

การใช้เถ้าปาล์มน้ำมันในงานคอนกรีต

Use of Palm Oil Fuel Ash in Concrete

ตำรวจ รักซ้อน¹, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล², สมชาย ชูเชษฐ์กุล² และ ปริญญ์า จินดาประเสริฐ³

Sumrerng Rukzon¹, Chai Jaturapitakul², Somchai Chucheeepsakul² and Prinya Chindaprasit³

¹ นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น

² อาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร

³ อาจารย์มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น

E-mail: remg197@yahoo.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียด สำหรับนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน การวิจัยครั้งนี้ได้นำเถ้าปาล์มน้ำมันมาบดละเอียดจนคั่งบนตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 20-25, 10-15 และ 0-5 จากนั้นนำไปใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสานเพื่อหาล้อมรด์ำหรับทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7 และ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่าค้ำงนํ้าหนักของมอร์ดำที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดมีค้ำมากกว่าร้อยละ 75 ของมอร์ดำมาตรฐานที่อายุ 7 วัน หรือ 28 วัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาเถ้าปาล์มน้ำมันโดยการนำมาบดละเอียดทำให้มีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลานได้ดีและ สามารถนำไปใช้ในงานคอนกรีตได้

Abstract

The objective of this research is to study the properties of Palm Oil Fuel Ash used as for Portland cement Type 1 replacement in concrete. Palm Oil Fuel Ash was ground until the particle size retained on sieve No. 325 was 20-25%, 10-15% and 0-5% by weight. The study used grinded Palm Oil Fuel Ash in replacing Portland cement Type 1 at 20% by weight of cementitious materials and cast for standard mortar and were tested to determine compressive strengths at the age of 7 and 28 days. The test results showed that the strength activity indices of mortars using Portland cement Type 1 with Palm Oil Fuel Ash by grinded were higher than 75 percent of the control mortar at the ages of 7 days or 28 days. The test results showed that the development of Palm Oil Fuel Ash by grinding resulted in a high pozzolanic performance and could be used in concrete work.

Keywords: Palm Oil Fuel Ash; Grinding; Pozzolanic Materials; Compressive Strength; Fineness

บทนำ

นักวิจัยได้ให้ความสนใจในการศึกษาถึงคุณสมบัติของทั้งรายละเอียดต่างๆ ของวัสดุหลายชนิดทั้งนี้เพื่อนำมาใช้แทนปูนซีเมนต์บางส่วน สำหรับใช้ในงานคอนกรีต วัสดุที่กล่าวถึง เช่น เถ้าถ่านหิน (Fly Ash) เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ (Rice Husk-Bark Ash) และ เถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm Oil Fuel Ash) เป็นต้น วัสดุดังกล่าวนี้เป็นวัสดุที่มีสารจำพวกซิลิกา (Siliceous) หรือซิลิกาและอลูมินา (Siliceous and Aluminous) ปนอยู่ สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาเพิ่มเติมจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้ความแข็งแรงของคอนกรีตเพิ่มขึ้น เรียกวัสดุดังกล่าวนี้ว่า วัสดุปอซโซลาน (Pozzolanic Materials) [1]

ในประเทศไทยมีการใช้เถ้าปาล์มมากกว่า 3 ล้านตันต่อปีในการเป็นวัตถุดิบผลิตน้ำมันปาล์ม [2] ซึ่งจะมีส่วนเหลือที่เป็นกากของเถ้าปาล์มที่ต้องนำไปทิ้ง โดยการกำจัดทิ้งนั้นก็ยากเพราะต้องใช้พื้นที่ในการกำจัดทิ้งมาก กระทั่งได้มีการนำเศษกะลาและเส้นใยของผลปาล์มมาเผาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าอุณหภูมิที่ใช้เผาประมาณ 300-400 องศาเซลเซียส แต่ก็ลดปริมาณของวัสดุก่อนทิ้งดังกล่าวได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น จึงควรศึกษาเพื่อนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีต

Hussin และ Awal [3] ได้ศึกษาการนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน องค์ประกอบทางด้านเคมีพบว่ามีออกไซด์ของซิลิกอน เป็นสารประกอบหลักในการทำปฏิกิริยาปอซโซลานหากพิจารณาโดยพื้นฐานแล้วจึงน่าสนใจอย่างยิ่งที่จะนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน แต่สิ่งที่จะต้องมีการพิจารณาที่สำคัญคือ ความละเอียดเนื่องจาก Joo-Hwa Tay [4] ได้ศึกษาการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันในงานคอนกรีต พบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใหญ่กว่าปูนซีเมนต์ และเมื่อนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์มากกว่าร้อยละ 10 เป็นวัสดุประสาน กำลังอัดมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วนเป็นวัสดุประสาน ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้นำเถ้าปาล์มน้ำมันมาปรับปรุงคุณภาพให้มีความละเอียดด้วยการบด เพื่อศึกษาผลของการเพิ่มกำลังอัดและคุณสมบัติการเป็นปอซโซลานของเถ้าปาล์มน้ำมัน

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาคุณสมบัติการเป็นวัสดุปอซโซลานและผลกระทบทางด้านกำลังอัดของเถ้าปล้มน้ำมันโดยการปรับปรุงคุณภาพด้วยการบดให้มีความละเอียดที่แตกต่างกันเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน

3. การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาประกอบไปด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, มวลรวมละเอียด เป็นทรายแม่น้ำสะอาดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ค้างบนตะแกรงเบอร์ 100, เถ้าปล้มน้ำมัน ใช้เถ้าปล้มน้ำมัน จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า

ในส่วนของเถ้าปล้มน้ำมันนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 16 เพื่อกำจัดหรือแยกเอาสิ่งที่เป็นสิ่งปนซึ่งมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ออก จากนั้นนำเถ้าปล้มน้ำมันที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 16 (PO) ไปบดบดละเอียดด้วยเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นสำหรับใช้บดวัสดุปอซโซลานแบบประหยัดพลังงาน จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี [1] บดจนได้ปริมาณร้อยละค้ำบนตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 20-25, 10-15 และ 0-5 โดยน้ำหนัก โดยกำหนดชื่อตามความละเอียดเป็น PA1, PA2 และ PA3 ตามลำดับ

3.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมี

ทดสอบหาปริมาณร้อยละค้ำบนตะแกรงเบอร์ 325 ของเถ้าปล้มน้ำมันตามมาตรฐาน ASTM C 430 [5] ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ เถ้าปล้มน้ำมันที่ได้จากการบด ตามมาตรฐาน ASTM C 188 [6] หาความละเอียดของวัสดุที่ได้จากการบดโดยวิธี Blaine Air Permeability ตามมาตรฐาน ASTM C 204 [7] อีกทั้งทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีหลักของเถ้าปล้มน้ำมันที่ส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน อันประกอบไปด้วย SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 และ SO_2 รวมไปถึงค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาว่าเถ้าปล้มน้ำมันที่ได้จากการบดสามารถเป็นวัสดุปอซโซลานได้หรือไม่

3.3 การทดสอบกำลังอัดเนื่องจากผลของความละเอียด

เตรียมตัวอย่างมอร์ตาร์สำหรับการทดสอบ ในการศึกษาค้างนี้จะศึกษากำลังอัดโดยใช้มอร์ตาร์ขนาด $50 \times 50 \times 50$ มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C 109 [8] โดยมีมอร์ตาร์มีอัตราส่วนระหว่างวัสดุประสานต่อมวลละเอียดเท่ากับ 1:2.75 โดยน้ำหนัก และควบคุมการไหลแผ่ของมอร์ตาร์เท่ากับร้อยละ 110 ± 5 ตามมาตรฐาน ASTM C 230 [9] ซึ่งใช้เถ้าปล้มน้ำมันก่อนและหลังบดทั้งสี่ชนิดคือ PO, PA1, PA2 และ PA3 จากนั้นนำไปแทนที่ปูน

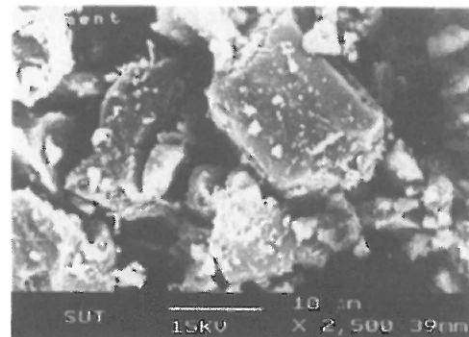
ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ภายหลังการหล่อมอร์ตาร์ 24 ชั่วโมง จึงได้มีการถอดแบบบ่มในน้ำที่สะอาด จากนั้นนำมาทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7 และ 28 วัน

สัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับตัวอย่างการทดสอบประกอบไปด้วย control หมายถึง มอร์ตาร์มาตรฐานผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว และส่วนผสมใช้เถ้าปล้มน้ำมันก่อนและหลังบด คือ PO, PA1, PA2 และ PA3 ตามลำดับ

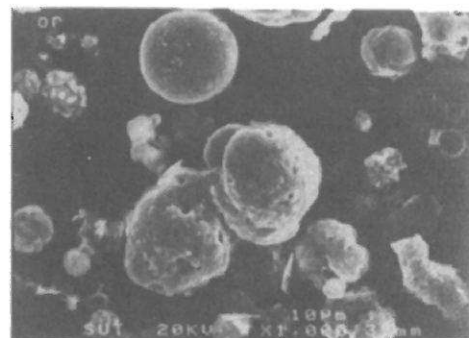
4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

4.1 ลักษณะรูปร่างโดยภาพถ่ายขยาย

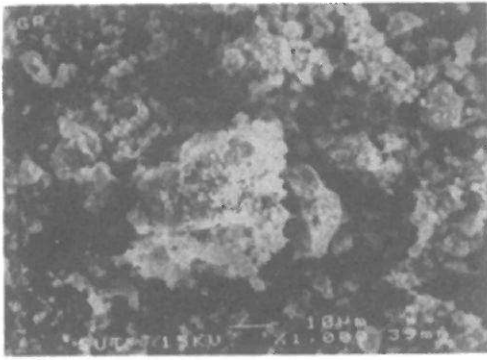
รูปที่ 1 แสดงภาพถ่ายขยายอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าปล้มน้ำมันทั้งก่อนปรับปรุงขนาดและหลังปรับปรุงขนาดด้วยการบดละเอียด พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน เนื้อแน่น เป็นเหลี่ยมเป็นมุม และผิวมีลักษณะขรุขระดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) ส่วนเถ้าปล้มน้ำมันก่อนบดมีอนุภาคหยาบ มีความพรุน รูปร่างกลม มีขนาดไม่แน่นอนดังในรูปที่ 1 (ข) และเถ้าปล้มน้ำมันที่ปรับปรุงขนาดด้วยการบดละเอียดมีรูปร่างไม่แน่นอน เป็นเหลี่ยมมุม อนุภาคมีความพรุนลดลง และผิวขรุขระเนื่องจาก การบดทำให้อนุภาคที่ใหญ่แตกออก ดังแสดงในรูปที่ 1 (ค)



ก. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



ข. เถ้าปล้มน้ำมันก่อนบด



ค. เถ้าปลั้มน้ำมันบดละเอียดข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 0-5

รูปที่ 1 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าปลั้มน้ำมันทั้งก่อนปรับปรุงขนาดและหลังปรับปรุงขนาด ด้วยการบดละเอียดด้วยเครื่องมือแบบประหยัคพลังงาน

4.2. ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของเถ้าปลั้มน้ำมัน

การบดเถ้าปลั้มน้ำมันส่งผลให้มีขนาดอนุภาคเล็กลงโดยการเพิ่มจำนวนรอบหรือเวลาในการบดให้มากขึ้น เนื่องจากวัสดุก่อนบดจะมีความพรุนสูง โดยสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 1 (ข) หลังจากการบดแล้วทำให้อนุภาคแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ความพรุนจึงน้อยลงเห็นได้จากรูปที่ 1 (ค) ทำให้เพิ่มความถ่วงจำเพาะและพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุเหล่านั้นเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bouzoubaa และคณะ [10] ซึ่งศึกษาผลกระทบจากการบดเถ้าถ่านหินต่อคุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะและความละเอียดพบว่า ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของเถ้าถ่านหินจะเพิ่มมากขึ้นถ้าใช้ระยะเวลาในการบดเถ้าถ่านหินให้มากขึ้น

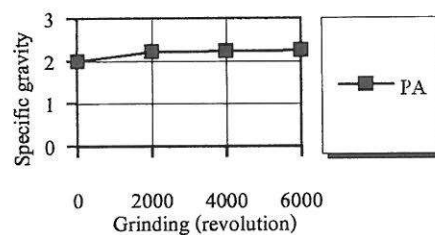
ตารางที่ 2 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของวัสดุทดสอบ พบว่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าเท่ากับ 3.14 ซึ่งอยู่ในช่วงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไปกล่าวคือมีค่าอยู่ในช่วงเท่ากับ 3.1-3.15 ส่วนเถ้าปลั้มน้ำมัน เมื่อทำการบดให้มีค่าสัดส่วนข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 20-25 (PA1), 10-15 (PA2) และ 0-5 (PA3) ได้ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.22, 2.24 และ 2.25, และมีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 7070, 9770 และ 11840 ซม.²/ก. ตามลำดับ โดยพบอีกว่าเถ้าปลั้มน้ำมันก่อนบดมีปริมาณร้อยละข้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 สูงกว่าที่มาตรฐาน ASTM C 618 [11] กำหนดไว้คือไม่เกินร้อยละ 34 จึงไม่เหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุปอซโซลานเนื่องจากอนุภาคขนาดใหญ่จะเกิดปฏิกิริยาได้ช้า ดังนั้นการพัฒนาเถ้าปลั้มน้ำมันด้วยการบดให้มีความละเอียดจึงเป็นวิธีการหนึ่งในการนำไปใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน เนื่องจากการบดเถ้าปลั้มน้ำมันด้วยเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น [1] ในจำนวน 2000, 4000 และ 6000 รอบ (30, 60 และ 90 นาที) พบว่าทำให้เถ้าปลั้มน้ำมันทำให้มีปริมาณร้อยละข้างบนตะแกรงมาตรฐาน

เบอร์ 325 ต่ำกว่าที่มาตรฐาน ASTM C 618 [11] กำหนดไว้คือไม่เกินร้อยละ 34 ส่วนรูปที่ 2 แสดงผลกระทบในการบดเถ้าปลั้มน้ำมันต่อความถ่วงจำเพาะ และ พื้นที่ผิวจำเพาะ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการบดเถ้าปลั้มน้ำมันนอกจากจะทำให้ขนาดอนุภาคเล็กลงแล้วยังส่งผลให้ความถ่วงจำเพาะและพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นด้วย

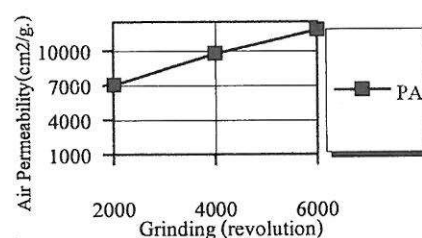
ตารางที่ 2 ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของเถ้าปลั้มน้ำมันที่ได้จากการบด

Symbol	Specific Gravity	Retained on Sieve No.325 (%)	Air Permeability (cm ² /g)
Control	3.14	-	3490
PO	1.99	65	-
PA1	2.22	20-25	7070
PA2	2.24	10-15	9770
PA3	2.25	0-5	11840

หมายเหตุ : สัญลักษณ์ในตารางที่ 2 มีดังนี้ Control หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, PO หมายถึง เถ้าปลั้มน้ำมันก่อนบด ส่วน PA1, PA2, และ PA3 เป็นเถ้าปลั้มน้ำมันบดละเอียดมีค่าสัดส่วนข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 20-25, 10-15 และ 0-5 โดยบดด้วยเครื่องมือชนิดประหยัคพลังงานแบบมีเพลเป็นแกนหมุนจำนวน 2000, 4000 และ 6000 รอบ ตามลำดับ



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 ผลกระทบในการบดเถ้าปลั้มน้ำมันต่อ (ก) ความถ่วงจำเพาะ และ (ข) พื้นที่ผิวจำเพาะ

4.3 องค์ประกอบทางเคมี

ตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าปล้มน้ำมันบนคละเอียด (PA3) พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มี CaO เป็นองค์ประกอบหลักทางด้านเคมีซึ่งมีค่าสูงถึงร้อยละ 64.97 และมี SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เท่ากับร้อยละ 20.8, 5.50 และ 3.16 ตามลำดับ รวมประมาณร้อยละ 94.43 ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักทางเคมีโดยทั่วไปของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ส่วนเถ้าปล้มน้ำมัน (PA3) บดด้วยเครื่องมือบดชนิดประหยัดพลังงานที่พัฒนาขึ้น [1] พบว่ามี SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เท่ากับร้อยละ 63.56, 1.56 และ 1.42 ตามลำดับ และมี SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลักสารเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้จึงสามารถใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยของ Hussin และ Awal [3]

ส่วนผลรวมของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 มีปริมาณเท่ากับร้อยละ 66.54 และมีปริมาณ SO_3 ร้อยละ 0.24 อีกทั้งค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI, Los on Ignition) มีค่าเท่ากับร้อยละ 9.62 หากพิจารณาตามมาตรฐานของ ASTM C 618 แล้วจึงพบว่า เถ้าปล้มน้ำมัน จัดเป็นวัสดุปอซโซลาน Class N ส่วนการบดเถ้าปล้มน้ำมันส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบทางเคมีไม่มากนักสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [12] จึงไม่แสดงองค์ประกอบทางเคมีของ PO, PA1 และ PA2 ในที่นี้

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และเถ้าปล้มน้ำมัน

Materials	Chemical composition, % in weight								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	LOI
Cement	20.8	5.50	3.16	64.97	1.06	0.08	0.55	2.96	2.89
PA3	63.56	1.56	1.42	7.58	3.88	0.06	6.87	0.24	9.62

4.4 ความต้องการน้ำของมอร์ตาร์

ตารางที่ 4 แสดงค่าความต้องการน้ำของมอร์ตาร์มาตรฐานและมอร์ตาร์แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปล้มน้ำมันร้อยละ 20 ของวัสดุประสาน โดยควบคุมปริมาณน้ำให้มีการไหลแผ่ของมอร์ตาร์เท่ากับร้อยละ 110 ± 5 ตามมาตรฐาน ASTM C 230 สำหรับมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปล้มน้ำมันที่ผ่านการบดด้วยเครื่องมือบดพบว่า สามารถลดค่า $W/(C+P)$ ของมอร์ตาร์ลงได้ในทุกอัตราส่วนผสมเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปล้มน้ำมันก่อนบด และยิ่งบดนานมากขึ้นมีแนวโน้มลดค่า $W/(C+P)$ ได้มากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3 เนื่องจากการบดทำให้ความพรุนและโพรงของเถ้าปล้มน้ำมันลดลง

ส่วนมอร์ตาร์ PO, PA1, PA2 และ PA3 พบว่ามีแนวโน้มความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ control เนื่องจากเถ้าปล้มน้ำมันประกอบไปด้วยโพรงอากาศที่มาก อีกทั้งมีโพรงและความพรุนสูง โดยสามารถพิจารณาจากรูปร่างและขนาดขยายในรูปที่ 1 (ข) และ (ค) จึงทำให้เถ้าปล้มน้ำมันเกิดการดูดซึมน้ำมากกว่านั่นเอง

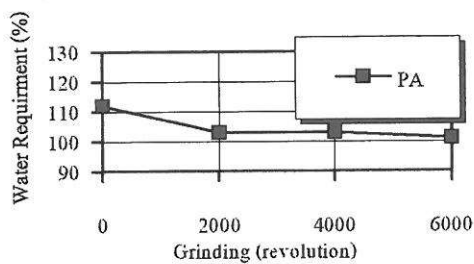
4.5 กำลังอัดของมอร์ตาร์และคันทันกำลัง

ตารางที่ 4 แสดงค่ากำลังอัดและร้อยละกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปล้มน้ำมันทั้งก่อนบดและหลังการบดเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์มาตรฐาน (Control) เมื่อมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตัวเลขแสดงค่ากำลังอัด (กก./ซม.²) และตัวเลขในด้านขวาคือค่ากำลังอัดที่เทียบเป็นร้อยละของมอร์ตาร์มาตรฐาน (%) พบว่ามอร์ตาร์ผสมเถ้าปล้มน้ำมัน (PO) ก่อนบดมีกำลังอัดร้อยละ 49 และ 51 ของมอร์ตาร์มาตรฐานที่อายุ 7 วัน และ 28 วันตามลำดับ ซึ่งล้วนมีค่าน้อยกว่าที่มาตรฐาน ASTM C 618 กำหนดไว้คือวัสดุปอซโซลานต้องมีค่าคันทันกำลังอย่างน้อยร้อยละ 75 ของมอร์ตาร์มาตรฐานที่อายุ 7 หรือ 28 วัน แสดงว่าเถ้าปล้มน้ำมัน ที่ไม่ผ่านการบดมีขนาดอนุภาคใหญ่ มีโพรงและความพรุนสูงไม่เหมาะในการใช้เป็นวัสดุปอซโซลานเนื่องจากทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้น้อยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Joo-Hwa Tay [4]

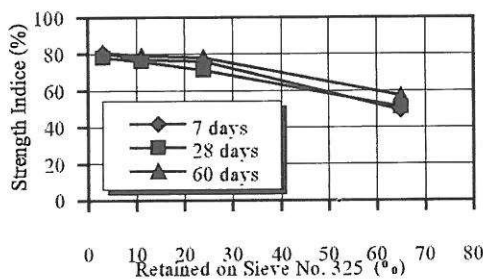
ส่วนมอร์ตาร์ PA1, PA2 และ PA3 มีค่ากำลังอัดที่อายุ 7 วันเท่ากับ 218, 222 และ 232 กก./ซม.² หรือคิดเป็นร้อยละ 76, 77 และ 81 ตามลำดับ ส่วนที่อายุ 28 วันมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 263, 280 และ 290 กก./ซม.² หรือคิดเป็นร้อยละ 75, 76 และ 78 ตามลำดับ ซึ่งมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นตามความละเอียดที่สูงขึ้น เนื่องจากอนุภาคที่ละเอียดมากส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี และอนุภาคที่ละเอียดนี้ สามารถแทรกซึมไปอุดช่องว่างของพาสต์ มอร์ตาร์จึงมีเนื้อที่แน่น นอกจากนั้นผลการทดสอบยังพบอีกว่ามอร์ตาร์ PA1, PA2 และ PA3 มีค่าร้อยละกำลังอัดสูงกว่าร้อยละ 75 ตามที่มาตรฐาน ASTM C 618 กำหนดไว้ แสดงว่าการพัฒนาเถ้าปล้มน้ำมันด้วยการบดให้มีความละเอียดสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีตได้ดี รูปที่ 4 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความละเอียดในการบดกับกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 7 และ 28 วัน พบว่าการบดเถ้าปล้มน้ำมันให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้นจะมีการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นความละเอียดของอนุภาคจึงเป็นสิ่งที่สำคัญต่อกำลังอัด เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Rukzon [13] ซึ่งบดเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ให้มีความละเอียดมากขึ้นเพื่อใช้ในการงานคอนกรีต ในรูปที่ 5 แสดงเครื่องมือบดวัสดุปอซโซลานที่พัฒนาขึ้นสำหรับการศึกษาครั้งนี้

ตารางที่ 4 กำลังอัดและความต้องการน้ำของมอร์ตาร์

Symbol	W/(C+P)	Flow	Water Requirement %	Compressive Strength ksc - %	
				7-days	28-days
Control	0.68	111.0	100	287-100	371-100
PO	0.76	114.0	112	141-49	196-51
PA1	0.70	111.0	103	218-76	263-75
PA2	0.70	114.0	103	222-77	280-76
PA3	0.69	114.0	101	232-81	290-78



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการบดกับความต้องการน้ำของเถ้าปาล์มน้ำมัน



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความละเอียดที่ได้จากการบดแต่ละจำนวนรอบและกำลังอัดของมอร์ตาร์ (ก) มื่อมอร์ตาร์อายุ 7 วัน, (ข) มื่อมอร์ตาร์อายุ 28 และ (ค) มื่อมอร์ตาร์อายุ 60 วัน



รูปที่ 5 เครื่องมือบดวัสดุปอชโซลาน [1]

5. สรุปผลการทดสอบ

ผลการทดสอบที่ได้จากการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ สามารถสรุปรวบรวมไว้เป็นลำดับขั้นดังต่อไปนี้

1. เถ้าปาล์มน้ำมันที่ได้จากการบดด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้ดี และขึ้นอยู่กับความละเอียดของเถ้าปาล์มน้ำมัน กล่าวคือ คำนีกำลังของ มอร์ตาร์จะมีค่าสูงขึ้นตามความละเอียดของเถ้าปาล์มน้ำมัน

2. การบดเถ้าปาล์มน้ำมันให้มีความละเอียดที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้งานคอนกรีตได้โดยนำไปใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในบางส่วนได้ดี
3. สำหรับมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดด้วยเครื่องมือพบว่าสามารถลดค่า $W/(C+P)$ ของมอร์ตาร์ลงได้ในทุกอัตราส่วนผสมเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันก่อนบด และยังพบมากขึ้นมีแนวโน้มลดค่า $W/(C+P)$ ได้มากขึ้นเนื่องจากการบดทำให้ความพรุนของเถ้าปาล์มน้ำมันลดลง

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ที่สนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้ และขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ ศาสตราจารย์ ดร. สมชาย ชูชีพสกุล อาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ปริญา จินดาประเสริฐ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่กรุณาให้แนวคิด และคำแนะนำในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนการแก้ปัญหาต่างๆ เป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการวิจัยขอขอบคุณ บริษัท ทักษิณปาล์ม จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำเริง รักซ้อน, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ สมชาย ชูชีพสกุล, "เครื่องมือบดวัสดุปอชโซลานประหยัดพลังงาน", 2546, การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1, 14-16 พฤษภาคม 2546, เชื้อนครินทร์, จ. กาญจนบุรี, หน้า 117-125.
- [2] สุรพันธ์ สุคันธบริย์, ชรินทร์ นมรัย และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2545, "การใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าปาล์มน้ำมันในงานคอนกรีต", การประชุมใหญ่ทางวิศวกรรม ประจำปี 2545, 20-23 มิถุนายน 2545, กรุงเทพฯ, หน้า 191-199.
- [3] Hussin, M.W. and Awal, A.S.M.A., 1996, "Palm Oil Fuel Ash-A Potential Pozzolanic material in Concrete Construction", *Proceeding of the International Conference on Urban Engineering in Asian Cities in the 21st Century*, 20-23 November 1996, Bangkok, Thailand, pp. D361-D366.
- [4] Joo-Hwa Tay, 1990, "Ash from Oil-Palm Waste as Concrete Material", *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 2, No. 2, pp. 94-105.
- [5] American Society for Testing and Materials, 1997, "ASTM C 430 : Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by the 45 μ m (No. 325) Sieve," in *1997 Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.01, Philadelphia, ASTM, pp. 216-217.

- [6] American Society for Testing and Materials, 1997, "ASTM C 188 : Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement," in **1997 Annual Book of ASTM Standard**, Vol. 04.01, Philadelphia, ASTM, pp. 149-150.
- [7] American Society for Testing and Materials, 1995, "ASTM C 204-94a : Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air Permeability Apparatus," in **1995 Annual Book of ASTM Standard**, Vol. 04.01, Philadelphia, ASTM, pp. 161-167.
- [8] American Society for Testing and Materials, 1997, "ASTM C 109: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or 50-mm Cube Specimens)," in **1997 Annual Book of ASTM Standard**, Vol. 04.01, Philadelphia, ASTM, pp. 59-63.
- [9] American Society for Testing and Materials, 1997, "ASTM C 230 : Standard Specification for Sample and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete," in **1997 Annual Book of ASTM Standard**, Vol. 04.01, Philadelphia, ASTM, pp. 172-176.
- [10] Bouzoubaa, N., Zhang, M.H., Bilodeau, A. and Malhotra, V.M., 1997, "The Effect of Grinding on the Physical Properties of Fly Ash and a Portland Cement Clinker", **Cement and Concrete Research**, Vol. 27, No. 12, pp. 1861-1874.
- [11] American Society for Testing and Materials, 1997, "ASTM C 618 : Standard Specification for Coal Fly Ash Raw or Calcined Natural Pozzolan for use Mineral Admixture in Portland Cement", In **1997 Annual Book of ASTM Standard**, Vol. 04.01, Philadelphia, ASTM, pp. 296-298.
- [12] Kiattikomol, K., Jaturapitakkul, C., Songpiriyakij, S., and Chutubtim, S., 2001, "A Study of Ground Coarse Fly Ashes with Different Fineness from Various Sources as Pozzolanic Materials," **Cement and Concrete Composites**, Vol. 23, No. 4-5, pp. 335-343.
- [13] Rukzon, S., 2005, "Use of Rice Husk-Bark Ash by Grinding to Fineness in Concrete," **KKU Engineering Journal**, Vol. 32, No. 3, pp. 429-439.