

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การหาสถานะที่เหมาะสมในการเกิดโฟมแก้ว

4.1.1 ผลการเตรียมวัตถุดิบ

จากการศึกษาลักษณะเฉพาะของผงกระจกจาก โรงงานบริษัท ไทยเทคโนโลยีสยาม จำกัด และผงตะกรันจาก โรงหลอมเหล็กป่าแพ่ง มีผลค่าความหนาแน่น ขนาดอนุภาค ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและทางแร่ และผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน โดยมีผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.1-4.3 และภาพที่ 4.1-4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ความหนาแน่นของผงกระจก และผงตะกรัน

ค่าที่วัด	ผงกระจก	ผงตะกรัน
น้ำหนักขวด (กรัม)	7.70	
น้ำหนักขวด+น้ำ (กรัม)	17.30	
น้ำหนักขวด+สาร (กรัม)	8.00	8.30
น้ำหนักขวด+สาร+น้ำ (กรัม)	17.50	17.80
น้ำหนักสาร (กรัม)	0.30	0.60
ความหนาแน่นน้ำ (กรัมต่อลบ.ซม.)	0.96	
ปริมาตรน้ำที่หาย (ลบ.ซม.)	0.104	
ความหนาแน่นสาร (กรัมต่อลบ.ซม.)	2.88	5.77

ตารางที่ 4.2 ขนาดอนุภาคผงกระจก และผงตะกรัน

วัตถุดิบ	ขนาดอนุภาค (ไมโครเมตร)			เฉลี่ย
ผงกระจก	26.03	26.47	27.06	26.52
ผงตะกรัน	48.03	49.01	48.22	48.52

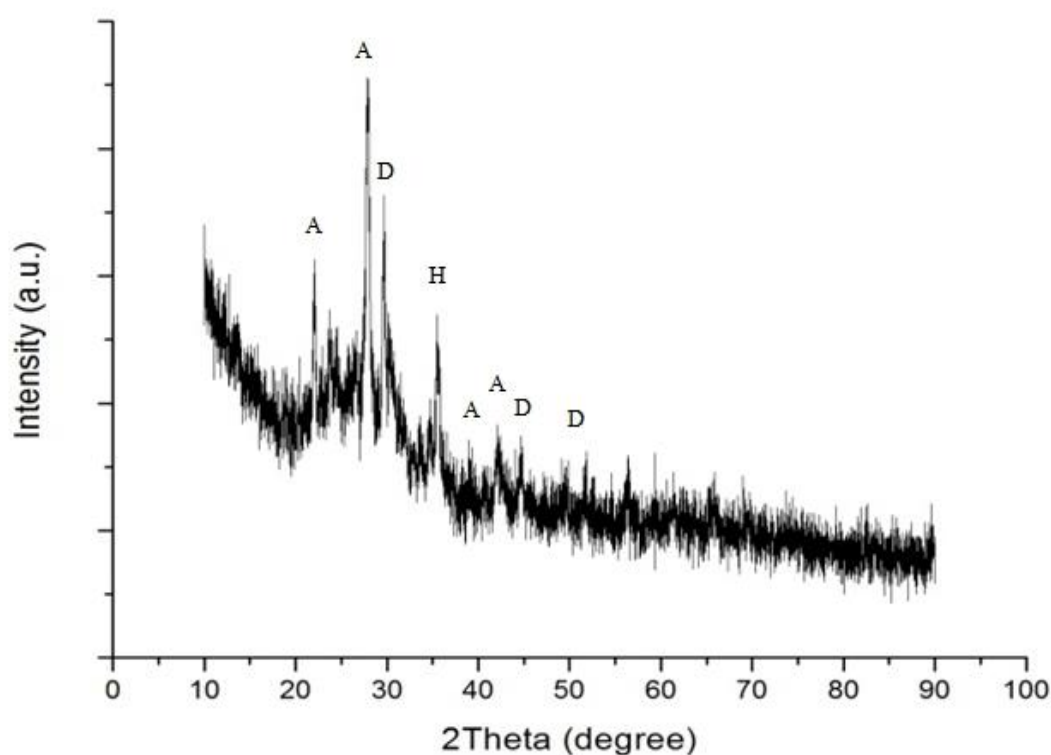
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงกระจก และผงตะกรัน โดยเทคนิค XRF

องค์ประกอบเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนัก	
	ผงกระจก	ผงตะกรัน
Na ₂ O	12.67	1.15
MgO	3.52	1.40
Al ₂ O ₃	0.83	11.97
SiO ₂	71.11	51.99
Cl	0.02	-
K ₂ O	0.07	1.44
CaO	11.38	19.40
TiO ₂	0.05	0.78
Fe ₂ O ₃	0.12	8.07
ZrO ₂	0.03	-
MnO	-	3.53
P ₂ O ₅	-	0.02
Loss on Ignition (LOI) + SO ₃	0.20	0.25
Total	100.00	100.00

จากตารางที่ 4.1 แสดงความหนาแน่นของผงกระจก และผงตะกรัน พบว่าผงกระจก และผงตะกรันมีความหนาแน่น 2.88 และ 5.77 กรัมต่อลบ.ซม. ตามลำดับ ซึ่งผงตะกรันมีความหนาแน่นที่มากกว่าผงกระจกถึง 2 เท่า อีกทั้งใช้กระบวนการแบบเปียกในการเตรียมโฟมแก้วซึ่งอาจเกิดปัญหาการตกจมอย่างรวดเร็วของผงตะกรันได้ จึงต้องทำการหาปริมาณผงตะกรันที่เหมาะสมในการเตรียมโฟมแก้ว

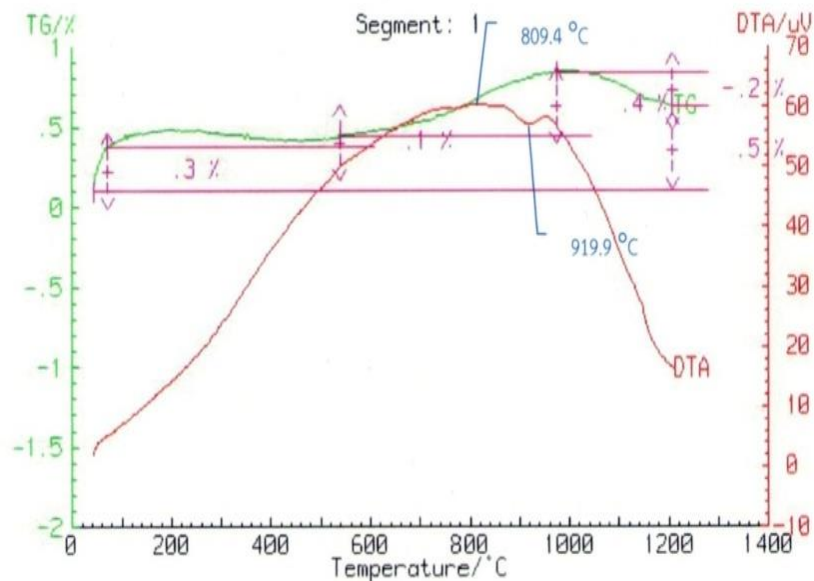
จากตารางที่ 4.2 แสดงขนาดอนุภาคของผงกระจก และผงตะกรันที่ผ่านการบด พบว่าผงกระจก และผงตะกรันมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 26.52 และ 48.52 ไมโครเมตร ตามลำดับ โดยที่ผงกระจกมีขนาดเล็กกว่าผงตะกรันนั้น เนื่องจากต้องการให้ผงกระจกทำหน้าที่เป็นเนื้อของโฟมแก้ว และผงตะกรันเป็นตัวเสริมแรงที่แทรกอยู่ระหว่างเนื้อโฟมแก้ว ดังนั้นขนาดอนุภาคของผงตะกรันจึงมีขนาดใหญ่กว่าผงกระจก

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงกระจกและผงตะกรันพบว่า ผงกระจกมีองค์ประกอบหลักเป็น SiO_2 , Na_2O และ CaO โดยมีปริมาณของตัวช่วยหลอม (Fluxing agent) อยู่สูงจึงทำให้ผงกระจกสามารถหลอมตัวได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000 องศาเซลเซียส ส่วนผงตะกรันมีองค์ประกอบหลักเป็น SiO_2 , CaO , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 โดยมีปริมาณของตัวช่วยหลอมที่สูงพอสมควรจึงทำให้สามารถหลอมตัวได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000 องศาเซลเซียส อีกทั้งการที่มีปริมาณของ Fe_2O_3 อยู่สูงจะช่วยในการเสริมแรงให้กับโฟมแก้วได้ แต่อาจทำให้โฟมแก้วมีค่าการนำความร้อนที่สูง ดังนั้นจึงต้องมีการหาปริมาณผงตะกรันที่เหมาะสมในการเตรียมเป็นโฟมแก้ว



ภาพที่ 4.1 องค์ประกอบทางแร่ของผงตะกรันหลอมเหล็ก D : Diopside ($\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$), A : Anorthite ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) และ H : Hematite (Fe_2O_3)

องค์ประกอบทางแร่ของผงตะกรันหลอมเหล็กประกอบด้วย ไดออพไซด์ อะนอร์ไทท์ ควอตซ์ และฮีมาไทท์ จากลักษณะของกราฟตามภาพที่ 4.1 มีความเป็นผลึกร่วมกับออสซิลเลชันที่มีปริมาณค่อนข้างสูงเนื่องจากตะกรันได้ผ่านการหลอมที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,400 องศาเซลเซียสและผ่านการเย็นตัวอย่างรวดเร็วทำให้อยู่ในสภาพแก้ว



ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีเนื่องด้วยความร้อนของผงตะกรัน

ผงตะกรันมีการเปลี่ยนแปลงด้วยปฏิกิริยาคายความร้อนที่อุณหภูมิ 809.4 องศาเซลเซียส และปฏิกิริยาคูดความร้อนที่อุณหภูมิ 919.9 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงของการแปรเปลี่ยนสภาพแก้ว (Glass transition point ; T_g) แก้วอยู่ในสภาพของแข็งมีความหนืดสูง และเป็นช่วงของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือจุดอบอุ่น มีน้ำหนักลดลงเริ่มที่อุณหภูมิ 43.5 ถึง 973.5 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 1,207.3 องศาเซลเซียส รวมน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก โดยในช่วงอุณหภูมินี้จะมีการระเหยของสารอินทรีย์และอาจมีแก๊สซัลเฟอร์ไดรอกไซด์บางส่วน

4.1.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างผงกระจก และผงตะกรันต่อน้ำที่ใช้ในการเตรียมสลิป

จากการศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างผงกระจกและผงตะกรันต่อน้ำ ได้ทำการเตรียมชิ้นงานใน 3 อัตราส่วน คือ 1:0.67, 1:0.59 และ 1:0.5 โดยใช้ร้อยละของผงตะกรันในสัดส่วนที่แตกต่างกันเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก 0, 10, 15 และ 20 ของผงตะกรัน ซึ่งเมื่อนำชิ้นงานแต่ละอัตราส่วนไปอบจะได้ชิ้นงานลักษณะดังภาพที่ 4.3-4.6 จากนั้นจึงนำไปทดสอบสมบัติต่างๆที่เกี่ยวข้อง คือ สันฐานวิทยา ความหนาแน่น ความทนทานต่อการกดอัด ร้อยละการดูดซึมน้ำ และการนำความร้อน



(1)



(2)



(3)



(4)

ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างหลังอบที่อัตราส่วนของน้ำ 1:0.67 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

(1) ไม่เติมตะกรัน (2) 10% ตะกรัน (3) 15% ตะกรัน และ (4) 20% ตะกรัน

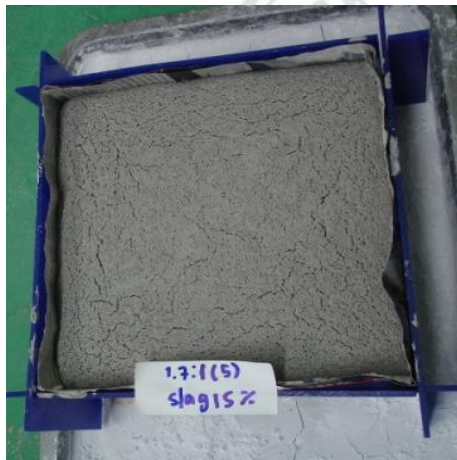
จากภาพที่ 4.3 ที่อัตราส่วนของของแข็งต่อน้ำ 1:0.67 เมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรันมากเกินไปร้อยละ 10 โดยน้ำหนักจะพบว่าโฟมแก้วมีการยุบตัวหลังอบ ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่นของผงตะกรันที่มากกว่าผงกระจก อีกทั้งการมีปริมาณของน้ำที่มากเกินไปในกระบวนการแบบเปียกจะส่งผลให้อนุภาคกระจายตัวกันอยู่ห่างเกินไป ซึ่งเมื่อน้ำระเหยจนหมดอนุภาคจะไม่สามารถรวมตัวกันอยู่ได้ จึงทำให้เกิดการยุบตัว



(1)



(2)



(3)

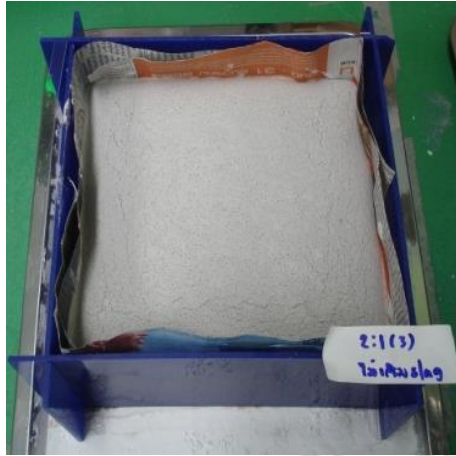


(4)

ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างหลัองบที่อัตราส่วนของน้ำ 1:0.59 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

(1) ไม่เติมตะกรัน (2) 10% ตะกรัน (3) 15% ตะกรัน และ (4) 20% ตะกรัน

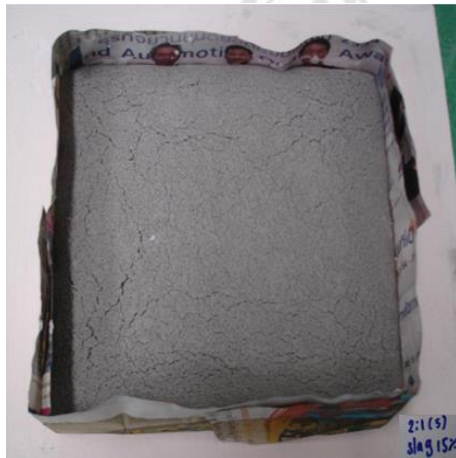
ที่อัตราส่วนของของแข็งต่อน้ำ 1:0.59 ดังภาพที่ 4.4 นั้น พบว่าการเพิ่มปริมาณผงตะกรันจนถึงร้อยละ 20 โดยน้ำหนักนั้นจะไม่มีผลทำให้โฟมแก้วเกิดการยุบตัว ซึ่งแตกต่างจากที่อัตราส่วน 1:0.67 เนื่องจากในกระบวนการแบบเปียกที่ใช้ในการเตรียมโฟมแก้วนั้น จะมีการตีฟองให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กขึ้นก่อนการเติมผงของของแข็ง ดังนั้นปริมาณของน้ำที่ลดลง และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นจะช่วยให้อนุภาคของของแข็งสามารถยึดเกาะกันได้หลังเกิดการระเหยของน้ำ จึงทำให้ชิ้นงานหลัองบสามารถคงรูปร่างอยู่ได้



(1)



(2)



(3)



(4)

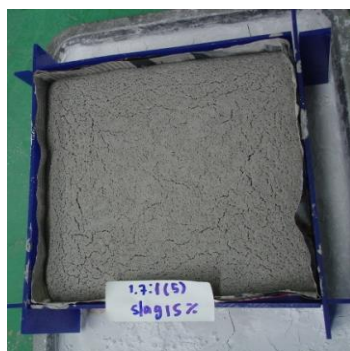
ภาพที่ 4.5 ตัวอย่างหลังอบที่อัตราส่วนของน้ำ 1:0.5 (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)

(1) ไม่เติมตะกรัน (2) 10% ตะกรัน (3) 15% ตะกรัน และ (4) 20% ตะกรัน

จากภาพที่ 4.5 ที่อัตราส่วนของของแข็งต่อน้ำ 1:0.5 ชิ้นงานมีลักษณะเช่นเดียวกันกับภาพที่ 4.4 ก็สามารถคงรูปร่างอยู่ได้เมื่อเพิ่มปริมาณของผงตะกรัน โดยให้เหตุผลเช่นเดียวกันกับที่อัตราส่วนของของแข็งต่อน้ำ 1.5:1



(1)



(2)



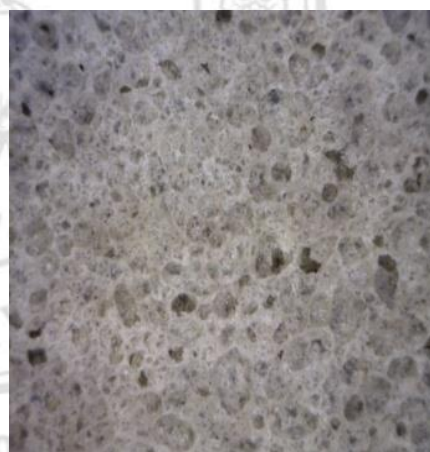
(3)

ภาพที่ 4.6 ชิ้นงานหลังอบที่แต่ละอัตราส่วนของของแข็งต่อน้ำ เมื่อให้ปริมาณผงตะกรันคงที่ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (1) 1:0.67 (2) 1:0.59 (3) 1:0.50

ที่ปริมาณผงตะกรันคงที่ที่ ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก การลดปริมาณน้ำให้อยู่ในช่วงอัตราส่วน 1:0.59-1:0.5 จะช่วยให้ชิ้นงานหลังอบสามารถคงรูปร่างอยู่ได้ ไม่เกิดการยุบตัว สามารถถอดออกจากแบบพิมพ์เพื่อนำไปเผาได้



(1)



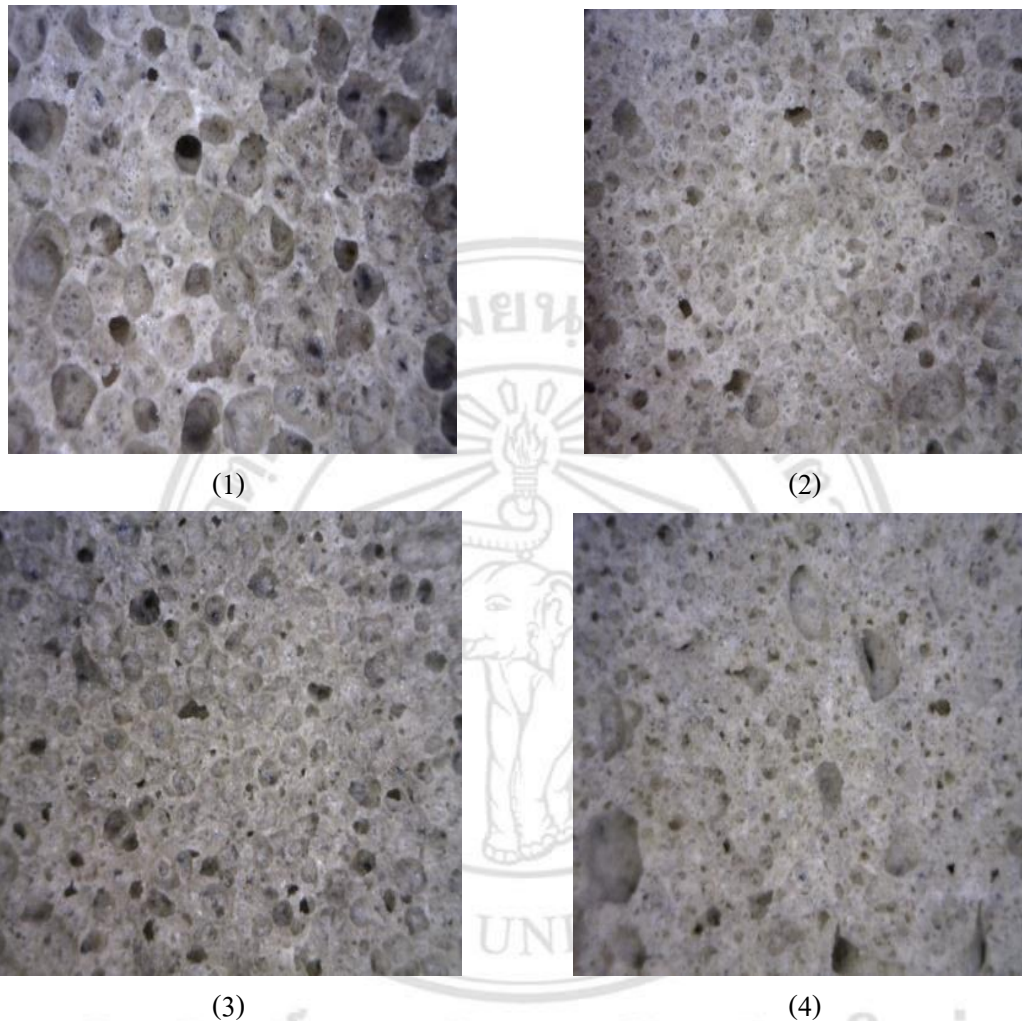
(2)

ภาพที่ 4.7 ภาพชิ้นงานหลังเผาด้วยอุณหภูมิ 800 °C ที่อัตราส่วนผงกระจกและผงตะกรันต่อน้ำ 1:0.67 ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 50 เท่า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

(1) ไม่เติมตะกรัน และ (2) 10% ตะกรัน

จากภาพที่ 4.7 ที่อัตราส่วนของของแข็งต่อน้ำ 1:0.67 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรันจะส่งผลให้รูพรุนมีขนาดเล็กลง จากเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.16 มิลลิเมตร เป็น 1.28 มิลลิเมตร โดยมีการกระจายตัวของรูพรุนที่ลดลงจาก ± 0.74 มิลลิเมตร เป็น ± 0.33 มิลลิเมตร ซึ่งการที่รูพรุนมีขนาดเล็กลง และค่าการกระจายตัวที่ลดลงนั้นเป็นเพราะผงตะกรันที่แทรกอยู่ระหว่างเนื้อโฟมแก้วไปขัดขวางการขยายตัว

ของอากาศจึงทำให้รูพรุนขยายตัวได้ไม่เต็มที่ รูพรุนจึงมีขนาดเล็กลง โดยเปรียบเทียบจากภาพที่ 4.7(1) ไม่เติมผงตะกรันและ 4.7(2) เติมผงตะกรันร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

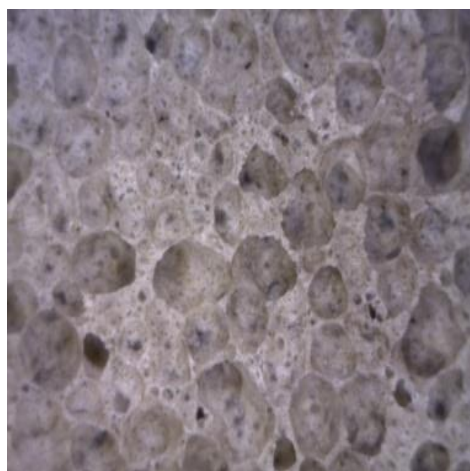


ภาพที่ 4.8 ภาพชิ้นงานหลังเผาด้วยอุณหภูมิ 800 °C ที่อัตราส่วนผงกระจกและผงตะกรันต่อน้ำ 1:0.59 ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 50 เท่า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

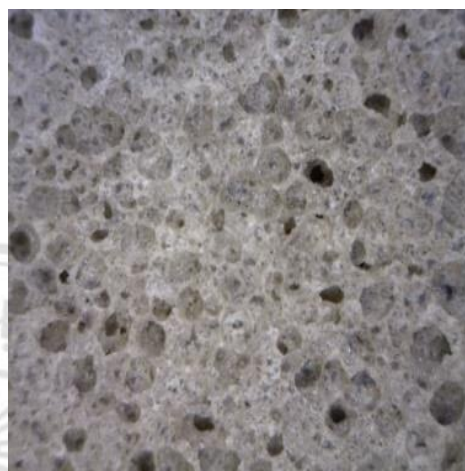
(1) ไม่เติมตะกรัน (2) 10% ตะกรัน (3) 15% ตะกรัน และ (4) 20% ตะกรัน

จากภาพที่ 4.8 ที่อัตราส่วนของของแข็งต่อน้ำ 1:0.59 เมื่อเพิ่มปริมาณของผงตะกรันเข้าไปจะพบว่ารูพรุนมีขนาดเล็กลง ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยที่ 2.3, 1.71, 1.56 และ 1.44 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีค่าการกระจายตัวที่ ± 0.41 , ± 0.20 , ± 0.26 และ ± 0.46 โดยขนาดรูพรุนที่เล็กลง และค่าการกระจายตัวที่ลดลงนั้นเป็นผลจากความหนาแน่นของผงตะกรันที่มากกว่าผงกระจกทำให้เกิดการตกจมขึ้นได้ในขั้นตอนการเตรียม จึงทำให้โฟมแก้วมีความไม่เป็นเนื้อเดียว รูพรุนจึงมีการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอเกิดขึ้น แต่ที่ร้อยละตะกรัน 20 โดยน้ำหนักมีค่าการกระจายตัวเพิ่มขึ้นเนื่องมาจาก

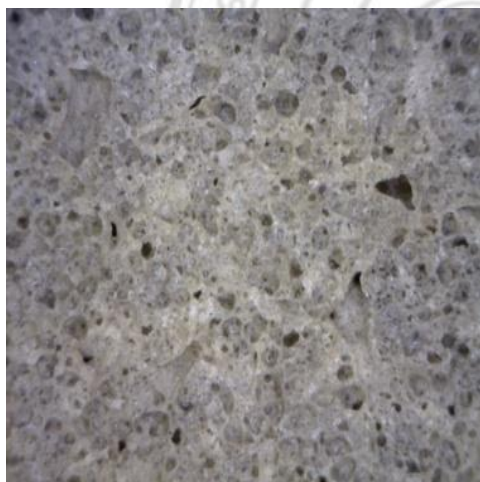
ผงตะกรันเกิดการตกจมและแยกชั้นกับผงกระจก จึงทำให้นาครุพูนที่อยู่ในชั้นผงกระจกมีขนาดใหญ่กว่ารูพูนที่อยู่ในชั้นผงตะกรัน



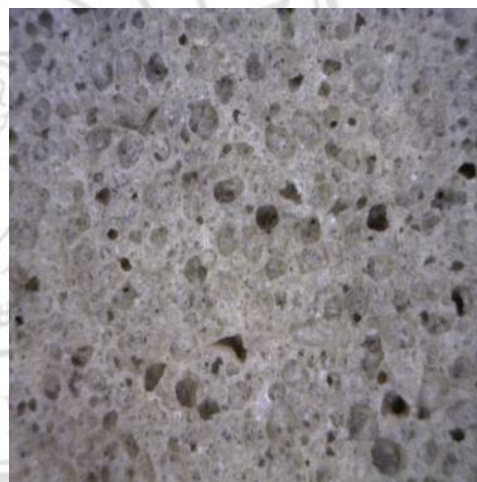
(1)



(2)



(3)



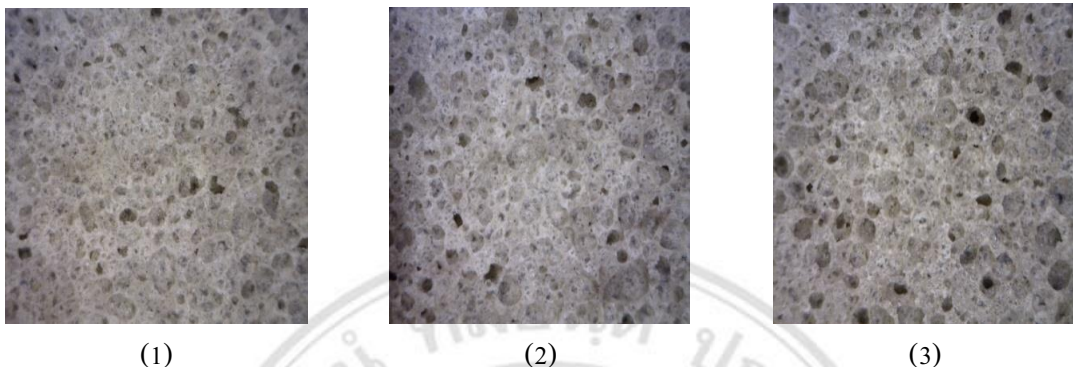
(4)

ภาพที่ 4.9 ภาพชิ้นงานหลังเผาด้วยอุณหภูมิ 800 °C ที่อัตราส่วนผงกระจกและผงตะกรันต่อน้ำ 1:0.5 ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 50 เท่า (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)

(1) ไม่เติมตะกรัน (2) 10% ตะกรัน (3) 15% ตะกรัน และ (4) 20% ตะกรัน

จากภาพที่ 4.9 ที่อัตราส่วนของของแข็งต่อน้ำ 1:0.5 พบว่าโฟมแก้วที่แต่ละปริมาณผงตะกรันจะมีขนาดรูพูนเฉลี่ยที่ 3.24, 1.78, 1.42 และ 1.76 มิลลิเมตรและมีค่าการกระจายตัวของรูพูนที่ ± 0.83 , ± 0.33 , ± 0.30 และ ± 0.27 มิลลิเมตร โดยขนาดรูพูนเฉลี่ยจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรัน เนื่องจากความหนาแน่นของผงตะกรันที่มากกว่าของผงกระจก จึงทำให้ผงตะกรันตกจมจนเกิดการแยกชั้น ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรันร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ขนาดรูพูนจะมีค่าเพิ่มขึ้น

เพราะบริเวณชั้นผงกระจกอากาศภายในโพรงจะขยายตัวได้ง่ายกว่าที่ชั้นผงตะกรัน อีกทั้งค่าการกระจายตัวจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรันเนื่องจากเหตุผลเดียวกับขนาดรูพรุนที่เล็กลงนั่นเอง



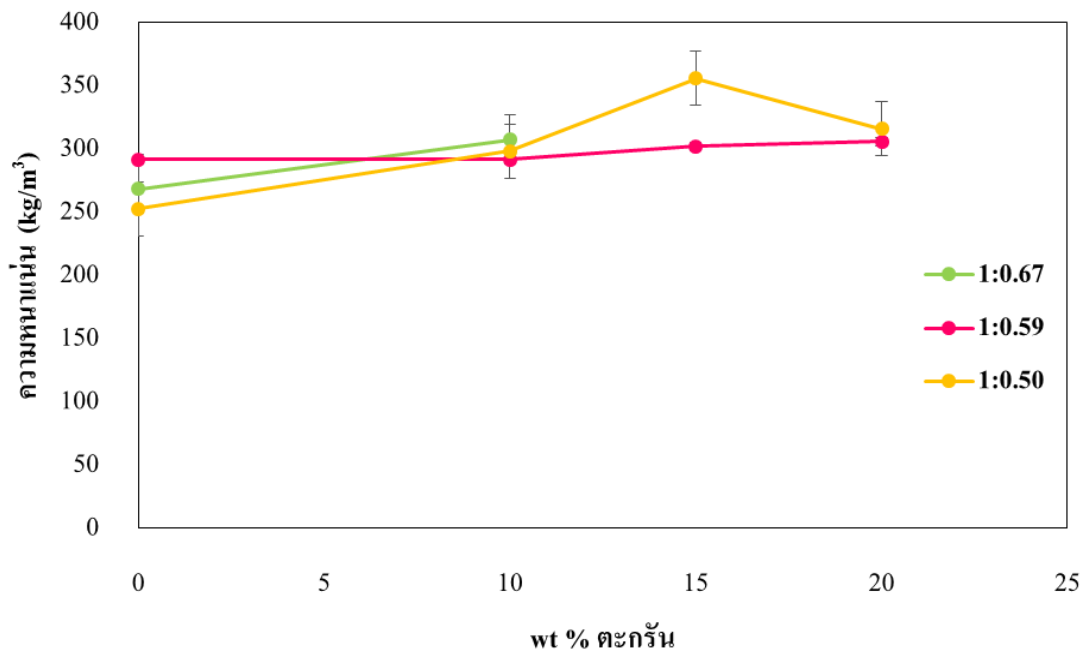
ภาพที่ 4.10 ภาพชิ้นงานแต่ละอัตราส่วนของของแข็งต่อน้ำ เมื่อให้ปริมาณผงตะกรันคงที่ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 50 เท่า

(1) 1:0.67 (2) 1:0.59 (3) 1:0.5

เมื่อให้ปริมาณของผงตะกรันคงที่ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะพบว่าอัตราส่วนของของแข็งต่อน้ำมีผลต่อขนาดรูพรุนและค่าการกระจายตัว โดยเมื่อลดปริมาณของน้ำจนถึงระดับหนึ่งรูพรุนจะมีขนาดเล็กลง ค่าการกระจายตัวมีค่าลดลง แต่เมื่อลดปริมาณน้ำลงในอัตราส่วนของของแข็งต่อน้ำที่ 1:0.50 ขนาดรูพรุนและค่าการกระจายตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการใช้กระบวนการแบบเปียกในการเตรียมโฟมแก้วจะต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียม ซึ่งเมื่อปริมาณน้ำลดลงพื้นที่ในการแขวนลอยของของแข็งก็จะลดลง และจากการที่ผงตะกรันมีความหนาแน่นสูงกว่าผงกระจกจึงทำให้โฟมแก้วไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบจากทั้ง 3 อัตราส่วนจะพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำมาเตรียมเป็นโฟมแก้วคือที่อัตราส่วนของของแข็งต่อน้ำเป็น 1:0.59 เนื่องจากมีขนาดรูพรุนที่เล็ก และมีค่าการกระจายตัวที่ต่ำกว่าอีก 2 อัตราส่วน

และเมื่อนำแก้วโฟมที่ผ่านการเผาไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.11-4.14



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยน้ำหนักของผงตะกรันและความหนาแน่นของชิ้นงาน หลังเผาที่อัตราส่วนผงกระจกและผงตะกรันต่อน้ำ 1:0.67, 1:0.59 และ 1:0.5

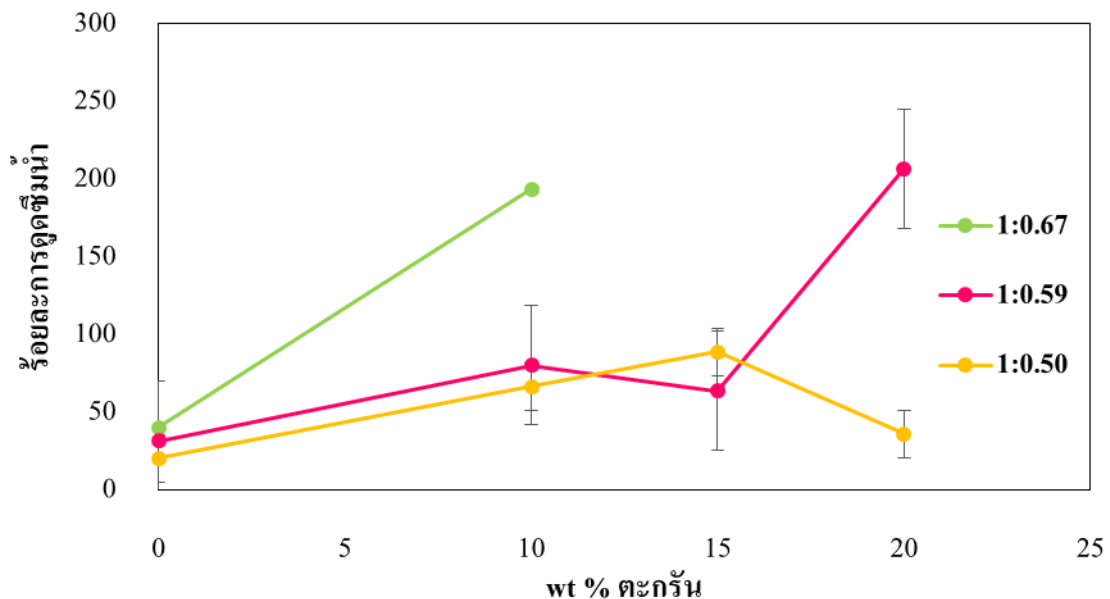
จากภาพที่ 4.11 ที่อัตราส่วน 1:0.67 เมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรันความหนาแน่นของโฟมแก้วมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น โดยสังเกตจากขนาดรูพรุนที่มีขนาดเล็กลง และผนังเซลล์ที่หนาจึงอาจเกิดการแน่นตัวของเนื้อโฟมแก้วที่จะส่งผลให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นได้

และที่อัตราส่วน 1:0.59 เมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรันความหนาแน่นของโฟมแก้วมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยมีแนวโน้มที่เกือบจะเป็นเส้นตรง เนื่องจากค่าการกระจายตัวที่มีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าต่ำจึงทำให้โฟมแก้วแต่ละปริมาณผงตะกรันมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อสังเกตจากภาพที่ 4.8 จะพบว่าลักษณะโครงสร้างของโฟมแก้วมีความคล้ายคลึงกันอีกด้วย

และที่อัตราส่วน 1:0.5 พบว่าเมื่อเพิ่มผงตะกรันจนถึงร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก โฟมแก้วจะมีความหนาแน่นมากที่สุด แต่ที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ความหนาแน่นของโฟมแก้วจะลดลง เป็นผลมาจากความหนาแน่นของผงตะกรันที่มากกว่าผงกระจกจึงทำให้เกิดการตกจมของผงตะกรันในระหว่างการเตรียมจึงทำให้เกิดความไม่เป็นเนื้อเดียวกันเกิดขึ้น รูพรุนจึงมีขนาดใหญ่ขึ้นโดยเปรียบเทียบได้จากภาพที่ 4.9(3) และ 4.9(4)

และที่ปริมาณผงตะกรันคงที่อัตราส่วนของของแข็งต่อน้ำที่ 1:0.59 จะทำให้โฟมแก้วมีความหนาแน่นต่ำที่สุด เนื่องจากมีค่าการกระจายตัวต่ำสุด ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงขนาดของรูพรุนที่มีความ

ใกล้เคียงกันกว่าอัตราส่วนที่เหลือ จึงเลือกอัตราส่วนระหว่างของแข็งและน้ำที่ 1:0.59 มาใช้ในการเตรียมโฟมแก้ว



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยน้ำหนักของผงตะกรันและร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานหลังเผาที่อัตราส่วนผงกระจกและผงตะกรันค่อน้ำ 1:0.67, 1:0.59 และ 1:0.5

จากภาพที่ 4.12 ที่อัตราส่วน 1:0.67 เมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรัน ร้อยละการดูดซึมของโฟมแก้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยร้อยละการดูดซึมน้ำนั้นจะแสดงถึงร้อยละของรูพรุนเปิดภายในชิ้นงาน เนื่องจากรูพรุนที่เล็กลง และค่าการกระจายตัวที่ลดลง อาจทำให้เกิดรูพรุนเปิดขึ้นภายในเนื้อโฟมแก้วได้ จึงทำให้โฟมแก้วมีแนวโน้มที่จะดูดซึมน้ำได้ดี

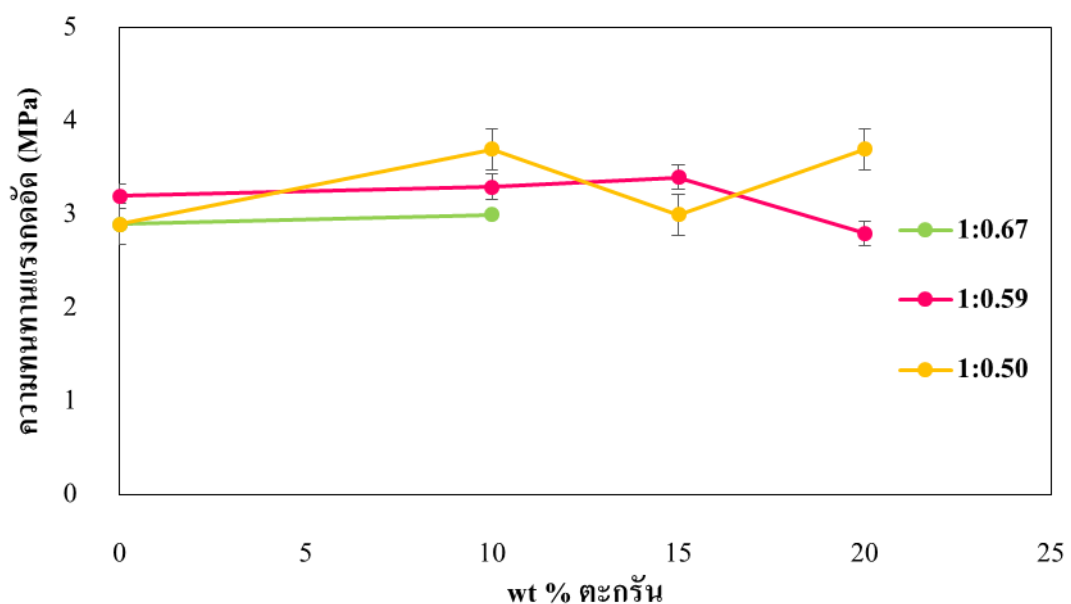
ที่อัตราส่วน 1:0.59 เมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรันจนถึงร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ร้อยละการดูดซึมน้ำจะมีค่าลดลง แสดงถึงการมีปริมาณของรูพรุนปิดที่มากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากขนาดรูพรุนและค่าการกระจายตัวที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลง แต่ที่ปริมาณผงตะกรันร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการมีปริมาณของรูพรุนเปิดมาก โดยสังเกตได้จากการกระจายตัวของรูพรุนที่มีค่ามาก มีขนาดของรูพรุนเล็กและใหญ่ปะปนกันจนทำให้เกิดช่องว่างที่น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปได้

ที่อัตราส่วน 1:0.50 เมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรันที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักจะมีค่าการดูดซึมสูง และที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ค่าการดูดซึมจะลดลง เป็นผลเนื่องมาจากโครงสร้างของรูพรุนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มปริมาณของผงตะกรัน โดยสังเกตจากภาพที่ 4.9(3) และ 4.9(4) จะพบว่ารู

พรุนจะมีขนาดใหญ่ขึ้น และค่าการกระจายตัวที่ลดลงซึ่งแสดงถึงการแน่นตัวของเนื้อโฟมแก้วที่ไปปิดช่องว่างของรูพรุนเปิดจนกลายเป็นรูพรุนปิด

โดยผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ S. Abbasi [20] ที่พบว่า ความหนาแน่นที่ลดลง และค่าความพรุนตัวที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของ Fe_2O_3 ไปเป็น FeO ซึ่ง FeO นั้นมีสมบัติเป็นตัวช่วยหลอมจึงทำให้อุณหภูมิการหลอมตัวลดต่ำลง ชิ้นงานที่ได้จึงมีความแน่นตัวสูง และรูพรุนที่ลดลงที่อุณหภูมิต่ำ

และหากให้ปริมาณผงตะกรันคงที่ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะพบว่าอัตราส่วน 1:0.67 มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำสูงที่สุด รองลงมาคือที่อัตราส่วน 1:0.59 และ 1:0.50 ตามลำดับ โดยเป็นผลจากปริมาณน้ำในการเตรียมโฟมแก้วที่มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้พื้นที่ในการแขวนลอยของอนุภาคของแข็งลดลงตามปริมาณน้ำที่ใช้ ซึ่งจะส่งผลต่อการเป็นเนื้อเดียวกันของเนื้อโฟมแก้ว โดยที่อัตราส่วน 1:0.67 มีการใช้ปริมาณน้ำมากที่สุด มีความเป็นเนื้อเดียวกันสูงสุด จึงทำให้สามารถเกิดเป็นรูพรุนเปิดได้ง่ายที่สุด



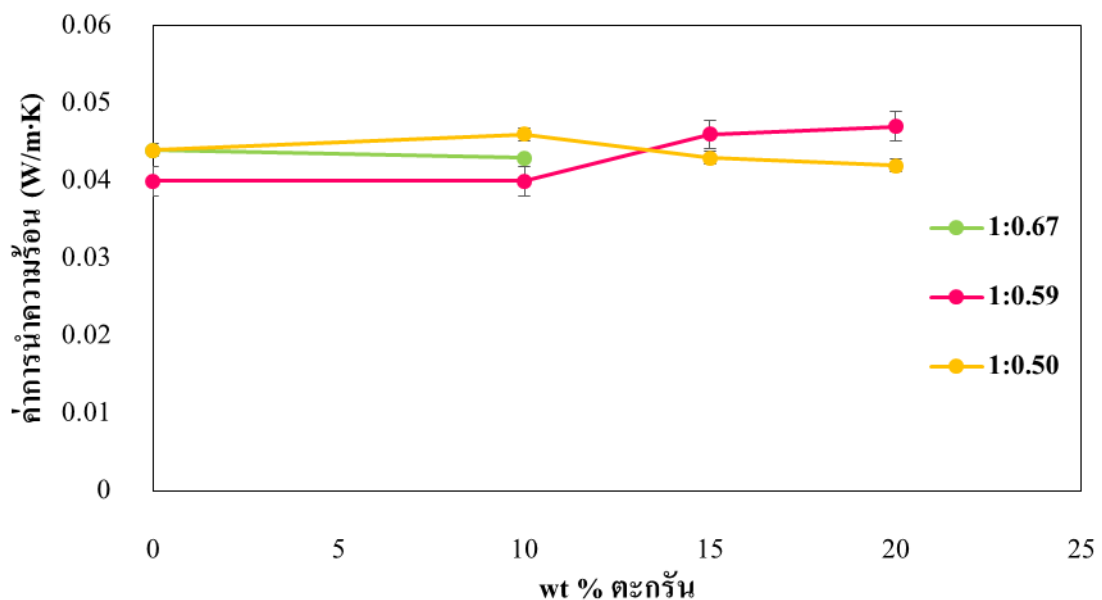
ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยน้ำหนักของผงตะกรันและความทนทานต่อแรงกดอัดของชิ้นงานหลังเผาที่อัตราส่วนผงกระจกและผงตะกรันต่อน้ำ 1:0.67, 1:0.59 และ 1:0.5

เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.13 ที่อัตราส่วน 1:0.67 เมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรัน ค่าความทนทานต่อแรงกดอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเกิดการแน่นตัวขึ้นจากการเพิ่มปริมาณของผงตะกรัน จึงทำให้โฟมแก้วสามารถทนรับแรงกดอัดได้มากขึ้น

และที่อัตราส่วน 1:0.59 เมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรันโฟมแก้วมีค่าความทนทานต่อแรงกดอัดที่เพิ่มขึ้น แต่จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มผงตะกรันถึงร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เนื่องจากผงตะกรันที่มากเกินไปจะทำให้โฟมแก้วไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จึงทำให้ค่าความทนทานต่อการกดอัดมีค่าลดลง

และที่อัตราส่วน 1:0.50 จะพบว่าความทนทานต่อแรงกดอัดของโฟมแก้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของผงตะกรัน โดยเมื่อพิจารณาภาพที่ 4.9 จะพบว่ารูพรุนจะมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอซึ่งส่งผลให้รูพรุนมีโครงสร้างที่สามารถทนรับน้ำหนักได้มาก

เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 อัตราส่วนที่ผงตะกรันร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะพบว่าค่าความทนทานต่อแรงกดอัดมีค่าที่ต่างกันไม่มาก ดังนั้นปริมาณของน้ำที่ใช้ในการเตรียมสลิปโฟมแก้วไม่มีผลต่อความแข็งแรงต่อการกดอัด



ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยน้ำหนักของผงตะกรันและการนำความร้อนของชิ้นงานหลังเผาที่อัตราส่วนผงกระจกและผงตะกรันต่อน้ำ 1:0.67, 1:0.59 และ 1:0.5

จากภาพที่ 4.14 ที่อัตราส่วน 1:0.67 เมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรัน ค่าการนำความร้อนของโฟมแก้วมีแนวโน้มที่จะลดลง เนื่องมาจากขนาดรูพรุนที่เล็กลง และค่าการกระจายตัวของรูพรุนมีค่าลดลง อีกทั้งความหนาของผนังเซลล์มีค่าลดลง โดยความร้อนสามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งได้ ดังนั้นเมื่อผนังเซลล์บางจะทำให้ค่าการนำความร้อนลดลง

และที่อัตราส่วน 1:0.59 ค่าการนำความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของผงตะกรัน เนื่องจากโฟมแก้วมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้มีค่าการนำความร้อนที่มากขึ้นตาม โดยค่าการนำความร้อนจะแปรผลตามกับค่าความหนาแน่น

และที่อัตราส่วน 1:0.50 ค่าการนำความร้อนลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรัน เนื่องจากความหนาแน่นของโฟมแก้วที่ลดลงจึงทำให้ความร้อนสามารถเดินทางผ่านโฟมแก้วได้ยาก

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแต่ละอัตราส่วนที่ปริมาณผงตะกรันร้อยละ 10 โดยน้ำหนักจะพบว่าอัตราส่วน 1:0.59 มีค่าการนำความร้อนที่ต่ำสุด เนื่องจากขนาดของรูพรุนและความหนาแน่นของโฟมแก้วของอัตราส่วน 1:0.59 มีค่าต่ำ

4.1.3 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบโฟมแก้ว

ในการศึกษาอุณหภูมิในการอบที่เหมาะสมในการอบโฟมแก้วนั้น ได้ทำการเตรียมชิ้นงานด้วยอัตราส่วนระหว่างผงกระจกและผงตะกรันกับน้ำที่ 1:0.67 โดยทำการอบที่อุณหภูมิ 70, 80, 90 และ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งได้ผลดังภาพที่ 4.15



(1)



(2)

ภาพที่ 4.15 ชิ้นงานหลังอบที่อุณหภูมิต่างๆ

(1) 70 องศาเซลเซียส

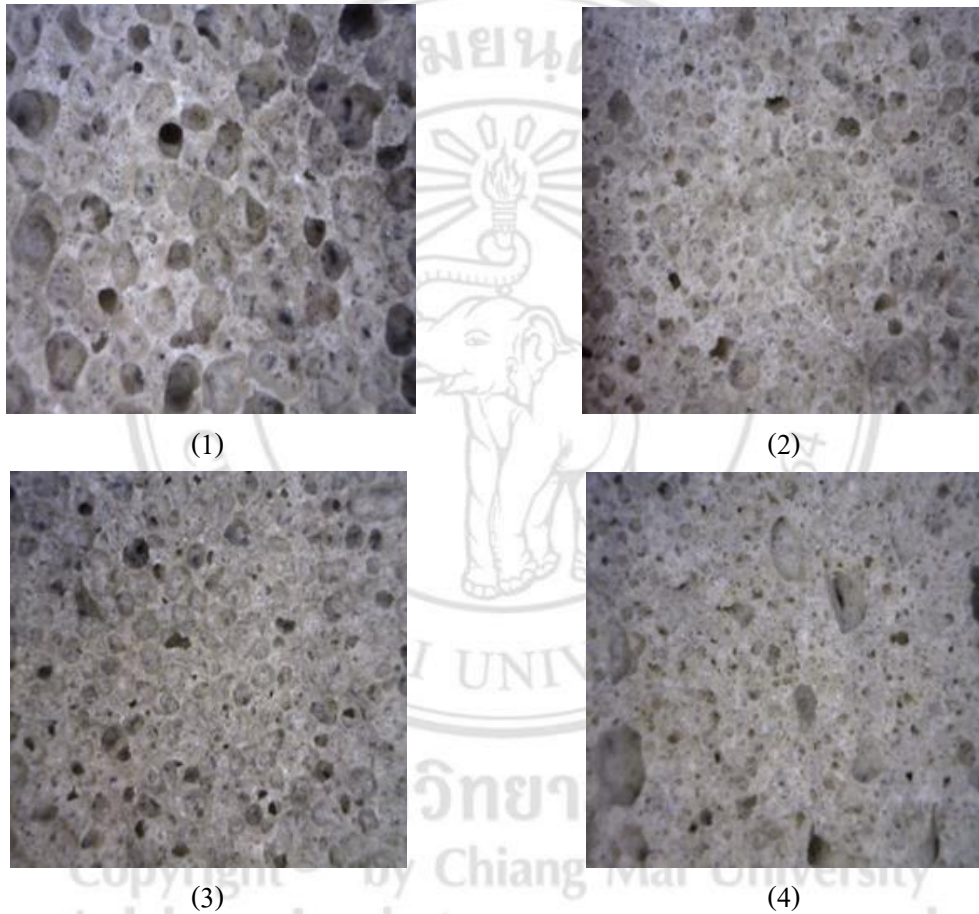
(2) 80, 90 และ 100 องศาเซลเซียส

พบว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบโฟมแก้วเนื่องจากชิ้นงานมีการขยายตัวเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิ 80, 90 และ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้ชิ้นงานเกิดการขยายตัวลักษณะคล้ายน้ำเดือด การขยายตัวลักษณะนี้เกิดจากชิ้นงานมีรูพรุนอยู่จำนวนมาก เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอากาศที่อยู่ในรูพรุนจะมีการเพิ่มปริมาตร และมีความดันมากขึ้นจึงทำให้ชิ้นงานเกิดการขยายตัว และเมื่อถึงจุดหนึ่งที่แรงดันในรูพรุนมากพอจะทำลายผนังเซลล์ ความดันก็จะลดลงและทำให้ชิ้นงานเกิดการยุบตัวตามมา หลังอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 20 ชั่วโมงพบว่าชิ้นงานสามารถถอดออกจากแบบพิมพ์ได้ง่าย โดยไม่แตกเสียหาย สามารถ
คงรูปร่างอยู่ได้ และมีความแข็งแรงในระดับหนึ่งซึ่งพอที่จะสามารถเคลื่อนย้ายได้

4.1.4 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาโฟมแก้ว

การศึกษหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาโฟมแก้วทำได้โดยการนำชิ้นงานไปเผาที่อุณหภูมิ
800, 850 และ 900 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติต่างๆที่เกี่ยวข้อง คือ ความหนาแน่น,
ความทนทานต่อการกดอัด, ร้อยละการดูดซึมน้ำ และการนำความร้อน ได้ผลดังภาพที่ 4.16-4.23

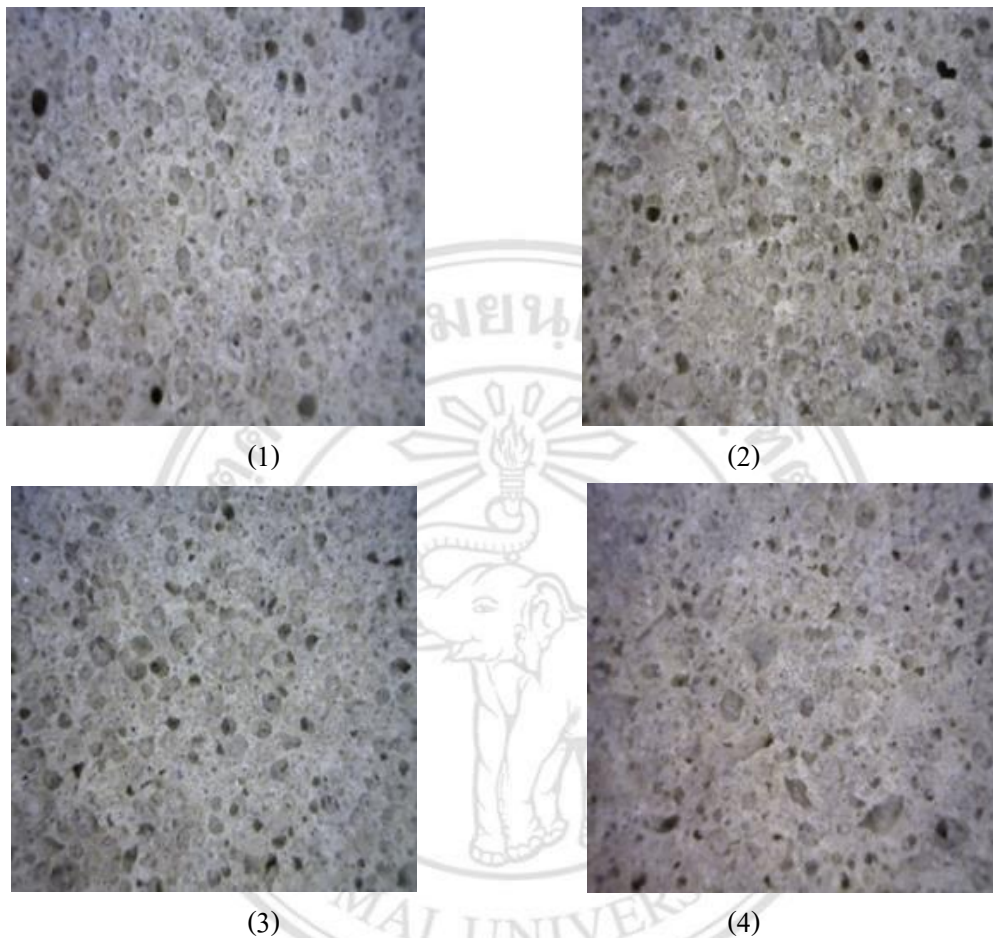


ภาพที่ 4.16 ภาพชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 50 เท่า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

(1) ไม่เติมตะกั่ว (2) 10% ตะกั่ว (3) 15% ตะกั่ว และ (4) 20% ตะกั่ว

ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส พบว่าที่แต่ละปริมาณผงตะกั่วมีขนาดรูพรุนดังนี้ 1.98, 1.40, 1.30 และ 1.94 มิลลิเมตร และมีค่าการกระจายตัว ± 0.53 , ± 0.22 , ± 0.16 และ ± 0.80 โดยเมื่อเพิ่มปริมาณ
ผงตะกั่วที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก รูพรุนมีขนาดเล็กลง และมีค่าการกระจายตัวลดลง แต่ที่ปริมาณ
ตะกั่วร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก รูพรุนจะมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีค่าการกระจายตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจาก

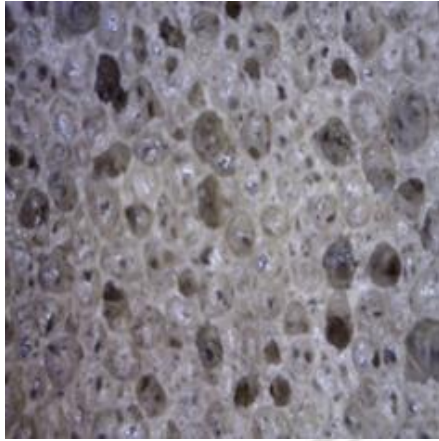
ผงตะกรันมีความหนาแน่นมากกว่าผงกระจกจึงทำให้เมื่อเติมผงตะกรันในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ผงตะกรันเกิดการตกจม ส่งผลให้โฟมแก้วไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ดังภาพที่ 4.16



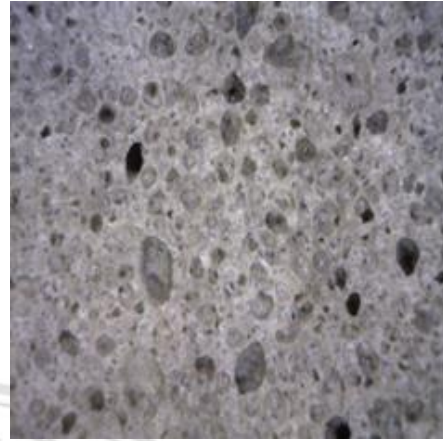
ภาพที่ 4.17 ภาพชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 50 เท่า(ร้อยละ โดยน้ำหนัก)

(1) ไม่เติมตะกรัน (2) 10% ตะกรัน (3) 15% ตะกรัน และ (4) 20% ตะกรัน

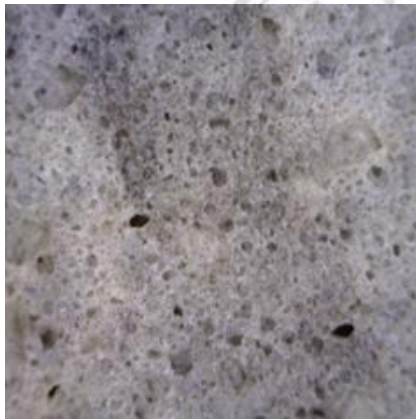
ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส จากภาพที่ 4.17 พบว่าชิ้นงานหลังเผาจะมีขนาดรูพรุนเส้นผ่านศูนย์กลางและค่าการกระจายตัว 1.56 ± 0.17 , 1.50 ± 0.30 , 1.50 ± 0.10 และ 1.42 ± 0.34 มิลลิเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรันที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีค่าการกระจายตัวลดต่ำที่สุด แต่เมื่อเพิ่มผงตะกรันเป็นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ค่าการกระจายตัวจะเพิ่มขึ้น สังเกตจากภาพที่ 4.17(4) รูพรุนมีขนาดเล็กลง มีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ และมีผนังเซลล์ที่หนา โดยเกิดจากความหนาแน่นของผงตะกรันที่มากเกินไปทำให้เกิดการยุบตัวของโครงสร้างรูพรุน



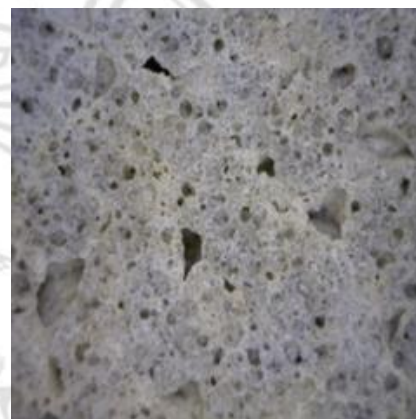
(1)



(2)



(3)



(4)

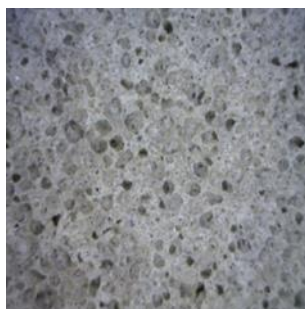
ภาพที่ 4.18 ภาพชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 50 เท่า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

(1) ไม่เติมตะกรัน (2) 10% ตะกรัน (3) 15% ตะกรัน และ (4) 20% ตะกรัน

เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.18 ที่อุณหภูมิการเผา 900 องศาเซลเซียส ชิ้นงานมีขนาดรูพรุนและค่าการกระจายตัว 2.10 ± 0.39 , 1.24 ± 0.26 , 1.22 ± 0.44 และ 1.22 ± 0.47 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรันขึ้นจะส่งผลให้รูพรุนของโฟมแก้วมีขนาดเล็กลงและคงที่ และมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอใกล้เคียงกัน แต่ที่ปริมาณผงตะกรันร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะมีค่าการกระจายตัวของรูพรุนที่มากที่สุด โดยมีรูพรุนขนาดเล็ก-ใหญ่ปะปนกันไป อีกทั้งผนังเซลล์ของโฟมแก้วหนาเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่นของตะกรันและปริมาณของผงตะกรันที่เติมลงไป จนทำให้เกิดการยุบตัวของรูพรุนเปิดได้



(1)



(2)

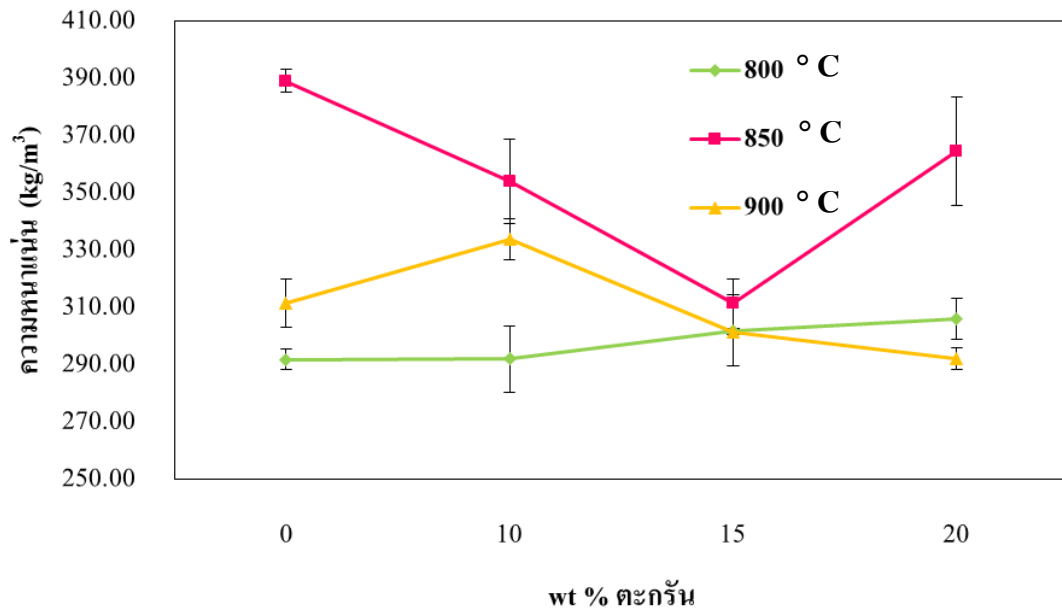


(3)

ภาพที่ 4.19 ภาพชิ้นงานหลังเผาแต่ละอุณหภูมิที่ปริมาณผงตะกรันร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 50 เท่า (องศาเซลเซียส) (1) 800 (2) 850 และ (3) 900

จากภาพที่ 4.19 เมื่อปริมาณผงตะกรันคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้รูพรุนมีขนาดเล็กลง มีค่าการกระจายตัวที่ลดลง แต่ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าการกระจายตัวที่เพิ่มมากขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้อากาศเกิดการขยายตัวมากขึ้น เมื่ออากาศเกิดการขยายตัวจะไปทำลายผนังเซลล์ของโฟมแก้ว จึงทำให้รูพรุนมีขนาดเล็กลงจนเกิดการแน่นตัวขึ้นด้วย สังเกตจากภาพที่ 4.19(3)

ผลจากการวิจัยนี้สอดคล้องผลการวิจัยของ Long Wu [21] ที่ได้กล่าวว่า อุณหภูมิการเผาที่สูงนั้นจะทำให้โฟมแก้วเกิดตำหนิต่างๆ เช่น ขนาดของฟองอากาศที่ไม่สม่ำเสมอ เกิดรูขนาดใหญ่ในเนื้อชิ้นงาน และบริเวณด้านล่างของเนื้อโฟมแก้วได้ ส่วนโครงสร้างของรูพรุนที่มีขนาดเล็กนั้นจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิการเผาต่ำ



ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยน้ำหนักของผงตะกรันและความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 800, 850 และ 900 องศาเซลเซียส

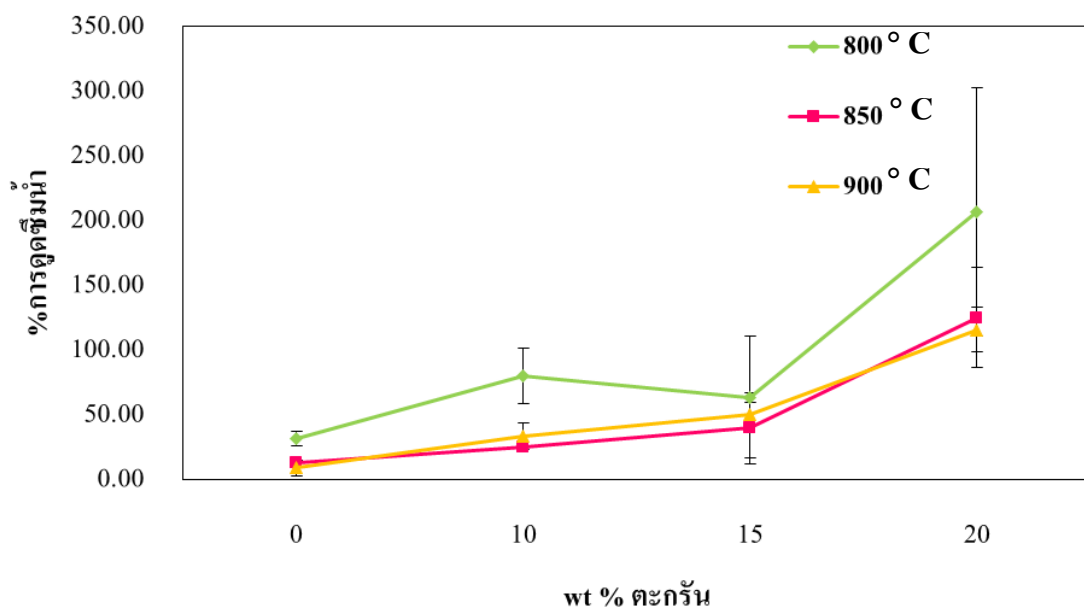
จากภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยน้ำหนักผงตะกรันและความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 800, 850 และ 900 องศาเซลเซียส พบว่าชิ้นงานที่เผาที่ 800 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรันจะส่งผลให้ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากปริมาณของตะกรันที่มากเกินไปและความหนาแน่นของผงตะกรันทำให้เมื่อแก้วเกิดการอ่อนตัวจะเกิดการยุบตัวของโครงสร้างรูพรุนจนแน่นตัวได้

และเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรัน ความหนาแน่นจะมีค่าลดลง แต่ที่ปริมาณผงตะกรันร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น เป็นผลเนื่องจากปริมาณผงตะกรันที่เติมมากเกินไปจนทำให้เกิดการยุบตัวของเนื้อแก้วเมื่อเกิดการอ่อนตัว

แต่เมื่อเผาชิ้นงานที่ 900 องศาเซลเซียส ปริมาณผงตะกรันร้อยละ 10 โดยน้ำหนักทำให้ความหนาแน่นของโฟมแก้วมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ที่ร้อยละ 15-20 โดยน้ำหนัก ความหนาแน่นมีค่าลดลง อาจเป็นผลมาจากการกระจายตัวของรูพรุนที่มากเกินไปทำให้เกิดรูพรุนเปิดมีปริมาณมาก ความหนาแน่นจึงลดลง

และเมื่อกำหนดให้ปริมาณผงตะกรันคงที่ที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก พบว่าที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส จะมีค่าความหนาแน่นสูงสุด และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นมีค่าลดลง เป็นผลเนื่องมาจาก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้แก้วเกิดการอ่อนตัว และมีความหนืดลดลง อีก

ทั้งสารอินทรีย์ที่อยู่ภายในโฟมแก้วเกิดการสลายตัวเป็นก๊าซ ดันผนังเซลล์ให้ขยายตัวขึ้นจนเกิดเป็นรูพรุน ความหนาแน่นจึงมีค่าลดลง

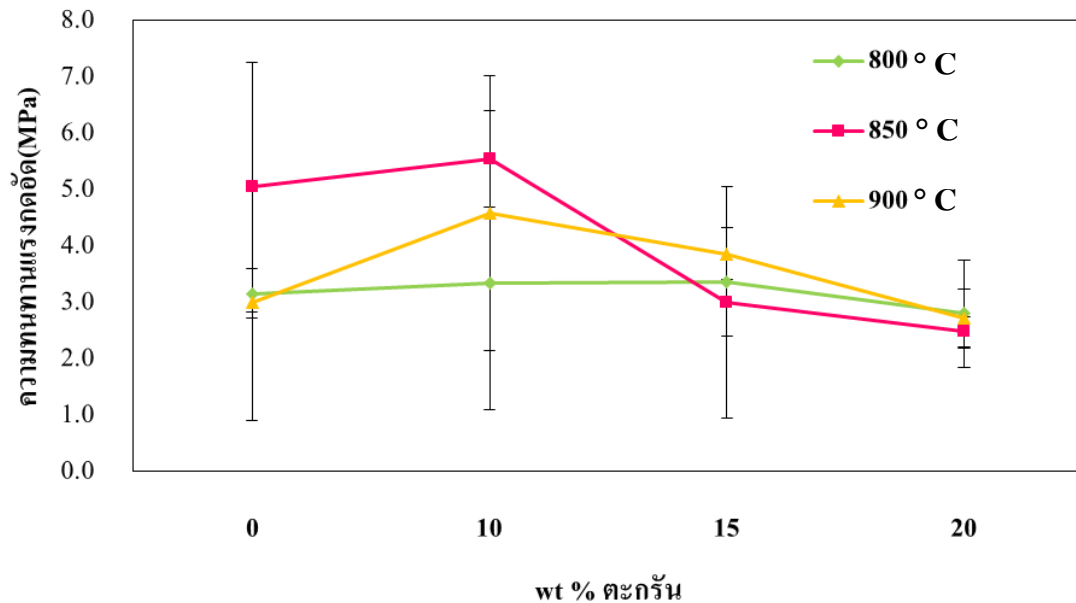


ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยน้ำหนักของผงตะกรันและร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 800, 850 และ 900 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยน้ำหนักผงตะกรันและร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 800, 850 และ 900 องศาเซลเซียส พบว่าที่ 800 องศาเซลเซียสมีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรัน เนื่องจากค่าการกระจายตัวที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณผงตะกรันเพิ่มจึงทำให้เกิดรูพรุนเปิดขึ้นมาภายในเนื้อโฟมแก้วได้ ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

และที่อุณหภูมิ 850 และ 900 องศาเซลเซียส ให้ผลเช่นเดียวกันกับที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

และเมื่อให้ปริมาณผงตะกรันคงที่ที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก จะพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผา ค่าการดูดซึมน้ำจะมีค่าลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้แก้วเกิดการอ่อนตัว ความหนืดลดลง จนสามารถปิดรูพรุนเปิดที่เกิดจากการขยายตัวของอากาศได้ ค่าการดูดซึมน้ำจึงมีค่าลดลง

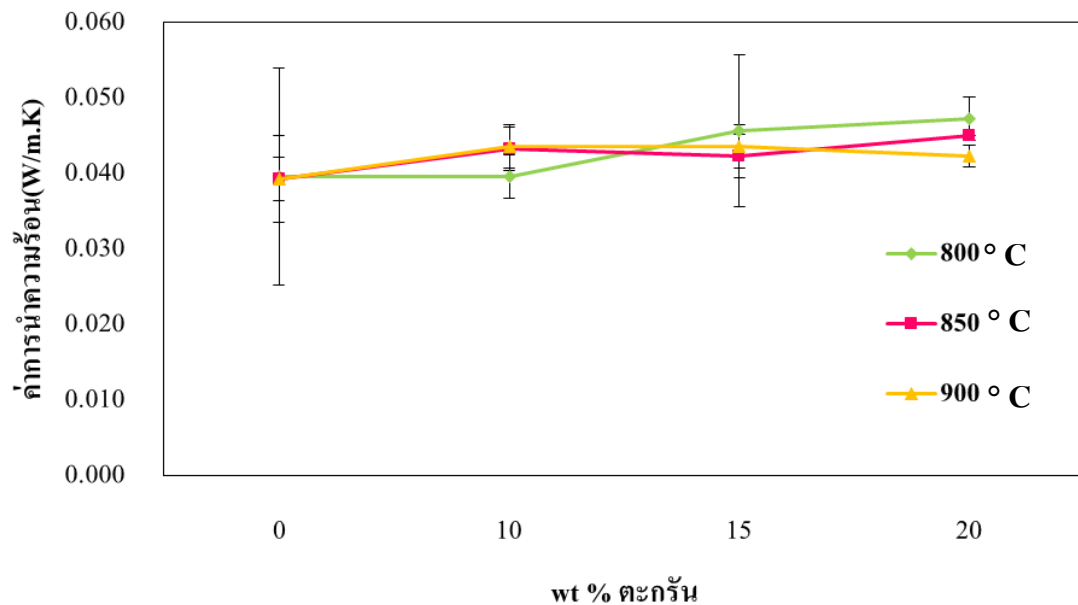


ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยน้ำหนักของผงตะกรันและความทนทานต่อแรงกดอัดของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 800, 850 และ 900 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 4.22 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เมื่อปริมาณตะกรันเพิ่ม ความทนทานต่อแรงกดอัดจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะมีค่าลดลง เป็นผลเนื่องมาจากการตกจมของผงตะกรันจนทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างผงกระจกและผงตะกรัน และที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ผงกระจกจะเริ่มอ่อนตัว พร้อมทั้งเกิดการขยายตัวของอากาศจนทำให้ผนังเซลล์ของโครงสร้างโฟมแฟ้วบางลง จึงทำให้ค่าความทนทานต่อการกดอัดมีค่าลดลง

และที่อุณหภูมิ 850 และ 900 องศาเซลเซียส ให้ผลเช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

และเมื่อให้ปริมาณตะกรันคงที่ที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักจะพบว่าที่อุณหภูมิการเผา 900 องศาเซลเซียส มีค่าความทนต่อแรงกดอัดสูงที่สุด โดยมีแนวโน้มมาจากการแน่นตัวของโฟมแก้วที่เกิดขึ้นหลังจากการขยายตัวของอากาศจนทำให้โครงสร้างของรูพรุนเสียหายจนเกิดการยุบตัวกันหลังจากนั้นแน่นตัว สังเกตจากภาพที่ 4.19(3) ซึ่งเกิดการแน่นตัวขึ้นเป็นบางส่วน



ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละ โดยน้ำหนักของผงตะกรันและการนำความร้อนของชิ้นงาน หลังเผาที่อุณหภูมิ 800, 850 และ 900 องศาเซลเซียส

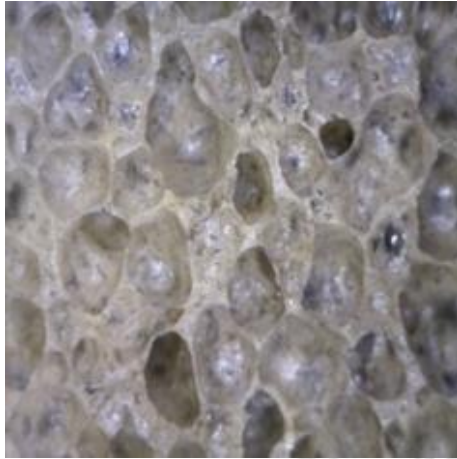
จากภาพที่ 4.23 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรัน ค่าการนำความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากผงตะกรันมี Fe_2O_3 เป็นองค์ประกอบ จึงทำให้เมื่อปริมาณผงตะกรันเพิ่มขึ้น ค่าการนำความร้อนจึงเพิ่มขึ้นด้วย

และที่อุณหภูมิ 850 และ 900 องศาเซลเซียส ให้ผลเช่นเดียวกันกับที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

และเมื่อกำหนดให้ปริมาณของผงตะกรันคงที่ที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก จะพบว่าที่ทุกๆ อุณหภูมิจะให้ค่าการนำความร้อนที่ใกล้เคียงกันโดยจะอยู่ในช่วง 0.040-0.045 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ดังนั้นอุณหภูมิการเผาจะไม่มีอิทธิพลต่อค่าการนำความร้อน ดังนั้นอุณหภูมิการเผาที่เหมาะสม คือ 850 องศาเซลเซียส เพราะจะได้โฟมแก้วที่มีค่าการกระจายตัวต่ำสุด และยังมีผนังเซลล์ที่ไม่บาง และไม่หนาเกินไป

4.1.5 ศึกษาอัตราการเผาที่เหมาะสมของโฟมแก้ว

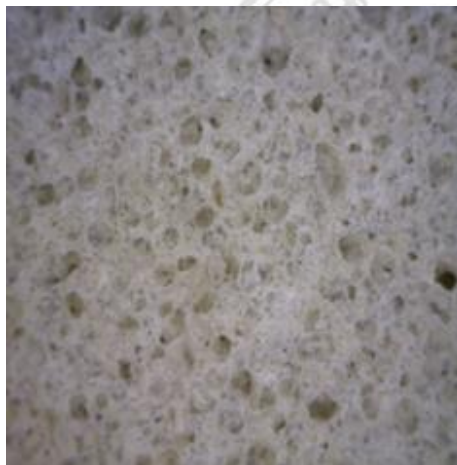
ในการศึกษาหาอัตราการเผาที่เหมาะสมของโฟมแก้วนั้นได้ทำการศึกษาที่อัตราการเผา 3 และ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติต่างๆที่เกี่ยวข้อง คือ ความหนาแน่น, ความทนทานต่อการกดอัด, ร้อยละการดูดซึมน้ำ และการนำความร้อน ดังภาพที่ 4.24-4.28



(1)



(2)



(3)

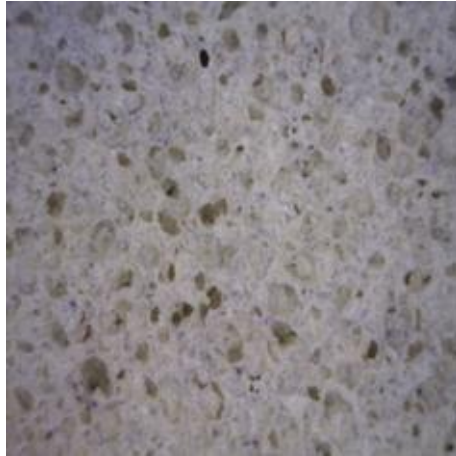


(4)

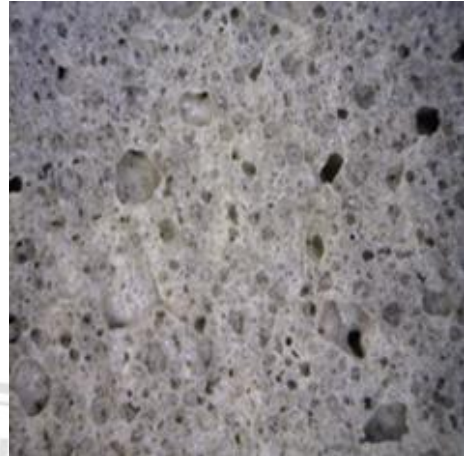
ภาพที่ 4.24 ภาพชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเผา 3 (ซ้ายมือ) และ 5 (ขวามือ) องศาเซลเซียสต่อนาที ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 50 เท่า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

(1, 2) ไม่เติมตะกั่ว (3, 4) 10% ตะกั่ว

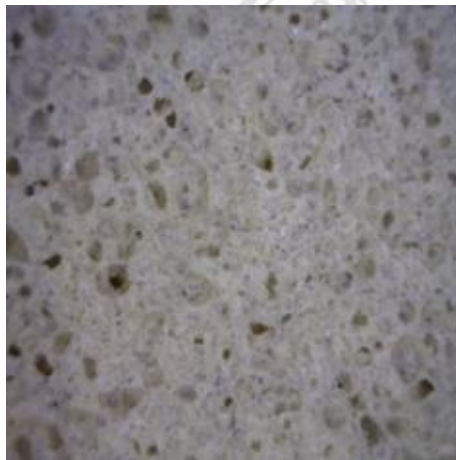
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



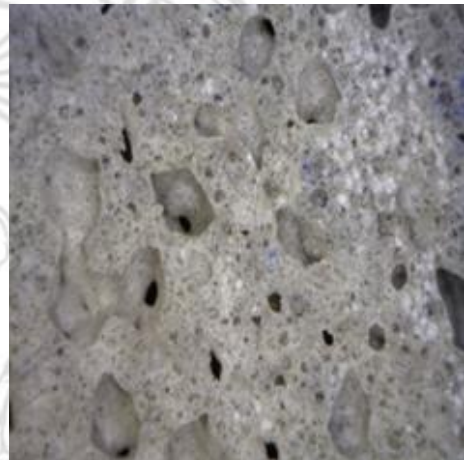
(5)



(6)



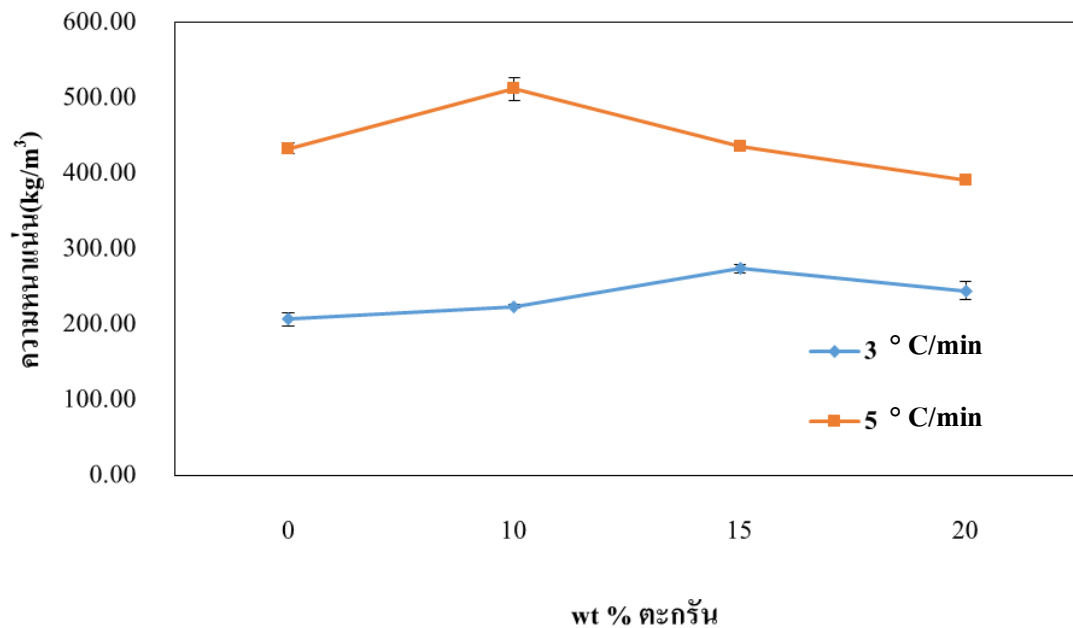
(7)



(8)

ภาพที่ 4.24 (ต่อ) (5, 6) 15%ตะกรัน และ (7, 8) 20%ตะกรัน

จากภาพที่ 4.24 พบว่าขนาดรูพรุนและค่าการกระจายตัวของชั้นงานที่ 3 องศาอนาติ เป็นดังนี้ 3.56 ± 0.74 , 1.42 ± 0.25 , 1.42 ± 0.40 และ 1.52 ± 0.34 มิลลิเมตร ตามลำดับ และที่ 5 องศาอนาติ เป็นดังนี้ 2.28 ± 0.33 , 2.04 ± 0.48 , 1.86 ± 0.65 และ 2.26 ± 1.20 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยที่อัตราการเผา 3 องศาอนาติ เมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรัน ขนาดรูพรุนและค่าการกระจายตัวจะมีค่าลดลง เนื่องจากความหนาแน่นและขนาดคอนูภาคของตะกรันจะส่งผลให้เนื้อโฟมแก้วเกิดการยุบตัวขึ้นได้ในขณะเกิดการอ่อนตัวที่อุณหภูมิการเผา อีกทั้งอัตราการเผาที่สูงแสดงการเผาที่เร็วขึ้น จึงทำให้ผงกระจกเกิดการอ่อนตัวไม่สมบูรณ์ ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปปิดรูพรุนภายในโครงสร้างได้ และอากาศภายในรูพรุนก็ยังขยายตัวได้ไม่เต็มที่เช่นเดียวกัน จึงทำให้มีปริมาณรูพรุนขนาดใหญ่ และการกระจายตัวที่สูง

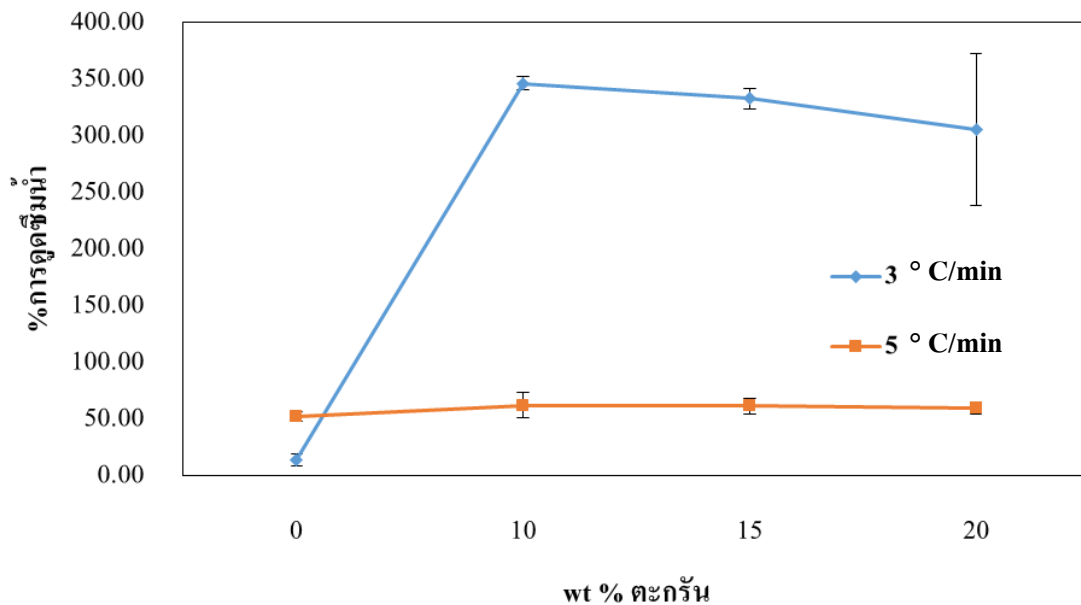


ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยน้ำหนักของผงตะกรันและความหนาแน่นของชิ้นงาน หลังเผาที่อัตราการเผา 3 และ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

จากภาพที่ 4.25 ที่อัตราการเผา 3 องศาต่อนาที เมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรันจะพบว่าความหนาแน่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่ปริมาณผงตะกรันร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก และจะลดลงที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เนื่องจากว่าการกระจายตัวที่ลดลงจึงส่งผลให้มีรูพรุนขนาดใหญ่เกิดขึ้นซึ่งจะช่วยให้โฟมแก้วมีความหนาแน่นลดลง

และที่อัตราการเผา 5 องศาต่อนาที ให้ผลเช่นเดียวกันกับที่อัตราการเผา 3 องศาต่อนาที

แต่เมื่อกำหนดให้ปริมาณของผงตะกรันคงที่ที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักจะพบว่าที่อัตราการเผา 3 องศาเซลเซียสต่อนาทีจะมีความหนาแน่นต่ำกว่าที่อัตราการเผา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที เนื่องจากว่าอัตราการเผาจะแสดงถึงเวลาที่ใช้ในการเผา หรือเกิดปฏิกิริยา ซึ่งถ้าอัตราการเผากระยะเวลาในการเผาหรือเกิดปฏิกิริยาก็จะน้อย จึงทำให้อากาศภายในรูพรุนของโฟมแก้วขยายตัวได้ไม่เต็มที่ ความหนาแน่นของโฟมแก้วจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการเผา

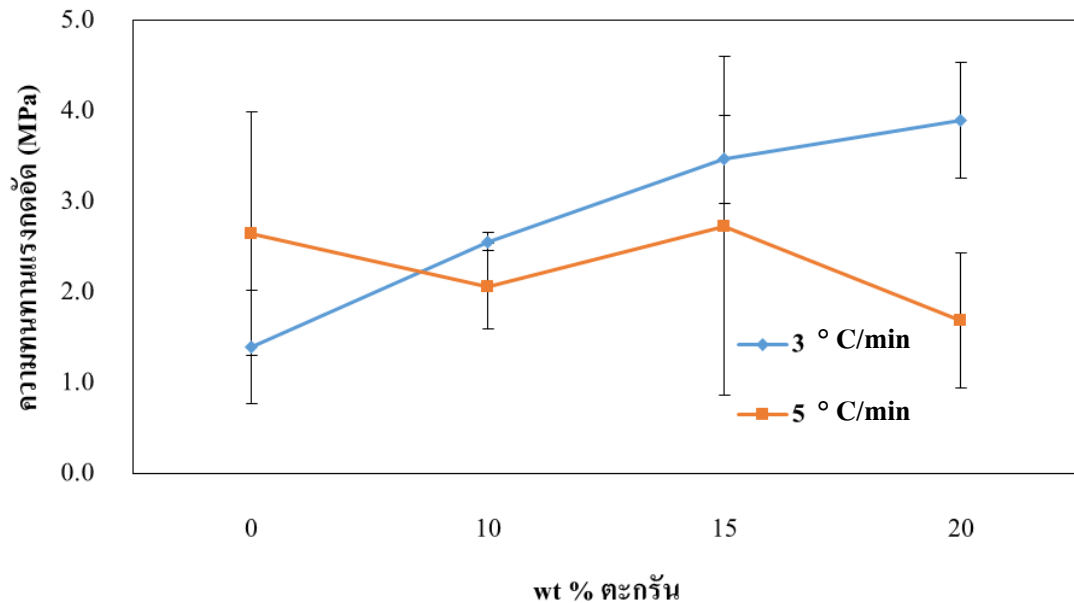


ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยน้ำหนักของผงตะกรันและร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานหลังเผาที่อัตราการเผา 3 และ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยน้ำหนักของผงตะกรันและร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานหลังเผาที่อัตราการเผา 3 และ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่าที่อัตราการเผา 3 องศาต่อนาที เมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรัน ค่าการดูดซึมน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของผงตะกรัน และจะลดลงที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เนื่องจากขนาดรูพรุน ค่าการกระจายตัวของรูพรุนมีค่าลดลง จึงทำให้มีปริมาณของรูพรุนปิดลดลง

และที่อัตราการเผา 5 องศาต่อนาที จะให้ผลเช่นเดียวกันกับที่อัตราการเผา 3 องศาต่อนาที

และเมื่อกำหนดปริมาณผงตะกรัน และอุณหภูมิการเผาให้คงที่ที่ ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก และ 850 องศาเซลเซียส อัตราการเผา 3 องศาเซลเซียสต่อนาทีที่มีค่าการดูดซึมน้ำที่มากกว่า โดยอาจเกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ในชิ้นงานทำให้เกิดก๊าซขึ้น ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นนี้สามารถเคลื่อนที่ออกจากชิ้นงานได้โดยการเคลื่อนที่ผ่านรูพรุนเปิด โดยอัตราการเผา 3 องศาเซลเซียสต่อนาทีทำให้ก๊าซมีโอกาสเคลื่อนที่ออกมาได้มากกว่า ซึ่งหมายความว่าผนังเซลล์จะถูกทำลายมากขึ้นจนเกิดเป็นรูพรุนเปิด แต่ชิ้นงานที่ไม่มีการเติมผงตะกรันพบว่าที่อัตราการเผา 3 องศาเซลเซียสต่อนาที มีการดูดซึมน้ำที่น้อยกว่าเนื่องจากแก้วมีการเคลื่อนที่มาปิดรูพรุนได้ง่ายกว่าจึงมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่า

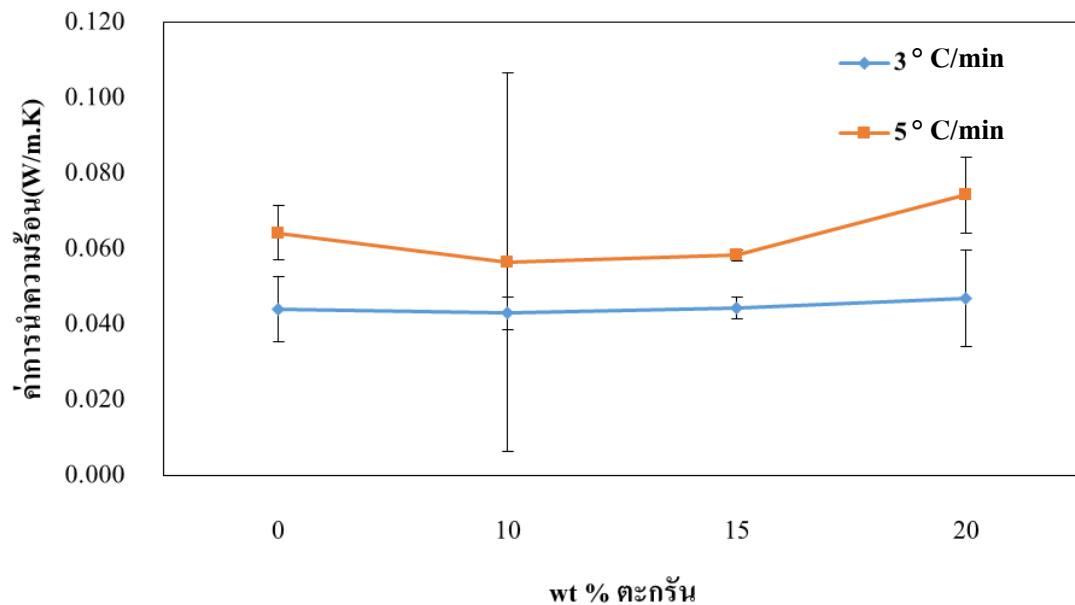


ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยน้ำหนักของผงตะกรันและความทนทานต่อแรงกดอัดของชิ้นงานหลังเผาที่อัตราการเผา 3 และ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

จากภาพที่ 4.27 พบว่าที่อัตราการเผา 3 องศาเซลเซียสต่อนาทีเมื่อเพิ่มปริมาณของตะกรันจะทำให้โฟมแก้วมีค่าความทนทานต่อการกดอัดเพิ่มขึ้นด้วย เป็นผลสืบเนื่องมาจากความหนาแน่นของผงตะกรันเช่นเดียวกันกับการศึกษาข้างต้น

แต่ที่อัตราการเผา 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีนั้นมีแนวโน้มของค่าความทนทานต่อการกดอัดที่คงที่ โดยอาจเป็นผลเนื่องมาจากระยะเวลาในการเผาโฟมแก้วที่น้อยเกินไป จึงทำให้อากาศที่อยู่ภายในรูพรุนไม่สามารถขยายตัวได้เต็มที่จนเกิดเป็นโครงสร้างโฟมแก้วขึ้นมา ชิ้นงานโฟมแก้วโฟมแก้วที่เผาด้วยอัตราการเผานี้จึงมีความแน่นตัวมากกว่าที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการเผา 3 และ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยให้ปริมาณผงตะกรันคงที่ที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก จะพบว่าความทนทานต่อการกดอัดของโฟมแก้วที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาทีจะมีค่าสูงกว่าที่ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการเผาดำเนินการเผา 3 องศาเซลเซียสต่อนาทีนั้นมากกว่า จึงทำให้อากาศสามารถขยายตัวเป็นโครงสร้างโฟมแก้วที่สามารถทนรับแรงกดอัดได้มากกว่า



ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละ โดยน้ำหนักของผงตะกรันและการนำความร้อนของชิ้นงาน หลังเผาที่อัตราการเผา 3 และ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

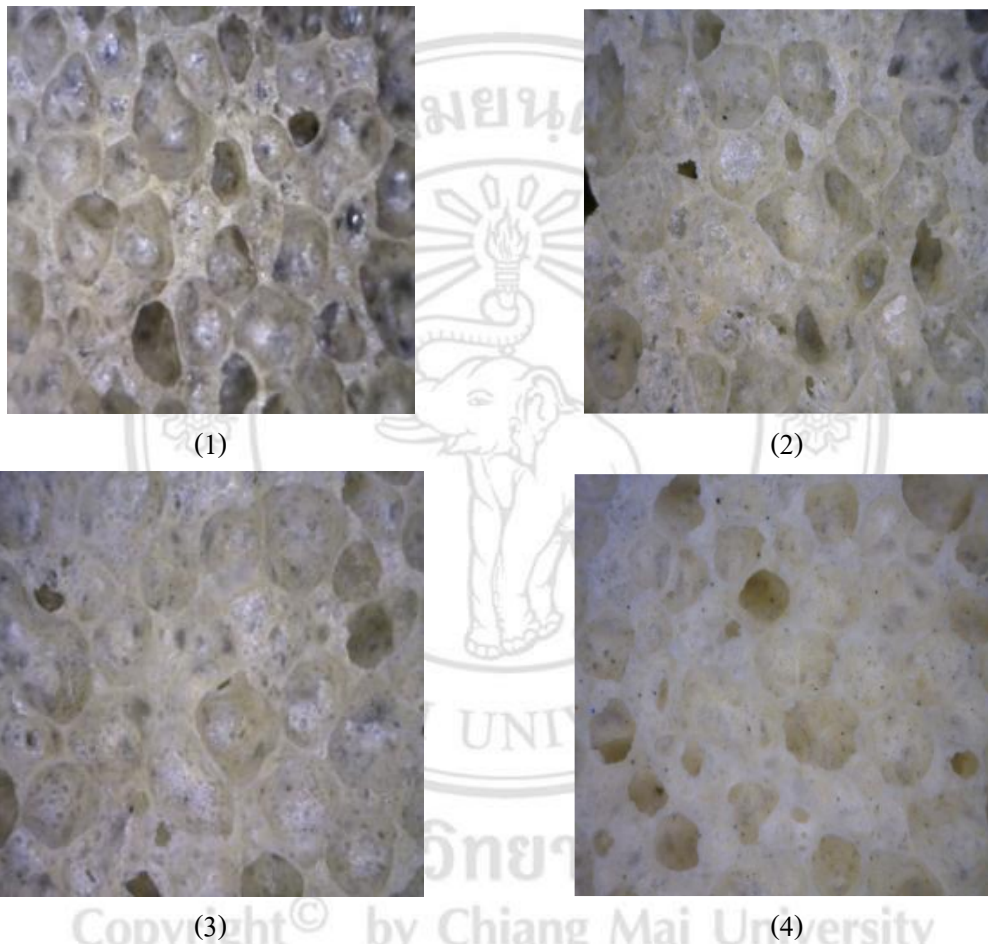
เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละ โดยน้ำหนักของผงตะกรันและการนำความร้อนของชิ้นงานหลังเผาที่อัตราการเผา 3 และ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่าที่อัตราการเผา 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ชิ้นงานมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่า เนื่องจากมีความหนาแน่นที่ต่ำกว่า และมีรูพรุนอยู่มาก ซึ่งรูพรุนเหล่านี้จะกักอากาศอยู่ภายในทำให้การนำความร้อนลดลง

แต่ที่อัตราการเผา 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีนั้น ชิ้นงานมีความหนาแน่นสูงทำให้ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปได้ง่ายจึงทำให้มีค่าการนำความร้อนที่สูงกว่า

และเมื่อกำหนดให้ปริมาณตะกรันคงที่ที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก อัตราการเผา 3 องศาต่อนาที จะให้ค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่า เนื่องจากโฟมแก้วที่เผาด้วยอัตราการเผา 3 องศาต่อนาทีมีผนังเซลล์ที่บางกว่าจึงทำให้มีความเป็นฉนวนความร้อนที่ดีกว่าโฟมแก้วที่อัตราการเผา 5 องศาต่อนาที สังเกตจากภาพที่ 4.25

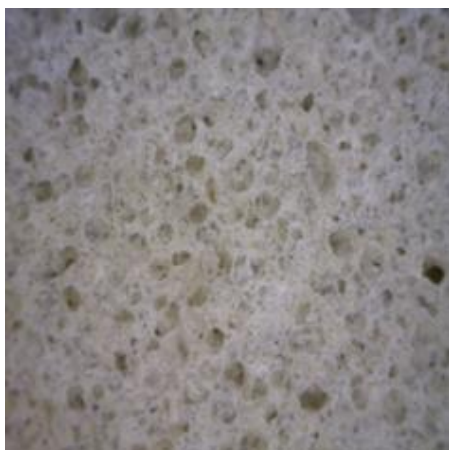
4.1.6 ศึกษาเวลาในการเผาแช่ไฟที่เหมาะสมในการเผาโฟมแก้ว

การศึกษาวเวลาในการเผาแช่ไฟที่เหมาะสมในการเผาโฟมแก้วนั้น ได้ทำการกำหนดเวลาในการเผาแช่ไฟเป็น 0, 10, 20 และ 30 นาที จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติต่างๆที่เกี่ยวข้อง คือ ความหนาแน่น, ความทนทานต่อการกดอัด, ร้อยละการดูดซึมน้ำ และการนำความร้อน โดยได้ผลดังภาพที่ 4.29-4.36



ภาพที่ 4.29 ภาพชิ้นงานที่ไม่เต็มตะกรัน หลังเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 50 เท่า

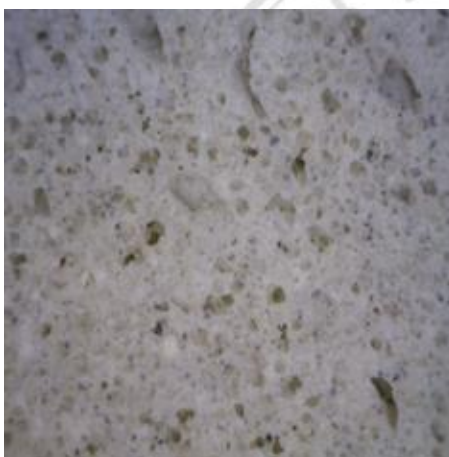
(1)ไม่เผาแช่ไฟ (2) แช่ไฟ 10 นาที (3) แช่ไฟ 20 นาที (4) แช่ไฟ 30 นาที



(1)



(2)



(3)

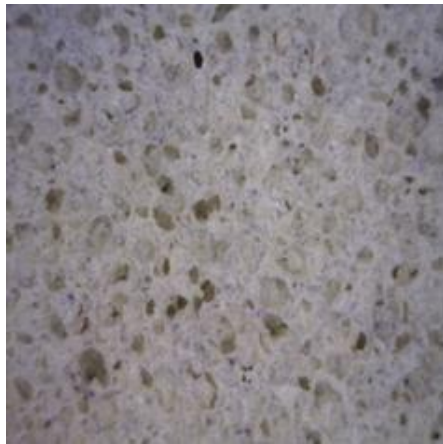


(4)

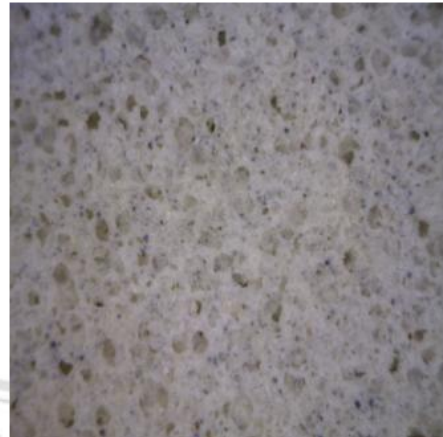
ภาพที่ 4.30 ภาพชิ้นงานที่เติม 10%ตะกรัน หลังเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 50 เท่า

(1)ไม่เผาแซ่ไฟ (2) แซ่ไฟ 10 นาที (3) แซ่ไฟ 20 นาที (4) แซ่ไฟ 30 นาที

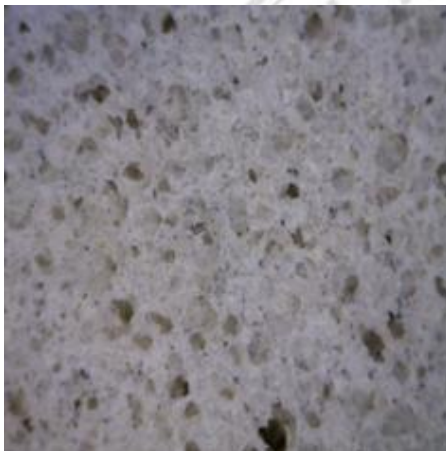
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



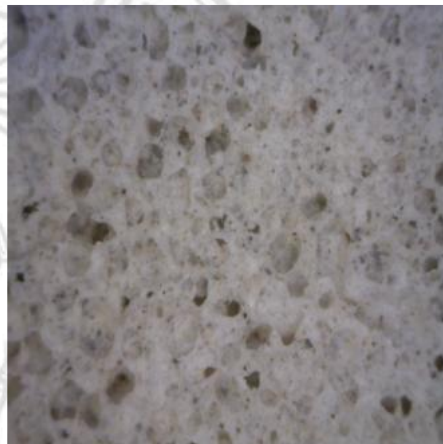
(1)



(2)



(3)

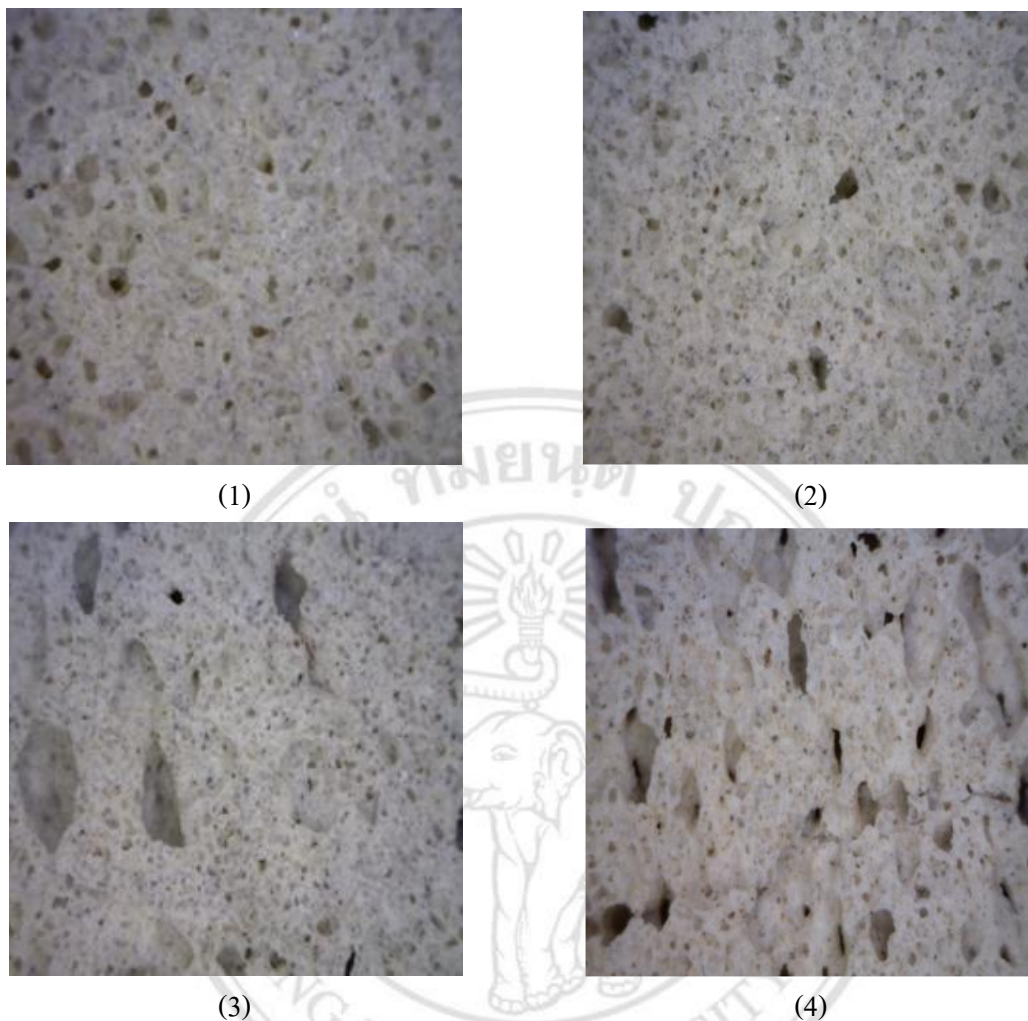


(4)

ภาพที่ 4.31 ภาพชิ้นงานที่เติม 15%ตะกั่ว หลังเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 50 เท่า

(1) ไม่เผาแซ่ไฟ (2) แซ่ไฟ 10 นาที (3) แซ่ไฟ 20 นาที (4) แซ่ไฟ 30 นาที

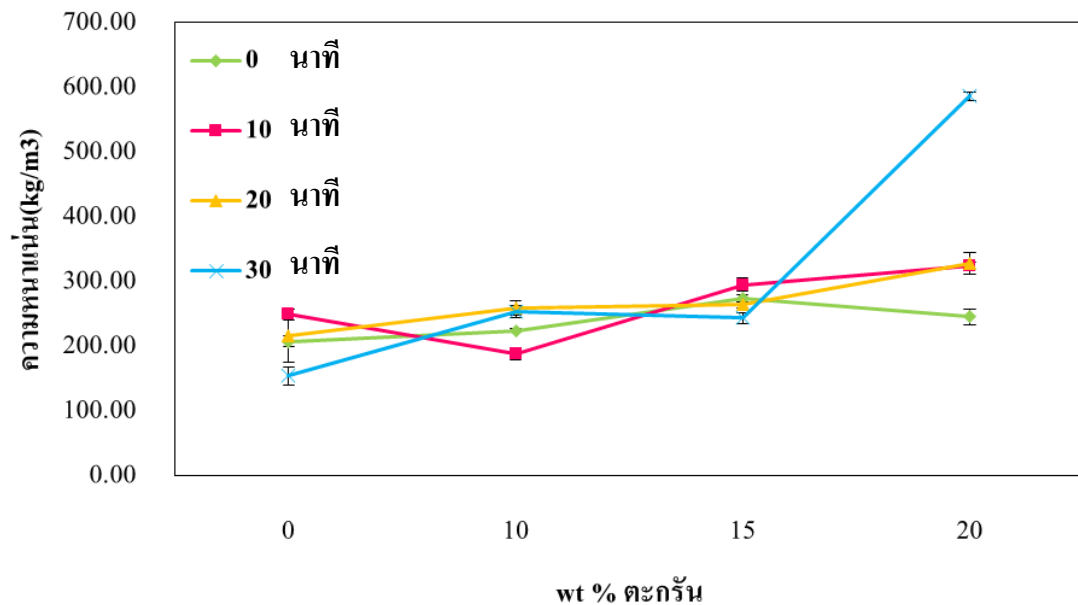
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.32 ภาพชิ้นงานที่เติม 20% ตะกรัน หลังเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 50 เท่า

(1) ไม่เผาแซ่ไฟ (2) แซ่ไฟ 10 นาที (3) แซ่ไฟ 20 นาที (4) แซ่ไฟ 30 นาที

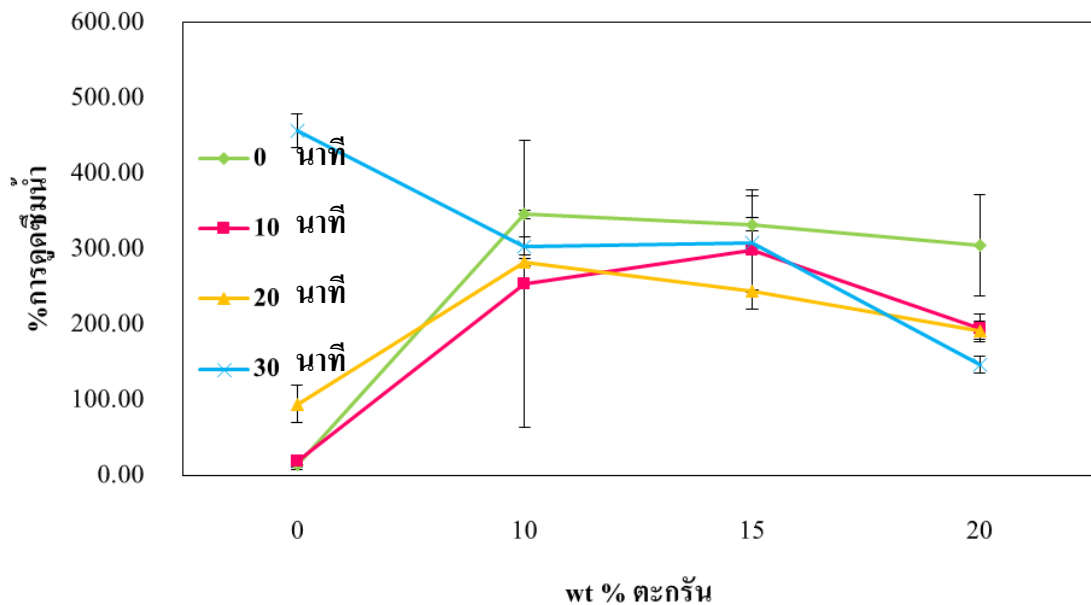
จากภาพที่ 4.29-4.32 เมื่อเพิ่มปริมาณผงตะกรันจะทำให้รูพรุนมีขนาดเล็กลง ซึ่งยังคงเป็นผลเนื่องมาจากความหนาแน่น และขนาดอนุภาคของผงตะกรันที่จะทำให้เนื้อโฟมแก้วเกิดการยุบตัวเมื่อเติมผงตะกรันลงไป แต่ที่อุณหภูมิการเผาและปริมาณตะกรันคงที่ จะพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการเผาแซ่ไฟ ลักษณะพื้นฐานวิทยาของรูพรุนจะมีลักษณะคล้ายกัน โดยขนาดรูพรุน และการกระจายตัวมีค่าไม่ต่างกันมากนัก ดังนั้นระยะเวลาในการเผาแซ่ไฟจึงไม่มีผลในการเตรียมโฟมแก้ว



ภาพที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของผงตะกรันและความหนาแน่นของชิ้นงาน หลังเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส โดยไม่แช่ไฟ และแช่ไฟ 10, 20 และ 30 นาที

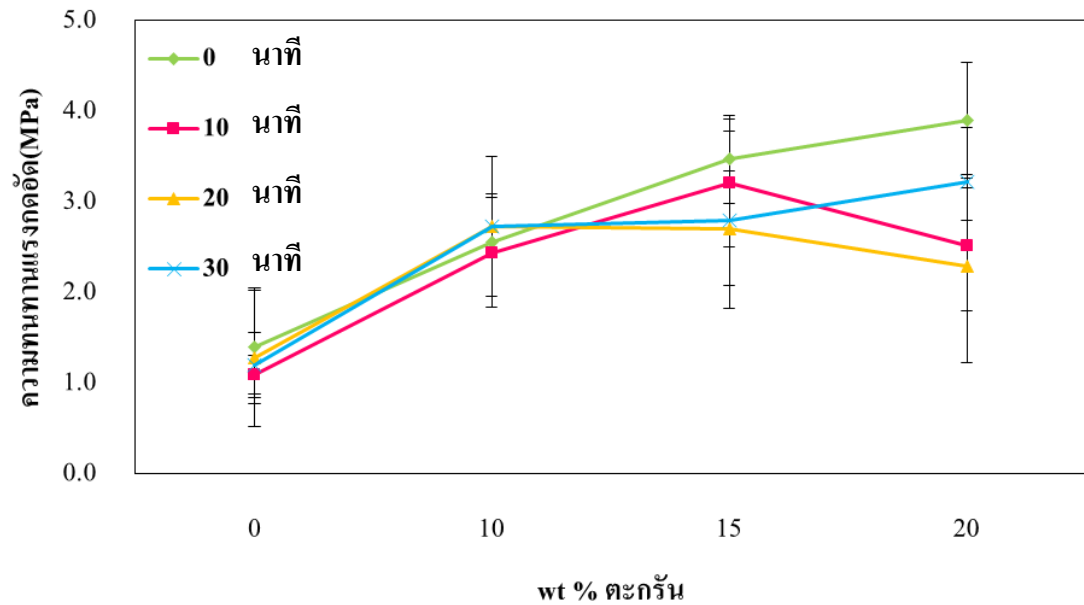
จากภาพที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของผงตะกรันและความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส โดยไม่แช่ไฟ และแช่ไฟ 10, 20 และ 30 นาที พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของผงตะกรันในทุกๆระยะเวลาในการเผาแช่ไฟ ความหนาแน่นของโพลิเมอร์จะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่นของผงตะกรันเช่นเดิม แต่เมื่อปริมาณผงตะกรันคงที่และเวลาในการแช่ไฟเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นระยะเวลาในการเผาแช่ไฟจึงไม่มีผลต่อความหนาแน่นของโพลิเมอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของผงตะกรันและร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส โดยไม่แช่ไฟ และแช่ไฟ 10, 20 และ 30 นาที

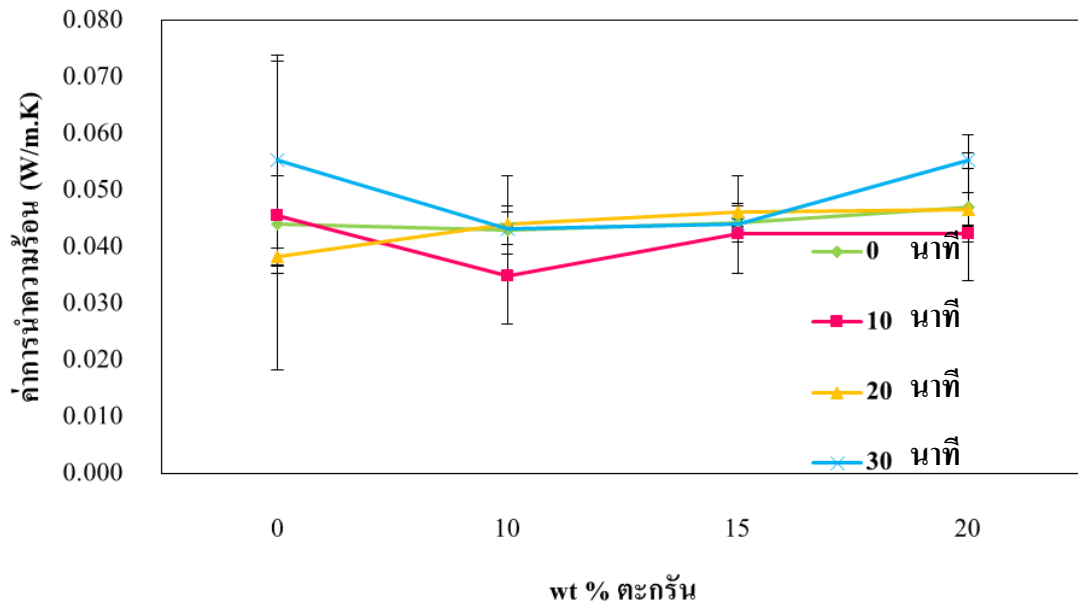
จากภาพที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผงตะกรันและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส โดยไม่แช่ไฟ และแช่ไฟ 10, 20 และ 30 นาที พบว่าที่ไม่เติมตะกรันเมื่อเวลาในการแช่ไฟเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากชิ้นงานมีเฉพาะอนุภาคของผงกระจกซึ่งเมื่อถึงจุดอ่อนตัวของแก้ว น้ำแก้วที่หลอมจะมีความหนืดต่ำ สามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายทำให้เกิดรูพรุนปิดจำนวนมาก ซึ่งเมื่อก๊าซไม่สามารถเคลื่อนที่ออกมาได้จึงต้องทำลายผนังเซลล์หรือรูพรุนปิดออกไป ทำให้เกิดรูพรุนเปิดจำนวนมากอีกครั้งเมื่อแช่ไฟนานขึ้น แต่ในชิ้นงานที่เติมตะกรันพบว่าเมื่อถึงจุดอ่อนตัวของแก้ว แก้วไม่สามารถเคลื่อนที่มาปิดรูพรุนได้ทั้งหมดทำให้เหลือรูพรุนเปิดอยู่ในชิ้นงานจำนวนหนึ่ง เมื่อเพิ่มเวลาในการแช่ไฟก๊าซสามารถออกจากชิ้นงานได้โดยผ่านรูพรุนเปิดเดิมที่มีอยู่ซึ่งระยะเวลาในการแช่ไฟที่นานขึ้น ก๊าซสามารถออกไปจากชิ้นงานได้มากขึ้น น้ำแก้วหนืดสามารถเคลื่อนที่มาปิดรูพรุนได้มากขึ้นทำให้ที่ผงตะกรัน 20 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มดูดซึมน้ำลดลงโดยการเติมผงตะกรัน 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการดูดซึมน้ำที่ใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยน้ำหนักของผงตะกรันและความทนทานต่อแรงกดอัดของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส โดยไม่แช่ไฟ และแช่ไฟ 10, 20 และ 30 นาที

จากภาพที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโดยน้ำหนักของผงตะกรันและความทนทานต่อแรงกดอัดของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส โดยไม่แช่ไฟ และแช่ไฟ 10, 20 และ 30 นาที พบว่าเวลาในการแช่ไฟไม่มีผลต่อการความทนทานต่อแรงกดอัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละ โดยน้ำหนักของผงตะกรันและการนำความร้อนของชิ้นงาน หลังเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส โดยไม่แช่ไฟ และแช่ไฟ 10, 20 และ 30 นาที

จากภาพที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผงตะกรันและการนำความร้อนของชิ้นงาน หลังเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส โดยไม่แช่ไฟ และแช่ไฟ 10, 20 และ 30 นาที พบว่าเมื่อเวลาในการแช่ไฟเพิ่มขึ้นชิ้นงานยังคงมีค่าการนำความร้อนใกล้เคียงกัน ดังนั้นเวลาในการแช่ไฟจึงไม่มีผลต่อการนำความร้อนของแก้วโพลี

จากผลการทดลองในขั้นต้นสามารถกำหนดสถานะในการเตรียมโพลีแก้วได้โดยใช้ผง ตะกรันร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เตรียมสลิปโดยใช้อัตราส่วนระหว่างผงกระจกและผงตะกรันต่อน้ำที่ 1.7:1 นำไปอบพร้อมแบบพิมพ์อะคริลิกขนาด $8 \times 8 \times 4$ นิ้ว ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แล้วเผาที่ อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการเผา 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ไม่แช่ไฟ จะทำให้ได้โพลี แก้วที่มีความหนาแน่นเฉลี่ย 0.275 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความทนต่อแรงอัดเฉลี่ย 3.5 เมกะ ปาสคาลและมีค่าการนำความร้อน 0.044 วัตต์ต่อเมตรองศาเคลวิน ดังเช่นตัวอย่าง

4.2 ผลการปรับขนาด และปรับปรุงโฟมแก้ว

เมื่อเพิ่มขนาดของโฟมแก้วจาก $8 \times 8 \times 4$ นิ้ว เป็น $12 \times 12 \times 1$ นิ้ว เกิดปัญหาของการแยกชั้นระหว่างผงกระจกและผงตะกรัน เนื่องจากผงตะกรันมีความหนานแน่นมากกว่าผงกระจก จึงทำการศึกษาผลของสารช่วยลอยตัวในการชะลอการตกตะกอนของตะกรัน โดยสารช่วยลอยตัวที่ใช้คือ โซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate; Na_2SiO_3) จากนั้นจึงทำการหาอุณหภูมิการเผาที่เหมาะสมในการเตรียมโฟมแก้วอีกครั้ง เนื่องจากเมื่อใช้อุณหภูมิเดิมในการเผาโฟมแก้วขนาด $12 \times 12 \times 1$ นิ้ว จะเกิดการแน่นตัวขึ้น จึงทำการปรับอุณหภูมิการเผาอีกครั้งเพื่อให้ได้โฟมแก้วที่มีสมบัติเป็นฉนวนความร้อน โดยมีขั้นตอนการขยายขนาดและลักษณะโฟมแก้วที่เตรียมได้ ดังแสดงตามภาพที่ 4.37-4.42



ภาพที่ 4.37 ขั้นตอนการปั่นตีฟองสบู่



ภาพที่ 4.38 ขั้นตอนการปั่นผสมผงกระจกและผงตะกรัน



ภาพที่ 4.39 ขั้นตอนการเทสลิปโฟมแก้วลงแบบพิมพ์



ภาพที่ 4.40 ลักษณะของสลิปโฟมแก้วที่ได้จากการปั่นผสมผงกระจกและผงตะกรัน



ภาพที่ 4.41 ลักษณะโฟมแก้วที่เตรียมได้



ภาพที่ 4.42 การติดตั้งบอร์ดโฟมแก้วฉนวนความร้อน

4.2.1 หาอุณหภูมิการเผาที่เหมาะสมในการเตรียมโฟมแก้ว

ในการหาอุณหภูมิการเผาที่เหมาะสมหลังการปรับปรุงและปรับขนาดนั้น มีการเติม Na_2SiO_3 ในปริมาณร้อยละ 10-15 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700, 725 และ 750 องศาเซลเซียส โดยมีการลดอุณหภูมิการเผาเนื่องจากชิ้นงานในการหาอุณหภูมิการเผารั้งแรกมีความหนา 4 นิ้ว ซึ่งต่างจากขนาดของชิ้นงานตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการความหนาเพียง 1 นิ้ว ซึ่งเมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะเกิดการแน่นตัวของโฟมแก้วขึ้น จึงทำการลดอุณหภูมิการเผา จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติต่างๆที่เกี่ยวข้อง คือ ความหนาแน่น, ความทนทานต่อการกดอัด, ร้อยละการดูดซึมน้ำ และการนำความร้อน ซึ่งได้ผลดังภาพที่ 4.43-4.47



(1)

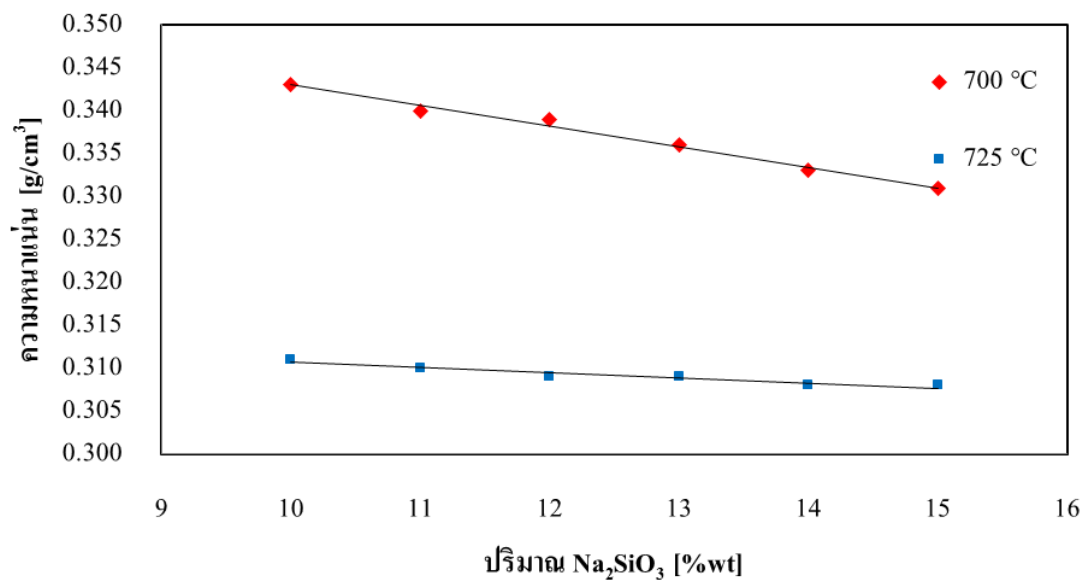
(2)

(3)

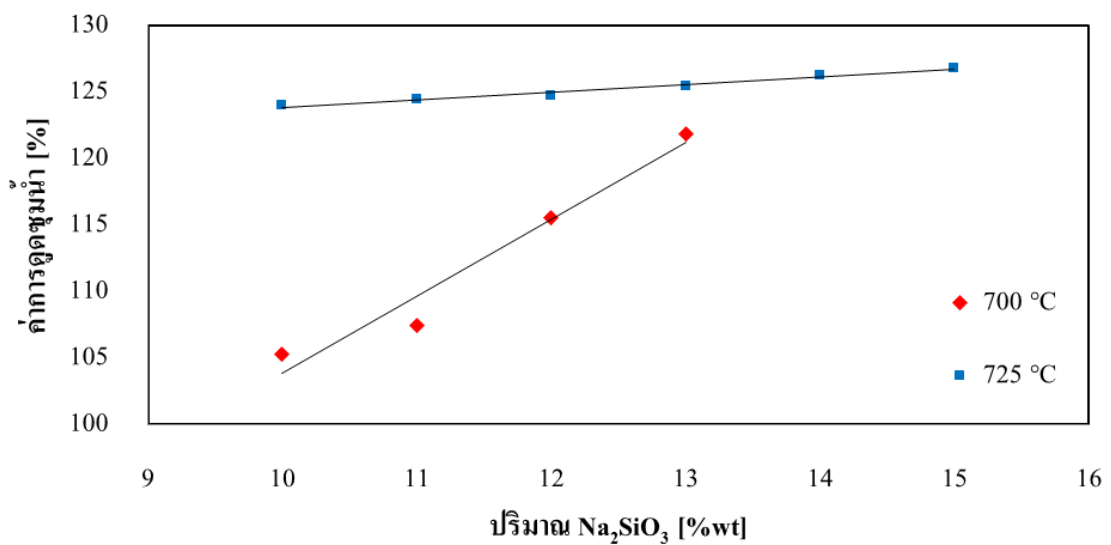
ภาพที่ 4.43 ภาพลักษณะรูพรุนของชิ้นงานที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ (องศาเซลเซียส)

(1) 700 (2) 725 (3) 750

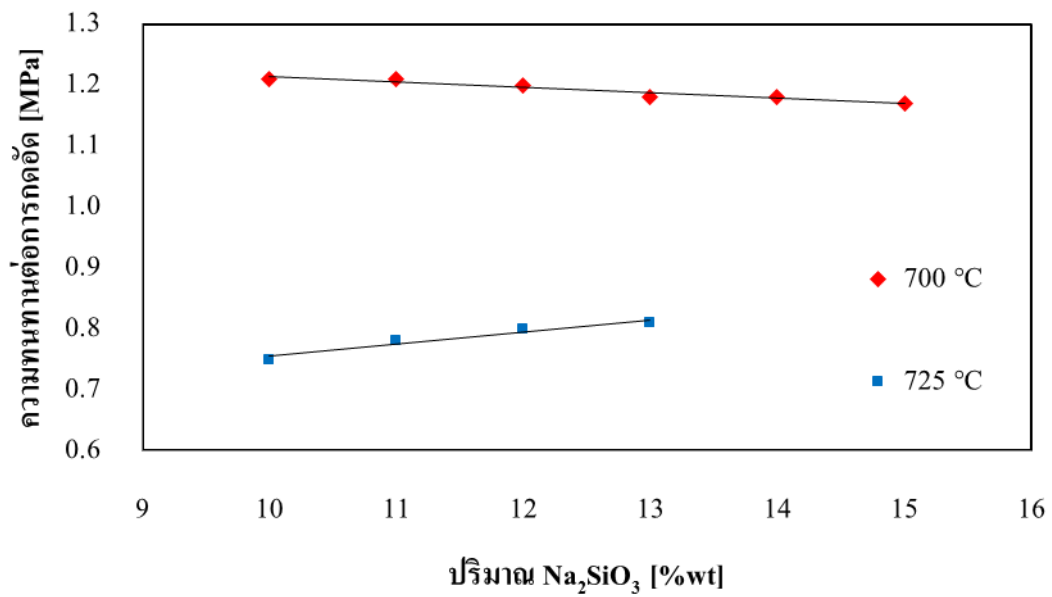
จากภาพที่ 4.43 พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการเผาทั้ง 3 อุณหภูมินั้นมีลักษณะที่แตกต่างกัน โดยที่อุณหภูมิ 700 และ 725 องศาเซลเซียส จะมีลักษณะของรูพรุนที่ขนาดเล็ก มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ แตกต่างจากลักษณะของชิ้นงานที่เผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเกิดการแน่นตัวกันของเนื้อโฟมแก้ว โดยอาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่สูงเกินไป จึงทำให้อากาศที่ถูกกักเก็บไว้ในรูพรุนเกิดการผลักดันออกมาจนเกิดการแน่นตัวขึ้นได้



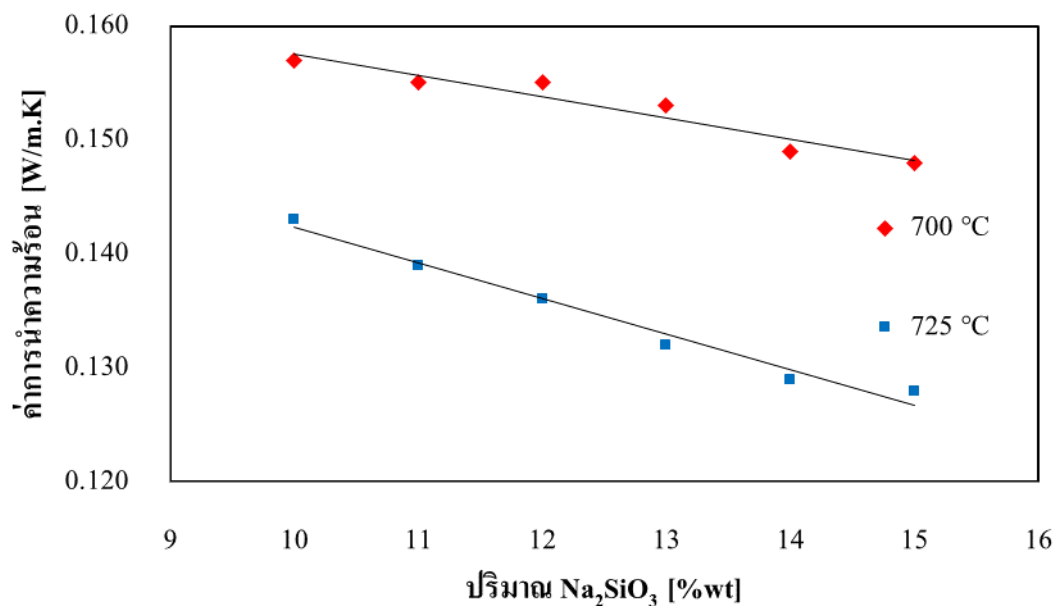
ภาพที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Na_2SiO_3 และความหนาแน่นโฟมแก้วที่เผาที่อุณหภูมิ 700 และ 725 °C



ภาพที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Na_2SiO_3 และร้อยละการดูดซึมน้ำของโฟมแก้วที่เผาที่อุณหภูมิ 700 และ 725 °C



ภาพที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Na_2SiO_3 และค่าความทนต่อแรงกดอัดของโฟมแก้ว ที่เผาที่อุณหภูมิ 700 และ 725 °C



ภาพที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Na_2SiO_3 และค่าการนำความร้อนของโฟมแก้วที่เผาที่อุณหภูมิ 700 และ 725 °C

จากรูป 4.44 และ 4.45 พบว่าปริมาณ Na_2SiO_3 และอุณหภูมิการเผาที่เพิ่มขึ้นนั้นส่งผลให้ความหนาแน่นลดลง และความพรุนตัวเพิ่มขึ้น โดยที่ความหนาแน่นมีผลสอดคล้องกับความพรุนตัว ความหนาแน่นของโฟมแก้วที่ได้นั้นมีค่าอยู่ในช่วง 0.310-0.344 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จัดอยู่ในความพรุนตัวระดับกลาง (0.10 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร < ρ < 0.40 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) โดยค่า

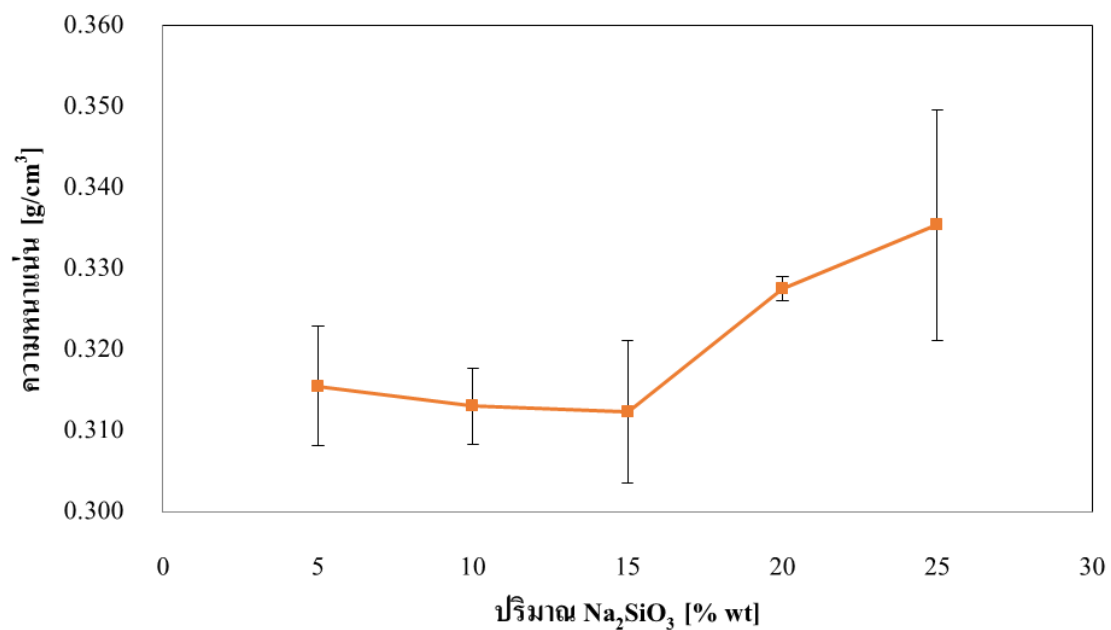
ความพรุนตัวของโฟมแก้วนั้นมีค่าผกผันกับค่าความหนาแน่น ถึงแม้ปริมาณ Na_2SiO_3 และอุณหภูมิการเผาไหม้จะทำให้ความหนาแน่นของโฟมแก้วเพิ่มขึ้น แต่ความหนาแน่นของโฟมแก้วที่อุณหภูมิ 725 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เนื่องจากผลของการเปลี่ยนความหนาแน่นและความพรุนตัวนั้นสัมพันธ์กับขนาดรูพรุนที่ใหญ่และผนังเซลล์ที่บางตามที่ได้อธิบายในข้างต้น

โดยทั่วไปค่าความทนต่อแรงกดอัดนั้นจะสัมพันธ์กันกับค่าความหนาแน่น และโครงสร้างของเซลล์ (ขนาดรูพรุน และผนังเซลล์) ของวัสดุที่ผลิตได้ จากรูป 4.46 นั้นจะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะโครงสร้างเซลล์ขนาดมาโคร และค่าความทนต่อแรงกดอัดของโฟมแก้วที่เผาที่อุณหภูมิ 700 และ 725 องศาเซลเซียส ซึ่งจะพบว่าค่าความทนต่อแรงกดอัดนั้นลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ Na_2SiO_3 และอุณหภูมิการเผา เนื่องจากขนาดรูพรุนที่ใหญ่และผนังเซลล์ที่บางจะทำให้ค่าความทนต่อแรงกดอัดของโฟมแก้วที่เติม Na_2SiO_3 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีค่าต่ำกว่าโฟมแก้วที่เติม Na_2SiO_3 ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ในทางตรงกันข้ามสำหรับปริมาณ Na_2SiO_3 ที่กำหนด ค่าความทนต่อแรงกดอัดจะเพิ่มขึ้นหลังจากเผาที่อุณหภูมิ 725 องศาเซลเซียส โดยเป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญที่ปริมาณ Na_2SiO_3 ต่างๆ

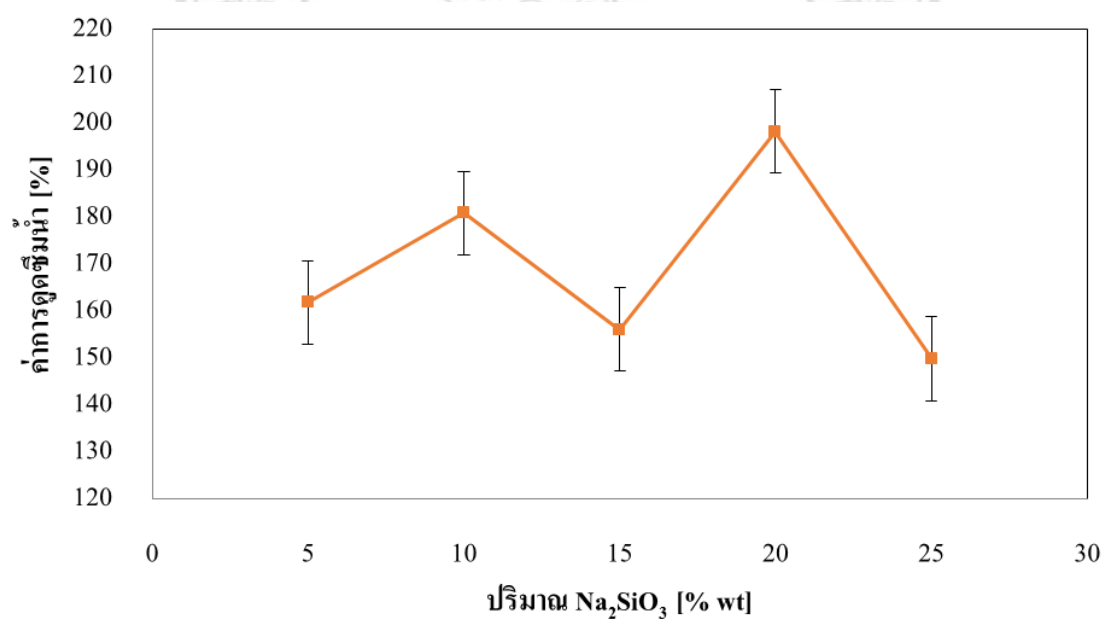
ค่าการนำความร้อนของโฟมแก้วที่ได้อยู่ในช่วง 0.130-0.157 วัตต์ต่อเมตร·เคลวิน ซึ่งเป็นค่าที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่นตามรูป 4.47 ซึ่งจากรูปจะพบว่าค่าการนำความร้อนลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ Na_2SiO_3 เนื่องจากความหนาแน่นที่ต่ำและความพรุนตัวที่สูงของโฟมแก้วและแม้ว่า Na_2SiO_3 จะมีผลกระทบต่อค่าการนำความร้อนของโฟมแก้วที่ลดลง แต่ทั้งความหนาแน่นและความพรุนตัวก็ยังมีผลต่อสมบัติการนำความร้อน ดังนั้นค่าการนำความร้อนของโฟมแก้วที่เติม Na_2SiO_3 ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จึงต่ำกว่า โฟมแก้วที่เติม Na_2SiO_3 ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิการเผา 700 องศาเซลเซียส และในทางตรงกันข้ามสำหรับปริมาณ Na_2SiO_3 ที่กำหนดจะมีค่าการนำความร้อนที่ลดลงหลังจากเผาที่อุณหภูมิ 725 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้จากค่าความหนาแน่น และขนาดรูพรุน

4.2.2 หาปริมาณโซเดียมที่เหมาะสมในการเตรียมโฟมแก้ว

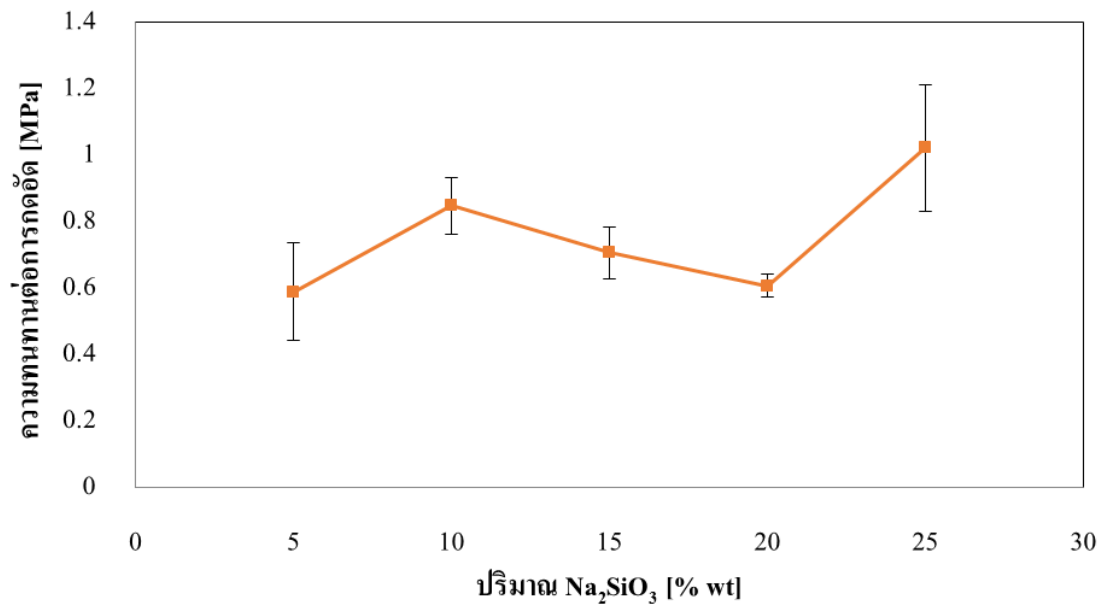
ในการหาปริมาณ Na_2SiO_3 ในการเตรียมโฟมแก้วนั้น ใช้ Na_2SiO_3 ในปริมาณร้อยละ 5-25 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติต่างๆที่เกี่ยวข้อง คือ ความหนาแน่น, ความทนทานต่อการกดอัด, ร้อยละการดูดซึมน้ำ และการนำความร้อน ดังภาพที่ 4.48-4.51



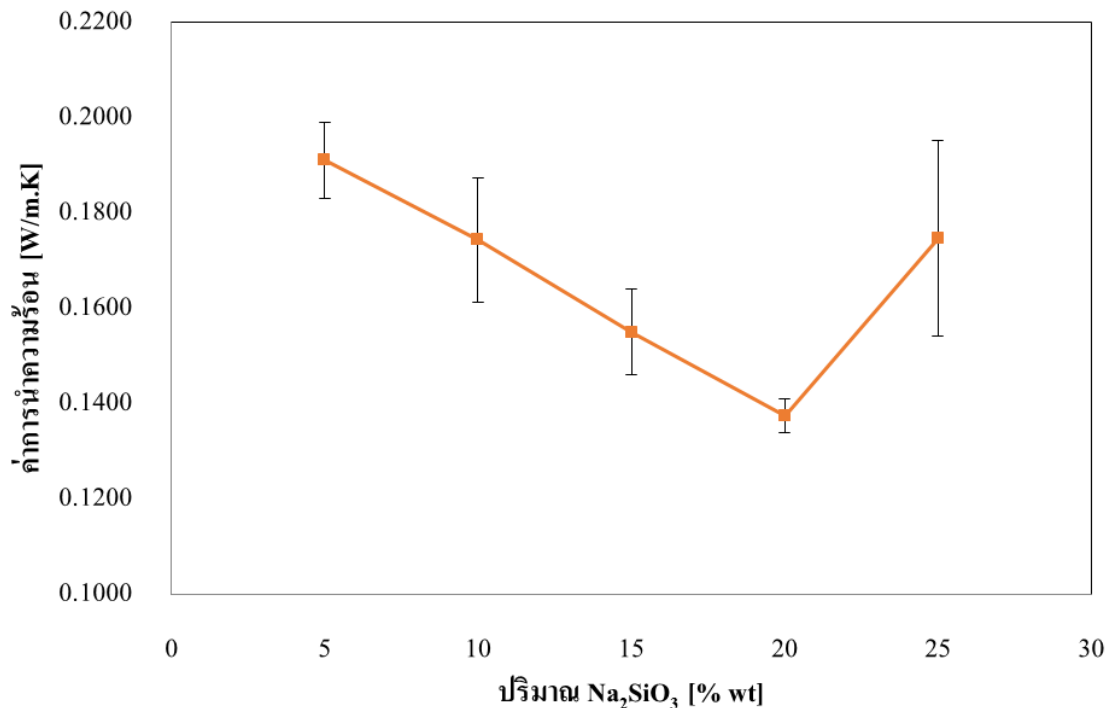
ภาพที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Na_2SiO_3 และความหนาแน่นของโฟมแก้ว



ภาพที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Na_2SiO_3 และร้อยละการดูดซึมน้ำของโฟมแก้ว



ภาพที่ 4.50 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Na_2SiO_3 และค่าความทนต่อการกดอัดของโฟมแก้ว



ภาพที่ 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Na_2SiO_3 และค่าการนำความร้อนของโฟมแก้ว

โฟมแก้วที่ได้มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.310-0.340 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยจากภาพที่ 4.47 พบว่าปริมาณของ Na_2SiO_3 ที่ทำให้โฟมแก้วมีความหนาแน่นต่ำจะอยู่ในช่วงร้อยละ 5-15 โดยน้ำหนัก ซึ่งหากเพิ่มปริมาณของ Na_2SiO_3 มากเกินร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก จะทำให้โฟมแก้วที่ได้มีความหนาแน่นสูงขึ้น อาจเนื่องมาจากการที่ Na_2SiO_3 มีสมบัติของการเป็นตัวช่วยหลอมจึงทำให้ช่วย

ทำให้โฟมแก้วเกิดการหลอมตัวไปปิดรูพรุนที่เกิดขึ้น จนทำให้เกิดการแน่นตัวขึ้น ค่าความหนาแน่นจึงเพิ่มขึ้น โดยค่าความพรุนตัวนั้นมีค่าแปรผกผันกับค่าความหนาแน่น ตามภาพที่ 4.48

โดยปกติค่าความทนทานต่อการกดอัดนั้นจะมีสัมพันธ์กับความหนาแน่น โดยค่าความทนต่อการกดอัดของโฟมแก้วที่ได้อยู่ในช่วง 0.6-1.0 เมกะพาสกาล ดังภาพที่ 4.49 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นที่จะมีค่าลดลงในช่วงหนึ่งและจะเพิ่มขึ้นในช่วงหนึ่ง

ค่าการนำความร้อนของโฟมแก้วที่ได้อยู่ในช่วง 0.200-0.130 วัตต์ต่อเมตร•เคลวิน ดังภาพที่ 4.50 ซึ่งจะพบว่ามีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ Na_2SiO_3 จนถึงประมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากความหนาแน่นที่สูง และความพรุนตัวต่ำของโฟมแก้ว จึงทำให้ทราบว่าปริมาณ Na_2SiO_3 ที่ทำให้ได้โฟมแก้วที่มีค่าการนำความร้อนต่ำอยู่ในช่วงร้อยละ 15-20 โดยน้ำหนัก

4.3 ตัวอย่างบอร์ดโฟมแก้วจนวนความร้อน

จากผลการศึกษาทั้งหมดจะพบว่า บอร์ดโฟมแก้วที่เตรียมได้มีลักษณะดังภาพที่ 4.52



ภาพที่ 4.52 ลักษณะของบอร์ดโฟมแก้วที่เตรียมได้จากกระบวนการแบบเปียก

โดยโฟมแก้วที่ได้นั้นมีขนาดรูพรุน และการกระจายตัวเฉลี่ยที่ 0.404 ± 0.04 มิลลิเมตร มีลักษณะโครงสร้างของรูพรุนเป็นแบบรังผึ้ง มีความหนาแน่นรวมที่ 0.310 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 150 โดยน้ำหนัก มีความทนทานต่อการกดอัด 1.0 เมกะพาสกาล และมีค่าการนำความร้อน 0.130 วัตต์ต่อเมตร•เคลวิน