The Strength of Concrete with Rubber Wood Ash for Prefabricated Structure

1, 2 3

[1,2,3] สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา
*Corresponding author; E-mail address: thaweesak.t@rmutsv.ac.th

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังต้านทานแรงอัด แรงดัด และแรงดึง ของคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยจากขี้เถ้าไม้ยางพารา (เถ้าลอยไม้ยางพารา) แทนที่ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน และใช้เศษพลาสติกย่อยแทนที่มวลรวมที่อัตราส่วนร้อยละ 25 โดยปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมด ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 และใส่น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำอย่างมาก 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 ที่อายุบ่ม 28 วัน มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของเถ้าลอยจากไม้ยางพาราในส่วนผสมคอนกรีต อย่างไรก็ตาม คอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา้อยละ 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/m^3. 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.

ปัจจุบันไม้ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของไทย มีพื้นที่เพาะปลูกเป็นอันดับสองของโลก โดยประเทศไทยมีเนื้อที่ปลูกยางพาราไม่ต่ำกว่า 22 ล้านไร่ ภาคใต้เป็นแหล่งผลิตสำคัญ และมีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุดของประเทศ [1] หลังจากไม้ยางพาราที่ไม่สามารถผลิตน้ำยางได้ เกษตรกรจะโค่นต้นยางพาราเก่าขายให้กับอุตสาหกรรมอื่น มีการโค่นต้น

ปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต แต่การเพิ่มปริมาณของเถ้าไม้ยางพารา ทำให้ค่ากำลังอัดลดลง และมีการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้น [5]

จากปริมาณเถ้าไม้ยางพาราที่มีปริมาณมาก และความสามารถในการใช้เถ้าไม้ยางพาราแทนที่บางส่วนในส่วนผสมคอนกรีต ผู้วิจัยจึงมีแนวคิด ในการนำเถ้าไม้ยางพารา ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน เพื่อลดการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์และเพิ่มการใช้ปริมาณเถ้าไม้ยางพารา โดยทำการศึกษากำลังต้านทานแรงอัด แรงดัด และแรงดึง ของคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยจากขี้เถ้าไม้ยางพารา แทนที่ปูนซีเมนต์ เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณเถ้าไม้ยางพารา ในส่วนผสมคอนกรีต สำหรับสร้างเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างสำเร็จรูป ส่งผลให้เกิดวิธีการกำจัดเถ้าไม้ยางพาราให้เกิดประสิทธิผล ลดต้นทุนการกำจัด มีผลประโยชน์ต่อชุมชน และสิ่งแวดล้อม สร้างงานวิจัยเพื่อพัฒนาเชิงพื้นที่และก่อให้เกิดคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป

2.

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

2.1.1 วัสดุประสาน

วัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ชนิดใช้งานทั่วไป GU (General use) ดังรูปที่ 1b เป็นวัสดุประสานหลัก และ ขี้เถ้าไม้ยางพารา (เถ้าลอยไม้ยางพารา) ดังรูปที่ 1a ใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่บางส่วนในปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน



(a) ขี้เถ้าไม้ยางพารา (b) ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก

1 วัสดุประสาน

ขี้เถ้าไม้ยางพาราที่ใช้เป็นขี้เถ้าจากกระบวนการเชื้อเพลิงชีวมวลผลิตกระแสไฟฟ้า ของ บริษัทพาเนล พลัส จำกัด จังหวัดสงขลา ผงมีลักษณะเป็นสีน้ำตาล 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 ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกและขี้เถ้าไม้ยางพารา มีองค์ประกอบทางเคมี ออกไซด์หลักใกล้เคียงกัน คือ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) และ เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ทำให้ขี้เถ้าไม้ยางพารามีแนวโน้มสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้ แต่ขี้เถ้าไม้ยางพาราจะมีโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) เป็นออกไซด์หลักด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hawa, A. และคณะ (2013) [7] ที่มีโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) เท่ากับร้อยละ 16.1 เป็นออกไซด์หลักด้วย ซึ่งอาจจะมาจากปุ๋ยในการเพาะปลูกไม้ยางพารา

สมบัติทางกายภาพของวัสดุประสาน

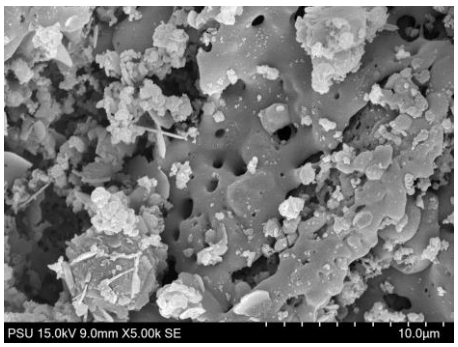
วัสดุประสาน	ความถ่วงจำเพาะ	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย d_{50} (ไมโครเมตร, μm)
ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ชนิดใช้งานทั่วไป	3.15	15.8
ขี้เถ้าไม้ยางพารา (เถ้าลอยไม้ยางพารา)	2.53	86.9

สมบัติทางเคมีของวัสดุประสาน

องค์ประกอบทางเคมี	ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (%)	ขี้เถ้าไม้ยางพารา (%)
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	62.1	31.9
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)	18.6	23.0
อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3)	5.1	6.7
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3)	4.1	3.8
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3)	3.4	4.4
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	1.9	3.2
โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	1.1	10.4
ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)	0.4	0.6
โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)	0.1	1.1
ฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์(P2O5)	0.1	2.7
คลอรีน (Cl)	-	3.9
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา(LOI)	3.0	7.7



ภาพถ่ายขยายอนุภาคของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ชนิดใช้งานทั่วไป



ภาพถ่ายขยายอนุภาคของขี้เถ้าไม้ยางพารา

จากภาพถ่ายขยายกำลังสูงอนุภาคโดยวิธี SEM (Scanning Electron Microscope) ดังรูปที่ 2 ลักษณะอนุภาคของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก มีลักษณะ ขรุขระไม่เรียบ เป็นเหลี่ยม และมีขนาดอนุภาคหลาย ๆ ขนาดปนกันอยู่ ทำให้มีคุณสมบัติยึดประสานกันได้ดี ส่วนขี้เถ้าไม้ยางพารา 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.

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 จะทำการแทนเถ้าไม้ยางพาราร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ดังแสดงในตารางที่ 4

ส่วนผสมคอนกรีต

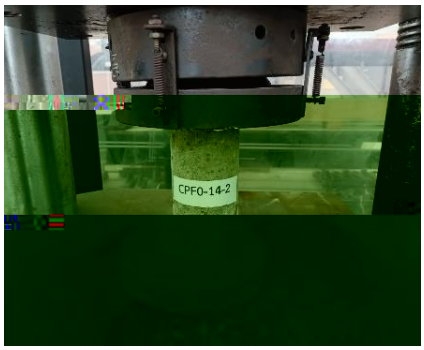
ตัวอย่าง	ส่วนผสมคอนกรีต กก./ม.^{3}						
	ปูนซีเมนต์	เถ้าไม้ยางพารา	ทราย	หิน	พลาสติก	น้ำ	สารลดน้ำพิเศษ
CPF0	400	0	700	800	140	200	2.00
CPF10	360	40	700	800	140	200	2.00
CPF20	320	80	700	800	140	200	2.00
CPF30	280	120	700	800	140	200	2.00
CPF40	240	160	700	800	140	200	2.00

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

2.3 การทดสอบ

2.3.1 การทดสอบกำลังอัด

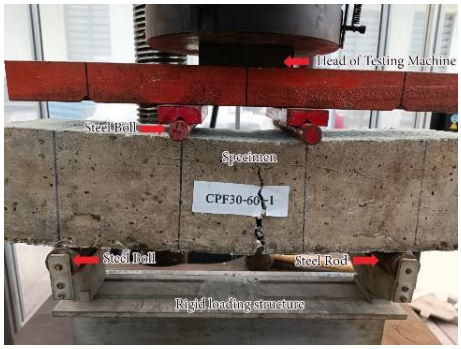
การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C 39 [8] ดังรูปที่ 4 โดยใช้ตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. หล่อตัวอย่างและถอดแบบหล่อหลังจากหล่อตัวอย่าง 24 ชั่วโมง จากนั้นบ่มในน้ำสะอาด รอทำการทดสอบกำลังอัดที่อายุบ่ม 7, 14, 28 และ 60 วัน แต่ละช่วงอายุบ่มจะใช้ตัวอย่าง จำนวน 3 ตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ยกำลังอัด



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



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



การทดสอบกำลังดึงแบบผ่าฉีก

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

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

3.

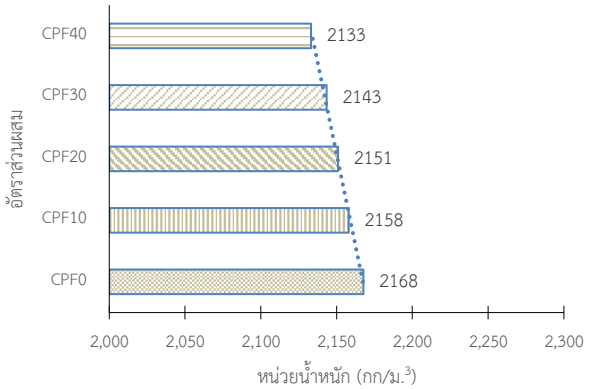
คอนกรีตที่หล่อขึ้นรูปจากส่วนผสมที่กำหนด ลักษณะผิวคอนกรีตด้านนอกโดยรอบจะเรียบเหมือนกับคอนกรีตโดยทั่วไป แต่เมื่อพิจารณาเนื้อคอนกรีตภายในจะมีความขรุขระที่แตกต่างจากคอนกรีตโดยทั่วไป คือ มีปริมาณเศษพลาสติกย่อยที่แทนที่อยู่ในส่วนผสมของคอนกรีต ดังที่เห็นได้จากรูปที่ 7 ซึ่งเศษพลาสติกย่อยที่แทนที่อยู่ในส่วนผสมของคอนกรีตนี้ก็จะมีผลต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตด้วย



ลักษณะของคอนกรีต

3.1 หน่วยน้ำหนัก

จากผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่ผ่านการหล่อขึ้นรูปจากรูปที่ 8 พบว่าหน่วยน้ำหนักจะมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตโดยทั่วไป โดยส่วนผสมควบคุมจะมีหน่วยน้ำหนักเฉลี่ย 2,168 กก./ม.^{3} ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณเศษพลาสติกย่อยที่แทนที่อยู่ในส่วนผสมของคอนกรีต ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Suweero K. และคณะ (2020) [11] ที่ใช้ขวดพลาสติกสีประเภท PET และ PET ผสมอยู่ในส่วนผสมมอร์ต้าเป็นวัสดุปูพื้น โดยพบว่าเมื่อมีการเพิ่มพลาสติกจะทำให้หน่วยน้ำหนัก และกำลังอัด ลดลงตามลำดับ



หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตในแต่ละส่วนผสม

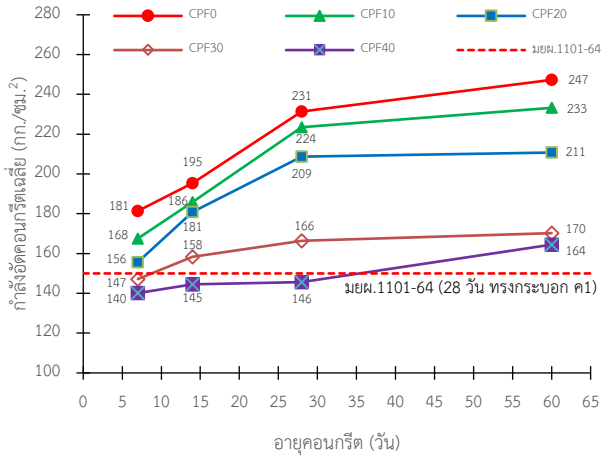
จากส่วนผสมคอนกรีตควบคุมเมื่อมีการเพิ่มปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพาราจากร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน จากรูปที่ 8 พบว่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตจะลดลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเถ้าไม้ยางพารา เนื่องจากขี้เถ้าไม้ยางพารามีความหนาแน่นต่ำกว่าปูนซีเมนต์ เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยขี้เถ้าไม้ยางพาราในส่วนผสมคอนกรีตบางส่วน ก็จะทำให้หน่วยน้ำหนักคอนกรีตหลังแข็งตัวจะลดลงตามปริมาณของขี้เถ้าไม้ยางพาราที่เพิ่มไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hawa, A. และคณะ (2013) [7] เมื่อผสมเถ้าไม้ยางพาราในส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา จะทำให้หน่วยน้ำหนักลดลงตามปริมาณของเถ้าไม้ยางพารา

3.2 กำลังอัด

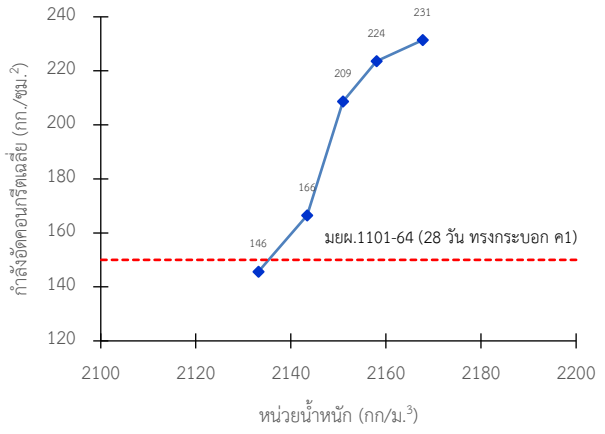
ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตพบว่า คอนกรีตส่วนผสมควบคุมจะมีค่ากำลังอัดสูงสุดเมื่อเทียบกับส่วนผสมอื่น ที่อายุบ่มคอนกรีต 28 วัน มีค่ากำลังอัดเฉลี่ย 231 กก./ซม.^{2} โดยช่วง 7-28 วัน จะมีการพัฒนากำลังอัดอย่างสม่ำเสมอ แต่ช่วงอายุคอนกรีต 28-60 วัน จะพัฒนากำลังอัดน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด กำลังอัดสูงสุดที่อายุคอนกรีต 60 วัน เท่ากับ 247 กก./ซม.^{2} และเมื่อมีการผสมขี้เถ้าไม้ยางพาราในส่วนผสมคอนกรีต พบว่า ช่วงร้อยละ 0-20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน การพัฒนากำลังอัดมีลักษณะใกล้เคียงกับคอนกรีตส่วนผสมควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 9 ในส่วนของกำลังอัดจะลดลงตามปริมาณการเพิ่มขี้เถ้าไม้ยางพาราในส่วนผสมคอนกรีต โดยกำลังอัดที่อายุบ่มคอนกรีต 28 วัน มีค่าลดลงร้อยละ 3 และ 10 เมื่อเทียบกับส่วนผสมควบคุม ของการผสมเถ้าไม้ยางพารา ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาการผสมขี้เถ้าไม้ยางพารา ร้อยละ 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน พบว่าการพัฒนาคอนกรีตจะแตกต่างกับคอนกรีตส่วนผสมควบคุมโดยจะพัฒนากำลัง

อัดน้อยลง ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 9 แต่จะพัฒนากำลังอัดสม่ำเสมอตั้งแต่อายุคอนกรีต 7-60 วัน กำลังอัดเมื่อเพิ่มขี้เถ้าไม้ยางพาราในส่วนผสมคอนกรีต ที่อายุบ่มคอนกรีต 28 วัน มีค่าลดลงร้อยละ 28 และ 37 เมื่อเทียบกับส่วนผสมควบคุม ของการผสมเถ้าไม้ยางพาราร้อยละ 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ กำลังอัดที่ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณขี้เถ้าในส่วนผสมคอนกรีตสอดคล้องกับงานวิจัย [5, 7, 12,]

เมื่อพิจารณากำลังอัดที่นำไปใช้งาน ตามมาตรฐาน มยผ.1101-64 มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก [13] ระบุกำลังอัดประลัยต่ำสุด ที่อายุคอนกรีต 28 วัน ไม่น้อยกว่า 150 กก./ซม^2 สำหรับใช้กับโครงสร้างทั่วไป (ค1) จากผลการทดสอบกำลังอัด ที่อายุคอนกรีต 28 วัน พบว่า การผสมขี้เถ้าไม้ยางพาราร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มยผ.1101-64 สามารถใช้กับโครงสร้างทั่วไปได้



9 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตในแต่ละส่วนผสม



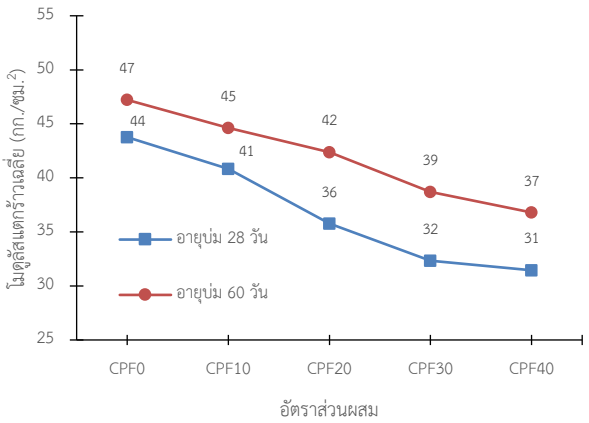
ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับหน่วยน้ำหนักคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของกำลังอัดกับหน่วยน้ำหนัก พบว่ากำลังอัดและหน่วยน้ำหนัก ของคอนกรีตมีความสัมพันธ์แปรผันโดยตรงกันทุกส่วนผสม เมื่อ กำลังอัดลดลง หน่วยน้ำหนักก็ลดลงด้วย ดังรูปที่ 10 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kilic, A และคณะ (2009) [14] พบว่ากำลังของคอนกรีตทั้งแรงอัดและแรงดัดขึ้นอยู่กับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตโดยตรง เมื่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลง ความแข็งแรงของคอนกรีตก็ยิ่งลดลงเช่นกัน

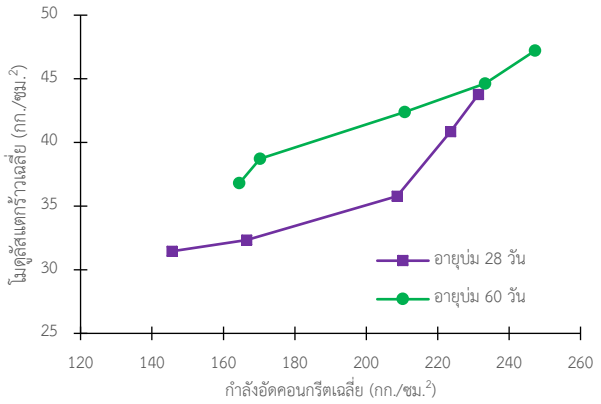
3.3 กำลังดัด

จากผลการทดสอบกำลังดัด ที่อายุบ่มคอนกรีต 28 และ 60 วัน พบว่าคอนกรีตส่วนผสมควบคุมมีค่าโมดูลัสแตกร้าวสูงสุด และเมื่อมีการผสมขี้เถ้าไม้ยางพาราในส่วนผสมคอนกรีต พบว่าค่าโมดูลัสแตกร้าวจะลดลง ความสัมพันธ์จะเป็นลักษณะแปรผันตรงกัน หากพิจารณาที่อายุบ่มคอนกรีต 28 วัน พบว่า เมื่อผสมขี้เถ้าไม้ยางพาราในส่วนผสมคอนกรีตค่าโมดูลัสแตกร้าวจะลดลงจากคอนกรีตส่วนผสมควบคุมร้อยละ 7, 18, 26 และ 28 ของปริมาณการเพิ่มขี้เถ้าไม้ยางพาราร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ และหากพิจารณาที่อายุบ่มคอนกรีต 60 วัน พบว่าทุกส่วนผสมจะมีค่าโมดูลัสแตกร้าวเพิ่มขึ้น จากอายุบ่มคอนกรีต 28 วัน ร้อยละ 8, 9, 18, 20 และ 17 ของส่วนผสมควบคุม ส่วนผสมที่ผสมขี้เถ้าไม้ยางพาราร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 11

ค่าโมดูลัสแตกร้าว ที่อายุบ่มคอนกรีต 28 และ 60 วัน พบว่าจะแปรผันตรงกับกำลังรับแรงอัด เมื่อกำลังอัดเพิ่มขึ้น ค่าโมดูลัสแตกร้าวก็จะมากตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 12 หากตามมาตรฐานของ ASTM C78 จะพิจารณากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตภายใต้แรงดัด คำนวณจากสูตรการดัด โดยตามมาตรฐานการออกแบบสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก กำหนดให้ค่าโมดูลัสแตกร้าวมีค่าเท่ากับ $2.0\sqrt{fc'}$ [15] จากผลการทดสอบที่อายุคอนกรีต 28 วัน พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังดัดกับกำลังอัดในทุกส่วนผสมมีค่าเท่ากับ $2.9\sqrt{fc'}$, $2.7\sqrt{fc'}$, $2.5\sqrt{fc'}$, $2.5\sqrt{fc'}$ และ $2.6\sqrt{fc'}$ ของส่วนผสมควบคุม ส่วนผสมที่ผสมขี้เถ้าไม้ยางพาราร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ



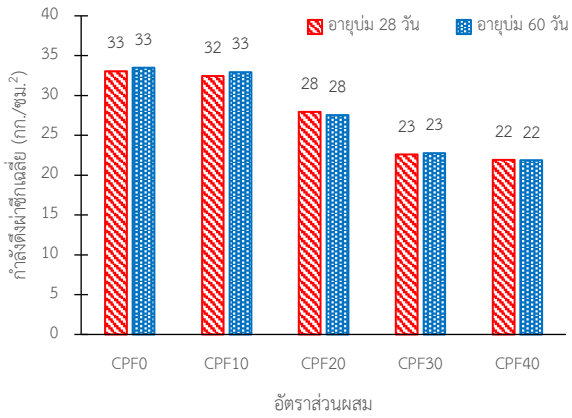
ผลการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตในแต่ละส่วนผสม



ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสแตกร้าวกับกำลังอัดของคอนกรีต

3.4 กำลังดึง

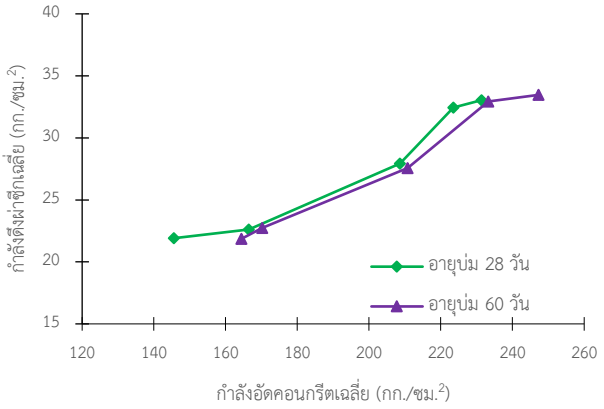
จากผลการทดสอบกำลังดึงแบบผ่าซีกที่อายุบ่มคอนกรีต 28 และ 60 วัน พบว่าคอนกรีตส่วนผสมควบคุมมีค่ากำลังดึงสูงสุด เมื่อมีการผสมขี้เถ้าไม้ยางพาราในส่วนผสมคอนกรีตทำให้ค่ากำลังดึงมีค่าลดลง โดยพบว่าที่อายุบ่มคอนกรีต 28 วัน การผสมขี้เถ้าร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน มีค่าแรงดึงใกล้เคียงคอนกรีตส่วนผสมควบคุมมากที่สุด และเมื่อผสมขี้เถ้าร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ค่ากำลังดึงจะลดลงร้อยละ 15, 32 และ 34 เมื่อเทียบกับคอนกรีตส่วนผสมควบคุม ตามลำดับ ในส่วนของการพัฒนากำลังดึงของคอนกรีตในช่วง 28-60 วัน พบว่า กำลังดึงของคอนกรีตไม่พัฒนากำลังดึงเพิ่มขึ้นหลังผ่าน 28 วัน ในทุกส่วนผสม ดังแสดงในรูปที่ 13



ผลการทดสอบกำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตในแต่ละส่วนผสม

กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต พบว่า มีความสัมพันธ์กับกำลังอัดของคอนกรีต ทุกส่วนผสม ที่อายุบ่มคอนกรีต 28 และ 60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 14 โดยทั่วไปสำหรับคอนกรีตธรรมดา มีค่าความสัมพันธ์ในช่วง $1.59\sqrt{fc'}$ - $1.86\sqrt{fc'}$ และสำหรับคอนกรีตน้ำหนักเบามีค่า $1.33\sqrt{fc'}$ - $1.59\sqrt{fc'}$ [15] จากผลการทดสอบกำลังดึงและอัด ที่อายุบ่มคอนกรีต 28 วันพบว่า ความสัมพันธ์แรงดึงแบบผ่าซีกกับกำลังอัดของคอนกรีตมีค่า $2.17\sqrt{fc'}$, $2.17\sqrt{fc'}$, $1.93\sqrt{fc'}$, $1.75\sqrt{fc'}$ และ $1.82\sqrt{fc'}$ ของส่วนผสมควบคุม ส่วนผสมที่ผสมขี้เถ้าไม้ยางพาราร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าคอนกรีตทั่วไปเล็กน้อยเนื่องจากคุณสมบัติการยึดเหนี่ยวกันของพลาสติกกับส่วนผสมคอนกรีต จึงส่งผลให้มีประสิทธิภาพการรับแรงดึงได้ดีขึ้น

และหากเปรียบเทียบแรงดึงจาก ค่าโมดูลัสแตกร้าวภายใต้แรงดัด กับกำลังดึงแบบผ่าซีก กำลังดึงภายใต้แรงดัดจะให้ค่ากำลังรับแรงดึงสูงกว่า เนื่องจากหน่วยแรงอัดของการทดสอบแรงดัดกระจายตัวไม่เป็นเส้นตรง ขณะเกิดการวิบัติ แต่ทั้งแรงดึงภายใต้แรงดัด และแรงดึงแบบผ่าซีก มีความสัมพันธ์กับกำลังแรงอัดของคอนกรีต ดังที่เห็นได้จากผลการทดสอบในทุกส่วนผสม และทุกช่วงอายุของคอนกรีต



ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงผ่าซีกกับกำลังอัดของคอนกรีต

4.

การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยขี้เถ้าไม้ยางพารา ร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ส่งผลให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลงเล็กน้อยตามปริมาณการเพิ่มขี้เถ้าไม้ยางพาราในส่วนผสมคอนกรีต โดยหน่วยน้ำหนักทุกส่วนผสม อยู่ในช่วง 2,100 – 2,200 กก./ม.^{3}

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

เมื่อพิจารณากำลังอัดที่นำไปใช้งาน ตามมาตรฐาน มยผ.1101-64 กำลังอัดประลัยต่ำสุด ที่อายุคอนกรีต 28 วัน ไม่น้อยกว่า 150 กก./ซม^2 พบว่าการผสมขี้เถ้าไม้ยางพาราร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มยผ.1101-64 สามารถใช้กับโครงสร้างทั่วไปได้ และการผสมขี้เถ้าไม้ยางพาราร้อยละ 20 รับกำลังอัดเฉลี่ย 209 กก./ซม.^{2} เหมาะสำหรับใช้เป็นคอนกรีตสำหรับชิ้นส่วนสำเร็จรูปได้

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

การผสมขี้เถ้าไม้ยางพาร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ

ผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยขี้เถ้าไม้ยางพารา ด้วยวิธีดึงแบบผ่าซีก ที่อายุบ่มคอนกรีต 28 วัน พบว่าเมื่อมีการผสมขี้เถ้าไม้ยางพาราในส่วนผสมคอนกรีตทำให้ค่ากำลังดึงมีค่าลดลง โดยการผสมขี้เถ้าร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน มีค่าใกล้เคียงคอนกรีตส่วนผสมควบคุม และเมื่อผสมขี้เถ้าร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ค่ากำลังดึงจะลดลงร้อยละ 15, 32 และ 34 เมื่อเทียบกับคอนกรีตส่วนผสมควบคุม ตามลำดับ

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

[1] คณะกรรมการพัฒนาคุณภาพด้านการเกษตร (2564). ยางพารา 2564. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th.

[2] อาบีดีน ดะแซสาเมาะ, จินดา มะมิง, โนรีสะ ราแดง และ ยาเซ็ง อาแว (2554). สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของอิฐที่มีส่วนผสมของ เถ้าไม้ยางพารา. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1, หน้า 25-35.

[3] อาบีเด็ง ฮาวา และ ดนุพล ตันนโยภาส (2551). ผลกระทบของเถ้าลอยไม้ยางพาราที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตมวลรวมพัมมิซ. *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, นภดล ศรภักดี, ชยณัฐ บัวทองเกื้อ และ นฤพล ดีดาษ (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 Tonnayopas, 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 Pozzolanic Reaction of Rice Husk Ash Blended with Fly Ash by Accelerated Curing. *RMUTP Research Journal*, 12(1), pp.40-52

[13] มยผ.1101-64 (2564). มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก. *มาตรฐานกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุใช้ในงานโครงสร้างอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมืองกระทรวงมหาดไทย*. หน้า 1-31.

[14] Kilic, 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 ดียิ่ง, นัฐวุฒิ ทิพย์โยธา, เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย และ ธนภร ทวีวุฒิ (2552). การศึกษากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14, นครราชสีมา*, 13-15 พฤษภาคม 2552, หน้า 1667–1672.