

หน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุน ผสมกะลาปาล์มน้ำมัน

Unit Weight and Compressive Strength of Pervious Concrete Mixed with Oil Palm Shell

นันทชัย ชูศิลป์^{1/}
Nuntachai Chusilp^{1/}

Abstract: In this research, oil palm shells, which had particle size of 9.50 mm. (3/8 inch), were used to mix with the pervious concrete or concrete without fine aggregate. The oil palm shells partially replaced coarse aggregate in concrete at 0, 10, 20, 30, 40 and 50%, respectively by weight of aggregate in the normal concrete. All pervious concretes were tested for compressive strength, unit weight, and water absorption at the age of 28 days. It was found that the pervious concretes with oil palm shell replacement of 10 to 50% by weight of aggregates have their compressive strength reduced by 27 to 91% of normal concrete. The unit weights of pervious concretes were decreased by 10 to 38% of normal concrete and the water absorption was increased by 0.2 to 4.2% of normal concrete. Therefore, oil palm shell can be used to replace aggregates in pervious concretes. Especially, when design factors such as unit weight or water drainage are major factors and compressive strength is a minor factor.

Keywords: Pervious concrete, oil palm shell, compressive strength, unit weight, absorption

^{1/}ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา 90000

^{1/}Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla 90000, Thailand

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้ได้นำกะลาปาล์มน้ำมันที่มีขนาดอนุภาค 9.50 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) ผสมในคอนกรีตพูนหรือคอนกรีตไร้มวลละเอียด โดยกะลาปาล์มจะทำหน้าที่แทนมวลรวมหยาบหรือหินบางส่วน โดยแทนที่ด้วยอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ของน้ำหนักมวลรวมในคอนกรีตปกติ ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด หน่วยน้ำหนักและการดูดซึมน้ำของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน จากการวิจัยพบว่าคอนกรีตพูนที่ใช้กะลาปาล์มน้ำมันแทนที่มวลรวมหยาบ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 ถึง 50 โดยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 27 ถึง 91 เมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติ คอนกรีตพูนมีหน่วยน้ำหนักลดลงร้อยละ 10 ถึง 38 เมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติ คอนกรีตพูนมีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.2 ถึง 4.2 เมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติ ดังนั้นกะลาปาล์มสามารถนำมาใช้แทนที่มวลรวมหยาบในคอนกรีตพูนได้ โดยการออกแบบต้องพิจารณาปัจจัยเช่น หน่วยน้ำหนัก หรือความสามารถในด้านการระบายน้ำเป็นปัจจัยหลัก ส่วนด้านกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะพิจารณาเป็นปัจจัยรอง

คำสำคัญ: คอนกรีตพูน กะลาปาล์มน้ำมัน กำลังรับแรงอัด หน่วยน้ำหนัก การดูดซึมน้ำ

คำนำ

คอนกรีตพูน เป็นคอนกรีตที่ต้องการให้มีโพรงที่ต่อเนื่องอยู่ภายใน ซึ่งน้ำหรือของเหลวซึมผ่านได้ คอนกรีตพูน ได้ถูกคิดค้นและพัฒนาในประเทศอังกฤษ และสหรัฐอเมริกาเป็นเวลามากกว่า 30 ปี เพื่อใช้ในงานคอนกรีตที่รักษาสภาพแวดล้อม และนำมาใช้ในรูปแบบที่หลากหลาย คอนกรีตพูน ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น กล่าวคือ ได้นำคอนกรีตพูนมาใช้สำหรับงานปูผิวถนน ใช้ในการลาดคลองและพื้นที่ที่สามารถทำให้สิ่งมีชีวิตดำรงอยู่ได้ อาทิ พืชและสัตว์ขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในงานวิศวกรรมอื่น ๆ เช่น ใช้เป็นฉนวนความร้อน ด้านการเก็บเสียง ด้านการระบายน้ำ รวมทั้งสามารถทำพื้นผิวทางสำหรับเดินเท้า และสำหรับขั้วรถยนต์พาหนะ นอกจากนี้ยังรวมไปถึงงานปรับแต่งภูมิสถาปัตย์อื่น ๆ อาทิ ประยุกต์ใช้ไปกับพื้นผิวที่ต้องสัมผัสกับน้ำอยู่เสมอ เช่น ห้องน้ำสาธารณะ บันได เบลียงนอกบ้าน และทางเดินในสวนหย่อม เพื่อป้องกันการลื่นล้มได้เป็นอย่างดี

ปาล์มเป็นพืชเศรษฐกิจอันดับต้น ๆ ของประเทศ ปัจจุบันมีการปลูกปาล์มอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้ และภาคกลาง ซึ่งส่วนใหญ่จะปลูกในพื้นที่ที่มีการทำนา หลังจากบีบเอาน้ำมันจากผลปาล์มก็จะได้เศษที่เหลือคือกะลาปาล์มน้ำมัน ซึ่งจะมีจำนวนมากประมาณ 30,000 เมตริกตัน/ปี โดยบางส่วนจะนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ ทำปุ๋ยหรือใช้ปรับสภาพดิน แต่ยังมีเศษ

เหลืออีกมากที่ไม่ได้ใช้งานและถูกกำจัดโดยการเผาทิ้งทำลาย

เนื่องจากคอนกรีตพูนมีความสามารถในการระบายน้ำได้อย่างรวดเร็ว เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของการสะท้อนความร้อนสู่ชั้นบรรยากาศ แต่คอนกรีตพูนก็ยังมีหน่วยน้ำหนักมาก จึงได้มีแนวคิดที่จะลดน้ำหนักของคอนกรีตพูน โดยนำกะลาปาล์มมาแทนที่หินบางส่วนในกระบวนการผลิต และเพื่อเป็นที่แพร่หลายการนำกะลาปาล์มน้ำมันมาใช้ประโยชน์ในงานทางด้านวิศวกรรมโยธา จึงมีการศึกษาสมบัติด้านอื่น ๆ ด้วย เช่น กำลังรับแรงอัด และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตพูนผสมกะลาปาล์มน้ำมัน ซึ่งจะเป็นทางเลือกในการใช้วัสดุทางการเกษตรมาประยุกต์ใช้งานด้านวิศวกรรม เป็นการลดปริมาณและสร้างมูลค่าให้กับกะลาปาล์มน้ำมันอีกทางหนึ่ง

จากการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีตพูนและการใช้กะลาปาล์มน้ำมันในคอนกรีตสามารถเรียบเรียงได้ดังนี้

Mannan and Ganapathy (2001) ได้ศึกษาการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจากกะลาปาล์มน้ำมัน โดยใช้มาตรฐาน ACI ในการออกแบบ และทดสอบกำลังอัดที่อายุ 28 วัน นั้น ผลที่ได้มีค่าแตกต่างกันมากตามที่ได้ออกแบบไว้ จึงได้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจากกะลาปาล์มน้ำมันใหม่ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่าง โดยให้ ปูนซีเมนต์คงที่และปรับอัตราส่วนของทรายกับอัตราส่วนของกะลาปาล์มน้ำมัน ได้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อ ทรายต่อ

กะลาปาล์มน้ำมัน เท่ากับ 1 : 1.71 : 0.77 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.41 ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 28 วัน มีค่ากำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 24.20 เมกะปาสคาล

ยุวดี และคณะ (2550) ได้ศึกษาอัตราส่วนผสมและชนิดของหินที่เหมาะสมในการทำบล็อกปูถนนเพื่อก่อสร้างลานจอดรถหรือทางเดินเท้าในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร เพื่อลดการก่อสร้างพื้นที่ที่บ้น้ำ ทำให้น้ำผิวดินสามารถไหลซึมผ่านผิวลงสู่ชั้นดินได้ ช่วยลดปัญหาเรื่องการระบายน้ำ และปัญหาน้ำท่วมการไหลนองของน้ำฝนได้ โดยได้ทำการวิจัยคุณสมบัติด้านกำลังอัด และความชื้นน้ำของส่วนผสมคอนกรีตที่ทำจากหินเกล็ด และหินกรวดที่มีขนาดอยู่ ระหว่างตะแกรงเบอร์ 4 และเบอร์ 8 จากการวิจัยพบว่าส่วนผสมคอนกรีตที่มีความเหมาะสมคือ ส่วนผสมที่ใช้หินกรวดที่มีขนาดคละและมีอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักหิน จะมีค่าความชื้นน้ำของคอนกรีตเหมาะสมกับค่าความชื้นน้ำของดินในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร และมีกำลังอัดเฉลี่ยที่ 242 ksc

دنوف และคณะ (2550) ได้ศึกษาคุณสมบัติของมวลรวมจากกะลาปาล์มน้ำมัน โดยทดสอบค่าการกระแทก การสึกหรอแบบลอสมองเจอลิส วิเคราะห์รูปทรงและความหนาแน่นรวม ซึ่งออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยใช้กะลาปาล์มเป็นมวลรวม และใส่หินฝุ่นแกรนิตเป็นแร่ผสมเพิ่มแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ทดสอบคอนกรีตทำการบ่มที่อายุ 7 และ 28 วันในน้ำปูนขาวอิ่มตัว เปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม หาค่าการหดตัวแบบแห้ง ความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ ความแข็งแรงแบบที่ผิวแบบชนิดดี ความต้านทานไฟฟ้า และกำลังอัด สรุปได้ว่าคอนกรีตกะลาปาล์มที่บ่มด้วยน้ำปูนขาวอิ่มตัว มีความหนาแน่นรวม และกำลังอัดอยู่ในช่วงเกณฑ์ของคอนกรีตมวลเบา การเติมหินฝุ่นแกรนิตแทนที่ปูนซีเมนต์ส่งผลต่อกำลังอัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในอัตราส่วนแทนที่ร้อยละ 10 ที่อายุบ่ม 7 วัน มีค่ากำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 27.61 เมกะปาสคาล และอัตราส่วนอื่นลดลงจวอัตราส่วนละร้อยละ 5 อย่างไรก็ตามกำลังอัดของคอนกรีต

ผสมกะลาปาล์มที่อายุบ่ม 7 วัน สามารถให้ค่าเทียบเคียงกับที่อายุบ่ม 28 วัน นั่นคือ ลดเวลาการบ่มคอนกรีต มีประสิทธิภาพในการใช้งานได้เร็วขึ้น

ธรรมบุญ และคณะ (2552) ได้ศึกษาอัตราส่วนผสมในการทำคอนกรีตระบายน้ำได้ โดยได้ทำการวิจัยคุณสมบัติด้านกำลังอัด หน่วยน้ำหนัก และอัตราการไหลของน้ำผ่านคอนกรีตพูน ส่วนผสมคอนกรีตพูนที่ทำจากหิน 3 ขนาดที่เลือกใช้ คือ 3/4, 1/2 และ 3/8 นิ้ว โดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 15, 20 และ 30 ของน้ำหนักหิน และใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.20, 0.30 และ 0.40 จากการวิจัย พบว่าคอนกรีตพูนที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูง ส่งผลให้กำลังการยึดเกาะของปูนซีเมนต์เพสต์มีค่าต่ำ จึงทำให้คอนกรีตพูนที่ใช้หินขนาดใหญ่มีค่ารับแรงอัดต่ำกว่าคอนกรีตพูนที่ใช้หินขนาดเล็ก ในทางกลับกันคอนกรีตพูนที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่มีค่าต่ำ ส่งผลให้กำลังการยึดเกาะของปูนซีเมนต์เพสต์มีค่าที่สูงกว่าแรงเสียดทานระหว่างเม็ดหิน จึงทำให้คอนกรีตพูนที่ใช้หินขนาดใหญ่มีค่ารับแรงอัดมากกว่าคอนกรีตพูนที่ใช้หินขนาดเล็ก

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกะลาปาล์มน้ำมันแทนที่มวลรวมหยาบเพื่อผลิตเป็นคอนกรีตพูน
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณกะลาปาล์มน้ำมันที่มีต่อกำลังรับแรงอัด หน่วยน้ำหนักและความสามารถในการดูดซึมน้ำของคอนกรีตพูนผสมกะลาปาล์มน้ำมัน

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุ

- 1) หิน นำหินมาแยกขนาดด้วยตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว ดังภาพที่ 1 แล้วล้างทำความสะอาด หลังจากนั้นนำมาหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของหิน หาค่าความถ่วงจำเพาะ หาค่าหน่วยน้ำหนัก และอบหินในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2) กะลาปาล์มน้ำมัน กะลาปาล์มที่ใช้ในการทดสอบนั้น ใช้กะลาปาล์ม ส่วนที่ค้ำง ตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว ดังภาพที่ 2 จากนั้นล้างทำความสะอาด และทิ้งไว้จนแห้ง

3) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ

1) เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด (compression testing machine)

2) แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ (concrete cube mold) สำหรับตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐานอังกฤษ BS 1881 part 3 method of testing concrete for strength ขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร พร้อมเหล็กกระทุ้ง (tapping rod) มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 2.5 x 2.5 เซนติเมตร ความยาว 38 เซนติเมตร



Figure 1 Coarse aggregate size of 3/8 inch

3) เครื่องผสมคอนกรีต

4) ตะแกรงร่อน

5) ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ

วิธีการวิจัย

1. การออกแบบส่วนผสม

ทำการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตพูนโดยใช้อัตราส่วนผสม (ซีเมนต์ : หิน) 1 : 6 อัตราส่วน น้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.40 และการแทนที่ด้วยกะลาปาล์มในอัตราส่วนผสมร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ของน้ำหนักมวลรวมในคอนกรีตปกติ ได้แสดงการออกแบบดังแสดงในตารางที่ 1



Figure 2 Oil palm shell retains on sieve No. 3/8

Table 1 The compositions of the porous concrete used in the test

Symbol	Gravel size (inch)	W/C	Mix proportion of materials per 1 cubic meter			
			Gravel (kg.)	Cement (kg.)	Water (kg.)	OPS (kg.)
PC-0-0	3/8	0.40	1830	450	180	-
PC-3/8-10	3/8	0.40	1647	450	180	183
PC-3/8-20	3/8	0.40	1464	450	180	366
PC-3/8-30	3/8	0.40	1281	450	180	549
PC-3/8-40	3/8	0.40	1098	450	180	732
PC-3/8-50	3/8	0.40	915	450	180	915

2. วิธีการทดสอบ

2.1 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

1) ทำการประกอบแบบหล่อคอนกรีตตัวอย่างทดสอบ (concrete cube mold) เข้าด้วยกัน โดยการยึดสกรูให้แน่น ใช้ผ้าชุบน้ำมันทาบาง ๆ ภายในแบบหล่อตัวอย่าง เพื่อป้องกันมิให้คอนกรีตติดกับแบบหล่อตัวอย่าง แล้วจึงนำไปวางบนพื้นราบ

2) นำวัสดุที่เตรียมไว้ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมคอนกรีต ตามส่วนผสมที่ออกแบบไว้ ดังตารางที่ 1

3) เทคอนกรีตลงในแบบหล่อตัวอย่าง โดยแบ่งใส่ชั้นเป็น 3 ชั้น ในแต่ละชั้นจะมีปริมาตรประมาณ $\frac{1}{3}$ ของปริมาตรคอนกรีตแบบหล่อตัวอย่างทดสอบ กระทั่ง 25 ครั้ง ในแต่ละชั้น โดยกระทุ้งให้ทั่วพื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตและลึกลงไปในเนื้อคอนกรีตชั้นข้างเล็กน้อย ชั้นบนใส่คอนกรีตให้สูงกว่าขอบแบบหล่อตัวอย่าง หลังจากนั้นปาดผิวให้เรียบ ปลอยทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง

4) ทำการถอดตัวอย่างออกจากแบบหล่อ แล้วนำตัวอย่างไปบ่มด้วยวิธีแช่น้ำ เป็นเวลา 28 วัน

2.2 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของแท่งตัวอย่าง

1) นำตัวอย่างที่จะทำการทดสอบมาทำความสะอาด แล้วทำการวัดขนาดต่าง ๆ พร้อมชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตที่จะทำการทดสอบทุกตัวอย่าง

2) นำแท่งตัวอย่างวางบนแท่นเครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด เดินเครื่องช้า ๆ เพื่อให้แท่นกด

สัมผัสกับผิวหน้าของแท่งตัวอย่าง เดินเครื่องทดสอบโดยการเพิ่มแรงกดด้วยความเร็วสม่ำเสมอในอัตราประมาณ 1.43 - 3.47 กิโลกรัมต่อวินาที จากนั้นเพิ่มแรงกดจนกระทั่งแท่งตัวอย่างทดสอบแตก บันทึกแรงกดสูงสุด

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการดำเนินการวิจัยการนำกะลาปาล์มน้ำมันแทนที่มวลรวมหยาบในคอนกรีตพูนในอัตราร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ของน้ำหนักมวลรวมในคอนกรีตปกติ ได้ผลการวิจัย ดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพของวัสดุผสมคอนกรีตพูนและคอนกรีตพูนผสมกะลาปาล์ม

จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสมคอนกรีตพูนได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 และลักษณะทางกายภาพของคอนกรีตพูนปกติที่ไม่ผสมกะลาปาล์มน้ำมันและคอนกรีตพูนที่ผสมกะลาปาล์มน้ำมันแสดงในภาพที่ 5

จากภาพที่ 5 แสดงลักษณะทางกายภาพของคอนกรีตพูนที่ถูกแทนที่ด้วยกะลาปาล์มน้ำมันที่อัตราส่วนร้อยละ 10 ถึง 50 โดยน้ำหนักของมวลรวมในคอนกรีตปกติ พบว่าเมื่อมีการผสมกะลาปาล์มในคอนกรีต พูนในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น มีการเรียงตัว และขนาดคละของกะลาปาล์มแทรกแทนที่หินในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วนผสมที่มากขึ้น และในสัดส่วนผสมที่ใช้กะลาปาล์มร้อยละ 50 จะมีลักษณะพื้นผิวที่ไม่เรียบ

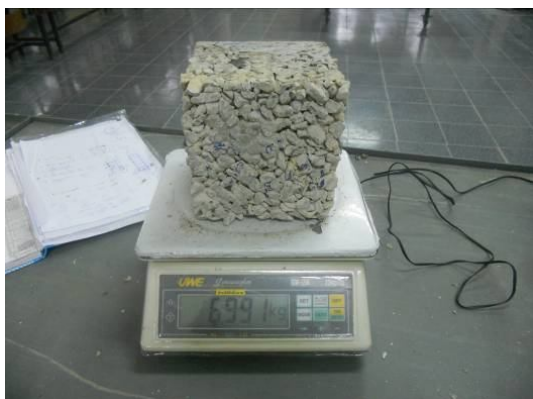


Figure 3 Unit weight testing



Figure 4 Compressive strength testing

Table 2 Physical properties of oil palm shell and coarse aggregate

	OPS	Coarse aggregate
Specific gravity	1.42	2.65
Maximum size (mm)	9.50 (3/8 inch)	9.50 (3/8 inch)
Absorption (%)	22.60	0.52

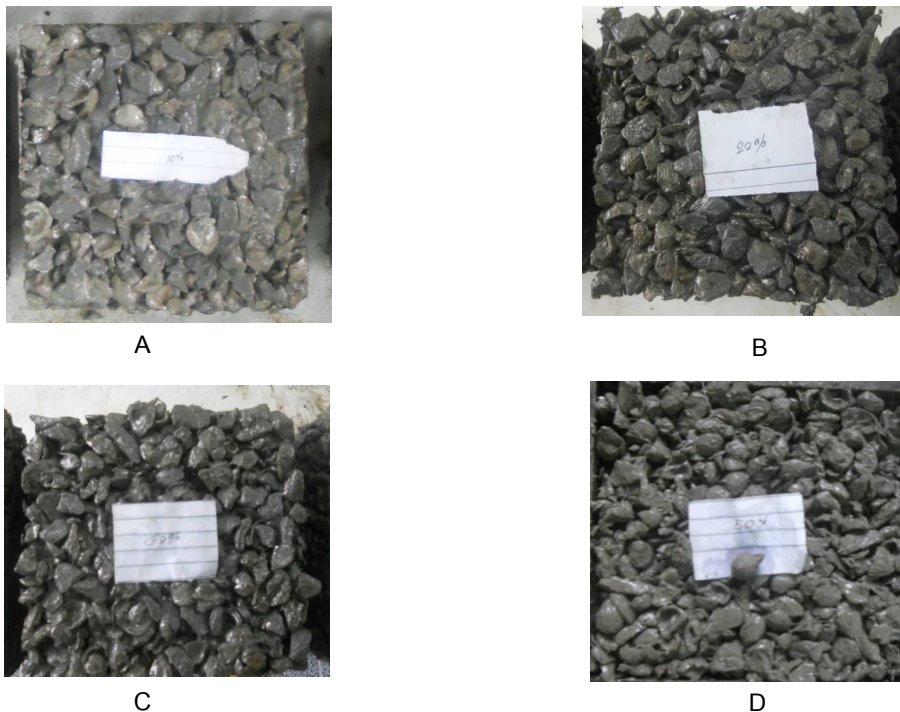


Figure 5 Previous concrete at 10% (A), 20% (B), 30% (C) and 50% (D) replacement by oil palm shell

มากที่สุดเนื่องจากรูปทรงของกะลาปาล์มจะมีสัดส่วนที่โค้งเว้าอยู่เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ช่องว่างของคอนกรีตพรุนมีมากขึ้นตามไปด้วย

2. กำลังอัดของคอนกรีตพรุนผสมกะลาปาล์ม

จากการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตพรุนผสมกะลาปาล์มในอัตราส่วนผสมร้อยละการแทนที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าคอนกรีตปกติที่ไม่ผสมกะลาปาล์มน้ำมัน มี กำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 800 ksc การผสมกะลาปาล์มเพื่อไปแทนที่หินในอัตราส่วนร้อยละที่เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลทำให้ค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีตพรุนผสม

กะลาปาล์มมีค่าลดลงตามอัตราส่วนร้อยละการแทนที่ โดยมีค่ากำลังอัดลดลงเป็นร้อยละ 73, 36, 34, 17 และ 9 เมื่อแทนที่กะลาปาล์มที่อัตราร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการรับกำลังอัดของกะลาปาล์ม มีค่าน้อยกว่าหิน ประกอบกับรูปทรงของกะลาปาล์มที่มีลักษณะโค้งเว้าส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสมีค่าน้อยลงด้วยความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและอัตราร้อยละของการแทนที่ด้วยกะลาปาล์มน้ำมันสามารถเขียนเป็นสมการได้เป็น $y = 0.2521x^2 - 26.912x + 799.82$ เมื่อ y คือ กำลังอัดของคอนกรีตพรุน และ x คือ อัตราร้อยละของการแทนที่ด้วยกะลาปาล์มน้ำมัน โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวได้แสดงไว้ในภาพที่ 6

Table 3 Compressive strength and water absorption of pervious concrete mixed with oil palm shell (OPS)

Symbol	Compressive strength (ksc)	Percentage of compressive strength (%)	Compressive strength reduction (%)	Absorption (%)	Absorption increase (%)
PC-0-0	800.2	100	-	3.2	-
PC-3/8-10	584.3	73	27	3.4	0.2
PC-3/8-20	287.3	36	64	4.9	1.7
PC-3/8-30	271.3	34	66	6.2	3.0
PC-3/8-40	133.3	17	83	7.4	4.2
PC-3/8-50	72.6	9	91	7.0	3.8

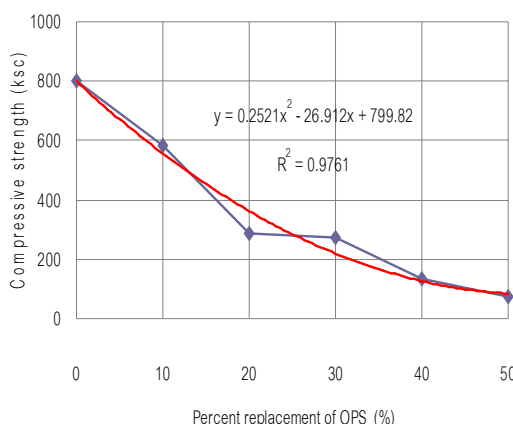


Figure 6 Relationship between the percent replacement of OPS and compressive strength of pervious concrete

3. ผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักคอนกรีตพูนผสมกะลาปาล์ม

จากการทดสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตพูนผสมกะลาปาล์ม ที่อัตราส่วนผสมร้อยละการแทนที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4

จากผลการทดสอบ พบว่าคอนกรีตปกติมีค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2072 kg/m³ เมื่อมีการผสมกะลาปาล์มลงไปแทนที่หิน ในอัตราส่วนร้อยละการแทนที่ที่เพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลทำให้คอนกรีตพูนมีน้ำหนักลดลง โดยมีค่าลดลงเป็นร้อยละ 90, 79, 76, 63 และ 62 เมื่อมีกะลาปาล์มในอัตราร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ

เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของกะลาปาล์มที่มีค่า 1.42 น้อยกว่าหินซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะที่ 2.65 ส่งผลให้ในปริมาตรที่เท่ากันกะลาปาล์มมีน้ำหนักที่น้อยกว่าหิน

4. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตพูนผสมกะลาปาล์ม

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตพูนผสมกะลาปาล์มแสดงในภาพที่ 1 พบว่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตพูนมีค่าเพิ่มขึ้นตามกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูน โดยความสัมพันธ์สามารถเขียนเป็นกราฟเส้นตรงโดยมีสมการเป็น $y = 1.0736x + 1246$ เมื่อ y คือ หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตและ x คือ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูน

Table 4 Unit weight of ordinary and pervious concrete

Symbol	Unit weight of concrete (kg/m ³)	Percentage of unit weight (%)	Unit weight reduction(%)
PC-0-0	2072.4	100	-
PC-3/8-10	1872.6	90	10
PC-3/8-20	1644.0	79	21
PC-3/8-30	1585.2	76	24
PC-3/8-40	1311.9	63	37
PC-3/8-50	1296.8	62	38

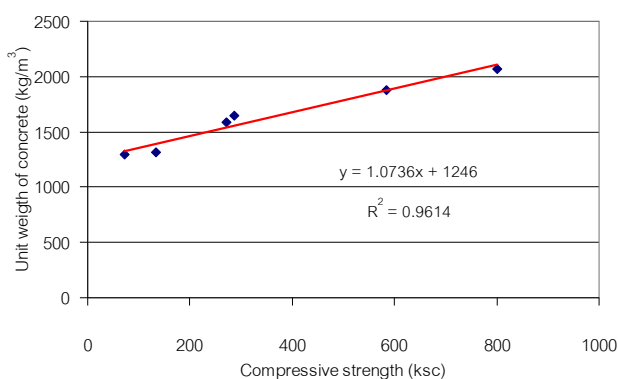


Figure 7 Relationship between the compressive strength and unit weight of pervious concrete

5. ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตพรุนผสมกะลาปาล์ม

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตพรุนผสมกะลาปาล์ม ที่อัตราส่วนผสมร้อยละการแทนที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 8 พบว่าเมื่อมีการแทนที่มวลรวมหยาบด้วยกะลาปาล์มในอัตราส่วนร้อยละการแทนที่ที่เพิ่มมากขึ้น ก็จะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มที่มากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากกะลาปาล์มมีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 22.60 จึงเป็นตัวแปรที่ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตพรุนผสมกะลาปาล์มมีค่าสูงขึ้นไปด้วย

จากภาพที่ 8 จะเห็นว่าค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตพรุนจะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอในช่วงของการแทนที่ ด้วยกะลาปาล์มร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยที่อัตราร้อยละ 40 มีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุด ส่วนคอนกรีตพรุนที่อัตราส่วนผสมของกะลาปาล์มร้อยละ 50 มีค่าการ

ดูดซึมน้ำลดลงเล็กน้อย เพราะอนุภาคที่มากขึ้นของกะลาปาล์มน้ำมันสามารถลดช่องว่างภายในทำให้ความชื้นไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปได้อย่างสะดวก แต่อย่างไรก็ตาม คอนกรีตพรุนผสมกะลาปาล์ม ที่อัตราร้อยละ 50 คอนกรีตก็มีกำลังรับแรงอัดที่ต่ำมากเนื่องการยัดเกาะที่ผิวสัมผัสของอนุภาคที่ไม่ดีเท่าที่ควร

6. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับการดูดซึมน้ำของคอนกรีตพรุนผสมกะลาปาล์ม

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับการดูดซึมน้ำของคอนกรีตพรุนผสมกะลาปาล์มแสดงในภาพที่ 9 พบว่าความสัมพันธ์สามารถเขียนเป็นกราฟได้โดยมีสมการเป็น $y = 0.000007x^2 - 0.0118x + 8.2824$ เมื่อ y คือ ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีต และ x คือ ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุน

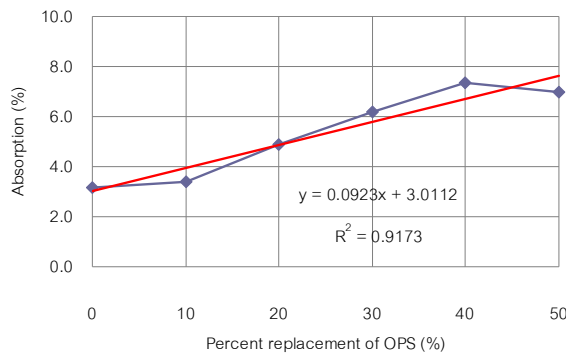


Figure 8 Relationship between the percent replacement of OPS and water absorption of pervious concrete

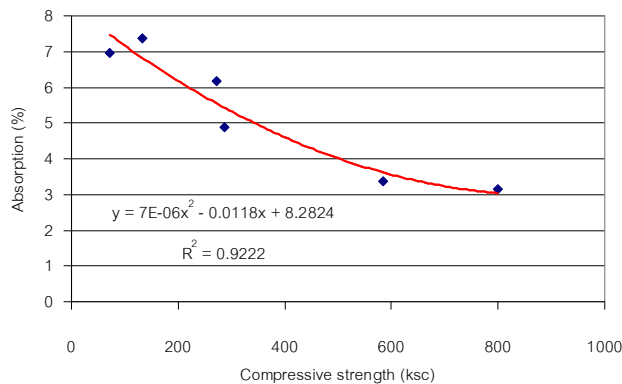


Figure 9 Relationship between the compressive strength and water absorption of pervious concrete

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้สามารถสรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

1. คอนกรีตพูนที่ใช้กะลาปาล์มน้ำมันแทนที่มวลรวมหยาบในอัตราร้อยละ 10 ถึง 50 โดยน้ำหนักของมวลรวมหยาบส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 27 ถึง 91 เมื่อเทียบกับคอนกรีตพูน
2. คอนกรีตพูนที่ใช้กะลาปาล์มน้ำมันแทนที่มวลรวมหยาบในอัตราร้อยละ 10 ถึง 50 โดยน้ำหนักของมวลรวมหยาบส่งผลให้หน่วยน้ำหนักลดลงร้อยละ 10 ถึง 38 เมื่อเทียบกับคอนกรีตพูนปกติ
3. คอนกรีตพูนที่ใช้กะลาปาล์มน้ำมันแทนที่มวลรวมหยาบในอัตราร้อยละ 10 ถึง 50 โดยน้ำหนักของมวลรวมหยาบส่งผลให้ค่าการดูดซึมเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.2 ถึง 4.2 เมื่อเทียบกับคอนกรีตพูนปกติ

4. กะลาปาล์มสามารถนำมาใช้แทนที่มวลรวมหยาบในคอนกรีตพูนได้ โดยการออกแบบจะต้องพิจารณาในด้านการระบายน้ำเป็นปัจจัยหลักส่วนกำลังอัดของคอนกรีตจะพิจารณาเป็นปัจจัยรอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบุคลากรและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กัญญาภัค จอดนอก ถนัดกิจ ชาริรัตน์ และ เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย. 2554. การศึกษาความต้านทานขัดสีและสึกกร่อนของคอนกรีตพูนสองชั้น. หน้า 21-28. ใน: รายงานการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 6. จังหวัดประจวบคีรีขันธ์.
- ดนุพล ตันโยภาส และ อภิชาติ พ่วงพี. 2550. คอนกรีตมวลรวมกะลาปาล์มน้ำมันผสมหินฝุ่นแกรนิต. หน้า 175-180. ใน: รายงานการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12 (NCCE12), พิษณุโลก.
- ธรรมบุญ โสมะพันธ์ อัมรินทร์ รามไชย และ ยาโกบ หีมมะหมัด. 2552. การศึกษาเบื้องต้นในการทำคอนกรีตพูนเพื่อการระบายน้ำ. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรวิทย, 61 หน้า.
- ยุวดี หิรัญ พิรพงษ์ ศิวินา และสุรชาติ ราโชติ. 2550. การศึกษาส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับผลิตบล็อกปูผิวทางระบายน้ำได้. การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 3. จังหวัดชลบุรี.
- ยุวดี หิรัญ ธวัชชัย ตันชัยสวัสดิ์ พลยุทธ์ มุลรังสี วิชัย บำรุงนาม และ อัญชลี เพียสุร. 2552. บล็อกปูถนนคอนกรีตพูน. หน้า13-18. ใน: การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 4. จังหวัดอุบลราชธานี. หน้า 13-18.
- American Concrete Institute (ACI). 2006. Pervious Concrete (522R-06). Farmington Hills, Michigan.
- Mannan, M. A. and C. Ganapathy. 2001. Mix design for oil palm shell concrete. Cement and Concrete Research 31: 1323-1325.
- Yang, Z., W. Ma, W. Shen and M. Zhou. 2008. The aggregate gradation for porous concrete pervious road base material, Journal of Wuhan University of Technology-Material Science Education 23: 391-394.