

การใช้เถ้าแกลบ-เปลือกไม้บดละเอียด ในงานคอนกรีต *

สำเริง รักซ้อน ¹⁾

¹⁾ นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Email: 4770400031@kku.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคูณสมบัติของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้บดละเอียดสำหรับนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน เถ้าแกลบ-เปลือกไม้เป็นผลผลิตจากการเผาแกลบและเปลือกไม้ทั้งนี้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนแก่กระบวนการในการผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งมีการผลิตถึงวันละ 300 ตัน โดยมีการควบคุมการเผาที่อุณหภูมิคงที่ให้อยู่ในช่วง 800-900 ° C เถ้าแกลบ-เปลือกไม้มีขนาดใหญ่จึงมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอชโซลานน้อย การวิจัยครั้งนี้จึงได้นำเถ้าแกลบ-เปลือกไม้มาบดละเอียดด้วยเครื่องมือบดที่สร้างขึ้นมาสำหรับการวิจัยครั้งนี้ เถ้าแกลบ-เปลือกไม้บดให้ละเอียดจนค้ำบดตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 3.24, 8.08 และ 23.76 จากนั้นนำไปใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่ร้อยละ 20 โดยนำหั่นวัสดุประสานเพื่อหล่อมอร์ตาร์สำหรับทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7, 28 และ 60 วัน

ผลการศึกษาพบว่าดัชนีกำลังของมอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้บดละเอียดมีค่ามากกว่าร้อยละ 75 ของมอร์ตาร์มาตรฐานที่อายุ 7 วัน หรือ 28 วัน จากผลการทดสอบจึงแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาเถ้าแกลบ-เปลือกไม้โดยการนำมาบดละเอียด ทำให้มีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอชโซลานได้ดีและสามารถนำไปใช้ในงานคอนกรีตได้

คำสำคัญ: เถ้าแกลบ-เปลือกไม้, เครื่องบด, วัสดุปอชโซลาน, กำลังอัด, ความละเอียด

* รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม 2547 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 17 สิงหาคม 2547

Use of Rice Husk-Bark Ash by Grinding to Fineness in Concrete *

Sumrerng Rukzon ¹⁾

¹⁾ Graduated Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

Email: 4770400031@kku.ac.th

Abstract

The objective of this research is to study properties of Rice Husk-Bark Ash by grinding to fineness for use to replace Portland cement type 1. Rice Husk-Bark Ash is a by product from heating process in thermal power plants. A thermal power plant with a capacity of 300 ton per day. It is burned at 800-900° C and therefore the quality of the materials is quite uniform because of control to burn. Rice Husk-Bark Ash has been hardly use due to big particle size and little pozzolanic materials property. This research is to use the Rice Husk-Bark Ash was ground until the particle size retained on sieve No. 325 was 3.24%, 8.08% and 23.76% by weight. Then, were use to replace Portland cement type 1 at 20% by weight of cementitious materials to cast mortar and mortars were tested to determine compressive strengths at the age of 7, 28 and 60 days.

The test results showed that the strength activity indice of mortars with to use replace Portland cement type 1 with Rice Husk-Bark Ash by grinding fineness are higher than 75 percent of the control mortar at the ages of 7 days or 28 days. And the test results showed that the development of Rice Husk-Bark Ash by grinding to fineness resulted in a high pozzolanic materials property and could be used in concrete work.

Keywords : Rice Husk-Bark Ash, Grinding Machine, Pozzolanic Materials, Compressive Strength, Fineness

บทนำ

ในงานก่อสร้างปัจจุบัน เราจะเห็นว่าอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างมากมาย ที่องค์ประกอบของโครงสร้างเป็นวัสดุก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยเฉพาะคอนกรีตนั้นจะประกอบไปด้วยส่วนผสมของวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ปูนซีเมนต์ หิน และ น้ำ เป็นต้น ในส่วนของปูนซีเมนต์นั้นมีวัสดุหลายชนิดที่นักวิจัยได้ให้ความสนใจในการศึกษาถึงคุณสมบัติตลอดทั้งรายละเอียดต่างๆ ของมันเพื่อนำมาใช้แทนปูนซีเมนต์บางส่วนสำหรับงานคอนกรีตเช่น เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ (Rice Husk-Bark Ash) เป็นต้น วัสดุดังกล่าวนี้เป็นวัสดุที่มีสารจำพวกซิลิกา (Siliceous) หรือ ซิลิกาและอลูมินา (Siliceous and Aluminous) ปนอยู่ สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาเพิ่มเติมจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้ความแข็งแรงของคอนกรีตเพิ่มขึ้น เรียกวัสดุประเภทนี้ว่า วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan Materials)

เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ (Rice Husk-Bark Ash) ได้จากการเผาแกลบและเปลือกไม้ ทั้งนี้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนของกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้พลังงานจากชีวมวล [จักรพันธุ์ วงศ์พา, สุพันธ์ สุคันธปริย และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2545] ซึ่งแทนที่จะนำไปทิ้งทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่งแล้ว ยังอาจเกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย จึงน่าสนใจอย่างยิ่งที่จะได้มีการศึกษาถึงคุณสมบัติของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ สำหรับนำมาใช้ในงานคอนกรีต

ในการศึกษาถึงคุณสมบัติของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ เพื่อนำมาใช้สำหรับงานคอนกรีตนั้นสิ่งที่ต้องมีการพิจารณาที่สำคัญคือ ความละเอียด ซึ่งต้องมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบดเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ให้มีความละเอียดเป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจ แต่เครื่องมือบดปัจจุบันยังมีน้อยมาก หรือที่มีอยู่ราคาค่อนข้างสูงหรืออาจต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ อีกทั้งมักมีใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น เครื่องบดปูนซีเมนต์ เป็นต้น ปัจจุบันนักวิจัยได้ให้ความสนใจในการศึกษาและสร้างเครื่องบดวัสดุปอซโซลานขึ้นเพื่อนำมาใช้ทั้งในห้องปฏิบัติการสำหรับงานวิจัย และสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เช่น เครื่องมือบดเถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ และเถ้าปาล์มน้ำมัน เป็นต้น [สำเริง รักซ้อน ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ สมชาย ชูชีพสกุล, 2546]

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1. ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตาม มอก. 15-2524
2. มวลรวมละเอียด เป็นทรายแม่น้ำสะอาดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ค้างบนตะแกรงเบอร์ 100
3. เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ใช้เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า
4. น้ำ ในการศึกษาค้างนี้เป็นน้ำประปา

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. ตะแกรงมาตรฐานวิเคราะห์ขนาดเบอร์ 325
2. ชุดทดสอบการไหล
3. ขวดแก้วทดลองหาความถ่วงจำเพาะ (Le Chatelier)

4. อุปกรณ์หาความละเอียด (Air Blaine Permeability)
5. เครื่องผสมมอร์ตาร์
6. เครื่องทดสอบกำลังอัด
7. เครื่องมือบดที่สร้างขึ้น (2 ถังคู่)
8. ตัวบดทรงกลม

วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยและศึกษาแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

1. นำเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ปริมาณ 4 กิโลกรัม บดด้วยเครื่องมือบดประหยัดพลังงานที่สร้างขึ้น โดยใช้ ปริมาตรของตัวบดที่ร้อยละ 6 ของปริมาตรถังบด บดจำนวน 2000, 4000 และ 6000 รอบ ตามลำดับ
2. ทดสอบหาปริมาณร้อยละค้ำบนตะแกรงเบอร์ 325 ของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ตามมาตรฐาน ASTM C 430 [American Society for Testing and Materials, 1997]
3. นำวัสดุที่ได้จากการบดไปแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ในการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ในแต่ละความละเอียด
4. ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ที่ได้จากการบด
5. ตามมาตรฐาน ASTM C 188 [American Society for Testing and Materials, 1997]
6. หาความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ที่ได้จากการบด โดยวิธี Blaine Air Permeability ตามมาตรฐาน ASTM C 204 [American Society for Testing and Materials, 1995]
7. เตรียมตัวอย่างมอร์ตาร์สำหรับการทดสอบ ในการศึกษาครั้งนี้จะศึกษากำลังอัดโดยใช้มอร์ตาร์ ขนาด $50 \times 50 \times 50$ มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C 109 [American Society for Testing and Materials, 1997] โดยมอร์ตาร์มีอัตราส่วนระหว่างวัสดุประสานต่อมวลละเอียดเท่ากับ 1:2.75 โดยน้ำหนัก และควบคุมการไหลแผ่ของมอร์ตาร์เท่ากับร้อยละ 110 ± 5 ตามมาตรฐาน ASTM C 230 [American Society for Testing and Materials, 1997] ซึ่งใช้เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ก่อนและหลังบดที่ได้จากการทดสอบ โดยบดที่จำนวน 2000, 4000 และ 6000 รอบ จากนั้นนำไปแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ภายหลังการหลอมมอร์ตาร์ 24 ชั่วโมง จึงได้มีการถอดแบบบ่มในน้ำที่สะอาด จากนั้นนำมาทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7, 28 และ 60 วัน ตารางที่ 1 เป็นจำนวนตัวอย่างมอร์ตาร์สำหรับการทดสอบกำลังอัด

Symbol	No. of mortar specimen tested for compressive strength		
	7 days	28 days	60 days
Control	3	3	3
RH	3	3	3
4RH20	3	3	3
4RH40	3	3	3
4RH60	3	3	3

ตารางที่ 1 จำนวนตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใช้ทดสอบกำลังอัด

หมายเหตุ : สัญลักษณ์ในตารางที่ 1 มีดังนี้ Control หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, RH หมายถึง เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ก้อนบด เลข 4 หมายถึง น้ำหนักของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ที่บด 4 กิโลกรัมต่อ 1 ถัง ตัวเลขด้านหลัง 20, 40 และ 60 คือรอบในการบด 2000, 4000 และ 6000 รอบ เช่น 4RH20 หมายถึง เถ้าเถ้าแกลบ-เปลือกไม้บดปริมาณ 4 กิโลกรัมต่อ 1 ถัง จำนวน 2000 รอบ

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

1. ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ตารางที่ 2 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ที่ผ่านการบดด้วยเครื่องมือบดที่สร้างขึ้น ปริมาณ 4 กิโลกรัม ต่อถัง ส่วนผลทดสอบความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าเท่ากับ 3.14 ซึ่งอยู่ในช่วงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไป กล่าวคือมีค่าอยู่ในช่วงเท่ากับ 3.1-3.15

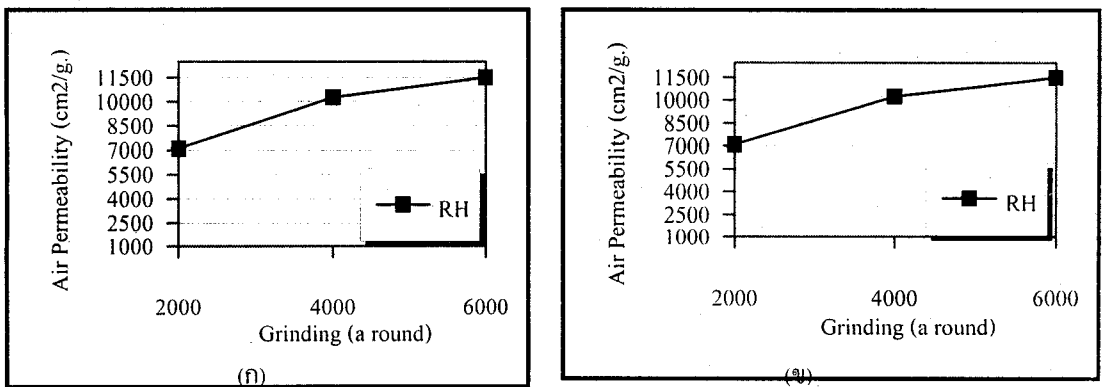
Symbol	Specific Gravity	Retained on Sieve No.325 (%)	Air Permeability (cm ² /g)
Control	3.14	-	3497
RH	2.06	74.40	-
4RH20	2.21	23.76	7119
4RH40	2.23	8.08	10279
4RH60	2.24	3.42	11566

ตารางที่ 2 ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ที่ได้จากการบดด้วยเครื่องมือบดที่สร้างขึ้น

หมายเหตุ : สัญลักษณ์ในตารางที่ 2 มีดังนี้ Control หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, RH หมายถึง เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ก้อนบด ตัวเลขด้านซ้ายเป็นปริมาณวัสดุ (กก.) ต่อการบด 1 ถัง

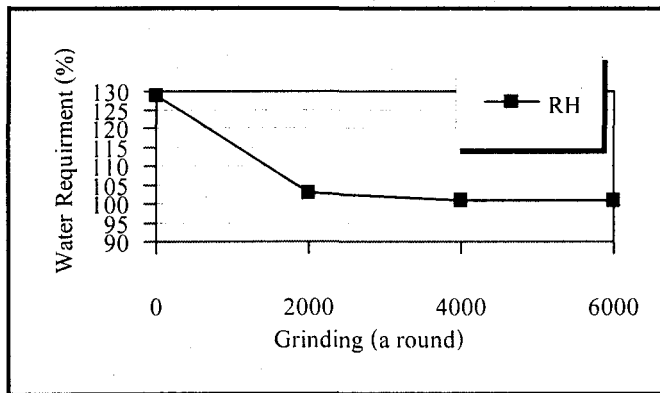
ตัวเลขด้านขวาเป็นจำนวนรอบในการบด เช่น 4RH20 หมายถึง แก้วแอลบ-เปลือกไม้ 4 กิโลกรัมต่อกับ บด ซึ่งบดจำนวน 2000 รอบ เป็นต้น

จะเห็นว่าแก้วแอลบ-เปลือกไม้ (RH) ก่อนบดมีสัดส่วนข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 เท่ากับ ร้อยละ 74.40 มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.06 และเมื่อทำการบดใน 2000, 4000 และ 6000 รอบ ได้ค่า สัดส่วนข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 23.76, 8.08 และ 3.42 โดยที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.21, 2.23 และ 2.24, และมีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 7119, 10279 และ 11566 ซม.²/ก. ตามลำดับ การ บดแก้วแอลบ-เปลือกไม้ให้มีขนาดเล็กลงโดยเพิ่มจำนวนรอบในการบดทำให้ความ ถ่วงจำเพาะและ ความละเอียดของแก้วแอลบ-เปลือกไม้เพิ่มขึ้นเนื่องจากวัสดุก่อนบดจะมีความพรุนสูง หลังจากการบดแล้ว ทำให้อนุภาคแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ความพรุนจึงน้อยลงทำให้เพิ่มความถ่วงจำเพาะและพื้นที่ผิวจำเพาะของ วัสดุเหล่านั้นนั่นเอง โดยสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 1 (ก) และ (ข) ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุ ปอชโซลานในการที่นำไปใช้แทนปูนซีเมนต์บางส่วนได้ดีสำหรับงานคอนกรีต



รูปที่ 1 ผลกระทบในการบดวัสดุปอชโซลานต่อ (ก) ความถ่วงจำเพาะ และ (ข) พื้นที่ผิวจำเพาะ

2. กำลังอัดของมอร์ตาร์ ตารางที่ 3 แสดงค่าความต้องการน้ำของมอร์ตาร์มาตรฐาน และมอร์ตาร์ แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุแก้วแอลบ-เปลือกไม้ร้อยละ 20 ของวัสดุประสาน บดที่จำนวน 2000, 4000 และ 6000 รอบโดยควบคุมปริมาณน้ำให้มีการไหลผ่านของมอร์ตาร์เท่ากับร้อยละ 110 ± 5 ตามมาตรฐาน ASTM C230 [7] สำหรับมอร์ตาร์ที่ผสมแก้วแอลบ-เปลือกไม้ที่ผ่านการบดด้วยเครื่องมือบดพบว่า สามารถลดค่า $W/(C+P)$ ของมอร์ตาร์ลงได้ในทุกอัตราส่วนผสมเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ที่ผสมแก้วแอลบ-เปลือก ไม้ก่อนบด และยังบดมากขึ้นมีแนวโน้มลดค่า $W/(C+P)$ ได้มากขึ้นเนื่องจากการบดทำให้ความพรุนของ แก้วแอลบ-เปลือกไม้ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ของจำนวนรอบในการบดกับความต้องการน้ำของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้

Symbol	Retained on Sieve No.325 (%)	W/(C+P)	Flow	Water Requirement (%)
Control	-	0.68	111.0	100
RH	74.40	0.88	110.0	129
4RH20	6.96	0.70	113.0	103
4RH40	0.45	0.69	110.0	101
4RH60	0.05	0.69	114.0	101

ตารางที่ 3 ความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ที่บดด้วยเครื่องมือบด

หมายเหตุ : สัญลักษณ์ในตารางที่ 3 มีดังนี้ Control หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, RH หมายถึง เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ก่อนบด ตัวเลขด้านซ้ายเป็นปริมาณวัสดุ (กก.) ต่อการบด 1 ถึง ตัวเลขด้านขวาเป็นจำนวนรอบในการบด เช่น 4RH20 หมายถึง เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ 4 กิโลกรัมต่อถึง บด ซึ่งบดจำนวน 2000 รอบ เป็นต้น

Symbol	W/(C+P)	Retained on Sieve No. 325 (%)	Compressive Strength					
			7-Days		28-Days		60-Days	
			(ksc)	(%)	(ksc)	(%)	(ksc)	(%)
Control	0.68	-	287	100	371	100	429	100
RH	0.88	74.40	153	53	189	51	232	54
4RH20	0.70	23.76	227	79	287	77	343	80
4RH40	0.69	8.08	249	87	333	90	403	94
4RH60	0.69	3.42	246	86	336	91	420	98

ตารางที่ 4 กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ก่อนบดและหลังบด

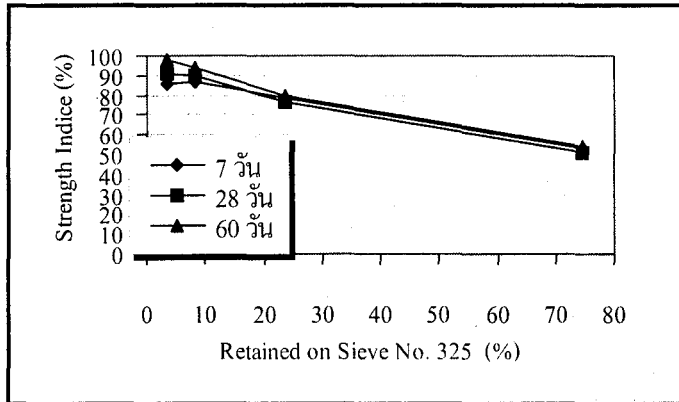
หมายเหตุ : สัญลักษณ์ในตารางที่ 4 มีดังนี้ Control หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, RH หมายถึง เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ก่อนบด ตัวเลขด้านซ้ายเป็นปริมาณวัสดุ (กก.) ต่อการบด 1 ถึง ตัวเลขด้านขวาเป็นจำนวนรอบในการบด เช่น 4RH20 หมายถึง เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ 4 กิโลกรัมต่อถึง บด ซึ่งบดจำนวน 2000 รอบ เป็นต้น

ตารางที่ 4 แสดงค่ากำลังอัดและร้อยละกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ทั้งก่อนบด และหลังการบด เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์มาตรฐาน (Control) เมื่อมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 โดย น้ำหนักของวัสดุประสาน ตัวเลขแสดงค่ากำลังอัด (กก./ซม.²) และตัวเลขในวงเล็บเป็นค่ากำลังอัดที่เทียบ เป็นร้อยละของมอร์ตาร์มาตรฐาน (%) โดยใช้ปริมาณวัสดุที่บด 4 กิโลกรัมต่อถึง (2 ถึง 8 กิโลกรัม) พบว่า มอร์ตาร์ผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ (RH) ก่อนบดมีกำลังอัดร้อยละ 53 และ 51 ของมอร์ตาร์มาตรฐานที่ อายุ 7 วัน และ 28 วันตามลำดับ ซึ่งล้วนมีค่าน้อยกว่าที่มาตรฐาน ASTM C 618 [American Society for Testing and Materials, 1997] กำหนดไว้คือ วัสดุปอชโซลานต้องมีค่าดัชนีกำลังอย่างน้อยร้อยละ 75 ของมอร์ตาร์มาตรฐานที่อายุ 7 หรือ 28 วัน แสดงว่าเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ดังกล่าวที่ไม่ผ่านการบดมี ขนาดใหญ่และไม่เหมาะในการใช้เป็นวัสดุปอชโซลาน

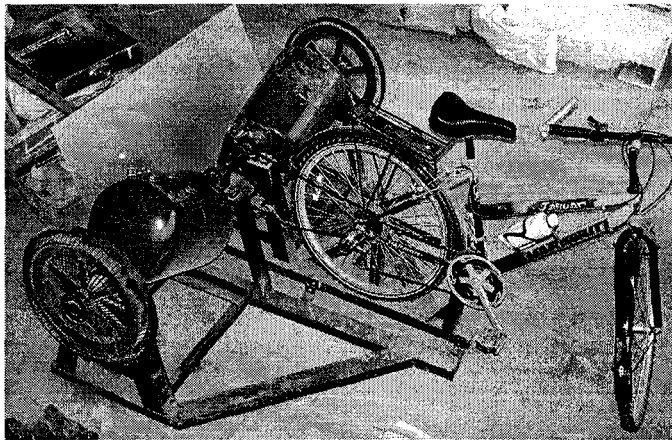
มอร์ตาร์ 4RH20, 4RH40 และ 4RH60 ใช้เถ้าแกลบ-เปลือกไม้บดละเอียดข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 23.76, 8.08 และ 3.42 มีค่ากำลังอัดที่อายุ 7 วันเท่ากับ 227, 249 และ 246 กก./ซม.² หรือคิดเป็นร้อยละ 79, 87 และ 86 ตามลำดับ ซึ่งมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นตามความละเอียดที่สูงขึ้น

ดังนั้นการบดเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในปริมาณ 4 กิโลกรัม (8 กิโลกรัมต่อ 2 ถึง) บดเพียงจำนวน 2000 รอบ หรือประมาณ 30 นาที ก็มีร้อยละกำลังอัดสูงกว่าร้อยละ 75 ตามที่มาตรฐาน ASTM C 618 [American Society for Testing and Materials, 1997] กำหนด แสดงว่า เครื่องมือบดที่สร้างขึ้น สามารถบดเถ้าแกลบ - เปลือกไม้ ใช้เป็นวัสดุปอชโซลานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รูปที่ 3 เป็น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 325 ในการบดกับกำลังของมอร์ตาร์ที่อายุ 7,

28 และ 60 วันตามลำดับ พบว่าการบดเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้นจะมีการพัฒนา กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้อย่างต่อเนื่อง ส่วนในรูปที่ 4 แสดงเครื่องมือบดวัสดุปอชโซลานที่สร้างขึ้น



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความละเอียดที่ได้จากการบดแต่ละจำนวนรอบและกำลังอัดของมอร์ตาร์ (ก) เมื่อมอร์ตาร์อายุ 7 วัน, (ข) เมื่อมอร์ตาร์อายุ 28 และ (ค) เมื่อมอร์ตาร์อายุ 60 วัน



รูปที่ 4 เครื่องมือบดวัสดุปอชโซลาน

สรุปผลการทดสอบ

ผลการทดสอบที่ได้จากการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ สามารถสรุปรวบรวมไว้เป็นลำดับขั้นดังต่อไปนี้

1. แก้วกลบ-เปลือกไม้ที่ได้จากการบดด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้น สามารถใช้งานได้ดี และขึ้นอยู่กับความละเอียดของแก้วกลบ-เปลือกไม้ กล่าวคือ ดัชนีกำลังของมอร์ตาร์จะมีค่าสูงขึ้นตามความละเอียดของแก้วกลบ-เปลือกไม้
2. การบดแก้วกลบ-เปลือกไม้ให้มีความละเอียดที่เหมาะสม สามารถนำไปใช้ในงานคอนกรีตได้โดยนำไปใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในบางส่วนได้ดี
3. สำหรับมอร์ตาร์ที่ผสมแก้วกลบ-เปลือกไม้ที่ผ่านการบดด้วยเครื่องมือ พบว่า สามารถลดค่า $W/(C+P)$ ของมอร์ตาร์ลงได้ในทุกอัตราส่วนผสมเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ที่ผสมแก้วกลบ-เปลือกไม้ก่อนบด และยิ่งบดมากขึ้นมีแนวโน้มลดค่า $W/(C+P)$ ได้มากขึ้นเนื่องจากการบดทำให้ความพรุนของแก้วกลบ-เปลือกไม้ลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ที่สนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้ และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ ศาสตราจารย์ ดร. สมชาย ชูชีพสกุล อาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่กรุณาให้แนวคิด และคำแนะนำในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนการแก้ปัญหาต่าง ๆ เป็นอย่างดียิ่งตลอดเวลาที่ดำเนินการวิจัยขอขอบคุณ บริษัท ไทยเพาเวอร์ ซัพพลาย จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- จักรพันธ์ วงศ์พา สุพันธ์ สุคันธปรีย์ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2545. “การพัฒนาแก้วกลบ-เปลือกไม้เพื่อใช้ในงานคอนกรีต”. เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8; 23-25 ตุลาคม 2545; ขอนแก่น.
- สำเร็จ รักซ้อน, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ สมชาย ชูชีพสกุล. 2546. เครื่องมือบดวัสดุพอซโซลานประหยัดพลังงาน. การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1; 14-16 พฤษภาคม 2546; เขื่อนศรีนครินทร์ กาญจนบุรี.
- 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. 04.01: 216-217.
- 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. 04.01: 149-150.
- American Society for Testing and Materials. 1995. ASTM C 204-94a : Standard Test Method for Fineness of Hydraulic : 161-167.

- 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**. 04.01: 59-63.
- 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**. 04.01: 172-176.
- 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": **Annual Book of ASTM Standard**. 04.01: 296-298.
- American Society for Testing and Materials. 1997. ASTM C 311-90 : Standard Test Method for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland-Cement Concrete. **Annual Book of ASTM Standard**. 04.01: 188-192.