

คุณสมบัติของปูนฉาบมวลเบาที่ผสมเถ้าชีวมวล

Properties of Lightweight Plastering Cement Containing Biomass Ash

ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์^[1] และ บุรฉัตร ฉัตรวีระ^[2]

Pusit Lertwattanakul^[1] and Burachat Chatveera^[2]

^[1] คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

โทรศัพท์ : (+662) 986-9605-6 โทรสาร: (+662) 986-9434 Email: Lertwatt@tu.ac.th

^[2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12121

โทรศัพท์ : (+662) 564-3001-9 ต่อ 3105 โทรสาร: (+662) 564-3010 Email: cburacha@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำเถ้าชีวมวล มาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปูนฉาบให้มีคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีขึ้น และเหมาะกับการใช้งานทั่วไป โดยทำการศึกษาดังต่อไปนี้ซึ่งมีผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดของปูนฉาบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 1776-2542) และการเป็นฉนวนกันความร้อน เพื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุมที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งตัวแปรหลัก ได้แก่ สัดส่วนการแทนที่ทรายละเอียดด้วยเถ้าชีวมวลที่ยังไม่บด และการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชีวมวลบด ในปริมาณร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก จากผลการทดสอบ พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวลไม่บด และเถ้าชีวมวลบด ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์มีค่าลดลง แต่ทุกส่วนผสมให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่ามาตรฐาน มอก. และด้านการเป็นฉนวนกันความร้อน การแทนที่ของเถ้าชีวมวลบด ไม่มีผลกระทบต่อค่าการเป็นฉนวนกันความร้อน ส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวลไม่บดในปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างทั้งหมด การแทนที่ของเถ้าชีวมวลไม่บดในปริมาณร้อยละ 20 มีค่าการส่งผ่านความร้อนต่ำที่สุด เท่ากับ 1.06 W/mK ซึ่งดีกว่าตัวอย่างควบคุมประมาณร้อยละ 37 โดยสรุป เถ้าชีวมวลที่ไม่บดสามารถใช้แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในส่วนผสมของปูนฉาบ ซึ่งมีความเหมาะสมทั้งด้านมาตรฐาน มอก. และการเป็นฉนวนกันความร้อน

ABSTRACT

The aim of this research is to investigate the use of biomass ash for developing plastering cement with the better heat-insulation properties, suitable for general usage. This research studied the factors affecting the properties of plastering mortar in accordance with Thailand Industrial Standard (TIS1776-2542) and its heat-insulation property, compared with an ordinary Portland cement

(OPC) mortar. The parametric study was performed by replacing sand and cement with unground and ground biomass ash respectively at the levels of 5%, 10%, 15% and 20% by weight. The results revealed that increasing proportion of unground and ground biomass ash caused a decrease in compressive strengths of plastering mortar, but their compressive strengths were still higher than that of TIS standard. Using biomass in the mortar mixtures provided better heat-protection capability. From the results, the mixture containing 20% of unground biomass ash yielded the lowest thermal conductivity of 1.06 W/mK, which was 37% better than OPC mortar. The results suggested that unground biomass ash can be used to partially replace fine aggregate with an acceptable TIS standard as well as heat-insulation capability.

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งประชากรมากกว่าร้อยละ 50 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ทำให้เกิดผลพลอยได้จากผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งก็คือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เป็นชีวมวล (Biomass) เช่น แกลบ กากอ้อย และกากจากผลปาล์ม เป็นต้น โดยปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้นในแต่ละปีนั้น จะแปรผัน และขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรของประเทศ ในปัจจุบัน มีการนำชีวมวลดังกล่าว มาพัฒนาเป็นแหล่งพลังงานเพื่อทดแทนในการผลิตพลังงานบางส่วน ซึ่งสามารถพบได้ในอุตสาหกรรมหลาย ๆ ประเภท เช่น อุตสาหกรรมการผลิต กระแสไฟฟ้า อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ อุตสาหกรรมการบ่มยางพารา เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดผลพลอยได้หลังจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม คือ เถ้าชีวมวล (Biomass Ash)

เถ้าชีวมวลมีน้ำหนักเบา และสามารถฟุ้งกระจายในอากาศได้ ซึ่งถ้าไม่มีการจัดการที่เหมาะสม ก็จะก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาและวิจัยในเบื้องต้น เกี่ยวกับการนำเถ้าชีวมวลมาใช้ประโยชน์

ทางอุตสาหกรรม ซึ่งพบว่า เถ้าชีวมวลนั้น มีคุณสมบัติในการใช้แทนที่วัสดุหินบางส่วนในการผลิตวัสดุก่อสร้างซึ่งมีปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสม [1,2] และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการเป็นฉนวนกันความร้อน [3,4] ซึ่งสอดคล้องกับสภาพในปัจจุบันที่อุตสาหกรรมการปูนซีเมนต์มีการผลิตเพื่อรองรับการใช้งานในอุตสาหกรรมก่อสร้างที่มีความหลากหลายมากขึ้น

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อการใช้ประโยชน์จากวัสดุที่เหลือทิ้งจากโรงผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานความร้อน ซึ่งก็คือ เถ้าชีวมวล มาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์และทรายเป็นบางส่วนในสัดส่วนที่เหมาะสมของส่วนผสมของปูนฉาบ เพื่อพัฒนาปูนฉาบให้มีคุณภาพและประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ทั้งในด้านน้ำหนัก และคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อน ในงานวิจัยนี้ มีการนำตัวอย่างของเถ้าชีวมวลผสมที่เกิดจากการผสมเชื้อเพลิง 4 ชนิด ได้แก่ เถ้าแกลบ เถ้าเปลือกไม้ เถ้าซังข้าวโพด และเถ้าไม้สัก ซึ่งถูกเผารวมกันในเตาเผาของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานความร้อน และทำการทดสอบโดยนำเถ้าชีวมวลมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์และทรายในอัตราส่วนต่างๆ จากการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของเถ้าชีวมวล พบว่า เถ้าชีวมวลมีความหนาแน่นน้อยกว่ามวลรวมประเภทอื่น ๆ เนื่องจากเถ้าชีวมวลผสมมีลักษณะเป็นรูพรุนมาก และมีน้ำหนักเบา [5] และมีคุณสมบัติเป็นวัสดุพอลิเมอร์ ซึ่งทำให้การนำเถ้าชีวมวลมาใช้เป็นวัสดุหินในส่วนผสมของปูนฉาบสามารถพัฒนาคุณสมบัติของปูนฉาบ โดยทำให้มีน้ำหนักเบาขึ้น และมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีขึ้น

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อนำวัสดุที่เป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานความร้อน คือ เถ้าชีวมวล (Biomass Ash) มาใช้เป็นวัสดุหินในการผลิตปูนฉาบมวลเบาฉนวนกันความร้อน
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมและคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนของปูนฉาบ โดยการใช้เถ้าชีวมวลที่ยังไม่บดในการแทนที่ทราย และการใช้เถ้าชีวมวลบดในการแทนที่ปูนซีเมนต์
3. เพื่อศึกษาพฤติกรรมและคุณสมบัติของปูนฉาบที่ใช้เถ้าชีวมวลผสมตามข้อกำหนดของมาตรฐาน มอก.1776-2542 [6]

3. วิธีการศึกษา

3.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
2. ทรายละเอียด มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 1.71
3. เถ้าชีวมวลที่ผลิตได้จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานความร้อน ซึ่งมีส่วนผสมของเถ้าแกลบ ร้อยละ 32, เถ้าเปลือกไม้ ร้อยละ 23, เถ้าซังข้าวโพดร้อยละ 34 และ เถ้าไม้สักร้อยละ 11
4. น้ำประปา

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมการใช้เถ้าชีวมวลไม่บดและเถ้าชีวมวลบด

สัญลักษณ์	อัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวล (ร้อยละ)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (กรัม)	ทราย (กรัม)	น้ำ (กรัม)	เถ้าชีวมวล (กรัม)
OPC	0	400	1600	430	0
CB5	5	400	1520	485	80
CB10	10	400	1440	515	160
CB15	15	400	1360	550	240
CB20	20	400	1280	620	320
GB5	5	380	1600	430	20
GB10	10	360	1600	425	40
GB15	15	340	1600	415	60
GB20	20	320	1600	410	80

หมายเหตุ OPC	แทน มอร์ตาร์ควบคุม
CB x	หมายถึง มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าชีวมวลไม่บด
GB x	หมายถึง มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชีวมวลบด
x	แทน อัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลโดยน้ำหนัก

3.2 วิธีการเตรียมตัวอย่างวัสดุ

เถ้าชีวมวลที่ใช้ในการศึกษา ได้ถูกเก็บตัวอย่างโดยการสุ่มกระจายครอบคลุมทั่วพื้นที่ของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานความร้อน และนำมาอบให้แห้งในตู้อบ ที่มีอุณหภูมิ $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยมีรายละเอียดในการเตรียมตัวอย่างวัสดุ ดังต่อไปนี้

1. การผสมมอร์ตาร์ที่มีเถ้าชีวมวลไม่บด นำเถ้าชีวมวลไม่บดปริมาณตามสัดส่วนการแทนที่มวลรวม (ทราย) ในอัตราร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก มาผสมกับ ปูนซีเมนต์ น้ำ และทราย ในสัดส่วนผสม ดังในตารางที่ 1 แล้วขึ้นรูปตัวอย่าง ขนาด $50 \times 50 \times 50$ มม. โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายละเอียด เท่ากับ 1:4 และ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ตามค่าอัตราการแผ่ไหล ร้อยละ 110 ± 5
2. การผสมมอร์ตาร์ที่มีเถ้าชีวมวลบด (หลังจากบดเถ้าชีวมวลด้วยเครื่อง grinding machine ที่ความเร็ว 28 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้แท่งเหล็กขนาด 9 มม.จำนวน 16 แท่ง ขนาด 12 มม. จำนวน 15 แท่ง และขนาด 16 มม. จำนวน 14 แท่ง) แล้วนำเถ้าชีวมวลบด ปริมาณตามสัดส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ ในอัตราร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก มาผสมกับ ปูนซีเมนต์ น้ำ และทราย ในสัดส่วนผสม ดังในตารางที่ 1 ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชีวมวลไม่บด

3.3 วิธีการทดสอบ

1. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าชีวมวลไม่บด และเถ้าชีวมวลบด โดยการถ่ายภาพของอนุภาคด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และการทดสอบความละเอียดของเถ้าชีวมวลด้วยเครื่องมือ Laser Particle Size Analyzer (Wet Analysis System)

2. การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของวัสดุผสมรวม โดยทำการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของทรายละเอียดและเถ้าชีวมวลตามมาตรฐาน ASTM C128 [7] การทดสอบขนาดผลึกของทรายละเอียดและเถ้าชีวมวลไม่บด ตามมาตรฐาน BS882 [8]

3. การศึกษาคุณสมบัติของปูนฉาบผสมเถ้าชีวมวล โดยทำการทดสอบหน่วยน้ำหนัก การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน การทดสอบค่าอัตราการแผ่ไหลตามมาตรฐาน และ การทดสอบระยะการก่อตัวตามมาตรฐาน มอก.1776-2542 รวมทั้ง การทดสอบค่าความพรุน (Pore Size and Porosity) ด้วยเครื่อง Pore Sizer ซึ่งใช้ปรอทที่มีความดันสูง

4. การศึกษาคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อน (Thermal Protection Properties) ของปูนฉาบผสมเถ้าชีวมวล โดยการทดสอบด้วยเครื่อง Hot Disk Thermal Constant Analyzer (Hot Disk AB)

4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1 คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเถ้าชีวมวล

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าชีวมวลเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 พบว่า เถ้าชีวมวลไม่บด และเถ้าชีวมวลบด มีปริมาณซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 89.10 และ 89.06 ตามลำดับ ซึ่งมีมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่มีปริมาณ SiO_2 ร้อยละ 20.84 ในขณะที่ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (Free Lime) ในเถ้าชีวมวลมีต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 2

ในด้านคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า ค่าความละเอียด (พื้นที่ผิวจำเพาะ) โดยวิธีการเบลนของเถ้าชีวมวลบด และปูนซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ $5610 \text{ cm}^2/\text{g}$ และ $3248 \text{ cm}^2/\text{g}$ ตามลำดับ ค่าความต้องการน้ำของเถ้าชีวมวลบด เถ้าชีวมวลไม่บด และปูนซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 115.7, 138.4 และ 100 ตามลำดับ และ ค่าดัชนีกำลังที่อายุ 28 วัน ของเถ้าชีวมวลบด เถ้าชีวมวลไม่บด และปูนซีเมนต์ มีค่าเท่ากับร้อยละ 92.7, 51.0 และ 100 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

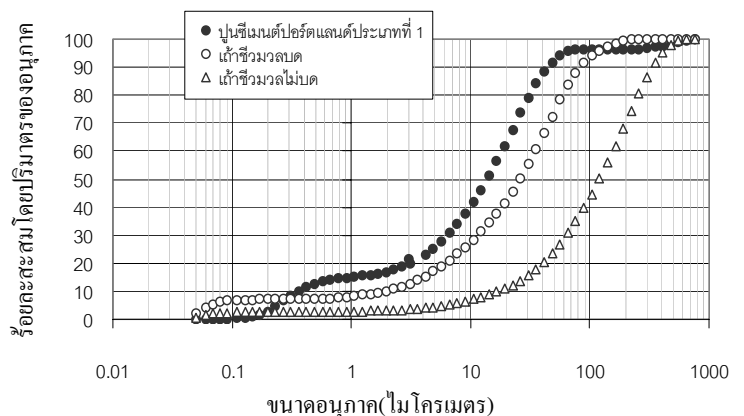
ผลการทดสอบความละเอียด พบว่า เถ้าชีวมวลบดมีขนาดใกล้เคียงปูนซีเมนต์ แต่เถ้าชีวมวลไม่บดมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าปูนซีเมนต์ ดังในรูปที่ 1 การตรวจสอบขนาดและรูปร่างของอนุภาคพบว่า เถ้าชีวมวลไม่บด มีขนาดไม่สม่ำเสมอ ผิวขรุขระ เป็นเหลี่ยมมุม และมีความพรุนสูง แต่เถ้าชีวมวลบด มีขนาดสม่ำเสมอ ผิวเรียบกว่า เป็นเหลี่ยมมุม และมีความพรุนน้อยกว่า ดังในรูปที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าชีวมวลและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

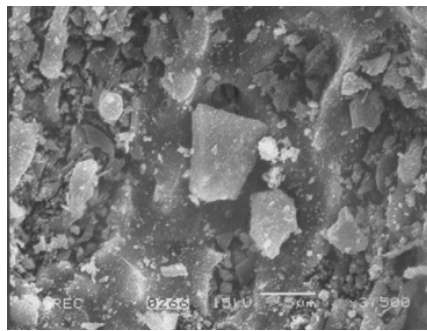
รายการวิเคราะห์	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)		
	เถ้าชีวมวลไม่บด	เถ้าชีวมวลบด	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
SiO_2	89.10	89.06	20.84
Al_2O_3	1.05	0.95	5.22
Fe_2O_3	0.61	0.78	3.20
CaO	4.00	3.99	66.28
MgO	0.79	0.76	1.24
K_2O	4.17	4.16	0.22
Na_2O	0.00	0.00	0.10
SO_3	0.23	0.26	2.41
TiO_2	0.10	0.10	0.25
Free CaO	0.39	0.39	0.99

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบกายภาพของเถ้าชีวมวล

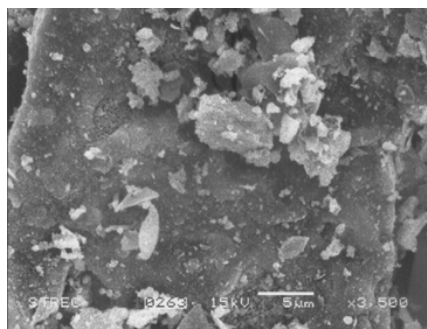
รายการวิเคราะห์	ผลการทดสอบ		
	เถ้าชีวมวลไม่บด	เถ้าชีวมวลบด	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (%)	5.50	5.20	0.51
ค่าความต้องการน้ำ (%)	138.4	115.7	100
พื้นที่ผิวจำเพาะ (cm^2/g)	ตัวอย่างหยาบ	5610	3248
ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.00	2.07	3.11
Strength Activity Index ที่อายุ 7 วัน (%)	48.8	80.8	100
ที่อายุ 28 วัน (%)	51.0	92.7	100



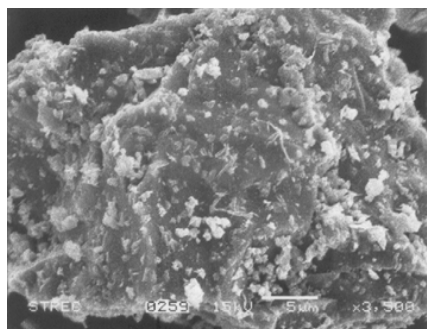
รูปที่ 1 การกระจายขนาดผลึกของปูนซีเมนต์ เถ้าชีวมวลไม่บดและ เถ้าชีวมวลบด



(ก) เถ้าชีวมวลไม่บด



(ข) เถ้าชีวมวลบด

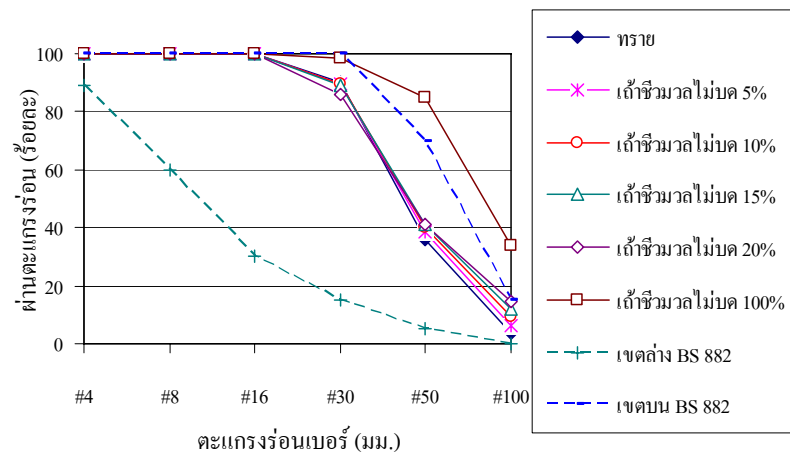


(ค) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

รูปที่ 2 ภาพถ่าย SEM (กำลังขยาย 3500 เท่า)

4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวม

รูปที่ 3 แสดงผลการทดสอบการกระจายขนาดผลของวัสดุ พบว่า ค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายละเอียด ทรายที่มีเถ้าชีวมวลไม่บด แทนที่ในปริมาณร้อยละ 5, 10, 15, 20 โดยน้ำหนัก และ เถ้าชีวมวลไม่บดล้วน มีค่าเท่ากับ 1.71, 1.66, 1.61, 1.58, 1.58 และ 0.83 ตามลำดับ และพบว่า ขนาดผลของทรายที่ใช้ มีความละเอียดสูงกว่ามาตรฐาน ASTM C144 [9] ซึ่งมีค่าโมดูลัสความละเอียดอยู่ระหว่าง 2.25 ถึง 2.75 ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงนำขนาดผลของทรายละเอียดตามมาตรฐาน BS882 ซึ่งมีความละเอียดสูง มาใช้ในการอ้างอิง และเปรียบเทียบ



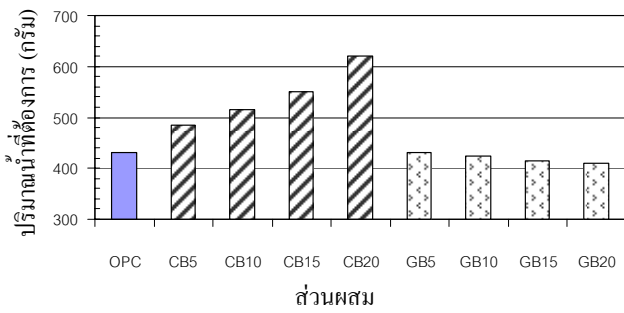
รูปที่ 3 ขนาดผลของทรายละเอียดและเถ้าชีวมวลไม่บด

ตารางที่ 4 กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์

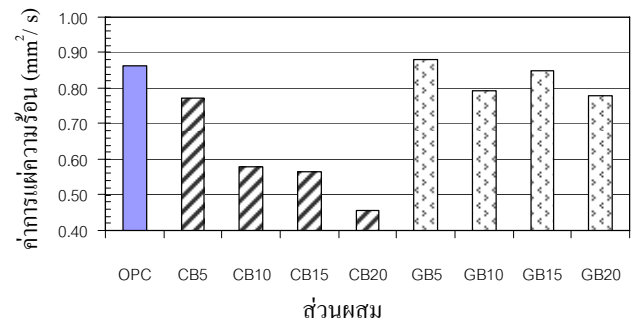
สัญลักษณ์	กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ ที่ผสมเถ้าชีวมวล (ksc)					หน่วย น้ำหนัก (kg/m ³)
	1 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	
OPC	40	68	82	94	115	2104
CB5	30	56	70	86	103	1933
CB10	31	41	55	75	88	1876
CB15	31	41	58	71	76	1816
CB20	23	32	45	53	69	1764
GB5	39	51	68	96	105	2102
GB10	27	52	62	88	113	2097
GB15	27	54	68	80	96	2012
GB20	22	42	54	73	86	1938
มอก.	50	50	50	50	50	

หมายเหตุ OPC แทน มอร์ตาร์ควบคุม
CB x หมายถึง มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ทรายด้วย เถ้าชีวมวลไม่บด
GB x หมายถึง มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชีวมวลบด
x แทน อัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวล

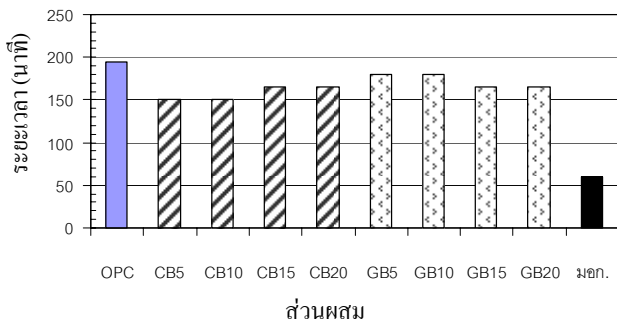
สำหรับขนาดผลของเถ้าชีวมวลไม่บด มีความละเอียดมากกว่าทรายละเอียด และมีค่าความละเอียดสูงกว่ามาตรฐาน BS882 ดังนั้นการแทนที่ทรายละเอียดด้วยเถ้าชีวมวลไม่บดในปริมาณมากขึ้น จะทำให้ขนาดผลของมวลรวมเป็นขนาดผลขนาดใหญ่ และทำให้เกิดการแยกตัว (Segregation) ได้ง่าย [5]



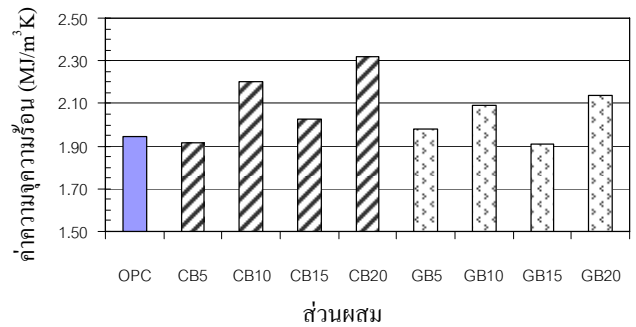
รูปที่ 4 ค่าความต้องการน้ำของมอร์ตาร์



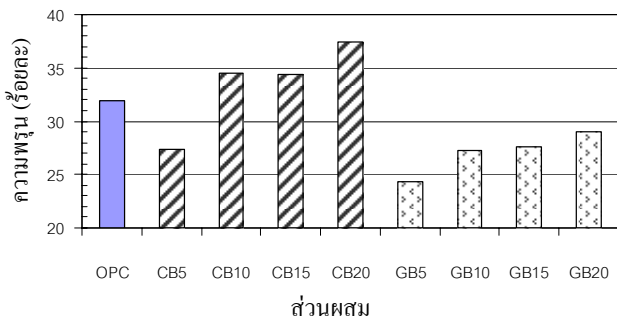
รูปที่ 8 ค่าการแผ่ความร้อนของมอร์ตาร์



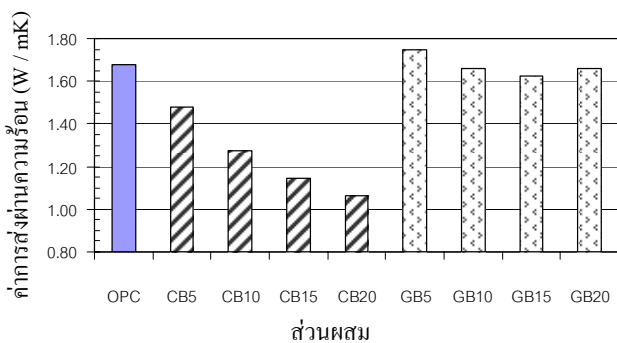
รูปที่ 5 ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของมอร์ตาร์



รูปที่ 9 ค่าความร้อนของมอร์ตาร์



รูปที่ 6 ความพรุนของมอร์ตาร์



รูปที่ 7 ค่าการส่งผ่านความร้อนของมอร์ตาร์

4.3 คุณสมบัติทางกลของปูนฉาบที่ผสมเถ้าชีวมวล

ตารางที่ 4 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชีวมวล เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม พบว่า กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชีวมวลทุกส่วนผสม มีค่าสูงกว่าค่าตามมาตรฐาน มอก. 1776-2542 ซึ่งกำหนดไว้ เท่ากับ 5.0 MPa (50 ksc) โดยกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันในแต่ละส่วนผสม จะเห็นได้ว่า ส่วนผสมที่มีการแทนที่ของเถ้าชีวมวลไม่บดในทรายในปริมาณที่มากขึ้น จะมีกำลังรับแรงอัดลดลง เนื่องจาก อนุภาคของเถ้าชีวมวลไม่บด มีความแข็งแรงน้อยกว่าทรายละเอียดอยู่มาก และยังมีค่าดัชนีกำลังต่ำมาก (ตารางที่ 3) ซึ่งแสดงว่าไม่สามารถในการทำปฏิกิริยาปอซโซลาน อีกทั้ง เถ้าชีวมวลไม่บด ยังมีความต้องการน้ำมาก ดังนั้นค่ากำลังรับแรงอัดที่ทดสอบได้จึงมีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมค่อนข้างมาก [10]

การแทนที่เถ้าชีวมวลบดในปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากขึ้น มีผลให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์มีค่าลดลง แต่กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลาการบ่ม 14 ถึง 28 วัน เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลาน จะเกิดขึ้นเมื่อ SiO_2 และ Al_2O_3 ที่อยู่ในเถ้าชีวมวลทำปฏิกิริยากับ Ca(OH)_2 ที่ได้หลังจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ได้เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต ซึ่งมี

คุณสมบัติในการอัดประสาน [11] โดยเริ่มขึ้นเมื่อซีเมนต์เพสต์มีอายุระหว่าง 7 ถึง 14 วัน และจะมีปฏิกิริยาต่อไปเรื่อยๆ

จากตารางที่ 4 เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ในทุกส่วนผสม พบว่า กำลังรับแรงอัดมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจาก อัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อทรายมีค่าเท่ากับ 1:4 อีกทั้ง ขนาดผลของทรายที่ใช้มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 1.71 ซึ่งมีความละเอียดสูงกว่ามาตรฐาน ASTM C144 ซึ่งมีค่าโมดูลัสความละเอียดอยู่ระหว่าง 2.25 ถึง 2.75 และเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์กับงานวิจัยอื่น พบว่า กำลังรับแรงอัดมอร์ตาร์ควบคุม (OPC) ที่อายุ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 114.7 ksc ซึ่งใกล้เคียงกับ 116 ksc จากงานของ Olusola et al. [12] ซึ่งมอร์ตาร์ควบคุมผสมด้วยทรายที่มีค่าโมดูลัสความละเอียด เท่ากับ 2.07 แต่พบว่า มีค่าต่ำกว่า 170 ksc จากงานของ Chindaprasit et al. [13] ซึ่งมอร์ตาร์ควบคุมผสมด้วยปูนซีเมนต์ผสม (Mixed Cement) นอกจากนี้ งานของ Hendry [14] พบว่า กำลังรับแรงอัดของปูนฉาบ ควรอยู่ในช่วง 20-50 ksc ซึ่งมีกำลังไม่สูงมากนัก เพื่อหลีกเลี่ยงการแตกร้าวเนื่องจากการเคลื่อนไหวของโครงสร้างอาคาร และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

ในส่วนของหน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์ เมื่อสัดส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวลไม่บดในทราย และเถ้าชีวมวลบดในปูนซีเมนต์ มีปริมาณมากขึ้น ทำให้หน่วยน้ำหนักมีค่าลดลง นอกจากนี้ มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ของเถ้าชีวมวลไม่บด มีหน่วยน้ำหนักต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ของเถ้าชีวมวลบด และ พบว่า ส่วนผสม CB20 ซึ่งมีการแทนที่ของเถ้าชีวมวลไม่บดในอัตราร้อยละ 20 มีหน่วยน้ำหนักต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม อยู่ประมาณร้อยละ 16

รูปที่ 4 แสดงผลค่าความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ เมื่ออัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวลไม่บดเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการแผ่ไหลมีค่าลดลง เนื่องจากเถ้าชีวมวลไม่บด มีลักษณะอนุภาคเป็นโพรงและรูพรุน ทำให้สามารถกักเก็บน้ำได้มาก ดังนั้น เมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของเถ้าชีวมวลไม่บด จึงทำให้มีการเก็บน้ำในรูพรุนเพิ่มขึ้น และน้ำอิสระมีปริมาณลดลง ส่งผลให้มอร์ตาร์มีความต้องการน้ำในปริมาณเพิ่มขึ้น เพื่อทำให้อัตราการแผ่ไหลมีค่าเท่ากัน [15]

ในทางตรงกันข้าม การแทนที่ของเถ้าชีวมวลบดในปริมาณมากขึ้น ทำให้มอร์ตาร์มีค่าอัตราการแผ่ไหลสูงขึ้น เนื่องจาก เถ้าชีวมวลบด มีขนาดของอนุภาคที่เล็กกว่าเถ้าชีวมวลไม่บด และการบดมีผลทำให้ความพรุนลดลงมาก จึงทำให้กักเก็บน้ำได้น้อยกว่าเถ้าชีวมวลไม่บด ดังนั้น เมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของเถ้าชีวมวลบด ซึ่งมีผลทำให้การเก็บน้ำในอนุภาคมีปริมาณลดลง และน้ำอิสระมีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มอร์ตาร์มีความต้องการน้ำในปริมาณลดลง เพื่อทำให้อัตราการแผ่ไหลมีค่าเท่ากัน ซึ่งค่าอัตราการแผ่ไหลตามมาตรฐาน มอก.1776-2542 เท่ากับ ร้อยละ 110 ± 5

รูปที่ 5 แสดงผลของระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของมอร์ตาร์ พบว่า เมื่ออัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวลไม่บดในทรายมีปริมาณ

เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ระยะเวลาในการก่อตัวเริ่มต้นมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มสัดส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวลไม่บด ส่งผลให้ความต้องการน้ำของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้น (ดังในรูปที่ 4) จึงทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้นในทางตรงกันข้าม การเพิ่มสัดส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวลบดในปูนซีเมนต์ มีผลทำให้ระยะเวลาในการก่อตัวมีค่าลดลง เนื่องจากเถ้าชีวมวลบด มีค่าความต้องการน้ำต่ำกว่าเถ้าชีวมวลไม่บด (ดังในรูปที่ 4) โดยระยะเวลาการก่อตัวของมอร์ตาร์จะแปรผันตามปริมาณความต้องการน้ำ และเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวลบดเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวลดลง

รูปที่ 6 แสดงค่าความพรุนของมอร์ตาร์ พบว่า การแทนที่ทรายด้วยเถ้าชีวมวลไม่บดในปริมาณมากขึ้น ทำให้ค่าความพรุนของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคของเถ้าชีวมวลไม่บด มีลักษณะเป็นโพรง และมีรูพรุน รวมทั้งมีความหนาแน่นต่ำกว่าทราย ดังนั้น เมื่อมีการแทนที่ของเถ้าชีวมวลบดในปริมาณมากขึ้น จึงมีผลทำให้ค่าความพรุนเพิ่มขึ้นตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชีวมวลบด ส่งผลให้ค่าความพรุนของมอร์ตาร์ลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม เนื่องจาก ขนาดผลของอนุภาคเถ้าชีวมวลบด มีขนาดใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ (ดูรูปที่ 1) ทำให้สามารถเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์ และมวลรวมได้ดี รวมทั้งการทำให้ปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าชีวมวลบดภายหลังปฏิกิริยาไฮเดรชัน ส่งผลให้มอร์ตาร์มีความหนาแน่นมากขึ้น และความพรุนลดลง

เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะกลุ่มของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชีวมวลบด เนื่องจาก อนุภาคของเถ้าชีวมวลบดมีขนาดใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ แต่มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่า (ดูตารางที่ 3) ซึ่งหมายถึงพื้นที่ขรุขระ และมีความพรุนสูง ดังนั้น การแทนที่ของเถ้าชีวมวลบดในปริมาณเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความพรุนของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นตามลำดับ จากผลการทดสอบ พบว่า มอร์ตาร์ GB20 ที่มีการแทนที่ของเถ้าชีวมวลบดในสัดส่วนร้อยละ 20 ถึงแม้จะมีค่าความพรุนสูงที่สุดในกลุ่มของมอร์ตาร์ที่มีเถ้าชีวมวลบดเป็นส่วนผสม แต่ก็ยังมีค่าความพรุนต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม อยู่ประมาณร้อยละ 13

4.4 คุณสมบัติการเป็นฉนวนของปูนฉาบที่ผสมเถ้าชีวมวล

รูปที่ 7 แสดงผลการทดสอบค่าการส่งผ่านความร้อน (Thermal Conductivity) พบว่า มอร์ตาร์ซึ่งมีการแทนที่ของเถ้าชีวมวลไม่บดในปริมาณมากขึ้น มีค่าการส่งผ่านความร้อนลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม เนื่องจากเถ้าชีวมวลไม่บด มีความพรุน และโพรงอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้มอร์ตาร์มีความพรุนสูง และสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอากาศในรูพรุน และโพรงที่มีอยู่จำนวนมาก ทำให้ค่าการส่งผ่านความร้อนลดลง ส่วนมอร์ตาร์ซึ่งการแทนที่ของเถ้าชีวมวลบดในปริมาณมากขึ้น ค่าการส่งผ่านความร้อนยังคงมีค่าใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม เนื่องจาก เถ้าชีวมวลบดมีความละเอียดมาก และมีขนาดผลของอนุภาค

ใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ ทำให้อนุภาคของเถ้าชีวมวลบดเข้าไปแทรก
ระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ และทราย ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมี
ค่าใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม

รูปที่ 8 แสดงผลของค่าการแผ่ความร้อน (Thermal Diffusivity)
พบว่า มอร์ตาร์ซึ่งมีการแทนที่ของเถ้าชีวมวลไม่บดในปริมาณมากขึ้น มี
ค่าการแผ่ความร้อนลดลง เนื่องจากเถ้าชีวมวลไม่บดมีความพรุนและ
โพรงอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้มอร์ตาร์มีความพรุนสูง และสามารถแผ่
ความร้อนผ่านอากาศในรูพรุนและโพรงได้ช้ากว่า ในส่วนของมอร์ตาร์
ซึ่งมีการแทนที่ของเถ้าชีวมวลบดในปริมาณเพิ่มขึ้น ค่าการแผ่ความร้อนมี
ค่าใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม เนื่องจากเถ้าชีวมวลบดมีความละเอียด
มาก และมีขนาดละเอียดของอนุภาคใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ ทำให้อนุภาค
ของเถ้าชีวมวลบดสามารถเข้าไปแทรกระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์ และ
ทราย ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม
ถึงแม้จะเพิ่มปริมาณการแทนที่ของเถ้าชีวมวลบด

รูปที่ 9 แสดงผลของค่าความจุความร้อน (Specific Heat) พบว่า การ
แทนที่ของเถ้าชีวมวลไม่บดในปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้มอร์ตาร์มี
แนวโน้มของค่าความจุความร้อนเพิ่มขึ้น และการแทนที่ของเถ้าชีวมวล
บดในปริมาณมากขึ้น ไม่มีผลกระทบต่อค่าความจุความร้อนของ
มอร์ตาร์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม

5. สรุปผลการศึกษา

1. การเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเถ้าชีวมวลไม่บด ทำให้
ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุมที่อายุ
การบ่ม 28 วัน โดยมอร์ตาร์ซึ่งแทนที่ทรายด้วยเถ้าชีวมวลไม่บดใน
ปริมาณร้อยละ 5 มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าส่วนผสมอื่น แต่ทุกส่วนผสม
มีค่ากำลังรับแรงอัด สูงกว่ามาตรฐาน มอก. 1776-2542
2. การเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชีวมวลบด ทำให้
ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุมที่อายุ
การบ่ม 28 วัน โดยมอร์ตาร์ซึ่งแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชีวมวลบดใน
ปริมาณร้อยละ 5 และ 10 มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าส่วนผสมอื่น แต่ทุก
ส่วนผสมมีค่ากำลังรับแรงอัด สูงกว่ามาตรฐาน มอก. 1776-2542
3. การเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเถ้าชีวมวลไม่บด ทำให้
ค่าความต้องการน้ำของมอร์ตาร์สูงขึ้น และการเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่
ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชีวมวลบด ทำให้ค่าความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ลดลง
4. เมื่อมีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าชีวมวลไม่บดในปริมาณมากขึ้น
ส่งผลให้การเป็นฉนวนกันความร้อนของมอร์ตาร์มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น โดย
มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าชีวมวลไม่บดร้อยละ 20 มีคุณสมบัติ
การเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนผสมอื่น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง และ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์
อุปกรณ์ในการทดสอบ รวมทั้ง คุณเหม หีบแก้ว สำหรับข้อมูลในส่วน
ของการทดสอบงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. บรรณานุกรม

- [1] C. Jaturapitakkul, K. Kiattikomol, W. Tangchirapat and T.
Saeting, "Evaluation of the Sulfate Resistance of Concrete
Containing Palm Oil Fuel Ash," Construction and Building
Materials, Vol.21, No.7, 2007, pp.1399-1405.
- [2] พลสันธิ์ พุกะทรัพย์ และ ธนัญญ์ วาณิชชินชัย "การลดปริมาณปูน
ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในคอนกรีตโดยใช้เถ้าแกลบและเถ้าล้อย"
วิทยานิพนธ์ ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2536.
- [3] R. Demirboga, I. Turkmen and M. Karakoç, "Thermo-
mechanical Properties of Concrete Containing High-volume
Mineral Admixture," Building and Environment, Vol.42, No.1,
2007, pp.349-354.
- [4] R. Demirboga, "Thermo-mechanical Properties of Sand and
High Volume Mineral Admixtures," Energy and Buildings,
Vol.35, No.5, 2003, pp.435-439.
- [5] บุรฉัตร ฉัตรวิระ และบัณฑิต รักษาดี "การใช้เถ้าแกลบไม่บดใน
การผลิตคอนกรีตบล็อก" วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ฉบับที่ 4
ปีที่ 27 พ.ศ. 2547 หน้า 483-497
- [6] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) "มาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนฉาบ มอก. 1776-2542" พ.ศ. 2542
- [7] American Society for Testing and Materials, "ASTM C 128:
Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of
Fine Aggregate," Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.02,
Philadelphia, PA, USA, 2002.
- [8] British Standard, "BS 882: Specification for Aggregates from
Natural Sources for Concrete," The British Standards Institution,
1992.
- [9] American Society for Testing and Materials, "ASTM C 144:
Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar, "
Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.02, Philadelphia, PA,
USA, 2002.

- [10] ชัชวาลย์ เสรฐบุญตร, “ คอนกรีตเทคโนโลยี” กรุงเทพมหานคร:
บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด พ.ศ. 2544
- [11] P. Chindaprasirt, S. Homwuttiwong and C. Jaturapitakkul,
“Strength and “”Water permeability of Concrete Containing
Palm Oil Fuel Ash and Rice Husk–Bark Ash,” Construction and
Building Materials, Vol.21, No.7, 2007, pp.1492-1499.
- [12] K.O. Olusola, E.A. Olnipekun, O. Ata and O.T. Olateju,
“Studies on Termite Hill and Lime as Partial Replacement for
Cement in Plastering,” Building and Environment, Vol.41,
No.3, 2006, pp.302-306.
- [13] P. Chindaprasirt, N. Buapa and H.T Cao, “Mixed Cement
Containing Fly Ash for Masonry and Plastering Work,”
Construction and Building Materials, Vol.19, No.8, 2005, pp.
612-618.
- [14] A.W. Hendry, “Masonry Walls: Materials and Construction,”
Construction and Building Materials, Vol.15, No.8, 2001,
pp.323-330.
- [15] อนุรักษ์ รอดอนันต์ “ความทนทานของมอร์ตาร์ซีเมนต์ผสมเถ้า
แกลบดำจากการกระทำของโซเดียมซัลเฟต และแมกนีเซียม
ซัลเฟต” วิทยานิพนธ์ มหามบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ พ.ศ. 2547