

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

1. ส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าชีวมวล

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าชีวมวลและเถ้าชีวมวลผสมเถ้าลอย ประกอบด้วย เถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อย เถ้าแกลบผสมเถ้าลอย และเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอย เปรียบเทียบกับส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์แสดงในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นสารประกอบหลักถึงร้อยละ 81.0 และร้อยละ 70.6 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และมีปริมาณสารประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และ ไออนออกไซด์ (Fe_2O_3) รวมกันร้อยละ 84.3 และร้อยละ 75.1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ มีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) ก่อนข้างสูงที่ร้อยละ 12.1 และร้อยละ 15.4 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ส่วนเถ้าแกลบผสมเถ้าลอย และเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยมีปริมาณ SiO_2 ร้อยละ 60.1 และร้อยละ 55.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และมีปริมาณ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ รวมกันที่ ร้อยละ 81.9 และร้อยละ 80.7 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ มีค่า LOI ร้อยละ 7.5 และร้อยละ 6.3 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนประกอบทางเคมีของปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C 618 พบว่าเถ้าชีวมวลและเถ้าชีวมวลผสมเถ้าลอยที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีคุณสมบัติตามเกณฑ์กำหนด ยกเว้นเฉพาะค่า LOI ของเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ เถ้าชีวมวล และเถ้าชีวมวลผสมเถ้าลอย

วัสดุ	ส่วนประกอบทางเคมี (%)					
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	SO_3	LOI
ปูนซีเมนต์ (PC)	20.5	5.9	3.0	64.4	2.1	1.7
เถ้าแกลบ (RHA)	81.0	2.1	1.2	1.3	0.1	12.1
เถ้าชานอ้อย (BA)	70.6	3.8	0.7	2.8	0.2	15.4
เถ้าแกลบผสมเถ้าลอย (TA1)	60.1	14.2	7.6	5.9	0.8	7.5
เถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอย (TA2)	55.5	16.1	9.1	6.4	0.8	6.3

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะ และความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าชีวมวล และเถ้าชีวมวลผสมเถ้าลอย แสดงในตารางที่ 3 ภาพถ่ายขยายขนาดของเถ้าชีวมวลและเถ้าชีวมวลผสมเถ้าลอย ด้วยกล้องขยาย 2,000 เท่า แสดงในภาพที่ 10

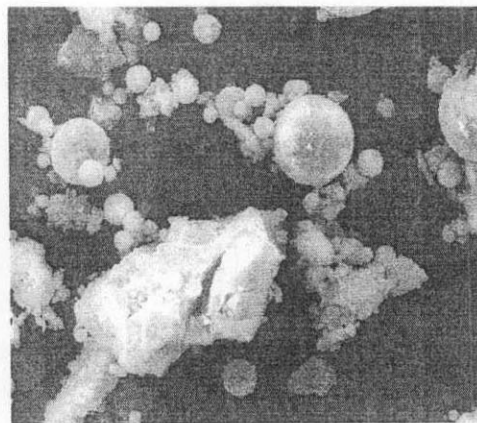
อนุภาคของเถ้าแกลบและเถ้าขานอ้อยมีลักษณะเป็นรูปทรงเหลี่ยมรูปร่างไม่แน่นอน ขณะที่เถ้าแกลบผสมเถ้าลอยและเถ้าขานอ้อยผสมเถ้าลอยมีลักษณะรูปทรงเหลี่ยมหรืออาจเป็นแผ่นแบนและทรงกลมผสมกันซึ่งอนุภาคที่มีรูปทรงกลมก็คือเถ้าลอย

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ เถ้าชีวมวล และเถ้าชีวมวลผสมเถ้าลอย

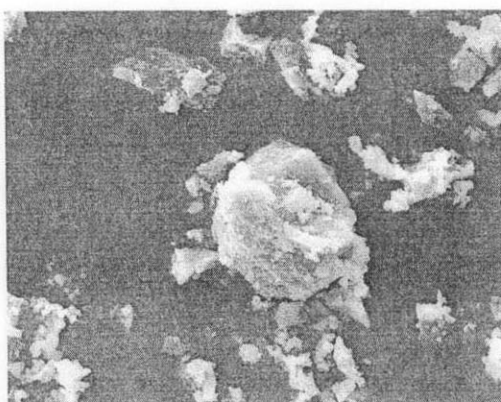
คุณสมบัติทางกายภาพ	วัสดุ				
	PC	RHA	BA	TA1	TA2
ความถ่วงจำเพาะ	3.15	2.05	1.85	2.40	2.30
ความละเอียด					
ค่าตะแกรงเบอร์ 325 (ร้อยละ)	-	0.3	0.4	0.8	0.5
พื้นที่ผิวจำเพาะ (ชม. ² /กรัม)	3,320	10,870	9,600	6,850	6,440
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย, d_{50} (ไมโครเมตร)	22	8	10	10	12



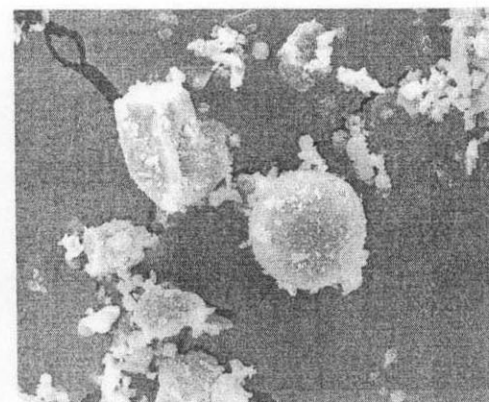
เถ้าแกลบ (RHA)



เถ้าแกลบผสมเถ้าลอย (TA1)



เถ้าขานอ้อย (BA)



เถ้าขานอ้อยผสมเถ้าลอย (TA2)

ภาพที่ 10 ภาพถ่ายขยายขนาดอนุภาคของเถ้าชีวมวล และเถ้าชีวมวลผสมเถ้าลอย

2. ผลการทดสอบการไหลของมอร์ตาร์

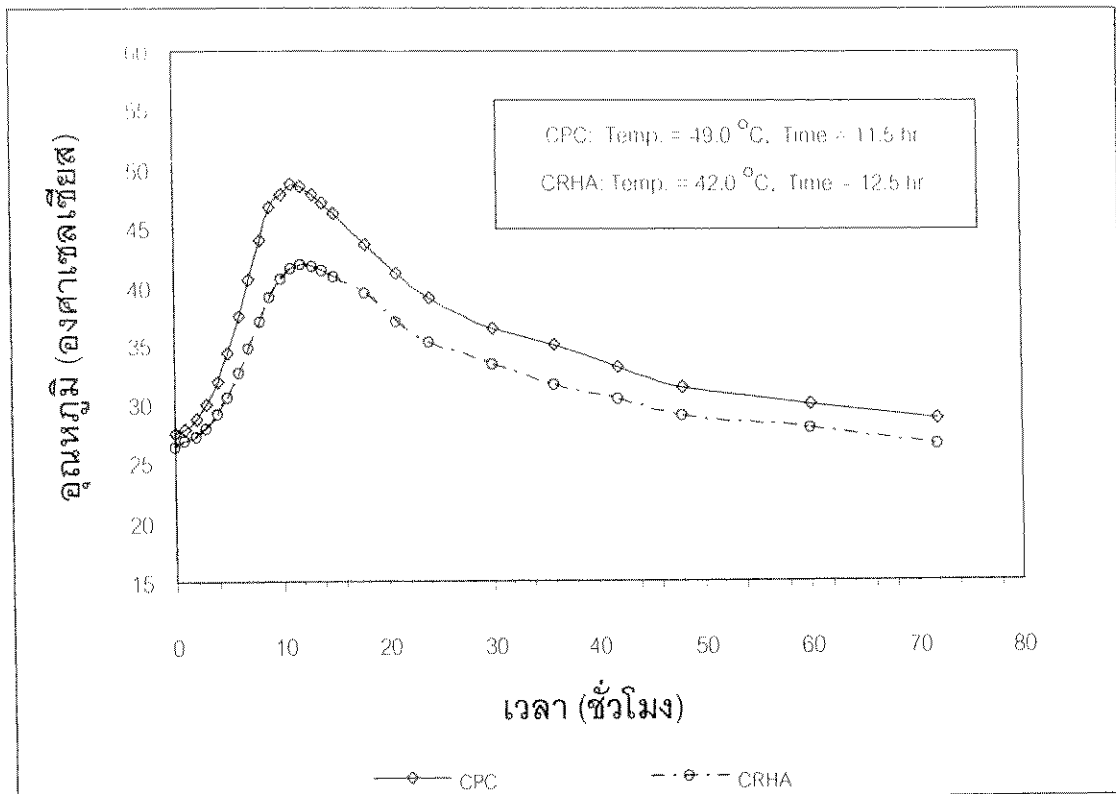
ผลการทดสอบค่าการไหลในช่วงร้อยละ 110 ± 5 เพื่อหาความต้องการปริมาณน้ำในส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนวัสดุประสานต่อมวลรวมละเอียดเท่ากับ 1:2.75 โดยน้ำหนัก แสดงในตารางที่ 4 พบว่ามอร์ตาร์ควบคุม (CPC) มีความต้องการน้ำในส่วนผสมที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) เท่ากับ 0.74 ขณะที่มอร์ตาร์ผสมเถ้ากลบ (CRHA) และมอร์ตาร์ผสมเถ้าขาน้อย (CBA) มีความต้องการน้ำในส่วนผสมที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.81, และ 0.79 ตามลำดับ ส่วนมอร์ตาร์ผสมเถ้ากลบและเถ้าลอย (CTA1) และมอร์ตาร์ผสมเถ้าขาน้อยและเถ้าลอย (CTA2) มีความต้องการน้ำในส่วนผสมที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากันคือ 0.74 ผลการทดสอบการไหลของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลเป็นไปในแนวทางเดียวกัน กล่าวคือมอร์ตาร์ CRHA และมอร์ตาร์ CBA มีความต้องการน้ำในส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น ส่วนมอร์ตาร์ CTA1 และมอร์ตาร์ CTA2 มีแนวโน้มต้องการน้ำในส่วนผสมลดลง ดังนั้นการใช้เถ้าชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์จะทำให้มอร์ตาร์ต้องการน้ำในส่วนผสมเพิ่มขึ้น แต่การใช้เถ้าลอยที่มีลักษณะกลมผสมรวมจะช่วยลดความต้องการน้ำในมอร์ตาร์ได้

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการไหลของมอร์ตาร์

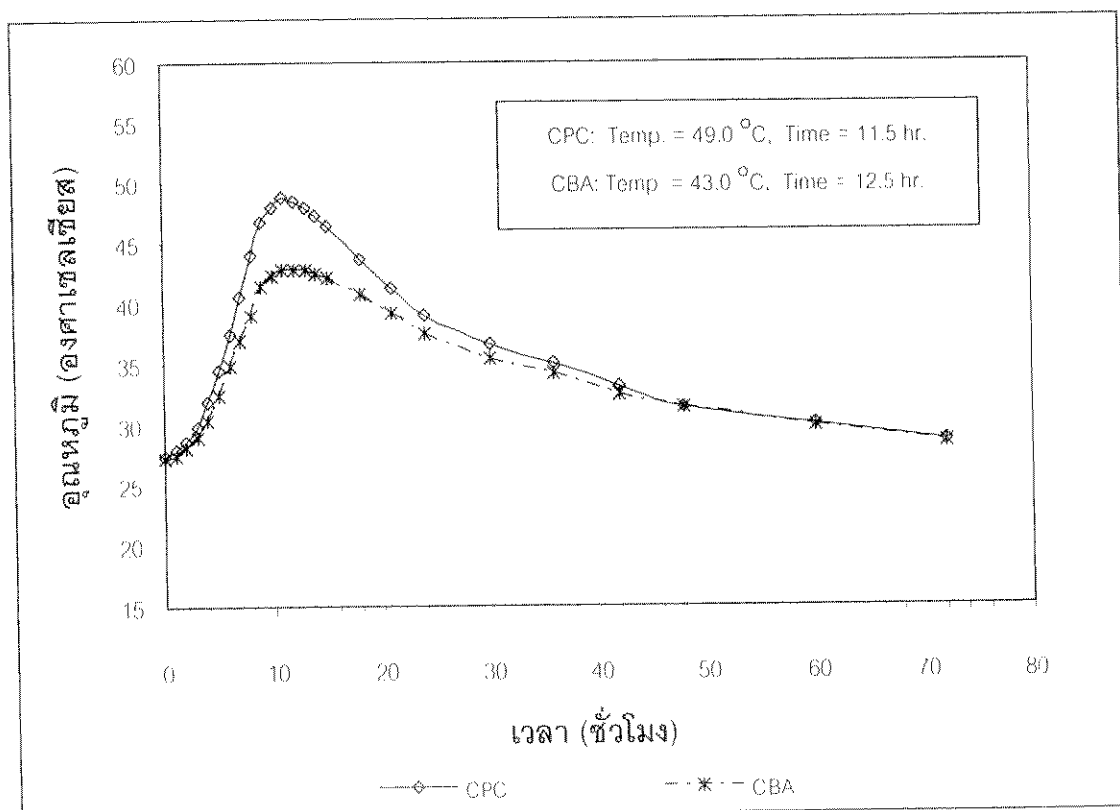
รายการทดสอบ	มอร์ตาร์				
	CPC	CRHA	CBA	CTA1	CTA2
w/b	0.74	0.81	0.79	0.74	0.74
การไหล (ร้อยละ)	110	113	108	109	112

3. ผลการทดสอบความร้อนของมอร์ตาร์

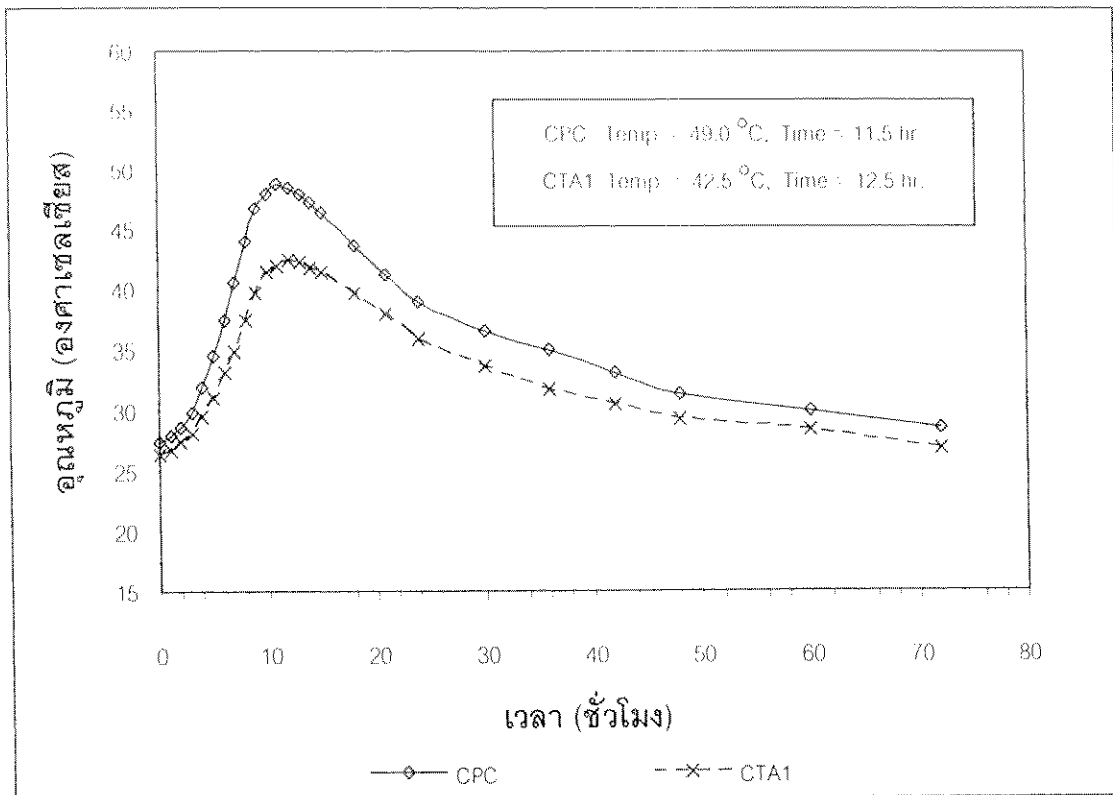
ผลการทดสอบความร้อนของมอร์ตาร์โดยวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเทียบกับเวลา พบว่ามอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลและมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลร่วมกับเถ้าลอยมีอุณหภูมิต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมที่ทำจากปูนซีเมนต์ล้วน มอร์ตาร์ควบคุม CPC มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 49.0 องศาเซลเซียส ที่ช่วงเวลา 11.5 ชั่วโมง ส่วนมอร์ตาร์ CRHA, มอร์ตาร์ CBA, มอร์ตาร์ CTA1 และมอร์ตาร์ CTA2 มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 42.0, 43.0, 42.5, และ 44.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในช่วงเวลาใกล้เคียงกันที่ 12.5 ชั่วโมง ดังจะเห็นได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับเวลาของมอร์ตาร์ CPC เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ CRHA, มอร์ตาร์ CBA, มอร์ตาร์ CTA1 และมอร์ตาร์ CTA2 แสดงในภาพที่ 11 ถึงภาพที่ 14 ตามลำดับ



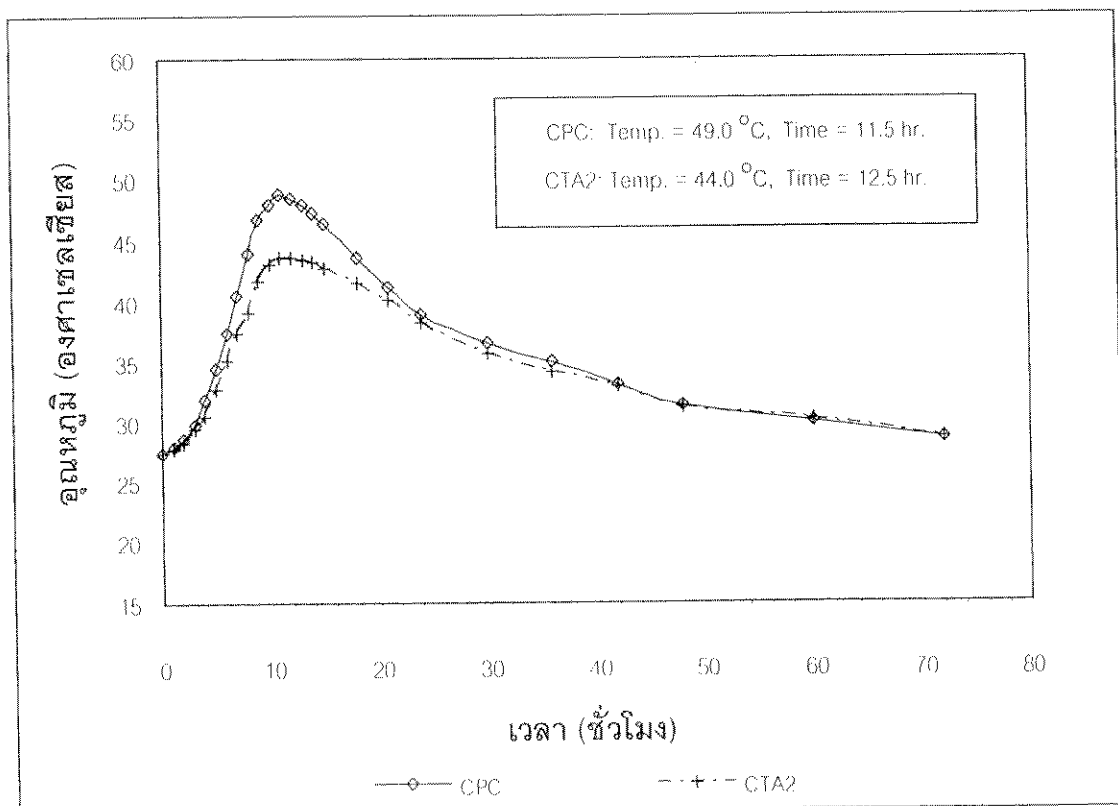
ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับเวลาของมอร์เตอร์ CPC เปรียบเทียบกับ CRHA



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับเวลาของมอร์เตอร์ CPC เปรียบเทียบกับ CBA



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับเวลาของมอร์ตาร์ CPC เปรียบเทียบกับ CTA1



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับเวลาของมอร์ตาร์ CPC เปรียบเทียบกับ CTA2

ผลกระทบของการใช้เถ้าชีวมวลผสมปูนซีเมนต์ต่อความร้อนของมอร์ตาร์ก็คือความร้อนขณะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีลดลง จะเห็นว่ามอร์ตาร์ CRHA, มอร์ตาร์ CBA, มอร์ตาร์ CTA1 และมอร์ตาร์ CTA2 มีอุณหภูมิลดลงร้อยละ 14.28, 12.24, 13.26, และร้อยละ 10.20 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ CPC เนื่องจากการใช้เถ้าชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์ทำให้ปริมาณของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ลดลง มีผลให้สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์คือไตรแคลเซียมซัลเฟต (C_3S) ลดลงด้วย ซึ่ง C_3S เป็นสารประกอบที่สำคัญทำให้เกิดความร้อน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ วีระ หอสกุลไท (2548) พบว่ามอร์ตาร์ผสมวัสดุปอชโซลานสามชนิด (ดินขาว/เถ้าแกลบ/เถ้าลอย) มีอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดของมอร์ตาร์ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และงานวิจัยของลาวี และคณะ (2549) รายงานว่าอุณหภูมิในคอนกรีตมีค่าลดลงตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยที่เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงส่วนประกอบทางเคมีในวัสดุประสานของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวล และ/หรือเถ้าชีวมวลผสมเถ้าลอย และปริมาณไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) ที่คำนวณจากสูตรของ Bogue ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าอุณหภูมิของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวล และ/หรือเถ้าชีวมวลผสมเถ้าลอยมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ C_3A ในวัสดุประสาน ซึ่ง C_3A นี้เป็นสารประกอบที่สำคัญที่ทำให้เกิดความร้อนเช่นเดียวกับ C_3S

ตารางที่ 5 ส่วนประกอบทางเคมีในวัสดุประสานของมอร์ตาร์

ส่วนประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	มอร์ตาร์			
	CRHA	CBA	CTA1	CTA2
Al_2O_3	4.7	5.2	8.4	8.9
Fe_2O_3	2.4	2.3	4.4	4.8
CaO	45.4	45.9	46.8	47.0
C_3A *	8.4	10.0	14.8	15.5
อุณหภูมิสูงสุด, $^{\circ}\text{C}$	42.0	43.0	42.5	44.0
* Bogue : $\text{C}_3\text{A} = 2.65 (\text{Al}_2\text{O}_3) - 1.69 (\text{Fe}_2\text{O}_3)$				