

ผลการทดลอง

การศึกษาวิจัยเรื่อง อิทธิพลของเถ้าชีวมวลของปุ๋ยหมักมูลเป่าต่อคุณสมบัติการกันความร้อน แบ่งเป็นการทดสอบคุณสมบัติของเถ้าชีวมวล การทดสอบคุณสมบัติของปุ๋ยหมักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คุณสมบัติทางกายภาพ และการทดสอบการเป็นฉนวนของปุ๋ยหมัก โดยมีผลการทดสอบดังนี้

4.1 ผลทดสอบคุณสมบัติของเถ้าชีวมวล

การทดสอบองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าชีวมวลเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 พบว่า เถ้าชีวมวลไม่พบมีปริมาณซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 89.10 และเถ้าชีวมวลพบมีปริมาณซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 89.06 มากกว่าที่มีในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ที่มีร้อยละ 20.84 ในขณะที่มีปูนขาว (CaO) น้อยกว่าในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ที่มีร้อยละ 66.28 ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าชีวมวลไม่พบและพบมีการสูญเสียน้ำหนัก เนื่องจากการเผาไหม้ ร้อยละ 0.55 และ 0.52 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ที่มีร้อยละ 0.96 ดังตารางที่ 4.1

ในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าชีวมวลไม่พบและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ประกอบด้วย ค่าความละเอียด (พื้นที่ผิวจำเพาะ) โดยวิธีการเบลนมีค่าเท่ากับ $5,610 \text{ cm}^2/\text{g}$ หยาบมากทดลองไม่ได้ และ $3,248 \text{ cm}^2/\text{g}$ ตามลำดับ ค่าความต้องการน้ำมีค่าเท่ากับร้อยละ 115.70 138.43 และ 100 ตามลำดับ ค่าดัชนีกำลังโดยเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ล้วนมีค่าเท่ากับร้อยละ 92.71 51.02 และ 100 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.2

เมื่อพิจารณาลักษณะของเถ้าชีวมวลและปูนซีเมนต์จากภาพถ่าย โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) อนุภาคของเถ้าชีวมวลไม่พบมีลักษณะเป็นเหลี่ยม มีขนาดอนุภาคเล็กใหญ่คละกันพื้นที่ผิวขรุขระมีลักษณะเป็นโพรง เปรียบเทียบกับชีวมวลและปูนซีเมนต์มีพื้นที่ขรุขระและเป็นโพรงน้อยกว่า ซึ่งความพรุนมากทำให้มีความสามารถในการกักเก็บน้ำมากกว่าความพรุนน้อย ดังภาพที่ 4.1 - 4.9

ตารางที่ 4.1

ผลทดสอบคุณสมบัติของเถ้าชีวมวลเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

รายการวิเคราะห์	ผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมี (%)		
	เถ้าชีวมวลไม่บด	เถ้าชีวมวลบด	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1
SiO ₂	89.10	89.06	20.84
Al ₂ O ₃	1.05	0.95	5.22
Fe ₂ O ₃	0.61	0.78	3.20
CaO	4.00	3.99	66.28
MgO	0.79	0.76	1.24
K ₂ O	4.17	4.16	0.22
Na ₂ O	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

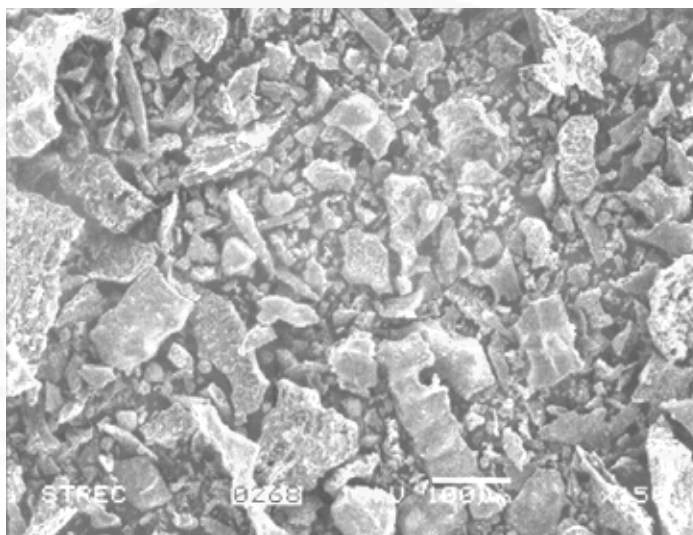
ตารางที่ 4.2

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

รายการวิเคราะห์	ผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมี		
	เถ้าชีวมวลไม่บด	เถ้าชีวมวลบด	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา(%)	0.55	0.52	0.51
ค่าความต้องการน้ำ (%)	138.43	115.70	100.00
พื้นที่ผิว (cm ² /g)	ตัวอย่างหยาบ	5610.00	3248.00
ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.00	2.07	3.11
ดัชนีกำลัง (ร้อยละเทียบมอร์ตาร์ควบคุม)			
1) ที่อายุ 7 วัน	48.78	80.79	100.00
2) ที่อายุ 28 วัน	51.02	92.71	100.00

ภาพที่ 4.1

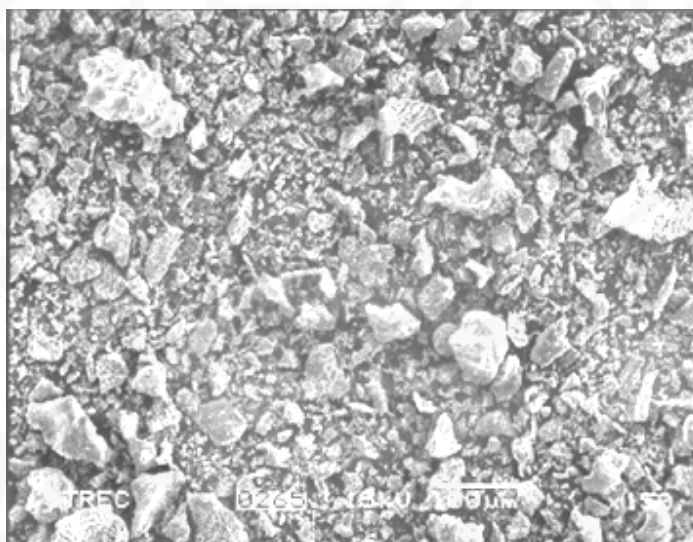
ถ้ำซีวมวลไม่บด (SEM กำลังขยาย 150 เท่า)



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 6 ตุลาคม 2549.

ภาพที่ 4.2

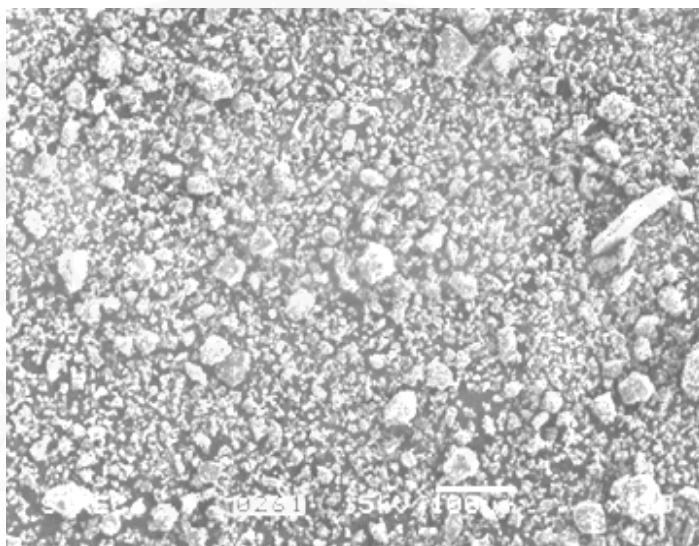
ถ้ำซีวมวลบด (SEM กำลังขยาย 150 เท่า)



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 6 ตุลาคม 2549.

ภาพที่ 4.3

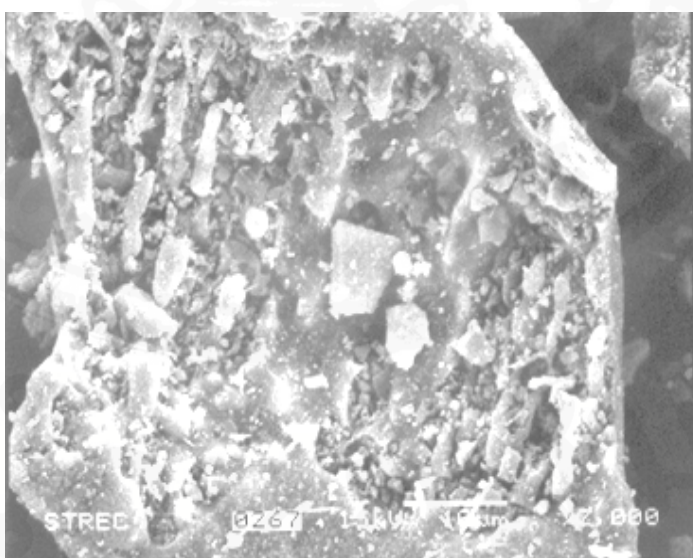
ปูนซีเมนต์ (SEM กำลังขยาย 150 เท่า)



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 6 ตุลาคม 2549.

ภาพที่ 4.4

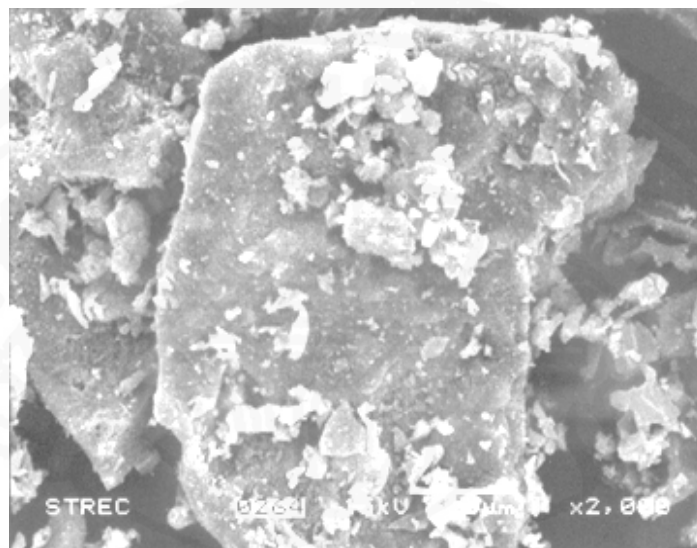
เถ้าชีวมวลไม่บด (SEM กำลังขยาย 2000 เท่า)



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 6 ตุลาคม 2549.

ภาพที่ 4.5

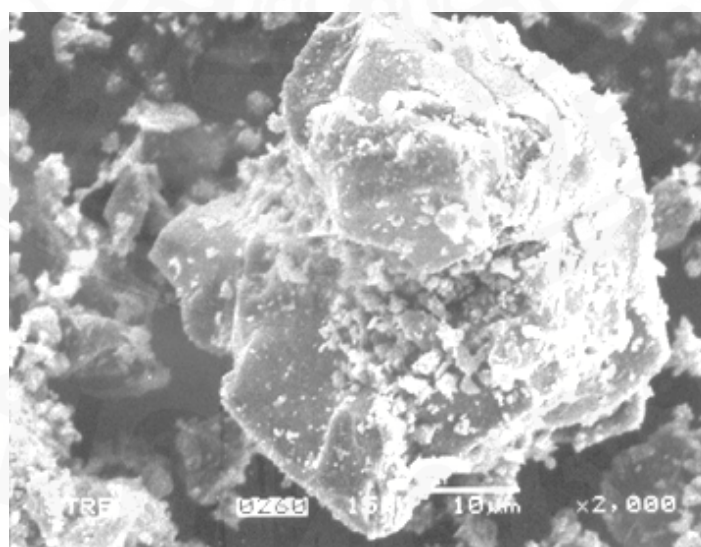
ไส้ชีวมวลบด (SEM กำลังขยาย 2000 เท่า)



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 6 ตุลาคม 2549.

ภาพที่ 4.6

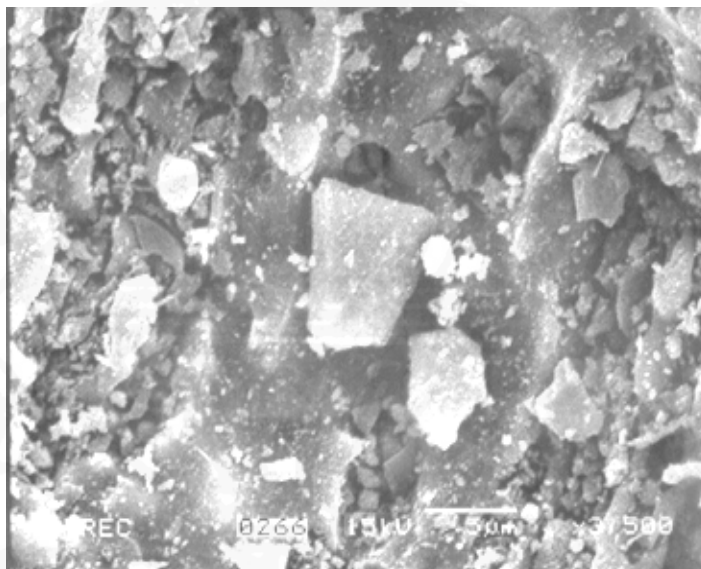
ปูนซีเมนต์ (SEM กำลังขยาย 2000 เท่า)



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 6 ตุลาคม 2549.

ภาพที่ 4.7

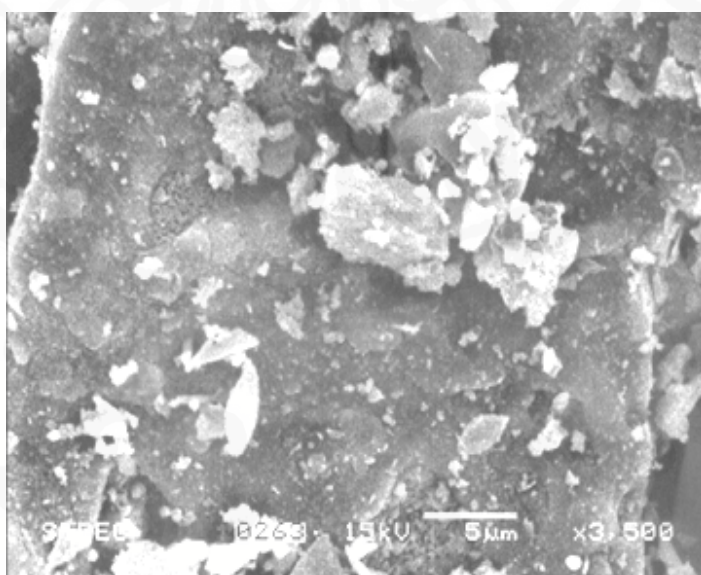
ถ้ำซีมวอลไม้บด (SEM กำลังขยาย 3500 เท่า)



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 6 ตุลาคม 2549.

ภาพที่ 4.8

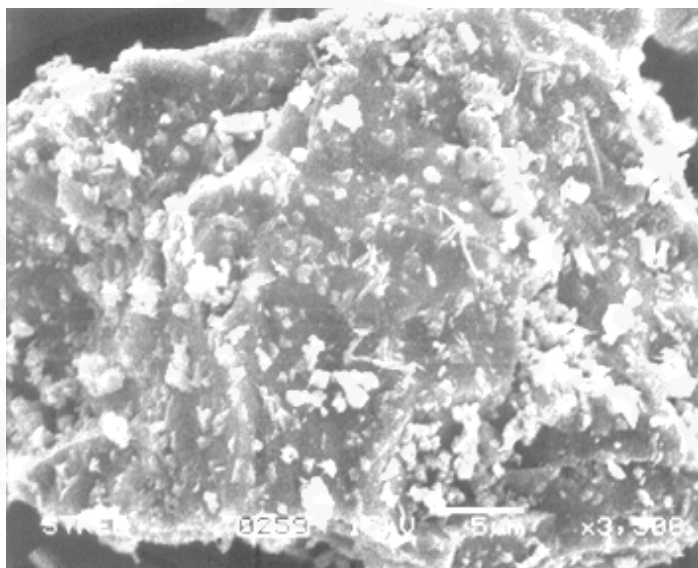
ถ้ำซีมวอลบด (SEM กำลังขยาย 3500 เท่า)



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 6 ตุลาคม 2549.

ภาพที่ 4.9

ปูนซีเมนต์ (SEM กำลังขยาย 3500 เท่า)

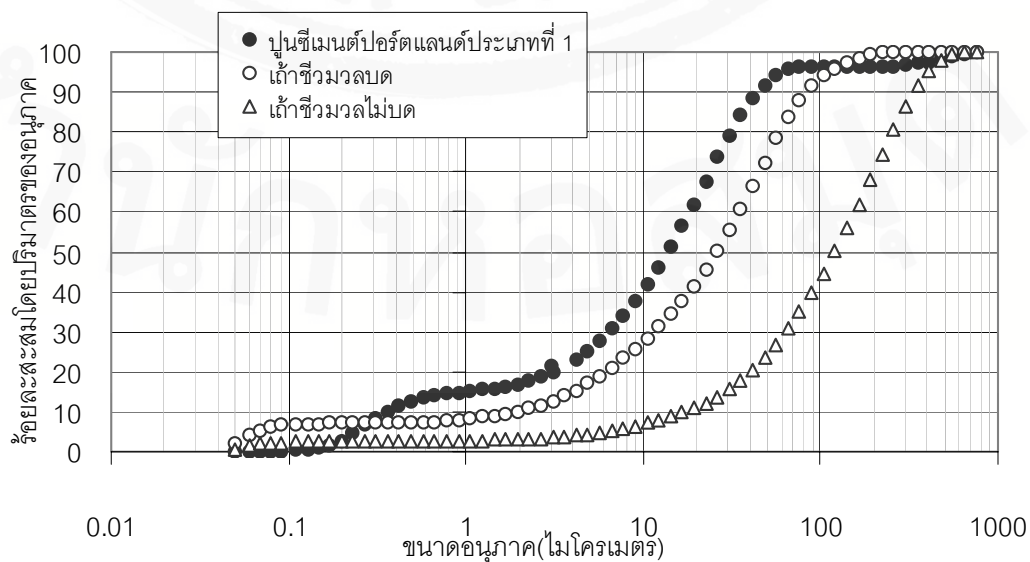


หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 6 ตุลาคม 2549.

การกระจายของขนาดอนุภาคของเถ้าชีวมวลบด เถ้าชีวมวลไม่บด และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พบว่า เถ้าชีวมวลผ่านการบดเป็นเวลา 180 นาที มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าเถ้าชีวมวลไม่บด โดยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด ดังภาพที่ 4.10

ภาพที่ 4.10

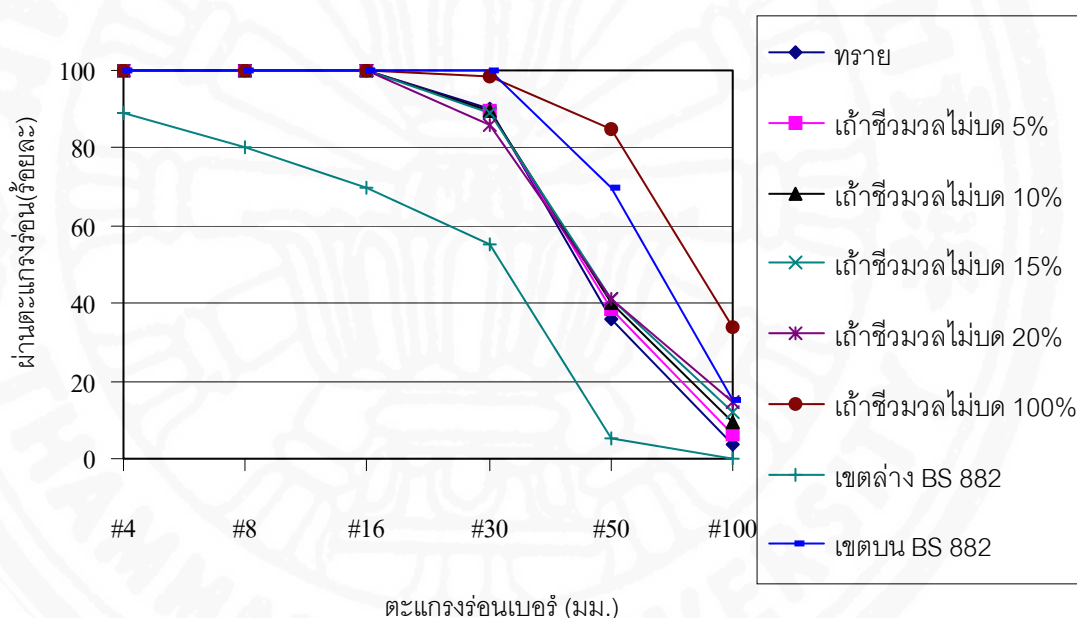
การกระจายของขนาดอนุภาคของเถ้าชีวมวลไม่บด เถ้าชีวมวลบด และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์



ผลการทดสอบค่าโมดูลัสความเค้นของทรายละเอียด ทรายที่แทนที่เถ้าชีวมวลไม่บด ร้อยละ 5 10 15 และ 20 ตามลำดับ และเถ้าชีวมวลไม่บดล้วน มีค่าเท่ากับ 1.71 1.66 1.61 1.58 1.58 และ 0.83 ตามลำดับ และพบว่าขนาดผลของทรายละเอียดมีความเค้นตามมาตรฐาน BS 882 สำหรับขนาดผลของเถ้าชีวมวลไม่บดมีขนาดละเอียดกว่าทรายละเอียดและมีความเค้นต่ำกว่ามาตรฐาน BS 882 ทำให้การแทนที่ทรายละเอียดด้วยเถ้าชีวมวลไม่บดที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ขนาดผลของมวลรวมเป็นขนาดผลขนาดตอน และทำให้เกิดการแยกตัว (segregation) ได้ง่าย ดังภาพที่ 4.11

ภาพที่ 4.11

ขนาดผลของเถ้าชีวมวลไม่บด และทรายละเอียด



4.2 ผลทดสอบคุณสมบัติของปูนฉาบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

4.2.1 ผลการทดสอบด้านกำลังรับแรงอัด

การทดสอบเรื่องกำลังรับแรงอัดในงานวิจัยชิ้นนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชีวมวลไม่บดแทนที่ทรายละเอียด และการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชีวมวลบดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบด้านกำลังรับแรงอัดในส่วนของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลไม่บด โดยในการศึกษาเป็นการนำเถ้าชีวมวลที่ไม่ผ่านการบดมาแทนที่ในทรายในส่วนผสมโดยน้ำหนักที่อัตราส่วนร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 ตามลำดับ และมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เป็นไปตามค่าอัตราส่วนผสมน้ำ 110 ± 5 พบว่า กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันในแต่ละสูตรผสม เห็นได้ว่าความสามารถในการรับแรงอัดของส่วนผสมที่มีการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดในปริมาณที่มากขึ้นจะมีค่ากำลังรับแรงอัดลดลง เนื่องจาก เถ้าชีวมวลที่ไม่ผ่านการบดจะทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับน้ำและปูนซีเมนต์ได้น้อย หรือแทบจะไม่ทำปฏิกิริยาเลย อีกทั้งเถ้าชีวมวลไม่บดยังมีความต้องการน้ำมาก ดังนั้น ค่ากำลังรับแรงอัดที่ทดสอบได้จึงมีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมค่อนข้างมาก แต่โดยรวมแล้วค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบมีค่าผ่านมอก.1776-2542 คือ 5 เมกะพาสคัล

ข้อสังเกตสำหรับการทดสอบนี้ คือ ค่ากำลังรับแรงอัดของส่วนผสมที่แทนที่ด้วยเถ้าชีวมวลไม่บดร้อยละ 5 มีค่ากำลังรับแรงอัดมากที่สุด (11.47 เมกะพาสคัล) เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมอื่น อีกทั้งยังมีค่ากำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม (10.32 เมกะพาสคัล) และค่ากำลังรับแรงอัดของส่วนผสมที่แทนที่ด้วยเถ้าชีวมวลไม่บดร้อยละ 20 มีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำที่สุด โดยที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วันของทุก ๆ ส่วนผสมมีค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้น เพราะที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน เถ้าชีวมวลเริ่มทำปฏิกิริยากับน้ำและปูนซีเมนต์ ดังภาพที่ 4.12

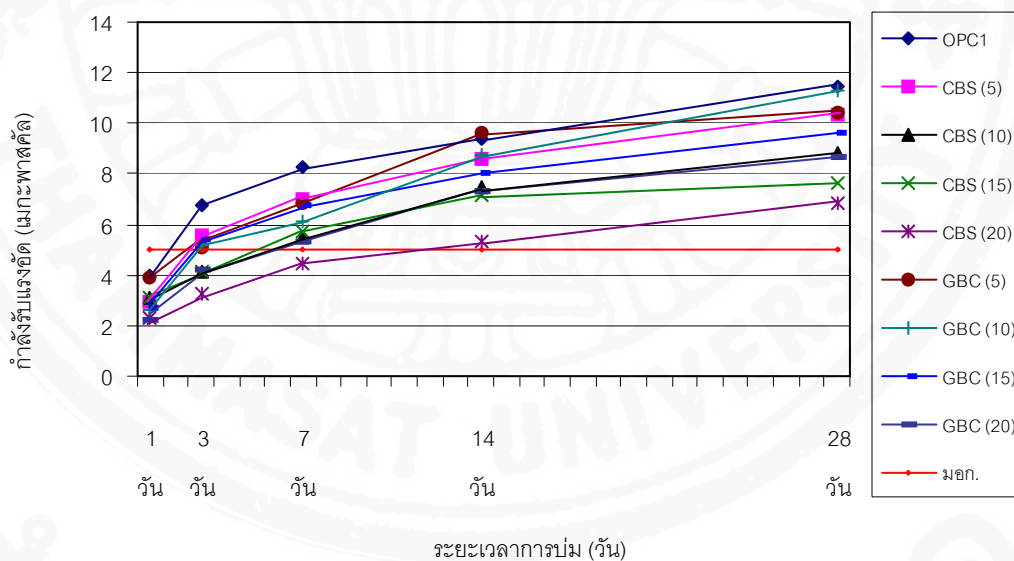
2. ผลการทดสอบด้านกำลังรับแรงอัดในส่วนของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลบด โดยในการศึกษาเป็นการนำเถ้าชีวมวลที่ผ่านการบดมาแทนที่ในปูนซีเมนต์ในส่วนผสม โดยน้ำหนักที่อัตราส่วนร้อยละ 5 10 15 และ 20 ตามลำดับ และมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เป็นไปตามค่าอัตราส่วนผสมน้ำ 110 ± 5 ผลการทดสอบด้านกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชีวมวลบด พบว่า กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันในแต่ละสูตรผสม จะเห็นได้ว่าความสามารถในการรับแรงอัดของส่วนผสมที่มีการแทนที่เถ้าชีวมวลบดในปริมาณที่มากขึ้นมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงขึ้น โดยกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลาการบ่ม 14-28 วัน เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันเหลืออนุภาคของปูนซีเมนต์ที่ยังทำปฏิกิริยาไม่หมด ดังนั้น การแทนที่เถ้าชีวมวลบดในส่วนผสมเป็นการช่วยให้เถ้าชีวมวลไปทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ที่เหลือเป็นผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดในการทดสอบมีค่าสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม มีเพียงการแทนที่ด้วยเถ้าชีวมวลบดร้อยละ 15 และ 20 ที่มีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุมค่อนข้างมาก แต่โดยรวมแล้วค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบมีค่าผ่านมอก.1776-2542 (5 เมกะพาสคัล)

ข้อสังเกตสำหรับการทดสอบนี้ คือ ค่ากำลังรับแรงอัดของส่วนผสมที่แทนที่ด้วยเถ้าชีวมวลบด ร้อยละ 5 และ 10 มีค่ากำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม เท่ากับ 10.45 และ 11.32 เมกะพาสคัล ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมอื่นและค่ากำลังรับแรงอัดของส่วนผสมที่แทนที่ด้วยเถ้าชีวมวล บดร้อยละ 20 มีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำที่สุด โดยที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน ของทุก ๆ ส่วนผสมมีค่า กำลังรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 4.12

3. การเปรียบเทียบผลการทดสอบด้านกำลังรับแรงอัดในส่วนของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวล พบว่า มีเพียง 3 ส่วนผสมเท่านั้นที่มีค่ากำลังรับแรงอัดใกล้เคียงมอร์ตาร์ควบคุม คือ มอร์ตาร์ที่มีการ แทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดในทราย ในอัตราส่วนร้อยละ 5 และมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เถ้าชีวมวลบดใน ปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วนร้อยละ 5 และ 10 แต่ทุกส่วนผสมที่มีการแทนที่ด้วยเถ้าชีวมวลสามารถผ่าน มอก.1776-2542 โดยมีค่าสูงกว่ามอก.1776-2542 มาก ดังภาพที่ 4.12

ภาพที่ 4.12

เปรียบเทียบผลการทดสอบด้านกำลังรับแรงอัดในส่วนของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวล



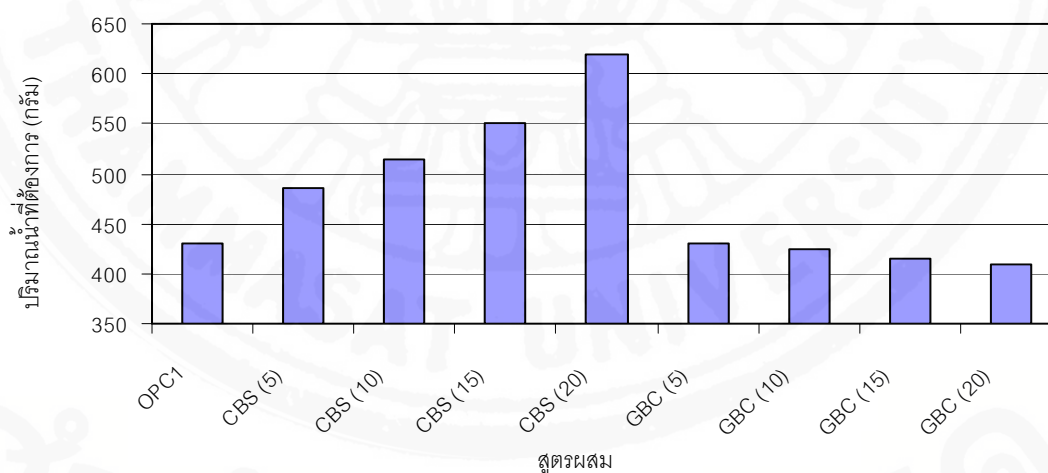
หมายเหตุ	OPC 1	แทน	มอร์ตาร์ควบคุม
	CBS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดในทรายในอัตราส่วน ร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	GBC (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เถ้าชีวมวลบดในปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน ร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	x	แทน	อัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวล

4.2.2 ผลการทดสอบด้านค่าอัตราการแผ่ไหล

ค่าอัตราการแผ่ไหลของมอร์ตาร์ควบคุม และมอร์ตาร์ที่มีการนำเถ้าชีวมวลมาแทนที่ในส่วนผสม พบว่า เมื่ออัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่ बढ़ เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าอัตราการแผ่ไหลมีค่าลดลง เนื่องจากเถ้าชีวมวลไม่ बढ़ มีลักษณะอนุภาคเป็นโพรง และมีรูพรุนทำให้สามารถกักเก็บน้ำได้สูง ดังนั้น เมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของเถ้าชีวมวลไม่ बढ़ ในปริมาณมากขึ้น ทำให้มีค่าการกักเก็บน้ำในโพรงเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำอิสระมีค่าลดลง ซึ่งอนุภาคของเถ้าชีวมวลเมื่อผสมกับทราย ทำให้เกิดการเสียดสีของอนุภาค เถ้าชีวมวลกับอนุภาคปูนซีเมนต์มีเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ของมอร์ตาร์ เพื่อทำให้ค่าอัตราการแผ่ไหลเท่ากันมีค่าเพิ่มขึ้น แต่การแทนที่เถ้าชีวมวลไม่ बढ़ เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าอัตราการแผ่ไหลมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากเถ้าชีวมวลไม่ बढ़ มีลักษณะอนุภาคเป็นโพรงและมีรูพรุนที่น้อยกว่าเถ้าชีวมวลไม่ बढ़ ทำให้สามารถกักเก็บน้ำได้น้อยกว่า ดังนั้น เมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของเถ้าชีวมวลไม่ बढ़ ในปริมาณมากขึ้น ทำให้มีค่าการกักเก็บน้ำในโพรงน้อยลง ปริมาณน้ำอิสระมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการเสียดสีของอนุภาคเถ้าชีวมวลกับอนุภาคปูนซีเมนต์มีน้อยลง ทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ของมอร์ตาร์ เพื่อทำให้ค่าอัตราการแผ่ไหลเท่ากันมีค่าน้อยลงซึ่งค่าอัตราการแผ่ไหลตามมอก.1776-2542 คือ 110 ± 5 โดยมีผลการทดสอบ ดังภาพที่ 4.13

ภาพที่ 4.13

ค่าความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ที่มีการนำเถ้าชีวมวลมาแทนที่ในส่วนผสม



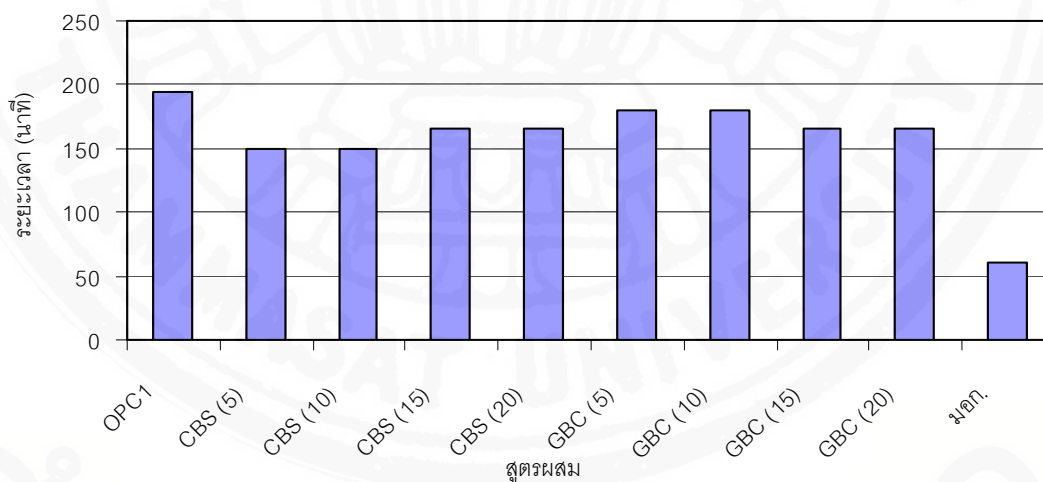
หมายเหตุ	OPC 1	แทน	มอร์ตาร์ควบคุม
	CBS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่ बढ़ ในทรายในอัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	GBC (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่ बढ़ ในปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	x	แทน	อัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวล

4.2.3 ผลการทดสอบด้านระยะเวลาการก่อตัว

การทดสอบเรื่องระยะเวลาการก่อตัวเป็นการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของมอร์ตาร์ควบคุมและมอร์ตาร์ที่มีการนำเถ้าชีวมวลมาแทนที่ในส่วนผสม ในการทดสอบ พบว่า เมื่ออัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่ बढ़เพิ่มขึ้นระยะเวลาในการก่อตัวมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมีการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่ बढ़ในปริมาณที่มากขึ้น เถ้าชีวมวลทำหน้าที่ดูดน้ำมาเก็บไว้ทำให้อนุภาคของปูนซีเมนต์ที่กระจายอยู่สามารถเข้ามารวมตัวกันได้น้อยลงทำให้มีความสามารถในการยึดหน่วงได้น้อยลงโดยระยะเวลาการก่อตัวของมอร์ตาร์แปรผันตามปริมาณของน้ำ เมื่อปริมาณเถ้าชีวมวลไม่ बढ़เพิ่มมากขึ้นทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้น แต่การแทนที่เถ้าชีวมวล बढ़ในปริมาณมากขึ้นระยะเวลาในการก่อตัวมีค่าลดลง เถ้าชีวมวลทำหน้าที่ดูดน้ำมาเก็บไว้ทำให้อนุภาคของปูนซีเมนต์ที่กระจายอยู่สามารถเข้ามารวมตัวกันอย่างรวดเร็วทำให้มีความสามารถในการยึดหน่วงได้ดียิ่งขึ้น โดยระยะเวลาการก่อตัวของมอร์ตาร์แปรผันตามปริมาณของน้ำ เมื่อปริมาณเถ้าชีวมวล बढ़เพิ่มมากขึ้นทำให้ระยะเวลาการก่อตัวลดลง ซึ่งค่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นตามมอก.1776-2542 คือ 60 นาที โดยมีผลการทดสอบ ดังภาพที่ 4.14

ภาพที่ 4.14

ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของมอร์ตาร์ที่มีการนำเถ้าชีวมวลมาแทนที่ในส่วนผสม



หมายเหตุ	OPC 1	แทน	มอร์ตาร์ควบคุม
	CBS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่ बढ़ในทรายในอัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	GBC (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เถ้าชีวมวล बढ़ในปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	x	แทน	อัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวล

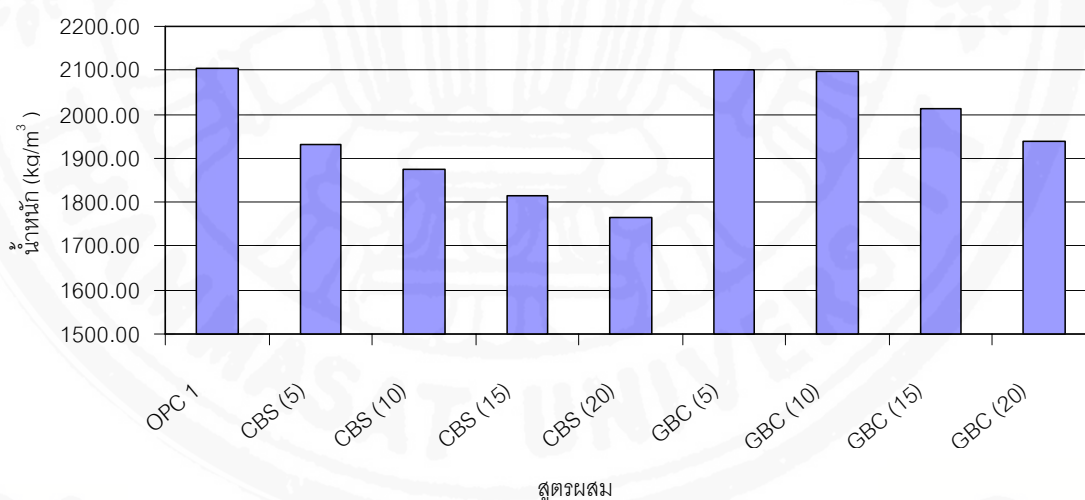
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

4.3.1 ผลการทดสอบหน่วยน้ำหนัก

การทดสอบเรื่องหน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์ควบคุมและมอร์ตาร์ที่มีการนำเถ้าชีวมวลมาแทนที่ในส่วนผสม ในการทดสอบ พบว่า เมื่ออัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลเพิ่มขึ้นหน่วยน้ำหนักมีค่าลดลง มอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดร้อยละ 20 มีค่าหน่วยน้ำหนักต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บด และค่าหน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลบดร้อยละ 20 มีค่าหน่วยน้ำหนักต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลบด แต่เมื่อมีการเปรียบเทียบการแทนที่เถ้าชีวมวลในมอร์ตาร์ มอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดร้อยละ 20 มีค่าหน่วยน้ำหนักต่ำที่สุด ดังภาพที่ 4.15

ภาพที่ 4.15

ผลการทดสอบหน่วยน้ำหนัก



หมายเหตุ	OPC 1	แทน	มอร์ตาร์ควบคุม
	CBS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดในทรายในอัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	GBC (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เถ้าชีวมวลบดในปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	x	แทน	อัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวล

4.3.2 ผลการทดสอบด้านความพูน

การทดสอบเรื่องความพูนในงานวิจัยชิ้นนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบความพูนของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชีวมวลไม่บด และการทดสอบความพูนของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชีวมวลบด โดยมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบด้านความพูนในส่วนของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลไม่บด พบว่า ค่าความพูนของมอร์ตาร์ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของเถ้าชีวมวลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม เนื่องจากขนาดของอนุภาคเถ้าชีวมวลไม่บดที่ใหญ่กว่าปูนซีเมนต์ทำให้อนุภาสดังกล่าวไม่สามารถสอดแทรกเข้าไปในช่องว่างระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์ทำเนื่อของมอร์ตาร์ความหนาแน่นน้อยลงซึ่งหมายถึง ค่าความพูนที่มากขึ้นตามลำดับ โดยผลการทดสอบด้านความพูนของมอร์ตาร์ เมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าชีวมวลไม่บด

ข้อสังเกตสำหรับการทดสอบนี้ คือ ค่าความพูนของมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดร้อยละ 10 15 และ 20 มีค่าความพูนใกล้เคียงกันเนื่องมาจากการกระจายตัวของอนุภาคเถ้าชีวมวลไม่บดได้สม่ำเสมอและมีขนาดรูพรุนที่ใกล้เคียงกันของทุกสูตรผสม โดยค่าความพูนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.16

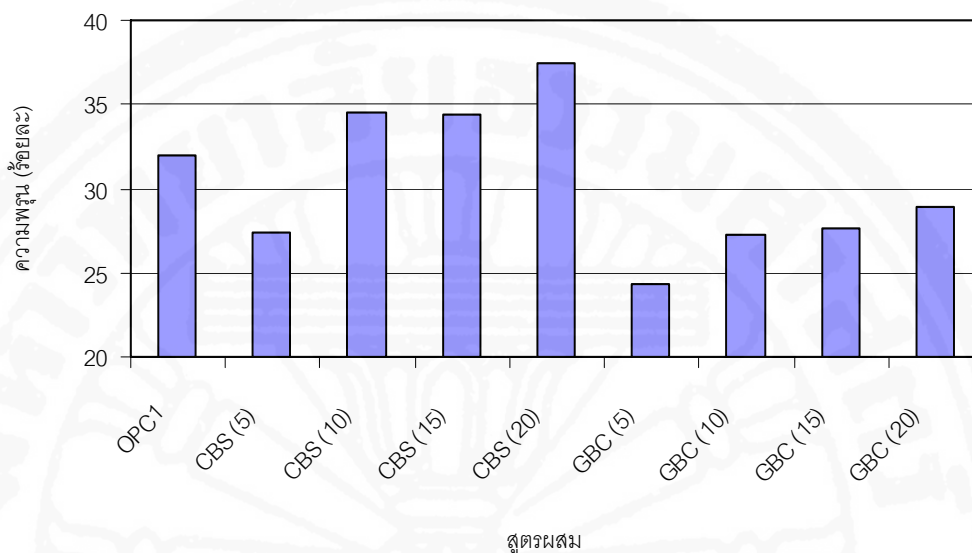
2. ผลการทดสอบด้านความพูนในส่วนของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลบด พบว่า ค่าความพูนของมอร์ตาร์ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน มีค่าลดลง เมื่อปริมาณของเถ้าชีวมวลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม เนื่องจากขนาดของอนุภาคเถ้าชีวมวลบดที่เล็กกว่าปูนซีเมนต์ทำให้อนุภาสดังกล่าว สามารถสอดแทรกเข้าไปในช่องว่างระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์ทำเนื่อของมอร์ตาร์ความหนาแน่นมากขึ้น ซึ่งหมายถึง ค่าความพูนที่น้อยลงตามลำดับ โดยผลการทดสอบด้านความพูนของมอร์ตาร์ เมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าชีวมวลบด

ข้อสังเกตสำหรับการทดสอบนี้ คือ ค่าความพูนของมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลบดทุกอัตราส่วนผสมมีค่าความพูนใกล้เคียงกันเนื่องมาจากการกระจายตัวของอนุภาคเถ้าชีวมวลบดได้สม่ำเสมอ และมีขนาดรูพรุนที่ใกล้เคียงกันของทุกสูตรผสม โดยค่าความพูนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการแทนที่เถ้าชีวมวลบดเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.16

3. การเปรียบเทียบผลการทดสอบด้านค่าความพูนของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวล ในการเปรียบเทียบผลการทดสอบด้านค่าความพูนของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลของผลการทดสอบทั้งหมด โดยเป็นการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดระหว่างมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าชีวมวลไม่บดและมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชีวมวลบด และมีความสัมพันธ์ที่เหมือนกัน คือ เมื่อมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีค่าความพูนเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.16

ภาพที่ 4.16

ผลการทดสอบด้านความพรุนของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวล



หมายเหตุ	OPC 1	แทน	มอร์ตาร์ควบคุม
	CBS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดในทรายในอัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	GBC (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เถ้าชีวมวลบดในปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	x	แทน	อัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวล

4.4 ผลทดสอบการเป็นฉนวนของปูนฉาบ

4.4.1 ผลการทดสอบค่าการส่งผ่านความร้อน

การทดสอบเรื่องค่าการส่งผ่านความร้อนในงานวิจัยชิ้นนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบค่าการส่งผ่านความร้อนของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชีวมวลไม่บด และการทดสอบค่าการส่งผ่านความร้อนของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชีวมวลบด โดยมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบค่าการส่งผ่านความร้อนของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลไม่บด พบว่าค่าการส่งผ่านความร้อนของมอร์ตาร์มีค่าลดน้อยลง เมื่อปริมาณของเถ้าชีวมวลไม่บดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม เนื่องจากเถ้าชีวมวลไม่บดมีความพรุนและโพรงอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้

มอร์ตาร์มีความพรุนสูงสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอากาศในรูปของพาหะและโพรงที่มีมากโดยมีค่าการส่งผ่านความร้อนที่ต่ำทำให้การส่งผ่านความร้อนลดต่ำลง

ข้อสังเกตสำหรับการทดสอบนี้คือ ค่าการส่งผ่านความร้อนของมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดร้อยละ 10 15 และ 20 มีค่าการส่งผ่านความร้อนที่ต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมมาก แสดงให้เห็นว่ามอร์ตาร์มีความเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี โดยมอร์ตาร์ควบคุมมีค่าการส่งผ่านความร้อนมีค่าเท่ากับ 1.676 W/mK ซึ่งสอดคล้องกับ ASHARE (1972) ที่ค่าการส่งผ่านความร้อนของมอร์ตาร์เท่ากับ 1.729 W/mK และมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดร้อยละ 20 มีค่าการส่งผ่านความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 1.0623 W/mK ดังนั้น มอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดร้อยละ 20 มีความเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรผสมอื่น ๆ ดังภาพที่ 4.17

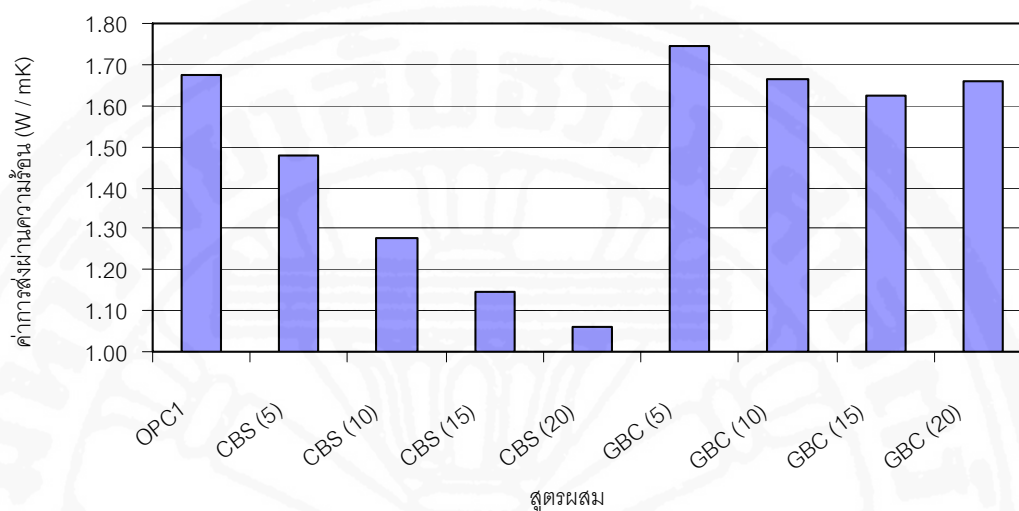
2. ผลการทดสอบค่าการส่งผ่านความร้อน เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชีวมวล พบว่าค่าการส่งผ่านความร้อนของมอร์ตาร์มีค่าใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม แม้ปริมาณของเถ้าชีวมวลบดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเถ้าชีวมวลบดมีความละเอียดมาก ทำให้อนุภาคของเถ้าชีวมวลบดเข้าไปแทรกระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ และทราย และค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม

ข้อสังเกตสำหรับการทดสอบนี้คือ ค่าการส่งผ่านความร้อนของมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลบดร้อยละ 10 15 และ 20 มีค่าการส่งผ่านความร้อนที่ต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่า มอร์ตาร์มีความเป็นฉนวนกันความร้อนได้ใกล้เคียงกับ มอร์ตาร์ควบคุม โดยอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลบดร้อยละ 15 มีค่าการส่งผ่านความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 1.6217 W/mK ดังนั้น มอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวลบดร้อยละ 15 มีความเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรผสมอื่น ๆ ดังภาพที่ 4.17

3. การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าการส่งผ่านความร้อนของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวล โดยเป็นการเปรียบเทียบค่าการส่งผ่านความร้อนระหว่างมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าชีวมวลไม่บดและมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชีวมวลบด ซึ่งค่าการส่งผ่านความร้อนของมอร์ตาร์ ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลบดที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงกว่ามอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดที่เพิ่มขึ้น มีค่าการส่งผ่านความร้อนลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Demirboga (2006) พบว่าเมื่อมีการแทนที่เถ้าในปริมาณที่มากขึ้นทำให้ค่าการส่งผ่านความร้อนมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่ามอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดที่เพิ่มขึ้น จะมีความเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีกว่ามอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลบด ดังภาพที่ 4.17

ภาพที่ 4.17

เปรียบเทียบผลการทดสอบค่าการส่งผ่านความร้อนของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวล



หมายเหตุ	OPC 1	แทน	มอร์ตาร์ควบคุม
	CBS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดในทรายในอัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	GBC (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เถ้าชีวมวลบดในปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	x	แทน	อัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวล

4.4.2 ผลการทดสอบค่าการแผ่ความร้อน

การทดสอบเรื่องค่าการแผ่ความร้อนในงานวิจัยชิ้นนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบค่าการแผ่ความร้อนของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชีวมวลไม่บด และการทดสอบค่าการแผ่ความร้อนของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชีวมวลบด โดยมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบค่าการแผ่ความร้อน เมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าชีวมวลไม่บด พบว่า ค่าการแผ่ความร้อนของมอร์ตาร์มีค่าลดลง เมื่อปริมาณของเถ้าชีวมวลไม่บดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเถ้าชีวมวลไม่บดมีความพรุนและโพรงอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้มอร์ตาร์มีความพรุนสูงสามารถแผ่ความร้อนผ่านอากาศในรูพรุนและโพรงได้ช้ากว่า

ข้อสังเกตสำหรับการทดสอบนี้คือ ค่าการแผ่ความร้อนของมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดร้อยละ 10 15 และ 20 มีค่าการแผ่ความร้อนที่ต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม โดยมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดร้อยละ 20 มีค่าการแผ่ความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ $0.4578 \text{ mm}^2/\text{s}$ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรผสมอื่น ๆ ดังภาพที่ 4.18

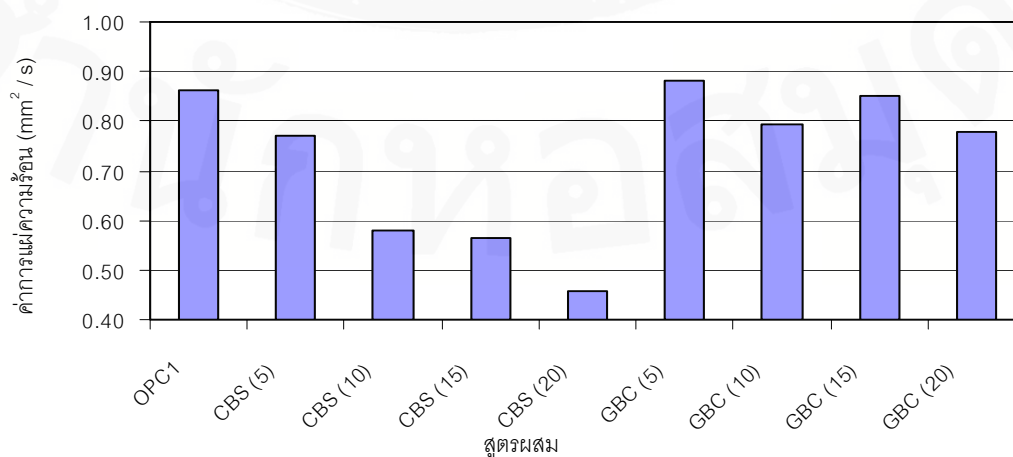
2. ผลการทดสอบค่าการแผ่ความร้อน เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชีวมวลบด พบว่าค่าการแผ่ความร้อนของมอร์ตาร์มีค่าใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม แม้ปริมาณของเถ้าชีวมวลบดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเถ้าชีวมวลบดมีความละเอียดมาก ทำให้อนุภาคของเถ้าชีวมวลบดเข้าไปแทรกระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์และทราย และค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม

ข้อสังเกตสำหรับการทดสอบนี้คือ ค่าการแผ่ความร้อนของมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลบดร้อยละ 10 และ 20 มีค่าการแผ่ความร้อนที่ต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมเพียงเล็กน้อย มอร์ตาร์ควบคุม โดยอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลบดร้อยละ 20 มีค่าการแผ่ความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ $0.7776 \text{ mm}^2/\text{s}$ ดังภาพที่ 4.18

3. การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าการแผ่ความร้อนของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวล โดยการเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าการส่งผ่านความร้อนของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลของผลการทดสอบทั้งหมด โดยเป็นการเปรียบเทียบค่าการส่งผ่านความร้อนระหว่างมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าชีวมวลไม่บดและมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชีวมวลบด มอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดที่เพิ่มขึ้น มีค่าการแผ่ความร้อนที่ต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลบดที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดที่เพิ่มขึ้นมีความเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีกว่ามอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าชีวมวลบด ดังภาพที่ 4.18

ภาพที่ 4.18

เปรียบเทียบผลการทดสอบค่าการแผ่ความร้อน ของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวล



หมายเหตุ	OPC 1 แทน	มอรัตาร์ควบคุม
	CBS (x) หมายถึง	มอรัตาร์ที่มีการแทนที่ไส้ชีวมวลไม่บดในทรายในอัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	GBC (x) หมายถึง	มอรัตาร์ที่มีการแทนที่ไส้ชีวมวลบดในปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	x แทน	อัตราส่วนการแทนที่ของไส้ชีวมวล

4.4.3 ผลการทดสอบค่าความจุความร้อนจำเพาะ

การทดสอบเรื่องค่าความจุความร้อนจำเพาะในงานวิจัยชิ้นนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบค่าความจุความร้อนจำเพาะของมอรัตาร์ที่ผสมไส้ชีวมวลไม่บด และการทดสอบค่าความจุความร้อนจำเพาะของมอรัตาร์ที่ผสมไส้ชีวมวลบด โดยมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบค่าความจุความร้อนจำเพาะ เมื่อแทนที่ทรายด้วยไส้ชีวมวลไม่บด พบว่าค่าความจุความร้อนจำเพาะของมอรัตาร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของไส้ชีวมวลไม่บดมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้น มอรัตาร์ที่ผสมไส้ชีวมวลไม่บดต้องใช้ปริมาณพลังงานความร้อนมากกว่ามอรัตาร์ควบคุมถึงจะทำให้มอรัตาร์มีความร้อนเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส

ข้อสังเกตสำหรับการทดสอบนี้คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของมอรัตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่ไส้ชีวมวลไม่บดร้อยละ 10 15 และ 20 มีค่าความจุความร้อนจำเพาะที่สูงกว่ามอรัตาร์ควบคุม โดยมอรัตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่ไส้ชีวมวลไม่บดร้อยละ 20 มีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูงที่สุดเท่ากับ $2.3203 \text{ MJ/m}^3\text{K}$ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรผสมอื่น ๆ ดังภาพที่ 4.19

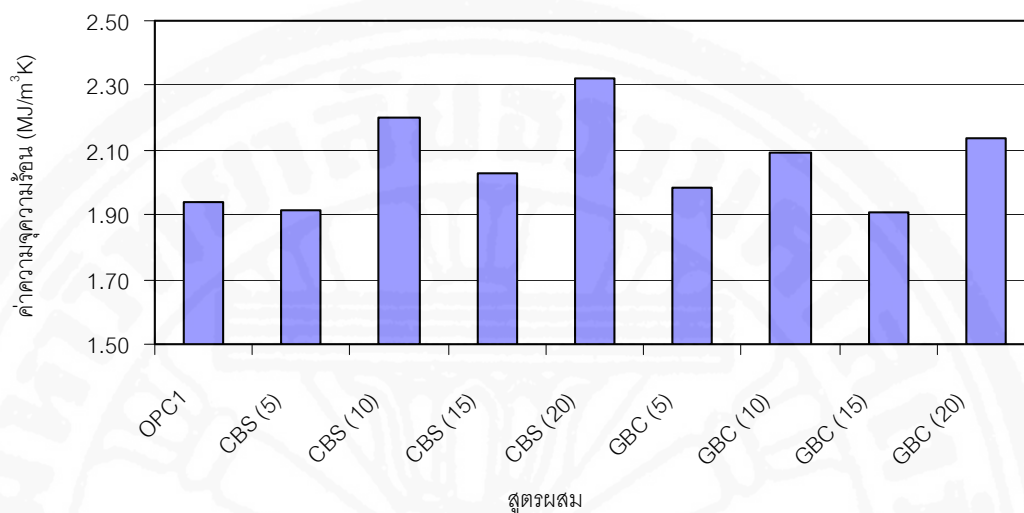
2. ผลการทดสอบค่าความจุความร้อนจำเพาะ เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยไส้ชีวมวลบด พบว่าค่าความจุความร้อนจำเพาะของมอรัตาร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของไส้ชีวมวลบดมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นมอรัตาร์ที่ผสมไส้ชีวมวลบดต้องใช้ปริมาณพลังงานความร้อนมากกว่ามอรัตาร์ควบคุมถึงจะทำให้มอรัตาร์มีความร้อนเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส

ข้อสังเกตสำหรับการทดสอบนี้คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของมอรัตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่ไส้ชีวมวลบดร้อยละ 5 10 และ 20 มีค่าความจุความร้อนจำเพาะที่สูงกว่ามอรัตาร์ควบคุม โดยมอรัตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่ไส้ชีวมวลบดร้อยละ 20 มีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูงที่สุดเท่ากับ $2.1347 \text{ MJ/m}^3\text{K}$ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรผสมอื่น ๆ ดังภาพที่ 4.19

3. การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความจุความร้อนจำเพาะความร้อนของมอรัตาร์ผสมไส้ชีวมวล โดยเป็นการเปรียบเทียบค่าความจุความร้อนจำเพาะระหว่างมอรัตาร์ที่มีการแทนที่ทรายด้วยไส้ชีวมวลไม่บดและมอรัตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยไส้ชีวมวลบด โดยค่าความจุความร้อนจำเพาะของมอรัตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่ไส้ชีวมวลไม่บดที่เพิ่มขึ้น จะมีค่าความจุความร้อนจำเพาะที่สูงกว่ามอรัตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่ไส้ชีวมวลบดที่เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.19

ภาพที่ 4.19

เปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความจุความร้อนจำเพาะของ mortars ผสมเถ้าชีวมวล



หมายเหตุ	OPC 1	แทน	มอร์ตาร์ควบคุม
	CBS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เถ้าชีวมวลไม่บดในทรายในอัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	GBC (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เถ้าชีวมวลบดในปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	x	แทน	อัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวล