[1,2,3,4,5] สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
*Corresponding author; E-mail address: chokchai.kh@rmuti.ac.th

บทความนี้ศึกษาอิทธิพลของเส้นใยมะพร้าวต่อกำลังของมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน โดยใช้อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานเท่ากับ 50:50, 70:30 และ 90:10 อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ต่อเถ้าปาล์มน้ำมันเท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20 และ 70:30 ปริมาณเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 ของน้ำหนักวัสดุประสาน งานวิจัยนี้ทำการทดสอบกำลังอัด และกำลังดัดของมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน และเส้นใยมะพร้าวที่อายุบ่ม 7 วัน พบว่าอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าปาล์มน้ำมัน และปริมาณเส้นใยมะพร้าวส่งผลต่อกำลังอัด และกำลังดัดของตัวอย่างมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน และเส้นใยมะพร้าว กำลังอัด และกำลังดัดของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของตัวอย่างคืออัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานเท่ากับ 50:50 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าปาล์มน้ำมันเท่ากับ 90:10 และปริมาณเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 1 ของน้ำหนักวัสดุประสาน

คำสำคัญ: กำลังอัด, กำลังดัด, ปูนซีเมนต์, เถ้าปาล์มน้ำมัน, เส้นใยมะพร้าว

This paper studied the influence of coconut fiber on strengths of mortar mixed with palm oil fuel ash. The sand/binder ratios (S/B) of 50:50, 70:30 and 90:10, cement/palm oil fuel ash ratios (C/POFA) of 100:0, 90:10, 80:20 and 70:30, and coconut fiber contents (CF) of 0, 1, 3, 5 and 7% by binder weight were used. The 7-day compressive and flexural strengths of mortar mixed with POFA and CF were evaluated. It can be seen that S/B ratio, C/POFA ratio, and CF content affected the 7-day compressive and flexural strengths of sample Due to the increase in the hydration reaction. The optimal ingredient of sample was S/B ratio of 50/50, C/POFA ratio of 90/10, and CF content of 1%.

Keywords Compressive strength, Cement, Flexural strength, Palm oil fuel ash, Coconut fibers

เถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm Oil Fuel Ash) [1] เป็นเถ้าจากชีวมวลและเป็นวัสดุผลพลอยได้จากการนำกากของผลปาล์มน้ำมัน ได้แก่ เศษกะลาปาล์ม เส้นใยปาล์ม และทลายปาล์มเปล่าของผลปาล์มเผาเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้า หลังจากการใช้เป็นเชื้อเพลิงและถูกเผาไหม้ ทำให้เกิดเถ้าขนาดเล็กฟุ้งกระจายในอากาศ จากข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจและสหกรณ์ [2] พบว่าในปี 2544 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มประมาณ 1,457,000 ไร่ ซึ่งมีผลผลิตจดเป็นอันดับที่ 4 ของโลก โดยมีผลผลิตประมาณ 4,089,000 ต้น/ปี ทำให้มีกากปาล์มปริมาณสูงตามผลผลิตปาล์มคือ 2,147,000 ต้น/ปี และหลังจากเผาพบว่าเกิดเถ้าปาล์มน้ำมันในปริมาณถึง 107,000 ต้น/ปี นอกจากนี้รัฐบาลมีนโยบายที่จะลดการนำน้ำมันจากต่างประเทศมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในประเทศ โดยการส่งเสริมการผลิตไบโอดีเซล ส่งผลให้เกิดความต้องการพื้นที่ในการปลูกปาล์มเพิ่มขึ้น ซึ่งคาดว่าจะใช้พื้นที่ปลูกปาล์มประมาณ 10 ล้านไร่ และจะทำให้เกิดเถ้าปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นประมาณ 6 เท่าต่อปี ย่อมเกิดปัญหาในการกำจัดอีกมากในอนาคตอันใกล้นี้

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่พบมากในประเทศไทย ในปี พ.ศ.2551 ประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตมะพร้าวประมาณ 1.484 ล้านตัน (อันดับที่ 6 ของโลก) [3] เส้นใยมะพร้าวเป็นวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติ และจากโรงงานอุตสาหกรรม ข้อดีของเส้นใยมะพร้าวคือการรับแรงดึงได้ดี และทนทานต่อการกัดกร่อน อย่างไรก็ตามเส้นใยมะพร้าวบางส่วนถูกนำไปทิ้งเป็นขยะหรือถูกเผาทิ้ง ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม [4] กิตติพันธ และคณะ [5] ได้ศึกษามอร์ต้าผสมปูนซีเมนต์เส้นใยมะพร้าว พบว่าการผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณที่เหมาะสม มีค่าเท่า 0.1 โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านทานแรงดัด 29 ksc

บทความนี้ศึกษาอิทธิพลของเส้นใยมะพร้าวต่อกำลังของมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน โดยใช้อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานเท่ากับ 50:50, 70:30 และ 90:10 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าปาล์มน้ำมันเท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20 และ 70:30 ปริมาณเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 ของน้ำหนักวัสดุประสาน โดยทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัดของมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน และเส้นใยมะพร้าวที่อายุบ่ม 7 วัน ประโยชน์ของงานวิจัยนี้คือได้แนวทางในการพัฒนาวัสดุด้านวิศวกรรมโยธา โดยการใช้วัสดุเหลือทิ้ง ซึ่งสามารถลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

2.1 ทราย (Sand, S

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบเป็นทรายแม่น้ำอำเภอชุมพวง จังหวัดนครราชสีมา ตัวอย่างทรายถูกเตรียมโดยการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness modulus) ของทรายมีค่าเท่ากับ 2.57 และ 1.85 ตามลำดับ

2.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Cement, C)

วัสดุเชื่อมประสานที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้คือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์เท่ากับ 3.15 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปกติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไปตามมาตรฐาน ASTM C150 [6] ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 3.00 ถึง 3.20 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ต

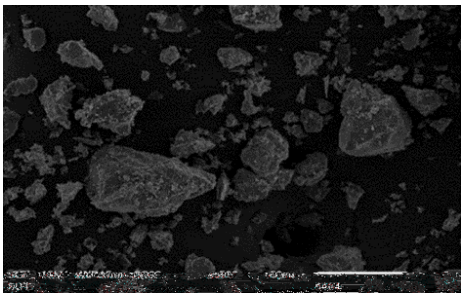
แลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) แสดงในรูปที่ 1 พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุมผิวขรุขระ เป็นก้อนรูปทรงไม่แน่นอน

2.3 เถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm oil fuel ash ratios, POFA)

เถ้าปาล์มน้ำมัน จากบริษัทศรีเจริญปาล์มออยล์ จังหวัดกระบี่ แสดงในรูปที่ 2 มี SiO_2 เป็นองค์ประกอบ Al_2O และ Fe_2O_3 ดังนั้นเมื่อพิจารณาด้านองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมันแล้วตามมาตรฐาน ASTM C 618 [7]

2.4 เส้นใยมะพร้าว (Coconut Fiber, CF)

เส้นใยมะพร้าวได้จากโรงงานมะพร้าว จังหวัดชลบุรีเส้นใยมะพร้าวมีสีน้ำตาลเข้มดังแสดงในรูปที่ 3 เส้นใยมะพร้าวทั่วไปมีความยาว 350 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.12 – 0.25 มิลลิเมตร และความหนาแน่นเส้นใยเท่ากับ 1250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร งานวิจัยครั้งนี้ได้เตรียมเส้นใยมะพร้าวโดยใช้วิธีการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อให้เส้นใยมะพร้าวมีพื้นผิวที่ขรุขระขึ้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นล้างเส้นใยมะพร้าวด้วยน้ำเปล่าจนกระทั่งค่า pH อยู่ที่ประมาณ 7 และต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำเส้นใยมะพร้าวไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง [8]



ภาพถ่ายกำลังขยายสูงของปูนซีเมนต์



เถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm oil fuel ash ratios, POFA)



เส้นใยมะพร้าว (Coconut Fiber, CF)

แสดงจำนวนตัวอย่างและอัตราส่วนผสม

ตัวแปร	จำนวน	หมายเหตุ
อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน	5	50:50, 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10
อัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมัน ;วัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน)	4	70:30, 80:20, 90:10 และ 100:0
อัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว	5	ร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 ของน้ำหนักวัสดุประสาน
อายุบ่ม	1	7 วัน
จำนวนตัวอย่างทดสอบแรงอัด	3	3 ตัวอย่าง
จำนวนตัวอย่างทดสอบแรงดัด	3	3 ตัวอย่าง

2.5 การเตรียมตัวอย่างของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าปาล์ม

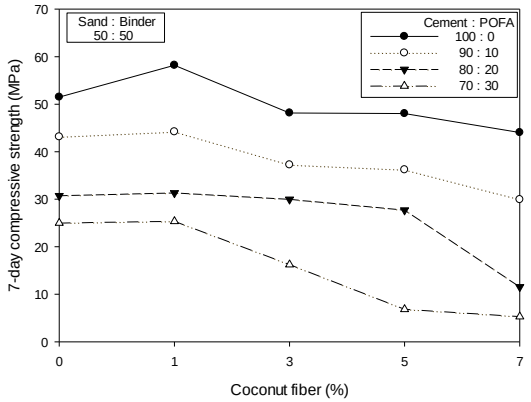
อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานเท่ากับ 50:50, 70:30 และ 90:10 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าปาล์มน้ำมันเท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20 และ 70:30 ปริมาณเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 ของน้ำหนักวัสดุประสาน และอายุบ่ม 7 วัน ขั้นตอนเริ่มต้นด้วยการผสมทราย และวัสดุประสานให้เข้ากัน จากนั้นใส่เส้นใยที่เตรียมไว้ แล้วผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมน้ำ และผสมต่อให้เป็นเนื้อเดียวกันหลังจากกระบวนการผสมเสร็จแล้วเทตัวอย่างลงในแบบหล่อแล้วทิ้งตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการห่อด้วยฟิล์มพลาสติกเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิปกติเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ดำเนินการถอดแบบ และห่อด้วยพลาสติกอีกครั้ง และเก็บรักษาตัวอย่างไว้ที่ห้องควบคุมอุณภูมิ จนครบอายุ 7 วัน ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของตัวอย่าง ประกอบด้วย

1) กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมเส้นใยมะพร้าว ตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร โดยขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง และการทดสอบดัดแปลงจากมาตรฐาน ASTM C109 [9]

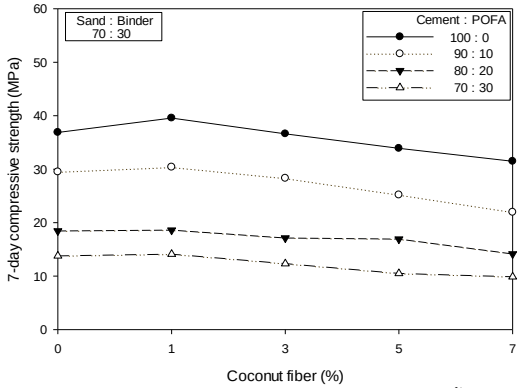
2) กำลังแรงดัดของมอร์ต้าผสมเส้นใยมะพร้าว ตัวอย่างขนาด 40x40x160 มิลลิเมตร โดยขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง และการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C348 [10]

รูปที่ 4 - 6 แสดงกำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วัน ของตัวอย่างมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน และเส้นใยมะพร้าว ที่อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานเท่ากับ 50:50, 70:30, และ 90:10 อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ต่อเถ้าปาล์มน้ำมันเท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20 และ 70:30 ปริมาณเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 ของน้ำหนักวัสดุประสาน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วัน ของตัวอย่างมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยมะพร้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยมะพร้าว จนกระทั่งปริมาณเส้นใยมะพร้าวเท่ากับร้อยละ 1 จากนั้นกำลังอัดมีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ตัวอย่างเกิดช่องว่างในตัวอย่างเพิ่มขึ้น [11] ในทางตรงกันข้ามกำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วัน ของตัวอย่างมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน และเส้นใยมะพร้าวมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดตามปริมาณวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น เช่นกำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วัน ของตัวอย่างมอร์ต้าผสมปริมาณเส้นใยมะพร้าว สำหรับอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ต่อเถ้าปาล์มน้ำมันเท่ากับ 90:10

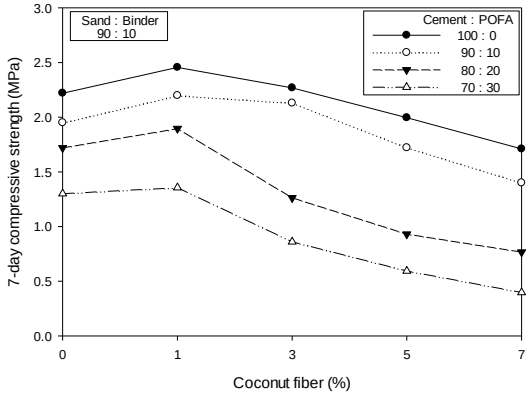
และปริมาณเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 1 มีค่าเท่ากับ 44.19, 30.39 และ 2.19 MPa สำหรับอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานเท่ากับ 50:50, 70:30 และ 90:10 ตามลำดับ กำลังอัดอัดที่เพิ่มขึ้นนี้เนื่องจากปริมาณวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้นทำให้การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเพิ่มขึ้น [12] การใช้เถ้าปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุประสานเพื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ในมอร์ต้าใช้ได้ในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 10 ซึ่งจะช่วยให้คุณสมบัติของตัวอย่างมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยมะพร้าวโดยรวมดีขึ้น



กำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วันของตัวอย่างมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยมะพร้าว ที่อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน 50:50, อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าปาล์มน้ำมันเท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20 และ 70:30 และปริมาณเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7



กำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วันของตัวอย่างมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยมะพร้าว ที่อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน 70:30, อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าปาล์มน้ำมันเท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20 และ 70:30 และปริมาณเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7

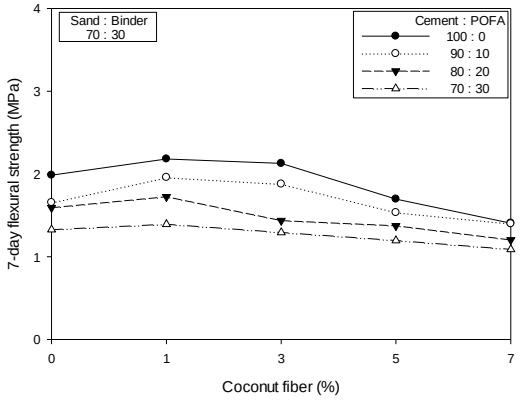


กำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วันของตัวอย่างมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยมะพร้าว ที่อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน 90:10, อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าปาล์มน้ำมันเท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20 และ 70:30 และปริมาณเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7

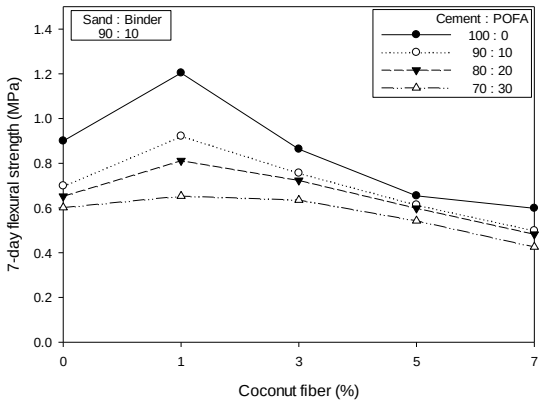
รูปที่ 7 - 9 แสดงอิทธิพลของเส้นใยปาล์มน้ำมันต่อกำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วัน ของตัวอย่างมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน และเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน, อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าปาล์มน้ำมันและปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่างๆ พบว่ากำลังอัดของตัวอย่างมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยมะพร้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น จนถึงปริมาณเส้นใยร้อยละ 1 เนื่องจากเส้นใยมะพร้าวมีคุณสมบัติด้านความเหนียว และการดูดซึมพลังงาน ซึ่งช่วยให้กำลังอัดของตัวอย่างเพิ่มขึ้น[11][13] อย่างไรก็ตามสำหรับปริมาณเส้นใยมากกว่าร้อยละ 1 กำลังอัดของตัวอย่างมีค่าลดลงตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการขัดขวางการผสมตัวอย่างของเส้นใยอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานส่งผลกระทบต่อกำลังอัดของตัวอย่าง กำลังอัดของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากวัสดุเชื่อมประสานช่วยเพิ่มการยึดเหนียวระหว่างมอร์ต้ากับเส้นใย ซึ่งส่งผลให้กำลังอัดเพิ่มมากขึ้น [14]



กำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วันของตัวอย่างมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยมะพร้าว ที่อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน 50:50, อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าปาล์มน้ำมันเท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20 และ 70:30 และปริมาณเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7



กำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วันของตัวอย่างมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยมะพร้าว ที่อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน 70:30, อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าปาล์มน้ำมันเท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20 และ 70:30 และปริมาณเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7



กำลังดัดที่อายุบ่ม 7 วันของตัวอย่างมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยมะพร้าว ที่อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน 90:10, อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าปาล์มน้ำมันเท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20 และ 70:30 และปริมาณเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน และเส้นใยมะพร้าวจากผลการศึกษางานวิจัย พบว่าอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน อัตรส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าปาล์มน้ำมัน ปริมาณเส้นใยส่งผลต่อกำลังอัด และกำลังดัดของตัวอย่างมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน และเส้นใยมะพร้าว กำลังอัด และกำลังดัดของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันที่ร้อยละ 10 ของวัสดุประสาน (อัตราส่วนที่เหมาะสม) ทำให้การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเพิ่มขึ้น ปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับร้อยละ 1 ปริมาณเส้นใยที่มากเกินไป (มากกว่าร้อยละ 1) ทำให้กำลังดัดของตัวอย่างมีค่าลดลง เนื่องจากการขัดขวางการผสมตัวอย่างของเส้นใย ประโยชน์ของงานวิจัยนี้คือได้แนวทางในการพัฒนาวัสดุด้านวิศวกรรมโยธาโดยการใช้วัสดุเหลือทิ้ง ซึ่งสามารถลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา สำหรับเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย

[1] ชัย จาตุรพิทักษ์ “เถ้าปาล์มน้ำมัน วัสดุปอซโซลานในอนาคตสำหรับคอนกรีต”, โยธาสาร วิศวกรรสถาน แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปภัมภ์, ปีที่ 22, ฉบับที่ 2 มีนาคม - เมษายน 2553, หน้า 80 – 83

[2] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร, 2545, สถิติการเกษตรแห่งประเทศไทยปีเพาะ-ปลูก2544/45เล่มที่ 43,121หน้า

[3] Office of Agricultural Economics [OAE]. 2010. Agricultural Statistics of Thailand 2010. Retrieved April 7,2019, Fromhttp://oldweb.oae.go.th/ewtadmin/ewt/cai_web/main.php?filename=doc_public

[4] Asasutjarit, C., Hirunlabh, J., Khedari, J., Charoenvai, S., Zeghmati, B., & Shin, U. C, (2007). Development of coconut coir-based lightweight cement board., Construction and Building Materials, 21(2), pp. 277–288.

[5] กิตติพันธ์ บุญโตสิตระกูล กิตติพงษ์ สุวีโร และปราโมทย์ วีรานุกูล, 2019, การพัฒนาเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี,

[6] ASTM C150-05, Standard Specification for Portland Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005, www.astm.org

[7] ASTM C618-19, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019,

[8] Lertwattanaruk P., Suntijitt A., 2015, “Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fibers for residential building applications”, International Journal of Construction and Building Materials, 94, pp. 664-669.

[9] ASTM C109 / C109M-20b, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, www.astm.org

[10] ASTM C348-21, Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, www.astm.org

[11] Khan M., Ali M., 2018, Effect of super plasticizer on the properties of medium strength concrete prepared with coconut fiber, Construction and Building Materials, 182, pp. 703-715

[12] ชัชวาลย์, 2546, คอนกรีตและเทคโนโลยี.กรุงเทพมหานคร, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค

[13] Hwang C., Tran V., Hong J., Hsieh Y.,2016, Effects of short coconut fiber on the mechanical properties, plastic cracking behavior, and impact resistance, Construction and Building Materials, 127, pp. 984-992

[14] Khedari, J., Suttisonk, B., Pratinthong, N., & Hirunlabh, J. (2001). New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity., Cement and Concrete Composites, 23(1), 65-70.