

คำนำ

ด้วยยุทธศาสตร์การวิจัยของมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครที่ต้องการผลิตและพัฒนางานวิจัยและนักวิจัยของมหาวิทยาลัยเพื่อตอบสนองการพัฒนาท้องถิ่นอย่างชัดเจน งานวิจัยนี้จึงได้รับการอนุมัติให้ดำเนินการภายใต้ชื่อโครงการ การพัฒนาเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าเป็นวัสดุทดแทนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Development of Rice Husk Ash from Thermal Power Plant as a Replacement Material in Portland Cement) โดยการศึกษาการใช้เถ้าแกลบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลของประเทศไทยที่ใช้เถ้าแกลบเป็นเชื้อเพลิงหลัก โดยวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ประกอบด้วย การปรับปรุงวิธีการใช้เถ้าแกลบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้าทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และมวลรวมในการผลิตคอนกรีตชนิดไหลตัวได้ (Self-compacting Concrete) ซึ่งเป็นการสร้างโอกาสในการแข่งขันในเวทีการค้าโลกให้เพิ่มขึ้น รวมทั้งเป็นการสร้างความร่วมมือระหว่างนักวิจัยที่มีความเชี่ยวชาญกับภาคอุตสาหกรรมที่มีเถ้าแกลบเป็นของเหลือทิ้ง เพื่อร่วมกันแก้ปัญหาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ และเป็นการพัฒนาที่มีความยั่งยืนโดยอาศัยพื้นฐานจากภายในประเทศและมีความโดดเด่นในตัวเอง ลดปริมาณของเสียจากภาคอุตสาหกรรมอันจะเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมอีกด้วย

ทางคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณผู้ให้การสนับสนุนทุกภาคส่วน โดยเฉพาะสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี

ประกาศิต โสไกร

ดร.ณัฐ มากุล

2555

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
คำนำ.....	ก
สารบัญ.....	ข
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญรูป.....	ช
บทคัดย่อ.....	ญ
Abstract.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	7
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	8
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
1.4.1 ผลกระทบทางเศรษฐกิจ.....	8
1.4.2 ผลกระทบทางสังคม.....	9
1.4.3 ผลกระทบทางการศึกษา.....	9
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	10
บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
2.1 ความรู้เบื้องต้น.....	12
2.1.1 ความหมายของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	12
2.1.2 สารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.3 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction).....	14
2.1.4 กลไกของปฏิกิริยาไฮเดรชัน.....	17
2.1.5 ปฏิกิริยาปอซโซลาน.....	20
2.2 คอนกรีตชนิดไหลตัวได้.....	23
2.2.1 คุณลักษณะเฉพาะของคอนกรีตชนิดไหลตัวได้.....	25
2.2.2 การออกแบบส่วนผสม (Mix Design Methods).....	34
2.3 เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash).....	39
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา.....	46
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา.....	46
3.2 รายละเอียดการดำเนินการศึกษา.....	48
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล.....	56
4.1 สถานการณ์โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงแกลบในปัจจุบัน.....	56
4.2 สมบัติของตัวอย่างเถ้าแกลบจากจังหวัดชัยนาท.....	58
4.2.1 องค์ประกอบเคมี.....	58
4.2.2 สมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าแกลบ.....	60
4.2.3 การกระจายขนาดผลของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าแกลบ.....	61
4.3 การนำเถ้าแกลบมาประยุกต์ใช้ในงานคอนกรีต.....	62
4.4 สมบัติของคอนกรีตชนิดไหลตัวได้ผสมเถ้าแกลบชั้นที่ 1.....	66

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.1 ผลการทดสอบ.....	69
4.5 การศึกษาคอนกรีตชนิดไหลตัวได้ผสมเถ้าแกלבชั้นที่ 2: การเพิ่มขีดความสามารถในการใช้ ประโยชน์ของเถ้าแกלבด้วยผงฝุ่นหิน.....	72
4.5.1 ผลการทดสอบ.....	78
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	96
บรรณานุกรม.....	100
ภาคผนวก	
ส่วนหนึ่งของการวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมและวารสารวิชาการ.....	107

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แนวทางในการเพิ่มความสามารถในการเติมเต็ม (Skarendahl and Petersson, 2000).....	29
2.2 แนวทางในการเพิ่มความสามารถในการไหลผ่าน (Skarendahl and Petersson, 2000).....	31
2.3 แนวทางในการเพิ่มความสามารถในการต้านทานการแยกตัว (Skarendahl and Petersson, 2000).....	34
2.4 ปริมาณวัสดุผงตามชนิดของคอนกรีตชนิดไหลตัวได้ตามข้อกำหนดของ Japan Society of Civil Engineers (JSCE) (Japanese Society of Civil Engineers (JSCE), 1999).....	36
2.5 ปริมาณสัดส่วนผสมตามข้อกำหนดของ ENFARC (European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concretes Systems (EFNARC), 2005).....	37
2.6 ปริมาณสัดส่วนผสมของคอนกรีตชนิดไหลตัวได้ (Domone, 2006).....	38
2.7 องค์ประกอบเคมีของเถ้าแกลบจากสถานที่ต่างๆ.....	42
3.1 ข้อมูลทางด้านเทคนิค.....	50
3.2 รายการการทดสอบคุณสมบัติของเถ้าแกลบ.....	51
3.3 หลักเกณฑ์ในการจำแนกประเภทของประเภทของเถ้าแกลบโดยใช้แนวทางตามมาตรฐาน ASTM C618.....	54
4.1 โรงไฟฟ้าพลังงานแกลบ.....	57
4.2 องค์ประกอบเคมีของปูนซีเมนต์และเถ้าแกลบ.....	59
4.3 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตชนิดไหลตัวได้.....	66
4.4 องค์ประกอบเคมีของฝุ่นหินปูน.....	74
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงและปริมาณวัสดุผง (Yahia et al., 2005).....	77
4.6 องค์ประกอบเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และผงฝุ่นหิน.....	78
4.7 สัดส่วนผสมของคอนกรีตชนิดไหลตัวได้.....	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

4.8 การประเมินความสามารถในการไหลผ่านสิ่งกีดขวางตามมาตรฐาน ASTM C1621 (American Society for Testing and Material, 2011).....	85
4.9 อุณหภูมิและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นสูงสุด และอัตราความร้อนที่เพิ่มขึ้น.....	89

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ปริมาณข้าวที่ผลิตในประเทศไทย.....	3
1.2 รายละเอียดโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหินและถ่านโค้ก.....	4
2.1 ปฏิกิริยาของแคลเซียมซิลิเกต (C_3S , C_2S).....	15
2.2 ลักษณะของเอ็ททริงไทต์ (Ettringite) มีรูปทรงอสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับ เข็มผลึก.....	17
2.3 การพัฒนาของปฏิกิริยาไฮเดรชันในแต่ละสารประกอบหลัก.....	20
2.4 ปริมาณของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้นที่เวลาต่างๆ.....	20
2.5 ปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดร่วมกับปฏิกิริยาปอซโซลาน.....	23
2.6 สัดส่วนผสมระหว่างคอนกรีตปกติกับคอนกรีตชนิดไหลตัวได้ (Ouchi, 2005).....	24
2.7 กระจายอนุภาคปูนซีเมนต์ออกจากกันด้วยสารลดน้ำอย่างแรง (Agulló et al., 1999).....	28
2.8 กลไกการติดขัดของมวลรวมในระหว่างการไหลผ่านสิ่งกีดขวาง (Skarendahl and Petersson, 2000).....	30
2.9 การเยิ้ม (ก) ภาพถ่ายลักษณะการเยิ้ม (ข) การกระจายอนุภาคของน้ำในซีเมนต์เพสต์ (Han et al., 2011).....	32
2.10 ภาพถ่ายขยายอนุภาคถ่านโค้กที่กำลังขยาย 1000 เท่า.....	40
2.11 สเปกตรัมของคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยถ่านโค้กเท่ากับร้อยละ 40 (Sua-iam and Makul, 2012).....	44
3.1 เครื่องบดแบบ Ceramic Ball Mill ที่สาขาวิชาเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.....	47
3.2 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	48

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

4.1 ความเป็นผลึกด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction.....	59
4.2 ลักษณะของอนุภาค.....	60
4.3 เครื่องบดแบบ Ceramic Ball Mill ที่สาขาวิชาเซรามิกส์คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.....	61
4.4 การกระจายขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าแกลบ.....	62
4.5 อุปกรณ์ทดสอบความสามารถในการไหลตัวได้โดยใช้กรวย Abram.....	67
4.6 อุปกรณ์ทดสอบความสามารถในการไหลโดยใช้ V-funnel.....	68
4.7 หน่วยน้ำหนักเทียบเท่าของคอนกรีตชนิดไหลตัวได้เปรียบเทียบกับคอนกรีตล้น.....	69
4.8 ความสามารถในการไหลของคอนกรีตชนิดไหลตัวได้.....	70
4.9 การพัฒนากำลังของคอนกรีตชนิดไหลตัวได้.....	71
4.10 ค่าความเร็วของคลื่นที่ผ่านคอนกรีตชนิดไหลตัวได้ด้วยเทคนิคการวัดด้วย Ultrasonic Pulse Velocity.....	71
4.11 ภาพถ่ายขยายอนุภาคฝุ่นหินปูนที่กำลังขยาย 500 เท่า (Felekoglu, 2007) และ การกระจายขนาดอนุภาคของฝุ่นหินปูนเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (Ye et al., 2007).....	73
4.12 สเปกตรัมของฝุ่นหินปูนที่ได้ทดสอบด้วยเทคนิค X-ray diffraction (Ghrici et al., 2007).....	74
4.13 ภาพขยายขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และผงหินปูน.....	79
4.14 การกระจายขนาดคละของปูนซีเมนต์และผงหินปูน.....	80
4.15 หน่วยน้ำหนักในสภาวะของคอนกรีตสด.....	82
4.16 ระยะการไหลแผ่.....	83

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

4.17 เวลาในการไหลแผ่ถึงระยะ 50 เซนติเมตร.....	84
4.18 อัตราส่วนการไหลผ่านสิ่งกีดขวางกล่องรูปทรงแอล.....	86
4.19 เวลาในการไหลผ่านกล่องรูปทรงวีทีเวลา 5 นาที.....	87
4.20 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในคอนกรีต.....	89
4.21 การสูญเสียความสามารถในการเทได้.....	90
4.22 การวัดความเร็วของการส่งผ่านคลื่นอัลตราโซนิก.....	91
4.23 การพัฒนากำลังอัดในตามช่วงอายุ.....	93
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างการพัฒนา กำลังอัดและความเร็วของการส่งผ่านคลื่นอัลตราโซนิก.....	94

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการปรับปรุงเถ้าแกลบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้าทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และมวลรวมในการผลิตคอนกรีตชนิดไหลตัวได้ (Self-compacting Concrete) โดยมีกระบวนการศึกษาเริ่มต้นจากการประเมินคุณสมบัติเบื้องต้นทางซีเมนต์ตามมาตรฐาน ASTM (ASTM C618 (Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete)) การนำเถ้าแกลบมาทำการบด (Grinding) และถูกนำไปใช้ในการผลิตคอนกรีตชนิดไหลตัวได้ต่อไป

จากผลการทดลองพบว่า วิธีการปรับปรุงเถ้าแกลบที่ดีวิธีหนึ่งคือ โดยการบดด้วยเครื่อง Ceramic Ball Mill จนเถ้าแกลบมีขนาดอนุภาคเท่ากับ 24.32 ไมโครเมตร (μm) ในขณะที่คุณสมบัติของคอนกรีตชนิดไหลตัวได้ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์และมวลรวมด้วยเถ้าแกลบได้พบว่า การแทนที่ของเถ้าแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก มีความสามารถในการไหลตัวสูงสุด และมีระยะเวลาในการทดสอบ V-funnel Flow Time น้อยที่สุด ในขณะที่กำลังอัดของคอนกรีตทุกช่วงอายุที่การแทนที่เถ้าแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก สามารถพัฒนาได้สูงสุด นอกจากนั้นเมื่อทำการเพิ่มขีดความสามารถในการใช้ประโยชน์ของเถ้าแกลบด้วยผงฝุ่นหิน (Limestone Powder, LS) พบว่า หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตชนิดไหลตัวได้มีค่าลดลง เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตด้วยวัสดุผง คอนกรีตชนิดไหลตัวได้ผสมเถ้าแกลบมีค่ากำลังอัดทุกช่วงอายุต่ำกว่าคอนกรีตชนิดไหลตัวได้ผสมผงฝุ่นหิน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อผสมรวมวัสดุผงทั้งสามเข้าด้วยกันพบว่า คอนกรีตชนิดไหลตัวได้มีค่ากำลังอัดที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตชนิดไหลตัวได้ผสมเถ้าแกลบอย่างเดียว

จากการศึกษาสรุปได้ว่า มีความเป็นไปได้ในการพัฒนาคอนกรีตชนิดไหลตัวได้แบบราคาถูกโดยการนำวัสดุผง (เถ้าแกลบและผงฝุ่นหิน) มาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน ทั้งนี้ต้องกำหนดอัตราส่วนการแทนที่ที่เหมาะสมกับองค์ประกอบหลักของคอนกรีต (ปูนซีเมนต์ มวลรวม และสารเคมีผสมเพิ่ม)

Abstract

This research project examined the use of rice husk ash (RHA, obtained as a by-product of power plant operations) to replace Portland cement and aggregates in self-compacting concrete (SCC). The study process began with an assessment of the cementitious properties of RHA as required in accordance with ASTM standard C618 (Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral admixture in Portland Cement Concrete) and continued with an investigation of RHA grinding procedures.

Improved grinding results were obtained using a ceramic ball mill to produce RHA with a mean particle size of 24.32 μm . SCC mixtures in which 20 wt% of the cement and aggregate were replaced with rice husk ash had the highest flow value, lowest V-funnel flow times, and greatest compressive strength at all ages. When the utilization of RHA was increased by adding limestone powder (LS), the unit weight of the SCC mixture decreased. Mixtures containing pure RHA exhibited lower compressive strength than mixtures containing pure LS at all ages. Mixtures containing a combination of these materials had greater compressive strength than mixtures containing only RHA.

The possibility of reducing the cost of SCC by partially replacing Portland cement with materials such as RHA and LS has been clearly demonstrated, and further work should be focused on determining the ratios of Portland cement, aggregates, and admixtures to provide optimal mechanical and economic performance.