

กำลังของคอนกรีตผสมเถ้าไม้ยางพาราสำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างสำเร็จรูป

The Strength of Concrete with Rubber Wood Ash for Prefabricated Structure

ทวีศักดิ์ ทองขวัญ^{1,*}, นันทชัย ชูศิลป์² และ จุฬามาต ลักษณ์ะกิจ³

^{1,2,3} สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา

*Corresponding author; E-mail address: thaweesak.t@rmutsv.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังต้านทานแรงอัด แรงดัด และแรงดึง ของคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยจากขี้เถ้าไม้ยางพารา (เถ้าลอยไม้ยางพารา) แทนที่ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน และใช้เศษพลาสติกย่อยแทนที่มวลรวมที่อัตราส่วนร้อยละ 25 โดยปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมด ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 และใส่ตัวยาลดน้ำของคอนกรีตประเภทลดน้ำอย่างมาก เพื่อควบคุมค่ายุบตัวและความสามารถเทได้ของคอนกรีต ทำการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด กำลังต้านทานแรงดัด และกำลังต้านทานแรงดึงแบบผ่าฉีก ตามมาตรฐาน ASTM C 39, ASTM C 78 และ ASTM C 496 ตามลำดับ จากผลการวิจัย พบว่า ปริมาณเถ้าลอยไม้ยางพารามีผลทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลง โดยอยู่ในช่วง 2,100 – 2,200 กก./ม.³ ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด แรงดัด และแรงดึง ที่อายุ 28 วัน มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของเถ้าลอยจากไม้ยางพาราในส่วนผสมคอนกรีต อย่างไรก็ตาม คอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 20 สามารถรับกำลังต้านทานแรงอัดเฉลี่ย 209 กก./ซม.² ซึ่งผ่านเกณฑ์ของ มยผ.1101-64 ใช้เป็นคอนกรีตสำหรับชิ้นส่วนสำเร็จรูปได้

คำสำคัญ: 3-5 คำ เถ้าไม้ยางพารา, พลาสติกย่อย, ชิ้นส่วนสำเร็จรูป

Abstract

This research is focused on strength studies of concrete in terms of compressive, flexural, and tensile strength. In the current study, the rubber wood fly ash was used as a partial replacement for cement at the level of 10, 20, 30, and 40 percent by weight of the binder, and plastic waste aggregate was also used as a substitution for natural aggregates with 25 percent by volume of the total volume of the mixtures. The water by binder ratio was 0.5 and type F of superplasticizer was used for controlling slump and workability of concrete. The test of compressive strength, flexural strength and split tensile strength were followed by ASTM C 39, ASTM C 78 and ASTM C 496, respectively. The study reveals that the content the

amount of rubber wood fly ash decreased the unit weight of concrete. There were in the range of 2,100 – 2,200 kg/m³. The compressive, flexural, and tensile strength of concrete at the curing age of 28 days were reduced as an increase in rubber wood fly ash content. The concrete mixture, although, with 20 percent of rubber wood fly ash presented the compressive strength value of 209 ksc which is in line with the design criteria of the department of public works and town & country planning of Thailand for concrete of prefabricated structures.

Keywords: rubber wood fly ash, shredded waste plastic, prefabricated structures

1. บทนำ

ปัจจุบันไม้ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของไทย มีพื้นที่เพาะปลูกเป็นอันดับสองของโลก โดยประเทศไทยมีเนื้อที่ปลูกยางพาราไม่ต่ำกว่า 22 ล้านไร่ ภาคใต้เป็นแหล่งผลิตสำคัญ และมีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุดของประเทศ [1] หลังจากไม้ยางพาราที่ไม่สามารถผลิตน้ำยางได้ เกษตรกรจะโค่นต้นยางพาราเก่าขายให้กับอุตสาหกรรมอื่น มีการโค่นต้นยางประมาณ 4 แสนไร่ต่อปี เพื่อนำไปแปรรูปเป็นวัสดุต่าง ๆ โดยเฉพาะเฟอร์นิเจอร์ ซึ่งจากกระบวนการจะเหลือเศษไม้ยางพารา ซึ่งเศษไม้ยางพาราเหล่านี้จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ และปัจจุบันยังนำไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จากกระบวนการเผาไม้ยางพารา ผลพลอยได้ทำให้เกิดเถ้าไม้ยางพารา [2] จากการศึกษาในการผลิตกระแสไฟฟ้า 22 เมกะวัตต์ ต้องใช้เศษไม้ยางพารา 750 ตัน จะได้ขี้เถ้าไม้ยางพาราประมาณ 15 ตัน ส่งผลให้ปริมาณเถ้าไม้ยางพาราปัจจุบัน เกิดขึ้นจำนวนมาก และจำเป็นต้องจัดทำลายทิ้ง ซึ่งเป็นปัญหา ในการหาวิธีการในการกำจัดทิ้ง ที่สามารถลดต้นทุนการกำจัดทิ้งให้น้อยที่สุด และไม่ส่งผลเสียต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

เถ้าไม้ยางพาราที่เหลือจากการเผาไหม้ มีลักษณะเนื้อผงสีน้ำตาล มีองค์ประกอบทางเคมีสำคัญเป็นแคลเซียมออกไซด์ ประมาณร้อยละ 41 [3] ซึ่งมีค่าคุณสมบัติคล้ายกับปูนซีเมนต์ จัดเป็นสารปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C618 [4] โดยเริ่มมีการนำเถ้าไม้ยางพาราแทนที่บางส่วนของ

ปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสมคอนกรีต แต่การเพิ่มปริมาณของเถ้าเฝ้ายางพารา ทำให้ค่ากำลังอัดลดลง และมีการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้น [5]

จากปริมาณเถ้าเฝ้ายางพาราที่มีปริมาณมาก และความสามารถในการใช้เถ้าเฝ้ายางพาราแทนที่บางส่วนในส่วนผสมคอนกรีต ผู้วิจัยจึงมีแนวคิด ในการนำเถ้าเฝ้ายางพารา ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน เพื่อลดการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์และเพิ่มการใช้ปริมาณเถ้าเฝ้ายางพารา โดยทำการศึกษากำลังต้านทานแรงอัด แรงดัด และแรงดึง ของคอนกรีตที่ใช้เถ้าเฝ้ายางพารา แทนที่ปูนซีเมนต์ เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณเถ้าเฝ้ายางพารา ในส่วนผสมคอนกรีต สำหรับสร้างเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างสำเร็จรูป ส่งผลให้เกิดวิธีการกำจัดเถ้าเฝ้ายางพาราให้เกิดประสิทธิผล ลดต้นทุนการกำจัด มีผลประโยชน์ต่อชุมชน และสิ่งแวดล้อม สร้างงานวิจัยเพื่อพัฒนาเชิงพื้นที่และก่อให้เกิดคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป

2. วิธีการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

2.1.1 วัสดุประสาน

วัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษานี้ ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ชนิดใช้งานทั่วไป GU (General use) ดังรูปที่ 1b เป็นวัสดุประสานหลัก และ ซีเถ้าเฝ้ายางพารา (เถ้าเฝ้ายางพารา) ดังรูปที่ 1a ใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่บางส่วนในปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน



(a) ซีเถ้าเฝ้ายางพารา (b) ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก

รูปที่ 1 วัสดุประสาน

ซีเถ้าเฝ้ายางพาราที่ใช้เป็นซีเถ้าเฝ้ายางพาราจากกระบวนการเชื้อเพลิงชีวมวลผลิตกระแสไฟฟ้า ของ บริษัทพาวเนล พลัส จำกัด จังหวัดสงขลา มีลักษณะเป็นสีน้ำตาล ดังรูปที่ 1a มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 2.53 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย d_{50} เท่ากับ 86.9 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่างานวิจัยของ Mahamasuhaimi Masae และคณะ (2013) [6] โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย d_{50} เท่ากับ 35.4 ไมโครเมตร ส่วนปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 3.15 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย d_{50} เท่ากับ 15.8 ไมโครเมตร ดังแสดงในตารางที่ 1

การตรวจสอบสมบัติทางเคมี ดังตารางที่ 2 พบว่า ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก และซีเถ้าเฝ้ายางพารา มีองค์ประกอบทางเคมี ออกไซด์หลักใกล้เคียงกัน คือ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) อลูมินาออกไซด์ (Al₂O₃) และ เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe₂O₃) ทำให้ซีเถ้าเฝ้ายางพารามีแนวโน้มสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้ แต่ซีเถ้าเฝ้ายางพาราจะมีโพแทสเซียมออกไซด์ (K₂O) เป็นออกไซด์หลักด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hawa, A. และคณะ (2013) [7] ที่มีโพแทสเซียมออกไซด์ (K₂O) เท่ากับร้อยละ

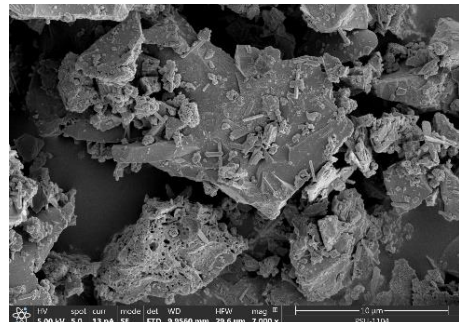
16.1 เป็นออกไซด์หลักด้วย ซึ่งอาจจะมาจากปุ๋ยในการเพาะปลูกเฝ้ายางพารา

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของวัสดุประสาน

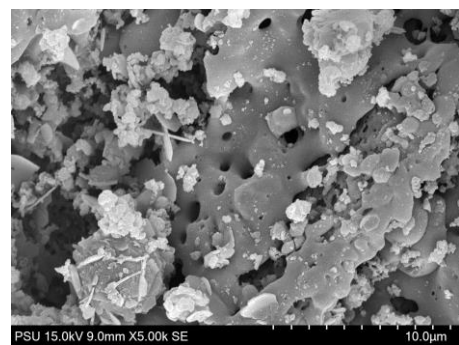
| วัสดุประสาน | ความถ่วงจำเพาะ | ขนาดอนุภาคเฉลี่ย d_{50} (ไมโครเมตร, μm) |
|-------------------------------------|----------------|---|
| ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ชนิดใช้งานทั่วไป | 3.15 | 15.8 |
| ซีเถ้าเฝ้ายางพารา (เถ้าเฝ้ายางพารา) | 2.53 | 86.9 |

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีของวัสดุประสาน

| องค์ประกอบทางเคมี | ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (%) | ซีเถ้าเฝ้ายางพารา (%) |
|---|------------------------|-----------------------|
| แคลเซียมออกไซด์ (CaO) | 62.1 | 31.9 |
| ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂) | 18.6 | 23.0 |
| อลูมินาออกไซด์ (Al ₂ O ₃) | 5.1 | 6.7 |
| เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃) | 4.1 | 3.8 |
| ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO ₃) | 3.4 | 4.4 |
| แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) | 1.9 | 3.2 |
| โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O) | 1.1 | 10.4 |
| ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂) | 0.4 | 0.6 |
| โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O) | 0.1 | 1.1 |
| ฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P ₂ O ₅) | 0.1 | 2.7 |
| คลอรีน (Cl) | - | 3.9 |
| การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) | 3.0 | 7.7 |



รูปที่ 2 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ชนิดใช้งานทั่วไป



รูปที่ 3 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของซีเถ้าเฝ้ายางพารา

จากภาพถ่ายขยายกำลังสูงอนุภาคโดยวิธี SEM (Scanning Electron Microscope) ดังรูปที่ 2 ลักษณะอนุภาคของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก มีลักษณะ ขรุขระไม่เรียบ เป็นเหลี่ยม และมีขนาดอนุภาคหลาย ๆ ขนาดปนกันอยู่ ทำให้มีคุณสมบัติประสานกันได้ดี ส่วนซีเมนต์ไม่ยางพารา รูปที่ 3 พบว่า มีลักษณะผิวค่อนข้างเรียบกว่าปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก พบมีรูพรุนของอนุภาคบางส่วน ขนาดอนุภาคมีหลาย ๆ ขนาดปนกันอยู่ แต่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใหญ่กว่าปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ซึ่งมีความสอดคล้องกับขนาดอนุภาคเฉลี่ย d_{50}

2.1.2 มวลรวมและสารลดน้ำพิเศษ

วัสดุมวลรวมประกอบด้วย มวลรวมหยาบ เป็นหินย่อยขนาดใหญ่สุดของมวลรวมเท่ากับ 9 มิลลิเมตร (หินเบอร์ 3/8 นิ้ว) มวลรวมละเอียดใช้ทรายแม่น้ำที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ค้างตะแกรงเบอร์ 200 และใช้เศษพลาสติกย่อย ขนาดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ค้างตะแกรงเบอร์ 200 โดยมีสมบัติทางกายภาพ ดังตารางที่ 3

น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำอย่างมาก F (Superplasticizer) เพื่อเพิ่มความสามารถเทได้ของคอนกรีตให้มีค่ายุบตัวระหว่าง 5-10 ซม.

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพของวัสดุมวลรวม

| วัสดุมวลรวม | ความถ่วงจำเพาะ | ค่าการดูดซึมน้ำ (%) |
|-----------------------|----------------|---------------------|
| หินย่อยเบอร์ 3/8 นิ้ว | 2.70 | 0.63 |
| ทรายแม่น้ำ | 2.60 | 0.86 |
| เศษพลาสติกย่อย | 1.31 | - |

2.2 ส่วนผสมคอนกรีต

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต ให้มีกำลังของคอนกรีตมากกว่า 180 กก./ซม.² ที่อายุบ่ม 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C 39 โดยกำหนดอัตราส่วนผสมควบคุมดังนี้ ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ปริมาณเท่ากับ 400 กก./ม.³ ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.50 รวมถึงใช้สารลดน้ำพิเศษเพื่อเพิ่มความสามารถเทได้โดยมีค่ายุบตัวในช่วง 5-10 ซม. ทุกส่วนผสม วัสดุมวลรวม ทรายมีปริมาณเท่ากับ 700 กก./ม.³ หินย่อยเบอร์ 3/8 นิ้ว มีปริมาณเท่ากับ 800 กก./ม.³ และใส่พลาสติกย่อยเพื่อลดหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ร้อยละ 25 โดยปริมาตรส่วนผสมทั้งหมด และในส่วนผสมอื่น ๆ จะทำการแทนค่าไม่ยางพาราร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ส่วนผสมคอนกรีต

| ตัวอย่าง | ส่วนผสมคอนกรีต กก./ม. ³ | | | | | | |
|----------|------------------------------------|----------------|------|-----|---------|-----|---------------|
| | ปูนซีเมนต์ | เก้าไม่ยางพารา | ทราย | หิน | พลาสติก | น้ำ | สารลดน้ำพิเศษ |
| CPF0 | 400 | 0 | 700 | 800 | 140 | 200 | 2.00 |
| CPF10 | 360 | 40 | 700 | 800 | 140 | 200 | 2.00 |
| CPF20 | 320 | 80 | 700 | 800 | 140 | 200 | 2.00 |
| CPF30 | 280 | 120 | 700 | 800 | 140 | 200 | 2.00 |
| CPF40 | 240 | 160 | 700 | 800 | 140 | 200 | 2.00 |

เมื่อ C คือ ปูนซีเมนต์, P คือ เศษพลาสติกย่อย และ F คือ เก้าไม่ยางพารา

2.3 การทดสอบ

2.3.1 การทดสอบกำลังอัด

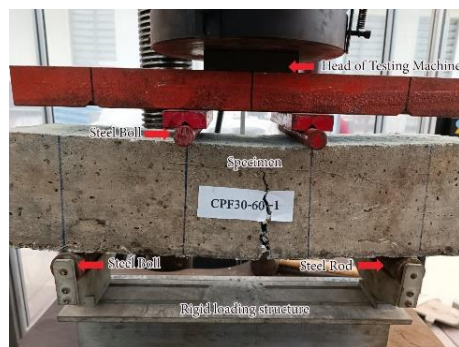
การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C 39 [8] ดังรูปที่ 4 โดยใช้ตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. หล่อตัวอย่างและถอดแบบหล่อหลังจากหล่อตัวอย่าง 24 ชั่วโมง จากนั้นบ่มในน้ำสะอาด รอทำการทดสอบกำลังอัดที่อายุบ่ม 7, 14, 28 และ 60 วัน แต่ละช่วงอายุบ่มจะใช้ตัวอย่าง จำนวน 3 ตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ยกำลังอัด



รูปที่ 4 การทดสอบกำลังอัด

2.3.2 การทดสอบกำลังดัด

การทดสอบกำลังดัดของคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C 78 [9] ดังรูปที่ 5 โดยใช้ตัวอย่างทรงลูกบาศก์ ขนาด 15x15 ซม. ระยะความยาวคานทดสอบ 45 ซม. หล่อตัวอย่างและถอดแบบหล่อหลังจากหล่อตัวอย่าง 24 ชั่วโมง จากนั้นบ่มในน้ำสะอาด รอทำการทดสอบกำลังดัดที่อายุบ่ม 28 และ 60 วัน แต่ละช่วงอายุบ่มจะใช้ตัวอย่าง จำนวน 3 ตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ยกำลังดัด



รูปที่ 5 การทดสอบกำลังดัด

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad (1)$$

เมื่อ R หมายถึงโมดูลัสแตกร้าว (กก./ซม.²), P หมายถึงน้ำหนักกดสูงสุด (กก.), L หมายถึงช่วงความยาวคาน (ซม.), b หมายถึงความกว้างของคาน (ซม.) และ d หมายถึงความลึกของคาน (ซม.)

2.3.3 การทดสอบกำลังดึง

การทดสอบกำลังดึงคอนกรีตแบบผ่าซีก ตามมาตรฐาน ASTM C 496 [10] ดังรูปที่ 6 โดยใช้ตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. หล่อตัวอย่างและถอดแบบหล่อหลังจากหล่อตัวอย่าง 24 ชั่วโมง จากนั้นบ่มในน้ำสะอาด รอทำการทดสอบกำลังดึงที่อายุบ่ม 28 และ 60 วัน แต่ละช่วงอายุบ่มจะใช้ตัวอย่าง จำนวน 3 ตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ยกำลังดึง



รูปที่ 6 การทดสอบกำลังดึงแบบผ่าซีก

$$T = \frac{2P}{\pi dL} \quad (2)$$

เมื่อ T หมายถึงกำลังต้านทานแรงดึงแบบผ่าซีก (กก./ซม.^2), P หมายถึงน้ำหนักกดสูงสุด (กก.), d หมายถึงเส้นผ่าศูนย์กลางของก้อนตัวอย่าง (ซม.) และ L หมายถึงความยาวของก้อนตัวอย่าง (ซม.)

3. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

คอนกรีตที่หล่อขึ้นรูปจากส่วนผสมที่กำหนด ลักษณะผิวคอนกรีตด้านนอกโดยรอบจะเรียบเหมือนกับคอนกรีตโดยทั่วไป แต่เมื่อพิจารณาเนื้อคอนกรีตภายในจะมีความขรุขระที่แตกต่างจากคอนกรีตโดยทั่วไป คือ มีปริมาณเศษพลาสติกย่อยที่แทนที่อยู่ในส่วนผสมของคอนกรีต ดังที่เห็นได้จากรูปที่ 7 ซึ่งเศษพลาสติกย่อยที่แทนที่อยู่ในส่วนผสมของคอนกรีตนี้ก็จะส่งผลต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตด้วย

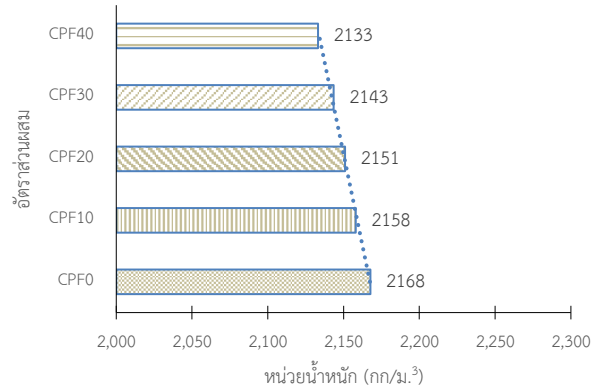


รูปที่ 7 ลักษณะของคอนกรีต

3.1 หน่วยน้ำหนัก

จากผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่ผ่านการหล่อขึ้นรูปจากรูปที่ 8 พบว่าหน่วยน้ำหนักจะมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตโดยทั่วไป โดย

ส่วนผสมควบคุมจะมีหน่วยน้ำหนักเฉลี่ย 2,168 กก./ม.^3 ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณเศษพลาสติกย่อยที่แทนที่อยู่ในส่วนผสมของคอนกรีต ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Suweero K. และคณะ (2020) [11] ที่ใช้ขวดพลาสติกสีประเภท PET และ PET ผสมอยู่ในส่วนผสมมอร์ต้าเป็นวัสดุปูพื้น โดยพบว่าเมื่อมีการเพิ่มพลาสติกจะทำให้หน่วยน้ำหนัก และกำลังอัด ลดลงตามลำดับ



รูปที่ 8 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตในแต่ละส่วนผสม

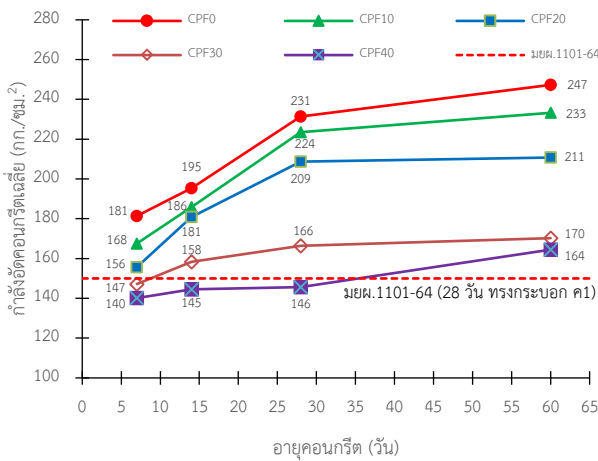
จากส่วนผสมคอนกรีตควบคุมเมื่อมีการเพิ่มปริมาณซีเมนต์ไม่เพียงพอจากร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน จากรูปที่ 8 พบว่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตจะลดลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณซีเมนต์ไม่เพียงพอ เนื่องจากซีเมนต์ไม่เพียงพอมีความหนาแน่นต่ำกว่าปูนซีเมนต์ เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์ไม่เพียงพอในส่วนผสมคอนกรีตบางส่วน ก็จะทำให้หน่วยน้ำหนักคอนกรีตหลังแข็งตัวจะลดลงตามปริมาณของซีเมนต์ไม่เพียงพอที่เพิ่มไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hawa, A. และคณะ (2013) [7] เมื่อผสมซีเมนต์ไม่เพียงพอในส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา จะทำให้หน่วยน้ำหนักลดลงตามปริมาณของซีเมนต์ไม่เพียงพอ

3.2 กำลังอัด

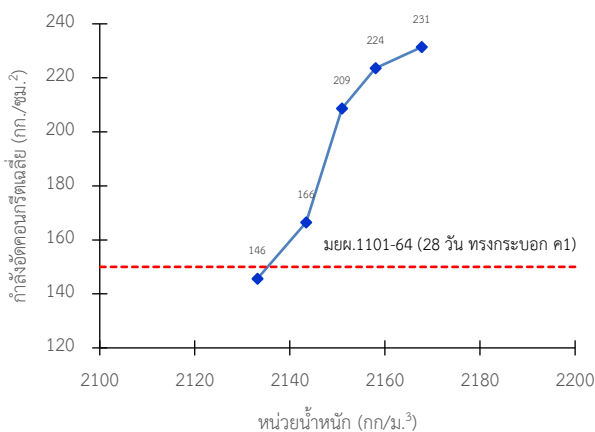
ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตพบว่า คอนกรีตส่วนผสมควบคุมจะมีค่ากำลังอัดสูงสุดเมื่อเทียบกับส่วนผสมอื่น ที่อายุบ่มคอนกรีต 28 วัน มีค่ากำลังอัดเฉลี่ย 231 กก./ซม.^2 โดยช่วง 7-28 วัน จะมีการพัฒนากำลังอัดอย่างสม่ำเสมอ แต่ช่วงอายุคอนกรีต 28-60 วัน จะพัฒนากำลังอัดน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด กำลังอัดสูงสุดที่อายุคอนกรีต 60 วัน เท่ากับ 247 กก./ซม.^2 และเมื่อมีการผสมซีเมนต์ไม่เพียงพอในส่วนผสมคอนกรีต พบว่า ช่วงร้อยละ 0-20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน การพัฒนากำลังอัดมีลักษณะใกล้เคียงกับคอนกรีตส่วนผสมควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 9 ในส่วนของกำลังอัดจะลดลงตามปริมาณการเพิ่มซีเมนต์ไม่เพียงพอในส่วนผสมคอนกรีต โดยกำลังอัดที่อายุบ่มคอนกรีต 28 วัน มีค่าลดลงร้อยละ 3 และ 10 เมื่อเทียบกับส่วนผสมควบคุม ของการผสมซีเมนต์ไม่เพียงพอร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาการผสมซีเมนต์ไม่เพียงพอร้อยละ 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน พบว่าการพัฒนาคอนกรีตจะแตกต่างกับคอนกรีตส่วนผสมควบคุมโดยจะพัฒนากำลัง

อัตราน้อยลง ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 9 แต่จะพัฒนากำลังอัดสม่ำเสมอตั้งแต่ อายุคอนกรีต 7-60 วัน กำลังอัดเมื่อเพิ่มซีเมนต์ไม่ย่างพาราในส่วนผสม คอนกรีต ที่อายุบ่มคอนกรีต 28 วัน มีค่าลดลงร้อยละ 28 และ 37 เมื่อเทียบกับส่วนผสมควบคุม ของการผสมซีเมนต์ไม่ย่างพาราร้อยละ 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ กำลังอัดที่ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ ซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีตสอดคล้องกับงานวิจัย [5, 7, 12,]

เมื่อพิจารณากำลังอัดที่นำไปใช้งาน ตามมาตรฐาน มยผ.1101-64 มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก [13] ระบุกำลังอัดประลัยต่ำสุด ที่อายุคอนกรีต 28 วัน ไม่น้อยกว่า 150 กก./ซม.² สำหรับใช้กับ โครงสร้างทั่วไป (ค1) จากผลการทดสอบกำลังอัด ที่อายุคอนกรีต 28 วัน พบว่า การผสมซีเมนต์ไม่ย่างพาราร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของ วัสดุประสาน ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มยผ.1101-64 สามารถใช้กับโครงสร้าง ทั่วไปได้



รูปที่ 9 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตในแต่ละส่วนผสม



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับหน่วยน้ำหนักคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน

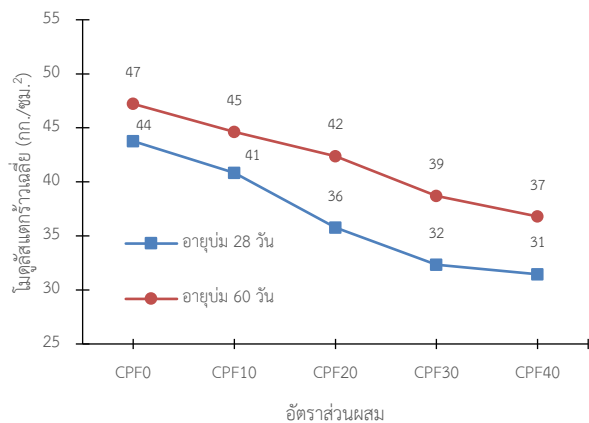
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของกำลังอัดกับหน่วยน้ำหนัก พบว่ากำลังอัดและหน่วยน้ำหนัก ของคอนกรีตมีความสัมพันธ์แปรผันโดยตรงกันทุก ส่วนผสม เมื่อ กำลังอัดลดลง หน่วยน้ำหนักก็ลดลงด้วย ดังรูปที่ 10 ซึ่ง

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kilic, A และคณะ (2009) [14] พบว่ากำลังของ คอนกรีตทั้งแรงอัดและแรงดัดขึ้นอยู่กับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตโดยตรง เมื่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลง ความแข็งแรงของคอนกรีตก็ยิ่งลดลง เช่นกัน

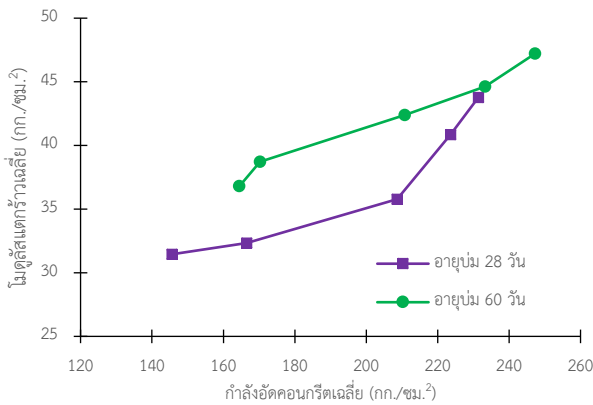
3.3 กำลังดัด

จากผลการทดสอบกำลังดัด ที่อายุบ่มคอนกรีต 28 และ 60 วัน พบว่า คอนกรีตส่วนผสมควบคุมมีค่าโมดูลัสแตกร้าสูงสุด และเมื่อมีการผสมซีเมนต์ไม่ย่างพาราในส่วนผสมคอนกรีต พบว่าค่าโมดูลัสแตกร้าจะลดลง ความสัมพันธ์จะเป็นลักษณะแปรผันตรงกัน หากพิจารณาที่อายุบ่ม คอนกรีต 28 วัน พบว่า เมื่อผสมซีเมนต์ไม่ย่างพาราในส่วนผสมคอนกรีตค่า โมดูลัสแตกร้าจะลดลงจากคอนกรีตส่วนผสมควบคุมร้อยละ 7, 18, 26 และ 28 ของปริมาณการเพิ่มซีเมนต์ไม่ย่างพาราร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ และหากพิจารณาที่อายุบ่ม คอนกรีต 60 วัน พบว่าทุกส่วนผสมจะมีค่าโมดูลัสแตกร้าเพิ่มขึ้น จากอายุ บ่มคอนกรีต 28 วัน ร้อยละ 8, 9, 18, 20 และ 17 ของส่วนผสมควบคุม ส่วนผสมที่ผสมซีเมนต์ไม่ย่างพาราร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ของวัสดุประสาน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 11

ค่าโมดูลัสแตกร้า ที่อายุบ่มคอนกรีต 28 และ 60 วัน พบว่าจะแปรผัน ตรงกับกำลังรับแรงอัด เมื่อกำลังอัดเพิ่มขึ้น ค่าโมดูลัสแตกร้าก็จะมากตาม ไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 12 หากตามมาตรฐานของ ASTM C78 จะ พิจารณากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตภายใต้แรงดัด คำนวณจากสูตรการดัด โดยตามมาตรฐานการออกแบบสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก กำหนดให้ค่าโมดูลัสแตกร้ามีค่าเท่ากับ $2.0\sqrt{f_c'}$ [15] จากผลการทดสอบ ที่อายุคอนกรีต 28 วัน พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังดัดกับกำลังอัดในทุก ส่วนผสมมีค่าเท่ากับ $2.9\sqrt{f_c'}$, $2.7\sqrt{f_c'}$, $2.5\sqrt{f_c'}$, $2.5\sqrt{f_c'}$ และ $2.6\sqrt{f_c'}$ ของส่วนผสมควบคุม ส่วนผสมที่ผสมซีเมนต์ไม่ย่างพาราร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ



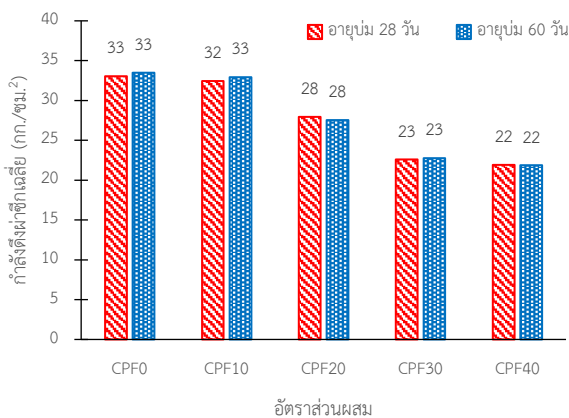
รูปที่ 11 ผลการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตในแต่ละส่วนผสม



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสแตกร้าวกับกำลังอัดของคอนกรีต

3.4 กำลังดึง

จากผลการทดสอบกำลังดึงแบบผ่าซีกที่อายุบ่มคอนกรีต 28 และ 60 วัน พบว่าคอนกรีตส่วนผสมควบคุมมีค่ากำลังดึงสูงสุด เมื่อมีการผสมซีเมนต์ไม่ยางพาราในส่วนผสมคอนกรีตทำให้ค่ากำลังดึงมีค่าลดลง โดยพบว่าที่อายุบ่มคอนกรีต 28 วัน การผสมซีเมนต์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน มีค่าแรงดึงใกล้เคียงคอนกรีตส่วนผสมควบคุมมากที่สุด และเมื่อผสมซีเมนต์ร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ค่ากำลังดึงจะลดลงร้อยละ 15, 32 และ 34 เมื่อเทียบกับคอนกรีตส่วนผสมควบคุมตามลำดับ ในส่วนของการพัฒนา กำลังดึงของคอนกรีตในช่วง 28-60 วัน พบว่า กำลังดึงของคอนกรีตไม่พัฒนา กำลังดึงเพิ่มขึ้นหลังผ่าน 28 วัน ในทุกส่วนผสม ดังแสดงในรูปที่ 13

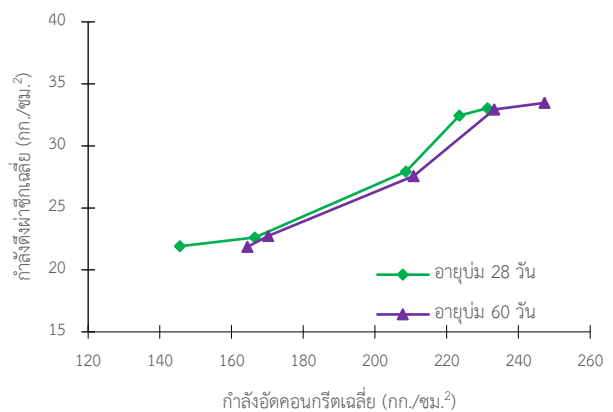


รูปที่ 13 ผลการทดสอบกำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตในแต่ละส่วนผสม

กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต พบว่า มีความสัมพันธ์กับกำลังอัดของคอนกรีต ทุกส่วนผสม ที่อายุบ่มคอนกรีต 28 และ 60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 14 โดยทั่วไปสำหรับคอนกรีตธรรมดา มีค่าความสัมพันธ์ในช่วง $1.59\sqrt{f_c'} - 1.86\sqrt{f_c'}$ และสำหรับคอนกรีตน้ำหนักเบา มีค่า $1.33\sqrt{f_c'} - 1.59\sqrt{f_c'}$ [15] จากผลการทดสอบกำลังดึงและอัด ที่อายุบ่มคอนกรีต 28 วันพบว่า ความสัมพันธ์แรงดึงแบบผ่าซีกกับกำลังอัดของคอนกรีตมีค่า

$2.17\sqrt{f_c'}$, $2.17\sqrt{f_c'}$, $1.93\sqrt{f_c'}$, $1.75\sqrt{f_c'}$ และ $1.82\sqrt{f_c'}$ ของส่วนผสมควบคุม ส่วนผสมที่ผสมซีเมนต์ไม่ยางพาราร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าคอนกรีตทั่วไปเล็กน้อยเนื่องจากคุณสมบัติการยึดเหนี่ยวกันของพลาสติกกับส่วนผสมคอนกรีต จึงส่งผลให้มีประสิทธิภาพการรับแรงดึงได้ดีขึ้น

และหากเปรียบเทียบแรงดึงจาก ค่าโมดูลัสแตกร้าวภายใต้แรงดัด กับ กำลังดึงแบบผ่าซีก กำลังดึงภายใต้แรงดัดจะให้ค่ากำลังรับแรงดึงสูงกว่าเนื่องจากหน่วยแรงอัดของการทดสอบแรงดัดกระจายตัวไม่เป็นเส้นตรงขณะเกิดการวิบัติ แต่ทั้งแรงดึงภายใต้แรงดัด และแรงดึงแบบผ่าซีก มีความสัมพันธ์กับกำลังแรงอัดของคอนกรีต ดังที่เห็นได้จากผลการทดสอบในทุกส่วนผสม และทุกช่วงอายุของคอนกรีต



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงผ่าซีกกับกำลังอัดของคอนกรีต

4. สรุปผลการวิจัย

การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์ไม่ยางพารา ร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ส่งผลให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลงเล็กน้อยตามปริมาณการเพิ่มซีเมนต์ไม่ยางพาราในส่วนผสมคอนกรีต โดยหน่วยน้ำหนักทุกส่วนผสม อยู่ในช่วง 2,100 – 2,200 กก./ม.³

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์ไม่ยางพารา ที่อายุบ่มคอนกรีต 28 วัน มีค่าลดลงร้อยละ 3, 10, 28 และ 37 เมื่อเทียบกับคอนกรีตส่วนผสมควบคุม จากการผสมซีเมนต์ไม่ยางพาราร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ

เมื่อพิจารณา กำลังอัดที่นำไปใช้งาน ตามมาตรฐาน มยพ.1101-64 กำลังอัดประลัยต่ำสุด ที่อายุคอนกรีต 28 วัน ไม่น้อยกว่า 150 กก./ชม.² พบว่าการผสมซีเมนต์ไม่ยางพาราร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มยพ.1101-64 สามารถใช้กับโครงสร้างทั่วไปได้ และการผสมซีเมนต์ไม่ยางพาราร้อยละ 20 รับกำลังอัดเฉลี่ย 209 กก./ชม.² เหมาะสำหรับการใช้เป็นคอนกรีตสำหรับชิ้นส่วนสำเร็จรูปได้

ผลการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีต แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์ไม่ยางพารา ที่อายุบ่มคอนกรีต 28 วัน พบว่า ค่าโมดูลัสแตกร้าวจะลดลง ร้อยละ 7, 18, 26 และ 28 เมื่อเทียบกับคอนกรีตส่วนผสมควบคุม จากปริมาณ

การผสมซีเมนต์อย่างพาราไร้อยู่ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ

ผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์อย่างพารา ด้วยวิธีดึงแบบผ่าซีก ที่อายุบ่มคอนกรีต 28 วัน พบว่าเมื่อมีการผสมซีเมนต์อย่างพาราในส่วนผสมคอนกรีตทำให้ค่ากำลังดึงมีค่าลดลง โดยการผสมซีเมนต์อย่างพารา 10 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน มีค่าใกล้เคียงคอนกรีตส่วนผสมควบคุม และเมื่อผสมซีเมนต์อย่างพารา 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ค่ากำลังดึงจะลดลงร้อยละ 15, 32 และ 34 เมื่อเทียบกับคอนกรีตส่วนผสมควบคุม ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ ท่านอดทนการวิจัยประเภทเงินรายได้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 ประเภททุนวิจัยเพื่อการพัฒนางานวิจัย สิ่งประดิษฐ์ และนวัตกรรม ขอขอบคุณ บริษัท พาเนล พลาสติก จำกัด จังหวัดสงขลา ที่ให้การสนับสนุนวัสดุที่ใช้ในการทำวิจัย และส่งเสริมให้งานวิจัยบรรลุตามวัตถุประสงค์

เอกสารอ้างอิง

- [1] คณะกรรมการพัฒนาคุณภาพด้านการเกษตร (2564). ยางพารา 2564. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th>.
- [2] อาบีดิน ดะซซาเมาะ, จินดา มะมิง, โนรีสะ ราแดง และ ยาเซ็ง อาแว (2554). สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของอิฐที่มีส่วนผสมของ เถ้าไม้ยางพารา. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1, หน้า 25-35.
- [3] อาบีเต็ง ฮาวา และ ดนุพล ตันนโยภาส (2551). ผลกระทบของเถ้าลอยไม้ยางพาราที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตมวลรวมผสม. *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6*, สงขลา, 8-9 พฤษภาคม 2551, หน้า 115-120.
- [4] ASTM C618, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete.
- [5] ทวิช กล้าแท้, นกตล ศรีภักดี, ชยณัฐ บัวทองเกื้อ และ นฤพล ตีดาช (2563). การใช้ประโยชน์จากเถ้าไม้ยางพาราในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, ปีที่ 12, ฉบับที่ 1, หน้า 36-48.
- [6] Masae, M., Kongsong P., Phoempoon, P., Rawangwong, S. and Sririkun W. (2013). Application of rubber wood ash for removal nickel and copper from aqueous solution. *Environment and Natural Resources Journal*, 11.2, pp 17-27.
- [7] Hawa, A. and Tonnyopas, D. (2013). Lightweight aggregate concrete blended with rice husk ash and para rubber

wood fly ash. In *11th International Conference on Mining, Materials and Petroleum Engineering*, pp.11-13.

- [8] ASTM C 39, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- [9] ASTM C 78, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).
- [10] ASTM C 496, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- [11] Suweero, K. and Prachoom K. (2020). Development of Interlocking Concrete Paving Block Product Mixed with Colored Polyethylene Terephthalate Plastic Bottle from Post-Consumer Waste. *Journal of Engineering, RMUTT* 18.1, pp.81-90.
- [12] Dumrongsil, S. (2018). The Investigation of Pozzolan Reaction of Rice Husk Ash Blended with Fly Ash by Accelerated Curing. *RMUTP Research Journal*, 12(1), pp.40-52
- [13] มยพ.1101-64 (2564). มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก. *มาตรฐานกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมืองกระทรวงมหาดไทย*. หน้า 1-31.
- [14] Kilit, A., Atis, C.D., Teymen, A., Karahan, O. and Kamuran Ari (2009). The effects of scoria and pumice aggregates on the strengths and unit weights of lightweight concrete. *Scientific Research and Essay*, 10(4), pp.961-965.
- [15] แก้วตา ตีอิง, นัฐวุฒิ ทิพย์โยธา, เกียรติศักดิ์ แก้วกุลชัย และ ธนกร ทวีวุฒิ (2552). การศึกษากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14, นครราชสีมา*, 13-15 พฤษภาคม 2552, หน้า 1667-1672.