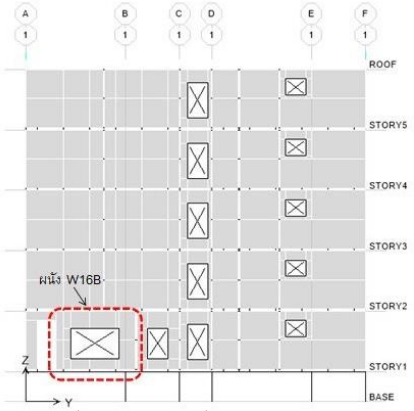
$A_s = 0.0012bt = 1.44$ ซม.^{2}/ม.

ดังนั้น ใช้ DB10@0.25 $A_s = 3.14$ ซม.^{2}/ม. > 2.4 ซม.^{2}/ม.

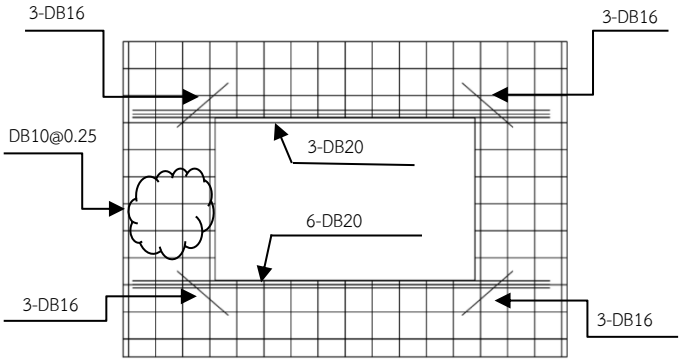
แนวนอน ต้องไม่น้อยกว่า 0.002 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด

$A_s = 0.0025bt = 2.4$ ซม.^{2}/ม.

ดังนั้น ใช้ DB10@0.25 $A_s = 3.14$ ซม.^{2}/ม. > 2.4 ซม.^{2}/ม.



รูปที่ 15 ผนัง W16B ที่จะแสดงการออกแบบ



รูปที่ 16 เหล็กเสริมแนวทแยงที่มุมช่องเปิด และ ตะแกรงเหล็กเสริมแนวตั้งและแนวนอนในผนัง

เหล็กตามยาวบนและช่องเปิด

แรงดึงที่เกิดขึ้นด้านบนสุดสูงสุด 30 ตัน

$T_u \leq \emptyset A_s f_y$

$N \geq 2.7$ เส้น ดังนั้นใช้เหล็ก 3-DB20

แรงดึงที่เกิดขึ้นด้านล่างสูงสุด 60 ตัน

$T_u \leq \emptyset A_s f_y$

$N \geq 5.3$ เส้น ดังนั้นใช้เหล็ก 6-DB20

เหล็กทแยงกันร้าว

แรงดึงที่เกิดขึ้นแนวทแยงสูงสุด 12 ตัน[4]

สมมติใช้ 3-DB16

$\emptyset T_n = \emptyset n A_s f_y cos45 = 16{,}277$ กก. หรือ 16.27 ตัน

$T_u < \emptyset T_n$ ใช้ได้ ดังนั้น ใช้ 3-DB16

ตรวจสอบกำลังต้านแรงแบกทาน (Bearing Strength)

น้ำหนักบรรทุกรวม $W_u = 13{,}337$ กก./ม.

วางพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปบนผนัง $b = 5$ ซม. คิดต่อ 1 ม. หรือ 100 ซม.

เนื้อที่รับแรงกด $A_1 = 500$ ซม.^{2}

กำลังรับแรงกดของคอนกรีต $= \emptyset 0.85 f_c' A_s = 104{,}125$ กก.

ดังนั้นกำลังแบกทาน 104,125 กก. > แรงกระทำ 13,337 กก. ใช้ได้

กำลังของผนังรับน้ำหนัก (Bearing Wall) ในจุดวิกฤติ

แรงอัดที่เกิดขึ้นสูงสุด50,000 กก.ที่ด้านขวาของช่องเปิดซึ่งกว้าง85 ซม.

$\emptyset P_{nw} = 0.55 f_c' A_g \left[1 - \left(\frac{kl_c}{32h}\right)^2\right] = 83{,}202$ กก. $> 50{,}000$ กก.

ตารางที่ 7.2.1(1) การออกแบบเพื่อต้านทานแรงอัดและโมเมนต์ดัดพร้อมกัน

Load Case	Location	P_u (ton)	M_u (ton)	V_u (ton)
U1	Top	37.3	50.46	7.28
U1	Bottom	35.7	34.49	18.19
U2EQDX	Top	27.98	37.84	5.46
U2EQDX	Bottom	26.81	25.87	13.64
U2EQDX	Top	144.42	200.1	28.35
U2EQDX	Bottom	148.31	136.5	71.33
U2EQDY	Top	27.98	37.85	5.46
U2EQDY	Bottom	26.81	25.87	13.65
U2EQDY	Top	27.98	37.85	5.46
U2EQDY	Bottom	26.81	25.87	13.65
U3EQDX	Top	17.14	28.88	5.29
U3EQDX	Bottom	15.33	18.83	11.82
U3EQDX	Top	16.65	26.14	5.5
U3EQDX	Bottom	17.41	20.09	10.76
U3EQDY	Top	19.09	25.62	3.72
U3EQDY	Bottom	17.87	17.52	9.27
U3EQDY	Top	19.09	25.62	3.72
U3EQDY	Bottom	17.87	17.52	9.27

การออกแบบเพื่อต้านแรงเฉือน

กำลังต้านแรงเฉือนคอนกรีต $(\emptyset V_u) = \emptyset(0.53\sqrt{f'_c} + \rho f_y) A_{cv} =$ $35{,}342$ กก. หรือ 35.34 ตัน

ดังนั้น 35.34 ตัน < 71.33 ตัน คอนกรีตรับแรงไม่ไหวจึงต้องเพิ่มขนาดเหล็ก ควรใช้เหล็ก DB20@0.25

ตารางที่ 7.2.1(2) ออกแบบเหล็กเสริมเชื่อมต่อระหว่างผนังชั้นที่ 1 กับคานคอดิน ขนาดของเหล็กเสริม

Load case	K414	K415	K416	K418
U1	-4.4	4.34	-19.45	-11.82
U2EQDX	-3.33	3.25	-14.59	-8.86
U2EQDY	-3.33	3.25	-14.59	-6.04
U3EQDX	-2.35	2.26	-9.94	-6.04
U3EQDY	-2.35	2.26	-9.94	-6.04

จะเห็นว่าแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 4.34 ตัน

สมมุติใช้เหล็ก 1-DB16 กำลังรับแรงกด 7.24 ตัน > 4.34 ตัน

ระยะฝังพื้นฐานของเหล็กระหว่างผนังกับคานคอดิน

$l_{db} = 25.657079$ ซม. > 27.52 ซม.

ดังนั้นระยะฝังที่ต้องการ 27.52 ซม.

ดังนั้นใช้ระยะฝัง 30 ซม. > 27.52 ซม. ใช้ได้

Load Case	K2		K5		K65		K66		K67	
	P	V	P	V	P	V	P	V	P	V
U1	-0.2	-1.27	5.39	3.11	-5.12	6.11	-5.53	4.81	0.47	-6.73
U2EQDX	-0.15	-0.95	4.05	2.33	-3.84	4.58	-4.15	3.61	0.35	-5.05
U2EQDY	-0.15	-0.95	4.05	2.33	-3.84	4.58	-4.15	3.61	0.35	-5.05
U3EQDX	-0.1	-0.63	2.76	1.59	-2.62	3.1	-2.8	2.48	0.24	-3.43
U3EQDY	-0.1	-0.63	2.76	1.59	-2.62	3.1	-2.8	2.48	0.24	-3.43

ตรวจสอบกำลังรับแรงดึง และ แรงเฉือนเหล็ก RB6 และ DB16

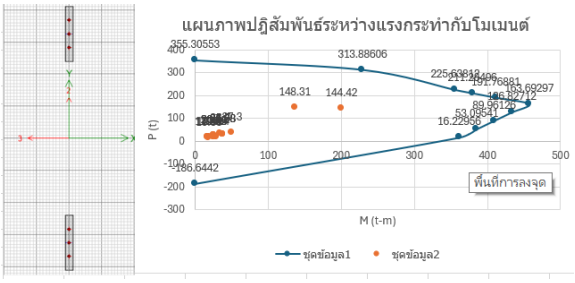
กำลังต้านแรงเฉือนมีค่าเท่ากับ $\emptyset V = 8.59\ ton > 6.11\ ton\ ok.$

กำลังต้านทานแรงดึงในเหล็ก RB6 $\emptyset V_n = 9.09\ ton > 5.39\ ton\ ok.$

กำลังต้านแรงเฉือนในเหล็ก DB16

$\emptyset V_n = 8.7\ ton > 5.39\ ton\ ok.$

ดังนั้นใช้เหล็ก RB6@0.15m



รูปที่ 17 กราฟแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและโมเมนต์ ของอาคาร 5 ชั้น กำแพง W16B

7.2.2 รายละเอียดการคำนวณใน W3

ความหนา 12 ซม. คิดที่ความกว้าง 100 ซม.

ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดในกำแพง

แนวตั้ง ต้องไม่น้อยกว่า 0.0012 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด

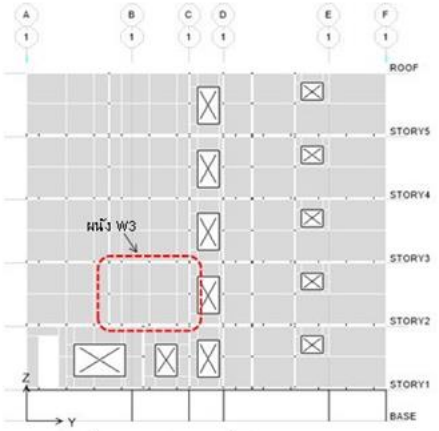
$A_s = 0.0012bt = 1.44$ ซม.^{2}/ม.

ดังนั้น ใช้ DB10@0.25 $A_s = 3.14$ ซม.^{2}/ม. $>$ 2.4 ซม.^{2}/ม.

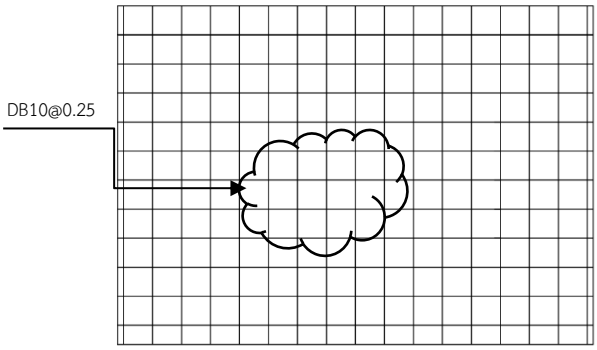
แนวนอน ต้องไม่น้อยกว่า 0.002 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด

$A_s = 0.0025bt = 2.4$ ซม.^{2}/ม.

ดังนั้น ใช้ DB10@0.25 $A_s = 3.14$ ซม.^{2}/ม. $>$ 2.4 ซม.^{2}/ม.



รูปที่ 18 ผนัง W3 ที่จะแสดงการออกแบบ



รูปที่ 19 ตะแกรงเหล็กเสริมแนวตั้งและแนวนอนในผนัง

เหล็กตามยาวบนและช่องเปิด

แรงดึงที่เกิดขึ้นด้านบนสุดสูงสุด 30 ตัน

$T_u \leq \emptyset A_s f_y$

$N \geq 2.7$ เส้น ดังนั้นใช้เหล็ก 3-DB20

แรงดึงที่เกิดขึ้นด้านล่างสูงสุด 60 ตัน

$T_u \leq \emptyset A_s f_y$

$N \geq 5.3$ เส้น ดังนั้นใช้เหล็ก 6-DB20

เหล็กทแยงกันร้าว

แรงดึงที่เกิดขึ้นแนวทแยงสูงสุด 12 ตัน[4]

สมมติใช้ 3-DB16

$\emptyset T_n = \emptyset n A_s f_y cos45 = 16{,}277$ กก. หรือ 16.27 ตัน

$T_u < \emptyset T_n$ ใช้ได้ ดังนั้น ใช้ 3-DB16

ตรวจสอบกำลังต้านแรงแบกทาน (Bearing Strength)

น้ำหนักบรรทุกรวม $W_u = 13{,}337$ กก./ม.

วางพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปบนผนัง $b = 5$ ซม. คิดต่อ 1 ม. หรือ 100 ซม.

เนื้อที่รับแรงกด $A_1 = 500$ ซม.^{2}

กำลังรับแรงกดของคอนกรีต $= \emptyset 0.85 f_c' A_s = 104{,}125$ กก.

ดังนั้นกำลังแบกทาน 104,125 กก. $>$ แรงกระทำ 2,667 กก. ใช้ได้

กำลังของผนังรับน้ำหนัก (Bearing Wall) ในจุดวิกฤติ

แรงอัดที่เกิดขึ้นสูงสุด40,000กก.ที่ด้านขวาของช่องเปิดซึ่งกว้าง100ซม.

$\emptyset P_{nw} = 0.55 f_c' A_g \left[1 - \left(\frac{kl_c}{32h}\right)^2\right] = 97{,}885$ กก. $>$ 40,000 กก.

ตารางที่ 7.2.2(1) การออกแบบเพื่อต้านทานแรงอัดและโมเมนต์ดัดพร้อมกัน

Load Case	Location	P_u (ton)	M_u (ton)	V_u (ton)
U1	Top	37.3	50.46	7.28
U1	Bottom	35.7	34.49	18.19
U2EQDX	Top	27.98	37.84	5.46
U2EQDX	Bottom	26.81	25.87	13.64
U2EQDX	Top	144.42	200.1	28.35
U2EQDX	Bottom	148.31	136.5	71.33
U2EQDY	Top	27.98	37.85	5.46
U2EQDY	Bottom	26.81	25.87	13.65
U2EQDY	Top	27.98	37.85	5.46
U2EQDY	Bottom	26.81	25.87	13.65
U3EQDX	Top	17.14	28.88	5.29
U3EQDX	Bottom	15.33	18.83	11.82
U3EQDX	Top	16.65	26.14	5.5
U3EQDX	Bottom	17.41	20.09	10.76
U3EQDY	Top	19.09	25.62	3.72
U3EQDY	Bottom	17.87	17.52	9.27
U3EQDY	Top	19.09	25.62	3.72
U3EQDY	Bottom	17.87	17.52	9.27

การออกแบบเพื่อต้านแรงเฉือน

กำลังต้านแรงเฉือนคอนกรีต $(\emptyset V_u) = \emptyset(0.53\sqrt{f'_c} + \rho f_y)A_{cv} =$ 85,238 กก. หรือ 85.24 ตัน

ดังนั้น 85.24 ตัน $>$ 10.45 ตัน คอนกรีตรับแรงไม่ไหวจึงต้องเพิ่มขนาดเหล็กควรใช้เหล็ก DB20@0.25

ตารางที่ 7.2.2(2) ออกแบบเหล็กเสริมเชื่อมต่อระหว่างผนังชั้นที่ 1 กับคานคอดิน

ขนาดของเหล็กเสริม

Load case	K2521	K389	K391	K3073
U1	-3.37	-13.79	-16.62	-5.75
U2EQDX	-2.53	-10.35	-12.46	-4.31
U2EQDY	-2.53	-10.35	-12.46	-4.31
U3EQDX	-1.73	-7.08	-8.56	-2.96
U3EQDY	-1.73	-7.08	-8.56	-2.96

จะเห็นว่าแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 21.98 ตัน

สมมุติใช้เหล็ก 1-DB16 กำลังรับแรงกด 7.24 ตัน $>$ 0 ตัน

ระยะฝังพื้นฐานของเหล็กระหว่างผนังกับคานคอดิน

$l_{db} = 25.657079$ ซม. $>$ 27.52 ซม.

ดังนั้นระยะฝังที่ต้องการ 27.52 ซม.

ดังนั้นใช้ระยะฝัง 30 ซม. > 27.52 ซม. ใช้ได้

Load Case	K399		K400		K465		K466		K467	
	P	V	P	V	P	V	P	V	P	V
U1	-1.27	-2.19	0.127	-0.87	1.77	3.99	0.94	6.04	-0.175	3..43
U2EQDX	-1.63	-1.64	0.096	-0.65	1.33	2.99	0.71	4.53	-0.131	2.57
U2EQDY	-1.63	-1.64	0.096	-0.65	1.33	2.99	0.71	4.53	-0.131	2.57
U3EQDX	-1.1	-1.13	0.065	-0.48	0.88	2.04	0.48	3.08	-0.086	1.74
U3EQDY	-1.1	-1.13	0.065	-0.48	0.88	2.04	0.48	3.08	-0.086	1.74

ตรวจสอบกำลังรับแรงดึง และ แรงเฉือนเหล็ก RB6 และ DB16

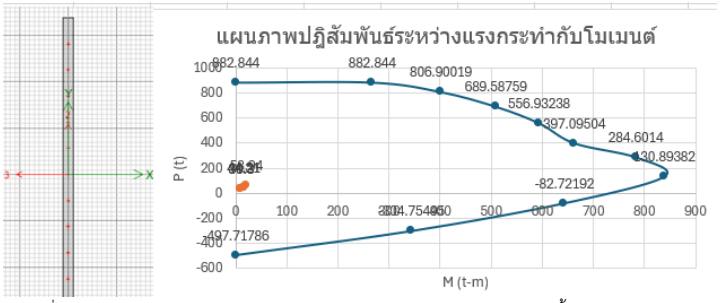
กำลังต้านแรงเฉือนมีค่าเท่ากับ $\emptyset V \ = 8.61\ ton\ >\ 6.04\ ton\ ok.$

กำลังต้านทานแรงดึงในเหล็ก RB6 $\emptyset V_n \ = 9.12\ ton\ >\ 1.77\ ton\ ok.$

กำลังต้านแรงเฉือนในเหล็ก DB16

$\emptyset V_g \ = 8.7\ ton\ >\ 1.77\ ton\ ok.$

ดังนั้นใช้เหล็ก RB6@0.15m



รูปที่ 20 กราฟแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและโมเมนต์ ของอาคาร 5 ชั้น กำแพง W3

ผลของความถี่และทิศทางของการเคลื่อนที่ที่ฐานต่อแรงเฉือนที่ฐานของอาคาร

Effect of frequency and direction of ground motion on building base shear

วรัชยา ค้ำชู[1,*] หลิววารินทร์ กันธวัง[2] และ ทรงพล กิตติเกริกพล[3]

[1,2,3] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

**Corresponding author; E-mail address: 63102439@up.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันแผ่นดินไหวในประเทศไทยสร้างความเสียหายต่อโครงสร้างอาคารเป็นจำนวนมาก ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้อาคารมีความเสียหายได้มาก คือ ขนาดและความถี่ของคลื่นแผ่นดินไหว หากคลื่นแผ่นดินไหวมีความถี่เดียวกันกับความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างอาคารจะทำให้โครงสร้างเกิดการสั่นไหวที่รุนแรง แต่เหตุการณ์แผ่นดินไหวในอดีตพบว่าอาคารแบบเดียวกันในบริเวณพื้นที่เดียวกันเกิดความเสียหายไม่เหมือนกัน ดังนั้น ทิศทางของคลื่นแผ่นดินไหวจึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่ง การศึกษานี้จึงทำการศึกษาผลกระทบของความถี่และทิศทางของการเคลื่อนที่ที่ฐานต่อแรงเฉือนที่ฐานโครงสร้างอาคารเรียน 3 ชั้น และ 4 ชั้น โดยใช้โปรแกรม ETABS ผลการศึกษาพบว่าแรงเฉือนที่ฐานจะมากเมื่อมีความถี่ของการเคลื่อนที่ที่ฐานใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติในโหมดแรกและมีทิศทางที่สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ในโหมดแรก

คำสำคัญ : คลื่นแผ่นดินไหว, แรงเฉือนที่ฐาน, ทิศทางการสั่น

Abstract

At present, the earthquake in Thailand has caused significant damage to building structures, which is an important factor leading to severe damage to buildings. It is the magnitude and frequency of earthquakes. If the frequency of seismic waves is the same as the natural frequency of the building structure, it will cause severe vibration of the structure. But in past earthquakes, the damage to the same building in the same area was not the same. Therefore, The direction of the earthquake is another factor. This study investigated the effects of base movement frequency and direction on the shear forces of 3-story and 4-story school building foundations. Floors using ETABS program Research has found that when the movement frequency of the base is close to the natural frequency in the first mode and has a direction consistent with Ka, the shear force of the base is very high. Move in the first mode.

Keywords: seismic waves, base shear, vibration direction

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยสร้างความเสียหายต่อโครงสร้างอาคาร บ้านเรือน เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะโครงสร้างที่อยู่ด้านล่างจะได้รับผลกระทบและความเสียหายมาก จากสถิติที่ผ่านมาภาคเหนือเป็นบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวบ่อยที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากมีรอยเลื่อนที่มีพลัง ประกอบกับพื้นที่ใกล้เคียงไม่ว่าจะเป็นประเทศพม่า หรือประเทศจีนตอนใต้ ก็ล้วนเป็นพื้นที่แผ่นดินไหว ดังนั้น ภาคเหนือจึงได้รับผลกระทบและความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวมากกว่าภาคอื่น ๆ ผลกระทบที่เกิดจากแผ่นดินไหว มีทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น ทำให้เกิดพื้นดินแตกแยก อาคารสิ่งก่อสร้างพังทลาย ไฟไหม้ แผ่นดินถล่ม เส้นทางการคมนาคมเสียหายและถูกตัดขาด ซึ่งในกรณีที่แผ่นดินไหวมีความรุนแรงมาก จะทำให้เมืองทั้งเมืองอาจถูกทำลายจนหมดและมีผู้เสียชีวิตจำนวนมาก

จากการศึกษางานวิจัยได้ข้อสังเกตว่า แผ่นดินไหวในบางพื้นที่มีผลกระทบต่ออาคารทำให้มีความเสียหายมาก บางหลังเกิดความเสียหายน้อย หรืออาคารแบบเดียวกันในบริเวณเดียวกันบางบริเวณเกิดการถล่มแต่บางบริเวณไม่เกิดความเสียหายเลย ดังนั้น โครงงานนี้จึงต้องการศึกษาถึงผลของความถี่และทิศทางการเคลื่อนที่ที่ฐานต่อแรงเฉือนที่ฐานของอาคารโดยการสร้างแบบจำลองอาคารโรงเรียนแล้วให้คลื่นความเร่งการสั่นที่ฐานที่ความถี่ต่าง ๆ และให้คลื่นในทิศทางต่าง ๆ แล้ววิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาผลของความถี่การสั่นที่ฐานต่อแรงเฉือนที่ฐานของอาคารโรงเรียน

1.2.2 ศึกษาผลของทิศทางการสั่นที่ฐานต่อแรงเฉือนที่ฐานของอาคารโรงเรียน

1.3 อบเขตการวิจัย

1.3.1 อาคารที่ใช้ในการศึกษาเป็นอาคารโรงเรียนสูง 3 ชั้น และ 4 ชั้น

1.3.2 ใช้โปรแกรม ETABS สำหรับสร้างแบบจำลองอาคารเรียนและวิเคราะห์โครงสร้าง

1.3.3 การเคลื่อนที่ที่ฐานจะให้เป็นฟังก์ชันไซน์ที่คาบการสั่นต่างๆ และมีทิศทางตามมุม 0-180 องศา

1.3.4 ไม่คำนึงถึงผนังก่ออิฐ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

ทราบถึงผลกระทบของความถี่และทิศทางของการเคลื่อนที่ที่ฐานต่อแรงเฉือนที่ฐานของอาคาร ซึ่งจะทำให้การออกแบบอาคารรับแรงแผ่นดินไหวมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสั่นพ้องจะเกิดขึ้นเมื่อโครงสร้างถูกกระทำด้วยแรงพลศาสตร์ที่มีความถี่เท่ากับหรือใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง โครงสร้างจะสั่นด้วยแอมพลิจูดที่มากและเกิดแรงภายในโครงสร้างมากตามไปด้วย ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างจะควบคุมให้ความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างมากกว่าหรือน้อยกว่าความถี่ของแรงที่กระทำ สำหรับแรงแผ่นดินไหวจะเป็นความเร่งสั่นที่ฐาน หากความเร่งที่ฐานสั่นด้วยความถี่ที่ตรงกับความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าอาคาร จะทำโครงสร้างเกิดการสั่นไหวที่มากขึ้นนั่นเอง

Kanya and Rao [4] ได้สำรวจอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งหมด 3 หลัง (อาคารปกติ อาคารที่มีรูปทรงไม่สมมาตร 2 แบบ อาคารรูปร่าง + และอาคารรูปร่าง H) แล้วนำอาคารรูปร่างทั้งหมดมาให้คลื่นแผ่นดินไหวที่ฐานใน 12 ทิศทาง ซึ่งใช้ค่าตั้งแต่ 0-180 องศา โดยเพิ่มทีละ 15 องศา ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวมาจากเหตุการณ์ Northridge การวิเคราะห์เป็นแบบประวัติเวลาเชิงเส้น (Linear time history analysis) โดยใช้โปรแกรม ETABS version 15 ผลการศึกษาพบว่าผลตอบสนองทางโครงสร้างมีการเปลี่ยนแปลงตามทิศทางที่ให้คลื่นแผ่นดินไหว และอาคารรูปร่าง H มีความเสี่ยงต่อแผ่นดินไหวมากกว่าอาคารรูปร่างปกติและอาคารรูปร่าง +

เสรี ระสุโสะ และ ประกิต ชมชื่น [3] ได้ศึกษาพฤติกรรมโครงสร้างอาคารภายใต้แรงแผ่นดินไหวในจังหวัดกรุงเทพมหานคร โครงสร้างเดิมออกแบบและก่อสร้างก่อนมีกฎหมายกำหนดให้คำนึงถึงผลของแผ่นดินไหวและมีชั้นอ่อน อาคารสูงที่ได้เลือกศึกษาเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก มีจำนวนชั้นทั้งหมด 34 ชั้น ความสูงทั้งหมด 129.60 เมตร ได้วิเคราะห์โดยใช้วิธีประวัติเวลาแบบเชิงเส้น (Linear Time History Analysis ,LTHA) โดยมีค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างเดิม เพื่อเปรียบเทียบผลของสติฟเนสแนวดิ่ง ผลของแรงเฉือนที่ฐานรวม ผลของการเคลื่อนตัวด้านข้าง และผลของการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น จากผลการวิเคราะห์พบว่า โครงสร้างพื้นชั้น 7 มีค่าสติฟเนสด้านแนวดิ่ง แกน X แกน Y ร้อยละ 39.40 ,41.30 ของชั้นถัดไปตามลำดับ และร้อยละ 41.30 ,43.90 ของค่าเฉลี่ยของสามชั้นถัดไปตามลำดับ น้อยกว่าข้อกำหนดมาตรฐาน มยผ. 1301/1302 ดังนั้นโครงสร้างพื้นชั้น 7 มีพฤติกรรมเป็นชั้นที่อ่อนมาก ผลของค่าเฉลี่ยแรงเฉือนรวมที่ฐานโดยใช้ค่าความเร่งผลตอบสนองที่คาบการสั่นของอาคาร ที่ 0.2 วินาที 0.5 วินาที 1.0 วินาที 1.5 วินาที 2.0 วินาที และ3.0 วินาที ในแนวแกน X แกน Y พบว่าค่าแรงเฉือนรวมที่ฐานมีแนวโน้มที่สอดคล้องกันทั้ง 2 แกน มีค่าผลตอบสนองแตกต่างกัน โดยในแนวแกน X มีค่าตอบสนองสูงสุดที่คาบการสั่นของอาคาร ที่ 1.0 วินาที และในแนวแกน Y มีค่าตอบสนองมากสุดที่คาบการสั่นของอาคาร ที่ 2.0 วินาที

ชาญณรงค์ แถนสีแสง [2] ได้ศึกษาผลของความเสียหายของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดจากภัยพิบัติแผ่นดินไหวเป็นอาคารเรียนแบบมาตรฐานในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ได้ศึกษารูปแบบเสริมกำลังเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมืองกระทรวงมหาดไทย พ.ศ.2552 จำนวน 3 รูปแบบด้วยโครงแกงแนงเหล็กรูปพรรณ ก.) แบบ Braced ข.) แบบ Inverted ค.) แบบ Knee Braced ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม ETABS 2013 จากการทดลองตำแหน่งที่ได้รับความเสียหายขั้นรุนแรงทั้งจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมและจากการสำรวจอาคารจริง พบว่ามีตำแหน่งที่ตรงกัน ผลของความเสียหายของอาคารเรียนแบบ สปช.105/29 ปรับปรุง 2 ชั้น (บันไดด้านเดียว) จากการจำลองโครงสร้างอาคารเรียนแบบ 3 มิติ ตามมาตรฐาน มยผ.1302 และทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมอัตโนมัติ พบว่า แรงเฉือนที่ฐานของอาคาร ที่กระทำกับอาคารเรียนหลังนี้ คำนวณได้ตามมาตรฐาน มยผ.1302 คิดเป็น 23.20% ของน้ำหนักโครงสร้าวประสิทธิผลของอาคารเรียน แรงเฉือนที่ฐานอาคารที่กระทำกับตัวอาคารเรียน มีค่า = 94.50 tonf หรือ 94,500 kgf ที่ส่งผลให้อาคารเรียนได้รับความเสียหาย และตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ X เมื่อถูกผลักด้วยแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง X และทิศทาง Y เมื่อวิเคราะห์แบบอิลาสติกจากโปรแกรมในชั้นที่ Story 2 มีค่าเท่ากับ 1.466 cm และ 3.312 cm ตามลำดับ และแบบพลาสติกมีค่า 2.904 cm และ 6.562 cm ตามลำดับ ในทิศทาง Y ตำแหน่ง Line 9-ก ซึ่งอัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ มีค่า 0.0187487 มากกว่าค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ยอมให้ตามข้อกำหนดมาตรฐาน มยผ.1302 คือ 0.010 จึงทำให้หน้าตัดแตกร้าว และผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารเรียน เมื่อมีการเสริมกำลังด้วยโครงแกงแนงเหล็ก แบบตรงศูนย์และเยื้องศูนย์ แยกเป็น 3 รูปแบบ 1.) การเสริมกำลังแบบ Braced มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลงในทิศทาง X = 2.766 cm และทิศทาง Y = 0.410 cm คิดเป็นการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลง 4.75% และ 93.75% ตามลำดับ 2.) การเสริมกำลังแบบ Inverted V มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลงในทศทาง X = 2.744 cm และทิศทาง Y = 0.444 cm คิดเป็นการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลง 5.50% และ 93.23% ตามลำดับ 3.) การเสริมกำลังแบบ Knee Braced มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลงในทิศทาง X = 2.806 cm และทิศทาง Y = 3.292 cm คิดเป็นการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลง 3.37% และ 49.83% ตามลำดับ เห็นได้ว่ารูปแบบเสริมกำลังต้านทานแผ่นดินไหวทั้ง 3 รูปแบบมีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ในทิศทาง X และทิศทาง Y ที่ลดลง และอยู่ภายในข้อกำหนด มยผ. 1302 จากการศึกษาพบการเสริมกำลังแบบ Knee Braced มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ลดลงน้อยกว่าอีก 2 รูปแบบ และยังพบว่า การเสริมกำลังแบบ Braced และ แบบ Inverted V มีค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ในทิศทาง X และทิศทาง Y ที่ใกล้เคียงกันมาก

นิธิศ จำปางาม และ นคร ภู่วโรดม [1] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าความถี่ธรรมชาติของกลุ่มอาคารที่พัก อาศัยขนาดเล็กด้วยการตรวจวัดการสั่นสะเทือนในสภาพแวดล้อม (Ambient vibration test) แล้ววิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติโดยการแปลงฟูเรียร์ การศึกษาดำเนินกับอาคารจำนวน 33 หลัง โดยจำแนกเป็น อาคารที่เป็นคอนกรีตจำนวน 15 อาคาร และอาคารที่เป็นคอนกรีตผสมกับอาคารไม้จำนวน 18 อาคาร และแบ่งเป็นอาคารชั้นเดียว จำนวน 4 หลัง อาคาร 2 ชั้น จำนวน 27 หลัง อาคาร 3 ชั้น จำนวน 2 หลัง จากผลการศึกษาพบว่า ความถี่ธรรมชาติหลักของอาคารส่วนใหญ่ มีค่าอยู่ระหว่าง 3 ถึง 5 Hz. อย่างไรก็ตาม พบความแปรปรวนของค่าความถี่ธรรมชาติในอาคารอื่นๆ ค่อนข้างมาก โดยผลของบางอาคารพบค่าความถี่ธรรมชาติหลักมีค่าอยู่ในช่วง 5 ถึง 10 Hz. ซึ่งแสดงถึงความหลากหลายของรูปแบบอาคารขนาดเล็กที่ศึกษาที่มีความแตกต่างของรูปแบบโครงสร้างและวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง นอกจากนั้น ผลการทดลองยังพบอีกว่าในอาคารที่ใช้วัสดุคอนกรีตล้วนมีค่าความถี่ธรรมชาติใกล้เคียงกันในแต่ละตำแหน่งของการตรวจวัดในทางตรงกันข้ามอาคารที่เป็นคอนกรีตผสมกับไม้การตรวจวัดในส่วนโครงสร้างที่ใช้วัสดุเดียวกันได้ผลของความถี่ธรรมชาติที่ใกล้เคียงกัน แต่ในส่วนของโครงสร้างที่ใช้วัสดุต่างกันได้ผลความถี่ธรรมชาติที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาได้แสดงถึงคุณลักษณะของอาคารขนาดเล็กเหล่านี้ที่ค่าความถี่ธรรมชาติมีความไวต่อพารามิเตอร์ของโครงสร้างอย่างมาก

แบบอาคารเรียน 3 ชั้น 12 ห้องเรียน [5] โดย สำนักบริหารการศึกษาท้องถิ่น กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย.จาก www.yothathai.com

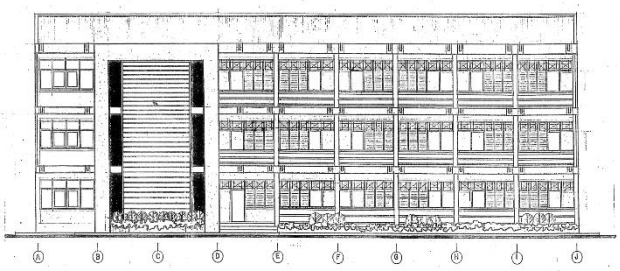
แบบอาคารเรียน 4 ชั้น ล่างโล่ง [6] กลุ่มออกแบบและก่อสร้าง สำนักอำนวยการ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ. (2559). จาก www.yothathai.com

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

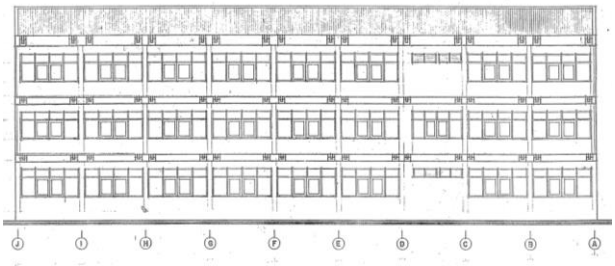
3.1 อาคารที่ใช้ทำการศึกษา

การศึกษานี้ได้เลือกอาคารเรียน 2 อาคาร คืออาคารเรียน 3 ชั้น [5] และ อาคารเรียน 4 ชั้น [6]

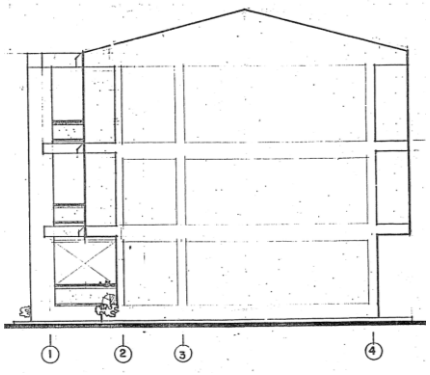
รูปที่ 1 แสดงรูปด้านของอาคารเรียน 3 ชั้น จำนวน 12 ห้อง ยาว 36.00 เมตร กว้าง 15.00 เมตร สูง 12.90 เมตร เป็นอาคารเรียนที่ได้จากสำนักบริหารการศึกษาท้องถิ่น



(ก) รูปด้านหน้า



(ข) รูปด้านหลัง



(ค) รูปด้านข้าง

รูปที่ 1 รูปด้านของอาคารโรงเรียน 3 ชั้น

รูปที่ 2 แสดงแบบแปลนของอาคารเรียน 3 ชั้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

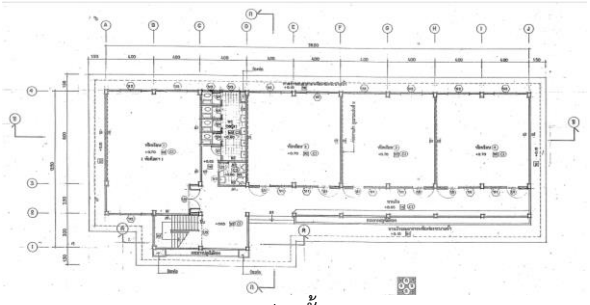
- เสา โครงสร้างเสา

1.ขนาดหน้าตัด 0.25x0.40 เมตร เสา C1 , C2

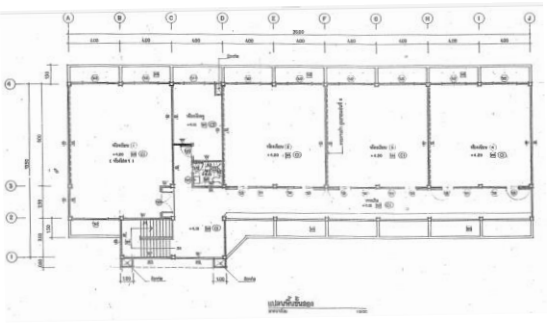
2.ขนาดหน้าตัด 0.25x0.25 เมตร เสา C3

- คาน เป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็ก มีทั้งหมด 6 ขนาด ดังนี้

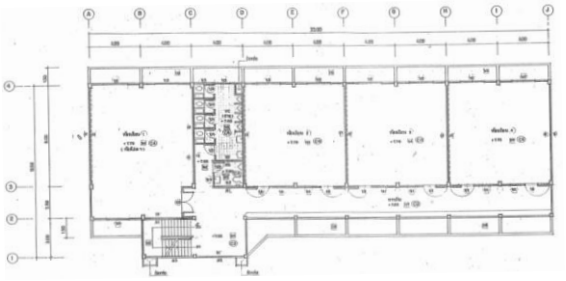
1. ขนาดหน้าตัด 0.15x0.30 เมตร คาน GB1 , B1 , GBX , BX , B2
2. ขนาดหน้าตัด 0.15x0.40 เมตร คาน B10 , RB1
3. ขนาดหน้าตัด 0.15x0.70 เมตร คาน GB5'
4. ขนาดหน้าตัด 0.20x0.35 เมตร คาน B3
5. ขนาดหน้าตัด 0.20x0.40 เมตร คาน GB2 , GB3 , GB5 , B4 , B8 , B9 , B11 , BC , BC1 , RBC , RB2 , RB3
6. ขนาดหน้าตัด 0.20x0.50 เมตร คาน RB4
7. ขนาดหน้าตัด 0.20x0.70 เมตร คาน GB4 , GB6
8. ขนาดหน้าตัด 0.25x0.70 เมตร คาน B5 , B6 , B7



(ก) แปลนชั้น 1



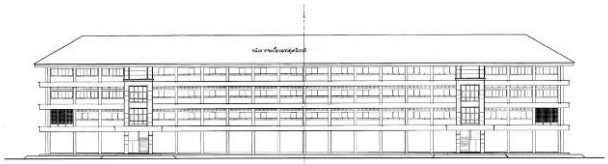
(ข) แปลนชั้น 2



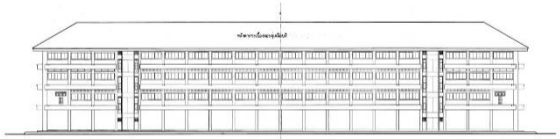
(ค) แปลนชั้น 3

รูปที่ 2 แบบแปลนของอาคารเรียน 3 ชั้น

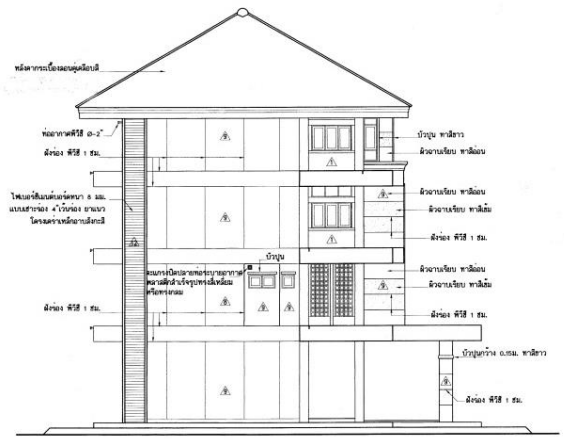
รูปที่ 3 แสดงแบบรูปด้านของอาคารเรียน 4 ชั้น จำนวน 24 ห้อง ยาว 80.00 เมตร กว้าง 10.50 เมตร สูง 18.35 เมตร



(ก) รูปด้านหน้า



(ข) รูปด้านหลัง



(ค) รูปด้านข้าง

รูปที่ 3 รูปด้านของอาคารโรงเรียน 3 ชั้น

รูปที่ 4 แสดงแบบแปลนของอาคารเรียน 4 ชั้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

- เสา โครงสร้างเสา

1.ขนาดหน้าตัด 0.45x70 เมตร เสา C1 , C2 , C3

2.ขนาดหน้าตัดเสา 0.45x0.45 เมตร เสา C4 , C5

- คาน เป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็ก มีทั้งหมด 5 ขนาด ดังนี้

1.ขนาดหน้าตัด 0.40x0.20 เมตร คาน G1

2.ขนาดหน้าตัด 0.50x0.25 เมตร คาน G2

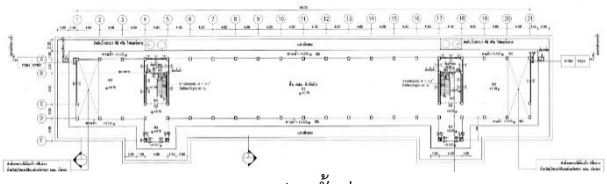
3.ขนาดหน้าตัด 0.50x0.25 เมตร คาน G3

4.ขนาดหน้าตัด 0.50x0.20 เมตร คาน B1 , B2

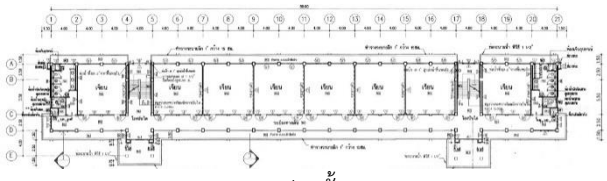
5.ขนาดหน้าตัด 0.40x0.20 เมตร คาน B3 , B6

6.ขนาดหน้าตัด 0.60x0.25 เมตร คาน B4 , B5

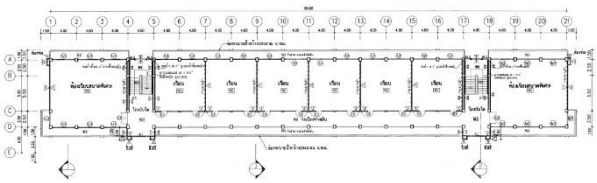
7.ขนาดหน้าตัด 0.60x0.35 เมตร คาน B7 , B8



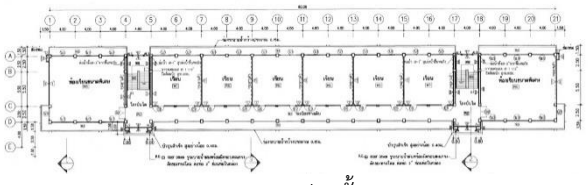
(ก) แปลนชั้นล่าง



(ข) แปลนชั้น 2



(ค) แปลนชั้น 3



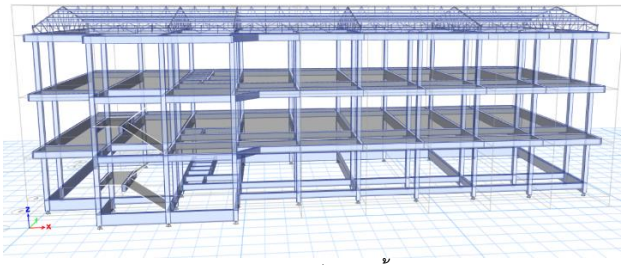
(ง) แบบแปลนชั้น 4

รูปที่ 4 แสดงแบบแปลนของอาคารเรียน 4 ชั้น

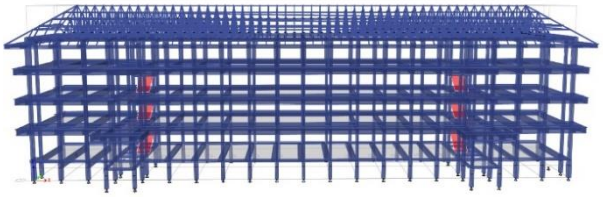
3.2 การจำลองโครงสร้างอาคารใน ETABS

เมื่อได้แบบอาคารเรียนแล้วจะนำมาขึ้นแบบจำลองอาคารด้วยโปรแกรม ETABS version 2020 ให้น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead load) เท่ากับ 150 kg/m² กำหนดน้ำหนักบรรทุกจร (Live load) เท่ากับ 300 kg/m² แบบจำลองของอาคารเรียน 3 ชั้น และ 4 ชั้น แสดงในรูปที่ 5

การสั่นที่ฐานจะให้เป็นความเร่งที่ฐานด้วยฟังก์ชัน $\ddot{x}_g = 5\sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$ m/s² โดยที่ T คือ คาบการสั่นที่ฐานต่าง ๆ อาคารเรียน 3 ชั้น จะกำหนดคาบการสั่น T = 0.5 , 0.6 , 0.7 , 0.8 , 0.9 และ 1 อาคารเรียน 4 ชั้น กำหนดคาบการสั่น T = 0.8 , 0.9 , 1.0 , 1.1 , 1.2 และ 1.3 ทิศทางของคลื่นความเร่งที่ฐานนี้จะทำมุม 0-180 องศา โดยเพิ่มมุมทีละ 10 องศา โดยแตกคลื่นความเร่งที่ฐานตามแกน X และแกน Y ของอาคาร เมื่อทำการรันโปรแกรมแล้วจะพิจารณาลักษณะการเสียรูปของอาคารเรียนและนำค่าที่ได้มาทำการวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมทิศทางกับแรงเฉือนที่ฐานสูงสุด



(ก) อาคารเรียน 3 ชั้น



(ข) อาคารเรียน 4 ชั้น

รูปที่ 5 แบบจำลองโครงสร้างอาคารเรียน

4. ผลการศึกษา

4.1 การสั่นธรรมชาติของอาคารเรียน

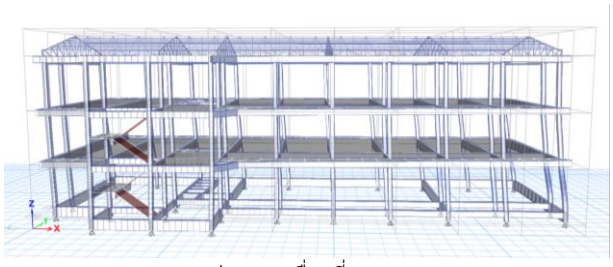
แรงแผ่นดินไหว เป็นแรงที่มีลักษณะที่เรียกว่า โหลดแบบไดนามิก มีลักษณะที่กระทำเป็นระลอก ซึ่งการที่มีแรงมากระทำเป็นระลอกก็ย่อมส่งผลให้โครงสร้างเกิดการสั่นไหวได้ในหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับลักษณะของการกระตุ้นจากแรงแผ่นดินไหว อาจกระทำด้วยความถี่หนึ่งในทิศทางหนึ่ง แล้วต่อมาก็เปลี่ยนความถี่เปลี่ยนทิศทาง ส่งผลทำให้การสั่นไหวของโครงสร้างอาคารเกิดขึ้นได้หลากหลายรูปแบบ การสั่นแต่ละรูปแบบนี้เรียกว่า mode shape หากความถี่ของการสั่นไหวของโครงสร้างอาคารที่เกิดขึ้นเป็นรอบด้วย mode shape หนึ่งๆ นี้ เกิดไป “พ้อง” ตรงกันกับความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างอาคารใน mode shape นั้นๆ โครงสร้างอาคารก็จะเกิดการสั่นที่รุนแรง

พฤติกรรมที่ความถี่ของการสั่นของโครงสร้างอาคารจากการกระตุ้น ไม่ว่าจะมาจากการสั่นของพื้นดิน (ground motion) ที่ก่อให้เกิดแรงแผ่นดินไหว เข้าปะทะกับตัวอาคารในทิศทางต่างๆและเท่ากับความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างอาคารที่ mode shape เดียวกัน เรียกพฤติกรรมนี้ว่า “การสั่นพ้อง”

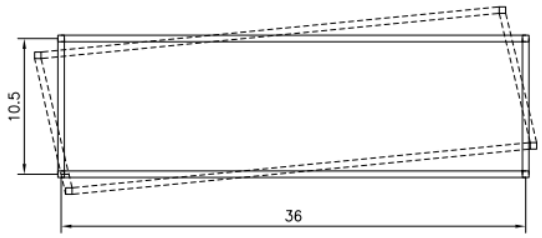
โดยจากผลการศึกษา ทำให้ได้รูปแบบของพฤติกรรมของโครงสร้างดังนี้

4.1.1 อาคารเรียน 3 ชั้น

คาบการสั่นธรรมชาติของอาคารในโหมดที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 0.8148 วินาที โดยมีลักษณะการเสียรูปในลักษณะบิดของตัวอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 6



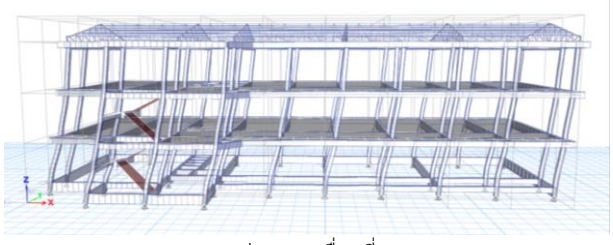
(ก) รูปร่างการเคลื่อนที่ของอาคาร



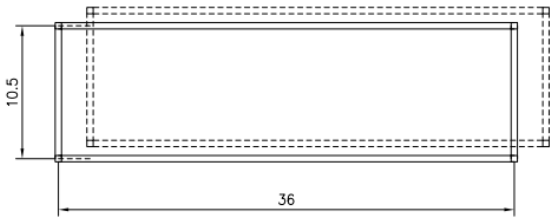
(ข) การเคลื่อนที่ชั้นหลังคา

รูปที่ 6 การสั่นธรรมชาติของโหมดที่ 1 อาคารเรียน 3 ชั้น

การสั่นของอาคารในโหมดที่ 2 จะมีค่าธรรมชาติของอาคารเท่ากับ 0.6474 วินาที โดยมีลักษณะการเสียรูปในลักษณะเคลื่อนที่ในทิศทางแกน X และ แกน Y แต่เคลื่อนที่ในทิศทางแกน X มากกว่า ดังรูปที่ 7



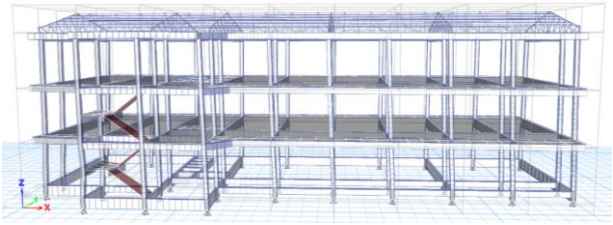
(ก) รูปร่างการเคลื่อนที่ของอาคาร



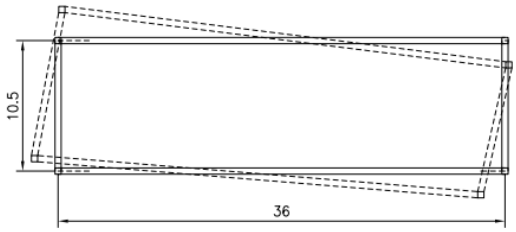
(ข) การเคลื่อนที่ของชั้นหลังคา

รูปที่ 7 การสั่นธรรมชาติของโหมดที่ 2 อาคารเรียน 3 ชั้น

คาบการสั่นธรรมชาติของอาคารในโหมดที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.4952 วินาที โดยมีลักษณะการเสียรูปในลักษณะบิดของตัวอาคารเช่นเดียวกับโหมดที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 8



(ก) รูปร่างการเคลื่อนที่ของอาคาร

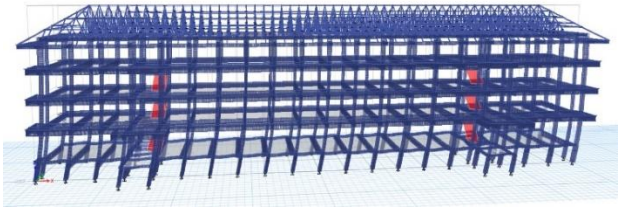


(ข) การเคลื่อนที่ของชั้นหลังคา

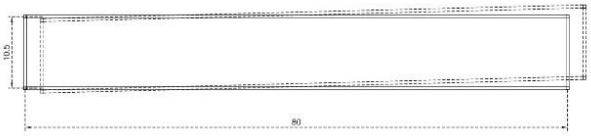
รูปที่ 8 การสั่นธรรมชาติของโหมดที่ 3 อาคารเรียน 3 ชั้น

4.1.2 อาคารเรียน 4 ชั้น

คาบการสั่นธรรมชาติของอาคารในโหมดที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 1.2163 วินาที โดยมีลักษณะการเสียรูปของอาคารในลักษณะเคลื่อนที่ในทิศทางแกน X โดยมีการบิดเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 9



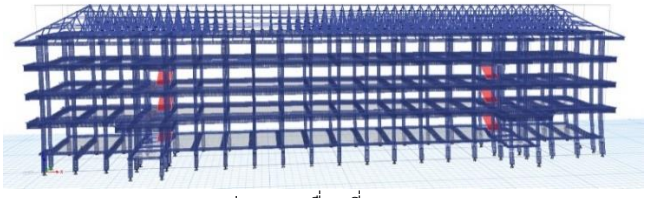
(ก) รูปร่างการเคลื่อนที่ของอาคาร



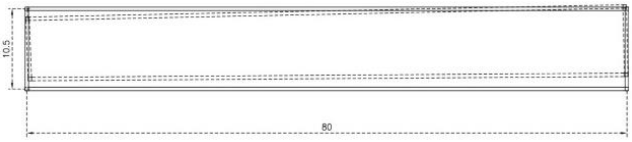
(ข) รูปการเคลื่อนที่ชั้นหลังคา

รูปที่ 9 การสั่นธรรมชาติของโหมดที่ 1 อาคารเรียน 4 ชั้น

คาบการสั่นธรรมชาติของอาคารในโหมดที่ 2 จะมีค่าเท่ากับ 1.0839 วินาที โดยมีลักษณะการเสียรูปในลักษณะเคลื่อนที่ในทิศทางแกน Y ดังแสดงในรูปที่ 10



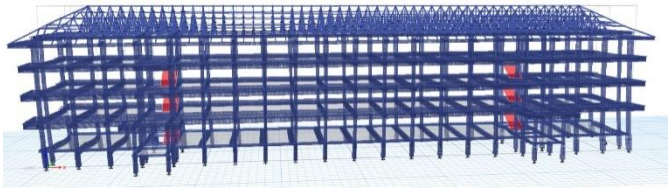
(ก) รูปร่างการเคลื่อนที่ของอาคาร



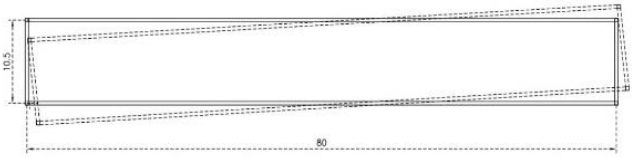
(ข) รูปการเคลื่อนที่ชั้นหลังคา

รูปที่ 10 การสั่นธรรมชาติของโหมดที่ 2 อาคารเรียน 4 ชั้น

คาบการสั่นธรรมชาติของอาคารในโหมดที่ 3 จะมีค่าเท่ากับ 0.9671 วินาที โดยมีลักษณะการเสียรูปในลักษณะบิดตัวของอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 11



(ก) รูปร่างการเคลื่อนที่ของอาคาร



(ข) รูปการเคลื่อนที่ชั้นหลังคา

รูปที่ 11 การสั่นธรรมชาติของโหมดที่ 3 อาคารเรียน 4 ชั้น

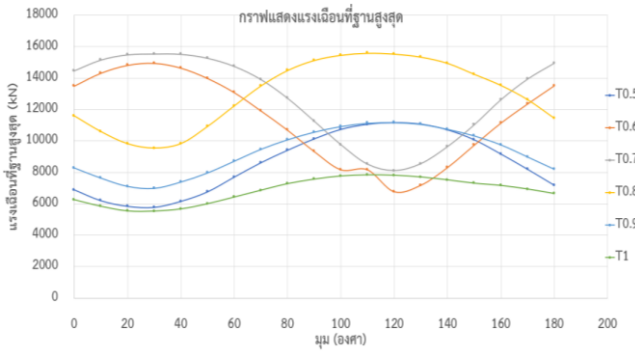
4.2 แรงเฉือนที่ฐานของอาคาร

4.2.1 อาคารเรียน 3 ชั้น

แรงเฉือนรวมที่ฐานสูงสุดจากผลการรันโปรแกรมเนื่องจากความเร่งที่ฐานทุกกรณีจะถูกนำมาแสดงผลเป็นกราฟเส้น โดยแต่ละเส้นจะมีค่าความถี่ของความเร่งการสั่นที่ฐานเท่ากัน แต่แรงเฉือนที่ฐานสูงสุดจะเปลี่ยนแปลงไปตามมุมทิศทางที่ให้คลื่นความเร่งที่ฐานกระทำกับอาคาร รูปที่ 12 จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าแรงเฉือนที่ฐานสูงสุดจะเกิดขึ้นที่มุม 20 และ 30 องศา มีคาบการสั่นที่ 0.6 0.7 0.8 จะตรงกับคาบการสั่นธรรมชาติของอาคารใน

โหมดที่ 1 และ โหมดที่ 2 ซึ่งโหมดที่ 1 มีลักษณะการเสียรูปแบบบิด ส่วนโหมดที่ 2 มีลักษณะการเสียรูปทิศทาง x y

ค่าแรงเฉือนที่ฐานต่ำสุดที่คาบการสั่นเท่ากับ 0.5 0.9 และ 1.0 ซึ่งไม่ตรงกับความถี่ธรรมชาติของอาคารจะไม่ทำให้อาคารเกิดเสียรูป

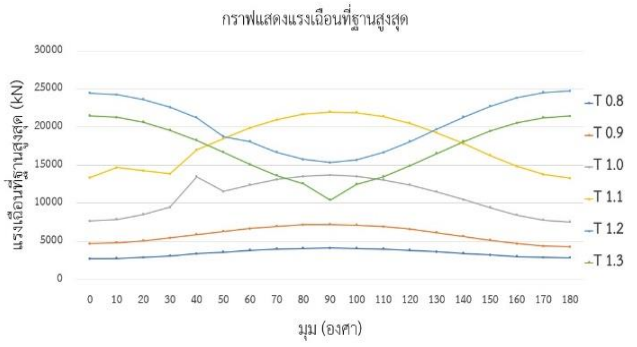


รูปที่ 12 ค่าแรงเฉือนรวมสูงสุดที่ฐานอาคาร 3 ชั้น ที่ความถี่และมุมต่าง ๆ

4.2.2 อาคารเรียน 4 ชั้น

แรงเฉือนรวมที่ฐานสูงสุดจากผลการรันโปรแกรมเนื่องจากความเร่งที่ฐานทุกกรณีจะถูกนำมาแสดงผลเป็นกราฟเส้น โดยแต่ละเส้นจะมีค่าความถี่ของความเร่งการสั่นที่ฐานเท่ากัน แต่แรงเฉือนที่ฐานสูงสุดจะเปลี่ยนแปลงไปตามมุมทิศทางที่ให้คลื่นความเร่งที่ฐานกระทำกับอาคาร รูปที่ 13 จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าแรงเฉือนที่ฐานสูงสุดจะเกิดขึ้นที่มุม 180 องศา มีคาบการสั่นที่ 1.1 1.2 1.3 จะตรงกับคาบการสั่นธรรมชาติของอาคารในโหมดที่ 1 และ โหมดที่ 2 ซึ่งโหมดที่ 1 มีลักษณะการเสียรูปในทิศทางแกน X ส่วนโหมดที่ 2 มีลักษณะการเสียรูปในทิศทางแกน Y

ค่าแรงเฉือนที่ฐานต่ำสุดที่คาบการสั่นเท่ากับ 0.8 0.9 1.0 ซึ่งไม่ตรงกับความถี่ธรรมชาติของอาคารจะไม่ทำให้อาคารเกิดเสียรูป



รูปที่ 13 ค่าแรงเฉือนรวมสูงสุดที่ฐานอาคาร 4 ชั้น ที่ความถี่และมุมต่าง ๆ

5. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารเรียน 3 ชั้น และอาคารเรียน 4 ชั้น โดยให้การเคลื่อนที่ที่ฐานเป็นความเร่งที่คาบการสั่นต่าง ๆ และให้มีทิศทางกระทำกับอาคารตั้งแต่ 0-180 องศา สรุปได้ว่า แรงเฉือนที่ฐานสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติในโหมดที่ 1 และโหมดที่ 2 ของอาคาร ทิศทางที่ทำให้เกิดแรงเฉือนที่ฐานมากจะขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนที่ของโหมดที่ 1 และโหมดที่ 2 โดยแรงเฉือนที่ฐานจะมากขึ้นก็ต่อเมื่อความถี่ของธรรมชาติที่เพิ่มสูงขึ้นไปซึ่งสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ในแต่ละโหมดและทิศทางการเคลื่อนที่ ถ้าหากคาบความถี่ธรรมชาติที่ลดลงอาจส่งผลให้มีแรงเฉือนที่ฐานต่ำลงจะทำให้เกิดการสั่นที่น้อยลง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง “ผลของความถี่และทิศทางการเคลื่อนที่ที่ฐานส่งผลต่อแรงเฉือนที่ฐานของอาคาร” เพื่อการสำเร็จการศึกษาของนักศึกษาระดับปริญญาตรี สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร. สมบูรณ์ เชี่ยงฉิน ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาความรู้ ข้อคิด คำแนะนำและปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆจนกระทั่งงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกคนที่อำนวยความสะดวกและช่วยเหลือการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณงานวิชาการและพัฒนานิสิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์อนุมัติงบประมาณ เพื่อสนับสนุนการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้ทำวิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] นิธิศ จำปางาม และ นคร ภู่วโรดม (2566). การตรวจวัดความถี่ธรรมชาติของอาคารพักอาศัยขนาดเล็กในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28, ภูเก็ต, 24-26 พฤษภาคม 2566.

[2] นายชาญณรงค์ แถนสีแสง (2558). การศึกษารูปแบบเสริมกำลัง เพื่อต้านทานแผ่นดินไหวของโครงสร้างอาคารเรียน วิทยา จังหวัดเชียงราย.

[3] เสรี ระสุโส๊ะ และ ประกิต ชมชื่น (2565). พฤติกรรมของอาคารสูงเดิม ที่มีชั้นอ่อนภายใต้แผ่นดินไหวสำหรับกรุงเทพมหานคร. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27, เชียงราย, 24-26 สิงหาคม 2565.

[4] M. S. Kanya and B D V C. M. Rao (2015). Effect of earthquake incidence angle on seismic performance of RC buildings.

[5] เอกภาพ บุญเพลิง. (2545). แบบอาคารเรียน 3 ชั้น ล่างโล่ง 12 ห้องเรียน. จาก www.yothathai.com

[6] กลุ่มออกแบบและก่อสร้าง สำนักอำนวยการ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ. (2559). แบบอาคารเรียน 4 ชั้น ล่างโล่ง. จาก www.yothathai.com

การเพิ่มความสามารถการรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานของแผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูป โดยการเสริมเหล็กตามยาวเพิ่มพิเศษ

Increase service load capacity of concrete slab on metal deck by using additional longitudinal reinforcing bar

กิตติชัย หว่างพัฒน์[1,*] กิตติศักดิ์ ฝั้นกาศ[2] พิสุทธิ์ผกา ม่วงประเสริฐ[3] สุจิตรา ปักเขทานัง[4] จักรรินทร์ งามเมือง[5]

[1,2,3,4,5] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

**Corresponding author; E-mail address: 63101652@up.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมการดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตบนเหล็กสำเร็จรูปและการเพิ่มความสามารถการรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานโดยการเสริมเหล็กตามยาวเพิ่มพิเศษ ตัวอย่างทดสอบมี 2 ตัวอย่าง ให้แรงกระทำแบบ 2 จุด ความยาวระหว่างฐานรองรับ 2,800 mm ตัวอย่างที่ 1 เป็นการทดสอบโดยใช้แผ่นพื้นคอนกรีตบนเหล็กสำเร็จรูปที่ไม่มีการเสริมเหล็ก พบว่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ 36 kN ทำให้แผ่นพื้นคอนกรีตบนแผ่นเหล็กสำเร็จรูปเกิดการไถลแยกออกจากกัน ค่าความเครียดสูงสุดบริเวณพื้นเหล็กสำเร็จรูปผิวล่างประมาณ 264 ไมครอน และพื้นคอนกรีตเกิดรอยแตกร้าว ตัวอย่างที่ 2 เป็นแผ่นพื้นคอนกรีตบนแผ่นเหล็กสำเร็จรูปที่มีการเสริมเหล็กตามยาวเพิ่มพิเศษด้วยอัตราส่วน ρ_s เท่ากับ 0.009 และติดตั้งอุปกรณ์ต้านแรงเฉือนเพื่อชะลอการไถลแยกส่วน ผลการทดสอบพบว่าการเสริมเหล็กตามยาวเพิ่มพิเศษเข้าไปสามารถรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น 100 kN การแอ่นตัว 35.74 mm จากการทดสอบทั้ง 2 ตัวอย่าง จึงสรุปได้ว่าการเสริมเหล็กตามยาวเพิ่มพิเศษและอุปกรณ์ต้านแรงเฉือนช่วยเพิ่มความสามารถการรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานได้มากขึ้นประมาณ 2.7 เท่า จึงเป็นทางเลือกที่ช่วยลดต้นทุนในการก่อสร้างลงได้

คำสำคัญ: : พื้นเหล็กสำเร็จรูป, พื้นคอมโพสิต, อุปกรณ์ต้านแรงเฉือน

Abstract

This research studies the flexural behavior of concrete slabs on metal deck and increasing the service load capacity by adding extra longitudinal rebar. Two slab specimens were tested under two-point loading. The span length between the supports is 2,800 mm. Specimen 1 is concrete slab on metal deck without any reinforcement. It was found that the maximum load of 36 kN caused the slip apart concrete slab and metal deck. The maximum strain value of 264 micron was observed on the lower surface of metal deck and the concrete slab was developed cracks. Specimen 2 is concrete slab on metal deck reinforced by extra additional longitudinal rebar with ratio ρ_s of 0.009 and installed a shear connector to delay the slip between concrete and metal deck. It was found that additional longitudinal reinforcement was able to increase maximum load of 100 kN at deflection of 35.74 mm. Based on the test results, the additional longitudinal reinforcement and shear connector can increase the load capacity 2.7 times, which in turn reduced construction costs.

Keywords: Metal deck, Composite slab, Shear connector

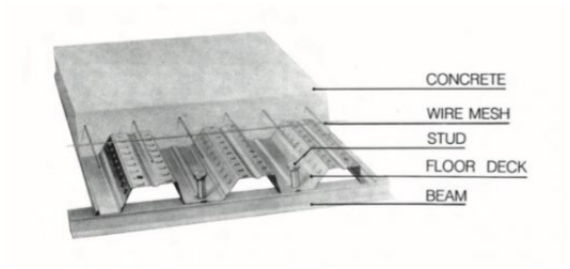
1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันมีการขยายตัวเมืองเพิ่มมากขึ้น จึงก่อให้เกิดการแข่งขันด้านอุตสาหกรรมการก่อสร้าง โดยการก่อสร้างอาคารคอนกรีต ประกอบด้วยองค์อาคารหลักสำคัญซึ่งจะมีโครงสร้างด้านบนได้แก่ พื้น เสา คาน แล้วยังมีโครงสร้างด้านล่างได้แก่ เสาเข็ม และฐานราก โครงสร้างที่สำคัญในการรับน้ำหนักบรรทุกจรที่มีความสำคัญอันดับแรกคือ พื้น ซึ่งปัจจุบันมีวิธีก่อสร้างหลายวิธี นอกจากโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบธรรมดาแล้วยังมีแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูป เข้ามามีบทบาทในวงการก่อสร้างที่มากขึ้น เนื่องจากสามารถประหยัดต้นทุนและเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างเป็นอย่างมาก แผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปผลิตจากเหล็กกล้ารีดขึ้นรูปเย็นมีลักษณะ ดังรูปที่ 1 มีการเคลือบสารกัลป์วาไนซ์ เพื่อเพิ่มสมรรถนะป้องกันสนิม และมีปุ่มนูนกระจายอยู่ตามสันของแผ่นเป็นเหมือนตัวยึดเกาะไม่ให้แผ่นพื้นเหล็กคอนกรีตไถลตัวออกจากกันซึ่งแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปเป็นทั้งแบบและเหล็กเสริมไปในตัวโดยแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปสามารถใช้กับโครงสร้างเหล็กและโครงสร้างปูน หากใช้โครงสร้างเหล็กจะใช้กับ Shear Stud ซึ่งมีหน้าที่ในการยึดแผ่นพื้นให้ติดกับคาน ด้วยปืนเชื่อมสลัก ส่วนปลายด้านหนึ่งจะมีลักษณะเป็นหัวไว้สำหรับยึดติดกับคอนกรีต ในขณะที่ใช้แผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปกับโครงสร้างปูน จะติดตั้งกับเหล็กหนวดกุ้ง คือเหล็กที่ยืดออกมาจากโครงสร้างเพื่อยึดชิ้นส่วนโครงสร้างที่หล่อหน้างานและ Edge From หรือแบบข้างเป็นแบบข้างพื้นโดยไม่ต้องถอดแบบเพื่อป้องกันการไหลของคอนกรีต แผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปถึงแม้จะมีปุ่มนูนอยู่ เมื่อให้น้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปเริ่ม

แอ่นตัวจึงทำให้มีการเลื่อนไถลระหว่างพื้นคอนกรีตกับแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปทำให้ไม่เป็นคอมโพสิตกัน

จากปัญหาดังกล่าว บทความวิจัยนี้มุ่งศึกษาความเป็นไปได้เกี่ยวกับพฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูปโดยการเสริมเหล็กตามยาวเพิ่มพิเศษและเสริมตัวต้านแรงเฉือนเข้าไปโดยคาดหวังว่าจะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้นเพื่อช่วยลดต้นทุนการก่อสร้างลงได้



รูปที่ 1 แผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักและเพิ่มประสิทธิภาพการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูป โดยเปรียบเทียบการรับน้ำหนักบรรทุกแบบไม่เสริมเหล็กกับเสริมเหล็กตามยาวเพิ่มพิเศษและติดตั้งอุปกรณ์ต้านแรงเฉือน

1.3 ขอบเขต

1. แผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูป รุ่น MD-50W ความหนาของแผ่นพื้นเหล็ก 1.00 mm ความหนาของแผ่นพื้นเหล็กถึงผิวบนของคอนกรีต 125 mm สามารถรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย 9.49 kN/m^2 ที่ความยาวช่วงฐานรองรับเท่ากับ 2,800 mm
2. กำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน 28 MPa.
3. ขนาดเหล็กเสริมตามยาว DB 12
4. ในการทดสอบจะให้น้ำหนักบรรทุกแบบจุด จำนวน 2 จุดที่ระยะ 1/3 ของความยาวช่วง 2,800 mm โดยวัดจากขอบปลายสุดของแผ่นพื้นทั้ง 2 ข้าง

1.4 ประโยชน์

1. เข้าใจพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูป
2. เพิ่มความยาวหรือเพิ่มการรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานของพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูป
3. ช่วยชะลอการไถลแยกตัวออกจากแผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูป
4. ลดต้นทุนในการก่อสร้าง

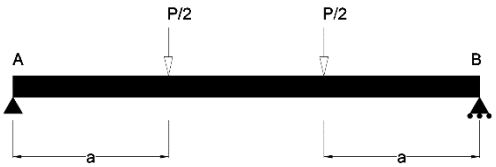
2. ทฤษฎีและงานวิจัย

2.1 ทฤษฎีการดัด

2.1.1. แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในพื้น

ภายใต้การกระทำของแรง พื้นจะต้านทานต่อแรงดังกล่าวโดยแรงเฉือนภายในและโมเมนต์ดัดภายในโดยที่จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามแนวแกนของพื้น

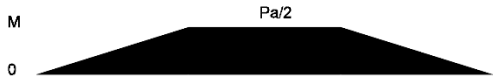
โดยทั่วไปแล้ว เมื่อพื้นถูกกระทำโดยแรงกระทำเป็นจุดหรือโมเมนต์หรือเมื่อค่าของแรงกระกระจายมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดที่จุดใดจุดหนึ่งบนพื้นแล้วสมการของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดและสมการของความชันของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดจะไม่มีความต่อเนื่องที่จุดดังกล่าว ในกรณีเช่นนี้สมการของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดจะต้องหามาจากแต่ละช่วงของพื้นที่อยู่ระหว่างความไม่ต่อเนื่องของแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อพื้น



รูปที่ 2 พื้นช่วงเดียวรับน้ำหรับกระทำสองจุด



รูปที่ 3 แรงเฉือนของพื้นช่วงเดียวรับน้ำหรับกระทำสองจุด



รูปที่ 4 โมเมนต์ดัดของพื้นช่วงเดียวรับน้ำหรับกระทำสองจุด

เมื่อพื้นถูกแรงกระทำเป็นจุด 2 จุด ตามรูปที่ 2 แรงเฉือนภายในมีค่าคงที่ตลอดความยาว a ส่วนช่วงกลางจะไม่มีแรงเฉือนตามรูปที่ 3 และโมเมนต์ภายในมีค่าคงที่ที่ช่วงกลางของความยาวตามรูปที่ 4 สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

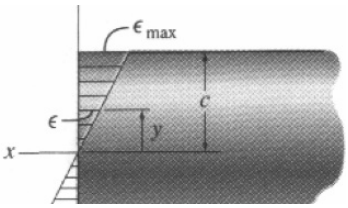
$$V_{\max} = \frac{P}{2} \quad (1)$$

$$M_{\max} = \frac{Pa}{2} \quad (2)$$

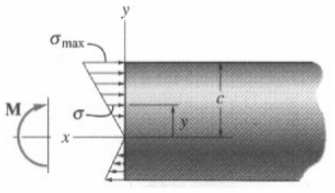
$$\Delta_{\max} = \frac{Pa}{48EI}\left(3L^2 - 4a^2\right) \quad (3)$$

2.1.2. หน่วยแรงดัด

เมื่อคานรับโมเมนต์ดัดดังรูป 5 จะเห็นว่าบริเวณส่วนบนจะมีระยะหดลงและส่วนล่างจะมีระยะยืดออกกล่าวคือด้านบนของคานรับ ความเค้นอัดและด้านล่างรับความเค้นดึง



รูปที่ 5 การแปรผันของความเครียด



รูปที่ 6 การแปรผันของความเค้นดัด

จากรูป 6 จะเห็นว่ามีพื้นผิวที่ไม่รับทั้ง ความเค้นอัด และ ความเค้นอัด เราเรียกพื้นที่ผิวนั้นว่า พื้นผิวที่เป็นกลาง ซึ่งเมื่อมองในรูปหน้าตัดจะเห็นว่าเป็นเส้นตรง เรียกว่า แกนสะเทิน ซึ่ง แกนกลางคือแกนเดียวกับแกนสะเทินตามทิศทางของโมเมนต์

ค่าของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่หน้าตัดของพื้นจะหาได้โดยใช้เงื่อนไขความสมดุลของโมเมนต์ลัพธ์ภายใน กับ โมเมนต์ที่เกิดจากการกระจายของหน่วยแรงรอบแกนสะเทิน จะได้สมการ (4)

$$\sigma_{\max} = \frac{Mc}{I} \tag{4}$$

โดยที่ σ_{max} คือ หน่วยแรงตั้งฉากสูงสุด

M คือ โมเมนต์ภายใน

c คือ ระยะตั้งฉากจากแกน neutral axis ถึงจุดบนหน้าตัดของคาน

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดคาน

จาก Hooke's law จะได้ดังสมการ (5)

$$\sigma = E\varepsilon \tag{5}$$

2.1.3. การดัดในพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ใช้หลักการเดียวกันกับออกแบบคานเสริมเหล็ก เมื่อคานรับน้ำหนักบรรทุกคานจะเกิดการแอ่นตัวและโมเมนต์ดัดจะทำให้ด้านบนรับแรงอัด ส่วนด้านล่างจะรับแรงดึง แต่กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตนั้นต่ำกว่ากำลังรับแรงอัดมาก ดังนั้นจึงมีการใช้เหล็กเสริมช่วยรับแรงดึง ในการคำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัด Mn นั้นจะคำนวณจากแรงคู่ควบที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคานคือแรงอัดคอนกรีต C และแรงดึงในเหล็กเสริม T คูณด้วยระยะห่างระหว่างทั้งสอง แต่เนื่องจากหน่วยแรงอัดบนคอนกรีตมีการกระจายไม่เป็นเส้นตรงทำให้คำนวณค่อนข้างยุ่งยาก C.S. Whitney ได้เสนอวิธีการคำนวณที่ให้ผลเทียบเท่า โดยใช้การกระจายหน่วยแรงรูปสี่เหลี่ยมเทียบเท่า หน่วยแรงในคอนกรีตจะมีค่าเท่ากับ 0.85fc' คงที่จากผิวด้านรับแรงอัดเข้ามาถึงความลึก a = β1c ดังรูปที่ 7 การออกแบบการรับโมเมนต์ดัดแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูป เหมือนกับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว แต่ว่าจะใช้แผ่นเหล็กสำเร็จรูปกับเหล็กเส้นในการรับแรงดึง

$$M_n = F_a\left(d - \frac{a}{2}\right) + F_d\left(d' - \frac{a}{2}\right) \tag{6}$$

$$F_a = \begin{cases} E_a\varepsilon_a A_a ; \varepsilon_a < \varepsilon_{ya} \\ f_{ya} A_a ; \varepsilon_a \geq \varepsilon_{ya} \end{cases} \tag{7}$$

$$F_d = \begin{cases} E_d\varepsilon_d A_d ; \varepsilon_a < \varepsilon_{ya} \\ f_{yd} A_d ; \varepsilon_a \geq \varepsilon_{ya} \end{cases} \tag{8}$$

โดยที่ M_n คือ โมเมนต์ (N-mm)

F_a คือ แรงภายในเหล็กแผ่น (N)

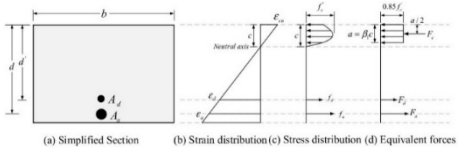
F_d คือ แรงภายในเหล็กเสริม (N)

a คือ ระยะที่คอนกรีตรับกำลังอัด (mm)

c คือ ระยะห่างจากแรงอัดถึงแกนกลาง (mm)

d คือ ระยะทางจากหลังพื้นคอนกรีตถึงศูนย์กลางของแผ่น metal deck (mm)

d' คือ ระยะทางจากหลังพื้นคอนกรีตถึงศูนย์กลางของเหล็กเสริม (mm)

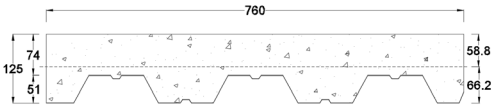


รูปที่ 7 การวิเคราะห์ของแผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูป

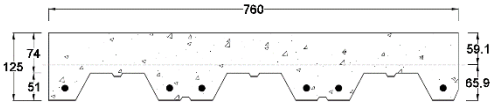
2.1.4. การหาแกนสะเทินและโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดแผ่นพื้นคอมโพสิต

การหาแกนสะเทินของแผ่นพื้นคอมโพสิตจะสามารถแบ่งพื้นที่ออกได้เป็น 5 ส่วนส่วนของพื้นที่ของเหล็กจะทำการคูณอัตราส่วนโมดูลัส(n)โดยแกนสะเทินของพื้นที่แต่ละส่วนมีระยะตามแนวแกน y สามารถหาตำแหน่งของแกนสะเทินได้ดังสมการ (9) แกนสะเทินที่ได้จากการคำนวณของไม่เสริมเหล็กคือ 66.2 mm ดังรูปที่ 8 เสริมเหล็กคือ 65.9 mm ดังรูปที่ 9

$$\bar{y} = \frac{\sum Ay}{A} \quad (9)$$



รูปที่ 8 แกนสะเทินของแผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูป



รูปที่ 9 แกนสะเทินของแผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูปที่เสริมเหล็กตามยาว

การคำนวณหาโมเมนต์ความเฉื่อยของส่วนย่อยแต่ละส่วนรอบแกนที่พิจารณา โดยจะใช้ทฤษฎีแกนขนาดถ้าหน้าตัด A มีโมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนสะเทินของแต่ละพื้นที่เป็น $\bar{I}$ จะได้ว่าโมเมนต์ความเฉื่อย I ของพื้นที่รวมนี้รอบแกนสะเทินของพื้นที่รวมซึ่งขนาดกับแกนสะเทินของแต่ละพื้นที่อยู่ห่างกันเป็นระยะ d ได้ดังสมการ(10) โมเมนต์ความเฉื่อยที่ได้จากการคำนวณของไม่เสริมเหล็กคือ 128,869,627 mm^4 เสริมเหล็กคือ 131,580,710 mm^4

$$I = \sum(\bar{I} + Ad^2) \quad (10)$$

โดยที่ I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนสะเทิน

d คือ ระยะห่างระหว่างแกนสะเทินกับแกนที่ต้องการหาโมเมนต์ความเฉื่อย

2.2 งานวิจัย

จากงานวิจัยของ Sirimontree et al.[1] ศึกษาพฤติกรรมของเหล็ก-คอนกรีตแผ่นคอมโพสิตที่มีอัตราส่วนแรงเฉือนต่อความลึกที่ต่างกัน โดยมีการทดสอบ 4 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่าง S1 ,S2 จะมีความยาวเดียวกันคือ 2,500 mm. ระยะเฉือนต่างความลึกที่ 2.5 และตัวออย่าง S3, S4 จะมีความยาวเดียวกันคือ 3,000 mm. ระยะเฉือนต่างความลึกที่ 4.6 แล้วนำตัวอย่างมาทดสอบแรงดัด สรุปผลการทดสอบได้ว่า ความยาวที่สั้นกว่าสามารถรับแรงได้มากกว่าหมายความว่าความแข็งแรงของแผ่นพื้นคอมโพสิตเหล็กนั้นเพิ่มขึ้นตามการลดลงของอัตราส่วนระยะเฉือนต่อความลึก พฤติกรรมของแผ่นพื้นคอมโพสิตจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ก่อนการแตกของคอนกรีตและหลังการแตกของคอนกรีต โดยก่อนการแตกแผ่นเหล็กทำหน้าที่สัมพันธ์กับคอนกรีต ทำให้เส้นกราฟเป็นเส้นตรง ต่อมาเป็นที่ไม่ใช่เส้นตรง เกิดขึ้นทันทีหลังจากการแตกครั้งแรก เพราะทำให้คอนกรีตกับเหล็กเกิดการสูญเสียการยึดเกาะ โดยทั่วไปแล้วชิ้นงานเริ่มแตกร้าวตรงกลาง จากนั้นรอยแตกมีแนวโน้มที่จะเปิดออกและสังเกตเห็นการแตกใหม่ใต้จุดโหลดในตัวอย่าง S1 ด้วยระยะเฉือนที่สั้น รอยแตกจึงเกิดขึ้นในบริเวณที่มีการดัดงอโดยตรง ในขณะที่ S3 เกิดรอบร้าวใต้จุดโหลดความกว้างรอยแตก S3 มีขนาดใหญ่กว่า S1 เหตุผลเป็นที่เป็นได้คือ S1 มีความยืดหยุ่นที่น้อยกว่า S3 ทำให้รู้ว่าอัตราส่วนระยะเฉือนต่อความลึกส่งผลกระทบต่อกลไกความล้มเหลวของแผ่นพื้นคอมโพสิต

จากงานวิจัยของ Kaya [2] ดำเนินการทดลองเกี่ยวกับพื้นคอมโพสิตที่ไม่มีการใส่ shear stud โดยมีการทดลอง 2 แบบ ได้แก่ แบบที่ 1 การทดสอบแรงเฉือนโดยมี 4 ตัวอย่าง ที่มีความยาวแตกต่างกัน และแบบที่ 2 การทดการดัดโดยจะเป็นพื้นช่วงเดียว 10 ตัวอย่าง และพื้นสองช่วง 4 ตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างจะมีความยาว ความหนาพื้นคอนกรีต ความหนาของ metal deck ที่แตกต่างกัน โดยการทดสอบที่ 1 พบว่าจะเกิดความเค้นเฉือนมากเมื่อความยาวน้อย และความเค้นเฉือนน้อยเมื่อความยาวมาก การทดลองที่ 2 พบว่าค่าแรงเฉือนตามยาวมีผลอย่างมากในการรับโมเมนต์ดัด ค่าโมเมนต์สูงสุดที่แสดงในเส้นโค้งมีค่าครึ่งหนึ่งของความสามารถในการรับแรงดัด เนื่องจากการลื่นไถลระหว่างแผ่นเหล็กกับคอนกรีตทำให้กำลังของเหล็กนั้นพัฒนาได้ไม่เต็มที่

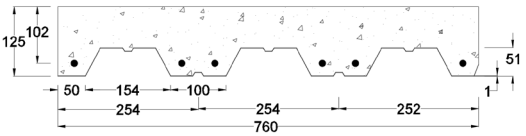
จากงานวิจัยของ นพดล ชุมวิโรจน์ และคณะ [3] ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการรับแรงดัดของแผ่นพื้นเหล็กประกอบที่เพิ่ม Perfobond Rib เพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านแรงเฉือนของพื้นแผ่นเหล็กประกอบ โดยยึดติดกับพื้นแผ่นเหล็กประกอบ เพื่อต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบแผ่นเหล็กประกอบให้มีประสิทธิภาพ สูงสุดและเปรียบเทียบกำลังของแผ่นพื้นเหล็กประกอบทั่ว ๆ ไปกับพื้นเหล็กประกอบที่เพิ่ม Perfobond Rib ตามลำดับ จากทฤษฎีและการทดสอบได้ข้อพิสูจน์ว่าพื้นแผ่นเหล็กประกอบที่มีการเพิ่ม Perfobond Rib มีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น 32 เปอร์เซ็นต์ นำมาเปรียบเทียบกับพื้นแผ่นเหล็กประกอบทั่ว ๆ ไป และทำให้รูปแบบจากการวิบัติแบบเปราะเปลี่ยนเป็นการวิบัติแบบเหนียว ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ตัวต้านแรงเฉือนนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบพื้นแผ่นเหล็กประกอบได้

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1 แผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูป

ในงานวิจัยนี้ใช้แผ่นพื้นเหล็กเคลือบด้วยกัลป์วาไนท์ รูปสี่เหลี่ยมคางหมูดังรูปที่ 10 ลอนสูง 51 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร พร้อมปุ่มนูน (Embossment) กว้าง 760 มิลลิเมตร ยาว 2,800 มิลลิเมตร พื้นที่หน้าตัด 1,222 mm^2/m, น้ำหนัก 10.33 kg/m^2, โมเมนต์ความเฉื่อย 584,600 mm^4/m จำนวน 2 ชิ้นตัวอย่าง



รูปที่ 10 หน้าตัดแผ่นเหล็กรีดลอนที่นำมาประกอบเป็นแผ่นพื้นคอมโพสิต

3.1.2 อุปกรณ์ต้านแรงเฉือน

อุปกรณ์ป้องกันไม่ให้เกิดการไถลระหว่างพื้นคอนกรีตกับพื้นเหล็กสำเร็จรูป จะใช้สกรูขนาด M12 ยาว 50 mm (M12x50)

3.1.3 คอนกรีต

คอนกรีตที่ใช้ทดสอบเป็นคอนกรีตมาตรฐานกำลังอัดประลัยที่ 28 MPa ในการทดสอบจะใช้แบบทรงกระบอกมาตราฐานทำการเก็บ 8 ชิ้นตัวอย่าง โดยจะทำการทดสอบที่อายุ 28 วัน

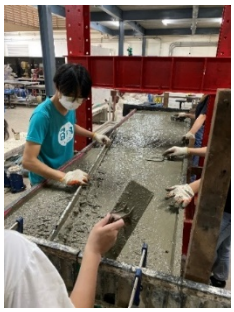
3.1.4 เหล็กเส้น

ใช้เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร (DB) คุณภาพ SD 40 โดยการเสริมในคอนกรีตบริเวณท้องลอน ของแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จสำเร็จรูป โดยการตัดตัวอย่างทดสอบขนาดความยาว 2,750 มิลลิเมตร จำนวน 1 ชิ้นตัวอย่าง

3.2 ตัวอย่างการทดสอบ

ในการทดสอบครั้งนี้ไม่มีการใส่ตะแกรงลวดเชื่อม (Wire Mesh) เนื่องจาก ไม่มีผลต่อการรับน้ำหนักบรรทุกแต่ช่วยป้องกันปัญหาเรื่องการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว (Shrinkage) ของคอนกรีตเท่านั้น

ก่อนที่จะเทคอนกรีตจะทำความสะอาดแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปด้วยการกวาดและฉีดน้ำจากนั้นเช็ดให้สะอาดเพื่อให้มั่นใจว่าไม่มีคราบหรือฝุ่นติดที่บริเวณผิวของแผ่นพื้นเหล็กเหล็กสำเร็จรูป จากนั้นขณะเทคอนกรีตจะทำการใช้เหล็กกระทุ้งและค้อนยาง คอยเคาะที่แบบอยู่เป็นระยะๆ เพื่อไล่ฟองอากาศและแต่งผิวหน้าคอนกรีตให้ได้ตามระดับที่ต้องการโดยใช้เทปกาวติดไว้ที่แบบควบคุมความหนาของคอนกรีตให้เท่ากันตลอดทั้งแผ่นพื้นเมื่อเทคอนกรีตลงแบบเสร็จเรียบร้อยแล้วจะทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อนำไปทดสอบกำลังอัดประลัยโดยใช้แบบทรงกระบอกมาตราฐานขนาด 150 x 300 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 เทคอนกรีตเข้าแบบตัวอย่าง และทำการปรับผิว

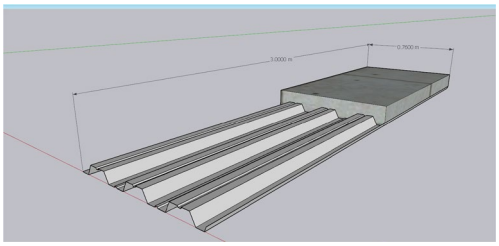
การบ่มคอนกรีตหลังเทคอนกรีตเสร็จประมาณ 24 ชั่วโมง ทำการรดน้ำที่แบบแผ่นพื้น และตัวอย่างทรงกระบอก ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 การบ่มคอนกรีตโดยใช้กระสอบหรือแผ่นแรป

3.2.1 ตัวอย่างการทดสอบที่ 1

ตัวอย่างการทดสอบที่ 1 มีขนาดความกว้าง 760 มิลลิเมตร ยาว 2,800 มิลลิเมตร ความหนารวมคอนกรีต 125 มิลลิเมตร ไม่มีการเสริมใดๆ ดังรูปที่ 13 และรูปที่ 14 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นจากนั้นนำผลการทดสอบที่ได้ไปอ้างอิงและเปรียบเทียบกับตัวอย่างการทดสอบที่ 2



รูปที่ 13 ภาพจำลองตัวอย่างการทดสอบที่ 1

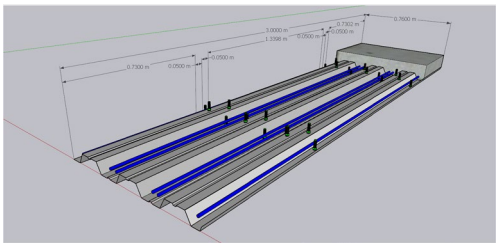


รูปที่ 14 แผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปสำหรับ ตัวอย่างการทดสอบที่ 1

3.2.2 ตัวอย่างการทดสอบที่ 2

ตัวอย่างการทดสอบที่ 2 มีขนาดความกว้าง 760 มิลลิเมตร 2,800 มิลลิเมตร ความหนารวมคอนกรีต 125 มิลลิเมตร เสริมอุปกรณ์ต้านแรงเฉือนในแนวราบใช้สกรูขนาด M12 วางในแนวเดียวกันกับลอน ทำการติดตั้งโดยการเจาะแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปให้มีขนาดพอดีกับสกรูและทำการล็อคด้วยหัวน็อตหกเหลี่ยมให้ติดกับแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปทุกลอน ทั้งลอนหงายและลอนคว่ำ ลอนละ 2 จุด และ เสริมเหล็กพิเศษตามยาวขนาด DB 12 โดยทำการวางที่ลอนคว่ำทุกลอน โดยจะเสริมเหล็กทั้งหมด 6 เส้น ดังรูปที่ 15

และรูปที่ 16 การทดสอบตัวอย่างนี้เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นคอมโพสิตและผลของการติดตัวอุปกรณ์ต้านแรงเฉือนและ เหล็กเสริมพิเศษตามยาว



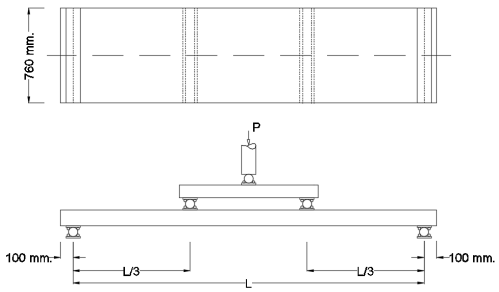
รูปที่ 15 แผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปสำหรับ ตัวอย่างการทดสอบที่ 2



รูปที่ 16 แผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปสำหรับ ตัวอย่างการทดสอบที่ 2

3.3 การติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบ

การทดสอบจะทำการวัดค่าหน่วยแรงและหน่วยการยืดหดที่เกิดขึ้นบนแผ่นพื้นโดยการติดตั้ง Strain Gauges ที่ตำแหน่งต่างๆ รวมทั้งวัดค่าความโก่งตัวที่กึ่งกลางแผ่นพื้นคอมโพสิต โดยให้น้ำหนักบรรทุกกระทำจำนวน 2 จุด ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 การจัดเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบแผ่นพื้นคอมโพสิต

3.3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ต้านแรงเฉือน

ในการติดตั้งสกรู M12 กับแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูป ได้ทำการเจาะแผ่นเหล็กเหล็กให้มีขนาดที่พอดีกับขนาดของสกรู แล้วใช้หัวน็อตหกเหลี่ยมในการล็อคระหว่างแผ่นเหล็กให้ติดกับคอนกรีต ดังรูปที่ 18 และใช้เป็นที่ยึดสำหรับเหล็กเสริมพิเศษ DB12 อีกด้วย โดยทำการติดตั้งให้ห่างจาก Point Load โดยมีระยะ 3 ระยะ คือ 200 mm, 250 mm และ 300 mm



รูปที่ 18 ติดตั้งน็อต M12 กับแผ่นพื้นเหล็ก

3.3.2 การติดตั้ง Strain Gauges

อุปกรณ์วัดค่าหน่วยแรงและหน่วยการยืดหด (Strain Gages) โดยใช้ประเภทคือ Strain Gauges Type FLAB-5-11-1LJC-F ดังรูปที่ 19 สำหรับวัดค่าแผ่นเหล็กสำเร็จรูปและวัดค่าสำหรับเหล็กเสริมพิเศษ



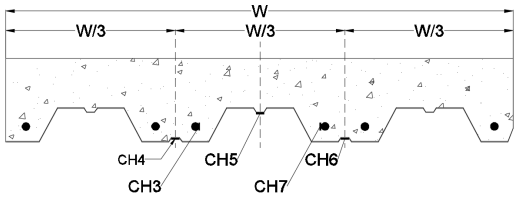
รูปที่ 19 Strain Gauges สำหรับแผ่นพื้นและเหล็กเสริมพิเศษ

ตำแหน่งการติดตั้ง Strain Gauges จะติดตั้งที่ผิวภายนอกของตัวอย่างการทดสอบ โดยระยะที่ติดตั้ง จะติดตั้งบริเวณกึ่งกลางของแผ่นพื้นเหล็กติดไปในทางเดียวกับลอนซึ่งแต่ละช่วงจะติดตั้ง Strain Gauges จำวนวน 5 จุด บริเวณท้องลอน ซึ่งจะติดตั้งทั้งหมด 3 จุด ตามลอนของแผ่นเหล็ก และที่เหล็กเสริมพิเศษทั้งหมด 2 จุด

1. ที่ตำแหน่งผิวล่างของท้องลอนของแผ่นพื้นคอมโพสิตจำนวน 2 จุด คือ CH4,CH6 และที่ตำแหน่งผิวล่างของสันลอน 1 จุดคือ CH5 ดังรูปที่ 20

2. ที่ผิวของเหล็กเสริมพิเศษ DB12 จำนวน 2 จุดคือ CH3 และ CH7 ติดบริเวณกึ่งกลางของความยาวของเหล็กเสริม ดังรูปที่ 20

รวมใช้ Strain Gauges ในตัวอย่างการทดสอบที่ 1 จำนวน 3 จุด และในตัวอย่างที่ 2 จำนวน 5 จุด การวัดค่าจะถูกบันทึกด้วยเครื่อง Data Logger



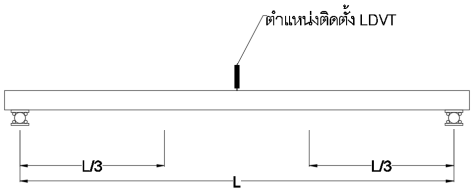
รูปที่ 20 รูปหน้าตัดแผ่นพื้นคอมโพสิต แสดงตำแหน่งที่ติดตั้ง Strain Gauges

3.3.3 การติดตั้ง LDVT

ตำแหน่งการติดตั้ง LDVT จะติดตั้งที่บริเวณกึ่งกลางของตัวอย่างการทดสอบที่ผิวบนของคอนกรีต เพื่อใช้วัดการยืดหดตัวดังรูปที่ 21 และรูปที่ 22



รูปที่ 21 LDVT สำหรับวัดการยืดหด



รูปที่ 22 รูปด้านข้างแผ่นพื้นคอมโพสิต แสดงตำแหน่งที่ติดตั้ง LDVT

3.3.4 การติดตั้ง Load Cell

ตำแหน่งการติดตั้ง Load Cell จะติดตั้งที่บริเวณกึ่งกลางของตัวอย่างการทดสอบ ดังรูปที่ 23 เพื่อใช้ในการแปลงน้ำหนักกระทำเป็นกราฟได้ โดยการต่อกับ Data Logger



รูปที่ 23 ตำแหน่งการติดตั้ง Load Cell

3.4 ขั้นตอนการทดสอบ

เมื่อทำการติดตั้ง Strain Gages และ Load Cell เข้ากับ Data Logger เมื่อเริ่มทำการทดสอบจะทำการกดตัวให้น้ำหนักบรรทุกที่กึ่งกลางความยาวของแผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูปและทำการจดบันทึกค่าน้ำหนักบรรทุกพร้อมทั้งค่าการแอ่นตัวที่กึ่งกลางความยาวของแผ่นพื้นและค่าความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆจาก Strain Gauges ที่ติดตั้งไว้ โดยจะสังเกตลักษณะการแตกร้าว รูปแบบการวิบัติ และการไถลแยกระหว่างพื้นคอนกรีตกับแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปโดยจะทำการสังเกตทันทีเมื่อตัวอย่างการทดสอบเกิดเสียงการแยกตัวของแผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูป

4. ผลการทดสอบ

4.1 คุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

จากการนำวัสดุที่ใช้มาประกอบเป็นแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูป มาทดสอบคุณสมบัติทางกล ได้ผลการทดลองดัง ตารงที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุเหล็ก

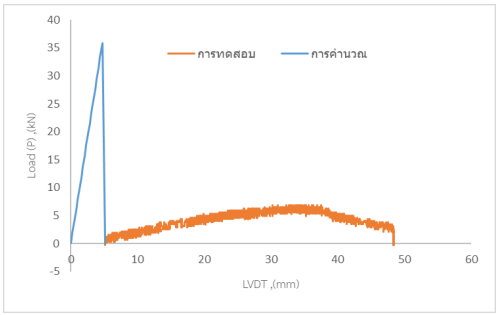
วัสดุ	แผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูป หนา 1 mm.	เหล็กเส้น DB 12 mm.
น้ำหนักบรรทุกที่จุดคราก (N)	6,374	60,507
ความเค้นที่จุดคราก (MPa)	209	535
มอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (MPa)	200,055	200,055
ความเครียดที่จุดคราก ε_y ($\mu\varepsilon$)	1,047	2,676

ตารางที่ 4.2 ตารางผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลของตอนกรีต

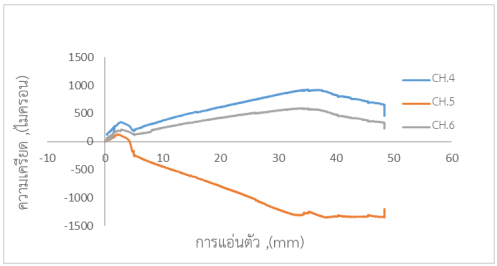
วัสดุ	คอนกรีต ตัวอย่างการทดสอบที่ 1	คอนกรีต ตัวอย่างการทดสอบที่ 2
น้ำหนักกดสูงสุด (N)	777,716	639,570
ความต้านแรงอัด (MPA)	43	36
มอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (MPa)	31,342	28,445
ε_c ($\mu\varepsilon$)	1,401	1,272

4.2 พฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกของตัวอย่างที่ 1

จากรูปที่ 24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุก ในช่วงการแอ่นตัวตั้งแต่ 4.73 mm พื้นคอนกรีตเกิดการไถลแยก (Slip) ระหว่างพื้นเหล็กสำเร็จรูปและเกิดรอยแตกร้าวขนาด 1 mm ที่บริเวณจุดที่ให้น้ำหนักบรรทุกมาทางด้านกึ่งกลางความยาวของแผ่นพื้นประมาณ 230-260 mm ไม่มีค่าของน้ำหนักบรรทุกเนื่องจาก Load Cell ไม่แสดงค่า จึงต้องทำการหยุดการทดสอบไปชั่วขณะแล้วทำการวิเคราะห์ผลโดยนำค่าการแอ่นตัวไปหา P ได้ค่าน้ำหนักบรรทุก 36 kN และเริ่มทำการทดสอบใหม่อีกครั้งเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นถึง 1 kN เริ่มมีเสียงแตกร้าวกับการแอ่นตัวเพิ่มขึ้นจนถึง 5.32 mm คอนกรีตเกิดการไถลแยกที่ปลายแผ่นพื้นแต่ยังไม่ทำให้แผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปวิบัติลงมาหลังจากนั้นเมื่อค่าของน้ำหนักบรรทุกประมาณ 5 kN เกิดรอยแตกร้าวขนาดใหญ่ขึ้นจนไปถึงพื้นที่คอนกรีตรับแรงอัดที่บริเวณจุดที่ให้น้ำหนักบรรทุกมาทางด้านกึ่งกลางความยาวของแผ่นพื้นประมาณ 230 - 260 mm ดังรูปที่ 26 จากนั้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นถึง 6 kN รอยแตกร้าวที่บริเวณเดิมมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีเสียงการไถลตัวของคอนกรีตการแอ่นตัวเพิ่มขึ้นจาก 5.32 mm เป็น 20.80 mm เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น 6 kN แผ่นพื้นเกิดการโก่งตัวบริเวณปลายของแผ่นพื้นโดยจะแอ่นขึ้นด้านบน การแอ่นตัวเพิ่มขึ้นเป็น 30 mm รอยแตกร้าวคอนกรีตเพิ่มขึ้น เป็น 7 mm ดังรูปที่ 27 หลังจากนั้นเมื่อค่าน้ำหนักบรรทุกประมาณ 6 kN การแอ่นตัวที่กึ่งกลางความยาวเพิ่มขึ้นจนถึงประมาณ 32 mm แผ่นพื้นจึงหักที่บริเวณแนวรอยแตกร้าวแล้ววิบัติลงมา



รูปที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุก ในตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด (Strain) กับการแอ่นตัว ในตัวอย่างการทดสอบที่ 1

จากพฤติกรรมที่เกิดขึ้นนั้นเมื่อพิจารณา น้ำหนักบรรทุก การแอ่นตัว และค่าหน่วยการยืดหดที่วัดไว้ พบว่า

1. แผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูปในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 36 kN แผ่นพื้นคอนกรีตเกิดการไถลแยกตัวออกจากพื้นเหล็กสำเร็จรูปทำให้เกิดรอยแตกร้าวขนาด 1 mm



รูปที่ 26 รอยแตกร้าว และ การไถล

2.พบการแอ่นตัวทันทีทันใด 1 ครั้ง ก่อนที่แผ่นพื้นจะวิบัติลงมา ดังรูปที่ 27



รูปที่ 27 การแอ่นตัวแผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูป

3. ที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 6 kN การแอ่นตัวที่กึ่งกลางความยาวแผ่นพื้นประมาณ 30 mm พบการแอ่นตัวทันทีทันใดซึ่งเกิดขึ้นพร้อมกับรอยแตกร้าวที่กึ่งกลางความยาวพื้นกับการไถลแยก (Slip) ระหว่างแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปกับพื้นคอนกรีตจากเหตุการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่าช่วงแรกแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปกับคอนกรีตยังคงเป็นคอมโพสิตกัน เมื่อแผ่นพื้นเริ่มรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการแอ่นตัวมากจนเกิดหน่วยแรงดึงในแนวราบที่ส่วนล่างของแผ่นพื้นเพิ่มขึ้นจนกระทั่งหน่วยแรงดึงในแนวราบนี้มากกว่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปทำให้แผ่นพื้นสูญเสียความเป็นคอมโพสิตจึงเกิดการไถลแยกออกจากกัน

4. การวิบัติลงมาของแผ่นพื้นจะเกิดขึ้นที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 6 kN การแอ่นตัวกลางความยาวแผ่นพื้นประมาณ 32 mm หลังจากการวิบัติลงมาพบว่าแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จเกิดการโก่งเดาะออกมาทั้งหมดและหักทันที

5. จากรูปที่ 25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด (Strain) กับการแอ่นตัวหลังจากที่พื้นคอนกรีตและแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปได้ไถลแยกตัวออกจากกันโดยสมบูรณ์แล้วค่าแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปที่อยู่บริเวณลอนคว่ำ

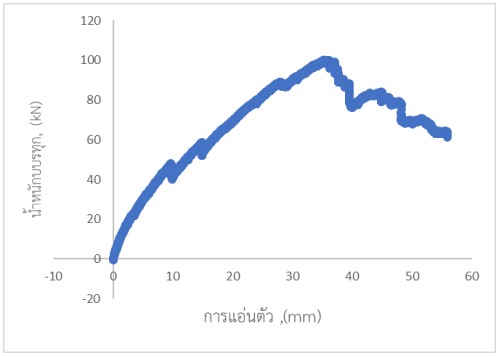
เปลี่ยนจากการยืดตัวเป็นหดตัวทันทีทันใดในขณะเดียวกันคอนกรีตซึ่งไม่สามารถรับหน่วยแรงดึงได้ดังนั้นหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะถูกส่งถ่ายไปยังที่แผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูป แต่เนื่องจากหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่ากำลังของแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปและความเครียดของแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปที่วัดได้มีค่าไม่ถึงจุดคราก ทำให้แผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปเกิดการแอ่นตัวทันทีทันใดแต่ไม่วิบัติลงมา หลังจากที่พื้นคอนกรีตแยกตัวออกจากแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปแล้วคอนกรีตเป็นเหมือนเพียงแผ่นคอนกรีตวางอยู่บนแผ่นเหล็กเพียงเท่านั้น

6. ลักษณะการวิบัติเป็นการวิบัติแบบเปราะเนื่องจากแรงเฉือนในแนวราบร่วมกับแรงดัดทำให้แผ่นพื้นสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวสัมผัสจนเกิดการไถลแยกออกจากกัน

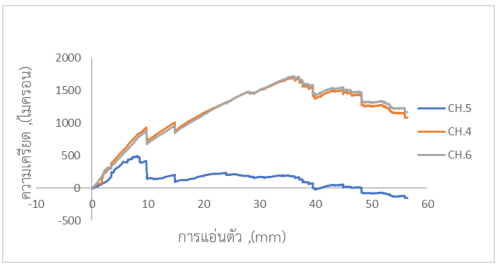
7. จากการวิเคราะห์ผลโดยนำค่าการแอ่นตัวไปหาค่า P พบว่าค่าน้ำหนักบรรทุกได้ 36 kN ซึ่งการคำนวณโมเมนต์ที่ได้จากสมการที่ (3) ออกแบบให้พื้นเหล็กสำเร็จรูปครากจึงได้ค่าน้ำหนักบรรทุก 41 kN ทำให้ค่าที่ได้จากการทดสอบน้อยกว่าทฤษฎี

4.3 พฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกของตัวอย่างที่ 2

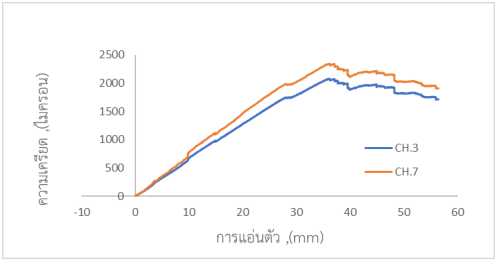
จากรูปที่ 28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักเมื่อให้น้ำหนักบรรทุกแผ่นพื้นเริ่มการแอ่นตัว จนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกอยู่ในช่วงประมาณ 21 kN การแอ่นตัวประมาณ 2.93 mm เริ่มได้ยินเสียงการไถลแยกตัวของแผ่นพื้นและในช่วงประมาณ 48 kN มีเสียงการไถลแยกเกิดขึ้นพร้อมกับน้ำหนักบรรทุกลดลงเหลือประมาณ 40 kN การแอ่นตัวประมาณ 9.7 mm เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกต่อไปพบว่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่วัดได้อยู่ประมาณ 100 kN และการแอ่นตัวประมาณ 35.27 mm เมื่อน้ำหนักบรรทุกถึงน้ำหนักบรรทุกสูงสุดทำให้เฟรมเกิดการวิบัติหลังจากนั้น น้ำหนักบรรทุกที่วัดได้เริ่มลดลงและค่าการแอ่นตัวสูงสุดที่วัดได้ประมาณ 56.44 mm



รูปที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุก ในตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด (Strain) กับการแอ่นตัว ในตัวอย่างการทดสอบที่ 2



รูปที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับความเครียด (Strain) ที่เหล็กเสริมพิเศษ DB12 ในตัวอย่างการทดสอบที่ 2

จากรูปที่ 29 และรูปที่ 30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับความเครียดเมื่อน้ำหนักบรรทุกถึงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด Strain Gauges ของ CH3 CH4 CH6 CH7 ความเครียดสูงสุดประมาณ 2049, 1691, 1709 และ 2314 ตามลำดับ จากนั้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกลดลงความเครียดก็ลดลงจนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกเป็น 0 kg ความเครียดคงค้างประมาณ 554,219,268 และ 654 ตามลำดับ CH5 ความเครียดสูงสุดที่วัดได้ประมาณ 414 จากนั้นลดลงเหลือประมาณ 159 เป็นช่วงเดียวกับโหลดตกครั้งแรกที่ 48 kN และลดลงจนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกเป็น 0 kg ความเครียดคงค้างประมาณ 554

จากการทดสอบไม่พบรอยแตกร้าวทั้ง 2 ข้างแต่เกิดการไถยแยกตัวออกจากกันเล็กน้อยเนื่องด้วยใส่อุปกรณ์ต้านแรงเฉือนที่ปลายพื้นทั้งสองด้าน

จากพฤติกรรมที่เกิดขึ้นเมื่อพิจารณา น้ำหนักบรรทุก การแอ่นตัว และค่าหน่วยการยืดหดที่ทดสอบได้เทียบกับทฤษฎี พบว่า

1. น้ำหนักบรรทุกที่ 19 kN การแอ่นตัวจากการทดสอบได้ประมาณ 2.93 mm จากทฤษฎีได้ประมาณ 2.53 mm ค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน

2. ความเครียดสูงสุดของแผ่นพื้นจากการทดสอบได้ประมาณ 1715 จุดครากของแผ่นพื้นประมาณ 1,047 ดังนั้นแผ่นพื้นถึงจุดครากแล้ว

3. ความเครียดสูงสุดของเหล็กเสริมจากการทดสอบได้ประมาณ 2334 จุดครากของเหล็กเสริมประมาณ 2,676 ดังนั้นเหล็กเสริมยังไม่ถึงจุดคราก

4. โมเมนต์ที่ได้จากการทดสอบ 46 kN-m จากทฤษฎีได้ 40 kN-m เนื่องจากจุดครากที่ได้จากการทดสอบได้ 529 MPa. แต่การวิเคราะห์โมเมนต์ที่ได้จากสมการที่ (6) จุดครากที่ใช้ในการคำนวณอยู่ที่ 392 MPa. ดังนั้นค่าจากการทดสอบจึงได้มีค่ามากกว่าทฤษฎี

5. บทสรุป

1. การติดตั้งอุปกรณ์ต้านแรงเฉือนของแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปช่วยทำให้แผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูปมีความเป็นคอมโพสิตมากกว่าการไม่ติดตั้งอุปกรณ์ต้านแรงเฉือน

2. การเพิ่มเหล็กเสริมตามยาวทำให้การแอ่นตัวของแผ่นพื้นคอมโพสิตแอ่นตัวได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับโหลดสูงสุดที่ได้จากตัวอย่างที่1 การแอ่นตัวประมาณ 4.73 mm ตัวอย่างที่2 การแอ่นตัวประมาณ 35.74 mm

3.จากการเสริมเหล็กตามยาว DB12 จำนวน 6 เส้น (ρs = 0.009) ในการคำนวณเมื่อให้น้ำหนักบรรทุกใช้งานเท่าเดิมที่ 23 kN จะสามารถเพิ่มความยาวของแผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูปจากเดิม 2,800 mm เป็น 4,050 mm หากไม่มีการเสริมเหล็กในแผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูปที่ความยาว 2,800 mm จะรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดได้ประมาณ 23 kN/m^2 หากมีการเสริมเหล็กตามยาวในแผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูปที่ความยาว 2,800 mm จะรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดได้ประมาณ 64 kN/m^2

4. ตัวอย่างที่ 1 แผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูปได้ไถลแยกตัวออกจากกันโดยสมบูรณ์แล้วค่าแผ่นพื้นเหล็กสำเร็จรูปที่ความเครียดบริเวณลอนคว่ำเปลี่ยนจากการยืดตัวเป็นหดตัวทันทีทันใด ตัวอย่างที่ 2 แผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูปเมื่อเกิดการไถลแต่ไม่แยกตัวออกจากกันเนื่องจากมีอุปกรณ์ต้านแรงเฉือนเพื่อชะลอการไถลแยกส่วนทำให้ค่าความเครียดที่บริเวณลอนคว่ำมีค่าการหดตัวเล็กน้อยและกลับมายืดตัวออกใหม่อีกครั้ง

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง การเพิ่มความสามารถการรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานของแผ่นพื้นคอนกรีตบนพื้นเหล็กสำเร็จรูปโดยการเสริมเหล็กตามยาวเพิ่มพิเศษ เพื่อการสำเร็จการศึกษาของนักศึกษาระดับปริญญาตรี สามารถดำเนินการจนประสบสำเร็จลุล่วงไปด้วย เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และการสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมบูรณ์ เชี่ยงฉิน ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ ข้อแนะนำ และนำมาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนกระทั่งการวิจัยนี้สำเร็จเรียบร้อยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานวิจัยทุกคนที่อำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการจัดทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณสำนักทะเบียนและประมวลผล ที่ให้ความอนุเคราะห์อนุมัติงบประมาณจากเงินรายได้ ปีงบประมาณ 2566 เพื่อสนับสนุนการจัดทำวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Sirimontree, C. Thongchom, S. Keawsawasvong, P. Nuaklong, P. Jongvivatsakul, W. Dokduea, L. V. H. Bui and E. N. Farsangi on the Behavior of Steet-Concrete Composite Deck with Different Shear Span-to-Depth Ratios.

[2] O. Kaya (2021), Experimental Study on Composite Floor Panels. Sakarya University Journal of Science,25(6). 1408-1416

[3] นพดล ชุมวิโรจน์, รองศาสตราจารย์ตละกูล อร่ามรักษ์, ศาสตราจารย์ต่อกุล กาญจนาลัย(2554). พฤติกรรมการรับแรงดัดของพื้นเหล็กประกอบที่เพิ่ม Perfobond Rib ต้านแรงเฉือน, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16, มหาวิทยาลัยมหิดล, 18-20 พฤษภาคม 2554.

[4] Brochure Contel Metal Deck. https://contelmetaldeck.com/

[5] สิทธิชัย แสงอาทิตย์, กลศาสตร์วัสดุ. สำนักวิชาการวิศวกรรมศาสตร์, หน้า 6-26-6-27.

ผลของปริมาตรช่องกลวงในพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กต่อกำลังรับแรงเฉือนโดยใช้โปรแกรม ABAQUS
Effect of voided volume in RC slab on shear strength by using ABAQUS

ณัฐกร อาจตำเกิงไกร[1] นิศาชล ทองม้วนวง[2] ปรัชญา เตี้ยเนตร[3,*] และ นภัสรพี ทวีทรัพย์ล้ำเลิศ[4]

[1, 2, 3] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
**Corresponding author; E-mail address: 63102181@up.ac.th*

บทคัดย่อ

พื้นกลวงคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นนวัตกรรมที่ถูกคิดค้นขึ้นเพื่อลดการใช้คอนกรีตโดยนำลูกบอลพลาสติกมาวางแทนที่ แต่ระบบแผ่นพื้นกลวงนี้จะมีข้อเสียในการรับแรงเฉือน โครงงานนี้จึงมุ่งเน้นทำการศึกษาไปที่กำลังรับแรงเฉือนของพื้นกลวง การศึกษาทำโดยการวิเคราะห์โครงสร้างพื้น 6 ตัวอย่าง (โครงสร้างพื้นทึบ 1 ตัวอย่าง และโครงสร้างพื้นกลวง 5 ตัวอย่าง โดยให้มีช่องกลวงแตกต่างกัน) ด้วยโปรแกรม ABAQUS จากการศึกษาพบว่าความสามารถในการรับแรงดัดของพื้นกลวงจะไม่แตกต่างจากพื้นทึบ แต่กำลังรับแรงเฉือนของพื้นกลวงจะขึ้นอยู่กับปริมาตรช่องกลวง กำลังรับแรงเฉือนจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาตรช่องกลวงลดลง ดังนั้น การกำหนดตำแหน่งของช่องกลวงและปริมาณช่องกลวงจะส่งผลต่อกำลังรับแรงเฉือนอย่างมีนัยสำคัญจึงควรระมัดระวังการใส่ช่องกลวงในบริเวณที่รับแรงเฉือนสูง

คำสำคัญ : พื้นกลวง, ปริมาตรช่องกลวง, ลูกบอลพลาสติก

Abstract

voided RC slab is an innovation that was invented to reduce concrete by replacing plastic balls. Voided slab system has disadvantages in shear resistance. Hence, the objective of this project is to study the shear strength of voided slab. Five specimens, one solid slab and four voided slabs varied by voided volumes, were analyzed using ABAQUS. The results show that the flexural behavior of voided slab is not different from solid slab but the shear strengths of voided slabs are depended on the void volumes. The shear strength increases as the voided volume decreases. Therefore, the location and quantity of the voided volume in RC slabs are significantly affecting the shear strength. It should be aware when inserting void in concrete subjected to high shear stress.

Keywords: Void slab, Void volume, Plastic ball

1. บทนำ

1.1ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันโลกเกิดปัญหาหลากหลายด้านรวมถึงในด้านเศรษฐกิจ เช่น เกิดปัญหาด้านการขาดแคลนแรงงานก่อสร้าง และค่าจ้างแรงงานสูงขึ้นทำให้ผู้ประกอบการหลากหลายแห่งต้องพยายามลดต้นทุนในการก่อสร้างให้ได้มากที่สุด และ อีกปัญหาหนึ่งซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ค่อนข้างใหญ่และผู้เชี่ยวชาญหลายคนพยายามหาวิธีแก้ปัญหาอยู่ตลอดทั้งในอดีตจวบจนถึงปัจจุบันคือ ปัญหาสภาวะโลกร้อน โดยปัญหานี้เป็นสิ่งที่สังคมและหน่วยงานภาครัฐ ผู้กำกับดูแลด้านงานก่อสร้างกำลังให้ความสำคัญ เพื่อเสริมสร้างให้การพัฒนาเมืองเป็นไปอย่างยั่งยืนและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

งานก่อสร้างในประเทศไทยนั้นใช้คอนกรีตเป็นวัสดุหลักมายาวนาน โดยในปัจจุบันได้เกิดสภาวะโลกร้อน ซึ่งมีต้นเหตุมาจากการเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ การขนส่ง และการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม และกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ สร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มากถึง 7% ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็นับเป็นปัญหาใหญ่ที่เป็นส่วนทำให้เกิดปัญหาสภาวะโลกร้อน เนื่องด้วยปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นทำให้ผู้คนต่างพยายามคิดค้นนวัตกรรมในการแก้ปัญหานี้ทั้งด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมได้แก่ พื้น Hollow core พื้น Waffle slab และพื้นกลวง(Void slab) นวัตกรรมเหล่านั้นสามารถทำลดการใช้คอนกรีตและยังทำให้อาคารมีน้ำหนักที่ลดลง บางทฤษฎีชี้ให้เห็นว่า Self-weight ของระบบแผ่นพื้นกลวงสามารถลดน้ำหนักได้ถึง 50% [6] ส่งผลให้สามารถลดขนาดของชิ้นส่วนประกอบในโครงสร้างให้มีขนาดที่เล็กลง เช่น เสา พื้น หรือคาน และยังสามารถลดจำนวนของเสา [1,3] ทำให้พื้นมีพื้นที่ใช้งานได้มากยังขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนในการผลิต เช่น การเสริมเหล็ก และคอนกรีต รวมไปถึงค่าใช้จ่ายสำหรับการขนส่งอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อีกด้วย

แผ่นพื้นกลวงเป็นระบบแผ่นพื้นที่มีการนำลูกบอลพลาสติกมาวางตรงกลางแผ่นพื้นเพื่อทดแทนตำแหน่งของคอนกรีตส่วนตรงกลาง โดยลูกบอลพลาสติกถูกผลิตขึ้นโดยการใช้พลาสติกจากขยะรีไซเคิล ทำให้ช่วยลดปัญหาสภาวะโลกร้อน ซึ่งระบบแผ่นพื้นพลาสติกกลวงถือเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญที่จะช่วยในการลดน้ำหนักของโครงสร้างอย่างมาก จากที่กล่าวมาข้างต้นแผ่นพื้นกลวงนี้ถูกนิยมใช้ในการก่อสร้างอย่างแพร่หลายในต่างประเทศแต่ในประเทศไทยนั้นระบบพื้นกลวงยังไม่เป็นที่นิยมเท่าที่ควร แต่ก็ยังมีผู้เชี่ยวชาญหลายคนยกแผ่นพื้นกลวงนี้มาทำงานวิจัยเพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงเยอะพอสมควร โดยในแต่ละงานวิจัยก็เลือกใช้ลูกบอลพลาสติกรูปทรงที่แตกต่างกันเนื่องจากลูกบอลพลาสติกมีหลายรูปร่างให้เลือกใช้ เช่น ทรงกลม ทรงรี ทรงโดนัท และพีระมิดหัวตัด ซึ่งแต่ละรูปร่างจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ในบางงานวิจัยได้ทำการสังเกตพฤติกรรมการรับกำลังดัดของแผ่นพื้นกลวงด้วยการทดสอบใส่โหลดลงบนพื้นกลวงและได้ผลการทดสอบว่าพื้นวิบัติด้วยแรงเฉือนโดยที่เหล็กเสริมยังไม่เกิดการคราก [4] จากปัญหาดังกล่าว ทางคณะวิจัยจึงสนใจศึกษาพฤติกรรมการรับโมเมนต์ดัดของพื้นกลวง และศึกษาปริมาตรช่างวางที่มีผลต่อกำลังรับแรงเฉือน

ในการวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาระบบแผ่นพื้นกลวงโดยจะเน้นไปที่ปริมาณของลูกบอลพลาสติกมาเป็นส่วนสำคัญในการออกแบบพื้นเพื่อดูผลพฤติกรรมการรับโมเมนต์ดัดและแรงเฉือน โดย จะทำการจำลองโมเดลในโปรแกรม ABAQUS ทำการใส่โหลดเพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับโมเมนต์ดัดของพื้นกลวงและศึกษาปริมาตรช่องวางมีผลต่อกำลังรับแรงเฉือนอย่างไร

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับโมเมนต์ดัดของพื้นกลวง และศึกษาปริมาตรช่องกลวงที่มีผลต่อกำลังรับแรงเฉือนของแผ่นพื้น

1.3 ขอบเขต

ใช้โปรแกรม ABAQUS ในการทำแบบจำลองและวิเคราะห์โครงสร้าง เนื่องจากการศึกษาด้วยการทดสอบมีค่าใช้จ่ายที่สูง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เข้าใจพฤติกรรมการรับโมเมนต์ดัดของพื้น

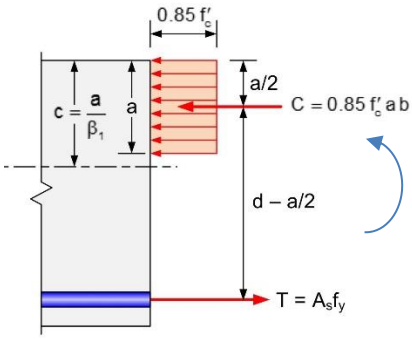
1.4.2 เข้าใจปริมาตรช่องวางที่มีผลต่อกำลังรับแรงเฉือน

2. ทฤษฎีและงานวิจัย

2.1 ทฤษฎีการวิเคราะห์หน้าตัดคอนกรีตเสริมเหล็ก

การออกแบบพื้นทึบรับแรงทางเดียวใช้หลักการเดียวกับการออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว กล่าวคือ พื้นจะต้องมีความสามารถต้านทานโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้น และมีการแอ่นตัวไม่เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน โดยพิจารณาวิเคราะห์หาแรงภายในต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้น ได้แก่ โมเมนต์ดัด และแรงเฉือน จากทางด้านสั้นที่อยู่ในแนวตั้งฉากกับที่รองรับ รวมถึงการหาแรงปฏิกิริยา ซึ่งก็คือการถ่ายน้ำหนักจากพื้นลงสู่คานนั่นเอง [5]

ในการคำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัดประลัย M_n นั้นจะคำนวณจากแรงคู่ควบที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดพื้น คือ แรงอัดบนคอนกรีต C และแรงดึงในเหล็กเสริม T ดังแสดงในรูปที่ 1 แรงอัด C จะมีค่าดังสมการ (1) และแรงดึง T โดยทั่วไปที่จุดประลัยเหล็กเส้นจะเกิดการคราก แรงดึง T จึงคำนวณได้โดยใช้กำลังครากของเหล็กเส้น f_y ตามสมการ (2) เมื่อพิจารณาสมดุลของหน้าตัด $C=T$ จะได้ระยะ a ที่คอนกรีตรับแรงอัด ตามสมการ (3) จึงคำนวณโมเมนต์ดัดประลัยได้ตามสมการ (4)



รูปที่ 1 การกระจายหน่วยแรงบนหน้าตัดพื้น [5]

$$C = 0.85 f_c' ba \quad (1)$$

$$T = f_y A_s \quad (2)$$

$$a = f_y A_s \big/ 0.85 f_c' ba \quad (3)$$

$$M_n = f_y A_s \left(d - \frac{f_y A_s}{1.70 f_c' ba} \right) \quad (4)$$

โดยที่ a คือ ระยะพื้นผิวคอนกรีตรับแรงอัด

b คือ ความกว้างของแผ่นพื้น

A_s คือ พื้นที่รวมหน้าตัดเหล็กเส้น

f_y คือ กำลังครากของเหล็กเส้น

f_c' คือ กำลังอัดคอนกรีต

d คือ ความลึกประสิทธิผล

การออกแบบการรับโมเมนต์ดัดของพื้นกลวง สามารถคำนวณได้ตามทฤษฎีที่กล่าวข้างต้น หากคอนกรีตบริเวณรับแรงอัด C บนหน้าตัดพื้นนั้นไม่มีช่องกลวง การคำนวณโมเมนต์ดัดประลัยจึงคำนวณได้ตามสมการ (4) เช่นเดียวกับพื้นทึบ

ในส่วนของกำลังรับแรงเฉือนประลัยที่พื้นทึบรับได้ V_n จะเป็นไปตามสมการ (5) ซึ่งพิจารณาให้คอนกรีตรับเพียงอย่างเดียวเนื่องจากไม่มีการเสริมเหล็กปลอก [5] สำหรับการออกแบบการรับแรงเฉือนของพื้นกลวงนั้น จากการสืบค้นยังไม่มีทฤษฎีที่ชัดเจน จึงมีความสนใจในการศึกษาเพิ่มเติม

$$V_n = \frac{\sqrt{f_c'}}{6} b_w d \quad \text{(MPa)} \quad (5)$$

2.2 งานวิจัย

จากงานวิจัยของ เจตนิพัทธ์ พรชยานนท์ และคณะ [3] ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบพื้นกลวงในโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงสองทางแบบมีคานรองรับสองทิศทาง เทียบกับโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปโดยขั้นตอนการศึกษาจะแบ่งเทียบเป็นหารเปรียบเทียบความหนา น้ำหนักบรรทุกคงที่อัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกคงที่ ที่ลดลงของแผ่นพื้น ที่มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 4 ถึง 10 เมตร โดยผลที่ได้จากการศึกษาพบว่าแผ่นพลาสติกเริ่มมีประสิทธิภาพต่อการลดน้ำหนักโครงสร้างเมื่อมีขนาด 7.5 เมตร ขึ้นไป และ ทำการออกแบบโครงสร้างอาคาร 3 ชั้น ขนาด 6x8 เมตร ที่มีการใช้งานแผ่นพื้น 2 ระบบ โดยจะมีแบบพื้นกลวงและแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก และผลการทดสอบพบว่าการใช้แผ่นพื้นกลวง มีประสิทธิภาพช่วยลดน้ำหนักโครงสร้างได้บางส่วน และช่วยส่งผลกับการลดน้ำหนักโครงสร้างที่ถ่ายลงฐานรากได้ 6% เมื่อเทียบกับโครงสร้างที่ออกแบบด้วยแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป เช่นเดียวกับงานวิจัยของ กรวิชญ์ หงส์ธารารักษ์ และคณะ [1] ได้ทำการเปรียบประสิทธิภาพของระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงในโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา ทั้งด้านความหนา น้ำหนัก และ เปอร์เซ็นต์การลดน้ำหนักของแผ่นพื้น โดยมีขนาดตั้งแต่ 6 เมตร ถึง 12 เมตร และ ผลที่ได้จากการออกแบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานในอาคาร5ชั้น ที่มีขนาดความยาวเสา 9 เมตร ทำให้ทราบว่าพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงสามารถลดน้ำหนักโดยรวมของอาคารลงได้มากกว่าเนื่องจากการใช้ลูกบอลพลาสติกมาแทนที่คอนกรีตบางส่วน ทำให้ขนาดของเสาและเสาเข็ม สามารถลดลงได้ จากการวิเคราะห์เห็นได้ว่าอาคารที่ใช้พื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงสามารถลดน้ำหนักที่ถ่ายลงอาคารได้ถึง 16% เมื่อเทียบกับพื้นไร้คานท้องเรียบแบบทั่วไป

จากงานวิจัยของ Phuangruangri and Limpaninlachat [4] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการรับโมเมนต์ดัดของพื้นรับแรงทางเดียวโดยใช้การทดสอบใส่แรงสี่จุดของพื้นกลวงและเปรียบเทียบผลการทดสอบกับการประเมินความต้านทานโมเมนต์ดัดแผ่นที่มีขนาด 2700x1500 มิลลิเมตร โดยใช้ความยาว คือ 260 มิลลิเมตร และ 300 มิลลิเมตร ได้ผลการทดสอบ

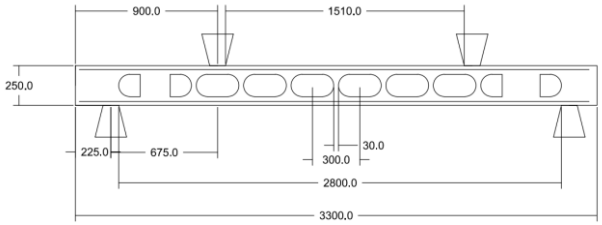
ว่า พฤติกรรมการรับโมเมนต์ของพื้นกลวงมีความคล้ายคลึงกับแผ่นพื้นทั่วไป และสำหรับแรงเฉือนนั้นความสามารถในการรับแรงของแผ่นพื้นกลวงผลการทดสอบคือสามารถรับแรงเฉือนได้ต่ำกว่าแผ่นพื้นปกติโดยที่แผ่นพื้นกลวงเกิดการวิบัติด้วยแรงเฉือนหลังจากที่เหล็กเกิดการครากไปเพียงเล็กน้อย

จากงานวิจัย ของ Chung et al. [2] และ คณะได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับรูปร่างของช่องวางมีผลต่อความแข็งแรงของแผ่นพื้นกลวงและเพื่อตรวจสอบว่าการทดสอบแรงเฉือนของพื้นทางเดียวโดยมีการวิเคราะห์ตัวอย่างมาดังนี้ แบบแรกเป็นแผ่นพื้นแบบปกติ แบบที่สองเป็นแผ่นพื้นกลวงรูปร่างช่องกลวงโดนัทซึ่งทำมาจากพลาสติกโพลีโพรพิลีนและพลาสติกเสริมใยแก้ว จะแสดงให้เห็นโดยจากผลการทดสอบว่ากำลังรับแรงเฉือนของแผ่นพื้นโดนัทจะสามารถรับแรงเฉือนได้ 73%-78% ของพื้นทึบ และเหนือกว่าพื้นกลวงแบบที่ไม่ใช่โดนัท ซึ่งรอยร้าวของแผ่นพื้นกลวงจะเปลี่ยนไปตามรูปร่างของช่องกลวงในพื้นคอนกรีต

3. แบบจำลองในโปรแกรม ABAQUS

3.1 ตัวอย่างพื้นที่ใช้ในการศึกษา

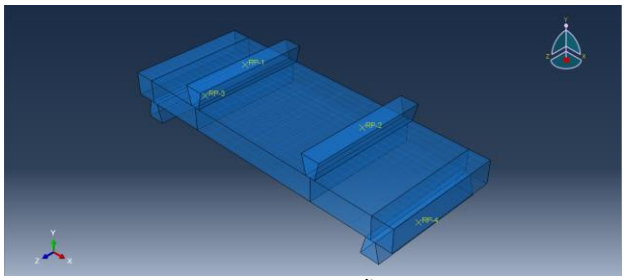
การศึกษาพฤติกรรมของพื้นกลวงนี้จะทำการเปรียบเทียบตัวอย่าง 6 ตัวอย่าง ที่มีการกำหนดตำแหน่งและปริมาณช่องกลวงที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาผลกระทบต่อความสามารถในการรับแรงเฉือนของพื้นกลวง ตัวอย่างพื้นทั้งหมดจะมีความยาวช่วงระหว่างฐานรองรับ 2800 mm กว้าง 1250 mm และหนา 250 mm กำลังอัดคอนกรีต 28.5 MPa ใส่เหล็กตามยาวขนาด 13mm@70mm และ เหล็กตามขวางขนาด 10mm@300mm การให้แรงกระทำจะมี 2 จุด ห่างจากฐานรองรับ 675 mm ดังรูปที่ 2 ซึ่งเป็นตามงานวิจัยของ Chung et al. [2] ที่ได้ทำการทดสอบไว้ ดังนั้นช่วงระหว่างฐานรองรับถึงจุดให้แรงกระทำจะเป็นช่วงที่รับแรงเฉือนมาก ช่วงกลางแผ่นพื้นระหว่างจุดให้แรงกระทำจะเป็นช่วงที่รับโมเมนต์ดัดเพียงอย่างเดียว



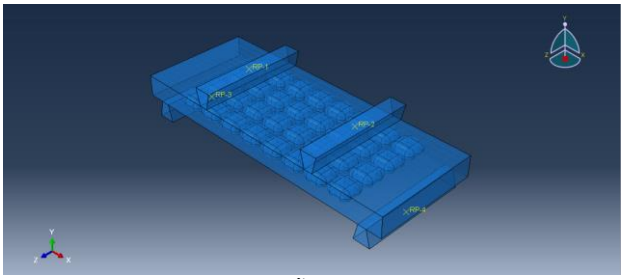
รูปที่ 2 ขนาดตัวอย่างคานและการเสริมเหล็ก

ตัวอย่างแรกจะเป็นพื้นทึบไม่มีช่องกลวง ดังรูปที่ 3 อีก 5 ตัวอย่าง จะเป็นพื้นที่ช่องกลวง ในแต่ละตัวอย่างจะทำการลดปริมาณช่องกลวงให้มีจำนวนน้อยลง การศึกษานี้จะใช้ลูกบอลที่ทำให้เกิดช่องกลวงตามการศึกษาของ Chung et al. [2] โดยลูกบอลเป็นวงรีมีขนาดกว้าง 270 mm สูง 140 mm วางเรียงระยะศูนย์กลางของลูกบอลเท่ากับ 300 mm ตัวอย่างพื้นกลวงที่ 1 กำหนดให้มีลูกบอลด้านกว้าง 4 ลูกด้านยาว 8 ลูก จึงตั้งชื่อตัวอย่างพื้นกลวงนี้ว่า ball4*8 ดังรูป 4 ซึ่ง Chung et al. ได้ทำการทดสอบตัวอย่างนี้และตัวอย่างพื้นทึบ [2] ตัวอย่างพื้นกลวงที่ 2 กำหนดให้พื้นกลวงมีบอลด้านกว้าง 3 ลูก ด้านยาว 8 ลูก ตั้งชื่อตัวอย่างนี้ว่า ball3*8 ดังรูป 5 ตัวอย่างพื้นกลวงที่ 3 กำหนดให้พื้นกลวงมีบอลด้านกว้าง 2 ลูก ด้านยาว 8 ลูก ตั้งชื่อตัวอย่างนี้ว่า ball2*8 ดังรูป 6 ตัวอย่างพื้นกลวงที่ 4 กำหนดให้พื้นกลวงมีบอลด้านกว้าง 4 ลูกด้านยาว 4 ลูก โดยอยู่ในช่วงที่รับโมเมนต์ดัดเพียงอย่างเดียว ดังรูป 7 ตัวอย่างพื้นกลวงที่ 5 กำหนดให้พื้นกลวงมีบอลด้านกว้าง 4 ลูกด้านยาว 8 ลูก แต่ลูกบอลที่ใกล้ฐานรองรับจะถูกแบ่งครึ่งและแยกออกจากกัน ตั้งชื่อตัวอย่างนี้ว่า ball4*8# ดังรูปที่ 8

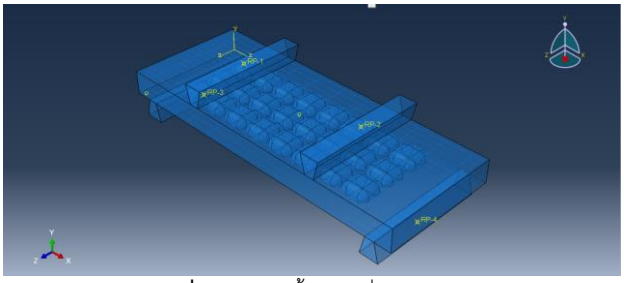
ตัวอย่างพื้นทึบและตัวอย่างพื้นกลวงที่ 1 มีผลการทดสอบของ Chung et al. [2] ซึ่งจะถูกนำมาใช้สอบเทียบความถูกต้องของโปรแกรม ABAQUS ส่วนตัวอย่างพื้นกลวงที่ 2 ถึงตัวอย่างพื้นกลวงที่ 6 เป็นตัวอย่างที่ยังไม่มีผลการทดสอบแต่ใช้ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ABAQUS มาศึกษาเปรียบเทียบ



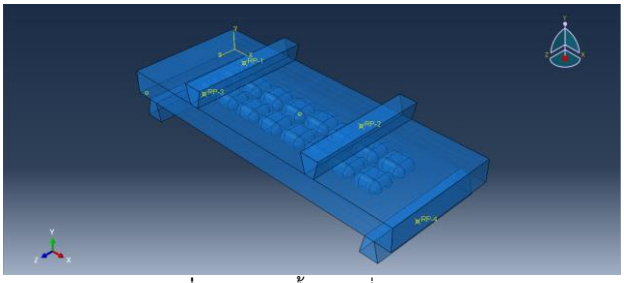
รูปที่ 3 ตัวอย่างพื้นทึบ



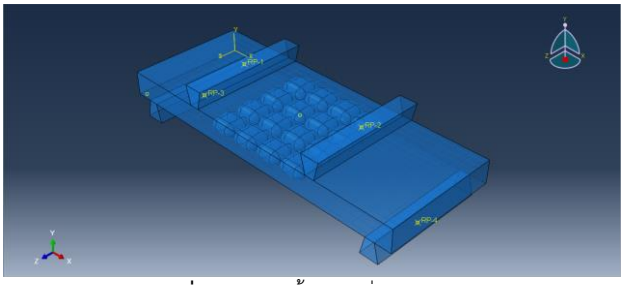
รูปที่ 4 ตัวอย่างพื้นกลวงที่ 1 ball4*8



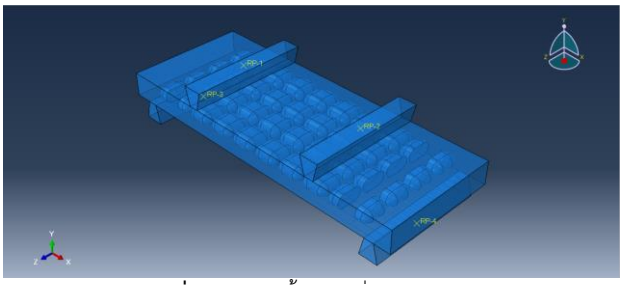
รูปที่ 5 ตัวอย่างพื้นกลวงที่ 2 ball3*8



รูปที่ 6 ตัวอย่างพื้นกลวงที่ 3 ball2*8



รูปที่ 7 ตัวอย่างพื้นกลวงที่ 4 ball4*4



รูปที่ 8 ตัวอย่างพื้นกลวงที่ 5 ball4*8#

ตัวอย่างพื้นทั้งหมดนี้จะถูกจำลองในโปรแกรม ABAQUS หลังจากการจำลองโมเดล จะทำการกำหนดคุณสมบัติวัสดุ ซึ่งการศึกษานี้จะใช้ตามการศึกษาของ Chung et al. ดังแสดงในตารางที่ 1

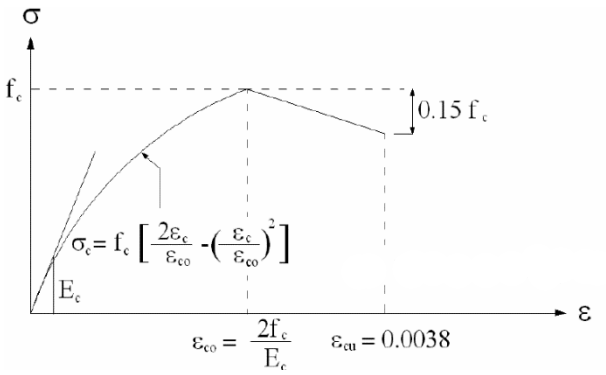
ตารางที่ 1 ค่ากำลังครากของเหล็กอ้างอิงจาก Chung et al. [2]

Rebar	กำลังรับแรงดึง (MPa)	กำลังรับแรงดึงจุดคราก (MPa)	กำลังรับแรงดึงสูงสุด (MPa)	การยืดตัว(%)	โมดูลัสยืดหยุ่น (GPa)
D10	400	469	648	17.36	196.1
D13	400	473	665	18.21	194.3

3.2 แบบจำลองวัสดุ

3.2.1 แบบจำลองกำลังรับแรงอัดคอนกรีต

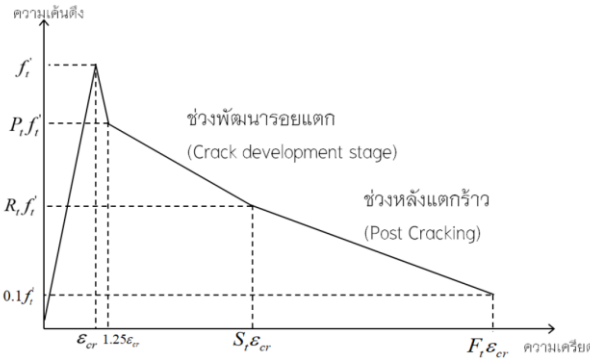
การศึกษานี้ใช้แบบจำลอง Modified Hognestad[8] ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตตามวิธี Modified Hognestad**[8]**

3.2.2 แบบจำลองกำลังรับแรงดึงคอนกรีต

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตรับแรงดึงเลือกใช้ของ Wahalathantri et al. (2008)[7] ดังแสดงรูป 10 โดยมีค่าคงตัว ได้แก่ P_t R_t S_t และ F_t , มีค่า 0.77 0.45 4.0 และ 8.7 ตามลำดับ ส่วนความเครียดเริ่มต้นของช่วงพัฒนารอยแตกมีค่า 1.25 ε_{cr} ค่าความเค้นวิบัติเริ่มต้นเป็น $0.1f_t'$



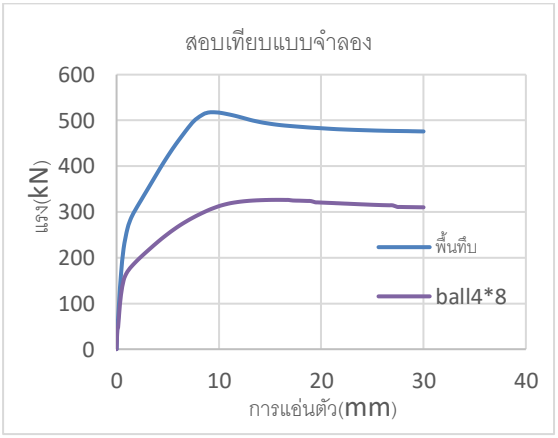
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตตามวิธี Wahalathantri et al. (2008)**[7]**

4. ผลการวิเคราะห์

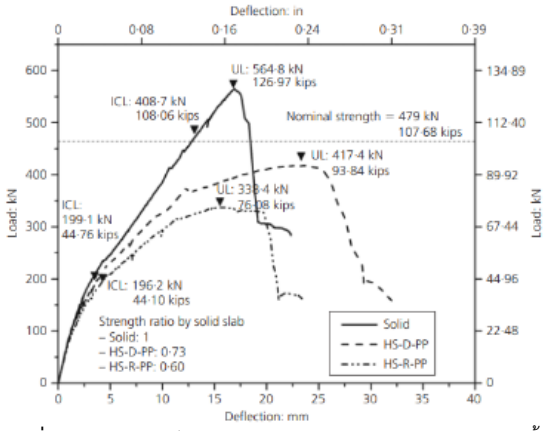
4.1 สอบเทียบแบบจำลองกับผลการทดลอง

ก่อนจะเริ่มทำการทดสอบผลของปริมาตรช่องกลวงในพื้นกลวงคอนกรีตเสริมเหล็กต่อกำลังรับแรงเฉือนโดยโปรแกรม ABAQUS จะทำการจำลองโมเดลเพื่อทำการเปรียบเทียบค่า ของโปรแกรมที่ได้ตรงตามผลการทดสอบหรือไม่ โดยเทียบกับค่าความสัมพันธุ์ระหว่าง แรง กับ การแอ่นตัว ของ Chung et al. [2] จะทำการจำลองเปรียบเทียบกับตัวอย่าง 2 ตัวอย่าง ได้แกตัวอย่างพื้นทึบ และตัวอย่างพื้นกลวง Ball4*8

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองในโปรแกรมดังรูปที่ 11 เทียบกับค่าที่ได้ของ Chung et al. ดังรูปที่12 ค่าของแรงสูงสุดของตัวอย่างพื้นทึบที่ได้จากโปรแกรมคือ 517.83 kN และที่ได้จากการทดสอบคือ 546.8 kN คิดเป็นร้อยละ 95 ของผลการทดสอบ สำหรับตัวอย่างพื้นกลวง Ball4*8 ค่าแรงสูงสุดของที่ได้จากโปรแกรมคือ 326.36 kN และที่ได้จากการทดสอบคือ 338.4 kN คิดเป็นร้อยละ 96 ของการทดสอบ สรุปได้ว่า ค่าที่โปรแกรมประมวลผลนั้นมีความใกล้เคียงกับผลการทดสอบจริง จึงถือว่าการประมวลผลของโปรแกรมมีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้แบบจำลองโปรแกรม ABAQUS ขยายผลการศึกษาได้



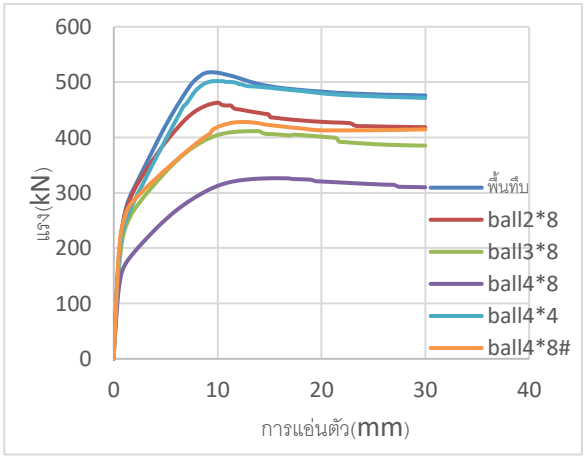
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการแอ่นตัวของตัวอย่างพื้นทึบและพื้นกลวง ball4*8 จากการวิเคราะห์



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการแอ่นตัวของตัวอย่างพื้นทึบและพื้นกลวง ball4*8 จากการทดสอบโดย Chung et al. [2]

4.2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างพื้นกลวง

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการแอ่นตัวของตัวอย่างพื้นกลวง ball3*8 ball2*8 ball4*4 และ ball4*8# เมื่อนำไปแสดงรวมกับตัวอย่างพื้นทึบและพื้นกลวง จะได้ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการแอ่นตัวของทุกตัวอย่างจากการวิเคราะห์

จากกราฟเห็นได้ว่า ball4*4 แรงสูงสุด 501.83 kN ball2*8 แรงสูงสุด 462.71 kN ball4*8# แรงสูงสุด 428.07 kN และ ball3*8 แรงสูงสุด 411.40 kN ซึ่งสรุปแรงสูงสุดของทุกตัวอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์ไว้ในตารางที่ 2

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างตัวอย่างพื้นทึบกับตัวอย่างพื้นกลวง ball4*4 ซึ่งมีช่องกลวงเฉพาะบริเวณที่รับโมเมนต์ดัดแต่บริเวณที่รับแรงเฉือนเป็นพื้นทึบ จะเห็นได้ว่าแรงสูงสุดได้ใกล้เคียงกันมากต่างกันเพียงร้อยละ 4 จึงถือได้ว่าการมีช่องกลวงไม่ส่งผลต่อกำลังรับโมเมนต์ดัดประลัย

หากมีพื้นกลวงในบริเวณที่รับแรงเฉือนลดลงจะวิเคราะห์ได้แรงสูงสุดที่เพิ่มขึ้น หากตัดช่วงพิจารณาการวิบัติแบบเฉือนเท่ากับความหนาของแผ่นพื้นคือ 250 mm มาคำนวณร้อยละของช่องว่างจะได้ร้อยละของปริมาตรช่องว่างต่อปริมาตรทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างพื้นกลวง ball4*8 กับ ball3*8 กับ ball2*8 ซึ่งมีช่องกลวงลดน้อยลง จะวิเคราะห์ได้แรงสูงสุดเพิ่มขึ้น จาก 326.36 kN เป็น 411.40 และ 462.71 kN ดังช่องกลวงนี้มีผลต่อกำลังรับแรงเฉือนอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างพื้นกลวง ball 4*8 กับ ball 4*8# ซึ่งมีการแบ่งลูกบอลออกไปทำให้ในช่วงที่พิจารณาการวิบัติแบบเฉือนมีช่องกลวงลดลงครึ่งหนึ่ง (ปริมาณบอลทั้งหมดเท่ากันต่างกันตรงเปอร์เซ็นต์บอลในพื้นที่รับแรงเฉือน) จะเห็นได้ว่าตัวอย่างพื้นกลวง ball4*8# สามารถรับแรงได้มากกว่า ball4*8 ถึง ร้อยละ 24 ดังนั้นการจัดแรงช่องกลวงในช่วงรับแรงเฉือนนี้จะมีผลต่อกำลังรับแรงเฉือนอย่างมีนัยสำคัญ

ตัวอย่างพื้นกลวง ball4*4 และ ball2*8 จะเห็นได้ว่าปริมาณบอลทั้งหมดเท่ากันต่างกันตรงที่การจัดเรียง ball4*4 จัดเรียงอยู่ในช่วงที่รับโมเมนต์ดัด แต่ ball2*8 กระจายลูกบอลไปในช่วงที่รับแรงเฉือนด้วย แรงสูงสุดของตัวอย่างพื้นกลวง ball4*4 สามารถรับแรงได้มากกว่า ball2*8 ถึง ร้อยละ 9

4.3 กำลังรับแรงเฉือน

เมื่อได้แรงสูงสุด P ของทุกตัวอย่าง จึงใช้แรงสูงสุดมาทำการหาแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในพื้น $V = P/2$ และใช้สมการ (5) ในการหากำลังรับแรงเฉือนของแผ่นพื้นทึบ สำหรับโดยตัวอย่างพื้นกลวงที่มีช่องกลวงในบริเวณที่รับแรงเฉือนจะใช้สัดส่วนช่องกลวงดังแสดงในสมการ (6) มาคูณปรับแก้กำลังรับแรงเฉือนดังสมการ (7) ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ปรับแก้ช่องกลวงจะได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงเฉือนที่คิดผลของช่องกลวงสอดคล้องกับแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในตัวอย่างแผ่นพื้นได้ดี

$$\chi = \left(1 - \frac{v_v}{v_t}\right) \tag{6}$$

$$V_n = \frac{\chi}{6}\sqrt{f_c'}bd \tag{7}$$

โดย v_v คือ ปริมาตรช่องกลวงในพื้นที่รับแรงเฉือน

v_t คือ ปริมาตรทั้งหมดในพื้นที่รับแรงเฉือนโดยพิจารณาในช่วงความหนาของแผ่นพื้น

χ คือ ประสิทธิภาพของกำลังรับแรงเฉือนของพื้นกลวง

ตารางที่ 2 สรุปแรงกระทำสูงสุดและกำลังรับแรงเฉือน

ตัวอย่าง	แรงสูงสุด P (kN)	แรงเฉือน $V=P/2$ (kN)	กำลังรับแรงเฉือน V_n (kN)
พื้นทึบ	518.83	258.91	252.35
ball2*8	462.71	231.36	205.84
ball3*8	411.40	205.70	182.58
ball4*8	326.36	168.13	159.32
ball4*4	501.83	250.94	252.35
ball4*8#	428.07	214.03	201.96

ตารางที่ 3 ร้อยละปริมาตรช่องกลวงของพื้นในบริเวณที่รับแรงเฉือน

ตัวอย่าง	Ball 4*8	Ball 3*8	Ball 2*8	Ball 4*4	Ball 4*8#	พื้นทึบ
ร้อยละช่องกลวง	36.86	27.65	18.43	0	19.97	0

5. สรุปผลการทดสอบ

จากการศึกษาผลของปริมาตรช่องกลวงต่อกำลังรับแรงเฉือนในพื้นกลวงพบว่า

1. ความสามารถในการรับแรงและกำลังรับแรงเฉือนจะขึ้นอยู่กับปริมาตรช่องกลวง

2. การกำหนดตำแหน่งของปริมาตรช่องกลวงจะมีผลต่อความสามารถกำลังรับแรงเฉือนของพื้นกลวง

3. การใช้ขนาดปริมาตรช่องกลวงที่ลดลงจะส่งผลให้กำลังรับแรงเฉือนของพื้นกลวงสูงขึ้น

4. การกำหนดตำแหน่งของปริมาตรช่องกลวง ควรเลือกกำหนดให้หลบเลี่ยงจุดที่มีแรงเฉือนสูงมาก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จได้ เนื่องจากได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยพะเยาและได้รับความอนุเคราะห์สนับสนุน ด้านคำปรึกษาและวิธีแก้ปัญหารวมถึงคำชี้แนะ จากอาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.สมบูรณ์ เชี่ยงฉิน ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งสำหรับการให้ความรู้อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้และยังเอาใจใส่ในทุกๆรายละเอียดและขั้นตอนของงานวิจัยตลอดรวมถึงการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆในการศึกษางานวิจัย ทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์รวมไปถึงจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และสุดท้ายนี้ผู้เขียนหวังว่าวิจัยเล่มนี้จะสามารถมอบคุณค่าและคุณประโยชน์สำหรับทุกๆท่านที่สนใจในเนื้อหาดังกล่าวได้ไม่มากก็น้อย ถ้าหากวิจัยฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใดผู้เขียนขอน้อมรับไว้และต้องขออภัยเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

[1] กรวิชญ์ หงส์ธารารักษ์, ปกกร์ณ์ธรรม นันทวิสิทธิ์, ธีชวีร์ ลีละวัฒน์ และ พรเพ็ญ ลิมปนิลชาติ. (2565). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวงในโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานท้องเรียบ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27.

[2] J.-H. Chung, H.-K. Choi, S.-C. Lee and C.-S.Choi.(2015). One-way shear strength of circular voided reinforced concrete floor slabs. Volume 168 Issue SB5.

[3] เจนนิพัทธิ์ พรยานนท์, นักษา กาญจนคีรีรัตน์, เอื้ออังกูร พุทธัง, ธีชวีร์ ลีละวัฒน์ และพรเพ็ญ ลิมปนิลชาติ. (2565). ประสิทธิภาพของระบบพื้นพลาสติกกลวงในโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงสองทางแบบมีคานรองรับ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27.

[4] C. Phuangruangsi and P. Limpaninlachat. (2566). Experimaental and Evaluation of Flexural Capacity in Voided RC Slab with Internal Truncated Pyramid Shaped Voids. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28.

[5] มงคล จิรวัชเดช. (2557). หนังสือการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, หน้า 40-112.

[6] P. Harding. (2004). Bubble Deck Advanced Structure Engineering. BubbleDeck Artic, pp. 15–16.

[7] Wahalathantri et al. (2008). A MATERIAL MODEL FOR FLEXURAL CRACK SIMULATION IN REINFORCED CONCRETE ELEMENTS USING ABAQUS

[8] ฉัตร สุจินดา.(2551).การศึกษาทางพารามิเตอร์เพื่อหาค่าหน่วยแรงที่จุดคราดสูงสุดที่เหมาะสมสำหรับเหล็กเส้นที่ใช้เสริมในคอนกรีต ,หน้า3-4

การเสริมกำลังโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐเติมเต็มในช่องว่างโดยการคาดรัดด้วยเหล็กเส้นแบนเพื่อรับแรงด้านข้าง

Strengthening RC frame with infilled wall by confinement of steel flat bar to resist lateral loading

ธนะพล หมื่นศรี[1] ธัชชานนท์ คำแก่น[2] ชณิภรณ์ กุมพล[3,*]และณัฐณิชา เขียวปัญญา[4]

[1,2,3,4] นิสิตปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

**Corresponding author; E-mail address: 63101797@up.ac.th*

บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีความเสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวสูง จึงมีความคิดว่าโครงข้อแข็งของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ก่อสร้างมาในอดีต จะมีกำลังรับแรงแผ่นดินไหวไม่เพียงพอ ดังนั้นโครงข้อแข็งของอาคารที่มีความเสี่ยง จึงควรได้รับการเสริมกำลังรับแรงแผ่นดินไหวที่เหมาะสม การศึกษานี้จึงเสนอแนวทางการเสริมกำลังโครงข้อแข็งด้วยเหล็กเส้นแบนเพื่อเพิ่มกำลังรับแรงด้านข้างของโครงสร้างด้วยการทดสอบจำลองจากโครงสร้างจริงที่ยังไม่ได้ออกแบบรับแรงแผ่นดินไหว ด้วยโปรแกรม ABAQUS ทั้งหมด 7 ตัวอย่าง โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรับแรงของโครงข้อแข็งระหว่างเสริมกำลังกับไม่เสริมกำลังของผนังอิฐมอญและอิฐมวลเบา จากผลการวิเคราะห์ เมื่อให้แรงทางด้านข้างแล้วพบว่าโครงข้อแข็งที่มีผนังจะสามารถรับแรงด้านข้างได้เพิ่มขึ้นประมาณ 4.2 เท่า โดยที่ผนังอิฐมอญจะสามารถรับแรงด้านข้างได้ดีกว่าอิฐมวลเบาเล็กน้อย หลังจากคาดรัดด้วยเหล็กเส้นแบน ผนังจะมีการอัดแตกก่อนแต่เสายังสามารถรับแรงด้านข้างได้อีก จากนั้นเสาถึงจะมีการวิบัติแบบเฉือนตามมา ทำให้มีกำลังรับแรงด้านข้างเพิ่มขึ้น ดังนั้น การคาดรัดด้วยเหล็กเส้นแบนที่นำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของโครงข้อแข็งในอาคารที่ต้องการรับแรงแผ่นดินไหว

คำสำคัญ : การเสริมกำลังโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐเติมเต็ม,อิฐมอญ,อิฐมวลเบา,การคาดรัด,เหล็กส้นแบน,รูปแบบการวิบัติ

Abstract

The reinforced concrete frame structures built in the past lacked sufficient seismic resistance. Therefore, they should be strengthened appropriately. This study proposes a method to confine the column with flat bars in order to increase shear resistance. The study analyzed RC frames using ABAQUS software. There are 7 specimens for comparison of lateral force resistance efficiency between original and strengthened frames. The frames had either brick or lightweight brick infill. The analysis found that frames with infills could increase lateral force resistance by approximately 4.2 times, with brick infills performing slightly better than lightweight brick infills. When brick infills were crushed due to compression, the lateral force resistance immediately decreased, followed by shear failure in the column structure. After confining with flat steel bars for the column structure, although the infills cracked similarly, the column structure could still withstand lateral forces, thereby increasing lateral force resistance. Therefore, confining with flat bars helps delay shear failure in columns effectively.

Keywords: reinforced concrete frame, brick infill, confinement, steel flat bar.

1. บทนำ

ปัญหาของการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่เมื่อเกิดแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหวในบริเวรที่เป็นโครงข้อแข็งที่มีผนังอิฐเติมเต็มช่อง จะเกิดแรงด้านข้างในผนังก่ออิฐและจะเกิดความเสียหายกับโครงสร้างระบบเสาและคานโดยมีการวิบัติแบบเฉือนซึ่งจะพบความเสียหายกับโครงสร้างบริเวณรอยต่อของเสาและคานเป็นอย่างมาก ดังรูปที่ 1





รูปที่ 1 ลักษณะของความเสียหายของอาคารที่มีผนังก่ออิฐจากแรงแผ่นดินไหว [1]

ในปัจจุบันอาคารส่วนใหญ่ในประเทศไทยมีลักษณะโครงสร้างเป็นระบบเสาคานจึงสามารถจำลองระบบโครงสร้างที่มีผนังอิฐเติมเต็มช่องว่างเพื่อทดสอบการรับแรงด้านข้างของ โครงสร้างได้ โดยการวิเคราะห์โครงสร้างในการรับแรงกระทำด้านข้างจะสอดคล้องกับงานวิจัย ของ Panitan Lukkunaprasit et al. [1] ที่ได้ทำการทดสอบเพื่อศึกษา พฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งที่มีผนังอิฐเติมเต็มในช่องว่าง แล้วพบว่ามีพฤติกรรมการวิบัติแบบเฉือน โดยกำลังรับแรงด้านข้างลดลงทันทีเมื่อผนังก่ออิฐเกิดการอัดแตก บริเวณมุมเสา-คาน ทำให้เสามีพฤติกรรมเป็นเสาสั้นจึงเกิดการวิบัติแบบเฉือนขึ้นในเสาหรือในจุดต่อเสา-คาน

โครงข้อแข็งที่มีผนังเติมเต็มช่องว่างเมื่อรับแรงทางด้านข้าง ผนังก่ออิฐจะช่วยรับแรงทางด้านข้างเป็นแรงอัดตามแนวทแยง โดยการทดสอบนี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาพฤติกรรมของโครงข้อแข็งและการเสริมเหล็กเส้นแบนเพื่อช่วยในการรับแรงด้านข้างและการลดรอยแตกระหว่างจุดต่อของเสา

โดยในการวิจัยครั้งนี้นั้นได้ใช้โปรแกรม ABAQUS ในการวิจัยซึ่งโปรแกรม ABAQUS เป็นโปรแกรมใช้สำหรับประเมิน วิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นงานของเราว่าชิ้นงานนั้นๆ มีความสามารถในการรับแรงในรูปแบบที่เราต้องการหรือไม่ เป็นโปรแกรม finite element ที่สามารถจำลอง load ที่มากระทำกับชิ้นงานได้หลายรูปแบบ

1.1 วัตถุประสงค์

- เปรียบเทียบพฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งที่มีผนังเติมเต็มระหว่างอิฐมวลเบาและอิฐมอญด้วยโปรแกรม ABAQUS
- ศึกษาประสิทธิภาพการเสริมกำลังเสาโดยการคาดรัดด้วยเหล็กเส้นแบน ที่การวิบัติแบบเฉือน

1.2 ขอบเขต

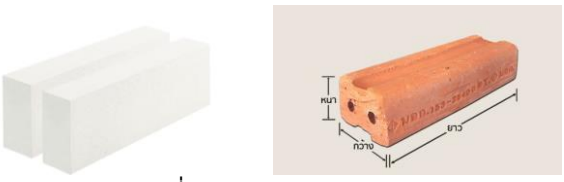
- คุณสมบัติของวัสดุของโครงข้อแข็ง

คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต เท่ากับ 28 MPa เหล็กตามยาวเป็นเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm (DB16) มีกำลังรับแรงดึงที่จุดครากและจุดประลัยเท่ากับ 400 MPa 590 MPa

เหล็กปลอกเป็นเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm (RB6) มีกำลังรับแรงดึงที่จุดครากและจุดประลัยเท่ากับ 240 MPa 350 MPa

- ผนังที่จะใช้ศึกษามี 2 ชนิด

ผนังอิฐมวลเบา ใช้อิฐมวลเบาขนาด 200 x 600 มม. ความหนา 100 มม. ชั้นคุณภาพ 2 ตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 [5] และ ผนังอิฐมอญ ใช้อิฐมอญแดง มอก. 2 รู ขนาด 40 x 65 x 140 มม. ตามมาตรฐาน มอก. 153-2540 [6] ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 อิฐมวลเบา และอิฐมอญ

-เหล็กคาดรัด

ขนาดหนา 20 มม. กว้าง 50 มม. ยาว 240 มม. มีกำลังรับแรงดึงที่จุดครากและจุดประลัยเท่ากับ 240 MPa 350 MPa ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เหล็กเส้นแบน

1.3 ประโยชน์

- เข้าใจถึงพฤติกรรมของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังเติมเต็มในช่องว่าง ที่มีแรงกระทำด้านข้าง
- ทราบถึงแนวทางของการเสริมกำลังของเสา

2. ทฤษฎีและงานวิจัย

2.1 เสารับแรงอัดและการดัด

เสาจะรับแรงอัดเป็นหลักแต่ก็มักเกิดการดัดร่วมด้วยเกือบเสมอ โมเมนต์ดัดเกิดจากความต่อเนื่อง เช่น การหล่อเนื้อเดียวกันในอาคารคอนกรีตทำให้โมเมนต์ที่จุดรองรับคานบางส่วนจะถูกถ่ายลงเสา น้ำหนักบรรทุกด้านข้างจากแรงลม แม้ว่าในการออกแบบจะไม่มีโมเมนต์ดัดก็ตาม ความไม่สมบูรณ์ในการก่อสร้างก็จะทำให้เกิดการเยื้องศูนย์ที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เสมอ

2.2 แรงเฉือนในโครงสร้างเสาและการรวมแรง

ข้อกำหนดการออกแบบโครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหวได้ควบคุมให้โครงสร้างเสาชั้นที่ 1 ควรมีความเหนียวที่เพียงพอโดยควบคุมให้โครงสร้างเสาเกิดการวิบัติแบบดัดและหลีกเลี่ยงการวิบัติแบบเฉือน เพื่อให้โครงสร้างอาคารไม่พังถล่มลงมาในกรณีที่ความรุนแรงของแผ่นดินไหวมากกว่าที่กฎหมายกำหนด

องค์ประกอบของโครงสร้างของอาคารสูงโดยทั่วไปที่ทำหน้าที่ในการรับแรงกระทำด้านข้าง (*Lateral Load)* ได้แก่ โครงข้อแข็ง (*Frame)* กำแพง (*Wall or Shear wall)* เป็นต้น เมื่อมีแรงมากระทำทางข้าง องค์ประกอบ

ดังกล่าวเคลื่อนตัวไปพร้อมๆกัน ดังนั้นแต่ละองค์ประกอบก็จะออกแรงต้านตามสัดส่วนของ *Stiffness* ของมัน

การที่เราจะประเมินว่าแต่ละองค์ประกอบใดจะออกแรงต้านเท่าใดนั้น จะต้องศึกษาพฤติกรรมการรับแรงทางข้างของแต่ละองค์ประกอบนั้นว่าอย่างไร จนกระทั่งสามาระประเมินค่า *Stiffness* ของมันออกมาได้ ต่อจากนั้นเราก็จะต้องสร้างแบบจำลอง (*Model*) ในการวิเคราะห์ ที่จะต้องไม่ซับซ้อนจนเกินไป เพื่อลดงานคำนวณไม่ให้ยุ่งยาก แต่ก็จะต้องให้ผลที่พอจะเชื่อถือได้เช่นกัน

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีต

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต เป็นที่ทราบกันว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตจะเป็นเส้นโค้งพาราโบล่า โดยส่วนใหญ่สมการจะขึ้นอยู่กับจุดที่ค่ากำลังอัดสูงสุด ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตคำนวณจากสมการที่ (1) และ ความเค้นในช่วงอีลาสติก (σ_e) คำนวณได้จากสมการที่ (2) ส่วนความเค้นในช่วงอีลาสติก (σ'_e) คำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad \text{(MPa)} \qquad (1)$$

$$\sigma_e = f'_c\left(\frac{2\varepsilon}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^2\right) \qquad (2)$$

$$\sigma'_e = E_c\varepsilon_e \qquad (3)$$

ด้วยพฤติกรรมนี้จึงมีแนวคิดการเสริมเหล็กปลอกให้โครงสร้างเสาเพื่อให้คอนกรีตสามารถรังแรงอัดได้โดยที่มีความเครียดอัดแตกเพิ่มขึ้น แล้วพฤติกรรมการโยกตัวของโครงสร้างเสาจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น

กำลังรับแรงดึงของคอนกรีต กำลังรับแรงดึงแตกร้าว คำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$\varepsilon_{cr} = \frac{f'_t}{E_c} \quad \text{โดยที่} \quad f'_t = 0.3f_c^{2/3} \qquad (4)$$

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็ก

คุณสมบัติเด่นของเหล็กคือการรับแรงดึง ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กเส้นรับแรงดึงแบ่งออกเป็นทั้งหมด 4 ช่วง ได้แก่ ช่วงอิลาสติกคือ ช่วงที่มีความเค้นแปรผันตรงกับความเครียด ช่วงคราก เป็นช่วงที่เหล็กครากโดยยืดออกโดยที่แรงดึงคงที่ ช่วงความเครียดที่กำลังดึงเพิ่มขึ้นเป็นช่วงที่เหล็กเริ่มเกิดคอคอดทำให้หน้าตัดของเหล็กในส่วนนั้นเล็กลงเรื่อยๆ แต่การรับกำลังดึงจะเพิ่มมากขึ้น ช่วงประลัยเป็นช่วงที่มีกำลังดึงสูงสุด ความเครียดในเหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดคราก คำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$\varepsilon_y = f_y/E_s \qquad (5)$$

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของอิฐ

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของอิฐคำนวณจากสมการที่ (6) และความเค้นในช่วงอีลาสติก (σ_e) กับความเค้นในช่วงอีลาสติก (σ'_e) ใช้สมการที่ (7) และ (3)

ในการคำนวณและกำลังรับแรงดึงของอิฐ กำลังรับแรงดึงแตกร้าวคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$E_m = \frac{2f'_m}{\varepsilon_0} \quad \text{(MPa)} \qquad (6)$$

$$\sigma_e = f'_m\left(\frac{2\varepsilon}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^2\right) \qquad (7)$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Fei wang et al. [2] ที่ได้ศึกษาเรื่องของอิทธิพลของผนังเติมเต็มชนิดต่างๆต่อประสิทธิภาพของการโหลดแบบวนรอบของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นการทดสอบพฤติกรรมการรับแรง ด้านข้างของผนังอิฐเติมเต็มโดยศึกษาการก่อผนังด้วยอิฐมวลเบาและอิฐมอญมีการรับแรงด้านข้าง พบว่าอิฐมอญมีความสามารถรับแรงในแนวนอนได้ดีกว่าอิฐมวลเบา แต่เนื่องจากแรงค้ำยันที่รุนแรงจึงทำให้เกิดความเสียหายที่หัวเสาและรอยต่อของคานอย่างมาก

งานวิจัยของ สมบูรณ์ เชี่ยงฉิน และคณะ [3] ที่ศึกษาเรื่อง การเสริมกำลังเสาคอนกรีตเสริมเหล็กให้รับแรงแผ่นดินไหวด้วยการคาดรัดของเหล็กเส้นแบน จากการวิจัยเมื่อเสริมกำลังของโครงสร้างด้วยเหล็กเส้นแบนแล้ว ทำให้เหล็กเส้นแบนมีส่วนช่วยในการรับแรงด้านข้างของโครงสร้างและช่วยในการลดการแตกร้าวของเสา เปลี่ยนรูปแบบการวิบัติจากการวิบัติแบบเฉือนเป็นการวิบัติแบบดัดได้

งานวิจัยของสมบูรณ์ เชี่ยงฉิน และคณะ [4] ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดของผนังอิฐมอญภายใต้แรงอัดแกนเดียวที่ทำมุมกับแนวการก่ออิฐ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะทำการศึกษาโดยทำการทดสอบให้แรงอัดกับตัวอย่างผนังก่ออิฐการทดสอบจะให้แรงอัดกระทำกับตัวอย่างผนังก่ออิฐโดยที่แนวแรงอัดทำมุม 0 15 30 45 60 75 และ 90 องศา กับแนวการก่ออิฐ ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่ามุมระหว่างแนวแรงอัดกับแนวการก่ออิฐมีผลต่อกำลังอัดหน่วยแรงอัดประลัยจากผลการทดสอบแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา โดยใช้เครื่องทดสอบแรงอัด สามารถหาหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเมาได้จากสมการ

3.วิธีดำเนินงาน

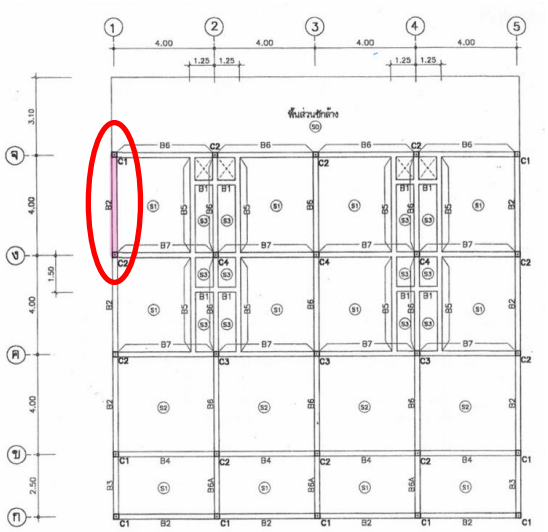
3.1 รายละเอียดของตัวอย่างศึกษา

รายละเอียดการเสริมเหล็กโครงข้อแข็งอ้างอิงจากอาคารพานิชย์แบบตึกแถวอนุรักษ์ภาคเหนือ 3 ชั้น โดยเลือกใช้ผนังชั้น 1 ที่มีผนังเติมเต็มในการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4 มีตัวอย่างโครงทั้งหมด 7 ตัวอย่าง คือ โครงข้อแข็ง

แบบไม่มีผนังเติมเต็ม โครงข้อแข็งที่มีผนังอิฐมอญเติมเต็มแบบไม่เสริมกำลัง แบบเสริมกำลัง และแบบเสริมกำลังเต็มเสา โครงข้อแข็งที่มีผนังอิฐมวลเบาเติมเต็มแบบไม่เสริมกำลัง แบบเสริมกำลัง และแบบเสริมกำลังเต็มเสา มีรายละเอียดเสาและคานดังนี้

เสา ขนาดหน้าตัด 200 x 200 มม. เหล็กตามยาวเป็นเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm (DB16) จำนวน 4 เส้น ยาว 2850 มม. เหล็กปลอกเป็นเหล็กกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm (RB6) ระยะเรียง 200 มม.

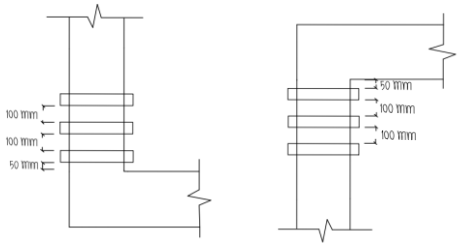
คาน ขนาดหน้าตัด 200 x 400 มม. เหล็กตามยาวเป็นเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm (DB16) เหล็กบน 2 เส้น เหล็กล่าง 3 เส้น ยาว 4100 มม. เหล็กปลอกเป็นเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm (RB6) ระยะเรียง 150 มม. ดังรูปที่ 5 และรายละเอียดการเสริมกำลังโดยการคาดรัดภายนอกด้วยเหล็กเส้นแบน ดังรูปที่ 6



รูปที่ 4 แบบแปลนโครงสร้างคาน พื้น ชั้นที่ 1 ของอาคารตัวอย่าง



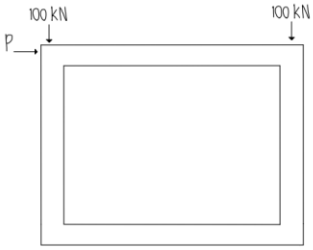
รูปที่ 5 รายละเอียดการเสริมเหล็กเสาและคาน



ก.) โคนเสา ข.) หัวเสา

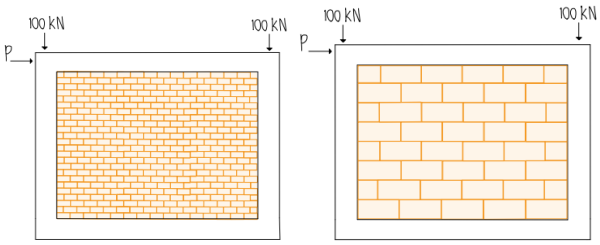
รูปที่ 6 ตำแหน่งการคาดรัดด้วยเหล็กเส้นแบน

โครงข้อแข็งที่ไม่มีผนังอิฐเติมเต็ม รายละเอียดผนัง ด้านกว้าง 3800 มม. ความสูง 2100 มม. เสามีขนาดหน้าตัด 200 x 200 มม. สูง 2500 มม. ทำการวิเคราะห์แรงกระทำด้านข้างด้วยโปรแกรม ABAQUS โดยกำหนดให้มีแรงตามแนวแกน (Axial load) 100 kN ให้มีการเคลื่อนที่ด้านข้าง (P) 100 มม. ดังรูปที่ 7



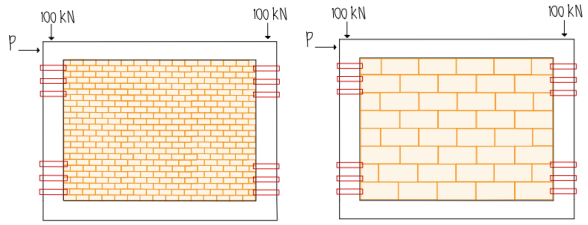
รูปที่ 7 โครงข้อแข็งที่ไม่มีผนังอิฐเติมเต็ม

โครงข้อแข็งที่ก่อผนังอิฐมอญและอิฐมวลเบาไม่เสริมกำลังด้วยการคาดรัดเหล็กเส้นแบน รายละเอียดผนัง ด้านกว้าง 3800 มม. ความสูง 2100 มม. เสามีขนาดหน้าตัด 200 x 200 มม. สูง 2500 มม. ทำการวิเคราะห์แรงกระทำด้านข้างด้วยโปรแกรม ABAQUS โดยกำหนดให้มีแรงตามแนวแกน (Axial load) 100 kN ให้มีการเคลื่อนที่ด้านข้าง (P) 100 มม. ดังรูปที่ 8



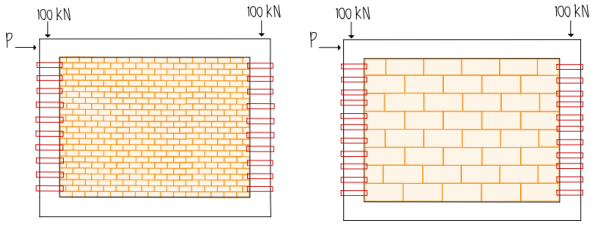
รูปที่ 8 โครงข้อแข็งที่ก่อผนังอิฐมอญและอิฐมวลเบาไม่เสริมกำลังด้วยการคาดรัดเหล็กเส้นแบน

โครงข้อแข็งที่ก่อผนังอิฐมอญและอิฐมวลเบาเสริมกำลังด้วยการคาดรัดเหล็กเส้นแบน รายละเอียดผนัง ด้านกว้าง 3800 มม. ความสูง 2100 มม. เสามีขนาดหน้าตัด 200 x 200 มม. สูง 2500 มม. และเสริมกำลังด้วยการคาดรัดเหล็กเสริมเส้นแบนที่เสาทั้ง 2 ฝั่ง จำนวนฝั่งละ 6 ชิ้น โคนเสาจะมีช่องระหว่างเหล็กเส้นแบน 100 มม. การศึกษานี้เลือกใช้ช่องว่างของการคาดรัดเป็นระยะเริ่มต้นจากโคนเสา 50 มม. และช่องว่างระหว่างเหล็กคาดรัด 100 มม. ดังรูปที่ 6 ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ABAQUS โดยกำหนดให้มีแรงตามแนวแกน (Axial load) 100 kN ให้มีการเคลื่อนที่ด้านข้าง (P) 100 มม. ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 โครงข้อแข็งที่ก่อผนังอิฐมอญและอิฐมวลเบาเสริมกำลังด้วยการคาดรัดเหล็กเส้นแบน

โครงข้อแข็งที่ก่อผนังอิฐมอญและอิฐมวลเบาแบบเสริมกำลังด้วยการคาดรัดเหล็กเส้นแบนแบบเต็มเสา รายละเอียดผนัง ด้านกว้าง 3800 มม. ความสูง 2100 มม. เสามีขนาดหน้าตัด 200 x 200 มม. สูง 2500 มม. ทำการวิเคราะห์แรงกระทำด้านข้างด้วยโปรแกรม ABAQUS โดยกำหนดให้มีแรงตามแนวแกน (Axial load) 100 kN ให้มีการเคลื่อนที่ด้านข้าง (P) 100 มม. ดังรูปที่ 10



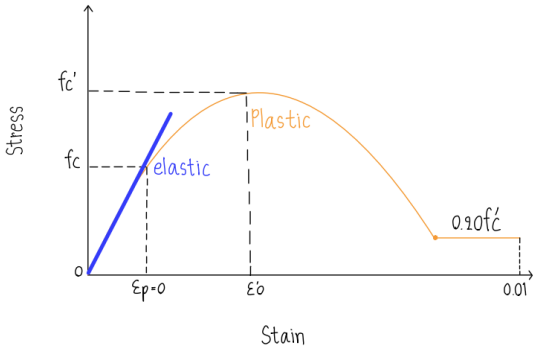
รูปที่ 10 โครงข้อแข็งที่ก่อผนังอิฐมอญและอิฐมวลเบาแบบเสริมกำลังด้วยการคาดรัดเหล็กเส้นแบนแบบเต็มเสา

3.2 แบบจำลองใน ABAQUS

3.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีต

กำหนดให้ค่ากำลังอัดสูงสุด (f'_c) ที่จะใช้ในการวิเคราะห์นี้เท่ากับ 28 MPa และจุดที่กำลังอัดที่ 45% (f_c) คำนวณจากสมการที่ (8) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 12.6 MPa ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต คำนวณจากสมการที่ (1) ดังนั้นจะได้ 25208.25 MPa การวิบัติซึ่งความเครียดที่ผิวคอนกรีตด้านรับแรงอัดถึงค่าประลัยคือ $\varepsilon_{cu} = 0.002$ จากนั้นค่า σ'_e ที่ใกล้เคียงกับ f_c จะเป็นจุดเริ่มต้นช่วงพลาสติก $(\varepsilon_P = 0)$ ดังนั้น ที่จุดค่ากำลังอัดสูงสุด จะได้ $\varepsilon'_0 = 0.0015$ จากนั้นค่าความเค้นในช่วงพลาสติกก็จะลดลงไปจนถึงจุด $0.2f'_c$ และจะคงที่ไปจนถึงจุดที่ค่าความเครียดเท่ากับ 0.01 ดังรูปที่ 11

$$f_c = 0.45f'_c \qquad (8)$$



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีต

แบบจำลองกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต กำลังรับแรงดึงแตกร้าว จะได้ f'_t = 2.76 และค่า $\varepsilon_{cr} = 0.00011$ จากสมการที่ (4) ข้างต้นและที่จุดความเครียดเท่ากับ 0 จะได้ความเค้นดังสมการที่ (9) จากนั้น ε_1 ε_2 และ ε_3 มีค่า 0.0008 ,0.01 และ 0.1 ตามลำดับ โดยที่ ε_1 คำนวณได้จากสมการที่ (10) ส่วน σ_1 σ_2 และ σ_3 คำนวณจากสมการที่ (11) ซึ่งจะได้ค่าเท่ากับ 0.27

$$\sigma = f'_t \qquad (9)$$

$$\varepsilon_1 = 7.7\varepsilon_{cr} \qquad (10)$$

$$\sigma_n = 0.1f'_t \qquad (11)$$

3.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็ก

โดยกำหนดให้ขนาดเหล็กเส้น DB16 มีความเค้นสูงสุด (f_u) 590 MPa ความเครียดสูงสุด (ε_u) 0.15 ความเค้นที่จุดคราก (f_y) 400 MPa ขนาดเหล็กปลอก RB6 ความเค้นสูงสุด (f_u) 350 Mpa ความเครียดสูงสุด (ε_u) 0.1 ความเค้นที่จุดคราก (f_y) 240 MPa เหล็กเส้นและเหล็กปลอกมีค่าความเครียดที่จุดคราก (ε_y) 0.002 โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก (E_s) 200 GPa

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กเส้นแบน

เหล็กเส้นแบนมีค่า ความเค้นสูงสุด (f_u) 350 MPa ความเครียดสูงสุด (ε_u) 0.1 ความเค้นที่จุดคราก (f_y) 240 MPa ความเครียดที่จุดคราก (ε_y) 0.002 โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก (E_s) 200 GPa

3.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของอิฐมอญและมวลเบา

ค่ากำลังอัดสูงสุดของอิฐมอญ (f'_m) ที่จะใช้ในการวิเคราะห์นี้เท่ากับ 5 MPa และจุดที่กำลังอัดที่ 45% (f_m) คำนวณจากสมการที่ (8) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.25 MPa ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของอิฐมอญ คำนวณจากสมการที่ (6) ดังนั้นจะได้ 2000 MPa

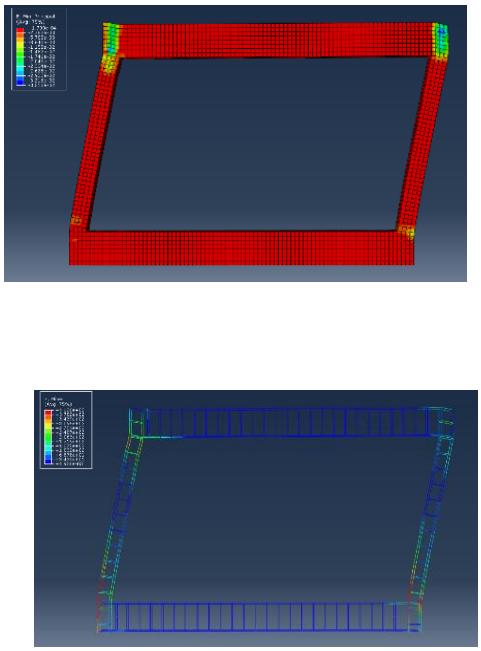
ค่ากำลังอัดสูงสุดของมวลเบา (f'_l) ที่จะใช้ในการวิเคราะห์นี้เท่ากับ 3 MPa และจุดที่กำลังอัดที่ 45% (f_l) คำนวณจากสมการที่ (8) ซึ่งมีค่า

เท่ากับ 1.35 MPa ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของอิฐมวลเบา คำนวณจากสมการที่ (6) ดังนั้นจะได้ 1200 MPa

4.ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง

4.1 โครงข้อแข็งที่ไม่มีผนังอิฐเติมเต็ม

สามารถรับแรงด้านข้างสูงสุดได้ 46.35 kN วิบัติบริเวณจุดต่อเสาและคาน เหล็กมีการครากที่เหล็กเสริมตามยาวบริเวณโคนเสาทั้ง 2 ด้านและเหล็กปลอกเสาบางส่วน ดังรูปที่ 12



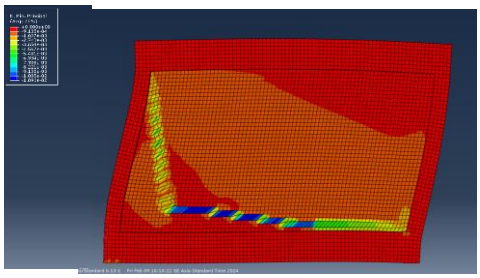
รูปที่ 12 ค่าความเครียดโครงข้อแข็งที่ไม่มีผนังอิฐเติมเต็มและเหล็กเสริม

4.2 โครงข้อแข็งที่มีผนังเติมเต็มแบบไม่เสริมกำลัง

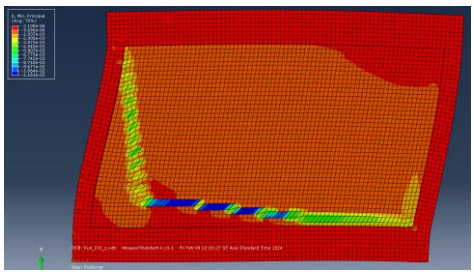
โครงข้อแข็งผนังอิฐมอญ รอยอัดแตกแรกเกิดขึ้นที่ระยะการเคลื่อนที่ 4.89 mm ด้วยแรงทางข้างสูงสุด 174 kN ผนังบริเวณจุดที่รับแรงมีลักษณะการอัดแตกเป็นเส้นตรงเฉียงลงจากมุมเสาลงไปถึงคานด้านล่างแตกตามแนวคานไปจนถึงบริเวณเสาอีกฝั่งและผนังมีความเสียหายเป็นวงกว้างตรงกลางเป็นแนวทแยงมุม โดยดูจากค่าความเครียด ของผนังที่กำหนดไว้เท่ากับ 0.005 ดังนั้นเมื่อผนังมีค่าความเครียด เกินที่กำหนดไว้จึงเกิดการอัดแตกขึ้นบริเวณดังกล่าว จากนั้นเสาเกิดการวิบัติบริเวณหัวเสา และมีการอัดแตกมากที่เสาอีกฝั่ง ดังรูปที่ 13

โครงข้อแข็งผนังอิฐมวลเบา รอยอัดแตกแรกเกิดขึ้นที่ระยะการเคลื่อนที่ 6.47 mm ด้วยแรงทางข้างสูงสุด 189 kN ผนังบริเวณจุดที่รับแรงมีลักษณะการอัดแตกเป็นเส้นตรงเฉียงลงจากมุมเสาลงไปถึงคานด้านล่างแตกตามแนวคานไปจนถึงบริเวณเสาอีกฝั่งและผนังมีความเสียหายเป็นวงกว้างเกือบทั่วทั้งผนัง โดยดูจากค่าความเครียด ของผนังที่กำหนดไว้เท่ากับ 0.005 ดังนั้นเมื่อผนังมีค่าความเครียด เกินที่กำหนดไว้จึงเกิดการอัดแตกขึ้นบริเวณดังกล่าว จากนั้นเสาเกิดการวิบัติแบบเฉือนบริเวณหัวเสา ดังรูปที่ 14

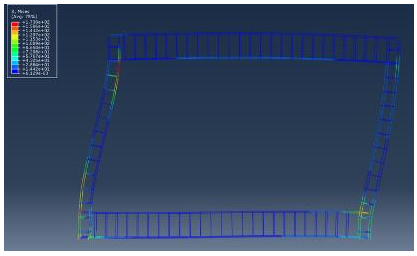
เหล็กมีการเสียรูปที่เหล็กเส้นบริเวณโคนเสาฝั่งขวาเนื่องจากแรงเฉือนแต่ยังไม่ถึงจุดคราก ส่วนเหล็กปลอกยังสามารถรับแรงเฉือนได้ ดังรูปที่ 15



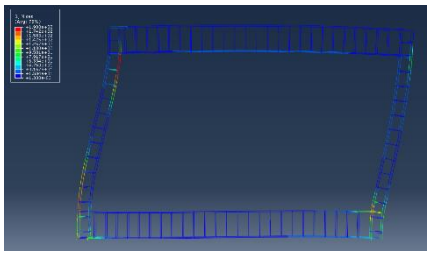
รูปที่ 13 ค่าความเครียดในผนังอิฐมอญแบบไม่เสริมกำลัง



รูปที่ 14 ค่าความเครียดในผนังอิฐมวลเบาแบบไม่เสริมกำลัง



ก.) มอญ



ข.) มวลเบา

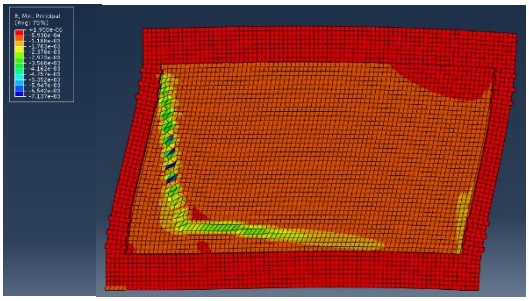
รูปที่ 15 ค่าความเค้นในเหล็กของโครงข้อแข็งผนังอิฐมอญและมวลเบาแบบไม่เสริมกำลัง

4.3 โครงข้อแข็งที่มีผนังเติมเต็มแบบเสริมกำลัง

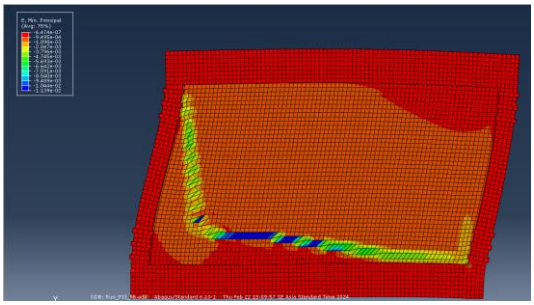
โครงข้อแข็งผนังอิฐมอญ รอยอัดแตกแรกเกิดขึ้นที่ระยะการเคลื่อนที่ 4.57 mm ด้วยแรงทางข้างสูงสุด 172 kN ผนังบริเวณจุดที่รับแรงมีลักษณะการอัดแตกเป็นเส้นตรงเฉียงลงจากมุมเสาลงไปถึงคานด้านล่างแตกตามแนวคานไปจนถึงบริเวณส่วนกลางของคานและผนังมีความเสียหายเป็นวงกว้าง โดยดูจากค่าความเครียดของผนังที่กำหนดไว้เท่ากับ 0.005 ดังนั้นเมื่อผนังมีค่าความเครียด เกินที่กำหนดไว้จึงเกิดการอัดแตกขึ้นบริเวณดังกล่าว เสาจะมีการวิบัติแบบเฉือนหลังจากที่ผนังอัดแตกแล้วเสายังสามารถรับแรงได้ต่อจนถึงระยะการเคลื่อนที่ 11.25 mm ที่แรงทางข้างสูงสุด 189 kN ดังรูปที่ 16

โครงข้อแข็งผนังอิฐมวลเบา รอยอัดแตกแรกเกิดขึ้นที่ระยะการเคลื่อนที่ 6.07 mm ด้วยแรงทางข้างสูงสุด 186 kN ผนังบริเวณจุดที่รับแรงมีลักษณะการอัดแตกเป็นเส้นตรงเฉียงลงจากมุมเสาลงไปถึงคานด้านล่างแตกตามแนวคานไปจนถึงบริเวณเสาอีกฝั่งและผนังมีความเสียหายเป็นวงกว้าง โดยดูจากค่าความเครียด ของผนังที่กำหนดไว้เท่ากับ 0.005 MPa ดังนั้นเมื่อผนังมีค่าความเครียด เกินที่กำหนดไว้จึงเกิดการอัดแตกขึ้นบริเวณดังกล่าว เสาจะมีการวิบัติแบบเฉือนหลังจากที่ผนังอัดแตกแล้วเสายังสามารถรับแรงได้ต่อจนถึงระยะการเคลื่อนที่ 13.59 mm ที่แรงทางข้างสูงสุด 199 kN ดังรูปที่ 17

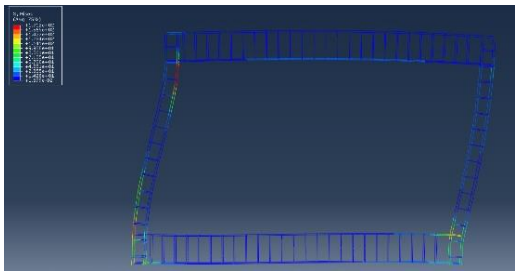
เหล็กเสียรูปเนื่องจากการรับแรงดึงบริเวณใต้เหล็กคาดรัดด้านบนและเหล็กคาดรัดด้านล่างของเสาอีกฝั่ง แต่ไม่ถึงจุดคราก ส่วนเหล็กปลอกยังสามารถรับแรงเฉือนได้ ดังรูปที่ 18



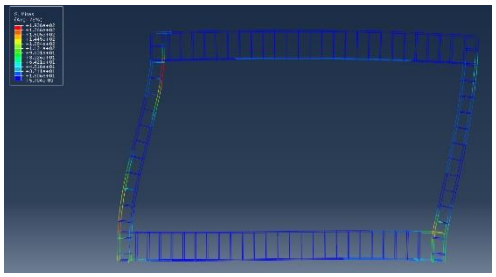
รูปที่ 16 ค่าความเครียดในผนังอิฐมอญแบบเสริมกำลัง



รูปที่ 17 ค่าความเครียดในผนังอิฐมวลเบาแบบเสริมกำลัง



ก.) มอญ



ข.) มวลเบา

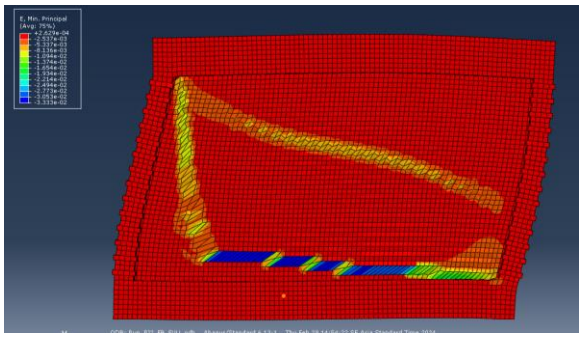
รูปที่ 18 ค่าความเค้นในเหล็กของโครงข้อแข็งผนังอิฐมอญและมวลเบาแบบเสริมกำลัง

4.4 โครงข้อแข็งที่มีผนังเติมเต็มแบบเสริมกำลังเต็มเสา

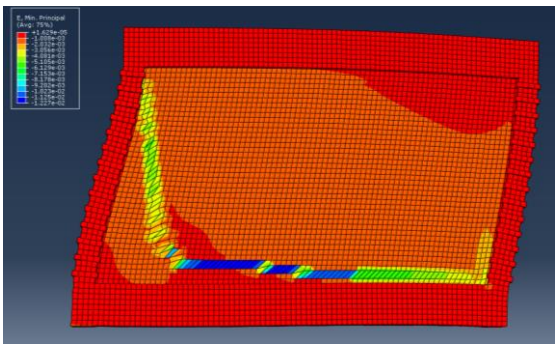
โครงข้อแข็งผนังอิฐมอญ รอยอัดแตกแรกเกิดขึ้นที่ระยะการเคลื่อนที่ 4.84 mm ด้วยแรงทางข้างสูงสุด 176 kN ผนังบริเวณจุดที่รับแรงมีลักษณะการอัดแตกเป็นเส้นตรง 2 เส้น เส้นแรกเฉียงลงจากมุมเสาลงไปถึงคานด้านล่างแตกตามแนวคานไปจนถึงบริเวณเสาอีกฝั่ง อีกเส้นแตกเฉียงไปตามแนวทแยงไปเกือบถึงจุดกึ่งกลางเสา โดยดูจากค่าความเครียดของผนังที่กำหนดไว้เท่ากับ 0.005 ดังนั้นเมื่อผนังมีค่าความเครียดเกินที่กำหนดไว้จึงเกิดการอัดแตกขึ้นบริเวณดังกล่าว จากนั้นเสาเกิดการวิบัติแบบเฉือนบริเวณหัวเสา และมีการอัดแตกมากที่เสาอีกฝั่ง เสาจะมีการวิบัติแบบเฉือนหลังจากที่ผนังอัดแตกแล้วเสายังสามารถรับแรงได้ต่อจนถึงระยะการเคลื่อนที่ 11.22 mm ที่แรงทางข้างสูงสุด 191 kN ดังรูปที่ 19

โครงข้อแข็งผนังอิฐมวลเบา รอยอัดแตกแรกเกิดขึ้นที่ระยะการเคลื่อนที่ 6.05 mm ด้วยแรงทางข้างสูงสุด 186 kN ผนังบริเวณจุดที่รับแรงมีลักษณะการอัดแตกเป็นเส้นตรงเฉียงลงจากมุมเสาลงไปถึงคานด้านล่างแตกตามแนวคานไปจนถึงบริเวณเสาอีกฝั่งและผนังมีความเสียหายเป็นวงกว้าง โดยดูจากค่าความเครียดของผนังที่กำหนดไว้เท่ากับ 0.005 ดังนั้นเมื่อผนังมีค่าความเครียดเกินที่กำหนดไว้จึงเกิดการอัดแตกขึ้นบริเวณดังกล่าว เสาจะมีการวิบัติแบบเฉือนหลังจากที่ผนังอัดแตกแล้วเสายังสามารถรับแรงได้ต่อจนถึงระยะการเคลื่อนที่ 13.51 mm ที่แรงทางข้างสูงสุด 201 kN ดังรูปที่ 20

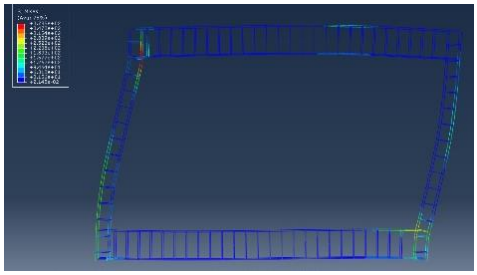
เหล็กเสียรูปเนื่องจากการรับแรงดึงบริเวณใต้เหล็กคาดรัดด้านบนและเหล็กคาดรัดด้านล่างของเสาอีกฝั่ง แต่ไม่ถึงจุดครากส่วนเหล็กปลอกยังสามารถรับแรงเฉือนได้ ดังรูปที่ 21



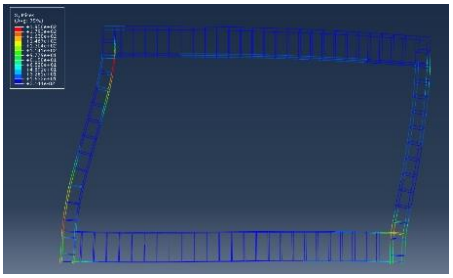
รูปที่ 19 ค่าความเครียดในผนังอิฐมอญแบบเสริมกำลังเต็มเสา



รูปที่ 20 ค่าความเครียดในผนังอิฐมวลเบาแบบเสริมกำลังเต็มเสา



ก.) มอญ



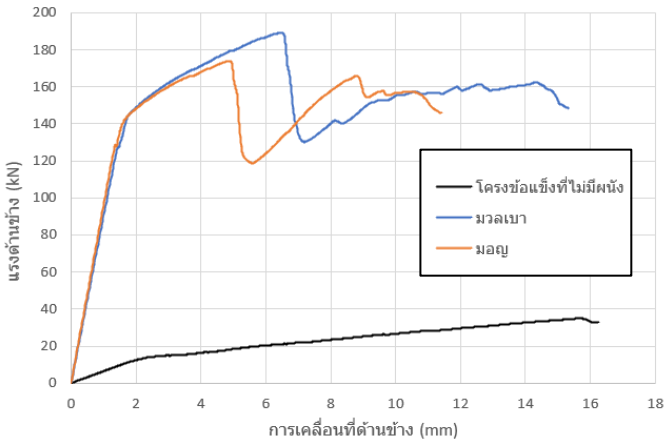
ข.) มวลเบา

รูปที่ 21 ค่าความเค้นในเหล็กของโครงข้อแข็งผนังอิฐมอญและมวลเบาแบบเสริมกำลังเต็มเสา

5.อภิปรายผลการวิเคราะห์

5.1 การรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งที่ไม่มีผนังเติมเต็มและโครงข้อแข็งที่มีผนังเติมเต็มอิฐมอญ อิฐมวลเบา

จากการทดสอบพบว่าโครงข้อแข็งที่ไม่มีผนังสามารถรับแรงด้านข้างสูงสุดได้ 33.77 kN ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับโครงข้อแข็งที่มีผนังนั้นแบบมีผนังสามารถรับแรงด้านข้างสูงสุดได้มากกว่าอย่างเห็นได้ชัด โดยที่ผนังอิฐมอญสามารถรับแรงทางข้างกระทำสูงสุด เท่ากับ 168 kN น้อยกว่าผนังอิฐมวลเบา โดยที่รับแรงทางข้างกระทำสูงสุดเท่ากับ 189 kN ระยะการเคลื่อนที่ด้านข้างเท่ากับ 6.47 mm และ 4.89 mm ตามลำดับ ดังรูปที่ 22

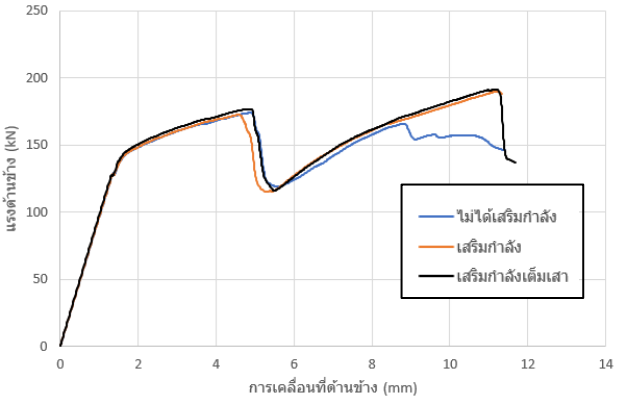


รูปที่ 22 การรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งที่ไม่มีผนังเติมเต็มกับโครงข้อแข็งที่มีผนังเติมเต็มอิฐมอญและอิฐมวลเบา

5.2 การรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งที่มีผนังเติมเต็มอิฐมอญแบบไม่เสริมกำลัง แบบเสริมกำลัง และแบบเสริมกำลังเต็มเสา

จากการทดสอบแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งผนังอิฐมอญ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่ด้านข้างของทั้ง 3 ตัวอย่าง มา

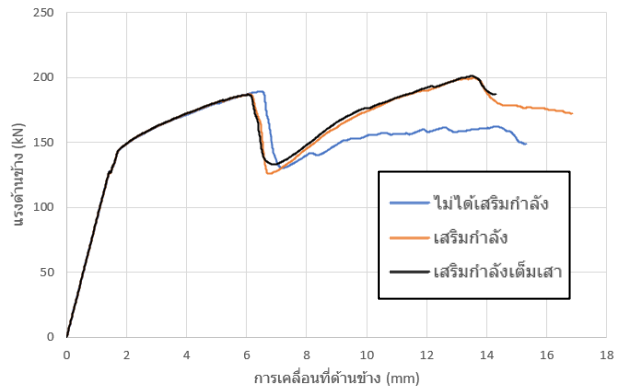
เปรียบเทียบกัน ดังรูปที่ 23 จะสังเกตเห็นประสิทธิภาพการเสริมกำลังโดยวิธีการคาดรัดด้วยเหล็กเส้นแบน โครงข้อแข็งที่มีผนังเติมเต็มแบบเสริมกำลัง และเสริมกำลังเต็มเสา สามารถรับแรงด้านข้างสูงสุดได้ 191 kN และ 199 kN ตามลำดับ มากกว่าโครงข้อแข็งที่มีผนังเติมเต็มแบบไม่เสริมกำลัง โดยที่แรงด้านข้างกระทำสูงสุด 146 kN เนื่องจากการคาดรัดด้วยเหล็กเส้นแบนไปเพิ่มกำลังรับแรงเฉือน (Shear failure) ในเสา



รูปที่ 23 การรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งที่มีผนังเติมเต็มอิฐมอญแบบไม่เสริมกำลัง แบบเสริมกำลัง และแบบเสริมกำลังเต็มเสา

5.3 การรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งที่มีผนังเติมเต็มอิฐมวลเบาแบบไม่เสริมกำลัง แบบเสริมกำลัง และแบบเสริมกำลังเต็มเสา

จากการทดสอบแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งผนังอิฐมวลเบา จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่ด้านข้างของทั้ง 3 ตัวอย่าง มาเปรียบเทียบกัน ดังรูปที่ 24 จะสังเกตเห็นประสิทธิภาพการเสริมกำลังโดยวิธีการคาดรัดด้วยเหล็กเส้นแบน โครงข้อแข็งที่มีผนังเติมเต็มแบบเสริมกำลัง และเสริมกำลังเต็มเสา สามารถรับแรงด้านข้างสูงสุดได้ 189 kN และ 201 kN ตามลำดับ มากกว่าโครงข้อแข็งที่มีผนังเติมเต็มแบบไม่เสริมกำลัง โดยที่แรงด้านข้างกระทำสูงสุด 148.44 kN เนื่องจากการคาดรัดด้วยเหล็กเส้นแบนไปเพิ่มกำลังรับแรงเฉือน (Shear failure) ในเสา



รูปที่ 24 การรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งที่มีผนังเติมเต็มอิฐมวลเบาแบบไม่เสริมกำลัง แบบเสริมกำลัง และแบบเสริมกำลังเต็มเสา

6. บทสรุป

จากผลการวิเคราะห์โครงข้อแข็งที่ไม่ได้ออกแบบให้รับแรงแผ่นดินไหวแล้วทำการเสริมกำลังด้วยเหล็กเส้นแบนคาดรัดโครงสร้างเสา โดยมีผนังเติมเต็มช่องว่าง ได้ข้อสรุปดังนี้

1. โครงข้อแข็งที่มีผนังเติมเต็มช่องว่างจะรับแรงด้านข้างได้มากกว่าประมาณ 4.2 เท่า เมื่อเทียบกับโครงข้อแข็งเปล่า แต่กำลังรับแรงด้านข้างจะตกลงเร็วเมื่อผนังก่ออิฐเกิดการอัดแตก แล้วตามด้วยการวิบัติแบบเฉือนในโครงสร้างเสา

2. โครงข้อแข็งที่มีผนังอิฐมอญและอิฐมวลเบาเติมเต็มแบบเสริมกำลังเต็มเสาด้วยการคาดรัดเหล็กเส้นแบน มีประสิทธิภาพในการรับแรงด้านข้างได้มากกว่าแบบเสริมกำลังไม่เต็มเสาและไม่เสริมกำลัง เนื่องจากการคาดรัดด้วยเหล็กเส้นแบนไปเพิ่มกำลังรับแรงเฉือน (Shear failure) ในเสา

3. โครงข้อแข็งผนังผนังอิฐมวลเบา มีการเกิดรอยอัดแตกแรกในระยะการเคลื่อนที่และแรงทางข้างสูงสุดที่มากกว่าผนังอิฐมอญ เนื่องจากความต่างของขนาดผนังอิฐทำให้ผนังอิฐมวลเบารับแรงได้มากกว่า

ประสิทธิภาพการเสริมกำลังพิจารณาจากการเปรียบเทียบผลการทดสอบซึ่งพบว่าการคาดรัดด้วยเหล็กเส้นแบนนั้นช่วยเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนให้กับโครงข้อแข็งเป็นอย่างดีและป้องกันการโก่งเดาะของเหล็กเสริมตามยาวได้ โดยที่โครงข้อแข็งผนังอิฐมอญมีกำลังรับแรงด้านข้างเพิ่มขึ้น 36.30 % (จาก 146 kN เป็น 199 kN) และของโครงข้อแข็งผนังอิฐมวลเบามีกำลังรับแรงด้านข้างเพิ่มขึ้น 35.81 % (จาก 148 kN เป็น 201 kN) ดังนั้น โครงข้อแข็งที่เสริมกำลังด้วยเหล็กเส้นแบนจึงมีประสิทธิภาพในการเพิ่มสมรรถนะให้กับโครงสร้างต้านทานแรงด้านข้างจากแรงแผ่นดินไหวได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Lukkunaprasti, P., Ruangrassamee, A.,Bonnyatee, T., Chintanapakdee, C., Jankaew, K., Thanasisathit, N. and Chandrangsu, T. (2016). Performance of Structure in the Mw 6.1 Mae Lao Earthquake in Thailand on May 5, 2014 and Implications for Future Constructtion. *Jornal of Earthquake Engineering*.

[2] Fie Wang, KaoZong, Zhao,Jianwei, Zhang and Kai Yan. (2021). Inluence of Different Tye of Infill Walls on the Hysteretic Performanc of Reinforced Concrete Frames.

[3] สมบูรณ์ เชี่ยงฉิน, อนันทพงษ์ กระจาย และปรีดา ไชยมหาวัน. (2566). การเสริมกำลังเสาคอนกรีตเสริมเหล็กให้รับแรงแผ่นดินไหวด้วยการคาดรัดของเหล็กเส้นแบน, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28, ภูเก็ต, 24-26 พฤษภาคม 2566.

[4] สมบูรณ์ เชี่ยงฉิน, ปรีดา ไชยมหาวัน และวิชัยรัตน์ แก้วเจือ. (2562).

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของผนังอิฐมอญภายใต้แรงอัดแกนเดียวที่ทำมุมกับแนวการก่ออิฐ, วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปีที่ 30 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม-กันยายน 2562.
[5] มอก. 1505 (2541). กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศและอบไอน้ำ. กระทรวงอุตสาหกรรม.
[6] มอก. 153 (2540). กำหนดหลักเกณฑ์เฉพาะในการตรวจสอบเพื่อการอนุญาติสำหรับผลิตภัณฑ์อิฐกลวงก่อแผงไม่รับน้ำหนัก. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม.

การปรับปรุงคุณสมบัติของดินตะกอนด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวล

The improvement of soft clay properties by utilizing cement and fly ash from biomass power plants

ผู้แต่ง ;นางสาวชลธิชา ปรียนันท์[1],นางสาวนุสตานี แสงเวช[2] ,นางสาวจิตตินันท์ แก้วกัน[3] , นายเมธาสิทธิ์ กาทอง[4,*]
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา
63102375@up.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังของดินตะกอนที่ขุดลอกจากกว๊านพะเยาที่ถูกปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวล ได้แก่ เถ้าลอยยางและเถ้าลอยปาล์ม โดยวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินจะทำการผสมดินตะกอนด้วยปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 0 3 5 7 และ 10 และปริมาณเถ้าลอยร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักดิน การเตรียมตัวอย่างแต่ละอัตราส่วนผสมจะถูกบดอัดในแบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว สูง 4 นิ้ว และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน เมื่อครบอายุการบ่มตัวอย่างทดสอบจะถูกนำไปทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว ผลการทดสอบพบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของดินตะกอนที่ถูกปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ และเถ้าลอยที่อายุการบ่ม 28 วัน คือส่วนผสมของเถ้าปาล์ม P-C10F20 เนื่องจากเถ้าลอยอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมช่วยกระจายอนุภาคของดินตะกอนและปูนซีเมนต์ ส่งผลให้อนุภาคของปูนซีเมนต์สัมผัสกับน้ำได้มากขึ้น จึงทำให้การเชื่อมประสานเกิดได้มากขึ้น ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้สำหรับงานวิศวกรรมผิวทาง

คำสำคัญ : ดินตะกอนกว๊านพะเยา , ปูนซีเมนต์ , เถ้าลอย , กำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว และ การบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน

Abstract

This research aims to investigate the strength properties of laterite soil excavated from Kwang Phayao, which has been amended with Type 1 Portland cement and biomass ash from a biomass power plant, specifically rubber and palm biomass ashes. The soil quality enhancement process involves blending the laterite soil with varying percentages of Portland cement (0, 3, 5, 7, and 10) and recycled concrete aggregate (0, 5, 10, 15, and 20) by weight of the soil. Each mixture ratio is compacted into cylindrical molds with dimensions of 2 inches in diameter and 4 inches in height, and then cured at 30 degrees Celsius for 7 and 28 days. After the curing period, the specimens undergo testing to determine their single-axis compressive strength.

The test results indicate that the most suitable mixture for laterite soil improved with Portland cement and biomass ash after 28 days of curing is the composition containing 20% palm biomass ash (P-C10F20). This mixture facilitates proper dispersion of laterite soil and cement particles, leading to enhanced cohesion between them. Therefore, there is potential to apply this mixture in engineering surface applications.

Keywords: laterite soil from Kwang Phayao, Portland cement, biomass ash, single-axis compressive strength, and higher-than-standard compaction.

1.คำนำ

ปัจจุบันกว๊านพะเยากักเก็บน้ำได้น้อยทางกรมประมงจังหวัดพะเยาจึงจัดทำโครงการขุดลอกดินตะกอนกว๊านพะเยาขึ้นมาเพื่อเพิ่มปริมาณในการกักเก็บน้ำในกว๊านพะเยาให้มากขึ้นแล้วผลที่ได้จากการทำโครงการขุดลอกดินตะกอนกว๊านพะเยานั้นก็คือดินตะกอนขึ้นมาเป็นจำนวนมากกลายเป็นวัสดุเหลือทิ้งไม่มีพื้นที่ในการกำจัดหรือพื้นที่ในการทิ้งเพื่อเป็นการตัดปัญหาดินตะกอนนี้ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญในการนำเอาดินตะกอนกว๊านพะเยามาประยุกต์ใช้ในด้านวิศวกรรมการทาง ในการปรับปรุงดินตะกอนด้วยปูนซีเมนต์ที่มีราคาค่อนข้างสูงและมีกระบวนการผลิตที่ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมฉะนั้นจึงได้มีการนำเอาวัสดุมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์เพื่อเป็นการลดปริมาณในการใช้ปูนซีเมนต์โดยการนำเถ้าลอยที่ได้จากการเผาไหม้กลายเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงไฟฟ้าชีวมวลจากจังหวัดสุ-ราษฎร์ธานีก็คือเถ้าลอยปาล์มกับเถ้าลอยยางมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำดินตะกอนกว๊านพะเยาที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากจังหวัดพะเยามาผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินและใช้เถ้าลอยยางกับเถ้าลอยปาล์มจากโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อมาทดแทนปูนซีเมนต์ด้วยวิธีทางวิศวกรรมโดยการหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางต่อไป



รูปที่ 1 ลักษณะของดินตะกอนกว๊านที่ถูกดูดขึ้นมา

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติทางด้านกำลังของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอย มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1.) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินตะกอนกว๊านพะเยามาใช้งานทางด้านวิศวกรรมผิวทาง

2.) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ถูกปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ เถ้าลอยปาล์มและเถ้าลอยยาง

3.) เพื่อเป็นการสนับสนุนให้เกิดการนำเอาวัสดุภายในประเทศมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุดยันจะนำมาเป็นการบูรณาการความรู้ทางวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ร่วมกับวัสดุท้องถิ่น

1.2 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ถูกปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์เถ้าลอยปาล์มและเถ้าลอยยางมีขอบเขตการวิจัย ดังต่อไปนี้

1.) รวบรวมงานวิจัยและศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการผสมปูนซีเมนต์เถ้าลอยปาล์มและเถ้าลอยยาง

2.) ตัวอย่างในการทดสอบจะเลือกใช้ดินตะกอนกว๊านพะเยา จังหวัดพะเยา ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และเถ้าลอยปาล์มและเถ้าลอยยางที่ได้จากโรงไฟฟ้ากลุ่มธุรกิจพลังงานไฟฟ้าชีวมวลจากจังหวัดสุราษฎร์ธานี

3.) ศึกษาพฤติกรรมด้านวิศวกรรมของดินตะกอนผสมปูนซีเมนต์เถ้าลอยปาล์มและเถ้าลอยยาง เบื้องต้นด้วยการทดสอบในห้องปฏิบัติการประกอบด้วยการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดิน

4.) การทดสอบในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่า มาตรฐาน (Modified compaction test) และการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined compressive test, UC) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 7 และ 28 วัน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในงานวิศวกรรมผิวทาง(Pavement engineering) เป็นการประยุกต์ให้วัสดุมีคุณสมบัติที่เพียงพอต่อเกณฑ์ข้อกำหนดสำหรับชั้นพื้นทาง(Base layer)อีกทั้งยังได้ทำการศึกษาถึงพฤติกรรมทางด้านกายภาพ และทางวิศวกรรมของดินตะกอน

1.) ได้ปรับปรุงคุณภาพดินตะกอนที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในงานวัสดุวิศวกรรมผิวทาง

2.) ได้ทราบถึงพฤติกรรมด้านกำลังของดินตะกอนที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอยปาล์มกับเถ้าลอยยาง

3.) ได้นำของเหลือทิ้งจากการขุดลอกดินตะกอนกว๊านพะเยาและเถ้าลอยปาล์มกับเถ้าลอยยางที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงไฟฟ้าชีวมวลนำมาประยุกต์ใช้ในวิศวกรรมผิวทาง

แผนการดำเนินการ

ตารางที่1 แผนการดำเนินการ

ลำดับที่	ขั้นตอน	2566								2567		
		พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	ค้นคว้าข้อมูลเพื่อทำวิจัยดินตะกอนกว๊านพะเยา											
2	สำรวจแหล่งปริมาณดินตะกอนและนำตัวอย่างมาทำการทดสอบและหาคุณสมบัติ											
3	หาปริมาณน้ำที่เหมาะสมของดินผสมปูนซีเมนต์และดินผสมปูนซีเมนต์กับเถ้าลอยปาล์มกับเถ้าลอยยาง											
4	ทดสอบกำลังรับแรงอัดของดินตะกอนผสมปูนซีเมนต์และหรือเถ้าลอยปาล์มกับเถ้าลอยยาง											
5	สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง											
6	จัดทำรูปแบบรายงานและเตรียมนำเสนอวิจัย											

2.ทฤษฎีและงานวิจัย

2.1.) ดินตะกอนกว๊านพะเยา

กว๊านพะเยา ตั้งอยู่ในเขตตัวเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา เป็นทะเลสาบน้ำจืดใหญ่เป็นอันดับ 1 ในภาคเหนือ เป็นทะเลสาบน้ำจืดขนาดใหญ่ และใหญ่เป็นอันดับ 3 ของประเทศไทย มีเนื้อที่ 12,831 ไร่ หรือ (20.529 ตารางกิโลเมตร) มีความลึกเฉลี่ย 1.93 เมตร (6.33 ฟุต) สามารถกักเก็บน้ำเฉลี่ยได้ถึง 33.84 ลูกบาศก์เมตร (สำนักงานจังหวัดพะเยา, 2556)ทัศนียภาพโดยรอบสวยงามมีภูเขาน้อยใหญ่เป็นบริเวณรอบกว๊าน ยังมีลุ่มน้ำที่เป็นตัวกลางพัดพาตะกอนไหลลงสู่กว๊านพะเยามากถึง 10 ลุ่มน้ำ ได้แก่ ลุ่มน้ำห้วยแม่ปืม ลุ่มน้ำอิงตอนบน ลุ่มน้ำห้อยแม่เหยี่ยน ลุ่มน้ำห้วยแม่ตุ้ม ลุ่มน้ำห้วยแม่ต๋ำ ลุ่มน้ำห้วยแม่ต๋อม ลุ่มน้ำห้วยแม่ตุ่น ลุ่มน้ำห้วยแม่นาเรือ ลุ่มแม่ห้วยแมใส ลุ่มน้ำห้วยแม่ต๋ำ ส่งผลให้เกิดการพัดพาดินตะกอนโดยมีแม่น้ำเหล่านี้เป็นตัวกลางพัดพาตะกอนมาสะสมในบริเวณกว๊านพะเยา ในปัจจุบันกว๊านพะเยามีสภาพค่อนข้างเสื่อมโทรม ตื้นเขินเก็บกักน้ำได้น้อย โดยส่วนหนึ่งก็เป็นปัญหามาจากการสะสมของดินตะกอน

ที่มา : กรมประมง จังหวัดพะเยา (2561)

2.2) เถ้าลอย

เถ้าลอยเป็นวัสดุอย่างหนึ่งที่ได้มาจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าชีวมวล เถ้าลอยจะมีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลาน(Pozzolan)เป็นวัสดุที่นิยมใช้เป็นส่วนผสมในปูนซีเมนต์หรือคอนกรีต เถ้าลอยจะมีลักษณะเป็นผงสีเทาปนน้ำตาล รูปร่างกลมหรือไม่แน่นอนเนื่องจากอุณหภูมิในการเผาไหม้ ความละเอียด ส่วนประกอบของถ่านที่ไม่เท่ากัน

ที่มา : วิจิตรอัจฉรา สรรพกิจจำนง, ธนศักดิ์ ใฝ่กระโทก และบุญเลิศ พัดฉวี, (2536)

2.3) ปูนซีเมนต์(Cement)

ปูนซีเมนต์ปฏิกิริยาประสานคือปฏิกิริยาซีเมนต์ไฮเดรชัน(Cement hydration) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะเกิดเป็นสารเชื่อมประสานที่เรียกว่า ซีเมนต์เจล (Cement gel) ซึ่งจะจับตัวแข็งเมื่อมีอายุเพิ่มขึ้น และปูนซีเมนต์แต่ละชนิดจะประกอบด้วยสารแคลเซียมซิลิเกต (Calcium silicate) ชนิดต่างๆในปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลให้มีความแตกต่างในด้านสมบัติการแข็งตัว

2.4) *การปรับปรุงคุณภาพดิน*

ดินถือว่าเป็นปัญหาหลักของงานเกี่ยวกับถนนมากเนื่องจากดินนั้นเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจึงทำให้สมบัติต่างๆมักเปลี่ยนไปตามสถานที่และลักษณะการกำเนิดซึ่งดินในบางที่นั้นอาจมีคุณสมบัติในการรับกำลัง การเสียรูปและความสามารถในการยุบอัดตัวที่ไม่ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานจึงทำให้เกิดการปรับปรุงดินขึ้น

2.5) *วัสดุปอซโซลาน*

สารปอซโซลานมีส่วนประกอบหลักคือซิลิกา(Silica)และอลูมินา(Alumina) มีคุณสมบัติเป็นวัสดุประสานที่น้อยมากเมื่อสารปอซโซลานมีความละเอียดและมีความชื้นเพียงพอมาทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิห้องจะทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก(Pozzolanic Reaction) ซึ่งมีสมบัติในการยึดประสานได้ดีคล้ายกับปูนซีเมนต์

ที่มา : สมชัย กกกำแหง, (2536)

2.6) *การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง*

งานวิจัยการปรับปรุงดินด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอย

ปูนซีเมนต์และดินเหนียวจัดเป็นวัสดุอนุภาคที่ทำปฏิกิริยากับน้ำ ส่วนเถ้าลอยดินตะกอนและทรายจัดเป็นวัสดุอนุภาคที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำเนื่องจากมีพื้นที่ผิวน้อยและไม่มีประจุไฟฟ้า เมื่อผสมปูนซีเมนต์เข้ากับดินเหนียวอนุภาคของดินเหนียวและปูนซีเมนต์จะรวมตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ เถ้าลอยจะทำหน้าที่กระจายกลุ่มของอนุภาคของดินและปูนซีเมนต์ที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง ส่งผลให้อนุภาคของปูนซีเมนต์สัมผัสน้ำได้มากขึ้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานได้มากขึ้น การพัฒนากำลังอัดของดินเหนียวซีเมนต์เถ้าลอยชีวมวลแปรผันโดยตรงกับอัตราส่วนน้ำในดินเหนียวต่อปูนซีเมนต์ ในกรณีของคอนกรีตเมื่อปูนซีเมนต์สัมผัสกับน้ำจะเกิดไฮเดรชั่นและก่อให้เกิดความเป็นด่างอย่างรุนแรง ด่างที่เกิดนี้จะละลายซิลิกาและอลูมินาออกจากวัสดุปอซโซลานและก่อให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน

ที่มา : Nagaraj et al.(2001) Papadakis et al.(2002) และ Hopibulsuk et al.(2011)

2.7) *เกณฑ์การออกแบบดินซีเมนต์ของกรมทางหลวง*

ตารางที่2 เกณฑ์การออกแบบดินซีเมนต์ของกรมทางหลวง

ชั้นทาง	กำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 7วัน (Unconfined Compressive Strength)
ทล-ม. 203/2532 ชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Rock Base)	ไม่น้อยกว่า 2413 KPa
ทล-ม. 204/2533 ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base)	ไม่น้อยกว่า 1724 KPa
ทล-ม. 206/2523 ชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement SubBase)	ไม่น้อยกว่า 689 KPa

ที่มา : สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบกรมทางหลวง (2019)

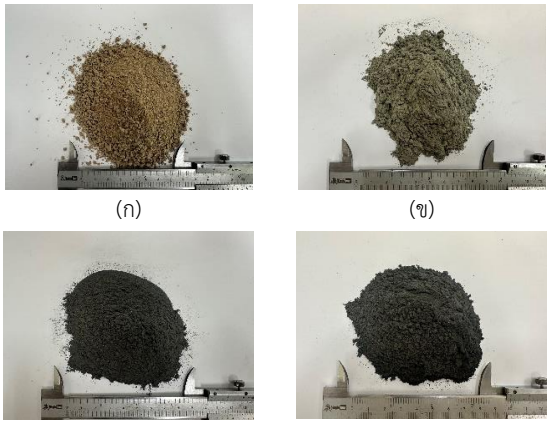
3.วิธีดำเนินการ

3.1) *วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ*

วัสดุที่นำมาใช้ในการทดสอบเพื่อการศึกษาวิจัยนั้นประกอบด้วย โดยตัวอย่างดินตะกอนที่นำมาใช้จะเป็นดินที่ได้จากกระบวนการขุดจากท้องกว๊านพะเยา อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยาและทำการเก็บตัวอย่างดินตะกอนจากในบริเวณพื้นที่ริมกว๊านพะเยาส่วนปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานคือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และเถ้าลอยที่ได้จากการเผาต้นปาล์มและต้นยางจากโรงไฟฟ้าชีวมวล ตำบลท่าฉาง อำเภอท่าฉาง จังหวัดสุราษฎร์ธานี



ภาพที่ 2 กองดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ถูกกองทิ้งไว้



(ก) (ข)

(ค) (ง)

ภาพที่ 3 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ (ก) ดินตะกอนกว๊านพะเยา (ข) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนประเภท 1 (ค) เถ้าลอยปาล์ม (ง) เถ้าลอยยาง จากโรงไฟฟ้าชีว-มวลตำบลท่าฉาง อำเภอท่าฉาง จังหวัดสุราษฎร์ธานี

3.2.) *การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรม*

เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ผสมปูนซีเมนต์และเถ้าลอยปาล์มและเถ้าลอยยางใช้ข้อกำหนดจากมาตรฐานดังตารางเป็นข้อกำหนดและควบคุมในการทดสอบงานวิจัย

ตารางที่ 3 ข้อกำหนดและควบคุมในการทดสอบงานวิจัยโดยในการทดสอบแต่ละประเภทมีรายละเอียดและความหมายดังนี้

การทดสอบ	วัตถุประสงค์	มาตรฐาน
การทดสอบหาขีดพิกัดอัตเตอร์เบิร์ก (Atterberg test)	เพื่อหาค่า LL PL PI และ SL	ASTM D4318 ASTM D 427
การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity test)	เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะ	ASTM D 854

การทดสอบหาขนาดคละ (grain size analysis)	เพื่อหาใช้ในการจำแนกดินและคุณสมบัติพื้นฐานของดิน	ASTM D 422
การบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน(Modified compression test)	เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมและหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด	ASTM D 1157
กำลังรับแรงอัดแบบแกนเดี่ยว (Unconfined compression test)	เพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว	ASTM D 2166

3.2.1) *การทดสอบขีดพิกัดอัตเตอร์เบิร์ก*

- ขีดจำกัดเหลว (Liquid limit,LL)คือ ปริมาณความชื้นในมวลดิน ขณะที่มวลดินเริ่มเปลี่ยนสภาพจากของเหลว(Viscous fluid) ไปเป็นสารหนืดตัวในสถานภาพพลาสติก(Plastic state)
- ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic limit, PL) คือ ปริมาณความชื้นในมวลดินขณะที่เปลี่ยนสถานภาพจากพลาสติกเป็นกึ่งของแข็ง (Semi – solid state)
- ขีดจำกัดหดตัว (Shrinkage limit, SL) คือ ปริมาณความชื้นที่ดินเปลี่ยนจากสภาพกึ่งของแข็งเป็นของแข็ง และจะไม่มีการหดตัวต่อไปอีกแล้ว แต่เมื่อความชื้นยิ่งลดลงไป ฟองอากาศจะเริ่มแทรกเข้าไปในมวลดินและทำให้เกิดสภาวะไม่อิ่มตัวเกิดขึ้นจนกระทั่งไม่มีความชื้นอยู่เลย

ส่วนค่าความชื้นในสถานภาพพลาสติกของดินเราเรียกว่า Plasticity index (PL) คือผลต่างของ LL และ PL มักเป็นตัวแสดงถึงความเหนียวของดินและยังแสดงความไวต่อการเปลี่ยนสถานภาพต่อความชื้นของมวลดินนั้นจึงเป็นค่าที่สำคัญใช้มากในการจำแนกมวลดิน

3.2.2) *การทดสอบความถ่วงจำเพาะ*

ค่าความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) ของวัตถุใดๆ คือ อัตราส่วนของน้ำหนักในอากาศของวัตถุต่อน้ำหนักน้ำที่อุณหภูมิ 4°c ที่มีปริมาตรเท่าวัตถุนั้นในมวลดินจะประกอบด้วยธาตุสารหลายๆอย่างดังนั้นความถ่วงจำเพาะในมวลดินก็คือค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะของธาตุ สารเหล่านั้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าดินลูกรังบางชนิดมีธาตุเหล็กอยู่มากจึงทำให้มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงถึง 3.00 หรือมากกว่าในทางตรงกันข้าม ถ้ามีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบสำคัญก็จะทำให้มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำประมาณ2.00แต่กระนั้นค่าเฉลี่ยของมวลดินโดยทั่วไปจะอยู่ในระหว่าง 2.60 ถึง 2.70ค่าความถ่วงจำเพาะจะเป็นคุณสมบัติพื้นฐานสำคัญอีกค่าหนึ่งทำให้สามารถคำนวณหาปริมาตรช่องว่าง (Void volume) ความอิ่มตัว (Degree of saturation) ความพรุน (Porosity) และอื่นๆได้ อีกทั้งยังจะทำให้อนุมานได้ว่ามวลดินนั้นๆประกอบด้วยธาตุสาร อะไรบ้างที่เป็นองค์ประกอบ

3.2.3) *การทดสอบหาขนาดคละ*

ในมวลดินปริมาณหนึ่งอาจประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาด ตั้งแต่ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 cm ไปจนถึงขนาด 0.0002 mm โดยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของมวลดินจะขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดดิน เช่น มวลดินที่มีขนาดเม็ดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 100 (0.143 mm) – 200 (0.075 mm) ส่วนมากจะไม่มีความเหนียวหรือแรงยึดเกาะ ระหว่างเม็ดดิน ซึ่งเรียกว่าดินทราย (Granular soil) ส่วนดินที่มีส่วนประกอบเป็นเม็ดเล็กมากๆ (ผ่านตระแกรงเบอร์ 100-200) ก็จะเรียกว่าดินเหนียว (Cohesive soil) นอกจากนั้นขนาดของเม็ดดิน ยังมีอิทธิพลกับการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) ความแข็งแรง(Strength) อัตราการทรุดตัว (Rate of consolidation) และอื่นๆอีกมากมายการหาขนาดและการกระจายของเม็ดดินอาจทำได้ด้วยกันหลายวิธี แต่ที่จะนำมาปฏิบัติในงานวิจัยนี้ คือ วิธีร่อนผ่านตะแกรง (sieve analysis) สำหรับทดสอบกับดินที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.075-0.143 mm ขึ้นไป

3.2.4) *การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน*

ในโปรแกรมการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์4 โดยตัวอย่างดินต้องมีสภาพปราศจากความชื้นโดยการนำไปอบก่อนทำการทดสอบหลังจากที่เตรียมดิน ให้ใส่น้ำเข้าไปประมาณ 3%ของน้ำหนักดินแห้งโดยทำการแบ่งชั้นบดอัดเป็น 5 ชั้นด้วยการบดอัดจากการตกกระแทกของค้อนชั้นละ56ครั้งเมื่อครบตามชั้นบดอัดแล้วให้ตัดแต่งตัวอย่างดินให้มีขนาดเท่ากับโมลจากนั้นทำการบันทึกน้ำหนักและปริมาณความชื้นของก้อนดินที่บดอัดไปจากนั้นทำการผสมดินอีกครั้งโดยเพิ่มปริมาณน้ำเข้าไปอีกเพื่อที่จะได้ทำการบดอัดได้อย่างต่อเนื่องต้องทำแบบนี้จนกว่าน้ำหนักของดินที่บดอัดแล้วมีค่าลดลง

3.2.5) *การประดิษฐ์โมลPVCและค้อนบดอัดสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว*

ในการทดสอบนี้จะใช้ดินในปริมาณที่เท่ากับโมลสำหรับทำการทดสอบการบดอัด เนื่องจากโมลมาตรฐานมีขนาดที่ใหญ่แล้วทรัพยากรในการทดลองมีจำกัดเพื่อให้ทรัพยากรเพียงพอต่อการทดสอบจึงทำการประดิษฐ์โมลขึ้นมาใหม่โดยการใช้ท่อ PVC ขนาด 2นิ้วเป็นโมลในการทดสอบด้วยขนาดของโมลที่เล็กลงจึงได้ประดิษฐ์ค้อนขึ้นมาใหม่เพื่อให้สามารถนำมาใช้บดอัดกับโมลใหม่ได้

หลักการประดิษฐ์โมลและค้อนบดอัดมาจากงานวิจัยของ ธัชชัย ใหม่ขันท์

3.2.6) *การออกแบบพลังงานการบดอัด*

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวในการทดสอบดังกล่าว ต้องใช้ตัวอย่างในขนาดที่แตกต่างกันจากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานจากสาเหตุนี้ทำให้ต้องควบคุมหน่วยน้ำหนักของตัวอย่าง ให้ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบมีหน่วยน้ำหนักเท่ากับดินที่บดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน โดยวิธีการควบคุมหน่วยน้ำหนักทำได้โดยวิธีการเทียบพลังงานในการบดอัดมา มีวิธีการคำนวณและเทียบพลังงานในการบดอัดดังนี้

$$E = \frac{B \times L \times W \times H}{V}$$

E คือ พลังงานที่ใช้ในการบดอัด
B คือ จำนวนครั้งที่ใช้ในการบดอัดในแต่ละชั้น
L คือ จำนวนครั้งที่ใช้ในการบดอัด
W คือ น้ำหนักของค้อนบดอัด (รวมก้านยกด้วย)
H คือ ความสูงของระยะยกของค้อนบดอัด
V คือ ปริมาตรของโมล

ในงานวิจัยนี้ใช้จำนวนการบดอัด 25 และ 27 ครั้ง จำนวน 3 ชั้น

3.2.7) *การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว*

การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวเป็นการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังอัดโดยไม่มีแรงดันด้านข้างมาเกี่ยวข้อง โดยอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 116 ดังภาพที่ 3 แสดงเครื่องมือการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว ตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบจะเป็นดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยยางกับเถ้าลอยปาล์มขึ้นรูปในโมลPVCที่ประดิษฐ์โดยการบดอัดและทำการห่อพลาสติกแล้วทำการบ่มเป็นระยะเวลา 7และ 28 วันเมื่อครบกำหนดการบ่มตัวอย่างแกะตัวอย่างนำมาชั่งน้ำหนักและวัดขนาดก่อนนำไปทำการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว โดยการทดสอบเป็นตามอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์และเถ้าลอยปาล์มกับเถ้าลอยยางแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานและการจำแนกชนิดของตะกอนกว๊านพะเยาในทางวิศวกรรม

การทดสอบ	ผลการทดสอบ
การทดสอบหาขีดพิกัดอัตเตอร์เบิร์ก	LL = 42.6 %
	PL = 23.46 %
	SL = 19.52 %
การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ	2.71
การทดสอบหาขนาดคละ	ผ่านตะแกรงเบอร์4 เท่ากับ 99.93%
	ผ่านตะแกรงเบอร์200 เท่ากับ 92%
การจำแนกตามเกณฑ์ AASHTO	A-7-6
การจำแนกตามเกณฑ USCS	CL



ภาพที่ 3 เครื่องมือการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว

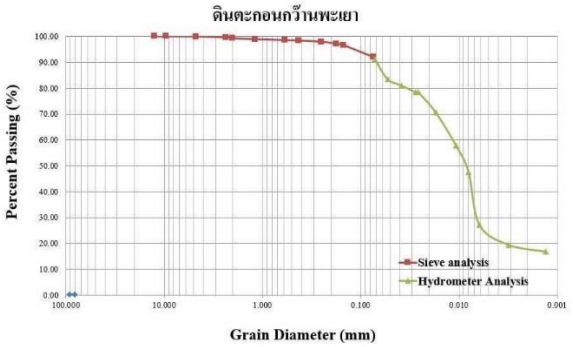
ตารางที่ 4 อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์และเถ้าลอยปาล์มและเถ้าลอยยาง

MIXED	S (%)	C (%)	F (%)	S (Kg)	C(Kg)	F(kg)
C0F0	100	0	0	1736	0	0
C0F5	95	0	5	1649.2	0	86.8
C0F10	90	0	10	1562.4	0	173.6
C0F15	85	0	15	1475.6	0	260.4
C0F20	80	0	20	1388.8	0	347.2
C3F0	97	3	0	1683.92	52.08	0
C3F5	92	3	5	1597.12	52.08	86.8
C3F10	87	3	10	1510.32	52.08	173.6
C3F15	82	3	15	1423.52	52.08	260.4
C3F20	77	3	20	1336.72	52.08	347.2
C5F0	95	5	0	1649.2	86.8	0
C5F5	90	5	5	1562.4	86.8	86.8
C5F10	85	5	10	1475.6	86.8	173.6
C5F15	80	5	15	1388.8	86.8	260.4
C5F20	75	5	20	1302	86.8	347.2
C7F0	93	7	0	1614.48	121.52	0
C7F5	88	7	5	1527.68	121.52	86.8
C7F10	83	7	10	1440.88	121.52	173.6
C7F15	78	7	15	1354.08	121.52	260.4
C7F20	73	7	20	1267.28	121.52	347.2
C10F0	90	10	0	1562.4	173.6	0
C10F5	85	10	5	1475.6	173.6	86.8
C10F10	80	10	10	1388.8	173.6	173.6
C10F15	75	10	15	1302	173.6	260.4
C10F20	70	10	20	1215.2	173.6	347.2

4.) ผลการศึกษา

4.1) ผลการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของดินตะกอนกว๊านพะเยา

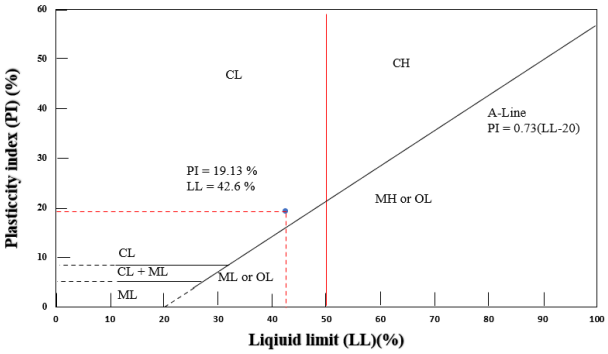
การทดสอบหาขนาดคละ การทดสอบนี้ทำการทดสอบกับดินตะกอนกว๊านพะเยาด้วยวิธีการร่อนผ่านตะแกรงและวิธีตกตะกอนด้วยไฮโดรมิเตอร์ในการทดสอบด้วย 2 วิธีนี้ พบว่าดินตะกอนกว๊านพะเยามีร้อยละการผ่านตะแกรงเบอร์เบอร์ 4 (4.75 mm) เท่ากับ 99.93% การผ่านตะแกรงเบอร์10 (2.00 mm) เท่ากับ99.26% การผ่านตะแกรงเบอร์40 (0.425 mm) เท่ากับ 98.37% และการผ่านตะแกรงเบอร์ 200(0.074mm)เท่ากับ 92.00 %ส่วนกราฟผลการทดสอบการหาขนาดคละทั้งวิธีร่อนผ่านตะแกรงและวิธีการตกตะกอนด้วยไฮโดรมิเตอร์ของดินตะกอนกว๊านพะเยาแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่4 กราฟแสดงผลการทดสอบหาขนาดคละของดินตะกอนกว๊านพะเยา

จากการทำการทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานแบบวิศวกรรมข้อมูลที่ได้ทำให้สามารถจำแนกชนิดของดินตะกอนกว๊านพะเยาด้วยวิธีทางวิศวกรรมได้ โดยเกณฑ์ที่ใช้จำแนกตามเกณฑ์ของ AASHTO (AASHTO Soil Classification System) และตามเกณฑ์USCS (Unified Soil Classification System) พบว่าดินตะกอนกว๊านพะเยาที่มีร้อยละขนาดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ92% มีค่าเท่ามากกว่า 35%จะถูกจัดอยู่ในกลุ่มวัสดุจำพวกตะกอน-ดินเหนียว เมื่อทำการวิเคราะห์โดยอ้างอิงผลค่าดัชนีพลาสติกซิตี้เท่ากับ 19.52% ในการจำแนกเชิงลึกพบว่าดินตะกอนกว๊านพะเยาจัดอยู่ในดินชนิด A-7-6

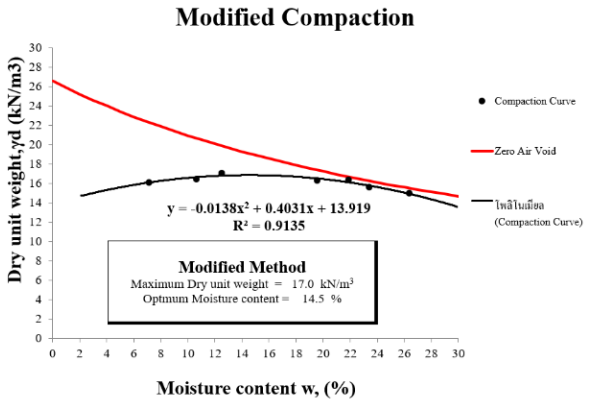
จากการจำแนกแบบ USCSผลการทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ได้ ข้อมูลที่ได้เช่น ขีดพิกัดเหลวเท่ากับ 42.6% ขีดจำกัดพลาสติกเท่ากับ 23.46% และค่าดัชนีพลาสติกซิตี้เท่ากับ 19.52% นำมาจำแนกแล้วพบว่าค่าข้อมูลได้บ่งบอกว่าดินตะกอนกว๊านพะเยาเป็นดินประเภท ดินพลาสติกซิตี้ หรือ CL (Low Plastic clay) ดังภาพที่5



ภาพที่5 รูปเกณฑ์การจำแนกประเภทดินตะกอนกว๊านพะเยาตามเกณฑ์ของUSCS

4.2) ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

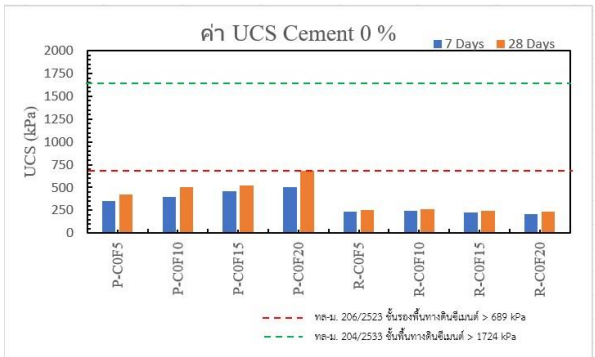
ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานพบว่าค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด (Maximum dry unit weight,)เท่ากับ 17.0KN/m^3และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม(Optimum moisture content, OMC) เท่ากับ14.5%



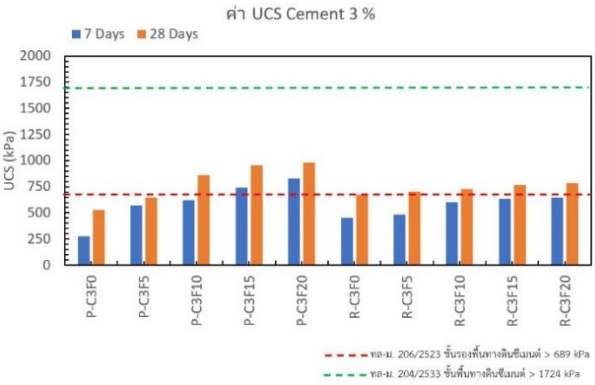
ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์การบดอัดของดินตะกอนกว๊านพะเยา

4.3) การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว (Unconfined compression test)

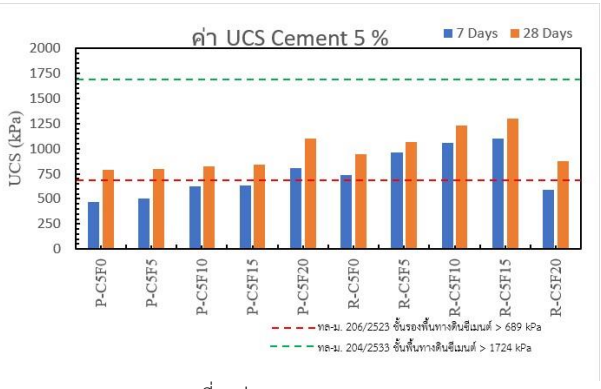
การทดสอบหาค่ากำลังรับแกนเดี่ยวของดินตะกอนที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ เถ้าลอยปาล์มและเถ้าลอยยาง นั้นพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว (Unconfined compressive strength, UCS) จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใส่เข้าไป แต่การที่ใส่เถ้าลอยเข้าไปพบว่าเมื่อมีการเติมเถ้าลอยเข้าไปก็จะส่งผลให้ค่า UCS เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับปูนซีเมนต์ เถ้าลอยจะทำหน้าที่กระจายอนุภาคของดินตะกอนและปูนซีเมนต์ที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง ส่งผลให้อนุภาคของปูนซีเมนต์สัมผัสกับน้ำได้มากขึ้น จึงทำให้การเชื่อมประสานเกิดได้มากขึ้น แต่การใส่เถ้าลอยเข้าไปผสมในปริมาณที่มากเกินไปก็จะส่งผลให้ค่า UCS มีค่าลดลงได้ เนื่องจาก Horpibulsuk et al. (2011) กล่าวไว้ว่า การใส่เถ้าลอยในปริมาณที่มากจะส่งผลให้เถ้าลอยขัดขวางการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจึงทำให้ค่า UCS มีค่าที่ลดลง ดังนั้นสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของค่า UCS จะพบว่าการผสมปูนซีเมนต์เข้าไปนั้นส่งผลให้เกิดเป็นปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เป็นตัวทำให้ดินตะกอนกว๊านพะเยามีค่า UCS ที่สูงขึ้น มีความเสถียรภาพมากขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลทำให้ตัวอย่างดินตะกอนกว๊านพะเยามีค่า UCS ที่สูงขึ้นตามไปด้วย แต่ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นนี้จะ เกิดขึ้นได้ดีคือในช่วงระยะเวลาที่อายุการบ่มที่ 28 วัน ซึ่งเมื่อสังเกตดูจากกราฟค่า UCS ก็จะพบว่ามีความสอดคล้องตรงกันกับการเพิ่มขึ้นของค่า UCS ในช่วงอายุการบ่มที่ 28 วัน และเมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังรับแกนเดี่ยวระหว่างเถ้าปาล์มและเถ้ายาง พบว่าอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์และเถ้าลอยให้ค่ากำลังรับแกนเดี่ยวมากสุดที่ 28 วัน คือ เถ้าปาล์ม P-C10F20 และผ่านเกณฑ์มาตรฐานดินซีเมนต์ชั้นรองพื้นทาง (ทล.ม. 206/2532)



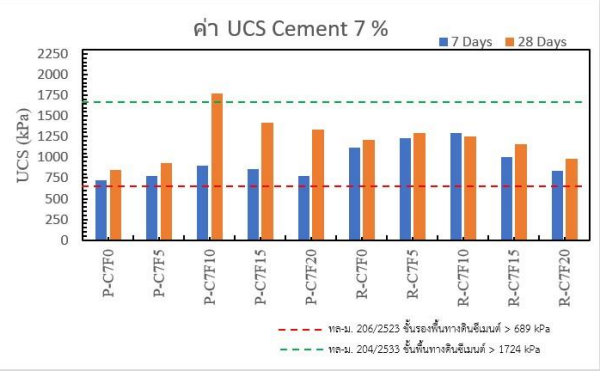
ภาพที่ 7 ค่า UCS Cement 0 %



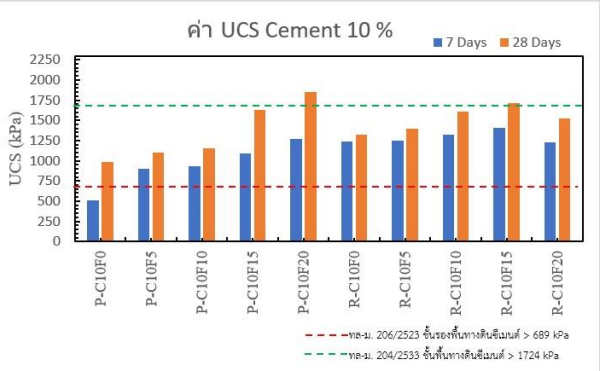
ภาพที่ 8 ค่า UCS Cement 3 %



ภาพที่ 9 ค่า UCS Cement 5 %

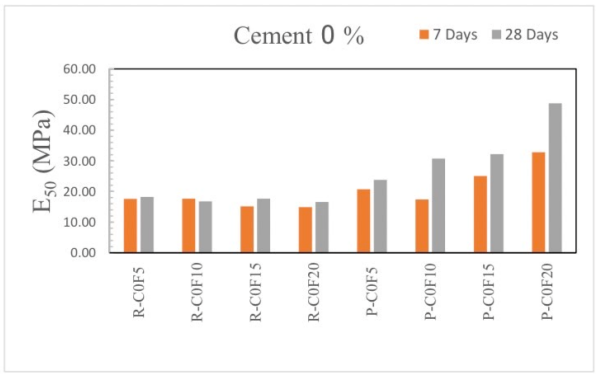


ภาพที่ 10 ค่า UCS Cement 7 %

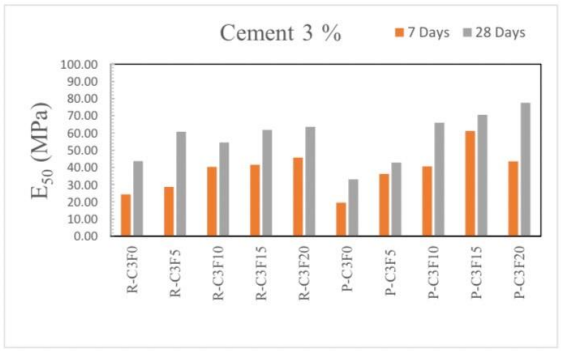


ภาพที่ 11 ค่า UCS Cement 10 %

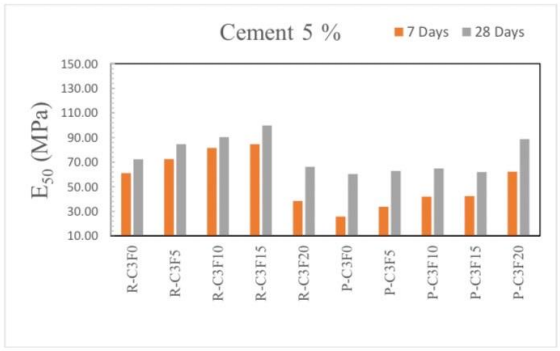
ส่วนข้อมูลค่าโมดูลัสอีลาสติกที่ 50 % ของค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว (Modulas elastic at maximum compressive strength , E50)ที่ได้จากการทดสอบหาค่า UCS พบว่ามีพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกับค่า UCS โดยที่ E50 จะแปรผันตามปริมาณปูนซีเมนต์และเถ้าลอย เมื่อใส่ปริมาณปูนซีเมนต์หรือเถ้าลอยลงไปในตัวอย่างดินตะกอนกว้านพะเยามากขึ้น ทั้งนี้จะทำให้ค่า UCSเพิ่มขึ้นและลดลงจะส่งผลรวมถึงค่าE50ด้วย



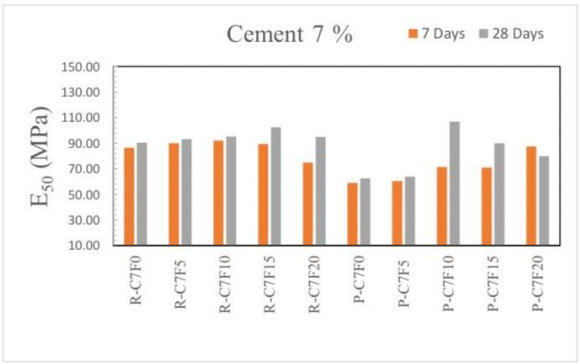
ภาพที่ 12 ค่า E50 Cement 0 %



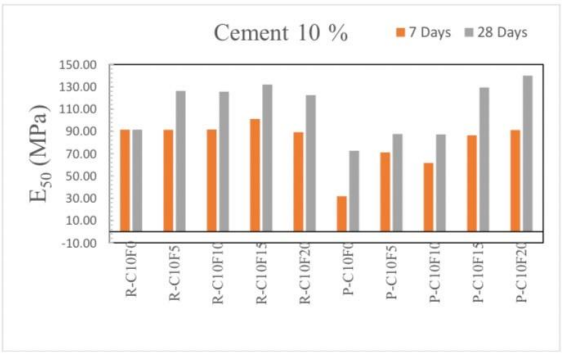
ภาพที่ 13 ค่า E50 Cement 3 %



ภาพที่ 14 ค่า E50 Cement 5 %



ภาพที่ 15 ค่า E50 Cement 7 %



ภาพที่ 16 ค่า E50 Cement 10 %

ตารางที่6 ตารางเปรียบเทียบค่า UCS ของเถ้าลอยปาล์มกับมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.ม.206/2532

ตัวอย่างส่วนผสมของเถ้าปาล์ม	จำนวนวันในการบ่ม	กำลังรับแรงอัดที่ได้ (kPa)	มาตรฐานดินซีเมนต์ชั้นรองพื้นทาง>689 kPa ทล.ม.206/2532
C0F5	7 วัน	354.76	ไม่ผ่าน
	28วัน	420.553	ไม่ผ่าน
C0F10	7 วัน	395.381	ไม่ผ่าน
	28วัน	501.323	ไม่ผ่าน
C0F15	7 วัน	463.17	ไม่ผ่าน
	28วัน	525	ไม่ผ่าน
C0F20	7 วัน	505.93	ไม่ผ่าน
	28วัน	685.87	ไม่ผ่าน
C3F0	7 วัน	275.11	ไม่ผ่าน
	28วัน	526.09	ไม่ผ่าน
C3F5	7 วัน	571.02	ไม่ผ่าน
	28วัน	649.77	ไม่ผ่าน
C3F10	7 วัน	623.43	ไม่ผ่าน
	28วัน	860.79	ผ่าน
C3F15	7 วัน	739.31	ผ่าน
	28วัน	958	ผ่าน
C3F20	7 วัน	832	ผ่าน
	28วัน	980.18	ผ่าน
C5F0	7 วัน	466.33	ไม่ผ่าน
	28วัน	787.55	ผ่าน
C5F5	7 .22ชวัน	505.99	ไม่ผ่าน
	28วัน	798.53	ผ่าน
C5F10	7 วัน	623.43	ไม่ผ่าน
	28วัน	820	ผ่าน

ตัวอย่างส่วนผสมของเถ้าปาล์ม	จำนวนวันในการบ่ม	กำลังรับแรงอัดที่ได้ (kPa)	มาตรฐานดินซีเมนต์ชั้นรองพื้นทาง>689 kPa ทล.ม.206/2532
C5F15	7 วัน	635.87	ไม่ผ่าน
	28วัน	842	ผ่าน
C5F20	7 วัน	809.72	ผ่าน
	28วัน	1100	ผ่าน
C7F0	7 วัน	724.64	ผ่าน
	28วัน	847.79	ผ่าน
C7F5	7 วัน	776.07	ผ่าน
	28วัน	969.24	ผ่าน
C7F10	7 วัน	901.46	ผ่าน
	28วัน	1770	ผ่าน
C7F15	7 วัน	863.41	ผ่าน
	28วัน	1419.77	ผ่าน
C7F20	7 วัน	773.65	ผ่าน
	28วัน	1335.2	ผ่าน
C10F0	7 วัน	514.57	ไม่ผ่าน
	28วัน	990.49	ผ่าน
C10F5	7 วัน	900	ผ่าน
	28วัน	1100	ผ่าน
C10F10	7 วัน	930	ผ่าน
	28วัน	1150	ผ่าน
C10F15	7 วัน	1086.42	ผ่าน
	28วัน	1627.42	ผ่าน
C10F20	7 วัน	1268.32	ผ่าน
	28วัน	1879	ผ่าน

ตารางที่ 7 ตารางเปรียบเทียบค่า UCS ของเถ้าลอยยางกับมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.ม.206/2532

ตัวอย่างส่วนผสมของเถ้ายาง	จำนวนวันในการบ่ม	กำลังรับแรงอัดที่ได้ (kPa)	มาตรฐานดินซีเมนต์ชั้นรองพื้นทาง>689 kPa ทล.ม.206/2532
C0F5	7 วัน	233.29	ไม่ผ่าน
	28วัน	254.46	ไม่ผ่าน
C0F10	7 วัน	245.53	ไม่ผ่าน
	28วัน	265	ไม่ผ่าน
C0F15	7 วัน	222.22	ไม่ผ่าน
	28วัน	241.59	ไม่ผ่าน
C0F20	7 วัน	212.166	ไม่ผ่าน
	28วัน	231.62	ไม่ผ่าน
C3F0	7 วัน	449.73	ไม่ผ่าน
	28วัน	673.36	ไม่ผ่าน
C3F5	7 วัน	481.55	ไม่ผ่าน
	28วัน	706.19	ผ่าน
C3F10	7 วัน	605.22	ไม่ผ่าน
	28วัน	730.82	ผ่าน
C3F15	7 วัน	631.99	ไม่ผ่าน
	28วัน	766.23	ผ่าน
C3F20	7 วัน	648.72	ไม่ผ่าน
	28วัน	782.97	ผ่าน
C5F0	7 วัน	738.87	ผ่าน
	28วัน	948.88	ผ่าน
C5F5	7 .22ชวัน	965.79	ผ่าน
	28วัน	1068.49	ผ่าน
C5F10	7 วัน	1055.71	ผ่าน
	28วัน	1233.88	ผ่าน

ตัวอย่างส่วนผสมของเถ้ายาง	จำนวนวันในการบ่ม	กำลังรับแรงอัดที่ได้ (kPa)	มาตรฐานดินซีเมนต์ชั้นรองพื้นทาง>689 kPa ทล.ม.206/2532
C5F15	7 วัน	1096.96	ผ่าน
	28วัน	1301.41	ผ่าน
C5F20	7 วัน	587.80	ไม่ผ่าน
	28วัน	879.75	ผ่าน
C7F0	7 วัน	1114.96	ผ่าน
	28วัน	1210.92	ผ่าน
C7F5	7 วัน	1227.39	ผ่าน
	28วัน	1290	ผ่าน
C7F10	7 วัน	1294.23	ผ่าน
	28วัน	1355.76	ผ่าน
C7F15	7 วัน	1000	ผ่าน
	28วัน	1163.66	ผ่าน
C7F20	7 วัน	838.17	ผ่าน
	28วัน	980.63	ผ่าน
C10F0	7 วัน	1233.77	ผ่าน
	28วัน	1320.22	ผ่าน
C10F5	7 วัน	1250	ผ่าน
	28วัน	1320.22	ผ่าน
C10F10	7 วัน	1320	ผ่าน
	28วัน	1605.22	ผ่าน
C10F15	7 วัน	1406.86	ผ่าน
	28วัน	1715.70	ผ่าน
C10F20	7 วัน	1228.43	ผ่าน
	28วัน	1527.88	ผ่าน

5) สรุปผลการทดสอบ

งานวิจัยเรื่องการปรับปรุงคุณสมบัติของดินด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวล มหาวิทยาลัยพะเยา สำหรับใช้เป็นวัสดุพื้นทางสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1)การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินตะกอนกว๊านพะเยา

จากการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินตะกอนกว๊านพะเยา พบว่าการหาขีดพิกัดอัตเตอร์เบิร์กนั้นดินตะกอนกว๊านพะเยามีขีดพิกัดจำกัดเหลว ขีดจำกัดพลาสติก และขีดพิกัดการหดตัวท่ากับ 42.6, 23.46และ19.52% ตามลำดับ การหาความถ่วงจำเพาะพบว่าค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.71 และการทดสอบหาค่าขนาดคละพบว่า เม็ดดินมีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์4 (4.45) เท่ากับ 99.93% เบอร์10 (2.00) เท่ากับ 99.26% เบอร์40 (0.425) เท่ากับ 98.37%และเบอร์200 (0.047) เท่ากับ 92% ตามลำดับ

2)การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

จากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานของดินตะกอนกว๊านพะเยา พบว่าค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดเท่ากับ 17 KN/m^3และมีค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเท่ากับ 14.5%

3)การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวของดินตะกอนกว๊านพะเยา โดยเป็นการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวตามสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์และเถ้าลอยในการทดสอบการบดัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน โดยผลค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวที่ได้นั้น พบว่าจะมีค่าสูงตามปริมาณปูนซีเมนต์และเถ้าลอยที่เหมาะสมในการทดสอบนี้ พบว่าที่อายุการบ่ม 28 วัน เมื่อเปรียบเทียบค่าระหว่างเถ้าลอยปาล์มและเถ้าลอยยางพบว่าเถ้าลอยปาล์มให้ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวสูงสุดที่อัตราส่วนผสม P-C10F20 มีค่าเท่ากับ 1849 kPa ซึ่งผ่านมาตรฐานการออกแบบดินซีเมนต์ของกรมทางหลวงสำหรับงานก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง

4.) ค่าโมดูลัสอิลาสติกที่ 50% ได้จากการทดสอบ Unconfined compressive strength ,UCS) โดยค่าดังกล่าวนี้ได้มาจากค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นครึ่งหนึ่งของกำลังรับแรงอัดสูงสุดซึ่งค่าโมดูลัสอิลาสติกที่ 50% ของกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว พบว่ามีพฤติกรรมแบบเดียวกันกับค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวโดยจะเพิ่มขึ้นและลดลงตามปริมาณปูนซีเมนต์และเถ้าลอยที่ใส่เข้าไปเช่นกัน

6.)เอกสารอ้างอิง

[1] ธัชชัย ใหม่ขันท์ (2560) . การศึกษาคุณสมบัติด้านความกำลังและความคงทนของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ปรับปรุงด้วยดินซีเมนต์และถ้าลอย หน้า 37
[2] รองศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข และ รองศาสตราจารย์ ดร.วีรยา ฉิมอ้อย (2553). สมการทำนายกำลังอัดของดินเหนียวผสมซีเมนต์และเถ้าชีวมวลที่ปริมาณความชื้นสูง
[3] สื่อการสอนเรื่อง การทดลองแรงอัดแกนเดี่ยว (Unconfined Compression Test). วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่
[4] “grain size analysis”. https://www.denichsoiltest.com/Grain-Size-Analysis.html
[5] “ข้อมูลกว๊านพะเยา จังหวัดพะเยา (2561)”. https://www4.fisheries.go.th/local/pic_activities/202002171317301_pic.pdf

การปรับปรุงดินตะกอนด้วยจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มและเถ้ายาง

Improvement of dredge sediment with geopolymer produced from palm oil fuel ash and Parawood ash

เจษฎากร นรรัตน์[1] ชลสิทธิ์ ดวงแก้ว[2] สุทธิดา ลือโฮ้ง[3,*] และ รศ.ดร.ธนกร ชมภูรัตน์[4]

[1,2,3] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

**Corresponding author; E-mail address: 63102563@up.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ถูกปรับปรุงด้วยจีโอพอลิเมอร์ จากเถ้าปาล์มและเถ้ายาง ซึ่งเป็นของเสียจากโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยใช้สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3)และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นสารกระตุ้นอัลคาไลน์ งานวิจัยนี้ศึกษากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวของดินที่ถูกปรับปรุงด้วยจีโอพอลิเมอร์ อัตราส่วนผสมในงานวิจัยประกอบด้วยอัตราส่วนดินตะกอนต่อเถ้าลอย เท่ากับ 90:10 80:20 และ70:30 อัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 0.67 1 และ 1.5 อัตราส่วนสารกระตุ้นอัลคาไลน์ต่อเถ้าลอยเท่ากับ 0.4 0.5 และ 0.6 ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 8 โมลาร์ การเตรียมตัวอย่างแต่ละอัตราส่วนจะถูกบดอัดในแบบหล่อทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว สูง 4 นิ้ว โดยทำการบ่มอุณหภูมิที่ 30 องศา อายุบ่มที่ 7และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของอายุการบ่ม 7 วัน คือ P.S70FA30L0.6 (เถ้าปาล์ม) และส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของอายุการบ่ม 28 วัน P.S70FA30L0.5 (เถ้าปาล์ม) เนื่องจากปริมาณสารจีโอโพลิเมอร์กับปริมาณเถ้าลอยทำปฏิกิริยาได้อย่างทั่วถึงเหมาะสมที่สุด ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาปรับใช้กับงานมาตรฐานดินซีเมนต์ชั้นรองพื้นทางของกรมทางหลวง

คำสำคัญ : ดินตะกอน จีโอโพลิเมอร์ เถ้าปาล์ม เถ้ายาง การรับกำลังอัดแกนเดี่ยว

Abstracts

This research investigated the properties of Kwan Phayao sediments modified with geopolymers derived from palm and rubber ash, waste from a biomass power plant, using sodium silicate solution (Na_2SiO_3) and sodium hydroxide solution (NaOH) as alkaline stimulants. The study focused on the unconfined compression test of soils modified with geopolymers. Mixing ratios in the research included sludge to fly ash ratios of 90:10 80:20 and 70:30 sodium silicate solution to sodium hydroxide solution ratios of 0.67 1 and 1.5 and alkaline activator to fly ash ratios of 0.4 0.5 and 0.6 using a concentration of sodium hydroxide solution equal to 8 M. Samples for each ratio were prepared, compacted into a cylindrical mold with a diameter of 2 inches and a height of 4 inches, and cured at a temperature of 30 degrees for 7 and 28 days. The test results showed that the most suitable mixture at the 7-day curing age was P.S70FA30L0.6 (palm ash), and the most suitable mixture at the 28 day curing age was P.S70FA30L0.5 (palm ash) because the amount of geopolymer and fly ash could react thoroughly and optimally. Therefore, this research has the potential to be applied to the road soil cement subbase of the Department of Highways.

Keyword: Sedimentary soil, geopolymer, palm oil fuel ash, Parawood ash, Unconfined compression Test

1.บทนำ

กว๊านพะเยา ตั้งอยู่ในจังหวัดพะเยาซึ่งเป็นทะเลสาบน้ำจืดขนาดใหญ่อันดับ 1 ในภาคเหนือและอันดับ 3 ของประเทศไทย ตามสภาพภูมิประเทศรอบๆ บริเวณกว๊านพะเยานั้นถูกโอบล้อมด้วยภูเขาเมื่อฝนตกก็จะเกิดการชะล้างพังทลายของดิน ซึ่งเป็นส่วนของการเกิดและเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนภายในกว๊านพะเยา และยังเกิดการตื้นเขินของน้ำก่อให้เกิดการตกตะกอนแขวนลอยจากผักตบชวา วัชพืชน้ำ และการไหลของน้ำ รวมถึงการชะล้างทำให้เกิดตะกอน

ด้วยเหตุนี้ทางหน่วยงานกรมประมงในจังหวัดพะเยาได้มีการดำเนินการดูดเอาดินตะกอนออกเพื่อเพิ่มปริมาณการกักเก็บน้ำในกว๊านพะเยาดังแสดงในภาพที่ 1ทำให้ในปัจจุบันพบว่ามีดินตะกอนกว๊านพะเยากองทิ้งอยู่บริเวณโดยรอบๆ กว๊าน อยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้น งานวิจัยนี้ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญจากวัสดุเหลือทิ้งให้มีการนำมาใช้ประโยชน์งานทางด้านวิศวกรรม ในการศึกษางานวิจัยการปรับปรุงคุณสมบัติดินตะกอนด้วยจีโอโพลิเมอร์ จึงเกิดการวิจัยนี้ขึ้นและศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ปรับปรุงด้วยจีโอโพลิเมอร์ ได้นำเสนอถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาความแข็งแรงของจีโอพอลิเมอร์ที่ใช้ดินเหนียวเป็นมวลรวมละเอียดและเถ้าลอยใช้เป็นวัสดุปอซโซลานิก สารละลายอัลคาไลน์ (L) เป็นส่วนผสมของสารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปัจจัยที่มีอิทธิพลที่ศึกษาคือ อัตราส่วน Na_2SiO_3/NaOH อัตราส่วน L/FA และอุณหภูมิ จากเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้ากลุ่มธุรกิจพลังงานไฟฟ้าชีวมวล บริษัท ท่าฉาง กรีน เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด (มหาชน) จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งได้มีการทดสอบดังนี้ การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินตะกอน การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน(Modified compaction Test) การทดสอบพฤติกรรมการรับกำลังอัดแกนเดี่ยว (Unconfined Compression Test) ที่อัตราส่วนผสมโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Na_2SiO_3/NaOH) เท่ากับ 0.67 1 และ 1.5 และอัตราส่วนสารจีโอโพลิเมอร์ต่อเถ้าลอย (L/FA) เท่ากับ 0.4 0.5 และ 0.6 ทำการบ่มที่อายุ 7และ 28 วัน

ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาถึงคุณสมบัติของดินตะกอนด้วยจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มและเถ้ายาง คือสารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการเกิดการแข็งตัวและความทนทานสูง คือ สารกระตุ้นอัลคัลไลน์



(ก) (ข)

ภาพที่ 1 เรือขุดลอกตะกอน (ก) และกองดินตะกอนกว๊านที่ถูกขุดขึ้นมา (ข)

1.1 วัตถุประสงค์

1.ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินตะกอนกว๊านพะเยา เถ้าปาล์ม เถ้ายาง จากโรงไฟฟ้ากลุ่มธุรกิจพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวล บริษัทท่าฉาง กรีน เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด (มหาชน) จังหวัดสุราษฎร์ธานี

2.ศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ถูกปรับปรุงด้วยจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มและเถ้ายาง

3.นำวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นนำมาประยุกต์ใช้ทางวิศวกรรม เพื่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุดในประเทศ

1.2 ขอบเขตการวิจัย

1.รวบรวมงานวิจัยและศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพของดินตะกอนกว๊านพะเยาด้วยการผสมจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มและเถ้ายาง

2.ตัวอย่างในการทดลองจะเลือกใช้ดินตะกอนกว๊านพะเยา จังหวัดพะเยา สารจากจีโอโพลิเมอร์ได้แก่ สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และเถ้าปาล์มกับเถ้ายาง จากโรงไฟฟ้ากลุ่มธุรกิจพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวล บริษัทท่าฉาง กรีน เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด (มหาชน) จังหวัดสุราษฎร์ธานี

3. การทดสอบการบดอัดสูงกว่ามาตรฐานของดินตะกอนกว๊านพะเยา (Modified compaction Test) การทดสอบหาขีดพิกัดอัตเตอร์เบิร์ก (Atterberg test) การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity test) การหาขนาดคละ (Grain size analysis)

4. การทดสอบในห้องปฏิบัติการประกอบไปด้วย การทดสอบการรับแรงอัดแกนเดี่ยว (Unconfined Compression Test) ซึ่งระยะเวลาการบ่มที่อายุ 7 และ 28 วัน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.ได้ทราบถึงคุณสมบัติของดินตะกอนกว๊านพะเยา เถ้าปาล์ม และเถ้ายาง

2.ได้ศึกษาคุณภาพและสมบัติทางวิศวกรรมของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ถูกปรับปรุงด้วยจีโอโพลิเมอร์และเถ้าลอย

3.เพื่อนำวัสดุภายในประเทศมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด

4.เป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้าองค์ความรู้ใหม่ๆเกี่ยวกับแนวทางการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุทางวิศวกรรม

5.เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการทรัพยากรที่ถูกต้องและเกิดผลประโยชน์สูงสุดแก่ชุมชน

1.4 แผนการทำงานวิจัย

สำหรับแผนของการดำเนินงานวิจัยการปรับปุงดินตะกอนด้วยจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มและเถ้ายาง แบ่งเป็นขั้นตอนลำดับวิธีวิจัย ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ลำดับที่	รายละเอียดการดำเนินงาน	เดือน											
		เม.ย 2566	พ.ค. 2566	มิ.ย. 2566	ก.ค. 2566	ส.ค. 2566	ก.ย. 2566	ต.ค. 2566	พ.ย. 2566	ธ.ค. 2566	ม.ค. 2567	ก.พ. 2567	มี.ค. 2567
1	ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อทำงานวิจัยย ดินตะกอนกว๊านพะเยา	■	■										
2	หาแหล่งวัตถุดิบ ของ ดินตะกอน,เถ้าปาล์ม,เถ้ายาง			■									
3	เตรียมวัตถุดิบและนำตัวอย่างมาทำการทดสอบ				■	■							
4	หาปริมาณน้ำที่เหมาะสมของดินตะกอน					■							
5	ทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานของดินตะกอน						■						
6	ทดสอบ UC Test ของดินตะกอนผสมจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มและเถ้ายาง							■	■	■			
7	สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง										■		
8	จัดทำรูปแบบรายงาน และเตรียมนำเสนองานวิจัย											■	■

หมายเหตุ: UC Test คือ การทดสอบแรงอัดแกนเดี่ยว (Unconfined Compression Test)

2.ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดินตะกอนกว๊านพะเยา

กว๊านพะเยาแต่เดิม(ก่อนพ.ศ.2484) เป็นที่ลุ่มแม่น้ำอิง มีบวกหนองขนาดน้อยใหญ่หลายแหล่ง และมีลำรางทางน้ำหลายสายเชื่อมติดต่อกันถึงกัน น้ำในกว๊านพะเยามาจากการไหลรวมตัวกันของลำห้วยต่างๆ จากข้อมูลของอำเภอเมืองพะเยา ได้แบ่งลำน้ำต่างๆ ที่ไหลลงสู่กว๊านพะเยา ออกเป็น 10 ลุ่มน้ำ ดังในภาพ 2



ภาพที่ 2 ลำน้ำต่างๆที่ไหลลงสู่กว๊านพะเยา

ที่มาจากการพัดพาด้วยแม่น้ำสะสมลงสู่กว๊านพะเยา โดยในปี 2551-2557พบว่าดินตะกอนกว๊านพะเยาถูกดูดขึ้นมานั้นมีมากกว่า 290,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ดังในตารางที่ 2

ตาราง 2 ปริมาณตะกอนกว๊านพะเยาที่ถูกดูดในแต่ละปี

ปี	เป้าหมาย (m^3)	ตะกอนที่ดูด (m^3)
2551	490,000	491,420
2552	400,000	401,304
2553	330,000	334,181
2554	330,000	333,570
2555	310,000	314,265
2556	290,000	291,205
2557	290,000	291,205

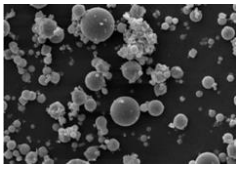
ที่มา: หน่วยงานควบคุมและกำจัดวัชพืชจังหวัดพะเยา, 2551; หน่วยงานควบคุมและกำจัดวัชพืชจังหวัดพะเยา, 2552; หน่วยงานควบคุมและกำจัดวัชพืชจังหวัดพะเยา, 2553; หน่วยงานควบคุมและกำจัดวัชพืชจังหวัดพะเยา, 2554; หน่วยงานควบคุมและกำจัดวัชพืชจังหวัดพะเยา, 2555; หน่วยงานควบคุมและกำจัดวัชพืชจังหวัดพะเยา, 2556; หน่วยงานควบคุมและกำจัดวัชพืชจังหวัดพะเยา, 2557

2.2 เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์

FA geopolymer เป็นส่วนผสมของ FA และ liquid alkaline activator ซึ่งเป็นส่วนผสมของสารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 10 โมลาร์เพื่อให้ได้ส่วนผสมที่เหมาะสม Na_2SiO_3/NaOH คือ 0.7 1.0 และ 1.5 และอัตราส่วน L/FA คือ 0.4 0.5 และ 0.6 ถูกผสมอย่างทั่วถึงเป็นเวลา 10 นาที และถ่ายโอนไปยังแม่พิมพ์ เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม. และสูง 100 มม. เก็บไว้ที่อุณหภูมิแวดล้อม (27-30 ℃) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น ชิ้นงานทรงกระบอกจะถูกบ่มที่อุณหภูมิ 65 ℃ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้กระบวนการจีโอโพลิเมอไรเซชันเสร็จสมบูรณ์

2.3 เถ้าลอย (Fly Ash)

เถ้าลอยเป็นวัสดุอย่างหนึ่งที่ได้มาจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าถ่านหินในระหว่างการเผาไหม้ถ่านหิน เถ้าลอยนั้นจะมีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลาน (Pozzolan) ซึ่งมีส่วนประกอบหลักเป็นซิลิกา (Silica) และอลูมินา (Alumina) เป็นส่วนใหญ่ ลักษณะรูปร่างค่อนข้างกลมเป็นรูปร่างที่ไม่แน่นอน เนื่องจากขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการเผาไหม้ เมื่ออยู่ในสภาพแห้งและเป็นผงฝุ่นจะไม่มีคุณสมบัติเป็นสารเชื่อม ดังแสดงในภาพที่ 3



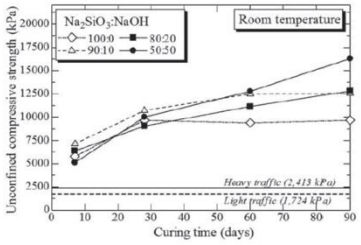
ภาพที่ 3 การกระจายตัว ขนาด และลักษณะพื้นผิวของอนุภาคของเถ้าลอย

2.4 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

ธัชชัย ใหม่ขันท์ (2560) ได้ทำการทดสอบการปรับปรุงดินตะกอนกว๊านพะเยาด้วยปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์และเถ้าลอย ในอายุที่ต่างกัน โดยทำการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน โดยเตรียมตัวอย่างแต่ละอัตราส่วนผสมจะถูกบดอัดในแบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว สูง 4 นิ้ว ผลการวิจัยบ่งชี้ว่าการเติมปูนซีเมนต์และเถ้าลอยสามารถเพิ่มคุณสมบัติความแข็งแรงและความทนทานของดินตะกอนกว๊านพะเยา

Patimapon Sukmak , Suksun Horpibulsuk , และ Shui-Long Shen (2013) ได้นำเสนอปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาความแข็งแรงของจีโอพอลิเมอร์ที่ใช้ดินเหนียวเป็นมวลรวมละเอียดและเถ้าลอยใช้เป็นวัสดุปอซโซลานิก, สารละลายอัลคาไลน์ (L) เป็นส่วนผสมของโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปัจจัยที่มีอิทธิพลที่ศึกษาคือ อัตราส่วน Na_2SiO_3/NaOH อัตราส่วน L/FA และอุณหภูมิ อัตราส่วน L/FA ที่เหมาะสมที่สุดให้ความแข็งแรงสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 0.5 กำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวสูงสุดของจีโอพอลิเมอร์อยู่ที่อัตราส่วน Na_2SiO_3/NaOH เท่ากับ 1.5 สำหรับอัตราส่วน L/FA ทั้งหมด จากการศึกษาพบว่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นตามสารละลายอัลคาไลน์ การเพิ่มอุณหภูมิมากเกินจะทำให้เกิดรอยแตกขนาดเล็กบนตัวอย่างได้ และการพัฒนากำลังสำหรับระยะเวลาบ่ม 28 วันคล้ายกับการพัฒนากำลังในปูนซีเมนต์

Phummiphan et al. (2015) นำดินเหนียวผสมจีโอโพลิเมอร์และเถ้าลอยทำการบ่มตัวอย่างอุณหภูมิ (27 ถึง 30°C) เป็นระยะเวลา 7 28 60 และ 90 วันผลทดสอบดังภาพ แสดงให้เห็นว่า UCS ที่ระยะเวลา 7 วัน เป็นไปตามข้อกำหนดการจราจร และกำลังเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ค่า UCS สูงสุดถูกพบที่อัตราส่วน Na_2SiO_3: NaOH เท่ากับ 50:50 ที่ระยะเวลาการบ่ม 60 และ 90 วัน ขณะที่ระยะเวลาการบ่มนั้นมีผลมากกว่าในตัวอย่างที่ 28 วัน



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า UCS และช่วงเวลาการบ่มตัวอย่าง (Phummiphan etal.,2015)

2.5 เกณฑ์การออกแบบดินซีเมนต์ของกรมทางหลวงและประเทศต่างๆ

กรมทางหลวงประเทศไทย ได้เลือกใช้ค่าการออกแบบกำลังรับแรงอัดแบบปราศจากแรงดันด้านข้าง (UCS) ที่บ่มอายุ 7 วัน

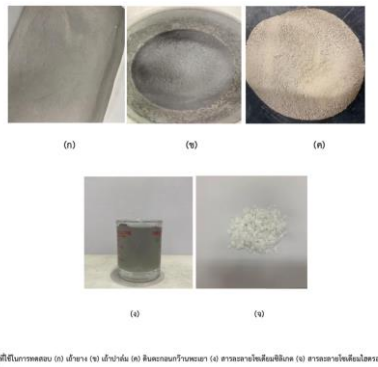
ตารางที่ 3 เกณฑ์การออกแบบดินซีเมนต์ของกรมทางหลวงและประเทศต่างๆ

สถาบัน	เกณฑ์การออกแบบ
กรมทางหลวง (ทล.ม. 206/2532)	UCS ที่บ่มอายุ 7 วัน 1) มีค่าไม่น้อยกว่า 2,413 กิโลปาสกาล สำหรับก่อสร้างชั้นพื้นทางหินคลุก (ทล.ม. 203/2556) 2) มีค่าไม่น้อยกว่า 1,724 กิโลปาสกาล สำหรับก่อสร้างชั้นพื้นทาง (ทล.ม. 204/2556) 3) มีค่าไม่น้อยกว่า 689 กิโลปาสกาล สำหรับก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง (ทล.ม. 206/2532)
British Road Research Laboratory, United Kingdom	UCS ที่บ่มอายุ 7 วัน มีค่าไม่น้อยกว่า 1,724 กิโลปาสกาล
National Association of Australian State Road Authority (NAASRA), Australia	UCS ที่บ่มอายุ 7 วัน มีค่าไม่น้อยกว่า 1,034-1,724 กิโลปาสกาล

3.วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

สำหรับวัสดุที่นำมาใช้ในการทดสอบเพื่อศึกษาวิจัยนั้นประกอบด้วย ดินตะกอนกว๊านพะเยา โซเดียมไฮดรอไซด์ โซเดียมซิลิเกต เถ้าปาล์ม และเถ้ายาง ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยตัวอย่างดินตะกอนที่นำมาใช้จะเป็นดินที่ได้จากกระบวนการขุดลอก จากกว๊านพะเยาของกรมประมง จังหวัดพะเยาและทำการเก็บตัวอย่างดินตะกอนกว๊านพะเยา ส่วนเถ้าปาล์มและเถ้ายาง ได้มาจากโรงไฟฟ้ากลุ่มธุรกิจพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวล บริษัท ท่าฉาง กรีน เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด (มหาชน) จังหวัดสุราษฎร์ธานี



ภาพที่ 5 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ (ก) เถ้ายาง (ข) เถ้าปาล์ม (ค) ดินตะกอนกว๊านพะเยา (ง) สารละลายโซเดียมซิลิเกต (จ) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.2 การทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางวิศวกรรม

ในการทดสอบเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ผสมปูนซีเมนต์และเถ้าลอย จะใช้ข้อกำหนดจากมาตรฐานดังตารางที่ 4 เป็นข้อกำหนดกำหนดและควบคุมสำหรับการทดสอบ

ตารางที่ 4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางวิศวกรรม

การทดสอบ	วัตถุประสงค์	มาตรฐาน
การทดสอบหาขีดพิกัดอัตเตอร์เบิร์ก (Atterberg test)	เพื่อหาค่า LL PL และ SL	ASTM D 4318 ASTM D 427
การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity test)	เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะ	ASTM D 854
การหาขนาดคละ (Grain size analysis)	เพื่อหาขนาดคละและจำแนกดิน	ASTM D 422
การบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน (Modified compaction test)	เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมและหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด	ASTM D 1157
กำลังรับแรงอัดแบบแกนเดี่ยว (Unconfined compression test)	เพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว	ASTM D 2166

โดยในการทดสอบแต่ประเภทมีรายละเอียดและความหมาย ดังนี้

3.2.1. การทดสอบขีดพิกัดอัตเตอร์เบิร์ก

1.1 ขีดจำกัดเหลว (Liquid limit, LL) คือ ปริมาณความชื้นในมวลดินขณะที่มวลดินเริ่มเปลี่ยนสภาพจากของเหลวไปเป็นสารหนืดตัวในสถานภาพพลาสติก (Plastic state)

1.2 ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic limit, PL) คือ ปริมาณความชื้นในมวลดินขณะที่เปลี่ยนสถานภาพจากพลาสติกเป็นกึ่งของแข็ง(Semi - solid state)

1.3 ขีดจำกัดหดตัว (Shrinkage limit, SL) คือ ปริมาณความชื้นที่ดินเปลี่ยนจาก สภาพกึ่งของแข็งเป็นของแข็งและจะไม่มีการหดตัวต่อไปอีกแล้ว แต่เมื่อความชื้นยิ่งลดลงไปฟองอากาศจะเริ่มแทรกเข้าไปในมวลดิน และทำให้เกิดสภาวะไม่อิ่มตัวเกิดขึ้นกระทั่งไม่มีความชื้นอยู่เลย

3.2.2. การทดสอบความถ่วงจำเพาะ

ค่าความถ่วงจำเพาะ(ถ.พ.)ของวัตถุใดๆ คือ อัตราส่วนของน้ำหนักในอากาศของวัตถุต่อน้ำหนักน้ำที่อุณหภูมิ 4°C ที่มีปริมาตรเท่าวัตถุนั้น ดังนั้นความถ่วงจำเพาะในมวลดินก็คือ ค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะของธาตุ สารเหล่านั้น ค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปจะอยู่ในระหว่าง 2.60 ถึง 2.70

3.2.3. การทดสอบหาขนาดคละ

ในมวลดินปริมาณหนึ่งอาจประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาด ตั้งแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 cm ไปจนถึงขนาด 0.0002 mm ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วย

ตาเปล่า มวลดินที่มีขนาด เม็ดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 mm) ส่วนมากจะไม่มีความเหนียวหรือแรงยึดเกาะ ระหว่างเม็ดดิน ซึ่งเรียกว่า ดินทราย (Granular soil) ส่วนดินที่มีส่วนประกอบเป็นเม็ดเล็กมาก ๆ (ผ่านตระแกรงเบอร์ 200) ก็จะเรียกว่าดินเหนียว (Cohesive soil) นอกจากนั้นขนาดของเม็ดดิน ยังมีอิทธิพลกับการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) ความแข็งแรง (Strength) อัตราการทรุดตัว (Rate of consolidation) และอื่น ๆ อีกมากมาย

3.2.4. การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

การบดอัดเป็นกระบวนการที่ใช้แรงหรือน้ำหนักมากระทำเพื่อทำให้เม็ดดิน เบียดตัวชิดกันเพื่อเพิ่มความแน่นและความสามารถในการรับน้ำหนัก ลดการทรุดตัว และลดการซึมผ่านของน้ำ โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน และ ทำการบดอัดตัวอย่างในห้องปฏิบัติการจุดประสงค์ก็เพื่อประมาณค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้น ที่เหมาะสมของสารจีโอโพลิเมอร์และเถ้าลอยสำหรับนำไปใช้เตรียมตัวอย่าง ในการทดสอบอื่น ๆ ต่อไป

3.2.5. การทดสอบแรงอัดแกนเดี่ยว

การทดสอบแรงอัดแกนเดี่ยวเป็นการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังอัดโดยที่ไม่มีแรงดันด้านข้างเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยงานวิจัยนี้อ้างอิงมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 2166 ตัวอย่างดินที่นำมาใช้ทดสอบจะเป็นดินตะกอนกว้านพะเยาที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 โดยตัวอย่างการทดสอบจะทำการขึ้นรูปด้วยการใช้ข้อมูลจากค่าหน่วยน้ำหนักแห้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่ได้จากการบดแบบสูงกว่ามาตรฐานก้อนตัวอย่างหลังจากทำการบ่มต่อที่ระยะเวลา 7 และ 28 วันเมื่อครบกำหนดการบ่มตัวอย่างแล้วตัวอย่างจะถูกนำไปแช่น้ำ

3.2.6. การประดิษฐ์โมล PVC และค้อนบดอัดสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว

ในส่วนของตัวอย่างทดสอบเดิมจะใช้ตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวจากขนาดตัวอย่างการทดสอบเดิมจะใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่เท่ากับโมลบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ซึ่งในการทดลองต้องมีการเตรียมตัวอย่างในปริมาณมากและค่อนข้างใช้ทรัพยากรสำหรับทดสอบที่เยอะ ดังนั้นจึงได้ประดิษฐ์โมลสำหรับทำการทดสอบด้วยการใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2 นิ้ว ทำเป็นโมลเตรียมตัวอย่างทดสอบด้วยการผ่าครึ่งตามแนวยาวของท่อ และกำหนดความสูงของโมล PVC นี้ให้ทีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเทียบกับความสูง 1 ต่อ 2 ซึ่งอ้างอิงมาจากงานวิจัยของ ธัชชัย ใหม่ขันท์ (2560)

3.2.7. การออกแบบพลังงานการบดอัด

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว ซึ่งโดยการทดสอบดังกล่าวต้องใช้ตัวอย่างในขนาดที่แตกต่างกับตัวอย่างจากการทดสอบแบบบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ทำให้ต้องมีการควบคุมหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างเพื่อให้ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบนั้นโดยมีวิธีการคำนวณเทียบพลังงานในการบดอัดจากสมการ 1 และ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ค้อนในการตอกโมลจำนวนทั้งหมดที่ 25 ครั้ง ซึ่งในการทดสอบ 1 โมล จะมีทั้งหมด 3 ชั้น

$$E = \frac{B \times L \times W \times H}{V} \quad (1)$$

เมื่อ E คือ พลังงานที่ใช้ในการบดอัด
B คือ จำนวนครั้งที่ใช้ในการบดอัดในแต่ละชั้น
L คือ จำนวนชั้นที่ใช้ในการบดอัด
W คือ น้ำหนักของค้อนบดอัด (รวมก้านยกด้วย)
H คือ ความสูงของระยะยกของค้อนบดอัด
V คือ ปริมาตรของโมล

เงื่อนไข

S: FA	L/FA	Na_2SiO_3: NaOH
100/0	0.4	40/60
90/10	0.5	50/50
80/20	0.6	60/40
70/30		

ตารางออกแบบส่วนผสม

MIXED	S (%) โดยน้ำหนักดิน	FA (%) โดยน้ำหนักดิน	L/FA
S100FA0	100	0	0
S90FA10L0.4	90	10	0.4
S80FA20L0.4	80	20	0.4
S70FA30L0.4	70	30	0.4
S90FA10L0.5	90	10	0.5
S80FA20L0.5	80	20	0.5
S70FA30L0.5	70	30	0.5
S90FA10L0.6	90	10	0.6
S80FA20L0.6	80	20	0.6
S70FA30L0.6	70	30	0.6

**หมายเหตุ : L คือ สารปรับโพลิเมอร์ (สารโพลีเมอร์ซิลิเกต สารโพลีเมอไฮดรอกไซด์)
S คือ ดินตะกอนกว้านพะเยา จังหวัดพะเยา
FA คือ เถ้าลอย (เถ้าปาล์ม เถ้าอ้อย)

3.3. อัตราส่วนผสมในงานวิจัย

อัตราส่วนผสมสารละลายอัลคาไลน์ คือ สารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Na_2SiO_3/NaOH) ที่มีส่วนผสมต่อปริมาตร 1 ลบ.ม. ส่วน S คือ ดินตะกอนกว้านพะเยา FA คือ เถ้าลอย L คือ สารละลายโซเดียมซิลิเกตและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 5 อัตราส่วนผสมสารละลายอัลคาไลน์ เท่ากับ 1.5 ต่อปริมาตร 1 ลบ.ม.

MIXED	S(kg)	FA (kg)	L (kg)	Na2SiO3 (kg)	NaOH (kg)
S100FA0	1736	0	0	0	0
S90FA10L0.4	1562.4	173.6	69.44	41.664	27.776
S80FA20L0.4	1388.8	347.2	138.88	83.328	55.552
S70FA30L0.4	1215.2	520.8	208.32	124.992	83.328
S90FA10L0.5	1562.4	173.6	86.8	52.08	34.72
S80FA20L0.5	1388.8	347.2	173.6	104.16	69.44
S70FA30L0.5	1215.2	520.8	260.4	156.24	104.16
S90FA10L0.6	1562.4	173.6	104.16	62.496	41.664
S80FA20L0.6	1388.8	347.2	208.32	124.992	83.328
S70FA30L0.6	1215.2	520.8	312.48	187.488	124.992

ตารางที่ 6 อัตราส่วนผสมสารละลายอัลคาไลน์ เท่ากับ 1 ต่อปริมาตร 1 ลบ.ม.

MIXED	S(kg)	FA (kg)	L (kg)	Na2SiO3 (kg)	NaOH (kg)
S100FA0	1736	0	0	0	0
S90FA10L0.4	1562.4	173.6	69.44	34.72	34.72
S80FA20L0.4	1388.8	347.2	138.88	69.44	69.44
S70FA30L0.4	1215.2	520.8	208.32	104.16	104.16
S90FA10L0.5	1562.4	173.6	86.8	43.4	43.4
S80FA20L0.5	1388.8	347.2	173.6	86.8	86.8
S70FA30L0.5	1215.2	520.8	260.4	130.2	130.2
S90FA10L0.6	1562.4	173.6	104.16	52.08	52.08
S80FA20L0.6	1388.8	347.2	208.32	104.16	104.16
S70FA30L0.6	1215.2	520.8	312.48	156.24	156.24

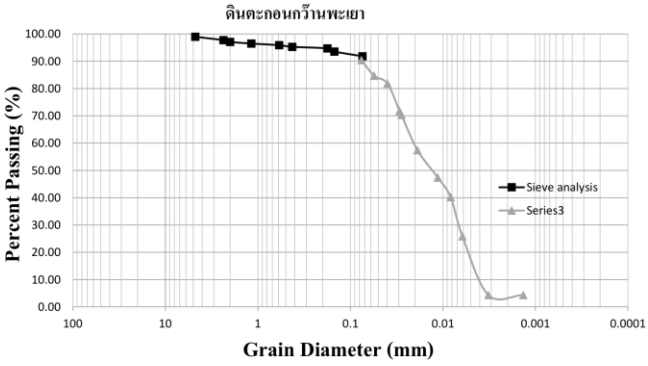
ตารางที่ 7 อัตราส่วนผสมสารละลายอัลคาไลน์ เท่ากับ 0.67 ต่อปริมาตร 1 ลบ.ม.

MIXED	S(kg)	FA (kg)	L (kg)	Na2SiO3 (kg)	NaOH (kg)
S100FA0	1736	0	0	0	0
S90FA10L0.4	1562.4	173.6	69.44	27.78	41.66
S80FA20L0.4	1388.8	347.2	138.88	55.55	83.33
S70FA30L0.4	1215.2	520.8	208.32	83.33	124.99
S90FA10L0.5	1562.4	173.6	86.8	34.72	52.08
S80FA20L0.5	1388.8	347.2	173.6	69.44	104.16
S70FA30L0.5	1215.2	520.8	260.4	104.16	156.24
S90FA10L0.6	1562.4	173.6	104.16	41.66	62.50
S80FA20L0.6	1388.8	347.2	208.32	83.33	124.99
S70FA30L0.6	1215.2	520.8	312.48	124.99	187.49

4.ผลการศึกษา

4.1 ผลทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินตะกอนกว๊านพะเยา

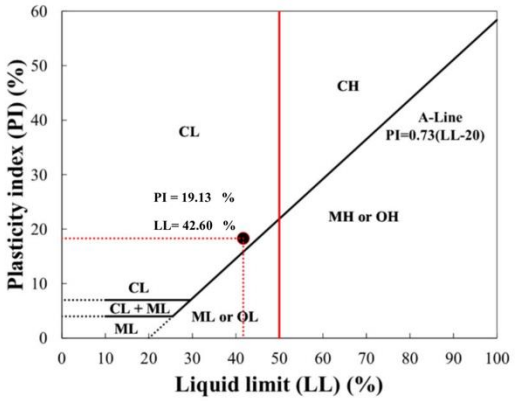
การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินตะกอนกว๊านพะเยาในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติพื้นฐานของดินตะกอนกว๊านพะเยา ซึ่งเป็นการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานแบบทางวิศวกรรม



ภาพที่ 6 กราฟแสดงผลการทดสอบหาขนาดคละของดินตะกอนกว๊านพะเยา

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานและจำแนกชนิดดินตะกอนกว๊านพะเยาในทางวิศวกรรม

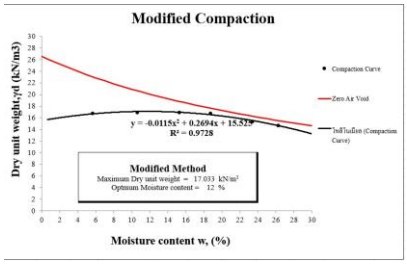
การทดสอบ	ผลการทดสอบ
การทดสอบหาขีดพิกัดอัตเตอร์เบิร์ก	LL = 42.60 %
	PL = 23.46 %
	SL = 19.52 %
การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ	2.71
การทดสอบหาขนาดคละ	ผ่านตะแกรง เบอร์ 4 เท่ากับ 99.93 %
	ผ่านตะแกงเบอร์ 200 เท่ากับ 92.00 %
การจำแนกตามเกณฑ์ของ AASHTO	A-7-6
การจำแนกตามเกณฑ์ของ USCS	CL



ภาพที่ 7 รูปเกณฑ์การจำแนกประเภทดินตะกอนกว๊านพะเยาตามเกณฑ์ของ USCS

หลังจากที่ทำการทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานแบบทางวิศวกรรมไปแล้ว ข้อมูลที่ได้จากในการทดสอบทำให้เราสามารถที่จะจำแนกชนิดของดินตะกอนกว๊านพะเยาด้วยวิธีทางวิศวกรรมได้โดยเกณฑ์ที่ใช้จะอาศัยการจำแนกตามเกณฑ์ของ AASHTO (AASHTO soilclassification system) และตามเกณฑ์ของ USCS (Unified soil classification system) เนื่องจากผลการทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ได้จากข้อมูล ได้แก่ ขีดพิกัดเหลว(LL) เท่ากับ 42.60% ขีดจำกัดพลาสติก (PL) เท่ากับ 23.46% และค่าดัชนีพลาสติกซิตี้(PI) เท่ากับ 19.13% เมื่อนำมาจำแนกตามเกณฑ์แบบ USCS พบว่า ข้อมูลที่ได้นั้นบ่งบอกว่าดินตะกอนกว๊านพะเยาจัดเป็นดินประเภทดินพลาสติกซิตี้ต่ำ หรือ CL (Low plastic clay) และค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.71

4.2 ผลการทดสอบบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified compaction test)

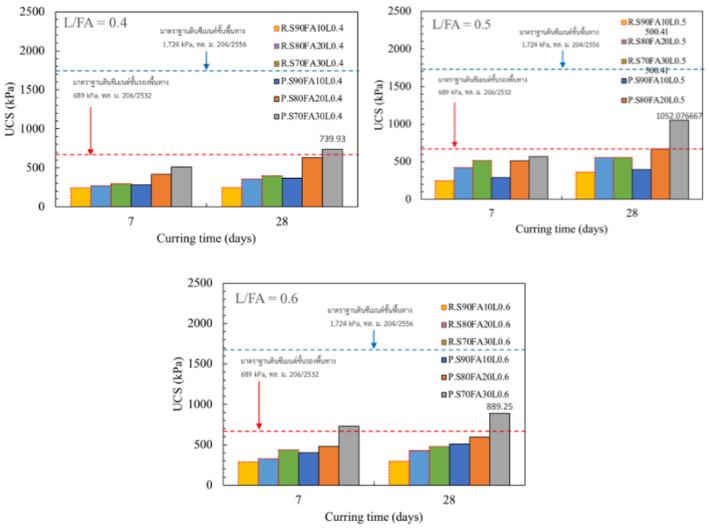


ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งและปริมาณความชื้นจากค้อนบดอัด

ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานตัวอย่างของดินตะกอนที่ปรับปรุงด้วยจีโอพอลิเมอร์ พบว่ามีค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด (Maximum dry unit weight) อยู่ระหว่าง 17.03 KN/m^3 และปริมาณความชื้น เท่ากับ 12.00%

4.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว (Unconfined compression test)

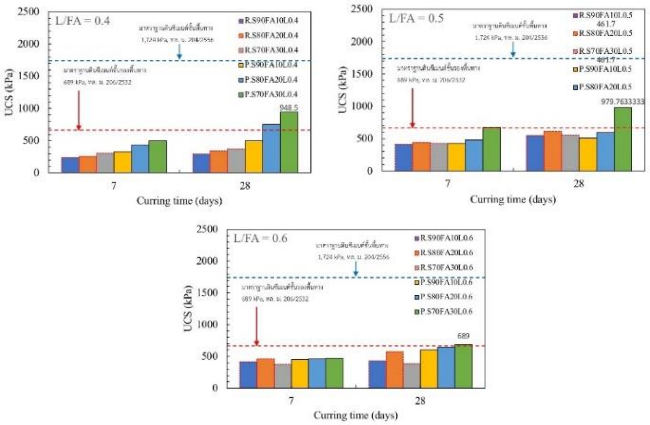
การทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมนี้คือ กำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวของดินตะกอนที่ปรับปรุงด้วยจีโอโพลิเมอร์ผสมเถ้าลอยนั้นได้แก่ เถ้าปาล์มและเถ้ายาง ที่มีอิทธิพลต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกตและสารละลายไฮดรอกไซด์ (Na_2SiO_3:NaOH) คือ 0.67 1 และ 1.5 และอัตราส่วนสารจีโอโพลิเมอร์ต่อเถ้าลอย (L/FA) คือ 0.4 0.5 และ 0.6 พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว (UCS) จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเถ้าลอยที่ใส่เข้าไป หากใส่เถ้าลอยเข้าไปผสมในปริมาณที่มากเกินไป จะส่งผลเชิงลบทำให้ค่า UCS มีค่าลดลงได้ เช่นกันดังนั้นในงานวิจัยนี้พบว่าปริมาณเถ้าลอยที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงระหว่าง 20-30% และปัจจัยของอายุการบ่มตัวอย่างพบว่า ตัวอย่างดินตะกอนที่ปรับปรุงด้วยสารจีโอโพลิเมอร์ผสมเถ้าลอยนั้นจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า UCS ที่อายุก่อน 28 วัน อย่างรวดเร็ว



ค่า UCS ของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ปรับปรุงด้วยจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าปาล์มและเถ้ายาง Na_2SiO_3/NaOH = 1.5

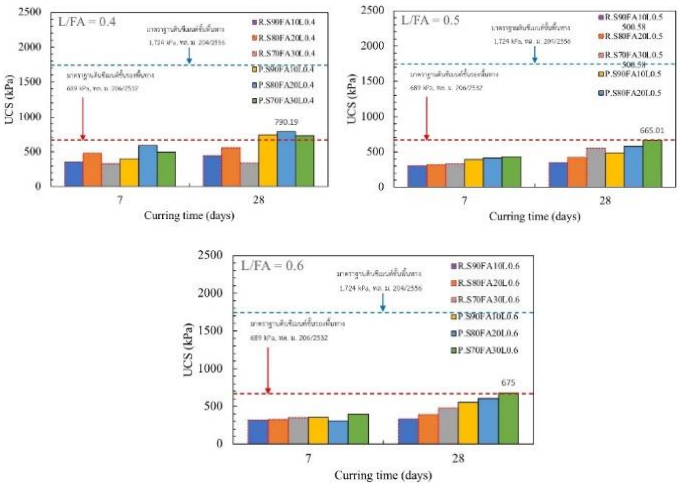
เมื่อเพิ่มเถ้าลอยมากขึ้น ค่ากำลังรับแกนเดี่ยว (UCS) จะมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบการทดลองจากเถ้ายางและเถ้าปาล์ม พบว่าเถ้าปาล์มจะให้ค่ากำลังแรงอัดที่มากกว่าเถ้ายาง ส่วนจีโอโพลิเมอร์ต่อเถ้าลอยเมื่อเกิดการชะละลายซิลิก้า (SiO_2) และอะลูมิน่า (Al_2O_3) ออกจากเถ้าลอย จะได้รับค่าแคลเซียม (Ca) ก่อให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) ซึ่งจากการทดลองมีทั้งหมด 3 อัตราส่วนสารจีโอโพลิเมอร์ต่อเถ้าลอย (L/FA) คือ 0.4 0.5 และ 0.6 ดังนั้น อัตราส่วน 0.5 จะได้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด และอัตราส่วน 0.6 กับ 0.4 จะได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ลดลงตามลำดับ

ดังนั้น อัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Na_2SiO_3:NaOH) คือ 0.67 1 และ 1.5 จะพบในอัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH เท่ากับ 1.5 มีปริมาณ Na_2SiO_3 มากกว่า NaOH ทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าที่สูง โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของPatimapon S , Suksun H, และShui-Long Shen (2013) จึงทำให้อัตราส่วน 1 และ 0.67 มีค่ากำลังรับแรงอัดลดลงตามลำดับ



ค่า UCS ของดินตะกอนกว้านพะเยาที่ปรับปรุงด้วยจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าปาล์มและเถ้ายาง Na_2SiO_3/NaOH = 1

สำหรับอัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH เท่ากับ 1 ซึ่งจะพบว่าสารจีโอโพลิเมอร์ต่อเถ้าลอย (L/FA) คือ 0.4 0.5 และ 0.6 จะเห็นได้ว่า อัตราส่วน 0.5 เมื่อเพิ่มเถ้าลอยค่ากำลังรับแรงอัด (UCS) จะเพิ่มขึ้น และอัตราส่วน 0.4 และ 0.6 ค่ากำลังที่ดีที่สุดของเถ้ายางจะอยู่ที่ ดินตะกอนกว้านพะเยาต่อเถ้าลอย เท่ากับ 80:20 ส่วนเถ้าปาล์มเพิ่มขึ้นค่ากำลังก็จะเพิ่มขึ้น และมีพฤติกรรมด้านกำลังรับแรงอัดเหมือนกับอัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Na_2SiO_3:NaOH) เท่ากับ 1.5



ค่า UCS ของดินตะกอนกว้านพะเยาที่ปรับปรุงด้วยจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าปาล์มและเถ้ายาง Na_2SiO_3/NaOH = 0.67

สำหรับอัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH เท่ากับ 0.67 ซึ่งจะพบว่าสารจีโอโพลิเมอร์ต่อเถ้าลอย (L/FA) คือ 0.4 0.5 และ 0.6 จะเห็นได้ว่า อัตราส่วน 0.4 เถ้าลอยที่ให้ค่ากำลังที่ดีที่สุดจะอยู่ที่ 20% ส่วนอัตราส่วน 0.5 และ 0.6 เมื่อเถ้าลอยเพิ่มขึ้น ค่ากำลังที่ได้ก็จะเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบการทดลองจากเถ้ายางและเถ้าปาล์ม พบว่าเถ้าปาล์มจะให้ค่ากำลังที่มากกว่าเถ้ายาง ส่วนจีโอโพลิเมอร์ต่อเถ้าลอยเมื่อเกิดการชะล้างซิลิก้า (SiO_2) และอะลูมิน่า (Al_2O_3) ออกจากเถ้าลอย จะได้รับค่าแคลเซียม (Ca) ก่อให้เกิดสารใหม่คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) ซึ่งจากการทดลองมีทั้งหมด 3 อัตราส่วน L/FA คือ 0.4 0.5 และ 0.6 จึงพบว่า อัตราส่วน 0.4 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากสารจีโอโพลิเมอร์กับเถ้าลอยทำปฏิกิริยาได้อย่างทั่วถึง และอัตราส่วน 0.5 กับ 0.6 จะได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่น้อย เนื่องจากสารจีโอโพลิเมอร์กับเถ้าลอยมีอัตราส่วนสารละลายที่สูงเกินไป มีผลทำให้กำลังรับแรงแกนเดี่ยว (UCS) ลดลง

ดังนั้นอัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH คือ 0.67 1 และ 1.5 จะพบว่าค่าที่ได้จากการทดลองของ Na_2SiO_3ลดลง ค่ากำลังที่ได้ก็จะลดลงตามลำดับอัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH ได้แก่ 1.5<1<0.67

ตารางที่ 8 ตารางเปรียบเทียบค่า UCS (อัตราส่วน1.5) กับค่ามาตรฐานซีเมนต์ชั้นรองพื้นทาง (ทล.ม. 206/2532)

MIXED (อัตราส่วน 1.5)	UCS (KPa) 7 Days	มาตรฐานดินซีเมนต์ชั้นรองพื้นทาง (ทล.ม. 206/2532) > 689 KPa	UCS (KPa) 28 Days	มาตรฐานดินซีเมนต์ชั้นรองพื้นทาง (ทล.ม. 206/2532) > 689 KPa ผ่าน
R.S90FA10L0.4	243.19	ไม่ผ่าน	280.00	ไม่ผ่าน
R.S80FA20L0.4	268.40	ไม่ผ่าน	357.01	ไม่ผ่าน
R.S70FA30L0.4	294.35	ไม่ผ่าน	398.45	ไม่ผ่าน
R.S90FA10L0.5	245.03	ไม่ผ่าน	363.45	ไม่ผ่าน
R.S80FA20L0.5	421.85	ไม่ผ่าน	557.53	ไม่ผ่าน
R.S70FA30L0.5	515.96	ไม่ผ่าน	555.17	ไม่ผ่าน
R.S90FA10L0.6	289.93	ไม่ผ่าน	298.93	ไม่ผ่าน
R.S80FA20L0.6	332.89	ไม่ผ่าน	430.46	ไม่ผ่าน
R.S70FA30L0.6	440.18	ไม่ผ่าน	482.36	ไม่ผ่าน
P.S90FA10L0.4	280.79	ไม่ผ่าน	367.38	ไม่ผ่าน
P.S80FA20L0.4	414.94	ไม่ผ่าน	629.70	ไม่ผ่าน
P.S70FA30L0.4	510.32	ไม่ผ่าน	739.93	ผ่าน
P.S90FA10L0.5	290.21	ไม่ผ่าน	397.14	ไม่ผ่าน
P.S80FA20L0.5	512.12	ไม่ผ่าน	669.44	ผ่าน
P.S70FA30L0.5	567.43	ไม่ผ่าน	1052.07	ผ่าน
P.S90FA10L0.6	405.77	ไม่ผ่าน	512.73	ไม่ผ่าน
P.S80FA20L0.6	481.96	ไม่ผ่าน	597.92	ไม่ผ่าน
P.S70FA30L0.6	731.27	ผ่าน	883.25	ผ่าน

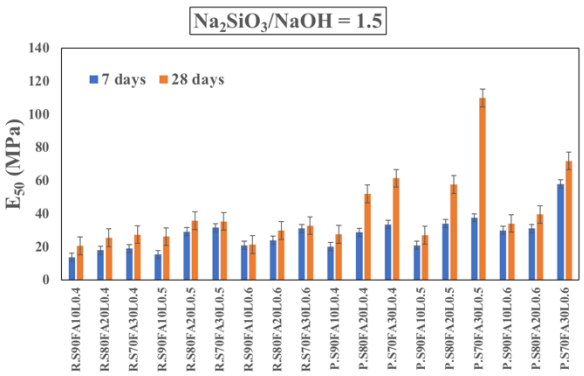
ตารางที่ 9 ตารางเปรียบเทียบค่า UCS (อัตราส่วน1) กับค่ามาตรฐานซีเมนต์ชั้นรองพื้นทาง (ทล.ม. 206/2532)

MIXED (อัตราส่วน 1)	UCS (KPa) 7 Days	มาตรฐานดินซีเมนต์ชั้นรองพื้นทาง (ทล.ม. 206/2532) > 689 KPa	UCS (KPa) 28 Days	มาตรฐานดินซีเมนต์ชั้นรองพื้นทาง (ทล.ม. 206/2532) > 689 KPa ผ่าน
R.S90FA10L0.4	240.62	ไม่ผ่าน	296.16	ไม่ผ่าน
R.S80FA20L0.4	261.43	ไม่ผ่าน	340.61	ไม่ผ่าน
R.S70FA30L0.4	308.07	ไม่ผ่าน	369.52	ไม่ผ่าน
R.S90FA10L0.5	412.10	ไม่ผ่าน	549.70	ไม่ผ่าน
R.S80FA20L0.5	443.72	ไม่ผ่าน	613.52	ไม่ผ่าน
R.S70FA30L0.5	424.23	ไม่ผ่าน	550.40	ไม่ผ่าน
R.S90FA10L0.6	415.00	ไม่ผ่าน	432.77	ไม่ผ่าน
R.S80FA20L0.6	460.00	ไม่ผ่าน	577.30	ไม่ผ่าน
R.S70FA30L0.6	373.59	ไม่ผ่าน	384.58	ไม่ผ่าน
P.S90FA10L0.4	329.85	ไม่ผ่าน	499.54	ไม่ผ่าน
P.S80FA20L0.4	431.99	ไม่ผ่าน	754.44	ผ่าน
P.S70FA30L0.4	499.52	ไม่ผ่าน	948.50	ผ่าน
P.S90FA10L0.5	425.32	ไม่ผ่าน	510.96	ไม่ผ่าน
P.S80FA20L0.5	482.30	ไม่ผ่าน	594.77	ไม่ผ่าน
P.S70FA30L0.5	675.39	ไม่ผ่าน	979.76	ผ่าน
P.S90FA10L0.6	450.00	ไม่ผ่าน	600.00	ไม่ผ่าน
P.S80FA20L0.6	460.00	ไม่ผ่าน	650.00	ไม่ผ่าน
P.S70FA30L0.6	470.00	ไม่ผ่าน	689.00	ผ่าน

ตารางที่ 10 ตารางเปรียบเทียบค่า UCS (อัตราส่วน0.67) กับค่ามาตรฐานชีเมนต์ชั้นรองพื้นทาง (ทล.ม. 206/2532)

MIXED (อัตราส่วน 0.67)	UCS (KPa) 7 Days	มาตรฐานดินซีเมนต์ชั้นรองพื้นทาง (ทล.ม. 206/2532) > 689 KPa	UCS (KPa) 28 Days	มาตรฐานดินซีเมนต์ชั้นรองพื้นทาง (ทล.ม. 206/2532) > 689 KPa ผ่าน
R.S90FA10L0.4	354.73	ไม่ผ่าน	444.30	ไม่ผ่าน
R.S80FA20L0.4	478.41	ไม่ผ่าน	555.07	ไม่ผ่าน
R.S70FA30L0.4	327.49	ไม่ผ่าน	336.36	ไม่ผ่าน
R.S90FA10L0.5	301.00	ไม่ผ่าน	349.37	ไม่ผ่าน
R.S80FA20L0.5	318.00	ไม่ผ่าน	420.88	ไม่ผ่าน
R.S70FA30L0.5	326.64	ไม่ผ่าน	551.46	ไม่ผ่าน
R.S90FA10L0.6	316.91	ไม่ผ่าน	335.38	ไม่ผ่าน
R.S80FA20L0.6	325.00	ไม่ผ่าน	392.59	ไม่ผ่าน
R.S70FA30L0.6	350.00	ไม่ผ่าน	478.41	ไม่ผ่าน
P.S90FA10L0.4	400.11	ไม่ผ่าน	742.26	ผ่าน
P.S80FA20L0.4	586.49	ไม่ผ่าน	790.19	ผ่าน
P.S70FA30L0.4	493.11	ไม่ผ่าน	729.49	ผ่าน
P.S90FA10L0.5	393.31	ไม่ผ่าน	481.89	ไม่ผ่าน
P.S80FA20L0.5	410.38	ไม่ผ่าน	576.35	ไม่ผ่าน
P.S70FA30L0.5	434.34	ไม่ผ่าน	665.01	ไม่ผ่าน
P.S90FA10L0.6	352.91	ไม่ผ่าน	551.80	ไม่ผ่าน
P.S80FA20L0.6	308.17	ไม่ผ่าน	605.00	ไม่ผ่าน
P.S70FA30L0.6	397.10	ไม่ผ่าน	675.00	ไม่ผ่าน

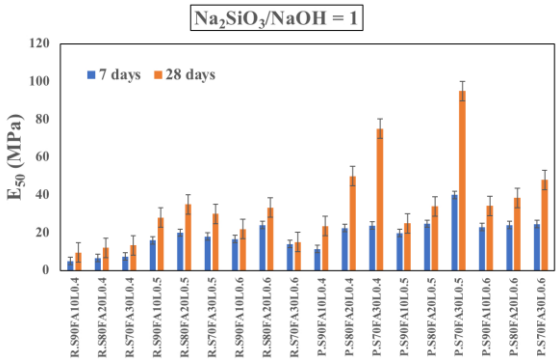
นอกจากนี้ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว (UCS) ที่อัตราส่วนผสมสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Na_2SiO_3:NaOH) ที่เหมาะสมที่สุดคืออัตราส่วนที่ 1.5 เนื่องจากสารจีโอโพลิเมอร์กับเถ้าลอยทำปฏิกิริยาได้อย่างทั่วถึง ทำให้ได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งค่ากำลังรับแรงอัดที่ให้ค่ากำลังสูงสุดของอายุการบ่ม 7 วัน คือ P.S70FA30L0.6 (เถ้าปาล์ม) และค่ากำลังรับแรงอัดที่ให้ค่ากำลังสูงสุดของอายุการบ่ม 28 วัน คือ P.S70FA30L0.5 (เถ้าปาล์ม) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานดินซีเมนต์ชั้นรองพื้นทาง (ทล.ม. 206/2532) ส่วนตารางที่ 9 และ 10 คือ อัตราส่วน 1 และ 0.67 ตามลำดับ



ภาพที่ 9 ค่า E^{50} ของดินตะกอนกว้านพะเยาที่ผสมด้วยสารจีโอโพลิเมอร์และเถ้าลอย อัตราส่วน 1.5

จากภาพที่ 9 ข้อมูลค่าโมดูลัสอีลาสติกที่ 50% ของอัตราส่วน 1.5 ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว (Modulus elastic at 50% of maximum compressive strength, E^{50}) ที่ได้จากการทดสอบหาค่า UCS นั้น พบว่ามีพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกันกับค่ากำลังรับแรงอัด (UCS) โดยที่ค่า E^{50} จะแปรผันตามปริมาณของสารจีโอโพลิเมอร์ (สารละลายโซเดียมซิลิเกต สารละลายไฮดรอกไซด์) และเถ้าลอย (เถ้าปาล์ม เถ้ายาง) ดังรูป จะพบว่า เมื่อใส่ปริมาณสารจีโอโพลิเมอร์ผสมเถ้าลอย ลงไปในตัวอย่างดินตะกอนกว้านพะเยามาก ค่ากำลังรับแรงอัด (UCS) ก็จะเพิ่มขึ้น และส่งผลไปถึงการเพิ่มขึ้นของค่า E^{50} ด้วยเช่นกัน

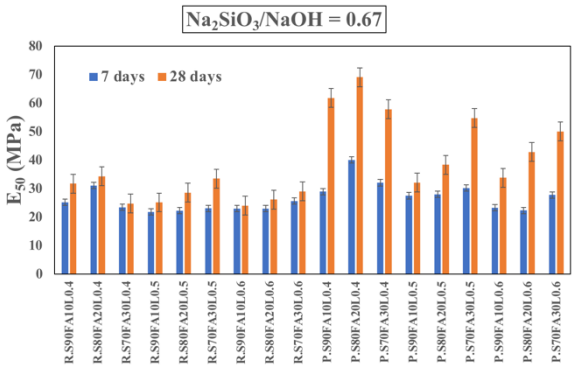
ดังนั้น ค่า E^{50} จะเพิ่มขึ้นแบบเดียวกันกับค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว ดังรูปภาพที่ 9 และค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุด ของอัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH ที่ 1.5 คือ P.S70FA30L0.5



ภาพที่ 10 ค่า E^{50} ของดินตะกอนกว้านพะเยาที่ผสมด้วยสารจีโอโพลิเมอร์และเถ้าลอย อัตราส่วน 1

จากภาพที่ 10 ข้อมูลค่าโมดูลัสอีลาสติกที่ 50% ของอัตราส่วน 1 ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว (Modulus elastic at 50% of maximum compressive strength, E^{50}) ที่ได้จากการทดสอบหาค่า UCS นั้น พบว่ามีพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกันกับค่ากำลังรับแรงอัด (UCS) โดยที่ค่า E^{50} จะแปรผันตามปริมาณของสารจีโอโพลิเมอร์ (สารละลายโซเดียมซิลิเกต สารละลายไฮดรอกไซด์) และเถ้าลอย (เถ้าปาล์ม เถ้ายาง) ดังรูป พบว่า อัตราส่วน 0.4 ปริมาณเถ้าลอยเพิ่มมากขึ้น ค่ากำลังรับแรงอัด (UCS) จะเพิ่มขึ้น และอัตราส่วน 0.5 กับ 0.6 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ดีที่สุดของเถ้ายางจะอยู่ที่ R.S80FA20L0.5 กับ R.S80FA20L0.6

ดังนั้น ค่า E^{50} จะเพิ่มขึ้นแบบเดียวกันกับค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว ดังรูปภาพที่ 10 และค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุด ของอัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH ที่ 1 คือ P.S70FA30L0.5



ภาพที่ 11 ค่า E^{50} ของดินตะกอนกว้านพะเยาที่ผสมด้วยสารจีโอโพลิเมอร์และเถ้าลอย อัตราส่วน 0.67

จากภาพที่ 11 ข้อมูลค่าโมดูลัสอีลาสติกที่ 50% ของอัตราส่วน 0.67 ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว (Modulus elastic at 50% of maximum compressive strength, E^{50}) ที่ได้จากการทดสอบหาค่า UCS นั้น พบว่ามีพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกันกับค่ากำลังรับแรงอัด (UCS) ซึ่งลักษณะแผนภูมิแท่งที่ได้จะมีความคล้ายคลึงกับลักษณะของข้อมูลค่าโมดูลัสอีลาสติกที่ 50% ของอัตราส่วน 1

ดังนั้น ค่า E^{50} จะเพิ่มขึ้นแบบเดียวกันกับค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว ดังรูปภาพที่ 9 และค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุด ของอัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH ที่ 0.67 คือ P.S80FA20L0.4

ดังนั้น จากการวิเคราะห์จากภาพที่ 9 10 และ 11 พบว่ารูปแบบการเพิ่มขึ้นของค่า E^{50} ในช่วงอายุการบ่ม 7 ถึง 28 วัน มีการเพิ่มขึ้นอย่างมาก และ พฤติกรรมของค่า E^{50} เหมือนกับค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว (UCS) เนื่องจากภาพที่ 9 10 และ 11 นั้นพบว่าปริมาณสารจีโอโพลิเมอร์ (Na_2SiO_3:NaOH) ส่งผลให้ค่า E^{50} มีค่ามากน้อยตามปริมาณของสารจีโอโพลิเมอร์ ส่วนปริมาณเถ้าลอย (เถ้าปาล์มและเถ้ายาง) พบว่า ปริมาณที่เหมาะสมของเถ้าลอยจะอยู่ที่ 20 ถึง 30 % (S80FA20 และ S70FA30) ของน้ำหนักดินแห้งที่จะทำให้ค่า E^{50} มีค่าสูงที่สุดในแต่ละปริมาณของสารจีโอโพลิเมอร์ ซึ่งอัตราส่วน 1.5 มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 30% (P.S70FA30L0.5) อัตราส่วน 1 มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 30% (P.S70FA30L0.5) และอัตราส่วน 0.67 มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 20% (P.S80FA20L0.4) ซึ่งจะพบว่ามีความสอดคล้องเหมือนกับค่า UCS อย่างชัดเจน

5. สรุปผลการทดสอบ

การปรับปรุงดินตะกอนด้วยจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มและเถ้ายาง โดยในการทดสอบเพื่อต้องการศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพของดินตะกอนกว๊านพะเยา เถ้าปาล์ม เถ้ายางและคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม รวมไปถึงคุณสมบัติด้านกำลังของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มและเถ้ายาง เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สามารถประยุกต์ใช้ดินตะกอนกว๊านพะเยาและหลักฐานอ้างอิงแหล่งข้อมูลในด้านวิจัยที่เกี่ยวกับดินตะกอนกว๊านพะเยา ทั้งยังเป็นการส่งเสริมให้มีการนำวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้ในทางวิศวกรรมให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเพื่อการบริหารจัดการโดยหน่วยงานกรมชลประทานจังหวัดพะเยากับวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นอย่างดินตะกอนกว๊านพะเยาได้อย่างเหมาะสม โดยผลการทดสอบสามารถสรุปได้

1. หากเถ้าลอยมีปริมาณมาก กับสารจีโอโพลิเมอร์ที่มีปริมาณมาก ค่ากำลังรับแรงอัดก็จะเพิ่มขึ้น แต่หากปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้น แต่สารจีโอโพลิเมอร์มีปริมาณน้อย ค่ากำลังรับแรงอัดก็จะลดลง

2. ค่ากำลังรับแรงอัดของเถ้าปาล์ม จะมีค่ามากกว่าค่ากำลังรับแรงอัดของเถ้ายาง

3. สารจีโอโพลิเมอร์ (Na_2SiO_3 กับ NaOH) มี 3 อัตราส่วน คือ 1.5 1 0.67 พบว่าอัตราส่วนที่ 1.5 จะได้ค่ากำลังแรงอัดที่ดีที่สุด เนื่องจากสารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) มากกว่า สารละลายไฮดรอกไซด์ (NaOH) และอัตราส่วน 1 กับ 0.67 สารละลายโซเดียมซิลิเกต(Na_2SiO_3) เท่ากันและน้อยกว่า สารละลายไฮดรอกไซด์ (NaOH) ตามลำดับ เนื่องจาก เมื่อ สารละลายโซเดียมซิลิเกต(Na_2SiO_3) ลดลง ค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้ก็จะลดลง

4. ส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของอายุการบ่ม 7 วัน คือ P.S70FA30L0.6 (เถ้าปาล์ม) และส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของอายุการบ่ม 28 วัน P.S70FA30L0.5 (เถ้าปาล์ม) เนื่องจากปริมาณสารจีโอโพลิเมอร์กับปริมาณเถ้าลอยทำปฏิกิริยาได้อย่างทั่วถึงเหมาะสมที่สุด

5. เมื่อตรวจสอบเกณฑ์มาตราฐานการออกแบบดินซีเมนต์ของกรมทางหลวง สำหรับก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง ของอายุการบ่ม 7 วัน ค่าที่ได้ต้องไม่น้อยกว่า 689 กิโลปาสกาล (ทล.ม. 206/2532) ดังนั้น ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดของอายุการบ่ม 7 วัน คือ P.S70FA30L0.6 (เถ้าปาล์ม) มีค่าเท่ากับ 731.27 กิโลปาสกาล ซึ่งผ่านมาตราฐานการออกแบบดินซีเมนต์ของกรมทางหลวง สำหรับก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ธัชชัย ใหม่ขันท์ (2560). การศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังและความคงทนของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์และเถ้าลอย.(หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต,มหาวิทยาลัยพะเยา)

[2] ปฏิมาพร สุขมาก, สุขสันต์ หอพิบูลสุข, และสุ่ยหลงเซิน. (2013). การพัฒนาความแข็งแรงของจีโอโพลิเมอร์จากดินเหนียวและเถ้า.วัสดุก่อสร้างและการก่อสร้าง., 40,566-574วารสาร หน้าแรก: www. elsevier.com/locate/conbuildmat

[3] สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา.(2565).อิทธิพลของอัตราส่วน Na_2SiO_3/NaOH ต่อกำลังอัดแกนเดียว และการอัดตัวคายน้ำของดินเหนียวอ่อนผสมเถ้าลอยโอโพลิเมอร์.การประชุมวิชากวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27., โรงแรม เดอะ เฮอริเท จ. เชียงราย

[4] หน่วยวิจัยเทคโนโลยีโครงสร้างพื้นฐานและการขนส่งทางราง สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมโยธา., คณะวิศวกรรศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. (2563). กำลังอัดของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานปรับปรุงด้วยเถ้าขยะจีโอโพลิเมอร์.การประชุมวิชากวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25.โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จ.ชลบุรี

[5] Khasib I., Nik Daud N., and Izadifar M., (2023). Consolidation behaviour of palm-oil-fuel-ash-based geopolymer treated soil. Geotechnical Research 10(3): 138-152, https://doi.org/10.1680/jgere.23.00013

[6] Patmapon S., Suksun H., Shui-Long Shen. (2013). Strength development In clay-fly ash geopolymer. Construction and Building Materials,40,566-574 https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.015

[7] Patimapon S., Gampanart S., Suksun H., Monthian S., Sippakarn K., and Arul A., (2017). Palm oil fuel ash-soft soil geopolymer for subgrade applications: strength and microstructural evaluation Road Materials and Pavement Design., http://dx.doi.org/10.1080/14680629.2017.1375967

การพัฒนาการควบคุมกำลังต่ำจากคอนกรีตรีไซเคิลโดยใช้สารกระตุ้นอัลคาไลน์สำหรับประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมผิวทาง

Development of controlled low-strength from recycled concrete activated by alkali for pavement engineering application

ทัศน์พล บุญโกมล[1] นฤนาท วงค์สถิตย์[2] ศุภชัย ยวงคำ [3] คมสันต์ ฉายาวรรณ[4,*]และ รศ.ดร.ธนกร ชมภูรัตน์[5]

[1,2,3,4] นิสิตปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

[5] อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาลัยพะเยา จ.พะเยา

**Corresponding author; E-mail address: 63103496@up.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันทรัพยากรธรรมชาติได้ถูกนำมาใช้งานในปริมาณที่มากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมาเป็นอย่างมาก และเพื่อส่งเสริมการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่า ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมของ CLSM จากวัสดุที่เหลือใช้จากอุตสาหกรรมประกอบด้วยเถ้าลอยและเถ้าหนักจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ คอนกรีตรีไซเคิลจากการรื้อถอนอาคาร สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีคุณสมบัติเป็นเบสสูงเพื่อเป็นตัวกระตุ้นวัสดุประสาน สำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในทางวิศวกรรมผิวทาง โดยจะศึกษาคุณสมบัติด้านการเยิ้มน้ำ และคุณสมบัติด้านกำลังของ CLSM โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 10 โมลาร์เป็นตัวกระตุ้นและใช้เถ้าหนักเป็นมวลรวมละเอียด ในอัตราส่วนคอนกรีตรีไซเคิลต่อวัสดุมวลรวมละเอียดร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 ตัวอย่าง CLSM จะถูกนำมาทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม ประกอบไปด้วย การเยิ้มน้ำ และการทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัด สุดท้ายนี้งานวิจัยนี้จะนำเสนออัตราส่วนผสมที่เหมาะกับการใช้งานตามวิศวกรรมผิวทาง

คำสำคัญ: วัสดุควบคุมกำลังต่ำ , สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ , เถ้าลอย , เถ้าหนัก , คอนกรีตรีไซเคิล

Abstract

Currently, natural resources are being increasingly utilized, leading to significant environmental impacts. To promote sustainable use of natural resources, this research aims to study the proportion mixtures of Controlled Low Strength Material (CLSM) using industrial by-products, including fly ash and bottom ash from the Mae Moh power plant, and recycled concrete. Sodium hydroxide solution with high bast is used as a activator for the binder material. The study focuses on assessing the water absorption properties and compressive strength of CLSM using sodium hydroxide solution with a concentration of 10 molars as an activator and bottom ash as aggregate at varying proportions of recycled concrete: 0, 25, 50, 75, and 100 percent by mass. The CLSM samples will be tested for engineering properties, including water absorption and compressive strength. Finally, this research will propose suitable mixture proportions for engineering applications.

Keywords: controlled low-strength material , sodium hydroxide , fly ash , bottom ash , recycle concrete

1.คำนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันทรัพยากรธรรมชาติได้ถูกนำมาใช้งานในปริมาณที่มากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมาเป็นอย่างมากและเพื่อส่งเสริมการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่าจึงนำวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมและคอนกรีตจากอาคารที่ถูกรื้อถอนทำลาย (Recycle concrete, RC) นำกลับมาใช้ใหม่ทำให้สามารถลดต้นทุนในการก่อสร้างและ ลดการใช้วัสดุประเภทสิ้นเปลืองหายาก เช่น ทราย และส่งเสริมให้มีการประยุกต์ใช้หลัก 3Rs (Reduce Reuse Recycle) วัสดุควบคุมกำลังต่ำ (controlled low-strength material, CLSM) เป็นวัสดุถม (fill material) ที่สามารถอัดแน่นได้ด้วยตัวเอง เป็นวัสดุอีกขนาดที่ใช้ทดแทนดินบดอัด มีการไหลที่ดีและมีการไหลแผ่มากกว่า 650 mm ตามมาตรฐานคอนกรีตที่สามารถอัดตัวได้ด้วยตัวเอง (EFNARC, 2002) ใช้ในงานที่ไม่สามารถบดอัดให้แน่นได้เนื่องในลักษณะพื้นที่การทำงานหรือต้องการลดต้นทุนในการบดอัด เช่น การสร้างท่อระบายน้ำ งานปรับระดับและการใช้ในงานพื้นทางแทนหินคลุก และสามารถช่วยลดปริมาณขยะให้น้อยลง ด้วยการลดการใช้ การนำกลับมาใช้ซ้ำ และการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ เพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

วัสดุควบคุมกำลังต่ำเป็นวัสดุที่ใช้แทนวัสดุถมที่มีลักษณะคล้ายคอนกรีตสามารถอัดแน่นได้ด้วยตัวเองและใช้ทดแทนดินบดอัด วัสดุควบคุมกำลังต่ำจะประกอบด้วย สารเชื่อมประสาน มวลรวม และน้ำ โดยทั่วไปสารเชื่อมประสานที่นิยมใช้ก็คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของคอนกรีต ได้จากกระบวนการเผาสารซิลิกา (SiO_2) อะลูมินา (Al_2O_3) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ในอุณหภูมิที่สูงประมาณ 1,400-1,600 องศาเซลเซียส ซึ่งกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในปริมาณที่สูงมากส่งผลทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกด้วยเหตุผลนี้งานวิจัยนี้จึงหลีกเลี่ยงการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แต่จะใช้วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม คือ เถ้าลอย (fly ash) และเถ้าหนัก (*Bottom ash)* จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ และคอนกรีตรีไซเคิล (recycle concrete) จากโครงสร้างที่หมดอายุการใช้งานแล้ว โดยเถ้าลอยเป็นวัสดุปอซโซลานที่มีซิลิกา อะลูมินา และแคลเซียมออกไซด์ เป็นวัสดุประสานที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีคุณสมบัติเป็นเบสสูง เป็นตัวกระตุ้น ซิลิกาและอะลูมินาให้ออกจากผิวของวัสดุประสาน เพื่อดึงแคลเซียมออกไซด์ออกมาด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชั่นกับน้ำ ส่งผลให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) ที่มีความคล้ายกับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์และลดการใช้ทรายธรรมชาติโดยใช้คอนกรีตรีไซเคิลแทนที่ในอันตราส่วนร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 ถือเป็นการนำเอาของเหลือใช้จากอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีเพื่อหาอัตราส่วนผสมของ CLSM จากวัสดุที่เหลือใช้จากอุตสาหกรรม และคอนกรีตจากอาคารที่ถูกรื้อถอนสำหรับนำไปใช้ในการก่อสร้างพื้นทาง (base course) โดยมีการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม การทดสอบกำลังอัด, การเยิ้มน้ำของ CLSM

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เถ้าลอย เถ้าหนักและคอนกรีตรีไซเคิล โดยใช้สารกระตุ้นอัลคาไลน์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์สำหรับนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุพื้นทาง

1.2.2 ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมด้านการเยิ้มน้ำ, การรับกำลังอัด

1.3 ขอบเขต

1.3.1 วัสดุประสานที่ใช้ คือ เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

1.3.2 ใช้เถ้าหนัก (ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4) ทุกอัตราส่วนผสม

1.3.3 ใช้คอนกรีตรีไซเคิล (ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4) ทุกอัตราส่วนผสม

1.3.4 ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม10 โมลาร์ (สารกระตุ้นอัลคาไลน์)

1.3.5 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการไหลของ CLSM โดยหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม ที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้นโดยใช้อัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อวัสดุประสาน 0.015

1.3.6 ทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของ CLSM ประกอบไปด้วย การเยิ้มน้ำ และการทดสอบกำลังอัด

1.4 ประโยชน์

1.4.1 เป็นแนวทางในการศึกษาองค์ความรู้ใหม่ๆ ในด้านวิศวกรรม ที่เกี่ยวกับแนวทางการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุ เพื่อสนับสนุนการนำทรัพยากรเหลือใช้นำกลับมาใช้งาน สำหรับนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุพื้นทาง

1.5 แผนการทำงาน

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและจัดเตรียมวัสดุ
2. ทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ
   - -หาขนาดคละ
   - -หน่วยน้ำหนัก
   - -ความถ่วงจำเพาะ
   - -เปอร์เซ็นการดูดซึม
3. หาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทดลอง
4. ทดสอบการเยิ้มน้ำและทดสอบกำลังอัดของCLSM
5. วิเคราะห์และสรุปผล

ตารางที่1 ขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือน							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1.ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเพื่อทำการทดลองและจัดเตรียมวัสดุในการทดลอง	■	■						
2.ทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ(หาขนาดคละ,หน่วยน้ำหนัก,ความถ่วงจำเพาะ,เปอร์เซ็นการดูดซึม)			■	■				
3.หาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทดลอง				■				
4.ทดสอบการเยิ้มน้ำ,ทดสอบกำลังอัดของวัสดุCLSM					■	■	■	
5.สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง								■

2.ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 วัสดุควบคุมกำลังต่ำ

วัสดุถมแบบอัดแน่นด้วยตัวเองหรือภาษาอังกฤษเรียกว่า flowable fill หรือ flowable fill material มีชื่อเป็นทางการโดยสมาคมคอนกรีตแห่งสหรัฐอเมริกาว่า controlled low strength material (CLSM) คือวัสดุที่สมารถใช้ถมแทนวัสดุถมปกติ (granular fill) เช่น ดิน ทราย และดินลูกรัง เป็นต้น



รูปที่1 การใช้ CLSM

2.1.2 วัสดุจีโอโพลิเมอร์

จีโอโพลิเมอร์คอนกรีต (geopolymer concrete) เป็นวัสดุเชื่อมประสานชนิดหนึ่งที่เป็นนวัตกรรมของวัสดุที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม Trenchless Technology Center (TCC) ของ Louisiana Technology University ได้คิดค้น จีโอโพลิเมอร์คอนกรีตหรือคอนกรีตสีเขียว (green concrete) ขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดแทนปูนซีเมนต์

2.1.3 วัสดุปอซโซลาน

ปอซโซลาน (pozzolan) เป็นวัสดุที่นิยมใช้เป็นส่วนผสมในปูนซีเมนต์หรืองานคอนกรีตโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ซึ่งจะส่งผลให้ลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีต

2.1.4 คอนกรีตรีไซเคิล

คอนกรีตรีไซเคิล (RCA) หมายถึง มวลรวมที่นำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งได้มาจากการรื้อทำลายสิ่งก่อสร้างคอนกรีต หรือจากการบดทำลายแท่งตัวอย่างทดสอบ หรือชิ้นส่วนคอนกรีต

2.1.5 ประเภทและลักษณะโครงสร้างผิวทาง

โครงสร้างผิวทางสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก คือ โครงสร้างผิวทางยืดหยุ่น (flexible pavement) หรือ โครงสร้างผิวทางแอสฟัลท์ (asphalt pavement) โครงสร้างผิวทางแข็งเกร็ง (rigid pavement) หรือโครงสร้างผิวทางคอนกรีต (concrete pavement) และโครงสร้างผิวทางผสม (composite pavement)

2.1.6 ความสำคัญของกลศาสตร์ในงานวิศวกรรมผิวทาง

การออกแบบโครงสร้างผิวทางยืดหยุ่นและโครงสร้างผิวทางแข็งเกร็งในปัจจุบันเริ่มใช้วิธีการออกแบบ ที่เรียกว่า การออกแบบเชิงวิเคราะห์ (analytical design) สามารถนำไปใช้ทำนายพฤติกรรมของโครงสร้างชั้นทางและวัสดุชั้นทางต่างๆ ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

2.1.7 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติทางเคมี (Sanhawit et al. (2021) เป็นงานวิจัยทำต่อกัน)

2.1.7.1.การทดสอบหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight)

ทำได้โดยการนำวัสดุที่อยู่ในสภาพน้ำหนักแห้งคงที่ ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ใส่ในแบบทรงกระบอกที่มีความสูงเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลาง จนมีระดับหนึ่งในสามของความสูงแบบและกระทุ้งด้วยแท่งเหล็ก กระทุ้งให้ทั่วผิวหน้าจำนวน 25 ครั้งทำแบบเดียวกันจนเต็มความสูงแบบแล้วจึงนำไปชั่งทำอย่างน้อย 2 ครั้ง ผลการทดลองที่ได้ไม่ควรต่างกันเกิน 1%

ตารางที่2 หน่วยน้ำหนัก (Unit Weigth)

Mix	Unit Weight (Kg/m^3)
1	1924
2	1947
3	1959
4	1967
5	2008

2.1.7.2 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

คืออัตราส่วนของมวลวัสดุ (น้ำหนักของวัสดุที่ชั่งในอากาศ) ต่อมวลของน้ำ *(หรือน้ำหนักของน้ำ) ที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของวัสดุนั้น ณ อุณหภูมิที่กำหนด*

2.1.7.3 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (Adsorption)

หมายถึงการที่วัสดุมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากดูดซึมน้ำเข้าสู่โพรงหรือช่องว่างในวัสดุ แต่ไม่นับรวมถึงปริมาณน้ำที่ติดอยู่ที่ผิวนอกของวัสดุ ดังนั้นการทดสอบจะต้องทำให้วัสดุอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งก่อน

ตารางที่3 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของเถ้าลอย เถ้าหนัก คอนกรีตรีไซเคิล และทราย

การทดสอบ	ผลการทดสอบ			
	เถ้าลอย	เถ้าหนัก	คอนกรีตรีไซเคิล	ทราย
ความถ่วงจำเพาะ	2.69	2.7	2.42	2.61
หน่วยน้ำหนัก(KN/m^3)	1282	2.62	1583	1690
การดูดซึมน้ำ(%)	0.24	1.41	3.91	0.32

อ้างอิง: Sanhawit et al. (2021)

2.1.7.4 การทดสอบค่ายุบตัว (Slum Test)

เพื่อหาค่าความข้นเหลวของ CLSM ในสภาพของเหลวตามมาตรฐาน ASTM C1611 เป็นมาตรฐานที่ใช้สำหรับคอนกรีตที่ สามารถอัดตัวด้วยตัวเอง (self-consolidating concrete) โดยจะทำการทดสอบหลังจาก CLSM สัมผัสกับน้ำที่เวลา 0 30 60 90 และ 120 นาที

ตารางที่4 ค่าการยุบตัว

Mix	Slump (cm)				
	0 min	30 min	60 min	90 min	120 min
1	28	28	27	26	26
2	28	28	27	26	26
3	28	27	27	27	26
4	28	28	27	27	26
5	27	27	26	26	26
6	27	27	25	25	24
7	27	27	26	26	25
8	27	26	26	25	25
9	27	27	26	26	25
10	27	27	26	25	25

อ้างอิง: Sanhawit et al. (2021)

2.1.7.5 การทดสอบค่ายุบตัวแบบไหลแผ่ (Slum Flow Test)

เพื่อหาความสามารถในการไหลของ CLSM เพราะ CLSM ต้องมีคุณสมบัติการไหลที่ดีและมากกว่า 650 mm ตามมาตรฐานคอนกรีตที่สามารถอัดตัวได้ด้วยตัวเองโดยจะทำการทดสอบหลังจาก CLSM สัมผัสกับน้ำที่เวลา 0 30 60 90 และ 120 นาที

ตารางที่5 ค่าการยุบตัวแบบไหลแผ่

Mix	Slump (cm)				
	0 min	30 min	60 min	90 min	120 min
1	95	81	74	67	58
2	93	79	73	66	57
3	93	74	65	60	55
4	90	72	64	60	53
5	81	66	56	49	44
6	66	53	49	45	42
7	73	62	53	49	44
8	76	63	55	49	44
9	78	64	56	49	44
10	81	66	56	49	44

อ้างอิง: Sanhawit et al. (2021)

2.1.7.6 ระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time)

ระยะเวลาการก่อตัวของ CLSM เริ่มตั้งแต่ CLSM สัมผัสกับน้ำการก่อตัวถือเป็นลักษณะทางกายภาพที่แสดงถึงขั้นตอนการ เกิดปฏิกิริยาของ CLSM หลังจากผสม CLSM ครบ 3 ชั่วโมง จะทำการนำเข็มมากดหาระยะเวลาการก่อตัว โดยเซ็ตค่าการตกกระทบที่ 40 มิลลิเมตร ปล่อยให้เข็มตกลงตามอิสระ แล้วทำการจดค่าเมื่อเวลาผ่านไป CLSM ยิ่งแข็งระยะการจมของเข็มจะน้อยลง แล้วนำค่าที่ได้มาลงจุดในกราฟ

ตารางที่6 ค่าระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้น และระยะเวลาก่อตัวสุดท้าย

Mix	Initial setting time (min)	Final setting time (min)
1	445	720
2	435	675
3	430	615
4	425	585
5	390	570
6	265	420
7	340	510
8	350	540
9	370	555
10	390	570

อ้างอิง: Sanhawit et al. (2021)

2.2 วิจัยที่เกี่ยวข้องกับ CLSM

2.2.1 Sanhawit et al. (2021) นำเสนอ CLSM ที่ใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุประสาน เถ้าหนักและคอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมและให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้น โดยมีการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม การยุบตัว, การยุบตัวแบบไหลแผ่ ระยะการก่อตัวของ CLSM

2.2.2 Chompoorat et al. (2018) นำเสนอ CLSM ที่ใช้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กับเถ้าลอยเป็นวัสดุประสาน งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบการไหลแผ่ กำลังรับแรงอัดแกนเดียว และโมดูลัสการคืนตัว พบว่า CLSM ที่ใช้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กับเถ้าลอยเป็นวัสดุประสานสามารถทนทานต่อความเสียหายการเสื่อมสภาพและมีอายุการใช้งานที่ดีกว่าการใช้พื้นทางหินคลุก

2.2.3 Lee et al. (2013) นำเสนอ CLSM ที่ใช้ ตะกรันเหล็กกับเถ้าลอยเป็นวัสดุประสานใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมละเอียดและใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้น ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของร้อยละตะกรันเหล็กไม่ส่งผลกระทบต่อการไหลแผ่แต่การเพิ่มขึ้นของตะกรันเหล็กส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของ CLSM เพิ่มขึ้น

2.2.4 Thanakit et al. (2020) นำเสนอ CLSM ที่ใช้ตะกรันเหล็กกับเถ้าลอยเป็นวัสดุประสานกับการใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมระเอียดและให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้น งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบการไหล่แผ่ กำลังรับแรงอัดแกนเดียว โมดูลัสการคืนตัว และเรโชแนนซ์อิสระ

3.วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมี

วัสดุและสารเคมีที่นำมาใช้ในการทดสอบเพื่อศึกษาวิจัยนั้นประกอบด้วย เถ้าลอย (fly ash) เถ้าหนัก (bottom ash) จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง และคอนกรีตรีไซเคิล โดยใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุประสาน
เถ้าหนักและคอนกรีตรีไซเคิลถูกนำมาใช้แทนที่มวลรวมละเอียด และ ส่วนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวกระตุ้น

3.2 การเตรียมตัวอย่างวัสดุ

3.2.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยทั่วไปอยู่ในรูปเกล็ดจึงต้องมีการเตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลายของเหลวและให้มีความเข้มข้น 10 โมลาร์ (Molar, M)

1. คำนวณน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในรูปแบบเกล็ดมีหน่วยเป็นกรัมเพื่อให้ ได้ความเข้มข้นที่ต้องการในงานวิจัย
2.ทุบโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่จับตัวเป็นก้อนให้มีขนาดพอดี
3.เทน้ำกลั่นลงในบีกเกอร์ที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทุบพอขนาดโดยให้ อยู่ต่ำกว่าขีด ปริมาตรที่ต้องการเล็กน้อย
4.ใช้แท่งแก้วคนโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในรูปของเกล็ดให้ละลายอยู่ในรูปของสารละลายของเหลวและเป็นเนื้อเดียวกัน
5.เติมน้ำกลั่นลงในบีกเกอร์ดังกล่าวให้ถึงปริมาตรที่ต้องการ

3.2.2 เถ้าหนัก (Bottom ash)

เถ้าหนัก (bottom ash) นี้มาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าของภาครัฐ *โดยใช้ขนาดคละที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4*

3.2.3 เถ้าลอย (Fly ash)

เถ้าลอย (fly ash) นี้มาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าของภาครัฐ

3.2.4 คอนกรีตรีไซเคิล (RCA)

วัสดุคอนกรีตในงานวิจัยนี้ได้มาจากการย่อยสลายคอนกรีตที่ได้จากโครงสร้างที่ถูกรื้อถอนและทำลาย โดยใช้ขนาดคละที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4



รูปที่2 โซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่3 เถ้าหนัก



รูปที่4 เถ้าลอย



รูปที่5 คอนกรีตรีไซเคิล

ตารางที่7 การทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานของเถ้าลอยและคอนกรีตรีไซเคิล

การทดสอบ	วัตถุประสงค์	มาตราฐาน
ขนาดคละ	ขนาดของ เถ้าลอย เถ้าหนัก RCA	ASTM D 442
หน่วยน้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก เถ้าลอย เถ้าหนัก RCA	ASTM C 29
ความถ่วงจำเพาะ	ความถ่วงจำเพาะ เถ้าหนัก RCA	ASTM C 128
ความถ่วงจำเพาะ	ความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอย	ASTM C 188
เปอร์เซ็นการดูดน้ำ	เปอร์เซ็นการดูดซึมน้ำของเถ้าลอย เถ้าหนัก RCA	ASTM C 128

3.3 อัตราส่วนผสม CLSM ต่อปริมาณส่วนผสม 1 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่8 อัตราส่วนผสม CLSM ต่อปริมาณส่วนผสม 1 ลูกบาศก์เมตร

Mix	Mixture	FA/Binder	NaOH/Binder	FA	Water	NaOH (10M)	BA	RCA
1	BA100/RCA00	1	0.015	535	290	20	802	0
2	BA75/RCA25	1	0.015	535	290	20	601.5	200.5
3	BA50/RCA50	1	0.015	535	290	20	401	401
4	BA25/RCA75	1	0.015	535	290	20	200.5	601.5
5	BA00/RCA100	1	0.015	535	290	20	0	802

หมายเหตุ: FA/Binder คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสาน (เถ้าลอย) NaOH/Binder คืออัตราส่วนระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อวัสดุประสาน (เถ้าลอย) งานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วัสดุประสานเป็นเถ้าลอย โดยที่ BA หมายถึงเถ้าหนัก RCA หมายถึง คอนกรีตรีไซเคิล

3.4 การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม

3.4.1 การเยิ้มน้ำ (Bleeding Test)

เพื่อหาค่าการเยิ้มน้ำของ CLSM ในแต่ละอัตราส่วน การเยิ้มน้ำของ CLSM มีผลต่อความแข็งแรงกำลังอัด และความสามารถในการซึมผ่านน้ำใน CLSM

ขั้นตอนการทดสอบเยิ้มน้ำ

1.นำเถ้าหนัก และ RCA *มาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4*

2.นำเถ้าลอย เถ้าหนัก และ RCA เข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบแล้วนำออกมาพักเพื่อให้วัสดุเย็นตัวลงและไม่ดูดซึมน้ำเกินกว่าปกติเนื่องจากความร้อนในมวลวัสดุ

3.ทำการเตรียม เถ้าลอย เถ้าหนัก และ RCA ตามสัดส่วน

4.นำเถ้าลอย เถ้าหนัก และ RCA ใส่ลงหม้อผสม คลุกให้เข้ากัน

5.นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่เตรียมไว้ ใส่ลงในหม้อ แล้วทำการผสมส่วนผสมให้เข้ากัน

6.เทน้ำลงในหม้อผสมแล้วก็ปั่นให้เข้ากันเป็นเวลา30นาทีแล้วก็พักอีก 15 วินาที จากนั่นทำการคนเกรียงเหล็กไม่ให้ส่วนผสมนั่นติดหม้อผสม แล้วปั่นอีก 30 วินาที

7. นำส่วนผสมใส่ลงในโมลทรงลูกบาศก์ 15*15*15 cm

8.เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาทีหลังจากการผสม ทำการดูดน้ำบริเวณที่ผิวของ CLSM เพื่อนำไปคำนวณค่าการเยิ้มน้ำ



รูปที่6 การทดสอบเยิ้มน้ำ

3.4.2 การทดสอบกำลังอัด (Unconfined Compression Test)

เพื่อหากำลังอัดดินของ CLSM ในการบ่ม 7 14 28 60 90 วัน ของแต่ละอัตราส่วนว่ามีผลกระทบต่อกำลังอัดมากน้อยเพียงใด

ขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรงอัดในแนวแกน

1.ตัดท่อ PVC ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3.2 cm (1 ¼ in) ให้มีความสูงมากกว่าหรือเท่ากับ 7 cm (2 ½ in)

2.เตรียมสารละลาย NAOH (โซเดียมไฮดรอกไซด์) 10 โมลาร์

3.เตรียมวัสดุ เถ้าลอย เถ้าหนัก และ RCA ที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 แล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศา เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้วนำวัสดุออกจากตู้อบมาพักไว้ เพื่อให้อุณหภูมิของตัววัสดุเย็นลง

4.ทำการเตรียม เถ้าลอย เถ้าหนัก และ RCA ตามอัตราส่วน

5.นำเถ้าลอย เถ้าหนัก และ RCA ใส่ลงหม้อผสม แล้วคลุกให้เข้ากัน และนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่เตรียมไว้ ใส่ลงในหม้อผสมพร้อมกับเทน้ำลงไป

6.คลุกส่วนผสมทั้งหมดให้เข้า โดยที่ส่วนผสมจะต้องไม่จับตัวกันเป็นก้อน เป็นเวลา 1 นาที หลังจากนั้นนำส่วนผสมไปปั่นต่ออีก 30 วินาที แล้วพักไว้ 15 วินาที หลังจากนั้นปั่นต่ออีก 30 วินาที

7.นำส่วนผสมเทลงแบบท่อ PVC ที่ได้เตรียมไว้ หลังจากนั้น 2-3 วัน เมื่อตัวอย่างเริ่มแข็งตัว ทำการแกะแบบท่อ PVC ออกแล้วใช้พลาสติกแรปใสห่อตัวอย่างเพื่อทำการบ่มเป็นเวลา 7 14 28 60 90 วัน

8.เมื่อทำการบ่มตัวอย่างครบกำหนดวันแล้ว ทำการนำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัด

9.วางตัวอย่างให้อยู่กึ่งกลางของแผ่นฐานของอุปกรณ์ ติดตั้งมาตรวัดหดตัวและมาตรวัดที่อยู่ในวงแหวนวัดแรง

10.เริ่มกดค่าตัวอย่างโดยอัตราการกดคงที่ (การเคลื่อนที่แนวดิ่งของเครื่องให้อยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.1 นิ้วต่อนาที ปกติใช้ 0.05 นิ้วต่อนาที) ตามความเหมาะสมในช่วงอ่านต่างๆกันเมื่อแรงกดสูงสุดนั่นคือถึงจุดวิบัติหรือสูงสุดของกำลังตัวอย่าง

11.บันทึกข้อมูลจากวงแหวนวัดแรงทุกๆการหดตัว



รูปที่7 การทดสอบกำลังรับแรงอัดในแนวแกน

4.ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบของ CLSM

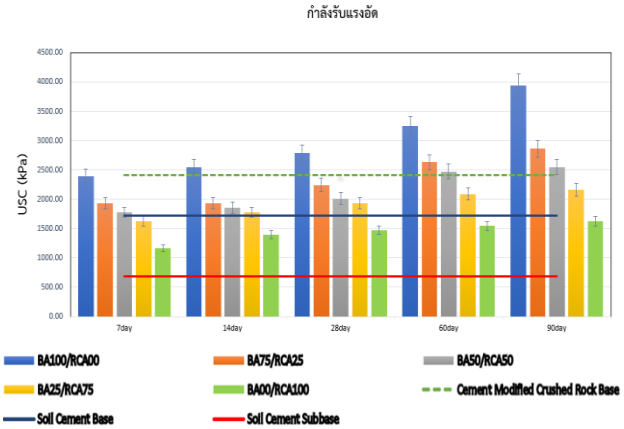
4.1.1 การทดสอบการเยิ้มน้ำ

ตารางที่9 ร้อยละการเยิ้มน้ำ

Mix	ชื่อส่วนผสม	Bleeding (%)
1	BA100/RCA00	0.24
2	BA75/RCA25	0.28
3	BA50/RCA50	0.36
4	BA25/RCA75	0.39
5	BA00/RCA100	0.42

จากผลการทดสอบการเยิ้มน้ำ ตารางที่ 9 ตัวอย่างที่ 1 2 3 4 และ 5 ซึ่งอัตราส่วนวัสดุมวลรวมที่แตกต่างกันร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 มีร้อยละการเยิ้มน้ำเท่ากับ 0.24 0.28 0.36 0.39 และ 0.42 ตามลำดับ พบว่าการเพิ่มคอนกรีตรีไซเคิลส่งผลให้ปริมาณการเยิ้มน้ำเพิ่มขึ้น และในทางตรงกันข้ามการเพิ่มเถ้าหนักส่งผลให้ปริมาณการเยิ้มน้ำลดลง

4.1.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด



รูปที่8 กำลังรับแรงอัดของ CLSM

ค่ากำลังรับแรงอัดของ CLSM แสดงในรูปที่ 8 พบว่ากำลังรับแรงอัดของ CLSM ลดลงตามปริมาณ RCA ที่เพิ่มขึ้นโดยกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ 1 2 3 4 และ 5 ซึ่งใช้อัตราส่วนมวลรวมเถ้าหนักและคอนกรีตรีไซเคิลร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 ที่ 7 วัน มีค่าเท่ากับ 2,398 1,934 1,779 1,624 1,160 kPa ตามลำดับ ที่ 14 วัน มีค่าเท่ากับ 2,553 1,934 1,856 1,779 1,392 kPa ตามลำดับ ที่ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 2,785 2,243 2,011 1,934 1,469 kPa ตามลำดับ ที่ 60 วัน มีค่าเท่ากับ 3,249 2,630 2,475 2,089 1,547 kPa ตามลำดับ และที่ 90 วัน มีค่าเท่ากับ 3,946 2,862 2,553 2,166 และ 1,624 พบว่าปริมาณร้อยละส่วนผสมมวลรวมที่เพิ่ม RCA มากขึ้นส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดลง และในทางตรงข้ามการเพิ่มเถ้าหนักมากขึ้นส่งผลให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น

5.สรุปผลการทดลอง

บทความนี้ได้นำเสนอผลการทดลองของ วัสดุควบคุมกำลังต่ำ (CLSM) ที่มีเถ้าลอย เป็นวัสดุประสานแทนปูนซีเมนต์ เถ้าหนักและคอนกรีตรีไซเคิลเป็นวัสดุมวลรวม โดยมีสารโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้น มีผลสรุปดังนี้

1.การใช้อัตราส่วนมวลรวมเถ้าหนักต่อคอนกรีตรีไซเคิลร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 มีผลกระทบต่อการเยิ้มน้ำ การเพิ่มคอนกรีตรีไซเคิลส่งผลให้การเยิ้มน้ำเพิ่มขึ้น และในทางตรงกันข้ามการเพิ่มเถ้าหนักส่งผลให้ปริมาณการเยิ้มน้ำลดลง เนื่องจากคอนกรีตรีไซเคิลมีอัตราการดูดซึมน้ำที่น้อยกว่าเถ้าหนัก

2.การทดสอบกำลังรับแรงอัดในแนวแกน CLMS จากมาตราฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์กรมทางหลวงที่ 7 วัน ต้องมีค่ากำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 689 KPa ทุกตัวอย่างการทดสอบมีค่าผ่านมาตรฐาน ส่วนมาตราฐานพื้นทางดินซีเมนต์กรมทางหลวงที่ 7 วัน ต้องมีกำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 1,724 KPa มี 3 ตัวอย่างที่ผ่านค่ามาตราฐานคือ BA100/RCA00 BA75/RCA25 BA50/RCA50 ที่มีกำลังรับแรงอัด 2,398 1,934 1,779 KPa ตามลำดับ และมาตรฐานพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์กรมทางหลวงที่ 7 วัน ต้องมีกำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 2,413 KPa มีตัวอย่างที่มีค่าใกล้เคียงตัวอย่างเดียวคือ BA100/RCA00 ที่มีกำลังรับแรงอัด 2,398 Kpa

ดังนั้นควรใช้สำหรับเป็นชั้นรองพื้นทางเพราะ มีอัตราส่วนผสมที่มีกำลังรับแรงอัดที่ผ่านมาตราฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ของกรมทางหลวงที่ระยะการบ่มตัว 7 วัน คือ BA100/RCA00 BA75/RCA25 BA50/RCA50 BA25/RCA75 BA00/RCA100 หรือ ทุกอัตราส่วนผสม โดยอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด คือ BA00/RCA100 เนื่องจากมีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านมาตรฐานกรมทางหลวง และเป็นอัตราส่วนผสมที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลล้วนร้อยเปอร์เซ็น ซึ่งทำให้ไม่สิ้นเปลืองทรัพยากรธรรมชาติ เช่น หิน ดินลูกรัง เพราะคอนกรีตรีไซเคิลได้มาจากอาคารที่ถูกรื้อทำลาย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ที่อนุเคราะห์ เถ้าลอย เถ้าหนัก

เอกสารอ้างอิง

[1] Lee NK, Kim HK, Park IS, Lee HK. Alkali- activated, cementless, controlled low-strength materials (CLSM) utilizing industrial by-products. Construction and Building Materials 49; 2013

[2] Chompoorat T, Likitlersuang S, Jongvivatsakul P. The Performance of Controlled Low-strength Material Base Supporting a High-volume Asphalt Pavement. KSCE journal of Civil Engineering 22(6):2055-2063. 2018

[3] Park SM, Lee NK, Lee HK. Circulating fluidized bed combustion ash as controlled low-strength material (CLSM) by alkaline activation. Construction and Building Materials 156: 728- 738. 2017

[4] ASTM International. ASTM Designation C 138: 2017. Standard test method for density (unit weight), yield, and air content (gravimetric) of concrete. Philadelphia. USA.

[5] ASTM International. ASTM Designation C 1611: 2014. Standard test method for slump flow of self-consolidating concrete. Philadelphia. USA.

[6] ASTM International. ASTM Designation C 2166: 2016. Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil. Philadelphia. USA.

[7] ASTM International. ASTM Designation C 232: 2014. Standard test method for bleeding of concrete. Philadelphia. USA.

[8] ASTM International. ASTM Designation C 403: 2016. Standard test method for time of setting of concrete mixtures by penetration resistance. Philadelphia. USA.

[9] กรมทางหลวง ทล.-ม. 206. (2564) มาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ กองวิเคราะห์และวิจัยกรมทางหลวง

[10] กรมทางหลวง ทล.-ม. 203. (2556) มาตรฐานพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

[11] กรมทางหลวง ทล.-ม. (2556) มาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์ กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

การปรับปรุงดินตะกอนซีเมนต์ด้วยเส้นใยเปลือกข้าวโพด

Improvement of Cement Slit Soil with Corn Fibers

นางสาวชลธิชา จันต๊ะ[1*] นายณัฐชนน วงศ์แสงธรรม[2] นางสาวธัญญาสิริ ทองสุข[3]
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ธนกร ชมภูรัตน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
**Corresponding author; E-mail address: 63101955@up.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการนำวัสดุเหลือทิ้งนำมาพัฒนาปรับปรุงให้เกิดประโยชน์ทางด้านวิศวกรรมเพื่อใช้สำหรับเป็นวัสดุทางเลือกในอุตสาหกรรมการก่อสร้างและช่วยลดต้นทุนการก่อสร้างรวมถึงเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์อีกทั้งยังส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อม ดังเช่นจังหวัดพะเยาที่ในทุกๆปีจะทำการขุดลอกกว๊านพะเยา ทำให้มีดินตะกอนกองอยู่รอบๆกว๊านพะเยาจำนวนมาก และยังมีข้าวโพดซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญที่ปลูกเป็นจำนวนมากทางภาคเหนือ ภายหลังฤดูการเก็บเกี่ยวจะมีวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก การกองเก็บและการกำจัดทิ้งมักใช้การเผาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมาทำการปรับปรุงให้มีความเหมาะสมในการใช้งานด้านวิศวกรรม โดยใช้การทดสอบกำลังรับแรงอัดแรงแกนเดี่ยวและกำลังรับแรงดึงทางอ้อมของดินตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ที่เสริมด้วยเส้นใยจากเปลือกข้าวโพด โดยจะทดสอบที่อัตราส่วนผสมปริมาณปูนซีเมนต์ 7% ปริมาณเส้นใย 0.5 1.0 และ 2.0% โดยน้ำหนักของดินตะกอนแห้ง และความยาวของเส้นใย 3 ขนาด ได้แก่ 1 2 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยระยะเวลาในการบ่ม 7 และ 28 วัน ผลจากการทดสอบพบว่าการเพิ่มเส้นใยช่วยเปลี่ยนพฤติกรรมเปราะของตัวดินตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ให้เป็นพฤติกรรมเหนียวและลดการสูญเสียกำลังหลังจากกำลังอัดสูงสุด ท้ายสุดของงานวิจัยนี้จะนำเสนออัตราส่วนและความยาวที่เหมาะสมของเส้นใยข้าวโพดสำหรับนำไปใช้ในงานวิศวกรรม

คำสำคัญ : ดินตะกอน ปูนซีเมนต์ เส้นใยจากเปลือกข้าวโพด กำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว กำลังรับแรงดึงทางอ้อม

Abstract

This research is about using waste materials to develop and improve them for engineering benefits as alternative materials in the construction industry. It also helps in reducing construction budget costs and adding value to waste materials to make them useful and have a positive effect on the environment, as in Phayao province every Phayao Province therefore dredged Kwan Phayao. As a result, there is a lot of sediment piled up around Kwan Phayao. And corn husks are an important economic crop that is grown in large numbers in the northern region. which is classified as a large amount of waste material Stacking and disposal also has a significant impact on the environment. The objective of this research is to study the uniaxial compression of sediment from Kwan Phayao mixed with cement reinforced with natural fibers from corn fiber husks. The uniaxial compressive strength was tested at a cement content of 7% and a fiber content of 0.5, 1.0, and 2.0%, respectively, by weight of dry sediment. and the length of the fibers were 1, 2 and 4 cm, respectively, with curing times of 7 and 28 days. The results from the test found that adding fibers helped change the brittle behavior of the sludge mixed with cement to a tough behavior and reduced loss. Loss of power after maximum compression Finally, this research will present the optimum ratio and length of corn fibers for use in engineering applications.

Keywords: Sediment, Cement, Corn husk fiber, Unconfined compressive strength, Indirect tensile strength

1. คำนำ

1.1 *ที่มาและความสำคัญ*

จังหวัดพะเยามีลักษณะทางภูมิประเทศโดยรอบล้อมด้วยเทือกเขาด้านตะวันออก ตะวันตก ด้านทิศใต้และตอนกลางของจังหวัด เทือกเขาเหล่านี้ทอดยาวจากเหนือลงใต้ มีพื้นที่ราบเหมาะสมแก่การเพาะปลูกและมีแหล่งน้ำจืดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดของทางภาคเหนือ คือกว๊านพะเยา ในทุกๆปี ในช่วงฤดูฝนน้ำฝนจะชะล้างหน้าดินและพัดพาไหลลงสู่กว๊านทำให้กว๊านพะเยาเกินการตื้นเขิน ทางจังหวัดพะเยาจึงได้ทำการขุดลอกกว๊านพะเยาเพื่อเพิ่มความจุกักเก็บน้ำ และนำไปทิ้งไว้บริเวณริมตลิ่ง ทำให้มีดินตะกอนกองอยู่บริเวณโดยรอบกว๊านพะเยาเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้จังหวัดพะเยายังมีปัญหาทางด้านมลพิษอันเนื่องมาจากทางภาคเหนือมีความนิยมปลูกข้าวโพด [1] ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ หลังช่วงฤดูเก็บเกี่ยวจะมีวัสดุเหลือทิ้งทางด้านการเกษตรในปริมาณที่มาก หลังจากเกษตรกรนำข้าวโพดส่งโรงสีทางโรงสีจะใช้เพียงฝักข้าวโพดข้างใน แล้วจะเหลือซังข้าวโพดและใบที่ไม่ได้นำไปใช้ต่อกลายเป็นขยะหรือของเหลือใช้ ขยะเหล่านี้จะถูกนำไปกำจัดด้วยวิธีเผา ทำให้เกิดสาเหตุหนึ่งของการเกิดมลภาวะทางอากาศเป็นพิษ ดังเช่นปริมาณฝุ่น PM 2.5 ที่ควรจะมีในอากาศทั่วไปเพียง 25% พุ่งสูงขึ้นไปถึง 200% จนเกิดปัญหาหมอกควันสะสม [2] เนื่องด้วยปัญหามลภาวะดังกล่าว

ด้วยปัญหาดังที่กล่าวมาแล้วนั้น จึงเกิดแนวคิดการวิจัยปรับปรุงดินเพื่อใช้ในงานวิศวกรรมจากวัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากประสิทธิภาพในการพัฒนาทางด้านคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุใหม่ [3] ในปัจจุบันนี้กระบวนการปรับปรุงคุณภาพดินนั้นสามารถทำได้หลากหลายวิธี ขึ้นอยู่กับปัจจัยเฉพาะ เช่น ชนิดของดิน ลักษณะของการนำไปใช้งาน ในงานวิจัยที่ใช้ดินตะกอนนำมาปรับปรุงนั้นคุณสมบัติเชิงกลของดินตะกอนแตกต่างจากดินทั่วไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ลักษณะโดยทั่วไปของดินตะกอนนั้นมีความชื้นในมวลดินธรรมชาติที่สูง เม็ดดินมีความละเอียดและส่วนมากมักพบสารอินทรีย์ (Organic) และสารอนินทรีย์ (Inorganic) ปะปนอยู่ส่งผลให้กำลังรับแรงเฉือนของดินมีค่าที่ต่ำ จึงทำให้ไม่สามารถนำดินตะกอนมาใช้ทางด้านงานวิศวกรรมได้โดยตรง [4] ดังเช่นตัวอย่างดินตะกอนกว๊านพะเยาที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ จากการศึกษาการปรับปรุงของคุณภาพของดินตะกอนกว๊านพะเยามาใช้สำหรับงานทางด้านวิศวกรรม ที่จะดำเนินโดยใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 มาเป็นสารผสมเพิ่มในการปรับปรุงดินด้วยอัตราส่วน 7% ของน้ำหนักดินแห้ง ดินตะกอนมีการพัฒนากำลังรับแรงเฉือน จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว เท่ากับ 724.4 kPa ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานในการเป็นวัสดุชั้นรองพื้นทาง ตามเกณฑ์การออกแบบดินซีเมนต์ของกรมทางหลวงของประเทศไทย [5]

ในช่วงระยะเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมา การพัฒนาปรับปรุงดินด้วยเส้นใย เป็นหนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ทั้งการปรับปรุงด้วยเส้นใยสังเคราะห์และเส้นใยธรรมชาติ ทำให้ดินมีกำลังรับแรงเฉือนที่มากขึ้นยังส่งผลให้ดินมีความเหนียวมากขึ้น (Ductility) อันเนื่องมาจากดินที่เสริมแรงด้วยเส้นใย จะมีพฤติกรรมคล้ายวัสดุประกอบ [6] จากการศึกษาของ Rabab'ah (2021) ได้ทำการศึกษาผลของการนำใยแก้ว (Glass fiber) มาเป็นวัสดุเสริมแรงในดินประเภทดินบวม (Expansive soil) โดยกำหนดอัตราส่วนผสม 5 ค่าได้แก่ 0 0.25 0.50 0.75 และ 1.00% พบว่าในการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวดินมีการพัฒนากำลังเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราส่วนการผสมที่เพิ่มมากขึ้นพบว่าสามารถ พัฒนากำลังรับแรงของดินที่เสริมแรงได้เป็นอย่างดี [7] ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการนำเส้นใยที่มาจากเปลือกข้าวโพดมาปรับปรุงคุณภาพทางด้านวิศวกรรมยังมีอย่างจำกัด ดังนั้นใน

งานวิจัยนี้จึงใช้เป็นวัสดุในการเสริมแรง การออกแบบส่วนผสมอ้างอิงจากงานวิจัยของ ธัชชัย (2560) เนื่องจากดินตะกอนกว๊านนำมาจากแหล่งเดียวกัน

ด้วยเหตุผลดังกล่าวมาแล้วนั้น จึงเป็นปัญหาตั้งต้นของงานวิจัยนี้ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้ดินตะกอนที่ได้จากการขุดลอกจากกว๊านพะเยาในการนำมาปรับปรุงคุณภาพ โดยใช้วิธีการปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แลนด์ไฮดรอลิค ประเภท 1 ปริมาณ 7% และใช้เส้นใยธรรมชาติที่ได้มาจากใบข้าวโพดเป็นวัสดุเสริมแรง โดยจะทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการนำเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดมาใช้ในการเป็นวัสดุเสริมแรงในงานวิศวกรรมปรับปรุงดิน โดยจะปรับปรุงพัฒนาประสิทธิภาพของดินตะกอนด้วยการผสมเส้นใยข้าวโพดขนาด 1 2 และ 4 เซนติเมตร ซึ่งแต่ละขนาดจะผสมในอัตราส่วนที่ 0.5 1.0 และ 2.0% ของน้ำหนักดินแห้ง โดยรายละเอียดการออกแบบส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 3 และใช้ระยะเวลาในการบ่ม 7 และ 28 วัน จากนั้นจะทำการทดสอบด้วยการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว(Unconfined Compression Test, UC) และการทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อม(Indirect Tensile Strength, IT)

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาประสิทธิภาพเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดเพื่อใช้ในวิศวกรรมการทาง
2. ศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังของการปรับปรุงดินตะกอนโดยนำเส้นใยเปลือกข้าวโพดมาเพิ่มประโยชน์ในด้านวิศวกรรมการทาง
3. เพื่อสนับสนุนการนำวัสดุเหลือใช้มาก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และลดปัญหามลภาวะทางอากาศ

1.3 ขอบเขต

1. ศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังของการเสริมแรงดึงดินตะกอนด้วยเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่ความยาว 1 2 และ 4 เซนติเมตร และปริมาณส่วนผสม 0.5 1.0 และ 2.0%
2. ดินที่ใช้เป็นตะกอนบริเวณกว๊านพะเยา ในอำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ที่ใช้โดยร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 4
3. เปลือกใบข้าวโพดได้จากโรงงานผลิตอาหารสัตว์ในพื้นที่จังหวัดพะเยา
4. ปูนซีเมนต์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แลนด์ไฮดรอลิค ประเภท 1
5. ศึกษาทางด้านคุณสมบัติด้านวิศวกรรม โดยการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบแกนเดี่ยว (Unconfined Compression Test, UC) และการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนทางอ้อม (Indirect tensile Test , IT) อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน

1.4 ประโยชน์

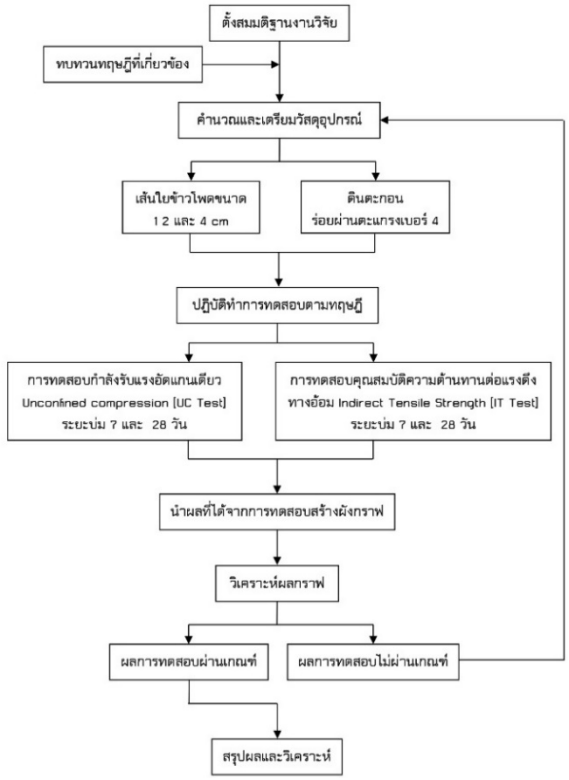
1. ทราบถึงประสิทธิภาพของเส้นใยข้าวโพดในการนำมาใช้ด้านวิศวกรรมการทาง
2. ทราบถึงคุณสมบัติด้านกำลังของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ผสมปูนซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพด
3. สามารถลดปริมาณเปลือกข้าวโพดซึ่งเป็นขยะจำนวนมากจากการทำเกษตรกรรม และนำมาปรับปรุงเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมพื้นทางได้
4. สามารถลดปัญหามลภาวะทางอากาศจากการกำจัดเปลือกข้าวโพดโดยเกิดจากการเผาไหม้ได้

1.5 แผนการทำงาน

1. ศึกษาโครงการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. วางแผนการเตรียมวัสดุอุปกรณ์ตามที่คำนวณเพื่อใช้ในการทำการทดสอบ
3. เตรียมเส้นใยเปลือกข้าวโพดขนาด 1 2 และ 4 เซนติเมตร และดินตะกอนจากกว๊านพะเยา ที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4
4. ผสมและขึ้นรูปในโมล ระยะบ่มเป็นเวลา 7 วัน และ 28 วัน
5. ทดสอบจากการทดลองคุณสมบัติกำลังรับแรงอัดแกนเดียวและคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงดึงทางอ้อม เพื่อนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (Stress - Strain Curve) ในการวิเคราะห์ผล
6. จัดทำรูปเล่มรายงาน

ตารางที่ 1 ตารางปฏิบัติแผนการทำงาน

ที่	ขั้นตอนปฏิบัติงาน	ระยะเวลา (เดือน)									
		ปี 2566							ปี 2567		
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
1	ศึกษาโครงการ										
2	วางแผนเตรียมวัสดุ										
3	เตรียมวัสดุ										
4	ทำการทดสอบ										
5	สรุปผลการทดสอบ										
6	เขียนรูปเล่มโปรเจค										



รูปที่ 1 แผนแนวทางการดำเนินงานวิจัย

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 *ดินตะกอนกว๊านพะเยา*

กว๊านพะเยาซึ่งเป็นแหล่งน้ำจืดขนาดใหญ่ตั้งอยู่ในพื้นที่จังหวัดพะเยาทางภาคเหนือของประเทศไทย มีเนื้อที่ประมาณ 12,831 ไร่ หรือประมาณ 20.53 ตร.กม. ปัจจุบันสามารถเก็บกักน้ำได้ 33.84 ล้านลบ.ม. ซึ่งสามารถช่วยเหลือพื้นที่การเกษตรท้ายกว๊านพะเยาใน ฤดูฝนได้ประมาณ 300,000 ไร่ และในฤดูแล้งได้ 13,000 ไร่ ในช่วงฤดูฝนน้ำฝนได้ทำการชะล้างหน้าดิน และพัดไหลตามแม่น้ำ ทำให้กว๊านพะเยาตื้นเขินลงในทุกๆปี ทางจังหวัดพะเยาจึงได้ทำการขุดลอกกว๊านพะเยา ทำให้มีดินตะกอนกองอยู่รอบๆกว๊านพะเยาจำนวนมาก


(ก) (ข)
รูปที่ 2 (ก) จุดที่ทำการจุดลอกดินตะกอน [11] (ข) ดินตะกอนหลังจากร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4

2.2 *ข้าวโพด*

ข้าวโพดหรือชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ Zea mays L เป็นพืชวงศ์ Gramineae ที่ถูกใช้เป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์มา แต่เดิมเป็นพืชพื้นเมืองที่พบมากในทวีปอเมริกา โดยเฉพาะประเทศเม็กซิโกและประเทศสหรัฐอเมริกา ในราวศตวรรษที่ 16 การเริ่มเข้าสู่ประเทศไทยของข้าวโพดได้มีบันทึกไว้ในหนังสือพันธุ์ไม้ต่างประเทศของพระยาวินิจวนันดร ในปี พ.ศ. 2223 จากบันทึกพบว่าเริ่มในปี พ.ศ. 2463 ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดสงครามโลกครั้งที่ 1 แต่ก็ยังไม่เป็นที่นิยมมากนั้น การเพาะปลูกข้าวโพดเริ่มแพร่หลายมากขึ้นในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยหลวงสุวรรณวาจกกสิกิจได้เป็นผู้แนะนำการปลูกข้าวโพดเพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับไก่ให้แก่ประชาชนทั่วไป จากนั้นการเพาะปลูกข้าวโพดเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ปัจจุบันนี้การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ในส่วนของพื้นที่บริเวณจังหวัดพะเยา อุตสาหกรรมการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีขนาดใหญ่เป็นอันดับ 2 รองจากข้าว โดยมีปริมาณพื้นที่ปลูกมากถึง 150,262.56 ไร่ หลังช่วงฤดูเก็บเกี่ยวได้มีวัสดุเหลือทิ้งทางด้านการเกษตรในปริมาณที่มาก จึงทำการเผาเปลี่ยนจำกัดทิ้งเพื่อรอในการเพาะปลูกในครั้ง การเผาพืชไร่ทางเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรคือสาเหตุหนึ่งของการเกิดมลภาวะทางอากาศ



(ก) (ข)

รูปที่ 3 (ก) กระบวนการเก็บเกี่ยวข้าวโพด [16] (ข) ใบข้าวโพด

2.3 *เส้นใย*

เส้นใยธรรมชาติ เป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่นำมาใช้ประโยชน์มาเป็นเวลานาน ได้มาจาก พืช สัตว์ และสินแร่ทั่วไป มีความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือมากกว่า 100 เท่าเส้นใยมีหลายประเภท โดยในงานวิจัยในเรื่องนี้เป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากพืช เนื่องจากเส้นใยจากธรรมชาติยังมีคุณสมบัติความเป็นผลึกและดีกรีการพอลิเมอร์ไรเซชั่นของเซลลูโลสที่สูงและมีความขรุขระบริเวณผิวส่งผลให้เพิ่มการยึดเกาะผิวหน้าระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับเมตริกซ์

เส้นใยธรรมชาติที่ได้รับการสนใจและมีมากในพื้นที่จังหวัดพะเยา เป็นเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดโครงสร้างของเส้นใยเปลือกข้าวโพด ชั้นนอกมีลักษณะเป็นเส้นยาวขึ้นสันนูนเห็นได้ชัด มีความเหนียวและเปลือกชั้นในมีลวดลายที่ละเอียดมากไม่นูนชัดเหมือนเปลือกชั้นนอก เส้นใยเหล่านี้ได้จากกระบวนการแยกเส้นใยด้วย

2.4 *การปรับปรุงคุณภาพของดินตะกอนซีเมนต์*

การปรับปรุงดินมีหลายวิธี ในดินชนิดเดียวกันอาจมีการปรับปรุงที่เหมือนกันหรือต่างกันก็ได้ทั้งนี้ในการสร้างถนนโดยทั่วไป ดินที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ต่ำจะเป็นปัญหาต่อการก่อสร้าง ซึ่งเกิดจากธรรมชาติของดินแต่ละที่อาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลง เกิดได้ทั้งจากตามธรรมชาติหรือเปลี่ยนแปลงเพราะเกิดการกระทำของมนุษย์ ทำให้กำลัง หรือ คุณภาพของดินลดลง

การปรับปรุงดินด้วยปูนซีเมนต์ หรือที่เรียกว่าดินซีเมนต์นั้นส่วนใหญ่มักนำมาเป็นวัสดุก่อสร้างสำหรับงานฐานรองท่อ พื้นที่ลาดชัน และการก่อสร้างถนน โดยปกติดินซีเมนต์มีกำลังแรงอัดแรงเฉือนที่ดี แต่จะมีความเปราะและมีความต้านทานแรงดึงที่ต่ำ จึงทำให้มีแนวโน้มที่จะเกิดรอยร้าวได้ง่ายขึ้น ส่วนผสมของดินซีเมนต์จะมีความแตกต่างจากคอนกรีตซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในเรื่องของปริมาณซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตซีเมนต์เพสต์จะเคลือบอนุภาคมวลรวมไว้ทั้งหมดและยึดเกาะเข้าด้วยกัน แต่ในดินซีเมนต์จะมีปริมาณซีเมนต์ที่น้อยกว่า ทำให้มีช่องว่างเหลืออยู่ จึงทำให้เนื้อประสานจากซีเมนต์ยังคงเป็นก้อน วัสดุไม่ประสานกัน

ดินซีเมนต์ชนิด Cement-modified soils (CMS) ถูกคิดค้นโดย เบนจามิน แฮร์ริสัน ฟลินน์ เพื่อปูถนนในรัฐลุยเซียนาในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 1 มี 5 ประเภท ดังนี้ Cement-Modified soils (CMS), Soil-Cement base (SCB), Cement-treated base (CTB), อะคริลิกโคพอลิเมอร์, ดินซีเมนต์ผสมยางพารา

จากงานวิจัยหนึ่งมีการนำยางพารามาปรับปรุงคุณภาพของดินตะกอนซีเมนต์พบว่า การรับกำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ที่ผสมยางพารานั้นสูงกว่าการปรับปรุงดินด้วยซีเมนต์อย่างเดียว ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ไม่ควรมากเกินไปจะทำให้ฟิล์มของยางพาราไปชะลอปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์จะส่งผลให้การรับกำลังแรงอัดลดลงได้

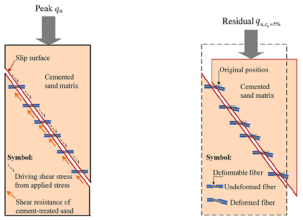
ตารางที่ 2 เกณฑ์การออกแบบดินซีเมนต์

สถาบัน	เกณฑ์การออกแบบ
กรมทางหลวง	UCS ที่อายุการบ่ม 7 วัน 1 มีค่าไม่น้อยกว่า 2413 Kpa สำหรับก่อสร้างชั้นพื้นทางหินคลุก 2) มีค่าไม่น้อยกว่า 1723 Kpa สำหรับก่อสร้างชั้นพื้นทาง 3) มีค่าไม่น้อยกว่า 689 Kpa สำหรับก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง
British Road Research Laboratory, UK	USC ที่อายุการบ่ม 7 วัน ไม่น้อยกว่า 250 psi
National Association of Australian State Road Authority (NAASRA),Australia	USC ที่อายุการบ่ม 7 วัน อยู่ในช่วง 150 ถึง 250 psi

2.5 *การปรับปรุงดินโดยใช้วัสดุเสริมแรงจำพวกเส้นใย*

กระบวนการปรับปรุงดินมีด้วยกันหลากหลายวิธีดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้าแต่อย่างไรก็ดี การปรับปรุงดินโดยการใช้วัสดุเสริมแรงที่มีกำลังรับแรงดึงที่สูงดังเช่นเส้นใย ก็ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในปัจจุบันเนื่องจากมีต้นทุนที่ต่ำเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพในการปรับปรุงดิน โดยลักษณะทั่วไปของการเสริมแรงด้วยเส้นใยเป็นการปรับปรุงในคุณสมบัติเชิงกลของดิน (Mechanical stabilization) สามารถจำแนกตามรูปแบบการใช้งานได้ออกเป็น 2 กลุ่มหลักๆ ด้วยกันดังนี้ การใช้ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเส้นใยสังเคราะห์ และเส้นใยธรรมชาติ

จากงานวิจัยหนึ่งที่ทำการทดสอบโดยการนำเส้นใยจากธรรมชาติมาปรับปรุงดินตะกอน เส้นใยที่ทางผู้วิจัยได้นำมาทำการทดสอบ คือ เส้นใยปาล์ม พบว่า การเสริมเส้นใยปาล์มในดินตะกอนซีเมนต์ทำให้เกิดการเปลี่ยนพฤติกรรมความเค้นและความเครียดที่คล้ายกับวัสดุเปราะ เป็นวัสดุที่มีความเหนียวโดยที่ความเค้นแต่ละตัวอย่างที่ปริมาณอัตราส่วนการผสมที่ต่างกันจะค่อยๆลดลง ไม่ได้ลดลงทันทีหรือทีเดียวเมื่อถึงจุดสูงสุด



รูปที่ 4 ลักษณะการยึดเกาะของเส้นใย {17}

2.6 *วิจัยที่เกี่ยวข้อง*

งานวิจัยการศึกษาคุณลักษณะของเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากการย่อยจากก้านข้าวโพด (Zea mays L.) [15] โดยผู้วิจัยได้กล่าวถึงวิธีการนำก้านข้าวโพดมาแปลงเปลี่ยนเป็นเป็นเส้นใย เริ่มจากเตรียมก้านข้าวโพดให้แห้งด้วยการตากแดดในที่โล่งใช้การตากแดดก้านข้าวโพดจนความชื้นลดลงเหลือประมาณ 15% เพื่อให้เส้นใยนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากที่ตากแดดแล้วให้นำมาทำความสะอาดโดยการล้าง แล้วใช้สารกลุ่มอัลคาไลในกระบวนการแยกให้เป็นเส้นใย ในงานวิจัยนี้จึงใช้กระบวนการในงานวิจัยดังกล่าวมาอ้างอิงในการย่อยใบเปลือกข้าวโพดเป็นเส้นใย โดยใช้สาร NaOH ในการย่อยเปลือกข้าวโพดเป็นเส้นใย เนื่องจากสามารถหาได้ทั่วไป พบว่าความเหมาะสมโดยสารละลาย NaOH 5g/L ใน 1:50 MLR ที่ 100 °C เป็นเวลา 60 นาที โดยรวมมีคุณสมบัติของก้านข้าวโพดที่ดีที่สุด

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1. เปลือกข้าวโพด
2. ดินตะกอนกว๊านพะเยา มีคุณสมบัติดังตารางที่ 4
3. โซดาไฟ หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
4. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แลนด์ไฮดรอลิค ประเภท 1

อัตราส่วนผสมที่ใช้ในวิจัยนี้จะอ้างอิงจากงานวิจัยของ ธัชชัย ใหม่ขันท์ (2560) เนื่องด้วยส่วนประกอบหลักดินตะกอนกว๊านพะเยานำมาจากแหล่งเดียวกัน ดังนั้นจึงใช้ปริมาณส่วนผสมของปูนซีเมนต์ 7% เนื่องจากเป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในงานวิจัยดังกล่าว โดยรายละเอียดอัตราส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 3 และคุณสมบัติพื้นฐานของดินตะกอนดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 รายละเอียดอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบ

สัญลักษณ์	อัตราส่วนปูนซีเมนต์ (%)	อัตราส่วนเส้นใย (%)	ความยาวเส้นใย (cm)
C7CF0	7	0	0
C7CF0.5L1		0.5	1
C7CF0.5L2			2
C7CF0.5L4			4
C7CF1L1		1	1
C7CF1L2			2
C7CF1L4			4
C7CF2L1		2	1
C7CF2L2			2
C7CF2L4			4

หมายเหตุ : 1. C คือ สัญลักษณ์ปริมาณปูนซีเมนต์
2. CF คือ สัญลักษณ์ปริมาณเส้นใยต่อปริมาณดิน
3. L คือ ความยาวของเส้นใยในหน่วย เซนติเมตร(cm)

ตารางที่ 4 คุณสมบัติพื้นฐานของดินตะกอนและส่วนผสมดินตะกอน-ซีเมนต์

คุณสมบัติ	ค่า	หน่วย
ความถ่วงจำเพาะ, SG	2.71	-
ขีดจำกัดเหลว, LL	42.6	%
ขีดจำกัดพลาสติก, PL	23.5	%
ขีดจำกัดการหดตัว, SL	19.5	%
ค่าดัชนีพลาสติก, PI	19.1	%
ปริมาณดินเม็ดละเอียด, %f	91.8	%
การจำแนกดิน (USCS)	CL	-
หน่วยน้ำหนักแห้งของดินตะกอนผสมปูนซีเมนต์ที่ 7 % , γ_d	16.2	kN/m^3
ความชื้นที่เหมาะสมของดินตะกอนผสมปูนซีเมนต์ที่ 7% , w	23.4	%

3.2 *อุปกรณ์ที่ใช้การทดสอบ*

1. แบบโมลจากท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2” และสูง 4”
2. ค้อนบดอัดดินประดิษฐ์
3. เครื่องปั่นหรือผสมวัสดุ
4. เครื่องกด Unconfined Compression Test

3.3 การคำนวณออกแบบพลังงานการบดอัด

การทดสอบบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน (Modified compaction test) ของการผสมระหว่างดินตะกอนกว๊านพะเยากับปูซีเมนต์ในครั้งนี้ได้เอาค่าอ้างอิงจากงานวิจัยก่อนหน้า ธัชชัย ใหม่ขันท์ (2560) เป็นค่าอ้างอิงอย่างไรก็ดีการขึ้นตัวอย่างทดสอบมีการใช้แบบโมลที่แตกต่างกันในงานวิจัย จึงจำเป็นต้องคำนวณหาค่าให้สอดคล้องกับแบบโมล สามารถคำนวณเทียบพลังงานการบดอัดจากสมการที่ 3.1

$$E = \frac{B \times L \times W \times H}{V} \quad (3.1)$$

เมื่อ E คือ พลังงานการบดอัดที่เกิดขึ้น (cm-kg/cm^3)
B คือ จำนวนในการบดอัดของแต่ละชั้น (ครั้ง)
L คือ จำนวนชั้นในการบดอัด
W คือ น้ำหนักทั้งหมดของตุ้มหรือค้อน
H คือ ระยะยกของค้อนบดอัด (cm)
V คือ ปริมาตรของแบบโมล (cm^3)

งานวิจัยนี้ได้คำนวณพลังงานเกิดขึ้นในการบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน ซึ่งการทดสอบดังกล่าวใช้ค่าดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การออกแบบการบดอัด

รายการ	แบบโมล
ความกว้าง/เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm.)	5.21
ความลึก (cm.)	-
ความยาว/ความสูง (cm.)	10.42
ปริมาตร (cm^3.)	222.1432
น้ำหนักค้อน (kg.)	1.619
ระยะยกค้อน (cm.)	35.5
จำนวนชั้น	3
จำนวนครั้งในการกี่บดอัดแต่ละชั้น	22
พลังงานการบดอัดที่เกิดขึ้น (cm.-kg./cm.^{3})	17.07

3.4 วิธีการทดสอบ

3.4.1 การเตรียมเส้นใย

1. ตัดใบข้าวโพดดังรูปที่ 5(ก) ขนาดความยาว 1 2 และ 4 เซนติเมตร แล้วนำไปล้างด้วยน้ำสะอาด
2. ชั่งสารละลาย NaOH อัตราส่วน 7% ต่อน้ำหนักของน้ำจากนั้นผสมกับน้ำต้มที่มีอุณหภูมิ 100 °C และนำใบข้าวโพดที่ตัดลงไปแช่ แล้วเอาไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อการทำปฏิกิริยาระหว่าง NaOH กับใบข้าวโพด
3. นำเปลือกข้าวโพดที่ผ่านการอบแล้วมาล้างประมาณ 7-8 รอบ ให้เหลือเฉพาะส่วนของเส้นใยดังรูปที่ 5(ข)
4. ใช้เครื่องเป่าลมร้อนและนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นส่วนเกินในตัวของเส้นใยออกที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บถุงพลาสติกรอการผสม


(ก)


(ข)

รูปที่ 5 (ก) ก่อนแยกเส้นใย (ข) หลังทำการแยกเส้นใย

3.4.2 การเตรียมดิน

1. นำดินตะกอนมาทุบให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 4
2. อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิมากกว่า 100°C เพื่อไล่ความชื้น

3.4.3 การผสมตัวอย่าง

1. ประกอบโมลโดยใช้ท่อ PVC รูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2” สูง 4” และทาจารบีบางๆภายในแบบโมล ดังรูปที่ 6(ก)
2. จากนั้นนำไปชั่งตวงน้ำหนักส่วนผสม ดินตะกอน เส้นใย ปูนซีเมนต์และน้ำสะอาดตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3
3. ดำเนินการผสมส่วนประกอบให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม โดยเริ่มจากการผสมปูนซีเมนต์และดินตะกอนให้เข้ากันจากนั้นผสมน้ำเข้าไป ใช้เวลาแต่ละ

ขั้นตอนผสม 2 นาที ตามด้วยค่อยๆทยอยเติมเส้นใยผสมในเวลาประมาณ 1 นาที เพื่อป้องกันการจับตัวกันของเส้นใยทำให้เครื่อเกิดการติดขัดและให้เส้นใยกระจายตัวทั่วถึง

4. หลังจากทำการผสมควรขึ้นรูปในโมลทันทีให้แล้วเสร็จภายในระยะเวลาไม่เกิน 15 นาที เนื่องด้วยเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการผสม 6 ตัวอย่างต่อ 1 ครั้ง โดยการขึ้นรูปจะใช้วิธีการบดอัดตามแบบสูงกว่ามาตรฐาน ด้วยค้อนบดอัด โดยจะแบ่งการผสมเป็น 3 ชั้น และบดอัดชั้นละ 22 ครั้ง ดังรูปที่ 6(จ)
5. จากนั้นตัดแต่งก้อนตัวอย่างให้เรียบและสม่ำเสมอกันกับขอบของแบบโมล PVC หลังทำการบดอัดแล้วเสร็จ
6. หลังดำเนินขั้นตอนต่างๆเสร็จทิ้งตัวอย่างไว้ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำตัวอย่างพันด้วยแรปไว้เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น และบ่มตัวอย่างในกล่องโฟมปิดสนิทเป็นเวลา 7 และ 28 วัน ดังรูปที่ 6(ฉ)



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ) (ฉ)

รูปที่ 6 (ก) แบบหล่อ PVC ขนาด 2”x4” (ข) แบบหล่อเพื่อในการบดอัด (ค) เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดที่ผ่านการแยกแล้ว (ง) ค้อนบดอัด (จ) กระบวนการขณะบดอัดดิน (ฉ) ก้อนตัวอย่างเมื่อขึ้นรูปแล้วเสร็จ

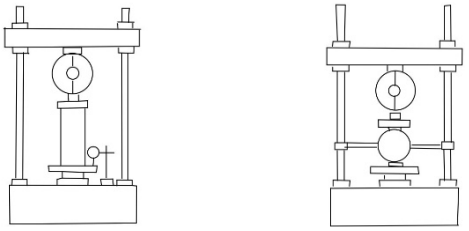
3.4.4 ทำการทดสอบ

3.4.4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว Unconfined compression [UC Test (ASTM D5102)]

1. เริ่มต้นด้วยการแกะแรปที่พันรอบออกและวัดขนาด ความกว้างและความสูงวัดบริเวณ หัว กลาง ท้ายและนำค่ามาเฉลี่ยกัน เพื่อใช้ในการคำนวณและชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบก่อนทำการทดสอบ
2. จากนั้นนำตัวอย่างไปติดตั้งในเครื่องทดสอบแรงกดให้เรียบร้อย และโดยใช้วงแหวนวัดแรง (Proving Ring) ขนาด 5 kN รวมถึงติดตั้งอุปกรณ์วัดการทรุดตัวในแนวดิ่ง (Dial Gauge) ให้ตรงก่อนเริ่มการทดสอบ ดังรูปที่ 7(ก)
3. เริ่มทำการทดสอบโดยอาศัยการควบคุมการทรุดตัว (Strain Control) และวัดผลของแรงที่เกิดขึ้นใน Proving Ring โดยกำหนดความเร็วในการกดอยู่ที่ 1 มิลิเมตรต่อนาที และจะดำเนินการทดสอบไปจนกว่าการทรุดตัวมีค่ามากกว่าเท่ากับ 6% ถึงจะดำเนินการหยุดการทดสอบ
4. หลังดำเนินการขั้นตอนต่างๆเสร็จ บันทึกค่าการทรุดตัวและกำลังรับแรงที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงเก็บตัวอย่างชิ้นส่วนเพื่อไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

3.4.4.2 การทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม Indirect Tensile Strength [IT Test (ASTM C496)]

1. เริ่มต้นด้วยการแกะแรปที่พันรอบออกและวัดขนาด ความกว้างและความสูงวัดบริเวณ หัว กลาง ท้ายและนำค่ามาเฉลี่ยกัน เพื่อใช้ในการคำนวณและชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบก่อนทำการทดสอบ
2. จากนั้นนำตัวอย่างไปติดตั้งในเครื่องทดสอบแรงกด โดยวางในลักษณะแนวนอนรองด้วยวัสดุที่มีขนาดความหนา 3.2 มิลลิเมตร และความกว้าง 25 มิลลิเมตร วางตรงส่วนข้างบนและล่างของตัวอย่างเพื่อช่วยในการกระจายแรงกดให้ทั่วถึงตลอดความยาวของตัวอย่างทดสอบ
3. ติดตั้งวงแหวนวัดแรง (Proving Ring) ขนาด 5 kN และอุปกรณ์วัดการทรุดตัวโดยติดตั้งในแนวนอนดังแสดงในรูปที่ 7(ข)
4. เริ่มทำการทดสอบการควบคุมการทรุดตัวในแนวดิ่ง ด้วยอัตราการทรุดตัวเท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อนาทีและวัดการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้างจากการติดตั้งอุปกรณ์ตามรูปที่ 7(ข) จนกระทั่งตัวอย่างพังทลายหรือ การเคลื่อนตัวแนวรัศมีของตัวอย่างมีค่า 5%
5. หลังดำเนินการขั้นตอนต่างๆเสร็จ บันทึกค่าการทรุดตัวและกำลังรับแรงที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงเก็บตัวอย่างชิ้นส่วนเพื่อไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น



(ก) (ข)

รูปที่ 7 การติดตั้งตัวอย่างในการทดสอบ (ก) UC Test (ข) IT Test



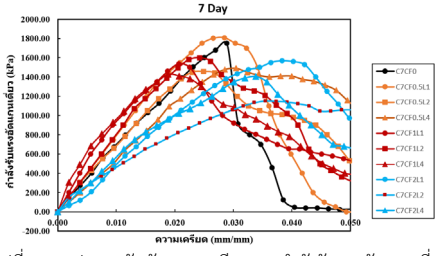
(ก) (ข)

รูปที่ 8 ตัวอย่างในการทดสอบ (ก) UC Test (ข) IT Test

4. ผลการทดสอบและอภิปลายผลการทดสอบ

4.1 *การทดสอบ (Unconfined Compression Test, UC)*

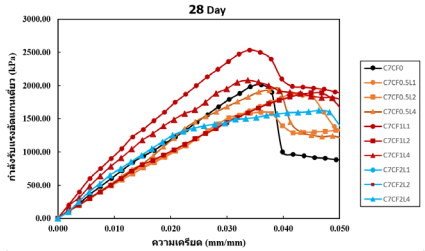
4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น ความเครียด (Stress-Strain Curve)



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันความเครียดและกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว ระยะการบ่ม 7 วัน

ในรูปที่ 9 คือการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะการบ่ม 7 วัน ใช้เส้นใยเปลือกข้าวโพดขนาดความยาว 1 2 และ 4 เซนติเมตร โดยมีอัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 0.5 1.0 และ 2.0% ตามลำดับ พบว่าลักษณะกราฟช่วงแรกกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงจนกระทั่งใกล้ถึงจุดวิบัติกราฟมีการเปลี่ยนเป็น

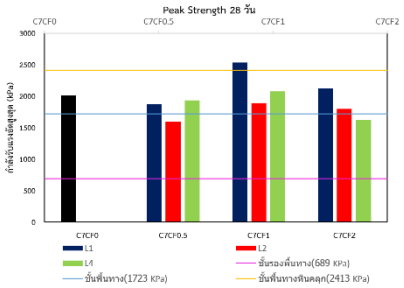
ลักษณะเส้นโค้ง หลังจากจุดวิบัติกำลังรับแรงอัดจะค่อยๆลดลง จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพด (C7CF0) พบว่าตัวอย่างการทดสอบที่มีค่ามากกว่าตัวอย่าง C7CF0 และมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุดคือตัวอย่าง C7CF0.5L1



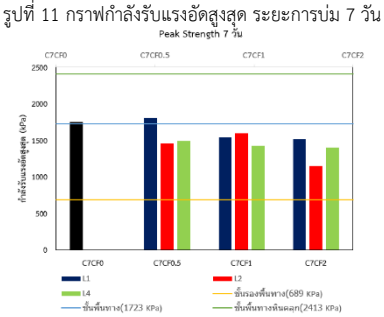
รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ความเครียดและกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว ระยะการบ่ม 28 วัน

ในรูปที่ 10 คือการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะการบ่ม 28 วัน ใช้เส้นใยเปลือกข้าวโพดขนาดความยาว 1 2 และ 4 เซนติเมตร โดยมีอัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 0.5 1.0 และ 2.0% ตามลำดับ พบว่าลักษณะกราฟเหมือนกับระยะบ่มตัว 7 วัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพด (C7CF0) พบว่าตัวอย่างการทดสอบมากกว่าตัวอย่าง C7CF0 และมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุดคือตัวอย่าง C7CF1L1

4.1.2 กำลังรับแรงอัดสูงสุด (Peak Strength)



รูปที่ 11 กราฟกำลังรับแรงอัดสูงสุด ระยะการบ่ม 7 วัน



รูปที่ 12 กราฟกำลังรับแรงอัดสูงสุด ระยะการบ่ม 28 วัน

ในรูปที่ 11 คือการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะการบ่ม 7 วัน เส้นใยเปลือกข้าวโพดขนาดความยาว 1 เซนติเมตร ในตัวอย่าง C7CF0.5L1 มีกำลังรับแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 1809 kPa เมื่อเพิ่มอัตราปริมาณเส้นใยจาก 1.0% เป็น 2.0% พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดลดลง ส่วนเส้นใยเปลือกข้าวโพดขนาดความยาว 2 เซนติเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณจาก 0.5% เป็น 1.0% พบว่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพดจาก 1.0% เป็น 2.0% พบว่ากำลังรับแรงอัดลดลง และเส้นใยเปลือกข้าวโพดขนาดความยาว 4 เซนติเมตร มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดเมื่อเพิ่มอัตราปริมาณเส้นใย 0.5% แต่เมื่อเพิ่มอัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพดเป็น 1.0% กำลังรับแรงอัดลดลงตามลำดับ

ในรูปที่ 12 คือการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะการบ่ม 28 วัน เส้นใยเปลือกข้าวโพดขนาดความยาว 1 เซนติเมตร ในตัวอย่าง C7CF1L1 มีกำลังรับแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 2535 kPa เมื่อเพิ่มอัตราปริมาณเส้นใยที่ 2% พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดลดลง แต่เมื่อเพิ่มเส้นใยเปลือกข้าวโพดขนาดความยาว 2 และ 4 เซนติเมตร เมื่อเพิ่มเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่เพิ่มปริมาณจาก 0.5% เป็น 1.0% พบว่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น ส่วนเพิ่มปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพดจาก 1.0% เป็น 2.0% พบว่ากำลังรับแรงอัดลดลง

การเปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดกับเกณฑ์การออกแบบดินซีเมนต์ของกรมทางหลวงดังตารางที่ 2 พบว่าตัวอย่างที่ระยะการบ่ม 7 และ 28 วัน ในทุกตัวอย่างผ่านเกณฑ์ชั้นรองพื้นทางของดินซีเมนต์มาตรฐานที่ ทล.-ม. 204/2564 ชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Subbase) ทั้งหมด แต่ตัวอย่างระยะบ่ม 7 วันที่ผ่านเกณฑ์ชั้นพื้นทางจากผลการเปรียบเทียบใช้มาตรฐานที่ ทล.-ม. 204/2564 พื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base) มีเพียงส่วนผสมเดียว คือ C7CF0.5L1 ดังตารางที่ 7 ส่วนตัวอย่างระยะการบ่ม 28 วัน พบว่า ผ่านเกณฑ์ทุกส่วนผสมยกเว้นตัวอย่าง C7CF0.5L2 และ C7CF2L4 ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 7 เกณฑ์การออกแบบดินซีเมนต์กรมทางหลวง ระยะตัวอย่างการบ่ม 7 วัน

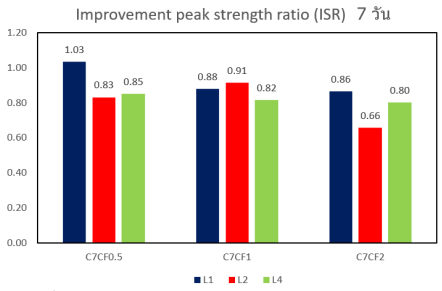
Mix (7 Days)	เกณฑ์การออกแบบดินซีเมนต์กรมทางหลวง		
	ชั้นรองพื้นทาง (689 kPa)	ชั้นพื้นทาง (1723 kPa)	ชั้นพื้นทางหินคลุก (2413 kPa)
C7CF0.5L1	✓	✓	✗
C7CF0.5L2	✓	✗	✗
C7CF0.5L4	✓	✗	✗
C7CF1L1	✓	✗	✗
C7CF1L2	✓	✗	✗
C7CF1L4	✓	✗	✗
C7CF2L1	✓	✗	✗
C7CF2L2	✓	✗	✗
C7CF2L4	✓	✗	✗

ตารางที่ 8 เกณฑ์การออกแบบดินซีเมนต์กรมทางหลวง ระยะตัวอย่างการบ่ม 28 วัน

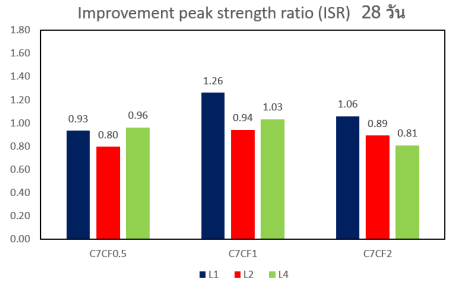
Mix (28 Days)	เกณฑ์การออกแบบดินซีเมนต์กรมทางหลวง		
	ชั้นรองพื้นทาง (689 kPa)	ชั้นพื้นทาง (1723 kPa)	ชั้นพื้นทางหินคลุก (2413 kPa)
C7CF0.5L1	✓	✓	✗
C7CF0.5L2	✓	✗	✗
C7CF0.5L4	✓	✓	✗
C7CF1L1	✓	✓	✗
C7CF1L2	✓	✓	✗
C7CF1L4	✓	✓	✗
C7CF2L1	✓	✓	✗
C7CF2L2	✓	✓	✗
C7CF2L4	✓	✗	✗

หมายเหตุ : ✓ คือ ผ่านเกณฑ์
✗ คือ ไม่ผ่านเกณฑ์

4.1.3 การพัฒนากำลังรับแรงสูงสุด (Improvement Peak Strength Ratio , ISR)



รูปที่ 13 การพัฒนากำลังรับแรงสูงสุด ระยะการบ่ม 7 วัน



รูปที่ 14 การพัฒนากำลังรับแรงสูงสุด ระยะการบ่ม 28 วัน

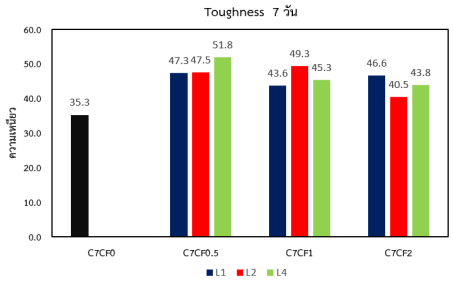
การพัฒนากำลังรับแรงอัดสูงสุด (ISR) หาได้จากการนำค่า Peak Strength ของอัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 0.5 1.0 และ 2.0% หารด้วย ค่า Peak Strength ของตัวอย่างดินตะกอนที่ไม่ได้เสริมแรงด้วยเส้นใยเปลือกข้าวโพด ถ้าผลลัพธ์ที่ได้มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าตัวอย่างดินตะกอนที่ไม่ได้เสริมแรงด้วยเส้นใยเปลือกข้าวโพด และมีแนวโน้มที่กำลังรับแรงอัดจะพัฒนาเพิ่มขึ้น แต่ถ้าผลลัพธ์มีค่าน้อยกว่า 1 กำลังรับแรงอัดจะต่ำกว่าตัวอย่างดินตะกอนที่ไม่ได้เสริมแรงด้วยเส้นใยเปลือกข้าวโพด

ในรูปที่ 13 คือการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะการบ่ม 7 วัน ปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 0.5% มีกำลังรับแรงอัดที่มากที่สุดอยู่ในช่วง 0.83-1.03 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 อยู่ 0.3 คือส่วนผสม C7CF0.5L1 รองลงมาคือปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 1.0% อยู่ในช่วง 0.82-0.91 และปริมาณเส้นใย 2.0% มีกำลังรับแรงอัดที่ต่ำที่สุดในช่วง 0.66-0.86

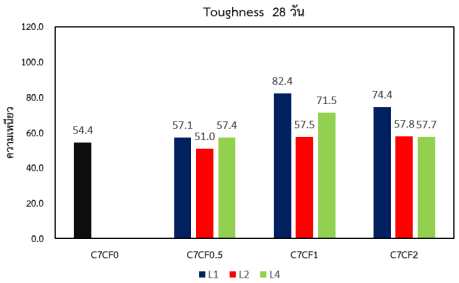
ในรูปที่ 14 คือการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะการบ่ม 28 วัน ปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 1.0% มีกำลังรับแรงอัดที่มากที่สุดอยู่ในช่วง 0.94-1.26 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 อยู่ 0.26 คือส่วนผสม C7CF1L1 รองลงมาคืออัตราปริมาณเส้นใย 2.0% อยู่ในช่วง 0.81-1.06 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 อยู่ 0.6 คือส่วนผสม C7CF2L1 และอัตราปริมาณเส้นใย 0.5% มีกำลังรับแรงอัดที่ต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 0.80-0.96

จากการวิเคราะห์ช่วงค่ากำลังรับแรงอัด พบว่าช่วงระยะการบ่ม 7 วัน ยิ่งมีปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพดเพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มของค่ากำลังรับแรงอัดลดลง แต่ในระยะการบ่มที่ 28 วัน มีแนวโน้มไม่เหมือนระยะการบ่ม 7 วัน มีความไม่แน่นอนของค่าแนวโน้มด้านการพัฒนากำลังรับแรงสูงสุด

4.1.4 ความเหนียว (Toughness)



รูปที่ 15 กราฟความเหนียว ระยะการบ่ม 7 วัน

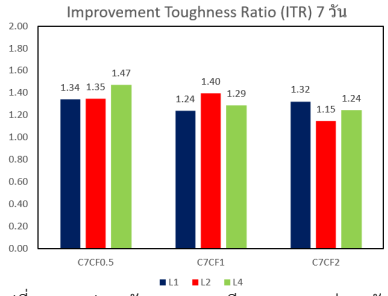


รูปที่ 16 กราฟความเหนียว ระยะการบ่ม 28 วัน

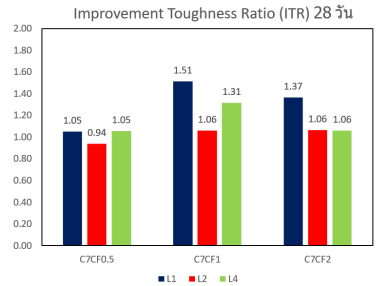
ในรูปที่ 15 คือการทดสอบกำลังรับแรงอัดการทดสอบที่ระยะการบ่ม 7 วัน ปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 0.5% มีค่าความเหนียวที่มากที่สุดอยู่ในช่วง 47.3-51.8 รองลงมาคืออัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 1.0% อยู่ในช่วง 43.6-49.3 และอัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 2.0% มีค่าความเหนียวที่ต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 40.5-46.6 จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมของกราฟมีแนวโน้มลดลงหลังจากเพิ่มปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด โดยพิจารณาเรื่องความเหนียวที่เกิด จากการคำนวณหลังตัวอย่างเกิดการวิบัติ 5% โดยคิดจากอัตราส่วนค่า Peak Strength ของอัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 0.5 1.0 และ 2.0% หารด้วย ค่า Peak Strength ของตัวอย่างดินตะกอนที่ไม่ได้เสริมแรงด้วยเส้นใยเปลือกข้าวโพด สังเกตได้ว่าการผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพดลงไปในตัวอย่างการทดสอบจะมีค่าความเหนียวเกิดขึ้น แต่ค่ากำลังรับแรงอัดจะไม่ได้สูงขึ้นเมื่อมีค่าความเหนียวที่เพิ่มขึ้นเท่ากับตัวอย่างดินตะกอนผสมซีเมนต์เพียงอย่างเดียว (C7CF0) โดยตัวอย่างดินตะกอนผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพดมีค่าความเหนียวมากที่สุดคือตัวอย่าง C7CF0.5L4

ในรูปที่ 16 คือการทดสอบกำลังรับแรงอัดการทดสอบที่ระยะการบ่ม 28 วัน อัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 1.0% มีค่าความเหนียวที่มากที่สุดอยู่ในช่วง 57.5-82.4 รองลงมาคือ อัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 2.0% อยู่ในช่วง 57.7-74.4 และปริมาณเส้นใย 0.5% มีค่าความเหนียวที่ต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 51-57.4 จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมของกราฟมีแนวโน้มที่ไม่แน่นอนเมื่อเพิ่มความยาวเส้นใยเปลือกข้าวโพด แต่ในการเพิ่มปริมาณและความยาวของเส้นใยเปลือกข้าวโพดทำให้ตัวอย่างมีค่าความเหนียวมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีเส้นใย (C7CF0) ซึ่งตัวอย่างผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่มีค่าความเหนียวมากที่สุดคือตัวอย่าง C7CF1L1 ซึ่งในระยะการบ่ม 28 วัน มีหลายตัวอย่างการทดสอบที่ผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพดมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพดและมีค่าความเหนียวที่ค่อนข้างสูงเหมือนกัน

4.1.5 การพัฒนาความเหนียว (Improvement Toughness Ratio , ITR)



รูปที่ 17 กราฟการพัฒนาความเหนียว ระยะการบ่ม 7 วัน



รูปที่ 18 กราฟการพัฒนาความเหนียว ระยะการบ่ม 28 วัน

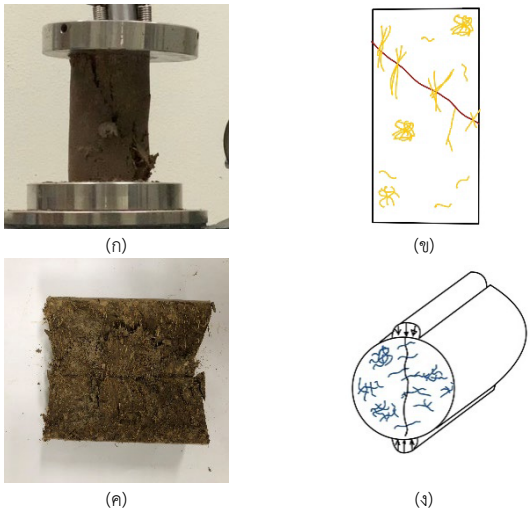
ในรูปที่ 17 คือการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะการบ่ม 7 วัน อัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 0.5% มีช่วงการพัฒนาความเหนียวที่มากที่สุดอยู่ในช่วง 1.34-1.47 รองลงมาคืออัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 1% อยู่ในช่วง 1.24-1.4 และอัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 2% มีช่วงการพัฒนาความเหนียวที่ต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 1.15-1.32 จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมของกราฟมีแนวโน้มลดลงหลังจากเพิ่มปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด

ในรูปที่ 18 คือการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะการบ่ม 28 วัน ปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 1% มีช่วงการพัฒนาความเหนียวที่มากที่สุดอยู่ในช่วง 1.06-1.51 รองลงมาคืออัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 2% อยู่ในช่วง 1.06-1.37 และอัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 0.5% มีช่วงการพัฒนาความเหนียวที่ต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 0.94-1.05 เห็นได้ว่าพฤติกรรมของกราฟมีแนวโน้มไม่แน่นอนด้านการพัฒนาความเหนียวสูงสุด

จากการวิเคราะห์พบว่า กราฟการพัฒนากำลังรับแรงสูงสุด (ISR) กราฟความเหนียว (TI) และกราฟการพัฒนาความเหนียว (ITR) มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ในช่วงระยะเวลาการบ่ม 7 วัน ในทุกๆค่าจะมีค่าแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด ส่วนในระยะการบ่มของ 28 วัน มีแนวโน้มที่ไม่แน่นอน ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากเส้นใยกระจายตัวไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งตัวอย่างและการกระจุกตัวของเส้นใยเปลือกข้าวโพด

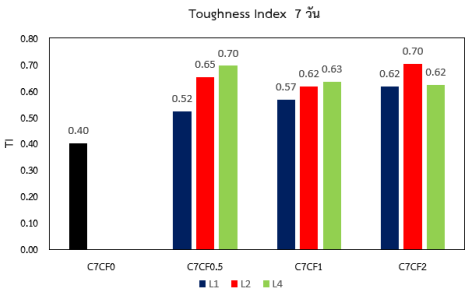
จากการพิจารณาการวิบัติของตัวอย่างที่รับกำลังแรงอัดมีลักษณะการเฉือนที่ 45 องศา และมีการวิบัติในแนวเส้นตรงดังรูปที่ 19(ก) พบว่าเกิดความไม่แน่นอนในการวิบัติในด้านกำลังรับแรงอัด โดยเส้นใยบางตัวอย่างเกิดการวิบัติที่เส้นใยตรงกลางเส้น และมีบางตัวอย่างเกิดการวิบัติที่เส้นใยปลายเส้น ดังรูปที่ 19(ข)

การพิจารณาการวิบัติของตัวอย่างที่รับกำลังแรงดึง พบว่ามีการกระจายตัวของเส้นใยที่ไม่สม่ำเสมอและมีการวิบัติแบบสุ่มดังรูปที่ 19(ค) เนื่องจากความยาวของเส้นใยเปลือกข้าวโพดต่างกัน และลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยไม่เป็นเส้นตรงตามแนวการวิบัติ ทำให้เกิดช่องว่างไม่สม่ำเสมอดังรูปที่ 19(ง) ซึ่งสาเหตุดังกล่าวมักเกิดขึ้นในกรณีที่การผสมเส้นใยในวัสดุประกอบซึ่งจะเกิดการกระจายตัวแบบสุ่ม (Random Distribution)

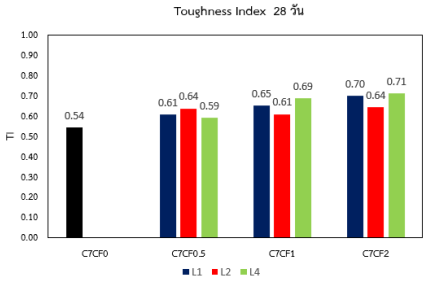


รูปที่ 19 ตัวอย่างกำลังรับแรงอัด (ก) และ (ข) ตัวอย่างการรับแรงดึง (ค) และ (ง)

4.1.6 ดัชนีความเหนียว (Toughness Index, TI)



รูปที่ 20 กราฟดัชนีความเหนียว ระยะการบ่ม 7 วัน

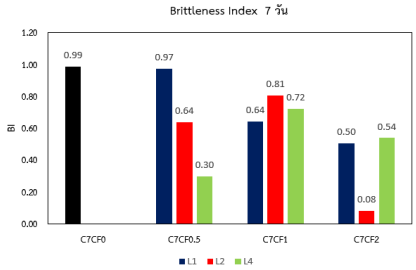


รูปที่ 21 กราฟดัชนีความเหนียว ระยะการบ่ม 28 วัน

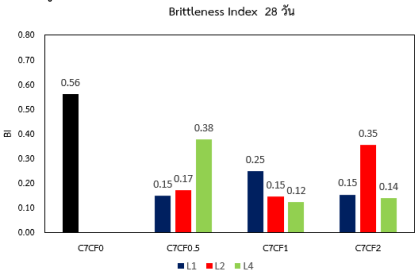
ในรูปที่ 20 คือการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะการบ่ม 7 วัน อัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 0.5% มีค่าดัชนีความเหนียวที่มากที่สุดอยู่ในช่วง 0.52-0.70 ซึ่งมีค่าดัชนีความเหนียวสูงสุดเท่ากันกับปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 2.0% ที่มีช่วงระหว่าง 0.62-0.70 และอัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 1.0% มีค่าดัชนีความเหนียวที่ต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 0.57-0.63 จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมของกราฟมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพดมากกว่า 1.0%

ในรูปที่ 21 คือการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะการบ่ม 28 วัน อัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 2.0% มีค่าดัชนีความเหนียวที่มากที่สุดอยู่ในช่วง 0.64-0.71 รองลงมาคือ อัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 1.0% อยู่ในช่วง 0.61-0.69 และอัตราปริมาณเส้นใย 0.5% มีค่าดัชนีความเหนียวที่ต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 0.59-0.64 จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมของกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเส้นใยเปลือกข้าวโพด

4.1.7 ค่าความเปราะ (Brittleness Index, BI)



รูปที่ 22 กราฟค่าความเปราะ ระยะการบ่ม 7 วัน



รูปที่ 23 กราฟค่าความเปราะ ระยะการบ่ม 28 วัน

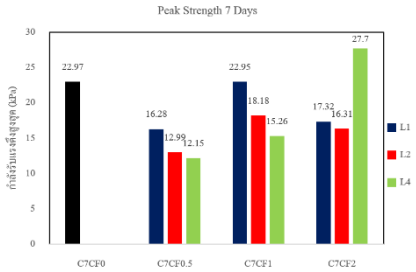
ในรูปที่ 22 คือการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะการบ่ม 7 วัน อัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 0.5% มีค่าความเปราะที่มากที่สุดอยู่ในช่วง 0.30-0.97 รองลงมาคือ ปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 1.0% ในช่วง 0.64-0.81 และอัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 2.0% มีค่าความเปราะที่ต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 0.08-0.54

ในรูปที่ 23 คือการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะการบ่ม 28 วัน อัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 0.5% มีค่าความเปราะที่มากที่สุดอยู่ในช่วง 0.15-0.38 รองลงมาคือ อัตรปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 2.0% ในช่วง 0.14-0.35 และปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 1.0% มีค่าความเปราะที่ต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 0.14-0.25

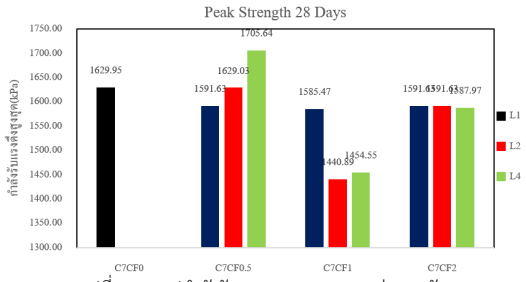
จากการวิเคราะห์ พบว่าในช่วงระยะเวลาการบ่ม 7 วัน มีค่าแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด ส่วนในระยะการบ่ม 28 วัน มีแนวโน้มที่ไม่แน่นอน ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดกระจายไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งตัวอย่าง และการกระจุกตัวของเส้นใยเปลือกข้าวโพด

4.2 *การทดสอบกราฟ (Indirect Tensile Strength, IT)*

4.2.1 กำลังรับแรงดึงสูงสุด



รูปที่ 24 กราฟกำลังรับแรงสูงสุด ระยะการบ่ม 7 วัน



รูปที่ 25 กราฟกำลังรับแรงสูงสุด ระยะการบ่ม 28 วัน

ในรูปที่ 24 คือการทดสอบกำลังรับแรงดึงการทดสอบที่ระยะการบ่ม 7 วัน เส้นใยเปลือกข้าวโพดขนาดความยาว 4 เซนติเมตร ที่อัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 2.0% มีค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุด เท่ากับ 27.7 kPa คือตัวอย่างดินตะกอน C7CF2L4 เมื่อลดอัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่ 1.0% เป็น 0.5% พบว่ามีค่ากำลังรับแรงดึงลดลง ส่วนเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่ขนาดความยาว 1 เซนติเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณจาก 0.5% เป็น 1.0% พบว่ากำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพดจาก 1.0% เป็น 2.0% พบว่ากำลังรับแรงดึงลดลง และเส้นใยเปลือกข้าวโพดขนาดความยาว 2 เซนติเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณจาก 0.5% เป็น 1.0% พบว่ากำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพดจาก 1.0% เป็น 2.0% พบว่ากำลังรับแรงดึงที่ไม่แน่นอน เนื่องจากค่าดังกล่าวมีพฤติกรรมด้านกำลังรับแรงดึงที่ไม่แน่นอน จึงยกตัวอย่างส่วนผสม C7CF0.5 พบว่าเมื่อเพิ่มขนาดความยาวเส้นใยเปลือกข้าวโพด ทำให้กำลังรับแรงดึงลดลงอย่างเห็นได้ชัด

ในรูปที่ 25 คือการทดสอบที่ระยะการบ่ม 28 วัน เส้นใยเปลือกข้าวโพดขนาดความยาว 4 เซนติเมตร ที่อัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 0.5% มีค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุด เท่ากับ 1705.6 kPa คือตัวอย่างดินตะกอน C7CF0.5L4 เห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มขนาดความยาวเส้นใยเปลือกข้าวโพดกำลังรับแรงดึงจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆที่มีพฤติกรรมด้านกำลังรับแรงดึงที่ไม่แน่นอน เนื่องจากอัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพดเป็น 1.0% และ 2.0% จะเห็นได้ว่ามีค่ากำลังรับแรงดึงลดลง ส่วนเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่ขนาดความยาว 1 และ 2 เซนติเมตร พบว่าปริมาณ 0.5% มีกำลังรับแรงดึงที่มากที่สุด รองลงมาคือปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 2% และปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่ 1.0% กำลังรับแรงดึงต่ำที่สุด

4.2.2 เกณฑ์การให้คะแนนจากการประเมินผลตัวแปรด้านกำลัง

จากการทดสอบทั้งหมด พบว่าวัสดุมีความสัมพันธ์ด้านกำลัง ทั้งกำลังรับแรงอัดความเหนียวและความเปราะที่ไม่แน่นอน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้การประเมินผลตัวแปรด้านกำลังเพื่อใช้ในการคัดเลือกส่วนผสมที่เหมาะสมในนำมาใช้ในวัสดุพื้นทาง

ตารางที่ 9 สรุปคะแนนประสิทธิภาพโดยรวมของวัสดุ [17]

คะแนนเฉลี่ยจากคะแนนทั้งหมด	คะแนนประสิทธิภาพโดยรวม
90 - 100	ยอดเยี่ยม
80 - 89	ดีมาก
70 - 79	ดี
60 - 69	ค่อนข้างดี
50 - 59	พอใจ
40 - 49	แย่
น้อยกว่า 39	แย่มาก

ตารางที่ 10 สรุปคะแนนประสิทธิภาพรองสำหรับแต่ละส่วนผสม ระยะการบ่ม 7 วัน

Mix	ISR	BI	ITR	TI	Score
C7CF0.5L1	100.00	8.23	91.35	74.41	88.59
C7CF0.5L2	80.45	12.59	91.47	92.89	88.36
C7CF0.5L4	82.42	27.05	100.00	98.84	93.75
C7CF1L1	84.99	12.46	84.22	80.73	83.31
C7CF1L2	88.39	9.94	95.07	87.62	90.36
C7CF1L4	78.94	11.12	87.47	90.26	85.56
C7CF2L1	83.53	15.88	89.98	87.70	87.09
C7CF2L2	63.64	100.00	78.13	100.00	80.59
C7CF2L4	77.66	14.89	84.56	88.69	83.64

ตารางที่ 11 สรุปคะแนนประสิทธิภาพรองสำหรับแต่ละส่วนผสม ระยะการบ่ม 28 วัน

Mix	ISR	BI	ITR	TI	Score
C7CF0.5L1	74.06	84.11	69.29	85.50	76.28
C7CF0.5L2	63.11	72.86	61.90	89.63	71.54
C7CF0.5L4	76.42	32.86	69.65	83.30	76.46
C7CF1L1	100.00	49.95	100.00	91.39	97.13
C7CF1L2	74.56	85.15	69.87	85.63	76.69
C7CF1L4	81.93	100.00	86.79	96.81	88.51
C7CF2L1	83.90	80.88	90.32	98.38	90.86
C7CF2L2	70.82	35.22	70.24	90.64	77.24
C7CF2L4	64.04	90.05	70.08	100.00	78.04

หมายเหตุ : 1. ISR คือ กราฟการพัฒนากำลังรับแรงสูงสุด
2. BI คือ ค่าความเปราะ
3. ITR คือ การพัฒนาความเหนียว
4. TI คือ ค่าดัชนีความเหนียว

จากกราฟทั้งหมดที่ได้ นำค่าในแต่ละกราฟมาหาค่าเฉลี่ย 100% ยกตัวอย่างการคำนวณค่า ISR ของ C7CF0.5L1 มีค่ามากที่สุด คือ 1.03 เป็นตัวหารกับค่า ISR ของตัวอย่างอื่นๆ ก่อนจะคูณ 100 จะได้ค่าเต็ม 100% ใช้เป็นการคำนวณในทุกๆ ค่า ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณเป็นคะแนนเพื่อประเมินผล โดยนำมารวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ยรวม จากการประเมินผลดังกล่าว พบว่าทุกตัวอย่างดังตารางที่ 12 จัดอยู่ในเกณฑ์ดีขึ้นถึงยอดเยี่ยม จากเกณฑ์การประเมินผลในตารางที่ 9 ในระยะการบ่มใน 7 วัน มีค่ามากที่สุดคือค่าของ C7CF0.5L4 ดังตารางที่ 10 และระยะการบ่ม 28 วันที่มากที่สุดคือ C7CF1L1 ดังตารางที่ 11 เป็นตัวอย่างที่เหมาะสมในการไปใช้งานชั้นพื้นทาง

ตารางที่ 12 สรุปคะแนนประสิทธิภาพรองสำหรับแต่ละส่วนผสม

Mix	7 Days	28 Days	Score
C7CF0.5L1	88.59	76.28	82.44
C7CF0.5L2	88.39	71.54	79.95
C7CF0.5L4	93.75	76.46	85.10
C7CF1L1	83.31	97.13	90.22
C7CF1L2	90.36	76.69	83.52
C7CF1L4	85.56	88.51	87.03
C7CF2L1	87.09	90.86	88.97
C7CF2L2	80.59	77.24	78.91
C7CF2L4	83.64	78.04	80.84

จากนั้นนำผลทั้ง 7 และ 28 วันมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อหาตัวอย่างส่วนผสมที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานพื้นทางมากที่สุด จากค่าเฉลี่ย พบว่าตัวอย่างดินตะกอนผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้งานคือ C7CF1L1

5. บทสรุป

5.1 *การ*การทดสอบ Unconfined Compression test ค่ากำลังรับแรงอัดในระยะเวลาการบ่ม 28 วัน มีค่าที่สูงที่สุดคือตัวอย่างขนาดความยาวเส้นใย 1 เซนติเมตร ที่อัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 1% แต่เมื่อเพิ่มอัตรปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพดมากขึ้นจะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดลง โดยขนาดความยาวของเส้นใยเปลือกข้าวโพดไม่ส่งผลต่อค่าการพัฒนากำลังรับแรงอัดเช่นเดียวกันกับค่าความเหนียวในระยะการบ่ม 28 วัน มีค่าความเหนียวที่ดีที่สุดคือขนาดความยาวเส้นใย 1 เซนติเมตร และปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่ 1% แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพดมากขึ้นจะส่งผลให้ความเหนียวลดลง ซึ่งขนาดความยาวของเส้นใยเปลือกข้าวโพดไม่ส่งผลต่อการพัฒนาความเหนียว

5.2 การทดสอบ Indirect Tensile Strength test ค่ากำลังรับแรงดึงในระยะเวลาการบ่ม 28 วัน มีค่ามากที่สุดคือตัวอย่างขนาดความยาวของเส้นใยเปลือกข้าวโพด 4 เซนติเมตร ที่อัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 0.5% แต่เมื่อเพิ่มอัตราปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพดมากขึ้นจะส่งผลให้กำลังรับแรงดึงลดลง ขนาดความยาวของเส้นใยมีผลต่อกำลังรับแรงดึง ยิ่งมีขนาดความยาวของเส้นใยมากขึ้นเท่าไหร่จะมีกำลังรับแรงดึงมากขึ้นเท่านั้น

5.3 อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดจากประเมินผลตัวแปรด้านกำลัง คือ ตัวอย่างที่ผสมซีเมนต์ 7% ปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพด 1% และมีขนาดความยาวเส้นใยเปลือกข้าวโพด 1 เซนติเมตร (C7CF1L1) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอดเยี่ยมสำหรับใช้ในงานปรับปรุงดินตะกอนกว๊านพะเยาโดยวิธีการเสริมแรงด้วยเส้นใยจากเปลือกข้าวโพด

กิติประกาศ

ผู้เขียนกราบขอบรองศาสตราจารย์ ดร.ธนกร ชมภูรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา นายพิสิษฐ์ ผลาสิงห์ และนายอนุพงศ์ คำปลอด ที่คอยช่วยเหลือชี้แนะให้คำแนะนำตลอดจนถึงการแก้ไขข้อบกพร่องในการศึกษา การดำเนินงานการปฏิบัติการทดสอบ รวมทั้งการให้คำที่ปรึกษาในการจัดการทำการศึกษา ด้วยความเอาใจใส่ และสนับสนุนทุกๆด้านอย่างเสมอตั้งแต่เริ่มต้นจวบจนจบการปฏิบัติการทดสอบและการเขียนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์สำเร็จได้ด้วยดี

ผู้เขียนขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยพะเยา ในการสนับสนุนทุนทรัพย์การศึกษาค้นคว้าวิทยานิพนธ์และให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนด้านอุปกรณ์เครื่องมือในการทดสอบ สถานที่ และวัสดุอุปกรณ์ในการศึกษาทดสอบ ในห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ของทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยพะเยา

สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอมอบคุณค่าและคุณประโยชน์จากการศึกษาฉบับนี้ให้แก่ผู้มีพระคุณทุกๆท่าน ถ้าหากงานวิจัยฉบับนี้มีข้อผิดพลาดหรือบกพร่องประการใด ผู้เขียนขอน้อมรับไว้ และหวังอย่างยิ่งว่าการศึกษางานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] ผลผลิตสินค้าทางเกษตรรวสูงสุด 5 อันดับแรก ปี 2564. https://misapp.oae.go.th/area/ภูมิภาคทางการ/ภาคเหนือ

[2] พันธวัฒน์ เศรษฐวิไล. (2021). ไขปริศนาฝุ่นควัน-ไฟป่าภาคเหนือมาจากไหนทำไมค่าฝุ่น PM2.5 ถึงติดอันดับโลกมานานหลายปี. https://thestandard.co/northern-bush-fire-mystery/

[3] El-Badawy, SM. Gabr, AR. El-Hakim, RTA. (2019). Recycled Materials and By-Products for Pavement Construction. Handbook of Ecomaterials, pp.1-22.

[4] Chompoorat, T. Maikhun, T. Likitlersuang, S. (2019). Cement improved lakebed sedimentary soil for road construction. Proc Inst Civil Eng – Ground Improve.

[5] Maikhun, T. Buakla, A. Chompoorat, T. Likitlersuang, S. (2016). Investigation of strength characteristics of Phayao lake sedimentary soil improved by cement and fly ash. The 21st National Convention on Civil Engineering, Songkhla, Thailand (in Thai), 2016.

[6] Rabab'ah, S. Hattamleh, OA. Aldeeky, H. Alfoul, BA. (2021). Effect of glass fiber on the properties of expansive soil and utilization as subgrade. Case Studies in Construction Materials,14.

[7] Tran, KQ. Satomi, T. Takahashi, H. (2018). Improvement of mechanical behavior of cemented soil reinforced with waste cornsilk fiber. Construction and Building Materials, 178, pp.204-210.

[8] ฐานข้อมูลท้องถิ่น จังหวัดพะเยา. http://www.clm.up.ac.th/project/local_database/read.php?recor d=119

[9] Ruenkrairergsa, T. (1982). Principle of Soil Stabilization. Bangkok. Highways Department. 1727.

[10] ธัชชัย ใหม่ขันท์. (2560). การศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังและความคงทนของดินตะกอน กว๊านพะเยาที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์และเถ้าลอย

[11] ร้อง ‘สตง.-ป.ป.ช.’ สอบ ‘ประมงพะเยา’ หวั่นขุดลอก ‘กว๊านพะเยา’ 20 ล. หวั่นช่องบุกรุกกว๊านเพิ่มขึ้น. https://www.matichon.co.th/news-monitor/news_2212558

[12] ภัทรานันท์ แวงวรรณ. วัลภา แต้มทอง. สุธีลักษณ์ ไกรสุวรรณ. แผ่นเส้นใยจากเปลือกข้าวโพด. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55

[13] สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. เรื่อง ข้าวโพด. กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กันยายน 2561

[14] ศุภากร แต้ศิลปะชัย. อนุพงศ์ คำปลอด. ธนกฤต เทพอุโมงค์. ธนกร ชมภูรัตน์. คุณสมบัติด้านกำลังของดินตะกอนขุดจากทะเลสาบ ที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ และคอนกรีตรีไซเคิล. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27

[15] Saroj Devi. Pawan Kumar Poonia. Vikas Kumar. Anjali Tiwari. Rajesh Kumar Meena. Uttam Kumar. Aneela Gulnaz. and Mohammad Khalid Al-Sadoon. Characterization of Natural Fiber Extracted from Corn (Zea mays L.) Stalk Waste for Sustainable Development. Sustainability 2022, 14, 16605

[16] กลุ่มปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เหนือโวย ลูกเล่นโรงงานรับซื้อผลผลิตเอาเปรียบ 24 มิ.ย. 61. https://www.chiangmainews.co.th/page/archives/739980

[17] Prinya Chindaprasirt. Pitthaya Jamsawang. Piti Sukontasukkul. Pornkasem Jongpradist. Suched Likitlersuang. Comparative mechanical performances of cement-treated sand reinforced with fber for road and pavement applications. Transportation Geotechnics 30 (2021) 100626.

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้เศษหิน

A study on the physical properties of lightweight concrete using crushed rock.

ปิยาพร บัวคลี่[1] ณัฐกานต์ ทองศรี[2] และ วีระพงษ์ ใจใชย[3]*
นาย วรจักร จันทร์แว่น[4] (อาจารย์ที่ปรึกษา)

1,2,3 นิสิตปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
4 อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
** E-mail address: 63101854@up.ac.th, 63102215@up.ac.th, 63102484@up.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้เศษหิน จากมาตรฐาน ASTM C495, ASTM C567 /C567M -14 และASTM C20 โดยใช้ขนาด 0.15 x 0.30 เมตร อย่างละ 3 ตัวอย่าง ซึ่งจะแบ่งการทดสอบเป็น 4 รูปแบบในการทดสอบ ได้แก่ ตัวอย่างการทดสอบหาหน่วยน้ำหนัก ตัวอย่างการทดสอบการดูดซึมน้ำ การทดสอบหาความพรุน และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ในบทความนี้มีการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้เศษหินในการแทนที่ทราย ปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้เศษหินเป็นมวลรวมละเอียดเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างเศษหินและทราย

คำสำคัญ การดูดซึมน้ำ, ความพรุน, หน่วยน้ำหนัก, คอนกรีตมวลเบา, เศษหิน

Abstract

This article presents a study on the physical properties of lightweight concrete using crushed stone from the ASTM C495, ASTM C567/C 567M -14, and ASTM C20 standards using sizes of 0.15 x 0.30 meters, with 3 samples each. The testing was divided into 4 formats: unit weight testing, water absorption testing, porosity testing, and modulus of elasticity testing. This article studies the physical properties of lightweight concrete using crushed stone to replace sand. The amount of water in the lightweight concrete mix using crushed stone as fine aggregate to compare the properties between crushed stone and sand.

Keywords: Water absorption, porosity, unit weight, lightweight concrete, crushed stone

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันธุรกิจอุตสาหกรรมก่อสร้างได้มีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มมากขึ้นตามภูมิภาคต่างๆของประเทศ เป็นผลมาจากการก่อสร้างโครงการขนาดใหญ่ และการขยายตัวของภาคอสังหาริมทรัพย์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของนโยบายการพัฒนาเศรษฐกิจตามแผนการพัฒนาประเทศของทางรัฐบาลทำให้อุตสาหกรรมคอนกรีตผสมเสร็จซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักพื้นฐานสำคัญของอุตสาหกรรมก่อสร้างมีความต้องการมากยิ่งขึ้น

โรงงานผลิตหินในประเทศไทยมีประมาณ 436 แห่งทั่วประเทศ ทำให้มีจำนวนที่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้งาน โดยการผลิตหินในแต่ละครั้งจะได้ขนาดหินตามมาตรฐาน มทช 203-2557 หินที่ไม่ผ่านมาตรฐาน มทช 203-2557 ไม่เป็นที่นิยมนำไปใช้ในงานวิศวกรรม โรงงานผลิตหินแต่ละแห่ง ผลิตหินเป็นจำนวนมากในแต่ละปี ดังนั้นหินที่ไม่ผ่านมาตรฐาน (เศษหิน) ก็จะมีจำนวนมากเช่นกัน เนื่องจากต้องการศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพของคอนกรีตมวลเบาจะต้องนำวัสดุต่างๆ นำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ทดสอบหาความหนาแน่นของปูนซีเมนต์ การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด มวลรวมหยาบ และเศษหิน การทดสอบหน่วยน้ำหนัก และช่องว่างระหว่างมวลรวมละเอียด มวลรวมหยาบ และเศษหิน การวิเคราะห์ขนาดของมวลรวมละเอียด มวลรวมหยาบ และเศษหินโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง จากการทดสอบเพื่อศึกษาคุณสมบัติของวัสดุ และนำไปออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้เศษหินมาแทนที่ปริมาตรทราย ใช้ในการทำคอนกรีตมวลเบา และลดปริมาตรของทรายลง

การจัดการเศษหินเป็นส่วนหนึ่งของการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด การนำเศษหินมาใช้เป็นการ Recycle ซึ่งนำเศษหินที่เหลือใช้มาทำให้เป็นวัสดุใหม่ แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ การรีไซเคิลเศษหินโดยเป็นวัสดุผสมวัสดุก่อสร้างโดยเฉพาะอย่างยิ่งคอนกรีตมวลเบา (Lightweight concrete) ที่ใช้เป็นผนังทั้งภายใน และภายนอกอาคารที่ต้องการวัสดุมวลรวมที่มีน้ำหนักเบา ทำให้เศษหินเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เป็นไปได้ โดยการลดปริมาณของทรายแล้วแทนที่ด้วยเศษหิน และคงสัดส่วนปริมาตรมวลรวมละเอียดไว้เท่าเดิม ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงนำมาสู่แนวคิดในการศึกษาผลกระทบของเศษหินที่แทนที่ทรายต่อคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้เป็นวัสดุมวลรวมละเอียดในการแทน

ทรายบางส่วน และศึกษาเพื่อนำไปใช้เป็นคอนกรีตมวลเบาจึงนำไปสู่การใช้งานอย่างถูกต้อง และเหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพที่มีการนำเศษหินมาแทนที่ทรายในส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา

1.2.2 เพื่อหาวิธีลดปริมาณเศษหินที่มีจำนวนมาก และใช้เศษหินที่เป็นวัสดุเหลือใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.2.3 เพื่อเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกายภาพของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้เศษหินเปรียบเทียบทราย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้วางขอบเขตของการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาที่มีเศษหินเป็นส่วนผสมโดยมีการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพด้านความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM C567 ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นโดยวิธีไม่ทำลาย ตามมาตรฐาน ASTM C597 ค่าการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM 642 และความพรุนตามมาตรฐาน ASTM C20 หน่วยน้ำหนัก ทราย และเศษหินต้องร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 หินต้องร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ของก้อนคอนกรีตที่ผสมด้วยเศษหินและซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งโดยเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์กับทราย และกำหนดอายุการบ่มไว้ที่ 28 วัน

การสร้างก้อนตัวอย่างคอนกรีตสามกลุ่มซึ่งแบ่งตามสารผสมเพิ่มและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ดังต่อไปนี้

ก. กลุ่มแรกก้อนตัวอย่างคอนกรีตปกติโดยใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ

ข. กลุ่มสองเป็นก้อนตัวอย่างผสมเศษหินโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 และแทนเศษหินที่ 0%, 50% และ100% ตามลำดับ

ค. กลุ่มสามก้อนตัวอย่างผสมเศษหิน และโฟมหลังการทดสอบสมบัติทางกายภาพมีการทดสอบทั้งหมดทุกกลุ่มตัวอย่างเปรียบเทียบกับกลุ่มคอนกรีตปกติซึ่งใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 โดยเน้นสมบัติการนำไปประยุกต์ใช้งานคอนกรีตมวลเบา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงคุณสมบัติทางด้านกายภาพของคอนกรีตมวลเบาที่มีการนำเศษหินมาแทนที่ทรายในส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา

1.4.2 ลดปริมาณเศษหินที่มีจำนวนมาก และใช้เศษหินที่เป็นวัสดุเหลือใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.4.3 ได้ผลิตภัณฑ์ก่อสร้างรูปแบบใหม่ที่มีสมบัติพิเศษด้านมวลเบาในการนำไปใช้งานแตกต่างจากของเดิม

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตมวลเบา หมายถึง คอนกรีตที่มีความหนาแน่นภายหลังการอบแห้ง (over-dry) อยู่ระหว่าง 1,500-2,000 กก./ลบ.ม. สำหรับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมละเอียดปกติแล้ว ความหนาแน่นในสภาพอัดแน่นของมวลรวมหยาบอยู่ระหว่าง 650-1,850 กก./ลบ.ม. คอนกรีตชนิดเบา หรืออิฐมวลเบาเป็นวัสดุที่ทำขึ้นสำหรับนำมาใช้ในงานก่อสร้างประเภทต่างๆ เช่น ผนังโครงสร้างอาคารสำนักงาน หรือสิ่งก่อสร้างอื่นๆ ที่ต้องการความแข็งแรง ข้อดีของการเลือกใช้อิฐมวลเบา คือสามารถทำเป็นรูปร่างต่างๆ จึงเป็นที่นิยมในการนำอิฐมวลเบามาใช้งานกันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

หิน หมายถึง มวลสารที่เป็นของแข็งซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เป็นได้ทั้งอนินทรียวัตถุ และอินทรียวัตถุอันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเปลือกโลก คำนิยามนี้รวมตั้งแต่ส่วนที่อ่อน เช่น ดินตะกอน และโคลนไปจนถึงหินที่แข็ง แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้จำกัดเฉพาะส่วนที่เป็นของแข็งของเปลือกโลกเท่านั้น ตามที่ได้กล่าวแล้วว่าหินประกอบด้วยแร่ แต่หินบางชนิดก็อาจประกอบด้วยอินทรียวัตถุเป็นส่วนใหญ่

การทดสอบหน่วยน้ำหนัก และช่องว่างระหว่างมวลรวมเพื่อหาค่าหน่วยน้ำหนัก และช่องว่างในมวลรวมใช้สำหรับเปลี่ยนค่าน้ำหนัก โดยการคำนวณปริมาตรถัง ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาตรของถัง} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำในถัง}}{\text{หน่วยน้ำหนักของน้ำ}}$$

$$\text{หน่วยน้ำหนักอัดแน่น(M)} = \frac{\text{น้ำหนักมวลรวม}}{\text{ปริมาตรถัง}}$$

ตามมาตรฐาน ASTM C29 Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะการดูดซึมน้ำของมวลรวม เพื่อหาปริมาณส่วนผสมของหินทรายในคอนกรีต ส่วนค่าการดูดซึมน้ำใช้สำหรับปรับแก้ปริมาณของหินทราย และน้ำโดยค่าความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวผิวแห้งใช้สมการ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะสภาพแห้ง} = \frac{\text{น้ำหนักมวลรวมอบแห้ง}}{\text{เนื้อมวลรวม} + \text{ ช่องว่างในมวลรวม}}$$

ค่าความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวผิวแห้งใช้สมการ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง} = \frac{\text{น้ำหนักมวลรวมอบแห้ง} + \text{ น้ำหนักน้ำในช่องว่าง}}{\text{เนื้อมวลรวม} + \text{ ช่องว่างในมวลรวม}}$$

ตามมาตรฐาน ASTM C128 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate การทดสอบหาขนาดคละของมวลรวม ค่าโมดูลัสความละเอียด และขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวม เพื่อหาขนาดคละของมวลรวม ค่าโมดูลัสความละเอียด โดยคุณสมบัติดังกล่าวใช้เป็นข้อมูลใน

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสม โดยค่าโมดูลัสความละเอียดคำนวณจาก

$$F.M. = \frac{1}{100} * (\text{ผลบวกของเปอร์เซ็นต์สะสมของมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐาน})$$

ตาม ASTM C136 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates การวิเคราะห์ขนาดของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง คือ การกระจายขนาดของมวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียดซึ่งเป็นการเลือกทรายหินเพื่อใช้ให้เหมาะสมกับงานคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C33

สูตรการคำนวณหาค่าโมดูลัสการยืดหยุ่นโดยวิธีไม่ทำลาย

$$\upsilon = \frac{v_p^2 - 2v_s^2}{2(v_p^2 - v_s^2)}$$

$$G = \rho v_s^2$$

$$E = 2G(1-\upsilon)$$

ตามมาตรฐาน ASTM D2845

เมื่อ :

υ = อัตราส่วนปัวซง

v_p = ความเร็วแพร่กระจายของคลื่นบีบอัด (เมตร./วินาที)

v_s = ความเร็วแพร่กระจายของคลื่นเฉือน (เมตร./ต่อวินาที)

G = โมดูลัสแรงเฉือน (กก./ตร.ซม.)

ρ = ความหนาแน่น (กก./ตร.ซม.)

E = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จักรพันธ์ เชาว์มะเริง และวสิษฐา รวมสุวรรณ (2013) ศึกษาการนำเม็ดโฟมพลาสติกใช้แล้วเป็นส่วนผสมทดแทนมวลรวมหยาบ ผลการศึกษา พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของเม็ดโฟมพลาสติกใช้แล้วเป็นส่วนผสมทดแทนมวลรวมหยาบในอัตราส่วนร้อยละโดยปริมาตรที่เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ คอนกรีตที่มีส่วนผสมของเม็ดโฟมพลาสติกใช้แล้วมีการยุบตัวและระยะการก่อตัวของคอนกรีตสดเพิ่มมากขึ้นจากคอนกรีตปกติที่ใช้อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เดียวกัน (W/C) ซึ่งจะส่งผลให้มีความสามารถในการเทได้มากขึ้น และสามารถหล่อแบบเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ง่ายกว่าคอนกรีตปกติโดยมีหน่วยน้ำหนักลดลง

บันฑิต ทองคำ (2014) ศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งจากงานก่อสร้างมาทดแทนมวลรวมหยาบในการผสมคอนกรีต โดยนำวัสดุเหลือทิ้งนำมาบดย่อยให้มีขนาดเล็กลง เพื่อเป็นวัสดุทดแทนมวลรวมหยาบ พบว่าคุณสมบัติทางกลได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน BS 1881 : Past 3

สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ (2015) ศึกษาการใช้ซ้ำเศษเมลามีนโดยผสมในคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า โดยใช้เป็นวัสดุมวลรวมละเอียดในการแทนที่ทรายบางส่วน พบว่า ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่แข็งตัวแล้วมีความแปรปรวนเล็กน้อย กำลังรับแรงอัด และการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น

เฉลิมพล ไชยแก้ว (2018) ศึกษาคอนกรีตบดอัดที่ใช้หินฝุ่นแทนทราย โดยงานวิจัยนำหินฝุ่นมาทดแทนทรายในส่วนผสมคอนกรีตบดอัด พบว่า ค่าการกระจายตัวของวัสดุมวลรวมแต่ละอัตราส่วน ร้อยละการสะสมของหินฝุ่นมีค่าใกล้เคียงกับขอบเขตตามมาตรฐาน ASTM C33/C33M-18 ค่าความหนาแน่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแทนที่ด้วยหินฝุ่นจนถึงอัตราส่วนแทนที่ร้อยละ 80 จะได้ค่าความหนาแน่นสูงสุด และค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่ำสุด

ทะยาน จงณรงค์ชัย (2021) ศึกษาการใช้กรวดหินแทนหินในงานคอนกรีต โดยงานวิจัยเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านกำลัง และการสึกกร่อนของคอนกรีตที่ใช้กรวดเป็นมวลรวมหยาบ พบว่า อัตราน้ำต่อปูนซีเมนต์ของคอนกรีตที่มีกรวดมีอัตราน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำกว่าส่วนผสมที่ใช้หิน จึงทำการทดสอบความข้นเหลว เพื่อหาความข้นเหลวที่ใช้หินและกรวดเป็นมวลรวมหยาบ พบว่า ปริมาณน้ำในส่วนผสมคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติตามเกณฑ์ ให้ค่า Vibe Time อยู่ในเกณฑ์ 20 ± 5 วินาที

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 *การเตรียมวัสดุ*

3.1.1 มวลรวมหยาบ ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 3/4 ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4

3.1.2 มวลรวมละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4

3.1.3 เศษหิน ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4

3.1.4 น้ำยาสร้างโฟมสำหรับการทำคอนกรีตมวลเบาโดยใช้น้ำยาสร้างโฟมของบริษัท Tripple Trees

3.1.5 ใช้ปูนปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 สูตร Hybrid

3.2 การทดสอบคอนกรีต

3.2.1 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีต

- การทดสอบความหนาแน่นของปูน ตามมาตรฐาน ASTM C188
- การทดสอบความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด มวลรวมหยาบและเศษหิน ตามมาตรฐาน ASTM C128
- การทดสอบหาขนาดคละของมวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด และเศษหิน ตามมาตรฐาน ASTM C33
- การทดสอบความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบตามมาตรฐาน ASTM C127
- การทดสอบหาหน่วยน้ำหนัก และช่องว่างระหว่างมวลรวมละเอียดมวลรวมหยาบ และเศษหินตามมาตรฐาน ASTM C29

3.2.2 นำหิน ทราย และเศษหินลงในเครื่องโม่ ให้มวลรวมเข้ากัน

3.2.3 น้ำแบ่งเป็น 4 ส่วน โดยแบ่งเป็นน้ำที่ใช้ผสมโฟม 10% และอีก 90% แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรก คือ ความต้องการน้ำของมวลรวม ส่วน

ที่สอง คือน้ำทั้งหมดลบความต้องการน้ำ และส่วนที่ 3 คือ ความต้องการน้ำของมวลรวม

3.2.4 เมื่อมวลรวมเข้ากันแล้ว เติมน้ำแรกลงไป จากนั้นผสมให้เข้ากัน

3.2.5 เติมปูนซีเมนต์ และน้ำกลางลงไปให้เข้ากัน

3.2.6 เมื่อส่วนผสมเข้ากันดีแล้วเติมน้ำสุดท้าย รอ 3 นาทีแล้วฉีดน้ำโฟม จากนั้นรอเป็นเวลา 2 นาที แล้วจึงนำคอนกรีตใส่แบบ และปิดหน้าคอนกรีตด้วยฟิล์มยืดเป็นเวลา 24 ชม.

3.2.7 เมื่อครบ 24 ชม.แล้วนำคอนกรีตออกจากแบบ จากนั้นนำคอนกรีตไปแช่ในบ่อบ่มเป็นเวลา 28 วัน



รูปที่ 1 บ่มคอนกรีต เป็นเวลา 28 วัน

3.2.8 เมื่อครบ 28 วัน นำคอนกรีตออกมาเช็ดเพื่อให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งแล้วชั่งน้ำหนักของก้อนตัวอย่าง เพื่อหาความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ

3.2.9 นำก้อนตัวอย่างเข้าตู้อบ เพื่อไล่น้ำเป็นเวลา 24 ชม.แล้วนำก้อนตัวอย่างออกจากตู้อบมาชั่งน้ำหนัก

3.2.10 นำก้อนตัวอย่างต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำก้อนตัวอย่างแช่ในน้ำอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3.2.11 เมื่อครบ 12 ชม.นำก้อนตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาความพรุนของก้อนตัวอย่าง

3.2.12 นำก้อนตัวอย่างที่แห้งไปหาค่าโมดูลัสการยืดหยุ่น แบบไม่ทำลายตัวอย่าง โดยวิธีการยิงคลื่น Ultrasonic ทดสอบแบบไม่ทำลาย



รูปที่ 2 เครื่องยิงคลื่น Ultrasonic โดยวิธีทดสอบแบบไม่ทำลาย

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมของคอนกรีต concrete control

ก้อนตัวอย่าง	สัดส่วนผสมคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)					
	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c)	ปูนซีเมนต์	น้ำ	หิน	ทราย	น้ำหนักรวม
CC04	0.4	500	200	919	666	2,284
CC05	0.5	400	200	919	749	2,268
CC06	0.6	333	200	919	805	2,257

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมของคอนกรีตแทนที่ทราย

ก้อนตัวอย่าง	สัดส่วนผสมคอนกรีต (กก./ลบ.ม..)						
	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c)	ปูนซีเมนต์	น้ำ	หิน	เศษหิน	ทราย	น้ำหนักรวม
04CS0	0.4	500	200	919	0	666	2,284
04CS50		500	200	919	357	333	2,309
04CS100		500	200	919	715	0	2,333
05CS0	0.5	400	200	919	0	749	2,268
05CS50		400	200	919	402	375	2,295
05CS100		400	200	919	804	0	2,323
06CS0	0.6	333	200	919	0	805	2,257
06CS50		333	200	919	432	402	2,286
06CS100		333	200	919	864	0	2,316

ตารางที่ 3 สัดส่วนผสมของคอนกรีตผสมโฟม

ก้อนตัวอย่าง	สัดส่วนผสมคอนกรีต (กก/ลบ.ม..)							
	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c)	ปูนซีเมนต์	น้ำ	หิน	เศษหิน	ทราย	ปริมาณโฟม	น้ำหนักรวม
04CF0	0.4	500	200	919	0	666	0.00089	2,284
04CF50		500	200	919	357	333	0.00089	2,309
04CF100		500	200	919	715	0	0.00089	2,333
05CF0	0.5	400	200	919	0	749	0.00087	2,268
05CF50		400	200	919	402	375	0.00087	2,295
05CF100		400	200	919	804	0	0.00087	2,323
06CF0	0.6	333	200	919	0	805	0.00087	2,257
06CF50		333	200	919	432	402	0.00087	2,286
06CF100		333	200	919	864	0	0.00087	2,316

4. ผลการศึกษา

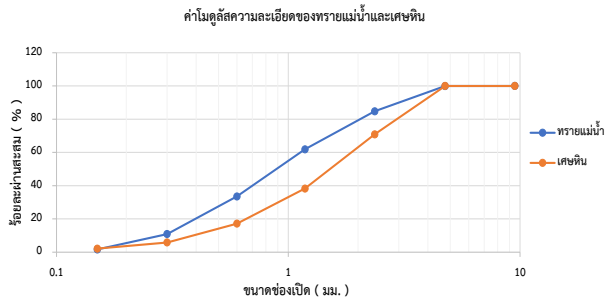
หัวข้อนี้จะอธิบายถึงผลการทดลองคุณสมบัติทางวิศวกรรมของทราย และเศษหิน โดยมีการบันทึกค่าต่างๆ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าความพรุน และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น

4.1 ผลการศึกษาทรายและเศษหิน

ต้องการทราบถึงค่าต่างๆ ของทรายและเศษหิน จึงได้ทำการทดสอบโดยการบันทึกค่าจากเครื่องทดสอบ ผลการเก็บรวบรวมผลลัพธ์จากการนำตัวอย่างการทดลองทำการทดสอบหาค่าต่างๆ ได้ค่าดังนี้

ตารางที่ 4 คุณสมบัติพื้นฐานของมวลรวม

คุณสมบัติ	มาตรฐานการทดสอบ	เศษหิน	ทราย
โมดูลัสความละเอียด	ASTM C33 11	3.79	3.06
ความถ่วงจำเพาะ	ASTM C127 12	2.78	2.59
หน่วยน้ำหนักแห้ง (กก./ลบ.ม.)	ASTM C33 11	1,579	1,660
ดูดซึมน้ำ (%)	ASTM C127 12	0.71	0.69



รูปที่ 1 กราฟแสดงค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายแม่น้ำและเศษหิน

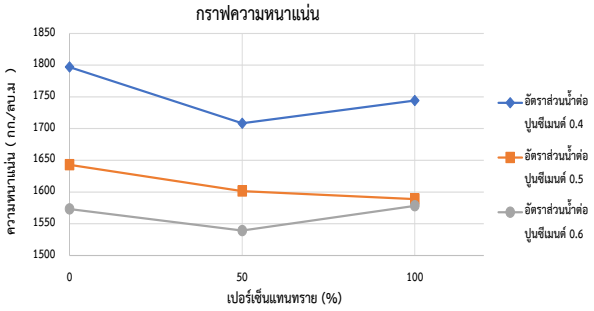
ผลการทดสอบค่าโมดูลัสความละเอียดดังแสดงในรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเศษหินมีขนาดช่องเปิด และร้อยละผ่านสะสมน้อยกว่าทรายแม่น้ำ ซึ่งกราฟของเศษหินมีขนาดใกล้เคียงกับทรายแม่น้ำ ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำเห็นว่าเศษหินสามารถนำมาแทนทรายแม่น้ำได้ ทางคณะผู้จัดทำจึงทดลองนำเศษหินมาแทนที่ปริมาตรทรายแม่น้ำ

4.2 การทดสอบความหนาแน่น

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบความหนาแน่น

ก้อนตัวอย่าง	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม..)	อัตราส่วนความแตกต่างของความหนาแน่น (%)
04CF0	0.4	1,797	-
04CF50		1,708	-5.19
04CF100		1,744	-3.03
05CF0	0.5	1,643	-
05CF50		1,601	-2.59
05CF100		1,589	-3.40
06CF0	0.6	1,573	-
06CF50		1,539	-2.21
06CF100		1,578	0.32

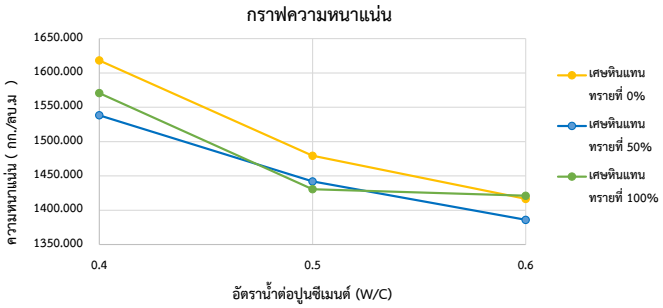
สรุปผลการทดสอบความหนาแน่นดังแสดงในตารางที่ 5 จะเห็นว่า ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นกับการใช้เศษหินแทนที่ทราย ที่ 0% เปรียบเทียบ 50% และ 100% พบว่า ที่ 50% มีความหนาแน่นน้อยกว่า 5.91% และ100% มีความหนาแน่นน้อยกว่า 3.03% ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นกับการใช้เศษหินแทนที่ทราย ที่ 0% เปรียบเทียบ 50% และ100% พบว่า ที่ 50% มีความหนาแน่นน้อยกว่า 2.59% และ100% มีความหนาแน่นน้อยกว่า 3.40% ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นกับการใช้เศษหินแทนที่ทราย ที่ 0% เปรียบเทียบ 50% และ100% พบว่า ที่ 50% มีความหนาแน่นน้อยกว่า 2.21% และ100% มีความหนาแน่นมากกว่า 0.32%



รูปที่ 2 ค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างการทดสอบทั้ง 9 ตัวอย่างการทดสอบที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา ดังแสดงในรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่า กลุ่มก้อนตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทราย 0% มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,797 กก./ลบ.ม., 1,643 กก./ลบ.ม. และ1,573 กก./ลบ.ม. สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 ตามลำดับ กลุ่มก้อนตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทราย 50% มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,708 กก./ลบ.ม., 1,601 กก./ลบ.ม. และ1,539 กก./ลบ.ม.สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 ตามลำดับ กลุ่มก้อนตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทราย 100% มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,744 กก./ลบ.ม., 1,589 กก./ลบ.ม. และ1,578 กก./ลบ.ม. สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) กับการใช้เศษหินแทนที่ทราย พบว่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์(W/C) ที่ 0.4 มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด

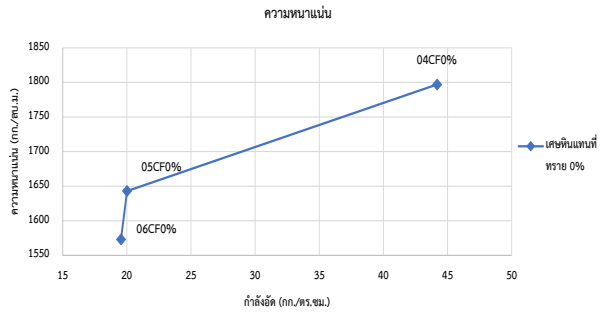


รูปที่ 3 ค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างการทดสอบทั้ง 9 ตัวอย่างการทดสอบที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา ดังแสดงในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า กลุ่มก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,797 กก./ลบ.ม., 1,708 กก./ลบ.ม. และ1,744 กก./ลบ.ม. สำหรับการใช้เศษหินแทนที่ทราย 0%, 50% และ100% ตามลำดับ กลุ่มก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,643 กก./ลบ.ม., 1,601 กก./ลบ.ม. และ1,589 กก./ลบ.ม. สำหรับการใช้เศษหินแทนที่ทราย 0%, 50% และ100% ตามลำดับ กลุ่มก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,573 กก./ลบ.ม., 1,539

กก./ลบ.ม. และ1,578 กก./ลบ.ม. สำหรับการใช้เศษหินแทนที่ทราย 0%, 50% และ100% ตามลำดับ

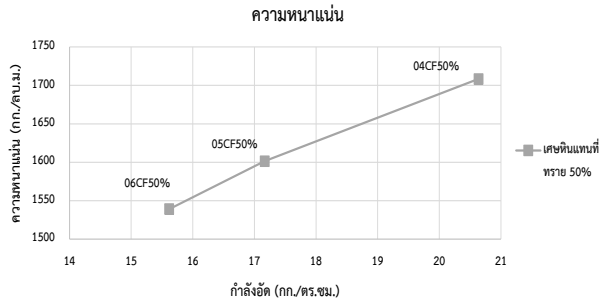
เมื่อวิเคราะห์การใช้เศษหินแทนที่ทรายกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) พบว่า ที่ทุกอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) การใช้เศษหินแทนทรายที่ 0% ทำให้ความหนาแน่นมีค่ามากที่สุด



รูปที่ 4 ค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างการทดสอบ เศษหินแทนทราย 0% ทดสอบ ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาแสดงในรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่ากลุ่มก้อนตัวอย่างที่มีการใช้เศษหินแทนที่ทราย เท่ากับ 0% มีค่ากำลังอัดที่ 44 กก./ตร.ซม., 20 กก./ตร.ซม. และ20 กก/ตร.ซม. ของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6

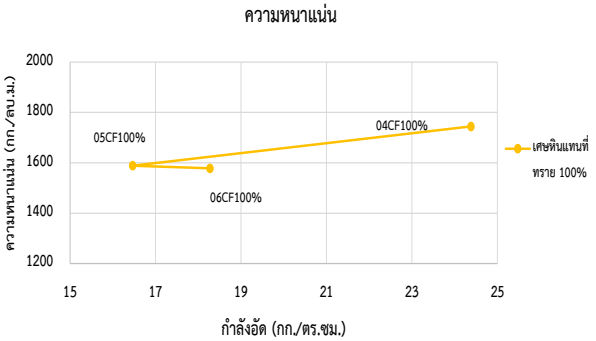
จะเห็นได้ว่าการใช้เศษหินแทนที่ทราย เท่ากับ 0% ที่ความหนาแน่นเปรียบเทียบกับกำลังอัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา พบว่าความหนาแน่นที่มากส่งผลให้ได้กำลังอัดที่มาก ในทางกลับกันจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) ที่มากส่งผลให้ได้กำลังอัดที่น้อย



รูปที่ 5 ค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างการทดสอบ เศษหินแทนทราย 50% ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาแสดงในรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่ากลุ่มก้อนตัวอย่างที่มีการใช้เศษหินแทนที่ทรายเท่ากับ 50% มีค่ากำลังอัดที่ 21 กก./ตร.ซม., 17 กก./ตร.ซม. และ16 กก./ตร.ซม. ของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6

จะเห็นได้ว่าการใช้เศษหินแทนที่ทรายเท่ากับ 50% ที่ความหนาแน่นเปรียบเทียบกับกำลังอัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา พบว่าความหนาแน่นที่มากส่งผลให้ได้กำลังอัดที่มาก ในทางกลับกันจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) ที่น้อยส่งผลให้ได้กำลังอัดที่น้อย



รูปที่ 6 ค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างการทดสอบ เศษหินแทนทราย 100% ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาแสดงในรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่ากลุ่มก้อนตัวอย่างที่มีการใช้เศษหินแทนที่ทรายเท่ากับ 100% มีค่ากำลังอัดที่ 24 กก./ตร.ซม., 16 กก./ตร.ซม. และ18 กก./ตร.ซม. ของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าการใช้เศษหินแทนที่ทรายเท่ากับ 100% ที่ความหนาแน่นเปรียบเทียบกับกำลังอัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา พบว่าการใช้เศษหินแทนที่ทราย เท่ากับ 100% ดังนั้นความหนาแน่นที่มากส่งผลให้ได้กำลังอัดที่มาก แต่ในกรณีที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 มีความหนาแน่นที่น้อย แต่ค่ากำลังอัดที่ได้มากกว่าเล็กน้อยของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5

จึงสามารถสรุปได้ว่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) ส่งผลเล็กน้อยต่อกำลังอัด และความหนาแน่น ของคอนกรีตมวลเบา

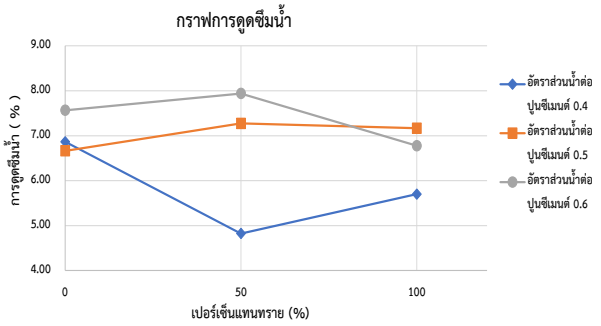
4.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

ก้อนตัวอย่าง	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c)	การดูดซึมน้ำ (%)	อัตราส่วนความแตกต่างของการดูดซึมน้ำ (%)
04CF0%	0.4	6.86	-
04CF50%		4.82	-42.34
04FCF100%		5.70	-20.41
05CF0%	0.5	1.97	-
05CF50%		2.01	8.37
05CF100%		2.22	7.00
06CF0%	0.6	1.84	-
06CF50%		1.46	4.70
06CF100%		1.73	-11.64

สรุปผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำดังแสดงในตารางที่ 6 จะเห็นว่า ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 เมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำกับการใช้เศษหินแทนที่ทราย ที่ 0% เปรียบเทียบ 50% และ 100% พบว่า ที่ 50% มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่า 42.34% และ100% มีค่า

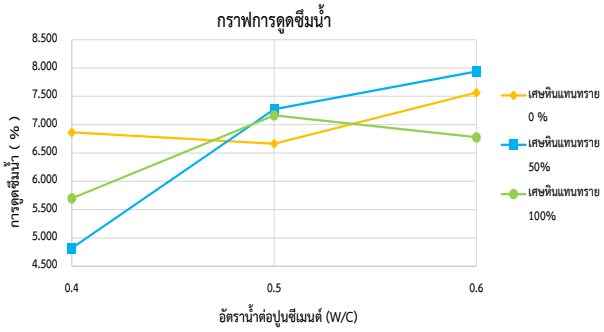
การดูดซึมน้ำน้อยกว่า 20.41% ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 เมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำกับการใช้เศษหินแทนที่ทราย ที่ 0% เปรียบเทียบ 50% และ100% พบว่า ที่ 50% มีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่า 8.37% และ100% มีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่า 7.00% ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 เมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำกับการใช้เศษหินแทนที่ทราย ที่ 0% เปรียบเทียบ 50% และ100% พบว่า ที่ 50% มีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่า 4.70% และ100% มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่า 11.64 %



รูปที่ 7 ค่าการดูดซึมน้ำของก้อนตัวอย่างการทดสอบทั้ง 9 ตัวอย่าง การทดสอบที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา ดังแสดงในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่า กลุ่มก้อนตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทราย 0% มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 6.86%, 6.66% และ7.57% สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ กลุ่มก้อนตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทราย 50% มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 4.82%, 7.27% และ 7.94% สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ กลุ่มก้อนตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทราย 0% มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 5.70%, 7.17% และ6.78% สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ

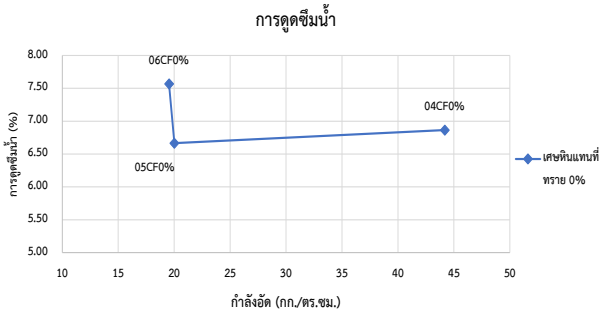
เมื่อวิเคราะห์การดูดซึมน้ำพบว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 มีการดูดซึมน้ำมากที่สุด



รูปที่ 8 ค่าการดูดซึมน้ำของก้อนตัวอย่างการทดสอบทั้ง 9 ตัวอย่างการทดสอบที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา ดังแสดงในรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่า กลุ่มก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 6.86%, 4.82% และ5.70% สำหรับการใช้เศษหินแทนที่ทราย 0%, 50% และ100% ตามลำดับ กลุ่มก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 6.66%, 7.27% และ7.17% สำหรับการใช้เศษหินแทนที่ทราย 0%, 50% และ100% ตามลำดับ กลุ่มก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 7.57%, 7.94% และ6.78% สำหรับการใช้เศษหินแทนที่ทราย 0%, 50% และ 100% ตามลำดับ

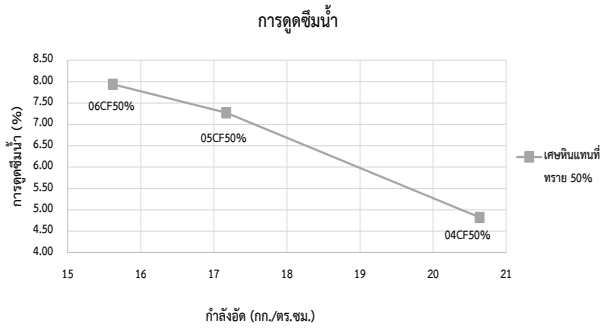
เมื่อวิเคราะห์การใช้เศษหินแทนที่ทรายกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) พบว่า การใช้เศษหินแทนที่ทรายเท่ากับ 0% เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) ที่เพิ่มมากขึ้นมีแนวโน้มที่การดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย การใช้เศษหินแทนที่ทราย 50% เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) ที่ต่ำมีแนวโน้มทำให้ค่าการดูดซึมน้อยตามไปด้วย การใช้เศษหินแทนที่ทราย 100% เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) ที่เพิ่มมากขึ้นมีแนวโน้มที่การดูดซึมน้ำจะลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 9 ค่าการดูดซึมน้ำของก้อนตัวอย่างการทดสอบ เศษหินแทนทราย 0% ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

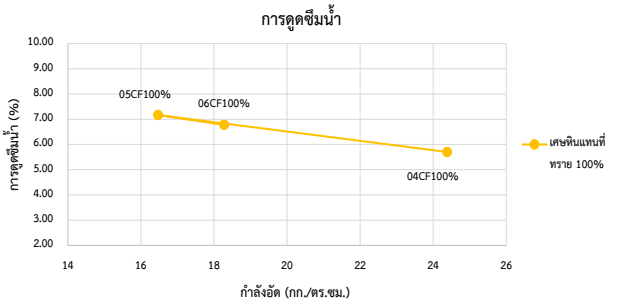
ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแสดงในรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่ากลุ่มก้อนตัวอย่างมีกำลังอัดของการใช้เศษหินแทนที่ทรายเท่ากับ 0% มีค่ากำลังอัดที่ 44 กก./ตร.ซม., 20 กก./ตร.ซม. และ20 กก./ตร.ซม. ของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าการใช้เศษหินแทนที่ทราย เท่ากับ 0% ที่การดูดซึมน้ำเปรียบเทียบกับกำลังอัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา พบว่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่มากส่งผลให้ได้กำลังอัดที่น้อย ในทางกลับกันจะเห็นได้ว่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่น้อยส่งผลให้ได้กำลังอัดที่มาก



รูปที่ 10 ค่าการดูดซึมน้ำของก้อนตัวอย่างการทดสอบ เศษหินแทนทราย 50% ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ผลการทดสอบค่าการดูดซึมของคอนกรีตมวลเบาแสดงในรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่ากลุ่มก้อนตัวอย่างมีกำลังอัดของการใช้เศษหินแทนที่ทราย เท่ากับ 50% มีค่ากำลังอัดที่ 21 กก./ตร.ซม., 17 กก./ตร.ซม. และ16 กก./ตร.ซม. ของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ



รูปที่ 11 ค่าการดูดซึมน้ำของก้อนตัวอย่างการทดสอบ เศษหินแทนทราย 100% ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแสดงในรูปที่ 11 จะเห็นได้ว่ากลุ่มก้อนตัวอย่างมีกำลังอัดของการใช้เศษหินแทนที่ทราย เท่ากับ 100% มีค่ากำลังอัดที่ 24 กก./ตร.ซม., 16 กก./ตร.ซม. และ 18 กก./ตร.ซม. ของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าการใช้เศษหินแทนที่ทราย เท่ากับ 100% ที่การดูดซึมน้ำเปรียบเทียบกับกำลังของก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา พบว่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่มากส่งผลให้ได้กำลังอัดที่น้อย ในทางกลับกันจะเห็นได้ว่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่น้อยส่งผลให้ได้กำลังอัดที่มาก แต่ในกรณีที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 มีร้อยละการดูดซึมน้ำที่น้อย แต่ค่ากำลังอัดที่ได้มากกว่าเล็กน้อยของ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5

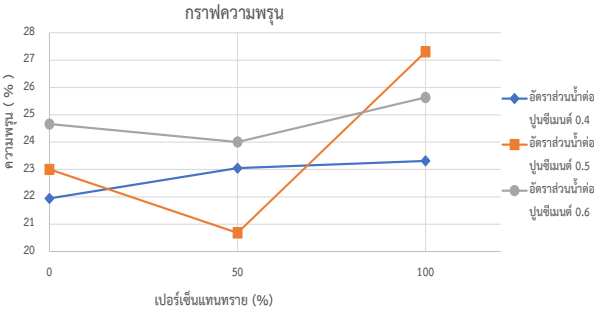
จึงสามารถสรุปได้ว่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) ส่งผลเล็กน้อยต่อกำลังอัด และร้อยละการดูดซึมน้ำ ของคอนกรีตมวลเบา

4.4 การทดสอบความพรุนของคอนกรีตมวลเบา

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบความพรุน

ก้อนตัวอย่าง	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์(w/c)	ความพรุน (%)	อัตราส่วนความแตกต่างของความพรุน (%)
04CF0%	0.4	21.94	-
04CF50%		23.05	4.81
04FCF100%		23.32	5.89
05CF0%	0.5	23.00	-
05CF50%		20.68	-11.24
05CF100%		27.30	15.75
06CF0%	0.6	24.66	-
06CF50%		24.00	-2.73
06CF100%		25.64	3.80

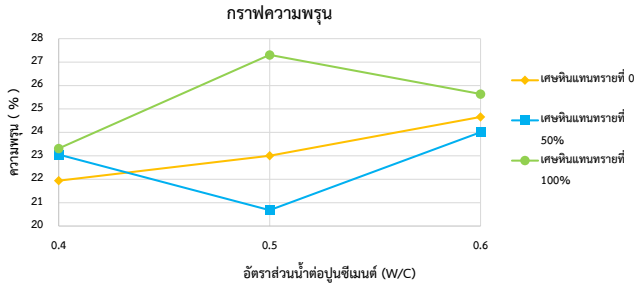
สรุปผลการทดสอบความพรุนดังแสดงในตารางที่ 7 จะเห็นว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 เมื่อเปรียบเทียบความพรุนกับการใช้เศษหินแทนที่ทราย ที่ 0% เปรียบเทียบ 50% และ100% พบว่าที่ 50% มีความพรุนมากกว่า 4.81% และ100% มีค่าความพรุนมากกว่า 5.89% ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 เมื่อเปรียบเทียบความพรุนกับการใช้เศษหินแทนที่ทราย ที่ 0% เปรียบเทียบ 50% และ 100% พบว่า ที่ 50% มีความพรุนน้อยกว่า 11.24% และ100% มีความพรุนมากกว่า 15.75% ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 เมื่อเปรียบเทียบความพรุนกับการใช้เศษหินแทนที่ทราย ที่ 0% เปรียบเทียบ 50% และ100% พบว่า ที่ 50% มีความพรุนน้อยกว่า 2.73% และ100% มีความพรุนมากกว่า 3.80%



รูปที่ 12 ค่าความพรุนของก้อนตัวอย่างทดสอบทั้ง 9 ตัวอย่างการทดสอบที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ผลการทดสอบความพรุนของคอนกรีตมวลเบา ดังแสดงในรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่า กลุ่มก้อนตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทราย 0% มีค่าความพรุนเท่ากับ 21.94%, 23.00% และ 24.66% สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ กลุ่มก้อนตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทราย 50% มีค่าความพรุนเท่ากับ 23.05%, 20.68% และ 24.01% สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 ตามลำดับ กลุ่มก้อนตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทราย 100% มีค่าความพรุนเท่ากับ 23.32%, 27.31% และ25.64% สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ

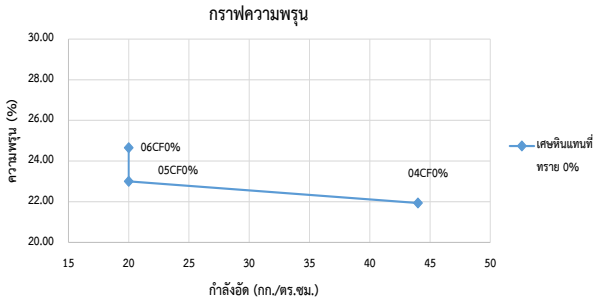
เมื่อวิเคราะห์อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 เมื่อเพิ่มการใช้เศษหินแทนทรายเท่ากับ 50% พบว่ามีความพรุนน้อยที่สุด แต่เมื่อใช้ที่ 100% ทำให้ค่าความพรุนมากที่สุด



รูปที่ 13 ค่าความพรุนของก้อนตัวอย่างทดสอบทั้ง 9 ตัวอย่างการทดสอบที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ผลการทดสอบความพรุนของคอนกรีตมวลเบา ดังแสดงในรูปที่ 13 จะเห็นได้ว่า กลุ่มก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 มีค่าความพรุนเท่ากับ 21.94%, 23.05% และ23.32% สำหรับการใช้เศษหินแทนที่ทราย 0%, 50% และ100% ตามลำดับ กลุ่มก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 มีค่าความพรุนเท่ากับ 23.00%, 20.68% และ27.31% สำหรับการใช้เศษหินแทนที่ทราย 0%, 50% และ100% ตามลำดับ กลุ่มก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 มีค่าความพรุนเท่ากับ 24.66%, 24.01% และ25.64% สำหรับการใช้เศษหินแทนที่ทราย 0%, 50% และ100% ตามลำดับ

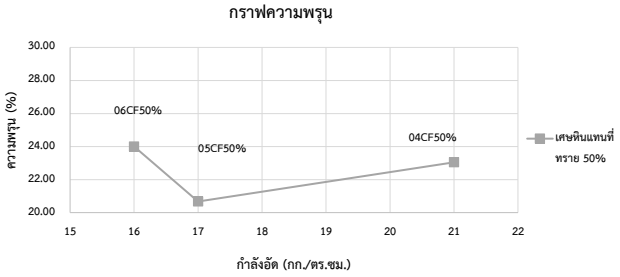
เมื่อวิเคราะห์การใช้เศษหินแทนที่ทรายกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) พบว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) มีผลต่อค่าความพรุนเป็นอย่างมาก เช่น การใช้เศษหินแทนทรายที่ 0% เมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) ที่มากขึ้นมีแนวโน้มที่ค่าความพรุนจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 14 ค่าความพรุนของก้อนตัวอย่างทดสอบเศษหินแทนทราย 0% ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ผลการทดสอบค่าความพรุนของคอนกรีตมวลเบาแสดงในรูปที่ 14 จะเห็นได้ว่ากลุ่มก้อนตัวอย่างมีกำลังอัดของการใช้เศษหินแทนที่ทรายเท่ากับ 0% มีค่ากำลังอัดที่ 44 กก./ตร.ซม., 20 กก./ตร.ซม. และ20 กก./ตร.ซม.ของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าการใช้เศษหินแทนที่ทราย เท่ากับ 0% ที่ความพรุนเปรียบเทียบกับกำลังอัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา พบว่าร้อยละความพรุนที่มากส่งผลให้ได้กำลังอัดที่น้อย ในทางกลับกันจะเห็นได้ว่าร้อยละความพรุนที่น้อยส่งผลให้ได้กำลังอัดที่มาก



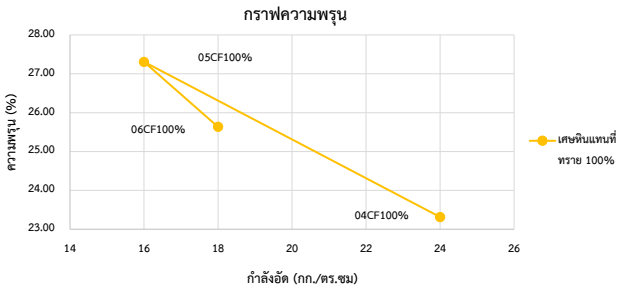
รูปที่ 15 ค่าความพรุนของก้อนตัวอย่างทดสอบเศษหินแทนทราย 50% ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ผลการทดสอบค่าความพรุนของคอนกรีตมวลเบาแสดงในรูปที่ 15 จะเห็นได้ว่ากลุ่มก้อนตัวอย่างมีกำลังอัดของการใช้เศษหินแทนที่ทรายเท่ากับ 50% มีค่ากำลังอัดที่ 21 กก./ตร.ซม., 17 กก./ตร.ซม. และ16 กก/ตร.ซม.ของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ

การใช้เศษหินแทนที่ทราย เท่ากับ 50% ที่ความพรุนเปรียบเทียบกับกำลังอัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา พบว่าร้อยละความพรุนที่มากส่งผลให้ได้กำลังอัดที่น้อย ในทางกลับกันจะเห็นได้ว่าร้อยละความพรุนที่น้อยส่งผลให้ได้กำลังอัดที่มาก

จึงสามารถสรุปได้ว่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) ส่งผลเล็กน้อยต่อกำลังอัด และความพรุน ของคอนกรีตมวลเบา

.



รูปที่ 16 ค่าความพรุนของก้อนตัวอย่างทดสอบเศษหินแทนทราย 100% ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ผลการทดสอบค่าความพรุนของคอนกรีตมวลเบาแสดงในรูปที่ 16 จะเห็นได้ว่ากลุ่มก้อนตัวอย่างมีกำลังอัดของการใช้เศษหินแทนที่ทรายเท่ากับ 100% มีค่ากำลังอัดที่ 24 กก./ตร.ซม., 16 กก./ตร.ซม. และ 18 กก./ตร.ซม.ของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ

การใช้เศษหินแทนที่ทราย เท่ากับ 100% ที่ความพรุนเปรียบเทียบกับกำลังอัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา พบว่าร้อยละความพรุนที่มากส่งผลให้ได้กำลังอัดที่น้อย ในทางกลับกันจะเห็นได้ว่าร้อยละความพรุนที่น้อยส่งผลให้ได้กำลังอัดที่มาก

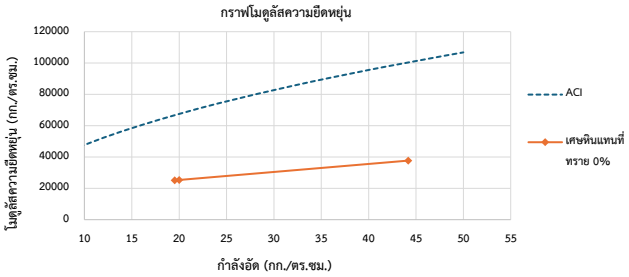
จึงสามารถสรุปได้ว่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) ส่งผลเล็กน้อยต่อกำลังอัด และความพรุน ของคอนกรีตมวลเบา

4.5 การทดสอบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบา

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น โดยวิธียิงคลื่น Ultrasonic โดยวิธีไม่ทำลาย

ก้อนตัวอย่าง	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c)	โมดูลัสความยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่อง (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสความยืดหยุ่นจากสมการ (กก./ตร.ซม.)	อัตราส่วนความแตกต่างของค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (%)
04CF0%	0.4	110,669	24,260	-
04CF50%		74,092	22,425	-46.32
04CF100%		78,557	25,086	-34.61
05CF0%	0.5	66,898	23,026	-
05CF50%		53,694	23,512	-7.97
05CF100%		51,718	25,386	-10.25
06CF0%	0.6	58,396	28,020	-
06CF50%		49,026	25,778	-11.86
06CF100%		53,625	37,719	-3.41

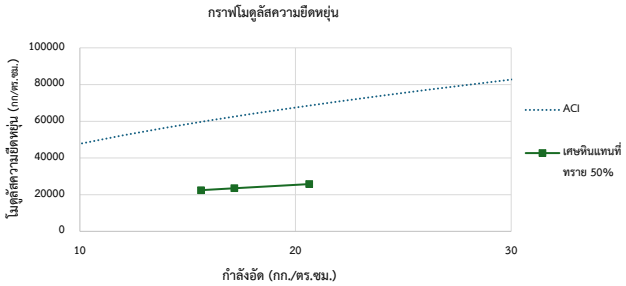
สรุปผลการทดสอบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นดังแสดงในตารางที่ 8 จะเห็นว่า ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 เมื่อเปรียบเทียบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับการใช้เศษหินแทนที่ทราย ที่ 0% เปรียบเทียบ 50% และ100% พบว่าที่ 50% มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นน้อยกว่า 46.32% และ100% มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นน้อยกว่า 34.61% ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 เมื่อเปรียบเทียบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับการใช้เศษหินแทนที่ทรายที่ 0% เปรียบเทียบ 50% และ 100% พบว่าที่ 50% มีความพรุนน้อยกว่า 7.974% และ100% มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นน้อยกว่า 10.25% ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 เมื่อเปรียบเทียบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับการใช้เศษหินแทนที่ทราย ที่ 0% เปรียบเทียบ50% และ100% พบว่า ที่ 50% ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นน้อยกว่า 11.86% และ100% มีความพรุนมากกว่า 3.41%



รูปที่ 17 ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของก้อนตัวอย่างทดสอบที่แทนทราย 0% ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ผลการทดสอบโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาดังแสดงในรูปที่ 17 จะเห็นได้ว่ากลุ่มก้อนตัวอย่างเป็นกราฟโมดูลัสความยืดหยุ่นของการใช้เศษหินแทนที่ทราย เท่ากับ 0% มีค่ากำลังอัดที่ 44 กก./ตร.ซม., 20 กก./ตร.ซม. และ20 กก./ตร.ซม.ของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 พบว่าค่าของก้อนตัวอย่างที่ทดสอบเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ ACI ของการใช้เศษหินแทนที่ทรายที่ 0% มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมีค่าน้อยกว่ามาตรฐาน

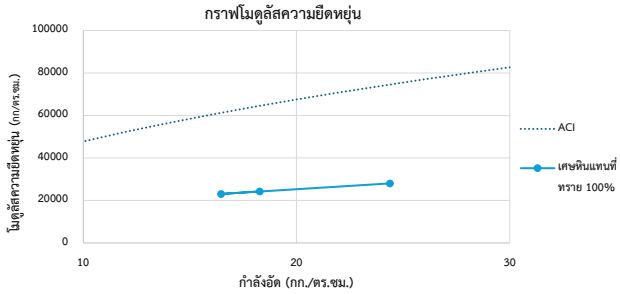
จึงสรุปได้ว่า มาตรฐาน ACI ไม่สามารถนำมาใช้กับตัวอย่างของคอนกรีตมวลเบานี้ได้



รูปที่ 18 ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของก้อนตัวอย่างทดสอบที่แทนทราย 50% ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ผลการทดสอบโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาดังแสดงในรูปที่ 18 จะเห็นได้ว่ากลุ่มก้อนตัวอย่างเป็นกราฟโมดูลัสความยืดหยุ่นของการใช้เศษหินแทนที่ทราย เท่ากับ 50% มีค่ากำลังอัดที่ 20.64 กก./ตร.ซม., 17.17 กก./ตร.ซม. และ15.62 กก./ตร.ซม. ของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) 0.4, 0.5 และ0.6 พบว่า ค่าของก้อนตัวอย่างที่ทดสอบเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ ACI ของการใช้เศษหินแทนที่ทรายที่ 50% มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมีค่าน้อยว่ามาตรฐาน

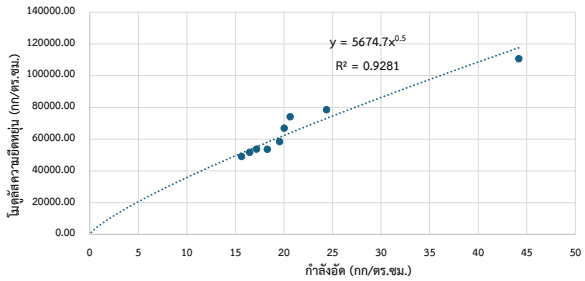
จึงสรุปได้ว่า มาตรฐาน ACI ไม่สามารถนำมาใช้กับตัวอย่างของคอนกรีตมวลเบานี้ได้



รูปที่ 19 ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของก้อนตัวอย่างทดสอบที่แทนทราย 100% ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ผลการทดสอบโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาดังแสดงในรูปที่ 19 จะเห็นได้ว่ากลุ่มก้อนตัวอย่างเป็นกราฟโมดูลัสความยืดหยุ่นของการใช้เศษหินแทนที่ทราย เท่ากับ 100% มีค่ากำลังอัดที่ 24 กก./ตร.ซม., 16 กก./ตร.ซม. และ18 กก./ตร.ซม. ของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 พบว่า ค่าของก้อนตัวอย่างที่ทดสอบเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ ACI ของการใช้เศษหินแทนที่ทรายที่ 100% มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมีค่าน้อยว่ามาตรฐาน

จึงสรุปได้ว่า มาตรฐาน ACI ไม่สามารถนำมาใช้กับตัวอย่างของคอนกรีตมวลเบานี้ได้



รูปที่ 20 ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของก้อนตัวอย่างทดสอบ ทั้ง 9 ตัวอย่าง การทดสอบที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ดังแสดงในรูปที่ 20 เป็นกราฟที่ใช้ Regression หาสมการของค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบา จะได้สมการดังนี้

$$E = 5675 f'c^{0.5}$$

เมื่อ

E ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)

$f'c$ = กำลังอัด (กก./ตร.ซม.)

จากสมาการ R-squared เท่ากับ 0.92

สมการคอนกรีตควบคุมมีดังนี้

เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติ จะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบามีค่าน้อยกว่าคอนกรีตปกติ ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้สมการที่หาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ ACI ได้ สมการมีดังนี้

$$E = 15100 f'c^{0.5}$$

เมื่อ

E = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)

$f'c$ = กำลังอัด (กก./ตร.ซม.)

เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม จะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบามีค่าน้อยกว่าคอนกรีตควบคุม ดังนั้นหากต้องการใช้สมการของ ACI เพื่อหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น อาจจะต้องปรับเปลี่ยนสมการเล็กน้อย เพื่อให้เข้ากับการหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบา

5. สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้เศษหินแทนที่ทรายที่ 0%, 50%, 100% สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

1. อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) มาก ส่งผลต่อความหนาแน่นจะเห็นได้ว่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 มีความหนาแน่นน้อยกว่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 และ 0.4 ตามลำดับ หากเศษหินแทนทรายในร้อยละที่มากขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นน้อยลง เมื่อเทียบกับกำลังอัด ความหนาแน่นมาก ส่งผลให้กำลังอัดมาก และเมื่อความหนาแน่นลดลง ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาน้อย

2. อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) มาก ส่งผลต่อการดูดซึมน้ำจะเห็นได้ว่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) 0.6 มีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) 05 และ 0.4 ตามลำดับ หากเศษหินแทนทรายในร้อยละที่มากขึ้น ส่งผลให้การดูดซึมน้ำมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อเทียบกับกำลังอัด การดูดซึมน้ำมาก ส่งผลให้กำลังอัดน้อย และเมื่อการดูดซึมน้ำลดลง ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาเพิ่มมากขึ้น

3. อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) มาก ส่งผลต่อความพรุนจะเห็นได้ว่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 มีค่าความพรุนมากกว่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 05 และ0.4 ตามลำดับ หากเศษหินแทนทรายในร้อยละที่มากขึ้น ส่งผลให้ความพรุนมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อเทียบกับกำลังอัด ความพรุนมาก ส่งผลให้กำลังอัดน้อย และเมื่อความพรุนลดลง ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาเพิ่มมากขึ้น

4. เมื่อโมดูลัสความยืดหยุ่น ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5, และ 0.6 เทียบกับสมการ ACI แล้วพบว่า ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นที่ได้จากการทดลองน้อยกว่าสมการ ACI จึงอาจทำการปรับสมการเพื่อให้โมดูลัสความยืดหยุ่น เข้าใกล้มาตรฐาน ACI ของโมดูลัสความยืดหยุ่นมากขึ้น

5.จากการทดสอบ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ ความพรุน และโมดูลัสความยืดหยุ่น พบว่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 ส่งผลให้ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ ความพรุน และโมดูลัสความ

ยืดหยุ่น แต่กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบามาก และเมื่อ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ ความพรุน โมดูลัสความยืดหยุ่นมากขึ้น และกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาน้อยลงตามลำดับ

5.2 วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

ควรเพิ่มก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา เพื่อทราบค่าสถิติของการศึกษาทางกายภาพของก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาได้มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนการวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัยพะเยา สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาจากนาย วรจักร จันทร์แว่น อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา ในการให้คำแนะนำ

รวมทั้ง นายนุกูล ปัญญาละตำแหน่งครู นายสุธนัย ท้าวรี ตำแหน่งผู้ปฏิบัติงานวิทยาศาสตร์ที่คอยให้คำชี้แนะในการใช้เครื่องทดสอบและห้องปฏิบัติการภาคโยธา ที่เอื้ออำอำนวยสถานที่และให้ยืมเครื่องทดสอบ คณะผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณ ณ โอกาสนี้อย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

[1] บันทิต ทองคำ, 2557. วิจัยศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งจากงานก่อสร้างมาทดแทนมวลรวมหยาบในการผสมคอนกรีต.การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติครั้งที่7, หน้า 169-174 **(กรณีบทความในเอกสารประกอบการประชุม)**

[2] สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์, 2560. วิจัยการใช้ซ้ำเศษเมลามีนโดยผสมในคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า, หน้า 1-116 **(กรณีรายงานวิจัย)**

[3] เฉลิมพล ไชยแก้ว, 2561. วิจัยคอนกรีตบดอัดที่ใช้หินฝุ่นแทนทราย โดยงานวิจัยนำหินฝุ่นมาทดแทนทรายในส่วนผสมคอนกรีตบดอัด. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาปีที่ 6 ฉบับที่ 2, หน้า 63- 71 **(กรณีบทความในวรสาร)**

[4] ทะยาน จงณรงค์ชัย, 2564. วิจัยการใช้กรวดหินแทนหินในงานคอนกรีต.การประชุมวิชาการเทคโนโลยีและวัฒนธรรมอาชีวศึกษาระดับชาติครั้งที่5, หน้า 458- 464. **(กรณีบทความในเอกสารประกอบการประชุม)**

[5] จักกรพันธ์ เชาว์มะเริง และ วสิษฐา รวมสุวรรณ, 2556 ศึกษาการนำเม็ดโฟมพลาสติกใช้แล้วเป็นส่วนผสมทดแทนมวลรวมหยาบ. **(กรณีรายงานผลการวิจัยและพัฒนา)**

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้เศษหิน

A study on the mechanical properties of lightweight concrete using crushed rock

เดชธนา ยาดี[1] นภัสสร เทพอินถา[2] และ อัจฉราพร อนันตสิทธิ์[3*]
วรจักร จันทร์แว่น[4] (อาจารย์ที่ปรึกษา)
[1,2,3] นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
[4] อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
**E-mail address:63103575@up.ac.th,63102068@up.ac.th,63103698@up.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้เศษหิน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้เศษหิน และน้ำยาโฟมสำหรับผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยศึกษาความสามารถในการรับกำลังอัด ความสามารถในการกำลังดัด และความสามารถในการรับกำลังดึง เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมโดยใช้เศษหินและน้ำยาโฟมสำหรับผลิตคอนกรีตมวลเบา และหาคุณสมบัติกำลังอัด กำลังดัด และกำลังรับแรงดึง จากการกำหนดให้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 นอกจากนี้ทำการแทนที่ทรายด้วยเศษหินในอัตราส่วนร้อยละ 0, 50 และ100 โดยปริมาตรของมวลรวมละเอียด ในตัวอย่างคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มม. สูง 300 มม. ซึ่งบ่มในน้ำผสมผงปูนขาวเป็นระยะเวลา 7, 14 และ28 วัน ผลการทดสอบที่ได้พบว่า คอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่กำลังอัดสูงสุดที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) 0.4 การแทนที่ทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่ร้อยละ0 ให้กำลังอัดสูงสุด และการแทนที่ทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่ร้อยละ50 และ100 ให้กำลังอัดที่ใกล้เคียงกัน แต่ต่ำกว่าการแทนที่ร้อยละ0 อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: กำลังอัด,กำลังดัด,กำลังดึง,เศษหิน

Abstract

This article presents a study on the mechanical properties of lightweight concrete using crushed stone. The objective was to investigate the mechanical properties of lightweight concrete using crushed stone and foaming agent for lightweight concrete production. The study examined the compressive strength, flexural strength, and tensile strength to determine the optimal mix ratio using crushed stone and foaming agent for lightweight concrete production and to find the compressive strength, flexural strength, and tensile strength. The water-to-cement ratio (W/C) was set at 0.4, 0.5, and 0.6. In addition, sand was replaced with crushed stone at a ratio of 0%, 50%, and 100% by volume of fine aggregate. The concrete specimens were 150 mm in diameter and 300 mm in height and were cured in water mixed with lime powder for 7, 14, and 28 days. The test results showed that the lightweight concrete that replaced river sand with crushed stone had the highest compressive strength at a water-to-cement ratio (W/C) of 0.4. Replacing river sand with 0% crushed stone resulted in the highest compressive strength, while replacing river sand with 50% and 100% crushed stone resulted in compressive strengths that were similar but significantly lower than the 0% replacement.

1. บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการเติบโตทางเศรษฐกิจ และสังคมทำให้เกิดสิ่งก่อสร้างจำพวกอาคาร บ้านเรือนขึ้นเป็นจำนวนมาก คอนกรีตเป็นวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างที่นิยมใช้กันอย่างมากในประเทศไทย ซึ่งหินที่ใช้ไปในแต่ละปีอยู่ที่ประมาณ 100 ตันต่อปี กระบวนการผลิตหินเริ่มจากการระเบิดหินจากภูเขาหินปูน ซึ่งหินที่ได้จากการระเบิดจะมีขนาดใหญ่ จึงต้องนำหินที่ได้ไปทำการแปรรูปขนาดหินให้มีขนาดที่เล็กโดยการโม่หิน การโม่หินจะทำให้มีเศษหินที่เหลือจากการโม่หินมีจำนวนที่มาก และไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ จึงนำเศษหินมาแทนปริมาตรมวลรวมละเอียดในการทำคอนกรีตมวลเบา

ปริมาณเศษหินมีจำนวนมาก และเป็นวัสดุเหลือใช้ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานวิศวกรรมโครงสร้างได้ ถ้าหากนำเศษหินมาใช้ในการแทนปริมาตรของทรายในส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา เพื่อให้มีกำลังอัดสูงสุด คอนกรีตมวลเบาเกิดจากการผสมสารเพิ่มฟองลงในปูนซีเมนต์ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วฟองอากาศเหล่านั้นจะกลายเป็นช่องว่างอากาศ ที่มีขนาดเล็กเมื่อแข็งตัวจะกลายเป็นคอนกรีตมวลเบาที่มีรูพรุน ซึ่งจะนำเศษหินที่เหลือจากการโม่หินแทนที่ทรายแม่น้ำ โดยที่จะเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้เศษหิน โดยจะศึกษาความสามารถในการรับกำลังอัด ความสามารถในการรับกำลังดัด และความสามารถในการรับ

กำลังดึง ศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม และเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลระหว่างคอนกรีตมวลเบาโดยใช้เศษหินและค่ามาตรฐาน

1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้เศษหิน และน้ำยาโฟมสำหรับผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยศึกษาความสามารถในการรับกำลังอัด ความสามารถในการกำลังดัด และความสามารถในการรับกำลังดึง
2. เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการผสมคอนกรีตมวลเบา โดยใช้เศษหินแทนที่ปริมาตรมวลรวมละเอียดและน้ำยาโฟมสำหรับผลิตคอนกรีตมวลเบา
3. เพื่อเปรียบเทียบกำลังอัด กำลังดัด และกำลังรับรับแรงดึงกับค่ามาตรฐาน

1.3. ขอบเขตของงานวิจัย

1. ปูนซีเมนต์ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน ASTM C150
2. เศษหินที่เหลือจากการผลิตปูนซีเมนต์และทรายแม่น้ำ โดยเลือกใช้ละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 หรือมีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร และหินปูนย่อยที่มีขนาดไม่เกิน 20 มิลลิเมตร
3. ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) ที่ 0.4, 0.5 และ 0.6 อัตราส่วนผสมของเศษหินในอัตราส่วนที่ร้อยละ 0, 50 และ 100
4. นำคอนกรีตมวลเบาที่ใช้เศษหินและน้ำยาโฟมสำหรับทำคอนกรีตมวลเบาที่อัตราส่วน 1:20 มาทำการทดสอบ และเปรียบเทียบกับมาตรฐาน
5. ทดสอบคุณสมบัติ 3 ด้าน ได้แก่ ทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัด ทดสอบความสามารถในการรับกำลังแรงดัดและความสามารถในการรับกำลังดึงของก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา น้ำยาโฟมสำหรับผลิตคอนกรีตมวลเบาในอัตราส่วนที่ 1:20 โดยน้ำหนักที่อายุการบ่ม 7, 14 และ28 วัน ตามลำดับ

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาที่นำเศษหินมาใช้ทดแทนทราย
2. ทราบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการผลิตคอนกรีตมวลเบาโดยใช้เศษหินและน้ำยาโฟมสำหรับผลิตคอนกรีตมวลเบา
3. ทราบคุณภาพของคอนกรีตมวลเบาหลังจากการใช้เศษหินแทนที่ทรายสำหรับมวลรวมละเอียด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

คอนกรีต

เป็นวัสดุผสมที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ปูนซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ โดยอาจจะมีสารเคมีเติมเพิ่มเข้าไปสำหรับคุณสมบัติด้านอื่นๆ เมื่อผสมเสร็จคอนกรีตจะมีการแข็งตัวอย่างช้าๆ ซึ่งน้ำและซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาทางเคมีในลักษณะที่เรียกว่า การไอเดรชัน โดยที่ซีเมนต์จะเริ่มจับตัวกับวัสดุอื่นและเกิดการแข็งตัว และสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น โดยประมาณหลังจากแข็งตัวแล้ว 28 วัน ความแข็งแรงจะคงที่

คอนกรีตมวลเบา

เป็นวัสดุที่นำมาใช้ก่อ และเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนได้มากกว่าวัสดุก่อชนิดอื่นที่มีมา โดยตัวของวัสดุเองมีส่วนผสมมาจาก ทราย ซีเมนต์ ปูนขาว น้ำ ยิปซั่ม และผงอลูมิเนียมผสมรวมกัน แต่ส่วนที่สำคัญที่สุดก็คือฟองอากาศเล็กๆ เป็นรูพรุนไม่ต่อเนื่องที่อยู่ในเนื้อวัสดุมากประมาณ 75% ทำให้น้ำหนักเบา ซึ่งผลของความเบาจะช่วยให้ประหยัดโครงสร้าง ฟองอากาศยังเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี

ประเภทของคอนกรีตมวลเบาแบ่งตามกระบวนการผลิตได้ 3 ประเภท

1. คอนกรีตมวลเบาชนิดทำฉนวน มีความหนาแน่น ตั้งแต่ 315-1,100 Kg/m^3 และมีกำลังอัดประลัยระหว่าง 7-70 Kg/m^2
2. คอนกรีตมวลเบาชนิดใช้เป็นโครงสร้าง มีความหนาแน่น ตั้งแต่ 1,400-1,800 Kg/m^3 และมีกำลังอัดประลัยระหว่าง 7-70 Kg/m^2
3. คอนกรีตมวลเบาชนิดกึ่งเบามีความหนาแน่น ตั้งแต่ 1,800-2,050 Kg/m^3 และมีกำลังอัดประลัยไม่น้อยกว่า 120 Kg/m^2

การหาค่ากำลังอัดคอนกรีต สามารถทำได้โดยการนำชิ้นตัวอย่างคอนกรีตที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. มาออกแรงกดด้วยเครื่องทดสอบจนเกิดการวิบัติ ซึ่งจะได้ค่าแรงกดออกมาเมื่อนำไปหารด้วยขนาดหน้าตัดของชิ้นตัวอย่างก็จะได้ค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีต ทั้งนี้ค่า Strength จะถูกระบุในแบบก่อสร้างโดยวิศวกรโครงสร้าง โดยอาคารแต่ละประเภทจะมีการกำหนดค่า Strength แตกต่างกันไปตามประเภทของอาคารและลักษณะการใช้งาน

กำลังดัด (Flexural tensile strength)

$$f_b = \frac{PL}{bd^2} \qquad (1)$$

f_b = โมดูลัสการแตกร้าว (กก./ตร.ซม.)

P = น้ำหนักกดสูงสุด (กก.)

L = ช่วงความยาวคาน (ซม.)

b, d = ความกว้าง, ความลึกของคาน (ซม.)

กำลังดึงผ่าซีก (splitting tensile strength)

$$f_s = \frac{2P}{\pi dL} \qquad (2)$$

f_s = Splitting Strength

P = น้ำหนักกดสูงสุด (กก.)

L = ความยาวของก้อนตัวอย่างทรงกระบอก (ซม.)

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่าง (ซม.)

สมการกำลังรับแรงดัด (Flexural tensile strength) จากมาตรฐาน ACI 318-99 [1]

$$f_r = 0.62\sqrt{f'c} \qquad (3)$$

f_r = ค่ากำลังรับแรงดัด (กก./ตร.ซม.)

$f'c$ = ค่ากำลังอัด (กก./ตร.ซม.)

สมการกำลังรับแรงดึง (splitting tensile strength) จากมาตรฐาน ACI 318-99 [1]

$$f_{ps} = 0.56\sqrt{f'c} \qquad (4)$$

f_r = ค่ากำลังรับแรงดึง (กก./ตร.ซม.)

$f'c$ = ค่ากำลังอัด (กก./ตร.ซม.)

2.2 *งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง*

ดร.วีระศักดิ์ ละอองจันทร์ (2553) [1] ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาบล็อกแก้วคอนกรีตมวลเบา โดยการผสมฝุ่นจากเตาเผาปูนขาว-ผลพลอยได้จากกากอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ จากการทดสอบหาคุณสมบัติสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) JIS R 2618 และค่าการทนไฟพบว่าเมื่อผสมปริมาณกากปูนขาวร้อยละ 10 จะมีกำลังรับแรงอัดที่สุด ส่วนค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณกากปูนขาว และพบว่าค่าการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณกากปูนขาวที่เพิ่มขึ้น จากการทดสอบต่างๆ จะมีค่าเทียบเท่ากับมาตรฐานตามมอก.1505–2541 ชั้นคุณภาพที่ 2 รวมทั้งการเสริมบล็อกแก้วในส่วนร้อยละ 75 จะเป็นการเสริมที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีความเป็นฉนวนของเนื้อคอนกรีตมวลเบารวมอยู่ด้วย และตรงตามมาตรฐานแสงส่งผ่านบล็อกแก้ว

นายประชุม คำพุฒ (2553) [2] ศึกษาเกี่ยวกับคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางธรรมชาติ เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพาราและเสริมยาพารา โดยทำการทดสอบ ความหนาแน่น, การดูดซึมน้ำ และความต้านทานแรงอัด ใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบาที่ไม่เสริมแผนยางพารามีค่าน้อยกว่า และสามารถลดอุณภูมิภายในห้องทดสอบได้ต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาที่ไม่เสริมแผนยาพาอยู่ประมาณ 1 องศาเซลเซียส

นางสาวอุมาพร จงพลสิทธิ์ (2556) [3] ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวา เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำอิฐมวลเบา และประสิทธิภาพของอิฐมวลเบาที่มีขี้เลื่อยและผักตบชวา โดยการศึกษาสมบัติเชิงกลจากความต้านแรงอัด และสมบัติทางกายภาพจากอัตราการดูดซึมน้ำ อัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อย และผักตบชวาในสัดส่วน 5 : 5 โดยมีทรายละเอียดผสมในสัดส่วน 40 ได้อิฐมวลเบาที่มีประสิทธิ์ภาพดีที่สุด โดยมีสมบัติเชิงกลค่าความต้านแรงอัดสูงที่สุด 1.63 N/mm^2 ใกล้เคียงค่าคุณภาพอิฐมวลเบา ชั้นคุณภาพ 2 มีค่าความต้านแรงอัด 2 N/mm^2 และสมบัติทางกายภาพจากอัตราการดูดซึมน้ำต่ำสุด 514.29 kg/m3 ใกล้เคียงค่าคุณภาพอิฐมวลเบา อัตราการดูดซึมน้ำ 500 kg/m^3 สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ผลที่ได้รับในเชิงอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมด้วยการนำผักตบชวาและขี้เลื่อยมาเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ.

นายอภิวิชญ์ พูลสง (2556) [4] ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาผสมผงฝุ่นหินจากโรงโม่หิน โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผงฝุ่นหินปูนจากโรงโม่มาแทนที่ปูนซีเมนต์โดยกำหนด 3 อัตรา โดยศึกษาถึงคุณสมบัติในด้านการรับกำลังแรงอัด และอัตราการดูดซึมน้ำผลการวิจัยพบว่าการแทนที่ผงฝุ่นหินในปูนซีเมนต์ทำให้พบว่าค่า กำลังรับแรงอัดจะแปรผันตามค่าความหนาแน่น เมื่อความหนาแน่นมีค่าลดลงค่ากำลังรับแรงอัดก็จะมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน ในการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมผงฝุ่นหิน ในอัตราส่วนฝุ่นหินต่อปูนซีเมนต์ 0:100 10:90 20:80 และ 30:70 พบว่ากำลังรับแรงอัดแปรผกผันกับการแทนที่ของฝุ่นหินโดยการแทนที่ฝุ่นหินเพิ่มมากขึ้นกำลังรับแรงอัดลดลง และพบว่าค่าอัตราการดูดซึม (Water Absorption) จะแปรผันตามค่าความหนาแน่น เมื่อความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าอัตราการดูดซึมก็จะมีค่า ลดลงเนื่องจากตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่นน้อยจะมีช่องว่างอากาศมากกว่า ทำให้มีการดูดซึมได้ดีกว่าตัวอย่างที่มีความหนาแน่นมาก โดยพบว่าค่าอัตราการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่าง 4% - 18%

คำสำคัญ : คอนกรีตมวลเบา ฝุ่นหิน ความต่านทานแรงอัด การดูดซึมน้ำ

นางสาวสุกัญญา ห่อช่วย (2559) [5] ศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพของแผ่นคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมจากวัสดุโฟมอีพีเอส ศึกษาอัตราส่วนผสม การกระจายตัวของโฟมที่เหมาะสมต่อการผสมคอนกรีตมวลรวมเบาสำหรับนำมาทำแผ่นคอนกรีตมวลเบาจากวัสดุโฟสอีพีเอส โดยใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม. และ 5 มม. แทนที่ทรายในคอนกรีตปริมาณต่างๆ ทำให้แผ่นคอนกรีตมาตรฐานทั่วไป ร้อยละการแทนที่ทรายด้วยโฟม เท่ากับร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ100 โดยปริมาตรของทราย คุณสมบัติที่ทดสอบได้แก่กำลังอัดและหน่อยน้ำหนักของคอนกรีต หาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับนำไปผลิตเป็นแผ่นคอนกรีตมวลเบาจากวัสดุโฟมอีพีเอสเก่า ผลการทดสอบตัวอย่างพบว่า กำลังอัดและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลงตาม

ปริมาณการแทนที่โฟมเพิ่มขึ้นทั้งสองขนาด เมื่อพิจารณาค่ากำลังอัดและหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ พบว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับนำไปผลิตแผ่นคอนกรีตมวลเบาจากวัสดุโฟมอีพีเอส คือการแทนที่ทรายด้วยโฟมที่ร้อยละ 75 โดยปริมาตร

Hjh Kamsiah Mohd.Ismail [6] คอนกรีตมวลเบาแบบโฟมไม่เหมาะที่จะใช้เป็นแบริ่งรับน้ำหนัก ผนังเนื่องจากกำลังรับแรงอัดน้อยกว่าที่แนะนำถึง 27% อย่างไรก็ตาม กำลังรับแรงอัดได้รับการยอมรับให้เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักที่ไม่รับน้ำหนัก

3. ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1. การเตรียมวัสดุ

1. การเตรียมเศษหิน

- ทำการร่อนฝุ่นออกจากเศษหินโดยการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 แล้วนำไปล้างเพื่อทำความสะอาดฝุ่น

2. การเตรียมหิน

- ทำการร่อยฝุ่นเศษฝุ่นออกจากหินผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ให้ได้มากที่สุด

3. เตรียมปูนซีเมนต์

- ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์ ประเภทที่ 1 สูตร **Hybrid**

4. เตรียมแบบหล่อรูปทรงกระบอกและแบบคาน

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.
- คานขนาด กว้าง 15 ซม. ยาว 50 ซม. และสูง 15 ซม.

3.2. การเตรียมตัวอย่างทดสอบคอนกรีต

1. นำเศษหิน ทราย และหินใส่เครื่องผสมคอรกรีตเปิดเครื่องผสมกันจนกว่ามวลรวมจะเป็นเนื้อเดียวกัน

2. ใส่น้ำลงไปในเครื่องผสม 7-8**%(**ปริมาณน้ำในความต้องการของมวลรวม**)** ใส่ปูนซีเมนต์ลงในเครื่องผสมเปิดเครื่องผสมจนกว่าปูน และมวลรวมจะเป็นเนื้อเดียวกัน

3. ใส่น้ำลงไปในโม่ 74-75**%** เปิดเครื่องผสมจนกว่าปูนและมวลรวมจะเป็นเนื้อเดียวกัน

4. ใส่น้ำลงไปในเครื่องผสม 7-8**%** เมื่อผสมน้ำลงไปในเครื่องผสมแล้วให้เปิดเครื่องผสมทิ้งไว้ 3 นาที

5. ใส่น้ำยาโฟมที่ผสมกับน้ำ 10**%** โดยใช้เครื่องผลิตโฟมและจับเวลา 2 นาทีหลังจากเริ่มใส่โฟม

6. เมื่อครบระยะเวลา นำคอนกรีตไปเทในแบบที่เตรียมไว้ ทิ้งไว้ 20-24 ชั่วโมง

7. ถอดแบบก้อนตัวอย่างคอนกรีต จากนั้นทำการบ่มน้ำผสมผงปูนใส เป็นระยะเวลา7 14 และ28 วัน

8. นำก้อนตัวอย่างมาทดสอบกำลังอัด กำลังรับแรงดัด และกำลังรับแรงดึง



รูปที่ 1 การทดสอบกำลังอัด



รูปที่ 2 การทดสอบกำลังรับแรงดัด



รูปที่ 3 การทดสอบกำลังรับแรงดึง

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมของคอนกรีต

ตัวอย่าง	สัดส่วนผสมของคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)					
	W/C	ปูนซีเมนต์	น้ำ	หิน	ทราย	น้ำหนักรวม
CC04	0.4	500	200	919	666	2285
CC05	0.5	400	200	919	750	2269
CC06	0.6	334	200	919	806	2256

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมของคอนกรีต (ใส่น้ำยาโฟม)

ตัวอย่าง	สัดส่วนผสมของคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)						
	W/C	ปูนซีเมนต์	น้ำ	หิน	เศษหิน	ทราย	น้ำหนักรวม
04CF0	0.4	500	200	919	-	666	2285
04CF50		500	200	919	179	333	2131
04CF100		500	200	919	715	-	2334
05CF0	0.5	400	200	919	-	750	2269
05CF50		400	200	919	403	375	2297
05CF100		400	200	919	805	-	2324
06CF0	0.6	334	200	919	-	806	2259
06CF50		334	200	919	434	403	2290
06CF100		334	200	919	865	-	2318
ผสมน้ำยาโฟม	1:20						

4. ผลการศึกษา

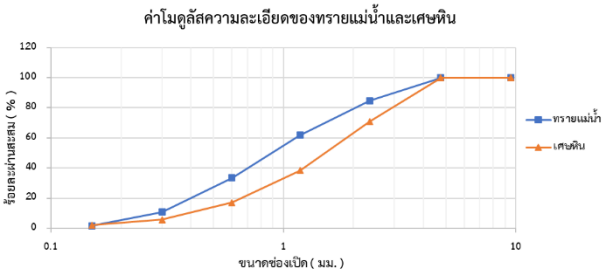
หัวข้อนี้จะอธิบายถึงผลการทดลองคุณสมบัติทางวิศวกรรมของทรายและเศษหิน โดยมีการบันทึกค่าต่าง ๆ ได้แก่ คุณสมบัติพื้นฐานของมวลรวม กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต กำลังรับแรงดึงผ่าซีกและโมดูลัสการแตกร้าว

4.1 ผลการศึกษาทรายและเศษหิน

เพื่อให้ทราบถึงค่าต่าง ๆ ของทรายและเศษหิน จึงได้ทำการทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานของมวลรวมได้ค่าดังนี้

ตารางที่ 3 คุณสมบัติพื้นฐานของมวลรวม

คุณสมบัติ	มาตรฐานทดสอบ	เศษหิน	ทราย
โมดูลัสความละเอียด	ASTM C33 11	3.78	3.06
ความถ่วงจำเพาะ	ASTM C127 12	2.78	2.59
หน่วยน้ำหนักแห้ง (กก./ลบ.ม.)	ASTM C33 11	1579	1660
ดูดซึมน้ำ (%)	ASTM C127 12	0.71	0.69



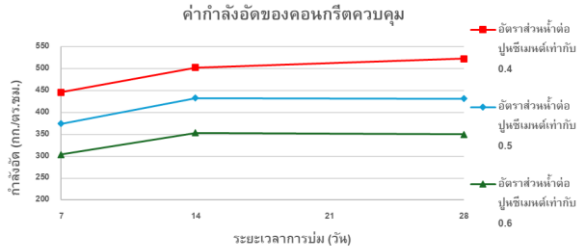
รูปที่ 4 กราฟแสดงค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายแม่น้ำและเศษหิน

จากผลทดสอบค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายแม่น้ำกับเศษหิน ดังแสดงใน**รูปที่ 4** แสดงให้เห็นว่าทรายแม่น้ำมีร้อยละผ่านสะสมน้อยกว่าเศษหิน จากกราฟทำให้เห็นว่าเศษหินและทรายแม่น้ำมีขนาดใกล้เคียงกัน สามารถนำเศษหินมาแทนที่ทรายแม่น้ำ จึงทำการทดลองนำเศษหินมาแทนที่โดยปริมาตรของทรายแม่น้ำ

4.2 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตควบคุม

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตควบคุม

ก้อนตัวอย่าง	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C)	ค่ากำลังอัดของคอนกรีตควบคุม กก./ตร.ซม.		
		7 (วัน)	14 (วัน)	28 (วัน)
CC04	0.4	446.0	503.0	523.0
CC05	0.5	374.1	433.0	431.5
CC06	0.6	302.2	353.5	350.2



รูปที่ 5 กราฟแสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตควบคุม

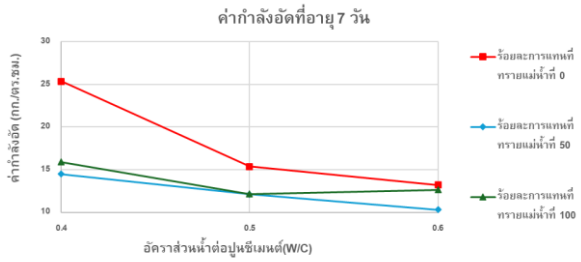
ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตควบคุม **ดังแสดงในรูป 5** จะเห็นว่ากลุ่มตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 446, 503 และ523 กก./ตร.ซม. สำหรับระยะเวลาในการบ่มที่ 7, 14 และ28 วัน ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 374, 433 และ432 กก./ตร.ซม. สำหรับระยะเวลาในการบ่มที่ 7, 14 และ28 วัน ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 302, 353 และ350 กก./ตร.ซม. สำหรับระยะเวลาในการบ่มที่ 7, 14 และ28 วัน ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) กับระยะเวลาการบ่ม พบว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 มีค่ากำลังอัดมากที่สุดในทุกช่วงระยะเวลาในการบ่ม

4.3 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่อายุ 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

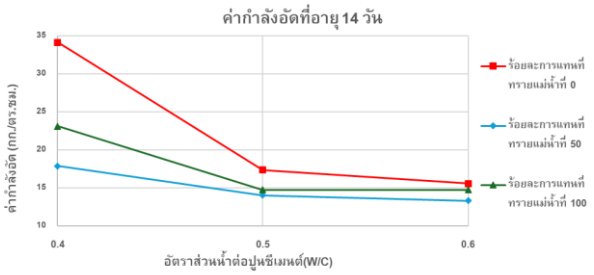
ก้อนตัวอย่าง	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C)	ค่ากำลังอัดของคอนกรีต กก./ตร.ซม.			ร้อยละความแตกต่างของค่ากำลังอัด(28 วัน)
		7 (วัน)	14 (วัน)	28 (วัน)	
04CF0%	0.4	25	34	44	-
04CF50%		14	18	21	-109.5
04CF100%		16	23	24	-83.3
05CF0%	0.5	15	17	20	-
05CF50%		12	14	17	-17.6
05CF100%		12	15	16	-25
06CF0%	0.6	13	16	20	-
06CF50%		10	13	16	-25
06CF100%		13	15	18	-11.1

สรุปผลการทดสอบกำลังอัดดังแสดงในตารางที่ 5 เมื่อคิดร้อยละความแตกต่างของค่ากำลังอัดคอนกรีตมวลเบาที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วันจะเห็นว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรการแทนที่ทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่ร้อยละ 0 พบว่าที่ร้อยละ 50 และ100 มีร้อยละความแตกต่างของค่ากำลังอัดเท่ากับ 52.3 และ45.5 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรการแทนที่ทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่ร้อยละ 0 พบว่าที่ร้อยละ 50 และร้อยละ100 มีร้อยละความแตกต่างของค่ากำลังอัดเท่ากับ 15 และ 20 ตามลำดับ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรการแทนที่ทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่ร้อยละ 0 พบว่าที่ร้อยละ 50 และ100 มีร้อยละความแตกต่างของค่ากำลังอัดเท่ากับ 20 และ10 ตามลำดับ



รูปที่ 6 กราฟแสดงค่ากำลังอัดที่อายุ 7 วัน โดยเปรียบเทียบกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C)

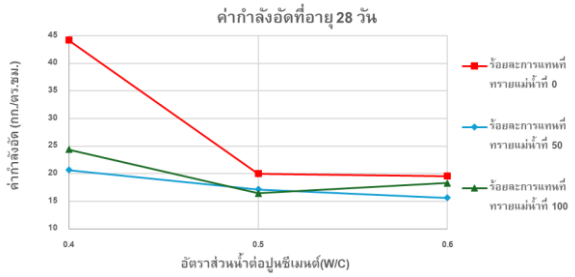
ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ระยะเวลาการบ่มที่อายุ 7 วัน **ดังแสดงในรูปที่ 6** จะเห็นได้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทรายแม่น้ำร้อยละ 0 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 25, 15 และ13 กก./ตร.ซม. สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทรายแม่น้ำร้อยละ 50 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 14, 12 และ10 กก./ตร.ซม. สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทรายแม่น้ำร้อยละ 100 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 15, 12 และ13 กก./ตร.ซม. สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) สำหรับปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่ร้อยละ 0, 50 และ100 พบว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 มีค่ากำลังอัดมากที่สุด



รูปที่ 7 กราฟแสดงค่ากำลังอัดที่อายุ 14 วัน โดยเปรียบเทียบกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C)

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ระยะเวลาการบ่มที่อายุ 14 วัน **ดังแสดงในรูปที่ 7** จะเห็นได้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทรายแม่น้ำร้อยละ 0 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 34, 17 และ16 กก./ตร.ซม. สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทรายแม่น้ำร้อยละ 50 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 18, 13 และ13 กก./ตร.ซม. สำหรับอัตราส่วน

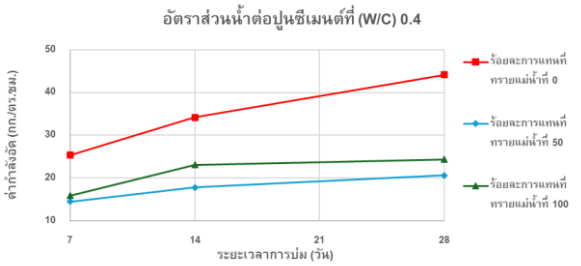
น้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทรายแม่น้ำร้อยละ 100 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 23, 15 และ15 กก./ตร.ซม. สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) สำหรับปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่ร้อยละ 0, 50 และ100 พบว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 มีค่ากำลังอัดมากที่สุด



รูปที่ 8 กราฟแสดงค่ากำลังอัดที่อายุ 28 วัน โดยเปรียบเทียบกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C)

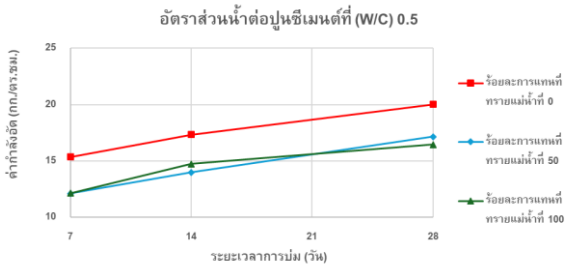
ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ระยะเวลาการบ่มที่อายุ 28 วัน **ดังแสดงในรูปที่ 8** จะเห็นได้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทรายแม่น้ำร้อยละ 0 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 44, 20 และ19 กก./ตร.ซม. สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทรายแม่น้ำร้อยละ 50 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 21, 17 และ16 กก./ตร.ซม. สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทรายแม่น้ำร้อยละ 100 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 24, 16 และ18 กก./ตร.ซม. สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) สำหรับปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่ร้อยละ 0, 50 และ100 พบว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 มีค่ากำลังอัดมากที่สุด

4.4 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่างๆ



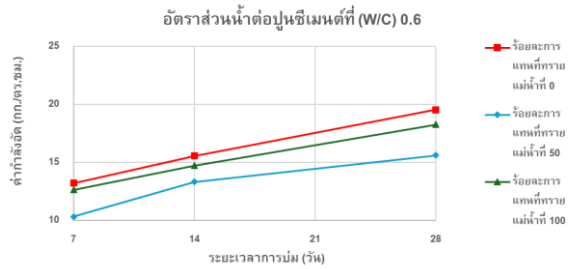
รูปที่ 9 กราฟแสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 **ดังแสดงในรูปที่ 6** จะเห็นได้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทรายแม่น้ำร้อยละ 0 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 25, 34 และ44 กก./ตร.ซม. สำหรับระยะเวลาการบ่มที่ 7, 14 และ28 วัน ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทรายแม่น้ำร้อยละ 50 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 14, 18 และ21 กก./ตร.ซม. สำหรับระยะเวลาการบ่มที่ 7, 14 และ28 วัน ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทรายแม่น้ำร้อยละ 100 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 16, 23 และ24 กก./ตร.ซม. สำหรับระยะเวลาการบ่มที่ 7, 14 และ28 วัน ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหิน สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 พบว่าปริมาณการแทนที่ทรายแม่น้ำด้วยเศษร้อยละ 0 ทำให้ค่ากำลังอัดมากที่สุด



รูปที่ 10 กราฟแสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5

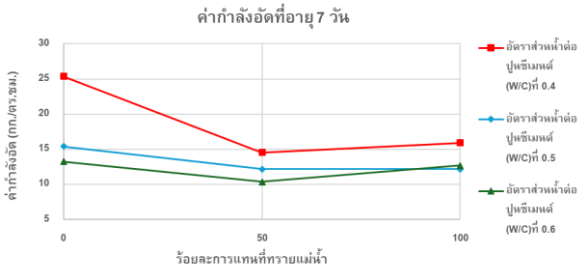
ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 **ดังแสดงในรูปที่ 10** จะเห็นได้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทรายแม่น้ำร้อยละ 0 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 15, 17 และ20 กก./ตร.ซม. สำหรับระยะเวลาการบ่มที่ 7, 14 และ28 วัน ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทรายแม่น้ำร้อยละ 50 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 12, 14 และ17 กก./ตร.ซม. สำหรับระยะเวลาการบ่มที่ 7, 14 และ28 วัน ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทรายแม่น้ำร้อยละ 100 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 12, 14 และ17 กก./ตร.ซม. สำหรับระยะเวลาการบ่มที่ 7, 14 และ28 วัน ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหิน สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 พบว่าปริมาณการแทนที่ทรายแม่น้ำด้วยเศษร้อยละ 0 ทำให้ค่ากำลังอัดมากที่สุด



รูปที่ 11 กราฟแสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6

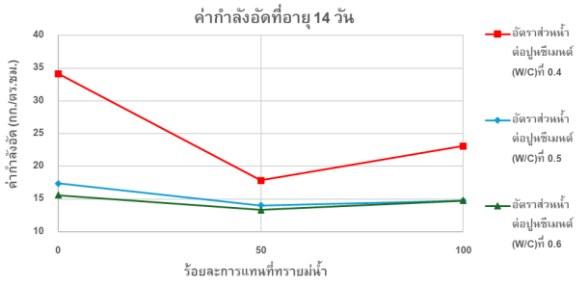
ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 **ดังแสดงในรูปที่ 11** จะเห็นได้กลุ่ม

ตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทรายแม่น้ำร้อยละ 0 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 13, 16 และ 20 กก./ตร.ซม. สำหรับระยะเวลาการบ่มที่ 7, 14 และ28 วัน ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทรายแม่น้ำร้อยละ 50 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 10, 13 และ16 กก./ตร.ซม. สำหรับระยะเวลาการบ่มที่ 7, 14 และ28 วัน ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เศษหินแทนที่ทรายแม่น้ำร้อยละ 100 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 13, 15 และ18 กก./ตร.ซม. สำหรับระยะเวลาการบ่มที่ 7, 14 และ28 วัน ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหิน สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 พบว่าปริมาณการแทนที่ทรายแม่น้ำด้วยเศษร้อยละ 0 ทำให้ค่ากำลังอัดมากที่สุด



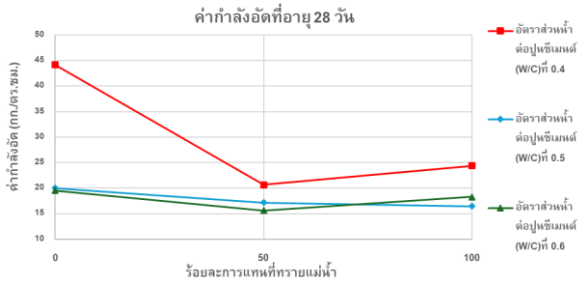
รูปที่ 12 กราฟแสดงค่ากำลังอัดที่อายุ 7 วัน โดยเปรียบเทียบร้อยละการแทนที่ทรายแม่น้ำ

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ระยะเวลาการบ่มที่อายุ 7 วัน **ดังแสดงในรูปที่ 12** จะเห็นได้กลุ่มตัวอย่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 25, 14 และ16 กก./ตร.ซม. สำหรับปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่ร้อยละ 0, 50 และ100 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 15, 12 และ12 กก./ตร.ซม. สำหรับปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่ร้อยละ 0, 50 และ100 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 13, 10 และ13 กก./ตร.ซม. สำหรับปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่ร้อยละ 0, 50 และ100 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) กับปริมาณปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหิน พบว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 ทำให้ค่ากำลังอัดคอนกรีตมวลเบามากที่สุด



รูปที่ 13 กราฟแสดงค่ากำลังอัดที่อายุ 14 วัน โดยเปรียบเทียบร้อยละการแทนที่ทรายแม่น้ำ

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ระยะเวลาการบ่มที่อายุ 14 วัน **ดังแสดงในรูปที่ 13** จะเห็นได้กลุ่มตัวอย่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 34, 18 และ23 กก./ตร.ซม. สำหรับปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่ร้อยละ 0, 50 และ100 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 17, 14 และ15 กก./ตร.ซม. สำหรับปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่ร้อยละ 0, 50 และ100 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 16, 13 และ15 กก./ตร.ซม. สำหรับปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่ร้อยละ 0, 50 และ100 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) กับปริมาณปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหิน พบว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 ทำให้ค่ากำลังอัดคอนกรีตมวลเบามากที่สุด

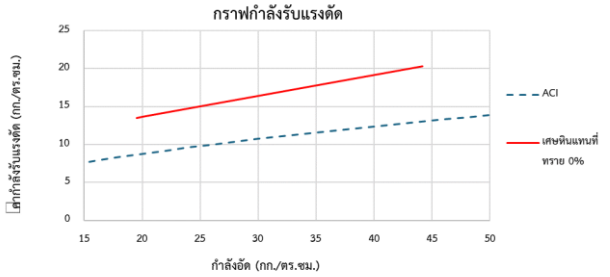


รูปที่ 14 กราฟแสดงค่ากำลังอัดที่อายุ 28 วัน โดยเปรียบเทียบร้อยละการแทนที่ทรายแม่น้ำ

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ระยะเวลาการบ่มที่อายุ 28 วัน **ดังแสดงในรูปที่ 14** จะเห็นได้กลุ่มตัวอย่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 44, 21 และ24 กก./ตร.ซม. สำหรับปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่ร้อยละ 0, 50 และ100 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 20, 17 และ 16 กก./ตร.ซม. สำหรับปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่ร้อยละ 0, 50 และ100 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.6 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 20, 16 และ18 กก./ตร.ซม. สำหรับปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่ร้อยละ 0, 50 และ100 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) กับปริมาณปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหิน พบว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 ทำให้ค่ากำลังอัดคอนกรีตมวลเบามากที่สุด

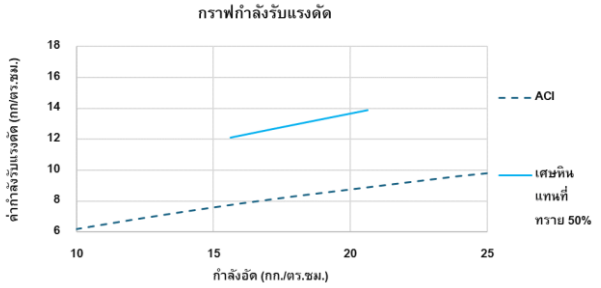
4.5 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงดัด

ก้อนตัวอย่าง	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C)	ค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีต กก./ตร.ซม.	ร้อยละความแตกต่างของค่ากำลังอัด(28 วัน)
04CF0%	0.4	16	-
04CF50%		11	-50.4
04CF100%		14	-15.3
05CF0%	0.5	14	-
05CF50%		10	-44.6
05CF100%		10	-37.5
06CF0%	0.6	13	-
06CF50%		11	-17.0
06CF100%		11	-24.9



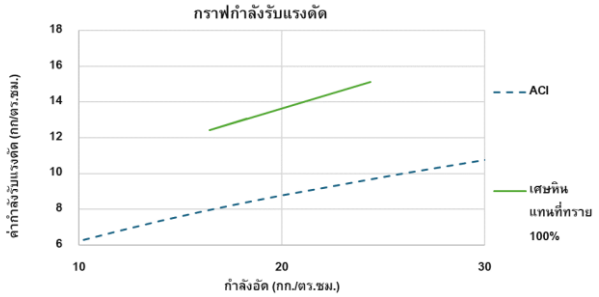
รูปที่ 15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงดัดมาตรฐาน ACI ที่ร้อยละการแทนเศษหินที่ร้อยละ 0

ผลการทดสอบค่ากำลังดัดของคอนกรีตมวลเบา **ดังแสดงในรูปที่ 15** จะเห็นได้กลุ่มตัวอย่างกราฟกำลังรับแรงดัดปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินร้อยละ 0 มีค่ากำลังอัดที่ 44, 20 และ20 กก./ตร.ซม. ของอัตราส่วนต่อปูนซีเมนต์ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ พบว่าค่าของคอนกรีตตัวอย่างที่ทดสอบเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ACI ของปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินร้อยละ 0 มีค่ากำลังรับแรงดัดน้อยกว่ามาตรฐาน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหากต้องการใช้ค่ามาตรฐาน ACI หาค่ากำลังรับแรงดัดอาจต้องมีการปรับเปลี่ยนค่ามาตรฐานเพื่อรองรับกับค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลเบา



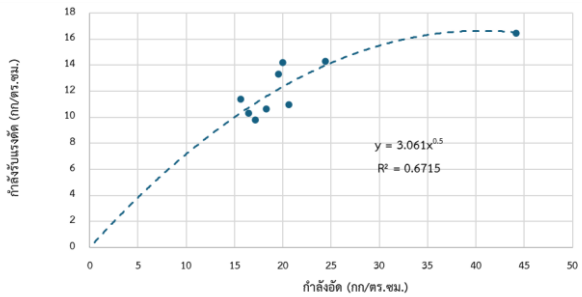
รูปที่ 16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงดัดมาตรฐาน ACI ที่ร้อยละการแทนเศษหินที่ร้อยละ 50

ผลการทดสอบค่ากำลังดัดของคอนกรีตมวลเบา **ดังแสดงในรูปที่ 16** จะเห็นได้กลุ่มตัวอย่างกราฟกำลังรับแรงดัดปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินร้อยละ 50 มีค่ากำลังอัดที่ 21, 17 และ16 กก./ตร.ซม. ของอัตราส่วนต่อปูนซีเมนต์ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ พบว่าค่าของคอนกรีตตัวอย่างที่ทดสอบเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ACI ของปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินร้อยละ 50 มีค่ากำลังรับแรงดัดน้อยกว่ามาตรฐาน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหากต้องการใช้ค่ามาตรฐาน ACI หาค่ากำลังรับแรงดัดอาจต้องมีการปรับเปลี่ยนค่ามาตรฐานเพื่อรองรับกับค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลเบา



รูปที่ 17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงดัดมาตรฐาน ACI ที่ร้อยละการแทนเศษหินที่ร้อยละ 100

ผลการทดสอบค่ากำลังดัดของคอนกรีตมวลเบา **ดังแสดงในรูปที่ 17** จะเห็นได้กลุ่มตัวอย่างเป็นกราฟกำลังรับแรงดัดปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินร้อยละ 100 มีค่ากำลังอัดที่ 24, 16 และ 18 กก./ตร.ซม. ของอัตราส่วนต่อปูนซีเมนต์ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ พบว่าค่าของคอนกรีตตัวอย่างที่ทดสอบเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ACI ของปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินร้อยละ 100 มีค่ากำลังรับแรงดัดน้อยกว่ามาตรฐาน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหากต้องการใช้ค่ามาตรฐาน ACI หาค่ากำลังรับแรงดัดอาจต้องมีการปรับเปลี่ยนค่ามาตรฐานเพื่อรองรับกับค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลเบา



รูปที่ 18 กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงดัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาทั้ง 9 ก้อน ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ดังแสดงในรูปที่ 18 เป็นกราฟที่ใช้ Regression มาหาสมการของค่ากำลังรับแรงดัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา จะได้สมการดังนี้

$$f_r = 3.0608\sqrt{f'c}$$

f_r = ค่ากำลังรับแรงดัด
$f'c$ = ค่ากำลังอัด

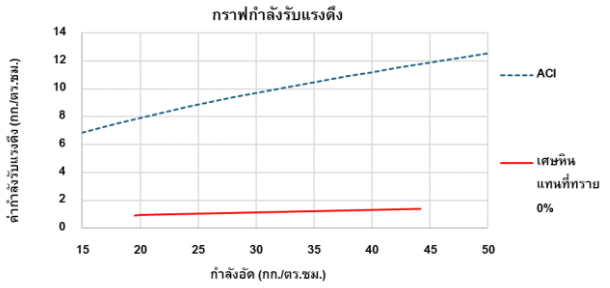
เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม จะเห็นว่าค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลเบามีค่าน้อยกว่าคอนกรีตควบคุม ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้สมการที่หาค่ากำลังรับแรงดัดตามมาตรฐาน ACI318-99[1] ได้โดยมีสมการดังนี้

$$f_r = 0.56\sqrt{f'c}$$

f_r = ค่ากำลังรับแรงดัด
$f'c$ = ค่ากำลังอัด

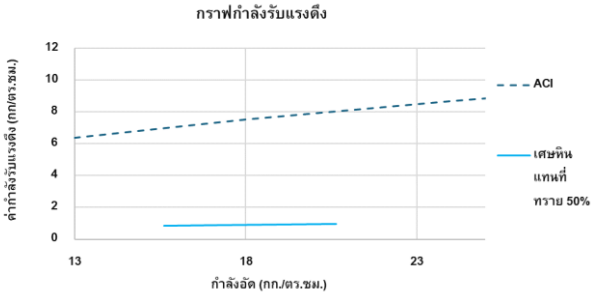
4.6 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงดึง

ก้อนตัวอย่าง	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C)	ค่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต กก./ตร.ซม.	ร้อยละความแตกต่างของค่ากำลังอัด(28 วัน)
04CF0%	0.4	5.6	-
04CF50%		3.0	-88.1
04CF100%		3.7	-49.6
05CF0%	0.5	3.0	-
05CF50%		2.7	-9.9
05CF100%		1.6	-86.2
06CF0%	0.6	3.0	-
06CF50%		2.5	-18.2
06CF100%		3.4	-13.0



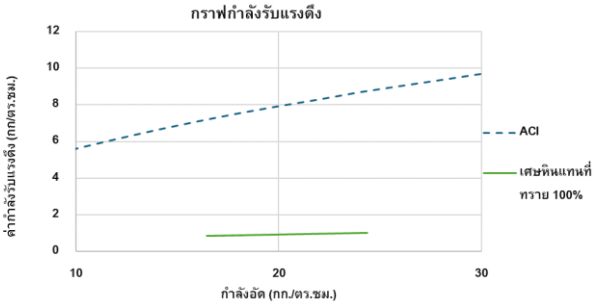
รูปที่ 19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงดึงมาตรฐาน ACI ที่ร้อยละการแทนเศษหินที่ร้อยละ 0

ผลการทดสอบค่ากำลังดึงของคอนกรีตมวลเบา **ดังแสดงในรูปที่ 19** จะเห็นได้กลุ่มตัวอย่างเป็นกราฟกำลังรับแรงดึงปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินร้อยละ 0 มีค่ากำลังอัดที่ 44, 20 และ20 กก./ตร.ซม. ของอัตราส่วนต่อปูนซีเมนต์ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ พบว่าค่าของคอนกรีตตัวอย่างที่ทดสอบเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ACI ของปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินร้อยละ 0 มีค่ากำลังรับแรงดึงน้อยกว่ามาตรฐาน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหากต้องการใช้ค่ามาตรฐาน ACI หาค่ากำลังรับแรงดัดอาจต้องมีการปรับเปลี่ยนค่ามาตรฐานเพื่อรองรับกับค่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมวลเบา



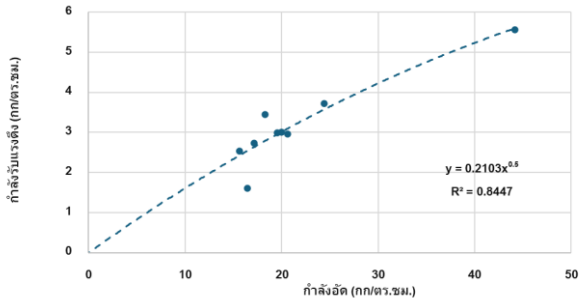
รูปที่ 20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงดึงมาตรฐาน ACI ที่ร้อยละการแทนเศษหินที่ร้อยละ 50

ผลการทดสอบค่ากำลังดึงของคอนกรีตมวลเบา **ดังแสดงในรูปที่ 20** จะเห็นได้กลุ่มตัวอย่างเป็นกราฟกำลังรับแรงดึงปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินร้อยละ 50 มีค่ากำลังอัดที่ 20, 17 และ16 กก./ตร.ซม. ของอัตราส่วนต่อปูนซีเมนต์ 0.4, 0.5 และ 0.6 ตามลำดับ พบว่าค่าของคอนกรีตตัวอย่างที่ทดสอบเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ACI ของปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินร้อยละ 50 มีค่ากำลังรับแรงดึงน้อยกว่ามาตรฐาน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหากต้องการใช้ค่ามาตรฐาน ACI หาค่ากำลังรับแรงดัดอาจต้องมีการปรับเปลี่ยนค่ามาตรฐานเพื่อรองรับกับค่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมวลเบา



รูปที่ 21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงดึงมาตรฐาน ACI ที่ร้อยละการแทนเศษหินที่ร้อยละ 100

ผลการทดสอบค่ากำลังดึงของคอนกรีตมวลเบา **ดังแสดงในรูปที่ 21** จะเห็นได้กลุ่มตัวอย่างเป็นกราฟกำลังรับแรงดึงปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินร้อยละ 100 มีค่ากำลังอัดที่ 24, 16 และ18 กก./ตร.ซม. ของอัตราส่วนต่อปูนซีเมนต์ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามลำดับ พบว่าค่าของคอนกรีตตัวอย่างที่ทดสอบเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ACI ของปริมาณการแทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินร้อยละ 100 มีค่ากำลังรับแรงดึงน้อยกว่ามาตรฐาน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหากต้องการใช้ค่ามาตรฐาน ACI หาค่ากำลังรับแรงดัดอาจต้องมีการปรับเปลี่ยนค่ามาตรฐานเพื่อรองรับกับค่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมวลเบา



รูปที่ 22 กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงดึงของก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาทั้ง 9 ก้อนที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน

ดังแสดงในรูปที่ 22 เป็นกราฟที่ใช้ Regression มาหาสมการของค่ากำลังรับแรงดึงของก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา จะได้สมการดังนี้

$$f_{sp} = 3.0608\sqrt{f'c}$$

f_{sp} = ค่ากำลังรับแรงดึง (กก./ตร.ซม.)
$f'c$ = ค่ากำลังอัด (กก./ตร.ซม.)

เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม จะเห็นว่าค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลเบามีค่าน้อยกว่าคอนกรีตควบคุม ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้สมการที่หาค่ากำลังรับแรงดึงตามมาตรฐาน ACI318-99[1] ได้โดยมีสมการดังนี้

$$f_{sp} = 0.56\sqrt{f'c}$$

f_{sp} = ค่ากำลังรับแรงดึง (กก./ตร.ซม.)
$f'c$ = ค่ากำลังอัด (กก./ตร.ซม.)

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้เสนอผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้เศษหินแทนทรายที่ร้อยละ 0, 50 และ100 ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การแทนที่ทรายด้วยเศษหินในปริมาณร้อยละ 0, 50 และ 100 ส่งผลต่อกำลังอัดของวัสดุในช่วงอายุต่างๆ ดังนี้

• อายุ 7 วัน: การแทนที่ด้วยเศษหินร้อยละ 50 และ 100 ให้กำลังอัดสูงกว่าการแทนที่ด้วยเศษหินร้อยละ 0 มากกว่า 50%

• อายุ 14 วัน: การแทนที่ด้วยเศษหินร้อยละ 50 ให้กำลังอัดต่ำกว่าการแทนที่ด้วยเศษหินร้อยละ 100 แต่ยังสูงกว่าการแทนที่ด้วยเศษหินร้อยละ 0

• อายุ 28 วัน: การแทนที่ด้วยเศษหินร้อยละ 50 และ 100 ให้กำลังอัดสูงกว่าการแทนที่ด้วยเศษหินร้อยละ 0 มากกว่า 50%

• การแทนที่ด้วยเศษหินร้อยละ 100 อาจให้กำลังอัดสูงในช่วงแรก (อายุ 7 วัน) แต่จะหยุดพัฒนาในช่วงอายุ 14 วันจากผลทดสอบพบว่ากลุ่มตัวอย่างมีค่ากำลังอัดที่น้อย จึงทำให้ไม่สามารถทำการทดสอบเพิ่มได้ เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างที่ใช้มีอยู่อย่างจำกัด

2. ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C)

• อัตราส่วนน้ำต่าปูนซีเมนต์(W/C) 0.4

• การพัฒนากำลังอัดดีที่สุดอย่างต่อเนื่อง

• ปริมาณการแทนที่ 50% มีการพัฒนากำลังลดลงหลัง 14 วัน

• ปริมาณการแทนที่ 100% มีการพัฒนากำลังดีในช่วง 7-14 วัน แต่ลดลงในช่วง 14-28 วัน

• 0.5

• ปริมาณการแทนที่ 0% และ 50% มีการพัฒนากำลังอย่างต่อเนื่อง

• ปริมาณการแทนที่ 100% มีการพัฒนากำลังช้ากว่า 50%

• 0.6

• ปริมาณการแทนที่ 0% และ 100% มีการพัฒนากำลังใกล้เคียงกันและต่อเนื่อง

• ปริมาณการแทนที่ 50% มีการพัฒนากำลังดีในช่วง 7-14 วัน แต่ช้าลงในช่วง 14-28 วัน

ปริมาณการแทนที่ทรายแม่น้ำด้วยเศษหิน

• การแทนที่ทรายแม่น้ำด้วยเศษหินส่งผลให้ค่ากำลังอัดลดลงอย่างต่อเนื่อง

• ค่ากำลังอัดที่ดีที่สุดได้จากอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.4

• ปริมาณการแทนที่ 0% และ 100% ให้ผลการพัฒนากำลังที่ดีกว่า 50%

• การแทนที่ทรายแม่น้ำด้วยเศษหินส่งผลต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

3. จากการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงดึงของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.4, 0.5 และ0.6 ตามมาตรฐาน ACI ปริมาณการแทนเศษหินที่ร้อยละ 0, 50 และ100 จะมีค่ากำลังรับแรงดึงที่ต่ำกว่ามาตรฐานที่มาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหากต้องการใช้ค่ามาตรฐาน ACI หาค่ากำลังรับแรงดัดอาจต้องมีการปรับเปลี่ยนค่ามาตรฐานเพื่อรองรับกับค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลเบา

4. จากการศึกษาพบว่าตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ มอก.1505-2541 ค่ากำลังอัดอย่างน้อย 25 กก./ตร.ซม. ดังนั้นสัดส่วนผสมที่เหมาะสมกับคอนกรีตมวลเบาที่แทนทรายแม่น้ำด้วยเศษหินที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) 0.4 และการใช้เศษหินแทนที่ทรายด้วยปริมาตรเท่ากับร้อยละ0 เหมาะสมกับโครงสร้างด้านสถาปัตย์

5. 2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา เพื่อทราบค่าสถิติของการศึกษาเชิงกลของก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาได้มากขึ้น

2. การใช้สัดส่วนผสมของก้อนตัวอย่างควรใช้กับงานโครงสร้างในส่วนที่ไม่ได้รับกำลังมาก

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้เศษหิน เพื่อการสำเร็จการศึกษาของนิสิตปริญญาตรี สามารถดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ และสนับสนุนเป็นอย่างดียิ่งจาก นายวรจักร จันทร์แว่น อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำปรึกษา ความรู้ ข้อคิด ข้อแนะนำ และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณนายนุกูล ปัญญาละ ตำแหน่งครู นายสุธนัย ท้าวรี ตำแหน่งผู้ปฏิบัติงานวิทยาศาสตร์ที่ค่อยชี้แนะในการใช้เครื่องมือและห้องปฏิบัติการภาคโยธา ที่เอื้ออำนวยสถานที่และให้ยืมอุปกรณ์ในการทดสอบ

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมวิจัยทุกคนที่คอยช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความอนุเคราะห์อนุมัติงบประมาณเพื่อสนับสนุนการจัดทำวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Thumrongvut, J. and Seangatith, S. (2016). Axial load capacity of cellular lightweight concrete-filled steel square tube columns. *Central Europe towards Sustainable Building (CESB16)*, Prague, Czech Republic, 22-24 June 2016, pp.1312-1319. **(In case of Articles from Conference Proceedings (published))**

[2] Bowles, J.E. (1996). *Foundation and Analysis Design*. The McGraw-Hill Companies, Inc., pp.123-132. **(In case of Book)**

[3] Phoo-ngernkham, T.,Hanjitsuwan,S., Suksiripattanapong, C., Thumrongvut, J., Suebsuk, S. and Sookasem, S. (2016). Flexural strength of notched concrete beam filled with alkali-activated binders under different types of alkali solutions. *Construction and Building Materials*, 127, pp. 673-678. **(In case of Journal)**

[4] Patel, V.I. (2013). *Nonlinear Inelastic Analysis of Concrete-Filled Steel Tubular Slender Beam-Columns*. Ph.D. Dissertation, Victoria University, Australia. **(In case of Dissertation and Thesis)**

[5] จักษดา ธำรงวุฒิ, สิทธิศักดิ์ หวังรักกลาง, ธนากร ภูเงินขำ และ เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒนพงศ์ (2559). พฤติกรรมและกำลังของเสาท่อเหล็กหน้าตัดกลมกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเสริมเหล็ก. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21*, สงขลา, 28-30 มิถุนายน 2559, หน้า 410-417. **(กรณีบทความในเอกสารประกอบการประชุม)**

[6] จักษดา ธำรงวุฒิ, จิระยุทธ สืบสุข, ชยกฤต เพชรช่วย และ วีรพันธุ์ เจียมมีปรีชา (2560). *วิศวกรรมโยธากับเทคโนโลยีเขียวเพื่อการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน*. สำนักพิมพ์, หน้า 88-100. **(กรณีหนังสือ)**

[7] จักษดา ธำรงวุฒิ, สิทธิชัย แสงอาทิตย์ และ กรรณ คำลือ (2557). ผลของการเสริมกำลังดัดด้วยลวดแบบไม่อัดแรงที่มีต่อคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนสำเร็จรูป. *วารสารวิชาการ มทร.อีสาน*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2, หน้า 16-33. **(กรณีบทความในวารสาร)**

[8] **ASTM C496/C496M-17**, “Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens,” 2017.

[9] **ASTM C78-09**, “Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading),” 2010.

[10] **ASTM C469-02e1**, “Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression,” 2010.

[11] ASTM C39/C39M-21, “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens,” 2023.

[12] ACI Committee 211, “ACI 211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete,” 2009.

[13] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ มอก.1505-2541

กำลังอัดของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนัก

Compressive strength of recycled aggregate concrete mixed with para-wood ash

นายเกื้อกูล เอื้อทาน[1] นายศักดินนท์ แมะบ้าน[2] นางสาวพันพัสสา สร้อยตะกลาง[3] นายอัครพล นันทะพรม[4,*]
และ ผศ.ดร.วรเทพ แซ่ล่อง[5]

[1,2,3,4] นิสิตปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
[5] อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
**Corresponding author; E-mail address: 63101720@up.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้เถ้ายางแทนที่ปูนซีเมนต์และมวลรวมรีไซเคิลแทนที่มวลรวมหยาบผสมในคอนกรีตเพื่อศึกษาถึงกำลังอัดของคอนกรีตในรูปแบบของลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 cm^3 โดยใช้เถ้ายางหนักในการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนที่ 0%, 10%, และ 20% ตามลำดับและใช้มวลรวมรีไซเคิลแทนที่หินที่อัตราส่วน 0%, 50%, และ 100% ตามลำดับและผลการทดสอบพบว่าเมื่อผสมเถ้ายางหนักและคอนกรีตรีไซเคิลในคอนกรีตทำให้กำลังอัดลดลง

Abstract

The gool of this paper is to study the effect of using para-wood ash and recycled concrete aggregate (RCA) in concrete to study the compressive strength of concrete in the from of a 15x15x15 cm^3 cube using para-wood ash replaced to cement in ratios were 0%, 10%, and 20% respectively, and recycled concrete aggregate(RCA) was replaced to natural aggregate 0%, 50%, and 100% respectively. The experimental showed that when using pare-wood ash and RCA. In concrete resulting in the decrease in compressive strength of concrete.

1. คำนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันนี้ประเทศไทยจำแนกถนนที่ใช้งานออกเป็น 2 ประเภท คือ ถนนคอนกรีตและถนนลาดยาง งานก่อสร้างถนนคอนกรีตในประเทศไทยมีการพัฒนา และก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ซึ่งในกระบวนการผลิตคอนกรีตสำหรับงานทำถนนจำเป็นต้องใช้หินที่ได้จากธรรมชาติมาเป็นมวลรวมหยาบ เมื่อมีการใช้หินเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ทรัพยากรหินตามธรรมชาติที่มีอยู่อย่างเช่น หินแกรนิตและหินบะซอลต์ ที่ใช้เป็นวัสดุหลักในการผลิตคอนกรีตก็จะถูกใช้ไปอย่างต่อเนื่อง ทำให้ต้องมีการขยายเนื้อที่ ที่จะต้องใช้ในการขุดเจาะระเบิดหินดังกล่าวซึ่งส่วนมากเป็นบริเวณภูเขา ป่าไม้ ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก ภาวะโลกร้อน หรืออาจจะต้องหาแหล่งที่มาของหินที่ได้คุณภาพและผ่านมาตรฐานไกลขึ้นจากบริเวณที่เดิม ซึ่งก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งเพิ่มขึ้น จึงมีการคิดค้นที่จะนำทรัพยากรที่ไม่ได้ใช้งานแล้ว อย่างเช่น มวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (Recycled concrete aggregate, RCA) นำไปผ่านกระบวนการแปรสภาพ แล้วนำกลับมาใช้งานได้อีกครั้ง เพื่อให้เกิดประโยชน์และประสิทธิภาพสูงสุด และยังเป็นการอนุรักษ์แหล่งสรรพยากรธรรมชาติมากที่สุด งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการพัฒนากำลังของ มวลรวมหยาบคอนกรีตรีไซเคิลที่ได้จากการทุบตึก อาคาร หรือเศษปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ใช้แล้วมาเป็นส่วนผสมในการผลิต คอนกรีตแทนการใช้หินแกรนิต ซึ่งเป็นการลดการใช้หินจากธรรมชาติสามารถยืดระยะเวลาในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดได้ยาวนาน และยังช่วยในการลดต้นทุน ค่าใช้จ่าย ที่สามารถเกิดขึ้นจากการใช้คอนกรีตในงานทำถนนหรืองานก่อสร้างอื่นๆได้

การใช้คอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิล ส่งผลต่อคุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตลดลงเมื่อเทียบกับการใช้มวลรวมธรรมชาติ [1] [2] คุณภาพความคงทนของคอนกรีตลดลงเมื่อปริมาณมวลรวมรีไซเคิลเพิ่มขึ้นในส่วนผสม อย่างไรก็พบว่าคุณภาพดีขึ้นตามอายุของการบ่ม จากการศึกษาข้างต้นพบว่ามวลรวมรีไซเคิลสามารถนำกลับมาใช้ใหม่เป็นคอนกรีตได้โดยต้องทดสอบคุณสมบัติมวลรวมก่อน การศึกษานี้น่าจะเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยที่จะศึกษาการใช้วัสดุแทนที่เพื่อประโยชน์สูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการแทนที่ของมวลรวมหยาบด้วยเศษคอนกรีตในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่มีต่อค่ากำลังอัดคอนกรีต
2. เพื่อศึกษาการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ายางในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่มีต่อค่ากำลังอัดคอนกรีต

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. อัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ายางหนัก คือ ร้อยละ 0, 10, และ 20 ตามลำดับ
2. อัตราส่วนการแทนที่มวลรวมหยาบด้วยมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล คือ ร้อยละ 0, 50, และ 100 ตามลำดับ
3. ตัวอย่างการทดสอบกำลังอัดที่มีลักษณะเป็นลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 cm^3 ทดสอบที่ 7 และ 28 วัน ตามลำดับ
4. เถ้ายางได้จากโรงงานไฟฟ้ากลุ่มธุรกิตพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวล
5. ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะทรายและหินและ RCA ตามมาตรฐาน ASTM C 128 [3]

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลแทนที่มวลรวมหยาบ
2. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นแนวทางในการนำไปใช้ในงานก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. เป็นการรณรงค์ให้เกิดการนำวัสดุรีไซเคิลกลับมาใช้งานได้อีกครั้ง ส่งผลให้เกิดการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมขึ้นในอนาคต

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอน	เดือน							
	6	7	8	9	10	11	12	1
1.ศึกษาค้นคว้าและออกแบบส่วนผสม								
2.เตรียมวัสดุต่างๆ เพื่อใช้ในการทดสอบแบบคอนกรีต								
3.ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนัก								
4.สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง								
5.จัดทำรูปเล่มและนำเสนอรายงานผลการทดลอง								

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปฏิภาคส่วนผสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ อายุ การบ่ม และอื่นๆ เนื่องจากวิวัฒนาการทางวิชาการของคอนกรีตได้พัฒนาไปมาก จึงทำให้ในปัจจุบันนี้สามารถผลิตคอนกรีตที่กำลังอัดถึง 700 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือสูงกว่าได้ กำลังอัดของคอนกรีต fc' หมายถึงกำลังอัดที่ได้มาจากการทดสอบตัวอย่างมาตรฐานรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน ในบางครั้งแท่งตัวอย่างรูปลูกบาศก์ ขนาด 15x15x15 cm^3 ก็นิยมใช้ในการก่อสร้างแต่กำลังอัดของรูปลูกบาศก์จะสูงกว่ากำลังอัดของรูปทรงกระบอกมาตรฐาน

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์หลักของโครงงานนี้วิธีดำเนินงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

3.1 เตรียมวัสดุ

1. หินขนาด ¾" 2. RCA ขนาด ¾" 3. ทราย



4. น้ำเปล่า 5. ปูนไฮบริด 6. เถ้ายาง



รูปที่ 1 การเตรียมวัสดุ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ตะแกรงมาตรฐานขนาด ¾" 2. ตะแกรงมาตรฐานขนาด #200 3. ค้อน



4. ถังแช่ 5. เครื่องกดคอนกรีต



รูปที่ 2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

3.2 การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดน้ำของมวลรวมละเอียด

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องชั่ง ความแม่นยำร้อยละ 0.1
2. ขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ปริมาตร 500 ซม.^{3}
3. แบบรูปกรวยโลหะ
4. เหล็กกระทุ้ง

3.2.2 วิธีการการทดสอบ

1. คัดเลือกทรายโดยการแบ่ง 4 ส่วนตามมาตรฐาน ASTM C 702 [4] โดยใช้ทรายจำนวน 1 กก.

2. นำทรายใส่ถาดโลหะ อบแห้งประมาณ 24 ชั่วโมง ปล่อยทรายให้เย็นลงในอุณหภูมิห้องจากนั้นนำน้ำสะอาดเทลงบนทรายจนชุ่มและปล่อยทรายดูดน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. รินน้ำที่เกินออกจากถาดทราย แผ่ตัวอย่างให้มีความบางจากนั้นใช้เครื่องเป่าลม เป่าลมอุ่นลงบนทรายอย่างช้า ๆ ระหว่างที่เป่าลมอุ่นให้คนทรายไปทั่ว ๆ เพื่อให้ทรายแห้งอย่างทั่วถึงและมีความสม่ำเสมอ
4. เมื่อตัวอย่างทรายเริ่มแห้งหมาด ๆ ให้นำทรายใส่ลงในแบบรูปกรวยโลหะจนล้นพูนแบบกรวยปาดผิวหน้า ใช้เหล็กกระทุ้งยกขึ้นสูงจากผิวหน้าทรายประมาณ 5 มิลลิเมตร ปล่อยให้ตกอย่างอิสระลงบนผิวหน้าทรายจำนวน 25 ครั้ง จากนั้นยกแบบรูปกรวยขึ้นตรง ๆ อย่างช้า ๆ หากตัวอย่างทรายมีการล้มแม้เพียงบางส่วน แสดงว่าทรายอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง
5. เติมน้ำลงในขวดพิคโนมิเตอร์บางส่วนจากนั้นนำตัวอย่างทรายประมาณ 500 ก. ใส่ลงในขวดพิคโนมิเตอร์จนหมด
6. เติมน้ำอีกครั้งลงในขวดแก้วพิคโนมิเตอร์จนถึงความจุประมาณร้อยละ 90 ทำการเขย่าหรือกลิ้งขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ไปมาเพื่อไล่ฟองอากาศประมาณ 15-20 นาที
7. ปรับอุณหภูมิของน้ำในขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ให้ได้ 23 องศาเซลเซียสโดยการนำขวดพิคโนมิเตอร์ไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิที่ระบุไว้ข้างต้นจากนั้นเติมน้ำลงในขวดพิคโนมิเตอร์จนถึงระดับที่กำหนด ชั่งน้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่ใส่ทรายและน้ำ
8. เททรายและน้ำทั้งหมดลงสู่ภาชนะโลหะหากทรายยังออกไม่หมดให้ใส่น้ำลงไปในขวดแก้ว เพื่อช่วยในการนำทรายออกจากขวดแก้วนำไปอบให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมงปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง และชั่งตัวอย่างทรายที่อบแห้ง
9. ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส นำขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ขวดเดิมใส่น้ำที่มีอุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียสจนถึงระดับที่กำหนด จากนั้นชั่งขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ที่ใส่น้ำ

ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดน้ำของทรายสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 ดังนี้

3.2.3 ผลการทดสอบ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดน้ำของทราย

น้ำหนักของทรายหลังจากอบแห้ง (ก.)	496.5
น้ำหนักของขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ที่ใส่น้ำ (ก.)	654.7
น้ำหนักของขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ที่ใส่ทรายและน้ำ (ก.)	961.4
น้ำหนักของทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (ก.)	500.1
ความถ่วงจำเพาะรวม	2.567
ความถ่วงจำเพาะรวม-อิ่มตัวผิวแห้ง	2.586
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ	2.616
ร้อยละการดูดน้ำของทราย (%)	0.725

3.3 การทดสอบความหนาแน่นของเถ้ายางหนัก

3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์
2. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
3. น้ำมันก๊าด
4. เครื่องชั่งที่มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.05 ก.
5. เทอร์โมมิเตอร์

3.3.2 วิธีการทดสอบ

1. เติมน้ำมันก๊าดลงในขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์จนถึงที่ระดับระหว่าง 0 ถึง 1 มล. นำไปแช่อ่างน้ำประมาณ 20-30 นาที บันทึกค่าระดับของน้ำมันก๊าด
2. ชั่งเถ้ายางหนักที่จะทดสอบเป็นน้ำหนักประมาณ 64 ก.
3. ค่อย ๆ ใส่เถ้ายางหนักลงในขวดเลอชาเตอลิเอร์จนหมด โดยไม่ให้มีเศษเถ้ายางติดอยู่ภายในขวดที่อยู่เหนือระดับน้ำมันก๊าด
4. ทำการกลิ้งขวดไปมา เพื่อไล่ฟองอากาศจนไม่มีฟองอากาศลอยไปมา แล้วจึงนำขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์ลงแช่ในอ่างน้ำเพื่อปรับอุณหภูมิอีกครั้ง อ่านค่าระดับของน้ำมันก๊าดที่ขีดระดับของขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์
5. ทำซ้ำอีกครั้งเพื่อนำมาเปรียบเทียบความแตกต่าง

ผลการทดสอบความหนาแน่นของเถ้ายางหนักสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3 ดังนี้

3.3.3 ผลการทดสอบ

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความหนาแน่นของเถ้ายางหนัก

ตัวอย่าง	A	B	ค่าเฉลี่ย
น้ำหนักของเถ้ายางหนัก (ก.)	64	64	64
ระดับของขวดแก้วเมื่อใส่น้ำมันก๊าด (มล.)	0.2	0.3	0.25
ระดับของขวดแก้วเมื่อใส่น้ำมันก๊าดและเถ้ายางหนัก (มล.)	22.8	23.1	22.95
ความหนาแน่นของเถ้ายางหนัก (ก./ลบ.ซม.)	2.83	2.81	2.82

3.4 การทดสอบความหนาแน่นปูนซีเมนต์

3.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์
2. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
3. น้ำมันก๊าด
4. เครื่องชั่งที่มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.05 ก.
5. เทอร์โมมิเตอร์

3.4.2 วิธีการทดสอบ

1. เติมน้ำมันก๊าดลงในขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์จนถึงที่ระดับระหว่าง 0 ถึง 1 มล. นำไปแช่อ่างน้ำประมาณ 20-30 นาที บันทึกค่าระดับของน้ำมันก๊าด
2. ชั่งปูนซีเมนต์ที่จะทดสอบเป็นน้ำหนักประมาณ 64 ก.

3. ค่อย ๆ ใส่ปูนซีเมนต์ลงในขวดเลอชาเตอลิเอร์จนหมด โดยไม่ให้มีเศษปูนติดอยู่ภายในขวดที่อยู่เหนือระดับน้ำมันก๊าด
4. ทำการกลิ้งขวดไปมา เพื่อไล่ฟองอากาศจนไม่มีฟองอากาศลอยไปมา แล้วจึงนำขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์ลงแช่ในอ่างน้ำเพื่อปรับอุณหภูมิอีกครั้งอ่านค่าระดับของน้ำมันก๊าดที่ขีดระดับของขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์
5. ทำซ้ำอีกครั้งเพื่อนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างผลการทดสอบความหนาแน่นของปูนซีเมนต์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4 ดังนี้

3.4.3 ผลการทดสอบ

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความหนาแน่นของปูนซีเมนต์

ตัวอย่าง	A	B	ค่าเฉลี่ย
น้ำหนักของปูนซีเมนต์ (ก.)	64	64	64
ระดับของขวดแก้วเมื่อใส่น้ำมันก๊าด (มล.)	0.2	0.5	0.35
ระดับของขวดแก้วเมื่อใส่น้ำมันก๊าดและปูนซีเมนต์ (มล.)	20.5	20.8	20.65
ความหนาแน่นของปูนซีเมนต์ (ก./ลบ.ซม.)	3.15	3.15	3.15

3.5 การทดสอบกำลังอัด

3.5.1 วิธีการทดสอบ

1. นำตัวอย่างมาผสมในโม่ตามอัตราส่วนที่กำหนด
2. ทำการทดสอบค่ายุบตัว (Slump test)
3. ตักคอนกรีตใส่แบบโดยแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่า ๆ กันโดยประมาณแต่ละชั้นตำด้วยเหล็ก 35 ที
4. ตัวอย่างคอนกรีตที่ทำสำเร็จแล้วควรใช้ถุงพลาสติกคลุมไว้เพื่อป้องกันน้ำระเหยออกทิ้งคอนกรีตไว้ในแบบประมาณ 24 ชั่วโมงแล้วแกะออก
5. นำก้อนตัวอย่างไปบ่มโดยการแช่น้ำไว้จนถึงเวลาการทดสอบจนทดสอบที่อายุ 7 วันและ 28 วัน
6. เมื่อถึงกำหนดเวลาทดสอบนำก้อนตัวอย่างขึ้นจากบ่อบ่มจากนั้นนำไปทดสอบกำลังอัดคอนกรีต ได้ค่าดังตารางที่ 6 ในงานวิจัยนี้กำหนดให้อัตราส่วนผสมคอนกรีตที่ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแสดงดังตารางที่ 4 โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.6

ตารางที่ 5 อัตราส่วนผสม

Mix proportion of concrete (kg/m^3)						
Sample	ซีเมนต์	เถ้าลอย	รวมหยาบ		ทราย	น้ำ
			หิน	RCA		
C100F0R100A0	6.75	0	18.36	0	17.64	4.05
C100F0R50A50	6.75	0	9.18	8.45	17.64	4.05
C100F0R0A100	6.75	0	0	16.91	17.64	4.05
C90F10R100A0	6.08	0.60	18.36	0	17.64	4.05
C90F10R50A50	6.08	0.60	9.18	8.45	17.64	4.05
C90F10R0A100	6.08	0.60	0	16.91	17.64	4.05
C80F20R100A0	5.40	1.21	18.36	0	17.64	4.05
C80F20R50A50	5.40	1.21	9.18	8.45	17.64	4.05
C80F20R0A100	5.40	1.21	0	16.91	17.64	4.05

** ปูนซีเมนต์ (C), เถ้ายางหนัก (F), มวลรวมหยาบตามธรรมชาติ (R), มวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (A)



รูปที่ 3 การผสมคอนกรีต



รูปที่ 4 การทดสอบค่ายุบตัว



รูปที่ 5 การบ่มคอนกรีต



รูปที่ 6 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

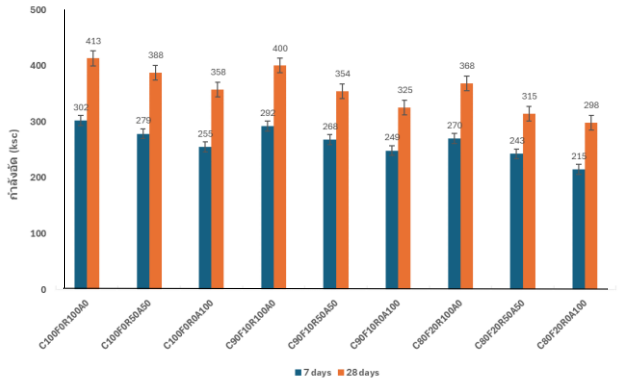
4. ผลการทดสอบ

ตารางที่ 6 สรุปค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัด ณ 7 วัน และ 28 วัน

sample	กำลังเฉลี่ย (ksc)	
	7 วัน	28 วัน
C100F0R100A0	306.05	421.36
C100F0R50A50	284.06	395.17
C100F0R0A100	260.25	364.76
C90F10R100A0	298.07	408.18
C90F10R50A50	273.11	361.29
C90F10R0A100	253.33	331.57
C80F20R100A0	275.55	375.61
C80F20R50A50	247.31	320.71
C80F20R0A100	219.27	304.27

** ปูนซีเมนต์ (C), เถ้ายางหนัก (F), มวลรวมหยาบตามธรรมชาติ (R), มวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (A)

จากผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3 ดังนี้



รูปที่ 3 กำลังอัดคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลที่ 7 วันและ 28 วัน

การนำมวลรวมรีไซเคิลและเถ้ายางหนักมาแทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติและปูนปอร์ตแลนด์ตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ 9 ตัวอย่าง พบว่าที่การบ่มด้วยการแช่น้ำที่ 7 วัน การผสมด้วยเถ้ายางหนักที่ 0% และ RCA 0% มีกำลังอัดถึง 306.05 ksc ซึ่งมากกว่าการผสมเถ้ายางหนักที่ 10% และ 20% ดังที่กราฟแสดง และจากการบ่มที่ 28 วัน พบว่าการผสมเถ้ายางหนักที่ 0% และ RCA 0% มีกำลังอัดถึง 421.36 ksc มากกว่าการผสมเถ้ายางหนักที่ 10% และ 20% ซึ่งสรุปได้ว่ายิ่งใช้เถ้าแทนที่ปูนปอร์ตแลนด์และใช้มวลรวมรีไซเคิลแทนที่มวลรวมหยาบตามธรรมชาติทำให้กำลังอัดลดลง

5. บทสรุป

การศึกษาการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้ายางหนักและมวลรวมรีไซเคิลแทนที่มวลรวมหยาบตามธรรมชาติมีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต ทำการวิเคราะห์ผลการศึกษา และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างทดสอบกำลังอัดคอนกรีตทั้ง 9 ตัวอย่าง โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดการใช้งานปูนซีเมนต์ที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศจากการผลิตและมวลรวมหยาบตามธรรมชาติซึ่งมีแนวโน้มจะหมดไปได้ในอนาคต

จากการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ในส่วนผสมสัดส่วนของเถ้ายางหนัก เมื่อใช้แทนที่ในอัตราส่วนผสมเดียวกันพบว่า จะเห็นว่ากำลังของคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิลจะมีค่ากำลังใกล้เคียงคอนกรีตจากมวลธรรมชาติเมื่ออายุบ่มน้อย จากนั้นการพัฒนากำลังจะน้อยกว่าเมื่ออายุการบ่มมากขึ้น และมีค่ากำลังน้อยกว่าคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติในระยะยาวที่อายุ 28 วัน กำลังอัดของคอนกรีตจากมวลรวมรีไซเคิล มีค่าต่ำกว่าของคอนกรีตจากมวลธรรมชาติ

อ้างอิง

[1] เทอดศักดิ์ สายสุทธิ์, 2559.RCA จากส่วนที่เหลือของเสาเข็มคอนกรีต RCA การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9. 125-134.

[2] Nixon, P.J., 1997.Recycled concrete as an aggregate for concrete—a review. First state-of-the-art report RILEM TC-37-DRC. Materials and Structures (RILEM), no. 65, pp. 371–378.

[3] American society for testing and materials. ASTM C 128: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and absorption of find aggregate.

[4] American society for testing and materials. ASTM C 702: Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size.

ตารางที่ 6 ค่าการทดสอบกำลังอัด

	No.	น้ำหนัก (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	ปริมาตร (m^3)	ความหนาแน่น (kg/m3)	แรงกด (kg)	กำลังอัด (ksc)	ค่าเฉลี่ย (ksc)	วันบ่ม
100C0F100R0A	1	7.56	14.99	14.61	15.23	219.00	0.00334	2266.57	64.96	296.64		
	2	7.99	15.01	15.03	14.98	225.60	0.00338	2364.26	63.96	283.52	302	7วัน
	3	8.03	14.98	15.25	15.23	228.45	0.00348	2307.99	74.52	326.20		
	4	7.99	15.12	15.08	14.91	228.01	0.00340	2348.79	93.26	409.03		
	5	8.21	15.28	15.47	15.01	236.38	0.00355	2313.92	95.59	404.39	413	28วัน
	6	8.12	15.06	15.06	15.00	226.80	0.00340	2385.32	96.76	426.63		
100C0F50R50A	1	7.97	15.05	15.22	15.13	229.06	0.00347	2299.68	63.46	277.04		
	2	7.92	14.92	15.08	15.17	224.99	0.00341	2320.44	62.21	276.50	279	7วัน
	3	7.97	15.06	15.05	15.20	226.65	0.00345	2313.41	64.02	282.45		
	4	8.10	15.06	15.06	15.23	226.80	0.00345	2344.96	89.97	396.69		
	5	8.15	15.24	15.30	15.17	233.17	0.00354	2304.07	89.07	381.97	388	28วัน
	6	8.15	15.12	15.03	15.31	227.25	0.00348	2342.46	87.34	384.32		
100C0F0R100A	1	7.40	15.10	15.21	15.14	229.67	0.00348	2128.14	57.64	250.97		
	2	7.82	15.02	14.97	14.98	224.85	0.00337	2321.68	57.71	256.66	255	7วัน
	3	7.91	15.21	15.03	15.20	228.61	0.00347	2276.38	59.05	258.30		
	4	8.19	14.83	15.18	14.88	225.12	0.00335	2444.94	79.96	355.19		
	5	8.18	15.12	15.06	15.01	227.71	0.00342	2393.29	82.12	360.63	358	28วัน
	6	8.23	14.98	15.14	15.03	226.80	0.00341	2414.37	81.12	357.67		
90C10F100R0A	1	7.94	15.11	14.99	15.00	226.50	0.00340	2337.02	64.80	286.10		
	2	7.86	14.96	14.95	15.03	223.65	0.00336	2338.25	66.19	295.94	292	7วัน
	3	8.01	15.03	15.03	15.22	225.90	0.00344	2329.70	66.68	295.18		
	4	8.04	14.84	14.79	15.03	219.48	0.00330	2437.22	89.02	405.57		
	5	7.98	14.92	15.10	14.93	225.29	0.00336	2372.45	90.19	400.32	400	28วัน
	6	8.27	15.05	15.18	15.04	228.46	0.00344	2406.85	90.33	395.40		
90C10F50R50A	1	7.58	14.86	14.85	14.96	220.67	0.00330	2296.11	60.314	273.32		
	2	7.70	14.94	15.01	15.10	224.25	0.00339	2273.96	61.137	272.63	268	7วัน
	3	7.74	14.96	14.87	15.07	222.46	0.00335	2308.79	57.352	257.81		
	4	8.06	15.04	15.05	14.95	226.35	0.00338	2381.82	79.69	352.07		
	5	8.17	14.92	15.00	15.06	223.80	0.00337	2424.02	79.80	356.57	354	28วัน
	6	8.11	14.88	14.95	15.12	222.46	0.00336	2411.15	78.89	354.62		
90C10F0R100A	1	7.83	14.80	14.95	14.81	221.26	0.00328	2389.48	60.77	274.65		
	2	7.83	15.15	15.10	14.87	228.77	0.00340	2301.77	53.94	235.77	249	7วัน
	3	7.86	15.19	15.12	14.95	229.67	0.00343	2289.14	54.00	235.13		
	4	8.22	15.10	15.15	14.95	228.77	0.00342	2403.48	72.19	315.57		
	5	8.18	15.23	15.17	15.02	231.04	0.00347	2357.21	76.09	329.36	325	28วัน
	6	8.26	15.02	15.06	15.24	226.20	0.00345	2396.07	74.84	330.87		
80C20F100R0A	1	8.08	14.83	15.07	14.87	223.49	0.00332	2431.34	61.32	274.36		
	2	7.93	15.03	14.92	14.80	224.25	0.00332	2389.37	61.60	274.71	270	7วัน
	3	8.16	14.97	15.20	14.98	227.54	0.00341	2393.94	59.59	261.86		
	4	8.22	15.21	15.27	15.08	232.26	0.00350	2346.94	85.45	367.93		
	5	8.28	15.08	15.19	15.03	229.07	0.00344	2404.98	87.98	384.08	368	28วัน
	6	8.19	15.02	15.07	15.23	226.35	0.00345	2375.75	80.00	353.41		
80C20F50R50A	1	7.94	15.10	15.00	14.92	226.50	0.00338	2349.54	53.01	234.06		
	2	7.80	14.89	15.11	15.02	224.99	0.00338	2308.16	54.94	244.18	243	7วัน
	3	7.93	15.20	15.30	15.09	232.56	0.00351	2259.69	58.052	249.62		
	4	7.99	15.15	15.05	14.97	228.01	0.00341	2340.86	74.32	325.96		
	5	7.85	14.94	15.16	15.07	226.49	0.00341	2299.89	68.49	302.41	315	28วัน
	6	7.98	15.25	15.35	15.14	234.09	0.00354	2251.64	73.85	315.47		
80C20F0R100A	1	8.06	15.23	15.07	15.01	229.52	0.00345	2339.60	53.77	234.27		
	2	7.87	15.11	15.12	14.89	228.46	0.00340	2313.47	46.94	205.45	215	7วัน
	3	7.80	15.04	15.20	14.96	228.61	0.00342	2280.72	47.00	205.61		
	4	7.99	15.16	15.00	14.94	227.40	0.00340	2351.83	65.51	288.09		
	5	7.80	15.03	15.04	14.81	226.05	0.00335	2329.88	67.35	297.93	298	28วัน
	6	7.73	14.98	15.14	14.90	226.80	0.00338	2287.47	70.18	309.44		

กำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้ายางหนัก

Compressive strength of mortar mixed with para-wood ash

ชลธิชา โลเกตุ[1] ธีรวุธ สุทธิประภา[2] นภัสสร ทองคำดี[3,*] พิชญาภา ไชยะ[4] และวรเทพ แซ่ล่อง[5]

[1,2,3,4] นิสิตปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
[5] อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
**Corresponding author; E-mail address: o4yllio@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้ายางหนัก โดยใช้เถ้ายางหนักจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวล โดยมีการใช้เถ้ายางหนักแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 10, 20, และ 30 โดยน้ำหนัก ตัวอย่างการทดสอบมีขนาด 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร และนำไปบ่มที่เวลา 3, 7 และ 28 วัน เมื่อครบอายุการบ่มตัวอย่างทดสอบจะถูกนำไปทดสอบหากำลังอัด ผลการทดสอบพบว่ายิ่งใช้เถ้ายางหนักมากเท่าไหร่กำลังอัดของมอร์ต้าร์ยิ่งลดลง

คำสำคัญ : การทดสอบกำลังอัด, เถ้ายางหนัก, มอร์ต้าร์

Abstract

The objective of this research was to study the compressive strength of a mortar mixed with heavy para-wood ash. Using heavy para-wood ash from biomass power plants, heavy para-wood ash is used to replace 0, 10, 20, and 30 percent cement by weight. The test sample is 5x5x5 cubic centimeters and incubated at 3, 7 and 28 days. The test results showed that the heavier the para-wood ash used, the lower the compressive strength of the mortar.

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากปัญหาสภาวะโลกร้อน กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดนโยบายเพื่อร่วมแก้ไขปัญหาโลกร้อน ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นั้นจะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจก จึงมีการศึกษาวัสดุปอซโซลานมาใช้เพื่อลดอัตราการใช้และผลิตปูนซีเมนต์ ดังนั้นโครงงานนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมด้วยเถ้ายางหนัก โดยอ้างอิงจากการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ [1] แต่มีการแทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ายางหนักเข้าไปร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก เพื่อใช้อิทธิพลของเถ้ายางหนักต่อกำลังอัดมอร์ต้าร์ ซึ่งผลที่ได้จะบ่งบอกถึงคุณภาพของมอร์ต้าร์และเพื่อหาสัดส่วนที่ดีที่สุดในการศึกษากำลังอัด นอกจากนี้ยังเป็นการตรวจสอบกำลังอัดของปูนซีเมนต์ว่ามีมาตรฐานตามที่ระบุหรือไม่ การผสมเถ้ายางหนักเข้าไปนั้นส่งผลต่อกำลังอัดมากน้อยเพียงใด และเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ผสมและไม่ผสมเถ้ายางหนัก

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของเถ้ายางหนักต่อกำลังอัดของมอร์ต้าร์

1.2.2 เพื่อหาสัดส่วนผสมที่ดีที่สุดในการศึกษากำลังอัด

1.3 ขอบเขต

1.3.1 อัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ายางหนัก คือ ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก

1.3.2 การศึกษากำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้ายางหนักนี้จัดทำขึ้นในคณะวิศวกรรมศาสตร์

1.3.3 วัสดุที่ใช้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ทรายแม่น้ำ

1.3.4 เถ้ายางหนักจากโรงงานพลังงานไฟฟ้าชีวมวลทางภาคใต้ ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200

1.3.5 น้ำที่ใช้ผสม คือ น้ำประปา น้ำที่ใช้สำหรับบ่มมอร์ต้าร์ คือ น้ำปูนขาวอิ่มตัว

1.3.6 ความหนาแน่นของเถ้าและปูน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 188 [2]

1.3.7 ความถ่วงจำเพาะของทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 128 [3]

1.4 ประโยชน์

1.4.1 ได้ทราบถึงอิทธิพลของเถ้ายางหนักต่อกำลังอัดมอร์ต้าร์

1.4.2 ได้ทราบถึงสัดส่วนผสมที่ดีที่สุดในการศึกษากำลังอัด

1.4.3 เป็นการรณรงค์ให้หันกลับมาใช้วัสดุรีไซเคิลและวัตถุทางธรรมชาติ

1.4.4 เป็นการลดมลภาวะทางอากาศในอนาคต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎี

ปูนซีเมนต์มีสารประกอบสำคัญ 4 อย่าง คือ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) มีอยู่มากสุดในปูนซีเมนต์ประมาณร้อยละ 45 ถึง 55 เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดการก่อตัวและแข็งตัวและให้กำลังค่อนข้างดีโดยเฉพาะช่วง 7 วันแรก , ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) มีอยู่ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 ถึง 35 เมื่อผสมกับน้ำสามารถทำปฏิกิริยาความร้อนขึ้น การพัฒนากำลังอัดค่อนข้างช้า คือ เริ่มให้กำลังหลังจาก 4 สัปดาห์ขึ้นไป, ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) มีอยู่ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 7 ถึง 15 ปฏิกิริยากับน้ำมีความรุนแรงมาก ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นมีค่าสูงมาก สามารถพัฒนากำลังอัดได้ภายในวันเดียว และเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรด์ (C_4AF) มีอยู่ในปูนซีเมนต์ประมาณร้อยละ 5 ถึง 10 พัฒนากำลังอัดได้เร็วมากเช่นเดียวกับ C_3A แต่กำลังประลัยที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำกว่าเล็กน้อย [4]

ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) เมื่อผสมกับน้ำจะทำปฏิกิริยาได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CH) ดังสมการต่อไปนี้

$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$

หรือ $2C_3S + 6H \rightarrow C_3S_2H_3 + 3CH$

$2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$

หรือ $2C_2S + 4H \rightarrow C_3S_2H_3 + CH$ [4]

เถ้ายางหนักมีองค์ประกอบหลักทางเคมีคล้ายกับปูนซีเมนต์ คือ ซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2), อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3), เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) [5]

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ความถ่วงจำเพาะและการดูดน้ำของมวลรวมละเอียด

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1.เครื่องชั่ง ความแม่นยำร้อยละ 0.1

2.ขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ปริมาตร 500 ซม^3

3.แบบรูปกรวยโลหะ

4.เหล็กกระทุ้ง

การเตรียมตัวอย่างทรายและการทดสอบ

1.คัดเลือกทรายโดยการแบ่ง 4 ส่วนตามมาตรฐาน ASTM C 702 [6] โดยใช้ทรายจำนวน 1 กก.

2.นำทรายใส่ถาดโลหะ อบแห้งประมาณ 24 ชั่วโมง ปล่อยทรายให้เย็นลงในอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำน้ำสะอาดเทลงบนทรายจนชุ่มและปล่อยทรายดูดน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.รินน้ำที่เกินออกจากถาดทราย แผ่ตัวอย่างให้มีความหนาบางๆ จากนั้นใช้เครื่องเป่าลม เป่าลมอุ่นลงบนทรายอย่างช้าๆ ระหว่างที่เป่าลมอุ่นให้คนทรายไปทั่ว ๆ เพื่อให้ทรายแห้งอย่างทั่วถึงและมีความสม่ำเสมอ

4.เมื่อตัวอย่างทรายเริ่มแห้งหมาดๆ ให้นำทรายใส่ลงในแบบรูปกรวยโลหะจนล้นพูนแบบกรวย ปาดผิวหน้า ใช้เหล็กกระทุ้งยกขึ้นสูงจากผิวหน้าทรายประมาณ 5 มม. ปล่อยให้ตกอย่างอิสระลงบนผิวหน้าทรายจำนวน 25 ครั้ง จากนั้นยกแบบรูปกรวยขึ้นตรง ๆ อย่างช้า ๆ หากตัวอย่างทรายมีการล้มแม้เพียงบางส่วน แสดงว่าทรายอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

5.เติมน้ำลงในขวดพิคโนมิเตอร์บางส่วน จากนั้นนำตัวอย่างทรายประมาณ 500 ก. ใส่ลงในขวดพิคโนมิเตอร์จนหมด

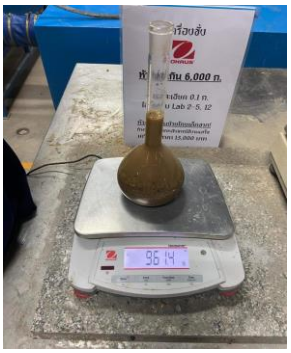
6.เติมน้ำอีกครั้งลงในขวดแก้วพิคโนมิเตอร์จนถึงความจุประมาณร้อยละ 90 ทำการเขย่า หรือกลิ้งขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ไปมา เพื่อไล่ฟองอากาศประมาณ 15-20 นาที

7.ปรับอุณหภูมิของน้ำในขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ให้ได้ 23 องศาเซลเซียส โดยการนำขวดพิคโนมิเตอร์ไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิที่ระบุไว้ข้างต้น จากนั้นเติมน้ำลงในขวดพิคโนมิเตอร์จนถึงระดับที่กำหนด ชั่งน้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่ใส่ทรายและน้ำ

8.เททรายและน้ำทั้งหมดลงสู่ภาชนะโลหะ หากทรายยังออกไม่หมดให้ใส่น้ำลงไปในขวดแก้วเพื่อช่วยในการนำทรายออกจากขวดแก้ว นำไปอบให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง และชั่งตัวอย่างทรายที่อบแห้ง

9.ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส นำขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ขวดเดิม ใส่น้ำที่มีอุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส จนถึงระดับที่กำหนด จากนั้นชั่งขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ที่ใส่น้ำ





รูปที่ 1 การหาความถ่วงจำเพาะและการดูดน้ำของมวลรวมละเอียด

ผลการทดสอบ

ตารางที่ 1 ความถ่วงจำเพาะและการดูดน้ำของทรายแม่น้ำ

น้ำหนักของทรายหลังจากอบแห้ง (ก.)	496.5
น้ำหนักของขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ที่ใส่น้ำ (ก.)	654.7
น้ำหนักของขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ที่ใส่ทรายและน้ำ (ก.)	961.4
น้ำหนักของทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (ก.)	500.1
ความถ่วงจำเพาะรวม	2.567
ความถ่วงจำเพาะรวม-อิ่มตัวผิวแห้ง	2.586
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ	2.616
ร้อยละการดูดน้ำของทราย (%)	0.725

3.2 ความหนาแน่นของเถ้ายางหนัก

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1.ขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์

2.อ่างควบคุมอุณหภูมิ

3.น้ำมันก๊าด

4.เครื่องชั่งที่มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.05 ก.

5.เทอร์โมมิเตอร์

วิธีการทดสอบ

1.เติมน้ำมันก๊าดลงในขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์จนถึงที่ระดับระหว่าง 0 ถึง 1 มล. นำไปแช่อ่างน้ำประมาณ 20-30 นาที บันทึกค่าระดับของน้ำมันก๊าด

2.ชั่งเถ้ายางหนักที่จะทดสอบเป็นน้ำหนักประมาณ 64 ก.

3.ค่อย ๆ ใส่เถ้ายางหนักลงในขวดเลอชาเตอลิเอร์จนหมด โดยไม่ให้มีเศษเถ้ายางหนักติดอยู่ภายในขวดที่อยู่เหนือระดับน้ำมันก๊าด

4.ทำการกลิ้งขวดไปมา เพื่อไล่ฟองอากาศจนไม่มีฟองอากาศลอยไปมา แล้วจึงนำขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์ลงแช่ในอ่างน้ำเพื่อปรับอุณหภูมิอีกครั้ง อ่านค่าระดับของน้ำมันก๊าดที่ขีดระดับของขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์

5.ทำซ้ำอีกครั้งเพื่อนำมาเปรียบเทียบความแตกต่าง

ผลการทดสอบ

ตารางที่ 2 ความหนาแน่นของเถ้ายางหนัก

ตัวอย่าง	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	เฉลี่ย
น้ำหนักของเถ้ายางหนัก (ก.)	64	64	64
ระดับของขวดแก้วเมื่อใส่น้ำมันก๊าด (มล.)	0.2	0.3	0.25
ระดับของขวดแก้วเมื่อใส่น้ำมันก๊าดและเถ้ายางหนัก (มล.)	22.8	23.1	22.95
ความหนาแน่นของเถ้ายางหนัก (ก./ลบ.ซม.)	2.83	2.81	2.82

3.3 ความหนาแน่นของปูนซีเมนต์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1.ขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์

2.อ่างควบคุมอุณหภูมิ

3.น้ำมันก๊าด

4.เครื่องชั่งที่มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.05 ก.

5.เทอร์โมมิเตอร์

วิธีการทดสอบ

1.เติมน้ำมันก๊าดลงในขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์จนถึงที่ระดับระหว่าง 0 ถึง 1 มล. นำไปแช่อ่างน้ำประมาณ 20-30 นาที บันทึกค่าระดับของน้ำมันก๊าด

2.ชั่งปูนซีเมนต์ที่จะทดสอบเป็นน้ำหนักประมาณ 64 ก.

3.ค่อย ๆ ใส่ปูนซีเมนต์ลงในขวดเลอชาเตอลิเอร์จนหมด โดยไม่ให้มีเศษปูนติดอยู่ภายในขวดที่อยู่เหนือระดับน้ำมันก๊าด

4.ทำการกลิ้งขวดไปมา เพื่อไล่ฟองอากาศจนไม่มีฟองอากาศลอยไปมา แล้วจึงนำขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์ลงแช่ในอ่างน้ำเพื่อปรับอุณหภูมิอีกครั้ง อ่านค่าระดับของน้ำมันก๊าดที่ขีดระดับของขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์

5.ทำซ้ำอีกครั้งเพื่อนำมาเปรียบเทียบความแตกต่าง





รูปที่ 2 การหาความหนาแน่นของเถ้ายางหนัก

ผลการทดสอบ

ตารางที่ 3 ความหนาแน่นของปูนซีเมนต์

ตัวอย่าง	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	เฉลี่ย
น้ำหนักของปูนซีเมนต์ (ก.)	64	64	64
ระดับของขวดแก้วเมื่อใส่น้ำมันก๊าด (มล.)	0.2	0.5	0.35
ระดับของขวดแก้วเมื่อใส่น้ำมันก๊าดและปูนซีเมนต์ (มล.)	20.5	20.8	20.65
ความหนาแน่นของปูนซีเมนต์ (ก./ลบ.ซม.)	3.15	3.15	3.15

3.4 การทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้ายางหนัก

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1.เครื่องชั่ง ที่สามารถชั่งได้ถึง 2000 ก.

2.ขวดแก้วตวงน้ำ มีความแม่นยำในช่วงใช้งานไม่เกิน 2 มล.

3.แบบหล่อมอร์ต้าร์

4.เครื่องผสมมอร์ต้าร์ พร้อมหม้อผสม และใบกวน

5.ชุดทดสอบหาค่าการไหลของมอร์ต้าร์ ตามมาตรฐาน ASTM C 230 [7]

6.ไม้กระทุ้ง

7.เกรียงเหล็ก

8.ภาชนะ หรือห้องที่ควบคุมความชื้นได้

9.เครื่องทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์

10.ตะแกรงร่อนทรายมาตรฐานเบอร์ 30 และเบอร์ 100

11.เทอร์โมมิเตอร์

วัสดุที่ใช้ทดสอบ

1.ทรายที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 30 และค้างตะแกรงเบอร์ 100

2.ปูนซีเมนต์

3.น้ำสะอาด

4.ปูนขาว

5.น้ำมันเครื่อง

6.เถ้ายางหนักที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200

ความชื้นและอุณหภูมิ

บริเวณที่ใช้ดำเนินการทดสอบตลอดจนวัสดุ หรืออุปกรณ์ทดสอบต้องมีอุณหภูมิระหว่าง 20-27.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำที่ใช้ผสมและน้ำปูนขาวอิ่มตัวที่ใช้ในการบ่มอยู่ระหว่าง 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องทดสอบต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 50

การเตรียมตัวอย่างแบบหล่อ

1.ทำความสะอาดแบบหล่อให้สะอาด ขจัดคราบและสิ่งสกปรกที่ติดข้างแบบหล่อด้านในออกให้หมด

2.ใช้ผ้าหรือแปรงขนอ่อนชุบน้ำมันเครื่อง ทาข้างแบบหล่อด้านในบางๆ

3.หากบริเวณรอยต่อมีรอยรั่วให้นำดินน้ำมันมาอุดด้านนอกของแบบหล่อให้เรียบร้อย เพื่อป้องกันน้ำไหลออกมานอกแบบ

วิธีการทดสอบ

ตารางที่ 4 ส่วนผสมของมอร์ต้าร์

ชื่อ	ปูน (กก.)	ทราย(กก.)	น้ำ (มล.)	เถ้า (กก.)
100C0F	0.74	2.035	359	0
90C10F	0.666	2.035	359	0.074
80C20F	0.592	2.035	359	0.148
70C30F	0.518	2.035	359	0.222
รวม	2.516	8.14	1436	0.444

หมายเหตุ : C หมายถึง ปูนซีเมนต์, F หมายถึง เถ้ายางหนัก

การผสมตัวอย่างมอร์ต้าร์

1.ประกอบหม้อและใบผสมที่แห้ง เข้ากับเครื่องผสม

2.ใส่น้ำที่ผสมลงในหม้อจนหมด

3.ใส่ปูนซีเมนต์และเถ้ายางหนักลงในหม้อผสมจนหมด จากนั้นเดินเครื่องผสมโดยใช้อัตราช้า เป็นเวลา 30 วินาที

4.เมื่อครบ 30 วินาที ใส่ทรายลงในหม้อผสมอย่างช้า ๆ ภายในเวลา 30 วินาที ซึ่งขณะนี้ใบกวนยังกวนอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราช้า

5.หยุดเครื่องผสม เปลี่ยนอัตราผสมเป็นอัตราปานกลาง 30 วินาที

6.หยุดการผสม ปล่อยมอร์ต้าร์ไว้ 90 วินาที ในระหว่าง 15 วินาทีแรก ให้ทำการปาดมอร์ต้าร์ที่ติดข้างหม้อผสมลงในหม้อ จากนั้นนำภาชนะมาปิดปากหม้อเพื่อกันไม่ให้ความชื้นระเหยออกจากหม้อผสมจนครบเวลา 90 วินาที

7.เดินเครื่องผสมต่อด้วยอัตราปานกลางเป็นเวลา 1 นาที เป็นอันเสร็จสิ้นการผสมมอร์ต้าร์




รูปที่ 3 การผสมมอร์ต้าร์

การทดสอบหาค่าการไหล

1.ทำความสะอาดผิวหน้าของโต๊ะการไหลให้สะอาด จากนั้นวางแบบทดสอบอัตราการไหลลงตรงกลาง

2.ตักมอร์ต้าร์ใส่ในแบบทดสอบการไหลให้มีความสูงประมาณ 25 มม. กระทุ้งด้วยไม้กระทุ้งจำนวน 20 ครั้งให้ทั่วตลอดหน้าตัด

3.ตักมอร์ต้าร์ใส่แบบอีก 1 ชั้นซึ่งมีความสูงประมาณ 25 มม. กระทุ้งมอร์ต้าร์เช่นเดียวกับชั้นที่ 1 สำหรับชั้นนี้ควรใส่ให้สูงกว่าแบบเล็กน้อยเพื่อทำการปาดหน้า

4.ใช้เกรียงเหล็กปาดผิวหน้าส่วนเกินทิ้งไปโดยใช้วิธีเลื่อนไปมาคล้าย ๆ กับการเลื่อยไม้

5.หากมีน้ำไหลออกมาใต้ฐานของแบบให้เช็ดน้ำออก และนำส่วนผสมของมอร์ต้าร์ที่ตกข้างแบบออกให้หมด

6.ยกแบบขึ้นในแนวตั้งอย่างช้า ๆ ซึ่งเวลาที่ใช้ตั้งแต่ใส่มอร์ต้าร์ลงแบบจนถึงเวลาที่ยกแบบออกจากโต๊ะผิวหน้าการไหลประมาณ 1 นาที

7.ทำการหมุนที่หมุนของโต๊ะการไหล ซึ่งจะยกจานของโต๊ะการไหลขึ้นสูง 13 มม. และปล่อยให้ตกอย่างอิสระจำนวน 25 รอบ ภายในเวลา 15 วินาที

8.มอร์ต้าร์ที่อยู่บนจานของโต๊ะการไหลจะแผ่ออกไป โดยเกือบเป็นวงกลม ให้คาลิเปอร์วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของมอร์ต้าร์จำนวน 4 ครั้ง ตรงตำแหน่งซึ่งมีมุม 45 องศา

9.บวกค่าที่อ่านได้ 4 ครั้งเข้าด้วยกัน ค่าที่อ่านได้คือร้อยละของเส้นผ่านศูนย์กลางของมอร์ต้าร์ที่เพิ่มขึ้นจากเดิม

10.จดค่าการไหลที่ได้

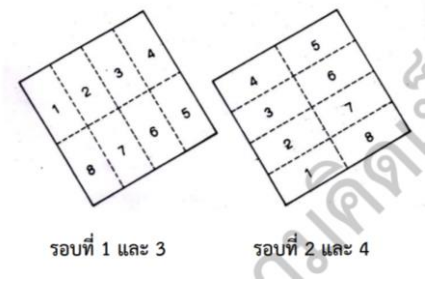
การหล่อมอร์ต้าร์ลงแบบ

1.หลังจากทดสอบค่าการไหล ให้นำมอร์ต้าร์ใส่คืนหม้อผสม ผสมมอร์ต้าร์อีกครั้งเป็นเวลา 15 วินาที ด้วยอัตราผสมปานกลาง หลังจากการผสมเสร็จเขย่าใบกวนเพื่อให้มอร์ต้าร์ที่ติดอยู่ตามใบกวนตกลงไปรวมที่ก้นหม้อผสม

2.ทำการหล่อมอร์ต้าร์ทั้งหมดลงในแบบหล่อโดยใช้เวลาทั้งหมดในการหล่อลงแบบไม่เกิน 2 นาที 30 วินาที

3.ใช้เกรียงเหล็กตักมอร์ต้าร์ใส่แบบหล่อชั้นแรกโดยมีความหนาประมาณ 22 มม.

4.กระทุ้งมอร์ต้าร์ด้วยไม้กระทุ้งจำนวน 32 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่างในเวลา 10 วินาที โดยแบ่งการกระทุ้งเป็น 4 รอบ ๆ ละ 8 ครั้ง แต่ละรอบกระทุ้งตั้งฉากกันและกัน



รูปที่ 4 ลำดับการกระทุ้งในการหล่อก้อนทดสอบ

5.ประมาณน้ำหนักที่ใช้กระทุ้งให้เพียงพอที่จะทำให้มอร์ต้าร์มีความสม่ำเสมอ

6.เมื่อกระทุ้งชั้นที่ 1 เสร็จสิ้นทุกตัวอย่างแล้ว ใส่มอร์ต้าร์ชั้นที่ 2 มีความหนาประมาณ 25 มม. กระทุ้งเช่นเดียวกับกรณีของชั้นแรก

7.เมื่อเสร็จสิ้นการกระทุ้งแล้ว มอร์ต้าร์ควรมีความสูงกว่าขอบด้านบนเล็กน้อย ให้ใช้มือดันมอร์ต้าร์ที่ล้นแบบเข้าไปอยู่ในแบบ ใช้เกรียงเหล็กปาดผิวหน้ามอร์ต้าร์ให้เรียบและเสมอกับขอบแบบหล่อ



รูปที่ 5 การหล่อมอร์ต้าร์ลงแบบ

การเก็บและบ่มตัวอย่าง

1.หลังจากหล่อตัวอย่างเรียบร้อย ให้นำตัวอย่างไปเก็บไว้ในห้องที่มีความชื้นไม่น้อยกว่าร้อยละ 50

2.เมื่อมอร์ต้าร์มีอายุครบ 24 ชั่วโมงจึงถอดแบบออก เพื่อนำมอร์ต้าร์ไปบ่มในน้ำปูนขาวอิ่มตัว เพื่อไม่ให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ในมอร์ต้าร์ละลายออกมา น้ำปูนขาวอิ่มตัวทำได้โดยการนำปูนขาวไปละลายในน้ำประปา กวนน้ำและปูนขาวให้เข้ากัน เมื่อถึงจุดอิ่มตัวปูนขาวจะยังเหลือที่ก้นถัง โดยทั่วไปจะใช้ปูนขาวประมาณ 1-2 กก. ผสมน้ำสะอาดประมาณ 20 ลิตร

การทดสอบกำลังอัด

1.ในกรณีที่ทำการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่อายุ 24 ชั่วโมง ให้ทำการทดสอบทันที หากทดสอบที่อายุอื่น ๆ ให้ทำการทดสอบทันทีที่นำมอร์ต้าร์ออกจากถังที่ทำการบ่มด้วยน้ำปูนขาวอิ่มตัว

อายุของมอร์ต้าร์และความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ [8]

อายุที่ทดสอบ	เวลาคลาดเคลื่อนที่ยอมให้
24 ชั่วโมง	±30 นาที
3 วัน	±1 ชั่วโมง
7 วัน	±3 ชั่วโมง
28 วัน	±12 ชั่วโมง

2.ในกรณีที่ทำการทดสอบมากกว่า 1 ตัวอย่าง ให้ใช้ผ้าชุบน้ำคลุมตัวอย่างที่รอการทดสอบจนกว่าจะได้ทดสอบ

3.ก่อนนำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบ ให้ทำการเช็ดตัวอย่างที่เปียกน้ำให้แห้ง เลือกด้านที่เรียบที่สุด 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกันเพื่อรับแรงจากเครื่องทดสอบ

4.หากด้านที่เลือกเพื่อทำการทดสอบไม่เรียบพอ ให้นำด้านที่ทดสอบขัดถูบนกระดาษทรายที่วางบนพื้นเรียบ

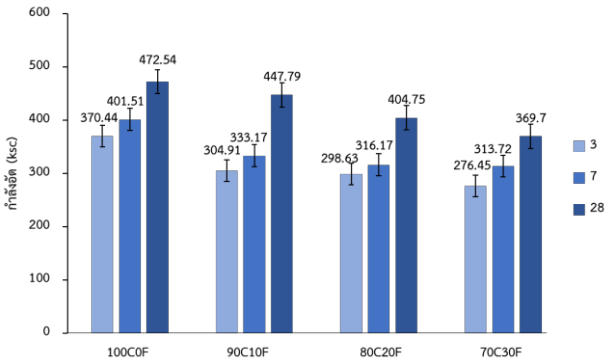
5.ทดสอบการรับน้ำหนักของมอร์ต้าร์ โดยวางตัวอย่างมอร์ต้าร์บนเครื่องทดสอบ นำแผ่นแบริ่งวางบนตัวอย่างมอร์ต้าร์ให้อยู่ตรงศูนย์กลางเครื่อง

6.ให้น้ำหนักกดแก่ตัวอย่างมอร์ต้าร์ด้วยอัตราคงที่ 135 กิโลกรัมต่อวินาที จนตัวอย่างวิบัติ บันทึกค่าน้ำหนักประลัย

ผลการทดสอบ

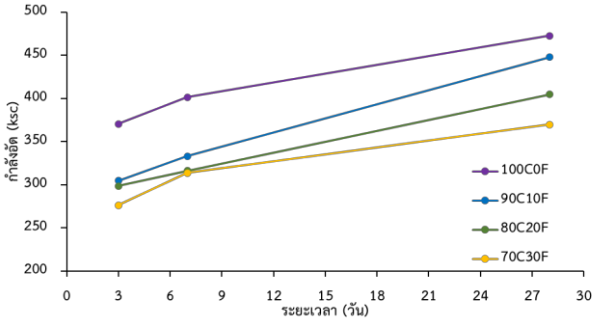
ตารางที่ 5 ค่ากำลังอัดประลัยของมอร์ต้าร์

ชื่อ	กำลังอัดประลัย (กก/ซม^2)		
	3 วัน	7 วัน	28 วัน
100C0F	370.44	401.51	472.54
90C10F	304.91	333.17	447.78
80C20F	298.63	316.17	404.75
70C30F	276.45	313.72	369.70



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ต้าร์และระยะเวลาการบ่ม

จากรูปที่ 6 ค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ระยะเวลาบ่มนานกว่าจะมีค่าสูงกว่าที่ระยะเวลาบ่มน้อยกว่า



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ต้าร์และอัตราส่วนผสม

จากรูปที่ 7 ค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ไม่ได้ผสมเถ้ายางมีค่าสูงสุดและลดลงมาตามอัตราส่วนผสม

4. สรุปผลการทดสอบ

การศึกษากำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้ายางหนักสามารถสรุปผลการทดสอบได้ว่า

1.คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ ความหนาแน่นของเถ้ายางหนักและปูนซีเมนต์ที่ทดสอบด้วยขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์กับน้ำมันก๊าด พบว่ามีความหนาแน่นเท่ากับ 2.82 และ 3.15 ก/ลบ.ซม. ตามลำดับ สำหรับความถ่วงจำเพาะและการดูดน้ำของทรายทดสอบด้วยขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.62 ร้อยละการดูดน้ำ 0.73 %

2.การทดสอบด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด พบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ายางหนักเข้าไปร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 นั้นทำให้กำลังอัดเฉลี่ยของมอร์ต้าร์ที่บ่ม 3 วันเท่ากับ 370.44, 304.91, 298.63 และ 276.45 กก/ซม^3 บ่ม 7 วันเท่ากับ 401.51, 333.17, 316.17 และ 313.72 กก/ซม^3 และบ่ม 28 วันเท่ากับ 472.54, 447.78, 404.75 และ 369.70 กก/ซม^3 ตามลำดับ

3.กำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ไม่ได้แทนที่ด้วยเถ้ายางหนักมีค่ากำลังอัดสูงที่สุด และลดลงมาตามอัตราส่วนการแทนที่ การที่กำลังอัดมีค่าลดลงนั้นอาจเป็นผลมาจากส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ที่มีส่วนช่วยเรื่องกำลังอัดถูกแทนที่ด้วยอนุภาคของเถ้ายางหนักทำให้กำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ทดสอบได้มีค่าลดลงตามอัตราส่วนผสม และการพัฒนากำลังของมอร์ต้าร์มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการบ่มจะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์เกิดขึ้นได้ต่อเนื่อง โครงสร้างของเนื้อซีเมนต์จะแน่นขึ้นและคอนทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] ASTM C 109/ C 109M-99 : Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars.

[2] ASTM C 188-95 : Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement.

[3] ASTM C 128-97 : Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates.

[4] ปริญญา จินดาประเสริฐ, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล.(2561). ปูนซีเมนต์ปอซโซลาน และคอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (สคท.).

[5] อาบีดีน ดะแซสาเมาะ, จินดา มะมิง, โนรีสะ ราแดง, ยาเซ็ง อาแว. (2554,). สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของอิฐที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพารา. 6(1): 25.

[6] ASTM C 702-98 : Standard Practice for Reducing Sample of Aggregate to Testing Size.

[7] ASTM C 230/C 230M-98 : Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement.

ภาคผนวก

ตัวอย่าง	อายุ (วัน)	ขนาด (ซม.)	น้ำหนัก (ก.)	ปริมาตร ($ม^3$)	ความหนาแน่น ($กก/ม^3$)	กำลังอัดประลัย (กก.)	กำลังอัดประลัย ($กก/ซม^2$)	ค่าเฉลี่ย ($กก/ซม^2$)
100C0F	3	5.0x5.0x5.2	285.2	0.00013	2193.85	8198.78	327.95	370.44
	3	5.0x5.0x5.2	283.6	0.00013	2181.54	10407.75	416.31	
	3	5.1x5.0x5.2	287.1	0.00013	2165.16	9177.37	367.09	
	7	5.0x5.0x5.1	284.6	0.00013	2232.16	10092.76	403.71	401.51
	7	5.0x5.1x5.1	290.5	0.00013	2233.76	10551.48	422.06	
	7	5.1x5.0x5.1	285.4	0.00013	2194.54	9467.89	378.72	
	28	5.0x5.1x5.1	285.1	0.00013	2192.23	10768.6	430.74	472.54
	28	5.1x5.2x5.2	293.6	0.00014	2126.02	11376.15	455.05	
	28	5.1x5.0x5.2	289.1	0.00013	2180.24	13296.64	531.87	
90C10F	3	5.1x5.1x5.1	281.3	0.00013	2120.60	7642.20	305.69	304.91
	3	5.0x5.0x5.0	274.3	0.00013	2194.40	7506.68	300.39	
	3	5.0x5.0x5.1	280.7	0.00013	2201.57	7715.60	308.62	
	7	5.0x5.0x5.1	278.7	0.00013	2185.88	8124.36	324.97	333.17
	7	5.0x5.0x5.1	277.6	0.00013	2177.25	7754.22	310.17	
	7	5.1x5.0x5.1	282.1	0.00013	2169.17	9109.07	364.36	
	28	5.0x5.0x5.0	281.3	0.00013	2250.4	10135.58	405.42	447.78
	28	5.1x5.1x5.2	284.4	0.00014	2102.74	12454.64	498.19	
	28	5.1x5.0x5.1	280.5	0.00013	2156.86	10992.86	439.71	
80C20F	3	5.0x5.0x5.0	279.3	0.00013	2234.4	7839.96	313.60	298.63
	3	5.0x5.0x5.0	276.7	0.00013	2213.60	6492.36	259.69	
	3	5.0x5.0x5.0	278.9	0.00013	2231.20	8066.26	322.65	
	7	5.0x5.0x5.1	279.9	0.00013	2195.29	7532.11	301.28	316.17
	7	5.1x5.0x5.1	282.1	0.00013	2169.17	8189.60	327.58	
	7	5.0x5.1x5.1	281.0	0.00013	2160.71	7991.85	319.67	
	28	5.0x5.0x5.1	280.4	0.00013	2199.22	10815.50	432.62	404.75
	28	5.0x5.0x5.1	285.5	0.00013	2239.22	10114.25	404.57	
	28	5.0x5.1x5.1	284.0	0.00013	2183.76	9426.25	377.05	
70C30F	3	5.0x5.0x5.0	277.0	0.00013	2216.00	6639.14	265.57	276.45
	3	5.0x5.0x5.1	284.1	0.00013	2228.24	7150.87	286.03	
	3	5.0x5.0x5.1	282.1	0.00013	2212.54	6944.95	277.80	
	7	5.0x5.0x5.1	283.5	0.00013	2223.53	8347.60	333.90	313.72
	7	5.0x5.0x5.0	282.6	0.00013	2260.80	6834.86	273.39	
	7	5.0x5.0x5.0	279.4	0.00013	2235.20	8346.59	333.86	
	28	5.0x5.1x5.0	283.7	0.00013	2225.10	9012.23	360.49	369.70
	28	5.0x5.1x5.0	284.3	0.00013	2229.80	9828.75	393.15	
	28	5.1x5.1x5.0	282.1	0.00013	2169.17	8887.87	355.51	

กำลังดัดของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนัก

Flexural strength of recycled aggregate concrete mixed with para-wood ash

กีรติกา อวดกล้า[1,*] เกียรติชัย สุพรรณ์[2] นรภัทร มงคลพงษ์[3] วนัสบดี วังหน้า[4] อุบลวรรณ สังกรณีย์[5] และ ผศ.ดร.วรเทพ แซ่ล่อง[6]

[1,2,3,4,5]นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

[6]อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

**Corresponding author; E-mail address: 63101685@up.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงดัดและพฤติกรรมการวิบัติของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนักโดยแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ายางหนักอัตราส่วนร้อยละ 0, 15 และ 30 ตามลำดับ แทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติด้วยมวลรวมรีไซเคิลอัตราส่วนร้อยละ 0, 50 และ 100 ตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่าคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนักสามารถรับแรงดัดได้น้อยกว่าคอนกรีตทั่วไปอยู่เล็กน้อย ดังนั้นจึงสามารถใช้วัสดุรีไซเคิลในปริมาณที่เหมาะสมในการทดแทนและลดต้นทุนการสร้างคอนกรีตได้

Abstract

In this study, the flexural strength properties and failure behavior of recycled aggregate concrete mixed with para-wood ash by applying heavy ash and RCA to reinforce the concrete using 15 and 30 percent ratios for heavy ash, 50 and 100 percent ratios for RCA. The results showed that recycled aggregate concrete mixed with para-wood ash can receive slightly less bending than conventional concrete. Therefore, recycling materials can be used in the right amount to replacement and reduce the cost of concrete construction.

1. คำนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยมีการก่อสร้างและการรื้อถอนสิ่งก่อสร้างมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงมีการผลิตคอนกรีตเพิ่มขึ้น โดยกระบวนการผลิตคอนกรีตจำเป็นต้องอาศัยหินจากธรรมชาติเข้ามาใช้เป็นมวลรวมหยาบ เพราะเหตุนี้หินที่มีอยู่ตามธรรมชาติจะถูกใช้ในกระบวนการผลิตคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง เมื่อมีการใช้หินเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ทรัพยากรหินตามธรรมชาติที่มีอยู่ที่ใช้เป็นวัสดุหลักในการผลิตคอนกรีตก็ถูกใช้ไปอย่างสิ้นเปลืองทำให้ต้องขยายเนื้อที่ ๆจะต้องใช้ในการขุด เจาะ ระเบิดหินดังกล่าว ซึ่งส่วนมากเป็นบริเวณภูเขา ป่าไม้ ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกภาวะโลกร้อน อีกทั้งปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อม จึงมีการคิดค้นที่จะนำทรัพยากรที่ไม่ได้ใช้งานแล้ว อย่างเช่น มวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) นำไปแปรสภาพ แล้วนำกลับมาใช้งานอีกครั้ง มวลรวมหยาบจากคอนกรีตรีไซเคิลได้รับจากการรื้อถอนอาคาร หรือปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ใช้แล้วมาเป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตคอนกรีต เพื่อลดการใช้หินจากธรรมชาติ และยังสามารถยืดเวลาในการใช้ทรัพยากรได้ยาวนานขึ้น อีกทั้งช่วยลดต้นทุนของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้หินในงานก่อสร้างได้ ทำให้ได้คอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล (RCA) [1]

ในปัจจุบันยังมีเศษไม้ยางพาราที่นำไปเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆหรือนำไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากกระบวนการเผาเศษไม้ยางพารา ส่งผลทำให้เกิดเถ้ายางพาราจำนวนมากจากกระบวนการเหล่านี้ ซึ่งเป็นปัญหาในการกำจัดทิ้ง [2]

จากการนำมวลรวมหยาบที่ได้จากธรรมชาติมาใช้อย่างต่อเนื่องและปริมาณเถ้ายางพาราที่มีปริมาณมาก จึงมีแนวคิดในการนำมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลมาใช้แทนที่หิน และนำเถ้ายางหนักมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ เป็นการลดการใช้หินและปูนซีเมนต์ ซึ่งในโครงงานได้ทำการศึกษากำลังดัดของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนัก เพื่อที่จะหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลและเถ้ายางหนักในส่วนผสมคอนกรีต ส่งผลทำให้เกิดการลดจำนวนขยะเหลือทิ้งจากงานก่อสร้างและเถ้ายางที่ไม่ถูกนำมาใช้ประโยชน์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของการแทนที่ของมวลรวมหยาบด้วยเศษคอนกรีตในอัตราส่วนต่างๆที่มีต่อค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล

1.2.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลของการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ายางหนักในอัตราส่วนต่างๆที่มีต่อกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 อัตราส่วนการแทนที่หินด้วยมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลจะคิดเป็นร้อยละ 0, 50 และ 100 ตามลำดับ

1.3.2 อัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ายางหนักจะคิดเป็นร้อยละ 0, 15 และ 30 ตามลำดับ

1.3.3 เถ้ายางที่ได้จากโรงงานไฟฟ้ากลุ่มธุรกิจพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวล

1.3.4 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด 15x15x50 cm^3

1.3.5 ค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ เถ้ายางหนัก หิน RCA และทราย มีค่าเท่ากับ 3.15, 2.82, 2.69, 2.46 และ 2.59 ตามลำดับ

1.3.6 ขนาดใหญ่สุดที่ใช้ของหินและ RCA มีขนาดเท่ากับ 3/4 นิ้ว

1.3.7 เถ้ายางหนักที่ใช้จะต้องร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงการพัฒนากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรีไซเคิลแทนที่หิน

1.4.2 ทราบถึงการแทนที่ของมวลรวมหยาบด้วยเศษคอนกรีตในอัตราส่วนต่างๆที่มีต่อค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล

1.4.3 ทราบถึงการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ายางหนักในอัตราส่วนต่างๆ ที่มีต่อกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล

1.5 แผนการทำงาน

ตารางที่ 1 แผนการทำงาน

ขั้นตอน	เดือน							
	6	7	8	9	10	11	12	1
1.ศึกษาค้นคว้าและออกแบบส่วนผสม								
2.เตรียมส่วนผสมต่างๆเพื่อใช้ในการหล่อแบบคานคอนกรีต								
3.ทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนัก								
4.สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบ								
5.จัดทำรูปเล่มและนำเสนอรายงานผลการทดลอง								

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การทดสอบความหนาแน่นของปูนซีเมนต์

ความหนาแน่นของปูนซีเมนต์มีประโยชน์เพื่อใช้ในการควบคุมและออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต นอกจากนี้ยังใช้ตรวจสอบว่าปูนซีเมนต์ดังกล่าวเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หรือไม่ เพราะถ้าเป็นปูนซีเมนต์ผสม (Mixed cement) จะมีความหนาแน่นที่ต่ำกว่า 3.15 ค่อนข้างมาก [3]

การทดสอบความหนาแน่นของปูนซีเมนต์ สามารถประยุกต์ใช้เพื่อหาความหนาแน่นของวัสดุผงชนิดอื่นๆ เช่น เถ้าถ่านหิน, เถ้าแกลบ, ซิลิกาฟูม และทรายบดละเอียด เป็นต้น โดยอาศัยหลักการแทนที่ปริมาตรของวัสดุผงด้วยของเหลวที่ไม่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์และวัสดุผง ซึ่งของเหลวที่นิยมใช้ในการทดลองคือ น้ำมันก๊าด (Kerosene) [3]

2.1.2 การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดน้ำของมวลรวมหยาบ

การดูดน้ำ (Absorption) ของหิน หมายถึงการที่หินมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการดูดน้ำของหินไม่นับปริมาณน้ำที่ติดอยู่ที่ผิวภายนอกของหิน ปริมาณการดูดน้ำของหินมีหน่วยเป็นร้อยละของน้ำหนักของหินแห้ง น้ำหนักหินแห้งหมายถึงน้ำหนักของหินที่อบที่อุณหภูมิ 105-115 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานพอสมควรที่จะทำให้น้ำระเหยออกจากตัวหินจนหมด โดยทั่วไปคือประมาณ 24 ชั่วโมง [3]

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของหิน คืออัตราส่วนของมวลของหิน (หรือน้ำหนักของหินที่ชั่งในอากาศ) ต่อมวลของน้ำ (หรือน้ำหนักของน้ำ) ที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของหินนั้น ณ อุณหภูมิที่กำหนด ดังนั้นความถ่วงจำเพาะจึงไม่มีหน่วย [3]

ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent specific gravity) ของหิน คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของหินที่ชั่งในอากาศต่อน้ำหนักของน้ำกลั่นที่ไม่มีอากาศอยู่ภายใน ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับหินนั้น (ไม่รวมถึงโพรงอากาศในหิน) ณ อุณหภูมิที่กำหนด [3]

ความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk specific gravity) ของหิน คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของหินที่ชั่งในอากาศต่อน้ำหนักของน้ำกลั่นที่ไม่มีอากาศอยู่ภายใน ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับหินนั้น (รวมถึงโพรงอากาศในหิน ทั้งที่น้ำซึมผ่านได้และที่น้ำซึมผ่านไม่ได้) ณ อุณหภูมิที่กำหนด [3]

ความถ่วงจำเพาะรวม-อิ่มตัวผิวแห้ง (Bulk specific gravity at saturated surface dry, SSD) ของหิน คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของหินที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (รวมถึงน้ำหนักของน้ำที่ดูดซึมเข้าไปในโพรงอากาศของหิน) ที่ชั่งในอากาศต่อน้ำหนักของน้ำกลั่นที่ไม่มีอากาศอยู่ภายในซึ่งมีปริมาตรเท่ากับหินนั้น ณ อุณหภูมิที่กำหนด [3]

2.1.3 ความถ่วงจำเพาะและการดูดน้ำของมวลรวมละเอียด

การดูดน้ำ (Absorption) ของทราย หมายถึงการที่ทรายมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากดูดน้ำเข้าสู่โพรงหรือช่องว่างในทราย แต่ไม่นับรวมถึงปริมาณน้ำที่ติดอยู่ที่ผิวภายนอกของทราย ดังนั้นการทดสอบเพื่อหาการดูดน้ำของทรายจำเป็นต้องหาสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งของทรายก่อน ซึ่งสภาวะดังกล่าวของทรายมีความแตกต่างจากสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งของหิน [3]

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของทราย คืออัตราส่วนของมวลของทราย (หรือน้ำหนักของทรายที่ชั่งในอากาศ) ต่อมวลของน้ำ (หรือน้ำหนักของน้ำ) ที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของทรายนั้น ณ อุณหภูมิที่กำหนด [3]

ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent specific gravity) ของทราย คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของทราย ที่ชั่งในอากาศต่อน้ำหนักของน้ำกลั่นที่ไม่มีอากาศอยู่ภายใน ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับทรายนั้น (ไม่รวมโพรงอากาศใน

ทราย) ณ อุณหภูมิที่กำหนด ความถ่วงจำเพาะปรากฏไม่ได้ใช้บ่อยนักในงานคอนกรีตเทคโนโลยี [3]

ความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk specific gravity) ของทราย คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของทราย ที่ชั่งในอากาศต่อน้ำหนักของน้ำกลั่นที่ไม่มีอากาศอยู่ภายใน ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับทรายนั้น (ไม่รวมโพรงอากาศในทรายทั้งที่น้ำซึมผ่านได้และที่น้ำซึมผ่านไม่ได้) ณ อุณหภูมิที่กำหนด [3]

ความถ่วงจำเพาะรวม-อิ่มตัวผิวแห้ง (Bulk specific gravity at saturated surface dry, SSD) ของทราย คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (รวมถึงน้ำหนักของน้ำที่ดูดซึมเข้าไปในโพรงอากาศของทราย) ที่ชั่งในอากาศต่อน้ำหนักของน้ำกลั่นที่ไม่มีอากาศอยู่ภายใน ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับทรายนั้น ณ อุณหภูมิที่กำหนด ความถ่วงจำเพาะ-อิ่มตัวผิวแห้งเป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตค่อนข้างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ในห้องปฏิบัติการ [3]

2.1.4 การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต

การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ คุณสมบัติของคอนกรีตขึ้นอยู่กับคุณสมบัติวัสดุต่างๆที่ใช้เป็นส่วนประกอบ การควบคุมคุณภาพของคอนกรีตจึงมีความสำคัญอย่างมาก นอกจากนี้การควบคุมการทำงานและการทดสอบที่เป็นมาตรฐานเป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต และต้องให้ความสำคัญต่อความสามารถเทได้ กำลังและความคงทนของคอนกรีต ความสามารถในการทำงานได้ง่ายเมื่อคอนกรีตยังเหลวอยู่ สามารถรับแรงกระทำเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว และเพื่อให้โครงสร้างคอนกรีตสามารถทนทานต่อการใช้งานในสภาพต่างๆ [3]

ภายหลังการออกแบบส่วนผสมแล้วต้องมีการทดลองผสมเพื่อตรวจสอบคุณภาพของคอนกรีตทั้งในห้องปฏิบัติการและในภาคสนาม ซึ่งหากส่วนผสมที่ทดลองผสมไม่เป็นไปตามที่ต้องการ จำเป็นต้องมีการปรับส่วนผสมใหม่ ทั้งนี้การใช้อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้จริงในการผสมและทำคอนกรีต ย่อมทำให้เกิดความมั่นใจว่าจะได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติและคุณภาพตามที่ต้องการ [3]

2.1.5 การบ่มตัวอย่างทดสอบคอนกรีต

กรณีคอนกรีตรูปคานต้องบ่มตามแบบคอนกรีตรูปทรงกระบอก โดยมีอุณภูมิการบ่มอยู่ในช่วง 21-25 องศาเซลเซียส ใช้น้ำปูนขาวอิ่มตัวในการบ่มคานเป็นเวลาอย่างน้อย 20 ชั่วโมงก่อนเวลาที่จะทำการทดสอบ นอกจากนี้ยังต้องระวังไม่ให้ผิวของตัวอย่างคานแห้งระหว่างที่จะนำขึ้นจากน้ำเพื่อรอการทดสอบ เนื่องจากพบว่าผิวของคานคอนกรีตที่ค่อนข้างแห้งสามารถทำให้เกิดแรงดึงขึ้นที่ผิวหน้าคานได้ ดังนั้นจึงทำให้การรับกำลังดัดของคานลดลง [3]

2.1.6 การทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตโดยใช้คาน

การทดสอบหากำลังดัดของคอนกรีตโดยใช้ตัวอย่างคานที่มีน้ำหนักกระทำที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของช่วงคาน (Simple beam with third-point loading) การทดสอบดังกล่าวถือได้ว่าคานคอนกรีตวิบัติภายใต้แรงดึงที่เกิดจากโมเมนต์ดัดเท่านั้นและถือได้ว่าเป็นการรับแรงดึงของคอนกรีตภายใต้แรงดัด (ไม่มีแรงเฉือนมาเกี่ยวข้อง) โดยสมมุติว่าน้ำหนักของคานคอนกรีตที่ใช้ทดสอบมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับน้ำหนักกระทำจนไม่จำเป็นต้องนำมาคิดคำนวณ [3]

ผลการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตเรียกว่า โมดูลัสแตกร้าว(Modulus of rupture) โมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีตมีค่าแปรผันตามขนาดของตัวอย่างที่ทดสอบ, วิธีการเตรียมตัวอย่าง, ความชื้นของคอนกรีต วิธีการบ่ม , ชนิดของตัวอย่างซึ่งหล่อขึ้นมาเองหรือได้จากการตัดตัวอย่างคอนกรีต ดังนั้นการรายงานผลการทดสอบจึงต้องให้รายละเอียดของข้อมูลเหล่านี้ประกอบด้วยทุกครั้ง [3]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 Structural behavior of concrete beams containing recycled coarse aggregates under flexure.

จากงานวิจัยของ Yang และคณะ [4] ได้ศึกษาพฤติกรรมเชิงโครงสร้างของคานคอนกรีตที่มีมวลรวมหยาบรีไซเคิล (RCA) ได้รับการตรวจสอบในการศึกษานี้โดยใช้ข้อมูลการทดลองโดยละเอียด มีคานคอนกรีตทั้งหมด 12 คานได้รับการทดสอบในโปรแกรมการทดลอง : โดยคาน 9 คานที่มี RCA ที่แตกต่างกัน และมีคานควบคุม 3 คานที่มีมวลรวมหยาบตามธรรมชาติ (NCA).

พารามิเตอร์สำหรับตรวจสอบพฤติกรรมโครงสร้างของคานคอนกรีต RCA ภายใต้แรงดัดคือ ปริมาณ RCA (30%, 50% และ 100%) และอัตราส่วนแรงดึงของเหล็กเส้น (0.50%, 0.79% และ 1.14%) รูปแบบรอยแตกของคาน RCA นั้นคล้ายคลึงกับคาน NCA อย่างไรก็ตามคาน RCA มีระยะห่างของรอยแตกน้อยกว่าคาน NCA ความแข็งแรงดัดได้รับผลกระทบเล็กน้อยจาก RCA และความเหนียวของคานไม่ได้รับอิทธิพลจาก RCA อย่างมีนัยสำคัญ การเปรียบเทียบผลการทดลองและการคำนวณที่ได้ จากข้อกำหนด ACI 318 และ EC 2 สำหรับกำลังรับแรงดัด แสดงให้เห็นว่าข้อกำหนดในปัจจุบันทำนายค่าความต้านทานแรงดัดของคานคอนกรีต RCA แบบอนุรักษ์นิยม [4]

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1 เถ้ายางหนักและมวลรวมรีไซเคิล

นำเถ้ายางหนักมาบดให้ละเอียด แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 และมวลรวมรีไซเคิลนำมาทุบ แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ ¾ แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ ½ แสดงดังรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ


รูปที่ 1 เถ้ายางหนัก


รูปที่ 2 มวลรวมรีไซเคิล

3.1.2 ปูนซีเมนต์

3.1.3 มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด

สำหรับมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด ใช้จากห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 3 มวลรวมหยาบ



รูปที่ 4 มวลรวมละเอียด

3.2 ทดสอบหาความหนาแน่น

3.2.1 ปูนซีเมนต์และเถ้ายาง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์
2. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
3. น้ำมันก๊าด
4. เครื่องชั่งที่มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.05 g.
5. เทอร์โมมิเตอร์

วิธีการทดสอบ

1. เติมน้ำมันก๊าดลงในขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์จนถึงระดับระหว่าง 0 ถึง 1 ml. นำไปแช่อ่างน้ำประมาณ 20 – 30 นาที บันทึกค่าระดับของน้ำมันก๊าด
2. ชั่งวัสดุผงที่จะทดสอบเป็นน้ำหนักประมาณ 64 g.
3. ค่อยๆ ใส่วัสดุผงลงในขวดเลอชาเตอลิเอร์จนหมด โดยไม่ให้มีเศษวัสดุผงติดอยู่ภายในขวดที่อยู่เหนือระดับน้ำมันก๊าด
4. ทำการกลิ้งขวดไปมา เพื่อไล่ฟองอากาศจนไม่มีฟองอากาศลอยไปมาแล้วจึงนำขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์แช่ลงในอ่างน้ำเพื่อปรับอุณหภูมิอีกครั้ง อ่านค่าระดับของน้ำมันก๊าดที่ขีดระดับของขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์
5. ทำซ้ำอีกครั้งเพื่อนำมาเปรียบเทียบความแตกต่าง

จากการทดสอบหาความหนาแน่นของปูนซีเมนต์และเถ้ายางหนักได้ผลการทดสอบสอบ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความหนาแน่นของวัสดุ

วัสดุ	ความหนาแน่น (kg/m³)	w/b
ปูนซีเมนต์	1,400	-
เถ้ายางหนัก	2,821	-
มวลรวมหยาบ	2,688	-
มวลรวมรีไซเคิล	2,453	-
ทราย	2,579	-
น้ำ	997	0.6

3.3 ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดน้ำ

3.3.1 มวลรวมละเอียด

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องชั่ง ซึ่งสามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 1 kg. ความแม่นยำร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักที่ทดสอบ หรือไม่น้อยกว่า 0.1 g.
2. ขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ปริมาตร 500 cm^3
3. แบบรูปกรวดโลหะ
4. เหล็กกระทุ้ง

วิธีการทดสอบ

1. คัดเลือกทรายโดยการแบ่ง 4 ส่วนตามมาตรฐาน ASTM C 702 [5] โดยใช้ทรายจำนวน 1 kg.
2. นำทรายใส่ถาดโลหะอบแห้งประมาณ 24 ชั่วโมง ปล่อยทรายให้เย็นลงในอุณภูมิห้อง จากนั้นนำน้ำสะอาดเทลงบนทรายจนชุ่มและปล่อยทรายดูดน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. รินน้ำที่เกินออกจากถาดทรายแผ่ตัวอย่างให้มีความหนาบางๆ จากนั้นใช้เครื่องเป่าลมเป่าลมอุ่นบนทรายอย่างช้าๆระหว่างที่เป่าลมอุ่นให้คนทรายไปทั่วๆเพื่อให้ทรายแห้งอย่างทั่วถึงและมีความสม่ำเสมอ
4. เมื่อตัวอย่างทรายเริ่มแห้งหมาดๆให้นำทรายใส่ลงในแบบรูปกรวยโลหะจนล้นพูนแบบกรวยปาดผิวหน้าใช้เหล็กกระทุ้งยกขึ้นสูงจากผิวหน้าทรายประมาณ5มม.ปล่อยให้ตกอย่างอิสระลงบนผิวหน้าทรายจำนวน 25 ครั้งจากนั้นยกแบบรูปกรวยขึ้นตรงๆอย่างช้าๆหากตัวอย่างทรายมีการล้มแม้เพียงบางส่วนแสดงว่าทรายอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง
5. เติมน้ำลงในขวดพิคโนมิเตอร์บางส่วนจากนั้นนำตัวอย่างทรายประมาณ 500 g. ใส่ลงในขวดพิคโนมิเตอร์จนหมด
6. เติมน้ำอีกครั้งลงในขวดแก้วพิคโนมิเตอร์จนถึงความจุประมาณร้อยละ 90 ทำการเขย่าหรือกลิ้งขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ไปมาเพื่อไล่ฟองอากาศประมาณ 15 – 20 นาที
7. ปรับอุณหภูมิของน้ำในขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ให้ได้ 23 องศาเซลเซียสโดยการนำขวดพิคโนมิเตอร์ไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิไว้ข้างต้นจากนั้นเติมน้ำลงในขวดพิคโนมิเตอร์จนถึงระดับที่กำหนดชั่งน้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่ใส่ทรายและน้ำ
8. เททรายและน้ำทั้งหมดลงสู่ภาชนะโลหะหากทรายยังออกไม่หมดให้ใส่น้ำลงไปในขวดแก้วเพื่อช่วยในการนำทรายออกจากขวดแก้วนำไปอบให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมงปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องและชั่งตัวอย่างทรายที่อบแห้ง
9. ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียสนำขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ขวดเดิมใส่น้ำที่มีอุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียสจนถึงระดับที่กำหนดจากนั้นชั่งขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ที่ใส่น้ำ

3.3.2 มวลรวมหยาบ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องชั่ง มีความแม่นยำถึงร้อยละ 0.05 ของน้ำหนักที่ทดสอบ หรือไม่น้อยกว่า 0.5 g. แล้วแต่ค่าไหนจะน้อยกว่ากัน
2. ตะกร้าโลหะที่ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักของมวลรวมหยาบในน้ำ
3. ถังน้ำ มีขนาดใหญ่พอที่จะใส่ตะกร้าที่มีหินบรรจุอยู่เพื่อชั่งน้ำหนักในน้ำได้
4. ตะแกรงร่อนทรายหรือหิน ใช้ตะแกรงเบอร์ 3/4

วิธีทดสอบ

1. อบตัวอย่างมวลรวมหยาบที่อุณหภูมิ 105 – 115 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมวลรวมหยาบทั้งหมดไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณอุณหภูมิห้องทดสอบ โดยให้น้ำท่วมมวลรวมหยาบ เป็นเวลา 20 – 24 ชั่วโมง

2. นำตัวอย่างมวลรวมหยาบขึ้นจากน้ำ กลิ้งมวลรวมหยาบบนผ้าแห้งเพื่อซับน้ำที่ติดผิวมวลรวมหยาบออก หลังจากเช็ดน้ำออกจากผิวมวลรวมหยาบจนมวลรวมหยาบชื้นข้างนอกและข้างในเนื้อมวลรวมหยาบที่โพรงเต็มไปด้วยน้ำ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า “อิ่มตัวผิวแห้ง” นำตัวอย่างมวลรวมหยาบไปชั่งน้ำหนักทันที

3. ทันทีที่ชั่งน้ำหนักมวลรวมหยาบแล้ว ให้นำมวลรวมหยาบที่มีสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งใส่ในตะกร้าที่เตรียมไว้และทำการชั่งน้ำหนักของมวลรวมหยาบอีกครั้งในน้ำ ในระหว่างที่หย่อนตะกร้าลงในน้ำ ตะกร้าต้องจมอยู่ในน้ำทั้งหมดในขณะที่ชั่งน้ำหนักของมวลรวมหยาบ

4. นำตัวอย่างมวลรวมหยาบทั้งหมดไปอบที่อุณหภูมิ 105 – 115 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่แล้วปล่อยให้อุณหภูมิเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง และชั่งน้ำหนักของหินอีกครั้ง

จากการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดน้ำของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบได้ผลการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซับความชื้น

วัสดุ	ความถ่วงจำเพาะ	การดูดน้ำ (%)
ปูนซีเมนต์	3.15	-
เถ้ายางหนัก	2.82	-
มวลรวม	2.69	0.88
มวลรวมรีไซเคิล	2.46	6.51
ทราย	2.59	0.725

3.4 ขั้นตอนเตรียมตัวอย่างคานคอนกรีต

3.4.1 ผสมตัวอย่างตามสัดส่วนผสมของคานคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนัก แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนัก

ลำดับ	ปูนซีเมนต์ (kg)	เถ้ายาง (kg)	หิน (kg)	RCA (kg)	ทราย (kg)	น้ำ (kg)
100C0F100R0A	11.25	0	30.61	0	29.39	6.75
100C0F50R50A	11.25	0	15.30	14.09	29.39	6.75
100C0F0R100A	11.25	0	0	28.18	29.39	6.75
85C15F100R0A	9.56	1.51	30.61	0	29.39	6.75
85C15F50R50A	9.56	1.51	15.30	14.09	29.39	6.75
85C15F0R100A	9.56	1.51	0	28.18	29.39	6.75
70C30F100R0A	7.87	3.02	30.61	0	29.39	6.75
70C30F100R0A	7.87	3.02	15.30	14.09	29.39	6.75
70C30F0R100A	7.87	3.02	0	28.18	29.39	6.75

3.4.2 การทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีต

การทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต ใช้เพื่อทดสอบหาค่าความข้นเหลวของคอนกรีตในสภาพเหลวโดยใช้วิธีการทดสอบหาค่าการยุบตัว เพื่อตรวจสอบความสามารถเทได้ของคอนกรีต (Workability) ค่ายุบตัวไม่ได้เป็นค่าที่วัดความสามารถเทได้ของคอนกรีตโดยตรง แต่เป็นการวัดความข้นเหลวของคอนกรีต (Consistency) หรือลักษณะการไหลตัวของคอนกรีต (Flow Characteristic) แม้วิธีนี้จะไม่เหมาะสมสำหรับทดสอบคอนกรีตที่เหลว หรือแห้งมากแต่ก็มีประโยชน์อย่างมากและสะดวกสำหรับการควบคุมความสม่ำเสมอของการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ เช่น ในกรณีที่ค่ายุบตัวของคอนกรีตมีค่ามากกว่าปกติที่ออกแบบไว้ แสดงให้เห็นว่าจะต้องมีความผิดปกติเกิดขึ้นในสัดส่วนผสม ขนาดคละหรือความชื้นในมวลรวมซึ่งจะช่วยให้ผู้ผลิตคอนกรีตสามารถตรวจสอบและแก้ไขได้


(ก)


(ข)

รูปที่ 5 (ก), (ข) การทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีต

3.5 ทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนัก

ทำการหล่อตัวอย่างคานรูปทรงขนาด 15x15x50 cm^3 โดยอัตราส่วนผสมของคอนกรีตรีไซเคิลผสมเถ้ายาง แสดงดังตารางที่ 4 จากนั้นทำการถอดแบบหล่อเมื่อตัวอย่างมีอายุครบ 48 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างไปบ่มในน้ำสะอาดเป็นเวลา 28 วัน จากนั้นทำการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานตามมาตราฐาน ASTM C 78 [6] แล้วนำผลการทดสอบไปเปรียบเทียบเพื่อหาสัดส่วนผสมของการใช้เถ้ายางหนักและมวลรวมรีไซเคิลแทนที่ปูนซีเมนต์และมวลรวมหยาบ ที่สามารถรับแรงดัดได้ดีที่สุด


รูปที่ 6 การหล่อตัวอย่างคาน


รูปที่ 7 การบ่มตัวอย่าง


รูปที่ 8 การทดสอบกำลังดัด


รูปที่ 9 ตัวอย่างคานหลังการทดสอบ

4. วิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีต

จากการศึกษากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนักจำนวน 9 ตัวอย่าง โดยที่มีอัตราส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้ายาง

หนัก แสดงดังตารางที่ 4 ผลการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนักแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนักที่ 28 วัน

ลำดับ	ความยาว ,L (cm)	ความกว้าง,B (cm)	ความลึก,D (cm)	กำลังรับแรงดัดที่คานรับได้ (kg)	โมดูลัสแตกร้าว ,σ (kg/cm^2)
100C0F100R0A	50	15.19	14.98	4133.18	60.61
100C0F50R50A	50	14.58	15.15	3696.75	55.27
100C0F0R100A	50	14.55	15.18	3324.56	49.59
85C15F100R0A	50	14.70	15.17	3411.58	50.45
85C15F50R50A	50	14.97	15.13	3159.03	46.08
85C15F0R100A	50	14.96	15.13	3103.97	45.31
70C30F100R0A	50	14.97	15.10	2583.92	37.86
70C30F100R0A	50	15.03	14.90	2445.58	36.64
70C30F0R100A	50	15.07	14.97	2417.03	35.81

***C ปูนซีเมนต์, F เถ้ายางหนัก, R มวลรวมหยาบ, A มวลรวมรีไซเคิล

4.2 สมการคำนวณหาโมดูลัสแตกร้าว

$$\sigma_t = \frac{PL}{BD^2} \quad (1)$$

เมื่อ σ_t = โมดูลัสแตกร้าว(kg/cm^2)

P = น้ำหนักประลัยสูงสุดที่ทำให้คานคอนกรีตหักเป็น 2 ท่อน (kg)

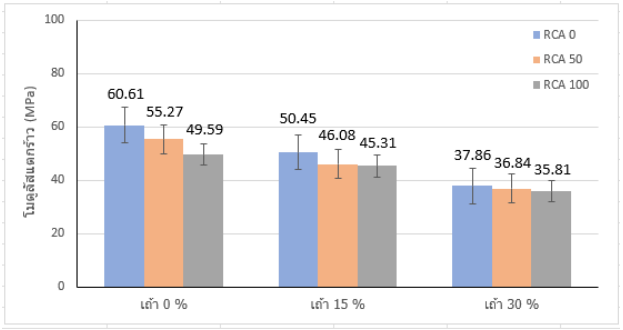
L = ความยาวช่วงคานที่ทดสอบ (cm)

B = ความกว้างเฉลี่ยของคาน (cm)

D = ความลึกเฉลี่ยของคาน (cm)

4.3 พิจารณาค่าโมดูลัสแตกร้าว

จากรูปที่ 10 การใช้เถ้ายางหนักแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 15 และ 30 โดยปริมาตร ทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลงตามปริมาณการเพิ่มเถ้ายางหนักในส่วนผสมคอนกรีต แสดงดังตารางที่ 4 เถ้ายางหนักมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าปูนซีเมนต์ แสดงดังตาราง 3 ส่งผลต่อความแข็งแรงและความทนทานของคอนกรีต ส่วนการใช้มวลรวมรีไซเคิลแทนที่มวลรวมหยาบในอัตราส่วนร้อยละ 0, 50 และ 100 ตามลำดับ มีค่าร้อยละการดูดน้ำที่มากกว่ามวลรวมหยาบ แสดงดังตารางที่ 3 และมวลรวมรีไซเคิลมีความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะน้อยกว่ามวลรวมหยาบ แสดงดังตารางที่ 2 และ 3 ดังนั้นหากคอนกรีตมีความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะที่ลดลง จะส่งผลต่อน้ำหนักโดยรวมและการรับน้ำหนักของโครงสร้าง ทำให้ความสามารถในการรับกำลังดัดลดลง โดยค่าโมดูลัสแตกร้าวจึงลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 10 ค่าโมดูลัสแตกร้าวที่ 28 วัน

5. สรุปผลการทดสอบ

จากวัตถุประสงค์ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 จากการทดสอบกำลังรับแรงดัด พบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ายางหนักในอัตราส่วนร้อยละ 0, 15, 30 ตามลำดับ และการแทนที่มวลรวมหยาบด้วยมวลรวมรีไซเคิลในอัตราส่วนร้อยละ 0, 50, 100 ตามลำดับ ทำให้ทราบค่ากำลังดัดเฉลี่ยของคอนกรีตบ่มที่ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 4133.18, 3696.75, 3324.56, 3411.58, 3159.03, 3103.97, 2583.92, 2445.58 และ 2417.033 ตามลำดับ

5.2 จากการแทนที่มวลรวมหยาบด้วยมวลรวมรีไซเคิล ค่าโมดูลัสแตกร้าวลดลง เนื่องจากมวลรวมรีไซเคิลมีค่าการดูดน้ำที่มากกว่ามวลรวมหยาบ จึงทำให้คอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนักมีความพรุนมากกว่าคอนกรีตธรรมชาติ และมีความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่นที่น้อยกว่ามวลรวมหยาบ ส่งผลต่อน้ำหนักโดยรวมและการรับน้ำหนักของโครงสร้าง จึงทำให้กำลังรับแรงดัดลดลง ค่าโมดูลัสแตกร้าวจึงลดลงตามไปด้วย

5.3 จากการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ายางหนัก ค่าโมดูลัสแตกร้าวลดลง เนื่องจากเถ้ายางหนักมีความพรุนสูง และมีความถ่วงจำเพาะที่น้อยกว่าปูนซีเมนต์ ส่งผลต่อความแข็งแรงและความทนทานของคอนกรีต จึงทำให้กำลังรับแรงดัดลดลง

ดังนั้นจากการศึกษากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนัก พบว่าเมื่อเพิ่มเถ้ายางหนักและมวลรวมรีไซเคิลมากขึ้น ส่งผลให้กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตลดลง

เอกสารอ้างอิง

[1] ชนากานต์ พันธุ์รัตน์. 2559. การพัฒนากำลังของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิล (RCA) เป็นมวลรวมหยาบปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA). นครราชศรีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[2] ทวิช กล้าแท้, นภดล ศรภักดี, ชยณัฐ บัวทองเกื้อ และ นฤพล ดีดาษ. 2562. การใช้ประโยชน์จากเถ้าไม้ยางพาราในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น. สงขลา : วารสารวิจัยมาวิทยาลัยราชมงคลศรีวิชัย

[3] ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ วีรชาติ ตั้งจิรภัทร. คู่มือการทดสอบปูนซีเมนต์มวลรวม และคอนกรีต. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[4] Yang, I.H., Fark, J., Kim, K-C., and Lee, H.B. 2020. Structural Behavior of Concrete Beams Containing Recycled Coarse Aggregates under Flexure. Gansan : Department of Civil Engineering, Kunsan National University, Kunsan, Jeonbuk 54150, Republic of Korea

[5] American Society for Testing and Materials, ASTM C 702-98 : Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size, Annual Book of ASTM Standards, 2001, Vol. 04.02, Philadelphia, 374-377.

[6] American Society for Testing and Materials, ASTM C 78-00 : Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), Annual Book of ASTM Standards, 2001, Vol. 04.01, Philadelphia, 32-34.

ภาคผนวก

สัญลักษณ์	ตัวอย่างที่	อายุวัน (Days)	ความยาวช่วงคาน,L (cm)	ความลึกคาน,D (cm)	ความกว้างคาน,B (cm)	กำลังที่คานรับได้,P (Kg)	โมดูลัสแตกร้าว,σ (Kg/cm^2)
100C0F100R0A	1	28	50	14.77	15.23	4106.33	60.61
	2	28	50	14.93	15.27	4357.18	
	3	28	50	15.42	14.9	3936.04	
100C0F50R50A	1	28	50	14.78	15.25	4060.45	55.27
	2	28	50	14.78	15.25	3683.16	
	3	28	50	13.7	15.3	3346.66	
100C0F0R100A	1	28	50	14.5	15.2	3385.40	49.59
	2	28	50	14.43	15.3	3736.18	
	3	28	50	14.73	15	2852.10	
85C15F100R0A	1	28	50	14.9	15.2	3692.33	50.45
	2	28	50	14.93	15.2	3020.35	
	3	28	50	14.27	15	3522.04	
85C15F50R50A	1	28	50	14.9	15.2	3329.32	46.08
	2	28	50	15.1	15.2	3200.84	
	3	28	50	14.9	15	2946.93	
85C15F0R100A	1	28	50	15	15.2	3110.09	45.31
	2	28	50	14.9	15	3124.36	
	3	28	50	14.97	15.2	3077.45	
70C30F100R0A	1	28	50	14.9	15	2590.04	37.86
	2	28	50	15	15.2	2521.72	
	3	28	50	15	15.1	2640.00	
70C30F100R0A	1	28	50	15	15	2507.44	36.64
	2	28	50	14.9	15	2410.57	
	3	28	50	14.8	15.1	2418.73	
70C30F0R100A	1	28	50	15	15	2388.14	35.81
	2	28	50	15	15.1	2395.28	
	3	28	50	14.9	15.1	2467.67	

กำลังดึงของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนัก

Tensile strength of recycled aggregrate concrete mixed with para-wood ash

ธมลวรรณ อินทะสี[1] สมฤทธิ์ ซือมื้อ[2] อภิชยา ดวงสุวรรณ์[3*]และวรเทพ แซ่ล่อง[4]

[1,2,3] นิสิตปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
[4]อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
**Corresponding author; E-mail address: 63102620@up.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการแทนที่มวลรวมหยาบจากธรรมชาติด้วยคอนกรีตรีไซเคิลและแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้ายาง เพื่อศึกษาถึง กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตในรูปแบบของทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. โดยใช้มวลรวมรีไซเคิลแทนที่หินที่อัตราส่วน 0%, 50% และ100% ตามลำดับ ใช้เถ้ายางในการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนที่ 0%, 10% และ20% ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่าเมื่อมีการแทนที่มวลรวมด้วยคอนกรีตรีไซเคิลและเถ้ายางที่มากขึ้น กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตจะมีค่าน้อยลดลง

Abstract

The objective of this research is to study the effect of replacing natural coarse aggregate with recycled concrete aggregate and replacing Portland cement with para-wood ash. To study tensile strength of concrete in the form of a cylinder with diameter 15 cm, height 30 cm by using recycled concrete aggregate in place of natural aggregate 15 the at ratios of 0%, 50% and 100% respectively. Para-wood ash was used to replace Portland cement at ratios. 0%, 10% and 20% respectively. Experimital results showed that when the aggregate was replaced with recycled aggregate concrete and more para-wood ash, the tensile strength of concrete becomes.

1. คำนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการก่อสร้างเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในกระบวนการผลิตคอนกรีตจำเป็นต้องอาศัยหินจากธรรมชาติมาเป็นมวลรวมหยาบ เมื่อมีการใช้หินเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ หินตามธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดจะถูกใช้ในการผลิตคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง ทำให้จำเป็นต้องขยายเนื้อที่ในการขุด เจาะ ระเบิดหิน ซึ่งส่วนมากเป็นบริเวณภูเขา ป่าไม้ ทำให้เกิดปัญหาภาวะเรือนกระจก ภาวะโลกร้อนหรืออาจจะต้องหาแหล่งที่มาของหินที่ได้คุณภาพจากพื้นที่ผลิตอื่น ซึ่งก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งเพิ่มขึ้น จึงมีการคิดค้นที่จะนำทรัพยากรที่ไม่ได้ใช้งานแล้วอย่างเช่นมวลรวมรีไซเคิล (Recycled concrete aggregate ,RCA) นำไปผ่านกระบวนการแปรสภาพแล้วนำกลับมาใช้งานอีกครั้ง และในปัจจุบันไม้ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูกเป็นอันดับสองของโลก หลังจากไม้ยางพาราที่ไม่สามารถผลิตน้ำยางพาราได้ เกษตรกรมักจะโค่นต้นยางพาราเก่าขายให้กับอุตสาหกรรมอื่น เพื่อนำไปแปรรูปเป็นเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ซึ่งจะเหลือเศษไม้ยางพาราที่เกิดการกระบวนการเหล่านี้ เศษไม้เหล่านี้จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ และในปัจจุบันยังนำไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากกระบวนการเผาไม้ยางพาราส่งผลทำให้เกิดเถ้ายางจำนวนมาก ซึ่งเป็นปัญหาในการหาวิธีการกำจัดทิ้ง

มวลรวมหยาบจากคอนกรีตรีไซเคิลได้รับจากการรื้ออาคารหรือเศษปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ใช้แล้ว นำมาเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตแทนการใช้หิน ซึ่งเป็นการลดการใช้หินจากธรรมชาติ และยังสามารถยืดระยะเวลาในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดได้ยาวนานขึ้น และยังช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้หินในงานก่อสร้างได้ แต่เนื่องจากคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล (Recycled concrete aggregate) นั้นมีข้อด้อยบางประการจะทำให้กำลังรับแรงอัดที่ได้มีค่าน้อยกว่าคอนกรีตที่ผลิตจากหินธรรมชาติ [1] และเถ้ายางที่เหลือจากการเผาไหม้ มีลักษณะเนื้อผงสีน้ำตาล มีองค์ประกอบสำคัญทางเคมีเป็นแคลเซียมออกไซด์ประมาณร้อยละ 41 [2] ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับปูนซีเมนต์ จัดเป็นสารปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C618 [3] จากงานวิจัยในปัจจุบัน เริ่มมีการนำเถ้ายางแทนที่บางส่วนของปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต แต่การเพิ่มปริมาณของเถ้ายาง ทำให้ค่ากำลังอัดลดลง และมีการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้น

จากการนำมวลรวมหยาบที่ได้จากธรรมชาติมาใช้อย่างต่อเนื่องและปริมาณเถ้ายางจากการเผาไหม้ที่มีปริมาณมาก ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลมาแทนที่การใช้หิน และนำเถ้ายางมาแทนที่การใช้ปูนซีเมนต์ เพื่อลดปริมาณการใช้หินและปูนซีเมนต์ในงานก่อสร้าง โดยในโครงงานนี้ได้ทำการศึกษากำลังดึงของคอนกรีต เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม

ของปริมาณมวลคอนกรีตรีไซเคิลและเถ้ายางในส่วนผสมคอนกรีต ส่งผลให้เกิดการลดจำนวนขยะจากงานก่อสร้างและการกำจัดเถ้ายางให้เกิดประสิทธิผล มีประโยชน์ต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อมทั้งในปัจจุบันและอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษากำลังดึงผ่าซีกของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายาง

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของเถ้ายางหนักต่อกำลังดึงของคอนกรีตในอัตราส่วนต่างๆ

1.2.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลต่อกำลังดึงของคอนกรีตในอัตราส่วนต่างๆ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 อัตราส่วนการแทนที่หินด้วยมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล คือร้อยละ 0, 50 และ 100 ตามลำดับ

1.3.2 เถ้ายางได้รับจากโรงงานไฟฟ้ากลุ่มธุรกิจพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวล

1.3.3 การทดสอบแรงดึงโดยวิธีผ่าซีก (Splitting tensile test) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C469[4]

1.3.4 อัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ายาง คือร้อยละ 0, 10 และ 20 ตามลำดับ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ใช้ประโยชน์จากเศษเถ้ายางที่เหลือใช้และยังเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อม

1.4.2 ได้ลดปริมาณขยะที่ใช้ในงานก่อสร้าง

1.4.3 สามารถนำข้อมูลจากวิจัยนี้ไปเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในงานก่อสร้างอย่างมีประสิทธิภาพ

1.5 แผนการทำงาน

ตารางที่ 1 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอน	เดือน							
	6	7	8	9	10	11	12	1
1.ศึกษาค้นคว้าและออกแบบส่วนผสม								
2.เตรียมวัสดุอุปกรณ์ต่างๆเพื่อใช้ในการทดสอบ								
3.ทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางหนัก								
4.สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง								
5.จัดทำรูปเล่มและนำเสนอรายงานผลการทดลอง								

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การทดลองกำลังดึง (Tensile test) เป็นวิธีการทดสอบหาค่ากำลังดึงของคอนกรีต เพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเหล็กเสริม ถึงแม้คอนกรีตจะไม่ได้รับแรงดึงโดยตรง แต่การทราบค่ากำลังดึงจะช่วยในการควบคุมการแตกร้าวของคอนกรีตจากผลกระทบต่างๆ เช่น อุณหภูมิ การหดตัว (Splitting) เป็นวิธีการทดสอบกำลังดึงผ่าซีก ใช้ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกวางนอนเพื่อรับแรงกดตามแนวแกนที่ส่งผ่านจากแผ่นไม้อัดหนา 3 มม. กว้าง 25 มม. ก้อนตัวอย่างจะแตกในแนวดิ่งตามเส้นผ่านศูนย์กลาง จึงสามารถคำนวณกำลังต้านทานกำลังดึงบนระนาบแนวแตกร้าวได้ การทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตที่ทดสอบโดยวิธีผ่าซีก ค่าที่ได้จะสูงกว่าแรงดึงจริงของคอนกรีต ประมาณร้อยละ 15 %[4]

2.2 วิจัยที่เกี่ยวข้อง

เทิดศักดิ์ สายสุทธิ์[1] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำหัวเสาเข็มเหลือใช้นำมารีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบโดยการนำไปแทนที่มวลรวมหยาบจากธรรมชาติร้อยละ 25, 50, 75 และ100 โดยน้ำหนัก เพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมมวลรวมหยาบรีไซเคิลตามมาตรฐาน BS 1881 ซึ่งใช้แบบหล่อเหล็กทรงลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร จำนวน 180 ตัวอย่าง โดยกำหนดค่ากำลังอัดประลัยที่ออกแบบไว้เท่ากับ 210, 280 และ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากนั้นทำการบ่มคอนกรีตที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ จากผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมมวลรวมหยาบรีไซเคิล ในอัตราส่วนร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักตามลำดับ เมื่ออายุ การบ่ม 28 วัน จะมีค่ากำลังรังแรงอัดโดยเฉลี่ยลดลงร้อยละ 3.75, 17.02, 19.37 และ 30.40 ตามลำดับ โดยที่มวลรวมรีไซเคิลจะมีคุณสมบัติทางกายภาพคือ มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมผิวขรุขระและมีมอร์ตาหุ้มเกาะผิวที่ไม่เรียบ คม รวมทั้งค่าความพรุนและการดูดน้ำยังมีค่ามากกว่ามวลรวมหยาบจากธรรมชาติและความถ่วงจำเพาะยังมีค่าน้อยกว่ามวลรวมหยาบจากธรรมชาติ ซึ่งมวลรวมรีไซเคิลจะมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่ามวลรวมธรรมชาติส่งผลให้คอนกรีตผสมมวลรวมรีไซเคิลจึงมีความเหมาะสมกับการใช้งานประเภทงานพื้น, ถนน,งานพื้นทางเท้า หรืองานโครงสร้างอาคารที่พักอาศัย

มีนักวิจัย [5] ได้ศึกษาวิจัย เรื่อง การเปรียบเทียบวัสดุถมกลับจากเถ้ายางพาราและเถ้าปาล์มสำหรับใช้ ในงานปิโตรเลียม โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าหนักในปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก มีระยะเวลาการบ่ม 0, 7 และ 28 วัน ทดลองด้วยการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ พบว่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าหนัก 15 เปอร์เซนต์ อายุการบ่มน้ำ 28 วัน มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าหนักในอัตราส่วนอื่นๆ

3. วิธีการดำเนินงาน

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์หลักของโครงงานนี้ วิธีดำเนินงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

3.1 ความถ่วงจำเพาะและการดูดน้ำของมวลรวมละเอียด

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องชั่ง ความแม่นยำร้อยละ 0.1
2. ขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ปริมาตร 500 ซม.^{3}
3. แบบรูปกรวยโลหะ
4. เหล็กกระทุ้ง

3.1.2 การเตรียมตัวอย่างทรายและการทดสอบ

1. คัดเลือกทรายโดยการแบ่ง 4 ส่วนโดย ใช้ทรายจำนวน 1 กก.

2. นำทรายใส่ถาดโลหะ อบแห้งประมาณ 24 ชั่วโมง ปล่อยทรายให้เย็นลงในอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำน้ำสะอาดเทลงบนทรายจนชุ่มและปล่อยทรายดูดน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. รินน้ำที่เกินออกจากถาดทราย แผ่ตัวอย่างให้มีความหนาบางๆ จากนั้นใช้เครื่องเป่าลม เป่าลมอุ่นลงบนทรายอย่างช้าๆ ระหว่างที่เป่าลม อุ่นให้คนทรายไปทั่ว ๆ เพื่อให้ทรายแห้งอย่างทั่วถึงและมีความสม่ำเสมอ

4. เมื่อตัวอย่างทรายเริ่มแห้งหมาดๆ ให้นำทรายใส่ลงในแบบรูปกรวยโลหะจนล้นพูนแบบกรวย ปาดผิวหน้า ใช้เหล็กกระทุ้งยกขึ้นสูงจากผิวหน้าทรายประมาณ 5 มม. ปล่อยให้ตกอย่างอิสระลงบนผิวหน้าทรายจำนวน 25 ครั้ง จากนั้นยกแบบรูปกรวยขึ้นตรง ๆ อย่างช้า ๆ หากตัวอย่างทรายมี การล้มแม้เพียงบางส่วน แสดงว่าทรายอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

5. เติมน้ำลงในขวดพิคโนมิเตอร์บางส่วน จากนั้นนำตัวอย่างทรายประมาณ 500 ก. ใส่ลงในขวดพิคโนมิเตอร์จนหมด

6. เติมน้ำอีกครั้งลงในขวดแก้วพิคโนมิเตอร์จนถึงความจุประมาณร้อยละ 90 ทำการเขย่า หรือกลิ้งขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ไปมา เพื่อไล่ฟองอากาศประมาณ 15-20 นาที

7. ปรับอุณหภูมิของน้ำในขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ให้ได้ 23 องศาเซลเซียส โดยการนำขวดพิคโนมิเตอร์ไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิที่ระบุไว้ข้างต้น จากนั้นเติมน้ำลงในขวดพิคโนมิเตอร์จนถึงระดับที่กำหนด ชั่งน้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่ใส่ทรายและน้ำ

8. เททรายและน้ำทั้งหมดลงสู่ภาชนะโลหะ หากทรายยังออกไม่หมดให้ใส่น้ำลงไปในขวดแก้วเพื่อช่วยในการนำทรายออกจากขวดแก้ว นำไปอบให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง และชั่งตัวอย่างทรายที่อบแห้ง

9. นำขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ขวดเดิม ใส่น้ำ ที่มีอุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส จนถึงระดับที่กำหนด จากนั้นชั่งขวดแก้วพิค โนมิเตอร์ที่ใส่น้ำ

ผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 ดังนี้

ผลการทดลอง

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดน้ำของทราย

น้ำหนักของทรายหลังจากอบแห้ง(ก.)	496.5
น้ำหนักของขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ที่ใส่น้ำ (ก.)	654.7
น้ำหนักของขวดแก้วพิคโนมิเตอร์ที่ใส่ทรายและน้ำ (ก.)	961.4
น้ำหนักของทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (ก.)	500.1
ความถ่วงจำเพาะรวม	2.567
ความถ่วงจำเพาะรวม-อิ่มตัวผิวแห้ง	2.586
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ	2.616
ร้อยละการดูดน้ำของทราย (%)	0.725

3.2 ความหนาแน่นของเถ้ายาง

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์
2. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
3. น้ำมันก๊าด
4. เครื่องชั่งที่มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.05 ก.
5. เทอร์โมมิเตอร์

วิธีการทดสอบ

1. เติมน้ำมันก๊าดลงในขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์จนถึงที่ระดับระหว่าง 0 ถึง 1 มล. นำไปแช่อ่างน้ำประมาณ 20-30 นาที บันทึกค่าระดับของน้ำมันก๊าด

2. ชั่งเถ้ายางหนักที่จะทดสอบเป็นน้ำหนักประมาณ 64 ก.

3. ค่อย ๆ ใส่เถ้ายางหนักลงในขวดเลอชาเตอลิเอร์จนหมด โดยไม่ให้มีเศษ เถ้ายางหนักติดอยู่ภายในขวดที่อยู่เหนือระดับน้ำมันก๊าด

4. ทำการกลิ้งขวดไปมา เพื่อไล่ฟองอากาศจนไม่มีฟองอากาศลอยไปมา แล้วจึงนำขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์ลงแช่ในอ่างน้ำเพื่อปรับอุณหภูมิอีกครั้ง อ่านค่าระดับของน้ำมันก๊าดที่ขีดระดับของขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์

5. ทำซ้ำอีกครั้งเพื่อนำมาเปรียบเทียบความแตกต่าง

ผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3 ดังนี้

ผลการทดลอง

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความหนาแน่นของเถ้ายางหนัก

ตัวอย่าง	A	B	ค่าเฉลี่ย
น้ำหนักของเถ้ายางหนัก (ก.)	64	64	64
ระดับของขวดแก้วเมื่อใส่น้ำมันก๊าด (มล.)	0.2	0.3	0.25
ระดับของขวดแก้วเมื่อใส่น้ำมันก๊าดและเถ้ายางหนัก (มล.)	22.8	23.1	22.95
ความหนาแน่นของเถ้ายางหนัก (ก./ลบ.ซม.)	2.83	2.81	2.82

3.3 ความหนาแน่นของปูนซีเมนต์

3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์
2. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
3. น้ำมันก๊าด
4. เครื่องชั่งที่มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.05 ก.
5. เทอร์โมมิเตอร์

3.3.2 วิธีการทดสอบ

1. เติมน้ำมันก๊าดลงในขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์จนถึงที่ระดับระหว่าง 0 ถึง 1 มล. นำไปแช่อ่างน้ำประมาณ 20-30 นาที บันทึกค่าระดับของน้ำมันก๊าด

2. ชั่งปูนซีเมนต์ที่จะทดสอบเป็นน้ำหนักประมาณ 64 ก.

3. ค่อย ๆ ใส่ปูนซีเมนต์ลงในขวดเลอชาเตอลิเอร์จนหมด โดยไม่ให้มีเศษปูนติดอยู่ภายในขวดที่อยู่เหนือระดับน้ำมันก๊าด

4. ทำการกลิ้งขวดไปมา เพื่อไล่ฟองอากาศจนไม่มีฟองอากาศลอยไปมา แล้วจึงนำขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์ลงแช่ในอ่างน้ำเพื่อปรับอุณหภูมิอีกครั้ง อ่านค่าระดับของน้ำมันก๊าดที่ขีดระดับของขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์

5. ทำซ้ำอีกครั้งเพื่อนำมาเปรียบเทียบความแตกต่าง

ผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4 ดังนี้

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความหนาแน่นของปูนซีเมนต์

ตัวอย่าง	A	B	ค่าเฉลี่ย
น้ำหนักของปูนซีเมนต์ (ก.)	64	64	64
ระดับของขวดแก้วเมื่อใส่น้ำมันก๊าด (มล.)	0.2	0.5	0.35
ระดับของขวดแก้วเมื่อใส่น้ำมันก๊าดและปูนซีเมนต์ (มล.)	20.5	20.8	20.65
ความหนาแน่นของปูนซีเมนต์ (ก./ซม^3)	3.15	3.15	3.15

3.4 การเตรียมตัวอย่าง

3.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. แบบหล่อคอนกรีตทรงกระบอก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. และมีความสูง 30 ซม.)
2. เหล็กกระทุ้ง เหล็กกลม
3. ไม้เคาะข้างแบบ
4. เครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ในการหล่อคอนกรีตเข้าแบบ
5. ชุดทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต
6. ภาชนะใส่คอนกรีต เช่น ถังหรือถาดใส่คอนกรีต

3.4.2 วัสดุ

1.ปูนซีเมนต์
2.หิน ขนาด ¾
3.ทราย
4.เถ้ายางหนัก
5.RCA ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ ¾ ค้างตะแกรงเบอร์ ½
6.น้ำมันเครื่อง

3.4.3 การเก็บตัวอย่างคอนกรีต

ตัวอย่างคอนกรีตที่นำมาทดสอบควรเป็นตัวแทนของคอนกรีตทั้งหมด โดยทั่วไปมักเก็บตัวอย่างคอนกรีตอย่างน้อย 2 ครั้ง ในระหว่างที่เทคอนกรีตออกจากโม่ผสมคอนกรีต โดยเก็บคอนกรีตตรงช่วงกลางๆที่เทออกไป สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมในการเก็บตัวอย่างคอนกรีตสดเพื่อทำการทดสอบสามารถดูได้จาก ASTM C 172

3.4.4 การทดสอบค่ายุบตัว

1. ฉีดน้ำข้างแบบกรวยให้ชื้น เพื่อกันคอนกรีตติดข้างแบบ จากนั้นวางแบบกรวยลงบนถาดทดสอบ ใช้เท้าทั้งสองข้างเหยียบหูจับของกรวยเพื่อกันการเคลื่อนที่ของแบบกรวยระหว่างการเทใส่คอนกรีตลงในแบบกรวย

2. ใส่คอนกรีตลงในแบบกรวย 3 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรของคอนกรีตเท่ากัน

3. ในแต่ละชั้นของคอนกรีตจะใช้เหล็กกระทุ้งเป็นจำนวน 25 ครั้งให้ทั่วหน้าตัดของแต่ละชั้น โดยชั้นที่ 2 ให้กระทุ้งทะลุผ่านลงไปยังชั้นที่ 1 ประมาณ 2 ถึง 3 ซม. ชั้นที่ 3 ใช้วิธีเดียวกันกับการกระทุ้งชั้นที่ 2

4. เมื่อกระทุ้งชั้นที่ 3 เรียบร้อยแล้ว หากคอนกรีตยังต่ำกว่าแบบกรวยให้เติมคอนกรีตจนเต็มแบบกรวย จากนั้นใช้เหล็กกระทุ้งวางพาดบนปากกรวยแล้วหมุนเหล็กกระทุ้งเพื่อปาดคอนกรีตส่วนที่เกินออกไป

5. เมื่อดึงแบบกรวยขึ้น คอนกรีตจะยุบตัวลง (Slump) ซึ่งเป็นที่มาของคำว่าค่ายุบตัวทำการวัดระยะทางในแนวดิ่งที่คอนกรีตยุบตัวลงมา โดยวางแบบกรวยข้างๆคอนกรีตที่ทดสอบ จากนั้นใช้เหล็กกระทุ้งวางพาดบนขอบของกรวย และทำการวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีต

6. บันทึกค่าการยุบตัวของคอนกรีตให้ละเอียดถึง 0.5 ซม.

3.4.5 การเทคอนกรีตใส่แบบหล่อรูปทรงกระบอก

1. ทาน้ำมันเครื่องที่ผิวด้านในแบบหล่อบางๆ

2. ใส่คอนกรีตลงในแบบรูปทรงกระบอกชั้นที่ 1 จากนั้นใช้เหล็กกระทุ้งคอนกรีต จำนวน 25 ครั้ง ให้สม่ำเสมอทั่วหน้าตัด

3. ใส่คอนกรีตชั้นที่ 2 ให้กระทุ้งลึกลงไปในชั้นที่ต่ำกว่าประมาณ 2.5 ซม. เพื่อให้เนื้อคอนกรีตชั้นบนชั้นล่างเป็นเนื้อเดียวกัน ชั้นที่ 3 ใช้วิธีการเหมือนกับชั้นที่ 2

4. เมื่อกระทุ้งแต่ละชั้นเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ใช้ไม้เคาะแบบด้านนอกเบาๆ จำนวน 10-15 ครั้ง เพื่อปิดรูที่เกิดจากเหล็กกระทุ้ง หรือไล่ฟองอากาศขนาดใหญ่

5. หลังจากกระทุ้งและเคาะชั้นสุดท้าย ให้ใช้เหล็กกระทุ้งวางพาดบนขอบแบบรูปทรงกระบอกจากนั้นปาดคอนกรีตส่วนเกินทิ้งไป แล้วทิ้งไว้ประมาณ 15-30 นาที เพื่อปาดผิวหน้าให้เรียบ

6. เขียนสัญลักษณ์บนตัวอย่างคอนกรีต




รูปที่ 1 การหล่อคอนกรีตลงแบบหล่อ

3.4.6 การบ่มคอนกรีต

3.4.6.1 การบ่มคอนกรีตเบื้องต้น

หลังจากหล่อคอนกรีตลงสู่แบบและตกแต่งผิวหน้าเรียบร้อยแล้ว ให้นำตัวอย่างคอนกรีตที่อยู่ในรูปแบบหล่อไปเก็บไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในที่ซึ่งมีอุณหภูมิระหว่าง 16-27 องศาเซลเซียส และอยู่ในที่ซึ่งสามารถป้องกันการสูญเสียความชื้นของคอนกรีตออกสู่บรรยากาศได้

การจัดการเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นที่กำหนดข้างต้น สามารถทำได้โดยใส่ตัวอย่างคอนกรีตพร้อมแบบหล่อ ให้นำพลาสติกปิดผิวหน้าคอนกรีตให้สนิท

3.4.6.2 การบ่มคอนกรีตเพื่อรอเวลาทดสอบ

คอนกรีตรูปทรงกระบอก หลังจากบ่มคอนกรีตเบื้องต้นเรียบร้อยแล้ว (48 ชั่วโมง) ให้ถอดแบบเพื่อนถอดคอนกรีตออกจากแบบหล่อภายในเวลา 30 นาที นำคอนกรีตไปบ่มในน้ำสะอาดโดยให้น้ำท่วมคอนกรีตตลอดเวลาที่ทำการบ่ม หรืออยู่ในห้องที่ควบคุมให้มีความชื้นสูง และรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 23±2 องศาเซลเซียส




รูปที่ 2 การบ่มคอนกรีต

3.5 การทดสอบกำลังดึงผ่าซีกของคอนกรีตรูปทรงกระบอก

3.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องทดสอบ สามารถใช้เครื่องทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต จะเป็นแบบที่อ่านโดยใช้เข็ม หรืออ่านเป็นตัวเลขจากจอแสดงผลก็ได้

2. ตัดแผ่นไม้อัดขนาดความหนา 3 มม. กว้าง 25 มม. ยาว 30 ซม.

3.5.2 วิธีการทดสอบ

1. ใช้ดินสอหรือหมึก วาดแนวที่ต้องการทดสอบตามแนวแกนของตัวอย่างคอนกรีต

2. วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอนกรีตให้ใกล้เคียง 0.25 มม. โดยหาจากค่าเฉลี่ยของการวัด 3 ครั้ง คือ วัดจากปลายข้างละครั้งและที่กึ่งกลางตัวอย่างอีก 1 ครั้ง สำหรับความยาวของตัวอย่างได้จากการสัดค่าเฉลี่ย 2 ครั้ง ตรงตำแหน่งที่จะให้น้ำหนักกดแก่ตัวอย่างที่วาดแนวไว้ โดยวัดให้ละเอียดถึง 0.25 มม.

3. วางตัวอย่างคอนกรีตลงบนแผ่นไม้อัด โดยให้ไม้อัดอยู่ด้านบนและด้านล่างของคอนกรีต ที่สำคัญคือแนวการให้แรงต้องตรงกันตามแนวที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น

4. ให้น้ำหนักกดอย่างสม่ำเสมอแก่ตัวอย่างคอนกรีต โดยผ่านไม้อัดในอัตรา 690-1380 กิโลปาสคาลต่อนาที (ประมาณ 6.9-13.8 กก/ซม²/นาที) จนกระทั่งตัวอย่างวิบัติ ซึ่งโดยปกติตัวอย่างจะแตกออกเป็น 2 ซีก จากนั้นบันทึกค่าน้ำหนักประลัยที่คอนกรีตรับได้

ตารางที่ 5 อัตราส่วนผสม

Mix proportion of concrete (กก/ม³)						
Sample	ซีเมนต์	เถ้าลอย	รวมหยาบ		ทราย	น้ำ
			หิน	RCA		
100C0F100R0A	10.6	0	28.84	0	27.7	6.36
100C0F50R0A	10.6	0	14.42	13.28	27.7	6.36
100C0F0R100A	10.6	0	0	26.55	27.7	6.36
90C10F100R0A	9.54	0.95	28.84	0	27.7	6.36
90C10F50R50A	9.54	0.95	14.42	13.28	27.7	6.36
90C10F0R100A	9.54	0.95	0	26.55	27.7	6.36
80C20F100R0A	8.48	1.9	28.84	0	27.7	6.36
80C20F50R50A	8.48	1.9	14.42	13.28	27.7	6.36
80C20F0R100A	8.48	1.9	0	26.55	27.7	6.36





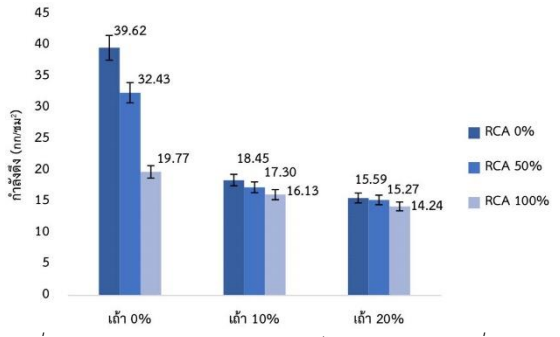



รูปที่ 3 การทดสอบกำลังดึงผ่าซีกของคอนกรีต

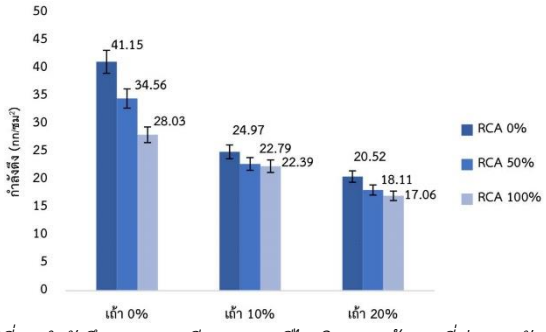
4. ผลการศึกษา

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดึง ณ 7 วัน และ 28 วัน

Sample	กำลังเฉลี่ย (กก/ซม^2)	
	7 วัน	28 วัน
100C0F100R0A	39.62	41.15
100C0F50R0A	32.43	34.56
100C0F0R100A	19.77	28.03
90C10F100R0A	18.45	24.97
90C10F50R50A	17.3	22.79
90C10F0R100A	16.13	22.39
80C20F100R0A	15.59	20.52
80C20F50R50A	15.27	18.11
80C20F0R100A	14.24	17.06



รูปที่ 4 กำลังดึงของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางที่บ่ม 7 วัน



รูปที่ 5 กำลังดึงของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมเถ้ายางที่บ่ม 28 วัน

จากรูป พบว่าการบ่มคอนกรีตที่ 7 วัน คอนกรีตที่ไม่มีการแทนที่มวลรวมด้วยคอนกรีตรีไซเคิลผสมเถ้ายางที่ 0%, 10% และ 20% มีกำลังรับแรงดึงเท่ากับ 39.62, 18.45 และ 15.59 กก/ซม^2 คอนกรีตที่มีการแทนที่มวลรวมด้วยคอนกรีตรีไซเคิล 50% ผสมเถ้ายางที่ 0%, 10% และ 20% มีกำลังรับแรงดึงเท่ากับ 32.43, 17.30 และ 15.27 กก/ซม^2 คอนกรีตที่มีการแทนที่มวลรวมด้วยคอนกรีตรีไซเคิล 100% ผสมเถ้ายางที่ 0%, 10% และ 20% มีกำลังรับแรงดึงเท่ากับ 19.77, 16.13 และ 14.24 กก/ซม^2

การบ่มคอนกรีตที่ 28 วัน คอนกรีตที่ไม่มีการแทนที่มวลรวมด้วยคอนกรีตรีไซเคิลผสมเถ้ายางที่ 0%, 10% และ20% มีกำลังรับแรงดึงเท่ากับ 41.15, 24.97 และ 20.52 กก/ซม^2 คอนกรีตที่มีการแทนที่มวลรวมด้วยคอนกรีตรีไซเคิล 50% ผสมเถ้ายางที่ 0%, 10% และ20% มีกำลังรับแรงดึงเท่ากับ 32.56, 22.79 และ 18.11 กก/ซม^2 คอนกรีตที่มีการแทนที่มวลรวมด้วยคอนกรีตรีไซเคิล 100% ผสมเถ้ายางที่ 0%, 10% และ20% มีกำลังรับแรงดึงเท่ากับ 28.23, 22.39 และ 17.06 กก/ซม^2

สรุปผลการศึกษา

การศึกษากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตที่มีการแทนที่มวลรวมหยาบตามธรรมชาติด้วยคอนกรีตรีไซเคิลและแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้ายางหนัก มีผลต่อกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล จากการวิเคราะห์ผลการศึกษาผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงผ่าซีกของคอนกรีตทรงกระบอกทั้ง 9 ตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่มีการแทนที่มวลรวมด้วยคอนกรีตรีไซเคิลและเถ้ายางหนัก ที่การบ่ม 7 และ 28 วัน มีค่ากำลังรับแรงดึงที่สูงที่สุดอยู่ที่ 39.62 และ 41.15 กก/ซม^2 ตามลำดับ ซึ่งทำให้เห็นว่าเมื่อมีการแทนที่มวลรวมด้วยคอนกรีตรีไซเคิลและเถ้ายางหนักที่มากขึ้น กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตจะมีค่าลดลงตามอัตราส่วนที่แทนที่

เอกสารอ้างอิง

[1] เทิดศักดิ์ สายสุทธิ์. 2555. RCA จากส่วนที่เหลือของเสาเข็มคอนกรีต, น. 1-11. ในรายการประชุมแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน ครั้งที่ 9. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน, นครปฐม

[2] อาบีเด็ง ฮาวา และ ดนุพล ตันนโยภาส (2551). ผลกระทบของเถ้าลอยไม้ยางพาราที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตมวลรวมพัมมิซ. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ครั้งที่ 6, สงขลา, 8-9 พฤษภาคม 2551, หน้า 115-120.

[3] ASTM C618, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete.

[4] American Society for Testing and Materail, ASTM C 496-96 : Standard Test Medthod for Splitting Tensile Strength Of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standard, 2001, Vol. 04.02, Philadelphia, 273-276.

[5] นักวิจัย. 2563. การเปรียบเทียบวัสดุถมกลับจากเถ้ายางพาราและเถ้าปาล์มสำหรับใช้ในงานปิโตเลียม, ในการประชุมวิชาการระดับชาติเทคโนโลยีภาคใต้ วิจัย ครั้งที่10

[6] Kang, M.and Weibin, L.,2018.Effect of the Aggregate Size on Strength Properties of Recycled Aggregate Concrete, Advances in Materials Science and Engineering Journal, Volume 2018, Article ID 2428576, 8 pages.

[7] Olorunsogo, F.T.andPadayachee, N.,2002. Performance of recycled aggregate concretemonitoring by durability indexes, Cement and Concrete Research 32(2), 179-185.

[8] American society for testing and materials. ASTM C 128: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and absorption of find aggregate.

ตารางที่ 7 ค่าทดสอบกำลังดึง

	No.	น้ำหนัก (กก.)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	สูง(ซม.)	D x H ($ซม^2$)	ปริมาตร ($ม^3$)	ความหนาแน่น ($กก/ม^3$)	กำลังผ่าซีก (กิโลนิวตัน)	กำลังผ่าซีก (กก.)	กำลังดึงผ่าซีก ($กก/ซม^2$)	ค่าเฉลี่ย ($กก/ซม^2$)	วันบ่ม
100C0F100R0A	1	12.61	15.02	30.2	453.6	0.00535	2356.56	272.72	27799.84	39.02		
	2	12.52	15.06	30	451.8	0.00534	2342.84	280.85	28629.43	40.34	39.62	7 วัน
	3	12.58	15.04	30	451.2	0.00533	2360.34	274.65	27997.31	39.50		
	4	12.58	15.06	30	451.8	0.00534	2354.07	291.13	29676.40	41.82		
	5	12.63	15.07	30	452.1	0.00535	2360.29	281.33	28678.27	40.38	41.15	28 วัน
	6	12.63	15.06	30	451.8	0.00534	2363.43	287.13	29269.04	41.24		
100C0F50R50A	1	12.35	15.02	30	450.6	0.00532	2323.36	227.14	23154.11	32.71		
	2	12.47	15.01	30	450.3	0.00531	2349.06	228.80	23323.13	32.97	32.43	7 วัน
	3	12.53	15.01	30.1	451.8	0.00533	2352.52	220.02	22428.43	31.60		
	4	12.56	15.02	30	450.6	0.00532	2362.86	246.64	25142.15	35.52		
	5	12.59	15.04	30.2	454.2	0.00537	2346.57	243.30	24801.58	34.76	34.56	28 วัน
	6	12.54	15.03	30.2	453.9	0.00536	2340.36	233.53	23805.62	33.39		
100C0F0R100A	1	12.22	15	29.9	448.5	0.00528	2312.74	139.90	14261.16	20.24		
	2	11.86	15	29.6	444.0	0.00523	2267.36	132.08	13463.40	19.30	19.77	7 วัน
	3	12.14	15	30	450.0	0.00530	2289.94	137.12	13977.88	19.77		
	4	12.09	15	30	450.0	0.00530	2280.51	182.84	18637.91	26.37		
	5	12.01	15	30	450.0	0.00530	2265.42	205.37	20935.02	29.62	28.03	28 วัน
	6	12.14	15	30	450.0	0.00530	2289.94	194.94	19871.20	28.11		
90C10F100R0A	1	12.64	15	30.2	453.0	0.00534	2368.47	126.25	12869.01	18.09		
	2	12.54	15	29.9	448.5	0.00528	2373.31	130.33	13285.02	18.86	18.45	7 วัน
	3	12.44	15.1	30	453.0	0.00537	2315.56	128.44	13093.07	18.40		
	4	12.42	15.1	30	453.0	0.00537	2311.83	173.43	17678.80	24.84		
	5	12.34	15.1	30	453.0	0.00537	2296.94	169.85	17313.94	24.33	24.97	28 วัน
	6	12.47	15.2	30.1	457.5	0.00546	2283.09	181.35	18486.55	25.72		
90C10F50R50A	1	12.51	15	30	450.0	0.00530	2359.74	123.34	12572.88	17.79		
	2	12.54	15	30	450.0	0.00530	2365.40	114.76	11698.06	16.55	17.30	7 วัน
	3	12.38	15	30	450.0	0.00530	2335.22	121.69	12404.49	17.55		
	4	12.37	15.1	29.9	451.5	0.00535	2310.23	149.88	15277.92	21.54		
	5	12.44	15	30	450.0	0.00530	2346.53	156.34	15936.30	22.55	22.79	28 วัน
	6	12.42	15	30	450.0	0.00530	2342.76	168.31	17157.22	24.27		
90C10F0R100A	1	11.98	15.2	29.9	454.5	0.00543	2208.05	118.52	12081.24	16.92		
	2	12.07	15.1	30.1	454.5	0.00539	2239.22	111.31	11346.28	15.89	16.13	7 วัน
	3	12.15	15.3	30	459.0	0.00552	2202.84	110.18	11231.40	15.58		
	4	12.02	15	30	450.0	0.00530	2267.31	151.64	15457.58	21.87		
	5	11.89	15	30	450.0	0.00530	2242.79	148.00	15086.48	21.34	22.39	28 วัน
	6	12	15	30	450.0	0.00530	2263.54	166.09	16930.85	23.95		
80C20F100R0A	1	12.46	15	30	450.0	0.00530	2350.31	113.39	11558.21	16.35		
	2	12.51	15	30.1	451.5	0.00532	2351.90	108.14	11023.75	15.54	15.59	7 วัน
	3	12.58	15.1	30	453.0	0.00537	2341.62	103.92	10592.76	14.89		
	4	12.46	15	30	450.0	0.00530	2350.31	142.34	14510.03	20.53		
	5	12.38	15	29.9	448.5	0.00528	2343.03	145.00	14780.98	20.98	20.52	28 วัน
	6	12.23	15	29.8	447.0	0.00527	2322.40	138.16	14083.99	20.06		
80C20F50R50A	1	12.43	15.1	30	453.0	0.00537	2313.69	109.11	11122.22	15.63		
	2	12.3	15	30	450.0	0.00530	2320.13	106.39	10844.65	15.34	15.27	7 วัน
	3	12.33	15.1	30	453.0	0.00537	2295.08	103.65	10565.65	14.85		
	4	12.27	15	29.9	448.5	0.00528	2322.21	114.96	11718.35	16.63		
	5	12.37	14.9	30	447.0	0.00523	2364.75	130.56	13308.65	18.95	18.11	28 วัน
	6	12.17	15	30	450.0	0.00530	2295.60	129.99	13250.77	18.75		
80C20F0R100A	1	12.26	15.1	30.1	454.5	0.00539	2274.47	102.10	10407.95	14.58		
	2	12.09	15	29.8	447.0	0.00527	2295.82	99.20	10112.54	14.40	14.24	7 วัน
	3	12.25	15	30.1	451.5	0.00532	2303.02	95.66	9751.48	13.75		
	4	12.31	15	30	450.0	0.00530	2322.01	114.13	11634.00	16.46		
	5	12.27	14.9	30.1	448.5	0.00525	2337.84	119.58	12189.20	17.30	17.06	28 วัน
	6	12.17	15	30	450.0	0.00530	2295.60	120.89	12323.01	17.43		

การศึกษาการหดตัวแห้งของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าถ่านหินแคลเซียมสูงภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน

Study of dry shrinkage of cement paste containing high calcium Fly Ash under different relative humidities

กฤตญกร กันธิยะ[1] ยศพัฒน์ ทองเหลือ[2] อัญธิกา หอมแก่นจันทร์[3] วทัญญู ทันใจ[4,*] และ ปิยพงษ์ สุวรรณมณีโชติ[5]

[1,2,3,4] นิสิตปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

[5] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

**Corresponding author; E-mail address: 63103643@up.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการหดตัวแห้งของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าถ่านหินแคลเซียมสูงจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าถ่านหินในอัตราส่วนร้อยละ 20, 35 และ 55 โดยน้ำหนัก และควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.35, 0.45 และ 0.55 ทำการหล่อซีเมนต์เพสต์ขนาด 3x13x100 มิลลิเมตร บ่มตัวอย่างในสภาวะปิดผนึก 150 วัน ที่อุณหภูมิ 20±1 องศาเซลเซียส แล้วตัดตัวอย่างให้มีขนาด 3x13x100 มิลลิเมตร เพื่อทดสอบการหดตัวแห้งของซีเมนต์เพสต์ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 11, 23, 40, 55, 79, และ 95 ตามลำดับ ทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาวและน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ที่อายุการตากแห้ง 7, 14 และ 28 วัน จากผลการศึกษาพบว่า ซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 11, 23, 40, และ 55 เกิดการหดตัวน้อยลง เมื่อปริมาณการแทนที่เถ้าถ่านหินเพิ่มมากขึ้น และปริมาณเถ้าถ่านหินไม่ส่งผลต่อการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 79 และ 95

คำสำคัญ: การหดตัวแห้ง, เถ้าถ่านหิน, ความชื้นสัมพัทธ์, ซีเมนต์เพสต์

Abstract

This study aims to investigate the drying shrinkage of cement paste containing high-calcium fly ash from the Mae Moh Power Plant in Lampang Province. The fly ash is a by-product of a coal-fired power plant. By replacing Portland cement type 1 with fly ash at ratios of 20, 35, and 55 % by weight and controlling the water-to-binder ratio to be 0.35, 0.45, and 0.55, the 3x13x100 mm cement paste was cast. The specimens were cured under a sealed condition at 20±1 °C for 150 days. Then, the samples were cut to 3 x 13 x 100 millimeters to evaluate dry shrinkage at relative humidity levels of 11, 23, 40, 55, 79, and 95 %. Length change and mass change measurement of specimens were investigated at 7, 14, and 28 days. From the results of the study, it was found that cement paste subjected to relative humidity of 11, 23, 40, and 55 % had less shrinkage when the content of fly ash replacement increases. The fly ash content did not affect the shrinkage of cement paste at relative humidity of 79 and 95 %.

Keywords: drying shrinkage, fly ash, relative humidity, cement paste

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

จากสถานการณ์ภาวะโลกร้อนที่เกิดจากกระบวนการการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกมาสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนสำคัญที่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) และเป็นตัวการที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน อุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้น้ำภายในคอนกรีตเกิดการระเหยเพิ่มมากขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีต ทำให้โครงสร้างคอนกรีตเกิดความเสียหายเป็นอย่างมากโดยเฉพาะปัญหาการแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวแห้ง เนื่องจากคอนกรีตอยู่ใต้สภาวะแวดล้อมที่แปรปรวน ดังนั้น ในปัจจุบันจึงมีการวิจัยพัฒนาส่วนผสมของคอนกรีตเพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้น้อยลง โดยอุตสาหกรรมก่อสร้างของประเทศไทยเริ่มให้ความสำคัญกับการใช้วัสดุประสานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้มีการใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน หรือแม้กระทั่งการประกาศใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของเถ้าถ่านหิน เถ้าปาล์มน้ำมัน เถ้าก้นเตาบดละเอียด เพื่อช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

แม้ว่าจะมีการแก้ปัญหาโดยการใช้วัสดุประสานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมหรือวัสดุประสานทดแทนซีเมนต์ (Supplementary cementitious material, SCM) เพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ แต่คอนกรีตที่ผสมวัสดุประสานทดแทนซีเมนต์ก็ยังต้องอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่แปรปรวน เช่น อุณหภูมิที่สูงขึ้นซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายหรือรอยร้าวโครงสร้างของคอนกรีต และทำให้เกิดปัญหาการเสื่อมสภาพของคอนกรีตซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการสูญเสียน้ำของ

คอนกรีตทำให้คอนกรีตเกิดการหดตัว โดยการหดตัวของคอนกรีตนั้นเกิดจากน้ำที่เติมเต็มอยู่ภายในช่องว่างในโพรงคาปิลลารีของคอนกรีตเกิดการระเหยออกเนื่องจากสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง ได้แก่ อุณหภูมิที่สูงหรือความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำทำให้เกิดปรากฏการณ์แรงตึงผิวในช่องว่างคาปิลลารีเกิดขึ้น (Capillary Surface Tension) จึงทำให้คอนกรีตที่อยู่โดยรอบช่องว่างคาปิลลารีนั้นเกิดการอัดตัวเข้ามาเป็นสาเหตุทำให้คอนกรีตเกิดการหดตัว

ความชื้นสัมพัทธ์จึงถือได้ว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญในการหดตัวแห้งของคอนกรีต ทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการศึกษาพฤติกรรมการหดตัวแห้งของซีเมนต์เพสต์เพื่อที่จะได้เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาเพื่อควบคุมรอยร้าวที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอาคารในอนาคต และสามารถช่วยยืดอายุการใช้งานของโครงสร้างอาคารได้ ในบทความนี้จึงให้ความสนใจในการศึกษาการหดตัวแห้งของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าถ่านหินแคลเซียมสูงภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาการหดตัวแห้งของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเถ้าถ่านหินแคลเซียมสูงภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน

1.2.2 ศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานและอัตราส่วนการแทนที่เถ้าถ่านหินที่มีผลต่อการหดตัวแห้ง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35, 0.45, และ 0.55 เพื่อศึกษาการหดตัวแห้งของซีเมนต์เพสต์โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าถ่านหินแคลเซียมสูงจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ในอัตราส่วนร้อยละ 20, 35 และ 50 โดยน้ำหนัก ทำการบ่มซีเมนต์เพสต์ในสภาวะปิดผนึก (Sealed Condition) ที่อุณหภูมิ 20±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 150 วัน และวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 11, 23, 40, 55, 79, และ 95 ที่อายุการตากแห้ง 7, 14, และ 28 วัน

1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย

1.4.1 ทราบถึงพฤติกรรมการหดตัวแห้งของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเถ้าถ่านหินภายใต้สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน

1.4.2 ทราบถึงผลกระทบของอัตราน้ำต่อวัสดุประสานและปริมาณการแทนที่ของเถ้าถ่านหินที่มีผลต่อการหดตัวแห้งของซีเมนต์เพสต์

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

การหดตัวแบบแห้งเกิดจากการที่คอนกรีตอยู่ในสภาวะอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของช่องโพรงอากาศภายในคอนกรีต ทำให้คอนกรีตบริเวณผิวที่สัมผัสกับอากาศสูญเสียความชื้นไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกและเกิดการหดตัว โดยคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงจะมีช่องว่างคาปิลลารีและปริมาณน้ำอิสระมากทำให้น้ำระเหยออกจากคอนกรีตได้ง่าย และการหดตัวในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 เกิดจากการสูญเสียน้ำในโพรงคาปิลลารีเป็นหลัก โดยในช่วงแรกน้ำในโพรงคาปิลลารีขนาดใหญ่จะถูกขับออกมาก่อน ตามด้วยน้ำในโพรงคาปิลลารีที่มีขนาดเล็กลง การหดตัวในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 10 ถึง ร้อยละ 50 ของซีเมนต์เพสต์ในช่วงนี้ จะเกิดในอัตราที่ต่ำกว่าช่วงความชื้นสัมพัทธ์ที่เกินร้อยละ 50 เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40 ถึง 50 น้ำในโพรงคาปิลลารีถูกขจัดออกไปและแรงตึงผิวจะหมดไป ซึ่งการหดตัวในช่วงต่ำกว่าร้อยละ 10 ของซีเมนต์เพสต์ในช่วงนี้เกิดขึ้นในอัตราที่สูง และการผสมวัสดุประสานทดแทนซีเมนต์ในปริมาณมาก ทำให้เกิดการหดตัวแห้งของปูนซีเมนต์น้อย เนื่องจากมีปริมาณปูนซีเมนต์น้อย ดังนั้นการหดตัวแห้งจึงมีนัยสำคัญต่อโครงสร้างคอนกรีตมากกว่าการหดตัวชนิดอื่น เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงขนาดที่มากกว่าการหดตัวแบบพลาสติกและออโตจีเนียส

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sugimoto และคณะ [1] ได้นำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทความร้อนต่ำมาหล่อตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ โดยกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.40 และ 0.55 (กำหนดสัญลักษณ์เป็น L40 และ L55 ตามลำดับ) จากการศึกษาผลการทดสอบการหดตัวแห้งในระยะยาว พบว่า ความเครียดของการหดตัวแห้งของ L55 เมื่อเปรียบเทียบอายุที่ 3, 7, 28 และ 91 วัน ปริมาณการหดตัวแห้งจะเพิ่มมากขึ้นภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ที่ลดต่ำลง หากความชื้นสัมพัทธ์สูง ปริมาณการหดตัวแห้งจะลดลง อีกปัจจัยหนึ่ง คือ ระยะเวลาที่ใช้บ่ม หากใช้ระยะเวลาบ่มนาน ปริมาณการหดตัวแห้งจะเพิ่มมากขึ้น ความเครียดของการหดตัวแห้งของ L40 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของ L55 พบว่า มีผลการทดสอบมีแนวโน้มเดียวกัน แต่ L40 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ต่ำกว่าส่งผลให้การหดตัวแห้งน้อยกว่า การทดสอบหาพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างโดยใช้เทคนิคการดูดซับไนโตรเจน (S_{N2}) พบว่า L55 มีพื้นที่ผิวจำเพาะที่สูงกว่า L40 ส่งผลให้ L55 มีการหดตัวมากกว่า เนื่องจากมีรูพรุนที่มากกว่า

พงศกร พรมสวัสดิ์ และคณะ [2] วัดค่าการหดตัวแห้งของคอนกรีตเมื่อทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าลอยและผงแคลเซียมคาร์บอเนตในอัตราส่วนที่สูง ส่งผลให้คอนกรีตมีความต้องการน้ำในส่วนผสมสูงขึ้น รวมถึงลักษณะอนุภาคของวัสดุผงก่อให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีต เมื่ออายุการบ่มของคอนกรีตเพิ่มขึ้นและเกิดการระเหยของน้ำที่สะสมภายในช่องว่าง ทำให้คอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าลอยและผงแคลเซียมคาร์บอเนตเกิดการหดตัว คอนกรีตควบคุมมีแนวโน้มการหดตัวแห้งสูงสุด ทั้งนี้ เมื่อนำเถ้าลอยและผงแคลเซียมคาร์บอเนตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 การหดตัวแห้งมีแนวโน้มลดลง โดยอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอยและผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้คอนกรีตมีแนวโน้มการหดตัวแห้งลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก

ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ลดลง มีผลทำให้อัตราการการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำลดลง และความร้อนที่ได้จากการทำปฏิกิริยามีค่าลดลง รวมถึงการสูญเสียน้ำในช่องว่างคาปิลลารี่ก็ลดลงตามไปด้วย ประกอบกับผลของการดูดซึมน้ำที่มากขึ้น เนื่องจากวัสดุผงทำให้น้ำที่มีเหลืออยู่ภายในเนื้อซีเมนต์เพสต์ถูกนำไปใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันส่งผลให้มีการหดตัวที่น้อยลง รวมถึงเป็นผลของการขยายตัวซึ่งมาจากซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ที่มีอยู่ในเถ้าลอย

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 ปูนซีเมนต์ปูนซีเมนต์ปอตแลนด์ประเภทที่ 1 มอก.15

3.1.2 เถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

3.1.3 สารเคมีสำหรับควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

(ก) สารลิเทียมคลอไรด์ (Lithium chloride)

(ข) สารโปแตสเซียมอะซิเตท (Potassium acetate)

(ค) สารโซเดียมไอโอไดด์ (Sodium Iodide)

(ง) สารแมกนีเซียมไนเตรต เฮกซาไฮเดรต (Magnesium nitrate hexahydrate)

(จ) สารแอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride)

(ฉ) สารโปแตสเซียมไนเตรท (Potassium nitrate)

3.2 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้

3.2.1 ทดสอบความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

3.2.2 ทดสอบวิเคราะห์ตัวอย่างโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอ็กซ์ (X-ray fluorescence, XRF)

3.2.3 ทดสอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

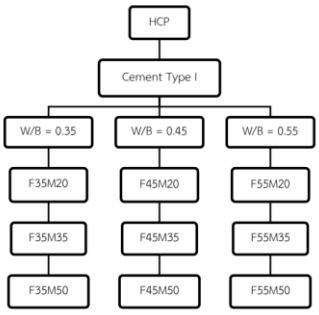
3.3 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างซีเมนต์เพสต์

3.3.1 ขั้นตอนการผสมและหล่อตัวอย่าง

นำวัสดุที่ใช้เก็บไว้ที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ 20±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนการผสม หลังจากนั้น นำมาชั่งน้ำหนักตามส่วนผสมที่ได้ออกแบบไว้ ทำการผสมในหม้อผสมมอร์ต้าร์ ความจุ 5 ลิตร โดยทำการผสมช้า 3 นาที (ความเร็ว 140±5 รอบ/นาที) และคนส่วนผสมให้เข้ากันด้วยมือ 1 นาที จากนั้นผสมเร็ว 3 นาที (ความเร็ว 285±10 รอบ/นาที) เมื่อทำการผสมเสร็จแล้วให้นำส่วนผสมเทลงในชามสแตนเลส จากนั้นทำการผสมด้วยมือทุก ๆ 30 นาที จนส่วนผสมมีลักษณะเป็นเนื้อครีม จากนั้นนำส่วนผสมหล่อในแบบหล่อตัวอย่างที่มีขนาด 13×30×300 มิลลิเมตร จำนวน 10 ช่อง หลังจากหล่อเสร็จ ทำการห่อหุ้มแบบหล่อด้วยโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride) และผ้าชุบน้ำบิดหมาด แล้วห่อด้วยโพลีไวนิลคลอไรด์อีก 1 ชั้น เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น แล้วเก็บตัวอย่างไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิ 20±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นทำการแกะแบบตัวอย่างและบ่มตัวอย่างไว้ในสภาพปิดผนึก (sealed condition) ในห้องควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 150 วัน

3.3.2 ขั้นตอนการตัดตัวอย่างและวัดตัวอย่างซีเมนต์เพสต์

เมื่อครบระยะเวลาบ่ม ทำการตัดชิ้นตัวอย่างขนาด 3x13x300 มิลลิเมตร เป็น 3 ท่อน ความยาวท่อนละ 100 มิลลิเมตร โดยใช้ใบตัดคาร์ไบด์ 4 นิ้ว หลังจากนั้นทำการซับน้ำที่ชิ้นตัวอย่างด้วยกระดาษเช็ดทำความสะอาดชนิดไม่เป็นขุย แล้วทำการวัดน้ำหนักโดยเครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียก 0.1 mg และวัดความยาวของชิ้นตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือวัดระยะชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนี่ยวนำแบบเชิงเส้นและแท่นวัดความยาว [3] โดยทำการวัดความยาวแท่งตัวอย่างอ้างอิง (Invar) ความยาว 100 มิลลิเมตร จากนั้นทำการวัดความยาวชิ้นตัวอย่าง แล้วจดบันทึกผลทั้งความยาวและน้ำหนัก โดยจะต้องทำการวัดการเปลี่ยนความยาวและน้ำหนักทุก 7, 14 และ 28 วัน



รูปที่ 1 แผนผังส่วนผสมที่ใช้ในงานวิจัย

3.4 การตากแห้งของซีเมนต์เพสต์

ทำการตากแห้งซีเมนต์เพสต์ โดยใช้สารเคมีในตารางที่ 1 ผสมกับน้ำเพื่อให้ได้สารละลายเกลืออิ่มตัวยิ่งยวด สำหรับควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 20±1 องศาเซลเซียส ในกล่องเก็บตัวอย่าง

ตารางที่ 1 สารเคมีที่ใช้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 20±1 ℃

ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	สารเคมี
11	สารลิเทียมคลอไรด์ (Lithium chloride)
23	สารโปแตสเซียมอะซิเตท (Potassium acetate)
40	สารโซเดียมไอโอไดด์ (Sodium Iodide)
55	แมกนีเซียมไนเตรต เฮกซาไฮเดรต (Magnesium nitrate hexahydrate)
79	แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride)
95	สารโปแตสเซียมไนเตรท (Potassium nitrate)

4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1 การหาค่าความถ่วงจำเพาะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าถ่านหิน ตามมาตรฐาน ASTM C188 [6] โดยผลการทดสอบที่ได้มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.11 และ 2.49 ตามลำดับ

4.2 ทดสอบวิเคราะห์ตัวอย่างโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอ็กซ์ (X-ray fluorescence, XRF)

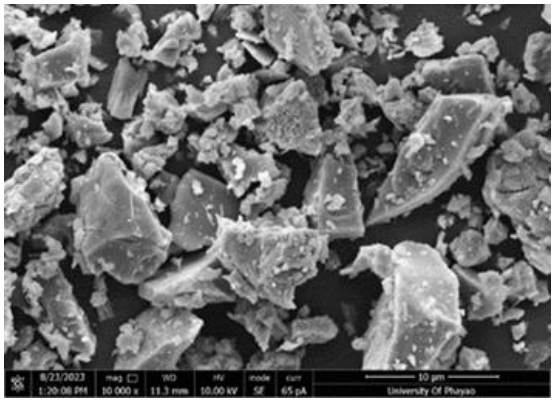
ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1	เถ้าถ่านหิน
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)	23.72	37.93
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	5.10	18.06
ไอเอิร์นออกไซด์ (Fe_2O_3)	3.61	15.92
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	59.07	16.55
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	1.98	0.00
โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	0.33	1.78
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3)	5.42	8.94
การสูญเสียจากการเผาไหม้ (LOI)	0.44	0.14

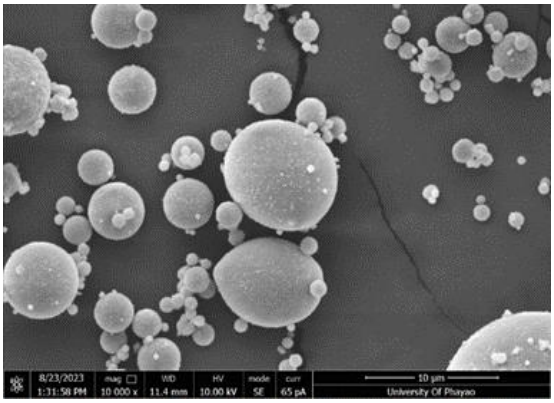
การทดสอบหาค่าองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในการศึกษาด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) แสดงผลดังตารางที่ 2 พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบหลักสูงถึงร้อยละ 59.07 ซึ่งถือเป็นองค์ประกอบหลักทางเคมีของวัสดุในการทำปฏิกิริยาให้เกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $Ca(OH_2)$ ในการทำปฏิกิริยากับเถ้าถ่านหิน เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง พบว่ามีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลักสูงถึงร้อยละ 37.93 และผลรวมองค์ประกอบทางเคมีหลัก (SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3) ของเถ้าถ่านหิน มีค่าเท่ากับร้อยละ 71.91 มีปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) เท่ากับร้อยละ 8.94 และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) เท่ากับร้อยละ 0.14 ดังนั้น เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางด้านเคมี เถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะสามารถจัดเป็นวัสดุปอซโซลาน Class F ได้ตามมาตรฐาน ASTM C 618 [7]

4.3 ทดสอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จากรูปที่ 2 พบว่า มีลักษณะรูปร่างที่ไม่แน่นอน เป็นเหลี่ยมมุม มีพื้นที่ผิวที่ขรุขระ ส่วนเถ้าถ่านหินในรูปที่ 3 มีลักษณะเป็นทรงกลมและผิวเรียบ



รูปที่ 2 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



รูปที่ 3 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงเถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

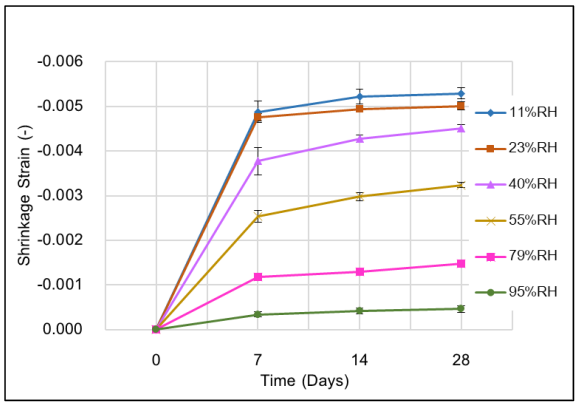
4.4 การหดตัวแห้งของซีเมนต์เพสต์เทียบเวลา

4.4.1 การตัวแห้งของซีเมนต์เพสต์เทียบกับเวลา

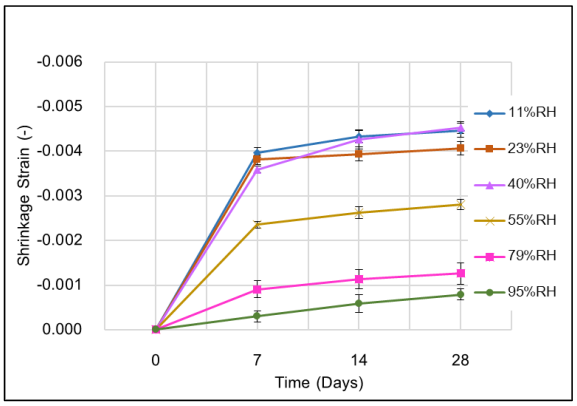
ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวของซีเมนต์ผสมเถ้าถ่านหินและระยะเวลาการตากแห้งที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4 ซีเมนต์เพสต์ F55M20 มีอัตราการหดตัวสูงในช่วง 7 วันแรกของการตากแห้งในทุกช่วงความชื้นสัมพัทธ์ หลังจากการตากแห้งครบ 7 วัน อัตราการหดตัวจะลดลง การหดตัวของซีเมนต์เพสต์แปรผันโดยตรงกับความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำทำให้การหดตัวเพิ่มมากยิ่งขึ้น ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงขึ้น การหดตัวจะลดลง พฤติกรรมการหดตัวข้างต้นเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันกับซีเมนต์เพสต์ที่ใช้เถ้าถ่านหินในปริมาณร้อยละ 35 และ 50 รวมไปถึงซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.45 และ 0.35

ซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45 ดังรูปที่ 5 มีการหดตัวน้อยกว่าซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 แต่มีการหดตัวมากกว่าซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 ดังรูปที่ 6 เนื่องจาก อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ต่ำ ส่งผลให้ซีเมนต์เพสต์มีเนื้อแน่น กำลังสูง และมีความแข็งแรง จึงมีปริมาณรูพรุนในซีเมนต์เพสต์น้อยซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่สูง ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำน้อย การหดตัวจึงต่ำ [4] [5]

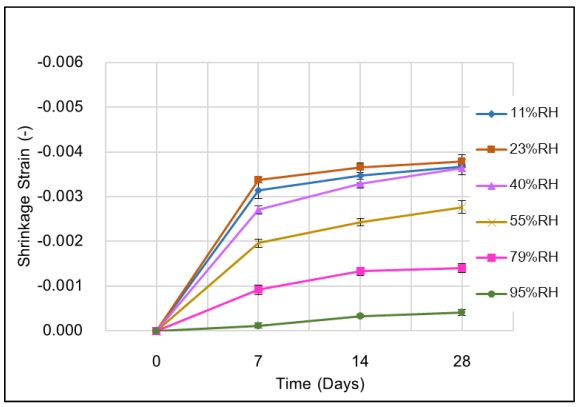
ข้อสังเกต การแทนที่เถ้าถ่านหินปริมาณสูงส่งผลให้ซีเมนต์เพสต์ F55M50 และ F45M50 ที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 23 มีการหดตัวที่สูงมากกว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 11 และซีเมนต์เพสต์ F55M35 ที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 40 มีการหดตัวที่สูงมากกว่าร้อยละ 1



(ก) F55M20

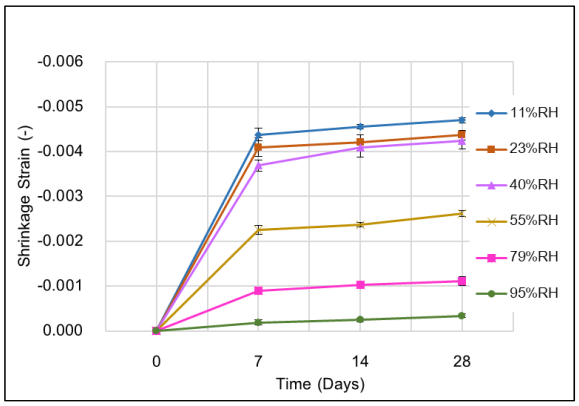


(ข) F55M35

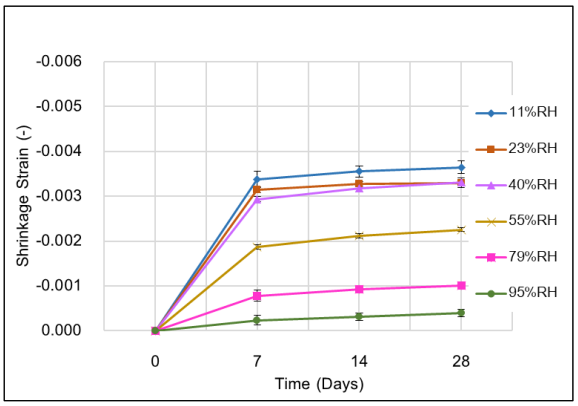


(ค) F55M50

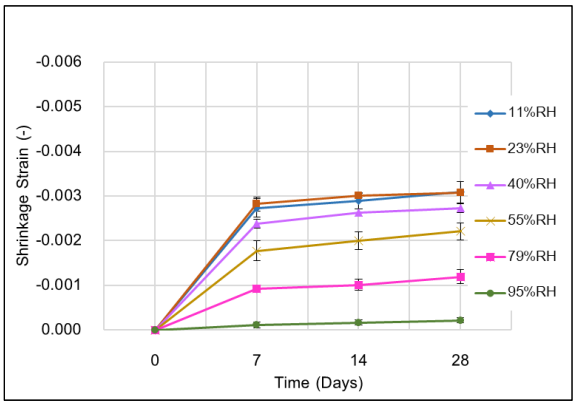
รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความยาวของซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55



(ก) F45M20

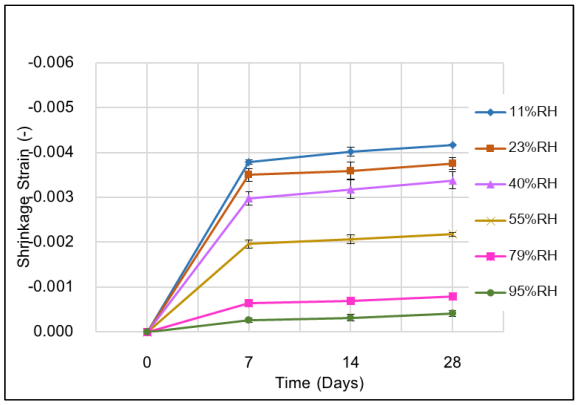


(ข) F45M35

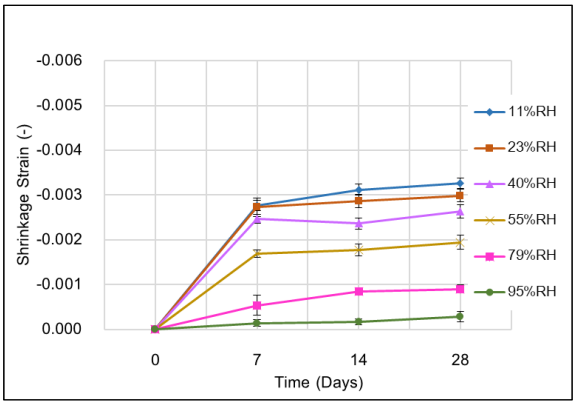


(ค) F45M50

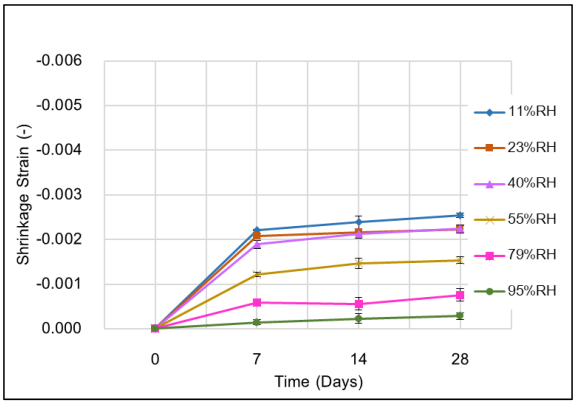
รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความยาวของซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45



(ก) F35M20



(ข) F35M35

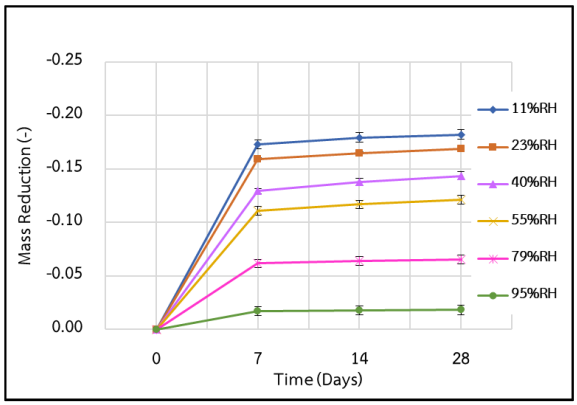


(ค) F35M50

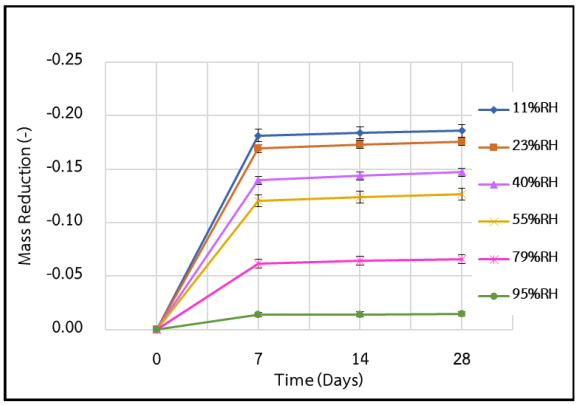
รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความยาวของซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35

4.4.2 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์เทียบกับเวลา

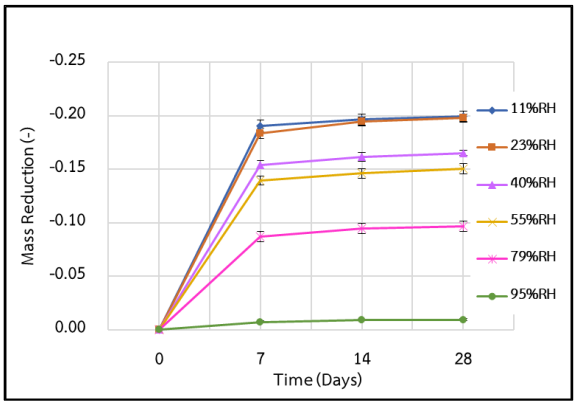
ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าถ่านหินและระยะเวลาในการตากแห้งที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 7 ซีเมนต์เพสต์ F55M20 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่สูงในช่วง 7 วันแรกของการตากแห้งที่ทุกช่วงความชื้นสัมพัทธ์ เกิดจากการสูญเสียน้ำของตัวอย่างจากสภาวะปิดผนึก (ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 95) ไปสู่ความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่า ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่สูง หลังจากตากแห้งครบ 7 วัน อัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักจะลดลง น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของซีเมนต์เพสต์แปรผันโดยตรงกับความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำยิ่งทำให้การเปลี่ยนแปลงโดยน้ำหนักเพิ่มมากยิ่งขึ้น ขณะที่สภาวะที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักจะลดลง พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักข้างต้นเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกับซีเมนต์เพสต์ที่ใช้เถ้าถ่านหินในปริมาณร้อยละ 35 และ 50 รวมไปถึงซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.45 และ 0.35



(ก) F55M20



(ข) F55M35



(ค) F55M50

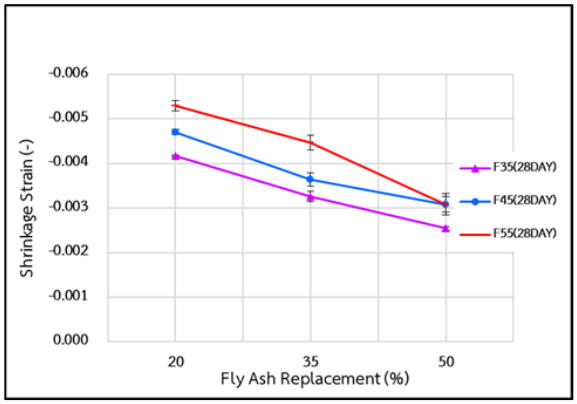
รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55

4.4.3 หารหดตัวของซีเมนต์เพสต์เทียบกับปริมาณการแทนที่เถ้าถ่านหิน

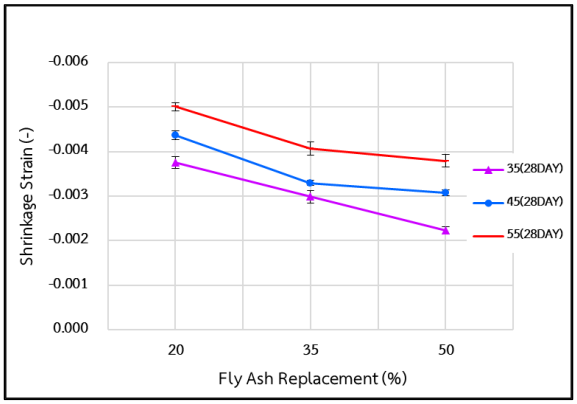
ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวของซีเมนต์เพสต์และอัตราส่วนการแทนที่เถ้าถ่านหิน แสดงดังรูปที่ 8 ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 11 ซีเมนต์เพสต์ F55M20 มีการหดตัวสูงกว่าซีเมนต์เพสต์ F55M35 และ F55M50 การเพิ่มปริมาณเถ้าถ่านหินส่งผลให้ตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.45 และ 0.35 เกิดการหดตัวลดลงด้วย พฤติกรรมการหดตัวนี้มีแนวโน้มเดียวกับซีเมนต์เพสต์ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 23, 40, และ 55 ดังรูปที่ 8 (ก), (ข), (ค) และ (ง)

ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 79 ซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 และ0.45 เมื่อแทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินในอัตราส่วนร้อยละ 35 มีการหดตัวที่น้อยกว่าซีเมนต์เพสต์ที่ถูกแทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 50 ส่วนซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานร้อยละ 0.55 เมื่อแทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินในอัตราส่วนร้อยละ 35 มีการหดตัวมากกว่าซีเมนต์เพสต์ที่ถูกแทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 50

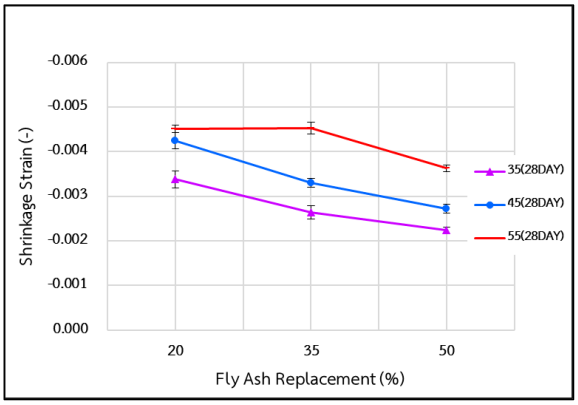
ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 ซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45 และ 0.55 เมื่อแทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินในอัตราส่วนร้อยละ 35 มีการหดตัวมากกว่าซีเมนต์เพสต์ที่ถูกแทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 50 ส่วนซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 เมื่อแทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินในอัตราส่วนร้อยละ 35 จะเห็นได้ว่ามีการหดตัวน้อยกว่าซีเมนต์ที่ถูกแทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 50 ซึ่งซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 เมื่อแทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 50 มีการหดตัวมากกว่าซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.45 เมื่อแทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 50 ซึ่งจะเห็นได้ว่ายิ่งอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงส่งผลให้การหดตัวของซีเมนต์เพสต์สูงขึ้นแต่เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงการแทนที่ของเถ้าถ่านหินจะส่งผลต่อการหดตัวน้อยลง เช่น ภายใต้สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 79 และ 95



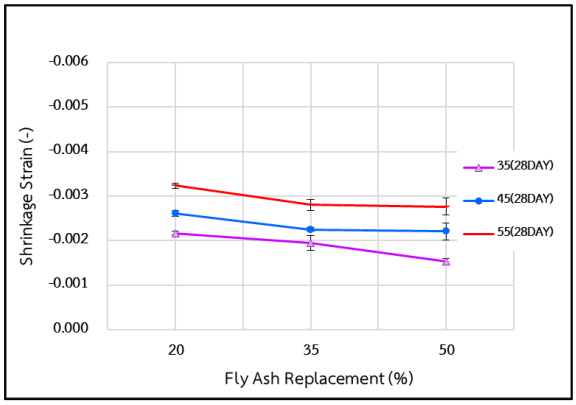
(ก) Relative Humidity 11%



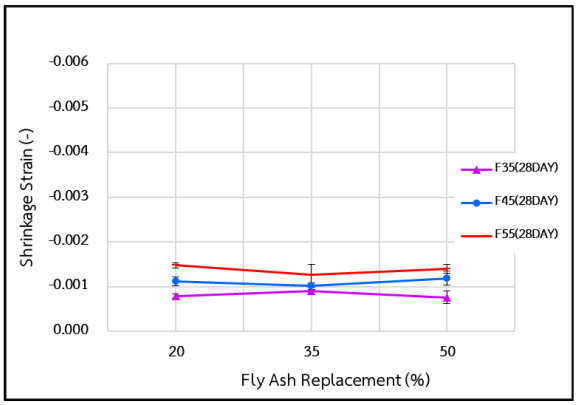
(ข) Relative Humidity 23%



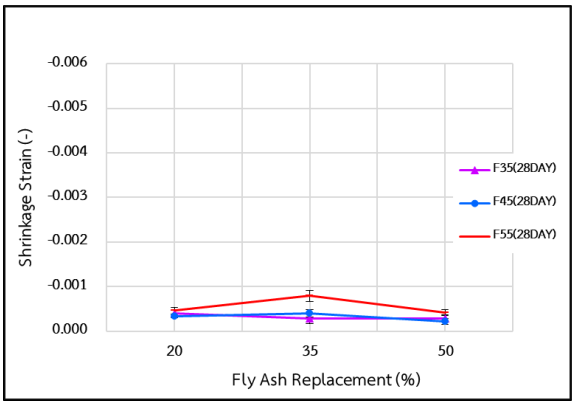
(ค) Relative Humidity 40%



(ง) Relative Humidity 11%



(จ) Relative Humidity 40%



(ฉ) Relative Humidity 11%

รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงความยาวของซีเมนต์เพสต์เทียบกับปริมาณเถ้าถ่านหิน ที่อายุตากแห้ง 28 วัน

5. สรุปผลการศึกษา

5.1 ซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเถ้าถ่านหินทุกส่วนผสมจะมีอัตราการหดตัวสูงในช่วง 7 วันแรก โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่าร้อยละ 55 หลังจากนั้นอัตราการหดตัวจะลดลงเมื่อระยะเวลาตากแห้งเพิ่มขึ้น

5.2 ซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าถ่านหินทุกส่วนผสมภายใต้สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะเกิดการหดตัวสูง

5.3 พฤติกรรมการสูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าถ่านหินเนื่องจากการตากแห้งมีแนวโน้มเดียวกับการหดตัวแห้ง

5.4 ซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำจะมีการหดตัวน้อยกว่าซีเมนต์เพลสที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูง

5.5 ซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเถ้าถ่านหินในปริมาณมากจะเกิดการหดตัวน้อยกว่าซีเมนต์เพสต์ที่ผสมในปริมาณต่ำ ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 11, 23, 40 และ 55

5.6 ปริมาณเถ้าถ่านหินไม่ส่งผลต่อการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงกว่าร้อยละ 79

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัท ปูนซีเมนต์เอเซีย จำกัด (มหาชน) โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย สำนักงานโยธาธิการและผังเมือง จังหวัดพะเยา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์สำหรับวัดการหดตัว ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยาที่สนับสนุนทุนการทำวิจัย และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการโยธา รวมทั้งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยพงษ์ สุวรรณมณีโชติ ที่ได้ให้คำแนะนำจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Hiroki Sugimoto, Ryo Kurihara, Ippei Maruyama, 2018, Research on drying shrinkage and pore structure in cement paste, Material construction, Architectural Institute of Japan, pp 101-102.

[2] พงศกร พรมสวัสดิ์, บุรฉัตร ฉัตรวีระ และกฤษดา เสือเอี่ยม. สมบัติของคอนกรีตอัดแน่นด้วยตัวเองผสมร่วมผงแคลเซียมคาร์บอเนตและเถ้าลอย, วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, ปีที่ 31 ฉบับที่ 2 เมษายน – มิถุนายน.

[3] Ippei Maruyama, Hiroshi Sasano, Yukiko Nishioka and Go Igarashi. Strength and Young's modulus change in concrete due to long-term drying and heating up to 90 ° C, Nagoya University, April – July.

[4] Lifeng Zhang, Xiaoqian Qian, Tianle Lin, Shaoqin Ruan, Dongming Yan, Kuanglinag Qian. Is early drying shrinkage still determined by the mesopore content? A case study of cement paste with minerals, Zhejiang University, College of Civil Engineering and Architecture. Pp.4.

[5] บุรฉัตร ฉัตรวีระ, วินัย หอมศรีประเสริฐ. อิทธิพลของส่วนผสมและสภาวะอุณหภูมิบ่มที่มีต่อกำลังรับแรงอัดและการหดตัวแบบแห้งของซีเมนต์เพสต์ผสมถ้าลอยระยอง, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, หน้า32.

[6] American Society For Testing and Materials. ASTM C188-95, Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. Pp.1-2.

[7] American Society for Testing and Materials, 1997, “ASTM C 168: Standard Test Method for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Nature Pozzolan for Use ae a Mineral Admixture in Concrete,” in 1997 Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01, Philadelphia, pp.294-296.

การพัฒนาส่วนผสมคอนกรีตแข็งตัวเร็ว 24 ชั่วโมง
Development of mix proportion of fast setting concrete 24 hours

สุภาพร ศรีจันทร์[1] ปวีณ์กร กับบุญ[1] สุรชัย บุญเลิศ[1] จารุภพ พันธุลี[1] ภานุวัฒน์ วงค์สวัสดิ์[1*]
และปิยพงษ์ สุวรรณมณีโชติ[2]

[1] นิสิตปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
*Corresponding author; E-mail address: Piyapong.su@up.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาส่วนผสมคอนกรีตที่ต้องการกำลังอัดสูงภายใน 24 ชั่วโมงแรกหลังจากเทคอนกรีต โดยจะมุ่งศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ปริมาณปูนซีเมนต์ และประเภทของน้ำยาผสมคอนกรีต ต่อระยะการก่อตัวต้นและปลาย กำลังอัด กำลังดึง และกำลังดัดของคอนกรีต โดยควบคุมค่าการยุบตัวให้อยู่ในช่วง 20 ± 2.5 เซนติเมตร

จากการทดสอบพบว่า คอนกรีตที่มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.43 ปูนซีเมนต์ 410 กก./ลบ.ม. และใช้น้ำยาผสมคอนกรีตประเภท F ร้อยละ 0.9 ของปริมาณปูนซีเมนต์ จะให้กำลังอัดที่ 24 ชั่วโมง ไม่น้อยกว่า 270 กก./ตร.ซม. หากต้องการกำลังอัดที่สูงขึ้น สามารถปรับส่วนผสมโดยการลดค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์และน้ำยาผสมคอนกรีต จะได้กำลังอัดสูงสุดที่ 24 ชั่วโมง ไม่น้อยกว่า 420 กก./ตร.ซม. หากต้องการกำลังอัดที่มากกว่า 420 กก./ตร.ซม. จำเป็นต้องเปลี่ยนประเภทน้ำยาผสมคอนกรีตและประเภทของปูนซีเมนต์

คำสำคัญ: คอนกรีตแข็งตัวเร็ว, คอนกรีตกำลังสูงช่วงอายุต้น, กำลังอัดที่อายุ 24 ชั่วโมง

Abstract

The objective of this research is to develop the mix proportion of fast setting concrete for early high strength with in the first 24 hours after casting. The effect of water to binder ratio, cement content and types of concrete admixtures are investigated on initial and final setting time of concrete, compressive strength, tensile strength, and bending strength of concrete by controlling slump value within 20 ± 2.5 cm.

From the tested results, it was found that concrete with water to cement ratio is equal to 0.43, cement content 410 kg/m3 and concrete admixture type F 0.9 % of the cement content will give the compressive strength at 24 hours not less than 27 MPa. To achieve greater compressive strength, reducing the water to cement ratio, raise content of cement and admixture type F will allow to change the mixture. The maximum compressive strength will be obtained at 24 hours, not less than 42 MPa. If a compressive strength greater than 42 MPa is required, it is necessary to change the type of concrete admixture and type of cement.

Keywords: fast setting concrete, high early-strength concrete, compressive strength at 24 hours

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

จากสถานการณ์ที่การประปาส่วนภูมิภาคสาขาพะเยาได้แจ้งว่า เมื่อวันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ.2565 ระบบการผลิตประปาส่วนภูมิภาคสาขาพะเยา แนวท่อส่งน้ำดิบขนาด 710 มม. เกิดการแตกชำรุดเสียหาย บริเวณสถานีแรงต่ำข้างวัดศรีโคมคำ ต.เวียง อ.เมือง จ.พะเยา ทำให้ไม่สามารถสูบน้ำดิบขึ้นมาผลิตน้ำประปาแจกจ่ายให้แก่ผู้ใช้น้ำประปา ในเขตพื้นที่บริเวณที่ได้รับผลกระทบ ในขั้นต้นการประปาส่วนภูมิภาคสาขาพะเยา พยายามที่จะเชื่อมต่อท่อที่หลุดเข้าด้วยกัน โดยการขุดลอกดินเพื่อดำเนินการซ่อมแซม แต่เนื่องด้วยเกิดปัญหาดินสไลด์ ทำให้องศาของท่อไม่ขนานกัน จึงไม่สามารถใส่อุปกรณ์ Repair Clamp เพื่อต่อท่อทั้ง 2 ท่อนเข้าด้วยกันได้

เนื่องจากไม่สามารถต่อท่อทั้ง 2 เข้าด้วยกันได้ ด้วยสถานการณ์ที่จำเป็นจะต้องเร่งจ่ายน้ำให้แก่ผู้บริโภค ทางการประปาส่วนภูมิภาคสาขาพะเยา จึงตัดสินใจเทคอนกรีตเพื่อเป็นฐานรองรับให้กับท่อ เพื่อสูบน้ำดิบขึ้นมาผลิตน้ำประปา ทั้งนี้เงื่อนไขในการเทคอนกรีต คือ คอนกรีตที่ใช้จะต้องเป็นคอนกรีตที่มีความสามารถแข็งตัวเร็วภายใน 24 ชั่วโมง เพื่อเร่งฟื้นฟูให้ระบบการประปาสามารถสูบน้ำดิบจากกว๊านพะเยาขึ้นมาผลิตน้ำประปาได้เร็วที่สุด

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น คณะวิจัยสนใจที่จะศึกษาส่วนผสมของคอนกรีต ระยะเวลาการก่อตัว และกำลังอัด กำลังดึง กำลังดัด เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีสามารถในการแข็งตัวและรับกำลังได้ภายใน 24 ชั่วโมง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่แข็งตัวเร็วภายใน 24 ชั่วโมง

1.2.2 เพื่อศึกษากำลังอัด กำลังดึง กำลังดัดของคอนกรีตแข็งตัวเร็วภายใน 24 ชั่วโมง

1.2.3 เพื่อศึกษาระยะเวลาการก่อตัวต้นและปลายของคอนกรีตแข็งตัวเร็วภายใน 24 ชั่วโมง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

เพื่อมุ่งศึกษาการพัฒนาส่วนผสมคอนกรีตให้สามารถรับกำลังอัดที่ต้องการภายใน 24 ชั่วโมง โดนพิจารณาอัตราน้ำต่อปูนซีเมนต์ ปริมาณปูนซีเมนต์ ประเภทและปริมาณของน้ำยาผสมคอนกรีต ที่มีผลต่อกำลังอัด กำลังดึง กำลังดัด และระยะเวลาก่อตัวต้นและปลายของคอนกรีต

1.4 ประโยชน์

1.4.1 ทำให้ทราบส่วนผสมคอนกรีตที่สามารถพัฒนากำลังอัดได้เร็วภายใน 24 ชั่วโมง

1.4.2 เพื่อให้เข้าใจการพัฒนากำลังอัด กำลังดึง กำลังดัดของคอนกรีตตั้งแต่ 12 ชั่วโมงขึ้นไป

1.4.3 ทำให้ทราบระยะเวลาการก่อตัวต้นและปลายของคอนกรีต ซึ่งจะส่งผลต่อระยะเวลาในการเทคอนกรีตเข้าแบบได้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยคอนกรีตแข็งตัวเร็วสำหรับงานบำรุงเร่งด่วนของกรมทางหลวงกระทรวงคมนาคม [1] มีการนำคอนกรีตแข็งตัวเร็วมาใช้เพื่อให้สามารถเปิดการจราจรได้ภายใน 24 ชั่วโมง และต้องการกำลังอัดไม่น้อยกว่า 24 เมกะปาสคาล (240 กก./ตร.ซม.) มีการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตประเภท F ช่วยให้คอนกรีตมีค่ายุบตัวมากพอที่จะทำงานได้ และช่วยป้องกันการแตกร้าวบริเวณผิวหน้าซึ่งเกิดจากการหดตัวของคอนกรีต และใส่เส้นใยสังเคราะห์ ซึ่งช่วยในการเสริมกำลังและยึดเหนี่ยวเนื้อคอนกรีตให้ยึดแน่นเข้าด้วยกัน

จากผลการทดสอบ พบว่า ตัวอย่างคอนกรีตมีความสามารถพัฒนากำลังอัดได้ดีใน 24 ชั่วโมงแรก กำลังอัดสามารถพัฒนาได้ถึง 255 กก./ตร.ซม. หลังจากนั้นตัวอย่างคอนกรีตสามารถพัฒนากำลังอัดที่ 28 วัน ได้ถึง 400 กก./ตร.ซม.

วิจิตอัจฉรา สรรพกิจจำนง และเลิศ พัดฉวี [1] สรุปว่าคอนกรีตแข็งตัวเร็วภายในเวลา 24 ชั่วโมงจำเป็นจะต้องใช้ปูนซีเมนต์จำนวนมากเพื่อให้เกิดการก่อตัว ใส่น้ำในปริมาณน้อย เพื่อให้กำลังอัดมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ในทางกลับกันการใช้สารเคมีผสมเพิ่มในส่วนผสมช่วยให้ลดปริมาณน้ำ โดยที่ยังคงมีความสามารถในการเทได้ และมีการพัฒนากำลังอัดได้ดี คอนกรีตแข็งตัวเร็วภายใน 24 ชม. ที่ใช้น้ำยาผสมคอนกรีต ประเภท D และ F ช่วยให้คอนกรีตแข็งตัวเร็วมีค่ากำลังอัด และโมดูลัสยืดหยุ่นใกล้เคียงกับคอนกรีตปกติ แต่เมื่อนำค่ากำลังอัด และโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตแข็งตัวเร็ว ในช่วงเวลาก่อนและหลังใช้งานมาเปรียบเทียบกัน กำลังอัดมีแนวโน้มต่ำลง เพราะว่าคอนกรีตผ่านการใช้งานอย่างเป็นเวลานาน จากหลักการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่แข็งตัวเร็วภายใน 24 ชั่วโมง เพื่อใช้เป็นฐานรองรับท่อส่งน้ำดิบได้

น้ำยาผสมคอนกรีตประเภท D [2] เป็นน้ำยาลดน้ำและหน่วงระยะเวลาการก่อตัว ช่วยหน่วงการก่อตัวของคอนกรีตและลดปริมาณการใช้น้ำถึงร้อยละ 15 เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานและการไหลเข้าแบบ เพิ่มค่าการยุบตัว ลดการเยิ้มน้ำ และการลดแยกตัวได้ดียิ่งขึ้น ทำให้แต่งผิวหน้าคอนกรีตง่ายขึ้น ใช้สำหรับคอนกรีตผสมเสร็จทั่วไป และน้ำยาผสมคอนกรีตประเภท F เป็นน้ำยาลดน้ำในส่วนผสมจำนวนมาก ช่วยลดน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตลงได้มากถึงร้อยละ 30 ทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดสูงในช่วงแรก มักถูกใช้ในงานที่ต้องการคอนกรีตที่มีแรงอัดสูง

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

3.1.1 แบบหล่อรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม.

3.1.2 แบบหล่อคานขนาด 15x15x50 ซม.

3.1.3 ชุดทดสอบการก่อตัวของคอนกรีต

3.1.4 เครื่องทดสอบกำลังอัด

3.1.5 เครื่องผสมคอนกรีต

3.2 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

3.2.1 ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก

3.2.2 ทรายแม่น้ำ

3.2.3 หินปูนย่อยขนาด ¾ นิ้ว

3.2.4 น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำ และหน่วงการก่อตัว (ประเภท D) และประเภทสารลดน้ำพิเศษ (ประเภท F)

3.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

3.3.1 ปูนซีเมนต์ ทำการทดสอบความหนาแน่นของปูนซีเมนต์ ตามมาตรฐาน ASTM C 188-95 [3] หรือ มอก.15-2562 [4]

3.3.2 หิน ทำการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดน้ำของมวลรวมหยาบ ตามมาตรฐาน ASTM C 127-01 [5] แล้ววิเคราะห์ขนาดมวลรวมหยาบโดยใช้ตะแกรง ตามมาตรฐาน ASTM C 136-01 [6] และทดสอบหน่วยน้ำหนักและช่องว่างระหว่างมวลรวม ตามมาตรฐาน ASTM C 29/C 29M-97 [7]

3.3.3 ทราย ทำการทดสอบความถ่วงจำเพาะ และการดูดน้ำของมวลละเอียด ตามมาตรฐาน ASTM C 128-01 [8] และวิเคราะห์ขนาดมวลรวมละเอียดโดยใช้ตะแกรง ตามมาตรฐาน ASTM C 136-01 [6]

3.4 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแข็งตัวเร็ว 24 ชั่วโมง

ออกแบบคอนกรีตตามวิธีของ ACI [9] โดยออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังอัดที่ 24 ชั่วโมงไม่น้อยกว่า 270 กก./ตร.ซม. ควบคุมค่าการยุบตัวให้อยู่ในช่วง 20±2.5 ซม. และกำหนดอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดเท่ากับ 0.47 โดยปริมาตร

ตารางที่ 1 ส่วนผสมคอนกรีตแข็งตัวเร็ว 24 ชั่วโมง

ชื่อส่วนผสม	ส่วนผสมคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)								
	ปูนซีเมนต์	หิน	ทราย	น้ำ	สารผสมเพิ่ม		S/A	น้ำต่อปูนซีเมนต์	ค่าการยุบตัว (cm)
					ประเภท D	ประเภท F			
M-27D	410	943	810	192	0.27 (0.06%)	5.00 (1.0%)	0.47	0.43	22.5
M-27	410	943	810	192	–	4.50 (0.9%)	0.47	0.43	21.5
M-30	440	935	803	187	–	5.91 (1.1%)	0.47	0.39	21.5
M-35	470	930	799	179	–	7.45 (1.3%)	0.47	0.35	20.5
M-42	500	929	798	168	–	9.76 (1.6%)	0.47	0.31	21.0

3.5 การทดสอบการก่อตัวของคอนกรีต ทำการทดสอบโดยใช้ชุดทดสอบ Acme Penetrometer ตามมาตรฐาน ASTM C 403/C 403M-99 [10]

3.6 การทดสอบกำลังอัด กำลังดึง กำลังดัด

3.6.1 กำลังอัด ทดสอบกำลังอัดคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C 39/C 39M-01 [11] ที่อายุ 12 และ 24 ชั่วโมง 3 7 และ 28 วัน ทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่างต่ออายุการทดสอบ และทำการแปลงค่ากำลังอัดที่ทดสอบได้ให้เป็นกำลังอัดของคอนกรีตขนาดมาตรฐานเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.

3.6.2 กำลังดึง ทดสอบกำลังดึงคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C 496-96 [12] ที่อายุ 1 และ 28 วัน ทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่างต่ออายุการทดสอบ

3.6.3 กำลังดัด ทดสอบกำลังดัดคานคอนกรีตขนาด 15x15x50 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C 78-00 [13] ที่อายุ 28 วัน ทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่างต่ออายุการทดสอบ

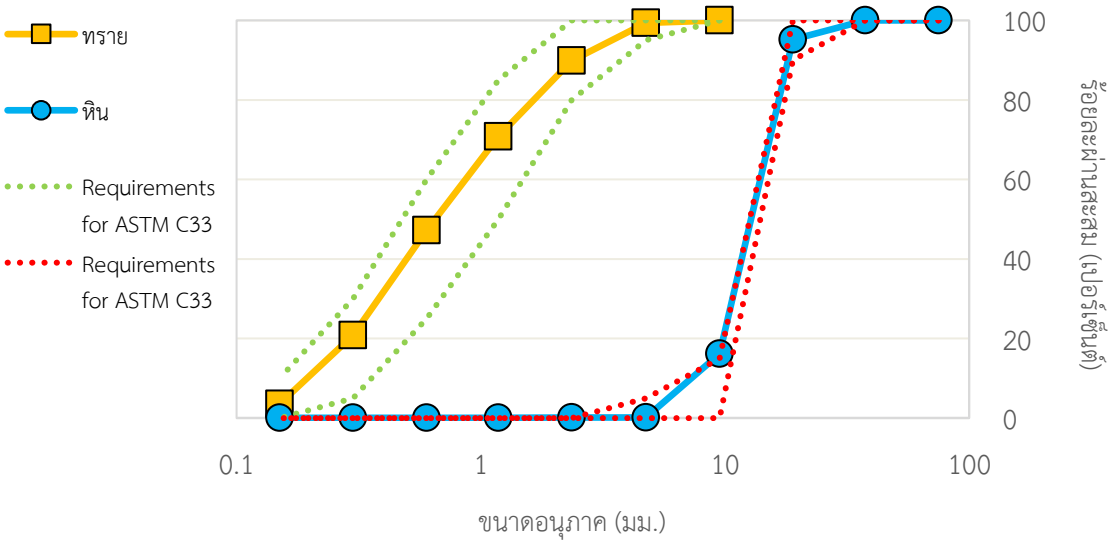
4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดสอบทางกายภาพของวัสดุ

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยมีคุณสมบัติทางกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 1 และมีการกระจายขนาดคละของทรายและหินดังรูปที่ 1

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

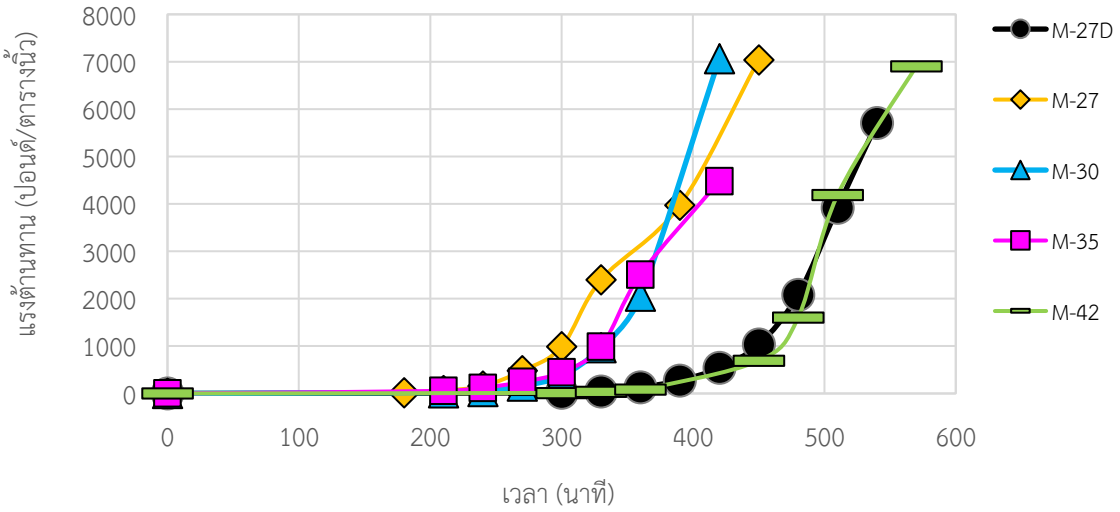
วัสดุ	ความถ่วงจำเพาะ	ร้อยละการดูดน้ำ	ค่าโมดูลัสความละอียด	ความหนาแน่นของมวลรวม (กก./ลบ.ม.)
ปูนซีเมนต์	3.02	–	–	–
หิน	2.70 (SSD)	1.11	6.88	1,558
ทราย	2.61 (SSD)	0.94	2.68	–
น้ำยาประเภท D	1.09	–	–	–
น้ำยาประเภท F	1.22	–	–	–



รูปที่ 1 การกระจายขนาดคละของหินและทราย

ตารางที่ 3 ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตแข็งตัวเร็ว 24 ชั่วโมง

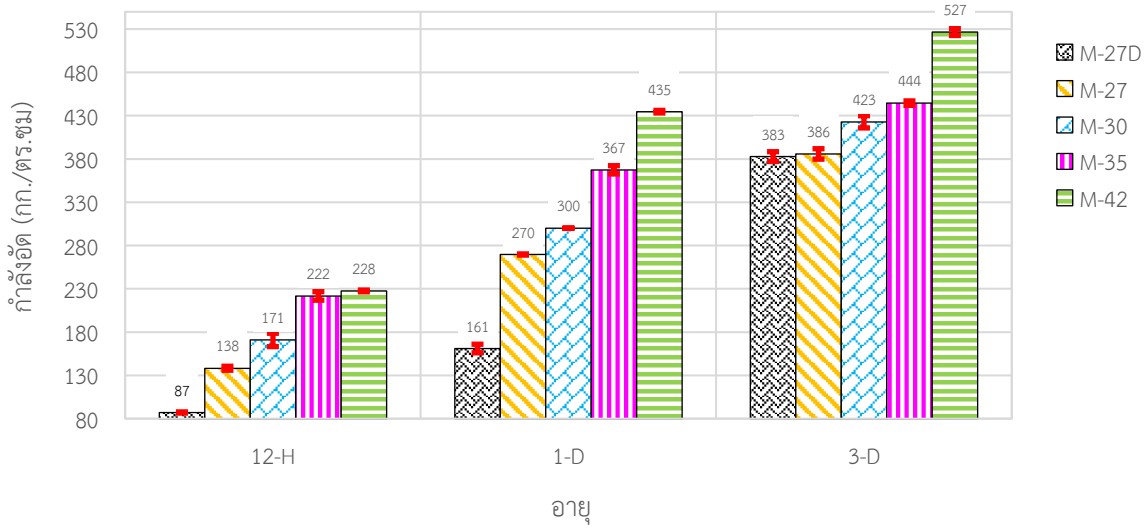
ชื่อส่วนผสม	ระยะเวลาการก่อตัวต้น (นาที)				ระยะเวลาการก่อตัวปลาย (นาที)			
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
M-27D	413	414	425	417	504	507	525	512
M-27	280	273	268	274	392	401	380	391
M-30	312	310	305	309	392	380	382	385
M-35	307	301	305	304	401	411	405	406
M-42	425	419	449	431	508	500	517	508



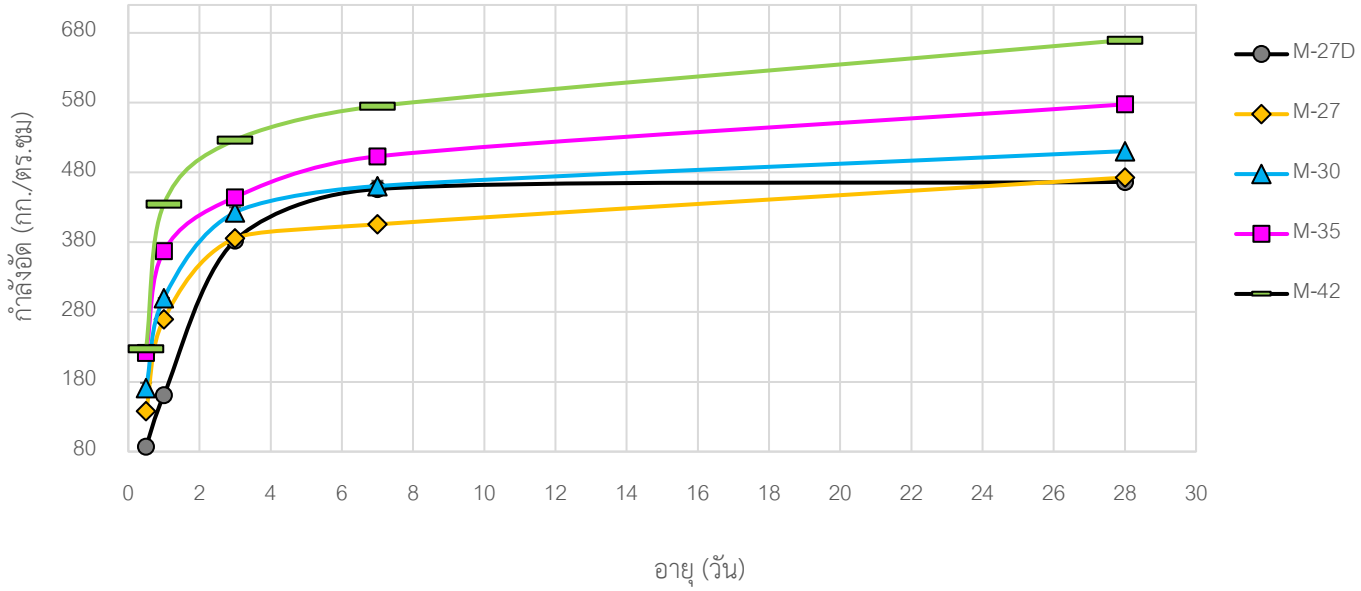
รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทานกับระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตโดยชุดทดสอบ Acme Penetromete

4.2 ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตแข็งตัวเร็ว 24 ชั่วโมง

รูปที่ 2 แสดงระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต พบว่า ตัวอย่าง M-27, M-30, M-35 มีระยะเวลาการก่อตัวต้นและปลายที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากผลของการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตประเภท F ซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 0.9-1.3 ตัวอย่าง M-27 จะมีระยะเวลาการก่อตัวต้นเร็วที่สุดเท่ากับ 274 นาที และตัวอย่าง M-30 จะมีระยะเวลาการก่อตัวปลายเร็วที่สุดเท่ากับ 385 นาที ขณะที่ตัวอย่าง M-42 ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตประเภท F ร้อยละ 1.6 และตัวอย่าง M-27D ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตประเภท D ร้อยละ 0.6 และประเภท F ร้อยละ 1 จะมีระยะเวลาการก่อตัวต้นและปลายใกล้เคียงกัน นั่นคือ ระยะเวลาการก่อตัวต้นของตัวอย่าง M-27D และ M-42 เท่ากับ 417 และ 431 นาที ตามลำดับ ระยะเวลาการก่อตัวปลายเท่ากับ 512 และ 508 นาที ตามลำดับ ดังรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำยาผสมประเภท F ที่ร้อยละ 1.6 หรือการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตประเภท D ที่ร้อยละ 0.6 ขึ้นไป มีผลให้ระยะเวลาการก่อตัวต้นและปลายนานขึ้น



รูปที่ 3 กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 12 ชั่วโมง 1 วัน และ 3 วัน



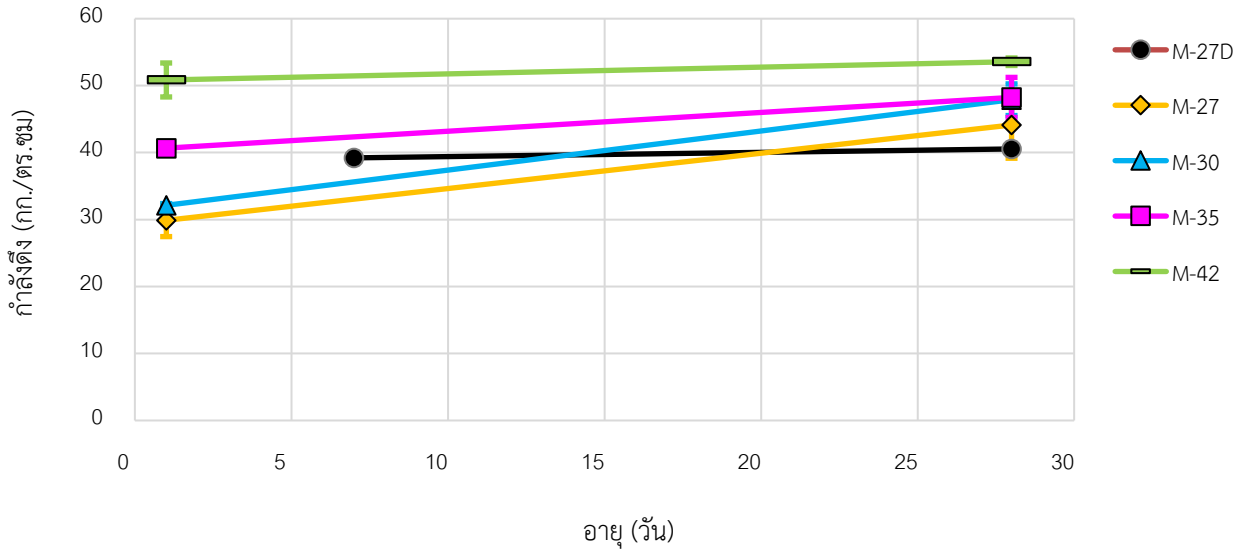
รูปที่ 4 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตแข็งตัวเร็ว 24 ชั่วโมง

4.3 กำลังอัด

การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตแข็งตัวเร็ว ขนาดมาตรฐานเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. และสูง 30 ซม. แสดงดังรูปที่ 4 พบว่า คอนกรีตมีกำลังอัดเพิ่มขึ้น เมื่อลดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ แล้วเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์และน้ำยาผสมคอนกรีตประเภท F ตัวอย่าง M-27, M-30, M-35 และ M-42 มีการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ทีละ 30 กก./ลบ.ม. และน้ำยาผสมคอนกรีตประเภท F ที่เพิ่มทีร้อยละ 0.2 ทำให้อัตราการเพิ่มของกำลังอัดสูงขึ้นในช่วง 12 ชั่วโมงถึง 7 วัน และอัตราการพัฒนากำลังอัดจะลดลงเมื่ออายุของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น

ขณะที่ ตัวอย่าง M-27D มีการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตประเภท D ทำให้กำลังอัดในช่วง 12 ชั่วโมงถึง 24 ชั่วโมง มีค่าน้อยกว่าตัวอย่าง M-27 เนื่องจากผลกระทบของการหน่วงปฏิกิริยาของน้ำยาผสมคอนกรีตประเภท D จึงทำให้กำลังอัดที่อายุมากกว่า 3 วันมีค่าใกล้เคียงกัน สรุปได้ว่าน้ำยาผสมคอนกรีตประเภท D มีผลอย่างมากต่อค่ากำลังอัดในช่วงอายุต้นของตัวอย่างคอนกรีตที่ทดสอบ

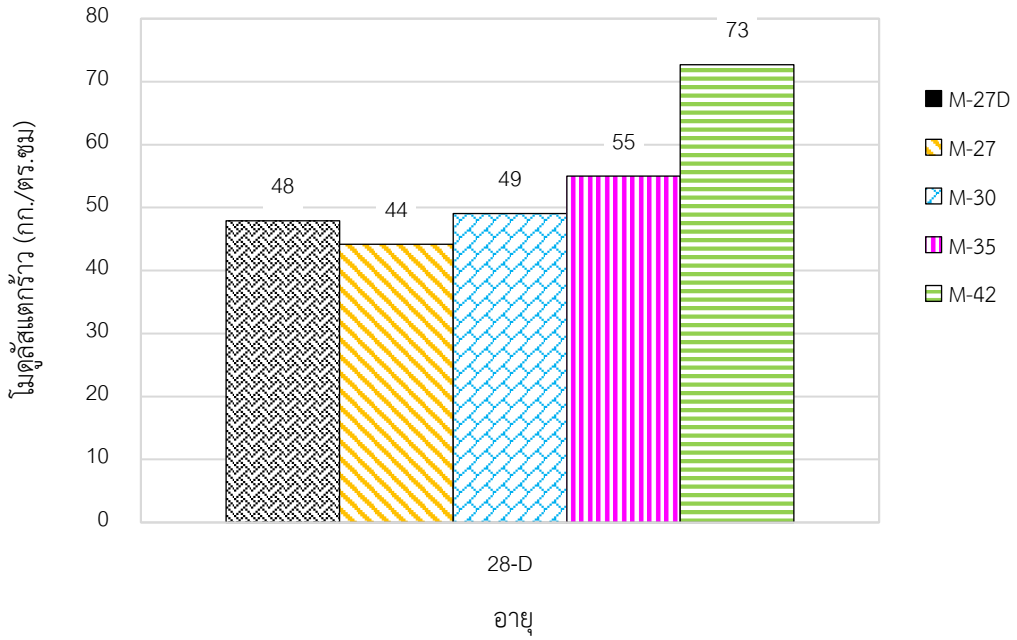
กำลังอัดของคอนกรีตตัวอย่าง M-27, M-30, M-35 และ M-42 มีกำลังอัดที่ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 270, 300, 367 และ 435 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ และกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 473, 511, 578 และ 670 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ



รูปที่ 5 กำลังดึงผ่าซีกของคอนกรีตที่อายุ 1 วัน และ 28 วัน

4.4 กำลังดึง

รูปที่ 5 แสดงค่ากำลังดึงโดยวิธีกำลังดึงผ่าซีกของคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. ที่อายุ 24 ชั่วโมง ของตัวอย่าง M-27, M-30, M-35 และ M-42 เท่ากับ 30, 32, 41 และ 51 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ และกำลังดึงผ่าซีกที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 44, 48, 48 และ 54 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ กำลังดึงมีค่าประมาณร้อยละ 10 ของค่ากำลังอัด และกำลังดึงผ่าซีกมีค่าประมาณร้อยละ 90 ของกำลังดัดที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 6 ค่าโมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน

4.5 กำลังดัด

รูปที่ 6 แสดงค่ากำลังดัดหรือโมดูลัสแตกร้าวของคานคอนกรีตขนาด 15x15x50 ซม. ที่มีน้ำหนักกระทำที่ตำแหน่งหนึ่งในสามช่วงของคาน ที่อายุ 28 วัน ของตัวอย่าง M-27, M-30, M-35 และ M-42 เท่ากับ 44, 49, 55 และ 73 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 10 ของค่ากำลังอัด

5. สรุปผลการทดสอบ

คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีนต์ เท่ากับ 0.43 ปริมาณปูนซีเมนต์ 410 กก./ลบ.ม. และใช้น้ำยาผสมคอนกรีตประเภท F ร้อยละ 0.9 ของปริมาณปูนซีเมนต์ จะทำให้มีกำลังอัดที่ 24 ชั่วโมง ไม่น้อยกว่า 270 กก./ตร.ซม. หากต้องการกำลังอัดที่สูงขึ้นให้ปรับส่วนผสมโดยการลดค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีนต์ เพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ และน้ำยาผสมคอนกรีต จากหลักการทำให้ได้กำลังอัดสูงสุดที่ 24 ชั่วโมงเท่ากับ 420 กก./ตร.ซม. หากต้องการกำลังอัดที่มากกว่า 420 กก./ตร.ซม. จำเป็นต้องเปลี่ยนประเภทน้ำยาผสมคอนกรีต และประเภทของปูนซีเมนต์ หรือใช้ซิลิกาฟูมในส่วนผสม ดังนั้น ส่วนผสมคอนกรีตนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานซ่อมแซมหรืองานที่ต้องการกำลังอัดสูงเร็วในช่วงแรก

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา สำหรับทุนอุดหนุนโครงงานทางวิศวกรรม รวมไปถึงความอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่สำหรับการทำงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] วิจิตอัจฉรา สรรพกิจจำนง, เลิศ พัดฉวี, 2545, คอนกรีตแข็งตัวเร็วสำหรับงานบำรุงเร่งด่วน (รายงานผลการวิจัย), วพ. 195 ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางกลวง.

[2] สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, 2551, คู่มือสารผสมเพิ่มสำหรับงานคอนกรีต.

[3] ASTM C 188-95 Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement.

[4] มอก.15-2562, ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.

[5] ASTM C 127-01 Standard Test Method for -Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.

[6] ASTM C 136-01 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.

[7] ASTM C 29/C 29M-97 Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate.

[8] ASTM C 128-01 Standard Test Method for -Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.

[9] ACI 214.3R-88 (Reapproved 1997) : Simplified version of the Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete, ACI Manual of Cocrete Practice, Part 2, Michigan, 2000.

[10] ASTM C 403/C 403M-99 : Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance, Annual Book of ASTM Standards, 2001, Vol. 04.02, Philadelphia, 222-227.

[11] ASTM C 39/C 39M-01 : Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standards, 2001, Vol. 04.02, Philadelphia, 18-22.

[12] ASTM C 496-96 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standards,2001, Vol.04.02, Philadelphia,273-276.

[13] ASTM C 78-00 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), Annual Book of ASTM Standards,2001, Vol.04.01, Philadelphia,32-34.

[14] ASTM International. (2018) ASTM C33 / C33M-18: Standard Specification for Concrete Aggregates. West Conshohocken, PA: ASTM International.

การศึกษาศักยภาพเถ้าชานอ้อยที่ไม่ผ่านการบดละเอียดเพื่อใช้ในทดแทนปูนซีเมนต์

Study of the potential of original bagasse ash as a cement substitute

ศุภาพิชญ์ ชุมมวล[1,*] นราวิชญ์ ปัจถาใจ[1] ราชวัติ ปันจี้[1] และ ปิยพงษ์ สุวรรณมณีโชติ[2]

[1] นิสิตปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา

**ศุภาพิชญ์ ชุมมวล; E-mail address: 63102529@up.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหากำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ผสมกับเถ้าชานอ้อย โดยจะศึกษา ดัชนีกำลังอัดของมอร์ต้าร์ อิทธิพลของปริมาณเถ้าชานอ้อยและการก่อตัว โดยแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดแรกเป็นการควบคุมอัตราการไหลให้อยู่ในช่วง 110±5 ซม. และชุดที่2 เป็นการควบคุมวัสดุประสานกับน้ำให้อยู่ใน 0.89

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 น้ำหนัก 2025 กรัม ที่ผสมเข้ากับเถ้าชานอ้อยน้ำหนัก 225 กรัม ที่ร้อยละ 10 พบว่า ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่ไม่ผสมเข้ากับเถ้าชานอ้อย เมื่อผสมเถ้าชานอ้อยที่ร้อยละ 20 และ 30 ที่น้ำหนัก 450 กรัม และ 675 กรัม ตามลำดับ พบว่า ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่ไม่ผสมเถ้าชานอ้อย ดังนั้นสรุปได้ว่า เถ้าชานอ้อยสามารถทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ได้ในร้อยละ 10

Abstract

The purpose of this research is to determine the compressive strength of mortar mixed with bagasse ash. Mortar compression index Influence of bagasse ash content and formation Divided into 2 sets, the first set is to control the flow rate to be in the range of 110 +-5 cm and the second set is to control the material bonding with water to binder 0.89.

Type 1 Portland cement, weight 2025 grams, mixed with bagasse ash, weight 225 grams, at 10 percent, found that the compressive strength of concrete was similar to Portland cement Type 1, which was not mixed with bagasse ash. When bagasse ash was mixed at 20 and 30 percent at weights of 450 grams and 675 grams, respectively, it was found that the compressive strength of concrete was lower than that of Portland cement type 1 without bagasse ash mixed. Therefore, it can be concluded that Bagasse ash can be substituted. Portland cement type 1 can be obtained at 10 percent.

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม โดยมีอ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่ปลูกกันมาก โดยถือเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตน้ำตาลทราย อ้อยมีการส่งออกเป็นอับดับต้นๆ ของโลก ปริมาณอ้อยนำเข้ากระบวนการผลิตน้ำตาล 1 ตัน จะเหลือชานอ้อยประมาณ 290 กิโลกรัม ในปี 2555 ประเทศไทยผลิตอ้อยทั้งหมด 98.4 ล้านตัน เมื่อนำไปผลิตน้ำตาลจะเหลือชานอ้อย 28.54 ล้านตันต่อปี โดยเถ้าชานอ้อยนั้นถือเป็นวัสดุเหลือจากการเผาชานอ้อย ในปัจจุบันเถ้าชานอ้อยถูกมองข้ามถึงความสำคัญจนกลายเศษวัสดุที่ไม่มีคุณค่า การนำเอาเถ้าชานอ้อยมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อย พบว่ามีธาตุซิลิกามากกว่า 60% ทำให้สามารถใช้เป็นวัสดุผสมกับมอร์ต้าร์ ปกติโรงงานส่วนใหญ่ของโรงงานน้ำตาลนำชานอ้อยไปเผาเพื่อเอาพลังงานไปผลิตกระแสไฟฟ้า โรงงานน้ำตาลโดยทั่วไปเถ้าชานอ้อยลักษณะที่ได้จะหยาบเนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ในส่วนที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ที่ตกลงอยู่ข้างใต้เตา และส่วนที่ลอยขึ้นไปผสมกันจะมีส่วนที่ละเอียดและหยาบ จึงได้โรงงานน้ำตาลที่แยกส่วนละเอียดและส่วนหยาบแล้วนำส่วนละเอียดมาใช้ในโครงงานนี้ เพราะส่วนที่หยาบทำปฏิกิริยายากและไม่ค่อยให้กำลังอัด ส่วนที่ละเอียดจะทำปฏิกิริยาง่ายกว่าแล้วให้กำลังอัดที่ดี

วิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าชานอ้อย โดยการนำเถ้าชานอ้อยที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์ และศึกษาสัดส่วนเถ้าชานอ้อยที่มีผลต่อกำลังอัดของมอร์ต้าร์ โดยนำเถ้าชานอ้อยที่มีละเอียดมาจากโรงงานผลิตน้ำตาลทรายแล้วแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 0,10,20 และ 30 โดยน้ำหนัก ทำการแบ่งตัวอย่างมอร์ต้าร์ออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่ควบคุมค่าการไหลให้เท่ากับ 110±5 ซม. และชุดตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่คงบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.89 เพื่อหาประสิทธิภาพของมอร์ต้าร์ที่มีส่วนผสมของเถ้าชานอ้อยที่อายุ 3,7,14 และ 28 วัน

1.2 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติทางกลของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าชานอ้อยความละเอียดสูง ดังนี้

1.2.1 เพื่อศึกษากำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าชานอ้อย

1.2.2 เพื่อศึกษาดัชนีกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าชานอ้อย

1.2.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณเถ้าชานอ้อยต่อการก่อตัว

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้นำเถ้าชานอ้อยความละเอียดสูงจากโรงงานน้ำตาล เพื่อใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก เพื่อหล่อตัวอย่างมอร์ต้าร์ โดยทำการแบ่งตัวอย่าง มอร์ต้าร์ออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่ควบคุมค่าการไหลให้เท่ากับ 110 ± 5 ซม. และชุดตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่ควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.89 เพื่อทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน และคำนวณค่าดัชนีกำลัง รวมไปถึงระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเถ้าชานอ้อย

1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย

1.4.1 เพื่อลดปัญหาสภาวะสิ่งแวดล้อมจากการเหลือทิ้งของเถ้าชานอ้อย

1.4.2 สามารถนำเถ้าชานอ้อยซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.4.3 เพื่อทราบอิทธิพลของปริมาณเถ้าชานอ้อยต่อกำลังอัดของมอร์ต้าร์และระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์เพสต์

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษานี้เป็นการศึกษากำลังอัดคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อย โดยใช้ตัวอย่างเถ้าชานอ้อยที่นำมาจากโรงงานน้ำตาลวังขนาย จังหวัดมหาสารคาม [1] นำเถ้าชานมาบดให้มีปริมาณค้างตะแกรงมาตรฐาน 325 ทำการศึกษากำลังอัดของคอนกรีตเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าชานอ้อยในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าชานอ้อยบดละเอียด พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าเท่ากับ 2.18 น้อยกว่าปูนซีเมนต์ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยทั้ง 2 ขนาด ขนาดเล็ก(SBA) ในปริมาณร้อยละ 20 สามาถให้กำลังอัดสูงสุดคิดเป็นนร้อยละ 102, 106, 104 และ 104 ของคอนกรีตที่ควบคุมอายุ 7, 28, 60 และ 90 วัน อนุภาคขนาดเล็กของเถ้าชานอ้อยจะเข้าไปแทรกตัวระหว่างช่องว่างในคอนกรีตทำให้คอนกรีตสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานและปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ดีขึ้น ส่งผลให้คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดและมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ส่วนกำลังอัดของคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยขนาดใหญ่ (LBA) ให้ค่าร้อยละกำลังอัดน้อยกว่าร้อยละ 75 ของคอนกรีตควบคุมทุกการแทนที่และอายุการทดสอบเนื่องจากมีอนุภาคขนาดใหญ่ส่งผลให้คอนกรีตมีความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นและปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดได้น้อยลงกำลังอัดของคอนกรีตจึงลดตามไปด้วย

งานวิจัยนี้ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดเพื่อเพิ่มความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตกำลังอัดสูงสุดที่ใช้เศษคอนกรีตจากการรื้อถอนโครงสร้างมาย่อยเป็นมวลรวมแทนที่การใช้มวลรวมหยาบจากธรรมชาติทั้งหมด [2] โดยใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 20 , 35 และ 50 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน งานวิจัยของ Chusilp และคณะ พบว่าการใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน สามารถช่วยเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 90 ได้สูงถึงร้อยละ 113 เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีเถ้าชานอ้อยบดละเอียดเป็นส่วนผสม นอกจากนี้การแทนที่เถ้าชานอ้อยบดละเอียดร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ส่งผลให้ค่าการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่มีเถ้าชานอ้อยบดละเอียดเป็นส่วนผสมประมาณ 3 เท่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rerkpiboon และ คณะที่พบว่าเถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน สามารถช่วยเพิ่มความต้านคลอไรด์และซัลเฟตของคอนกรีตให้ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยต่อกำลังอัดของมอร์ต้าร์ โดยนำเถ้าชานอ้อยมาผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิสูงสุดที่ 600 ℃ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และนำไปบดด้วยเม็ดบอล 12 ชั่วโมง [3] เถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยถูกนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) และอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน (S/B) เท่ากับ 0.5 และ 2.5 ตามลำดับโดยใช้มอร์ต้าร์ขนาด 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อทดสอบกำลังอัดโดยใช้ระยะเวลาการบ่มที่ 7, 14 และ 28 วัน เมื่อครบกำหนดดังกล่าวชิ้นงานมอร์ตาร์จะถูกนำไปทดสอบกำลังอัดตามมาตรฐาน ASTM C 109 โดยเครื่อง Compressive strength tester และใช้แรงในการกด (dF/dT) อยู่ในช่วง 0.9-1.8 Kn/s เมื่อพิจารณาค่ากำลังอัดสัมพัทธ์เทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พบว่าค่ากำลังอัดสัมพัทธ์ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 10-20 โดยน้ำหนัก และ ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยบดละเอียดในอัตราส่วนร้อยละ 10-20 จะมีค่ามากกว่าร้อยละ 75 อย่างไรก็ตามในการใช้เถ้าลอยและเถ้าชานอ้อยในงานคอนกรีตสามารถใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ไม่เกินร้อยละ 20

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1

3.1.2 เถ้าชานอ้อยจากโรงงานผลิตน้ำตาล จังหวัดนครสวรรค์

3.1.3 ทรายแม่น้ำร่อนผ่านตะแกรงเบอร์30 ค้างเบอร์100

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1 แบบหล่อมอร์ต้าร์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร

3.2.2 ชุดการทดลองการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์แบบไวแคต

3.2.3 เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (UTM)

3.2.4 เครื่องผสมมอร์ต้าร์ขนาด 10 ลิตร

3.2.5 ชุดการทดสอบค่าการไหลของมอร์ต้าร์

3.3 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้

การทดสอบความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์และเถ้าชานอ้อยและการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของทราย ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

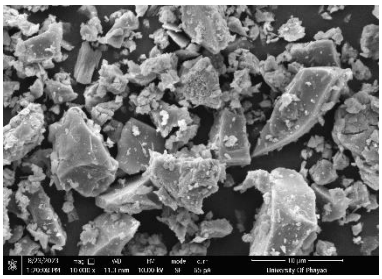
วัสดุ	ความถ่วงจำเพาะ	Absorption (%)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	3.25	-
เถ้าชานอ้อยบดละเอียดสูง	2.10	-
ทรายแม่น้ำที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์30 ค้างเบอร์100	2.54	0.97

3.4 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ

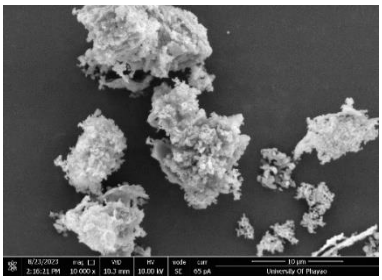
ตารางที่ 2 ตารางผล XRF ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าชานอ้อย

Chemical Composition (%)	Cement Type 1	Bagasse ash
Silicon Dioxide (SiO_2)	23.724	74.72
Aluminium Oxide (Al_2O_3)	5.101	4.62
Iron Oxide (Fe_2O_3)	3.612	2.46
Calcium Oxide (CaO)	59.068	4.73
Magnesium Oxide (MgO)	1.975	1.60
Potassium Oxide (K_2O)	0.325	2.06
Sulfur Trioxide (SO_3)	5.418	0.26
Loss On Ignition (LOI)	0.441	7.70

3.5 ทดสอบ Scanning Electron Microscopy (SEM)



รูปที่ 1 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

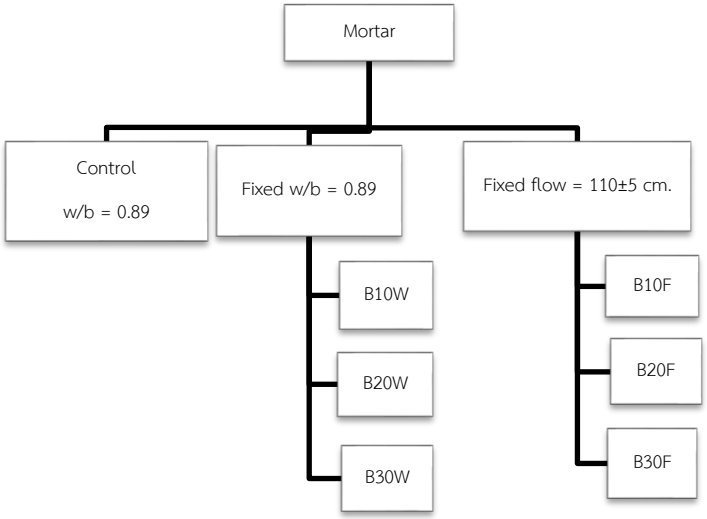


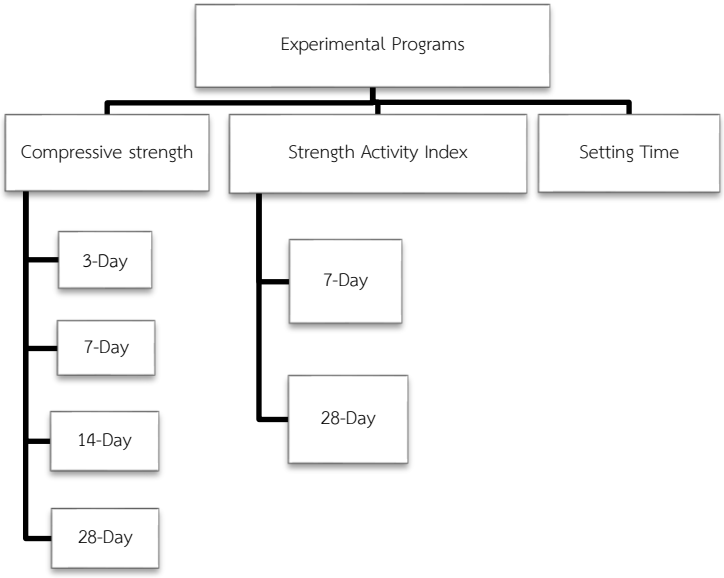
รูปที่ 2 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของเถ้าชานอ้อย

3.6 วิธีการศึกษา

กำหนดมอร์ต้าร์ควบคุมที่มีคุณสมบัติค่าการไหล 110±5 ซม. เพื่อให้ทราบอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.89 และทำการแบ่งตัวอย่างมอร์ต้าร์ออกเป็น 2 ชุด คือชุดตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่ควบคุมค่าการไหลให้เท่ากับ 110±5 ซม. และชุดตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่ควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.89 เพื่อทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ทำการทดสอบ 5 ตัวอย่างต่อช่วงอายุและคำนวณค่าดัชนีกำลังโดยการแทนที่เถ้าชานอ้อย 20% ที่อายุ 7 และ 28 วัน

ทำการทดสอบการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าชานอ้อยร้อยละ 0, 10, 20, และ 30 เพื่อค้นหาแนวโน้มระยะเวลาการก่อตัวต้นและปลายของซีเมนต์เพสต์





4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1 กำลังอัดมอร์ต้าร์

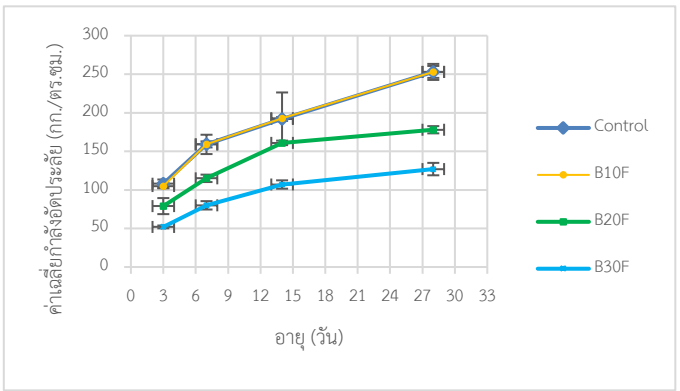
ตามมาตรฐานในการทำมอร์ต้าร์ทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ตามหลัก ASTM ให้ควบคุมค่าการไหลแทนที่ 10% ดังนั้นการพัฒนากำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ควบคุมค่าการไหลเท่ากับ 110±5 ซม. พบว่ามอร์ต้าร์มีกำลังพัฒนาที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน มอร์ต้าร์ทุกส่วนผสมมีการพัฒนากำลังอัดที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งControl, B10F, B20F และ B30F เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงรูปที่ 3 ซึ่งมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อย 10% มีค่ากำลังอัดใกล้เคียงกับตัว Control รองลงมาจะเป็น B20F และตัวที่ต่ำสุดเป็น B30F ยิ่งแทนที่เถ้าชานอ้อยมากขึ้นจะทำให้กำลังอัดยิ่งลดลง ดังแสดงรูปที่ 4

มอร์ต้าร์ที่ควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ยิ่งใส่ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นในส่วนผสมกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ได้จะลดลง ดังแสดงรูปที่ 5 หแล้วเมื่อแทนที่เถ้าชานอ้อยร้อยละ 10, 20 และ 30 ในช่วงอายุ 28 วัน จะให้กำลังอัดพัฒนาที่มากกว่าช่วงอายุ 7 วัน สรุปได้ว่าเถ้าชานอ้อยเป็นวัสดุที่ผสมกับคอนกรีตแล้วมีความต้องการน้ำในส่วนผสมมาก เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนากำลังอัด ดังแสดงรูปที่ 6

ตารางที่ 3 มอร์ต้าร์ที่ควบคุมค่าการไหล

Fixed flow 110±5 ซม.

ส่วนผสม	Cement (g.)	B (g.)	water (g.)	w/b	flow (cm.)
Control	500	0	445	0.89	107
B10F	450	50	457	0.91	112
B20F	400	100	478	0.96	106
B30F	350	150	510	1.02	111

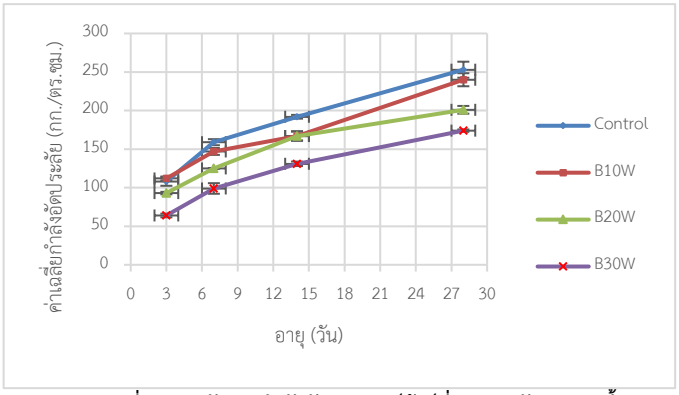


รูปที่ 3 การพัฒนากำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ควบคุมค่าการไหล

ตารางที่ 4 มอร์ต้าร์ที่ควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

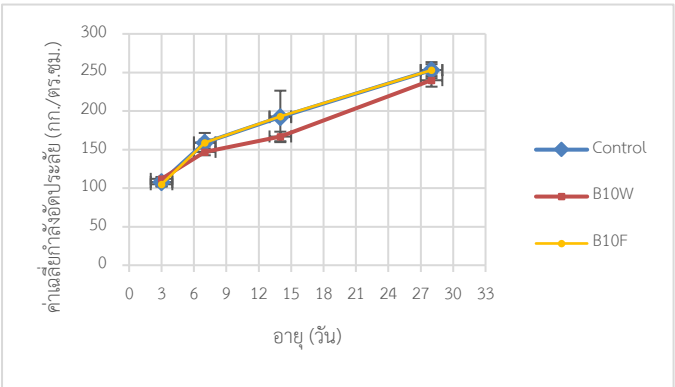
Fixed water (w/c = 0.89)

ส่วนผสม	Cement (g.)	B (g.)	water (g.)	w/b	flow (cm.)
Control	500	0	445	0.89	107
B10W	450	50	445	0.89	93
B20W	400	100	445	0.89	82
B30W	350	150	445	0.89	79

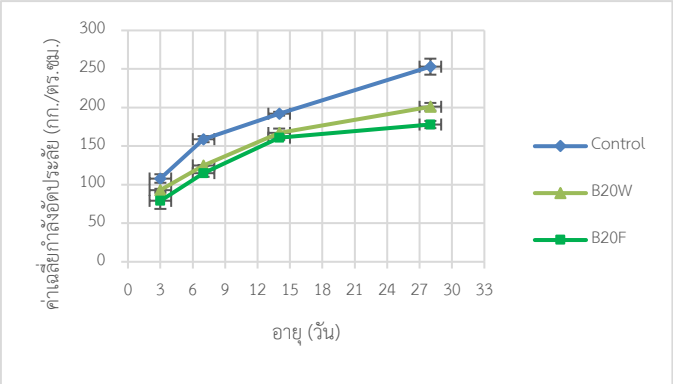


รูปที่ 4 การพัฒนากำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

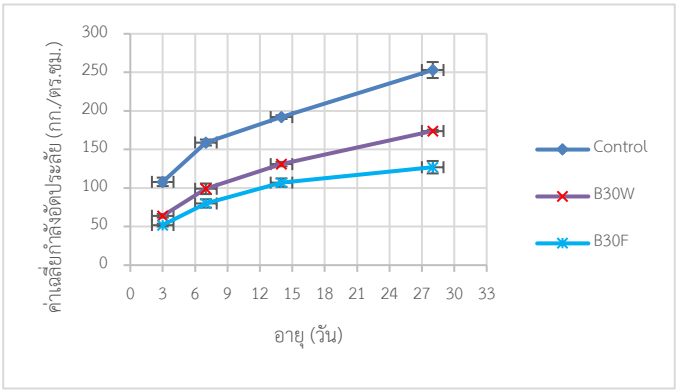
เมื่อนำกำลังอัดมอร์ต้าร์ควบคุมไปเปรียบเทียบกับมอร์ต้าควบคุมค่าการไหลและมอร์ต้าร์ที่ควบอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ที่อายุ3, 7, 14 และ 28 วัน ของแต่ละส่วนผสม (B10F, B10W, B20W, B20F, B30W และB30F) พบว่ามอร์ต้าร์ที่ควบคุมค่าการไหลผสมเถ้าชานอ้อย 10% ให้กำลังอัดที่ใกล้เคียงกับมอร์ต้าร์ที่ไม่ผสมเถ้าชานอ้อย ส่วนมอร์ต้าร์ที่ควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ผสมเถ้าชานอ้อย 10% ให้กำลังที่น้อยกว่า หากเพิ่มปริมาณการผสมเถ้าชานอ้อยที่มากกว่าร้อยละ 10 ส่งผลให้กำลังอัดของมอร์ต้าร์ลดลงตามปริมาณการใช้เถ้าชานอ้อย ดังแสดงที่รูป 5 (ก, ข และ ค)



รูปที่ 5 (ก.)การเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ควบคุมกับ B10W และ B10F



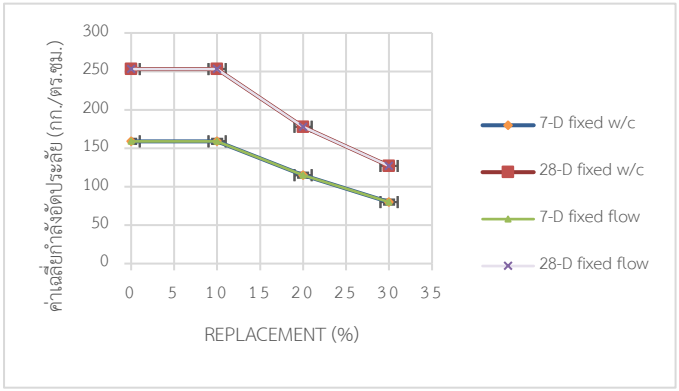
รูปที่ 5 (ข.)การเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ควบคุมกับ B20W และ B20



รูปที่ 5 ค.การเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ควบคุมกับ B30W และ B30F

4.2 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์

จากตารางที่ 5 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ได้ผสมเถ้าชานอ้อยมีระยะเวลาการก่อตัวที่เร็วกว่าซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยร้อยละ 10, 20 และ 30 และระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการผสมของเถ้าชานอ้อย การแทนที่เถ้าชานอ้อยที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 ให้กำลังอัดที่อายุ 7 และ 28 วัน ของชุดทดสอบมอร์ต้าร์ทั้ง 2 ชุด คือชุดมอร์ต้าร์ควบคุมค่าการไหล เท่ากับ110±5 ซม. และชุดมอร์ต้าร์ควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานให้กำลังอัดที่เท่ากัน



รูปที่ 6 Replacement ร้อยละ 10, 20 และ 30

การแทนที่เถ้าชานอ้อยที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 ให้กำลังอัดที่อายุ 7 และ 28 วัน ของชุดทดสอบมอร์ต้าร์ทั้ง 2 ชุด คือชุดมอร์ต้าร์ควบคุมค่าการไหล เท่ากับ110±5 ซม. และชุดมอร์ต้าร์ควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานให้กำลังอัดที่เท่ากัน

4.3 ค่าดัชนีกำลัง

ค่าดัชนีกำลัง (Strength Activity Index) ที่ได้จากกำลังอัดมอร์ต้าร์แทนที่เถ้าชานอ้อย 20% ที่อายุ 7 และ 28 วัน พบว่ามอร์ต้าร์ควบคุมการไหลให้ค่าดัชนีกำลังที่ร้อยละ 72.33 และ 70.36 มีค่าดัชนีที่น้อยกว่าซึ่งตามหลัก ASTM C618 ต้องมีค่ามากกว่าร้อยละ 75 และมอร์ต้าร์ควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานให้ค่าดัชนีกำลังที่ร้อยละ 78.62 และ 79.45 มีค่ามากกว่าร้อยละ 75 ตามหลัก ASTM C618 ดังแสดงตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าดัชนีกำลังที่อายุ 7 และ 28 วัน

ค่าดัชนีกำลัง	อายุ (วัน)	
	7	28
Fixed flow	72.33	70.36
Fixed w/c	78.62	79.45

ตารางที่ 5 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์

ชื่อส่วนผสม	ระยะเวลาการก่อตัวต้น (นาที)				ระยะเวลาการก่อตัวปลาย (นาที)			
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
Control	76	72	68	72	135	100	93	109
B10	99	103	102	101	150	161	162	158
B20	118	140	131	130	180	250	240	223
B30	146	142	160	149	330	300	330	320

5. สรุปผลการทดสอบ

1. ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์เพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่เถ้าชานอ้อยในส่วนผสม

2. ซีเมนต์เพสต์ที่ใช้เถ้าชานอ้อยเป็นส่วนผสมมีความต้องการน้ำเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการแทนที่เถ้าชานอ้อยเพื่อให้ได้ค่าการไหลตัวที่เท่ากัน

3. เมื่อกำหนดค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานให้คงที่การใช้เถ้าชานอ้อยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ซีเมนต์เพสต์สูญเสียค่าการไหล

4. การแทนที่เถ้าชานอ้อยความละเอียดสูงร้อยละ 10 ส่งผลให้กำลังอัดของมอร์ต้าร์มีค่าใกล้เคียงกับมอร์ต้าร์ที่ไม่ผสมเถ้าชานอ้อยหากเพิ่มปริมาณเถ้าชานอ้อยมากกว่าร้อยละ 10 ส่งผลให้กำลังอัดมีค่าลดลงตามปริมาณการใช้เถ้าชานอ้อย

5. ดัชนีกำลังของมอร์ต้าร์ที่แทนที่เถ้าชานอ้อยร้อยละ 20 ซึ่งควบคุมการไหลเท่ากับ 110±5 ซม. ที่อายุ 7 และ 28 วัน มีค่าร้อยละ 72.33 และ 70.36 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 75 ที่ ASTM C618 กำหนดแต่มอร์ต้าร์ที่ควบคุมค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมีค่าดัชนีกำลังเท่าร้อยละ 72.62 และ 79.45

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา สำหรับทุนอุดหนุนโครงงานทางวิศวกรรม รวมไปถึงความอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่สำหรับการทำงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] เพ็ญชาย เวียงใต้ (2558) การใช้ประโยชน์จากเถ้าชานอ้อยเพื่อพัฒนากำลังอัดคอนกรีต Utilization from bagasse ash for improvement compressive strength of concrete

[2] ปกป้อง รัตนชู, อิศราพงษ์ ขานทอง, วีรชาติ ตั้งจิรภัทร และชัย จาตุพิทักษ์กุล (2561) การใช้เถ้าชานอ้อยบกละเอียดเพื่อเพิ่มการคลอไรด์ของคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้มวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีต

[3] ดร.ทนงศักดิ์ โนไชยา, ดร.ศราวุฒิ เถื่อนถ้ำ และนางสาวชุตินธร สุขเกษม (2557) โครงการการศึกษากำลังอัดของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยกับเถ้าลอย

สมบัติทางวิศวกรรมของอิฐโบราณสถานเวียงลอ อายุ 1600 ปี ด้วยเครื่องอัลตราโซนิค

Engineering Properties of brick from 1600 years old Wlang Lo ancient remains, by Ultrasonic Pulse Velocity

นายศักดิธัช กันทะจักร์ [1] นายณัฐดนย์ นิลสนธิ [2] และนายชัยวัฒน์ ภัทรภูตี [3]

[123] *คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา*

Corresponding author; E-mail 63103654@up.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางด้านวิศวกรรมของอิฐโบราณที่ได้จากโบราณสถานเวียงลอ อ.จุน จ.พะเยา ซึ่งเป็นอิฐที่มีอายุมากกว่า 1,600 ปี โดยใช้คลื่นอัตราโซนิคในการคำนวณค่าโมดูลัสยืดหยุ่น และค่ากำลังอัดของอิฐก่อที่ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถานเวียงลอ และคุณสมบัติของอิฐเลียนแบบอิฐโบราณ ซึ่งกรมศิลปากรใช้ในการซ่อมแซมโบราณสถานดังกล่าว ผลการศึกษาพบว่าวิธีการใช้คลื่นอัตราโซนิค สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาค่ากำลังอัดของอิฐดังกล่าวได้เป็นอย่างดี ให้ผลใกล้เคียงกับผลการทดสอบแบบทำลาย โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับโบราณสถาน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลที่มีสำคัญ สามารถนำไปเป็นข้อมูลวิเคราะห์โบราณสถาน หรือทำการซ่อมและเสริมกำลังให้กับโบราณสถานต่อไป

คำสำคัญ : อิฐโบราณ, กำลังอัด, โมดูลัสยืดหยุ่น, โบราณสถานเวียงลอ

Abstract

This research aims to study the fundamental engineering properties of ancient bricks obtained from the archaeological site of Wiang Lo, Chun District, Phayao Province, which are more than 1,600 years old. The study involves testing compressive strength and modulus of elasticity, comparing these properties with modern bricks designed to mimic the ancient ones. These bricks have been used for the restoration of archaeological sites by the Department of Fine Arts. Additionally, the research includes testing the compressive strength and modulus of elasticity of ancient mortar made from a traditional recipe, consisting of white lime, traditional fermentation, bagasse, and sand, which is a formula used by the Department of Fine Arts for the reconstruction of the Wiang Lo archaeological site. The study found that the compressive strength of ancient bricks and their imitations is similar, despite variations in individual brick compression values. This research can serve as basic information to be referenced for further repairs and restoration with relevant agencies.

Key words: ancient bricks, ancient mortar, compressive strength, bending strength, elastic modulus

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

โบราณสถานเวียงลอที่เก่าแก่ของจังหวัดพะเยามีอายุราว 1,500-1,600 ปี ตามศิลาจารึกซึ่งเป็นสถานที่เชื่อมโยงเหตุการณ์สำคัญในอดีตความเป็นมาของประเทศเกียรติยศและความภาคภูมิใจของคนพะเยา ซึ่งบางส่วนมีร่องรอยของการก่ออิฐเสริมเข้าไปด้วยสืบเนื่องจากอิฐก่อในสมัยโบราณมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากอิฐก่อในปัจจุบัน เนื่องจากมีกรรมวิธีในการผลิตที่แตกต่างกันและคุณสมบัติของดินที่นำมาใช้ดังนั้นการนำอิฐก่อจากโบราณสถานมาทำการตรวจสอบนั้นจึงเป็นไปได้ยากเนื่องจากเป็นโบราณวัตถุที่มีคุณค่าทางวัฒนธรรมอีกทั้งยังเป็นการทำลายโบราณวัตถุให้เสียหายอย่างไรก็ตามงานวิจัยของ สรยา คณะ (2563) และ ปรีดา และ ธนาทิพย์ (2565) ที่ได้ทำ การศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ได้ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของอิฐโบราณ ได้แก่ กำลังอัด ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น กำลังอัดของปูนก่อสูตรโบราณเปรียบเทียบกับอิฐที่เลียน แบบอิฐโบราณทำให้ทราบค่ากำลังอัดที่แน่นอนเนื่องจากเป็นการทดสอบแบบทำลาย ทำให้เกิดความคิดที่จะเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ผ่านมากับวิธีการทดสอบคุณสมบัติของอิฐโบราณโดยใช้เครื่องมือ Ultrasonic ซึ่งเป็นวิธีการตรวจสอบที่ไม่ทำลายจะให้ผลที่สอดคล้องหรือแตกต่างกันอย่างไรจะต้องมีการปรับแก้ด้วยค่าต่างๆ ด้วยวิธีการใดบ้าง เนื่องจากการทดสอบแบบไม่ทำลายเป็นทางเลือกที่ดีอีกรูปแบบหนึ่งที่จะไม่ทำให้โบราณสถานเสียหาย ต้องอาจศึกษากระบวนการแปรผลให้ดี งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะทำการทดสอบคุณสมบัติทางวิศกรรมของอิฐ โบราณที่ได้จากโบราณสถานเวียงลอ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลของวิศวกรรม และนำไปเปรียบเทียบกับอิฐเสมือนที่ทำเลียนแบบอิฐโบราณ ซึ่งเป็นอิฐที่นำมาบูรณะโบราณสถานเวียงลอโดยกรมศิลปากร ผลการทดลอง ที่จะเป็นประโยชน์แก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปใช้ในการอ้างอิงเพื่อการบูรณะโบราณสถานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของอิฐโบราณและอิฐเสมือนด้วยเครื่อง อัลตราโซนิก

1.2.2 เพื่อศึกษาผลที่แตกต่างกันระหว่างการใช้เครื่องอัลตราโซนิกในการตรวจสอบคุณสมบัติวัสดุอิฐโบราณ และการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของอิฐโบราณและอิฐเสมือนได้แก่ ความหนาแน่น โมดูลัสยืดหยุ่นและกำลังอัด

1.3.2 ศึกษาการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีอัลตราโซนิก

1.3.3 ศึกษาการทดสอบแบบทำลาย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบถึงความแม่นยำระหว่างวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีอัลตราโซนิกและวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการแบบทำลาย

1.4.3 ผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปต่อยอดในการหาคุณสมบัติอิฐก่อในโบราณสถานที่อื่นๆและสามารถนำผลของคุณสมบัติทางวิศวกรรมไปใช้ในการวางแผนซ่อมแซมและเสริมกำลังให้กับโบราณสถานต่อไป



รูปที่ 1 โบราณสถานเวียงลอ

รูปที่ 1 โบราณสถานเวียงลอ

2. ทฤษฎีและงานวิจัย

2.1 ทฤษฎีคลื่นอัลตราโซนิก

การทดสอบอิฐด้วยคลื่นอัลตราโซนิก อาศัยการวัดความเร็วของคลื่นกลที่เคลื่อนที่ในอิฐ หลักการในการทำงานของเครื่องทดสอบโดยคลื่นอัลตราโซนิกคือการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกเข้าไปในอิฐและจับเวลาที่คลื่นใช้ในการเคลื่อนที่จากตัวส่งสัญญาณไปยังตัวรับสัญญาณโดยมีระยะห่างคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างระยะห่างระหว่างตัวรับกับตัวส่งสัญญาณและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นอัลตราโซนิกในอิฐมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของอิฐและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นดัง **สมการ (1)** อ้างอิง **[1504-51]**

$$v = \frac{\sqrt{E(1-\mu)}}{p(1+\mu)(1-2\mu)} \qquad (1)$$

V: ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกในตัวกลาง
E: ค่าคงที่ยืดหยุ่นของตัวกลาง
ρ: ความหนาแน่น
μ: อัตราของปัวซอง

การคำนวณค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจากคลื่นอัลตราโซนิกคำนวณจาก
สมการ(2),(3) อ้างอิง **[Ryden et al, 2006], [Nazarian et al, 1999]**

$$v_P = 2LF_P \qquad (2)$$

V : ความเร็ว
f : ความถี่
L : ความยาว

$$E = \rho v^2 \qquad (3)$$

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุนัย โตศิริมงคล พีรสิทธิ์ มหาสุวรรณชัย วีรชาติ ตั้งจิรภัทร สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์ และ ชัยณรงค์ อธิสกุล การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25 **(ค.ศ.2020)** สมบัติทางกลของอิฐทดแทนเพื่อการอนุรักษ์โบราณสถานของไทยงานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติทางกลของอิฐทดแทนโดยพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดจนความหนาแน่นที่มีต่อค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐทดแทนและทำการเปรียบเทียบผลกับรายงานผลการทดสอบอิฐโบราณนอกจากนี้ยังประเมินค่ากำลังรับแรงดัดของอิฐรวมถึงกำลังรับแรงอัดของอิฐก่อในกรณีที่ไม่ใช้ปูนสอ ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาเป็นประเด็นได้ดังนี้ กำลังรับแรงอัดของอิฐทดแทนรูปแบบเต็มแผ่นตามแนวราบมีค่าสูงกว่ารูปแบบลูกบาศก์ อิฐรูปแบบเต็มแผ่นตามแนวราบกำลังรับแรงอัดมี แนวโน้มต่ำลงเมื่อความหนามากขึ้นส่วนอิฐรูปแบบลูกบาศก์กำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความหนามากขึ้นและอิฐก้อนเดี่ยวทั้ง 2 รูปแบบ เมื่อ ความหนาแน่นสูงขึ้น กำลังรับแรงอัดมีแนวโน้วสูงขึ้น

ถบัศกิจขารีรัตน มนตรี ไกรลาศ ศรีนทรี ทิมรักพา ปริญญา จินตาประเสริฐ และ Shigemitsu Hatanaka การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21 (ค.ศ.2016) การเปรียบเทียบคุณสมบัติพื้นฐานของอิฐมอญโบราณกับอิฐมอญสมัยใหม่เพื่องานปฏิบูรณะ อิฐมอญโบราณผิวดีมีความหนาแน่นสูงที่สุดรองลงมาเป็นอิฐมอญ สมัยใหม่และอิฐมอญโบราณผิวผุตามลำดับ แต่ยังมีความแตกต่างกับน้อย มาก เนื่องจากใช้วัสดุและวิธีการผลิตที่คล้ายคลึงกับ นอกจากนี้ อิฐมอญ โบราณผิวดียังมีค่าการดูดซึมน้อยกว่าอิฐมอญอีก สองประเภท ส่วนการทดสอบกำลังรับแรงอัด พบว่า อิฐมอญสมัยโหม, มีค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงกว่า อิฐมอญโบราณผิวดีและผิวผุและยังมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนของเกลือซัลเฟตได้ดีกว่าอิฐมอญโบราณดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าอิฐมอญสมัยใหม่มี ประสิทธิภาพเพียงพอที่จะใช้ในการซ่อมแซมหรือทดแทนอิฐมอญโบราณได้

3. ผลการทดสอบ

3.1 การตรวจวัดโมดูลัสยืดหยุ่นจากเครื่อง UPV

เนื่องจากเป็นการศึกษาต่อจาก สรยา และคณะ (2563) และ ปรีดา และ ธนาทิพย์ (2565) จึงมีการนำผลการศึกษามาเทียบเคียงกัน และใช้ชิ้นทดสอบที่ได้จากแหล่งเดียวกัน ได้แก่ อิฐที่นำมาจากโบราณสถานเวียงลอ **(รูปที่ 1)** ซึ่งได้รับอนุญาตจากเจ้าหน้าที่ของกรมศิลปากรให้นำตัวอย่างจำนวน 20 ก้อน โดยก่อนนำออกมาได้จุดธูปบอกกล่าวสิ่งศักดิ์สิทธิ์ที่ปกปักรักษา และระบุถึงเหตุผลที่นำออกไปเพื่อการศึกษาเท่านั้น ซึ่งทำให้เกิดความสบายใจกับกลุ่มนิสิตที่ลงพื้นที่เก็บตัวอย่าง และชาวบ้านที่คอยสังเกตการณ์



(ก) อิฐที่เก็บจากโบราณสถานเวียงลอ



(ข) อิฐที่ทำเลียนแบบอิฐโบราณ
รูปที่ 2 เปรียบเทียบอิฐที่ทำการศึกษา

การศึกษานี้ได้นำตัวอย่างอิฐดังกล่าวมาทำการทดสอบสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมได้แก่ มิติ ความหนาแน่น การดูดซึม เพื่อตรวจสอบเบื้องต้นว่าค่าดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาหรือไม่ ส่วนค่ากำลังอัด และโมดูลัสยืดหยุ่น ได้อ่านค่าและคำนวณจากวิธี Ultrasonic และยังได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติดังกล่าว กับอิฐเสมือน หรืออิฐที่ทำเลียนแบบอิฐโบราณ ผลิตที่ อ.แม่จัน จ.เชียงราย ซึ่งทางกรมศิลปากรได้ใช้อิฐชนิดนี้ในการบูรณะโบราณสถานเวียงลอ **รูปที่ 2 (ก)** แสดงเปรียบเทียบอิฐที่เก็บจากโบราณสถานเวียงลอ และ **รูปที่ 2 (ข)** เป็นอิฐที่ทำ เลียนแบบอิฐโบราณ โดยอิฐโบราณมีมิติที่ไม่แน่นอน การเตรียมชิ้นทดสอบจึงต้องทำการตัด และตกแต่งก่อนนำไปทดสอบ โดยเฉลี่ยแล้วอิฐโบราณจะมีความยาว x ความกว้าง และความสูงเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 14.2x28.6x4.6 ซม. ในขณะที่อิฐเสมือนจะมีมิติ ความยาว x ความกว้าง และความสูงเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 12.8x25.8x4.2 ซม.

ผลการทดสอบความหนาแน่น และวัดมิติจากการนำตัวอย่างอิฐที่เหลือจากการศึกษาของ สรยา และคณะ (2563) และ ปรีดา และ ธนาทิพย์ (2565) มาทำการศึกษาคุณสมบัติของความหนาแน่น โดยใช้จำนวนตัวอย่างอิฐโบราณ 2 ก้อน และอิฐเสมือน จำนวน 3 ก้อน พบว่าได้ค่า ความหนาแน่น 1,584 กก./ลบ.ม. และ 1,806 กก./ลบ.ม. สำหรับอิฐโบราณและอิฐเสมือน ตามลำดับ จะเห็นว่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ สรยา และคณะ (2563) และ ปรีดา และ ธนาทิพย์ (2565) **(ตารางที่ 1 และ 2)** สำหรับอิฐโบราณและ อิฐเสมือนตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาที่ผ่านมาเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติพื้นฐานอิฐโบราณ

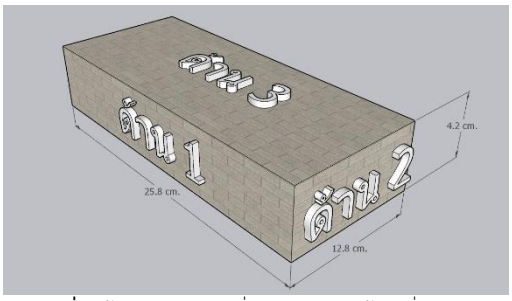
ตัวอย่างที่	ด้าน 1	ด้าน 2	ด้าน 3	ความหนาแน่น
	(ซม.)			กก./ตร.ซม.
1	14.2	28.6	4.6	1,607
2	16.0	22.0	13.0	1,561
เฉลี่ย	ไม่เฉลี่ยมิติเนื่องจากมีความแตกต่างกันมากเกินไป			1,584
สรยาและคณะ (2563)	13.5	26.7	4.5	1,570

หมายเหตุ: อิฐโบราณเหลือเพียง 2 ก้อน และมีมิติไม่เท่ากัน

ตารางที่ 2 คุณสมบัติพื้นฐานอิฐเสมือน

ตัวอย่างที่	ด้าน 1	ด้าน 2	ด้าน 3	ความหนาแน่น
	(ซม.)			กก./ตร.ซม.
1	12.8	25.8	4.2	1,745
2	12.9	25.8	4.2	1,832
3	12.8	25.8	4.2	1,840
เฉลี่ย	12.8	25.8	4.2	1,806
สรยาและคณะ (2563)	13.0	27.5	5.4	1,770

ผลการทดสอบโดยใช้คลื่นอัตราโซนิค (Ultrasonic Pulse Velocity) เมื่อนำชิ้นทดสอบอิฐมาทำการทดสอบด้วยคลื่นอัตราโซนิค วิธีที่ 1 โดยใช้หัวทดสอบวางคล่อมชิ้นทดสอบจะได้เวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทาง (T) ในหน่วยไมโครวินาที (μs) จากนั้นจึงแปลงเป็นความถี่ (f=1/T) ในหน่วยของ Hz และ ทำการคำนวณค่าความเร็วของคลื่นในการเดินทางจากสมการ (2) และคำนวณโมดูลัสยืดหยุ่นจากสมการ (3) ในการศึกษานี้จะทำการตรวจวัดเวลาในการเดินทางจาก 3 ทิศทางของอิฐ โดยวัดที่หัว กลาง และท้าย ของอิฐในด้านต่างๆ แล้วหาค่าเฉลี่ย ดัง **รูปที่ 3** และ **รูปที่ 4**



รูปที่ 3 ด้านต่างๆ ของอิฐที่ทำการตรวจวัดด้วยคลื่น UPV



(ก) อิฐโบราณสถานเวียงลอ



(ข) อิฐที่ทำเลียนแบบอิฐโบราณ
รูปที่ 4 ภาพถ่ายการหาความเร็วคลื่นอัลตราโซนิค

ผลการศึกษาสำหรับอิฐโบราณตัวอย่างที่ 1 พบว่าเวลาที่คลื่นเดินทางเฉลี่ยในด้านที่ 1 (ความยาวเฉลี่ย 0.29 ม.) มีค่าเท่ากับ 149.6 ไมโครวินาที จะได้ความถี่เฉลี่ย 6683 Hz และ คำนวณเป็นความเร็วคลื่นได้เท่ากับ 3822.9 เมตร/วินาที สามารถคำนวณโมดูลัสยืดหยุ่นได้เท่ากับ 239,505 กก./ตารางเซนติเมตร **(ตารางที่ 3)** ในขณะที่เวลาเวลาที่คลื่นเดินทางเฉลี่ยในด้านที่ 2 (ความยาวเฉลี่ย 0.14 ม.) มีค่าเท่ากับ 76.5 ไมโครวินาที จะได้ความถี่เฉลี่ย 13078 Hz และคำนวณเป็นความเร็วคลื่นได้เท่ากับ 3714 เมตร/วินาที สามารถคำนวณโมดูลัสยืดหยุ่นได้เท่ากับ 226,060 กก./ตารางเซนติเมตรในขณะที่เวลาเวลาที่คลื่นเดินทางเฉลี่ยในด้านที่ 3 (ความยาวเฉลี่ย 0.05 ม.) มีค่าเท่ากับ 30.7 ไมโครวินาที จะได้ความถี่เฉลี่ย 32,626 Hz และ คำนวณเป็นความเร็วคลื่นได้เท่ากับ 3,001.6 เมตร/วินาที สามารถคำนวณโมดูลัสยืดหยุ่นได้เท่ากับ 147,654 กก./ตารางเซนติเมตร แต่เนื่องจากค่าที่คำนวณได้จากด้านที่ 3 มีค่าที่แตกต่างจากทั้ง 2 ด้านมากเกินไป ดังนั้นจะคำนวณค่าเฉลี่ยเพียง ด้าน 1 และด้าน 2 เท่านั้น จะได้โมดูลัสยืดหยุ่นสำหรับอิฐโบราณมีค่าเท่ากับ 232,783 กก./ตร.ซม.

แต่ผลการตรวจวัดในตัวอย่างที่ 2 ได้ค่าที่มีความแตกต่างกันในแต่ละด้านค่อนข้างมาก เนื่องจากผิวของอิฐโบราณไม่เรียบ จึงไม่นำผลการคำนวณดังกล่าวมาคำนวณค่าเฉลี่ย

อย่างไรก็ตามหากพิจารณาเฉพาะตัวอย่างที่ 1 จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอัตราส่วนระหว่าง โมดูลัสยืดหยุ่น UPV ต่อการทดสอบแบบทำลาย เท่ากับ 1.11 **(ตารางที่ 5)**

ผลการศึกษาในสำหรับอิฐเสมือนก้อนที่ 1 พบว่าเวลาที่คลื่นเดินทางเฉลี่ยในด้านที่ 1 (ความยาวเฉลี่ย 0.26 ม.) มีค่าเท่ากับ 141.7 ไมโครวินาที จะได้ความถี่เฉลี่ย 7,055 Hz และ คำนวณเป็นความเร็วคลื่นได้เท่ากับ 3,640 เมตร/วินาที สามารถคำนวณโมดูลัสยืดหยุ่นได้เท่ากับ 235,770 กก./ตารางเซนติเมตร ในขณะที่เวลาที่คลื่นเดินทางเฉลี่ยในด้านที่ 2 (ความยาวเฉลี่ย 0.128 ม.) มีค่าเท่ากับ 66.6 ไมโครวินาทีจะได้ความถี่เฉลี่ย 15,008 Hz และ คำนวณเป็นความเร็วคลื่นได้เท่ากับ 3,842 เมตร/วินาที สามารถคำนวณโมดูลัสยืดหยุ่นได้เท่ากับ 62,622 กก./ตารางเซนติเมตร ในขณะที่เวลาที่คลื่นเดินทางเฉลี่ยในด้านที่ 3 (ความยาวเฉลี่ย 0.042 ม.) มีค่าเท่ากับ 30.37 ไมโครวินาที จะได้ความถี่เฉลี่ย 3,2931 Hz และ คำนวณเป็นความเร็วคลื่นได้เท่ากับ 2,766 เมตร/วินาที สามารถคำนวณโมดูลัสยืดหยุ่นได้เท่ากับ 136,144 กก./ตารางเซนติเมตร (ตารางที่ 4) จะเห็นว่าค่าที่ตรวจวัดในด้านที่ 3 ได้ค่าแตกต่างจากด้าน 1 และ 2 เช่นเดียวกับอิฐโบราณ ดังนั้นจะไม่นำค่าดังกล่าวมาคำนวณค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยของโมดูลัสยืดหยุ่นจากทั้ง 2 ทิศทางสำหรับตัวอย่างที่ 1 มีค่าเท่ากับ 249,196 ksc ตัวอย่างที่ 2 มีค่า 253,584 ksc และตัวอย่างที่ 3 มีค่า 241,605 ksc

เมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยโมดูลัสยืดหยุ่นจากทั้ง 3 ตัวอย่างจะได้โมดูลัสยืดหยุ่นสำหรับอิฐเสมือนมีค่าเท่ากับ 248,128 ksc หากเปรียบเทียบกับการทดสอบแบบทำลาย มีค่าเท่ากับ 226,512 ksc จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอัตราส่วนระหว่าง โมดูลัสยืดหยุ่น UPV ต่อการทดสอบแบบทำลาย เท่ากับ 1.10 **(ตารางที่ 5)**

ตารางที่ 3 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของอิฐโบราณ

ตัวอย่างที่ 1

อิฐโบราณ	Time of flight	Frequency	L	V	Density	E
ด้านที่	T(ms)	f(Hz)	(m)	(m/s)	ρ(kg/cum)	(ksc)
1	149.63	6,683	0.286	3,822.89	1,608	239,505
2	76.47	13,078	0.142	3,714.04	1,608	226,060
3	30.65	32,626	0.046	3,001.63	1,608	147,654
เฉลี่ย	85.58	17,462	-	3,512.85	1,608	232,783

หมายเหตุ โมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย เพียง 2 ด้าน

ตัวอย่างที่ 2

อิฐโบราณ (2)	Time of flight	Frequency	L	V	Density	E
ด้านที่	T(ms)	f(Hz)	(m)	(m/s)	P(kg/cum)	(ksc)
1	241.7	4137	0.22	1796	1561	51318
2	146.2	6840	0.16	2216	1561	78170
3	76.0	13158	0.13	3289	1561	172227
เฉลี่ย	154.6	8045	-	2434	1561	100572

ตารางที่ 4 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของอิฐเสมือน

ตัวอย่างที่ 1

อิฐเสมือน	Time of flight	Frequency	L	V	Density	E
ด้านที่	T(ms)	f(Hz)	(m)	(m/s)	P(kg/cum)	(ksc)
1	141.75	7,055	0.258	3,640.21	1,745	235,770
2	66.63	15,008	0.128	3,841.92	1,745	262,622
3	30.37	32,931	0.042	2,766.19	1,745	136,144
เฉลี่ย	79.58	18,331	-	3,416.11	1,745	

ตัวอย่างที่ 2

อิฐเสมือน (2)	Time of flight	Frequency	L	V	Density	E
ด้านที่	T(ms)	f(Hz)	(m)	(m/s)	P(kg/cum)	(ksc)
1	148.2	6748	0.26	3536	1832	233412
2	67.9	14728	0.13	3829	1832	273756
3	31.5	31746	0.04	2667	1832	132768
เฉลี่ย	82.5	17740	0.14	3344	1832	

ตัวอย่างที่ 3

อิฐอิฐเสมือน (3)	Time of flight	Frequency	L	V	Density	E
ด้านที่	T(ms)	f(Hz)	(m)	(m/s)	P(kg/cum)	(ksc)
1	162.5	6154	0.26	3249	1840	198008
2	67.7	14771	0.13	3900	1840	285202
3	35.3	28329	0.04	2323	1840	101205
เฉลี่ย	88.5	16418	-	3157	1840	

หมายเหตุ โมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย เพียง 2 ด้าน

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่า E จาก UPV และ การทดสอบแบบทำลาย

ชนิดอิฐ	UPV	สรยาและคณะ (2563)	อัตราส่วนระหว่าง UPV/การทดสอบแบบทำลาย
อิฐโบราณ	232,783	210,045	1.11
อิฐเสมือน	248,128	226,512	1.10

3.2 การตรวจวัด UPV เพียงด้านเดียวของตัวอย่าง

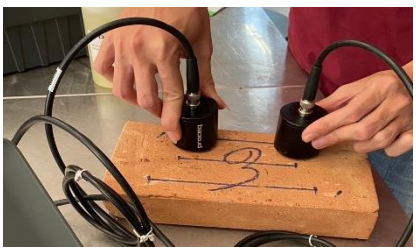
การศึกษานี้ได้ทดลองวางหัวอ่านในระนาบเดียวกับชิ้นตัวอย่าง เพื่อทดลองในกรณีไม่สามารถวางหัวอ่านคล่อมตัวอย่างได้ ดังรูปที่ 6 การคำนวณค่าโมดูลัสยืดหยุ่นใช้สมการเช่นเดียวกับสมการที่ 2 และ 3 โดยเปลี่ยนระยะทาง *L* เป็น *2L'* เนื่องจากคาดว่าคลื่นจะเดินทางจากหัวส่ง และสะท้อนที่ผิวล่างแล้วสะท้อนไปยังหัวรับด้วยระยะเดินทางเท่ากับ *2L'* เมื่อ *L'* เป็นระยะทางที่คำนวณจากสมการที่ 6

$$L' = \sqrt{(L/2)^2 + h^2} \qquad (6)$$

เมื่อ L เป็นระยะห่างของหัวรับและหัวส่ง
H เป็นความหนาของตัวอย่างอิฐ

ผลการศึกษาในสำหรับอิฐโบราณ ตัวอย่างที่ 2 พบว่าเวลาที่คลื่นเดินทางหน้าเดียว ครั้งที่ 1 (ความยาวเฉลี่ย 0.148 ม.) มีค่าเท่ากับ 273.4 ไมโครวินาที จะได้ความถี่เฉลี่ย 3658 Hz และ คำนวณเป็นความเร็วคลื่นได้เท่ากับ 2171 เมตร/วินาที สามารถคำนวณโมดูลัสยืดหยุ่นได้เท่ากับ 75039 กก./ตารางเซนติเมตร **(ตารางที่ 9)** ในขณะที่เวลาเวลาที่คลื่นเดินทาง ครั้งที่ 2 (ความยาวเฉลี่ย 0.160 ม.) มีค่าเท่ากับ 323.8 ไมโครวินาที จะได้ความถี่เฉลี่ย 3088 Hz และ คำนวณเป็นความเร็วคลื่นได้เท่ากับ 1977 เมตร/วินาที สามารถคำนวณโมดูลัสยืดหยุ่นได้เท่ากับ 62241 กก./ตารางเซนติเมตร ทำให้สามารถคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยของโมดูลัสยืดหยุ่นจากทั้ง 2 ครั้งได้เท่ากับ 68640 ksc





รูปที่ 6 ภาพถ่ายการหาความเร็วคลื่นอัลตราโซนิคโดยให้หัวรับอยู่ในระนาบเดียวกัน

ตารางที่ 9 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของอิฐโบราณ ในระนาบเดียว

อิฐโบราณ (2)	Time of flight	Frequency	L'	V	Density	E
ด้านเดียว	T(ms)	f(Hz)	(m)	(m/s)	P(kg/cum)	(ksc)
ครั้งที่1	273.4	3658	0.148	2171	1561	75039
ครั้งที่2	323.8	3088	0.160	1977	1561	62241
เฉลี่ย	298.6	3373	0.154	2074	1561	68640

จากการตรวจวัดค่าความเร็วคลื่น และคำนวณโมดูลัสยืดหยุ่นด้วย UPV วางหัวอ่านในระนาบเดียว พบว่าได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ต่ำมาก มีค่าเฉลี่ยเพียง 68,670 ksc ทั้งนี้อาจเนื่องจากความหนาของอิฐมีค่าต่ำกว่า 15 ซม. ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดของเครื่องมือที่จะต้องตรวจวัดที่ความหนาไม่น้อยกว่า 15 ซม. จึงทำให้ได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่แตกต่างจากการใช้หัวอ่านว่างคล่อมชิ้นทดสอบ

ตารางที่ 10 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของอิฐเสมือน ในระนาบเดียว

ตัวอย่างที่ 1

อิฐเสมือน (2)	Time of flight	Frequency	L'	V	Density	E
ด้านเดียว	T(ms)	f(Hz)	(m)	(m/s)	P(kg/cum)	(ksc)
ครั้งที่1	132.8	7530	0.090	2722	1832	138288
ครั้งที่2	182.9	5467	0.108	2372	1832	105052
เฉลี่ย	157.9	6498	0.099	2547	1832	121669

ตัวอย่างที่ 2

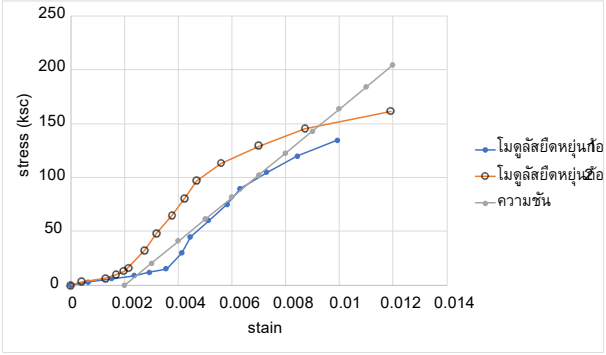
อิฐโบราณ (2)	Time of flight	Frequency	L'	V	Density	E
ด้านเดียว	T(ms)	f(Hz)	(m)	(m/s)	P(kg/cum)	(ksc)
ครั้งที่1	122.0	8197	0.090	2947	1840	162925
ครั้งที่2	183.5	5450	0.108	2356	1840	104100
เฉลี่ย	152.8	6823	0.099	2651	1840	133512

ผลของการตรวจวัด UPV ในระนาบเดียวของอิฐเสมือนทั้งสองตัวอย่างให้ผลเช่นเดียวกับอิฐโบราณ โดยให้ค่าที่ต่ำ และแตกต่างจากการทดสอบแบบวางคล่อมค่อนข้างมาก จึงทำให้ค่อนข้างแน่ใจว่า วิธีนี้ไม่สามารถคำนวณค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของอิฐได้ เนื่องจากอิฐมีความบางมากเกินไป

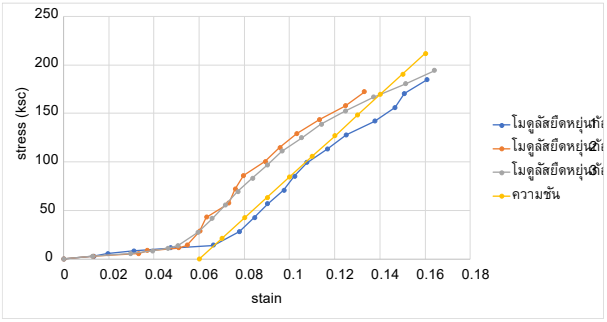
3.3 การคำนวณกำลังอัดของอิฐจากคลื่นอัตราโซนิค

เมื่อได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสามารถนำไปทำการคำนวณเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของอิฐได้แก่กำลังอัดได้ โดยการศึกษานี้จะทดลองคำนวณกำลังอัดของอิฐจาก 2 วิธีได้แก่การคำนวณจากความเครียดของอิฐ และสมการคำนวณของ Eurocode 6 สมการที่ (5)

กรณีที่ 1 ทดลองคำนวณจากความเครียดของอิฐ จากการศึกษาของ สรยา และคณะ (2563) และ ปรีดา และ ธนาทิพย์ (2565) ที่ได้ความสัมพันธ์กราฟความเค้นและความเครียด (รูปที่ 5) ทำให้สามารถประมาณความเครียดประลัยจากกราฟดังกล่าวโดยการอ่านค่า พบว่าความเครียดประลัยสำหรับอิฐโบราณมีค่าประมาณ 800 ไมครอน และอิฐเสมือนมีค่า 900 ไมครอน **รูปที่ 5**



ก) อิฐโบราณ



ข) อิฐเสมือน

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของอิฐที่ทำการทดสอบ

เนื่องจากอิฐเป็นวัสดุเปราะอาจประมาณค่ากำลังอัดจากความสัมพันธ์จากสมการของ young ซึ่งอยู่ในช่วงยืดหยุ่น ได้จาก **สมการ (4)**

$$\sigma = E.\varepsilon \qquad (4)$$

เมื่อ ε ความเครียดมีค่า 800 และ 900 สำหรับอิฐโบราณ และอิฐเสมือน ตามลำดับ ทำให้สามารถคำนวณกำลังอัดประลัยของอิฐโบราณและอิฐเสมือนได้เท่ากับ 186 ksc และ 223 ksc ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบแบบทำลาย จากการศึกษาก่อนหน้านี้ มีค่าเท่ากับ 151.6 ksc และ 187.7 ksc จะเห็นว่าได้ค่าที่สูงกว่าผลการทดสอบแบบทำลาย โดยมีค่าอัตราส่วนกำลังอัด UPV ต่อ การทดสอบแบบทำลายอยู่ 1.23 และ 1.19 สำหรับอิฐโบราณ และ อิฐเสมือน ตามลำดับ

กรณีที่ 2 เมื่อคำนวณกำลังอัดตามสมการที่แนะนำโดย Eurocode **(สมการที่ 5)** อ้างอิง **[11]**

$$E_m = Kf'_m \qquad (5)$$

เมื่อ Em คือ โมดูลัสยืดหยุ่น
K คือ ค่าแปรผันกำลังอัดกับโมดูลัสยืดหยุ่น ใช้ K= 1000
f'm คือ กำลังอัด

ทำให้สามารถคำนวณกำลังอัดได้เท่ากับ 233 ksc และ 248 ksc สำหรับ อิฐโบราณและอิฐเสมือน ตามลำดับ ทำให้ได้ค่าอัตราส่วนกำลังอัด UPV ต่อ การทดสอบแบบทำลายอยู่ 1.54 และ 1.32 สำหรับอิฐโบราณ และ อิฐเสมือน ตามลำดับ เช่นเดียวกับการใช้การคำนวณความเครียดที่ได้จากผลการศึกษาของสรยา และคณะ (2563) และปรีดา และธนาทิพย์ (2565)

ชนิดอิฐ	โมดูลัสยืดหยุ่น	ค่าแปรผันกำลังอัดกับโมดูลัสยืดหยุ่น	กำลังอัด (ksc)
อิฐโบราณ	232,783	1,000	233
อิฐเสมือน	248,128		248

4. สรุป

1. จากการวัดด้วยวิธี UPV ด้วยการวางหัวอ่านคล่อมตัวอย่างอิฐ ได้ความเร็วคลื่นเฉลี่ยของอิฐโบราณ และอิฐเสมือน 3512.6 เมตร/วินาทีและ 3416.0 เมตร/วินาที ตามลำดับ และเมื่อทดลองวัดในแบบหัวส่งกับหัวรับอยู่ในระนาบเดียวกัน เนื่องจากความหนาของอิฐมีค่าบางกว่าความสามารถของเครื่อง ซึ่งความหนาขั้นต่ำต้องมีระยะไม่น้อยกว่า 15 ซม. (ความยาวของแท่ง calribrate) ดังนั้นจึงใช้เพียงการวัดแบบหัวส่งกับหัวรับอยู่คนละด้านของอิฐ นำไปคำนวณหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของอิฐโบราณและอิฐเสมือน 232,783 กก./ตร.ซม. และ 248,128 กก./ตร.ซม.ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดแบบทำลายของสรยาและคณะ (2563) ที่ 210,045 กก./ตร.ซม. และ 226,512 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

2. เมื่อนำค่าโมดูลัสยืดหยุ่นไปคำนวณหาค่ากำลังอัดจากสมการ $\sigma = E.\varepsilon$ ได้ค่ากำลังอัดของอิฐโบราณ และอิฐเสมือน 186 กก./ตร.ซม.และ 223 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ หากคำนวณตามสมการที่แนะนำโดย Eurocode 6 พบว่าได้ค่ากำลังอัดของอิฐโบราณ และอิฐเสมือน 233 กก./ตร.ซม.และ 248 กก./ตร.ซม.ตามลำดับ จะเห็นว่าค่ากำลังอัดที่ได้จาก UPV ให้ค่าที่สูงกว่าการทำสอบแบบทำลายประมาณร้อยละ 20-54

3. โมดูลัสยืดหยุ่นจากการวิธี UPV ให้ค่าใกล้เคียงกับการทดสอบแบบทำลาย โดยให้ค่าที่สูงกว่าร้อยละ 10 อย่างไรก็ตาม ค่ากำลังอัดที่ได้จาก UPV มีความแตกต่างจากผลการทดสอบแบบทำลายอยู่พอสมควร ทั้งนี้อาจเนื่องจากอิฐมีลักษณะที่บางเกินกว่าความสามารถของเครื่องในการตรวจวัด จึงอาจไม่เหมาะที่จะคลื่น UPV ในการประมาณค่ากำลังอัด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ปรีดา ไชยมหาวัน อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ถ่ายทอดความรู้ คอยให้คำปรึกษา คำชี้แนะ แนวทางและช่วยแก้ไขปัญหาในงานวิจัยครั้งนี้ แก่ผู้วิจัยเป็นอย่างดี ขอขอบคุณ อ.สุธนัย ท้าวรี อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านวิชา คอนกรีตเทคโนโลยี ที่คอยให้คำปรึกษา และคำแนะนำสำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นประโยชน์แก่งานวิจัยนี้เป็นอย่างมาก ขอขอบคุณโบราณสถานเวียงลอ ที่ให้การสนับสนุน วัสดุตัวอย่างปูนโบราณและอิฐโบราณ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] มยผ. 1505-51 มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย

[2] Reddy, K.R., Urbanek, A., Khodadoust, A.P., 2006. Electroosmotic dewatering of dredged sediments: Bench –scale investigation. J. Environ. Manag. 78, 200 –208.

[3] Nazarian, S., Yuan, D., Tandon, V., 1999. Structural field testing of flexible pavement layers with seismic methods for quality control. Transp. Res. Rec. 1654 (1), 50 –60.

[4] 1996-1 and 2: 2005, Eurocode 6-Design of masonry structures.

Part 1-1: - General rules for buildings—reinforced and unreinforced masonry, Design of masonry structures. Design Considerations, Selection of Materials and Execution of Masonry. European Committee for Standardisation CEN, Brussels, 2006.

[5] D. García, J.T. San-José, L. Garmendia, R. San-Mateos, xperimental study of traditional stone masonry under compressive load and comparison of results with design codes, Mater. Struct. 45 (7) (2012) 995–1006

[6] สุนัย โตศิริมงคล พีรสิทธิ์ มหาสุวรรณชัย วีรชาติ ตั้งจิรภัทร สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์ และ ชัยณรงค์ อธิสกุล การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25 (ค.ศ.2020) สมบัติทางกลของอิฐทดแทนเพื่อการอนุรักษ์โบราณสถาน

[7] ถบัศกิจขารีรัตน มนตรี ไกรลาศ ศรีนทรี ทิมรักพา ปริญญา จินตาประเสริฐ และ Shigemitsu Hatanaka การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21(ค.ศ.2016) การเปรียบเทียบคุณสมบัติพื้นฐานของอิฐมอญโบราณกับอิฐมอญสมัยใหม่เพื่องานปฏิบูรณะสรุป

การจำลองการปลูกพืชโดยแบบจำลอง AquaCrop: กรณีศึกษาการปลูกข้าวในจังหวัดพะเยา

Simulation of Crop Planting by Using AquaCrop Model : Case Study of Rice Cultivation in Phayao Province

พัชนก พรมมา[1] ภัทรพร โฉมงาม[2,*] และ ดร.ขวัญสิรินภา ธนะวงศ์[3]

[1,2,3] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

**Corresponding author; E-mail address: 63102338@up.ac.th*

บทคัดย่อ

พื้นที่เกษตรกรรมของจังหวัดพะเยาส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมการปลูกข้าว ทำนา เกษตรกรส่วนใหญ่ยังคงมีพฤติกรรมทำการเกษตรแบบเดิม อีกทั้งยังขาดองค์ความรู้และข้อมูลในการบริหารจัดการน้ำที่เหมาะสมกับช่วงเวลาของการเจริญเติบโตของต้นข้าวกับปริมาณน้ำต้นทุนที่มี (ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำในบ่อน้ำไร่นา ปริมาณน้ำจากอ่างเก็บน้ำ/น้ำชลประทาน) เพื่อแก้ไขปัญหาข้างต้นองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ FAO ได้คิดค้นโปรแกรมที่เรียกว่า AquaCrop ซึ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จำลองการปลูกพืชและการให้น้ำแก่พืชชนิดต่าง ๆ เพื่อสอดคล้องความต้องการน้ำของพืชนั้น ๆ ทำให้ได้ผลผลิตและผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยน้ำต้นทุนสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในทางทฤษฎี การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ทดลองการปลูกพืชและการให้น้ำแก่พืชโดยใช้โปรแกรม AquaCrop โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณีศึกษา ได้แก่ กรณีไม่ให้น้ำชลประทานเพื่อหาวันปลูกข้าวให้ได้ค่าผลผลิตสูงสุด และกรณีให้น้ำชลประทานเพื่อหาวันปลูกข้าวให้ได้ค่าผลผลิตต่อหนึ่งน้ำชลประทานสูงสุด โดยการจำลองการปลูกพืชข้าวภายใต้ปริมาณฝนและภูมิอากาศเฉลี่ย มากสุดและน้อยสุดของพื้นที่จังหวัดพะเยา ผลการจำลองการปลูกข้าวแบบไม่ให้น้ำชลประทาน จะมีช่วงปลูกพืชที่ดีที่สุดอยู่ตั้งแต่วันที่ 15 พฤษภาคม ถึง 15 กรกฎาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ให้ผลผลิตสูงสุดใกล้เคียงกันตลอดทั้งช่วง โดยเฉลี่ยแล้วมีค่าผลสูงสุดในช่วงดังกล่าวเท่ากับ 716.16 กก./ไร่ และผลการจำลองการปลูกข้าวแบบให้น้ำชลประทาน จะมีช่วงปลูกพืชที่ดีที่สุดอยู่วันที่ 1 มกราคม ถึง 15 กรกฎาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ให้ค่าผลผลิตสูงสุดใกล้เคียงกันตลอดทั้งช่วง โดยเฉลี่ยแล้วมีค่าผลผลิตสูงสุดในช่วงดังกล่าวเท่ากับ 703.293 กก./ไร่ และการเริ่มปลูกวันที่ 1 มกราคม ถึง 15 เมษายน จะให้ค่าผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยน้ำชลประทานสูงสูดใกล้เคียงกันโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.280 กก./ลบ.ม.

คำสำคัญ : แบบจำลองการปลูกพืช, ผลผลิต, ผลผลิตต่อหนึ่งน้ำชลประทาน , ข้าว

Abstract

Most of the agricultural areas of Phayao Province are growing rice or rice farming. Most of the farmers still have traditional farming behaviors, but there is still a lack of knowledge and information on water management that is appropriate for the time period of the rice plant's growth with the amount of water available (rainfall, water in farm ponds amount of water from reservoir/irrigation water). To solve the above problem, the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) has come up with a program called AquaCrop which is a computer program that simulates growing plants with providing water to various types of plants to be consistent with the water needs of that plant and provide the highest yield and the highest yield per unit of water. This study has the objective of experimenting with growing plants and providing water to plants using the AquaCrop program, divided into two study cases: the case of not providing irrigation water to find the day to plant rice to get the highest yield and in the case of providing irrigation water to find the day to plant rice to get the highest yield per irrigated water. By simulating the cultivation of rice crops under the average, maximum, and minimum rainfall and climate of Phayao Province. Simulation results of rice cultivation without irrigation, the best growing period is from 1 May to 15 July, when peak yields are similar throughout. On average, the highest yield during that period was 716.16 kg/rai and the simulation results of irrigated rice cultivation, the best planting period is 1 January to 15 July, when peak yields are similar throughout. On average, the highest yield value during that period was 703.293 kg/rai, and starting planting from 1 January to 15 April would have a similar highest yield value per unit of irrigated water, with an average of 2.280 kg/m^3

Keywords: Aquacrop, cropping model, yield, yield per irrigated water, rice

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ภัยแล้งสร้างความเดือดร้อนและสร้างความเสียหายทางเศษฐกิจของประชาชนในจังหวัดพะเยาเป็นอย่างมาก ข้อมูลโดยสำนักงานป้องกันละ

บรรเทาสาธารณภัย (ปภ.) จังหวัดพะเยา ได้รายงานว่าพื้นที่ภัยแล้งในจังหวัดพะเยาในปี พ.ศ. 2562 ถึงต้นปี 2563 พบว่าพื้นที่ 9 อำเภอทั้งหมดของพะเยาเป็นพื้นที่ประสบภัยแล้ง พื้นที่ที่ได้รับการประกาศเป็นพื้นที่ประสบภัยแล้ง มีจำนวนถึง 66 ตำบลจากจำนวนตำบลทั้งสิ้น 68 ตำบลในจังหวัดพะเยา จำนวน 723 หมู่บ้าน 58,369 ครัวเรือน ประชาชนได้รับผลกระทบกว่า 149,498 คน

พื้นที่เกษตรกรรมของจังหวัดพะเยาส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมการปลูกข้าว ทำนา ซึ่งทำให้ช่วงภัยแล้งประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำ และถือเป็นปัญหาใหญ่ของการทำนาของเกษตรกรรมในพื้นที่ ต้นข้าวประสบปัญหาข้าวตาย หรือเมล็ดลีบ ผลผลิตทางเกษตรลดลง อาทิเช่น ผลผลิตข้าวในจังหวัดพะเยาปีที่น้ำดีได้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 600 กก./ไร่ ในขณะที่ภัยแล้งพบว่าผลผลิตเฉลี่ยลดลงเหลือประมาณ 450 กก./ไร่ คิดเป็นผลผลิตลดลงถึง 30% เกษตรกรส่วนใหญ่มีพฤติกรรมทำเกษตรแบบเดิม ยังขาดองค์ความรู้และข้อมูลในการจัดการรับมือภัยแล้ง ทำให้เกิดปัญหาภัยแล้งซ้ำซาก อีกทั้งขาดองค์ความรู้ในการบริหารจัดการน้ำให้เหมาะสมกับช่วงเวลาของการเจริญเติบโตของข้าวและปริมาณน้ำต้นทุน (ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำในบ่อน้ำไร่นา และปริมาณน้ำจากอ่างเก็บน้ำ/น้ำชลประทาน)

เพื่อการแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ ได้ FAO คิดค้นโปรแกรมที่เรียกว่า AQUACROP ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จำลองการปลูกพืชและการให้น้ำพืชชนิดต่าง ๆ ทำให้มีการบริหารจัดการได้ตามวัตถุประสงค์และสอดคล้องกับความต้องการน้ำของพืชนั้นๆ ให้ได้ผลผลิตและผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยน้ำต้นทุนสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในทางทฤษฎี

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อทดลองการเพาะปลูกพืชโดยการใช้โปรแกรม Aquacrop โดยแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

1. กรณีไม่ให้น้ำชลประทานเพื่อหาวันปลูกพืชให้ค่าผลผลิตสูงสุด
2. กรณีให้น้ำชลประทานเพื่อหาวันปลูกพืชให้ได้ค่าผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยน้ำชลประทานสูงสุด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ขอบเขตพื้นที่ : การจำลองการปลูกข้าวในโปรแกรม Aquacrop โดยใช้ข้อมูลในพื้นที่ อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา
2. ขอบเขตของข้อมูลที่ศึกษา: ข้อมูลฝนและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 - พ.ศ 2565 ข้อมูลพืชและข้อมูลดิน จังหวัดพะเยา
3. ระยะเวลา : สองภาคเรียนการศึกษา

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

สามารถคาดการณ์การบริหารจัดการน้ำที่จะให้แก่ต้นข้าวทั้ง 2 กรณี ได้แก่

1. ถ้าไม่มีน้ำชลประทานควรทำการเพาะปลูกข้าวช่วงใดเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด
2. ถ้ามีน้ำชลประทานควรทำการเพาะปลูกข้าวช่วงใดเพื่อให้ได้ผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยน้ำชลประทานสูงสุด

2. ตรวจสอบเอกสาร

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ปริมาณการน้ำของพืชอ้างอิง

การคำนวณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงในประเทศไทยนิยมใช้วิธีของ Modified-Penman มากกว่าสมการอื่น ทั้งนี้เนื่องจากได้มีการเปรียบเทียบผลการคำนวณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากวิธี Thornthwaite, Blaney-Criddle, Makkink, Jensen-Haise และ Penman แล้วสรุปว่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณจากสมการของ Penman ให้ค่าที่เหมาะสมกับประเทศไทยมากกว่าสมการอื่น เหตุผลสำคัญ คือ สมการนี้ได้รวบรวมองค์ประกอบที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืชมาอยู่ในสมการ กล่าวคือ มีรังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิความชื้นอากาศ และความเร็วลม นอกจากนี้ วิธีการสร้างสมการก็ตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีที่เป็นที่ยอมรับกันมากกว่าสมการอื่น ๆ

ต่อมาได้มีการปรับปรุงวิธีการคำนวณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงเพื่อให้การคำนวณมีความถูกต้องใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้มากยิ่งขึ้น เรียกว่าวิธี FAO Penman-Monteith ซึ่งพัฒนามาจากวิธี Penman-Monteith และเป็นวิธีที่ FAO แนะนำให้ใช้สำรับหาค่าการใช้น้ำของพืช วิธี FAO Penman-Monteith ดังสมการที่ 1 (FAO,56)

$$ETo = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\frac{900}{T+273}u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

โดย

ETo คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (mm day^{-1})

R_n คือ รังสีแสงอาทิตย์สุทธิ (MJ m^{-2} day^{-1})

G คือ ปริมาณความร้อนในดิน (MJ m^{-2} day^{-1})

T คือ อุณหภูมิอากาศ (°C)

u_2 คือ ความเร็วลมที่ระดับความสูง 2 เมตรจากผิวดิน (m s^{-1})

e_s คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัว (kPa)

e_a คือ ความดันไอน้ำในอากาศ (kPa)

$e_s - e_a$ คือ ค่าความต่างระหว่างความดันไอน้ำอิ่มตัวกับความดันไอน้ำในอากาศ (kPa)

Δ คือ ความชัน (slope) ของโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความดันไอน้ำ (kPa °C $^{-1}$)

Y คือ ค่าคงที่ของ psychometric (kPa °C $^{-1}$)

2.1.2 แฟกเตอร์การตอบสนองของผลผลิต

จากแนวคิดเดิมของ FAO แฟกเตอร์การตอบสนองของผลผลิตของพืช (K_y) เป็นอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง ผลผลิตจริงกับผลผลิตสูงสุด (Y_a/Y_m) และอัตราส่วนระหว่างการใช้น้ำจริงกับการใช้น้ำสูงสุด (ET_a/ET_m)

ดังสมการที่ 2 โดยมีน้ำเป็นตัวแปรที่ทำให้ผลผลิตลดลง ($1-Y_a/Y_m$) และมีการขาดน้ำในอัตราส่วนที่เป็นจริงและเป็นค่าสูงที่สุด (ET_m) หรือเกิดในแต่ละช่วงการ เจริญเติบโตของพืช (FAO,66) ดังสมการที่ 2

$$1-\frac{Y_a}{Y_m}=K_y\left(1-\frac{ET_a}{ET_m}\right) \quad (2)$$

โดย

Ya คือ ผลผลิตต่ำสุด

Y_m คือ ผลผลิตสูงสุด

ET_a คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชจริง

ET_m คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชสูงสุด

K_y คือ แฟกเตอร์การตอบสนองของผลผลิตพืช

การตอบสนองของผลผลิตเมื่อขาดน้ำของพืชในแต่ละช่วงเวลาการเจริญเติบโต โดยช่วงเจริญเติบโตเต็มที่ (Ripening) ช่วงเจริญเติบโต (Vegetative) และช่วงออกผลผลิต (Yield Formation) จะอยู่ในช่วงที่ Ky>1 คือ ถ้าพืชขาดน้ำในช่วงนี้จะมีผลกระทบต่อผลิตมากทำให้ผลผลิตลดลง

2.1.3 แนวคิดของแบบจำลอง AquaCrop

วราวุธ (2559) กล่าวว่าจากแนวคิดเดิม (FAO,33) ในการคำนวณผลผลิตพืชที่ว่าผลผลิตพืชมี ความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า ET แบบจำลอง AquaCrop ได้ทำการแยกค่า E (Non-Productive Soil Evaporation) ออกจากค่า T (Productive Crop Transpiration) ซึ่งต่อไปจะใช้ตัวย่อ Tr แทน T แบบจำลอง AquaCrop พัฒนามาจากแนวคิดที่ว่าเทอม Tr มีผลต่อการผลผลิตชีวมวลของพืช ส่วนเทอม E ไม่มีผลต่อการผลิตชีวมวลของพืช ซึ่งแนวคิดนี้ต่างจากแนวคิดเดิมและถือเป็นส่วนสำคัญ ของกลไกการจำลองการเจริญเติบโตของพืช (Growth Engine) ในแบบจำลอง AquaCrop เมื่อทราบ Tr จะสามารถคำนวณหาค่าชีวมวลได้จากสมการที่ 3 (FAO,66)

$$B=WP.\sum Tr \quad (3)$$

โดย

B คือ ค่าชีวมวลของพืช (kg/m^2)

Tr คือ ค่าการคายน้ำของพืช (mm or m^3/area)

WP คือ ค่าประสิทธิภาพการผลิตน้ำ (kg/m^2 /mm or kg/m^2 /m^3)

สำหรับพืชทั่วไปชีวมวล (B) บางส่วนจะถูกเก็บเกี่ยวเป็นผลผลิต (Yield, Y) และอัตราส่วนของผลผลิตต่อชีวมวล คือ ดัชนีการเก็บเกี่ยว (Harvest Index, HI)

$$Y=HI.\sum B \quad (4)$$

การแยกเทอม Y ออกเป็น B และ HI จะทำให้สามารถพิจารณาอิทธิพลของสภาพแวดล้อม และความเครียดที่มีผลต่อค่าชีวมวลและต่อค่า HI แยกกันได้

2.1.4 การเจริญเติบโตของลำต้นและใบในการปกคลุมดิน

ส่วนของลำต้นและใบในการการปกคลุมดิน (Canopy Cover, CC) คือหัวใจสำคัญของแบบจำลอง AquaCrop ลำต้นและใบพืชจะเจริญเติบโต (Development) แก่ (Ageing) และหมดสภาพ (Senescence) พร้อมกับมีผลต่อการสังเคราะห์แสง การคายน้ำ และการผลิตชีวมวลของพืช ค่า CC ที่เพิ่มขึ้นในช่วง 50% แรกของการปกคลุมดินจะอยู่ในรูปแบบสมการ Exponential ดังนี้ (FAO 66)

$$CC=CC_0e^{CGC.t} \quad (5)$$

โดย

CC คือ สัดส่วนการปกคลุมดินของลำต้นและใบที่เวลา t

CGC คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของลำต้นและใบในการปกคลุมดิน (Canopy Growth Coefficient)

CC_0 คือ ค่า Initial CC ที่ t = 0 ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการที่ 6 (FAO 66)

$$CC_0=cc_0.PD \quad (6)$$

โดย

cc_0 คือ ค่าเฉลี่ยการปกคลุมดินของพืช 1 ต้น ที่ 90% ของการงอกของเมล็ด (Mean Canopy Size per Plant at the Time of 90% emergence) (m^2/1plant)

PD คือ ความหนาแน่นต้นพืช (Plant Density) (No. of plant/m^2)

เมื่อการปกคลุมดินมากกว่า 50% การสังเคราะห์แสง และการคายน้ำจะเพิ่มขึ้นใน อัตราส่วนที่น้อยกว่าการปกคลุมดินที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากทรงพุ่มจะซ้อนทับกัน ค่า CC ในช่วง 50% หลังจะต่างจากช่วงแรกดังนั้น เมื่อ CC > $0.5CC_x$ สมการ CC จะเปลี่ยนดังสมการที่ 7 (FAO 66)

$$CC=CC_x-(CC_x-CC_0)e^{-CGC.t} \quad (7)$$

โดย

CC_x คือ สัดส่วนการปกคลุมดินสูงสุด (Maximum Canopy Cover) ภายใต้สภาวะการปลูกพืชที่เหมาะสม

2.1.5 การคายน้ำของพืช (Crop Transpiration)

วราวุธ (2559) กล่าวว่าปริมาณการคายน้ำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่จะขึ้นอยู่กับค่า CC ถ้าพืชไม่เกิด ความเครียดจนปิดปากใบ แบบจำลอง AquaCrop จะคำนวณหาปริมาณการคายน้ำ (Transpiration, Tr) จากค่า Et_o โดยสมการที่ 8 (FAO,66)

$$Tr=\left(f_{age}.K_{c,Trx}\right)ET_0.CC \quad (8)$$

โดย

Tr คือ ปริมาณการคายน้ำของพืช

ETo คือ ปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงของพืช

CC คือ ส่วนของลำต้นและใบที่ปกคลุมดิน

$K_{c,Trx}$ คือ สัมประสิทธิ์การคายน้ำของพืช เมื่อ CC เข้าใกล้ 1.0 หรือ Full Canopy Cover และพืชไม่มีความเครียด

Fage คือ สัมประสิทธิ์การแก่ตัวของพืช (Ageing Coefficient)

หลังจากพืชปกคลุมดินเต็มที่ ($CC = CC_x$) ก่อนเข้าสู่สภาวะหมดสภาพ การปกคลุมดินจะค่อยๆ ลดลง และมีผลทำให้การคายน้ำและการสังเคราะห์แสงลดลง แบบจำลองจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแก่ตัว (Ageing Coefficient) เป็นค่าคงที่คูณกับค่า $K_{c,Trx}$ เพื่อลดอัตราการคายน้ำประมาณ 0.3% ต่อวัน และเมื่อเข้าสู่สภาวะหมดสภาพ อัตราการคายน้ำและการสังเคราะห์แสงจะลดลงอย่างรวดเร็ว

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วราวธุ (2559) ได้เสนอแนวคิดใหม่เกี่ยวกับการประเมินผลผลิตพืชและพัฒนาโปรแกรม AquaCrop ซึ่งถือว่าเป็น A New Version of CROPWAT พร้อมกับเขียนตำราเกี่ยวกับการคำนวณหาผลผลิตเล่มใหม่คือ Crop yield Response to Water โดยเพิ่มรายละเอียดเกี่ยวกับปัจจัยที่ทำให้พืชเกิดความเครียด และเสนอความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำ (Transpiration) กับชีวมวล (Biomass) ของพืช โดยที่ผลผลิตของพืชจะขึ้นอยู่กับชีวมวลและดัชนีการเก็บเกี่ยว (Harvest Index)

แบบจำลอง AquaCrop ต้องการข้อมูลสำคัญ 4 ส่วนด้วยกัน คือ

1. ข้อมูลภูมิอากาศ ประกอบด้วยอุณหภูมิอากาศ ค่าอัตราการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) ปริมาณฝนรายวันและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

2. ข้อมูลดิน ประกอบด้วยสมดุลน้ำและสมดุลของเกลือในเขตราก

3. ข้อมูลพืช ประกอบด้วยเปอร์เซ็นต์การปกคลุมดินของลำต้นและใบพืช (Canopy Cover) การเจริญเติบโตของราก ผลิตภาพน้ำในรูปแบบของชีวมวล (Biomass Water Productivity)

4. ข้อมูลการจัดการ ประกอบด้วยการให้น้ำ การให้ปุ๋ย การคลุมหน้าดิน (Mulching) การจัดการน้ำและการเพาะปลูกในแปลง

แบบจำลอง AquaCrop สามารถจำลองการปลูกพืชได้ โดยอาศัยการคำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) สามารถใช้โปรแกรม ET_o Calculator ในการคำนวณค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง และยังสามารถกำหนดการให้น้ำ และการจัดการน้ำได้อีกด้วย

ณัชดนัย ขำชัยภูมิ และ บุญประเสริฐ วอนเบ้า (2559) ได้ศึกษาการปลูกข้าวและอ้อยบนโปรแกรม AquaCrop โดยมีการทดลอง 12 กรณี คือ กรณีที่ 1 การจำลองปลูกข้าวในปีฝนมากแบบไม่ให้น้ำชลประทาน (ข้าว-ฝนมาก-ไม่ให้น้ำ) กรณีที่ 2 การจำลองปลูกข้าวในปีฝนน้อยแบบไม่ให้น้ำชลประทาน (ข้าว-ฝน น้อย-ไม่ให้น้ำ) กรณีที่ 3 การจำลองปลูกข้าวในปีฝนเฉลี่ยแบบไม่ให้น้ำชลประทาน (ข้าว-ฝนเฉลี่ย-ไม่ให้น้ำ) กรณี ที่ 4 การจำลองปลูกข้าวในปีฝนมากแบบให้น้ำชลประทาน (ข้าว-ฝนมาก-ให้น้ำ) กรณีที่ 5 การจำลองปลูกข้าวในปีฝนน้อยแบบให้น้ำชลประทาน (ข้าว-ฝนน้อย-ให้น้ำ) กรณีที่ 6 การจำลองปลูกข้าวในปีฝนเฉลี่ยแบบ ให้น้ำชลประทาน (ข้าว-ฝนเฉลี่ย-ให้น้ำ) กรณีที่ 7 การจำลองปลูกอ้อยในปีฝนมากแบบไม่ให้น้ำชลประทาน (อ้อย-ฝนมาก-ไม่ให้น้ำ) กรณีที่ 8 การจำลองปลูกอ้อยในปีฝนน้อยแบบไม่ให้น้ำชลประทาน (อ้อย-ฝนน้อย-ไม่ให้น้ำ) กรณีที่ 9 การจำลองปลูกอ้อยในปีฝนเฉลี่ยแบบไม่ให้น้ำชลประทาน (อ้อย-ฝนเฉลี่ย-ไม่ให้น้ำ) กรณีที่ 10 การจำลองปลูกอ้อยในปีฝนมากแบบให้น้ำชลประทาน (อ้อย-ฝนมาก-ให้น้ำ) กรณีที่ 11 การจำลองปลูกอ้อยในปีฝนน้อยแบบให้น้ำชลประทาน (อ้อย-ฝนน้อย-ให้น้ำ) กรณีที่ 12 การจำลองปลูกอ้อยในปีฝนเฉลี่ยแบบให้น้ำชลประทาน (อ้อย-ฝนเฉลี่ย-ให้น้ำ) โดยทำการทดลองเพื่อหาช่วงวันเวลาที่ดีที่สุดในการปลูกพืชต่อหนึ่งหน่วยน้ำชลประทานสูงสุดเท่าที่เป็นไปได้ตามทฤษฎี

ยุทธศาสตร์ อนุรักติพันธุ์ (2560) ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของผลผลิตข้าวและข้าวโพดโดยใช้โปรแกรม AquaCrop ทำนายผลผลิตในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ได้ว่าผลผลิตข้าวและข้าวโพดอาจมีการเพิ่มขึ้นมากกว่าลดลง ถ้าไม่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้ง น้ำท่วม แผ่นดินถล่ม การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยตรง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะพืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงผลผลิตที่ได้จากการจำลองจึงมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่เพิ่มขึ้น

ณัฐพล เย็นสกุลสุข และ ธงทิศ ฉายากุล (2563) ทำการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของข้าว แบบนาหว่าน น้ำตม (ET) ในเขตชลประทานของลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กับค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ที่อ้างอิงจากกรมชลประทาน พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง ค่า Kc ที่ได้จาก NDVI ของภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กับค่า Kc ที่อ้างอิง จากกรมชลประทานมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับที่ต่ำเข้าใกล้ศูนย์แสดงถึงความแม่นยำในการใช้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับการติดตามปริมาณการใช้น้ำของพืชในรูปแบบเชิงพื้นที่โดยค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากข้อจำกัดด้านสภาพอากาศในการบันทึกข้อมูลช่วงคลื่นของภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2

นนท์ธิดา เปล่งวุฒิไกร และ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย (2563) ได้ประยุกต์การใช้แบบจำลอง AquaCrop โดยจำลองการผลิตข้าวในสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ต่างกัน เมื่อปรับเทียบกับผลการทดลองการปลูกข้าวในถังโดยให้ปุ๋ยเคมีในปริมาณที่ต่างกัน แบบจำลอง AquaCrop สามารถจำลองการปลูกข้าวที่มีการตอบสนองต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินที่แตกต่างกันได้ โดยแบบจำลองสามารถให้ผลที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดในสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินสูง แต่มีผลการจำลองความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นเมื่อกำหนดค่าความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง การประยุกต์ใช้งานแบบจำลองจึงควรระมัดระวังในกรณีการจำลองการปลูกข้าวในสภาพความอุดมสมบูรณ์ดินต่างมากๆ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สมมติฐานงานวิจัย

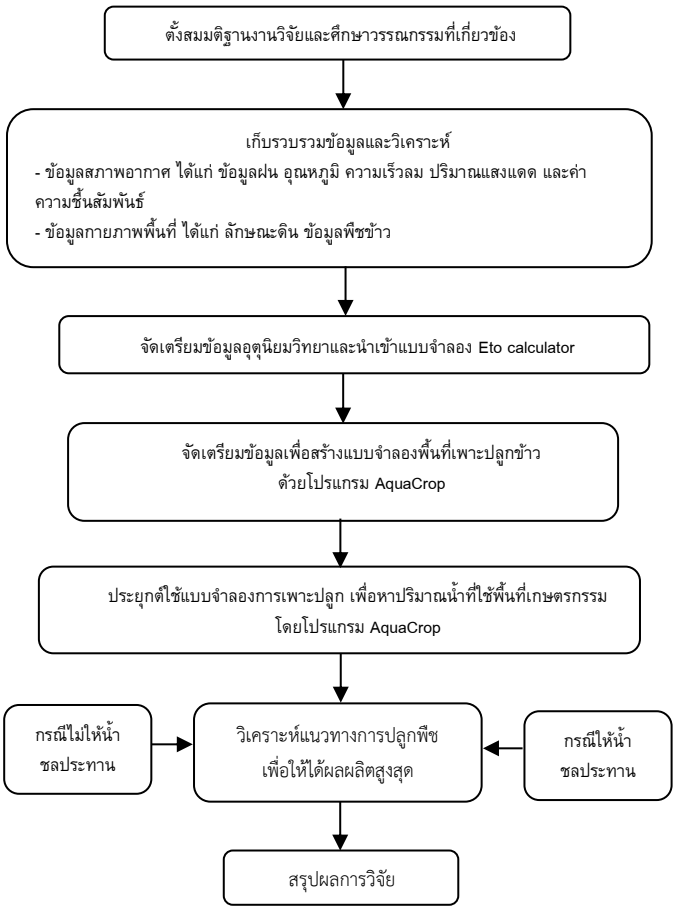
การนำโปรแกรม AquaCrop มาทดลองการให้น้ำแก่พืชผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม AquaCrop จะทำให้มีค่าผลผลิตและผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยน้ำชลประทานของพืชมีค่าสูงขึ้น

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. โปรแกรม AquaCrop version 7
2. โปรแกรม ETo Calculator

3.3 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

แผนผังการดำเนินงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 แผนผังงานวิจัย

3.3.1 การเตรียมข้อมูล

1. ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย ข้อมมูลอุณหภูมิ ความชื้นความเร็วลม ชั่วโมงแสงแดด และ ข้อมูลโดยก็บรวบรวมข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาจังหวัดพะเยา

2. ข้อมูลพืช ประกอบด้วย ช่วงการเจริญเติบโตของพืช ค่าWater Productivity และ ค่า Harvest Index โดยก็บรวบรวมข้อมูลจากเกษตรจังหวัดพะเยา

3. ข้อมูลดิน ประกอบด้วย ความหนาของชั้นดิน ค่า Permanent Wilting Point, Field Capacity,Saturated hydraulic Conductivity

3.3.2 การดำเนินการทดลอง

1. นำข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาคำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยใช้โปรแกรม ETo Calculator ในการคิดคำนวณ

2. นำไฟล์ข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม ETo Calculator มาใช้ในโปรแกรม AquaCrop

3. นำข้อมูลที่เตรียมไว้มาใส่ในข้อมูลให้ครบโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

- ข้อมูลปีที่มีน้ำฝนมากที่สุดในรอบ 10 ปี
- ข้อมูลปีที่มีน้ำฝนน้อยสุดในรอบ 10 ปี
- ข้อมูลน้ำฝนเฉลี่ยในรอบ 10 ปี

4. ทำการทดลองหาวันปลูกข้าวโดยทดลองทุกๆ วันที่ 1 และ วันที่ 15 ของแต่ละเดือน เพื่อหาวันที่สามารถให้ผลผลิตสูงสุดในทางทฤษฎี โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 กรณี

- กรณีไม่ให้น้ำชลประทาน

- กรณีให้น้ำชลประทาน

โดยการปลูกพืชแบบให้น้ำชลประทานจะให้น้ำจนถึงจุด Field Capacity และยอมให้ความชื้นลดลงไปถึงระยะที่พืชเริ่มปิดปากใบจากนั้นก็ให้น้ำเพิ่มเข้าไปบนความชื้นถึงจุด Field Capacity

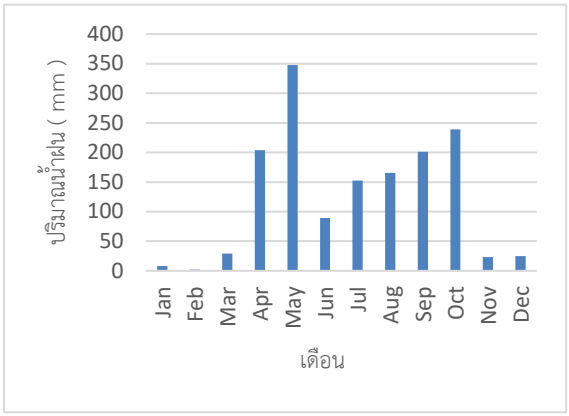
4. ผลการศึกษา

การปลูกพืชเป็นการใช้ข้อมูลฝนในรอบ 10 ปี ซึ่งแบ่งปริมาณฝนเป็น 3 ช่วงได้แก่ ช่วงปีที่มีปริมาณของฝนมากที่สุดในรอบ 10 ปี ช่วงปีที่มีปริมาณฝนน้อยที่สุดในรอบ 10 ปี และช่วงสุดท้ายเป็นช่วงที่มีฝนเฉลี่ยในรอบ 10 ปี ซึ่งผลการทดลองใช้ข้อมูลฝนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 ถึง พ.ศ 2565

พืชที่นำมาจำลองการปลูกมี 1 ชนิด ได้แก่ ข้าว โดยจำลองการปลูกและปรับค่าต่าง ๆ ในโปรแกรม AquaCrop

4.1 วิเคราะห์ข้อมูลฝน

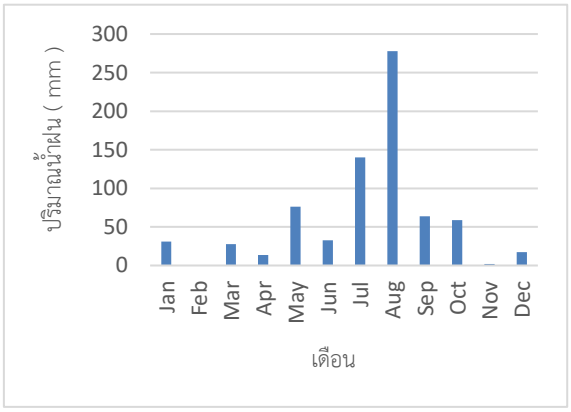
รูปที่ 2 แสดงข้อมูลการการวิเคราะห์ฝนในช่วงปริมาณน้ำฝนมากตั้งแต่ปี พ.ศ.2556 ถึง พ.ศ.2565 ซึ่งปีที่มีปริมาณฝนมากสุด คือ ปี พ.ศ. 2561



รูปที่ 2 ปริมาณฝนปีฝนมาก (พ.ศ. 2561)

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำฝนของปีที่มีฝนมาก ฝนเริ่มตกตั้งแต่เดือนมีนาคม และมีปริมาณฝนมากที่สุดในเดือนพฤษภาคม

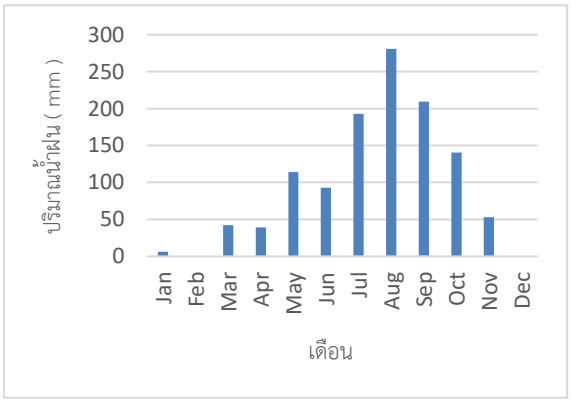
รูปที่ 3 แสดงข้อมูลการการวิเคราะห์ฝนในช่วงปริมาณน้ำฝนน้อยตั้งแต่ปี พ.ศ.2556 ถึง พ.ศ.2565 ซึ่งปีที่มีปริมาณฝนน้อยสุด คือ ปี พ.ศ. 2562



รูปที่ 3 ปริมาณฝนปีฝนน้อย (พ.ศ. 2562)

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำฝนของปีที่มีน้อย มีปริมาณฝนตลอดทั้งปี 740.60 มม. และฝนตกมากสุดในเดือนสิงหาคม

รูปที่ 4 แสดงข้อมูลการการวิเคราะห์ฝนในช่วงน้ำฝนเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ.2565



รูปที่ 4 ปริมาณฝนเฉลี่ย 10 ปี (พ.ศ. 2556 - พ.ศ. 2565)

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำฝน ซึ่งมีปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 1,170.40 มม. ฝนเริ่มตกมากในเดือนกรกฎาคมและมีปริมาณมากสุดในเดือนสิงหาคมและมีการกระจายตัวของฝนแบบปกติ

4.2 ผลการศึกษาการจำลองการปลูกข้าว

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 6 กรณี ได้แก่

4.2.1 กรณีที่ 1 การจำลองปลูกข้าวในปีฝนมากแบบไม่ให้น้ำชลประทาน (ข้าว-ฝนมาก-ไม่มีน้ำ) ข้อมูลการทดลองหาวันปลูกข้าวในช่วงน้ำฝนมากตั้งแต่ปี พ.ศ.2556 ถึง พ.ศ.2565 จากตารางจะเห็นว่าการจำลองการปลูกข้าวที่มีฝนมากไม่ให้น้ำชลประทานตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม ถึง 15 ธันวาคม จะมีผลผลิตเพิ่มขึ้นและใกล้เคียงกันตามลำดับ โดยมีค่าผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 586.720 กิโลกรัมต่อไร่ และค่าผลผลิตต่ำสุดเท่ากับ 541.920 กิโลกรัมต่อไร่

4.2.2 กรณีที่ 2 การจำลองปลูกข้าวในปีฝนน้อยแบบไม่ให้น้ำชลประทาน (ข้าว-ฝนน้อย-ไม่มีน้ำ) ข้อมูลการทดลองหาวันปลูกข้าวในช่วงน้ำฝนน้อยตั้งแต่ปี พ.ศ.2556 ถึง พ.ศ.2565 จากตาราง จะเห็นว่าการจำลองเพาะปลูกข้าวปีที่ฝนน้อยไม่ให้น้ำชลประทานจะมีค่าผลผลิตสูงสุดใกล้เคียงกันเมื่อเริ่มเข้าสู่วันที่ 15 เมษายน ถึง 15 ตุลาคม และค่าผลผลิตจะลดลงตั้งแต่ 1 พฤศจิกายน ถึง 15 ธันวาคม โดยที่ค่าผลผลิตสูงสุด คือ 541.760 กิโลกรัมต่อไร่ และค่าผลผลิตต่ำสุด คือ 495.520 กิโลกรัมต่อไร่

4.2.3 กรณีที่ 3 การจำลองปลูกข้าวในปีฝนเฉลี่ยแบบไม่ให้น้ำชลประทาน (ข้าว-ฝนเฉลี่ย-ไม่มีน้ำ) ข้อมูลการทดลองหาวันปลูกข้าวในช่วงน้ำฝนเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ.2556 ถึง พ.ศ.2565 จากตาราง จะเห็นว่าการจำลองเพาะปลูกข้าวปีที่ฝนเฉลี่ยไม่ให้น้ำชลประทานมีค่าผลผลิตสูงสุดใกล้เคียงกันตลอดทั้งช่วงวันที่ 15 พฤษภาคม ถึง 15 กรกฎาคม และเริ่มมีค่าผลผลิตลดลงวันที่ 1 สิงหาคม ถึง 15 ธันวาคม โดยมีค่าผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 716.160 กิโลกรัมต่อไร่ และค่าผลผลิตต่ำสุดเท่ากับ 691.520 กิโลกรัมต่อไร่

4.2.4 กรณีที่ 4 การจำลองปลูกข้าวในปีฝนมากแบบให้น้ำชลประทาน (ข้าว-ฝนมาก-ให้น้ำ) ข้อมูลการทดลองหาวันปลูกข้าวในช่วงน้ำฝนมากตั้งแต่ปี พ.ศ.2556 ถึง พ.ศ.2565 จากตาราง จะเห็นว่าการจำลองเพาะปลูกข้าวปีที่ฝนมากให้น้ำชลประทานช่วงวันที่ 1 มกราคม ถึง 15 ธันวาคม จะได้ค่าผลผลิตสูงสุดใกล้เคียงกันตลอดช่วง โดยมีค่าผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 586.720 กิโลกรัมต่อไร่ และค่าผลผลิตต่ำสุด 541.920 กิโลกรัมต่อไร่

4.2.5 กรณีที่ 5 การจำลองปลูกข้าวในปีฝนน้อยแบบให้น้ำชลประทาน (ข้าว-ฝนน้อย-ให้น้ำ) ข้อมูลการทดลองหาวันปลูกข้าวในช่วงน้ำฝนเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ.2556 ถึง พ.ศ.2565 จากตาราง จะเห็นว่าการจำลองเพาะปลูกข้าวปีที่ฝนน้อยให้น้ำชลประทานจะได้ค่าผลผลิตสูงสุดใกล้เคียงกันตลอดช่วงวันที่ 1 มกราคม ถึง 15 ตุลาคม และเริ่มมีค่าผลผลิตลดลงวันที่ 1 พฤศจิกายน ถึง 15 ธันวาคม โดยมีค่าผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 541.600 กิโลกรัมต่อไร่ และค่าผลผลิตต่ำสุด 495.520 กิโลกรัมต่อไร่

4.2.6 กรณีที่ 6 การจำลองปลูกข้าวในปีฝนเฉลี่ยแบบให้น้ำชลประทาน (ข้าว-ฝนเฉลี่ย-ให้น้ำ) ข้อมูลการทดลองหาวันปลูกข้าวในช่วงน้ำฝนเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ.2556 ถึง พ.ศ.2565 จากตาราง จะเห็นว่าการจำลองเพาะปลูกข้าวปีที่ฝนเฉลี่ยให้น้ำชลประทานช่วงวันที่ 1 มกราคม ถึง 15 กรกฎาคม จะได้ค่าผลผลิตสูงสุดใกล้เคียงกันตลอดช่วง และมีค่าผลผลิตลดลงวันที่ 1 สิงหาคม ถึง 15 ธันวาคม โดยมีค่าผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 716.000 กิโลกรัมต่อไร่ และค่าผลผลิตต่ำสุด 691.520 กิโลกรัมต่อไร่

5. สรุปผลการศึกษา

การทดลองการปลูกพืชและการให้น้ำแก่พืชโดยใช้โปรแกรม AquaCrop มีการดำเนินการทดลองเป็น 6 กรณีหลัก คือ กรณีที่ 1 การจำลองปลูกข้าวในปี ฝนมากแบบไม่ให้น้ำชลประทาน (ข้าว-ฝนมาก-ไม่ให้น้ำ) กรณีที่ 2 การจำลองปลูกข้าวในปี ฝนน้อยแบบไม่ให้น้ำชลประทาน (ข้าว-ฝนน้อย-ไม่ให้น้ำ) กรณีที่ 3 การจำลองปลูกข้าวในปี ฝนเฉลี่ยแบบไม่ให้น้ำชลประทาน (ข้าว-ฝนเฉลี่ย-ไม่ให้น้ำ) กรณีที่ 4 การจำลองปลูกข้าวในปี ฝนมากแบบให้น้ำชลประทาน (ข้าว-ฝนมาก-ให้น้ำ) กรณีที่ 5 การจำลองปลูกข้าวในปี ฝนน้อยแบบให้น้ำชลประทาน (ข้าว-ฝนน้อย-ให้น้ำ) กรณีที่ 6 การจำลองปลูกข้าวในปี ฝนเฉลี่ยแบบให้น้ำชลประทาน (ข้าว-ฝนเฉลี่ย-ให้น้ำ) สรุปการศึกษาดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ช่วงเวลาที่เหมาะสมแก่การปลูกข้าวตามกรณีศึกษา

กรณี	ให้น้ำชลประทาน	ไม่ให้น้ำชลประทาน	ปริมาณฝน			ช่วงเวลาที่เหมาะสมแก่การปลูกข้าว											
			มาก	น้อย	เฉลี่ย	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1		✓	✓			avg. 564.87 kg /rai											
2		✓		✓		avg. 517.89 kg /rai											
3		✓			✓	avg. 703.42kg /rai											
4	✓		✓			avg. 564.77 kg /rai และ 1.46 kg/m^3											
5	✓			✓		avg. 518.54 kg /rai และ 1.40 kg/m^3											
6	✓				✓	avg. 703.29 kg /rai และ 2.28 kg/m^3											

จากผลการศึกษาทั้ง 6 กรณี เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลทางสถิติการเกษตรของประเทศไทยพบว่า ในปีพ.ศ.2556 -พ.ศ.2565 จังหวัดพะเยามีผลผลิตของข้าวอยู่ที่ 500 ถึง 700 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลผลิตที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ ดังนั้นแบบจำลอง AquaCrop สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อทดลองการปลูกพืชชนิดต่าง ๆ ได้ และจากผลการศึกษาครั้งนี้ เห็นได้ชัดว่า ผลผลิตการปลูกข้าวแปรผันตามปริมาณน้ำฝนและรูปแบบการตกของฝน ในปีฝนมากที่มีปริมาณฝนรายปีมากกว่าฝนเฉลี่ยรอบ 10 (พ.ศ.2556 -พ.ศ.2565) แต่ผลผลิตที่ได้จากปีฝนมากน้อยกว่าปีฝนเฉลี่ย เนื่องจากปีฝนมากฝนตกไม่ตลอดทั้งปี มีปริมาณฝนมากเพียงบางเดือน ซึ่งปริมาณฝนไม่สอดคล้องกับความต้องการน้ำของข้าวที่ช่วงเวลานั้น ๆ แตกต่างจากปีฝนเฉลี่ยซึ่งมีปริมาณฝนตกตลอดและเพียงพอตลอดทั้งช่วงที่ข้าวต้องการน้ำ จึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ปริมาณผลผลิตในช่วงปีฝนเฉลี่ยมากกว่าปีฝนมาก

จากผลการศึกษาสังเกตุได้ว่าผลผลิตที่ได้จากพื้นที่นอกเขตและในเขตชลประทานมีผลผลิตใกล้เคียงกันในช่วงเวลาที่ปลูกที่เดียวกัน แต่สำหรับนาข้าวในเขตชลประทานมีช่วงเวลาที่ปลูกข้าวแล้วได้ผลผลิตมากยาวกว่าพื้นที่นาข้าวนอกเขตชลประทาน

ข้อเสนอแนะ

1. นอกจากปริมาณและรูปแบบการตกของฝนที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตแล้วนั้น สภาพภูมิอากาศ ลักษณะดิน และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แสงก็มีผลต่อปริมาณผลผลิตเช่นกัน ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรเหล่านั้นต่อผลผลิตของข้าวโดยใช้แบบจำลอง AquaCrop

2. ควรมีการนำผลการศึกษาไปทดลองปลูกในพื้นที่จริงเพื่อเป็นพิสูจน์ว่าผลของแบบจำลองว่าถูกต้อง

เอกสารอ้างอิง

[1] วราวธุ (2559) เสนอแนวคิดใหม่เกี่ยวกับการประเมินผลผลิตพืชและพัฒนาโปรแกรมAquaCrop
http://www.fao.org/nr/water/docs/aquacropV40Annexes.pdf

[2] ณัชดนัย ขำชัยภูมิ และ บุญประเสริฐ วอนเบ้า (2559). การทดลองการปลูกพืชโดยใช้โปรแกรมAquaCrop. [ระดับปริญญามหาวิทยาเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน]
https://irre.ku.ac.th/project/pdf/255814.pdf

[3] ยุทธศาสตร์ อนุรักติพันธุ์ (2560). การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีผลต่อผลผลิตข้าวและข้าวโพดบริเวณลุ่ม แม่น้ำโขงตอนล่าง. วารสารเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2(3), 70-85.
https://ojs.lib.buu.ac.th/index.php/jgt/article/view/4907/2109

[4] นนท์ธิดา เปล่งวุฒิไกร และ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย (2563, กรกฎาคม 30 – 31). การประยุกต์แบบจำลอง AquaCrop ในการจำลองการปลูกข้าวพันธุ์ กข 43 ภายใต้ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ต่างกัน. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ, มหาวิทยาลัย
https://www.researchgate.net/profile/Ekasit_Kositsakulchai/publication

[5] FAO Water Development and Management Unit, 2558, Crop parameters. Manual. : https://www.fao.org/land-water/en/

[6] Pasquale Steduto, Theodore C. Hsiao, Elias Fereres, Dirk Raes, 2555, Crop yield response to water, FAO Irrigation and drainage paper66: http://www.fao.org/docrep/ 016/i2800e/i2800e00.html

การใช้ข้อมูลกลุ่มเมฆในการติดตามพืชพรรณ กรณีศึกษาสวนลำไย ในจังหวัดพะเยา

Application of point cloud for vegetation case study longan garden Phayao Province

นนทวัฒน์ คำหมาย[1] ธนพงษ์ ธนัตถ์ปรีดากุล[2] ระชา ตันพิชัย[3] กรชวัล เฌอมือ[4,*] และ ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง[5]

[1,2,3,4] นิสิตปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

[5] อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

**Corresponding author; E-mail address: kornchawanchermue@gmail.com*

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการติดตามการเจริญเติบโตของต้นลำไยในช่วงการให้ผลผลิตในเขตพื้นที่ตัวอย่าง ตำบลห้วยยางขาม อำเภอจุน จังหวัดพะเยา ด้วยอากาศยานไร้คนขับมีจำนวน 2 แปลง ได้แก่แปลงที่ 1 มีเนื้อที่ 6 ไร่ มีต้นลำไย 177 ต้น แปลงที่ 2 มีเนื้อที่ 3 ไร่ มีต้นลำไย 99 ต้น ได้ทำการบินเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศยานไร้คนขับ ในเดือนกรกฎาคม ถึง เดือนสิงหาคม พ.ศ.2566 รวม 7 สัปดาห์ โดยนำภาพที่ได้มาวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมเพื่อหาค่าดัชนีพืชพรรณ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณดัชนีพืชพรรณ ExG,GLI,GRVI,NRBDI,R% จะอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 นำค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้ มาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละวัน พบว่า ค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและสามารถนำมาใช้ในการติดตามการเจริญเติบโตของต้นลำไยได้

คำสำคัญ: ลำไย, การติดตาม, อากาศยานไร้คนขับ, ภาพถ่ายทางอากาศ, ดัชนีพืชพรรณ

Abstract

The objective of this study was to monitor the growth of longan trees during the production period in the sample areas. Huai Yang Kham Subdistrict, Chun District, Phayao Province, with an unmanned aerial vehicle, has 2 plots: Plot 1 has an area of 6 rai and has 177 longan trees. Plot 2 has an area of 3 rai and has 99 longan trees. It has flown to collect aerial photographic data. driverless In July to August 2023, a total of 7 weeks, the images obtained were analyzed through the program to find the vegetation index value. Results from calculating the vegetation index ExG,GLI,GRVI,NRBDI,R% will be in the range -1 to 1. Take the obtained vegetation index values. Find the average value for each day. The obtained vegetation index values tend in the same direction and can be used to monitor the growth of longan trees.

Keywords: longan, monitor the growth, unmanned aerial vehicles, aerial photography, vegetation index

1.บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ลำไย เป็นพืชเศรษฐกิจของภาคเหนือ ปีที่ผ่านมาลำไยมีราคาต่ำกว่าทุกปี เกิดจากหลายปัจจัย เช่น การกดราคาของนายทุน การออกดอกไม่สม่ำเสมอ การเกิดโรค และ คุณภาพของลำไยต่ำลง โดยในปี 2565 มีการส่งออกลำไยสด 140,523 ตัน มูลค่า 4,961 ล้านบาท ลดลงร้อยละ 35.58 เทียบกับช่วงเดียวกันกับปีก่อน[1] ทำให้เกษตรกรมีรายได้ที่ลดลงอีกทั้งยังไม่คุ้มต่อการเก็บเกี่ยวผลผลิตเนื่องจากต้นทุนในการเก็บเกี่ยวสูงกว่าราคาจำหน่าย จึงส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศ

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านการเกษตรและด้านภูมิสารสนเทศได้พัฒนาไปไกล สามารถวิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลของพืชพรรณเพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตและลดค่าใช้จ่ายทางการเกษตรอีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลที่ได้มาประยุคใช้ในการวิเคราะห์ค่า ExG,GLI,GRVI,NRBDI และR% เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของพืชพรรณ โดยใช้อากาศยานไร้คนขับในการเก็บข้อมูล เนื่องจากข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเป็นข้อมูลที่มีประสิทธิ์ภาพและเหมาะสำหรับการเกษตร[2]

ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle :UAV) ใช้ในการถ่ายภาพทางอากาศและนำภาพที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าดัชนีพืชพรรณExG,GLI,GRVI,NRBDI และR% แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณความเขียวของพืชจากใบและยังสามารถพยากรณ์สุขภาพของต้นลำไย ทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตและยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มผลผลิตของลำไยต่อไป[2]

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1. เพื่อหาค่า ExG,GLI,GRVI,NRBDI และ R%

1.2.2. เพื่อใช้อากาศยานไร้คนขับในการเก็บข้อมูลกลุ่มเมฆ

1.2.3. การใช้โปรแกรม Agisoft Metashape และโปรแกรม Quantum GIS ในการหาค่าดัชนีพืชพรรณ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1. พื้นที่สำรวจสวนลำไย ตำบลห้วยยางขาม อำเภอจุน จังหวัดพะเยา แปลงแรกมีเนื้อที่ประมาณ 6 ไร่ แปลงที่ 2 มีเนื้อที่ประมาณ 3 ไร่

1.3.2. การใช้งานอากาศยานไร้คนขับ DJI Phantom 4 Pro V2.0

1.3.3. การใช้งานโปรแกรม (Agisoft Metashape : Agisoft)

1.3.4. การใช้โปรแกรม (QGIS version 3.34.0)

1.4 ประโยชน์

1.4.1. ได้ข้อมูลกลุ่มเมฆเพื่อประมวลผลต้นไม้

1.4.2. ได้ข้อมูลกลุ่มเมฆในการหาค่า EXG,GLI,GRVI,NRBDIและ R%

1.4.3. ได้ค่า ExG,GLI,GRVI,NRBDIและR% ติดตามการเปลี่ยนแปลงไม้ผล

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1) ลำไยพันธ์อีดอ เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางที่มีความสูงของลำต้นประมาณ 10 ถึง 12 เมตรลำต้นสีน้ำตาลอ่อนขอบใบเรียบสีเขียวเข้มออกดอกเป็นช่อที่ปลายยอดสีขาวครีมผลค่อนข้างกลมเป็นช่อ ผลเบี้ยวยกบ่าข้างเดียว ผลสีน้ำตาลอมเขียวเนื้อในสีขาวเม็ดเล็กสีดำเป็นมันโดยส่วนใหญ่นิยมปลูก ต้นลำไยในช่วงเริ่มต้นฤดูฝนระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคมพื้นที่ใน การปลูกลำไยควรปลูกในที่ดินที่มีค่าความกรดด่าง(pH)เท่ากับ 6 และที่ดิน ต้องมีการถ่ายเทน้ำได้ดีไม่ท่วมขังจะทำให้ต้นลำไยมีการเจริญเติบโตได้ดี

2.2) ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices) เป็นเทคนิคแบบง่ายสำหรับใช้ สกัดสารสนเทศเชิงปริมาณของปริมาณพืชพรรณหรือความเป็นสีเขียว (Greenness)ในแต่ละจุดภาพของข้อมูลภาพดัชนีพืชพรรณจะเกี่ยวข้องกับ สารสนเทศเชิงคลื่นของ 2 ช่วงคลื่นหรือมากกว่า โดยช่วงคลื่นหนึ่งจะเป็น ข้อมูลจากคลื่นความยาวคลื่นช่วงแสงสีแดงซึ่งคลอโรฟิลล์ของพืชสีเขียวจะ ดูดกลืนพลังงานและอีกช่วงคลื่นหนึ่งจะเป็นข้อมูลจากความยาวคลื่น อินฟราเรดระยะใกล้(Near Infrared Band:NIR) ที่พืชพรรณไม่ดูดกลืนพลังงาน แต่จะเกิดการกระเจิงจากโครงสร้างของใบ

2.2.1 ดัชนี ExG (Excess Green) คือดัชนีพืชพรรณถูกคำนวณจากภาพถ่าย RGB ของ UAV โดยใช้การสะท้อนแสงช่วงคลื่นทั้งหมด 3 แบรนด์ คือ แบรนด์สีน้ำเงิน แบรนด์สีเขียวและแบรนด์สีแดง นำมาใช้ในการระบุพื้นที่ที่มีพืชเติบโตอย่างเป็นพิเศษ เช่น ประมาณการพื้นที่ป่าไม้หรือพื้นที่เกษตรกรรม สามารถคำนวณได้จากสมการ

ExG = 2 x (g-r-b)

กำหนดให้

g = G/(R+G+B)

r = R/(R+G+B)

b = B/(R+G+B)

2.2.2 ดัชนี GLI (Green Leaf Index) คือดัชนีความเขียวของพืชจากผิวใบหรือตัวบ่งชี้ปริมาณคลอโรฟิลล์อัลกอริทึมนี้มีลักษณะเดียวกับดัชนี ใช้ในการตรวจสอบสภาพสุขภาพของพืชและการสร้างแผนที่การเจริญเติบโตของพืชโดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

GLI =((Green-Red)+(Green-Blue))/(2Green+Red+Blue)

2.2.3 ดัชนี GRVI (Green Red Vegetation Index) คือดัชนีพืชพรรณถูกคำนวณจากภาพถ่าย RGB ของ UAV โดยใช้การสะท้อนแสงช่วงคลื่นทั้งหมด 2 แบรนด์ คือ แบรนด์สีเขียว และแบรนด์สีแดง ใช้ในการประเมินสภาพของพืชและความสมบูรณ์ของดินสามารถคำนวณได้จากสมการ

GRVI =(Green-Red)/(Green+Red)

2.2.4 ดัชนี NRBDI (Natural Resources and Biodiversity Index) คือดัชนีที่ใช้วัดและประเมินคุณภาพของทรัพยากรธรรมชาติและความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่มีหลายวิธีที่สามารถใช้เพื่อคำนวณหรือสร้างดัชนีนี้ โดยทั่วไปแล้ว NRBDI มุ่งเน้นการรวมรวมข้อมูลทั้งทางชีวภาพและทรัพยากรธรรมชาติเพื่อสร้างภาพรวมเกี่ยวกับสุขภาพและความหลากหลายของระบบนิเวศสามารถคำนวณได้จากสมการ

NRBDI =(Red-Blue)/(Red+Blue)

2.2.5 ดัชนีพืชพรรณ R% เป็นการคำนวณสัดส่วนของสีแดง (Red) ต่อรวมของสีแดงและสีน้ำเงิน ซึ่งมักถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ภาพดิจิตอลหรือภาพถ่ายที่มีข้อมูลสีต่างๆ ในแต่ละพิกเซลของภาพ สูตรนี้มีลักษณะเป็นตัวตัดสินใจที่ช่วยในการกำหนดความสำคัญของสีแดงในทั้งหมดของภาพใช้ในการวัดปริมาณสีแดงในภาพถ่าย เพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพสีของพืชและพื้นที่ที่มีปัญหาสามารถคำนวณได้จากสมการ

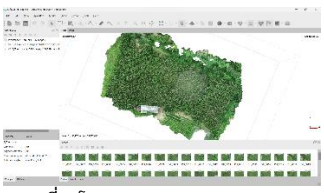
R% =(Red)/(Red+Blue)

2.3) อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) มีชื่อเรียกเป็นสามัญอีกชื่อว่า “โดรน”(Deone) นั้นเป็นเทคโนโลยียานพาหนะทางอากาศขนาดเล็กที่ไม่มีนักบินประจำอยู่บนเครื่องเพื่อควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติมีหลากหลายขนาดและรูปร่างไม่จำกัดรูปแบบแล้วแต่นักออกแบบจะออกแบบเพื่อใช้งานให้เหมาะสมกับภาระกิจแบบใดโดยการควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ การควบคุมอัตโนมัติระยะไกล และการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยใช้ระบบการบินด้วยตัวเองซึ่งต้องอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีระบบที่ซับซ้อนและมีการติดตั้งไว้ในอากาศยาน



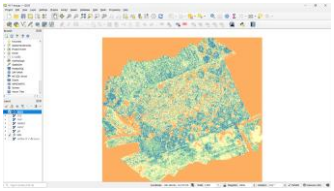
รูปที่ 1 อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV)

2.4) โปรแกรม Agisoft Metashape 3D เป็นโซลูชันซอฟต์แวร์ที่ล้ำสมัย โดยมีแกนหลักคือการขับเคลื่อนโฟโตแกรมเมตรีจนถึงขีดจำกัดสูงสุดและมีระบบทั้งหมดที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อให้ได้ผลลัพธ์สำหรับอุตสาหกรรมโดยเฉพาะ โดยอาศัยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องจักรสำหรับงานหลังการ ประมวลผลและการวิเคราะห์ ซอฟต์แวร์จะช่วยให้สามารถประมวลผลภาพ จากค่า RGB หรือกล้องหลายแบบสเปกตรัม รวมถึงระบบกล้องหลายตัวลง ในข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีค่าสูงในรูปแบบของแบบจำลองรูปหลายเหลี่ยมที่มี พื้นผิวของพอยต์คลาวด์ ที่มีความหนาแน่นสูงโดยมีขั้นตอนหลังการ ประมวลผลเพิ่มเติมที่ช่วยให้สามารถกำจัดเงาและพื้นผิวจากแบบจำลอง คำนวณดัชนีพืชพรรณ (บริษัท เซปทิลเลียน จำกัด)



รูปที่ 2 โปรแกรม Agisoft Metashape

2.5) โปรแกรม QGIS (Quantum GIS) เป็นซอฟต์แวร์ GIS ที่เปิดตัวแบบฟรีและโอเพนซอร์สที่ให้ความสามารถในการจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ มีคุณสมบัติหลากหลายที่รองรับการนำเข้าและการแสดงผลข้อมูลจากหลากหลายแหล่ง มีเครื่องมือที่ทันสมัยในการทำงานกับข้อมูลทางภูมิศาสตร์ และมีชุมชนการสนับสนุนที่แข็งแรง. QGIS เหมาะสำหรับนักวิเคราะห์ข้อมูลทางภูมิศาสตร์, นักวิจัย, และผู้ทำงานที่ต้องการซอฟต์แวร์ GIS ที่มีคุณภาพและตอบสนองต่อความต้องการทางภูมิศาสตร์



รูปที่ 3 โปรแกรม QGIS (Quantum GIS)

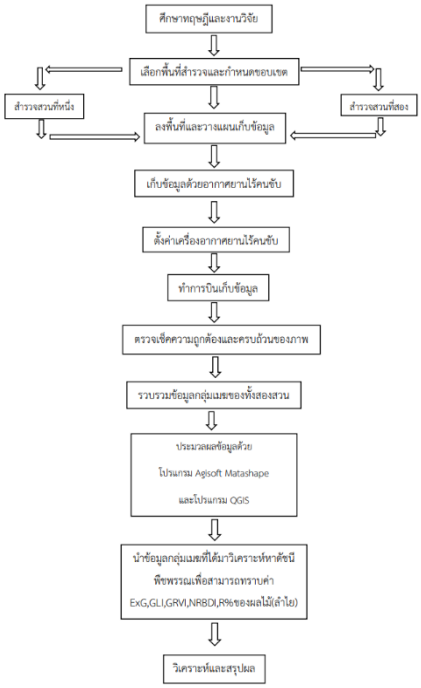
2.6) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิรวัฒน์ จันทองพูน และคณะผู้จัดทำ (2566) ได้ประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับในการติดตามยางพาราโดยใช้สูตรดัชนีพืชพรรณ NDVI,GLI, GRVI,VARI,ExG ในการวิเคราะห์และติดตามต้นยางพารา[2]

ภูมิพัฒน์ อุ่นบ้าน และคณะผู้จัดทำ (2565) ได้ทำการประเมินความสอดคล้องของข้อมูลภาพถ่ายรายละเอียดสูงด้วยอากาศยานไร้คนขับและภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 เพื่อติดตามการเจริญเติมโตของข้าว[3]

3.วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการศึกษา เกี่ยวกับดัชนีพืชพรรณ เพื่อหาค่า EXG,GLI,GRVI,NRBDIและ R% และเพื่อเป็นแนวทางในการใช้อากาศยานไร้คนขับในการเก็บข้อมูลกลุ่มเมฆ ผู้จัดทำวิจัยได้จัดลำดับการดำเนินงานดังนี้



รูปที่ 4 วิธีการดำเนินงาน

3.1) กำหนดขอบเขตพื้นที่การศึกษา

พื้นที่ตัวอย่างในการศึกษาต้นลำไยจำนวน 2 แปลง สายพันธุ์เดียวกัน คือพันธุ์อีดอได้รับปริมาณน้ำที่ต่างกัน โดยสวนที่หนึ่งจะได้น้ำมากกว่าสวนที่สอง เพื่อสามารถเห็นผลผลิตและความอุดมสมบูรณ์ที่ต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

3.2) ลงพื้นที่วางแผนการบินและเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ของพื้นที่ทั้งสองสวนโดยใช้ อากาศยานไร้คนขับ(Unmanned Aerial Vehicle: UAV)

แปลงต้นลำไยที่ 1 ต้นลำไยมีอายุประมาณ 25 ปี สายพันธุ์อีดอ มีเนื้อที่ประมาณ 6 ไร่ มีต้นลำไยจำนวน 177 ต้น

แปลงต้นลำไยที่ 2 ต้นลำไยมีอายุประมาณ 22 ปี สายพันธุ์อีดอ มีเนื้อที่ประมาณ 3 ไร่ มีต้นลำไยจำนวน 99 ต้น



รูปที่ 5 สวนลำไยแปลงที่ 1



รูปที่ 6 สวนลำไยแปลงที่ 2

3.3) การเก็บข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ระยะเวลาในการบินสำรวจและเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม ถึง วันที่ 12 สิงหาคม พ.ศ.2566 เป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์

3.4) การประมวลผลและตรวจสอบข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศยานจากอากาศยานไร้คนขับ

โดยใช้เกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพของภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ ดังนี้

- ความคมชัดของภาพถ่าย โดยภาพถ่ายต้องมีความคมชัด ไม่พล่ามัว มีรายละเอียดของสวนครบ และ ภาพต้องต่อเนื่องสม่ำเสมอไม่ขาดหาย

- ความสว่างของภาพถ่าย โดยภาพถ่ายต้องมีความสว่างที่ทำให้เห็นภาพคมชัด และต้องเลือกเวลาในการถ่ายภาพเก็บข้อมูลให้ใกล้เคียงกัน เพื่อที่จะได้ภาพถ่ายที่แสงใกล้เคียงกันและสม่ำเสมอกันตลอดการเก็บข้อมูลในแต่ละสัปดาห์

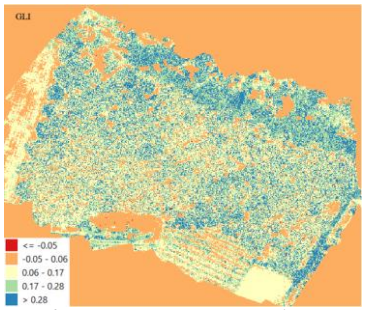
- สีของภาพถ่าย โดยภาพถ่ายต้องมีสีที่ใกล้เคียงกับสีจริงของสวน ไม่มีการแต่งภาพปรับสี

3.5) การประมวลผลเพื่อสร้างภาพดัชนีพืชพรรณ

ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการติดตามการเจริญเติบโตของต้นลำไยจากค่าดัชนีพืชพรรณ โดยใช้โปรแกรมAgisoft Metashape

3.6) การวิเคราะห์เพื่อติดตามการเจริญเติบโตของต้นลำไยจากดัชนีพืชพรรณ

ทำการกำหนดจุดทดสอบแต่ละแปลงตัวอย่างในตำแหน่งจุดของต้นลำไยที่แน่นอนจากการจำแนกด้วยสายตา แล้วทำการอ่านค่าดัชนีพืชพรรณของแต่ละแปลง นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของดัชนีพืชพรรณเพื่อใช้ในการติดตามการเจริญเติบโตของลำไย



รูปที่ 7 ตัวอย่างภาพดัชนี GLI แปลงที่ 1

4. ผลการศึกษา

4.1) การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้ศึกษาได้ทำการลงพื้นที่เก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่ตัวอย่างการศึกษาเก็บข้อมูลภาพถ่ายที่ใช้ในการประมวลผลทั้งหมด 1,390 ภาพ โดยคลอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 2 แปลง เมื่อประมวลผลภาพถ่ายแล้วจะได้ภาพดัดแก้เชิงตัวเลข



Plan 1 Plan 2

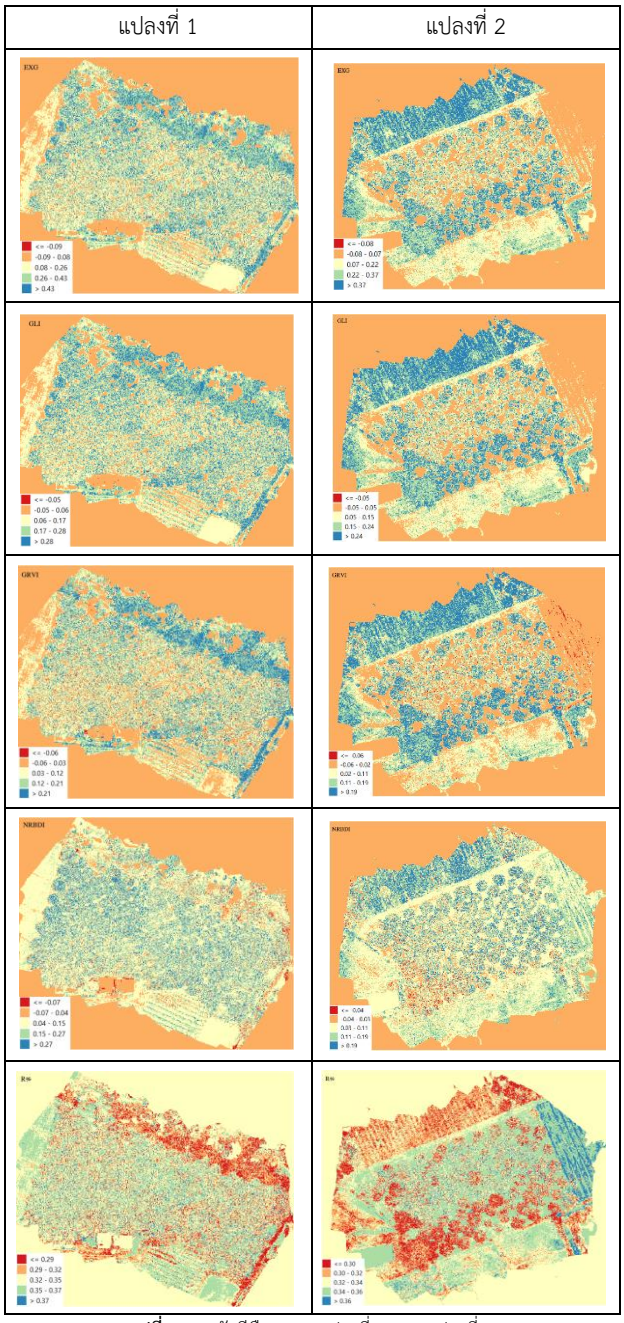
รูปที่ 8 จุดทดสอบแต่ละแปลง แปลงละ 30 จุด

ผลลัพธ์จากการประมวลผลภาพถ่ายมีความคมชัด สีของภาพมีความถูกต้อง มี ความสว่างของภาพสม่ำเสมอ รายละเอียดของภาพครบถ้วนถูกต้อง ผลลัพธ์ได้เกณฑ์มาตรฐานความถูกต้องของแผนที่ภาพดัดแก้เชิงตัวเลข สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ได้

4.2) ผลการประมวลผลดัชนีพืชพรรณ

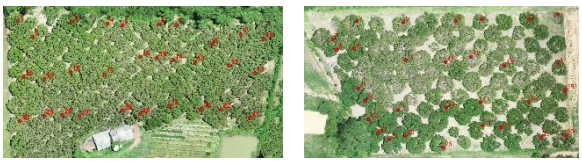
ผลการประมวลดัชนีพืชพรรณของต้นลำไยในพื้นที่ หมู่บ้านห้วยยางขาม อำเภอจุน จังหวัดพะเยา ด้วยโปรแกรม Agisoft Metashape และโปรแกรม QGIS โดยทำการคำนวณดัชนีพืชพรรณ จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับของทั้ง 2 แปลง

ผู้ศึกษาได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 7 สัปดาห์ ของแต่ละแปลง ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณเป็นภาพโทนสีที่แสดงค่าของดัชนีพืชพรรณ ซึ่งแต่ละสีแสดงค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 สำหรับดัชนี ExG,GLI,GRVI,NRBDI, และ R%



รูปที่ 9 ภาพดัชนีพืชพรรณ แปลงที่ 1 และ แปลงที่ 2

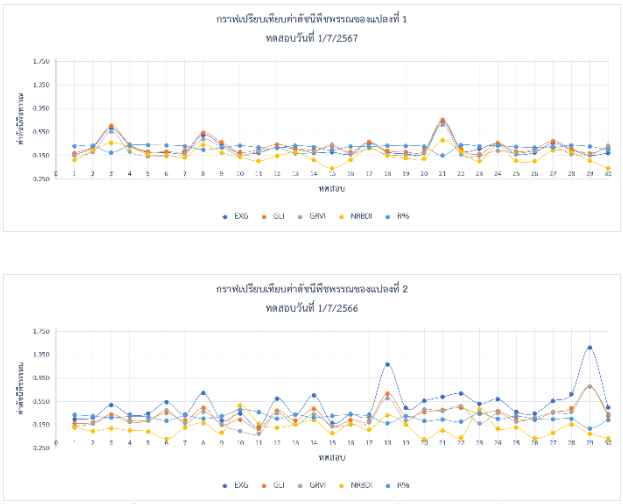
ทำการสุ่มต้นลำไยด้วยสายตาเป็นจำนวน 60 ต้นแบ่งเป็นแปลงที่ 1 จำนวนต้นลำไย 30 ต้น และ แปลงที่ 2 จำนวนต้นลำไย 30 ต้น เพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการวิจัย



Plan 1 Plan 2

รูปที่ 10 ตัวอย่างต้นลำไยของแต่ละแปลง

4.3) ผลการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณ



รูปที่ 11 ตัวอย่างดัชนีพืชพรรณของแปลงที่ 1 และแปลงที่ 2

แปลงที่ 1

<u>วันที่ 1 กรกฎาคม 2566</u>

• ค่าเฉลี่ย ExG เท่ากับ 0.274 ช่วงของดัชนีตั้งแต่ -0.050 ถึง 0.220 และมากกว่า 0.220

• ค่าเฉลี่ย GLI เท่ากับ 0.305 ช่วงของดัชนี ตั้งแต่ 0.058 ถึง 0.240 และมากกว่า 0.240

• ค่าเฉลี่ย GRVI เท่ากับ 0.243 ช่วงของดัชนี ตั้งแต่ -0.070ถึง 0.196 และมากกว่า 0.196

• ค่าเฉลี่ย NRBDI เท่ากับ 0.160 ช่วงของดัชนี ตั้งแต่ -0.062 ถึง 0.201 และมากกว่า 0.201

• ค่าเฉลี่ย R% เท่ากับ 0.293 ช่วงของดัชนี ตั้งแต่ 0.292 ถึง 0.369 และมากกว่า 0.369

แปลงที่ 2

<u>วันที่ 1 กรกฎาคม 2566</u>

• ค่าเฉลี่ย ExG เท่ากับ 0.493 ช่วงของดัชนี ตั้งแต่-0.100 ถึง0.340และมากกว่า 0.340

• ค่าเฉลี่ย GLI เท่ากับ 0.320 ช่วงของดัชนี ตั้งแต่-0.060 ถึง0.220และมากกว่า 0.220

• ค่าเฉลี่ย GRVI เท่ากับ 0.282 ช่วงของดัชนี ตั้งแต่-0.070 ถึง0.200และมากกว่า 0.200

• ค่าเฉลี่ย NRBDI เท่ากับ 0.097 ช่วงของดัชนี ตั้งแต่-0.060 ถึง0.160 และมากกว่า 0.160

• ค่าเฉลี่ย R% เท่ากับ 0.275 ช่วงของดัชนี ตั้งแต่ 0.290ถึง0.370และมากกว่า 0.370

1.) แปลงที่ 1

วันที่	ค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณ				
	EXG	GLI	GRVI	NRBDI	R%
1/7/2566	0.274	0.305	0.243	0.160	0.293
8/7/2566	0.382	0.258	0.199	0.139	0.306
15/7/2566	0.612	0.389	0.309	0.229	0.280
22/7/2566	0.536	0.346	0.236	0.299	0.312
30/7/2566	0.405	0.270	0.208	0.147	0.304
5/8/2566	0.403	0.269	0.211	0.117	0.299
12/8/2566	0.358	0.244	0.190	0.123	0.307

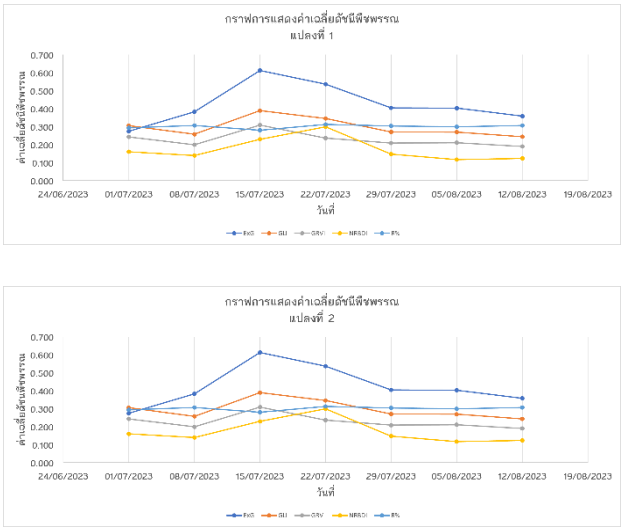
รูปที่ 12 ค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณแปลงที่ 1

2.) แปลงที่ 2

วันที่	ค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณ				
	ExG	GLI	GRVI	NRBDI	R%
1/7/2566	0.493	0.320	0.282	0.097	0.275
8/7/2566	0.475	0.308	0.260	0.132	0.284
15/7/2566	0.390	0.264	0.233	0.072	0.287
22/7/2566	0.525	0.350	0.304	0.121	0.270
30/7/2566	0.456	0.297	0.238	0.170	0.293
5/8/2566	0.442	0.289	0.255	0.107	0.280
12/8/2566	0.355	0.243	0.237	0.016	0.279

รูปที่ 13 ค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณแปลงที่ 2

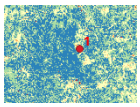
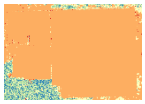
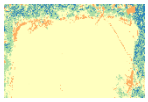
จากข้อมูลในตารางเมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาพล็อตกราฟในแต่ละช่วง พบว่า กราฟมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน จากกราฟพิจารณาดัชนี GLI มีค่าต่ำสุดในวันที่ 1 กรกฎาคม 2567 จึงได้มีการใส่ปุ๋ยและลดน้ำทำให้ค่าสูงขึ้นในวันที่ 8 กรกฎาคม 2567 หลังจากนั้นค่าลดลงเนื่องจากการหยุดใส่ปุ๋ยและน้ำ เพราะผลของลำไยเริ่มขยายใหญ่ขึ้นจะทำให้ผลลำไยแตก



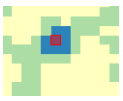
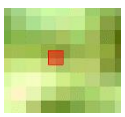
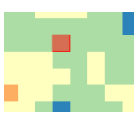
รูปที่ 14 ค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณแปลงที่ 1 และแปลงที่ 2

4.4) ผลจากการนำดัชนีพืชพรรณไปจำแนกวัตถุ

จากดัชนีพืชพรรณสามารถจำแนกวัตถุได้เป็น 2 ประเภท คือ สิ่งที่เป็นพืชพรรณและสิ่งที่ไม่เป็นพืชพรรณ โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างค่าดัชนีพืชพรรณ GLI ได้แก่ ต้นลำไย หลังคา พื้นดิน และพื้นที่น้ำ

ลำดับ	ลักษณะพื้นที่	ภาพตัดแก้เชิงเลข	ภาพดัชนี GLI	ค่าดัชนี GLI
1	ต้นลำไย			0.288
2	หลังคา			0.006
3	พื้นดิน			0.002
4	พื้นที่น้ำ			0.068

จากการจำแนกต้นลำไย พบว่า ค่าดัชนีพืชพรรณเป็นค่าที่แสดงค่าโทนสีเขียวของพืชจากผิวใบ จากการคำนวณค่าสี RGB (Red Green Blue)ของภาพถ่ายทางอากาศยานไร้คนขับ จากการคำนวณดัชนีพืชพรรณถูกนำมาใช้ในการดูค่าโทนสีเขียวของพืชจากผิวใบ เพื่อคาดการณ์ในการติดตามการเจริญเติบโตของต้นลำไย และความเขียวของใบ โดยค่าที่ได้จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับโทนสีและความสมบูรณ์ของใบต้นลำไย

ลำดับ	ลักษณะสีใบลำไย	ภาพตัดแก้เชิงเลข	ภาพดัชนี GLI	ค่าดัชนี GLI
1	สีน้ำเงิน			0.362
2	สีเขียว			0.228
3	สีเหลือง			0.152

5.บทสรุปและอภิปรายผล

ผลจากการติดตามการเจริญเติบโตและความอุดมสมบูรณ์ของต้นลำไยด้วยการประยุกต์ใช้ UAV ในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศยานไร้คนขับและประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายด้วยแพลตฟอร์ม(Agisoft Metashape : Agisoft) และ (QGIS version 3.34.0) เพื่อหาค่าดัชนีพืชพรรณพร้อมทั้งคำนวณหาค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของ ต้นลำไยที่สุ่มเลือกมา 60 ต้นเพื่อใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างในการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของต้นลำไยในช่วงการให้ผลผลิต และนำมาพล็อตกราฟบนโปรแกรม Microsoft Excel ผลลัพธ์ที่ได้เรียกว่ากราฟชีพลักษณ์พืชพรรณ แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงพฤกษศาสตร์ของต้นลำไยเมื่อพิจารณากราฟที่ได้รับจากภาพถ่ายละเอียดสูงด้วย UAV พบว่าทั้ง 5 ดัชนี (ExG,GLI,GRVI,NRBDI,R%) มีความสอดคล้องกับการเจริญเติบโตของต้นลำไยและมีการเพิ่มขึ้นของกราฟตามลำดับจนถึงจุดสูงสุดที่มีการเก็บเกี่ยวผลผลิต และจึงลดต่ำลงตามค่าความเขียวของใบต้นลำไยในฤดูเก็บเกี่ยวเพราะใบเริ่มร่วง อย่างไรก็ตามสังเกตุกราฟชีพลักษณ์พืชพรรณที่ได้รับจากค่าดัชนี

(ExG,GLI,GRVI,NRBDI,R%) ทั้ง 5 ดัชนี พบว่าเมื่อนำค่าดัชนีและกราฟชีพลักษณ์ของแปลงที่หนึ่งและสองมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่าค่าดัชนีพืชพรรณของแปลงที่หนึ่งนั้นจะมีค่ามากกว่าแปลงที่สอง เกิดจากการได้รับน้ำในปริมาณที่ต่างกันเพราะแปลงที่หนึ่งนั้นได้รับปริมาณน้ำสัปดาห์ละ 2 ครั้ง/ต้น แต่แปลงที่สองนั้นมีปริมาณน้ำที่ไม่เพียงพอ จึงทำให้ค่าดัชนีทั้ง 5 ดัชนี และกราฟชีพลักษณ์ของแปลงที่หนึ่งนั้นสูงกว่าแปลงที่สองอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากแปลงที่หนึ่งนั้นมีความอุดมสมบูรณ์มากกว่าแปลงที่สอง จึงทำให้ได้ผลผลิตรวมของทั้งสองสวนในปี 2566 ประมาณ 23,043 กิโลกรัม หรือคิดเป็นเงินประมาณ 530,000 บาท ซึ่งปี 2565 ของทั้งสองแปลงนั้นได้ผลผลิตเพียงแค่ 4,000 กิโลกรัม หรือคิดเป็นเงินประมาณ 40,000 บาท ปี 2566 ได้ผลผลิตมากกว่า ปี 2565

จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ยังสามารถแก้ไขเฉพาะจุดได้เช่นจากภาพในข้างต้นจะเห็นได้ว่า มีความเขียวของใบที่ต่างกันบางจุดมีความเขียวมากบางจุดมีความเขียวน้อยทำให้ทราบว่าจุดไหนควรใส่ปุ๋ยหรือควรให้น้ำ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา สำหรับการสนับสนุนเครื่องมือสำรวจ และทรัพยากรสำหรับใช้ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า, 2565

[2] จิรวัฒน์ จันทองพูน และคณะผู้จัดทำ (2566) ได้ประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับในการติดตามยางพารา,การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28 วันที่ 24-26 พฤษภาคม 2566 จ.ภูเก็ต

[3] ภูมิพัฒน์ อุ่นบ้าน และคณะผู้จัดทำ (2565) ได้ทำการประเมินความสอดคล้องของข้อมูลภาพถ่ายรายละเอียดสูงด้วยอากาศยานไร้คนขับและภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 เพื่อติดตามการเจริญเติมโตของข้าว

[4] การปลูกลำไย สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ https://eto.ku.ac.th/neweto/ebook/plant/tree_fruit/puklamyai.pdf

การศึกษาเปรียบเทียบเทคโนโลยีสำรวจ เพื่อการพัฒนาแผนที่โครงการ

Comparative study of surveying technology for topographic map development

พงศกร ดุษฎีคุณากร[1]*เกษมสันต์ ไชโย[2] อภิวัฒน์ ชัยเรือง[3] กัญชพร หมื่นคำยอง[4]

[1,2,3,4] นิสิตปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

**Corresponding author; E-mail address: 63102237@up.ac.th*

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีในอดีตยังไม่ก้าวหน้าพอที่จะระบุตำแหน่งในการทำแผนที่อย่างแม่นยำ ต่อมามีการวิจัยและพัฒนาเครื่องมือสำรวจที่มีความสามารถมากขึ้น ทำให้มีการนำมาใช้ในการทำแผนที่ได้อย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบัน แต่ยังไม่มีข้อมูลใดที่สามารถระบุได้ว่าเครื่องมือสำรวจชนิดใดที่มีค่าพิกัดตำแหน่งที่แม่นยำที่สุด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลในการทำแผนที่ โดยใช้เครื่องมือดาวเทียมรับส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่ง เครื่องมือระบบ GPS แบบพกพา เครื่องมือสแกน 3 มิติ และอากาศยานไร้คนขับ โดยนำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบความแม่นยำของค่าพิกัดตำแหน่ง จากการลงพื้นที่สำรวจ ณ ลานจอดรถคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา กำหนดจุดพิกัดตำแหน่งอ้างอิง จากเครื่องมือดาวเทียมรับส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่งเป็นตัวแปรควบคุม และเครื่องมือระบบ GPS แบบพกพา เครื่องมือสแกน 3 มิติ และอากาศยานไร้คนขับเป็นตัวแปรต้น วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมเฉพาะของเครื่องมือสำรวจแต่ละชนิด นำค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้ตรวจสอบวงรอบโดยใช้โปรแกรม QGIS และหาผลต่างค่าความคลาดเคลื่อน MAE MAPE RMSE และ d นำค่าพิกัดตำแหน่งของเครื่องมือสำรวจมาเปรียบเทียบความถูกต้องและความแม่นยำโดยใช้ค่าพิกัดตำแหน่งจากเครื่องมือดาวเทียมรับส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่งเป็นเกณฑ์ ผลการวิจัยในครั้งนี้พบว่า เครื่องมือสำรวจที่สามารถระบุค่าพิกัดตำแหน่งได้อย่างถูกต้องและมีความแม่นยำสูงสุดในการทำแผนที่ ได้แก่ เครื่องมือสแกน 3 มิติ อากาศยานไร้คนขับ และเครื่องมือระบบ GPS แบบพกพา ตามลำดับ

คำสำคัญ : เครื่องสแกน 3 มิติ,อากาศยานไร้คนขับ,แผนที่

Abstract

The technology in the past was not advanced enough to accurately determine positions for mapping. Subsequently, research and development of more capable surveying tools have led to their widespread use in cartography today. However, there is still no data identifying the most accurate surveying tool. This research aims to collect mapping data using Global Navigation Satellite System (GNSS), handy GPS lite, 3D scanner and Unmanned Aerial Vehicle (UAVs). The collected data is then examined for the accuracy of position coordinates for mapping. The survey was conducted at the Faculty of Engineering parking lot, University of Phayao. The reference position coordinates were determined by Global Navigation Satellite System (GNSS) coordinate transmission tools as control variables, and handy GPS lite, 3D scanner and Unmanned Aerial Vehicle (UAVs). used as independent variables. The data was analyzed using specialized software for each type of surveying tool, and the position coordinate values were validated using QGIS software to calculate the differences in accuracy MAE, MAPE, RMSE and d. The position coordinates obtained from each surveying tool were compared for accuracy and precision using the position coordinates from Global Navigation Satellite System (GNSS) coordinate transmission tools as the criterion. The research findings indicate that the surveying tools that can accurately and most precisely determine position coordinates for mapping are, in order, 3D scanner, Unmanned Aerial Vehicle (UAVs), and handy GPS lite respectively.

Keywords: 3D scanner, Unmanned Aerial Vehicle (UAVs), map

1.คำนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

แผนที่มีความสำคัญ คือ เป็นเครื่องมือทางภูมิศาสตร์ที่ช่วยในการดำเนินชีวิตตั้งแต่อดีตที่ใช้แสดงข้อมูลของโลกบนพื้นที่ราบ โดยอาศัยการสำรวจ การจัดเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ ตำแหน่งรายละเอียดต่างๆ ที่ปรากฏบนพื้นผิวของโลก ประกอบด้วยสิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น นำมาลงในแบบด้วยขนาดย่อส่วนหรือตามมาตราส่วน ที่เหมาะสม แล้วนำมาเขียนลงกระดาษแผ่นราบ จะแสดงบนแผนที่โดยใช้สี รูปร่างต่างๆ ที่เป็นสัญลักษณ์ เครื่องหมาย และชนิดลายเส้นแทนสิ่งที่อยู่บนพื้นผิวโลก มาอ้างอิงกับระบบพิกัดที่ใช้ในการสำรวจ ทำให้แผนที่มีความถูกต้องมากขึ้นทั้งทางตำแหน่ง ระยะทาง และทิศทาง

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสำรวจทำแผนที่ ได้พัฒนาเครื่องมือ อุปกรณ์ และโปรแกรมสำเร็จรูปที่ทันสมัยมากยิ่งขึ้น ในการทำงานวิศวกรรมสำรวจการทำแผนที่ โดยนำเทคโนโลยีสารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจ บันทึกและประมวลผล เป็นข้อมูลรูปแบบแผนที่ที่มีความถูกต้องทางพิกัดตำแหน่ง

มาใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดเวลาในการทำงาน และสามารถโอนถ่ายข้อมูลที่ได้จากการสำรวจกับคอมพิวเตอร์ ทำให้กระบวนการผลิตแผนที่มีเทคนิควิธีการที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบหรือเขียนแบบ และสามารถตรวจสอบข้อมูลข้อผิดพลาดในสนามพื้นที่จริง

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้ คณะผู้จัดทำจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการเปรียบเทียบเทคโนโลยีสำรวจ เพื่อการพัฒนาแผนที่โครงการ ที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจ บันทึก และประมวลผล โดยการนำเครื่องมือระบบ GPS แบบพกพา เครื่องเก็บข้อมูล 3 มิติ อากาศยานไร้คนขับ มาเก็บข้อมูลค่าพิกัดตำแหน่ง และภาพเสมือนจริงเพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาทำการเปรียบเทียบ กับเครื่องมือดาวเทียมรับส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่ง โดยใช้โปรแกรม ดังต่อไปนี้ Agisoft Metashape , Autodesk AutoCAD , Autodesk Recap Pro , Quantum GIS (QGIS) , Microsoft Excel แอพพลิเคชั่น Handy GPS 360 lite และ PIX 4D capture Pro ในการจัดเก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และการแสดงผลที่ได้จากการสำรวจทำแผนที่โครงการ ทำให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือทางค่าพิกัดตำแหน่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อเก็บข้อมูลการทำแผนที่โครงการ โดยใช้เครื่องมือสำรวจเทคโนโลยีสารสนเทศ

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำค่าพิกัดตำแหน่ง โดยใช้เครื่องมือสำรวจเทคโนโลยีสารสนเทศ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 สถานที่ ลานจอดรถ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

1.3.2 เครื่องมือดาวเทียมรับส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่ง ใช้ในการระบุข้อมูลค่าพิกัดตำแหน่ง และจุดอ้างอิง

1.3.3 เครื่องมือระบบ GPS แบบพกพา ใช้เพื่อแสดงหมุดพิกัดตำแหน่ง

1.3.4 เครื่องเก็บข้อมูล 3 มิติ ใช้เพื่อสร้างสำเนาข้อมูลในรูปแบบ 3 มิติ

1.3.5 อากาศยานไร้คนขับ ใช้บินสำรวจ สร้างสำเนาข้อมูลแบบ 3 มิติ และทำหมุดพิกัดตำแหน่ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ผู้วิจัยสามารถจัดเก็บข้อมูลการทำแผนที่โครงการ โดยใช้เครื่องมือสำรวจเทคโนโลยีสารสนเทศได้

1.4.2 ผู้วิจัยสามารถสร้างแผนที่โครงการ โดยใช้เครื่องมือสำรวจเทคโนโลยีสารสนเทศได้

1.4.3 ผู้วิจัยสามารถเปรียบเทียบความแม่นยำค่าพิกัดตำแหน่ง โดยใช้เครื่องมือสำรวจเทคโนโลยีสารสนเทศได้

2.ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

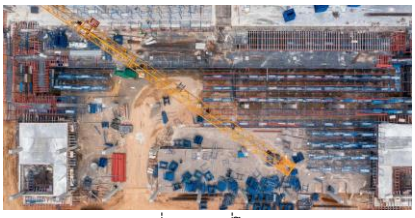
จากการศึกษาเปรียบเทียบเทคโนโลยีสำรวจ เพื่อการพัฒนาแผนที่โครงการ ในการจัดการงานสำรวจเก็บค่าพิกัดตำแหน่ง ณ ลานจอดรถ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา มีองค์ความรู้วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎี

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 แผนที่โครงการ

การนำเอารูปภาพสิ่งต่างๆ บนพื้นผิวโลก (Earth' surface) มาย่อส่วนให้เล็กลง แล้วนำมาเขียนลงกระดาษแผ่นราบ สิ่งต่างๆ บนพื้นโลกประกอบไปด้วย สิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (nature) และสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น (manmade) จากการสำรวจเก็บข้อมูล โดยใช้ Ground control point กำหนดจุดอ้างอิงพิกัดตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนที่โครงการ
ที่มา https://shorturl.asia/fAjVm

2.1.2 งานสำรวจภาพถ่ายทางอากาศ

ภาพถ่ายเพื่องานสำรวจถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ภาพถ่ายเพื่องานสำรวจระบบ Metric ใช้คุณสมบัติพิกัดจากจุดร่วม เพื่อกำหนดวัตถุจากการวัดค่าจากจุดใกล้เคียง และภาพถ่ายเพื่องานสำรวจระบบ Interpretive ถ่ายภาพ และต่อเติมโครงร่างภูมิประเทศโดยใช้สิ่งที่โดดเด่น เช่น รูปร่าง เงา และโครงร่างจากภาพถ่าย แทนที่จะเป็นจุดร่วม ทั้ง 2 กรณี โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะทำการรวมภาพถ่ายหลายๆภาพ เพื่อสร้างเป็นโมเดล 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 2



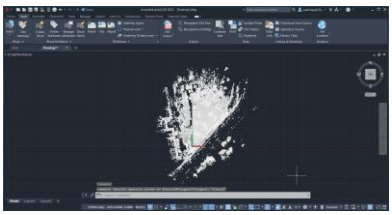
รูปที่ 2 งานสำรวจภาพถ่ายทางอากาศ
ที่มา https://shorturl.asia/ZcxTU

2.1.3 Point Cloud

คือ การแสดงกลุ่มของจุดในรูปแบบ 3 มิติ โดยใช้เครื่องมือเลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser Scanner) หรือไลดาร์ (Lidar) โดยการปล่อยเลเซอร์

ออกจากเครื่องรับ เมื่อเลเซอร์กระทบกับวัตถุจะสะท้อนกลับมายังเครื่องรับ ทำให้เกิดเป็นรูปร่างของวัตถุนั้น ดังแสดงในรูปที่ 3

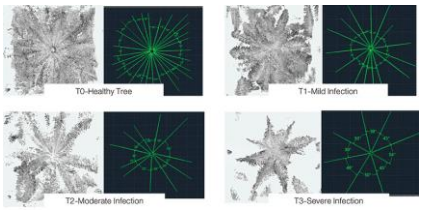
ข้อจำกัดของเลเซอร์สแกนเนอร์ คือ ไม่สามารถจะทะลุผ่านผิววัตถุที่ตกกระทบ การปฏิบัติงาน จะต้องย้ายตำแหน่งของเครื่องรับเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนสมบูรณ์



รูปที่ 3 Point cloud

2.1.4 Terrestrial Laser Scan (TLS)

เป็นเทคโนโลยีที่สามารถเห็นแบบจำลองเสมือนจริงจากการสร้างแบบจำลอง 3 มิติของวัตถุเป้าหมาย มาประยุกต์ใช้ได้กับการเก็บข้อมูลวัตถุขนาดเล็ก ไปจนถึงสถานที่หรือสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ โดยหลักการทำงาน คือ การยิงแสงเลเซอร์ออกมาเมื่อกระทบวัตถุก็จะสะท้อนกลับไปตัวกล้อง จากนั้นกล้องก็จะทำการคำนวณเวลาไปกลับของคลื่น โดยสัญญาณที่ส่งกลับมาจะถูกบันทึกในลักษณะของค่าพิกัดสามมิติ และข้อมูลจะถูกส่งไปจัดเก็บที่คอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังสามารถถ่ายรูปสถานที่จริงเพื่อนำมาซ้อนทับกับค่าพิกัดสามมิติ ดังแสดงในรูปที่ 4



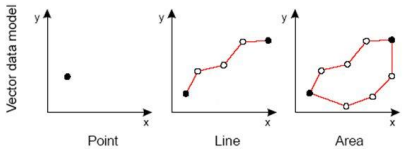
รูปที่ 4 Terrestrial Laser Scan (TLS)
ที่มา https://shorturl.asia/TQdqa

2.1.5 ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data)

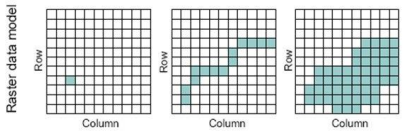
ข้อมูลเชิงพื้นที่ระดับพื้นฐานมีอยู่ 2 ประเภท ได้แก่

1.ข้อมูลเวกเตอร์ (Vector) คือ ข้อมูลที่ประกอบไปด้วยจุดพิกัดทางแนวราบ (X,Y) หรือแนวดิ่ง (Z) โดยใช้องค์ประกอบดิจิทัล เช่น จุด เส้น และรูปหลายเหลี่ยมเพื่อแสดงลักษณะทางกายภาพ เช่น ถนน แม่น้ำ หรืออาณาเขตเมือง มีการใช้ข้อมูลเวกเตอร์อย่างแพร่หลาย เช่น สำหรับการทำแผนที่ ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้ง และการนำทาง [4] ดังแสดงในรูปที่ 5

2.ข้อมูลแรสเตอร์ (Raster) คือ ข้อมูลในรูปแบบตารางที่มีเซลล์ขนาดเท่าๆ กัน โดยแต่ละเซลล์จะแสดงข้อมูลของตำแหน่งนั้นๆ เช่น อุณหภูมิ หรือคุณภาพดิน ข้อมูลจะซ้อนอยู่บนรูปภาพของแผนที่ อีกทั้งยังสามารถใช้ข้อมูลแรสเตอร์เพื่อสร้างโมเดลดิจิทัลที่แสดงระดับความสูง [4] ดังแสดงในรูปที่ 6



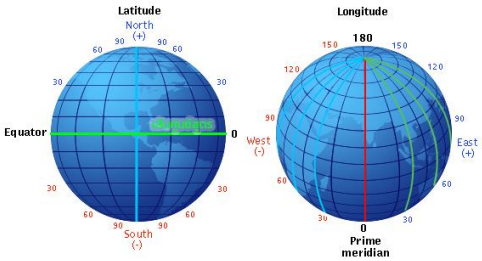
รูปที่ 5 ข้อมูลเวกเตอร์ (Vector)



รูปที่ 6 ข้อมูลแรสเตอร์ (Raster)
ที่มา https://shorturl.asia/ronAL

2.1.6 UTM

เป็นระบบระบุพิกัดตำแหน่งบนพื้นโลก เหมือนกับ Lat-Lon (ละติจูด-ลองติจูด) ซึ่งเป็นการบอกองศาเหนือ องศาตะวันออก UTM เป็นระบบในการแบ่งโลกออกเป็น 60 โซน ช่วงละ 6 องศาของลองติจูด เป็นเส้นตรงที่ตัดวงกลมตามแนวขวางกลางแผ่นโลกที่มีความกลมรี ให้เป็นสี่เหลี่ยมเพื่อนำมาสร้างให้เป็นแผนที่ในกระดาษได้ แล้วจะใช้ชุดเลขพิกัด Northing (เหนือ ตามแนวตั้ง) และ Easting (ตะวันออก ตามแนวนอน) บอกตำแหน่งโดย E N จะมีค่าเทียบเท่าหน่วยเมตร ซึ่งประเทศไทยอยู่ในโซน 47 และ 48 ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 UTM
ที่มา https://shorturl.asia/3rBHq

2.1.7 ค่าความคลาดเคลื่อน (static error)

คือ ผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่แท้จริง โดยทั่วไปแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ถ้าค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากแสดงว่าการวัดนั้นมีความแม่นยำหรือความถูกต้องสูง

2.1.7.1 การหาค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percentage Error: MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t}\right| \times 100$$

2.1.7.2 การหาค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ความคลาดเคลื่อน (Mean - Absolute Error: MAE)

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|Y_t - \hat{Y}_t\right|$$

2.1.7.3 การหาค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left(\hat{Y}_t - Y_t\right)^2}$$

จากการคำนวณค่าที่ได้ ถ้าค่า RMSE ต่ำ แสดงว่าค่าจากการสำรวจมีความใกล้เคียงกับค่าจริง และมีความคลาดเคลื่อนน้อย

กำหนดให้ $\hat{Y}_t$ คือ ค่าพิกัดจากการสำรวจ , Y_t คือ ค่าพิกัดอ้างอิง , n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.1.7.4 การคำนวณระยะทางจากพิกัด

เป็นรูปแบบจุดสองจุด สามารถหาระยะทางระหว่างจุดสองจุดนี้ได้ โดยใช้ทฤษฎีพีทาโกรัส เพื่อหาความยาวของด้านที่สาม [3]

$$d = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$$

เครื่องมือสำรวจ

2.1.8 เครื่องมือดาวเทียมรับส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่ง

คือ ระบบนำทางด้วยดาวเทียม โดยการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวรับสัญญาณ เพื่อประมวลผลเชิงตำแหน่ง ณ จุดที่อุปกรณ์รับสัญญาณตั้งอยู่ โดยการสร้างโครงข่ายสถานีอ้างอิงพิกัด ค่าระดับ และเวลามาตรฐานแบบรับสัญญาณดาวเทียมต่อเนื่องถาวร จะส่งสัญญาณค่าปรับแก้ในรูปแบบโครงข่าย ทำให้ได้ค่าประมวลผลเชิงตำแหน่งที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงในเวลารวดเร็ว ลักษณะเครื่องมือดาวเทียมรับส่งพิกัดตำแหน่งเป็นดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 เครื่องมือดาวเทียมรับส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่ง
ที่มา https://shorturl.asia/6poBY

2.1.9 เครื่องมือระบบ GPS แบบพกพา

เครื่องมือระบบ GPS แบบพกพา ใช้งานในรูปแบบ Application (แอพพลิเคชั่น) Handy GPS 360 lite บนโทรศัพท์มือถือที่ออกแบบมาเพื่อใช้งานกลางแจ้ง เช่น การสำรวจ, การเดินป่า, การปั่นจักรยาน, การกำหนดเส้นทาง และการกำหนดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ระบบ UTM เข้ามาช่วยในการหาข้อมูลพิกัดละติจูดและพิกัดลองติจูด การทำงานในหน้าแอพพลิเคชั่นดังแสดงในรูปที่ 9 และ 10



รูปที่ 9 การทำงานในหน้าแอพ



รูปที่ 10 icon app Handy GPS 360 lite
ที่มา https://shorturl.asia/MEWhN

2.1.10 เครื่องเก็บข้อมูล 3 มิติ

ใช้เพื่อเก็บแบบ ระยะ ขนาด สี ของสิ่งก่อสร้าง โดยนำมาสร้างเป็นโมเดล 3 มิติ ที่มีขนาดถูกต้องในระดับมิลลิเมตร สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ต่อยอดในงานออกแบบ งานปรับปรุงอาคาร งานสร้างอาคารใหม่ หรืองานสร้างส่วนต่อขยายของงานก่อสร้างใหม่ ให้มีความสัมพันธ์กับอาคารเดิม โดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจ 3D Point Cloud model เป็นจุดอ้างอิงของงานที่ทำการศึกษา จากนั้น Import 3D CAD model เข้าไปวางในบริเวณที่ต้องการได้ ลักษณะเครื่องมือเก็บข้อมูล3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 เครื่องเก็บข้อมูล 3 มิติ
ที่มา https://shorturl.asia/PQB2b

2.1.11 อากาศยานไร้คนขับ

เครื่องบินที่ไม่มีนักบินหรือผู้โดยสาร และสามารถขับเคลื่อนเป็นอิสระได้ทั้งหมดหรือได้แค่ในบางส่วน ถูกควบคุมโดยนักบินจากระยะไกล ใช้เพื่อการบันทึกภาพจากมุมมองที่ยากต่อการเข้าถึง ทั้งภาพมุมกว้าง และมุมสูง จึงทำให้ง่ายต่อการมองเห็น เป็นต้น [6] ลักษณะของอากาศยานไร้คนขับเป็นดังแสดงในรูปที่ 12



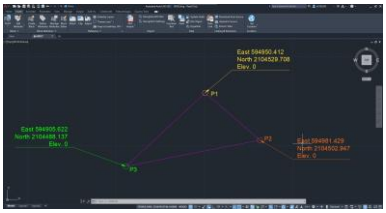
รูปที่ 12 อากาศยานไร้คนขับ
ที่มา https://shorturl.asia/lQrdN

โปรแกรม

2.1.12 Autodesk AutoCAD

AutoCAD สามารถรองรับการทำงานทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ ในงานออกแบบด้านวิศวกรรม สถาปัตยกรรม และอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นซอฟต์แวร์ที่มีขีดความสามารถสูงในการสร้างแบบจำลองสามมิติ

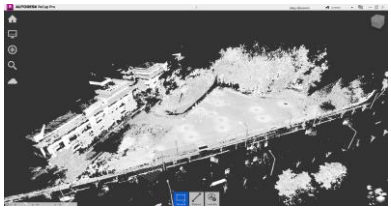
คุณสมบัติของ AutoCAD โดยคำสั่ง และเครื่องมือที่จะช่วยให้งานมีประสิทธิภาพ ในการประหยัดเวลาการทำงาน AutoCAD เป็นตัวเลือกที่ดีในงานที่มีความละเอียด และต้องการความแม่นยำสูง การทำงานของโปรแกรม เป็นดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 Autodesk AutoCAD

2.1.13 Autodesk Recap Pro

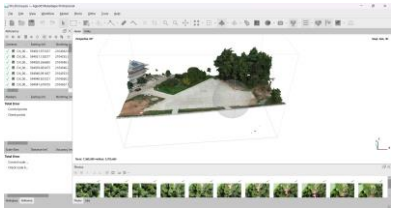
เป็นซอฟต์แวร์สแกน และประมวลผลข้อมูล โดยนำมาแปลงให้เป็น Point Cloud เพื่อการออกแบบสร้างแบบจำลอง 3 มิติที่มีรายละเอียดและคุณภาพสูง การสำรวจ วางแผน ก่อสร้างและปรับปรุงโครงการอาคารและโครงสร้างพื้นฐาน ช่วยลดข้อผิดพลาด สามารถสร้างแบบจำลอง 3 มิติได้อย่างละเอียด และรูปภาพจะถูกบันทึกไว้โดยอัตโนมัติ มีการประมวลผลที่ใช้ระยะเวลาน้อย การทำงานของโปรแกรม เป็นดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 Autodesk Recap Pro

2.1.14 Agisoft Metashape

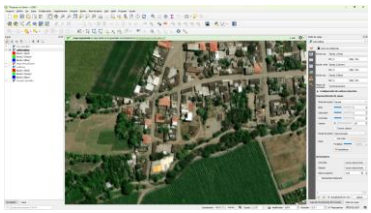
เป็นโปรแกรมทำภาพถ่ายทางอากาศ ใช้สำหรับทำภาพมุมสูงที่ถ่ายด้วยกล้องหลายตัวนำมาประกอบรวมกัน จนเกิดเป็นภาพถ่ายที่มีรายละเอียดของวัตถุ เช่น ตึก อาคาร รถยนต์ ต้นไม้ หรือสิ่งปลูกสร้างต่างๆ จะช่วยประมวลผลของวัตถุในภาพให้เกิดเป็นภาพ 3 มิติ และทำให้สามารถมองเห็นรายละเอียดได้ชัดเจน ในแบบมุมมอง 360 องศา ช่วยให้ได้ภาพถ่ายทางอากาศที่มีความละเอียดสูง และสามารถวัดระยะพื้นที่ได้อย่างแม่นยำเหมาะสำหรับใช้ในการทำแผนที่ 3 มิติ และยังสามารถช่วยลดเวลาในการทำงานได้ การทำงานของโปรแกรม เป็นดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 Agisoft Metashape

2.1.15 Quantum GIS (QGIS)

เป็นโปรแกรม Desktop GIS ประเภทหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการนำมาใช้จัดการข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์จัดอยู่ในกลุ่มซอฟต์แวร์รหัสเปิดที่ใช้งานง่าย ลักษณะการใช้งานเป็นแบบติดต่อกับผู้ใช้โดยใช้ภาพสัญลักษณ์ ซึ่งสะดวกต่อการใช้ ไม่ว่าจะเป็นการเรียกใช้ข้อมูลแบบภาพ ข้อมูลตาราง การแสดงผลตาราง การแสดงผลกราฟ ตลอดจนสามารถสืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และนำเสนอข้อมูลได้ในรูปแบบแผนที่ สามารถเรียกใช้ข้อมูลแสดงทิศทาง (Vector) และข้อมูลกริด (Raster) ในรูปแบบที่เป็นมาตรฐานแพร่หลาย [5] การทำงานของโปรแกรม เป็นดังแสดงในรูปที่ 16



รูปที่ 16 หน้าโปรแกรม QGIS
ที่มา https://shorturl.asia/r5KQD

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนัช สุขวิมลเสรี และปรียาพร โกษา (2557) ได้ศึกษาเพื่อประเมินความถูกต้องของพิกัดตำแหน่ง จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส โดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือน ผลการศึกษาพบว่า ค่าพิกัดตำแหน่งในทางราบและทางดิ่งที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส โดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือน และประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพให้ โดยค่าความถูกต้องอยู่ในระดับ 10 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ [1] ตัวอย่างงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 17



รูปที่ 17 ตัวอย่างงานวิจัยของธนัช สุขวิมลเสรี

พลปรีชา ชิดบุรี และคณะผู้จัดทำ (2565) ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับเพื่อการติดตามการเปลี่ยนแปลงของงานป้องกันทางลาดไหล่ : ผลการวิจัยพบว่า การประเมินความถูกต้องของการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับเทียบกับการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม GNSS แบบ RTK โดยค่า RMSE ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.118 เมตร สามารถประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับเป็นทางเลือกหนึ่งในการตรวจสอบ และติดตามการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่มีความลาดชันสูงสำหรับงานชลประทานได้ [2] ตัวอย่างงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 18



รูปที่ 18 ตัวอย่างงานวิจัยของพลปรีชา ชิดบุรี

มศวรรณ เสนาสวัสดิ์ และไพจิตร ผาวัน (2566) ได้ศึกษาความแม่นยำของวิธีการสำรวจแบบต่างๆ ผลการศึกษาพบว่า การใช้อากาศยานไร้คนขับในการวางผังมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด และมีค่าความคาดเคลื่อนเกินกว่าที่จะนำไปใช้งานในงานก่อสร้างอาคาร [3] ตัวอย่างงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 19



รูปที่ 19 ตัวอย่างงานวิจัยของมศวรรณ เสนาสวัสดิ์

3.วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยศึกษาความเป็นมาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงานวิจัยในหัวข้อ “การศึกษาเปรียบเทียบเทคโนโลยีสำรวจ เพื่อการพัฒนาแผนที่โครงการ”

3.2 สำรวจพื้นที่และวางแผนการทำงาน

ลงพื้นที่สำรวจเก็บข้อมูลในการศึกษางานวิจัย บริเวณลานจอดรถ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา โดยหาช่วงวัน และเวลาที่เหมาะสมในการดำเนินงาน เพื่อนำมาปรับใช้ในการวางแผนการดำเนินงาน ดังแสดงในรูปที่ 20



รูปที่ 20 พื้นที่การทำวิจัย

3.3 ดำเนินการปฏิบัติงาน

เก็บค่าพิกัดตำแหน่งบริเวณลานจอดรถ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา โดยกำหนดจุดพิกัดอ้างอิง (Ground control point) ดังแสดงในรูปที่ 21 เพื่อนำข้อมูลพิกัดตำแหน่งที่ได้มาใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลจากเครื่องมือสำรวจดังต่อไปนี้



รูปที่ 21 Ground control point

3.3.1 เครื่องมือดาวเทียมรับส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่ง

ใช้เครื่อง Spectra Precision SP60 ตั้งค่า Survey สร้าง Project ทำการตั้งชื่อ และ Zone ตั้งค่าสถานีฐาน Base และสำหรับเคลื่อนที่ Rover กรอกค่าความสูงของเครื่องรับส่งสัญญาณ เชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งสัญญาณเริ่มทำการวัดค่าพิกัดตำแหน่ง

3.3.2 เครื่องมือระบบ GPS แบบพกพา

ใช้แอพพลิเคชั่น Handy 360 lite ด้วยโทรศัพท์มือถือ ตั้งค่า UTM เลือก WGS84 พิกัดโซน 47Q กด Paused เพื่อเริ่มและกดหยุดเพื่อบันทึกข้อมูลพิกัดตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 22

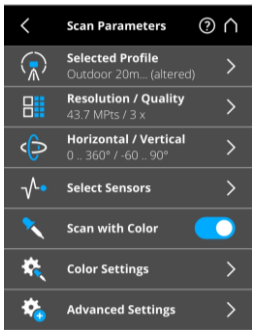


รูปที่ 22 การตั้งค่า Handy GPS 360 lite

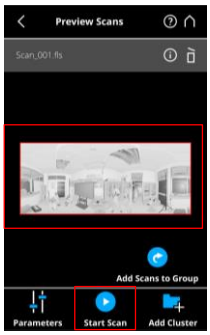
3.3.3 เครื่องเก็บข้อมูล 3 มิติ

เก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องเก็บข้อมูล 3 มิติ รุ่น Faro Focus M70 ทำการตั้งค่ากล้องโดยไปที่เมนู Manage เข้าไปที่ Projects/Clusters กด Add สร้าง Folder เลือก default Project.1 เปลี่ยน Parent Project ให้เป็น

No Parent Project และ lnital Scan No.1 เข้าไปที่ Parameters เลือก Selected Profile เลือก Outdoor 20 m. เข้าไปที่ Resolution ใช้เป็นแบบ ¼ โดยให้ Quality เป็นแบบ x3 ดังแสดงในรูปที่ 23 จากนั้นทำการตั้งค่าลูกน้ำ ให้เป็นสีเทา แล้วกลับมายังหน้าการทำงานหลัก กดเครื่องหมาย Start Scan ดังแสดงในรูปที่ 24 เพื่อเริ่มทำการบันทึก เมื่อกดเครื่องหมาย Start Scan เครื่องหมายจะเปลี่ยนเป็นสีแดง หมายความว่ากำลังทำการบันทึกอยู่ เมื่อบันทึกข้อมูลเสร็จสิ้นจะมีรูปภาพปรากฏ ดังแสดงในรูปที่ 24



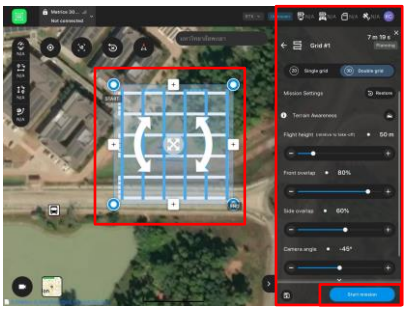
รูปที่ 23 การตั้งค่า Parameter



รูปที่ 24 ผลการสแกน

3.3.4 อากาศยานไร้คนขับ

เก็บข้อมูลโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Phantom 4 Pro V2.0 เชื่อมต่ออากาศยานไร้คนขับเข้ากับแอพพลิเคชั่น PIX 4D capture Pro โดยตั้งค่าการบินเป็นแบบ 3D (Double grid) Fight height อยู่ที่ 50 เมตร Front overlap อยู่ที่ 80% Side overlap อยู่ที่ 60% และCamera angle จะอยู่ที่ -45° กำหนดขอบเขต (grid) รอบพื้นที่ที่ต้องการเก็บข้อมูล เมื่อทำการตั้งค่าเสร็จสิ้นแล้ว กด Start mission เพื่อเริ่มทำการบินสำรวจ และบันทึกข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 25



รูปที่ 25 การตั้งค่าอากาศยานไร้คนขับ

3.4 ประมวลผลข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่ดำเนินการปฏิบัติงานจริง การประมวลผลข้อมูล จะต้องใช้โปรแกรมเฉพาะของแต่ละอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

3.4.1 เครื่องมือดาวเทียมรับส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่ง

นำข้อมูลพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการลงพื้นที่ มา Plot จุดพิกัดตำแหน่งในโปรแกรม Autodesk AutoCAD และ Quantum GIS (*QGIS)*

3.4.2 เครื่องมือระบบ GPS แบบพกพา

นำข้อมูลพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการลงพื้นที่สำรวจด้วยแอพพลิเคชั่น Handy GPS lite มา Plot จุดพิกัด ในโปรแกรม Autodesk AutoCAD และ Quantum GIS (QGIS)

3.4.3 เครื่องเก็บข้อมูล 3 มิติ

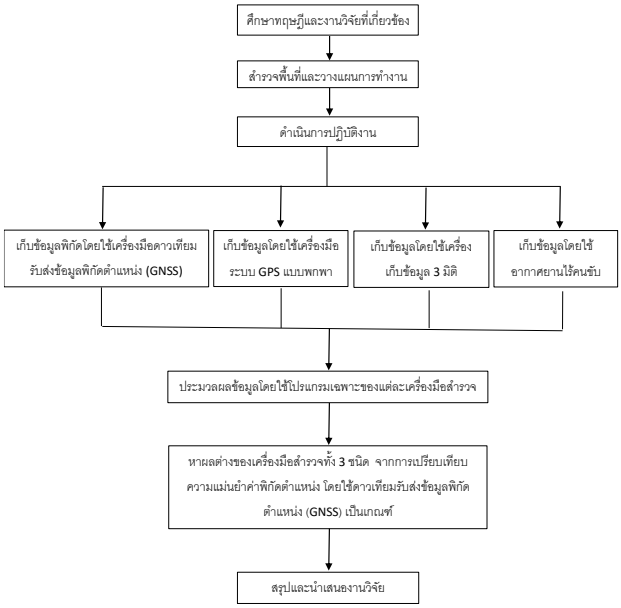
นำข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่สำรวจมาประมวลผลโดยใช้โปรแกรม Autodesk Recap Pro ส่งออกข้อมูลเป็น Point Cloud และนำค่าพิกัดที่ได้มา Plot จุดพิกัดในโปรแกรม Autodesk AutoCAD

3.4.4 อากาศยานไร้คนขับ

นำข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่สำรวจมาประมวลผลโดยใช้โปรแกรม Agisoft Metashape ส่งออกข้อมูลเป็น Point Cloud และนำค่าพิกัดที่ได้มา Plot ในโปรแกรม Autodesk AutoCAD

3.5 เปรียบเทียบความแม่นยำค่าพิกัดตำแหน่ง

ทำการคำนวณหาผลต่างระหว่างค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้ของเครื่องมือระบบ GPS แบบพกพา เครื่องเก็บข้อมูล 3 มิติ และอากาศยานไร้คนขับ เป็นค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลข้อมูล กับค่าพิกัดตำแหน่งของเครื่องมือดาวเทียมรับส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่ง เป็นค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิง นำค่าความคลาดเคลื่อน MAE MAPE RMSE มาเปรียบเทียบความแม่นยำ โดยใช้ค่าพิกัดตำแหน่งของเครื่องมือดาวเทียมรับส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่งเป็นเกณฑ์ โดยสรุปรวมแผนการทำงานเป็นรูปแบบของแผนผังการดำเนินงานดังแสดงในรูปที่ 26



รูปที่ 26 แผนผังการทำงาน

ตารางที่ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆของเครื่องมือสำรวจ

| จุดตำแหน่ง | พิกัดจาก GNSS | | | ความคลาดเคลื่อน (จากพิกัดที่ทำให้จริงในพื้นที่) | | |

4.ผลการวิจัย

4.1 ค่าพิกัดตำแหน่ง

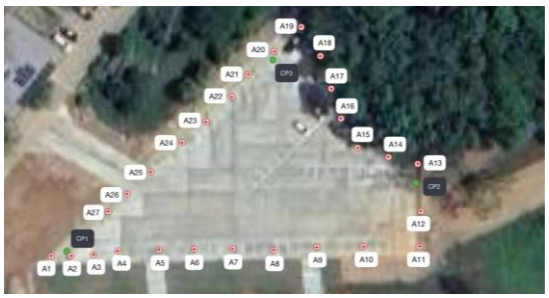
ลงพื้นที่สำรวจและเก็บข้อมูลค่าพิกัดตำแหน่งในการทำแผนที่โครงการด้วยเครื่องมือดาวเทียมรับส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่ง เครื่องมือระบบ GPS แบบพกพา เครื่องมือเก็บข้อมูล 3 มิติ และอากาศยานไร้คนขับ นำข้อมูลค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้มาประมวลผลผ่านโปรแกรมเฉพาะ และบันทึกข้อมูล

4.2 ประมวลผลผ่านโปรแกรม QGIS

บันทึกค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรมเฉพาะของเครื่องมือสำรวจทั้ง 4 ชนิด ไว้ในโปรแกรม Microsoft Excel โดยใช้สกุลไฟล์ .CSV นำข้อมูลที่บันทึกไว้มาเปรียบเทียบกับแผนที่โลกที่ใช้งานจริงในระดับสากล โดยอ้างอิงจากทฤษฎีเรื่องระบบการระบุพิกัดตำแหน่งพื้นที่โลก UTM ตำแหน่งของเครื่องมือสำรวจที่ได้จะแสดงเป็นสัญลักษณ์ในรูปแบบต่างๆ

4.3 ค่าความคลาดเคลื่อน

หาค่าความคลาดเคลื่อนได้จากการคำนวณโดยใช้ทฤษฎี MAE MAPE RMSE ผลที่ได้จากการคำนวณเป็นดังแสดงในตารางที่ 1 ตำแหน่งจุดพิกัดจากโปรแกรม QGIS เป็นดังแสดงในรูปที่ 27



รูปที่ 27 ตำแหน่งจุดพิกัด

4.4 ผลที่ได้จากการศึกษา

จากการศึกษาพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนทางพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ ของเครื่องมือดาวเทียมรับส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่ง เครื่องมือระบบ GPS แบบพกพา เครื่องเก็บข้อมูล 3 มิติ และอากาศยานไร้คนขับ เป็นดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือสำรวจ

Error	MAE		MAPE (%)		RMSE		d
เครื่องมือ	E (เมตร)	N (เมตร)	E (เมตร)	N (เมตร)	E (เมตร)	N (เมตร)	(เมตร)
Handy GPS	1.020	0.593	2.686	2.903	1.280	0.833	40.409
3D Scan	0.082	0.169	0.232	2.657	0.102	0.252	6.028
Drone	0.141	0.290	0.678	2.755	0.176	0.359	10.556

พบว่าเครื่องมือระบบ GPS แบบพกพา มีค่าความคลาดเคลื่อน MAE เท่ากับ 1.020 และ 0.593 เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อน MAPE เท่ากับ 2.686% และ 2.903% เมื่อนำมาเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง RMSE เท่ากับ 1.280 และ 0.833 และค่าความคลาดเคลื่อนระยะรวมเท่ากับ 40.409 เมตร

เครื่องมือเก็บข้อมูล 3 มิติ มีค่าความคลาดเคลื่อน MAE เท่ากับ 0.082 และ 0.169 เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อน MAPE เท่ากับ 0.232% และ 2.657% เมื่อนำมาเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง RMSE เท่ากับ 0.102 และ 0.252 และค่าความคลาดเคลื่อนระยะรวมเท่ากับ 6.028 เมตร

และอากาศยานไร้คนขับ มีค่าความคลาดเคลื่อน MAE เท่ากับ 0.141 และ 0.290 เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อน MAPE เท่ากับ 0.678% และ 2.755% เมื่อนำมาเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง RMSE เท่ากับ 0.176 และ 0.359 และค่าความคลาดเคลื่อนระยะรวมเท่ากับ 10.556 เมตร

5.วิเคราะห์ผลงานวิจัย

5.1 เครื่องมือระบบ GPS แบบพกพา

มีความสะดวกสบายในการใช้งานมากที่สุด แต่ความแม่นยำของค่าพิกัดตำแหน่งน้อยที่สุด เนื่องจากเครื่องมือระบบ GPS แบบพกพาเหมาะสมกับการตรวจสอบพิกัดตำแหน่งเบื้องต้น ใช้ในการทำกิจกรรมกลางแจ้ง เช่น เดินป่า ปั่นจักรยาน เป็นต้น มีข้อจำกัดในการทำงาน คือ ถ้าบริเวณพื้นที่การทำงานมีสิ่งก่อสร้าง หรือสิ่งกีดขวาง เช่น ต้นไม้สูง อาคารสูง เป็นต้น อาจทำให้การรับสัญญาณในการบอกค่าพิกัดตำแหน่งเกิดการคลาดเคลื่อนได้ จึงไม่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้ทำแผนที่

5.2 เครื่องเก็บข้อมูล 3 มิติ

มีความแม่นยำค่าพิกัดตำแหน่งมากที่สุด แต่มีความสะดวกสบายในการทำงานน้อยที่สุด เนื่องจากขั้นตอนในการทำงานมาก และมีข้อจำกัดในการทำงาน คือ การเก็บข้อมูลในแนวดิ่ง อาจเก็บข้อมูลได้ไม่ครบถ้วน และการทำงานในที่โล่งแจ้งการเก็บข้อมูลระยะไกลเมื่อสภาพการทำงานมีแสงแดดมากเกินไป อาจทำให้ในการเก็บข้อมูลนั้น มีการขาดหายหรือคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดตำแหน่งได้ จึงเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ทำแผนที่ ที่เป็นพื้นที่ราบ และในการทำงานที่มีสภาพอากาศเหมาะสม

5.3 อากาศยานไร้คนขับ

มีความแม่นยำอยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากอากาศยานไร้คนขับสามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งมุมกว้าง และมุมสูง ทำให้เก็บข้อมูลได้อย่างครบถ้วน มีความสะดวกสบายในการทำงานมาก แต่ก็มีข้อจำกัดในการทำงาน คือ สถานที่ที่ทำการสำรวจจำเป็นจะต้องมีการเชื่อมต่อกับอินเตอร์เน็ตจนกว่าจะทำการสำรวจเสร็จสิ้น และการทำงานบริเวณพื้นที่ภายในอาคาร หรือบริเวณที่มีต้นไม้สูงยากต่อการเข้าถึง อาจทำให้การเก็บ

ข้อมูลพิกัดตำแหน่งมีการคลาดเคลื่อนได้ จึงไม่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้ทำแผนที่

สรุป

จากการศึกษาเปรียบเทียบเทคโนโลยีสำรวจ เพื่อการพัฒนาแผนที่โครงการ เปรียบเทียบเครื่องมือสำรวจที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ เครื่องมือระบบ GPS แบบพกพา เครื่องเก็บข้อมูล 3 มิติ และอากาศยานไร้คนขับ โดยใช้เครื่องมือดาวเทียมรับส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่งเป็นเกณฑ์อ้างอิง ผลการวิจัยพบว่า เครื่องเก็บข้อมูล 3 มิติมีความคลาดเคลื่อยน้อยกว่าเครื่องมือสำรวจอีก 2 ชนิด

จึงสรุปได้ว่าเครื่องมือสำรวจ ที่มีความแม่นยำทางพิกัดตำแหน่งมากที่สุด ได้แก่ เครื่องเก็บข้อมูล 3 มิติ อากาศยานไร้คนขับ และเครื่องมือระบบ GPS แบบพกพา ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเปรียบเทียบเทคโนโลยีสำรวจ เพื่อการพัฒนาแผนที่โครงการ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. แนะนำให้ใช้อากาศยานไร้คนขับแบบจลน์ RTK เพื่อช่วยในการเพิ่มความแม่นยำในการรังวัด และติดตามค่าพิกัดตำแหน่ง โดยการใช้เทคโนโลยี Real-Time Kinematic (RTK)

2.เครื่องมือดาวเทียมรับส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่ง หากต้องการให้ข้อมูลค่าพิกัดตำแหน่ง มีความถูกต้องที่มากขึ้น ควรมีการ Calibrate เครื่องมือก่อนทำการรังวัดจริง

3.ในกรณีที่ต้องการเก็บข้อมูลภายในพื้นที่อาคาร ซึ่งสัญญาณดาวเทียมไม่สามารถเข้าไปถึงได้ แนะนำการใช้กล้อง Total Station ในการเก็บรายละเอียดในบริเวณภายในอาคาร

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ เพื่อสำเร็จการศึกษาของนักศึกษาระดับปริญญาตรี สามารถดำเนินมาจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุนเป็นอย่างดียิ่ง จากอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย อาจารย์ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง ได้กรุณาให้คำแนะนำ ให้การปรึกษา ให้ความรู้ และชี้นำแนวทางในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ให้การสนับสนุนและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือสำรวจในการเก็บข้อมูลเพื่อทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ธนัช สุขวิมลเสรี และปรียาพร โกษา “ความถูกต้องของพิกัดตำแหน่งจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส โดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือน” วิศวกรรมศาสตร์ มก. ฉบับที่ 90 ปีที่ 27 ตุลาคม-ธันวาคม 2557 หน้าที่ 23-32

[2] พลปรีชา ชิดบุรี , กรกฎ นุสิทธิ์ , ธนภัทร วิสิทธิเขต , ฐิติชญา สระทองแมว , ศิวกร ทองคุ้มญาติ และภานุพงศ์ เขื่อนมณี “การประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับเพื่อการติดตามการเปลี่ยนแปลงของ งานป้องกันทางลาดไหล่: กรณีศึกษาเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน จังหวัดพิษณุโลก” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27 วันที่ 24-26 สิงหาคม 2565 จังหวัดเชียงราย

[3] มศวรรณ เสนาสวัสดิ์ และไพจิตร ผาวัน“การศึกษาความแม่นยำของวิธีการสำรวจแบบต่างๆ เพื่อการก่อสร้าง” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28 วันที่ 24-26 พฤษภาคม 2566 จังหวัดภูเก็ต

[4] รัตนา มั่นประสิทธิ์ “การประยุกต์ใช้โปรแกรม QGIS เพื่อการบริหารจัดการประมงเชิงพื้นที่” เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 1/2560 หน้าที่ 7 หน้าที่ 9-12 หัวข้อข้อมูลเชิงพื้นที่

[5] สมพาส แดงมณีกุล ตำแหน่ง นักวิชาการสาธารณสุข ชำนาญการ งานบำบัดวิทยาและควบคุมโรค กลุ่มงานสนับสนุนการสำนักงานสาธารณสุข จังหวัดยะลา เรื่องการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS)

[6] องค์ความรู้ตามภารกิจ กรมโยธาธิการและผังเมือง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2563 “การสำรวจและจัดทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle : UAV)

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสำรวจป่าไม้เพื่อเก็บข้อมูลคาร์บอนเครดิต กรณีศึกษาพื้นที่ศูนย์อนุรักษ์นกยูง มหาวิทยาลัยพะเยา

Application of survey technology forest to collect data for carbon credits, case study on Peacock Conservation Centre area. University of Phayao

จันทราพร ผิวผ่อง[1*] นพชัย สุยะตุ่น[1] เพียงหทัย รินทร[1] ชยากร ศรีอ้น[1] และ ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง[2]

[1] นิสิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
[2] อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
**Corresponding author; E-mail address: 63101753@up.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซเรือนกระจกที่แต่ละองค์กรลดได้ต่อปี สามารถวัดปริมาณและซื้อขายได้ในรูปแบบคาร์บอนเครดิต การปลูกต้นไม้เพื่อดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็เป็นวิธีที่เพิ่มคาร์บอนเครดิตได้ ซึ่งการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนเครดิต มีรูปแบบสากลคือการใช้เทปวัดระยะและไคลโนมิเตอร์ สำรวจในพื้นที่เก็บข้อมูล ซึ่งการศึกษาครั้งนี้มีแนวคิดในการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วยในการเก็บข้อมูลต้นไม้ โดยการนำเครื่องสแกน 3 มิติแบบตั้งพื้น (TLS) และอากาศยานไร้คนขับ (UAV) มาเก็บข้อมูลต้นไม้ในพื้นที่สำรวจที่มีขนาดแปลงศึกษา 60 x 65 เมตร จำนวน 1 แปลง บริเวณศูนย์อนุรักษ์นกยูงมหาวิทยาลัยพะเยา และนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมมาประมวลผล โดยข้อมูลที่ได้จากเครื่องสแกน 3 มิติจะใช้โปรแกรม Autodesk Recap และ Autodesk Revit เพื่อหาเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นไม้ (DBH) ข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ จะใช้โปรแกรม Agisoft Metashape เพื่อหาความสูงของต้นไม้ในพื้นที่สำรวจ และสามารถนำข้อมูลทั้ง 2 มาวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนเครดิตในพื้นที่ที่ทำการสำรวจได้

Abstract

Nowadays, carbon credits, which can also be purchased, are a tool to measure an organization's attempt to reduce carbon dioxide and greenhouse gas emissions per year. Planting, which promotes carbon dioxide absorption, is another way to gain carbon credits. The data collection for carbon credits analysis was carried out using universally accepted methods, a measuring tape and a clinometer, to collect data in the respective area. This study applied information technology to the collecting of data on the trees, with a Terrestrial Laser Scanner (TSL) and an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) deployed for collecting data on the trees in the respective area, with an area of 60 x 65 meters, in the Green Peafowl Conservation Center, Phayao University. The data collected was subsequently processed. The data derived from the Terrestrial Laser Scanner was processed using Autodesk Recap and Autodesk Revit to figure out Diameter at Breast Height (DBH). The data derived from the Unmanned Aerial Vehicle was processed using Agisoft Metashape to figure out the height of the trees in the respective area. As a result, both sets of data were used for analyzing the carbon credits of the respective area.

1. คำนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

คาร์บอนเครดิต คือ สิทธิที่เกิดจากการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากการที่บุคคลหรือองค์กรได้ดำเนินโครงการหรือมาตรการที่มีเป้าหมายเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งสิทธิดังกล่าวนี้สามารถวัดปริมาณและนำไปซื้อขายในตลาดซื้อขายคาร์บอนเครดิตได้ หากจะให้เข้าใจง่ายๆ ก็คือ ปฏิกิริยาเรือนกระจก (จำนวนคาร์บอน) ที่แต่ละองค์กรสามารถลดได้ต่อปี และหากปล่อยคาร์บอนน้อยกว่าเกณฑ์จะถูกตีราคาเป็นเงิน ก่อนจะถูกขายเป็นเครดิตให้กับองค์กรอื่นได้ ซึ่งการปลูกต้นไม้เพื่อดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ช่วยลดปริมาณที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ [1]

การเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนเครดิต ในปัจจุบันมีการนำเครื่องสแกน 3 มิติ แบบตั้งพื้น (Terrestrial Laser Scanner, TLS) และอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Arial Vehicle, UAV) ไปประยุกต์ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลแบบกลุ่มเมฆเพื่อช่วยในการเก็บความสูงของต้นไม้ การเก็บข้อมูลของ TLS เป็นการสแกนแบบอ้างอิงจุด Tie Point คือ สแกนแต่ละครั้งต้องมีจุดที่เห็นร่วมกันชัดเจน บางรุ่นอาจใช้เป้าลูกบอล เมื่อสแกนเสร็จสามารถเชื่อมข้อมูลเข้าด้วยกันได้โดยใช้จุดอ้างอิง และการเก็บข้อมูลของ UAV ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในงานสำรวจและทำแผนที่ เนื่องจากสามารถเข้าถึงพื้นที่ที่เป็นอุปสรรคหรืออันตรายต่อการทำงาน เช่น พื้นที่ป่าภูเขา ที่รกร้าง เป็นต้น ซึ่งมีความสะดวกและได้ข้อมูลอย่างรวดเร็ว

นอกจากนั้นยังสามารถปรับแก้ข้อมูลให้มีความแม่นยำได้ในช่วงระดับ 5-50 เซนติเมตร โดยข้อมูลภาพถ่ายที่ได้สามารถนำไปประมวลผลลัพธ์ได้หลายประเภท เช่น Point cloud, Orthophoto, Digital terrain model เป็นต้น

การวิจัยครั้งนี้ผู้ทำวิจัยได้นำเทคโนโลยีการสแกนด้วย TLS สามารถสร้างแบบจำลอง 3 มิติในพื้นที่ขนาดเล็ก ให้ความละเอียดสูง และไม่สร้างความเสียหายให้ต้นไม้ ช่วยรวบรวมข้อมูลลักษณะโครงสร้างของต้นไม้ตั้งแต่กิ่งจนถึงเรือนยอด ข้อมูลที่ได้จาก TLS คือคุณสมบัติพื้นฐาน ของต้นไม้ที่ค่อนข้างแม่นยำ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (Diameter at Breast Height, DBH) ของต้นไม้เป็นพารามิเตอร์ที่ถูกวัดบ่อย และเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ จากข้อมูลดังกล่าว TLS สามารถนำไปใช้เก็บข้อมูลอย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ นอกจาก TLS แล้ว ยังมี UAV ซึ่งสามารถช่วยในการจัดเก็บข้อมูลความสูงของต้นไม้เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนเครดิต

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาวิธีการเก็บข้อมูลสำรวจป่าแบบใหม่ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยี
2. เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนระหว่างวิธีแบบดั้งเดิมและวิธีแบบใหม่จากการหาความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH)

1.3 ขอบเขต

1. บริเวณศูนย์อนุรักษ์นกยูง พื้นที่ขนาด 2.4375 ไร่
2. โปรแกรม (Software) ประกอบไปด้วย
   2.1 Agisoft metashape 2.1.0
   2.2 Autodesk Recap pro 2023
   2.3 Autodesk Revit 2023
   2.4 Microsoft Excel 365
3. เครื่องมือการสำรวจ
   3.1 เทปวัดระยะ
   3.2 ไคลโนมิเตอร์
   3.3 เครื่องสแกน 3 มิติ แบบตั้งพื้น (Terrestrial Laser Scanner, TLS)
   3.4 อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned aerial vehicle, UAV)
   3.5 ระบบนำทางด้วยดาวเทียม (Global Navigation Satellite System, GNSS)

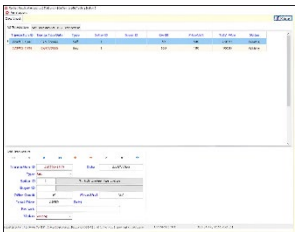
1.4 ประโยชน์

ได้แนวทางในการสำรวจจัดเก็บข้อมูลความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ของต้นไม้เพื่อลดระยะเวลาในการสำรวจ โดยค่าการสำรวจคลาดเคลื่อนจากวิธีแบบเดิมเพียงเล็กน้อย และสามารถนำมาวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนเครดิตได้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คาร์บอนเครดิต (Carbon credit)

ชณิชา หมอยาดี (2565) ได้ให้ความหมายคาร์บอนเครดิตว่า เป็นสินค้าที่สามารถซื้อขายได้และสามารถนำมาชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผู้ซื้อโดยแบ่งออกเป็นตลาดคาร์บอนภาคบังคับและภาคสมัครใจ ทำให้เกิดช่องทางใหม่ในการดำเนินการธุรกิจด้านคาร์บอนเครดิต ซึ่งในปัจจุบันมีองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ซึ่งเป็นหน่วยงานในกำกับของรัฐ ที่เกิดขึ้นตามพระราชกฤษฎีกาจัดตั้งองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) พ.ศ. 2550 มีหน้าที่คอยกำกับดูแลควบคุม และให้ความรู้แก่หน่วยงานต่างๆ แต่ด้วยงบประมาณที่มีจำกัดทำให้การประชาสัมพันธ์ต่างๆ ยังไม่เข้าถึงหน่วยงานโดยทั่วไป [2]



รูปที่ 1 หน้าจอแสดงรายการซื้อขายคาร์บอนเครดิต

2.2 เครื่องสแกน 3 มิติ แบบตั้งพื้น (Terrestrial Laser Scanner, TLS)

อินทาเนีย ฉบับที่ 4 ปี (พ.ศ. 2563) ได้ให้ความหมายของ TLS ไว้ว่าเป็นเทคโนโลยีสำหรับช่วยให้เราสามารถเห็นแบบจำลองเสมือนจริงโดยการสร้างแบบจำลอง 3 มิติของวัตถุเป้าหมาย ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้กับการเก็บข้อมูลวัตถุขนาดเล็ก ไปจนถึงสถานที่หรือสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ หลักการทำงานของเครื่องมือนี้คือ การยิงแสงเลเซอร์ออกมาเมื่อเลเซอร์กระทบวัตถุก็จะสะท้อนกลับไปยังตัวกล้อง และกล้องจะทำการคำนวณเวลาไปกลับของคลื่น โดยสัญญาณที่ส่งกลับมาจะถูกบันทึกในลักษณะของค่าพิกัดสามมิติ และข้อมูลจะถูกส่งไปจัดเก็บที่คอมพิวเตอร์ จากนั้นกล้องจะหมุนและยิงแสงเลเซอร์ต่อไปจนทั่วทั้งวัตถุเป้าหมาย [3]



รูปที่ 2 เครื่องสแกน 3 มิติ แบบตั้งพื้น (Terrestrial Laser Scanner, TLS)

2.3 อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned aerial vehicle, UAV)

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (2554) ได้ให้ความหมายของ UAV ไว้ว่า เป็นอากาศยานที่ไม่มีนักบินประจำการอยู่บนเครื่อง รูปร่าง ขนาด รูปแบบ และเอกลักษณ์จะแตกต่างกันออกไป ตามหลักแล้วก็คือ โดรน (Drone) เป็นอากาศยานที่ควบคุมจากระยะไกล ใช้การควบคุมอัตโนมัติ

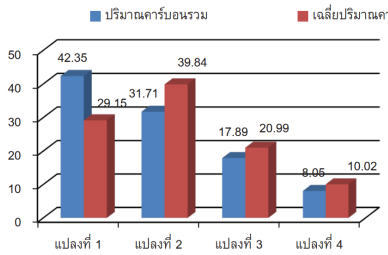
ซึ่งมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ การควบคุมอัตโนมัติจากระยะไกล และการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยใช้ระบบการบินด้วยตนเอง ซึ่งต้องอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีระบบที่ซับซ้อนแล้วมีการติดตั้งไว้ในอากาศยาน [4]



รูปที่ 3 อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned aerial vehicle, UAV)

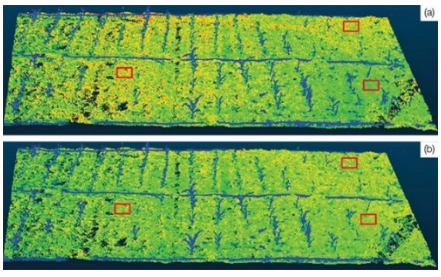
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัฒณณรงค์ มากพันธ์, จิตติมา รับไทรทอง, สุภาวดี แซะอาหลี วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 10 ฉบับที่ 20 (กรกฎาคม - ธันวาคม 2561) ได้ทำการศึกษาปริมาณคาร์บอนสะสมในต้นไม้ใหญ่บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช โดยมีแปลงพื้นที่ศึกษาขนาด 50x300 เมตร จำนวน 4 แปลง เก็บข้อมูลเส้นรอบวงของต้นไม้ในแปลงที่ศึกษา แล้วคำนวณหามวลชีวภาพโดยใช้สมการอัลโลเมตริก และหาปริมาณการสะสมคาร์บอนโดยนำค่ามวลชีวภาพคูณด้วย Conversion Factor ซึ่งมีค่า 0.5 มีพรรณไม้ทั้งหมด 1,653 ต้น ปริมาณคาร์บอนสะสมทั้งหมดเท่ากับ 567,919.20 กิโลกรัม หรือ 567.92 ตัน [5]



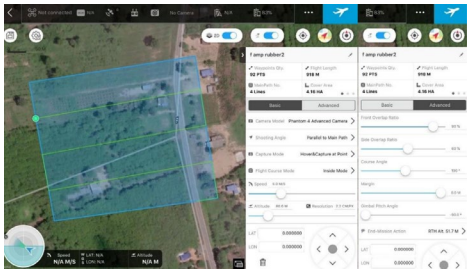
รูปที่ 4 ปริมาณคาร์บอนสะสมทั้งหมด

อินทาเนีย ฉบับที่ 4 ปี พ.ศ. 2563 คอลัมน์ บทความจากคณะโดย นิสิตภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ศึกษาเทคโนโลยี TLS เพื่อมาประยุกต์ใช้ในการติดตามการเจริญเติบโตของต้นอ่อนพืช ในกรณีศึกษานี้ได้นำเทคโนโลยีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับแปลงข้าวโพด ทำให้สามารถวางแผนการให้ปุ๋ยในบริเวณที่มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ ทำให้สามารถวางระบบชลประทานในพื้นที่ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นเราจะใช้ข้อมูล Geometric และ Radiometric ร่วมกันในการจำแนกต้นกล้าบนแปลงข้าวโพดเพื่อให้ได้ค่าความถูกต้องที่ดีขึ้น [6]



รูปที่ 5 การจำแนกต้นข้าวโพดกับสิ่งปกคลุมอื่น

วิภารัตน์ อัมพะวัน (ธันวาคม 2561) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศจาก UAV ในการประมาณสภาพกายภาพของต้นยางพารา มุ่งเน้นไปที่การประมาณค่าความสูง การประมาณค่าชีวมวลเหนือพื้นดิน ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าความสูงของต้นยางพาราในสวนยางพาราที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) แปลงที่ 1, 2 และ 3 คือ 0.401, 0.772 และ 0.932 ตามลำดับ ส่วนค่า r ในสวนยางพาราที่ 2 แปลง ที่ 1, 2 และ 3 คือ 0.853, 0.524 และ 0.620 ตามลำดับต้น ค่า RMSE กลุ่มตัวอย่างของสวนยางพาราที่ 1 มีค่า ±1.009 เมตร ค่า RMSE กลุ่มตัวอย่างของสวนยางพาราที่ 2 มีค่า ±1.129 เมตร ค่าประมาณชีวมวลสวนที่ 1 เฉลี่ยไร่ละ 5,099.33 กิโลกรัม ค่าประมาณชีวมวลสวนที่ 2 เฉลี่ยไร่ละ 20,302.95 กิโลกรัม [7]



รูปที่ 6 แผนการวางแนวบินของสวนยางพารา

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์กรมหาชน) จดหมายข่าว ฉบับที่ 180/01-2024 (ธันวาคม 2566) ได้ศึกษาข้อมูลสถิติการซื้อขายคาร์บอนเครดิต TVERs ในตลาดคาร์บอนภาคสมัครใจของประเทศไทย ประจำเดือน ธ.ค. 2566 รูปแบบซื้อขายส่วนใหญ่ยังคงมาจากรูปแบบทวิภาคี ซึ่งเป็นการค้าที่ผู้ซื้อกับผู้ขายเจรจาซื้อขายกันโดยตรงหรือผ่านโบรกเกอร์ (Over-the-Counter: OTC) พบว่ามีปริมาณการซื้อขายรวมเท่ากับ 2,695 tCO_2eq โดยมีมูลค่าซื้อขายรวม 213,650 บาท และส่วนที่เหลืออีก 421 tCO_2eq เป็นการซื้อขายผ่าน FTIX Exchange Platform คิดเป็นมูลค่า 19,804 บาท โดยการซื้อขายคาร์บอนเครดิตเดือนนี้มาจาก 4 ประเภท ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ 48.14% จำนวน 1,500 tCO_2eq ประเภทชีวมวล 48.01% จำนวน 1,496 tCO_2eq ประเภททำปุ๋ยหมัก จำนวน 115 tCO_2eq และประเภทชีวภาพอีก 5 tCO_2eq โดยปิดไตรมาสแรก (ต.ค.-ธ.ค. 66) ของปีงบประมาณ 2567 เกิดปริมาณการซื้อขายอยู่ที่ 339,149 tCO_2eq คิดเป็นมูลค่า 65,127,899 บาท [8]

ประเภทโครงการ	ประเภทย่อย	Vintage Year	ราคาเฉลี่ย (บาท/tCO_2eq)	ราคาต่ำสุด (บาท/tCO_2eq)	ราคาสูงสุด (บาท/tCO_2eq)	ปริมาณ (tCO_2eq)	มูลค่า (บาท)
AE	ชีวภาพ	2021	300.00	300	300	5	1,500
	ชีวมวล	2018	48.57	44	75	488	23,704
		2019	100.00	100	100	973	97,300
		2020	200.00	200	200	26	5,200
		2021	250.00	250	250	9	2,250
	พลังงานแสงอาทิตย์	2016	55.00	55	55	500	27,500
		2019	45.00	45	45	1,000	45,000
WM	ปุ๋ยหมัก	2022	269.57	200	280	115	31,000
		Total				3,116	233,454

รูปที่ 7 สถิติการซื้อขายคาร์บอนเครดิต TVERs เดือนธันวาคม 2566

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเก็บข้อมูลวิธีแบบดั้งเดิม

3.1.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลการใช้เทปวัดระยะและไคลโนมิเตอร์นำมาใช้ในการเก็บข้อมูลของต้นไม้ในบริเวณพื้นที่สำรวจ

3.1.2 เลือกพื้นที่สำหรับดำเนินงาน

การสำรวจเก็บข้อมูลเลือกพื้นที่บริเวณอาคารศูนย์อนุรักษ์นกยูงตรงข้ามตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์ มีพื้นที่ 60 x 65 เมตร เพื่อทำการสำรวจเก็บข้อมูลของต้นไม้ ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 พื้นที่สำรวจเก็บข้อมูล

3.1.3 วิธีดำเนินการเก็บข้อมูล

1. การเก็บข้อมูลด้วยเทปวัดระยะ

ทำการวัดที่ระดับความสูงเพียงอกหรือที่ความสูงจากพื้นดินประมาณ 1.30 เมตร ความโตของลำต้นที่นิยมวัดกันโดยทั่วไปเป็นการวัดขนาดของเส้นรอบวงหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้

2. การเก็บข้อมูลด้วยไคลโนมิเตอร์

2.1 ผู้ที่ถือไคลโนมิเตอร์ถอยห่างออกมาจากต้นไม้ที่ต้องการวัด ให้สามารถมองเห็นยอดต้นไม้ โดยไม่เงยหน้ามากไป

2.2 วัดระยะห่างจากจุดที่ยืนจนถึงต้นไม้ต้นนั้นๆ หน่วยเป็น เมตร

2.3 ถือไคลโนมิเตอร์ที่ระดับสายตาด้วยมือข้างใดข้างหนึ่ง มองผ่านหลอดกาแฟจนเห็นยอดของต้นไม้ ปล่อยให้ลูกตุ้มเหวี่ยงอิสระจนหยุด จากนั้นใช้มืออีกข้างจับลูกตุ้มให้แนบกับตารางพร้อมอ่านค่ามุม

3.1.4 การประมวลผลข้อมูล

1 ประมวลข้อมูลจากเทปวัดระยะ โดยนำเส้นรอบวงที่ได้มาหาเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก

2 ประมวลผลข้อมูลจากไคลโนมิเตอร์ โดยนำค่ามุมที่ได้กับระยะห่างระหว่างต้นไม้มาคำนวณหาความสูง

3.1.5 วิเคราะห์และสรุปผลข้อมูล

นำข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงของต้นไม้ที่ได้จากเครื่องมือมาวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนเครดิตของต้นไม้ได้

3.2 การเก็บข้อมูลวิธีแบบใหม่

3.2.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าข้อมูลทฤษฎีของ TLS และ UAV นำมาปรับใช้ในการเก็บข้อมูลของต้นไม้ในบริเวณพื้นที่สำรวจและศึกษาซอฟต์แวร์ คือ Agisoft Metashape, Autodesk Recap และ Autodesk Revit สำหรับใช้ในการประมวลผมข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจ แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าความสูงของต้นไม้ เส้นผ่านศูนย์กลางพียงอก (DBH) เพื่อเป็นข้อมูลในการหาปริมาณคาร์บอนเครดิตบริเวณพื้นที่สำรวจในมหาวิทยาลัยพะเยา

3.2.2 เลือกพื้นที่สำหรับดำเนินงาน

การสำรวจเก็บข้อมูลเลือกพื้นที่บริเวณอาคารศูนย์อนุรักษ์นกยูงตรงข้ามตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์ มีพื้นที่ 60 x 65 เมตร เพื่อทำการสำรวจเก็บข้อมูลของต้นไม้ ดังแสดงในรูปที่ 8

3.2.3 วิธีดำเนินการเก็บข้อมูล

1 การเก็บข้อมูลด้วยเครื่องสแกนสามมิติ (TLS)

1.1 วางแผนตำแหน่งตั้งกล้อง TLS ในการสำรวจ

1.2 ตั้งค่าเครื่อง TLS เป็น Outdoor ระยะน้อยหรือเท่ากับ 20 เมตร โดยเลือกความละเอียดภาพ 1:4 และคุณภาพ 2x (การเก็บภาพซ้ำ 2 รอบ)

1.3 ทำวางเป้าลูกบอลสำหรับเชื่อมข้อมูลแต่ละจุดเข้าด้วยกัน เริ่มทำการสแกนเก็บข้อมูลจะได้ข้อมูลตำแหน่งที่ 1

1.4 เมื่อสแกนข้อมูลเสร็จ ย้ายกล้องไปยังตำแหน่งถัดไป วางเป้าลูกบอลเพิ่มและเริ่มทำการสแกนเก็บข้อมูลต่อ ทำซ้ำจนครบตำแหน่งกล้อง

2 การเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับ (UAV)

2.1 เชื่อม UAV DJI Phantom 4 Controller กับอุปกรณ์สื่อสารโดยใช้สายที่เป็น USB 1 ด้าน

2.2 ทำการสอบเทียบค่ามาตรฐาน (Calibrate) UAV ด้วย application DJI GO 4

2.3 ตั้งค่าการบินสำรวจแบบ 2 ทิศทาง ตามแนวแกน X และ Y (Double Grid) เลือกความสูงการบินระดับ 45 เมตร ด้วย Application Pix4Dcapture

2.4 วางเป้าควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point, GCP) ตั้งเครื่อง GNSS และอ่านค่าพิกัด

2.5 เริ่มบินสำรวจ ด้วยการควบคุมแบบอัตโนมัติระบบการบินด้วยตนเอง

3.2.4 การประมวลผลข้อมูล

1 ประมวลผลข้อมูลจาก TLS ด้วยโปรแกรม Autodesk Recap

จากข้อมูลที่ได้จาก TLS ทำการรวมข้อมูลเหล่านั้นจากตำแหน่งที่ตั้งของ TLS แต่ละตำแหน่งจนครบทุกจุดเข้าด้วยกัน โดยการรวมจุดเหล่านั้น ต้องใช้เป้าลูกบอลในการเชื่อมข้อมูลแต่ละตำแหน่งเข้าด้วยกัน

2 ประมวลผลข้อมูลจาก UAV ด้วยโปรแกรม Agisoft Metashape

นำภาพถ่ายที่ได้จาก UAV มาประมวลผลต่อกันโดยใช้โปรแกรม Agisoft Metashape จะได้ข้อมูลภาพถ่ายมุมสูงของพื้นที่ที่สำรวจ

3.2.5 รวบรวมข้อมูลการประมวลผลข้อมูล

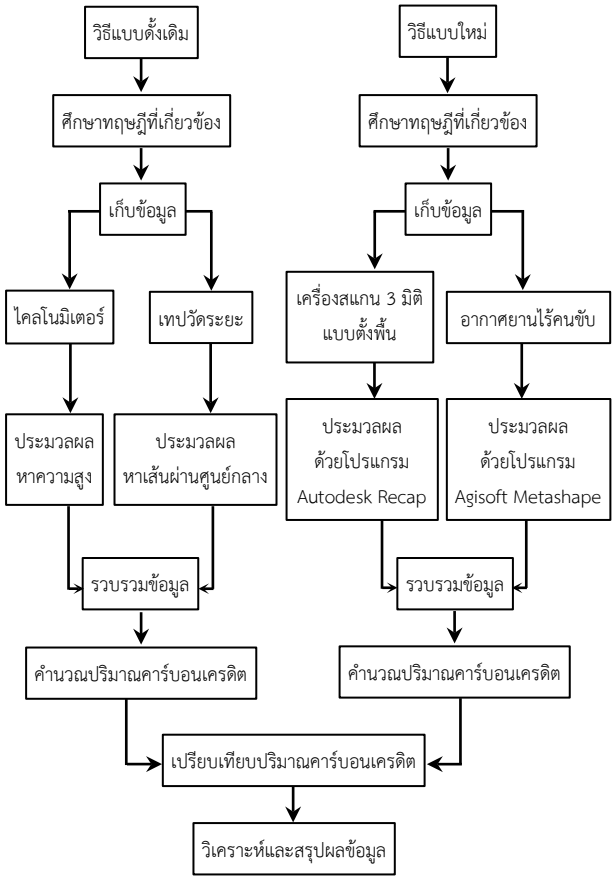
สามารถนำข้อมูลที่รวบรวมจาก TLS และ UAV มาหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ของต้นไม้โดยใช้โปรแกรม Autodesk Revit หาความสูงของต้นไม้โดยโปรแกรม Agisoft Metashape

3.2.6 วิเคราะห์และสรุปผลข้อมูล

จากข้อมูลค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) และความสูงต้นไม้สามารถนำมาวิเคราะห์ สรุปผลปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเครดิตของต้นไม้แต่ละประเภทจากพื้นที่สำรวจบริเวณอาคารศูนย์อนุรักษ์นกยูง และยังสามารถคำนวณมูลค่าคาร์บอนเครดิตสะสมมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ปีตั้งต้นโดยค่าความคลาดเคลื่อนเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 เซนติเมตร และความสูงไม่เกิน 50 เซนติเมตร [13]

3.3 สรุปผลการดำเนินงาน

หลังจากรวบรวมข้อมูลทั้งหมดนำมาเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนเครดิตที่คำนวณได้ระหว่างวิธีแบบดั้งเดิม และวิธีแบบใหม่ ทำการสรุปผลโดยมีแผนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แผนการดำเนินการวิจัย

4. ผลการวิจัย

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลลัพธ์ของงานวิจัย โดยจะแบ่งออกเป็นผลของการเก็บรวบรวมข้อมูลวิธีแบบดั้งเดิม ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลวิธีแบบใหม่ และแนวทางการเก็บข้อมูลคาร์บอนเครดิตด้วยเทคโนโลยี ดังต่อไปนี้

4.1 การเก็บข้อมูลด้วยวิธีแบบดั้งเดิม

4.1.1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH)

1. นำเทปวัดระยะมาวัดเส้นรอบวงของต้นได้ โดยยืนอยู่ระดับเดียวกับโคนต้นไม้ วัดที่ความสูงระดับอกของผู้สำรวจ หรือวัดความสูงจากพื้นดิน 1.30 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 วัดเส้นรอบวงของต้นไม้

2. นำเส้นรอบวงที่ได้ไปหาเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก โดยใช้สูตร

เส้นผ่านศูนย์กลาง = เส้นรอบวง / π

4.1.2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลความสูง

1. วัดระยะห่างระหว่างต้นไม้และผู้สำรวจ โดยยืนบนพื้นในระดับเดียวกับโคนต้นไม้ ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 วัดระยะห่างระหว่างต้นไม้และผู้สำรวจ

2. ถือไคลโนมิเตอร์ให้ระนาบกับพื้นสูงระดับสายตา มองผ่านไคลโนมิเตอร์ให้เห็นยอดต้นไม้ จากนั้นอ่านค่ามุมที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 วัดมุมด้วยไคลโนมิเตอร์

3. นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาความสูงของต้นไม้ โดยใช้สูตร

ความสูง = (tanθ x ระยะห่างระหว่างต้นไม้กับผู้สำรวจ) + ความสูงระดับสายตาของผู้สำรวจ

4.2 การเก็บข้อมูลด้วยวิธีแบบใหม่

4.2.1 การเก็บข้อมูลด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ แบบตั้งพื้น (TLS)

1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล



รูปที่ 13 เส้นทางการเก็บข้อมูล

1.1 เปิดเครื่องและตั้งค่ากล้อง ในครั้งนี้จะใช้ค่าความละเอียด 1/4, x2 สภาพการสแกนเป็น Outdoor 20 m. ดังแสดงในรูปที่ 14(a)

1.2 วางเป้าลูกบอลอย่างน้อย 3 ลูก ระหว่างจุดตั้งกล้องที่ 1 และจุดที่ 2 เพื่อใช้ในการเชื่อมข้อมูล โดยวางให้มีระยะห่างระหว่างเป้าลูกบอลพอประมาณ ดังแสดงในรูปที่ 14(b)

1.3 ก่อนการกดสแกนทุกครั้งควรตั้งลูกน้ำที่กล้องให้สมดุล

1.4 เมื่อสแกนเสร็จให้ย้ายกล้องไปยังจุดถัดไปและทำซ้ำขั้นตอนที่ 1-3 จนครบทุกจุด

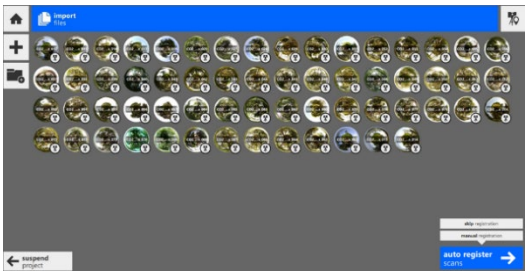


(a) (b)

รูปที่ 14 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องสแกน 3 มิติแบบตั้งพื้น
(a) ตั้งค่ากล้อง (b) วางเป้าลูกบอล

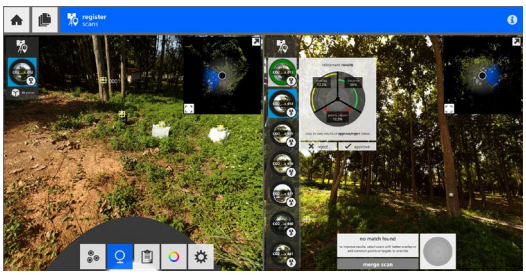
2 การประมวลผลข้อมูลเพื่อหาเส้นผ่านศูนย์กลาง

2.1 เปิดโปรแกรม Autodesk Recap New Project และ Import ไฟล์สแกนเข้าสู่โปรแกรม เลือก manual registration ดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 Import ไฟล์สแกนเข้าสู่โปรแกรม

2.2 เลือกเป้าลูกบอล ระบุชื่อโดยไม่ให้ซ้ำกัน เป้าลูกบอลที่ใช้เชื่อมข้อมูลจะต้องเป็นลูกเดียวกันและใช้ชื่อเดียวกัน จากนั้นกด Merge Scan และ Approve ดังแสดงในรูปที่ 16



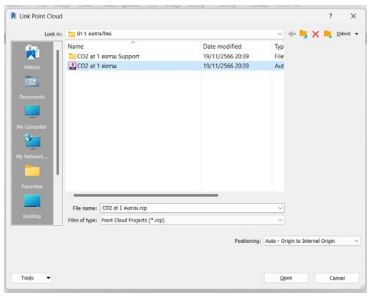
รูปที่ 16 เชื่อมข้อมูลแต่ละไฟล์เขาด้วยกัน

2.3 เมื่อ Approve ข้อมูลทุกไฟล์เข้าด้วยกันแล้ว กด Index และ Lunch project จะได้ข้อมูล Point Cloud ดังแสดงในรูปที่ 17



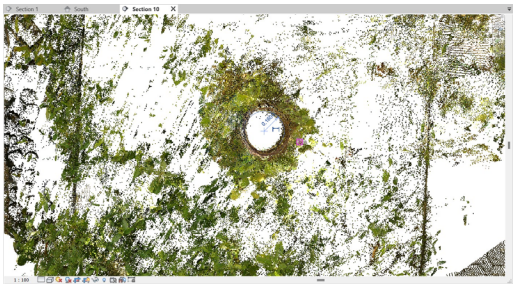
รูปที่ 17 ข้อมูล Point Cloud

2.4 เปิดโปรแกรม Autodesk Revit New Project และ Insert Point Cloud เลือกไฟล์ที่เชื่อมต่อแล้วจาก Autodesk Recap ดังแสดงในรูปที่ 18



รูปที่ 18 Insert Point Cloud

2.5 ตัด Section เพื่อวัดเส้นรอบวงของต้นไม้ และคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางโดยใช้ Excel ดังแสดงในรูปที่ 19

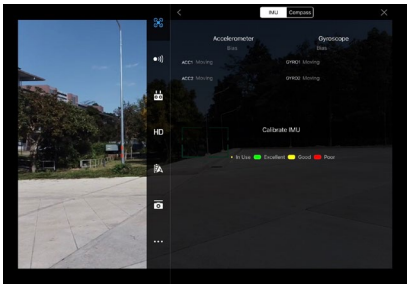


รูปที่ 19 วัดเส้นรอบวงของต้นไม้

4.2.2 การเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับ (UAV)

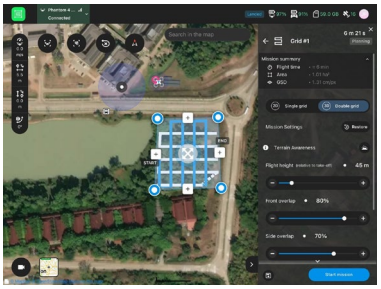
1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

1.1 เตรียมอากาศยานไร้คนขับ โดยการ Calibrate ใน DJI GO 4 ดังแสดงในรูปที่ 20



รูปที่ 20 Calibrate อากาศยานไร้คนขับ

1.2 วางแผนการบิน ในโปรแกรม Pix 4D capture แบบ Double grid ที่ Flight height 45 m. โดย Front Overlap 80 % Side Overlap 70 % GSD 1.31 cm/px ดังแสดงในรูปที่ 21



รูปที่ 21 วางแผนการบิน

1.3 วางเป้าควบคุมภาคพื้นดินโดยมีตำแหน่งอยู่ในบริเวณพื้นที่สำรวจ วางในพื้นที่โล่ง ไม่มีสิ่งปกคลุม และเริ่มบินสำรวจ ดังแสดงในรูที่ 22



รูปที่ 22 ตำแหน่งวางเป้าควบคุมภาคพื้นดิน

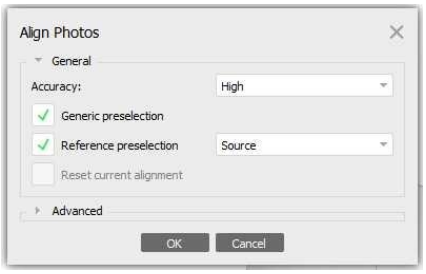
1.4 ใช้เครื่องรังวัดตำแหน่งดาวเทียม GNSS ใช้วิธีรังวัดตำแหน่งแบบจลน์ในทันที (Real-Time Kinematic, RTK) ระบบพิกัดสากล WGS 84 UTM Zone 47N โดยอ้างอิงกับหมุดหลักฐานที่ทราบค่าพิกัด การรังวัดจะรังวัดที่จุดกึ่งกลางของเป้าควบคุมภาคพื้นดิน โดย Base และ Lower รับสัญญาณดาวเทียม 10 ตัว และใช้เวลาเก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที ดังแสดงในรูปที่ 23



รูปที่ 23 การใช้ GNSS เพื่อหาค่าพิกัด

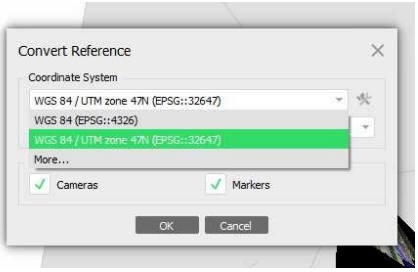
2 การประมวลผลข้อมูลหาความสูงด้วยโปรแกรม Agisoft Metashape

2.1 นำรูปเข้าโปรแกรม โดยกดที่เครื่องมือ Workflow เลือก Add Photo ทำการ Align Photo กด ok ดังแสดงในรูปที่ 24



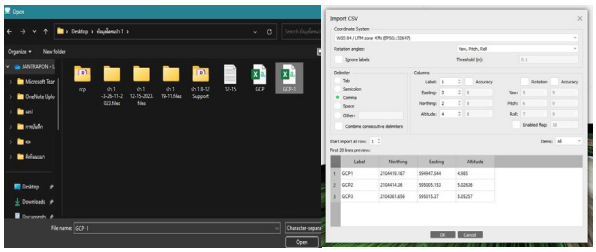
รูปที่ 24 Align Photo

2.2 จัดไฟล์รูปให้อยู่ตรงกลาง โดยคลิกคำสั่ง Move Region เลือก Resize ตั้งค่าระบบพิกัดที่ Convert โดยใช้ WGS 84 / UMT zone 47N (32647) ดังแสดงในรูปที่ 25



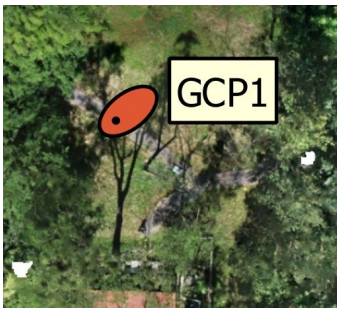
รูปที่ 25 ตั้งค่าระบบพิกัดที่

2.3 นำค่า GCP จากโปรแกรม Microsoft Excel เข้าสู่โปรแกรม โดยใช้นามสกุล csv คลิกที่ Reference > Import Reference > นำไฟล์ที่เซฟไว้เข้ามาใส่ ดังแสดงในรูปที่ 26



รูปที่ 26 นำเข้าค่า GCP

2.4 กดที่ Markers > เลือก GCP1 > คลิกขวา > Fitter Photo by Markers > Double click รูปภาพที่ละรูป เพื่อทำการกำหนดจุด ต้องให้อยู่กึ่งกลางเป้า ทำแบบนี้ต่อไปให้ครบทุก GCP เมื่อทำครบแล้วให้กด Update Transform ดังแสดงในรูปที่ 27

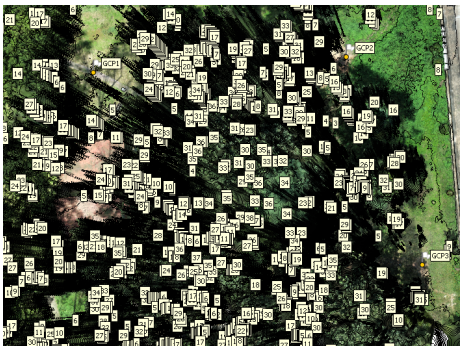


รูปที่ 27 ตำแหน่ง GCP 1

2.5 แก้ข้อมูลแผนที่ให้เข้ากับจุด GCP โดยกด Optimate Camera > เลือก General > OK

2.6 ปรับความละเอียดรูปภาพ โดยกด Workflow > Build Point Cloud > ปรับเป็น Hight > OK จากนั้นทำการ Save

2.7 สร้างเส้นชั้นความสูงเพื่อวัดความสูง กด Orto > Tools > Generate Contours > OK จะได้เส้นชั้นความสูง ดังแสดงในรูปที่ 28



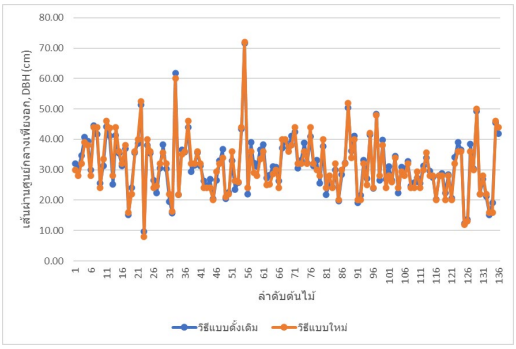
รูปที่ 28 เส้นชั้นความสูง

4.3 เปรียบเทียบข้อมูลทั้ง 2 วิธี

เมื่อเก็บข้อมูลและประมวลผลข้อมูลจากการสำรวจด้วยวิธีดั้งเดิมและการสำรวจด้วยวิธีแบบใหม่ นำข้อมูลมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

ตารางที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH)

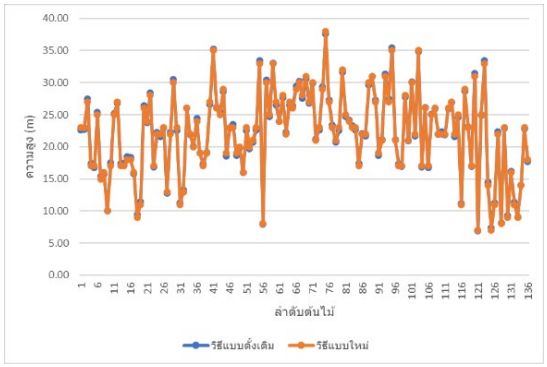
ลำดับ	พิกัดต้นไม้		เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก, DBH (cm)		ส่วนต่าง (cm)
	Easting	Northing	วิธีดั้งเดิม	วิธีใหม่	
1	594963.84	2104423.21	32.01	30.00	2.01
2	594966.85	2104417.76	30.45	28.00	2.45
3	594969.62	2104421.30	34.62	32.00	2.62
4	594977.31	2104417.95	40.70	39.00	1.70
5	594983.52	2104421.49	39.49	38.00	1.49
6	594986.65	2104420.21	30.03	28.00	2.03
7	594984.93	2104417.25	44.46	44.00	0.46
8	594991.05	2104413.52	41.72	44.00	2.28
9	594995.83	2104414.95	25.51	24.00	1.51
10	594998.98	2104423.27	31.21	33.60	2.39
11	594991.72	2104410.94	44.11	46.00	1.89
12	594996.97	2104409.79	41.08	43.80	2.72
13	595003.57	2104405.11	25.13	28.00	2.87
14	595009.01	2104399.95	41.37	44.00	2.63
15	595003.95	2104381.22	35.35	36.00	0.65
ค่าเฉลี่ยข้อมูล 136 ต้น			31.53	31.31	0.22



รูปที่ 29 กราฟเปรียบเทียบเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก

ตารางที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลความสูงของต้นไม้

ลำดับ	พิกัดต้นไม้		ความสูง (m)		ส่วนต่าง (m)
	Easting	Northing	วิธีดั้งเดิม	วิธีใหม่	
1	594963.84	2104423.21	22.60	23.00	0.40
2	594966.85	2104417.76	22.69	23.00	0.31
3	594969.62	2104421.30	27.47	27.00	0.47
4	594977.31	2104417.95	17.44	17.00	0.44
5	594983.52	2104421.49	16.75	17.00	0.25
6	594986.65	2104420.21	25.33	25.00	0.33
7	594984.93	2104417.25	15.46	15.00	0.46
8	594991.05	2104413.52	15.74	16.00	0.26
9	594995.83	2104414.95	10.05	10.00	0.05
10	594998.98	2104423.27	17.47	17.00	0.47
11	594991.72	2104410.94	25.20	25.00	0.20
12	594996.97	2104409.79	26.76	27.00	0.24
13	595003.57	2104405.11	17.38	17.00	0.38
14	595009.01	2104399.95	17.40	17.00	0.40
15	595003.95	2104381.22	18.43	18.00	0.43
ค่าเฉลี่ยข้อมูล 136 ต้น			22.23	22.20	0.03



รูปที่ 30 กราฟเปรียบเทียบความสูง

4.4 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณคาร์บอนเครดิต [14]

4.4.1 การคำนวณมวลชีวภาพเหนือพื้นที่ดินและคาร์บอนสะสม ปีตั้งต้น

1. คำนวณ มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน, AGB โดยใช้สมการอัลโลเมตริก

$$AGB = 0.045\ (D^2H)^{0.921}\ (kg)$$

$$AGB = 0.045(30^2 \times 23)^{0.921} = 424.84\ kg$$

2. คำนวณ ปริมาณกักเก็บคาร์บอน, CS โดยมีค่าร้อยละ 47 ของ AGB

$$CS = AGB \times 0.47\ (kgC)$$

$$CS = 424.84 \times 0.47 = 199.67\ kgC$$

3. คำนวณปริมาณก๊าซ CO_2 ที่ต้นไม้ดูดซับ, CO_2sequestration

$$CO_2seq = CS \times 44/12\ (kgCO_2eq)$$

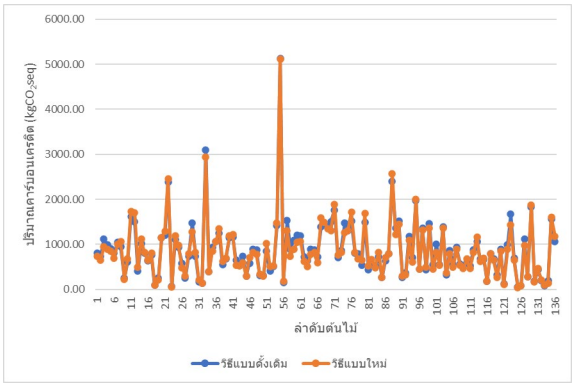
$$CO_2seq = 199.67 \times 44/12 = 732.12\ kgCO_2eq$$

4. ต้นไม้ในพื้นที่สำรวจมีจำนวน 136 ต้นจะมีข้อมูลทั้งหมด ดังนี้

AGB	=	68,385	kg
CS	=	32,141	kgC
CO_2seq	=	117,851	$kgCO_2eq$

ตารางที่ 3 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณคาร์บอนเครดิต

ลำดับ	พิกัดต้นไม้		CO_2seq ($kgCO_2eq$)		ส่วนต่าง ($kgCO_2eq$)
	Easting	Northing	วิธีดั้งเดิม	วิธีใหม่	
1	594963.84	2104423.21	811.80	732.12	79.68
2	594966.85	2104417.76	743.12	644.78	98.34
3	594969.62	2104421.30	1122.55	955.79	166.76
4	594977.31	2104417.95	995.24	898.59	96.65
5	594983.52	2104421.49	907.06	856.61	50.45
6	594986.65	2104420.21	801.64	696.23	105.41
7	594984.93	2104417.25	1048.08	1000.01	48.07
8	594991.05	2104413.52	947.76	1061.24	113.48
9	594995.83	2104414.95	253.37	225.39	27.98
10	594998.98	2104423.27	611.23	682.88	71.65
11	594991.72	2104410.94	1619.97	1737.34	117.37
12	594996.97	2104409.79	1501.76	1703.97	202.21
13	595003.57	2104405.11	408.14	488.07	79.93
14	595009.01	2104399.95	1023.44	1122.18	98.74
15	595003.95	2104381.22	807.73	817.34	9.61
ค่าเฉลี่ยข้อมูล 136 ต้น			879.01	866.55	12.45



รูปที่ 31 กราฟเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนเครดิต

4.4.2 คิดรวมตามพื้นที่ที่ปลูก

1. คำนวณ AGB รวม = ค่าเฉลี่ย AGB x พื้นที่ปลูก x จำนวนต้นไม้/ไร่
   AGB รวม = (68,386/136) x 2.4375 x 56 = 68,638 kg
2. CS รวม = AGB รวม x 0.47 (kgC)
   CS = 68,638 x 0.47 = 32,260 kgC
3. CO_2seq = CS รวม x 44/12 ($kgCO_2eq$)
   CO_2seq = 32,260 x 44/12 = 118,286 $kgCO_2eq$

4.5 ค่าความคลาดเคลื่อน

ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ เป็นค่าที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตหรือมาตรฐานในการวัดหรือการประเมินต่างๆ ซึ่งอาจแปรผันตามลักษณะของข้อมูลหรือสิ่งที่กำลังวัด โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

ความคาดเคลื่อน = |(วิธีดั้งเดิม - วิธีใหม่)/วิธีดั้งเดิม| x 100%

5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาต้นไม้บริเวณอาคารศูนย์อนุรักษ์นกยูงตรงข้ามตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์ มีขอบเขตการสำรวจ กว้าง 60 เมตร ยาว 65 เมตร จำนวน 1 แปลง เพื่อทำการเก็บข้อมูลของต้นไม้ โดยมีพรรณไม้ 23 ชนิด จำนวน 136 ต้น และนำข้อมูลจากการเก็บสำรวจด้วยวิธีดั้งเดิมมาเปรียบเทียบกับวิธีแบบใหม่ ซึ่งจะประกอบไปด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ความสูง ปริมาณคาร์บอนเครดิต และค่ายใช้จ่ายและรายได้ที่คาดว่าจะได้รับ

ข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ความสูง และปริมาณคาร์บอนเครดิตที่ได้จากวิธีแบบใหม่จะมีความคลาดคลื่อนจากวิธีดั้งเดิม 0.68% 0.12% และ 1.42% ตามลำดับ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

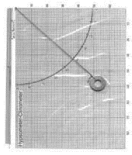
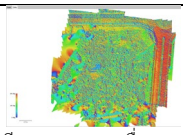
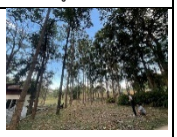
5.2 มูลค่าปริมาณคาร์บอนเครดิตสะสมชีวภาพ

ตารางที่ 4 มูลค่าปริมาณคาร์บอนเครดิตสะสมชีวภาพ

ประเภท	พื้นที่ปลูก (ไร่)	ราคาเฉลี่ย (บาท/tCO_2eq)	ปริมาณ ($KgCO_2eq$)	ปริมาณ (tCO_2eq)	มูลค่า (บาท)
ชีวภาพ	2.4375	300	118,286	118.286	35,485.8

5.3 เปรียบเทียบวิธีแบบดั้งเดิมกับวิธีแบบใหม่

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบการเก็บข้อมูลวิธีแบบดั้งเดิมกับวิธีแบบใหม่

ข้อเปรียบเทียบ	การเก็บข้อมูล วิธีแบบใหม่	การเก็บข้อมูล วิธีแบบดั้งเดิม
1. ระยะเวลาเก็บข้อมูล จำนวนคนเก็บข้อมูล 2 คน	2 วัน	4 วัน
2. การประมวลผล 2.1) ความสูง	 สามารถใช้ข้อมูลจากโดรน	 วัดความสูงทีละต้น โดยใช้ไคลโนมิเตอร์
2.2) แบบจำลอง	 มี 3D เป็นภาพจำลอง	 เป็นรูปถ่าย 2D
3. ความสะดวก	 มีความสะดวกสูงเนื่องจากสามารถใช้ข้อมูลจากเครื่องสแกน 3 มิติและโดรน โดยไม่ต้องวัดทีละต้น	 มีความสะดวกน้อย เนื่องจากต้องทำการวัดต้นไม้ทีละต้น

5.4 ข้อเสนอแนะ

การทำวิจัยครั้งนี้ ใช้เครื่องสแกน 3 มิติแบบตั้งพื้น ใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลใน 1 จุด ค่อนข้างนาน ซึ่งถ้ามีการปรับใช้เครื่องสแกน 3 มิติแบบเดิน อาจจะทำให้สะดวกและรวดเร็วในการเก็บข้อมูลมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยพะเยา และได้รับความอนุเคราะห์สนับสนุนเป็นอย่างดียิ่งจาก อาจารย์ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ให้ความรู้อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ และยังเอาใจใส่รายละเอียดทุกๆขั้นตอนของงานวิจัยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

7. บรรณานุกรม

[1] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). กฤษรัตน์ ศรีสว่าง. (2021). ‘ตลาดคาร์บอนเครดิต’ กฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง.

[2] ชณิชา หมอยาดี, ธิติจิรวัชรากร, ชลิตา ตริยาวนิช และปัญญารักษ์ โกศัลวัฒน์ (2022) การบริหารจัดการคาร์บอนเครดิตในโซ่อุปทานโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.100-102.

[3] อินทาเนีย ฉบับที่ 4 ปี พ.ศ. 2563 คอลัมน์ บทความจากคณะโดยนิสิตภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2563) การใช้งานเครื่องมือเลเซอร์สแกนภาคพื้นดิน (TLS) กับงานด้านการเกษตร

[4] นาวาโทหญิง อาภรณ์ พลเสน (2011) รู้จักกับอากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV).

[5] มากพันธ์ ว., รับไทรทอง จ., & แซะอาหลี ส. (2018). ปริมาณคาร์บอนสะสมในต้นไม้ บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช (CARBON STOCK OF TREES IN NAKHON SI THAMMARAT RAJABHAT UNIVERSITY). วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,10 (20, July-December), 119–128. Retrieved from https://ejournals.swu.ac.th/index.php/SWUJournal/article/view/10872

[6] อินทาเนีย ฉบับที่ 4 ปี พ.ศ. 2563 คอลัมน์ บทความจากคณะ โดยนิสิตภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[7] วิภารัตน์ อัมพะวัน. (2561). การศึกษาเทคนิคการประมาณสภาพกายภาพต้นยางพาราจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ. พิษณุโลก. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[8] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์กรมหาชน). (ธันวาคม 2566). จดหมายข่าว : จดหมายข่าวคาร์บอน ISSUE 180. Carbon Market. https://carbonmarket.tgo.or.th/

[9] บริษัท เซปทิลเลียน จำกัด (2013) Agisoft Metashape 3D

[10] บทความ, บทความข่าวสาร By Mod X (27 มกราคม 2021) แนะนำโปรแกรมใช้งานกับข้อมูลแบบสามมิติ AUTODESK RECAP 360 PRO

[11] Admin Web 3 (9 August,2021) ซอฟต์แวร์ Revit คืออะไร?

[12] จินดา ไตรเวช (2014) การใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

[13] ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ, สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ดุริยะ สถาพร, เจด็จ รัตนแก้ว. การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้บางชนิดที่ปลูก ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร [อินเทอร์เน็ต]. 2553

[14] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา. (ม.ป.ป.). คาร์บอนเครดิต. คณะ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. https://www.rspgchula.sc.chula.ac.th/

[15] “Development in Earth Surface Processes” ELSEVIER, Geomorphological Mapping, vol. 15, pp. 189–224, 2010

[16] “Analysis of Changes in oil Palm Canopy Architecture from Basal Stem Rot Using Terrestrial Laser Scanner” The American Phytopathological Society, Plant Disease, vol. 103, no. 12, pp. 3218–3225 Dec. 2019

[17] “Corn Seedling Monitoring Using 3-D Point Cloud Data from Terrestrial Laser Scanning and Registered Camera Data,” IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS, vol. 17, no. 1, pp. 137–141, Jan. 2020

[18] Mostafa Abdel-Bary Ebrahim, 2011. Fundamental of Laser Scanning, History of 3D Scanners, Chapter 2, pp. 4-8, Oct. 2011

[19] Gordon Petrie and Charles K. Toth, Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing, Chapter 3, pp. 87–126, Jan. 2009

[20] “Terrestrial Laser Scanning Specifications” California Department of Transportation, CALTRANS • SURVEYS MANUAL, pp.13, June 2018

การประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพเพื่อลดความสูญเสียในงานก่อสร้าง กรณีศึกษาบริษัทอสังหาริมทรัพย์ โครงการ ABC.

Implementation of QC Tool for Waste Reduction in Construction Case Study of Real estate company ABC

อารยา สุขระหัด[1] วิไลพร นามบุญลือ[2] อรสา รมราษฎร์[3*]

[1,2,3]นิสิตปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

**Corresponding author; E-mail address: 63102473@up.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพ 4 ชนิด ประกอบด้วย แผนภูมิพาเรโต แผนภูมิก้างปลา แผ่นตรวจสอบ และกราฟ เพื่อลดความสูญเสียในงานก่อสร้าง กรณีศึกษาเป็นบริษัทอสังหาริมทรัพย์ขนาดกลางแห่งหนึ่ง ผลการวิจัยพบว่า งานสี เป็นงานแรกที่ควรดำเนินการปรับปรุง เมื่อระดมสมองร่วมกับผู้บริหารและพนักงานค้นพบสาเหตุของปัญหา จำนวน 11 สาเหตุ โดยผู้วิจัยและผู้บริหารร่วมกันตัดสินใจดำเนินการปรับปรุงปัญหางานสี จำนวน 6 สาเหตุ ผลการดำเนินการเปรียบเทียบก่อนและหลังดำเนินการปรับปรุง สามารถลดจุดบกพร่องงานสีลงได้ 56.67 % จากการปรับปรุงกระบวนการทำงานโดยการใช้เครื่องมือคุณภาพจึงสรุปได้ว่าสามารถลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นกับบริษัทลงได้เป็นอย่างดี คำสำคัญ เครื่องมือคุณภาพ ความสูญเสีย งานก่อสร้าง อสังหาริมทรัพย์

คำสำคัญ: เครื่องมือควบคุมคุณภาพ, ความสูญเสีย, งานก่อสร้าง, อสังหาริมทรัพย์

ABSTRACT

This study implemented 4 quality control tools, namely pareto charts, fishbone diagrams, check sheets, and graphs, to reduce waste in construction work. A medium-sized real estate company was chosen as the case study. The research findings indicate that painting work is the primary problem requiring improvement. Brainstorming sessions with management and staff identified 11 causes of the problem. Collaboratively, the researchers and management decided to address 6 of these causes. The comparison of pre- and post-improvement actions showed a 56.67% reduction in painting work deficiencies. By implementing quality control tools, it can be concluded that significant reductions in waste incurred by the company can be achieved.

Keywords: quality control tool, waste, construction work, real estate

1. ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันโครงการอสังหาริมทรัพย์แนวราบได้เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้อยู่อาศัยที่มีความต้องการในการซื้อบ้าน เนื่องจากผู้อยู่อาศัยไม่มีความรู้ในด้านงานก่อสร้าง แต่ยังคงต้องการความต้องถูกต้องและปลอดภัยตามหลักวิศวกรรม ซึ่งมีปัญหาที่พบอยู่บ่อยครั้ง เช่น บ้านร้าว บ้านทรุด ท่อตัน เป็นต้น แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการปรับปรุงในกระบวนการทำงานในงานก่อสร้าง และเห็นถึงความสำคัญในการตรวจสอบคุณภาพของงาน

โดยปัญหาที่พบส่วนใหญ่ในการตรวจสอบงาน คือช่างผู้รับเหมาขาดความรู้และทักษะในการดำเนินการก่อสร้าง จึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการตรวจรับงาน เช่น ปัญหาการทาสีไม่สม่ำเสมอ สามารถแก้ไขได้โดย เตรียมพื้นผิวโดยพื้นผิวต้องสะอาดและแห้งสนิท ปราศจากฝุ่นละออง ครบไขมันทำการทาสีทับใหม่โดยผสมน้ำลงในสีตามปริมาณที่กำหนด กรณีเป็นสีน้ำควรทิ้งให้สีแห้งตัว 2-4 ชม. ก่อนทาสีครั้งที่ 2 เป็นต้น

ดังนั้นแล้วเราควรตะหนักถึงปัญหาเกี่ยวกับมาตรฐานการสร้างบ้านของโครงการ โดยผู้จัดทำวิจัยได้เล็งเห็นว่าการใช้ 4 เครื่องมือคุณภาพเพื่อตรวจสอบข้อบกพร่องในโครงการก่อสร้างบ้านจัดสรรก่อนส่งมอบงาน ซึ่งมีเครื่องมือในการตรวจสอบ คือ แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet), กราฟ (Graph), แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) และผังเหตุและผลหรือแผนภาพก้างปลา (Fish-bone Diagram) เป็นต้น เพื่อให้ผู้ที่เข้ามาอยู่อาศัยในโครงการได้บ้านที่มาตรฐานและมีคุณภาพที่สุด

1.1) วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.1.1.) เพื่อลดข้อบกพร่องในการตรวจสอบโครงบ้านจัดสรร

1.1.2.) เพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงในการแก้ไขปัญหาโครงการบ้านจัดสรรแห่งหนึ่ง ในจังหวัดพะเยา

1.2) ขอบเขตของงานวิจัย

1.2.1.) โครงการบ้านจัดสรรแห่งหนึ่ง ในจังหวัดพะเยา

1.2.2.) 4 เครื่องมือคุณภาพ

1.3) ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1.) ลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในโครงการจัดสรร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3.2.) เรียงลำดับการแก้ไขปัญหาของจุดบกพร่องและนข้อมูลที่ได้รับประยุกต์ใช้ในการก่อสร้าง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1) การลดความสูญเสีย 7 ประการ (The 7 Wastes) ความสูญเปล่า หรือ MUDA หรือ WASTE ล้วนแต่มีความหมายเดียวกัน หมายถึง สิ่งที่เกิดขึ้นแต่ไม่ทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มแก่สินค้า เป็นระบบกำจัดความสูญเสียและปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่องในกระบวนการผลิต [1] เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกิจกรรมหรืองานที่ดำเนินการซึ่งมีทั้งหมด 7 ประการ

2.1.1) การผลิตมากเกินไป (Overproduction) การผลิตสินค้าปริมาณมากเกินความต้องการการใช้งานในขณะนั้น หรือผลิตไว้ล่วงหน้าเป็นเวลานาน มาจากแนวความคิดเดิมที่ว่าแต่ละขั้นตอนจะต้องผลิตงานออกมาให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้เกิดต้นทุนต่อหน่วยต่ำสุดในแต่ละครั้งโดยไม่ได้คำนึงถึงว่าจะทำให้มีงานระหว่างทำ (Work in process,WIP) ในกระบวนการเป็นจำนวนมากและทำให้กระบวนการผลิตขาดความยืดหยุ่น

2.1.2) การรอคอย (Waiting) การรอคอยเกิดจากการที่เครื่องจักร หรือพนักงานหยุดการทำงานเพราะต้องรอคอยบางปัจจัยที่จำเป็นต่อการผลิตเช่น การรอวัตถุดิบ การรอคอยเนื่องจากเครื่องจักรขัดข้อง การรอคอยเนื่องจากกระบวนการผลิตไม่สมดุล การรอคอยเนื่องจากการเปลี่ยนรุ่นการผลิต เป็นต้น

2.1.3) การเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น (Transporting) การขนส่งเป็นกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มแก่วัสดุ ดังนั้นจึงต้องควบคุมและลดระยะทางในการขนส่งลงให้เหลือเท่าที่จำเป็นเท่านั้น

2.1.4) การทำงานที่ไม่เกิดประโยชน์ (Inappropriate Processing) เกิดจากกระบวนการผลิตที่มีการทำงานซ้ำๆกันในหลายขั้นตอน ซึ่งไม่มีความจำเป็นเพราะงานเหล่านั้นไม่ทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มกับผลิตภัณฑ์ รวมทั้งงานในกระบวนการผลิตที่ไม่ช่วยให้ตัวผลิตภัณฑ์เกิดความเที่ยงตรงเพิ่มขึ้นหรือคุณภาพดีขึ้น เช่น กระบวนการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มกับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นกระบวนการนี้ควรรวมอยู่ในกระบวนการผลิตให้พนักงานหน้างานเป็นผู้ตรวจสอบไปพร้อมกับการทำงาน หรือขณะคอยเครื่องจักรทำงาน

2.1.5) การเก็บสินค้าที่มากเกินไป (Unnecessary Inventory) การซื้อวัสดุคราวละมากๆ เพื่อเป็นประกันว่าจะมีวัสดุสำหรับผลิตตลอดเวลา หรือเพื่อให้ได้ส่วนลดจากการสั่งซื้อ จะส่งผลให้วัสดุที่อยู่ในคลังมีปริมาณมากเกินความต้องการใช้งานอยู่เสมอ เป็นภาระในการดูแลและการจัดการ

2.1.6) การเคลื่อนที่/เคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น (Unnecessary Motions) ท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสม เช่น ต้องเอื้อมหยิบของที่อยู่ไกล ก้มตัวยกของหนักที่วางอยู่บนพื้น ฯลฯ ทำให้เกิดความล้าต่อร่างกายและทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงานอีกด้วย

2.1.7) ของเสีย (Defect) การเก็บข้อมูลการทำงานในงานก่อสร้างสามารถทำได้หลากหลายวิธีโดยในการศึกษานี้ได้นำทฤษฎีการเก็บข้อมูลผลิตภาพ (Productivity) มาใช้ในการเก็บข้อมูล โดยวิธีการ Five Minute Rating และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าประสิทธิผล

2.2) 7 เครื่องมือคุณภาพ เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการแก้ไขปัญหาทางด้านคุณภาพในกระบวนการทำงานต่างๆ ซึ่งช่วยศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหา การคัดเลือก หรือจัดลำดับความสำคัญของปัญหา โดยการสำรวจการค้นหาและวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง เพื่อให้สามารถแก้ไขได้อย่างถูกต้อง ตลอดจนช่วยในการจัดทำมาตรฐาน และควบคุมติดตามผลได้อย่างต่อเนื่อง [2] เครื่องมือที่เกี่ยวข้องในงานก่อสร้างประกอบด้วย 7 เครื่องมือ ดังนี้

2.2.1) แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet)

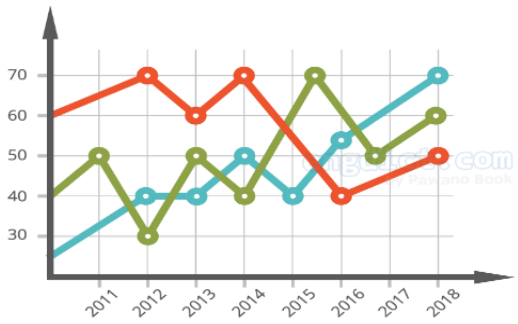
คือ แบบฟอร์มที่ออกแบบ เพื่อช่วยในการควบคุมวิเคราะห์ และติดตามผลการดำเนินงาน พร้อมทั้งช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุของความไม่สอดคล้องของการทำงาน ลักษณะของแผ่นตรวจสอบ ดังแสดงรูปที่ 1

Defect Types? / Event occurrence	Events: Sun	Mon	Tue	Wed	Thur	Fri	Sat	Total
Supplied parts rusted		✓✓✓ ✓✓✓ ✓✓	✓✓✓✓ ✓	✓✓✓✓	✓✓			19
Misaligned Weld			✓✓✓			✓✓		5
Improper Test Procedure		✓		✓✓				3
Wrong Part Issued					✓✓			2
Film on Parts				✓✓✓✓		✓✓		6
Voids in Casting								0
Incorrect Dimensions								0
Adhesive Failure					✓			1
Masking Insufficient								0
Spray Failure				✓✓✓✓				4
Total		*9*	*8*	*14*	*5*	*4*	*0*	*40*

รูปที่ 1 แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet)

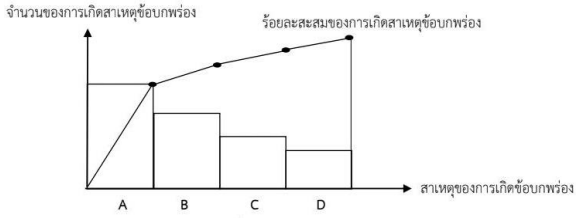
2.2.2) กราฟ (Graph)

คือ แผนภาพที่แสดงถึงตัวเลขหรือข้อมูลทางสถิติที่ใช้ เมื่อต้องการนำเสนอข้อมูล และวิเคราะห์ผลของข้อมูลดังกล่าว เพื่อทำให้ง่ายและรวดเร็วต่อการทำความเข้าใจ กราฟมีหลายชนิด เช่น กราฟแท่ง กราฟเส้น และกราฟวงกลม ดังแสดงรูปที่ 2



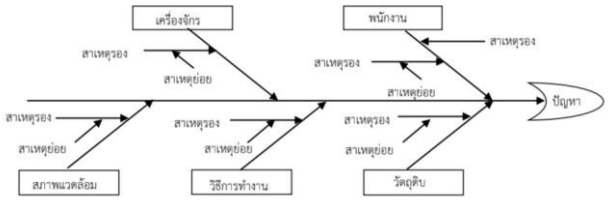
รูปที่ 2 กราฟเส้น (Line Chart)

2.2.3) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่าง สาเหตุของความบกพร่องกับปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้น ช่วยให้สามารถจัดลำดับความสำคัญของปัญหาได้ถูกต้อง แผนภูมิพาเรโต ดังแสดงรูปที่ 3



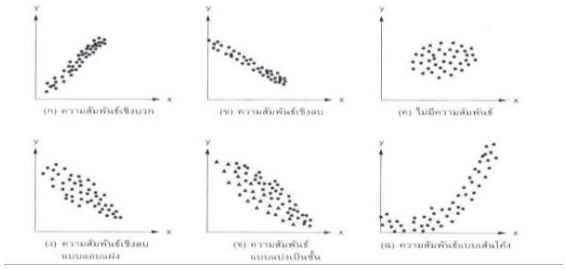
รูปที่ 3 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

2.2.4) แผนภาพก้างปลา (Fish-bone Diagram)
คือ แผนผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของปัญหา(ผล) กับปัจจัยต่างๆ(สาเหตุ) ที่เกี่ยวข้องทำให้ผู้วิเคราะห์สามารถมองภาพรวมและความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาได้ง่ายขึ้น แผนภาพก้างปลา ดังแสดงในรูปที่ 4



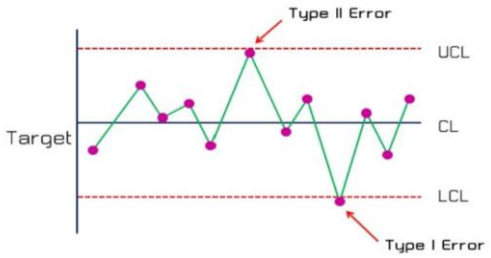
รูปที่ 4 แผนภาพก้างปลา (Fish-bone Diagram)

2.2.5) แผนผังการกระจาย (Scatter Diagram) เป็นแผนผังที่แสดงค่าของข้อมูลที่เกิดจากความสัมพันธ์ของตัวแปรสองตัว ว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางใด เพื่อที่จะใช้หาความสัมพันธ์ที่แท้จริง แผนผังการกระจาย ดังแสดงรูปที่ 5



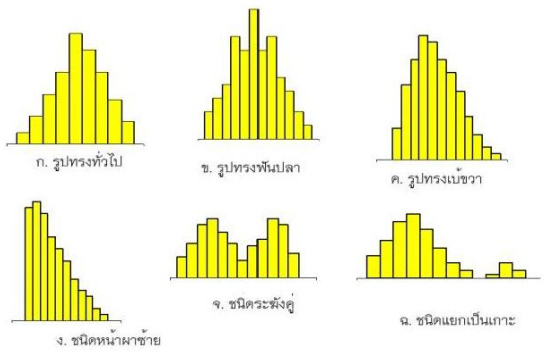
รูปที่ 5 แผนผังการกระจาย (Scatter

2.2.6) แผนภูมิควบคุม (Control Chart) คือเครื่องมือที่ช่วยควบคุมกระบวนการ โดยการกำหนดขอบเขตที่ยอมรับได้ คือขอบเขตบนและขอบเขตล่าง เพื่อติดตามและตรวจจับข้อมูลที่ออกนอกขอบเขต ดังแสดงรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

2.2.7) ฮิสโตแกรม (Histogram)
เป็นกราฟแท่งที่ใช้ดูความแปรปรวนของกระบวนการ โดยการสังเกตรูปร่างของฮิสโตแกรมที่สร้างขึ้นจากข้อมูลที่ได้มาโดยการสุ่มตัวอย่าง ดังแสดงรูปที่ 7



รูปที่ 7 ลักษณะต่างๆของฮิสโตแกรม (Histogram)

2.3) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิวัฒน์ วงศ์วิวัฒน์ (2550) ได้ทำการศึกษาแนวทางในการลดของเสียในกระบวนการปั้ม ขึ้นรูปของบริษัทไทยสเตนเลสสตีล จำกัด ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นได้แก่ ปัญหาการแตกหักของชิ้นงานหลังผ่านการ ขึ้นรูป การฉีกขาดที่บริเวณขอบของชิ้นงาน และการศึกษานี้นำเอา 7 QC Tools เป็นเครื่องมือใน การวิเคราะห์และนำเสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหาเพื่อลดของเสีย 3 แนวทาง คือ การเพิ่มขั้นตอนการอบอ่อนสำหรับตัวเหยือกน้ำ การเพิ่มจำนวนครั้งในขั้นตอนการปั้มขึ้นรูป และการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกาน้ำนกหวีดขนาด 2.5 ลิตร.[3]

ธิติมา พงษ์สังกา (2551) ได้ทำการศึกษาการลดของเสีย โดยดำเนินการแก้ไขปัญหาตาม ขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมา เมื่อแจกแจงประเภทของของเสียด้วยแผนผังพาเรโตพบว่าของเสียที่เกิดจาก กาวเยิ้มมีอัตราสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 7.5 จากของงานเสียทั้งหมดและของเสียเหล่านี้ไม่สามารถนำ กลับมาใช้งานได้ใหม่ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือต้องการลดของเสียกาวเยิ้มจาก 7.5 เหลือ 3.75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพบปัญหาแล้วจึงหาเหตุของปัญหางานเสียกาวเยิ้ม โดยใช้แผนผังก้างปลา.[4]

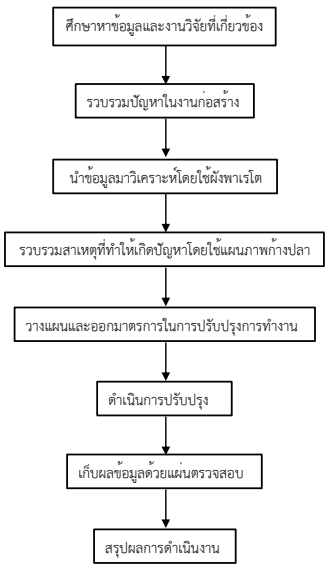
คมสัน ศรีประสิทธิ์ (2551) ได้ทำการศึกษาเพื่อลดของเสียในกระบวนการ โดยหลักการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ ประเภทปัญหาตัดสั้น โดยออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะระดับปัจจัยที่เหมาะสม ที่มีอิทธิพลต่อการเกิดข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ แล้วทำการเก็บรวบรวม ข้อมูลการผลิตและสภาพการผลิตจริงเพื่อรวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้อง หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ โดยใช้แผนภูมิก้างปลาในการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุของปัญหา แล้วนำปัจจัยที่ได้มาทำ การออกแบบการทดลอง เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญที่มีผลต่อข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ พบว่าเปอร์เซ็นต์ของเสียที่ เกิดจากปัญหาตัดสั้น เดือน มิถุนายน ถึงเดือนพฤศจิกายน 2550 ของรุ่น 2P1 66335-1B ลดลงจาก 0.64% เหลือ 0.03% มีค่าลดลงร้อยละ 95.31% ซึ่งส่งผลให้ของเสียรวมทั้งหมดของการขึ้นรูปเน็ท จากสายการผลิตที่ 2 ลดลงจาก 1.48% เหลือ 0.86% ของยอดผลิตทั้งหมด.[5]

แพรวพรรณ พยัคฆชาติ (2562) ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการแจ้งสั่งซื้อและการบันทึกรับเพื่อลดความ สูญเสียในส่วนของงานอุปกรณ์นั่งร้าน โดยได้รวบรวมจากข้อมูลโอนย้ายวัสดุจากใบโอนย้ายวัสดุ พบว่า มีจำนวนของสูญหายที่เกิดขึ้นหลังจากกระบวนการรับสินค้าไปใช้งานและขาดการตรวจสอบวัสดุระหว่างการใช้งาน ปัญหาของการสูญเสียวัสดุอุปกรณ์นั่งร้านข้อต่อนั่งร้านและข้อจับมือเสือในกระบวนการนับเป็นผลกระทบต่อต้นทุนของทางบริษัทโดยตรง โดยทำให้ต้นทุนการดำเนินงานสูงขึ้น ผู้ศึกษาจึงได้ศึกษาวิเคราะห์ปัญหาในแต่ละขั้นตอนการทำงานของแต่ละคู่มือการ ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง โดยใช้ Flowchart และเครื่องมือ 7QC Tools มาช่วยวิเคราะห์ปัญหาเพื่อ หาแนวทางการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานรวมถึงกำหนดมาตรการ การทำงานให้เป็นแนวทางเดียวกัน หลังจากการปรับปรุง เทียบกับเป้าหมายตามที่ฝ่ายคณะทำงานได้กำหนดไว้พิจารณา จากข้อมูลและกาหนดเป้าหมายการลดของสูญเสียเพื่อนำร่องการลดการสูญเสีย จากข้อมูล ทั้งหมดตั้งแต่เดือน มีนาคม ถึงเดือน ธันวาคม 2562 เมื่อนำข้อมูลก่อนปรับปรุงและหลัง ปรับปรุงมาเทียบจะพบว่า การปรับปรุงกระบวนการส่งผลต่อประสิทธิภาพการลดการสูญเสียได้ 29.01% คิดเป็นมูลค่ารวม 106,327.40 บาท แต่ทั้งนี้ยังพบปัญหาในการลดการสูญเสียใน อุปกรณ์ข้อจับมือเสือยังมีจุดที่อยู่เหนือการควบคุมอยู่ ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณการสูญเสียที่ลดลงก็ตาม [6]

ภูวนาถ สุทธารส (2561) ได้ทำการศึกษาเพื่อให้ทราบสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องจาก การตรวจรับบ้านในโครงการบ้านจัดสรร เพื่อหาวิธีแก้ไข ไม่ให้ข้อบกพร่องเหล่านั้นเกิดขึ้นได้อีก ทั้งยังเป็นการสร้างมาตรฐานให้กับโครงการ และประหยัดงบประมาณในการซ่อมแซมข้อบกพร่อง ดังกล่าวการศึกษาครั้งนี้ใช้โครงการของบริษัท พร็อพเพอร์ตี้ เพอร์เฟค จำกัด (มหาชน) โครงการ เพอร์เฟค เพลส รามอินทรา-วงแหวน ในการทาวิจัยโดยการใช้ 7QC Tools (7 Quality Control Tools) เป็นเครื่องมือในการตรวจรับบ้านจากผู้ควบคุมงานก่อสร้าง ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาสรุปข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นเป็นประจำและทำเรื่องส่งให้ฝ่ายก่อสร้าง ดำเนินการแก้ไขเพื่อ ไม่ให้ข้อบกพร่องดังกล่าวเกิดขึ้นอีกหรือให้มีปริมาณที่น้อยลง หลังดำเนินการปรับปรุงข้อบกพร่องลดลงจากเดิมถึง 23.72% ของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับปรุง จานวนของข้อบกพร่องที่ลดน้อยลง ได้แก่ งานวงกบประตู ลดลง 76% งานผนังกระเบื้อง ลดลง 52.2% และงานฝ้า ลดลง 19% จึงทำให้เห็นว่าการลดลงของข้อบกพร่อง จากการตรวจรับบ้านในหมู่บ้านจัดสรรโดยการใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 QC Tools นั้น สามารถควบคุมไม่ให้เกดข้อบกพร่องได้เป็นอย่างดี [7]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยการใช้เครื่องมือคุณภาพในการแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องของกระบวนการงานก่อสร้าง ทั้งนี้ยังช่วยจัดลำดับปัญหาและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเพื่อนำมาแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพ
มีการดำเนินงานวิจัยอยู่ 8 ขั้นตอนดังแสดงรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนการทำงาน

3.1) รวบรวมปัญหาในงานก่อสร้าง จากข้อมูลโครงการบ้านจัดสรรแห่งหนึ่ง ในจังหวัดพะเยาที่กำลังดำเนินงานอยู่ในช่วง การตรวจสอบข้อบกพร่องหรือปัญหาในงานก่อสร้าง

3.2) นำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้ในแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) เพื่อแสดงปัญหาที่เกิดข้อบกพร่องร้อยละ 80 เปอร์เซ็นต์ของงานที่เป็นปัญหาทั้งหมดที่จำเป็นจะต้องแก้ไขเป็นลำดับแรก

3.3) จากการวิเคราะห์แผนภูมิพาเรโตจากข้อมูลบ้านหลังที่ 1 ปัญหาที่ต้องแก้ไขคืองานสี ผู้ทำวิจัยจึงได้เข้าไปตรวจสอบบ้านอีกครั้งพบว่า ทาสีไม่เรียบร้อยมีรอยเลอะคราบสี สีไม่สม่ำเสมอ ไม่มีการเก็บล้างอุปกรณ์หลังใช้งานเสร็จ และอุปกรณ์การทาสียังไม่ได้มาตรฐานตามที่กำหนด เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 9, 10 และ 11 ตามลำดับ



รูปที่ 9 สีมีลักษณะไม่เรียบ

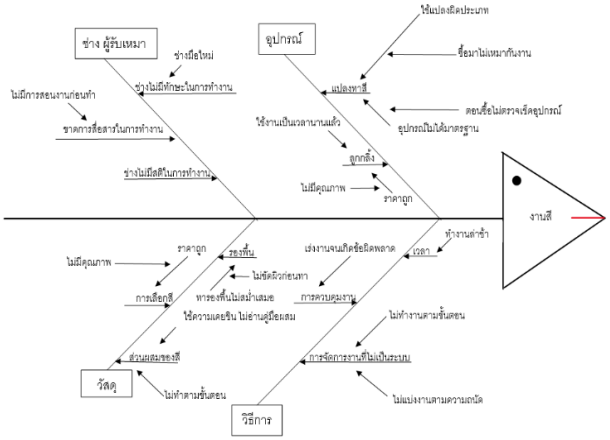


รูปที่ 10 ไม่เก็บล้างอุปกรณ์หลังใช้งาน



รูปที่ 11 อุปกรณ์การทาสียังไม่ได้มาตรฐาน

3.4) รวบรวมสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาโดยใช้แผนภาพก้างปลา โดยการช่วยกันมาระดมสมองเพื่อวิเคราะห์สาเหตุแนวคิดเกิดจาก 4M คือ คน อุปกรณ์ วัสดุ วิธีการ แสดงแผนภาพก้างปลา (Fish-bone Diagram) ดังรูปแสดงที่ 12



รูปที่ 12 แผนภาพก้างปลา

3.5) วางแผนและออกมาตรการในการปรับปรุงการทำงานนำสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา มาวิเคราะห์และหาวิธีการปรับปรุงแก้ไขในงานจากนั้นดำเนินการปรับปรุงแก้ไขงานเพื่อลดข้อผิดพลาดในงานให้ได้มากที่สุด ดังรูปแสดงที่ 13



รูปที่ 13 ร่วมกันวิเคราะห์ปัญหาในงานการปรับปรุงงาน

3.6) เก็บผลข้อมูลด้วยแผ่นตรวจสอบ (Check sheet) เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล สะดวกและง่ายในการทำงาน ซึ่งมีหัวข้อต่อไปนี้ คือ งานสี ระบบสุขาภิบาล งานอลูมิเนียม ระบบไฟฟ้า ระบบท่อปลวก โครงหลังคา ความสะอาดบริเวณภายนอก ดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างแผ่นตรวจสอบ (Check Sheet)

ประเภท / การแก้ไข	งานสี	ระบบสุขาภิบาล	งานอลูมิเนียม	ระบบไฟฟ้า	ระบบท่อปลวก	โครงหลังคา	ความสะอาดภายนอก	รวม
0								
1								
2								
รวมการแก้ไข								

3.7) สรุปผลการดำเนินงานโดยกราฟและทำการเปรียบเทียบข้อมูลก่อนทำการปรับปรุงและหลังทำการปรับปรุง

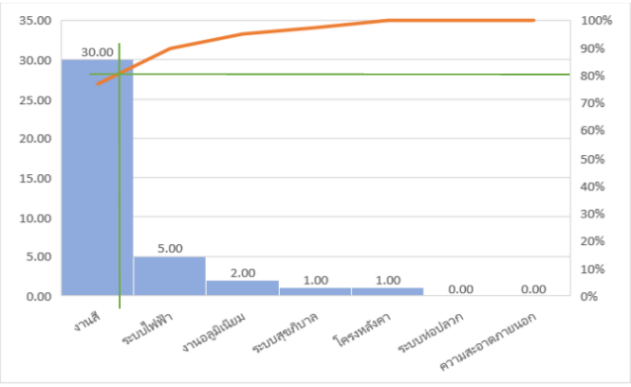
4. ผลการวิจัย

4.1) รวบรวมจำนวณปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงหมู่บ้านจัดสรรแห่งหนึ่งในจังหวัดพะเยา โดยแบ่งเป็น 7 หมวดงาน ทำการเก็บข้อบกพร่องในงานจากการนับเป็นจุดที่เกิดปัญหาและทำการตรวจสอบทั้งหมด 3 ครั้งโดยจะนำข้อมูลจุดบกพร่องในครั้งที่ 1 ไปวิเคราะห์เพราะเมื่อการตรวจครั้งที่ 2 และ 3ทางบริษัทเจ้าของโครงการจะต้องเสียงค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมเองเมื่อต้องการแก้ไข แต่ครั้งที่ 0 จะยังอยู่ในความรับผิดชอบของผู้รับเหมา เราจึงสนใจในการลดปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าวเพื่อลดการสูญเสียในงานก่อสร้าง ดังแสดงตารางที่ 2

ตารางที่ 2 หมวดงานที่เกิดปัญหาของจุดบกพร่อง

หมวดงาน	0	1	2	3
งานสี	30	30	0	
ระบบสุขาภิบาล	34	1	0	
งานอลูมิเนียม	16	2	0	
ระบบไฟฟ้า	20	5	0	
ระบบท่อปลวก	1	0	0	
โครงหลังคา	4	1	0	
ความสะอาดภายนอก	10	0	0	

4.2) ข้อมูลปัญหา ร้อยละ 80 เปอร์เซ็นต์ ของงานทั้งหมดอยู่ที่งานสีที่จะต้องดำเนินการแก้ไขเป็นลำดับแรก ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 พาเรโตแสดงเส้นผลรวม

4.3) สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในงานสี จากการระดมสมองหาสาเหตุร่วมกันกับทีมงานวิศวกรคุมงานเจ้าของโครงการและผู้วิจัย สรุปได้ดังแสดงตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลปัญหาในงานโครงการบ้านจัดสรรแห่งหนึ่งใน

สาเหตุของปัญหางานสี	
ปัญหาหลัก	**ปัญหารอง**
ช่าง-ผู้รับเหมา	1.ช่างไม่มีทักษะในการทำงาน สาเหตุเกิดจากช่างมือใหม่ยังไม่มีความชำนาญในงานมากนัก 2.ขาดการสื่อสารในการทำงาน สาเหตุเกิดจากไม่มีการสอนงานหรือชี้แจงรายละเอียดก่อนทำงาน 3.ช่างไม่มีสติในการทำงาน สาเหตุเกิดจากปัญหาส่วนตัวจึงทำให้การทำงานมีปัญหาและบกพร่องในหน้าที่
อุปกรณ์	4.ลูกกลิ้ง สาเหตุเกิดจากการใช้งานที่นานแล้วและยังเป็นอุปกร์ราคาถูกที่ไม่มีคุณภาพ 5.แปลงทาสี สาเหตุเกิดจากอุปกร์ราคาถูกที่ไม่มีคุณภาพ
วิธีการ	6.เวลา สาเหตุเกิดจากการทำงานล่าช้าของคนงาน 7.การควบคุมงาน สาเหตุเกิดจากการเร่งงานจนเกินไปทำให้งานเกิดข้อผิดพลาดในการทำงาน 8.การจัดการงานที่ไม่เป็นระบบ สาเหตุเกิดจากไม่แบ่งงานตามความถนัดของคนงานหรือใช้เครื่องมือไม่ชำนาญจึงทำให้งานเกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย
วัสดุ	9.รองพื้น สาเหตุเกิดจากการทารองพื้นก่อนลงสีที่ไม่สม่ำเสมอเพราะไม่ขัดพื้นผิดก่อนทารองพื้น 10.การเลือกสี สาเหตุเกิดจากใช้สีราคาถูกที่ไม่ได้คุณภาพ 11.ส่วนผสมของสี สาเหตุเกิดจากใช้ความเคยชินในการผสมสี ไม่อ่านคู่มือและไม่ทำตามขั้นตอน

4.4) แนวทางการปรับปรุงการทำงาน ผู้วิจัยและเจ้าของโครงการได้ร่วมกันเลือกปัญหาที่สามารถแก้ไขได้และอยู่ในช่วงที่บริษัทเจ้าของโครงการต้องการทดลองการทำงานที่เป็นระบบให้มากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ได้ทำการคัดเลือกปัญหาจากก้างปลาว่าปัญหาไหนที่สามารถแก้ไขได้หรือแก้ไขไม่ได้ ดังแสดงตารางที่ 4 จากนั้นนำปัญหาที่จะแก้ไขได้มาปรับใช้หรือแก้ไขปัญหา ดังแสดงตารางที่ 5 และนำแนวทางการแก้ไขปัญหามาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขก่อนทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 15, 16, 17, 18, 19, และ 20 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 การคัดเลือกงานที่จะปรับปรุง

ปัญหาที่พบ	คัดเลือกงานที่จะปรับปรุง	หมายเหตุ
1.ช่างไม่มีทักษะในการทำงาน	ไม่แก้ไข	เนื่องจากการจัดการอบรมในทุกๆ 6 เดือน และมีการตรวจสอบทุกๆ 3 เดือน มันใช้เวลาค่อนข้างมากจะทำให้การดำเนินงานโครงการล่าช้าได้
2.ขาดการสื่อสารในการทำงาน	แก้ไข	เนื่องจากการประชุมการทำงานในทุกๆเช้า ไม่เสียเวลามากและยังสามารถสื่อสารการทำงานทุกๆวันจะได้เข้าใจการทำงานไปในทางเดียวกัน
3.ช่างไม่มีสติในการทำงาน	ไม่แก้ไข	เนื่องจากเป็นเรื่องส่วนตัว จึงไม่เหมาะสม
4.ลูกกลิ้ง	แก้ไข	เนื่องจากการเลือกใช้สินค้าที่มีคุณภาพและเหมาะสมกับการใช้ งานจะสามารถลดข้อผิดพลาดของงานได้ดีทั้งยังเก็บล้างทำความสะอาดก็จะสามารถใช้งานได้ยาวนานมากยิ่งขึ้น
5.แปรงทาสี	แก้ไข	เนื่องจากการเลือกใช้สินค้าที่มีคุณภาพและเหมาะสมกับการใช้งานจะสามารถลดข้อผิดพลาดของงานได้ดีทั้งยังเก็บล้างทำความสะอาดก็จะสามารถใช้งานได้ยาวนานมากยิ่งขึ้น
6.เวลาล่าช้าของคนงาน	แก้ไข	การพูดคุยสื่อสารเพื่อแก้ไขปัญหาเป็นสิ่งที่ควรทำ
7.การควบคุมงาน	ไม่แก้ไข	เนื่องจากในงานก็สร้างแผนกับงานก่อสร้างจริงเป็นไปได้ยากที่จะสามารถควบคุมให้ตามแผนได้ทั้งหมดอาจจะมีการเร่งงานบ้างในบ้างช่วง
8.การจัดการงานไม่เป็นระบบ	ไม่แก้ไข	ในงานแต่ละง่านการจ้างช่างที่มีความถนัดแต่ละด้านก็อาจจะทำให้ค่าใช้จ่ายต้นทุนสูงขึ้น และจะต้องเสียเวลาในการจัดหาช่าง ซึ่งอาจจะถือเป็นการทำงานที่หลายขั้นตอนเกินไป
9.รองพื้นก่อนทาสี	แก้ไข	เนื่องจากการควบคุมงานจะต้องทำอยู่แล้วและเพิ่มในส่วนของการกำชับการทำงานในขั้นตอนการลงสี
10.การเลือกสี	ไม่แก้ไข	รายละเอียดของวัสดุ ต้องเป็นไปตามแบบ BOQ
11.ส่วนผสมของสี	แก้ไข	เนื่องจาการผสมสี ให้ถูกต้องควรจะทำและกำชับ เพราะถ้าเกิดข้อผิดพลาดจะเพิ่มต้นทุนในการซื้อใหม่หรือแก้ไขงานอีก

ตารางที่ 5 สาเหตุของปัญหาแนวทางการแก้ไขปัญหา

ปัญหา	แนวทางการแก้ไข
ขาดการสื่อสารในการทำงาน	มีการประชุมและชี้แจงการทำงานของทุกๆวันในตอนเช้าก่อนเริ่มทำงาน
ลูกกลิ้ง	เลือกลูกกลิ้งทาสีที่มีคุณภาพ เลือกขนาดตามงานให้เหมาะสมโดยหลังใช้งาน ทำความสะอาดและเก็บให้เรียบร้อย
แปรงทาสี	เลือกใช้แปลงทาสีที่มีคุณภาพ เลือกตามความเหมาะสมกับการใช้งานโดยหลังใช้งานเสร็จ ทำความสะอาดและเก็บให้เรียบร้อย
เวลาล่าช้าของคนงาน	พูดคุยปัญหาว่าเพราะเหตุใดถึงล่าช้า และทำการแก้ไข
รองพื้นก่อนทาสี	ในขั้นตอนก่อนจะทาสีหรือลงรองพื้นจะต้องจำเป็นต้องควบคุมงานมากขึ้นตั้งแต่งานฉาบ การขัดพื้นผิว เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาตามมาที
ส่วนผสมของสี	ควบคุมการผสมสียึดหลักตามคู่มือ ของงานสี



รูปที่ 15 ชี้แจงรายละเอียดก่อนทำงาน



รูปที่ 16 ทำความสะอาดอุปกรณ์ทาสี



รูปที่ 17 ทำความสะอาดอุปกรณ์ทาสี



รูปที่ 18 วิเคราะห์ปัญหาความล่าช้ากับหัวหน้าช่าง



รูปที่ 19 ควบคุมงานโดยเริ่มจากการฉาบ



รูปที่ 20 คู่มือการปฏิบัติงาน

4.5) จากปัญหางานทั้งหมด 11 งานได้ทำการเลือกมาแก้ไขปรับปรุง 6 งาน ระยะเวลาของการปรับปรุงการทำงาน ก่อนเริ่มงานสี 3 วันและอยู่ในระยะงานอีก 7 วัน เพราะงานสีแผนการทำงานอยู่ที่ 7 ก่อนตรวจเช็คงานสี

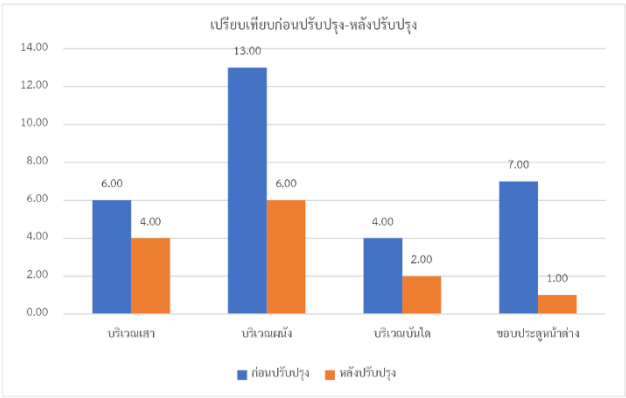
4.6) เก็บผลข้อมูลด้วยแผ่นตรวจสอบ (Check Sheet) จากที่ได้ข้อมูลบ้านหลังที่ 1 มาแล้ว จึงเห็นได้ว่าพบปัญหาข้อบกพร่องสาเหตุมาจากงานสี ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์และทำการแก้ไขในบ้านหลังที่ 2 จะได้เห็นว่าปัญหาและข้อบกพร่องลดลงได้จริง โดยเก็บข้อมูลปัญหาออกมาในรูปแบบแผ่นตรวจสอบ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet)

ประเภท / การแก้ไข	งานสี	ระบบสุขภัณฑ์	งานอลูมิเนียม	ระบบไฟฟ้า	ระบบท่อประปา	โครงหลังคา	ความสะอาดภายนอก	รวม
0	30	1	2	5	0	1	0	39
1	13	0	0	1	-	0	-	14
2	0	-	-	0	-	-	-	0
รวมการแก้ไข	43	1	2	6	0	1	0	53

5. สรุปผลการวิจัย

สรุปผลจากปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการบ้านจัดสรรแห่งหนึ่งในจังหวัดพะเยา มีจำนวน 25 หลัง พื้นที่ใช้สอย 240 ตารางเมตร ส่วนใหญ่เกิดปัญหาจากงานตรวจสอบข้อบกพร่องในโครงการก่อสร้างที่เป็นงานทาสี เมื่อได้ข้อมูลข้อบกพร่องในงานสีของบ้านหลังที่ 1 แล้วพบว่า งานสีมีจุดบกพร่องอยู่ที่30 จุด เมื่อทำการวิจัยแล้วโดยใช้ 4 เครื่องมือคุณภาพ มาปรับใช้ในงานก่อสร้าง จะเห็นได้ว่า บ้านหลังที่ 2 ของงานสีสามารถลดปัญหาข้อบกพร่องในงานสีได้เหลือ 13 จุด จากหลังที่ 1 ซึ่งปัญหาที่แก้ไขข้อบกพร่องได้ จะเป็นปัญหาหลักเช่น ผนังมีรอยแตกร้าว การพองของพื้นผิวผนัง การทาสีที่ไม่สม่ำเสมอ แต่ยังคงมีบางปัญหาที่เล็กน้อย เช่น มีรอยรูพรุนตามด ผิวผนังเป็นด่าง ฝุ่นละอองเกาะบนสี ที่ยังพบอยู่และถ้าโครงการนี้นำข้อมูลจากงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ จะสามารถลดค่าใช้จ่ายของโครงการทั้งหมด 25 หลังในส่วนของงานสีได้ ซึ่งผู้จัดทำวิจัยหวังว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและลดปริมาณงานที่บกพร่องในงานก่อสร้างจากเดิมได้ดียิ่งขึ้น จึงสรุปผลด้วยกราฟก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงดังแสดงรูปที่ 17



รูปที่ 17 กราฟเปรียบเทียบก่อนปรับปรุง-หลังปรับปรุง

ข้อเสนอแนะ

1.ควรมีการวางแผนและชี้แจงรายละเอียดก่อนทำงาน
2.ควรใช้วัสดุที่มีคุณภาพที่ได้มาตรฐานและตรวจสอบก่อนใช้งานทุกครั้ง
3.ควรปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงาน

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ อภิชาต บัวกล้า อาจารย์ที่ปรึกษาและ อาจารย์ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง ที่ให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจทานข้อบกพร่องต่างๆ ทำให้การค้นคว้าครั้งนี้มีรายละเอียดที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอขอบคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณเงินทุนสนับสนุนในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

เอกสารอ้างอิง

[1] นายไตรภพ หงษ์ศรี และ นางสาวทิวากรณ์ สุทธไชย (2554) การลด การสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิตดดยแนวคิดการผลิตแบบลีน. : กรณีศึกษาโรงงานผลิตเซมิคอนดัคเตอร์.ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

[2] บุญยเกียรติ บรรเทิงใจ (2556) แนวทางการเพิ่มผลผลิตในกระบวนการเชื่อมคานกันกระแทกรถยนต์. วิชาการค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนาบริหาราสตร์

[3] วิวัฒน์ วงศ์วิวัฒน์ และณัฐนารี สุขเสกสรร (2550) ศึกษาแนวทางในการลดของเสียในกระบวนการปั้มขึ้นรูป วิทยานิพนธ์ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[4] ธิติมา พงษ์สังกา (2551) ได้ทำการศึกษาการลดของเสีย โดยดำเนินการแก้ไขปัญหาตาม ขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมา.การค้นคว้าแบบอิสระวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[5] คมสัน ศรีประสิทธิ์ (2551) การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปเน็ท โดยหลักการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรมกรุงเทพ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบันทิตย์

[6] แพรวพรรณ พยัคฆชาติ และ ผศ.ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์ (2561) ได้การลดความสูญเสียของกระบวนการแจ้งสั่งซื้อและการบันทึกรับ ในส่วนงานวัสดุอุปกรณ์นั่งร้าน กรณีศึกษา บริษัทรับเหมาก่อสร้าง โครงการ ABC. นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

[7] ภูวนาถ สุทธารส และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์ (2559) ได้ทำการศึกษาสภาพปัญหาและแนวทางการแก้ไขการตรวจรับบ้านในหมู่บ้านจัดสรร โดยประยุกตใช้ ผังพาเรโตและผังก้างปลา กรณีศึกษาโครงการ เพอร์เฟค เพลส รามอินทรา-วงแหวน. นักศึกษาหลักสูตรวิวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

การพัฒนาแม่แบบสำหรับการประมาณราคางานโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมออโตเดสก์ เรฟวิต

Development for construction estimate structural work with Autodesk Revit

วริทธินันท์ วรรณเลิศ[1*] ปรัชญา เบื้องสุวรรณ์[1] วรกร วงเวียน[1] กมลลักษณ์ แขมคำ[1]

[1]นิสิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

**Corresponding author; E-mail address: 63102440@up.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแม่แบบ หมายถึงการสร้างรูปแบบหลักเพื่อการใช้งานหลายครั้ง โดยไม่ต้องเขียนคำสั่งซ้ำใหม่อีกครั้ง ประหยัดระยะเวลา ช่วยให้การแก้ไขงานเป็นไปได้ง่าย ทั้งยังป้องกันการตกหล่นของข้อมูล โดยการพัฒนาแม่แบบสำหรับการประมาณราคางานโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมออโตเดสก์ เรฟวิต สร้างแม่แบบสำหรับการประมาณราคาค่าแรงและค่าวัสดุก่อสร้าง พร้อมทั้งตรวจสอบข้อแตกต่าง โดยการเปรียบเทียบแม่แบบสำหรับการประมาณราคางานโครงสร้างที่พัฒนาขึ้น กับแม่แบบจากสมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์ และนำไปให้ผู้ที่มีความเกี่ยวข้องกับการประมาณราคาทดลองใช้แม่แบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน จากการศึกษาแม่แบบที่พัฒนาขึ้นมา แม่แบบสามารถลดความซับซ้อน ลดระยะเวลาการทำงาน สามารถแสดงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว รวมไปถึงการประมวณผลหลังจากแก้ไขแบบจำลองได้ในทันที ในการเปรียบเทียบกับแม่แบบจากสมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์ แม่แบบที่พัฒนาขึ้นมาใช้ระยะเวลาในการทำงานน้อยกว่าถึง 8 ชั่วโมง ส่งผลให้ความพึงพใจจากผู้ทดลองใช้งานแม่แบบ อยู่ที่ 4.15 คะแนน จาก 5 คะแนนเต็ม

คำสำคัญ: แบบจำลองสารสนเทศอาคาร, แม่แบบสำหรับแบบจำลองสารสนเทศอาคาร, การถอดปริมาณวัสดุ, การประมาณราคา

Abstract

This research is about developing a template, which involves creating a basic pattern for multiple uses without the need to rewrite commands. This approach helps save time. Ease of modification and Prevent data leakage By Development for construction estimate structural work with Autodesk Revit. Creating a template for estimating labor and material costs for construction. Examining the variances between estimate cost template and “ASA Template” Giving the developed template to individuals involved in cost estimation for trial use to evaluate user satisfaction. This template Can simplify Decrease working time. Capable of swiftly presenting information. instantly compute results after model adjustments. In comparison with the ASA Template, the developed template requires up to 8 hours less working time. And The satisfaction rating from users of the template is 4.15 out of 5.

Keywords : Building Information Model, Template for Building Information Model, Removing the amount of material, Cost estimation, Government Buildings

1.บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การประมาณราคาวัสดุก่อสร้างเป็นขั้นตอนที่มีความซับซ้อนและใช้เวลานาน ในอดีตการประมาณราคาวัสดุก่อสร้างเป็นกระบวนการเดิมที่ใช้คนเป็นผู้ถอดแบบด้วยการนับ และวัดปริมาณต่างๆจากแบบก่อสร้างในกระดาษหรือไฟล์คอมพิวเตอร์ อย่างไรก็ดีการถอดแบบด้วยวิธีดังกล่าวยังมี วัสดุหลายประเภทที่มีความคลาดเคลื่อนจากการถอดแบบเนื่องจากตัวแบบที่ซับซ้อน

ปัจจุบันได้นำโปรแกรม Autodesk Revit มาประยุกต์ใช้ในการประมาณราคาผ่านโมเดลที่ถูกสร้างขึ้น โดยมีการเพิ่มข้อมูลขององค์ประกอบต่างๆ อีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลต่างๆไปวิเคราะห์การถอดปริมาณและค่าใช้จ่าย สามารถประมาณราคาได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำโดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่ในระบบ ซึ่งช่วยลดความผิดพลาดช่วยลดความซับซ้อนในกระบวนการประมาณราคา แต่แม่แบบทั่วยังไปมีความล่าช้าในการประมาณราคาจากการที่ไม่สามารถแสดงผลออกมาเป็นราคาและค่าใช้จ่ายในงานก่อสร้างได้

ผู้วิจัยจึงต้องการพัฒนาแม่แบบสำหรับการประมาณราคางานโครงสร้าง โดยใช้โปรแกรมออโต้เดสค์ เรฟวิท ที่อ้างอิงการประมาณราคาวัสดุก่อสร้างและรหัสต้นทุนก่อสร้างอาคาร 2565 จากวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) เพื่อแก้ปัญหาความล่าช้า ข้อผิดพลาด เนื่องจากกระบวนที่ซับซ้อนของการประมาณราคา และเปรียบเทียบกับแม่แบบจากมาคมสถาปนิกสยามในพระราชูปถัมภ์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสามารถด้านกระบวนการทำงานและระยะเวลา ให้แก่ผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับการประมาณราคา

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศในการประมาณราคาสำหรับงานโครงสร้าง

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบระหว่างแม่แบบแบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับการประมาณราคา กับ แม่แบบจากสมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์

1.2.3 เพื่อสร้างแนวทางให้แก่ผู้ที่สนใจ สามารถใช้แบบจำลองสารสนเทศในการประมาณราคา สำหรับงานโครงสร้าง

1.3 ขอบเขต

1.3.1 โปรแกรม

- โปรแกรม Autodesk Revit Student Version 2022

1.3.2 ข้อกำหนดมาตรฐาน

- รหัสต้นทุนการก่อสร้างอาคาร 2565 จากวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)
- วิธีการประมาณราคาตามกรมบัญชีกลาง กระทรวงการคลัง

1.3.3 ประชากร

- นักศึกษา และผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับการประมาณราคา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถประมาณราคาจากแบบจำลองสารสนเทศได้

1.4.2 สามารถลดความซับซ้อน และระยะเวลาได้มากกว่าแม่แบบจากสมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์

1.4.3 ได้แม่แบบ และคู่มือให้แก่ผู้ที่สนใจสามารถนำไปใช้งานในการประมาณราคา สำหรับงานโครงสร้าง

2.ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของการประมาณราคา

หมายถึง การประมาณหรือการวิเคราะห์มาร์ติน บรูค (Martin Brook, 2004) ได้ให้ความหมายของการประมาณราคาว่าการหาปริมาณวัสดุ ค่าแรงและค่าดำเนินการที่ราคาใกล้เคียง กับค่าใช้จ่ายจริงมากที่สุด โดยคำนึงถึงสภาพแวดล้อมของแต่ละโครงการ ซึ่งในการแยกรายการวัสดุ ค่าแรง ค่าใช้จ่ายเครื่องมือ เครื่องจักร และค่าใช้จ่ายอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับงาน โดยมีผลกับตัวแปรตามในด้านระยะเวลาของการทำงาน เมื่อทำการแยกงานออกเป็นหมวดหมู่เสร็จแล้ว ก็จะสามารถกำหนดราคาต่อหน่วยของต้นทุนก่อสร้างได้ ดังนั้น การประมาณราคาจึงไม่ใช่ราคาที่แท้จริง แต่อาจใกล้เคียงกับราคาจริง[1]

2.2 รหัสข้อมูลของ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)

สำหรับในประเทศไทยนั้น หน่วยงานวิศกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) ซึ่งต่อไปในบทความนี้จะใช้ตัวย่อว่า “วสท.” ตลอดทั้งบทความ ทั้งนี้ วสท. ได้ตั้งคณะกรรมการมาตรฐานเพื่อจัดทำรหัสต้นทุนการก่อสร้างงานอาคาร พ.ศ.2555 ขึ้น โดยใช้ชื่อว่า วสท. 012025-57 โดยมีวัตถุประสงค์ในการใช้งานเพื่อการประมาณราคาและการควบคุมต้นทุน ทั้งนี้ ทางคณะทำงานได้เสนอโครงสร้างที่แบ่งออกเป็น 6 หมวดหลัก[2] ดังนี้

0 – ค่าใช้จ่าย (Expense)
1 – งานโครงสร้าง (Structural Work)
2 – งานสถาปัตยกรรม (Architectural Work)
3 – งานตกแต่งภายใน (Interior Decorative Work)
4 – งานระบบประกอบอาคาร (Building System Work)
5 – งานรื้อถอนและงานก่อสร้างพิเศษ (Demolition and Special Construction Work)
6 – งานบริเวณก่อสร้าง (Site Work)

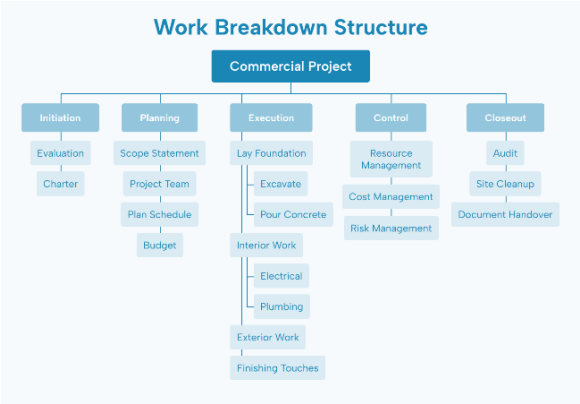
2.3 การถอดแบบหาปริมาณวัสดุ (Quantity Take-Off)

การถอดแบบ เป็นขั้นตอนในการแยกงานก่อสร้างทั้งโครงการออกเป็นปริมาณเนื้องานของงานย่อยต่างๆ ลงในแบบฟอร์มสำหรับการประมาณราคาซึ่งกำหนดให้ใช้เป็นมาตรฐานเดียวกัน และการคิดปริมาณเนื้องานของผู้ถอดแบบอาจคิดได้ไม่เท่ากัน เช่น การเผื่อเปอร์เซ็นต์เสียหายต่างกัน ดังนั้นเพื่อให้ผู้ถอดแบบทั้งหลาย สามารถคิดปริมาณเนื้องานได้ โดยมีมาตรฐานใกล้เคียงกัน จึงกำหนดให้ผู้ถอดแบบใช้ มาตรฐานการวัดเนื้องานและเกณฑ์การเผื่อเสียหายเป็นอันเดียวกัน[3]

2.4 โครงสร้างการแบ่งงานในการจัดการโครงการ (Work Breakdown Structure)

WBS เป็นเครื่องมือพื้นฐานใน การบริหารจัดการโครงการ เพราะมันให้กรอบที่ชัดเจนสำหรับสิ่งที่ต้องทำ วางแผนและกำหนดขอบเขตโครงการอย่างมีประสิทธิภาพพัฒนาประมาณการเวลา ต้นทุน และทรัพยากรที่แม่นยำ มอบหมายงานและความรับผิดชอบ ติดตามความคืบหน้าและระบุความเสี่ยงหรือปัญหาที่อาจเกิดขึ้นตั้งแต่เนิ่นๆ

ปรับปรุงการสื่อสารและการทำงานร่วมกันภายในทีมงานโครงการ ลักษณะสำคัญของโครงสร้างการแบ่งงานในการจัดการโครงการ WBS เริ่มต้นด้วยโครงการเป็นระดับบนสุด และต่อมาถูกแบ่งออกเป็นระดับย่อยที่ให้รายละเอียดส่วนเล็กๆ ของโครงการ ระดับเหล่านี้อาจรวมถึงขั้นตอน สิ่งที่ส่งมอบ งาน และงานย่อย ซึ่งล้วนจำเป็นสำหรับการดำเนินโครงการให้เสร็จสิ้น การพังทลายจะดำเนินต่อไปจนกว่าโครงการจะแบ่งออกเป็นแพ็คเกจงานที่มีขนาดเล็กพอที่จะมอบหมายและจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ[4] ดังตัวอย่าง WBS ของโครงการอาคารเชิงพาณิชย์ รูปที่ 1



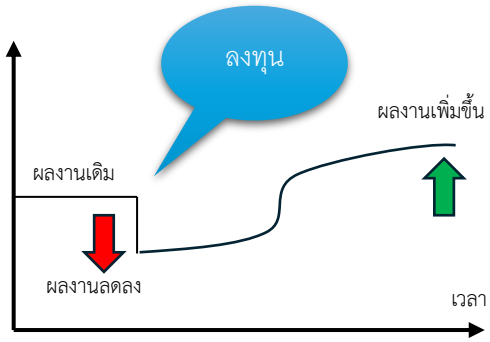
รูปที่ 1 ตัวอย่าง WBS ของโครงการเชิงพาณิชย์
ที่มา: https://ahaslides.com/

2.5 โปรแกรมออโตเดสก์ เรฟวิต (Autodesk Revit Program)

โปรแกรมออโตเดสก์ เรฟวิต เป็นซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบงานด้านอาคารโดยเฉพาะ ในลักษณะของ CAD โดยใช้หลักการสร้างระบบจำลองสารสนเทศอาคารหรือการสร้างรูปแบบจำลองข้อมูลของอาคาร (Building Information Modeling) แทนการเขียนแบบ โดยใช้เครื่องมือตัวแปรผันเปลี่ยนสัมพันธ์ (Parametric Change Engine) โดยสิ่งที่จะได้ติดตามมาคือ แบบก่อสร้าง รายการประกอบแบบต่างๆ ภาพทัศนียภาพ และถอดแบบวัสดุก่อสร้างอย่างคร่าวๆได้ รูปแบบของการใช้งานจะเป็นสามมิติ[5]

2.6 Building Information Modeling (BIM)

BIM หรือ Building Information Modelling เป็นกระบวนการสำหรับการสร้างและจัดการข้อมูลโครงการก่อสร้างตลอดทั้งโครงการ ผลลัพธ์หนึ่งที่สำคัญของกระบวนการนี้คือการสร้างแบบจำลองข้อมูลอาคาร (Building Information Model) ซึ่งจะอธิบายลักษณะทั้งหมดแบบดิจิตอลของการสร้าง การวาดแบบจำลองตามที่รวบรวมข้อมูลและการอัพเดทขั้นตอนสำคัญของโครงการ การสร้างแบบจำลองข้อมูลอาคารแบบดิจิตอลจะช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างอาคารสามารถสื่อสารระหว่างกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพวกเขาได้ ส่งผลให้งานมีมูลค่าที่สูงขึ้น[6]ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเพิ่มขึ้นของมูลค่าในเทคโนโลยี BIM

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สันติ ชินานุวัติวงศ์ (2544) ศึกษาการประมาณราคาเบื้องต้นของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดต่าง ๆ โดยใช้อัตราส่วนราคาของงานคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นฐานในการคำนวณข้อมูลหลักที่ใช้ได้แก่ คอนกรีต แบบหล่อและเหล็กเสริมจะถูกเก็บอยู่ในรูปปริมาณต่อหน่วยพื้นที่ของอาคาร ข้อมูลถูกแบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ด้วยกัน ได้แก่ ปริมาณวัสดุต่อหน่วยพื้นที่อาคารอัตราส่วนต้นทุนงานโครงสร้างและอัตราส่วน

ต้นทุนงานโครงสร้างต่อต้นทุนงานอาคารข้อมูลได้ถูกรวบรวมจากโครงการก่อสร้างอาคาร 48 โครงการ การประมาณราคาแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ ข้อดีของการประมาณราคาในลักษณะนี้คือ สามารถประมาณราคาค่าก่อสร้างอาคารในปีใดก็ได้เพียงแต่ใช้ราคาของวัสดุหลักของคอนกรีตเสริมเหล็กในปีที่สร้างอาคารข้อมูลที่ได้จากการวิจัยอาจนำไปใช้ร่วมกับวิธีการประมาณราคาวิธีอื่น ๆ เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการประมาณราคามากขึ้น[7]

พิมพ์ชนก ธิบดี (2564) ศึกษาการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling : BIM) เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษางานนี้มุ่งเน้นศึกษารูปแบบสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling : BIM) และเลือกใช้โปรแกรม Autodesk Revit (Free Software for Students & Educators Revit Autodesk) เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลองอาคารศูนย์การเรียนรู้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์และทำการวิเคราะห์ปริมาณวัสดุที่เกิดขึ้นจากโปรแกรม เพื่อการประมาณราคาค่าก่อสร้าง ทางผู้จัดทำต้องการทราบถึงความแม่นยำทางตัวเลขและประโยชน์สูงสุดของโปรแกรมและทำการศึกษาพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้นเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก โดยการวางแผนการตัดขนาดวัสดุในงานก่อสร้าง (Bar-Cut List) ให้เหมาะสมกับรูปแบบการใช้งานและก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ผลการศึกษาได้ทราบถึงการเปรียบเทียบอาคารที่ทำ Bar-Cut List และไม่ทำ Bar-Cut List ทำให้สามารถทราบถึงการวางแผนในการตัดวัสดุในงานก่อสร้าง นำไปใช้ในการตัดเหล็กเส้นและเหล็กรูปพรรณตลอดจนการบริหารจัดการวัสดุและเศษเหลืออย่างมีประสิทธิภาพ พบว่า ระบบสารสนเทศของอาคารสามารถทำได้ดีกว่าระบบเดิมที่สามารถลดปริมาณเหล็กเสริมได้สูงสุดร้อยละ : 17 สะดวกในการแก้ไขและ สามารถนำไปใช้ต่อยอดในส่วนอื่นไม่ว่าจะเป็นขั้นตอนการวางแผนงาน และสามารถแสดงผลขั้นตอนเป็นรูป 3 มิติ ของอาคาร ซึ่งจะทำให้เข้าใจง่าย[8]

ยุภาวดี เกษมุล (2563) ศึกษาการประยุกต์ใช้สเก็ตอัพในการถอดปริมาณเหล็กเสริม คอนกรีตของงานสะพานข้ามทางรถไฟเพื่อเปรียบเทียบปริมาณงานที่ใช้จริงและปริมาณงานที่ถอดจาก สเก็ตอัพของงานสะพาน โดยใช้ทฤษฎี ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนและและค่า กลางของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยการสร้างโมเดลสามมิติจาก แบบก่อสร้างของสะพานข้ามทางรถไฟจำนวน 4 ชนิด คือ ฐานราก เสาเข็ม เสาตอม่อ และ Segment Box Girder โดยฐานรากจำนวน 20 ตัว เสาเข็มจำนวน 80 ต้น เสาตอม่อจำนวน 20 ตัว และ Segment Box Girder จำนวน 4 ชนิด โดยทำการถอดปริมาณงานโดยใช้คำสั่งเสริมของ Profile builder จากผลการศึกษาพบว่า ฐานรากมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ 1% เสาเข็มมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ 3.86% เสาตอม่อมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ 3.9% และ Segment Box Girder มีค่าความ คลาดเคลื่อนอยู่ 2.69 % ซึ่งสเก็ตอัพใช้ในการถอดปริมาณงานก่อสร้างโครงการได้อย่างรวดเร็วและมี ประสิทธิภาพมากกว่าการถอดปริมาณงานก่อสร้างโดยวิธีหยาบจากผู้มีประสบการณ์[9]

3.ระเบียบวิธีวิจัย

การพัฒนาแม่แบบสำหรับการประมาณราคางานโครงสร้าง โดยใช้โปรแกรมออโตเดสก์ เรฟวิต ซึ่งมีรายละเอียดการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 ศึกษาเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาเอกสารบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแม่แบบสำหรับการประมาณราคางานโครงสร้าง โดยใช้โปรแกรมออโตเดสก์ เรฟวิต

3.1.1. Autodesk Revit

ศึกษาวิธีการใช้งานของโปรแกรม Autodesk Revit ตัวอย่าง เช่น การสร้างโมเดลโครงสร้างอาคารดังรูปที่ 3



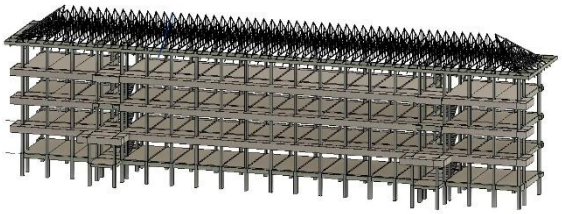
รูปที่ 3 Structure Model

3.2 คัดเลือกแบบก่อสร้าง

ศึกษาวิธีการคิดในการถอดปริมาณด้วยวิธีการต่างๆ ยกตัวอย่าง เช่น การถอดปริมาณด้วยโปรแกรม Autodesk Revit โดยคัดเลือกดังนี้ ต้องเป็นอาคารภาครัฐ มีแบบแปลนโครงสร้างที่ละเอียดโดยอาคารภาครัฐที่นำมาถอดแบบจะถอดเฉพาะงานโครงสร้างเท่านั้น

3.3 จัดทำแบบจำลองสารสนเทศอาคารและสร้างแม่แบบสำหรับการประมาณราคาเพื่อใช้ในการศึกษา

3.3.1 จัดทำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร โดยใช้โปรแกรม Autodesk Revit 2022 การสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารในส่วนของงานโครงสร้างดังรูปที่ 4 ซึ่งการจำลองโมเดลในโปรแกรม Autodesk Revit ต้องกำหนด ชนิดวัสดุ อย่างชัดเจนเพื่อให้ง่ายต่อการถอดปริมาณ



รูปที่ 4 จัดทำแบบจำลองอาคารโครงสร้าง

3.3.2 สร้างแม่แบบสำหรับการประมาณราคาโดยใช้โปรแกรม Autodesk Revit 2022การสร้างแม่แบบของโปรแกรม Autodesk Revit เป็นการตั้งค่าพื้นฐานเพื่อให้มีความพร้อมสำหรับการใช้งาน ซึ่งการสร้างแม่แบบต้องกำหนดค่าพื้นฐานและส่วนการถอดปริมาณงานโครงสร้าง หน้าปกแม่แบบที่พัฒนาขึ้น ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 หน้าปกแม่แบบที่พัฒนาขึ้น

3.4 ทดสอบการนำโมเดลแบบจำลองสารสนเทศอาคารที่สร้างมาใช้ในแม่แบบสำหรับการประมาณราคาที่จัดทำไว้

แบบจำลองสารสนเทศอาคารมักจะถูกนำมาใช้ตั้งแต่ขั้นตอนก่อนการก่อสร้าง เพื่อช่วยลดความขัดแย้ง และลดข้อผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นในงานก่อสร้าง ตลอดจนการตรวจงานอาคาร เพื่อให้มีความถูกต้องครบถ้วน และสมบูรณ์เป็นไปตามข้อกำหนด และขอบเขตของงานก่อสร้างนั้น ๆ ทั้งนี้โปรแกรม Autodesk Revit ยังช่วยเรื่องการถอดแบบเช่น การถอดงานพื้น คาน เสา และฐานราก ดังรูปที่ 6

Assembly Code	Type Mark	ปริมาณคอนกรีตโครงสร้าง	ราคาวัสดุคอนกรีตโครงสร้าง	ราคาค่าแรงคอนกรีตโครงสร้าง	รวมราคาคอนกรีตโครงสร้าง
03.01.01.03	B4	5.44 m³	2,261.00	485.00	14,927.04
03.01.01.03	B5	1.43 m³	2,261.00	485.00	3,913.05
03.01.01.03	B6	3.70 m³	2,261.00	485.00	10,152.21
03.01.01.03	B7	11.42 m³	2,261.00	485.00	31,354.23
03.01.01.03	B8	5.04 m³	2,261.00	485.00	13,837.07
03.01.01.03	B9	2.46 m³	2,261.00	485.00	6,759.53
03.01.01.03	B9/1	0.79 m³	2,261.00	485.00	2,155.70
03.01.01.03	B10	99.65 m³	2,261.00	485.00	273,646.33
03.01.01.03	B11/1	1.04 m³	2,261.00	485.00	2,867.52
03.01.01.03	B12	1.69 m³	2,261.00	485.00	4,633.63
03.01.01.03	B14	3.92 m³	2,261.00	485.00	10,763.53

รูปที่ 6 การถอดปริมาณงานคอนกรีตโครงสร้าง

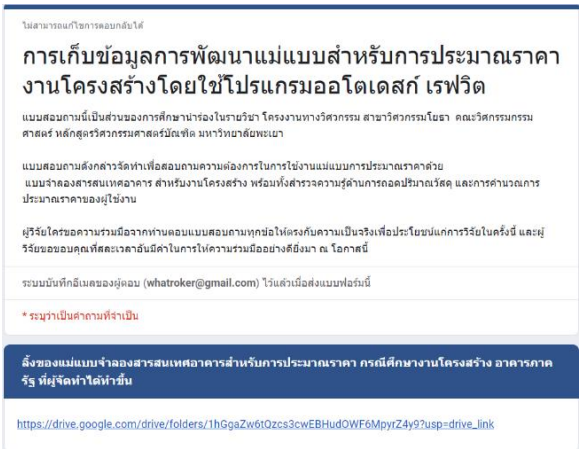
3.5 เปรียบเทียบกับแม่แบบจากสมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์

การเปรียบเทียบแม่แบบเป็นการเปรียบเทียบระหว่าง แม่แบบแบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับการประมาณราคากรณีศึกษางานโครงสร้าง อาคารภาครัฐ ที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้น มาเปรียบเทียบกับแม่แบบจากสมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์ในด้านต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น การประมาณราคา

3.6 นำแม่แบบการประมาณราคาให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการประมาณราคาทดลองใช้ และประเมินความพึงพอใจ

การนำแม่แบบสารสนเทศอาคารที่ประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศในการประมาณราคา สำหรับงานโครงสร้างมาสาธิตวิธีการใช้งานเครื่องมือให้แก่นักศึกษา และผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับการประมาณราคา เพื่อการประเมินผลการใช้งานจากกลุ่มผู้ใช้งานจริง โดยแบ่งขั้นตอนออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

1. การนำเสนอเรื่องการถอดปริมาณวัสดุก่อสร้าง และข้อกำหนดรหัสต้นทุนการก่อสร้างอาคาร 2565 จากวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)
2. การสาธิตวิธีการใช้งานแม่แบบที่ได้จากการวิจัย
3. การสัมภาษณ์โดยใช้คำถาม ได้แก่ความรู้ความสามารถของผู้ใช้งาน, ความคิดเห็นเกี่ยวกับขั้นตอนการติดตั้งแม่แบบ, ความคิดเห็นเกี่ยวกับขั้นตอนการใช้งานภายในโปรแกรม Revit, ความเป็นไปได้ในการนำไปใช้จริง และข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ดังรูปที่ 7


ไม่สามารถแก้ไขการตอบกลับได้

การเก็บข้อมูลการพัฒนาแม่แบบสำหรับการประมาณราคางานโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมออโตเดสก์ เรฟวิต

แบบสอบถามนี้เป็นส่วนของการศึกษาค้นคว้าในรายวิชา โครงงานทางวิศวกรรม สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมกรรมศาสตร์ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยพะเยา

แบบสอบถามดังกล่าวจัดทำเพื่อสอบถามความต้องการในการใช้งานแม่แบบการประมาณราคาด้วย แบบจำลองสารสนเทศอาคาร สำหรับงานโครงสร้าง พร้อมทั้งสำรวจความรู้ด้านการถอดปริมาณวัสดุ และการคำนวณการประมาณราคาของผู้ใช้งาน

ผู้วิจัยใคร่ขอความร่วมมือจากท่านตอบแบบสอบถามทุกข้อให้ตรงกับความเป็นจริงเพื่อประโยชน์แก่การวิจัยในครั้งนี้ และผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้

ระบบบันทึกอีเมลของผู้ตอบ (whatroker@gmail.com) ไว้แล้วเมื่อส่งแบบฟอร์มนี้

* ระบุว่าเป็นคำถามที่จำเป็น

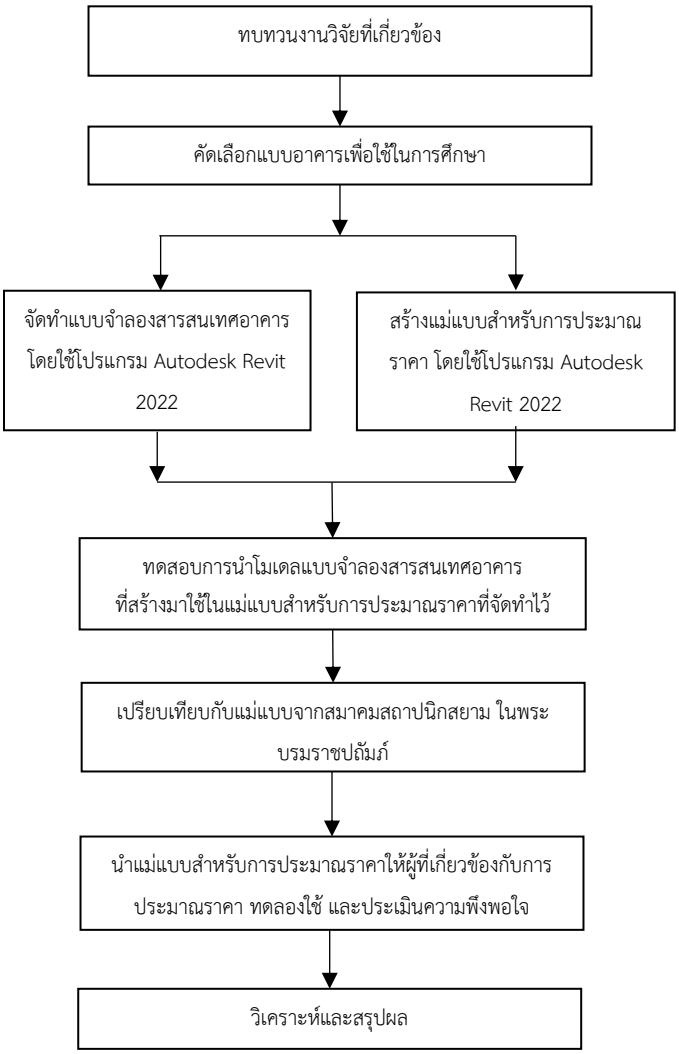
สิ่งของแม่แบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับการประมาณราคา กรณีศึกษางานโครงสร้าง อาคารภาครัฐ ที่ผู้จัดทำได้ทำขึ้น

https://drive.google.com/drive/folders/1hGgaZw6tQzcs3cwEBHudOWF6MpyrZ4y9?usp=drive_link

รูปที่ 7 แบบสำรวจเก็บข้อมูลการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับการประมาณราคา กรณีศึกษางานโครงสร้าง

3.7 วิเคราะห์และสรุปผล

หลังจากสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารภาครัฐโดยใช้โปรแกรม Autodesk Revit ต้องทำการพิจารณาวิเคราะห์ แก้ไขปรับปรุงให้ถูกต้อง เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการถอดปริมาณวัสดุก่อสร้างในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สำหรับงานโครงสร้าง มาแสดงผลลัพธ์เพื่อให้ผู้ใช้งานทำความเข้าใจ สามารถสรุประเบียบการวิจัยโดยแผนผังการดำเนินงาน ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนผังการดำเนินงาน

4.ผลการวิจัย

ผลจากการพัฒนาแม่แบบแบ่งเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วยส่วนที่หนึ่ง คือ แม่แบบที่ได้จากการพัฒนาเพื่อใช้ในการประมาณราคา ส่วนที่สอง คือ ผลการเปรียบเทียบแม่แบบระหว่างแม่แบบที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับ แม่แบบจากสมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์ และส่วนที่สาม คือ ผลสำรวจจากผู้ที่เกี่ยวข้องทดลองใช้งานและทำแบบประเมินความพึงพอใจ

4.1 การนำโมเดลแบบจำลองสารสนเทศอาคารที่สร้างมาใช้ในแม่แบบสำหรับการประมาณราคาที่จัดทำไว้

พบว่าแม่แบบมีความสามารถในการคำนวณแยกราคาวัสดุและค่าแรง ที่สามารถแสดงผลได้รวมไปถึงการแยกประเภทของงาน ดังรูปที่ 9

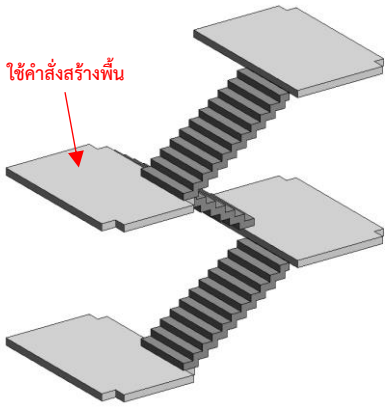
<เสาคอนกรีต_05_รวม>

A	B	C	D	E
Assembly Code	Type Mark	รวมราคาค่าวัสดุ	รวมราคาค่าแรง	รวมราคา
		0.00	0.00	0.00
03.01.01.01	C1A	96,147.66	35,051.10	131,198.76
03.01.01.01	C2A	6,409.84	2,336.74	8,746.58
03.01.01.01	C3A	32,049.22	11,683.70	43,732.92
03.01.01.01	C4A	22,295.07	8,545.95	30,841.02
03.01.01.01	C5A	8,918.03	3,418.38	12,336.41
03.01.01.03	C1	355,268.27	136,789.45	492,057.72
03.01.01.03	C2	23,296.28	8,969.80	32,266.08
03.01.01.03	C3	110,823.73	42,670.62	153,494.35
03.01.01.03	C4	75,732.18	30,901.83	106,634.02
03.01.01.03	C5	7,562.42	3,085.78	10,648.19
Grand total: 825		738,502.70	283,453.35	1,021,956.05

รูปที่ 9 ตัวอย่างตารางการประมาณราคาจากแม่แบบ

จากการพัฒนาผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงข้อจำกัดของแม่แบบที่ยังต้องทำตามข้อกำหนดที่ผู้วิจัยกำหนดไว้เพื่อให้แม่แบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพยกตัวอย่าง

4.1.1 การสร้างชานพักบันไดต้องใช้คำสั่งสร้างพื้น ไม่สามารถใช้คำสั่งสร้างบันไดในการทำได้ เพราะ ในแม่แบบผู้วิจัยกำหนดให้ชานพักเป็นส่วนหนึ่งของพื้น ตัวอย่างดังรูปที่ 10



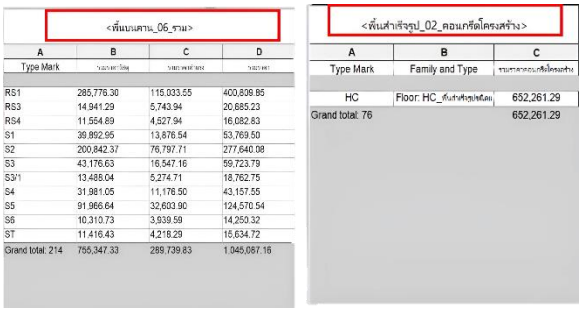
รูปที่ 10 ตัวอย่างการสร้างชานพักบันได

4.1.2 การใส่ราคาต้องใช่ราคาต่อหน่วยให้ตรงกับหน่วยปริมาณวัสดุที่แม่แบบจัดทำไว้ เพราะหากใส่ผิดจะทำให้ราคาออกมาคลาดเคลื่อนจากค่าใช้จ่ายจริง เช่น ลวดผูกเหล็กหน่วยเป็น กิโลกรัม ควรใส่ราคาต่อเป็นหน่วยกิโลกรัม ตัวอย่างดังรูปที่ 11

C	D	E	F
Type Mark	ปริมาณลวดผูกเหล็ก	ราคาวัสดุลวดผูกเหล็ก	รวมราคาวัสดุลวดผูกเหล็ก
DB12	63.51 kg	28.00	1,778.18
DB16	73.37 kg	28.00	2,054.23
DB20	186.09 kg	28.00	5,210.47
DB25	2370.43 kg	28.00	66,372.08
RB6	41.55 kg	28.00	1,163.50
RB9	771.43 kg	28.00	21,600.15
	3506.38 kg		98,178.61

รูปที่ 11 ตัวอย่างการใส่ราคาต่อหน่วย

4.1.3 แม่แบบยังมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถการแสดงผลราคาของทุกงานรวมกันได้ เนื่องจากข้อจำกัดของโปรแกรมไม่สามารถประมวลผลข้อมูลให้รวมกันได้ ตัวอย่างดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ตัวอย่างข้อจำกัดที่ไม่สามารถประมวลผลข้อมูลให้รวมกันได้

4.1.4 การกรอกข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณที่ผู้ใช้งานยังต้องทำการกรอกค่าต่างๆด้วยตนเอง ดังตารางที่ 1 และ รูปที่ 13

ตารางที่1 ข้อมูลที่จำเป็นต้องกรอกด้วยตนเอง	
1	ค่าแรง
2	ค่าวัสดุ
3	น้ำหนักเหล็ก
4	ร้อยละเผื่อบดอัดด้วยแรงคน
5	ร้อยละเผื่อบดอัดด้วยเครื่องจักร
6	ร้อยละบวกเพิ่มปริมาณงานเหล็กเส้นกลมผิวเรียบ(RB)
7	ร้อยละบวกเพิ่มปริมาณงานเล็กข้ออ้อย(DB)
8	ค่าร้อยละการใช้ไม้แบบ
9	ชนิดบันได
10	ชนิดของพื้น

J	K	L	M
ปริมาณคอนกรีตโครงสร้าง	ราคาวัสดุคอนกรีตโครงสร้าง	รวมราคาวัสดุคอนกรีตโครงสร้าง	ราคาค่าแรงคอนกรีตโครงสร้าง
0.97 m³		0.00	
26.46 m³	2,261.00	59,826.06	485.00
1.76 m³	2,261.00	3,988.40	485.00
8.82 m³	2,261.00	19,942.02	485.00
5.67 m³	2,261.00	12,819.87	485.00
2.27 m³	2,261.00	5,127.95	485.00
89.67 m³	2,261.00	202,743.87	485.00
5.88 m³	2,261.00	13,294.68	485.00
27.97 m³	2,261.00	63,244.69	485.00
17.17 m³	2,261.00	38,831.54	485.00
1.72 m³	2,261.00	3,877.62	485.00
188.36 m³		423,696.70	

รูปที่ 13 ตัวอย่างข้อมูลที่จำเป็นต้องกรอกด้วยตนเอง

4.2 เปรียบเทียบแม่แบบระหว่างแม่แบบที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นกับแม่แบบจากสมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์

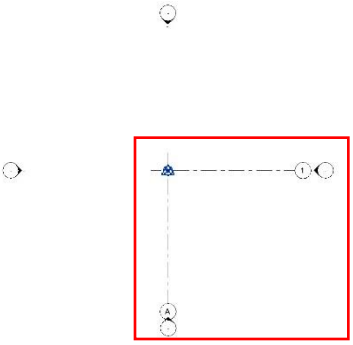
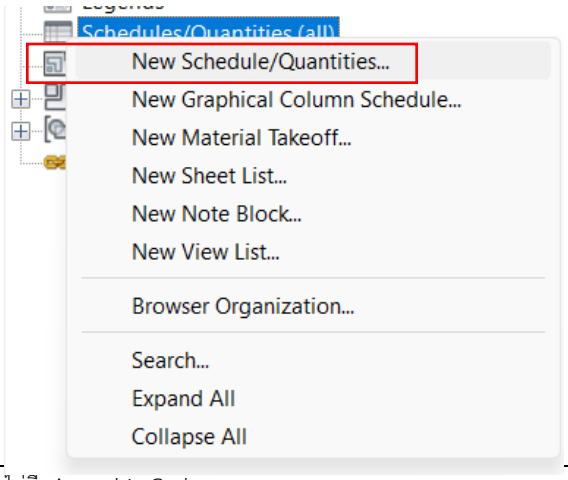
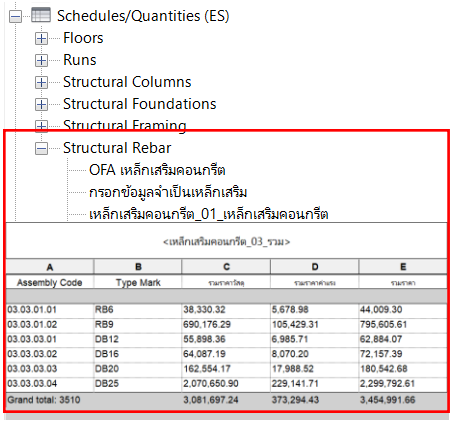
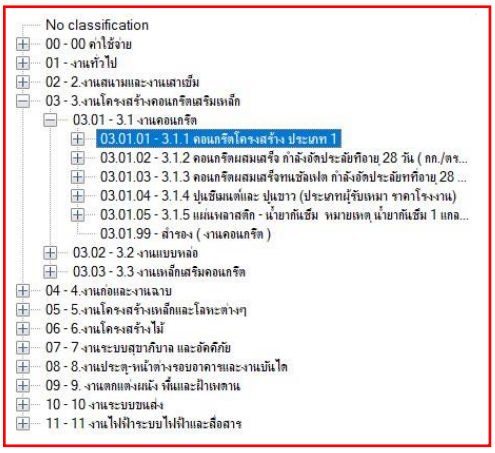
การเปรียบเทียบแม่แบบระหว่าง แม่แบบที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นกับแม่แบบจากสมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์กรณีศึกษางานโครงสร้าง อาคารภาครัฐ ในส่วนของแม่แบบที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นได้ทำการตั้งค่าค่าพื้นฐานต่างๆให้มีความพร้อมสำหรับการใช้งานมากขึ้น ยกตัวอย่าง

4.2.1 การสร้างเส้น Grid line เส้น ที่สามารถ copy ใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องสร้างใหม่ อีกทั้งยังมีในส่วนของระยะหุ้มคอนกรีตที่สามารถเลือกใช้ตามที่ผู้งานต้องการอ ดังหัวข้อ 1 และ 2 ในตารางที่2

4.2.2 การประยุกต์ใช้รหัสต้นทุนการก่อสร้างอาคาร 2565 จากวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) มาใช้ในการแยกประเภทงาน แยกประเภทวัสดุ เพื่อให้ง่ายและ ลดขั้นตอนการกรอกข้อมูลเดิมซ้ำๆ ดังหัวข้อ 3 ในตารางที่2

4.2.3 เป็นกรณีที่ทำให้แม่แบบที่ผู้ได้จัดทำขึ้น ประหยัดเวลาการทำงานได้มากกว่า แม่แบบจากสมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์ อย่างมี นัยสำคัญคือส่วนของตารางปริมาณที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นที่สามารถกรอกที่จำเป็นต่อการคำนวณก็สามารถได้ปริมาณงานและราคาออกมาได้ทันที ดังหัวข้อ 4 ในตารางที่2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบแม่แบบระหว่าง ASA-Template และ UP Template

	ASA-Template	UP Template
1	ไม่มี Grid Line 	มี Grid Line 
2	ต้องตั้งค่าระยะหุ้มคอนกรีต 	มีระยะหุ้มคอนกรีตให้เลือก 
3	ต้องสร้างสูตรสำหรับใช้ในการประมาณราคา 	มีสูตรสำหรับการประมาณราคา 
4	ไม่มี Assembiy Code 	มี Assembiy Code ที่จัดหมวดหมู่งานตามมาตรฐาน(วสท.) 

4.3 สำรวจความพึงพอใจผู้ใช้งานแม่แบบสำหรับการประมาณราคา

การสำรวจความรู้ของกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจริง ได้แก่ กลุ่มวิศวกร และผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับการประมาณราคา เพื่อสอบถามความรู้ในการประมาณราคา และความรู้ในการใช้โปรแกรมด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สำหรับงานโครงสร้าง

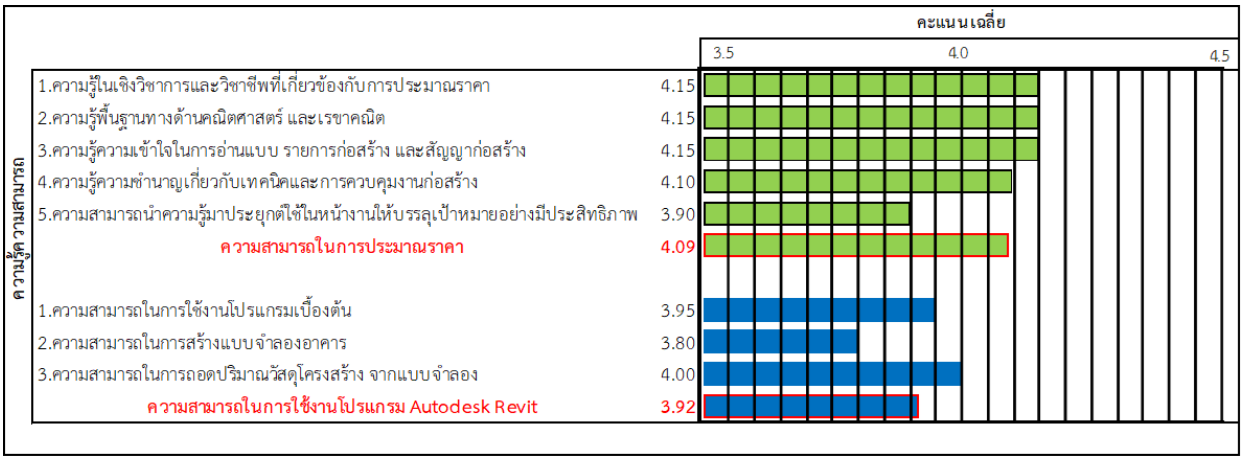
พร้อมทั้งสำรวจความต้องการ ในการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับการประมาณราคา กรณีศึกษางานโครงสร้าง อาคารภาครัฐของผู้ใช้งานจริง จำนวนทั้งสิ้น 20 คน ได้แก่กลุ่ม ภาควิศวกรโยธา จำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 60 และกลุ่มสามัญวิศวกรโยธา จำนวน 4 คน คิดเป็นร้อยละ 20

4.3.1 ความรู้ความสามารถในการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับการประมาณราคา จากการสำรวจความรู้ความสามารถในการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับการประมาณราคาเป็นไปตามรูปที่ 14

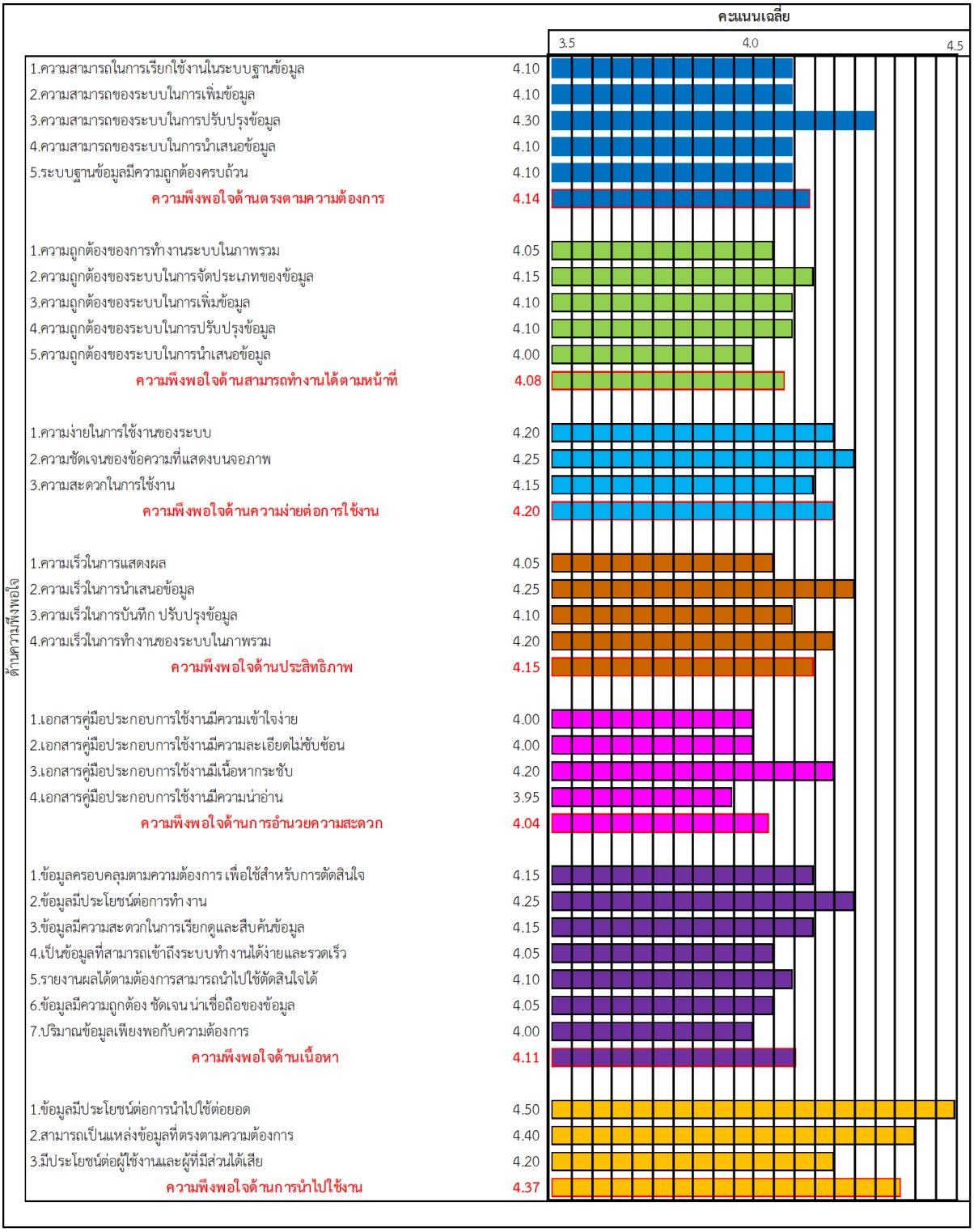
4.3.2 ความพึงพอใจในการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับการประมาณราคาจากการสำรวจความพึงพอใจในการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับการประมาณราคาทั้ง 7 ด้าน เป็นไปตามรูปที่ 15

4.3.3 ข้อเสนอแนะจากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจริง

1.ข้อมูลการแสดงในคู่มือ ควรเหมาะแก่ผู้ที่จะเข้ามาดูข้อมูลภายหลัง และสามารถต่อยอดเป็นรูปแบบ back up อาจเพิ่มช่องทางในการทำ cloud back up ต่อไป



รูปที่ 14 ความรู้ความสามารถของผู้ใช้งาน



รูปที่ 15 ความพึงพอใจในการใช้แม่แบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

5.สรุปผลงานวิจัย

จากการวิจัยได้ศึกษาตการพัฒนาแม่แบบสำหรับการประมาณราคางานโครงสร้าง โดยใช้โปรแกรมออโต้เดสค์ เรฟวิท จึงทำการสร้างแบบจำลองที่มีข้อมูลของอาคารเรียน 324ล./55-ข บริเวณอาจได้รับผลกระทบแผ่นดินไหว ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2550 และพัฒนาแม่แบบสำหรับการประมาณราคางานโครงสร้าง รวมถึงการสำรวจความรู้ ความต้องการของกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจริง รวมทั้งการนำไปเปรียบเทียบระยะเวลาการใช้งานจริงระหว่างแม่แบบแบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับการประมาณราคากรณีศึกษางานโครงสร้างอาคารภาครัฐ ที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้น มาเปรียบเทียบกับ แม่แบบจากสมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์ หลังจากผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว สามารถนำเสนอผลการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

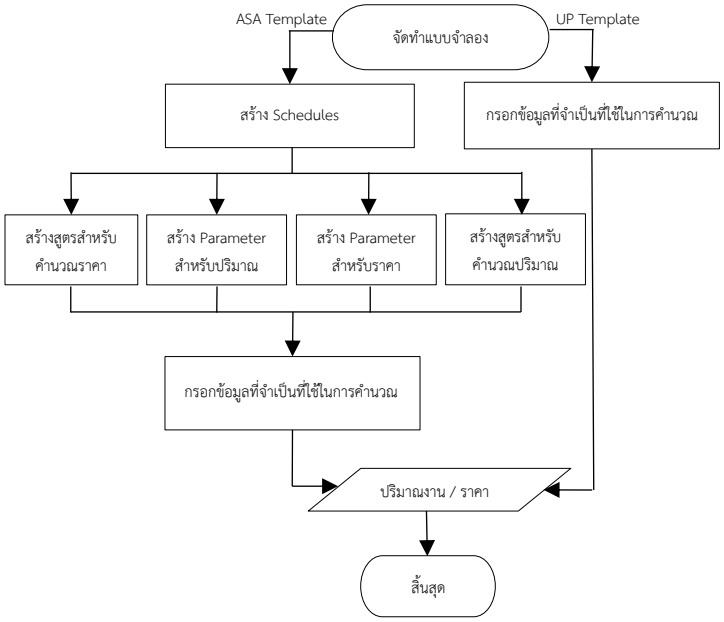
5.1 การพัฒนาแม่แบบสำหรับการประมาณราคางานโครงสร้าง

จากการพัฒนาพบว่าแม่แบบสามารถถอดปริมาณวัสดุเพื่อนำไปคำนวณราคาวัสดุและราคาค่าแรงแต่ยังคงมีข้อจำกัดในการใช้งานแม่แบบ

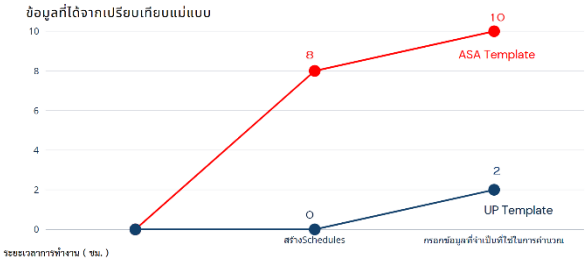
5.2 ข้อมูลจากเปรียบเทียบแม่แบบ

จากการเปรียบเทียบแม่แบบ พบว่าการใช้แม่แบบสำหรับการประมาณราคางานโครงสร้าง โดยใช้โปรแกรมออโต้เดสค์ เรฟวิท ที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้น สามารถทำได้ดีกว่าการใช้แม่แบบจากสมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์ ในเรื่องของในขั้นตอนการสร้าง Schedules ตามสรุป รูปที่ 16 ระยะเวลา ความสะดวกสะบาย และการแก้ไขงาน ที่เห็นภาพและชัดเจน ซึ่งจะทำให้หลายฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับการประมาณราคาเข้าใจข้อมูลการถอดปริมาณวัสดุก่อสร้างได้ง่ายกว่าแม่แบบจากสมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์

จากรูปที่ 17 สามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลข้อแตกต่างด้านระยะเวลาการทำงาน พบว่าในการในการใช้แม่แบบจำลองสาระสนเทศสาระสนเทศอาคารที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นแตกต่างกับแม่แบบจากสมาคมสถาปนิกสยาม ระยะเวลาน้อยลง 8 ชั่วโมง เป็นผลให้สามารถลดระยะเวลาการทำงานของการประมาณราคาวัสดุก่อสร้าง



รูปที่ 16 สรุปกระบวนการทำงานของแม่แบบทั้งสอง



รูปที่ 17 สรุปเปรียบเทียบระยะเวลาการทำงาน

5.3 การสำรวจความพึงพอใจจากผู้ใช้งานแม่แบบสำหรับการประมาณราคา

จากการสำรวจพบว่าผู้ใช้ส่วนใหญ่เป็นภาคีวิศวกรโยธา ซึ่งความรู้ความสามารถการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับการประมาณราคาอยู่ในระดับดี และความพึงพอใจในการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในการประมาณราคาอยู่ที่ 4.15 คะแนน จาก 5 คะแนน โดยด้านที่มีความพึงพอใจสูงสุดคือด้านการนำไปใช้งาน อยู่ในหัวข้อข้อมูลมีประโยชน์นำไปต่อยอด ด้านที่มีความพึงพอใจต่ำสุดคือด้านการอำนวยความสะดวก อยู่ในหัวข้อเอกสารคู่มือการใช้งานมีความหน้าอ่าน

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการใช้แม่แบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับการประมาณราคากรณีศึกษางานโครงสร้าง อาคารภาครัฐนั้นมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1.สามารถนำข้อมูลงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อยอดสำหรับการประมาณราคางานสถาปัตยกรรม งานระบบ และงานสนามอื่นๆ เพื่อให้แม่แบบมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ครอบคลุมและครบถ้วนสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

2.สามารถนำข้อมูลวิจัยนี้ไปพัฒนาเพื่อแสดงผลลัพธ์การคำนวณผ่านตารางโปรแกรม Microsoft Excel โดยใช้โปรแกรม Dynamo เป็นโปรแกรมเสริมที่คอยส่งข้อมูลจากโปรแกรม Autodesk Revit ไปยัง Microsoft Excel

3. .ข้อมูลการแสดงในคู่มือ ควรเหมาะแก่ผู้ที่จะเข้ามาดูข้อมูลภายหลัง และสามารถต่อยอดเป็นรูปแบบ back up อาจเพิ่มช่องทางในการทำ cloud back up ต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยฉบับนี้ เพื่อการสำเร็จการศึกษาของนักศึกษาระดับปริญญาตรี สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจาก ได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อภิชาต บัวกล้า อาจารย์ ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง และอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ ข้อคิด ข้อแนะนำ และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดีผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่สนับสนุนเงินทุน สถานที่ ในการศึกษาวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกคนที่ช่วยเหลือกันและกันในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

บรรณานุกรม

[1] ปาริชาต ศรีมงคล (2554). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบานปลายของงบประมาณการก่อสร้างบ้านพักอาศัยประเภทสร้างเอง ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. (การค้นคว้าอิสระวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

[2] ฐิติพัฒน์ ประทานทรัพย์, ธารา จำเนียรดำรงการ, ขวัญชัย โรจนกนันท์, วิเชษฎ์ สุวิสิทธ์, (2560). มาตรฐานรหัสข้อมูลในระบบ BIM. วารสารวิชาการ, ฉบับที่ 32, หน้า 136-137.

[3] ธีรวุฒิ ชูภักดี. (2559). การถอดแบบ. สืบค้นวันที่ 4 มีนาคม 2567, จาก https://cmteerawut.wordpress.com/2016/04/27/การถอดแบบ-quantities-take-off/

[4] Jane Ng. (2567). โครงสร้างการแบ่งงานในการจัดการโครงการ. สืบค้นวันที่ 4 มีนาคม 2567, จาก https://ahaslides.com/th/blog/work-breakdown-structure-in-project-management/

[5] I.T. Solution Computer. (2564). ซอฟต์แวร์ Revit คืออะไร. สืบค้นวันที่ 4 มีนาคม 2567, จาก https://itsolution.co.th/blog-content-8_revit

[6] บริษัท ซินเนอร์จี้ซอฟต์ โซลูชั่น จำกัด. (2567). Building Information Modeling (BIM) คืออะไร. สืบค้นวันที่ 4 มีนาคม 2567, จาก https://synergysoft.co.th/31-special-articles-bim101

[7] สันติ ชินานุวัติวงศ์. (2544). การประมาณราคาก่อสร้างอาคารโดยใช้อัตราส่วนองค์ประกอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก. วิศวกรรมสาร มก, ปีที่ 15, ฉบับที่ 44, หน้า 52-61.

[8] พิมพ์ชนก ธิบดี. (2564). การประยุกต์ใช้ BIM เพื่อนำเสนอเทคนิคการถอดปริมาณงาน : กรณีศึกษาอาคารศูนย์การเรียนรู้ 6 ชั้น. วารสารสถาปัตยกรรม การออกแบบและการก่อสร้าง, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1

[9] ยุภาวดี เกษมุล. (2563). การประยุกต์ใช้สเก็ตอัพในการถอดปริมาณเหล็กเสริมคอนกรีตของงานสะพานข้ามทางรถไฟ(ผลงานของนิสิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

การศึกษาการตลาดเพื่อการพัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์ ประเภทที่อยู่อาศัยในจังหวัดพะเยา

Marketing study for real estate project development residential in Phayao province.

พีรพัฒน์ ตัวลือ[1,*] พงษ์พิสิทธิ์ ชาวส้าน[1] สุพัตรา รักไพรบุญ[1] ฟาริดา เจริญศิริ[1]

[1]นิสิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

**Corresponding author; E-mail address:* 63102305@up.ac.th

บทคัดย่อ

การสำรวจข้อมูลทางการตลาดเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์เป็นขั้นตอนที่สำคัญเพื่อนำข้อมูลมาทำการออกแบบธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ โดยผู้สร้างจะต้องตรวจสอบถึงปัจจัยต่างๆไม่ว่าจะเป็น ปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจ สังคม เทคโนโลยี กฎหมาย และสิ่งแวดล้อม เพราะธุรกิจจะมีการลงทุนที่ค่อนข้างสูงและการแข่งขันในตลาดจะมีการเปลี่ยนแปลงตามสถานการณ์ตลอดเวลา โดยวิธีการดำเนินงานเริ่มจากการลงพื้นที่สำรวจโครงการบ้านจัดสรรในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ทำการสัมภาษณ์และเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น ทำแบบสอบถามประชาชนในจังหวัดพะเยา มีการประกอบอาชีพจำนวนมาก ได้แก่ อาชีพอิสระ ธุรกิจส่วนตัว พนักงานบริษัทเอกชน รับราชการ ครูอัตราจ้าง พยาบาลวิชาชีพ เป็นต้น ทำการสำรวจลักษณะที่อยู่อาศัยที่ต้องการ โดยนำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม มาสรุปและวิเคราะห์สถิติ เพื่อให้ได้ทราบถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาโครงการที่เหมาะสม สุดท้ายงานวิจัยนี้จะนำเสนอแนวทางในการพัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์ในจังหวัดพะเยา รวมถึงโอกาสในการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจในชุมชน อีกทั้งยังสามารถนำแนวคิดที่ได้ไปพัฒนาต่อยอดด้านอสังหาริมทรัพย์ในพื้นที่จังหวัดอื่นๆ และเป็นข้อสรุปในการตัดสินใจให้นักลงทุนในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: อสังหาริมทรัพย์ ,สำรวจข้อมูลการตลาด ,โครงการบ้านจัดสรร

Abstract

Surveying market information is part of the education. possibilities for real estate development is an important step in order to use the information to design a real estate business. The creator must check various factors such as Economic, social, technological, legal and environmental factors Because the business will have relatively high investments and competition in the market will change according to the situation all the time. The operation method starts with surveying housing projects in Mueang District, Phayao Province, conducting interviews and collecting preliminary data. Surveying people in Phayao Province, having many occupations. Including independent careers, private businesses Employees of private companies, government employees, paid teachers, professional nurses, etc., conduct a survey of desired housing characteristics. By summarizing the information obtained from the questionnaire responses. and analyze statistics In order to know the possibility of developing appropriate projects. Finally, this research will present guidelines for developing real estate projects in Phayao Province. Including opportunities for economic growth in the community. They can also use the ideas gained to further develop real estate in other provinces. and is a conclusion for decision-making for future investors.

Keywords: Real Estate , Explore market data , Housing project

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

อสังหาริมทรัพย์ หมายถึง ทรัพย์สินที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ เป็นที่ดินเปล่า และสิ่งปลูกสร้างที่ติดอยู่กับที่ดิน โดยส่วนใหญ่จะเห็นได้ว่านักลงทุนนิยมลงทุนในธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ประเภทที่อยู่อาศัย เช่น บ้าน คอนโดมิเนียม เนื่องจากสามารถหาประโยชน์ได้ในหลายทาง ไม่ว่าจะเป็นการอยู่อาศัย ปล่อยเช่า ขายเก็งกำไร หรือเป็นมรดกให้กับลูกหลาน ซึ่งอสังหาริมทรัพย์เป็นหนึ่งในปัจจัยการผลิตที่สำคัญในทางเศรษฐกิจประกอบไปด้วย ทุน แรงงาน ผู้ประกอบการ ที่ดิน มูลค่าอสังหาริมทรัพย์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นมากกว่าตัวของอสังหาริมทรัพย์นั้นๆ หากในช่วงสภาวะเศรษฐกิจตกต่ำ ก็จะส่งผลให้ราคาของอสังหาริมทรัพย์ลดลงหรือขยับขึ้นไปด้วยรวมถึงกระแสนิยม(Trend) ก็ส่งผลให้มูลค่าของอสังหาริมทรัพย์เปลี่ยนแปลงไป

ปัจจุบันอสังหาริมทรัพย์ประเภทที่อยู่อาศัย เป็นอสังหาริมทรัพย์ที่ปรากฏมากที่สุด โดยมีสัดส่วน ประมาณ 2 ใน 3 ของมูลค่าตลาดอสังหาริมทรัพย์ในประเทศไทย เพราะที่อยู่อาศัยถือเป็นหนึ่ง

ในปัจจัยสี่ที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต ส่งผลให้นักลงทุนมีความต้องการที่จะพัฒนาที่ดินเปล่าเพื่อตอบสนองตามความต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากมีปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องคือ ทำเลที่ตั้ง สภาพแวดล้อม และเศรษฐกิจ เป็นข้อมูลสำคัญที่นำมาใช้วิเคราะห์เพื่อพัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์ ซึ่งโครงการบ้านจัดสรรในจังหวัดพะเยาเป็นหนึ่งในธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ โดยผู้คนส่วนใหญ่ให้ความนิยม คือ บ้านเดี่ยว และจังหวัดพะเยาเป็นจังหวัดที่มีแหล่งท่องเที่ยว วัฒนธรรม วิถีชีวิต ที่น่าสนใจหลายรูปแบบ ทำให้นักลงทุนเริ่มเข้ามาพัฒนาพื้นที่ดินว่างเปล่าให้เกิดประโยชน์มากที่สุด

ผู้วิจัยต้องการศึกษาความเป็นไปได้ของการพัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์ ประเภทที่อยู่อาศัยในเขตอำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา เพื่อส่งเสริมธุรกิจในพื้นที่ให้เกิดผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจสูงสุด อีกทั้งยังเป็นการสร้างโอกาศและสร้างรายได้ให้ชุมชนโดยใช้แนวคิดทฤษฎีส่วนผสมทางการตลาด (Marketing Mix) และหลักการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอก (Pestle Analysis) ผลการศึกษาดังกล่าวเป็นข้อมูลที่นำมาใช้วิเคราะห์สิ่งที่ส่งผลกระทบและเป็นอุปสรรคต่อธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ รวมถึงการวางแผนพัฒนาธุรกิจ เพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของประชากรและนักลงทุนในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ในพื้นที่จังหวัดพะเยา

1.2.2 เพื่อนำทฤษฎีส่วนผสมทางการตลาดมาปรับใช้ในธุรกิจอสังหาริมทรัพย์

1.2.3 เพื่อนำทฤษฎีวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอกมาปรับใช้ในธุรกิจอสังหาริมทรัพย์

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

1.3.1 สถานที่

-โครงการบ้านจัดสรร เขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา

1.3.2 เครื่องมือ

-ทฤษฎีส่วนผสมทางการตลาด (Marking Mix) ,4PS

-การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอก (PESTLE Analysis)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบความเป็นไปได้ในการพัฒนาโครงการ รูปแบบโครงการที่เหมาะสม กฎหมายที่เกี่ยวข้อง และข้อจำกัดต่างๆที่มีผลต่อการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ในจังหวัดพะเยา

1.4.2 ทราบข้อมูลองค์ประกอบทางด้านการตลาดของโครงการอสังหาริมทรัพย์ในจังหวัดพะเยา

1.4.3 สามารถวิเคราะห์ข้อมูลและปัจจัยต่างๆที่มีความเกี่ยวข้องด้านสภาพแวดล้อมภายนอกมาปรับใช้ในการพัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาความเป็นไปได้เพื่อพัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์ประเภทที่อยู่อาศัยในจังหวัดพะเยา มีองค์ความรู้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ

การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการอสังหาริมทรัพย์ หมายถึง การวิเคราะห์สิ่งต่างๆรอบด้าน เพื่อให้เกิดผลดีต่อการพัฒนาโครงการ ลดความเสี่ยงต่างๆที่อาจจะเกิดขึ้น และเพื่อให้การพัฒนาโครงการเป็นไปได้ในทิศทางที่เกิดประโยชน์ต่อผู้ประกอบการสูงสุด โดยประกอยไปด้วย 4 ด้าน คือ ด้านการตลาด เป็นการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการและพฤติกรรมการเลือกซื้อ ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ มาวิเคราะห์เพื่อที่จะกำหนดกลยุทธ์ทางการตลาดให้สอดคล้องและสามารถที่จะประยุกต์ใช้ได้จริง ด้านเทคนิค เป็นการวิเคราะห์ทางเทคนิคด้านวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมจากการประเมิน ราคาการก่อสร้างบ้านโดยผู้รับเหมาเป็นผู้ประเมินราคาค่าก่อสร้าง ด้านการจัดการ เป็นการจัดองค์กรและบุคลากรเป็นการเตรียมความพร้อมของบุคลากรให้มีความรู้ความสามารถในการ ปฏิบัติงานในตำแหน่งต่างๆ ความถนัดของตนเอง มีคุณสมบัติตรงตามตำแหน่งที่วางไว้ มีการวางผังองค์กรอย่างมีระบบ ด้านการเงิน เป็นการศึกษาถึงการประมาณการเงินลงทุนเริ่มแรก ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและผลตอบแทนของโครงการโดยใช้เกณฑ์การตัดสินแบบไม่ใช้ค่าเวลา [6] การศึกษาด้านการตลาดเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของการศึกษา ซึ่งมีความสำคัญต่อภาพรวมการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการอสังหาริมทรัพย์

2.2 จังหวัดพะเยา

พะเยาเป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ในภาคเหนือของประเทศไทย มีเนื้อที่รวมทั้งหมด 6,335 ตารางกิโลเมตร แบ่งการปกครองออกเป็น 9 อำเภอ 68 ตำบล 780 หมู่บ้านและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น จำนวน 72 แห่ง มีความหนาแน่นของประชากรค่อนข้างเบาบาง มีประชากรประมาณ 464,505 คน แบ่งออกเป็นเพศชาย 225,943 คน เพศหญิง 238,562 คน โดยประชากรอาศัยอยู่แน่นในบริเวณอำเภอเมืองพะเยา อีกทั้งยังเป็นจังหวัดที่มีชื่อเสียงเรื่องข้าวหอมมะลิที่คุณภาพดีที่สุดของภาคเหนือ มีผู้คนเดินทางเข้าออก และท่องเที่ยวจังหวัดพะเยาตลอดทั้งปี แต่นิยมเที่ยวในฤดูหนาว การเดินทางเข้าออกจังหวัดพะเยาสามารถเดินทางได้โดยทางรถยนต์ รถประจำทาง มีรอบเดินทางทุกวัน จังหวัดพะเยาเป็นจังหวัดที่มีการทำธุรกิจอสังหาริมทรัพย์อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งอสังหาริมทรัพย์เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจและสังคม ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 รูปภาพจังหวัดพะเยา
ที่มา : https://g.co/kgs/tqAN2PJ

2.3 อสังหาริมทรัพย์

อสังหาริมทรัพย์ หมายถึง ที่ดิน และทรัพย์สินอื่นที่ติดอยู่กับที่ดินมีลักษณะเป็นการถาวรหรือประกอบเป็นอันเดียวกับที่ดินนั้น เช่น อาคาร บ้านเรือน ในทางกฎหมายกำหนดให้ต้องทำหนังสือสัญญาให้เป็นลายลักษณ์อักษร เช่น โฉนด หรือทะเบียนที่ดินเป็นเอกสารที่แสดงความเป็นเจ้าของที่ดินแปลงนั้นๆ ทั้งนี้ก็เพราะว่าอสังหาริมทรัพย์ เป็นทรัพย์สินที่มีมูลค่าสูงเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาที่ตามมาจึงต้องมีกฎหมายควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปภาพธุรกิจอสังหาริมทรัพย์
ที่มา : https://www.pinterest.com/

2.4 ทฤษฎีส่วนผสมทางการตลาด (Marketing Mix)

การตลาด คือ การดำเนินงานและกิจกรรมทางธุรกิจ ทุกชนิดที่เกี่ยวข้องกับการทำให้สินค้าและบริการเปลี่ยนมือจากผู้ผลิตไปถึงผู้บริโภคหรือผู้ใช้บริการ ให้ได้รับความพึงพอใจและบรรลุวัตถุประสงค์

แนวคิดส่วนผสมทางการตลาด 4PS เป็นแนวคิดเครื่องมือทางการตลาดที่นำมาใช้ร่วมกันเพื่อให้บรรลุเป้าหมายทางการตลาดหรือเพิ่มมูลค่าให้โครงการบ้านจัดสรร

ผลิตภัณฑ์ (Product) : ตัวสินค้าหรือโครงการ บวกกับความพอใจและผลประโยชน์ที่ผู้บริโภคได้รับจากการเลือกซื้อสินค้าที่ผู้บริหารต้องผลิตขึ้นมาเพื่อสอดคล้องกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย

ราคา (Price) : การกำหนดราคาที่เหมาะสมให้กับสินค้าที่จะนำไปเสนอขายเพื่อต้องการกำไร จำเป็นต้องมีกลยุทธ์เป็นเครื่องมือในการแข่งขันในตลาด เช่น ส่วนลดหรือโปรโมชั่น

ช่องทางการจัดจำหน่าย (Place) : ป้ายโฆษณาและแพรตฟอร์มบนสื่อออนไลน์ ที่โปรโมทนำข้อมูลตัวสินค้าไปสู่ลูกค้า

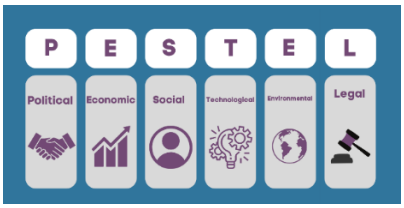
การส่งเสริมการตลาด (Promotion) : การบอกให้ลูกค้าทราบว่ามีสินค้าจำหน่ายในตลาดและพยายามชักชวนให้ลูกค้าซื้อ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 เครื่องมือทฤษฎีส่วนผสมทางการตลาด
ที่มา : https://byjus.com/commerce/marketing-mix/

2.5 ทฤษฎีการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอก (PESTEL Analysis)

การวิเคราะห์ PESTEL เป็นกรอบการทำงานเชิงกลยุทธ์ที่ใช้ในการประเมินสภาพแวดล้อมภายนอกของธุรกิจโดยแบ่งย่อยโอกาสและความเสี่ยงออกเป็นปัจจัย (P) Political, (E) Economic, (S) Social, (T) Technological, (E) Environmental, (L) Legal PESTEL วิเคราะห์สามารถเป็นกรอบการทำงานที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานในองค์กรกลยุทธ์การวางแผนและการระบุข้อดีและข้อเสียของกลยุทธ์ทางธุรกิจ กรอบงาน PESTEL เป็นส่วนขยายของกรอบยุทธศาสตร์ PEST ซึ่งรวมถึงการประเมินปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมและกฎหมายเพิ่มเติมที่อาจส่งผลกระทบต่อธุรกิจ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 เครื่องมือทฤษฎีการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอก
ที่มา : https://blog.oxfordcollegeofmarketing.com/

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

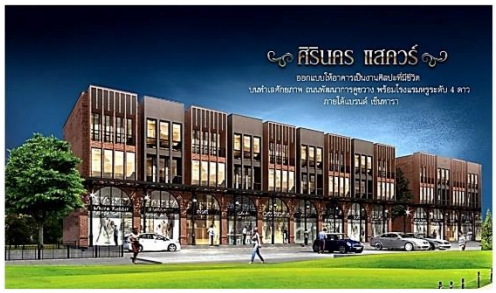
นางสาว วไลพร ธนารักษ์สกุล [ปี 2554] ได้ทำการศึกษาการประมาณต้นทุนและผลตอบแทนในทางเศรษฐศาสตร์ ในหัวข้อเรื่องการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการลงทุนธุรกิจบ้านจัดสรรในเขตเทศบาลเมืองศรีสะเกษ ซึ่งผลการศึกษาจะเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการตัดสินใจในการลงทุนของผู้ประกอบการ ช่วยให้ผู้ประกอบการได้เตรียมพร้อมรับปัญหาและปัจจัยเสี่ยงต่างๆที่อาจจะเกิดขึ้นได้

นางสาว ลลิต ผลวิริยะนนท์ [ปี 2561] ได้ทำการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุนโครงการ ในหัวข้อเรื่องการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการบ้านจัดสรรในอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี โดยการศึกษาหาทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมในการพัฒนาจากปัจจัยในการเลือกซื้อที่อาศัยของกลุ่มลูกค้าเป้าหมายและจากปัจจัยที่ใช้ในการเลือกทำเลที่ตั้งของผู้ประกอบการ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ภาพรวมโครงการบ้านจัดสรรในอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี
ที่มา : https://www.baanfinder.com/th/projects/type/

นาย สันติ วงษ์สูง [ปี 2565] ได้ทำการศึกษารูปแบบการลงทุนธุรกิจพัฒนาอสังหาริมทรัพย์แบบผสมผสาน (Mixed Research) ในหัวข้อเรื่องการศึกษารูปแบบการลงทุนพัฒนาอสังหาริมทรัพย์เพื่อการพักอาศัยกรณีศึกษา จังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อการอยู่อาศัยที่เหมาะสม โดยการดัดแปลงจากอาคารพาณิชย์ 4 คูหา ในโครงการศิรินครสแควร์ อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ภาพรวมโครงการศิรินคร สแควร์
ที่มา: https://www.baania.com/project/

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้เป็นกรณีศึกษาความเป็นไปได้เพื่อพัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์ ประเภทที่อยู่อาศัยในจังหวัดพะเยา ทำการศึกษาโครงการบ้านจัดสรร เขตพื้นที่อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา มีวัตถุประสงค์ในการนำทฤษฎี Marketing Mix,4PS และPestel Analysis มาปรับใช้ในธุรกิจอสังหาริมทรัพย์

โดยการวิจัยครั้งนี้ มีรายละเอียดของกระบวนการศึกษาและวิธีดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์ในรูปแบบ Marketing mix,4PS และ Pestel Analysis ตลอดจนรูปแบบของการบริหารงานในธุรกิจอสังหาริมทรัพย์และด้านการเงินการลงทุนในธุรกิจพัฒนาอสังหาริมทรัพย์

3.1.1 Marketing mix,4PS

ประกอบด้วย 4PS สำหรับธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ซึ่งเป็นธุรกิจประเภทบริการ เช่นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ (Product) ราคา (Price) ช่องทางการจัดจำหน่าย (Place) การส่งเสริมการตลาด (Promotion) ซึ่งส่วนผสมทั้งหมดเป็นสิ่งที่ลูกค้าต้องการได้รับการตอบสนองอย่างสมบูรณ์แบบในมุมมองของลูกค้า

3.1.2 Pestel Analysis

PESTEL Analysis เป็นเครื่องมือนิยมใช้ในการวิเคราะห์และประเมินสภาพแวดล้อมภายนอกที่มีผลต่อธุรกิจหรือองค์กร เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจและวางแผนกิจการ มักถูกใช้งาน ในการวางแผนกิจการใหม่ การปรับกลยุทธ์ทางธุรกิจ การวางแผนการขยายตลาด การดำเนินการตามนโยบายและกฎหมาย การตัดสินใจเรื่องการลงทุน เป็นต้น

3.2 ทำการเลือกโครงการบ้านจัดสรรที่ต้องการศึกษาข้อมูล

ทำการเลือกโครงการธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ ในเขตพื้นที่อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา จำนวน 2 โครงการ เพื่อศึกษารายละเอียดข้อมูลต่างๆของโครงการบ้านจัดสรร

3.3 ลงพื้นที่สัมภาษณ์และเก็บข้อมูลโครงการบ้านจัดสรร

ผู้วิจัยได้ลงพื้นที่สำรวจโครงการบ้านจัดสรรในจังหวัดพะเยาตามจำนวนโครงการที่เลือกไว้ คือ 2 โครงการ โดยการสัมภาษณ์เจ้าของโครงการและเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4 รวบรวมข้อมูล ทฤษฎีส่วนผสมทางการตลาด

ประกอบไปด้วย ผลิตภัณฑ์ ราคา ช่องทางการจัดจำหน่าย การส่งเสริมการตลาด

3.5 รวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอก

โดยมีปัจจัยด้านต่างๆดังนี้ ด้านการเมือง ด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม ด้านเทคโนโลยี ด้านกฎหมาย ด้านสภาพแวดล้อม

3.6 สร้างแบบสอบถาม

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจัดทำแบบสอบถามประชากรในพื้นที่ของกลุ่มเป้าหมาย

3.7 วิเคราะห์ข้อมูลสถิติจากแบบสอบถาม

ทำการนำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามมาวิเคราะห์และสรุปผลจากผลการตอบแบบสอบถาม

3.8 สร้างแนวทางการพัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์ในจังหวัดพะเยา

ผู้วิจัยต้องการที่จะสร้างแนวทางกระบวนการทำงาน รวมถึงแนวคิดต่างๆให้มีการพัฒนามากขึ้นเพิ่มประสิทธิภาพที่ดีกว่าเดิมจากอดีต เพื่อให้ธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ในจังหวัดพะเยาเกิดความก้าวหน้าและทันสมัยสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้ามากที่สุด

3.9 วิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินงาน

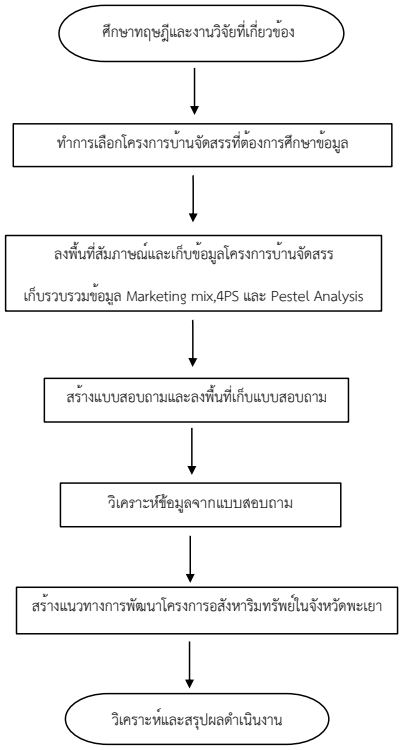
นำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมและลงพื้นที่สัมภาษณ์เจ้าของโครงการทั้ง 2 โครงการ มาวิเคราะห์และสรุปผลดำเนินงาน ขั้นตอนการศึกษาดังนี้

3.9.1 วิเคราะห์ทฤษฎีส่วนผสมทางการตลาด

การวิเคราะห์ทฤษฎีส่วนผสมทางการตลาดโดยใช้เครื่องมือ Marketing mix,4PS นำข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่สัมภาษณ์เจ้าของโครงการ ทั้ง 2 โครงการ มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ร่วมกัน

3.9.2 วิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอก

การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอกโดยใช้เครื่องมือ PESTEL Analysis นำข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่สัมภาษณ์เจ้าของโครงการ ทั้ง 2 โครงการ มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ร่วมกัน



4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษาความเป็นไปได้เพื่อพัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์ประเภทที่อยู่อาศัยในจังหวัดพะเยา ได้ทำการศึกษาหาข้อมูลโดยลงพื้นที่โครงการบ้านจัดสรร 2 โครงการ และการทำแบบสอบถามจากประชากรที่อาศัยอยู่ในจังหวัดพะเยา

หลังจากผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลสามารถนำเสนอผลการศึกษา ได้ดังต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่บ้านจัดสรร

จากการลงพื้นที่สำรวจโครงการบ้านจัดสรรในจังหวัดพะเยา ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 โครงการบ้านจัดสรรในจังหวัดพะเยา

4.1.1 โครงการ กุลสิริ วิลล์

Marketing mix

- ผลิตภัณฑ์ : Type A พื้นที่ใช้สอย 240 ตร.ม. ,Type B พื้นที่ใช้สอย 185 ตร.ม. , Type C พื้นที่ใช้สอย 125 ตร.ม.
- ราคา : Type A ราคา 3.9 ล้านบาท , Type B ราคา 3.4 ล้านบาท , Type C ราคา 2.5 ล้านบาท
- ช่องทางการจัดจำหน่าย : Facebook,ป้ายโฆษณา,Tiktok
- การส่งเสริมการตลาด : มีโปรโมชัน 12 รายการ

Pestel Analysis

เจ้าของโครงการให้ความเห็นว่า ในด้านการเมือง ไม่ส่งผลกระทบต่อโครงการบ้านจัดสรร ด้านเศรษฐกิจ ลูกค้าส่วนใหญ่มีความกังวลในเรื่องของดอกเบี้ย ด้านสังคม ระหว่างก่อตั้งโครงการได้มีการพูดคุยและสำรวจชาวบ้านก่อนหาโซนที่สามารถสร้างได้ ด้านเทคโนโลยี ภายในโครงการมีจุดเด่นในเรื่องการใช้ระบบสายไฟฟ้าใต้ดินเพื่อลดปริมาณเสาไฟฟ้า ด้านสภาพแวดล้อม เป็นโครงการเข้าจัดสรร มีเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย,ฟิตเนส,สนามเด็กเล่น สามารถเลี้ยงสัตว์ได้ ถนนทางเข้า-ออกสะดวก

4.1.2 โครงการ เออร์บ้าน ทาวน์

Marketing mix

- ผลิตภัณฑ์ : Unban Light พื้นที่ใช้สอย 118 ตร.ม. ,Unban Wide พื้นที่ใช้สอย 132 ตร.ม. ,Unban Town พื้นที่ใช้สอย 224 ตร.ม. ,Cozy Twinz พื้นที่ใช้สอย 145 ตร.ม.
- ราคา : Unban Light ราคา 1.79 ล้านบาท ,Unban Wide ราคา 2.29 ล้านบาท , Unban Town ราคา 2.99 ล้านบาท ,Cozy Twinz ราคา 2.29 ล้านบาท
- ช่องทางการจัดจำหน่าย : Facebook,ป้ายโฆษณา,Tiktok, โฆษณาผ่านนายหน้า
- การส่งเสริมการตลาด : มีโปรโมชัน 21 รายการ

Pestel Analysis

เจ้าของโครงการให้ความเห็นว่า ในด้านการเมือง ไม่ส่งผลกระทบต่อโครงการบ้านจัดสรร ด้านเศรษฐกิจ ในสถานะการณ์เศรษฐกิจปัจจุบันมีความยากลำบากในการกู้ยืมเงิน ด้านสังคม มีการปรึกษาพูดคุยกับทางผู้ใหญ่บ้านและชาวบ้านบริเวณรอบข้างที่เกี่ยวกับการก่อสร้างโครงการ ด้านเทคโนโลยี มีการโฆษณาและขายผ่านช่องทางแพรตฟอร์มออนไลน์มากถึง 90% ด้านสภาพแวดล้อม เป็นโครงการไม่เข้าจัดสรร มีการดูแลในเรื่องมาตราฐานของ สาธารณูปโภค, การระบายน้ำ,รั้ว,ถนน

4.2 ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม

จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลแบบสอบถาม ทั้งหมดจำนวน 118 คน ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 รูปภาพลงพื้นที่สำรวจข้อมูล

4.2.1 ข้อมูลทั่วไป

เพศ : ชาย 52 คน หญิง 52 คน LGBTQ+ 10 คน ไม่ระบุ 4 คน

อายุ : 24-30 ปี 72 คน 31-35 ปี 22 คน มากกว่า 40 ปี ขึ้นไป 17 คน 36-40 ปี 7 คน

อาชีพ : ประกอบอาชีพอิสระ จำนวน 29 คน ประกอบธุรกิจส่วนตัว จำนวน 28 คน พนักงานบริษัทเอกชน จำนวน 26 คน รับราชการ จำนวน 26 คน นักศึกษา จำนวน 5 คน ครูอัตราจ้าง จำนวน 2 คน พยาบาลวิชาชีพ จำนวน 1 คน ค้าขาย จำนวน 1 คน

4.2.2 สำรวจลักษณะที่อยู่อาศัย

ตารางที่ 1 ลักษณะที่อยู่อาศัย

ลักษณะที่อยู่อาศัย	จำนวน/คน	ร้อยละ
3 ห้องนอน 	72	61
3 ห้องน้ำ 	55	47
ต้องการ ห้องนั่งเล่น 	118	100
ต้องการ ห้องครัว 	115	97.4
โรงจอดรถ 2 คัน 	88	75.2

ตารางที่ 2 Type บ้าน (4ps,Product)

Type บ้านที่ต้องการ	จำนวน/คน	ร้อยละ
บ้าน 1 ชั้น 	71	59.8
บ้าน 2 ชั้น 	47	40.2

ตารางที่ 2 ราคาบ้าน (4ps,Price)

ราคาบ้านที่ต้องการ	จำนวน/คน	ร้อยละ
1,500,000-2,500,000	42	35.9
2,500,000-3,000,000	28	23.1
500,000-1,500,000	24	20.5
3,000,000-4,000,000	15	12.8
4,000,000-5,00,0000	9	7.7

ตารางที่ 3 จุดประสงค์การซื้อ

จุดประสงค์การซื้อ	จำนวน/คน	ร้อยละ
เพื่ออยู่อาศัย	108	63.7
เพื่อความสะดวกสบาย	47	27.3
เพื่อการลงทุน	14	9

ตารางที่ 4 ลักษณะและฟังก์ชั่น (4ps,Promotion)

ลักษณะและฟังก์ชั่น	จำนวน/คน	ร้อยละ
ระบบความปลอดภัย Schneider อุปกรณ์ตัดไฟ	67	15.9
ควบคุมการทำงานของระบบไฟฟ้าภายในบ้าน	65	15.4
ประตูดิจิตอลสแกนลายนิ้วมือ	59	14

ตารางที่ 5 สิ่งอำนวยความสะดวกและบริการส่วนกลาง

สิ่งอำนวยความสะดวกและบริการส่วนกลาง	จำนวน/คน	ร้อยละ
สนามเด็กเล่นและสวนสาธารณะ 	101	27.9
ฟิตเนส 	100	27.6
สระว่ายน้ำ 	96	26.5
คลับเฮาส์ 	32	9
ห้องจัดงานเลี้ยง 	32	9

ตารางที่ 6 สไตล์การออกแบบบ้าน (4ps,Product)

สไตล์การออกแบบบ้าน	จำนวน/คน	ร้อยละ
Modern โมเดิร์น 	39	33.3
Contemporary คอนเทมโพรารี่ 	33	28.2
Minimal มินิมอล 	17	13.7
Nordic นอร์ดิก 	13	11.1
Natural Style บ้านไสตล์เนเชอรัล 	11	9.4
English อังกฤษ 	5	4.3

4.2.3 สำรวจความสนใจทำเลที่ตั้ง

ตารางที่ 7 สถานที่ตั้ง (4ps,Place)

สถานที่ตั้ง	จำนวน/คน	ร้อยละ
ต.แม่กา อ.เมือง 	61	37.7
ต.แม่ต๋ำ อ.เมือง 	41	25.9
ต.ท่าวังทอง อ.เมือง 	39	24.7
ต.ดอกคำใต้ อ.ดอกคำใต้ 	19	11.7

4.2.4 โปรโมชั่นพิเศษ

ตารางที่ 8 โปรโมชั่น (4ps,Promotion)

โปรโมชั่น	จำนวน/คน	ร้อยละ
ฟรีเครื่องปรับอากาศ SAMSUNG ทุกห้อง	85	8.2
ฟรีค่าธรรมเนียมการโอนกรรมสิทธิ์	77	7.5
ฟรีค่าธรรมเนียนการโอนบ้าน	74	7.2
ฟรีรับประกันผลงาน ตัวบ้าน+โครงสร้าง 5 ปี (นับจากวันที่โอนกรรมสิทธิ์)	73	7.1
ฟรีกล้องวงจรปิด	70	6.8
ฟรีระบบสำรองน้ำ ถังเก็บน้ำ DOD ขนาด 1,000 ลิตร	67	6.5
ฟรีเครื่องปั๊มน้ำ Hitachi	57	5.5
ฟรีค่าจำนอง	57	5.5
ฟรีชุดประตูเปิด-ปิดรั้วบ้านอัตโนมัติ 1 ชุด	57	5.5
ฟรีระบบบ้านเย็นสะท้อนความร้อน	55	5.3

4.2.5 Pestel analysis

ตารางที่ 9 คุณคิดว่าการเข้ามาดำรงตำแหน่งของนายกคนปัจจุบัน จะทำให้ธุรกิจอสังหาริมทรัพย์มีการเติบโตเพิ่มขึ้นหรือไม่

ด้านการเมือง	จำนวน/คน	ร้อยละ
เท่าเดิม	58	49.2
ลดลง	31	26.3
เพิ่มขึ้น	29	24.6

ตารางที่ 10 คุณคิดว่าอัตราดอกเบี้ยส่งผลต่อ การซื้อ-ขาย บ้านจัดสรรหรือไม่

ด้านเศรษฐกิจ	จำนวน/คน	ร้อยละ
เห็นด้วย	112	94.9
ไม่เห็นด้วย	6	5.1

ตารางที่ 11 คุณคิดว่าสังคมเพื่อนบ้านมีความสำคัญต่อการตัดสินใจเลือกซื้อบ้าน หรือไม่?

ด้านสังคม	จำนวน/คน	ร้อยละ
สำคัญ	113	95.8
ไม่สำคัญ	5	4.2

ตารางที่ 12 หากคุณเลือกได้คุณต้องการสังคมเพื่อนบ้านในโครงการแบบใด

ด้านสังคม	จำนวน/คน	ร้อยละ
เพื่อนบ้านที่มีปฏิสัมพันธ์ที่ดี	82	69.5
เพื่อนบ้านที่มีฐานะร่ำรวย	31	26.3
เพื่อนบ้านรักความสงบ	3	2.5
เพื่อนบ้านที่รักสัตว์	2	1.7

ตารางที่ 13 ควรนำเทคโนโลยีระบบสายไฟฟ้าใต้ดินมาใช้ในโครงการหรือไม่

ด้านเทคโนโลยี	จำนวน/คน	ร้อยละ
เห็นด้วย	117	99.2
ไม่เห็นด้วย	1	0.8

ตารางที่ 14 คุณคิดว่าการใช้ระบบความปลอดภัยจากประตูดิจิตอลสแกนลายนิ้วมือ (Smart digital lock) สำคัญหรือไม่

ด้านเทคโนโลยี	จำนวน/คน	ร้อยละ
สำคัญ	112	94.9
ไม่สำคัญ	6	5.1

ตารางที่ 15 โครงการบ้านจัดสรรควรจะมีนิติบุคคลเพื่อบริหารทรัพย์สินส่วนกลางหรือไม่?

ด้านกฎหมาย	จำนวน/คน	ร้อยละ
เห็นด้วย	117	99.2
ไม่เห็นด้วย	1	0.8

ตารางที่ 16 การจราจรติดขัดมีผลต่อการเลือกซื้ออสังหาริมทรัพย์ประเภทที่อยู่อาศัยหรือไม่

ด้านสภาพแวดล้อม	จำนวน/คน	ร้อยละ
เห็นด้วย	115	97.5
ไม่เห็นด้วย	3	2.5

ตารางที่ 17 เสียงรบกวนจากพื้นที่บริเวณใกล้เคียงส่งผลกระทบต่อผู้อยู่อาศัยหรือไม่

ด้านสภาพแวดล้อม	จำนวน/คน	ร้อยละ
ส่งผลกระทบ	112	94.9
ไม่ส่งผลกระทบ	6	5.1

ตารางที่ 18 ทำเลที่ตั้งเป็นสิ่งสำคัญในการเลือกซื้อบ้านจัดสรรของท่านหรือไม่

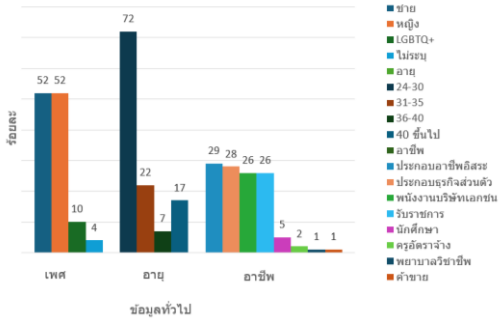
ด้านสภาพแวดล้อม	จำนวน/คน	ร้อยละ
ใช่	117	99.2
ไม่ใช่	1	0.8

5. สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีจุดมุ่งหมายที่จะหาแนวทางในการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ในจังหวัดพะเยา โดยได้ทำการลงพื้นที่หาข้อมูลจากโครงการบ้านจัดสรรในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา รวมถึงการทำแบบสอบถามข้อมูลความต้องการของประชากรในจังหวัดพะเยา หลังจากผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว สามารถนำเสนอผลการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

5.1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้ทำแบบสอบถาม

แบ่งออกเป็นเพศชาย 52 คน เพศหญิง 52 คน LGBTQ+ 10 คน และไม่ระบุ 4 คน อยู่ในช่วงอายุตั้งแต่ 24 ปีขึ้นไป มีการประกอบอาชีพอิสระ ธุรกิจส่วนตัว พนักงานบริษัทเอกชน รับราชการ ครูอัตราจ้าง และพยาบาลวิชาชีพ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ข้อมูลทั่วไป

5.2 ข้อมูล Marketing mix ที่ได้จากการสรุปแบบสอบถาม

ความต้องการของประชากร คือ แบบบ้านสไตล์ โมเดิร์น (Modern) 1 ชั้น ราคาตั้งแต่ 1.5 ล้านบาท-3 ล้านบาท จำนวน 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ 1 ห้องนั่งเล่น 1 ห้องครัว 2 โรงจอดรถ ฟิตเนส สระว่ายน้ำ สนามเด็กเล่นและสวนสาธารณะ ตั้งอยู่ในพื้นที่ ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา โปรโมชั่นที่จะได้รับฟรีหลังซื้อบ้าน ได้แก่ เครื่องปรับอากาศ Samsung ทุกห้อง ค่าธรรมเนียมการโอนกรรมสิทธิ์ ค่าธรรมเนียมการโอนบ้าน ค่าจำนอง รับประกันผลงานตัวบ้าน+โครงสร้าง5ปี (นับจากวันที่โอนกรรมสิทธิ์) กล้องวงจรปิด ระบบสำรองน้ำถังเก็บน้ำ DOD ขนาด 1000 ลิตร เครื่องปั๊มน้ำ Hitachi ชุดประตูเปิด-ปิดอัตโนมัติ 1 ชุด ระบบบ้านเย็นสะท้อนความร้อน และยังจะได้รับฟังก์ชันเพิ่มอีก 3 รายการ ได้แก่ ควบคุมการทำงานของระบบไฟฟ้าภายในบ้าน (Wiser Home Control) ระบบความปลอดภัย อุปกรณ์ตัดไฟ (Schncide) ,ประตูดิจิตอลสแกนลายนิ้วมือ (Smart digital lock)



รูปที่ 9 แบบบ้านสไตล์โมเดิร์น
ที่มา : https://www.pinterest.com/pin/591308626105642313/

5.3 ผลการวิเคราะห์ PESTEL Analysis

ในเขตพื้นที่ตำบลแม่กา พบว่าอนาคตมีโอกาสในการจัดทำโครงการบ้านจัดสรร โดยจะมีการเพิ่มขึ้นของประชากรและการพัฒนาด้านต่างๆ ซึ่งเป็นที่น่าสนใจสำหรับการลงทุน รวมถึงการเปิดใช้งานสถานีรถไฟสายใหม่ในปี พ.ศ. 2571 ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่จะกระตุ้นเศรษฐกิจเพื่อเพิ่มมูลค่าที่ดิน และปีที่ผ่านมาพบว่าค่า GDP ของจังหวัดพะเยาปี 2566 ขยายตัวเพิ่มขึ้น 2.6% เทียบกับปี 2565 อีกทั้งยังมีการสร้างโครงการบ้านจัดสรรในพื้นที่มากขึ้น ทำให้มีการเจริญเติบโตรวมไปถึงการสร้างโอกาสในการทำกิจการและเพิ่มรายได้ให้กับประชากรในชุมชน สุดท้ายยังเป็นการยกระดับชีวิตความเป็นอยู่ของคนในชุมชนให้ดียิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการบ้านจัดสรรในจังหวัดพะเยานั้นมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1.สามารถนำข้อมูลงานวิจัยนี้ไปพัฒนาในการวางแผนรองรับผลกระทบที่เกิดขึ้นในช่วงก่อนก่อสร้าง กำลังก่อสร้าง และหลังก่อสร้างในพื้นที่โครงการบ้านจัดสรร

2.สามารถทำการสำรวจข้อมูลงานวิจัยในจังหวัดอื่น เพื่อให้ได้ผลที่แตกต่างกันออกไป แล้วนำผลการวิจัยมาเปรียบเทียบพิจารณาถึงความแตกต่าง เพื่อให้เกิดการพัฒนาปรับปรุงแนวทางของโครงการบ้านจัดสรรให้ดียิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อภิชาต บัวกล้า อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง ที่คอย ให้คำปรึกษาแนะนำ ช่วยเหลือและตรวจทานข้อบกพร่องต่างๆ ทำให้การค้นคว้านี้ มีรายละเอียดที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอบคุณ เงินทุนสนับสนุนในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

ขอบคุณ บริษัท กุลสิริ วิลล์ และบริษัท เออร์บ้าน ทาวน์ ที่ให้ข้อมูลซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัย

ท้ายที่สุด ขอขอบคุณ ครอบครัวและเพื่อนๆสาขาวิศวกรรมโยธา ที่ส่งเสริมสนับสนุนและคอยให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกำลังใจที่ดีเสมอมา

บรรณานุกรม

[1] วไลพร ธนารักษ์สกุล. (2554). การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการลงทุนในธุรกิจบ้านจัดสรรในเขตเทศบาลเมืองศรีสะเกษ.สารนิพนธ์ ศ.ม.(เศรษฐศาสตร์การจัดการ).กรุงเทพมหานคร.บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ

[2] ลลิตา ผลวิริยะนนท์. (2561). การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการบ้านจัดสรรในอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี.วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ธุรกิจอสังหาริมทรัพย์).คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[3] สันติ วงษ์สูง. (2565). การศึกษารูปแบบการลงทุนพัฒนาอสังหาริมทรัพย์เพื่อการพักอาศัย กรณีศึกษาจังหวัดนครศรีธรรมราช. สาขาวิชา การจัดการอุตสาหกรรม.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[4] ไพจิตต์ ลักษณวงศ์. (2561). ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด(4Ps) ที่มีอิทธิพลต่อการต่อการตัดสินใจซื้อบ้านของโครงการบ้านจัดสรรในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.บริหารธุรกิจมหาบันฑิต สาขาวิชาบริหารธุรกิจ คณะบริการธุรกิจ.มหาวิทยาลัยรามคำแหงจังหวัดสงขลา

[5] เจนจิรา ปราณี.(2562). ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อบ้านจัดสรร ในเขตชลบุรี.เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเศรษศาสตร์ธุรกิจ. มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

[6] ธีระพล ทองกลึง.(2558). การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนสร้างหมู่บ้านจัดสรร ตำบลบ้านดุง อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี. บริหารธุรกิจมหาบันฑิต วิทยาลัยบัณฑิตศึกษาการจัดการ. มหาวิทยาลัยขอนแก่น

การศึกษาผลิตภาพแรงงานของงานฉาบผนังคอนกรีตบล็อก

A Study of Labour Productivity in Plastering Work of Block Concrete Wall

นพรัตน์ วงค์แก้ว[1] นิศามณี ทับทิมเงิน[2] ดุษสิตา วงศ์ศิลปชัย[3] ศศิกานต์ จันมณี[4*]

[1,2,3,4] นิสิตปริญญาตรีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

**Corresponding author; E-mail address: 63102495@up.ac.th*

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันประเทศไทยกำลังเผชิญความท้าทายในด้านการเติบโตทางเศรษฐกิจที่ชะลอตัวลง การขาดแคลนกำลังคนทั้งด้านปริมาณและคุณภาพถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ประเทศไทยยังไม่สามารถก้าวข้ามกับปัญหา ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของประสิทธิภาพของแรงงาน เนื่องจากการเพิ่มคุณภาพหรือประสิทธิภาพของกำลังคนจะสามารถทดแทนกำลังคนที่ลดลงได้ และเพิ่มผลผลิตต่อไปได้ด้วยเหตุนี้ ประสิทธิภาพของแรงงานจึงมีบทบาทหนึ่งในตัวเร่งสำคัญที่จะช่วยให้เศรษฐกิจไทยสามารถเติบโตได้ภายใต้ข้อจำกัด จึงมีการศึกษาการทำงานของคนงานในกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกของโครงการหมู่บ้านจัดสรรแห่งหนึ่ง ในอำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา ซึ่งแบ่งวิธีการเก็บข้อมูลเป็น 2 ส่วน ได้แก่ (1) การประเมินประสิทธิผลการทำงานของโครงการด้วยวิธี Five Minute Rating และ (2) การประเมินประสิทธิผลการทำงานของคนงานด้วยวิธี Crew Balance Chart เพื่อที่จะหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงาน และทำการเสนอการปรับปรุงแก้ไขการทำงานให้ดีขึ้นโดยการจัดลำดับงานให้เหมาะสม จากผลการเก็บข้อมูล 3 ตำแหน่ง จำนวน 6 ตัวอย่างพบว่า ผลการประเมินภาพรวมโครงการมีค่าประสิทธิผลการทำงานเท่ากับ 63.65% ส่วนกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกก่อนปรับปรุงบริเวณผนังเปล่า ผนังหน้าต่าง และผนังประตูมีค่าประสิทธิผลการทำงานของกิจกรรมเท่ากับ 58% 61% และ 57% ตามลำดับ โดยในการทำงานของกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกพบว่าบริเวณที่มีค่าประสิทธิผลสูงสุดคือผนังหน้าต่าง ในการวิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิผลการทำงานด้วยวิธี Crew Balance Chart ค่าประสิทธิผลของกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกบริเวณผนังเปล่า ผนังหน้าต่าง และผนังประตูเพิ่มขึ้นเป็น 71% 72% และ 67% ตามลำดับข้อเสนอแนะในการปรับปรุงการทำงานของกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกได้แก่ การปรับวิธีการปฏิบัติงานของคนงานแต่ละคนเพื่อเพิ่มประสิทธิผลการทำงาน ควรซื้ออุปกรณ์ในการทำงานให้ครบ เช่น กระบะผสมคอนกรีตเพื่อลดความสูญเสียจากการผสมคอนกรีตกับพื้นและเพิ่มประสิทธิผลในการทำงานของกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อก

Abstract

In the current situation, Thailand is facing challenges in economic growth slowdown. The shortage of both quantity and quality of workforce is a significant factor hindering the country from addressing these issues. This highlights the importance of labor efficiency, as enhancing the quality or efficiency of the workforce can compensate for the decreasing workforce and increase productivity. Consequently, labor efficiency plays a crucial role in accelerating economic growth in Thailand despite limitations. One study focused on the work performance of workers in the concrete block plastering activity of a housing project in Mueang Phayao District, Phayao Province. Data collection was divided into two parts: (1) evaluating the project's effectiveness using the Five Minute Rating method, and (2) assessing workers' performance using the Crew Balance Chart method to identify problems in the work process and propose improvements by prioritizing tasks appropriately. From the data collected from 3 positions and 6 samples, it was found that the overall project performance rating was 63.65%. The plastering activities before improvement in the empty wall, window wall, and door wall areas had performance ratings of 58%, 61%, and 57%, respectively. In the analysis and improvement of work performance using the Crew Balance Chart method, the performance ratings for the plastering activities in the empty wall, window wall, and door wall areas increased to 71%, 72%, and 67%, respectively. Recommendations for improving the plastering activity included adjusting the work methods of each worker to increase work performance and ensuring the availability of complete equipment, such as concrete mixing tubs, to reduce concrete waste and enhance the efficiency of the plastering activity.

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในช่วงปี 2538-2552 โครงการก่อสร้างประสบปัญหาที่เกี่ยวข้องกับผลิตภาพของแรงงานในรูปแบบสัญญาเงินคงที่ต่อชั่วโมงการทำงานที่ค่อย ๆ ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลานั้น ส่งผลให้เกิดการหยุดชะงักในอุตสาหกรรมก่อสร้าง การทำงานก่อสร้างในต่างจังหวัดนั้นยังมีปัญหาการควบคุมงานที่ไม่เข้มงวดจึงเกิดปัญหาการส่งงานล่าช้างานไม่มีคุณภาพ ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้บ่งชี้ถึงความจำเป็นในการพัฒนาและปรับปรุงวิธีการทำงานในอุตสาหกรรมก่อสร้างเพื่อเพิ่มผลิตภาพ การเสริมสร้างแรงงานที่มีความเชี่ยวชาญและอัตราการปรับปรุงวิธีปฏิบัติที่มีในระดับสูงอาจจำเป็นเพื่อให้การผลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและมีผลิตภาพที่มากขึ้น นอกจากนี้ยังสำคัญที่จะพัฒนานวัตกรรมและแนวทางใหม่ๆ เพื่อทำให้อุตสาหกรรมก่อสร้างฟื้นฟูสภาพเดิมให้ดีมากขึ้นอย่างยั่งยืนในอนาคต การอัพเกรดและพัฒนาความเชี่ยวชาญในการทำงานและนวัตกรรมอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและส่งเสริมการเติบโตของอุตสาหกรรมนี้ในอนาคตอย่างเห็นได้ชัด

การประเมินผลิตภาพ (Productivity Rating) เป็นการประเมินการดำเนินงานขององค์กรโดยเปรียบเทียบกับผลการดำเนินที่ผ่านในอดีต เพื่อให้องค์กรทราบว่าศักยภาพการดำเนินงานเพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นว่ามีความก้าวหน้า หรือความถดถอยเพียงใด และควรปรับปรุงอย่างไรให้ได้ผลิตภาพที่สูงขึ้น จากทรัพยากรที่ใช้จำนวนเท่าเดิม วิธีการประเมินผลิตภาพสามวิธี ได้แก่ การประเมินหน้างาน (Field Rating) การประเมินผลิตค่าภาพ (Productivity Rating) และการประเมินแบบ 5 นาที (Five-Minute Rating) ซึ่งทั้งสามวิธีก็จะมีรูปแบบการเก็บข้อมูลที่ต่างกัน นอกจากปัจจัยของวิธีการที่ต่างกัน การประเมินผลิตภาพที่มีคุณภาพที่มีคุณภาพยังขึ้นกับประสบการณ์ของผู้ประเมิน รวมทั้งกระบวนการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลที่มีคุณภาพ

การประเมินผลิตภาพแรงงานจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นและสำคัญเพราะเป็นตัวชี้วัดหนึ่งที่จะทำให้รู้ว่าโครงงานได้ผลตอบแทนที่เหมาะสมกลับมาหรือไม่ในการใช้ทรัพยากรไป เป็นเครื่องมือหนึ่งที่สามารถช่วยวัดข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อช่วยในการตัดสินใจในการบริหารจัดการแรงงานของผู้รับเหมา รวมถึงทราบถึงความสามารถในการทำงานของคนงานว่ามีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด จากข้อเท็จจริงดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการประเมินผลิตภาพแรงงาน โดยเลือกกิจกรรมงานก่อผนังคอนกรีตในอาคารเป็นกรณีศึกษา เพื่อต้องการทราบถึงประสิทธิภาพในการทำงานและการบริหารจัดการที่หน้างาน รวมถึงนำข้อมูลที่ได้เป็นฐานข้อมูลในการวางแผนการทำงาน การประมาณการค่าแรงสำหรับการบริหารโครงการก่อสร้างในอนาคต [1]

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อนำข้อมูลที่ทำการเก็บด้วยวิธี Five Minute Rating มาประเมินประสิทธิภาพในการทำงาน

1.2.2 เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลิตภาพของคนงานด้วยวิธี Crew Balance Chart

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบผลิตภาพที่ได้จากวิธีประเมินค่าผลิตภาพ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 **สถานที่** หมู่บ้านจัดสรรแห่งหนึ่ง ในอำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา

1.3.2 **เวลา** ใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 317 นาที

1.3.**3 วิเคราะห์ข้อมูล** วิธีProductivity Rating ,Five Minute Rating และCrew Balance Chart

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ได้ใช้วิธีการเขียนกราฟแสดงสมดุลการทำงานของคนงาน จัดแบ่งคนงานให้เหมาะสมกับเนื้องานเพื่อเพิ่มประสิทธิผลในการทำงาน

1.4.2 ได้ใช้หลักการคำนวณค่าสัดส่วนของคนงานในการแก้ปัญหาโดยพิจารณาจากปัจจัยที่เป็นผลกระทบต่อการลดลงของผลิตภาพ

1.4.3 การทำงานเกิดขึ้นแบบต่อเนื่อง เนื้องานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาปัจจัยที่เป็นผลกระทบต่อการลดสูญเสียในงานก่อสร้าง ได้รวบรวมข้อมูลเท็จจริงที่เกิดขึ้นของปัญหาที่เกิดขึ้น รวมทั้งปัจจัยเบื้องต้นตลอดจนเกณฑ์ที่ในการแบ่งงานวิจัยต่างๆ บทความ ตำราเรียน

2.1 การประเมินผลิตภาพ Productivity Rating

ผลิตภาพ (Productivity) ของงานก่อสร้างคือ ผลผลิตที่ได้จากการที่ผู้รับเหมาทำงานโดยใช้ทรัพยากรในการก่อสร้าง หรือ ผลผลิต/ต้นทุนการผลิต **(**ผลิตภาพ (Productivity) = (Output/Input)

โดยผลผลิต (Output) ในที่นี้หมายถึง ผลที่ได้จากการผลิต ซึ่งในส่วนของงานก่อสร้างนั้นคือ ผลงานก่อสร้างต่าง ๆ ที่ซึ่งสามารถวัดออกมาในรูปของหน่วยต่าง ๆ ทรัพยากรที่ใช้ในการผลิต (Input) ได้แก่ แรงงาน วัสดุ เครื่องมือเครื่องจักร แผนงานและการจัดการ เงิน โดยในการที่จะเพิ่มผลิตภาพนั้น Output จะต้องเพิ่มขึ้นส่วน Input จะคงที่หรือ ลดลงก็ได้แล้วแต่กรณีและการที่ Productivity จะมีประสิทธิภาพ นั้นได้จะต้องมีการบริหารที่ดีทักษะของคนงานที่ดีวัสดุมีคุณภาพ เครื่องมือเครื่องจักรรวดเร็วและปลอดภัย

การประเมินค่าผลิตภาพของคนงานก่อสร้างโดยใช้วิธี Productivity Rating ศึกษาผลิต ภาพของงาน 8 ประเภทหลักประกอบด้วย งานติดตั้งไม้แบบ งานติดตั้งเหล็กเสริม งานเทคอนกรีต งานก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น งานฉาบปูน งานติดตั้งกระเบื้องพื้นเซรามิคขนาด 8" x 8" งานติดตั้งแผ่นฝ้า เพดาน งานทาสีผนัง และหาค่าสัดส่วนการใช้คนงานที่เหมาะสมของ งานทั้ง 8 ประเภท พบว่าแนวทางในการเพิ่มผลิตภาพคือ ต้องมีการ จัดการและการวางแผนงานที่ดีจัดปริมาณงานให้เหมาะสม จัดเตรียมทรัพยากรให้พร้อมใช้งานอย่างต่อเนื่อง การควบคุมงานต้องมีประสิทธิภาพชัดเจนและถูกต้อง จัดสมดุลของทีมงานชุดช่างให้เหมาะสม [2]

การลดความสูญเสีย 7 ประการ (The 7 Wastes)

ความสูญเปล่า หรือ MUDA หรือ WASTE ล้วนแต่มีความหมายเดียวกัน หมายถึง สิ่งที่เกิดขึ้นแต่ไม่ทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มแก่สินค้า ซึ่งความสูญเปล่ามีอยู่ 7 ประการด้วย 1). การผลิตมากเกินไป (Overproduction) 2). การรอคอย (Waiting) 3). การเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น (Transporting) 4). การทำงานที่ไม่เกิดประโยชน์ (Inappropriate Processing) 5). การเก็บสินค้าที่มากเกินไป (Unnecessary Inventory) 6). การเคลื่อนที่/เคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น (Unnecessary Motions) และ 7). ของเสีย (Defect)

การเก็บข้อมูลการทำงานในงานก่อสร้างสามารถทำได้หลากหลายวิธี โดยในการศึกษานี้ได้นำทฤษฎีการเก็บข้อมูลผลิตภาพ (Productivity) มาใช้ในการเก็บข้อมูล โดยวิธีการ Five Minute Rating และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าประสิทธิผล (Effectiveness)

2.2 วิธี Five Minute Rating

เป็นการศึกษาการทำงานของแรงงานในกิจกรรมย่อย ๆ ในแต่ละกิจกรรมในงานก่อสร้าง ส่วนใหญ่ในการเก็บข้อมูลด้วยวิธี Five Minute Rating จะเลือกกิจกรรมที่สำคัญๆ ในงานก่อสร้าง โดยจะเก็บข้อมูลของคนงานทุกคนที่ปฏิบัติงานในกิจกรรมนั้นๆ คนงานแต่ละคนจะถูกสังเกตและบันทึกข้อมูลทั้งหมดจะถูกแบ่งเป็นช่วงย่อย ๆ ประมาณ 30 วินาที – 5 นาที โดยมีเงื่อนไขในการเก็บข้อมูล

- จำนวนช่วงเวลาที่ทำการสังเกตในแต่ละงานนั้นต้องไม่น้อยกว่าจำนวนของคนงานที่ถูกสังเกตการณ์อยู่ในขณะนั้น
- คนงานทุกคนที่ปฏิบัติงานในกิจกรรมนั้นๆ จะถูกสังเกตและบันทึกข้อมูล โดยผู้เก็บข้อมูลจะบันทึกเวลาที่ปฏิบัติงานและกิจกรรมที่คนงานกำลังปฏิบัติอยู่ในขณะนั้น เช่น นาทีที่ 1-2 คนงานแต่ละคนกำลังปฏิบัติงานอะไร
- หลักเกณฑ์ในการตัดสินคนงานของผู้เก็บข้อมูลจะบันทึกคนงานขณะปฏิบัติงานตั้งแต่ครั้งแรกที่สังเกตและทำการบันทึกข้อมูลการสังเกตลงบนตารางข้อมูลการทำงานของคนงาน
- ผู้เก็บข้อมูลต้องเข้าไปอยู่ในบริเวณที่สามารถสังเกตการทำงานของคนงานได้โดยที่ผู้สังเกตไม่รู้ตัวว่าสังเกตอยู่และไม่แสดงปฏิกิริยาต่อการสังเกตอันจะส่งผลให้ผลการสังเกตคลาดเคลื่อน

ผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลด้วยวิธี Five Minute Rating จะนำมาคำนวณค่าประสิทธิผล (Effectiveness) ดังแสดงในสมการที่1

$$\text{Effectiveness} = \frac{\text{จำนวนการทำงาน}}{\text{จำนวนตัวอย่างทั้งหมด}} \times 100\% \quad \text{_____(1)}$$

2.3 วิธี Crew Balance Chart

หลังจากการเก็บข้อมูลคนงานในกิจกรรมย่อยในงานก่อสร้างแล้วข้อมูลของคนงานที่ได้นำมาพล็อตเป็นกราฟแท่งระหว่างจำนวนเวลา (นาที) ในการทำงาน โดยกราฟแต่ละแท่งจะหมายถึงคนงานแต่ละคนที่ปฏิบัติงานในกิจกรรมนั้นๆ วิ่งคนงานในกิจกรรมทุกคนจะรวมอยู่ในกราฟเดียวกัน โดยจะเรียกกราฟนี้ว่าผังแสดงความสมดุลของกลุ่มคนงาน หรือ Crew Balance Chart โดยกราฟนี้จะใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของกลุ่มคนงาน จากนั้นก็จะทำการปรับปรุงการทำงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดีขึ้น โดยนำค่าประสิทธิผล (Effectiveness) ก่อนและหลังการปรับปรุงการทำงานมาเปรียบเทียบเพื่อทราบว่าในการปรับปรุงการทำงานแต่ละครั้งมีประสิทธิผลต่างจากก่อนการปรับปรุงหรือไม่หรือไม่ โดยถ้าค่าประสิทธิผล (Effectiveness) เพิ่มมากขึ้นแสดงว่ามีการปรับปรุงการทำงานที่ดีขึ้น [3]

2.4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วสุ และคณะ(2564) ศึกษาปัญหาการก่อสร้างที่ล่าช้าไปจากแผนงาน สาเหตุเกิดจากปัญหาหลายๆ ประการ เช่น ด้านความสามารถของบุคลากรและสภาพแวดล้อมในการทำงาน เป็นต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลิตภาพแรงงาน และปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตแรงงานในการทำงานของการติดตั้งงานระบบสุขาภิบาล และงานระบบดับเพลิง ภายในโครงการก่อสร้างอาคารสูง โดยมีการเก็บข้อมูลจากการเฝ้าสังเกตพร้อมกับบันทึกภาพเคลื่อนไหว และภาพนิ่งภายในโครงการก่อสร้างอาคารสูง จำนวน 1 โครงการ ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่ากลุ่มของแรงงานติดตั้งท่องานระบบสุขาภิบาลและดับเพลิงมีค่าสัดส่วนการใช้แรงงานที่เป็นประโยชน์ อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่ามาตรฐาน โดยสาเหตุมาจากการรอคอยอุปกรณ์ การวางแผนงานที่บกพร่อง และความไม่ชำนาญของแรงงานเป็นต้น [1]

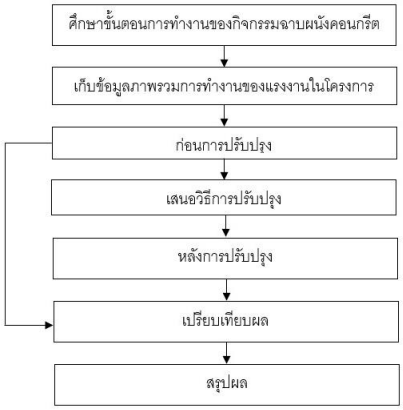
ธนพัฒน์ และคณะ(2564) การประเมินค่าอัตราผลผลิต (Productivity Rating) เป็นการประเมินผลิตภาพการทำงานของคนงานซึ่งแบ่งกิจกรรมในการทำงานออกเป็น 3 กรณีคือ กิจกรรมได้งานเป็นกิจกรรมที่ เกี่ยวข้องโดยตรงกับงานนั้น ๆซึ่งงานที่ทำแล้วมีลักษณะมีประสิทธิผล (Effective) กิจกรรมงานสนับสนุน (Contributory) เป็นกิจกรรมที่ ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับงานนั้น ๆ แต่จำเป็นต้องทำเพื่อให้งานและกิจกรรมงานไร้ประสิทธิผลหรือไม่ได้งานหรือทำงานไม่เป็นประโยชน์ (Not Useful) เป็นกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดผลผลิตใด ๆ เช่น การรอคอย การแก้ไขงาน การรอคอนกรีตเป็นต้น และหาสัดส่วนการใช้ คนงานที่เป็นประโยชน์ [2]

ภัทรพร และคณะ(2565) ศึกษาประสิทธิผลการทำงานในโครงการหมู่บ้านจัดสรรจังหวัดชลบุรี และแบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ การเก็บข้อมูลภาพรวมของโครงการด้วยวิธี Field Rating และเก็บข้อมูลของกลุ่มคนงานในกิจกรรมติดตั้งโครงหลังคาเหล็กด้วยวิธี Five Minute Rating ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิผลของโครงการ (Effectiveness) มีค่าเท่ากับ 66.31% สำหรับกิจกรรมติดตั้งโครงเหล็กประสิทธิการทำงานในกิจกรรมนี้คือ 45.83% โดยพบว่าคนงานที่มีประสิทธิผลสูงสุดมีค่าเป็น 95 และมี 2 คนที่มีประสิทธิผลเท่ากับ 0 ในการวิเคราะห์และปรับปรุงความประสิทธิผลของกิจกรรมติดตั้งโครงหลังคาเหล็ก ใช้วิธี Crew Balance Chart ซึ่งทำให้ประสิทธิผล (Effectiveness) เพิ่มขึ้นจาก 45.83% เป็น 68.75% เพื่อเป็นประสิทธิผลการทำงานและลดจำนวนคนงานที่ไม่เป็น [3]

สุนันท์ และคณะ(2558) การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าผลิตภาพแรงงานของงานฉาบปูนผนังภายนอกอาคาร ของการก่อสร้างอาคารพาณิชย์แห่งหนึ่งในเขตกรุงเทพมหานคร จากการศึกษา พบว่าค่าผลิตภาพแรงงานของงานฉาบปูนผนังภายนอกอาคาร มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.13 ตร.ม/คน/ชม. ทั้งนี้ค่าผลิตภาพแรงงานที่ได้รวมเวลาของความล่าช้าเนื่องจากการรอคอยวัสดุ การแก้ไขงานและการเกิดอุบัติเหตุไว้ด้วย นอกจากนี้ จากการศึกษาครั้งนี้พบผลกระทบจากงานก่ออิฐซึ่งเป็นกิจกรรมที่ทำมาก่อนงานฉาบปูนผนัง โดยพบว่าหากคุณภาพงานก่ออิฐไม่ดี เช่น ไม่ได้แนวและไม่ได้ดิ่งทำให้ต้องฉาบปูนหนามากขึ้นในบางพื้นที่เพื่อให้ผนังเรียบส่งผลทำให้เวลาในการทำงานนานขึ้น ร้อยละ 7 และทำให้ค่าผลิตภาพแรงงานลดลง ร้อยละ 9 [4]

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

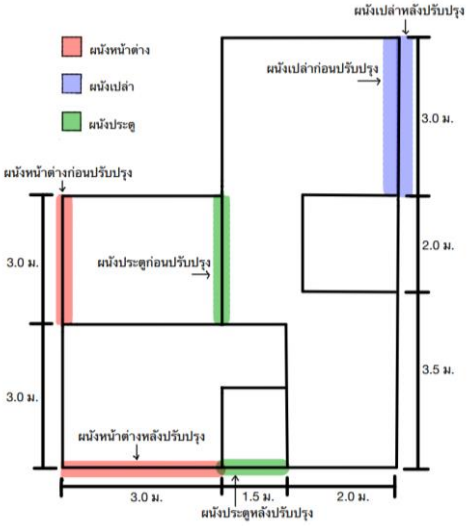
การวิจัยเรื่อง“การศึกษาผลิตภาพแรงงานของงานฉาบผนังคอนกรีตบล็อก”ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาประสิทธิภาพในการทำงานของกิจกรรมการฉาบผนังคอนกรีตโดยมีรายละเอียดของกระบวนการศึกษาวิจัยมี 7 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาขั้นตอนการทำงานของกิจกรรมฉาบผนัง

ศึกษาข้อมูลของแรงงานในกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตของโครงการหมู่บ้านจัดสรรแห่งหนึ่ง ในอำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยาบริเวณผนัง(เปล่า) บริเวณผนัง(ที่มีหน้าต่าง) และบริเวณผนัง(ที่มีประตู) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 บริเวณการศึกษาข้อมูล

2. เก็บข้อมูลภาพรวมการทำงานของแรงงานในโครงการ

ในงานวิจัยครั้งนี้ทำการเก็บข้อมูลของหมู่บ้านจัดสรรโครงการหมู่บ้านจัดสรรโครงการหมู่บ้านจัดสรรแห่งหนึ่ง ในอำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา คนงานที่ใช้ในการเก็บข้อมูลทั้งหมดของโครงการจำนวน 2 คน มีการเก็บข้อมูลจำนวน 2 ครั้ง มีสถานที่เก็บข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 3 โดยจะเก็บตัวอย่างซ้ำกันเป็นจำนวน 2 รอบ ซึ่งจะได้จำนวนข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ได้แก่ ผนังเปล่า ผนังประตู และผนังหน้าต่าง



รูปที่ 3 สถานที่เก็บข้อมูลและคนงาน

3. เก็บข้อมูลของแรงงานในกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตโดยใช้วิธี Five Minute Rating

เก็บข้อมูลโดยวิธี Five Minute Rating ของกิจกรรมการฉาบผนังคอนกรีต ซึ่งจะใช้วิธีสังเกตและบันทึกการปฏิบัติงานของแรงงานแต่ละคนในกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตมีจำนวนคนงานทั้งหมด 2 คน เริ่มทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 14 เดือน สิงหาคม พ.ศ.2566 เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 14.30 น. โดยระยะเวลารวมในการเก็บข้อมูลทั้งหมด 60 นาที ในการเก็บข้อมูลของกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตจะอยู่ในบริเวณผนัง(ที่มีประตู) ผนัง(ที่มีหน้าต่าง) และผนัง(ห้องเปล่า) คนงานในแต่ละคนจะถูกสังเกตการทำงานเป็นรายนาที และบันทึกข้อมูลทุกๆ นาทีขณะกำลังปฏิบัติงานแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การทำงานของคนงาน

4. นำข้อมูลที่ได้มาหาประสิทธิผลและวิเคราะห์การทำงานของกิจกรรมติดตั้งฉาบผนังคอนกรีต

หลังจากการเก็บข้อมูลคนงานในกิจกรรมย่อยในงานก่อสร้างแล้วข้อมูลของคนงานที่ได้นำมาพล็อตเป็นกราฟแท่งระหว่างจำนวนเวลา (นาที) ในการทำงาน โดยกราฟแต่ละแท่งจะหมายถึงคนงานแต่ละคนที่ปฏิบัติงานในกิจกรรมนั้นๆ ซึ่งคนงานในกิจกรรมทุกคนจะรวมอยู่ในกราฟเดียวกัน โดยจะเรียกกราฟนี้ว่าผังแสดงความสมดุลของกลุ่มคนงาน หรือ Crew Balance Chart โดยกราฟนี้จะใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของกลุ่มคนงาน จากนั้นก็จะทำการปรับปรุงการทำงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดีขึ้น โดยนำค่าประสิทธิผล (Effectiveness) ก่อนและหลังการปรับปรุงการทำงานมาเปรียบเทียบเพื่อทราบว่าในการปรับปรุงการทำงานแต่ละครั้งมีประสิทธิผลต่างจากก่อนการปรับปรุงหรือไม่ โดยถ้าค่า

ประสิทธิผล (Effectiveness) เพิ่มมากขึ้นแสดงว่ามีการปรับปรุงการทำงานที่ดีขึ้นแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การทำงานของคนงาน

5.วิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของกิจกรรมติดตั้งฉาบผนัง

การวิเคราะห์ “การศึกษาผลิตภาพแรงงานของงานฉาบผนังคอนกรีตบล็อก” ฉบับนี้เป็นงานวิจัยแบบสำรวจข้อมูลที่มุ่งศึกษาการลดความสูญเสีย 7 ประการ (The 7 Wastes) การทำงานที่ไม่เกิดประโยชน์ ในการฉาบผนังคอนกรีตบล็อกของโครงการหมู่บ้านจัดสรรแห่งหนึ่งในอำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา การวิเคราะห์ข้อมูลในครั้งนี้จึงเป็นการวิเคราะห์โดยใช้หลักการในหาการวิเคราะห์ ดังรายละเอียดดังนี้

การเก็บข้อมูลการทำงานของคนงานในกิจกรรมงานก่อสร้างด้วยวิธี Five Minute Rating โดยจะเก็บข้อมูลของคนงานทุกคนที่ปฏิบัติงานในกิจกรรมนั้นๆ คนงานแต่ละคนจะถูกสังเกตและบันทึกข้อมูลทั้งหมดจะถูกแบ่งเป็นช่วงย่อย ๆ ประมาณ 30 วินาที – 5 นาที โดยมีเงื่อนไขในการเก็บข้อมูล ดังนี้

1. จำนวนช่วงเวลาที่ทำการสังเกตในแต่ละงานนั้นต้องไม่น้อยกว่าจำนวนของคนงานที่ถูกสังเกตการณ์อยู่ในขณะนั้น

2. คนงานทุกคนที่ปฏิบัติงานในกิจกรรมนั้นๆ จะถูกสังเกตและบันทึกข้อมูล โดยผู้เก็บข้อมูลจะบันทึกเวลาที่ปฏิบัติงานและกิจกรรมที่คนงานกำลังปฏิบัติอยู่ในขณะนั้น เช่น นาทีที่ 1-2 คนงานแต่ละคนกำลังปฏิบัติงานอะไร

3. หลักเกณฑ์ในการตัดสินคนงานของผู้เก็บข้อมูลจะบันทึกคนงานขณะปฏิบัติงานตั้งแต่ครั้งแรกที่สังเกตและทำการบันทึกข้อมูลการสังเกตลงบนตารางข้อมูลการทำงานของคนงาน

4. ผู้เก็บข้อมูลต้องเข้าไปอยู่ในบริเวณที่สามารถสังเกตการทำงานของคนงานได้โดยที่ผู้สังเกตไม่รู้ตัวว่าสังเกตอยู่และไม่แสดงปฏิกิริยาต่อการสังเกตอันจะส่งผลให้ผลการสังเกตคลาดเคลื่อน

การวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานของคนงานในกิจกรรมงานก่อสร้างด้วยวิธี Crew Balance Chart

หลังจากการเก็บข้อมูลคนงานในกิจกรรมย่อยในงานก่อสร้างแล้วข้อมูลของคนงานที่ได้นำมาพล็อตเป็นกราฟแท่งระหว่างจำนวนเวลา (นาที) ในการทำงาน โดยกราฟแต่ละแท่งจะหมายถึงคนงานแต่ละคนที่ปฏิบัติงานในกิจกรรมนั้นๆ ซึ่งคนงานในกิจกรรมทุกคนจะรวมอยู่ในกราฟเดียวกัน โดยจะเรียกกราฟนี้ว่าผังแสดงความสมดุลของกลุ่มคนงาน หรือ Crew Balance Chart โดยกราฟนี้จะใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของกลุ่มคนงาน จากนั้นก็จะทำการปรับปรุงการทำงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดีขึ้น โดยนำค่าประสิทธิผล (Effectiveness) ก่อนและหลังการปรับปรุงการทำงานมาเปรียบเทียบเพื่อทราบว่าในการปรับปรุงการทำงานแต่ละครั้งมีประสิทธิผลต่างจากก่อนการปรับปรุงหรือไม่ โดยถ้าค่าประสิทธิผล (Effectiveness) เพิ่มมากขึ้นแสดงว่ามีการปรับปรุงการทำงานที่ดีขึ้น

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ข้อมูลภาพรวมการทำงานของแรงงาน

โครงการหมู่บ้านจัดสรรแห่งหนึ่ง ในอำเภอเมือง จังหวัดพะเยา โดยวิธี Field Rating โดยหาได้จากสมการที่ (1) เป็นการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินภาพรวมการทำงานของคนงานในโครงการ โดยแบ่งการนับจำนวนการทำงานของคนงานออกเป็น 2 ลักษณะ คือ คนทำงานและไม่ทำงานดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ภาพรวมการทำงานของแรงงาน โดยวิธี Field Rating

จำนวนคน	จำนวนครั้งที่เก็บข้อมูล	จำนวนตัวอย่างทั้งหมด	สถานะ		ผลการประเมิน
			ทำงาน	ไม่ทำงาน	
2	6	498	317	181	63.65

จากตารางที่ 1 พบว่ามีจำนวนคนงานทั้งหมด 2 คน ทำการเก็บข้อมูล 6 ครั้ง จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 498 ตัวอย่าง ซึ่งมีคนงานที่ทำงาน 317 ตัวอย่าง และคนงานที่ไม่ทำงาน 181 ตัวอย่าง ผลการประเมินภาพรวมโครงการมีค่า 63.65%

4.2 การเก็บข้อมูลในกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อก

4.2.1 ขั้นตอนการทำงานของกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อก

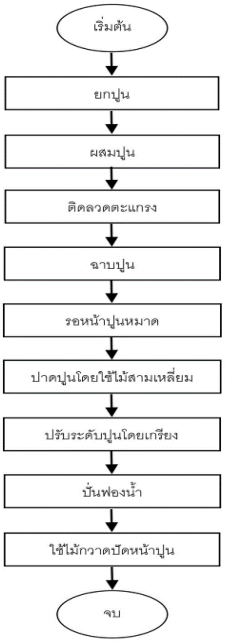
ในการศึกษาขั้นตอนการทำงานกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อก หมู่บ้านจัดสรรแห่งหนึ่ง ในอำเภอเมือง จังหวัดพะเยา พบว่ามีจำนวนคนงานในการทำงานกิจกรรม ทั้งหมด 2 คน ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 กลุ่มคนงานในการฉาบผนังคอนกรีตบล็อก

ในการเก็บข้อมูลจะทำการถ่ายภาพขณะคนงานปฏิบัติในกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อก เพื่อเก็บรายละเอียดข้อมูลและสามารถตรวจสอบข้อมูลในภายหลังหลังได้ ในงานศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลเมื่อวันที่ 14 สิงหาคม 2566

ขั้นตอนในการฉาบผนังคอนกรีตมี 9 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ขั้นตอนการฉาบผนังคอนกรีตบล็อก

รายละเอียดกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกในขั้นตอนแรกเริ่มจากขนย้ายกระสอบปูนซีเมนต์ไปจุดที่ทำการฉาบผนังคอนกรีตบล็อกและผสมปูนติดตะแกรงกรงไก่ หลังจากฉาบผนังเสร็จจะต้องรอปูนฉาบแข็งตัวเพื่อทำการปรับระดับโดยใช้ไม้สามเหลี่ยมและใช้เกรียง เมื่อระดับผนังมีความสม่ำเสมอกันแล้วใช้ฟองน้ำเกลี่ยผนังเพื่อให้ผนังเรียบเนียนและใช้ไม้กวาดทำความสะอาดผนังให้สะอาด

1.คนงานขนย้ายกระสอบปูนซีเมนต์ไปวางบริเวณที่ฉาบและทำผสมปูน




(ก) (ข)

รูปที่ 8 ยกกระสอบปูนซีเมนต์(ก) ผสมปูน(ข)

2.ติดตั้งตะแกรงกรงไก่เพื่อลดโอกาสแตกร้าวของผนังที่มีการฉาบและเริ่มทำการฉาบ




(ก) (ข)

รูปที่ 9 ติดตั้งตะแกรงเกรงไก่(ก) ฉาบผนัง(ข)

3.เมื่อฉาบเสร็จแล้วรอปูนฉาบแข็งตัวเพื่อให้ปูนเซตตัวหลังจากนั้นนำไม้สามเหลี่ยมมาปรับระดับความหนาของผนัง




(ก) (ข)

รูปที่ 10 รอปูนฉาบแข็งตัว(ก) ปรับระดับผนัง(ข)

4.ใช้เกรียงปรับระดับผนังและใช้ฟองน้ำเกลี่ยผนังให้มีความเรียบ




(ก) (ข)

รูปที่ 11 ปรับระดับ(ก) เกลี่ยผนัง(ข)

5. ใช้ไม้กวาดทำความสะอาดผนังให้สะอาด



รูปที่ 12 ทำความสะอาดผนัง

4.3 ข้อมูลการทำงานของกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกโดยวิธี Five Minute Rating

ในการเก็บข้อมูลกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกโดยวิธี Five Minute Rating มีจำนวนคนงานทั้งหมด 2 คน คนงานแต่ละคนได้รับการบันทึกข้อมูลขณะปฏิบัติงานเป็นรายนาที ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลรวมทั้งหมด 60 นาที และนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าประสิทธิผล (Effectiveness) ในการทำงานของกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อก ผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 2 ,3 และ4

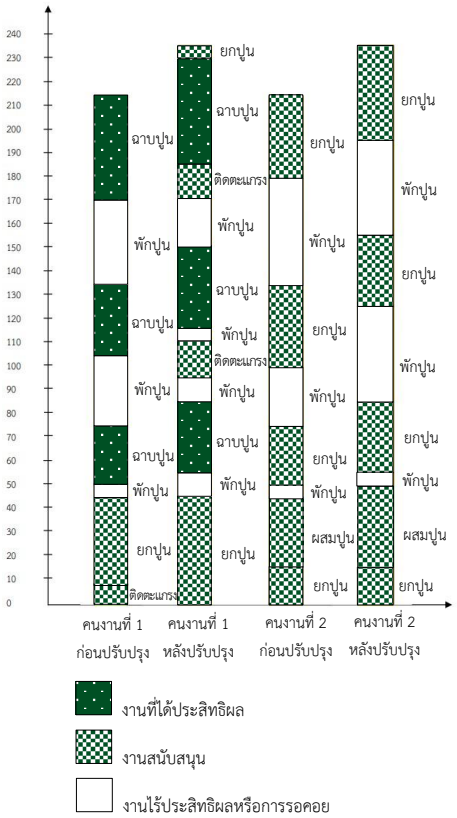
ตารางที่ 2 ประสิทธิผลในการทำงานของกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกบริเวณผนังเปล่าก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงโดยวิธี Five Minute Rating

เวลา (นาที)	ก่อนปรับปรุง (นาที)		หลังปรับปรุง (นาที)	
	คนงานที่	คนงานที่	คนงานที่	คนงานที่
	1	2	1	2
เวลาที่ทำงานต่อคน	130	120	195	140
เวลาที่ทำงานรวม	250		335	
เวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง	215	215	235	235
เวลาที่เก็บตัวอย่างรวม	430		470	

จากตารางที่ 2 ผลการเก็บข้อมูลการทำงานในกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกบริเวณผนังเปล่าใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลทั้งหมด 215 นาที พบว่าคนงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดที่สุดคือ คนงานที่ 1 โดยมีค่าประสิทธิผลเท่ากับ 60% ส่วนคนงานที่ 2 มีค่าประสิทธิผลเท่ากับ 56% และในการฉาบผนังคอนกรีตบล็อกบริเวณผนังเปล่าครั้งนี้มีค่าประสิทธิเฉลี่ยเท่ากับ 58% และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์โดยวิธี Crew Balance Chart

จากการปรับปรุงการทำงานในกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกได้มีการปรับเปลี่ยนวิธีการปฏิบัติงานและระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานของคนงานที่ 1 และ คนงานที่ 2 ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของตารางเมตรต่อชั่วโมงเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 13

ผลวิเคราะห์การทำงานในกิจกรรมกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อคด้วยวิธี Crew Balance Chart บริเวณผนังเปล่าก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 Crew Balance Chart ก่อนปรับปรุง พื้นที่ 6.45 ตารางเมตร และหลังปรับปรุง พื้นที่ 9 ตารางเมตร (ผนังเปล่า)

จากรูปที่ 13 แสดงการทำงานของคนงานในการทำงานช่วงก่อนการปรับปรุงและช่วงหลังการปรับปรุงการทำงาน เนื่องจากช่วงรอปูนฉาบแข็งตัวคนงานจะเกิดการรอคอยงาน ดังนั้นจึงให้คนงานเตรียมความพร้อมของงานถัดไป เช่น การติดตะแกรงกรงไก่ การติดตั้งนั่งร้านเป็นต้น ส่งผลให้ระยะเวลาการทำงานมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

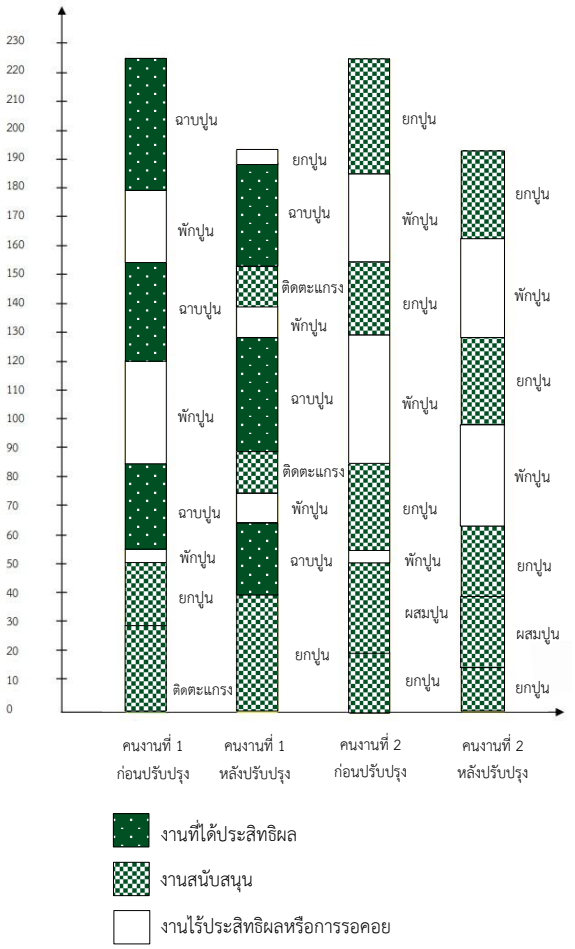
ตารางที่ 3 ประสิทธิผลในการทำงานของกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกบริเวณผนังและหน้าต่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงโดยวิธี Five Minute Rating

เวลา(นาที)	ก่อนปรับปรุง (นาที)		หลังปรับปรุง (นาที)	
	คนงานที่	คนงานที่	คนงานที่	คนงานที่
	1	2	1	2
เวลาที่ทำงานต่อคน	145	130	165	115
เวลาที่ทำงานรวม	275		280	
เวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง	225	225	195	195
เวลาที่เก็บตัวอย่างรวม	450		390	

จากตารางที่ 3 ผลการเก็บข้อมูลการทำงานในกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกบริเวณผนังและหน้าต่างใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลทั้งหมด 225 นาที พบว่าคนงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดที่สุดคือ คนงานที่ 1 โดยมีค่า

ประสิทธิผลเท่ากับ 64% ส่วนคนงานที่ 2 มีค่าประสิทธิผลเท่ากับ 58% และในการฉาบผนังคอนกรีตบล็อกบริเวณผนังเปล่าครั้งนี้มีค่าประสิทธิผลเฉลี่ยเท่ากับ 61% และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์โดยวิธี Crew Balance Chart

ผลวิเคราะห์การทำงานในกิจกรรมกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกด้วยวิธี Crew Balance Chart บริเวณผนังและหน้าต่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 Crew Balance Chart ก่อนปรับปรุง พื้นที่7.2ตารางเมตร และหลังปรับปรุง พื้นที่7.2ตารางเมตร (ผนังและหน้าต่าง)

จากรูป 14 การทำงานช่วงก่อนการปรับปรุงมีระยะเวลาลดลงเนื่องจากการปรับปรุงแผนงานและการขนย้ายกระสอบปูนซีเมนต์มีการปรับเปลี่ยนพื้นที่ให้อยู่ใกล้กับที่ทำงานมากยิ่งขึ้นส่งผลให้คนงานใช้เวลาในการขนย้ายลดลงจากเดิม ดังแสดงในที่ 15

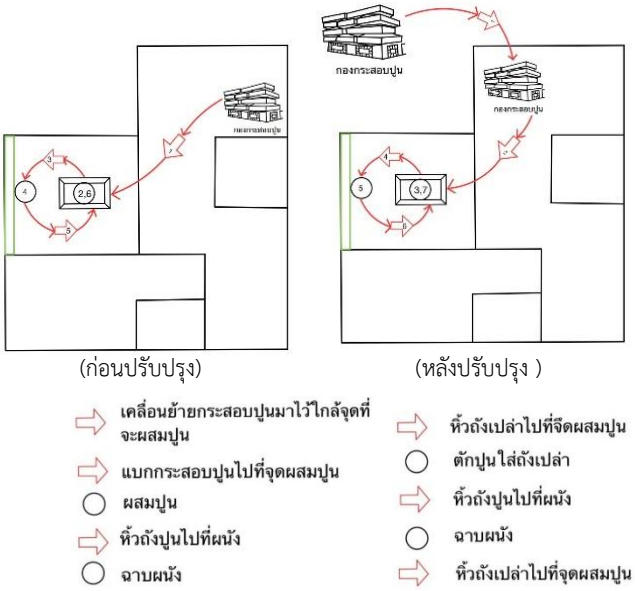


(ก่อนปรับปรุง) (หลังปรับปรุง)

รูปที่ 15 ตำแหน่งการวางกระสอบปูนซีเมนต์

จากรูป 15 ก่อนปรับปรุงกระสอบปูนซีเมนต์วางอยู่นอกบ้านและไม่มีหลังคาทำให้ต้องใช้ผ้าใบคลุม เมื่อฝนตกส่งผลให้กระสอบปูนซีเมนต์เกิดความเสียหาย หลังการปรับปรุงเมื่อโครงการสั่งปูนซีเมนต์ครั้งต่อไปให้รถยกกระสอบปูนซีเมนต์วางไว้ในบ้านใกล้บริเวณที่ทำงานมากยิ่งขึ้น จึงสามารถลดระยะเวลาการขนย้ายของคนงานได้

การปรับปรุงการทำงานในกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกได้มีการปรับเปลี่ยนวิธีการปฏิบัติงานจึงส่งผลให้ระยะเวลาในการทำงานลดลงประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น จากนั้นนำมาสร้างเป็นแผนภาพของกระบวนการ (Process Flow Diagram) ดังแสดงในรูปที่ 16



รูปที่ 16 Process Flow Diagram

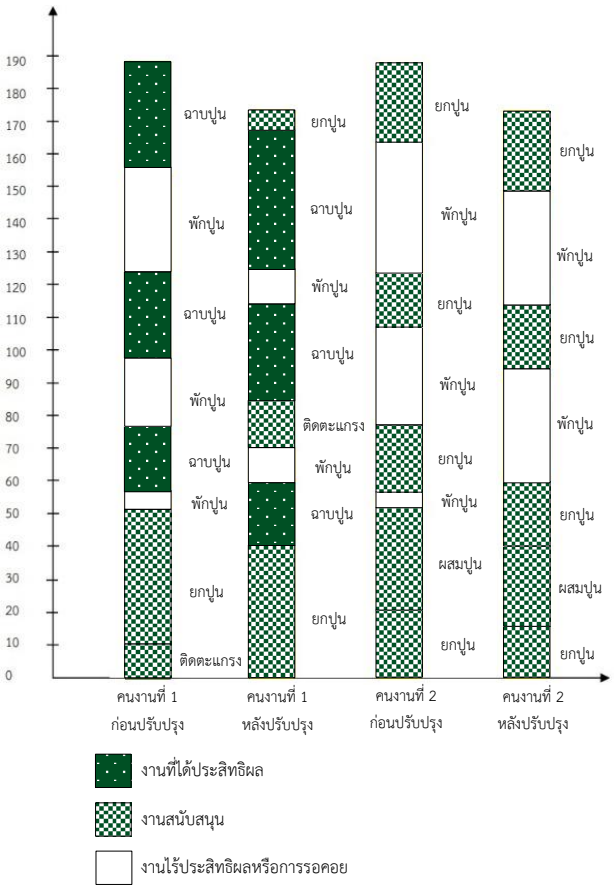
ตารางที่ 4 ประสิทธิผลในการทำงานของกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกบริเวณผนังและประตูก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงโดยวิธี Five Minute Ratin

เวลา(นาที)	ก่อนปรับปรุง (นาที)		หลังปรับปรุง (นาที)	
	คนงานที่	คนงานที่	คนงานที่	คนงานที่
	1	2	1	2
เวลาที่ทำงานต่อคน	125	85	140	95
เวลาที่ทำงานรวม	210		235	
เวลาการเก็บตัวอย่าง	185	185	175	175
เวลาการเก็บตัวอย่างรวม	370		350	

จากตารางที่ 4 ผลการเก็บข้อมูลการทำงานในกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกบริเวณผนังและประตูใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลทั้งหมด 185 นาที คนงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดที่สุดคือ คนงานที่ 1 มีค่าประสิทธิผลเท่ากับ 68% ส่วนคนงานที่ 2 มีค่าประสิทธิผลเท่ากับ 46% และในการฉาบ

ผนังคอนกรีตบล็อกบริเวณผนังเปล่าครั้งนี้มีค่าประสิทธิผลเฉลี่ยเท่ากับ 57% และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์โดยวิธี Crew Balance Chart

ผลวิเคราะห์การทำงานในกิจกรรมกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกด้วยวิธี Crew Balance Chart บริเวณผนังและประตูก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ดังแสดงในรูปที่ 17



รูปที่ 17 Crew Balance Chart ก่อนปรับปรุง พื้นที่ 6.96 ตารางเมตร และหลังปรับปรุง พื้นที่7.16ตารางเมตร (ผนังและประตู)

จากรูปที่ 17 พบว่าการเตรียมอุปกรณ์ช่วงเริ่มการทำงานนั้นระยะเวลาลดลงอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากปรับปรุงแผนงาน โดยทุกครั้งเมื่อทำกิจกรรมเสร็จต้องเก็บอุปกรณ์ให้เรียบร้อยเพื่อให้สามารถนำมาใช้ได้อย่างสะดวกในครั้งถัดไป และจากรูปเห็นได้ว่าขั้นตอนการติดตะแกรงกรงไก่จะเหลือเพียงช่วงเวลาเดียว เนื่องจากคนงานได้ทำการติดตั้งเสร็จเรียบร้อยทั้งหมดแล้วในกิจกรรมก่อนหน้า จึงส่งผลให้คนงานไม่ต้องติดตะแกรงกรงไก่ก่อนเริ่มงานทุกครั้งและสามารถเริ่มงานได้โดยไม่เสียเวลาในการทำกิจกรรมซ้ำ ดังแสดงในรูปที่ 18



(ก่อนปรับปรุง) (หลังปรับปรุง)

รูปที่ 18 อุปกรณ์ที่ใช้ในกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อก

จากรูปที่ 18 ก่อนการปรับปรุง หลังจากการทำงานเสร็จคนงานจะไม่ล้างและเก็บอุปกรณ์ จึงทำให้การเริ่มงานถัดไปมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น จึงปรับปรุงโดยให้คนงานล้างและเก็บอุปกรณ์ให้เป็นระเบียบเพื่อสะดวกในการเริ่มทำงานครั้งถัดไป

5.สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพผลการทำงานของกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อก โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มคนงานที่ทำการฉาบผนังคอนกรีตบล็อก ในโครงการหมู่บ้านจัดสรรแห่งหนึ่งในอำเภอเมือง จังหวัดพะเยา พบว่ามีจำนวนคนงานในการทำงานกิจกรรมทั้งหมด 2 คน โดยเก็บข้อมูลโครงการด้วยวิธี Five Minute Rating หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Crew Balance Chart และเสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิผลการทำงานของกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อก ผลศึกษาพบว่าภาพรวมในการทำงานของโครงการมีประสิทธิผล (Effectiveness) เท่ากับ 63.65% ในการเก็บข้อมูลของแรงงานในกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกโดยวิธี Five Minute Rating ของบริเวณผนังเปล่า ผนังหน้าต่าง และบริเวณผนังประตู พบว่าในการทำงานของโครงการมีค่าประสิทธิผลเท่ากับ 58% 61% 57% ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิผลการทำงานของกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกด้วยวิธี Crew balance chart จะได้ค่าประสิทธิผลเท่ากับ 71% 72% 67%ตามลำดับ ดังตารางที่ 5 ซึ่งมีค่าประสิทธิผลเพิ่มขึ้น โดยคิดการทำงานเป็นตารางเมตรต่อชั่วโมงจะพบว่า ช่วงก่อนแก้ไขของบริเวณผนังเปล่า ผนังหน้าต่าง และบริเวณผนังประตู จะทำงานได้ 1.8 ตารางเมตรต่อชั่วโมง 1.92 ตารางเมตรต่อชั่วโมง และ 2.22 ตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ หลังปรับปรุงการทำงานพบว่าค่าการทำงานในหน่วยตารางเมตรต่อชั่วโมงหาได้จากพื้นที่การทำงานต่อเวลาการทำงาน เป็นดังนี้ 2.28 ตารางเมตรต่อชั่วโมง 2.22 ตารางเมตรต่อชั่วโมง และ2.46 ตารางเมตรต่อชั่วโมง ดังตารางที่ 6 จึงพบได้ว่ากิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกหลังปรับปรุงแล้วทำให้งานทำได้มากกว่างานก่อนปรับปรุง

ตารางที่ 5 ค่าประสิทธิผลการทำงานของกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกด้วยวิธี Crew Balance Chart ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

บริเวณที่เก็บข้อมูล	ค่าประสิทธิผลก่อนปรับปรุง (%)	ค่าประสิทธิผลหลังปรับปรุง (%)	ส่วนต่าง %
ผนังเปล่า	58	71	13
ผนังหน้าต่าง	61	72	11
ผนังประตู	57	67	10

ตารางที่ 6 พื้นที่การทำงานก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

บริเวณที่เก็บข้อมูล	พื้นที่การทำงานก่อนปรับปรุง (ตร.ม./ชม.)	พื้นที่การทำงานหลังปรับปรุง (ตร.ม./ชม.)	ส่วนต่าง ตร.ม./ชม.
ผนังเปล่า	1.80	2.28	0.48
ผนังหน้าต่าง	1.92	2.22	0.30
ผนังประตู	2.22	2.46	0.24

ตารางที่ 7 ค่าแรงงานช่างใน 1 ชั่วโมงการทำงาน

บริเวณ	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
	พื้นที่ทำงาน (ตร.ม./ชม.)	คิดเป็นเงิน (บาท/ตร.ม/ชม.)	พื้นที่ทำงาน (ตร.ม./ชม.)	คิดเป็นเงิน (บาท/ตร.ม./ชม.)
ผนังเปล่า	1.8	157	2.28	198
ผนังหน้าต่าง	1.92	167	2.22	193
ผนังประตู	2.22	193	2.46	214

จากตารางที่ 7 เป็นการคิดค่าแรงของคนงานกิจกรรมฉาบผนังคอนกรีตบล็อกใน 1 ชั่วโมง ค่าแรงงานช่างเท่ากับ 87 บาท [5] และคำนวณตามพื้นที่การทำงานจริง ทั้งก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุงออกมาเป็นจำนวนเงิน

6. ข้อเสนอแนะ

1. ต้องมีการวางแผนและชี้แจงรายละเอียดก่อนการทำงาน
2. ควรซื้ออุปกรณ์ในการทำงานให้ครบ เช่น กระบะผสมคอนกรีต เพื่อลดความสูญเสียจากการผสมคอนกรีตกับพื้น
3. ควรทำความสะอาดอุปกรณ์ทุกครั้งหลังการทำงานและจัดเก็บในที่ที่เหมาะสม
4. ควรวางแผนในการเข้าทำงานเพื่อที่จะไม่ได้ทำงานพร้อมกับช่างไฟ เพราะจะทำให้งานล่าช้า
5. คนงานเข้างานไม่ตรงเวลา ทำให้เกิดปัญหาสำหรับการเก็บข้อมูล
6. สภาพอากาศแปรปรวน ฝนตกในช่วงที่ทำการเก็บข้อมูล

7. กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิจัย เรื่อง การศึกษาผลิตภาพแรงงานของงานฉาบผนังคอนกรีตบล็อก สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีนั้น ด้วยความช่วยเหลือและอนุเคราะห์จากอาจารย์ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง และคณะอาจารย์วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยาที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกในด้านสถานที่ในการทำงานตลอดระยะเวลาที่ดำเนินตามจุดประสงค์ที่วิจัยกำหนดไว้

8. เอกสารอ้างอิง

[1] วสุ สุขตลอดชีพ และสันติ ชินานุวัติวงศ์. (2564). การวิเคราะห์ต้นทุนค่าแรงและผลิตภาพแรงงานของงานระบบสุขาภิบาลและดับเพลิงในงานก่อสร้างอาคารสูง: กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างโรงพยาบาลอินทรารัตน์. วารสารวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่32(1), 11-20.

[2] ธนพัฒน์ เอกพงษ์, กวิน ตันติเสวี. (2564). “การศึกษาในงานก่อสร้างของงานพื้นคอนกรีตอัดแรงประเภทอาคารสูง.” ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26, วันที่ 23-25 มิถุนายน 2564, การประชุมรูปแบบออนไลน์, หน้า CEM-23-2

[3] ภัทรพร พรเทพเกษมสันต์, จุฑามาศ มหานุกูล, พรรณพิมล วีระศิลปเลิศ, มินตรา เดียรประโคน, ศุภกร ชุ่มจิตร และธิดาพร เชื้อสวัสดิ์. (2565). “การศึกษาประสิทธิผลการทำงานของกิจกรรมติดตั้งโครงหลังคาเหล็ก.” ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27, วันที่ 24-26 สิงหาคม 2565, ณ จังหวัดเชียงราย, หน้า CEM04-1 – CEM04-2

[4]ประกาศคณะกรรมการราคากลางและขึ้นทะเบียนผู้ประกอบการ เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการกำหนดราคากลางงานก่อสร้าง ฉบับที่ 5. (2565, 1 สิงหาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 139

[5] สุนันท์ มนต์แก้ว, ธวัชชัย นวเลิศปัญญา และวรรณวิทย์ แต้มทอง. (2558). ผลิตภาพแรงงานของงานฉาบปูนผนังภายนอกอาคาร. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่25(2), 203-210.

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองสารสนเทศอาคารที่สร้างโดยข้อมูลจากเครื่องสแกน 3D

Testing the accuracy of building information modeling from Terrestrial laser 3D scan

กนกวรรณ วังตา[1] กาญจนา ทองกล่ำ[2] พิทักษ์พล เพ็ชรทอง[3*] และ ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง[4]

[1,2,3] นิสิตปริญญาตรีสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

[4] อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

**Corresponding author; E-mail address: 63021271@up.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการสร้างแบบจำลองสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารเสมือนจริงจากเครื่องสแกน 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Autodesk Recap pro เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูลที่ได้จากเครื่องสแกน 3 มิติ โดยการเก็บข้อมูลบริเวณภายนอกและภายในอาคารปฏิบัติการอุตสาหการด้วยเครื่องสแกน 3 มิติแล้วนำข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง 3 มิติที่เป็นพอยท์คราวด์ที่ได้จากการประมวณผลด้วยโปรแกรม Autodesk Recap pro และข้อมูลที่เก็บจากเทปวัดระยะจากโครงสร้างจริงด้วยค่าเฉลี่ยที่วัดได้จาก 5 ครั้งต่อ 1 จุด มาเปรียบเทียบกัน ข้อมูลที่ได้มาความใกล้เคียงมาก การเก็บข้อมูลด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ มีข้อจำกัดในการใช้งานเก็บข้อมูลภายในอาคารก็ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในวันที่เก็บข้อมูล ประโยชน์ของเทคโนโลยีเครื่องสแกน 3 มิติ เมื่อนำมาใช้กับงานที่มีขนาดใหญ่มากๆ เช่น ห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่ หอประชุม สามารถช่วยให้ทำงานได้ง่าย ประหยัดต้นทุนในการทำงาน ใช้ระยะเวลาในการทำงานที่รวดเร็ว และยังสามารถเก็บข้อมูลในตำแหน่งที่สูงได้

Abtract

The research has presented about creating the virtual information model from the 3D Scanner device. By Autodesk Recap Pro program to compare the correctness and the accuracy of information from 3D scanner device by collecting data of the outside and inside the industrial operations building by 3D scanner device then take the information from 3D information model in the form of point cloud data that obtained from processing by Autodesk Recap Pro program and the data collected from measuring tape from building site with the average value that measured five times per one position then bring the data to compare each other the information that collected is very similar but the data collecting by 3D scanner. there are some limitations in using to collect the data inside the building depends on the weather of each day

the utility of 3D laser scanner technology when it used to the large scale of project such as the large department store or the auditorium. the 3D scanner can be helped to work easily and saving the costs, takes more quick time to work and it can be collecting the information from the high positions.

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากในอุตสาหกรรมสิ่งปลูกสร้างมีเพิ่มขึ้นจำนวนมาก อาคารต่างๆล้วนมีอายุและสภาพการใช้งานที่ต่างกัน ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับโครงสร้างการออกแบบและวัสดุที่ใช้ก่อสร้างของแต่ละอาคาร[1] เมื่อเวลาผ่านไปสิ่งปลูกสร้างเหล่านี้อาคารต่างๆที่ทรุดโทรมลงควรมีการดูแลเพื่อรักษา ยืดอายุการใช้งานและตอบสนองการใช้สอยให้ได้มากที่สุด ในอดีตอาคารเก่าบางที่ไม่มีแบบอาคาร รวมถึงโมเดลภาพรวม จึงต้องมีการวัดขนาดอาคารเพื่อให้ได้ข้อมูล ในการวัดต้องใช้เครื่องมือต่างๆ เช่น ตลับเมตร กล้องวัดระดับ เทปวัดระยะ เป็นต้น[2] ซึ่งในการวัดแต่ละครั้งอาจทำให้ค่าในการวัดเกิดความคาดเคลื่อนได้ สาเหตุของความคลาดเคลื่อนนี้อาจมาจาก วิธีการวัดจากเครื่องมือและสภาพแวดล้อมในการวัด รวมถึงความเที่ยงตรงในเครื่องมือที่ต้องมีประสิทธิภาพ ในการวัดระยะอาคารขนาดใหญ่อาจทำให้ใช้เวลานาน เกิดการทำงานที่ล่าช้า เกิดความผิดพลาดต่อการตรวจสอบของอาคาร และในการวัดลักษณะนี้ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะเป็นในรูปแบบของ 2 มิติ[3]

(Building Information Modelling : BIM) หรือกระบวนการในการสร้างแบบจำลองของอาคารที่เกิดจากการเชื่อมโยงข้อมูลต่างๆ ภายในโครงการเข้าด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบของ 2 มิติ หรือ 3 มิติ เพื่อเป็นฐานข้อมูลที่จะสามารถนำไปใช้ในการประมวลผลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและการก่อสร้าง[4] ในปัจจุบันเทคโนโลยีสแกน 3 มิติ ได้มีบทบาทในภาคอุตสาหกรรมมากขึ้น สามารถตรวจสอบการวัดที่ได้ผลลัพธ์ที่รวดเร็วและแม่นยำ มีข้อมูลการตรวจสอบ (Report) ที่เพิ่มความน่าเชื่อถือในเวลาที่รวดเร็วกว่ากระบวนการทำงานแบบเดิม เข้าใจการแก้ปัญหาในระบบภายในองค์กร ด้วยข้อมูลที่ได้จาก3D Scanner และ ช่วยให้การทำงานร่วมกันมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น[5]

ดังนั้นงานวิจัยนี้คณะผู้จัดทำจึงได้ทำการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารเสมือนจริงจากเครื่องสแกน 3 มิติ ในการนำข้อมูลมาประมวลผลในโปรแกรม Autodesk Recap pro แล้วนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องมือเทปวัดระยะ ในเรื่องของความถูกต้องและความแม่นยำ จากนั้นรวบรวมข้อมูลมาวาดแบบจำลองตัวอาคารในรูปแบบ 3 มิติ เพื่อการจัดเก็บข้อมูล ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการปรับปรุงอาคาร หรือการต่อเติมอาคารเพื่อตอบสนองการใชสอยให้ได้มากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบความถูกต้องและความแม่นยำของข้อมูลที่ได้จากเครื่องสแกน 3 มิติกับการใช้เทปวัดระยะ

1.2.2 เพื่อพัฒนาการสำรวจอาคารและสร้างแบบจำลองอาคารสารสนเทศ

1.2.3 เพื่อศึกษาข้อจำกัดของเครื่องสแกน 3 มิติ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองสารสนเทศอาคารที่สร้างโดยข้อมูลจากเครื่องสแกน 3D มีขอบเขตเกี่ยวกับงานวิจัยดังนี้

1.3.1 สถานที่

- อาคารคณะอุตสาหการ มหาวิทยาลัยพะเยา ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา

1.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบ

- เครื่องสแกน 3 มิติ Faro focus m70
- เทปวัดระยะ

1.3.4 โปรแกรมที่ใช้ในการตรวจสอบ

- Autodesk Recap Pro เป็นโปรแกรมที่ช่วยในการนำเข้าไฟล์ตรวจดู และสแกนข้อมูลมาแปลงให้เป็น point could เพื่อการออกแบบสร้างแบบจำลอง 3 มิติ
- Autodesk Revit ซอฟต์แวร์ที่ช่วยออกแบบงานด้านอาคารโดยเฉพาะ โดยใช้หลักการสร้างรูปแบบจำลองข้อมูลของอาคาร (Building Information Modeling) แทนการเขียนแบบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถเปรียบเทียบความถูกต้องและความแม่นยำในการสำรวจรูปแบบใหม่และรูปแบบเก่า

1.4.2 มีความรู้และความเข้าใจในการสำรวจโดยใช้เครื่องสแกน3 มิติและการประประยุกต์ข้อมูลที่ได้นำมาสร้างแบบจำลองอาคาร

1.4.3 มีความรู้และความเข้าใจถึงข้อจำกัดในการใช้เครื่องสแกน 3 มิติ

2. ทฤษฎี หลักการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี หลักการ และงานวิจัยหรือโครงงานที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องเชื่อมโยมกันเพื่อนำมาสร้างแนวทางในการทำงานและเป็นแหล่งข้อมูลในการอ้างอิงเนื้อหาของงานวิจัย ซึ่งเนื้อหาที่มีความเกี่ยวข้องและนำมาอ้างอิงในการทำวิจัยหลักๆ คือ การเก็บข้อมูลขององค์อาคารด้วยการใช้เครื่องสแกน 3 มิติ, การติดตามตรวจสอบตัวโครงสร้างองค์อาคารโดยใช้เครื่องสแกน 3 มิติ และ RMSE

สแกนเนอร์ 3 มิติ

สแกนเนอร์ 3 มิติหรืออีกชื่อ เลเซอร์สแกนเนอร์ มีหน้าตาเหมือนกับกล้องสำรวจ จะหมุนได้ 360 องศารอบแกน โดยช่องเปิดด้านบนจะเป็นช่องยิงแสงเลเซอร์ เป็นเครื่องมือที่สามารถเก็บข้อมูลจากการสแกนวัตถุหรือสิ่งของนั้นๆ โดยการเก็บข้อมูลไปแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัล โดยสแกนเนอร์ 3 มิติ ก็เก็บข้อมูลไปเป็นโมเดล 3 มิติในคอมพิวเตอร์ ในลักษณะเป็นจุดพิกัดที่เรียกกันว่า พอยต์คลาวด์ (Point cloud) [6]

หลักการทำงานของเครื่องสแกน 3 มิติ

หลักการทำงานคือกล้องจะยิงแสงเลเซอร์ออกมา เมื่อเลเซอร์กระทบวัตถุแสงเลเซอร์ก็จะสะท้อนกลับเข้าไปยังในตัวกล้อง แล้วกล้องก็จะคำนวณหาระยะห่างของกล้องกับวัตถุจากระยะเวลาเดินทางของแสงเลเซอร์กับความเร็วของเลเซอร์ หลังจากนั้นอุปกรณ์ภายในกล้องก็จะหมุนและยิงแสงเลเซอร์ลำอื่นออกไปเรื่อย ๆ โดยในหนึ่งวินาทีนี้ก็ยิงได้หลายจุด เมื่อยิงครบตามที่เซ็ตไว้ ข้อมูลจะถูกเก็บผ่าน SD card เพื่อนำไปใช้งานต่อ โดยความเร็วของการสแกนเก็บข้อมูลจะขึ้นอยู่กับความละเอียดหรือความหนาแน่นของจำนวน พอยต์คลาวด์ที่เราต้องการ กล่าวคือ การสแกนเก็บข้อมูลเร็ว 3 – 5 นาทีต่อครั้ง ข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ได้ก็จะหนาแน่นระดับปานกลาง ถ้าการสแกนเก็บข้อมูลเร็ว 10 – 30 นาทีต่อครั้ง ข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ได้ก็จะหนาแน่นระดับละเอียดมาก เราสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ได้ เช่น คำนวณหาระยะห่างของวัตถุ นอกจากนี้ก็ยังสามารถวัดขนาดท่อได้อีกด้วย นอกจากนี้ถ้าเวลาสแกนแล้วเจอจุดอับ อย่างเช่นถ้ามีวัตถุหลายชิ้นที่ซ้อนกันอยู่ วัตถุชิ้นที่อยู่ด้านหลังก็จะไม่ถูกเก็บข้อมูลมา ซึ่งจำเป็นต้องย้ายตำแหน่งกล้อง และหาจุดอ้างอิงเพื่อจะรวมพอยต์คลาวด์สองชุดเข้าด้วยกัน[7]

พอยต์คลาวด์ (Point Cloud)

พอยต์คลาวด์ หรือ จุดเมฆ เป็นกลุ่มของจุดข้อมูลในรูปแบบ 3 มิติ ที่ได้จากกล้องเลเซอร์สแกนเนอร์ 3D เก็บค่าเป็นไฟล์ที่เหมือนกลุ่มก้อนเมฆ โดยตำแหน่งของวัตถุพิกัด X,Y,Z ใช้ในการประมวลผล สามารถรวมไฟล์ที่ได้โดยใช้โปรมแกรม Autodesk Recap Pro เพื่อใช้ในการการสร้างแบบจำลอง 3 มิติเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป[8]



รูปที่ 1 ตัวอย่างPoint Cloud ที่ได้จากโปรแกรม Autodesk Recap Pro

แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modelling: BIM)

การสร้างแบบจำลองข้อมูลอาคาร (BIM) เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและการจัดการการแสดงดิจิทัลของลักษณะทางกายภาพและการทำงานของสถานที่ BIM ได้รับการสนับสนุนจากเครื่องมือ เทคโนโลยี จะสร้างแบบจำลองเสมือนของอาคารได้อย่างแม่นยำ แบบจำลองเหล่านี้รองรับการออกแบบในแต่ละขั้นตอน ซึ่งช่วยในการวิเคราะห์และควบคุมโปรเจคได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่ากระบวนการที่ทำด้วยตนเอง เมื่อเสร็จสมบูรณ์ แบบจำลองที่สร้างขึ้นด้วยคอมพิวเตอร์เหล่านี้จะประกอบด้วยรูปทรงเรขาคณิตที่แม่นยำและข้อมูลที่จำเป็นในการรองรับกิจกรรมการก่อสร้าง การแปรรูป และการจัดซื้อจัดหาเพื่อให้การก่อสร้างบรรลุผล[9]

มาตราฐานกระบวนการวัดระยะด้วยเทปวัดระยะ

การวัดระยะด้วยเทปวัดระยะเป็นวิธีการวัดที่ดีที่สุด เพราะเป็นวิธีการวัดที่ใช้อุปกรณ์ง่ายๆ ไม่ซับซ้อน มีความแม่นยำพอสมควร
ขั้นตอนการใช้งานเทปวัดระยะมีดังต่อไปนี้

1. ดึงเทปวัดออกให้เต็มระยะที่ต้องการวัด
2. วางตัวเทปตรงจุดเริ่มต้นที่ต้องการวัดโดยให้ให้เลขศูนย์จะอยู่ที่ตำแหน่งจุดเริ่มต้น แล้วดึงเทปออกไปยังจุดตรงข้ามที่ต้องการวัดระยะ
3. ปรับเทปวัดให้ชิดกับพื้นผิวที่ต้องการหาค่าระยะ จับเทปให้แน่นเพื่อป้องกันไม่ให้เส้นเทปวัดระยะบิดและคลาดเคลื่อน
4. อ่านค่าเทปวัดระยะจากเทปที่อยู่ตรงข้ามตรงตำแหน่งที่ดึงเทปออกและจดบันทึกเพื่อใช้ค่าระยะนี้ในการอ้างอิงและนำไปใช้ในการทำงานขั้นตอนต่อไป
5. หากต้องการที่จะปรับปรุงค่าในการวัดระยะ เช่น เพื่อให้เทปวัดอยู่ในตำแหน่งที่ดีกว่า สามารถปรับด้วยการดึงหรือผ่อนเทปวัดเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุที่จะวัดหาค่า

นอกจากนี้แล้วยังมีอุปกรณ์เสริมอื่นๆที่ใช้ประกอบในการวัดระยะ ซึ่งได้แก่ เข็มคะแนน (Pin) หลักเล็ง (Pole) ลูกดิ่ง ที่จับแถบวัด(Clamp Handles) เครื่องวัดความลาด(Clinometer หรือ Abney) เครื่องวัดแรงดึง (Spring Balance) เทอริโมมิเตอร์แบบกระเป๋า เป็นต้น[10]

การตรวจสอบอุปรณ์และการตรวจแก้ความคลาดเคลื่อนของการวัดระยะด้วยเทป

- **ความยาวเทปไม่ได้มาตราฐาน**

คือ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความยาวไม่มาตราฐานตามตัวเลขที่ระบุความยาวไว้ ดังนั้นค่าแก้จะเป็นตัวคูณแก้ เท่ากับ

$$C_p = \frac{Ls}{L}$$ ตัวคูณนี้เรียกว่า "Proportional conrrection"

เมื่อ L_s = ระยะที่วัดได้ (เมตร)
L = ความยาวจริง

สมการการตรวจแก้คือ $C_s = C_p L_{obs}$

$$L_c = \frac{C_p L_{obs}}{L}$$

เมื่อ L_c = ระยะที่ตรวจแก้ (เมตร)
C_p = ตัวคูณแก้
L_{obs} = ระยะที่วัดได้ (เมตร)

- **อุณหภูมิไม่มาตราฐาน**

เทปวัดระยะจะมีอุณหภูมิมาตราฐานในการใช้งานปกติจะอยู่ที่ 20 องศา หรือขึ้นอยู่กับชนิดของเทป เมื่อนำไปใช้งานที่อุณหภูมิที่สูงกว่าเทปอาจเกิดการยืดตัว แต่ถ้าใช้งานที่อุณหภูมิต่ำเทปอาจเกิดการหดตัวตามอุณหภูมิ ดังนั้น ระยะที่วัดได้จึงสั้นกว่าหรือยาวกว่าที่เป็นจริงและค่าแก้เนื่องจากอุณหภูมิคำนวณได้ดังนี้

$$C_t = k(T_{obs} - T_0)L_{obs}$$

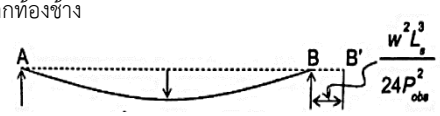
สมการการตรวจแก้คือ

$$L_c = L_{obs} + C_t$$

เมื่อ C_t = ค่าแก้ระยะเนื่องจากอุณหภูมิไม่มาตราฐาน (เมตร)
K = ค่าสัมประสิทธิ์การยืดหดของเนื้อเทป หน่วยต่อ องศา
T_{obs} = อุณหภูมิที่วัดได้ขณะที่ทำการรังวัด
T_0 = อุณหภูมิที่ความยาวมาตรฐานของเทป (องศา)
L_{obs} = ระยะที่วัดได้ (เมตร)
L_c = ระยะที่ตรวจแก้ (เมตร)

- **การตกท้องช้าง (Sag)**

การดึงเทปเหนือระดับพื้นดินในความยาวที่เทปจะเกิดการหย่อนตามน้ำหนักของเทปเอง ทำให้ระยะที่วัดได้ยาวกว่าระยะจริง
ดังนั้นค่าการแก้ตกท้องช้าง



$$C_s = \frac{w^2 L_s^3}{24 P_{obs}^2}$$

$$C_s = \frac{w^2 L_s}{24 P_{obs}^2}$$

สมการหาระยะที่ถูกต้อง

$$C_s = L_{obs} + C_s$$

เมื่อ C_s = ค่าแก้ระยะเนื่องจากการตกท้องช้างของเทป (เมตร)
w = น้ำหนักของเทปเป็นนิวตันต่อความยาวเทป (เมตร)
L_s = ความยาวช่วงเทปที่ไม่ใช่ตัวหมุน (เมตร)
P_{obs} = แรงดึงในขณะทำการวัด (กิโลกรัม)
W = น้ำหนักของเทปตลอดความยาวเทปที่ไม่มีตัวหมุน (กิโลกรัม)
L_c = ระยะที่ตรวจแก้ (เมตร)[11]

Root Mean Square Error

Root Mean Square Error (RMSE) : ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง เป็นวิธีมาตรฐานในการวัดข้อผิดพลาดของแบบจำลองในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ โดยเป็นการวัดค่าความ

คลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริง กับค่าที่ประมาณจากแบบจำลอง ซึ่งหากค่า RMSE มีค่าน้อยหรือเท่ากับ 0 แสดงว่าแบบจำลองนั้นมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าจริง จะคำนวณค่า RMSE ได้จาก[12]

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left(Y_t - \hat{Y}_t\right)^2}$$

กำหนดให้ n คือ จำนวนตัวอย่าง

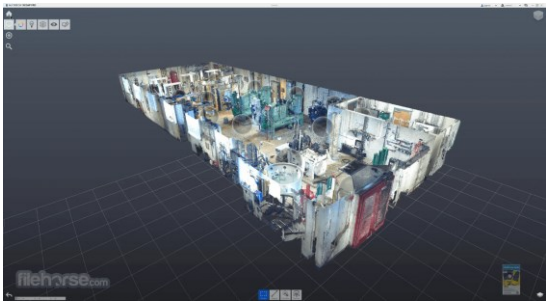
$\hat{Y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์ของข้อมูล ณ เวลา t

Y_t คือ ข้อมูลจริง ณ เวลา t

โปรแกรมที่เกี่ยวข้อง

Autodesk Recap Pro

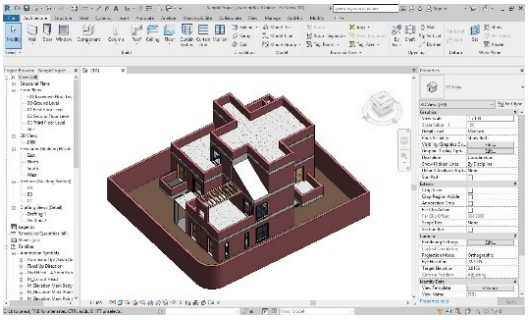
เป็นโปรแกรมที่ต่อยอดจาก LiDAR Scanner หรือ Terrirerial 3D LASER SCANER ช่วยในการนำเข้าไฟล์ ตรวจดู และสแกนข้อมูลมาแปลงให้เป็น point could data เพื่อการออกแบบสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ได้รับการพัฒนาให้สามารถสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ได้อย่างละเอียดในเวลาเพียงไม่กี่นาทีด้วยการสแกนเลเซอร์และรูปภาพจะถูกบันทึกไว้โดยอัตโนมัติ มีการประมวลผลที่ใช้ระยะเวลาน้อย จึงมีเวลามากขึ้นที่จะมุ่งเน้นงานที่สำคัญในส่วนอื่นๆ ได้ เหมาะสำหรับอาคารเก่าที่ไม่มีข้อมูลแบบอาคาร หรือ อาคารที่ต้องการโมเดลภาพรวมแบบเร่งด่วน[13]



รูปที่ 2 ตัวอย่างแบบจำลองอาคารสารสนเทศ 3 มิติที่ได้จากโปรแกรม Autodesk Recap Pro

Autodesk Revit

เรวิท หรือ รีวิท เป็นซอฟต์แวร์ของบริษัทออโตเดสก์ เป็นซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบงานด้านอาคารโดยเฉพาะ ในลักษณะของ CAD โดยใช้หลักการสร้างระบบจำลองสารสนเทศอาคารหรือการสร้างรูปแบบจำลองข้อมูลของอาคาร (Building Information Modeling) แทนการเขียนแบบ ช่วยให้สามารถสร้างและแก้ไขโมเดลของสิ่งก่อสร้าง ซึ่งรวมถึงส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น ผนัง พื้น หลังคา ระบบไฟฟ้า เป็นต้น สามารถจัดการและติดตามข้อมูลได้ง่ายขึ้น และการวางแผนก่อสร้างได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยใช้เครื่องมือตัวแปรผันเปลี่ยนสัมพันธ์ (Parametric Change Engine) โดยสิ่งที่จะได้ติดตามมาคือ แบบก่อสร้าง รายการประกอบแบบต่างๆ ภาพทัศนียภาพ และถอดแบบวัสดุก่อสร้างอย่างคร่าวๆได้ รูปแบบของการใช้งานจะเป็น 3 มิติ สามารถแบ่งออกมาได้เป็นรูปแบบการทำงานของผู้ใช้งาน ดังนี้ Revit Architecture Revit Structure และ Revit MEP[14]



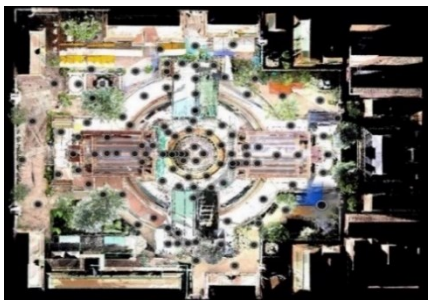
รูปที่ 3 ตัวอย่างแบบจำลองอาคารสารสนเทศ 3 มิติที่ได้จากโปรแกรม Autodesk Revit

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิวนนท์ ต้นเกตุ และคณะ ได้นำเทคโนโลยีการสแกนวัตถุ 3 มิติ มาใช้เก็บข้อมูลวัดราชบพิธสถิตมหาสีมาราม โดยการนำข้อมูลที่ได้มาจากการประมวลผลและพัฒนาเป็นแบบจำลองกลุ่มจุดพิกัด 3 มิติของ วัดราชบพิธสถิตมหาสีมาราม ผ่านโปรแกรม Scene จากนั้นได้แบบจำลอง 3 มิติมาจากนั้นใช้โปรมแกรม Autodesk Recap Pro และ Autodesk Revit นอกจากนี้ยังเก็บวัสดุก่อจากโครงการบรูณะวัดราชบพิธสถิตมหาสีมารามครั้งใหญ่มาศึกษาในห้องปฏิบัติการ จากข้อมูลที่ได้ดำเนินงานสรุปผลการศึกษา ดังนี้ การใช้เทคโนโลยีการสแกนวัตถุ 3 มิติ ในการเก็บข้อมูลสภาพปัจจุบันของโบราณสถานทำให้ได้ข้อมูลกลุ่มจุดพิกัด 3 มิติ เป็นจำนวนมากที่มีค่าแม่นยำและสวยงามง่ายต่อการนำมาประยุกต์ใช้ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสำรวจแนวทางอื่นๆ จะพบว่าการใช้เทคโนโลยีการสแกนวัตถุ 3 มิติสามารถดำเนินการได้เนินการได้รวดเร็ว และแม่นยำกว่าวิธีการสำรวจด้วยวิธีการอื่นอย่างมาก การวิเคราะห์ขนาดมิติมีความถูกต้องแม่นยำ แม้ในจุดที่มีการเข้าถึงยาก จากข้อมูลที่ได้ศึกษาองค์พระเจดีย์และฐานไพทีมีแนวโน้มทรุดเอียงไปในทางเดียวกันคือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้[15]



(ก)



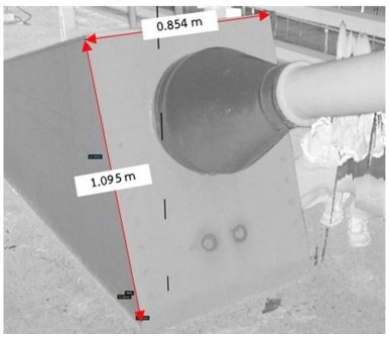
(ข)

รูปที่ 4 การสแกนวัตถุ 3 มิติ มาใช้เก็บข้อมูลวัดราชบพิธสถิตมหาสีมาราม

ชนาธิป บินซาอิส และคณะ งานวิจัดนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสแกนวัตถุ 3 มิติด้วยเลเซอร์สำหรับการติดตามและตรวจสอบสะพานขึง กรณีศึกษาสะพานพระราม 9 งานวิจัยนี้ใช้เครื่องสแกนวัตถุ 3 มิติด้วยเลเซอร์แบบภาคพื้นดินในการเก็บข้อมูลพิกัดสภาพพื้นผิวปัจจุบันของสะพานพระราม 9 แล้วนำข้อมูลมาประมวลผลและสร้างแบบจำลองสภาพปัจจุบันในรูปของข้อมูลกลุ่มจุด 3 มิติของสะพานพระราม 9 จากนั้นนำมาวิเคราะห์เพื่อประเมินขนาดมิติ ค่าระดับ ความชันและแสดงศักยภาพของการใช้เทคโนโลยีการสแกนวัตถุ 3 มิติด้วยเลเซอร์ในการวัดความโค้งหยอนตัวของสายเคเบิลของสะพานพระราม 9 วิธีการประมวลผลของมูลโดยอาศัยการซ้อนทับกันของภาพ เปรียบเทียบขนาดมิติข้อมูลกลุ่มจุด 3 มิติและขนาดมิติจากการวัดภาคสนาม โดยยึดเคเบิลเส้นที่ 32 ซึ่งมีความใกล้เคียงกันมาก การประยุกต์เทคโนโลยีการสแกนวัตถุ 3 มิติด้วยเลเซอร์แบบภาคพื้นดินในการเก็บข้อมูลพิกัดสภาพพื้นผิวปัจจุบันของสะพานพระราม 9 ให้ผลค่ามิติขนาดของสะพานพร้อมทั้งค่าระดับพื้นผิวสะพานได้แม่นยำ[16]



(ก)



(ข)

รูปที่ 5 การสแกนวัตถุ 3 มิติด้วยเลเซอร์สำหรับการติดตามและตรวจสอบสะพานขึง

นางสาวภณศา จันทร์อุดม และคณะ ได้เสนอแนวทางการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) จัดการข้อมูลอาคารและ แบบก่อสร้างจริง เพื่อการดำเนินงานและการบำรุงรักษาอาคารสำนักงาน โดยเป็นการนำเอาแบบจำลองสารสนเทศมาแสดงผลและวิเคราะห์ จัดการทรัพยากรอาคารเพื่อที่จะหาแนวทางการทำงาน การปรับปรุง ต่อเติม และบำรุงรักษาอาคาร โดยจะคำนึงนึงผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในงานก่อสร้างที่จะสามารถนำแบบจำลองอาคารสารสนเทศไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ เจ้าของโครงการ ผู้ให้คำปรึกษางานก่อสร้าง ผู้รับเหมา และคนงาน[17]



รูปที่ 6 การเสนอแนวทางการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM)

3. วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองสารสนเทศอาคารที่สร้างโดยข้อมูลจากเครื่องสแกน 3 มิติ คณะผู้จัดทำได้จัดทำการแบ่งกระบวนการทำไว้ทั้งหมด 5 ขั้นตอน

3.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาเนื้อหาวิจัยและโครงงานที่เกี่ยวข้องในหัวข้อการสร้างแบบจำลองสารสนเทศโดยใช้ข้อมูลจากเครื่องสแกน 3 มิติ ไปจนถึงการหาวิธี และสร้างแนวทางการทำงานที่จะเกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการทำวิจัย และวิธีการลดอุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดหัวข้อ ประเด็น และเนื้อหาสำคัญที่ต้องการนำเสนอ ซึ่งได้รับข้อมูลจากเอกสารงานวิจัยและโครงงานที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมาในอดีต

3.2 สำรวจพื้นที่ที่จะทำงานวิจัย

การทำวิจัยในหัวข้อการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองสารสนเทศอาคารที่สร้างโดยข้อมูลจากเครื่องสแกน 3 มิติ ครั้งนี้ได้เลือกที่จะทำวิจัยบริเวณอาคารปฏิบัติการอุสาหการ ในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยพะเยา ตำบลแม่กา อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา



(ก)



(ข)



(ค)

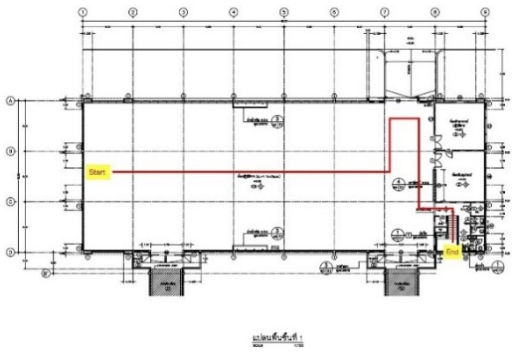
รูปที่ 7 การสำรวจพื้นที่บริเวณอาคารปฏิบัติการอุสาหการ

3.3 วางแผนการดำเนินงาน

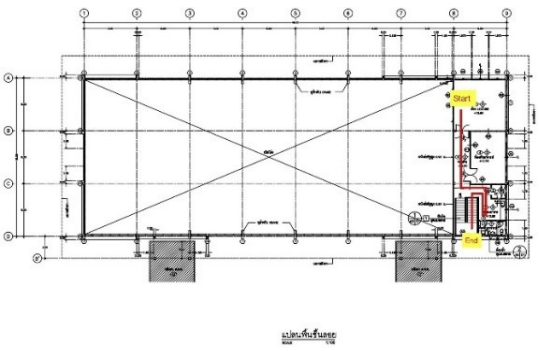
จากการสำรวจพื้นที่จริงและได้วางแผนการดำเนินงานกำหนดจุดตั้งกล้องเพื่อเก็บข้อมูลโดยรอบนอกอาคารและจึงกำหนดจุดตั้งกล้องเก็บข้อมูลด้านในชั้น1 และ ชั้นลอย



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 8 การวางแผนการตั้งกล้องเพื่อเก็บข้อมูล

3.4 ลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลโดยเทปวัดระยะ

การเก็บข้อมูลจากเทปวัดระยะที่หน้างานจริง จะเริ่มจากการวัดในแต่ละจุด โดยการวัดนั้นจะวางตัวเทปตรงจุดเริ่มต้น แล้วดึงเทปไปจุดตรงข้ามที่ต้องการวัด ปรับเทปให้ตึง แล้วทำการติดเทปกาวเพื่อทำสัญญาลักษณ์บอกตำแหน่งทั้งจุดเริ่มต้นและจุดตรงข้ามจากนั้นอ่านค่าพร้อมจดบันทึก ทำการวัดระยะจะวัด 5 ครั้งต่อ 1 จุด แล้วนำค่าทั้ง 5 ค่ามาหาค่าเฉลี่ย เพื่อจะนำค่ามาเปรียบเทียบ



(ก)



(ข)

รูปที่ 9 การเก็บข้อมูลโดยเทปวัดระยะ

3.5 ลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลโดยเครื่อง 3D scanner

ขั้นตอนแรกของการใช้เครื่องสแกน 3 มิติ ต้องสร้างไฟล์จัดเก็บข้อมูล ตั้งค่าความละเอียดโดยใช้เป็นความละเอียด 1 ต่อ 3 และก่อนเริ่มทำการสแกนในแต่ละจุดต้องตั้งลูกน้ำแล้วกดเริ่มสแกน เมื่อเครื่องทำการสแกนอาคารในแต่ละจุดเสร็จจะต้องตรวจเช็คความครบท่วนของข้อมูลทุกจุด ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ในรูปแบบของไฟล์ดิจิทัล รูปภาพ และอื่นๆ เพื่อนำมาประมวณผลให้เป็นแบบจำลองอาคารสารสนเทศในโปรแกรม Autodesk Recap pro ในรูปแบบพอยต์คลาวด์และทำการวัดระยะของอาคารในด้านหรือมุมต่างๆ



(ก)



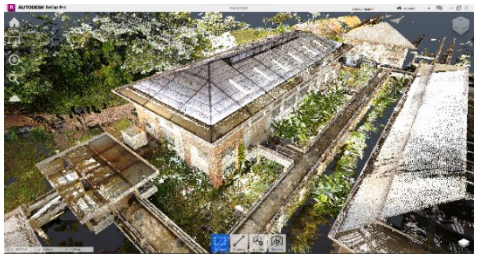
(ข)



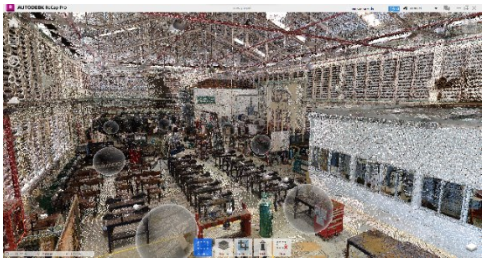
(ค)

รูปที่ 10 การเก็บข้อมูลโดยเครื่องสแกน 3 มิติ

3.6 นำไฟล์ที่ได้จากเครื่องสแกน 3 มิติมาสร้าง Point Cloud ในโปรแกรม Autodesk Recap Pro



(ก)



(ข)

รูปที่ 11 สร้าง Point Cloud ในโปรแกรม Autodesk Recap Pro

3.7 เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากเครื่อง 3D scanner กับข้อมูลที่ได้จากเทปวัดระยะ

การเปรียบเทียบข้อมูล จะนำข้อมูลที่ประมวลผลแล้วที่ได้จากโปรแกรม Autodesk Recap Pro มาวัดระยะโดยใช้เครื่องมือ Distance วัดจุดเดียวกับการใช้เทปวัดระยะที่ได้ทำสัญญาลักษณ์บอกตำแหน่งไว้ โดยจะวัดจุดละ 5 ครั้ง เช่นเดียวกับการใช้เทปวัดระยะแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และนำข้อมูลค่าที่ได้จากการวัดด้วยเทปวัดระยะที่หาค่าฉลี่ยแล้ว เพื่อเปรียบเทียบข้อมูล ความใกล้เคียง และความแม่นยำของแบบจำลอง

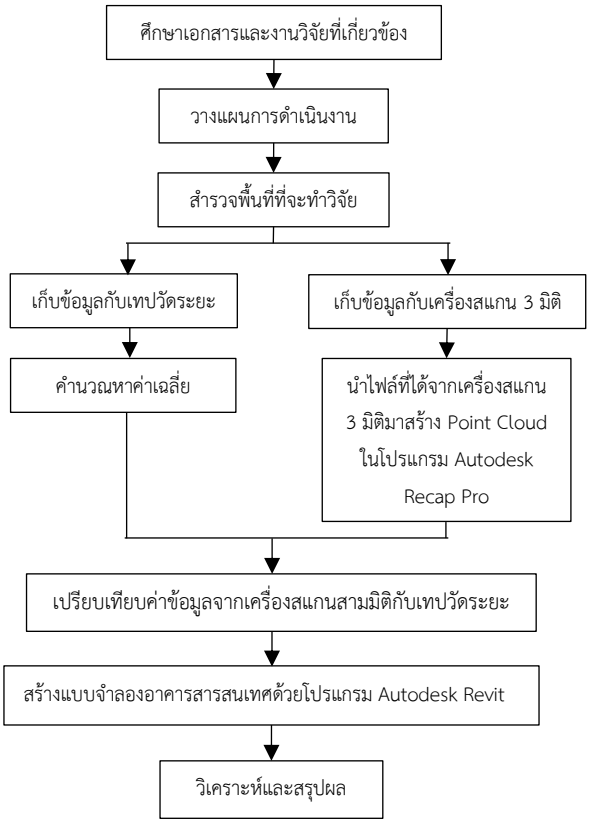


(ก)



(ข)

รูปที่ 12 วัดระยะโดยใช้เครื่องมือ Distance โดยวัดจุดละ5ครั้ง



รูปที่ 13 แผนผังการทำงาน

4. ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาการเก็บข้อมูลโดยเครื่องสแกนสามมิติกับเทปวัดระยะได้ดังนี้

4.1 ผลจากการเก็บข้อมูลโดยเครื่องสแกนสามมิติและเทปวัดระยะอาคารปฏิบัติการคณะอุสาหการ ที่งานโครงสร้างคาน จำนวน 8 จุด โดยวัดจุดละ 5 ครั้ง

ตำแหน่งคาน	ค่าเฉลี่ย (โปรแกรม)	ค่าเฉลี่ย (เทป)	$\hat{Y}$	$(Y-\hat{Y})^2$	RMSE
C3-C4	5.555	5.573	5.570	0.000	0.0011
C4-C5	5.587	5.582	5.600	0.000	
C5-C6	5.526	5.550	5.543	0.000	
C6-C7	5.546	5.546	5.561	0.000	
D3-D4	5.638	5.695	5.647	0.002	
D4-D5	5.723	5.718	5.726	0.000	
D5-D6	5.714	5.712	5.718	0.000	
D6-D7	5.652	5.648	5.660	0.000	
			sum	0.003	

4.2 ผลจากการเก็บข้อมูลโดยเครื่องสแกนสามมิติและเทปวัดระยะจากอาคารปฏิบัติการคณะอุสาหการ ที่งานโครงสร้างเสา จำนวน 16 จุด โดยวัดจุดละ 5 ครั้ง

ตำแหน่งเสา	ค่าเฉลี่ย (โปรแกรม)	ค่าเฉลี่ย (เทป)	$\hat{Y}$	$(Y-\hat{Y})^2$	RMSE
C2 B	43.108	44.100	43.067	1.067	20.647
C2 R	45.283	46.160	44.939	1.491	
C6 B	44.001	43.620	43.836	0.047	
C6 R	43.781	44.260	43.647	0.376	
C7 B	44.317	44.840	44.108	0.536	
C7 R	44.555	45.680	44.313	1.868	
C8 B	44.234	44.160	44.037	0.015	
C8 R	43.368	44.780	43.291	2.217	
D3 B	55.158	55.180	53.438	3.036	
D3 R	29.834	30.120	31.644	2.322	
D6 B	56.114	46.520	54.260	59.909	
D6 R	29.435	30.020	31.300	1.639	
D7 B	54.370	54.740	52.760	3.921	
D7 R	29.289	30.400	31.175	0.601	
D8.5 B	44.129	44.240	43.946	0.086	
D8.5 R	45.639	46.160	45.246	0.836	
			sum	79.967	

4.3 ผลจากการเก็บข้อมูลโดยเครื่องสแกนสามมิติและเทปวัดระยะจากอาคารปฏิบัติการคณะอุสาหการ ที่งานสถาปัตย์ จำนวน 17 จุด โดยวัดจุดละ 5 ครั้ง

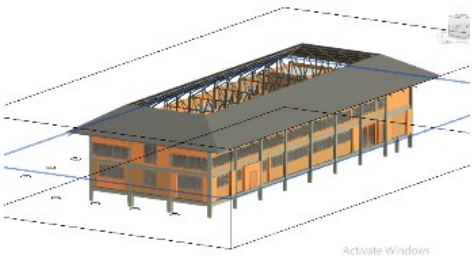
ตำแหน่ง	ค่าเฉลี่ย (โปรแกรม)	ค่าเฉลี่ย (เทป)	$\hat{Y}$	$(Y-\hat{Y})^2$	RMSE
หน้าต่าง กริด9-8 รูปด้านC	3.749	3.746	3.748	0.000	0.0002
ประตู S2 กริด 8-7 รูปด้าน C	0.899	0.900	0.897	0.000	
ประตู S6 กริด 2-3 รูปด้าน A	4.250	4.257	4.249	0.000	
ประตู กริด 3-2 รูปด้าน A	4.249	4.257	4.248	0.000	
ประตู กริด 2-1 รูปด้าน C	3.753	3.741	3.752	0.000	
ฐานตู้ไฟ ด้าน กว้าง	2.998	2.997	2.997	0.000	
ฐานตู้ไฟ ด้านยาว	2.409	2.411	2.408	0.000	
ห้องเสริม ด้านกว้าง กริด B7	7.018	7.019	7.017	0.000	
ห้องเสริม ด้านยาว กริด B7	13.501	13.500	13.501	0.000	
ประตูห้องเสริม กริด B7	2.500	2.499	2.499	0.000	
ลูกตั้งบันได	0.153	0.152	0.151	0.000	
ลูกนอนบันได	0.272	0.272	0.270	0.000	

ความกว้างบันได	1.245	1.244	1.243	0.000
ความกว้างชานพัก	2.598	2.577	2.597	0.000
หน้าต่างยาวห้องพักอาจารย์ชั้น 2	3.498	3.500	3.496	0.000
ประตูห้องพักอาจารย์ชั้น 2	1.701	1.701	1.699	0.000
เสา กริด C8 ชั้น 2	0.301	0.300	0.299	0.000
			sum	0.001

จากการรวบรวมข้อมูลที่ได้นำมาสร้างแบบจำลองตัวอาคารในรูปแบบ 3 มิติ โดยโปรแกรม Autodesk Revit เพื่อการจัดเก็บข้อมูล ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการปรับปรุงอาคาร หรือการตอเติมอาคารเพื่อตอบสนองการใชสอยให้ได้มากที่สุด



(ก)

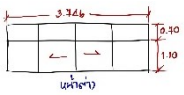


(ข)

รูปที่ 14 แบบจำลองอาคารปฏิบัติการอุตสาหการ โดยโปรแกรม Autodesk Revit

5. สรุปผลการดำเนินงาน

ผลการดำเนินงานข้อมูลที่ได้จากการวัดระยะด้วยโปรแกรม Autodesk Recap Pro กับ ค่าที่ได้จากการวัดระยะด้วยเทปวัดระยะ โดยวัดจำนวน 5 ครั้ง ต่อ 1 จุด
ดังนั้นจึงสรุปได้ดังตาราง

รายการ	เครื่องมือ	
	เครื่องสแกน 3 มิติ	เทปวัดระยะ
ลักษณะข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ	2 มิติ  3 มิติ 	2 มิติ 
ความถูกต้องและความแม่นยำ	ใกล้เคียงกับค่าจริง	ใกล้เคียงกับค่าจริง
ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	1 สัปดาห์	3-4 สัปดาห์
จำนวนคนที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	1-2 คน	3 คน
ความสามารถในการวัดระยะ	- สามารถวัดระยะในที่สูงได้ เช่น โครงหลังคา - สามารถวัดความยาวที่สูงมากๆของอาคารได้	สามารถวัดระยะในที่แคบได้

รูปที่ 15 ตารางสรุปการเปรียบเทียบการเก็บข้อมูลระหว่างเครื่องสแกน 3 มิติ กับ เทปวัดระยะ

กิตติกรรมประกาศ

วิจัยเรื่อง “การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองสารสนเทศอาคารที่สร้างโดยข้อมูลจากเครื่องสแกน 3D” ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของอาจารยฤทธิ์ทยุต กอนทอง ที่ปรึกษาวิจัย ซึ่งให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ พร้อมทั้งติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินงานตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆจนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุลวงได้ดี คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ จากใจจริง

คณะที่ผู้วิจัยศึกษาอยู่ในระดับบัณฑิตศึกษา ได้รับทุนการศึกษาสนับบสนุนการทำวิจัยจึงขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันเทคโนโลยีและสารสนเทศเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน (สทย.) โดย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2565) ความยั่งยืนของอุตสาหกรรมก่อสร้าง

[2] ศูนย์วิจัยกสิกรไทย (2562) อุตสาหกรรมก่อสร้างไทย กับเทรนด์เทคโนโลยีที่ใช้ในงานก่อสร้าง

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2555) บทที่2 ความคลาดเคลื่อนละความเที่ยงตรงในการวัด In คู่มือการวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (pp.2.9-2-10)

[4] มหาวิทยาลัยนเรศวร (2563) การขึ้นโมเดลสามมิติด้วยเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศอาคาร | 3D Modeling using BIM Technology

[5] บริษัท factorymax (2566) เครื่องสแกน 3 มิติ (3D Scanner)

[6] Ebrahim, M.,2011, 3D Laser Scanner: History, Applications and Future, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Assiut University, pp.4-29

[7] FARO Technologies, Inc. (2015). FARO Laser Scanner focus m70. FARO Technologies, Inc, Lake Mary, FL, USA.

[8] นางสาวพัชรกันย์ ภู่อนุสาสน์ (2558) ระบบสารสนเทศออนไลน์สำหรับการนำเสนอพ้อยท์คลาวด์สามมิติของ สถาปัตยกรรมในย่านเก่า: กรณีศึกษากลุ่มอาคารเก่า แยกแม้นศรี เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย

[9] Nippon Paint Decorative, Building Information Modeling (BIM) คืออะไร
จาก https://www.nipponpaintdecor.com

[10] บจก.พี นัมเบอร์วัน อินสตรูเม้นท์ ISO9001 (2566) การวัดระยะทางด้วยเทปวัดระยะ(Tape Measure)

[11] วิชัย เยี่ยงวีรชน จัดพิมพ์โดย สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พิมพ์ครั้งที่ 4 (2553) การสำรวจรังวัด : ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้, หน้า33-54

[12] ชุติมณฑน์ ภักดีสิโรตม์ (2564) การพยากรณ์ความต้องการสินค้าด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องในธุระกิจค้าปลีก

[13] บริษัท ซินเนอร์จี้ซอฟต์ โซลูชั่น จำกัด (2562) Autodesk ReCap Pro

[14] Thanat Sirikitphattana (2566) โปรแกรม Revit

[15] ศิวนนท์ ต้นเกตุ และคณะ (2563) ได้นำเทคโนโลยีการสแกนวัตถุ 3 มิติ มาใช้เก็บข้อมูลวัดราชบพิธสถิตมหาสีมาราม , การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่25 , 15-17 กรกฎาคม 2565, ชลบุรี , ไทย

[16] ชนาธิป บินซาอิส และคณะ (2564) งานวิจันนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสแกนวัตถุ 3 มิติด้วยเลเซอร์สำหรับการติดตามและตรวจสอบสะพานขึง กรณีศึกษาสะพานพระราม 9 , การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่26 , 23-25 มิถุนายน 2564 , การประชุมออนไลน์

[17] นางสาวภณศา จันทร์อุดม และคณะ (2559) ได้เสนอแนวทางการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) จัดการข้อมูลอาคารและแบบก่อสร้างจริง , วิทยานิพนธ์ สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิยาลัยธรรมศาสตร์ , หน้า 5-36

การทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร

Creating Teaching media for building information modeling technology

นายกฤษฎา ไชยโย[1] นายพลกฤต ปันรัตน์[1] นางสาวสุธาทิพย์ ทะริน[1]

[1] นิสิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

*Corresponding author; E-mail address: 63102259@up.ac.th

บทคัดย่อ

การก่อสร้างในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนาและเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วแบบก้าวกระโดด ซึ่งได้นำเทคโนโลยีใหม่ๆ เข้ามามีบทบาทเกี่ยวกับการก่อสร้าง ตลอดจนถึงการตรวจสอบโครงสร้าง การออกแบบอาคาร และการประมาณราคาค่าใช้จ่าย โดยได้นำเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร (Building Information Modeling,BIM) มาประยุคใช้เพื่อช่วยลดความขัดแย้งและข้อผิดพลาดในการก่อสร้างดังนั้นผู้วิจัยได้มองเห็นปัญหาในการก่อสร้างจึงได้คิดทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร เพื่อเป็นคู่มือแนวทางการใช้งานต่อวิศวกรและผู้ออกแบบ โดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Autodesk Robot Structural Analysis 2022 เป็นสื่อการสอนให้วิศวกรและผู้ออกแบบจากกลุ่มประชากรตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้คัดเลือกมาประเมินสื่อการสอนนี้จำนวน 52 คน เพื่อมาวิเคราะห์ประเมินโครงงานวิจัยและดูคะแนนความเข้าใจในการทำสื่อการสอนจากกลุ่มตัวอย่างผู้จัดได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลเพื่อมาวิเคราะห์ผลการดำเนินงานในโครงงานวิจัยครั้งนี้

คำสำคัญ: สื่อการสอน, เทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร

Abstract

At present day that the construction in Thailand has developed and the exponential growth. Which has brought the new technology apply to construction, structural inspections, building design and cost estimation by using building information modeling technology (Building Information Modeling, BIM). Which apply to decrease argument and errors in the construction. Therefore, the researcher finds the problems in the construction. The researcher decides to make the instructional media about the building information modeling technology, an instruction media is a guideline to engineers and designers by using the package software name Autodesk Robot Structural Analysis 2022 that is a instructional media for engineers and designers. There are 52 people of sample population are selected to evaluate an instructional media for an evaluate the research project and analyze the understanding scores from an instructional media. The Researcher has collected data to analyze the results of this research project.

Keywords: instructional media, building information modeling technology

1. บทนำ

ปัจจุบันงานก่อสร้างในประเทศไทยได้มีการพัฒนาและเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดโครงการใหม่ขึ้นเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้การนำเทคโนโลยีใหม่ๆมาใช้กับการก่อสร้างตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบระหว่างการก่อสร้างตลอดจนการตรวจสอบโครงสร้างและการประมาณราคาค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโดยจะใช้ระบบคอมพิวเตอร์มาช่วยในการควบคุม กระบวนการต่างๆ โดยสร้างแบบจำลองสารสนเทศเสมือนของอาคารที่มีความแม่นยำ เช่น การออกแบบ การเขียนแบบ การคำนวณโครงสร้าง การจัดซื้อ การประมาณราคา รวมไปถึงการวางแผนงาน ต่าง ๆ ของอาคาร การวิเคราะห์โครงสร้างมีความสำคัญอย่างยิ่ง

การนำเทคโนโลยีสารสนเทศแบบจำลองอาคาร (Building Information Modeling, BIM) มาปรับใช้ในการออกแบบก่อสร้างรวมไปถึงการคำนวณและการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อช่วยลดความขัดแย้งและข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการออกแบบก่อสร้างอันเนื่องมาจากการคำนวณและวิเคราะห์โครงสร้างที่ไม่ถูกต้องเนื่องจากในอดีตที่ผ่านมาความผิดพลาดในการก่อสร้างก่อให้เกิดความเสียหายหลายประการอาทิ การเกิดอุบัติเหตุระหว่างการก่อสร้างอันเนื่องมาจากความผิดพลาดจากการคำนวณและวิเคราะห์โครงสร้างส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตระหว่างการก่อสร้างผู้ออกแบบจึงควรมีความรอบคอบและตระหนักถึงความถูกต้องในการออกแบบโครงสร้างมากยิ่งขึ้นทั้งนี้ผู้ออกแบบสามารถลดความผิดพลาดในการออกแบบได้โดยเทคโนโลยีสารสนเทศแบบจำลองอาคาร

ดังนั้นงานวิจัยเรื่องการทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารจึงได้จัดทำสื่อการสอนเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์และเสริมการพัฒนาการใช้งานซอฟต์แวร์สำเร็จรูปAutodesk robot structural analysis ต่อวิศวกรหรือผู้ออกแบบโครงสร้าง นำไปใช้ต่อสาขาวิชาชีพต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นคู่มือการใช้งาน ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Autodesk Robot Structural Analysis ต่อวิศวกรและผู้ออกแบบ
2. เพื่อวิศวกรและผู้ออกแบบทำความเข้าใจการใช้งานซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Autodesk Robot Structural Analysis มากยิ่งขึ้น

ขอบเขตงานวิจัย

ซอฟต์แวร์

- ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Autodesk Robot Structural Analysis 2022
- ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Autodesk Revit 2022
- ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Cap Cut
- ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป OBS Studio

แพลตฟอร์ม

- แพลตฟอร์มออนไลน์ Google Classroom
- แพลตฟอร์มออนไลน์ Google From
- แพลตฟอร์มออนไลน์ E - Book

ประชากร

- ผู้ตรวจสอบจำนวน 5 ท่าน
- วิศวกร และผู้ออกแบบจำนวน 52 ท่าน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารเทคโนโลยีแบบจำลองอาคารผู้ศึกษาได้ศึกษาและรวบรวมแนวคิดและทฤษฎีต่างๆจากเอกสารและแหล่งความรู้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 เทคโนโลยีสารสนเทศแบบจำลองอาคาร BIM

BIM (Building Information Modeling) คือเทคโนโลยีใหม่ที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับวงการงานสถาปัตยกรรม และการก่อสร้าง ที่เริ่มตั้งแต่การออกแบบอาคารไปจนถึงการก่อสร้าง BIM จะเป็นการใช้ระบบคอมพิวเตอร์มาควบคุมกระบวนการต่างๆ ระบบจะสร้างแบบจำลองเสมือนของอาคารที่แม่นยำ แบบจำลองแบบดิจิทัล อย่างการออกแบบ การเขียนแบบ การคำนวณโครงสร้าง การประมาณราคา การจัดซื้อ รวมไปถึงการวางแผนงานต่างๆ ของอาคาร BIM จะสร้างแบบจำลองเสมือนของอาคารได้อย่างแม่นยำ แบบจำลองเหล่านี้รองรับการออกแบบในแต่ละขั้นตอน ซึ่งช่วยในการวิเคราะห์และควบคุมโปรเจคได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่ากระบวนการที่ทำด้วยตนเอง เมื่อเสร็จสมบูรณ์ แบบจำลองที่สร้างขึ้นด้วยคอมพิวเตอร์เหล่านี้จะประกอบด้วยรูปทรงเรขาคณิตที่แม่นยำและข้อมูลที่จำเป็นในการรองรับกิจกรรมการก่อสร้าง การแปรรูป และการจัดซื้อจัดหา เพื่อให้การก่อสร้างบรรลุผลครอบคลุมสิ่งต่างๆมากมายโดยเริ่มต้นจากเทคโนโลยีที่จะรวบรวมกระบวนการก่อสร้างทั้งหมดไว้ด้วยกัน เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับวงการก่อสร้างที่สามารถครอบคลุม เริ่มตั้งแต่การออกแบบอาคารไปจนถึงการก่อสร้างช่วยให้การทำงานถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

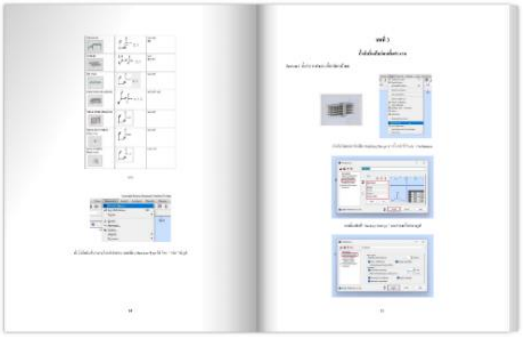


รูปที่ 1 ตัวอย่างเทคโนโลยีสารสนเทศแบบจำลองอาคาร BIM

2.2 สื่อการสอน

สื่อการสอน คือ วิธีการสื่อการถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจให้แก่ผู้เรียนรู้ หรือตัวกลางระหว่างผู้สอนและผู้เรียนรู้ เพื่อช่วยให้บรรลุจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ต้องการที่ผู้สอนตั้งใจ รวมทั้งใช้เพื่อส่งเสริมกระบวนการการสอน โดยครอบคลุมถึงสื่อหลากหลายประเภทไม่ว่าจะเป็น เอกสารความรู้ สื่อประเภทต่าง ๆ อีกมากมาย โดยแบ่งเป็น 3 สื่อการสอนคือ

- สื่อพิมพ์ เช่น หนังสือ เอกสาร รายงาน ที่ใช้ตัวหนังสือ
- สื่อเทคโนโลยี เช่น วิดีโอ สื่อออนไลน์ อินเทอร์เน็ต
- สื่ออื่น ๆ เช่น บุคคลที่มีความรู้ ประสบการณ์ในเรื่องที่ศึกษา และวัสดุ อุปกรณ์ แผนภูมิ ตาราง สถิติ หุ่นจำลอง



รูปที่ 2 ตัวอย่างสื่อการสอน

2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณควบคู่กับการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ แพลตฟอร์มออนไลน์ Google From เพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาการดำเนินงานของ การทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลอง

สารสนเทศของอาคาร โดยมีการนำ BIM (Building Information Modeling) มาใช้ในการดำเนินงานและการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของ การทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร ดังนี้

1.ศึกษาวิเคราะห์เอกสารแนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศเกี่ยวกับการทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร

2.ศึกษาข้อมูลเชิงประจักษ์ของการดำเนินงานBIM (Building Information Modeling) มาใช้ในการดำเนินงานของการทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารโดยให้มีความทันสมัย ช่วยลดขั้นตอนและระยะเวลาทำงานให้น้อยลงและสามารถวิเคราะห์งานออกแบบในด้านต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ

3. แบบสอบถาม เพื่อให้การตอบแบบสอบถาม ผู้ทำแบบสอบถามมีความเข้าใจกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้ โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 5 ข้อ

ส่วนที่ 2 ความพึงพอใจต่อการทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารมี 5 ด้าน จำนวน 19 ข้อ

ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะการทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอนก ประดิษฐพงษ์ (2545) ได้พัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เรื่อง ชีวิตและวิวัฒนาการสำหรับ นักเรียนชั้นมธัยมศึกษาตอนปลาย ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปไฮเปอร์เทกซ์มาร์คอัพ แลงเควช (Hyper Text Mark Up Language : HTML) แอคทีฟ เซอร์ เวอร์เพจ(Active Server Pages : ASP) และภาษาจาวา (Java Script) โดยใช้กลุ่มตัวอย่าง นักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนศรีพฤฒา จำนวน 42 คน พบว่าการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เรื่อง ชีวิตและวิวัฒนาการ มีประสิทธิภาพ 82.92/82.33 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

ดร.กิ่งกาญจน์ บูรณสินวัฒนกูล (2562) การพัฒนาสื่อการเรียนรู้บอร์ดเกมการศึกษาเพื่อส่งเสริมความสามารถการเรียนรู้ในรายวิชาพัฒนาการแบบเรียนภาษาไทยและความสุขในการเรียนรู้สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี ผลการวิจัยพบว่า 1) ผลการหาประสิทธิภาพของสื่อการเรียนรู้บอร์ดเกมการศึกษาเพื่อส่งเสริมความสามารถการเรียนรู้ในรายวิชาพัฒนาการแบบเรียนภาษาไทยและความสุขในการเรียนรู้สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรีที่นำไปทดลองนี้มีประสิทธิภาพเท่ากับ 84.81/83.83 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 2) คะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านการเรียนรู้ในรายวิชาพัฒนาการแบบเรียนภาษาไทยของนิสิตระดับปริญญาตรี หลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 3) นิสิตมีค่าเฉลี่ยความสุขในการเรียนรู้ที่มีต่อรายวิชาพัฒนาการแบบเรียนภาษาไทยโดยใช้สื่อการเรียนรู้บอร์ดเกมการศึกษาในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด 4) ผลการวิเคราะห์เนื้อหาจากแบบบันทึกสะท้อนผลการเรียนรู้ของกลุ่มตัวอย่างแสดงให้เห็นว่า สื่อการเรียนรู้บอร์ดเกมการศึกษาที่พัฒนาขึ้นช่วยเสริมสร้างความสามารถการเรียนรู้ และความสุขในการเรียนรายวิชาพัฒนาการแบบเรียนภาษาไทยให้กับนิสิตได้

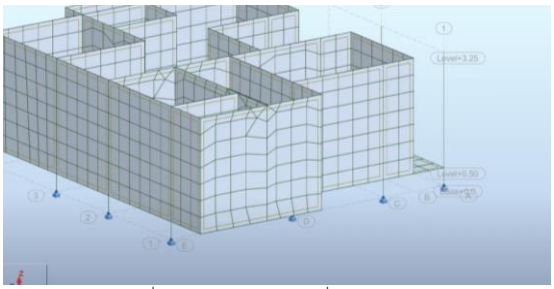
ซีเกรนและวัดวูด (Seagren & Watwood, 2000) พบว่าเมื่อเทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลงจำเป็นอย่างยิ่งที่การศึกษาจะต้องก้าวให้ทันความเปลี่ยนแปลงนั้นกระบวนการเรียนการสอนจะต้องมีความเกี่ยวข้องกับ เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์วิทยาลัยจะเป็นเครือข่ายของแหล่งข้อมูลมากกว่าเป็นสถานที่ประกอบกับจะต้องมีระบบเครือข่ายการเรียนรู้เพื่อพัฒนาคุณภาพด้านการศึกษาดังจะเห็นได้ที่ มหาวิทยาลัยเนบราสกา -ลินคอล์น (The University of Nebraska - Lincoln) ส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนในระดับปริญญาเอกได้มีการออกแบบและจัดการเรียนการสอน โดยการใช้เครือข่ายคอมพิวเตอร์และโปรแกรมการเรียนที่มีการถามตอบปัญหาและการอภิปรายของนักศึกษา และการมีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกันขณะที่ครูจะให้คำแนะนำนักเรียนนักศึกษาแลกเปลี่ยนแผยแพร่ความรู้ให้แก่กัน

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

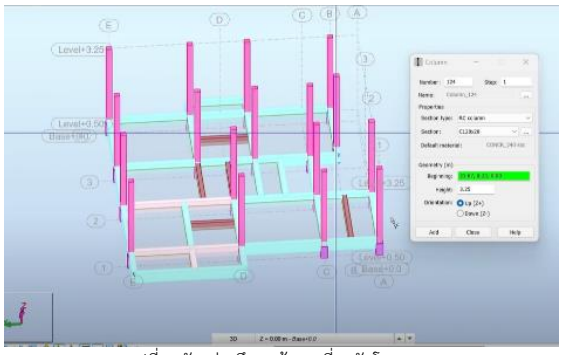
การศึกษาโครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นคู่มือการใช้งาน Autodesk robot structural analysis ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์สำเร็จรูป ต่อวิศกรและผู้ออกแบบ ทั้งนี้ยังประสงค์เพื่อให้วิศวกรหรือผู้ออกแบบเข้าใจถึงการใช้งานงานตัว Autodesk robot structural analysis ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์สำเร็จรูป มากยิ่งขึ้น โดยการศึกษาโครงงานในครั้งนี้มีวิธีดำเนินงกานศึกษาดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับโครงงานวิจัย

เป็นการศึกษาเรียนรู้ในเรื่องนั้นๆให้มากขึ้น มีการวางแผนในการศึกษาอย่างละเอียด ปฏิบัติงานตามแผนที่วางไว้ จนได้ข้อสรุปหรือผลสรุปที่เป็นคำตอบในเรื่องนั้นๆ ทั้งนี้ผู้จัดทำก็ได้ทำการวางแผนและศึกษาในตัวซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Autodesk robot structural analysis Version 2020 ที่จะใช้ในการทำสื่อการสอน ทั้งนี้เพื่อให้ผู้จัดทำได้ทำสื่อการสอนออกมาอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3 ตัวอย่างศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับโครงงาน



รูปที่ 4 ตัวอย่างศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับโครงงาน

3.2 กำหนดเป้าหมายโครงงานวิจัย

เป็นการคาดการณ์ล่วงหน้ากับสิ่งที่จะเกิดขึ้นหลังจากที่สิ้นสุดโครงการและผลที่คาดว่าจะได้จากการดำเนินโครงการนี้ ทั้งนี้ผู้จัดทำมีเป้าหมายในการจัดทำขึ้นเพื่อประสงค์ให้สื่อการสอนซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Autodesk robot structural analysis 2022 นี้ได้เป็นคู่มือการใช้งานต่อวิศกรผู้และออกแบบที่สนใจจะศึกษาให้ได้เข้าใจในการใช้งานของ Autodesk robot structural analysis 2022 ที่เป็นซอฟต์แวร์สำเร็จรูปมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ยังเพื่อทดสอบความรู้ความเข้าใจของผู้จัดทำที่มีต่อตัวซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Autodesk robot structural analysis

3.3 กำหนดขอบเขตการทำโครงงานวิจัย

เป็นขั้นตอนที่ทำให้ทราบว่าโครงงานนี้ต้องการศึกษาความรู้หรือเทคนิคในการดำเนินโครงงานเป็นไปตามสื่อการสอนที่ผู้จัดทำได้กำหนดขอบเขตของโครงงานนี้เพื่อต้องการสร้างสื่อการสอนทางเทคโนโลยีสารสนเทศแบบจำลองอาคาร (Building Information Modeling, BIM)สำหรับวิศวกรและผู้ออกแบบที่สนใจได้ศึกษาเพื่อที่จะนำไปใช้และต่อยอดให้เกิดประโยชน์สูงสุด ผู้จัดจึงทำได้กำหนดขอบเขตของซอฟต์แวร์และแพลตฟอร์มที่ใช้ ดังต่อไปนี้

ซอฟต์แวร์

- ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Autodesk Robot Structural Analysis 2022
- ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Autodesk Revit 2022
- ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Cap Cut
- ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป OBS Studio

แพลตฟอร์ม

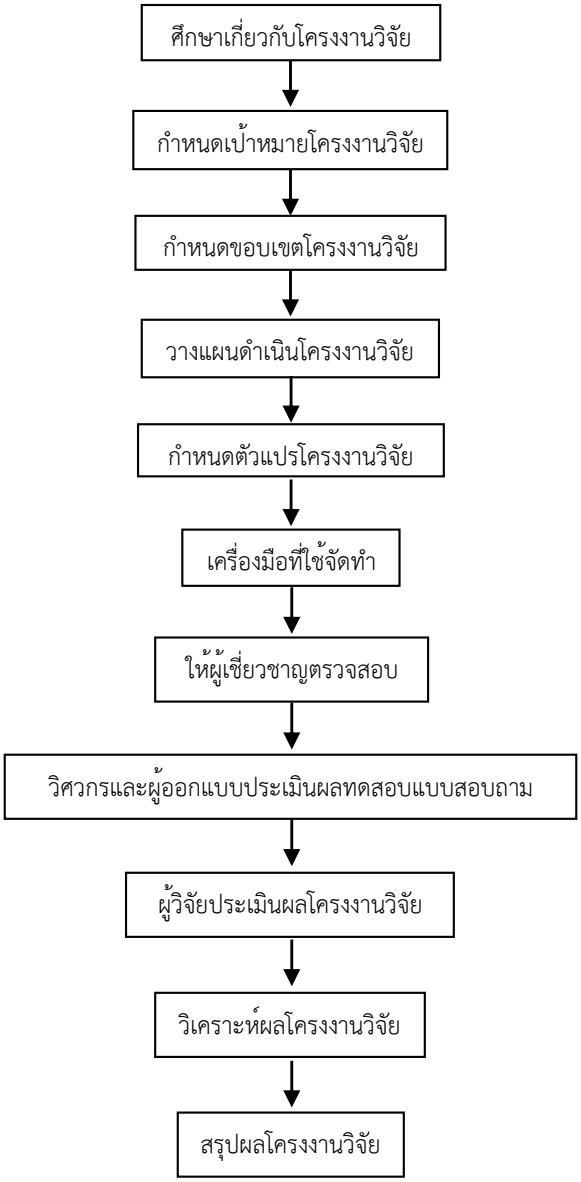
- แพลตฟอร์มออนไลน์ Google Classroom
- แพลตฟอร์มออนไลน์ Google From
- แพลตฟอร์มออนไลน์ E – Book

ประชากรกลุ่มตัวอย่าง

- ผู้ตรวจสอบจำนวน 5 ท่าน
- วิศวกร และผู้ออกแบบจำนวน 52 คน

3.4 วางแผนดำเนินโครงงานวิจัย

โดยกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่างประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ วิศวกร และผู้ออกแบบจำนวน 52 คน ได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) จากผู้วิจัยเป็นกลุ่มที่เรียนด้วยสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น



3.5 กำหนดตัวแปรโครงงานวิจัย

ตัวแปรต้น ได้แก่

- การสอนโดยใช้สื่อการสอนที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

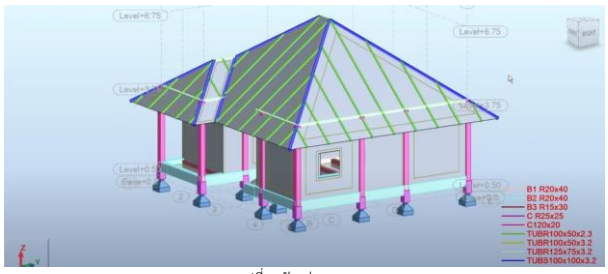
ตัวแปรตาม ได้แก่

- ความเข้าใจของวิศวกร และผู้ออกแบบที่มีต่อประสิทธิภาพของสื่อสอนที่ผู้วิจัยพัฒนา

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม
- การสอนโดยใช้สื่อการสอนที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น	- ความเข้าใจของวิศวกรและผู้ออกแบบที่มีต่อประสิทธิภาพของสื่อสอนที่ผู้วิจัยพัฒนา

3.6 เครื่องมือที่ใช้จัดทำ

3.6.1 การทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร Creating Teaching media for building information modeling technology



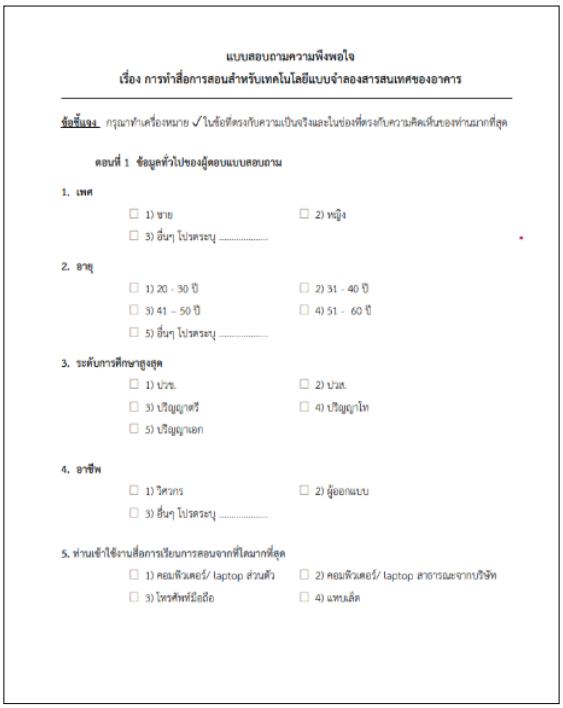
รูปที่ 5 ตัวอย่าง
เทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร

3.6.2 แผนการสอนเรื่องการทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารเพื่อการเรียนรู้ สำหรับวิศวกร และผู้ออกแบบ



รูปที่ 6 แผนการสอน
Autodesk Robot Structural Analysis

3.6.3 แบบสำรวจความพึงพอใจของวิศวกรและผู้ออกแบบที่เรียนด้วยสื่อการสอน เรื่อง การทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร



แบบสอบถามความพึงพอใจ
เรื่อง การทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร

ข้อชี้แจง กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ในช่องที่ตรงกับความเป็นจริงและในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ
☐ 1) ชาย ☐ 2) หญิง
☐ 3) อื่นๆ โปรดระบุ .....

2. อายุ
☐ 1) 20 - 30 ปี ☐ 2) 31 - 40 ปี
☐ 3) 41 - 50 ปี ☐ 4) 51 - 60 ปี
☐ 5) อื่นๆ โปรดระบุ .....

3. ระดับการศึกษาสูงสุด
☐ 1) ปวช. ☐ 2) ปวส.
☐ 3) ปริญญาตรี ☐ 4) ปริญญาโท
☐ 5) ปริญญาเอก

4. อาชีพ
☐ 1) วิศวกร ☐ 2) ผู้ออกแบบ
☐ 3) อื่นๆ โปรดระบุ .....

5. ท่านเข้าใช้งานสื่อการเรียนการสอนจากที่ใดมากที่สุด
☐ 1) คอมพิวเตอร์/ laptop ส่วนตัว ☐ 2) คอมพิวเตอร์/ laptop สาธารณะจากบริษัท
☐ 3) โทรศัพท์มือถือ ☐ 4) แทบเล็ต

รูปที่ 7 ตัวอย่างแผนการสอน

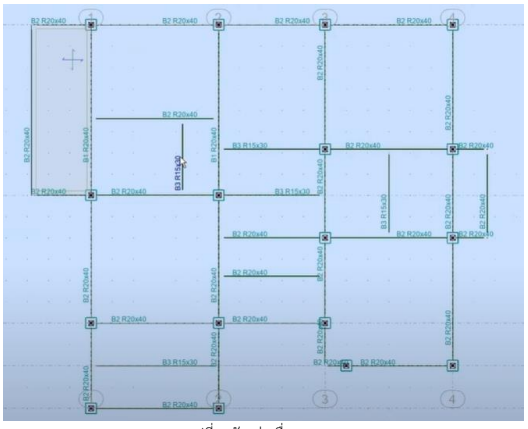
3.7 ให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ

หลังจากการทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารเสร็จ ผู้วิจัยได้นำสื่อการสอนให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ โดยมีผู้ตรวจสอบทั้งหมดจำนวน 5 ท่านซึ่งทั้ง 5 ท่านนี้เป็นผู้ที่มีความรู้ ความเชี่ยวชาญ และมีประสบการณ์การใช้งานซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Autodesk Robot Structural Analysis มากกว่า 5 ปีจึงเหมาะสมแก่การเป็นผู้ตรวจสอบสื่อการสอน ทางผู้วิจัยจึงได้ขอให้ทั้ง 5 ท่านนี้มาเป็นผู้ตรวจสอบสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร ว่าเหมาะสมที่จะเป็นสื่อการสอนให้แก่วิศวกรและผู้ออกแบบจำนวน 52 ท่านหรือไม่

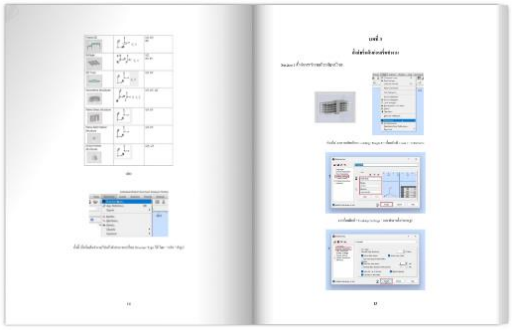
เมื่อผู้ตรวจสอบทั้ง 5 ท่านตรวจสอบเสร็จพบว่าสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารที่ผู้วิจัยได้จัดทำนี้ผู้ตรวจสอบทั้ง 5 ท่านได้ลงความเห็นว่า สามารถเป็นสื่อการสอนให้กลุ่มประชากรตัวอย่างทั้ง 52 ท่านคือวิศวกรและผู้ออกแบบได้เรียนรู้เป็นแนวทางการศึกษาต่อยอดในสาขาวิชาชีพของตนเองและประเมินแบบสอบถามความพึงพอใจ เพื่อให้ผู้วิจัยได้ประเมินโครงงานนี้ต่อไป

3.8 วิศวกรและผู้ออกแบบประเมินผลทดสอบแบบสอบถาม

การประเมินแบบทดสอบจะให้กลุ่มตัวอย่างทำการประเมินหลังจากดูสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารโดยแพลตฟอร์มออนไลน์ Google Classroom หรือแพลตฟอร์มออนไลน์ E – Book เสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจึงจะให้ทำการประเมินแบบสำรวจความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่เรียนด้วยสื่อการ ที่ผู้วิจัยได้ทำการเลือกมาแบบเจาะจงจำนวน 52 คนเพื่อมาวิเคราะห์ประเมินโครงงานวิจัย เรื่อง การทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร และดูตามจำนวนคะแนนที่ได้จากความเข้าใจในสื่อการสอนจากกลุ่มตัวอย่าง คือวิศวกรและผู้ออกแบบ



รูปที่ 8 ตัวอย่างสื่อการสอน
แพลตฟอร์มออนไลน์ Google Classroom



รูปที่ 9 ตัวอย่างสื่อการสอน
แพลตฟอร์มออนไลน์ E – Book

3.9 ผู้วิจัยประเมินผลโครงงานวิจัย

ผู้จัดทำได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านแนวคิด ทฤษฎี ที่เกี่ยวกับการทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร และใช้แบบสำรวจความพึงพอใจของกลุ่มประชากรตัวอย่างจำนวน 52 ท่านที่ได้เรียนในการประเมินผลโครงงานผู้ประเมินได้ใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลและนำมาวิเคราะห์ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ซึ่งทำการรวบรวมข้อมูลโดยการใช้แพลตฟอร์มออนไลน์ Google From เพื่อนำมาวิเคราะห์



รูปที่ 10 ตัวอย่างการประเมิน

3.10 การวิเคราะห์ผลโครงงานวิจัย

3.10.1 ด้านการสอบถามอาจารย์ผู้สอน ผู้จัดทำได้ใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อหา

3.10.2 ด้านการรวบรวมข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวกับการทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร ผู้จัดทำได้ใช้วิธีการวิเคราะห์จากแบบความพึงพอใจ

3.10.3 ด้านคุณภาพการทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารโดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจที่มีลักษณะเป็นมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ ดังนี้

- ระดับ 5 หมายถึง ดีเยี่ยม
- ระดับ 4 หมายถึง ดีมาก
- ระดับ 3 หมายถึง ดี
- ระดับ 2 หมายถึง พอใช้
- ระดับ 1 หมายถึง ต้องปรับปรุง

3.10.4 ด้านข้อเสนอแนะจากกลุ่มตัวอย่าง ผู้จัดทำได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อเสนอแนะ

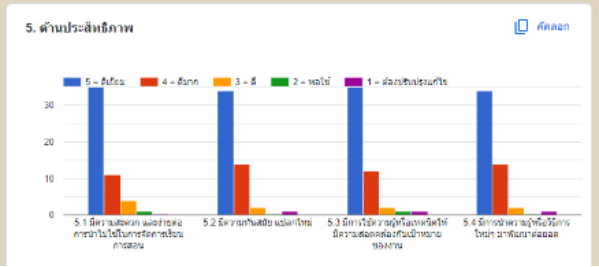


รูปที่ 11 ตัวอย่างการวิเคราะห์

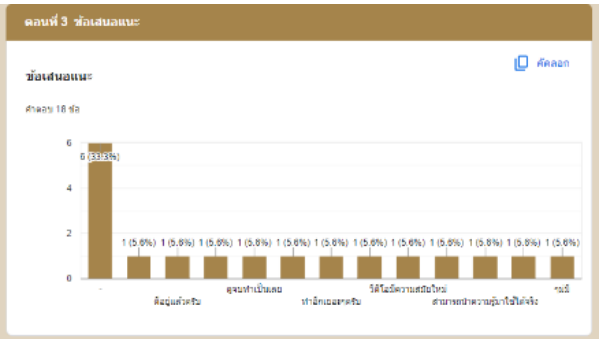
3.11 สรุปผลโครงงานวิจัย

ผลการสรุปผู้จัดได้นำข้อเสนอแนะที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างนำมารวบรวมข้อมูลและคำแนะนำเพื่อนำมาปรับปรุงสื่อการสอนนี้และคะแนนที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง ผู้จัดทำได้ทำการประเมินของกลุ่มตัวอย่าง โดยได้ใช้เกณฑ์ในการแปลความหมายค่าระดับคะแนนของกลุ่มประชากรตัวอย่างจากแบบประเมินความพึงพอใจ โดยผู้จัดทำใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยและมีเกณฑ์การพิจารณาระดับคะแนนที่ได้จาก 52 คนไว้ ดังนี้

- คะแนนเฉลี่ย 4.20 - 5.00 หมายถึง การทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารมีความเหมาะสมและสอดคล้องกันดีมาก
- คะแนนเฉลี่ย 3.40 - 4.19 หมายถึง การทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารมีความเหมาะสมและสอดคล้องกันดี
- คะแนนเฉลี่ย 2.60 - 3.39 หมายถึง การทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารมีความเหมาะสมและสอดคล้องกันพอใช้
- คะแนนเฉลี่ย 1.80 - 2.59 หมายถึง การทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารมีความเหมาะสมและสอดคล้องกันน้อย
- คะแนนเฉลี่ย 1.00 - 1.79 หมายถึง การทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารมีความเหมาะสมและสอดคล้องกันน้อยมากจำเป็นต้องปรับปรุงสื่อการสอน



รูปที่ 12 ตัวอย่างการสรุป

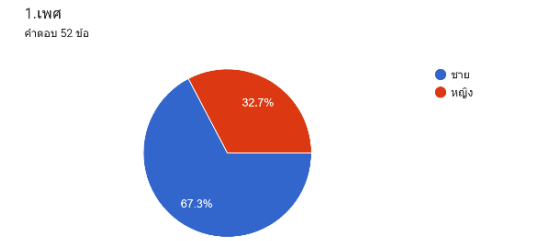


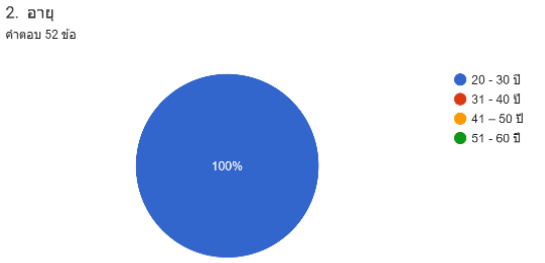
รูปที่ 13 ตัวอย่างการสรุป

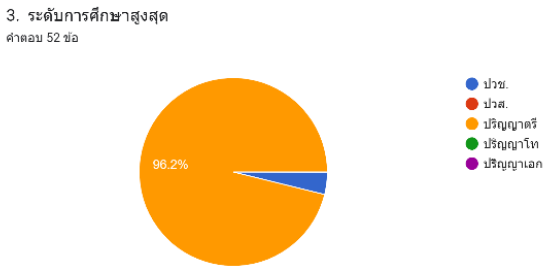
4. ผลการนำเนินงาน

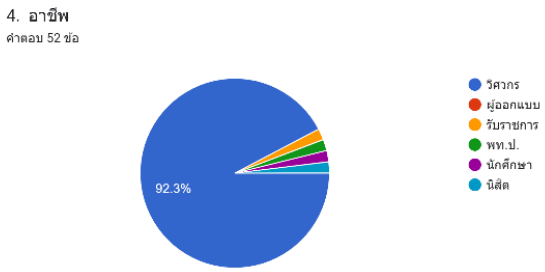
ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลผลการดำเนินงานของแบบสอบถามความพึงพอใจ เรื่อง การทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร Autodesk robot structural analysis 2022 จากกลุ่มประชากรตัวอย่าง 52 คนในแพลตฟอร์มออนไลน์ Google From ว่ากลุ่มประชากรตัวอย่างมีความเข้าใจต่อสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารครั้งนี้อย่างไร และมีข้อเสนอแนะอย่างไรต่อสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร ไว้ดังนี้

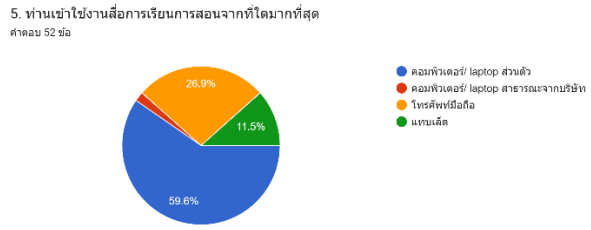
ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 5 ข้อ



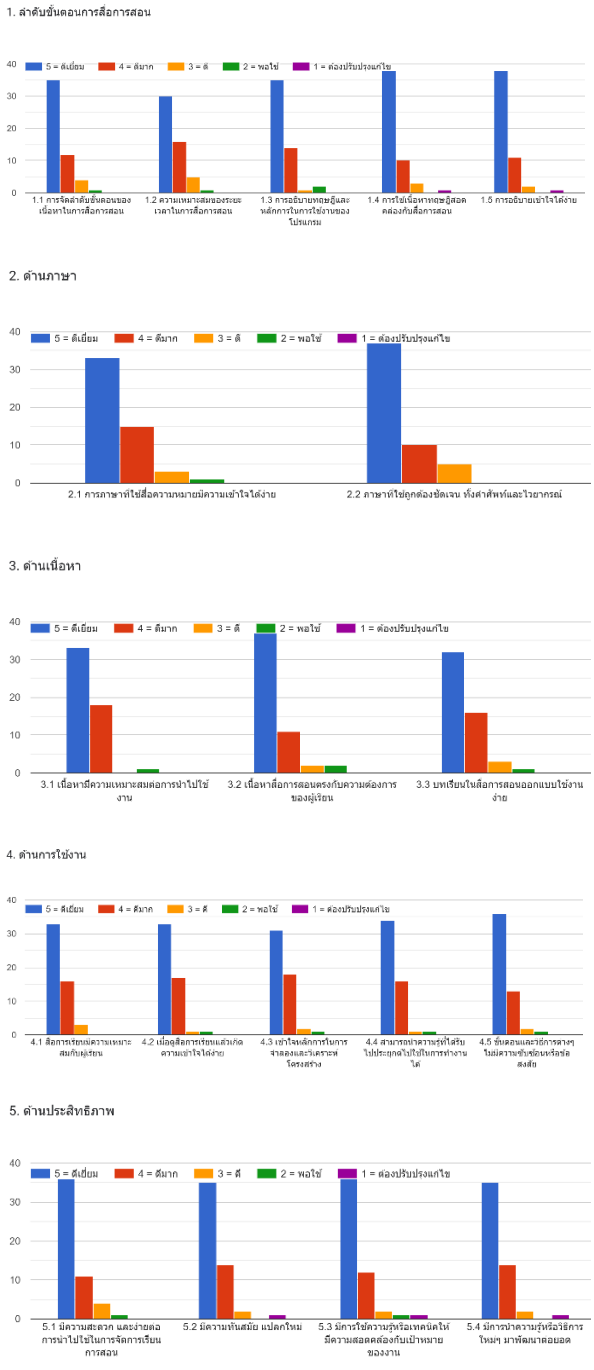








ส่วนที่ 2 ความพึงพอใจต่อการทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารมี 5 ด้านจำนวน 19 ข้อ



ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะการทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร จะเป็นไปในทางที่พึงพอใจ

5.สรุปผลการดำเนินงาน

สรุปผลการดำเนินงาน การทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร Autodesk robot structural analysis 2022 จากกลุ่มประชากรตัวอย่าง 52 คน ผู้วิจัยได้ทำการสรุป ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามผู้วิจัยได้พบว่าส่วนใหญ่เป็นผู้ชายร้อยละ 67.3 อายุจะอยู่ในช่วง 20-30 ปี ระดับการศึกษาปริษาตรีร้อยละ 96.2 โดยเป็นวิศวกรร้อยละ 92.3 และใช้คอมพิวเตอร์/Laptopส่วนตัวร้อยละ 59.6 เป็นส่วนใหญ่ในการเรียนสื่อการสอน

ส่วนที่ 2 ความพึงพอใจต่อการทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารผู้วิจัยได้ทำการสรุปไว้ในตารางทั้ง 5 ด้านดังนี้

ประเด็น/ด้าน	ระดับความพึงพอใจ (คน)					ความพึงพอใจคิดเป็น%
	5	4	3	2	1	
1. ลำดับขั้นตอนในการสื่อการสอน						
1.1 การจัดลำดับขั้นตอนของเนื้อหาในการสื่อการสอน	35	12	4	1	0	4.56
1.2 ความเหมาะสมของระยะเวลาในการสื่อการสอน	30	16	5	1	0	4.44
1.3 การอธิบายทฤษฎีและหลักการในการใช้งานของโปรแกรม	35	14	1	2	0	4.58
1.4 การใช้เนื้อหาทฤษฎีสอดคล่องกับสื่อการสอน	38	10	3	0	1	4.62
1.5 การอธิบายเข้าใจได้ง่าย	38	11	2	0	1	4.63
2. ด้านภาษา						
2.1 การภาษาที่ใช้สื่อความหมายมีความเข้าใจได้ง่าย	33	15	3	1	0	4.54
2.2 ภาษาที่ใช้ถูกต้องชัดเจน ทั้งคำศัพท์และไวยากรณ์	37	10	5	0	0	4.62
3. ด้านเนื้อหา						
3.1 เนื้อหามีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน	33	18	0	1	0	4.60
3.2 เนื้อหาสื่อการสอนตรงกับความต้องการของผู้เรียน	37	11	2	2	0	4.60
3.3 บทเรียนในสื่อการสอนออกแบบใช้งานง่าย	32	16	3	1	0	4.52
4. ด้านการใช้งาน						
4.1 สื่อการเรียนมีความเหมาะสมกับผู้เรียน	33	16	3	0	0	4.58
4.2 เมื่อดูสื่อการเรียนแล้วเกิดความเข้าใจได้ง่าย	33	17	1	1	0	4.58
4.3 เข้าใจหลักการในการคำนวณและวิเคราะห์ โครงสร้าง	31	18	2	1	0	4.52
4.4 สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ไปใช้ในการทำงานได้	34	16	1	1	0	4.60
4.5 ขั้นตอนและวิธีการต่างๆไม่มีความซับซ้อนหรือข้องสัย	36	13	2	1	0	4.62
5. ด้านประสิทธิภาพ						
5.1 มีความสะดวก และง่ายต่อการนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน	36	11	4	1	0	4.58
5.2 มีความทันสมัย แปลกใหม่	35	14	2	0	1	4.58
5.3 มีการใช้ความรู้หรือเทคนิคให้มีความสอดคล้องกับเป้าหมายของงาน	36	12	2	1	1	4.56
5.4 มีการนำความรู้หรือวิธีการใหม่ๆ มาพัฒนาต่อยอด	35	14	2	0	1	4.58
				ผลรวม		4.57

คะแนนเฉลี่ยจากแบบประเมินความพึงพอใจได้ 4.57% หมายถึง การทำสื่อการสอน สำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารมีความเหมาะสมและสอดคล้องกันดีมาก

ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะการทำสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารได้รวบรวมไว้และมีข้อเสนอแนะ คือ วีดีโอมีความสมัยใหม่สามารถนำความรู้มาใช้ได้จริง,นำไปใช้กับการออกแบบก่อสร้างได้ง่ายและเข้าใจง่าย,สามารถดูย้อนหลังได้เผื่อต่อยอดอนาคต เป็นต้น ซึ่งจากที่วิเคราะห์ผู้วิจัยได้เห็นว่าข้อเสนอแนะที่ได้จากแบบประเมิน มีทิศทางไปในทางเดียวกันคือไปในทางที่ดี สนับสนุนสื่อการสอนนี้ และเข้าใจในสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารเป็นส่วนมาก

ผู้วิจัยได้ผลสรุปทั้ง 3 ส่วนไว้ในสื่อการสอนสำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร Autodesk robot structural analysis 2022 โดยมีกลุ่มประชากรตัวอย่างจำนวน 52 คน คือวิศวกรและผู้ออกแบบที่ผู้วิจัยได้คัดเลือกมาแบบเจาะจงเพื่อวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย สื่อการสอนนี้มีผลสัมฤทธิ์ที่ดีมาก เนื้อหาและสื่อมีความสอดคล้องกัน ดีเยี่ยม ดูได้จากค่าเฉลี่ยที่ได้ 4.57% ที่อยู่ในเกณฑ์การพิจารณาระดับคะแนนที่ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์คะแนนเฉลี่ย 4.20 - 5.00 หมายถึง การทำสื่อการสอน สำหรับเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคารมีความเหมาะสมและสอดคล้องกันดีมาก และดูได้จากข้อเสนอแนะที่ได้จากประชากรกลุ่มตัวอย่างที่มีข้อเสนอไปในทางที่ดี สนับสนุน และเข้าใจในสื่อการสอน

กติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ขอขอบคุณ นายฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง ที่ท่านได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษา ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งในงานวิจัย ตลอดจนถึงได้ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆอันเป็นประโยชน์ในการจัดงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.อภิชาต บัวกล้า ดร.อนุจิตร ภูมิพันธ์ อาจารย์ฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง อาจารย์สังสรรค์ วงศ์ไชยรัตนและอาจารย์อนุพงศ์ คำปลอด ที่มาเป็นผู้ตรวจสอบสื่อการสอน

ขอขอบคุณ วิศวกรและผู้ออกแบบจำนวน 52 คนที่สละเวลาอันมีค่าทำการประเมินแบบสอบถามความพึงพอใจและให้ข้อเสนอแนะงานวิจัยครั้งนี้ให้ลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่มอบเงินสนับสนุนแก่โครงงานวิจัยฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ชูเกียรติ โพธิ์มั่น. (2540). “จะเลือกสื่อการเรียนการสอนอย่างไร.” วารสารทางวิชาการครุสารเทพสตรี 1,1: 72 – 81.

[2] ทรงพล ยมนาค. (2553). “Building Information Modeling สำหรับบงานออกแบบ ก่อสร้าง”. บทความวิชาการในโครงการประชุมวิชาการระดับบัณฑิตศึกษาคณะสถาปัตยกรรม-ศาสตร์, (มีนาคม): หน้า 14-26

[3] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรม ราชูปถัมภ์. (2554). มาตรฐานการคิดปริมาณงานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.

[4] Yu Chih Su. (2011). Enhancing Maintenance Management Using Building Information Modeling In Facilities management. 752-757

[5] Jahromi, M.H., et al. (2012). “Solving an one dimensional cutting stock problem by simulated annealing and tabu search”. Journal of Industrial Engineering International. 8(24), 1-8.

[6] Paul Teicholz. (2013). ใน Paul Teicholz, BIM for Facility Managers. IFMA Foundation.

[7] Karen Kensek. (2015). BIM Guidelines Inform Facilities Management Databases: ACase Study over Time. www.mdpi.com/journal/buildings/.

[8] _____. (2557). เอกสารคำสอนเรื่องรายวิชา 468 301 การเลือกและการใช้สื่อการเรียนการสอน. นครปฐม: ภาควิชาเทคโนโลยีการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[9] ภากร ภัทราพรพิสิฐ. (2557). เครื่องมือประเมินการใช้งานแบบจาลองข้อมูลอาคาร (BIM) สาหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศไทย.(วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

[10] ศยามน อินสะอาด. (2557). เกมและสถานการณ์จำลองเพื่อการศึกษา. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

[11] ชัยยงค์ พรหมวงค์. (2558). ระบบสื่อการสอน. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[12] กนกวรรณ เรืองปิ่น. (2558). บูรณาการแนวคิดการจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) กับกระบวนการออกแบบอาคาร.

[13] รัศรินทร์ โคตรปาลี. (2559). แนวทางพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคารก่อสร้างจริง

[14] นนทวัตร กมลวัชรชัย. (2559). รูปแบบการนำ BIM ไปปฏิบัติในองค์กรด้านสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และการก่อสร้าง.

[15] Xiao Feng Lin. (2016). A system for monitoring cost and payment with 5D BIM

[16] ธัญธร ค้ำไพโรจน์. (2560). เครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศ ที่ช่วยในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น กรณีศึกษา อาคารพักอาศัย

[17] อภิเกียรติ เจริญสุทธิโยธิน. (2560). แนวทางการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) เพื่อคำนวณค่าการถ่ายเท ความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้น.

[18] ธนิต อภิวรกุลพัฒน์. (2560). แบบจำลองเพื่อประเมินสมรรถนะ สำหรับองค์กรซึ่งใช้การสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร.

[19] ธีรพล จิรธรรมคุณ. (2561). การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศและกลุ่มจุดสามมิติในการวางแผนวิธีก่อสร้าง : กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางยกระดับ.

[20] พิมพ์ชนก ธิบดี. (2564). การประยุกต์ใช้ BIM เพื่อนำเสนอเทคนิคการถอดปริมาณงาน.

การใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อออกแบบและวิเคราะห์ระบบป้องกันอัคคีภัย กรณีศึกษาโรงงานเฟอร์นิเจอร์ในจังหวัดพิษณุโลก

Application of Building Information Modeling in Designing and Analyzing of Fire Protection System. A Case Study of Furniture Factory in Phitsanulok Province

บารมี เขตปิยรัตน์[1,*] จักราวุธ เหล็กแก้ว[2] ธีระพันธ์ นาสวน[3] และ ศิวกร ใหม่ธิมา[4]

[1,2,3,4] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

**Corresponding author; E-mail address: 63102158@up.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารมาออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัย สำหรับติดตั้งในอาคารกรณีศึกษาโรงงานเฟอร์นิเจอร์ในจังหวัดพิษณุโลก โดยใช้เครื่องสแกน 3 มิติ เก็บข้อมูลแล้วนำไปสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารแล้วจึงนำมาออกแบบระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และหมอกน้ำดับเพลิงในโปรแกรม Autodesk Revit อีกทั้งยังนำเอาความรู้จากการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้งานร่วมกับระบบความปลอดภัยในงานก่อสร้าง ผลการออกแบบระบบดับเพลิงทั้ง 2 ชนิดให้เป็นไปตามมาตรฐาน NFPA พบว่าผลจากการออกแบบระบบแรกเป็นแบบความดันสูงและวิธีฉีดท่วมต้องติดตั้งหัวฉีดก๊าซจำนวน 28 หัว และถังก๊าซจำนวน 40 ถัง ในระบบถัดมาเป็นแบบหมอกน้ำต้องติดตั้งหัวฉีดหมอกน้ำจำนวน 64 หัว เลือกใช้หัวฉีดหมอกน้ำดับเพลิงชนิด HI-FOG® รหัส 4S 1 MC 8MB 1000 ซึ่งสาเหตุที่เลือกใช้ถังก๊าซจำนวน 40 ถัง และจำนวนหัวฉีดก๊าซ 28 หัว เพราะว่าเพื่อให้ก๊าซปริมาณ 85% ของปริมาณก๊าซทั้งหมดฉีดเข้าพื้นที่ภายในระยะเวลา 2 นาที และสาเหตุที่เลือกใช้ HI-FOG® รหัส 4S 1 MC 8MB 1000 เพราะเป็นชนิดที่เหมาสมต่อระดับความสูงของเพดานในโรงงาน 3.8 เมตร

คำสำคัญ: ระบบป้องกันอัคคีภัย, แบบจำลองสารสนเทศอาคาร, คาร์บอนไดออกไซด์, หมอกน้ำดับเพลิง

ABSTRACT

This research examines the application of building information modeling to design and analyze fire protection systems for installation in buildings, focusing on a case study of a furniture factory in Phitsanulok province. Three-dimensional scanning equipment was employed to collect data, which was then utilized to create a building information model. Subsequently, the model was used to design carbon dioxide gas suppression systems and water mist fire suppression systems in Autodesk Revit software. Furthermore, the knowledge gained from utilizing building information modeling is also applied in conjunction with safety systems in construction work.The results of designing both types of fire suppression systems to comply with NFPA standards revealed that the first system, which is a high-pressure system utilizing the flooding method, requires the installation of 28 gas nozzles and 40 gas cylinders. In the subsequent system, a water mist system, it is necessary to install 64 water mist nozzles. The choice of using HI-FOG® fire suppression nozzles with code 4S 1 MC 8MB 1000 was made. The reason for selecting 40 gas cylinders and 28 gas nozzles was to ensure that 85% of the total gas volume was injected into the area within a 2-minute timeframe. Additionally, HI-FOG® 4S 1 MC 8MB 1000 was chosen because it is suitable for the high ceiling level of 3.8 meters in the factory.

Keywords: fire protection system, building information modeling (BIM), carbon dioxide, water mist

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การเกิดเพลิงไหม้ในสิ่งก่อสร้างแนวราบ ถึงแม้จะเป็นอาคารที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าอาคารแนวดิ่งก็ตามแต่ในลักษณะพื้นที่ที่กว้างกว่าอาคารในแนวดิ่งนั้นทำให้เมื่อเกิดเพลิงไหม้ขึ้นภายในอาคารนั้นจะทำให้เพลิงขยายเป็นวงกว้างและส่งผลกระทบต่ออาคารอื่นๆ อย่างรวดเร็วกว่าอาคารแนวดิ่ง ดังนั้นเมื่อเกิดเพลิงไหม้หากมีระบบป้องกันที่ถูกออกแบบมาอย่างถูกต้องตามมาตรฐาน และการจัดวางอุปกรณ์ดับเพลิงให้หยิบใช้ได้ง่าย จะทำให้ลดผลกระทบและจำกัดพื้นที่ ที่จะเกิดขึ้นจากอัคคีภัยลดแคบลงได้อีกด้วย ตัวอย่างของเหตุการณ์เพลิงไหม้ในอาคารแนวราบคือเหตุเพลิงไหม้ชานติก้าผับ จังหวัดกรุงเทพฯ พบผู้เสียชีวิต 66 ราย เหตุเพลิงไหม้โรงงานเคเดอร์ จังหวัดนครปฐม มีผู้เสียชีวิต 188 คน เป็นต้น จากเหตุการณ์ดังกล่าวพบว่าอาคารเหล่านี้ไม่มีความซับซ้อนมากนัก แต่เมื่อเกิดเพลิงไหม้กลับมี

ผู้เสียชีวิตจำนวนมาก ซึ่งสาเหตุหนึ่งของการสูญเสียเหล่านี้อาจจะเกิดจากการที่ไม่มีระบบป้องกันอัคคีภัยที่มากพอ [1]

ปัจจุบันในโรงงานที่มีอายุการใช้งานที่มากมักจะมีการต่อเติมโรงงาน รวมถึงแบบแปลนโรงงานเดิมอาจมีการสูญหาย โดยสภาพโรงงานหรืออาคารที่ใช้งานไม่สามารถใช้เทปวัดระยะในการสำรวจและเวลาที่ใช้ทำการสำรวจแบบเดิมที่ค่อนข้างนาน ฉะนั้นจึงมีการนำเทคโนโลยีการสำรวจภูมิประเทศ “LiDAR” (Light Detection and Ranging) เป็นเทคโนโลยีสำรวจด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ 3 มิติ (3D Laser Scanner) ที่สามารถระบุตำแหน่งของวัตถุโดยอาศัยการเดินทางของแสงเลเซอร์โดยให้แสงเดินทางออกจากอุปกรณ์ไปกระทบกับวัตถุจากนั้นลำแสงจะสะท้อนกลับมายังอุปกรณ์และคำนวณตำแหน่งของวัตถุ [2] โดยสามารถข้อมูลนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลองสารสนเทศอาคาร “BIM” (Building Information Modeling) ซึ่งเทคโนโลยี BIM ก็คือการทำโมเดลรูปแบบสามมิติของอาคารโดยตัวอาคารสามมิติจะสามารถทำงานสอดคล้องกับระบบต่างๆ ได้เป็นอย่างดี อาทิเช่นงานออกแบบทางด้านวิศวกรรม งานสถาปัตยกรรม งานระบบต่างๆ รวมถึงการบริหารโครงการ [3]

งานวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในการออกแบบและวิเคราะห์ระบบป้องกันอัคคีภัยตามมาตรฐาน National Fire Protection Association (NFPA) โดยนำเทคโนโลยี 3D Laser Scanner มาช่วยในการเก็บข้อมูลโรงงานสามดีเฟอร์นิเจอร์ในจังหวัดพิษณุโลก เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำในการออกแบบ และเสนอแนวทางในการติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในการออกแบบและวิเคราะห์ระบบป้องกันอัคคีภัยตามมาตรฐาน National Fire Protection Association (NFPA)

1.2.2 เพื่อนำเสนอแนวทางในการติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยในโรงงาน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 สถานที่

1.3.1.1 โรงงานสามดีเฟอร์นิเจอร์ในจังหวัดพิษณุโลก

1.3.2 อุปกรณ์

1.3.2.1 เครื่องสแกน 3มิติ ยี่ห้อ Faro Focus M70

1.3.3 ซอฟต์แวร์

1.3.3.1 Autodesk Revit 2024 (Student license)

1.3.3.2 Autodesk Recap 2024 (Student license)

1.3.4 มาตรฐาน National Fire Protection Association (NFPA)

1.3.4.1 NFPA 12 Standard For Carbon Dioxide Extinguishing Systems

1.3.4.2 NFPA 750 Standard on Water Mist Fire Protection Systems

1.4 ประโยชน์

1.4.1 สามารถใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยให้เป็นไปตามมาตรฐาน National Fire Protection Association (NFPA)

1.4.2 สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบไปเป็นแนวทางในการเลือกติดตั้งระบบป้องอัคคีภัยได้

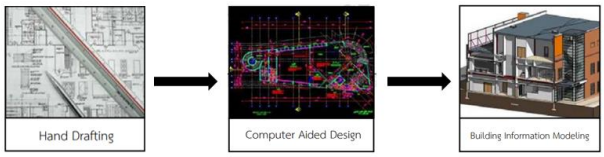
1.4.3 สามารถนำวิธีการไปพัฒนาปรับใช้กับอาคารอื่นๆได้

2. แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้อง

บทนี้เป็นการนำทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการออกแบบและวิเคราะห์ระบบป้องกันอัคคีภัย โดยนำระบบ BIM มาช่วยในการออกแบบ สามารถแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ แนวคิดทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การพัฒนาการเขียนแบบ

กระบวนการจัดทำแบบก่อสร้างได้มีการพัฒนาจากการเขียนแบบด้วยมือที่ใช้กระดาษ และ อุปกรณ์การเขียนแบบมาสู่การใช้เทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์(Computer Aided Design หรือ CAD) ระยะแรก CAD ในระบบ 2 มิตินั้น ยังคงใช้วิธีการทำงานเลียนแบบการเขียนแบบเดิม ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลกราฟิก (Graphic) ส่วน CAD ในรูปแบบ 3 มิติ เป็นเพียงการสร้างรูปทรงเท่านั้น ในปัจจุบันมีการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling หรือ BIM) ซึ่งเป็นการสร้างแบบจำลองอาคาร (Building Model) ที่ประกอบข้อมูลกราฟิก (Graphic) ทั้ง 2 มิติ และ3 มิติ พร้อมข้อมูลสารสนเทศ (Information) ประกอบด้วยข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก (Non-Graphic) ซึ่งเป็นการสร้างวัตถุองค์ประกอบต่างๆ ของอาคารเลียนแบบของจริงพร้อมข้อมูล [4]

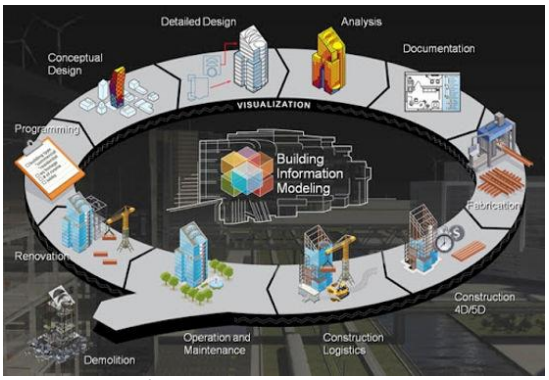


รูปที่ 1 การพัฒนาการเขียนแบบด้วยมือ มาสู่ CAD และ BIM

2.2 แบบจำลองสารสนเทศ

แบบจำลองสารสนเทศ (Building Information Modeling, BIM) หรือแบบจำลองสารสนเทศอาคารเป็นแนวคิดที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับในการปรับปรุงกระบวนการทำงานในการออกแบบหรือการก่อสร้างอาคาร (Building model) พร้อมข้อมูลหรือสารสนเทศ (Information) จำลองการก่อสร้างอาคารจริง แนวคิดนี้ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Charles M.Eastman ตีพิมพ์ในวารสารเอไอเอ (AIA jornal) เมื่อปี ค.ศ.1975 ใช้ชื่อว่า “Building Description System” จนเมื่อปี ค.ศ.1986 จึงเปลี่ยนมาใช้คำว่า “Building Information Modeling” โดยแนวคิด BIM เริ่มจากการ

ออกแบบ การก่อสร้าง การดำเนินการ และการรื้อถอนเมื่อหมดอายุการใช้งาน ซึ่งในระหว่างกระบวนการจะมีการสร้างแบบจำลอง(Building model) และมีการทำควบคู่ข้อมูลสารสนเทศ (Information) สำหรับในการแลกเปลี่ยนข้อมูลรูปแบบดิจิทัลของในหลายๆ ฝ่ายที่ทำงานร่วมกัน เช่น สถาปนิก วิศวกร ผู้ออกแบบ เจ้าของอาคาร และผู้ว่าจ้าง มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการตัดสินใจในการก่อสร้าง และเพิ่มคุณภาพของงานก่อสร้าง กระบวนการภายใต้ BIM ซึ่งเป็นการทำงานผ่านระบบซอฟต์แวร์ ซึ่งมีให้เลือกใช้อย่างหลากหลายผลิตภัณฑ์ เช่น Autodesk Revit, Autodesk Robot, SketchUp เป็นต้น ซึ่งสามารถทำแบบจำลองทั้ง 3มิติ และแบบจำลอง 4มิติ เพื่อให้ได้มาซึ่งแบบจำลองอาคาร



รูปที่ 2 ตัวอย่างกระบวนการทำงานของ BIM
(ที่มา : https://www.8-plan.com)

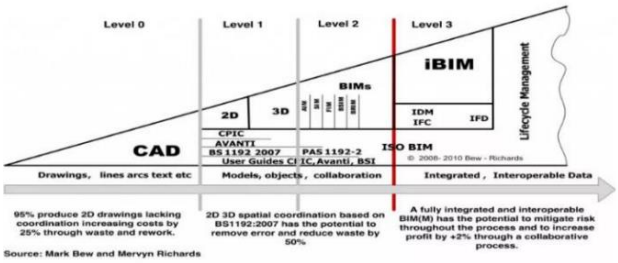
2.3 ระดับการทำงานของBIM

Level 0 เป็นการเขียนแบบ ออกแบบอาคารโดยใช้ โปรแกรม 2D ทั่วไป จะเป็นการเขียนภาพออกมาในรูปแบบสองมิติ โดยใช้การเขียนแบบ CAD จะมองภาพได้ในรูปแบบสองมิติเพียงอย่างเดียว

Level 1 คือ มีการทำงานร่วมกันระหว่าง 2D และ 3D คือ มีการเขียนภาพแบบสองมิติอยู่แต่สามารถดูและแก้ไขได้ในรูปแบบของสามมิติ โดยจะมีการตรวจข้อมูลก่อนเพื่อความถูกต้อง แต่ยังขาดข้อมูลของตัววัสดุ

Level 2 คือ ออกแบบและเก็บข้อมูลรวมทั้งสื่อสารด้วยไฟล์ 3D เป็นการเขียนภาพแบบสามมิติโดยจะมีการตรวจสอบข้อมูลก่อน เพื่อความถูกต้อง และมีการเก็บข้อมูลของตัววัสดุ และ วิเคราะห์ตัววัสดุ

Level 3 หรือ iBIM คือการยกระดับการทำงานโดยที่ทุกคนจะสามารถทำงานร่วมกันพร้อมกันได้ข้อมูลต่างๆ อัพเดตได้ตลอดเวลา



รูปที่ 3 แสดงระดับการทำงานของBIM
(ที่มา: https://www.applicadthai.com)

2.4 องค์กร National Fire Protection Association (NFPA)

NFPA เป็นชื่อย่อของ National Fire Protection Association ถูกก่อตั้งขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1898 เป็นองค์กรชั้นนำของโลกที่สนับสนุนกิจกรรมด้านการป้องกันอัคคีภัย ตั้งอยู่ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นองค์กรที่ประกอบกิจกรรมไม่แสวงหาผลกำไร (Non-Profit Organization) หน้าที่หลัก คือ จัดทำและสนับสนุนการกำหนดมาตรฐาน ที่พัฒนามาจากสถิติและข้อมูลความเสียหายจริงของทั้งชีวิต และทรัพย์สิน อันเนื่องมาจากอัคคีภัยและอุบัติภัยต่างๆ ด้วยวิธีการประชามติ การวิจัย การฝึกอบรม และการให้ความรู้โดยจุดมุ่งหมายที่จะลดปัญหา และ ความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นจากเหตุอัคคีภัย และอุบัติเหตุต่างๆ เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีของประชาการโลก นอกจากนี้ NFPA ยังมีมาตรฐานความปลอดภัย กว่า 300 ประเภท ได้รับการยอมรับจากนานาประเทศ และนำมาใช้ในกระบวนการก่อสร้าง และบริหารจัดการอาคารให้มีความปลอดภัย โดยครอบคลุมตั้งแต่การออกแบบติดตั้ง ตรวจสอบ จนถึงการดับเพลิงเมื่อเกิดอัคคีภัย [5] เช่น NFPA 12 เป็นมาตรฐานระบบป้องกันอัคคีภัยด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ และ NFPA 750 เป็นมาตรฐานระบบป้องกันอัคคีภัยด้วยละอองน้ำ

2.4.1 NFPA 12

NFPA 12 เป็นมาตรฐานที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมและใช้ระบบดับเพลิงคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากเป็นที่ตั้งของวิธีการที่แม่นยำสำหรับการออกแบบระบบ การติดตั้ง การบำรุงรักษา และการปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการระงับอัคคีภัยอย่างมีประสิทธิภาพในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง ระบบ CO_2 มีความจำเป็นในสถานที่ที่มีอุปกรณ์มีค่าหรือมีความเสี่ยงจากไฟฟ้า ซึ่งไม่สามารถใช้น้ำได้ การปฏิบัติตาม NFPA 12 ช่วยป้องกันความเสียหายจากไฟไหม้อย่างกว้างขวาง ในเวลาเดียวกันยังรักษาความปลอดภัยของมนุษย์ โดยลดความเสี่ยงจากการใช้งาน CO_2 ที่ไม่เหมาะสม มาตรฐานที่เข้มงวดของ NFPA 12 มีวัตถุประสงค์สองประการหลัก คือ เพิ่มประสิทธิภาพในการระงับอัคคีภัยให้สูงสุดในขณะที่ลดความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องให้เหลือน้อยที่สุด

2.4.2 NFPA 750

NFPA 750 เป็นมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบป้องกันอัคคีภัยละอองน้ำ มาตรฐานนี้ให้แนวทางและข้อกำหนดเกี่ยวกับการออกแบบ การติดตั้ง การบำรุงรักษา และการทดสอบระบบดับเพลิงด้วยหมอกน้ำ ระบบเหล่านี้ใช้น้ำในรูปแบบสเปรย์ละเอียดเพื่อควบคุม ระงับ หรือดับเพลิง โดยทำให้เกิดเปลวไฟและลดความร้อนจากการแผ่รังสีเพื่อลดโอกาสการเกิดไฟซ้ำ

2.5 ระบบป้องกันอัคคีภัย

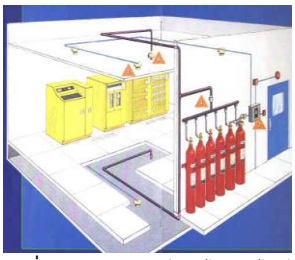
ระบบป้องกันอัคคีภัยมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับสิ่งปลูกสร้างทุกประเภท ทั้งบ้าน โรงแรม โรงงาน อาคารสำนักงาน ตึกสูง เพื่อใช้เป็นสิ่ง

ป้องกันเหตุจนถึงระงับเหตุการณ์จากอัคคีภัย เนื่องจากการเกิดอัคคีภัยนั้นเป็นเหตุการณ์ที่อาจที่จะเกิดขึ้นภายในสถานที่เหล่านี้ได้ทุกเมื่อและไม่ได้ตั้งตัว ดังนั้น การที่มีการติดตั้งระบบดับเพลิงเอาไว้ภายในอาคารสถานที่จึงสามารถช่วยปกป้องชีวิตและทรัพย์สินของผู้อยู่อาศัยได้

2.5.1 ประเภทของระบบป้องกันอัคคีภัย

2.5.1.1 ระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

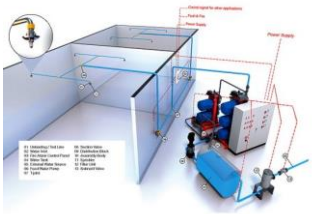
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือเรียกย่อๆว่า CO_2 เป็นก๊าซที่มีอยู่ทั่วไปและสามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติ CO_2 เกิดจากหลายวิธี เช่น การเผาไหม้ จากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ฯลฯ Carbon Dioxide ถูกนำมาใช้ในวงการดับเพลิงมานานหลายปี ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมในการดับเพลิงที่เกิดจากการลุกไหม้ชนิด ไฟไหม้ของเหลวไวไฟ ไฟไหม้แก๊ส และ ไฟไหม้ไฟฟ้า ยกเว้นการใช้งานกับวัสดุชนิด Active Metals หรือ Metal Hydride และวัสดุที่ประกอบไปด้วย Cellulose Nitrate หรือที่มีองค์ประกอบของ Oxygen (O_2) เป็นหลัก อุปกรณ์ได้รับการรับรองมาตรฐาน จากสถาบัน NFPA สามารถใช้งานได้ทั้งพื้นที่โล่งและห้องปิดเพื่อป้องกันและความเสียหายที่เกิดขึ้นจากเหตุเพลิงไหม้ เหมาะห้อง Server Room Data Center MDB Room ห้องไฟฟ้า ห้องควบคุม ห้อง UPS ห้องเก็บสารเคมี ห้องเก็บแบตเตอรี่ ห้องคอมพิวเตอร์ ห้องเก็บเอกสารสำคัญ พิพิธภัณฑ์ อาคาร โรงงาน และ ห้องอื่นๆ



รูปที่ 4 ระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
(ที่มา: https://www.integratedsecurity.co.th/shop/firesuppression/co/)

2.5.1.2 ระบบหมอกน้ำดับเพลิง

เป็นระบบดับเพลิงที่เป็นมิตรกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ตามมาตรฐาน NFPA750 และมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย เป็นระบบควบคุมอัคคีภัยแบบหนึ่งที่ใช้สเปรย์ละอองฝอยหยดน้ำที่มีความละเอียดมาก การที่มีละอองฝอยหยดน้ำจำนวนมากทำให้เกิดสภาพเป็นหมอกน้ำ ที่สามารถช่วยในการดับเพลิง



รูปที่ 5 ระบบหมอกน้ำดับเพลิง
(ที่มา: https://www.facebook.com/Fireprotectionacademy/)

2.6 การออกแบบระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และระบบหัวฉีดหมอกน้ำดับเพลิง

ซึ่งวิธีการคำนวณเพื่อหาจำนวนถังบรรจุก๊าซและหัวฉีดก๊าซที่ต้องใช้ในการติดตั้งระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดับเพลิงและหมอกน้ำดับเพลิง [6] เพื่อนำไปออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยในอาคารสารสนเทศ ตามมาตรฐาน NFPA Standard สามารถหาได้ตามสูตรดังต่อไปนี้

2.6.1 การออกแบบระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดับเพลิง

1) คำนวณหาจำนวนถังของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

$$N = M / w \qquad (1)$$

เมื่อ N แทนจำนวนของถังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการติดตั้ง (ถัง)
M แทนปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการดับเพลิง(kg)
w แทนปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่บรรจุใน 1 ถัง (kg)

2) คำนวณหาปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องใช้ในการดับเพลิง

$$M = \frac{\text{Hazard Volume} \quad x \quad \text{Design Concentration}}{\text{Specific} \quad CO_2 \quad \text{Volume}} \qquad (2)$$

เมื่อ M คือ ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องการใช้ในการดับเพลิง (kg)

Hazard Volume คือ ปริมาตรของห้องที่จะทำการติดตั้งระบบดับเพลิง (m^3)

Design Concentration (% Volume/Volume) และ Specific CO_2 Volume (m^3/kg CO_2) คือ ค่าพารามิเตอร์ของความเข้มข้นขั้นต่ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะเพียงพอต่อการดับเพลิงตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งได้ทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของความเข้มข้นขั้นต่ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Design Concentration = 35% Volume / Volume

Specific CO_2 Volume = 0.56 m^3/kg CO_2

3) คำนวณหาปริมาตรของโรงงานที่จะทำการติดตั้งระบบดับเพลิง ซึ่งการกำหนดปริมาตรนั้นอาจสามารถลดขนาดได้ ถ้าหากภายในห้องมีปริมาตรของวัตถุอื่นๆอยู่โดยสามารถหักลดปริมาตรของขอบเขตที่จะทำการป้องกัน คือ ปริมาตรของสิ่งที่สารดับเพลิงไม่สามารถแทรกแซงผ่านเข้าไปได้ เช่น ท่อหรือช่องที่ไม่ได้เปิกออกสู่บริเวณที่ป้องกัน ยกเว้นแต่สิ่งของที่สามารถถูกเคลื่อนย้ายออกไปที่บริเวณพื้นที่ป้องกันได้

$$\text{Hazard Volume} = W \times L \times H \qquad (3)$$

เมื่อ W คือ ความกว้างของพื้นที่ที่ป้องกัน (m)
L คือ ความยาวของพื้นที่ที่ป้องกัน (m)
H คือ ความสูงของพื้นที่ที่ป้องกัน (m)

4) คำนวณการเพิ่มปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องชดเชยเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิห้องตามหลักการออกแบบมาตรฐานสากล NFPA 12 ซึ่งกำหนดว่าถ้าอุณหภูมิของพื้นที่ที่ออกแบบมี

ค่าสูงกว่า 20˚F (93˚C) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะต้องเพิ่มขึ้น 1% ทุก ๆ 5˚F (2.8˚C) ที่เพิ่มขึ้น ถ้าอุณหภูมิของพื้นที่ที่ออกแบบมีค่าต่ำกว่า 0˚F (-18˚C) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะต้องเพิ่มขึ้น 1% ทุก ๆ 1˚F ที่ลดลง

5) การคำนวณหาจำนวนหัวฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องทำการติดตั้งต้องคำนวณออกมา 2 แบบ คือการคำนวณโดยใช้อัตราของอัตราการไหลของหัวฉีด (สมการที่ 4) และ ใช้อัตราส่วนของพื้นที่ที่หัวฉีดครอบคลุม (สมการที่ 5) เพื่อให้มีอัตราการไหลเป็นไปตามมาตรฐานกำหนดและครอบคลุมทุกๆพื้นที่ ซึ่งในบางกรณีอัตราการไหลที่หัวฉีดอาจครอบคลุมอัตราการไหลของระบบแล้วแต่ยังอาจไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่ซึ่งทำให้การฉีกนั้นไม่ทั่วถึง ดังนั้นในการคำนวณหาจำนวนหัวฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงต้องทำการคำนวณ 2 แบบ โดยจะทำการเลือกแบบที่มีจำนวนหัวฉีดที่สูงกว่า

การคำนวณหาจำนวนหัวฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องใช้ในการติดตั้ง ซึ่งการเลือกหัวฉีดสำหรับระบบความดันสูงได้ทำการเลือกเป็น ชนิดหัวฉีดแบบ Radial ขนาด ½” เกลียวชนิด NPT

ใช้สำหรับในการดับเพลิงแบบวิธีฉีดท่วม โดยหัวฉีดจะมีอัตราการไหลอยู่ที่ 45.5 kg CO_2 / min และสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ถึง 37.21 m^2 (6.1 m x 6.1 m)

จำนวนหัวฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

$$= Q_{Total} / Q_{Nozzle} \qquad (4)$$

เมื่อ Q_{Total} คือ อัตราการไหลรวมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องใช้ (kg CO_2 / min)

Q_{Nozzle} คือ อัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อ 1 หัวฉีด (kg CO_2 / min)

จำนวนหัวฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

$$= A_{Room} / A_{Nozzle\ Coverage} \qquad (5)$$

เมื่อ A_{Room} คือ พื้นที่ห้องที่จะทำการติดตั้งระบบดับเพลิง (m^2)

$A_{Nozzle\ Coverage}$ คือ พื้นที่ที่หัวฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ครอบคลุม (m^2)

โดย Q_{Total} นี้เป็นอัตราการไหลรวมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มาตรฐานได้ทำการกำหนดสำหรับโรงงาน โดยเป็นพื้นที่ของ Machinery Space กำหนดให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คำนวณได้จาก (สมการที่ 2) จำนวน 85% ต้องฉีดเข้าพื้นที่ภายในระยะเวลา 2 นาที

$$Q_{Total} = \frac{M \times 0.85}{2} \qquad (6)$$

เมื่อ Q_{Total} คือ อัตราการไหลรวมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (kg CO_2 / min)

M คือ ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องการใช้ (kg CO_2)

2.6.2 การออกแบบหมอกน้ำดับเพลิง

ซึ่งวิธีการคำนวณเพื่อหาจำนวนหัวฉีดหมอกน้ำที่ต้องการใช้ในการติดตั้งระบบหมอกน้ำดับเพลิงเพื่อป้องกันการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินดังนี้ ได้เลือกใช้หัวฉีดสำหรับระบบความดันสูงเป็นชนิดหัวฉีดหมอกน้ำ HI-FOG® รหัส 4S 1 MC 8MB 1000 สำหรับการติดตั้งที่ความสูงเพดานไม่เกิน 5 m โดยหัวฉีดชนิดนี้สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ถึง 16 m^2 (4 x 4 m)

1) จำนวนหัวฉีดหมอก

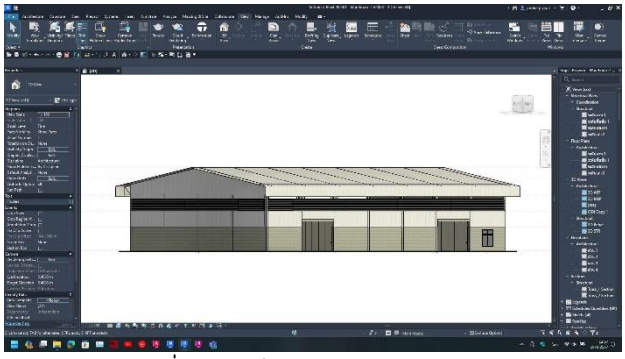
$$= A_{Room} / A_{Spray\ Coverage} \qquad (7)$$

เมื่อ A_{Room} คือ พื้นที่ห้องที่จะทำการติดตั้งระบบดับเพลิง (m^2)

$A_{Spray\ Coverage}$ คือ พื้นที่ที่หัวฉีดครอบคลุมได้ต่อ 1 หัวฉีด

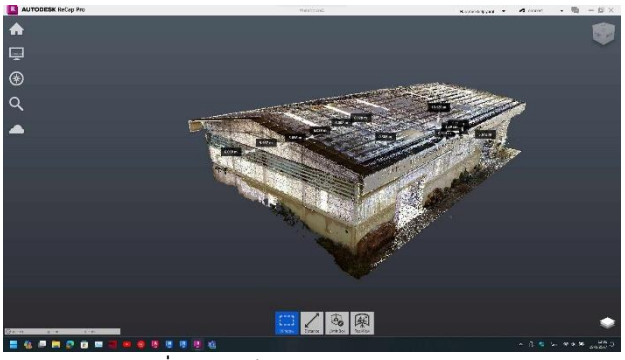
2.6 ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องกับ BIM

2.6.1 Autodesk Revit เป็นซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบงานด้านอาคารโดยเฉพาะ โดยใช้หลักการสร้างระบบจำลองสารสนเทศอาคารหรือการสร้างรูปแบบจำลองข้อมูลของอาคาร (Building Information Modeling : BIM) เป็นโปรแกรมออกแบบที่รองรับกระบวนการทำงานในระบบ BIM และAutodesk Revit ถือเป็นต้นแบบของกระบวนการทำงานในรูปแบบ BIM ที่เป็นที่นิยมที่สุด ซึ่งรูปแบบของการใช้งานจะเป็นสามมิติทั้งหมด



รูปที่ 6 ตัวอย่างโปรมแกรม Autodesk Revit

2.6.2 Autodesk Recap เป็นซอฟต์แวร์จับภาพความเป็นจริงเพื่อแปลงเป็นแบบจำลอง 3 มิติหรือการวาดภาพ 2 มิติ พร้อมสำหรับการออกแบบด้วย Recap Pro จะสัมผัสได้ถึงความเร็วและความสามารถเวิร์กโฟลว์ที่เพิ่มขึ้นสำหรับโครงการสแกนและโฟโตแกรมเมทรี สร้างโมเดล 3 มิติจากภาพถ่ายหรือการสแกนด้วยเลเซอร์ ด้วยเครื่องมือ point cloud หรือ meshes ที่พร้อมสำหรับเครื่องมือสร้าง CAD และ BIM Autodesk ReCap Pro นำเสนอคุณลักษณะล้ำสมัยเต็มรูปแบบ เช่น การสแกนอัตโนมัติและการต่อภาพในโมเดล 3 มิติ เครื่องมือแก้ไขและวัดขั้นสูง ข้อมูลสแกนไปยังตาข่าย และคุณสมบัติ Fly สำหรับภาพถ่าย UAV/โดรน และการทำงานร่วมกัน



รูปที่ 7 ตัวอย่างโปรมแกรม Autodesk Recap

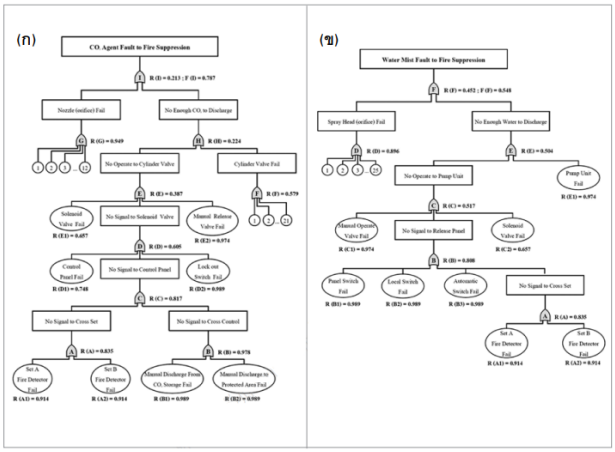
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพรชร์รัตน์ ลิ้มสุปรียารัตน์ และคณะ, (2563) ได้ศึกษาการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อวิเคราะห์เวลาในการอพยพหนีไฟ โดยประยุกต์นำเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling : BIM) เพื่อจัดทำแนวทางการปรับปรุงระบบป้องกันอัคคีภัยสำหรับพื้นที่ภายในอาคารให้เป็นไปตามกฎกระทรวงและมาตรฐานการออกแบบเส้นทางหนีไฟ (มยผ. 8301) อาคารที่เลือกเป็นกรณีศึกษาเป็นอาคารโรงประลองที่มีความสูง 3 ชั้น จำนวน 5 อาคาร ผลการวิจัยแสดงถึงเวลาที่ใช้ในการอพยพหนีไฟของแต่ละอาคารและแนวทางแก้ไขปัญหาด้านการป้องกันอัคคีภัยในรูปแบบ 3 มิติเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ

ภาควิชา	พื้นที่	เวลาที่ใช้แต่ละส่วน			สรุปเวลาทั้งหมด	
		T(door)	T(Corridor)	T(Stairway)	วินาที	นาที
วิศวกรรมไฟฟ้า	ชั้น 1	38.52	106.91	0.00	145.42	2.42
	ชั้น 2 และชั้น 3	182.98	92.44	113.26	388.67	6.48
วิศวกรรมโยธา	โถงชั้น 1	183.61	93.49	0.00	277.10	4.62
	สำนักงาน	111.41	78.12	21.45	210.98	3.52
วิศวกรรมเคมี	ห้องเรียน	139.12	70.06	144.51	353.68	5.89
	สำนักงาน	274.75	180.52	11.58	466.86	7.78
วิศวกรรมอุตสาหการ	ห้องปฏิบัติการ	306.03	55.41	0.00	361.44	6.02
	ห้องเรียน	91.63	99.52	49.44	240.59	4.01
วิศวกรรมเครื่องกล	ห้องปฏิบัติการ	453.95	59.22	0.00	513.17	8.55
	ห้องเรียนและสำนักงาน	60.77	62.02	90.16	212.96	3.55

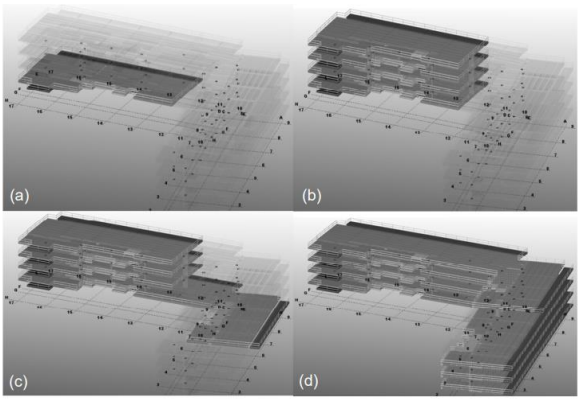
รูปที่ 8 แสดงตารางผลการคำนวณเวลาอพยพหนีไฟ
(ที่มา : เพรชร์รัตน์ ลิ้มสุปรียารัตน์ และคณะ. (2563)

ปุณณดา กนกรัตนโชติ และ นันทิยา หาญศุภลักษณ์, (2554) ได้ศึกษาการออกแบบและวิเคราะห์ระบบป้องกันอัคคีภัยในห้องเครื่องบนแท่นขุดเจาะน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทย โดยออกแบบระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และหมอกน้ำสำหรับติดตั้งในห้องเครื่อง เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ โอกาสในการเกิดความเสียหายและอัตราการเสียหายด้วยเทคนิคแผนภูมิต้นไม้ การออกแบบระบบดับเพลิงทั้ง 2 ชนิดเป็นไปตามมาตรฐาน SOLAS, FSS Code, Modu Code และ NFPA จากการวิเคราะห์พบว่าค่าความน่าเชื่อถือของระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และหมอกน้ำดับเพลิง คือ 0.213 และ 0.452 ตามลำดับ ค่าโอกาสในการเสียหาย คือ 0.787 และ 0.548 ตามลำดับ และอัตราการเสียหาย คือ 1.548 และ 0.795 Failures/year ตามลำดับ



รูปที่ 9 แสดงแผนภูมิต้นไม้เพื่อวิเคราะห์เหตุการณ์
(ที่มา : ปุณณดา กนกรัตนโชติ และคณะ, 2554)

Kristiina Sulankivi, et al. (2013) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้งานร่วมกับระบบความปลอดภัยในงานก่อสร้าง โดยได้จัดทำกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติ พร้อมกับการแสดงผลของระบบความปลอดภัยที่จะต้องจัดเตรียมในแต่ละช่วง ซึ่งพบว่าการใช้งานรูปแบบดังกล่าวนั้นส่งผลดีต่อการทำงานร่วมกันของเจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกร ผู้รับเหมาหลักและผู้รับเหมาช่วง ตลอดจนสามารถวางแผนล่วงหน้าสำหรับการจัดเตรียมทรัพยากรต่างๆ เนื่องจากสามารถมองเห็นแบบจำลองเสมือนจริงก่อนทำการก่อสร้างได้



รูปที่ 10 แสดงการจำลอง 4 มิติ ของแบบจำลองแผ่นพื้น เสา และรั้ว
(ที่มา : Kristiina Sulankivi, et al. 2013)

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยเรื่องการออกแบบและวิเคราะห์ระบบป้องกันอัคคีภัย มีวิธีการดำเนินงานและแผนการดำเนินงาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 วิธีการดำเนินงาน

3.1.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดำเนินการศึกษาบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างละเอียด

3.1.2 สำรวจพื้นที่โรงงาน

เข้าสำรวจข้อมูลภายในภายนอกและโดยรอบของโรงงานเฟอร์นิเจอร์ จังหวัดพิษณุโลก เพื่อความถูกต้องของข้อมูลโรงงาน



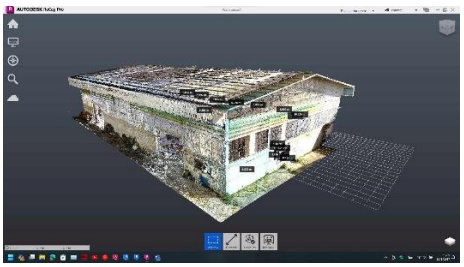
รูปที่ 11 สำรวจพื้นที่โรงงาน

3.1.3 ดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ และประมวลผลด้วยโปรแกรม Autodesk Recap

ใช้เครื่องสแกน 3 มิติ ยี่ห้อFARO รุ่น FOCUS M70 ในการเก็บข้อมูล เริ่มจากตั้งค่าเครื่องสแกน 3 มิติให้เก็บข้อมูลภายใต้ความละเอียด 1 ต่อ 4 เมื่อเครื่องสแกน 3 มิติทำงานเสร็จแล้วตรวจเช็คความถูกต้องของข้อมูล และนำไปประมวลผลโดยใช้โปรแกรม Autodesk Recap



(ก)

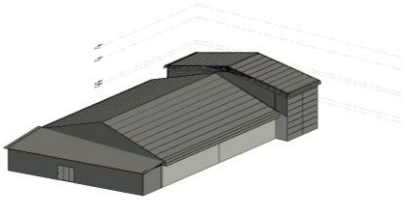


(ข)

รูปที่ 12 การเก็บข้อมูลด้วยเครื่องสแกนสามมิติ และประมวลผลโดยโปรแกรม Autodesk Recap (ก),(ข)

3.1.4 สร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารด้วยโปรแกรม Autodesk Revit 2024

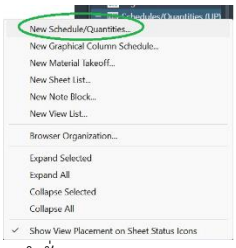
ทำการสร้างแบบจำลองสารสนเทศจากข้อมูลพอยด์คลาวด์ด้วยโปรแกรม Autodesk Revit 2024 เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัย



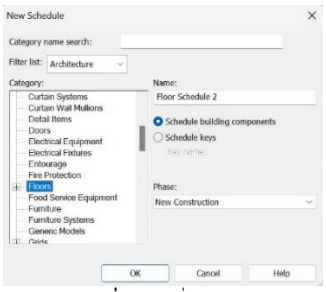
รูปที่ 13 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร

3.1.5 ออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยโดยใช้โปรแกรม Autodesk Revit 2024

ทำการออกแบบระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และหมอกน้ำดับเพลิงสำหรับติดตั้งในโรงงาน โดยให้เป็นไปตามมาตรฐาน NFPA Standard ใช้คำสั่ง New Schedule/Quantities ที่แทบเมนู Project Browser จากนั้นเลือก Floor แล้วกด ok

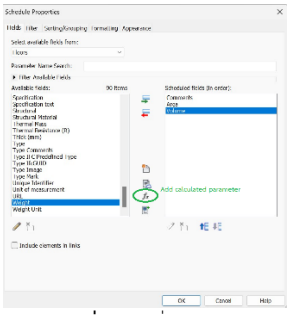


รูปที่ 14 คำสั่ง New Schedule/Quantities

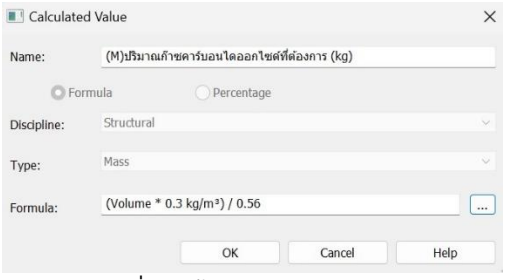


รูปที่ 15 คำสั่ง Floor

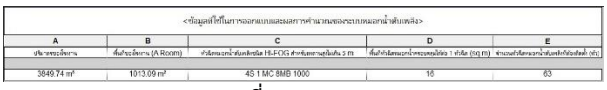
จากนั้นเลือก Fields และเลือกข้อมูลที่ต้องการในช่อง Available fields ให้อยู่ในช่อง Scheduled fields จากนั้นเลือก Add calculated parameter จะได้หน้าต่าง Calculated value โดยตั้งชื่อและกรอกค่าหรือสมการตามข้อมูลที่ต้องการ กด ok จะได้ข้อมูลดังรูปที่ 18



รูปที่ 16 คำสั่ง Fields



รูปที่ 17 หน้าต่าง Calculated value



รูปที่ 18 Schedule

3.1.6 สรุปผลการวิจัย

3.1.7 นำเสนอบทความวิจัย

3.2 แผนการดำเนินงาน



รูปที่ 19 แสดงผังแผนการดำเนินงาน

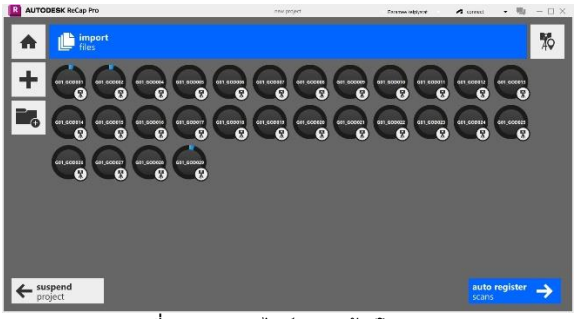
4. ผลการศึกษา

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการศึกษาของงานวิจัย โดยแบ่งเป็นผลการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องสแกนสามมิติ (Terrestrial Laser Scanner,TLS) ผลการจัดทำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร และผลการออกแบบและวิเคราะห์ระบบป้องกันอัคคีภัย

4.1 ผลการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ (TLS)

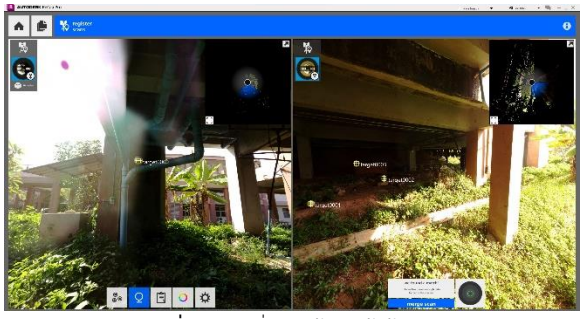
4.1.1 การนำข้อมูลไปประมวลผล

4.1.1.1 เปิดโปรแกรม Autodesk Recap > New Project > Import ไฟล์ข้อมูลกลุ่มจุด 3 มิติ ที่ได้จากการสแกนเข้าสู่โปรแกรม เลือก manual registration



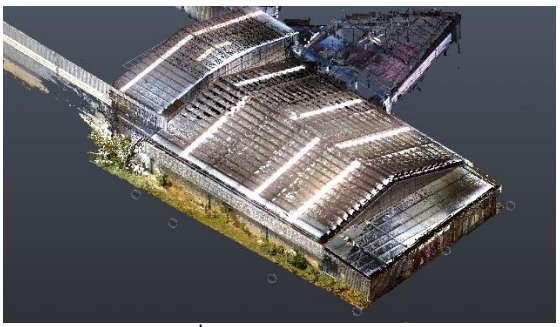
รูปที่ 20 Import ไฟล์สแกนเข้าสู่โปรแกรม

4.1.1.2 ทำการรวมข้อมูลกลุ่มจุด 3 มิติ (Point cloud) โดยใช้จุดอ้างอิงจากลูกบอลของแต่ละ Point cloud จากนั้นกด Merge Scan > Approve



รูปที่ 21 การเชื่อมต่อข้อมูลเข้าด้วยกัน

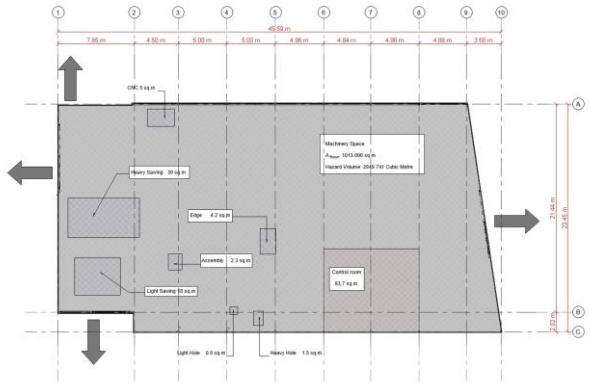
4.1.1.3 เมื่อ Approve ข้อมูลทุกไฟล์เข้าด้วยกันแล้ว กด Index และ Lunch project จะได้เป็นข้อมูล Point cloud



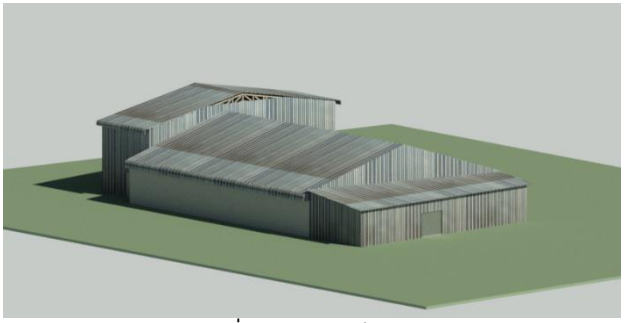
รูปที่ 22 ข้อมูล Point cloud

4.2 ผลการจัดทำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

ผลการจัดทำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร โดยใช้โปรแกรม Autodesk Revit เพื่อจะนำไปออกแบบและวิเคราะห์ระบบป้องกันอัคคีภัยในโรงงาน โดยมีพื้นที่ขนาด 1,013.09 ตารางเมตร ดังแสดงรูปที่ 23-24



รูปที่ 23 แบบแปลนโรงงาน



รูปที่ 24 แบบจำลองโรงงาน

4.3 ผลการออกแบบและวิเคราะห์ระบบป้องกันอัคคีภัย

การออกแบบและผลการคำนวณของระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดับเพลิงและระบบหมอกน้ำดับเพลิง โดยใช้โปรแกรม Autodesk Revit 2024 ตามมาตรฐาน NFPA Standard แสดงดังรูป 25-28

<ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดับเพลิง>

A	B	C	D	E	F
(Hazard volume)	(A Room)	อุณหภูมิ (C)	ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่บรรจุ 1 ถัง (kg)	อัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อ 1 หัวฉีดที่มีขนาด 1/2" (kg CO2/min)	พื้นที่ที่หัวฉีดครอบคลุมได้ต่อ 1 หัวฉีดที่มีขนาด 1/2" (sq.m)
3849.74 m³	1013.09 m²	45	45.4	45.4	37.21

รูปที่ 25 แสดงตารางข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดับเพลิง

<ผลการคำนวณของระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดับเพลิง>

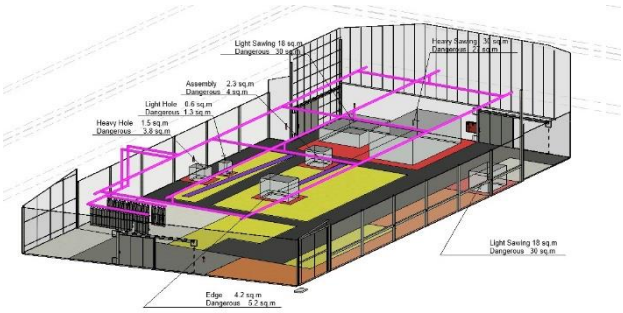
A	B	C	D	E	F	G
ปริมาตรของโรงงาน (Hazard volume)	พื้นที่ของโรงงาน (A Room)	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องการ (kg)	N (หัว)	Q Total (kg CO2/min)	จำนวนหัวฉีดที่ต้องติดตั้งให้ครอบคลุมอัตราการไหล (หัว)	จำนวนหัวฉีดที่ต้องติดตั้งให้ครอบคลุมพื้นที่ (หัว)
3849.74 m³	1013.09 m²	2062.36 kg	45	876.50	19	27

รูปที่ 26 แสดงตารางผลการคำนวณของระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดับเพลิง

<ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบและผลการคำนวณของระบบหมอกน้ำดับเพลิง>

A	B	C	D	E
ปริมาตรของโรงงาน	พื้นที่ของโรงงาน (A Room)	หัวฉีดหมอกน้ำดับเพลิงชนิด HI-FOG ® สำหรับเพดานสูงไม่เกิน 5 m	พื้นที่ที่หัวฉีดหมอกน้ำครอบคลุมได้ต่อ 1 หัวฉีด (sq.m)	จำนวนหัวฉีดหมอกน้ำดับเพลิงที่ต้องติดตั้ง (หัว)
3849.74 m³	1013.09 m²	4S 1 MC 8MB 1000	16	63

รูปที่ 27 แสดงตารางข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบและผลการคำนวณของระบบหมอกน้ำดับเพลิง



รูปที่ 28 รูปจำลองระบบดับเพลิง

5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ตารางที่ 1 ตารางสรุปผลการคำนวณของระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดับเพลิง

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบและผลการคำนวณ	
ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ	
ขนาดของโรงงาน	3849.74 m^3
อุณหภูมิเฉลี่ยของโรงงาน	45° C
ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่บรรจุ 1 ถัง	45.4 kg
อัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อ 1 หัวฉีดที่มีขนาด 1/2"	45.4kg CO_2/min
พื้นที่ที่หัวฉีดครอบคลุมได้ต่อ 1 หัวฉีดที่มีขนาด 1/2"	37.21 m^2
ผลการคำนวณ	
ปริมาตรของโรงงาน (Hazard volume)	3849.74 m^3
พื้นที่ของโรงงาน (A_{Room})	1013.090 m^2
ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องการ (M)	2062.36 kg
จำนวนถังบรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบความดันสูง (N)	45 ถัง
อัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องฉีดเข้าพื้นที่ตามมาตราฐานกำหนด (Q_{Total})	876.50kg CO_2/min
จำนวนหัวฉีดที่ต้องติดตั้งให้ครอบคลุมอัตราการไหล	19 หัว
จำนวนหัวฉีดที่ต้องติดตั้งให้ครอบคลุมพื้นที่	27 หัว

ตารางที่ 2 ตารางสรุปผลการคำนวณของระบบหมอกน้ำดับเพลิง

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบและผลการคำนวณ	
ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ	
ขนาดของโรงงาน	3849.74 m^3
หัวฉีดหมอกน้ำดับเพลิงชนิด HI-FOG® สำหรับเพดานสูงไม่เกิน 5 m	4S 1 MC 8MB 1000
พื้นที่หัวฉีดหมอกน้ำครอบคลุมได้ต่อ 1 หัวฉีด	16 m^2
ผลการคำนวณ	
พื้นที่ของโรงงาน (A_{Room})	1013.090 m^2
จำนวนหัวฉีดหมอกน้ำดับเพลิงที่ต้องติดตั้ง	63 หัว

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เริ่มจากการสำรวจและเก็บข้อมูลด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ และนำมาสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร จากนั้นนำข้อมูลจากแบบจำลองสารสนเทศไปใช้ในการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัย จากการออกแบบระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดับเพลิงในโรงงาน ที่มีพื้นที่ 1,013.090 ตารางเมตร ต้องติดตั้งถังบรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขนาด 45.4 กิโลกรัม และต้องติดตั้งจำนวน 45 ถัง เพื่อให้ก๊าซปริมาณ 85% ของปริมาณก๊าซทั้งหมดฉีดเข้าพื้นที่ภายในระยะเวลา 2 นาที ตามมาตรฐานกำหนดและครอบคลุมทุกพื้นที่ ทำให้ต้องติดตั้งหัวฉีดก๊าซจำนวน 27 หัว และต้องคำนึงถึงเรื่องความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมในขณะฉีดด้วย และจากการออกแบบระบบหมอกน้ำดับเพลิงในโรงงาน ที่มีพื้น 1,013.090 ตารางเมตร นั้นได้เลือกใช้หัวฉีดหมอกน้ำดับเพลิงชนิด HI-FOG® รหัส 4S 1 MC 8MB 1000 ซึ่งเป็นชนิดที่เหมาสมต่อระดับความสูงของเพดานในโรงงาน 3.8 เมตร จากการคำนวณต้องติดตั้งหัวฉีดหมอกน้ำดับเพลิงจำนวน 63 หัว ซึ่งระบบหมอกน้ำดับเพลิงนั้นไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติและสิ่งแวดล้อม สามารถใช้งานได้ทันทีที่ตรวจพบเพลิงไหม้

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ใช้อาคารกรณีศึกษามีลักษณะเป็นโรงงาน ซึ่งมีรายละเอียดของอาคารที่ไม่ซับซ้อนมากนัก สำหรับในงานวิจัยครั้งต่อไปควรเลือกใช้อาคารกรณีศึกษาที่มีความซับซ้อนมากขึ้น หรือเลือกอาคารกรณีศึกษาที่เป็นอาคารสาธารณะ เช่น โรงพยาบาล โรงมหรสพ อาคารเรียน ที่ต้องใช้ระบบป้องกันอัคคีภัย เพื่อให้ผลที่ได้จากการวิจัยมีความละเอียดมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.อภิชาต บัวกล่ำ และ อาจารยฤทธิ์ทยุต ก้อนทอง อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ได้ให้คำปรึกษา ให้คำเสนอแนะ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ มาโดยตลอด จนงานวิจัยเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ไว้ ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] เพชร์รัตน์ ลิ้มสุปรียารัตน์ และคณะ. (2563). *การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อวิเคราะห์เวลาในการอพยพหนีไฟ,การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25*, ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563.

[2] ภิชญุตม์ ขรรค์ชัย และ มินนี่ เปรมฤทธิ์.(2563). *การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี LIDAR ในการสร้างแผนที่จำลองในลักษณะสามมิติ*. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.

[3] ปัญญาพล จันทร์ดอน. (2556*). การนำระบบ BIM มาใช้ในการจัดทำแบบก่อสร้างจริงส่วนงานระบบอาคาร (M&E AS BUILT DRAWINGS) กรณีศึกษาโครงการ โรงแรมเวฟพัทยา*. สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้าง, มหาวิทยาลัยศรีประทุม.

[4] สุดากาญจน์ ธนาวุฒิ. (2562). *สถานการณ์ของการจัดทำแบบจำลองสารสนเทศอาคารก่อสร้างจริงในประเทศไทย ช่วงปี พ.ศ.2553-2562*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] SANTO FIRE. (2565). *NFPA คืออะไร ทำความรู้จักกับสมาคมป้องกันอัคคีภัยและมาตรฐาน NFPA*. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 เดือน พฤศจิกายน 2566, จาก https://santofire.co.th/nfpa/

[6] ปุณณดา กนกรัตนโชติ และ นันทิยา หาญศุภลักษณ์. (2554). *การออกแบบและวิเคราะห์ระบบป้องกันอัคคีภัยในห้องเครื่องบนแท่นขุดเจาะน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทย*.คลังความรู้ดิจิทัล, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.