การพัฒนาวัตถุดิบแก้วกึ่งสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหลอมแก้ว
Development of semi-instant glass batch for increasing glass melting efficiency

13

กนิษฐ์ ตะปะสา[1*], เอกรัฐ มีชูวาศ[1]
Kanit Tapasa[1*], Ekarat Meechoowas[1]

บทคัดย่อ

การลดพลังงานในการหลอมแก้วสามารถทำได้โดยการการปรับปรุงวัตถุดิบแก้วให้มีความสามารถในการหลอมตัวเป็นเนื้อแก้วที่เร็วขึ้น โดยการแทนที่ด้วยวัตถุดิบที่มีค่าเอนทัลปีต่ำ (low-enthalpy batch) หรือการใช้วัตถุดิบเดิมแต่เปลี่ยนสภาพโดยการผสมวัตถุดิบให้จับตัวเป็นเม็ดและให้ความร้อนขั้นต้นแก่วัตถุดิบ (pre-heating) ในที่นี้จะขอเรียกว่า “วัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูป” ซึ่งสามารถลดพลังงานในการหลอมได้เนื่องจากไม่ต้องใช้พลังงานในปฏิกิริยาขั้นต้น (pre-reaction) เพื่อไล่ความชื้นและ ก๊าซ CO2 ในวัตถุดิบออก นอกจากนั้นระยะเวลาที่ใช้หลอมลดลง เนื่องจากผิวสัมผัสของวัตถุดิบเพิ่มขึ้นและสมบัติการนำความร้อน (heat conductivity) ของวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปดีกว่าการใช้วัตถุดิบแก้วที่เป็นผง (loose powder) ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างวัตถุดิบจึงเร็วขึ้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการผลิตวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูป โดยนำวัตถุดิบที่ผ่านการบดมาขึ้นรูปเป็นเม็ดแกรนูลโดยใช้ตัวประสาน (binder) ชนิด Na-CMC โดยหาความหนืดของตัวประสานที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของ Na-CMC ที่เหมาะสมในการขึ้นรูป Na-CMC 25 กรัม ต่อน้ำ 1000 มิลลิลิตร และจากการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการหลอม พบว่าวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปหลอมได้เร็วกว่าวัตถุดิบแก้วแบบผง โดยขนาดเม็ดวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปที่ใหญ่มีแนวโน้มหลอมได้เร็วกว่าเม็ดเล็ก

Abstract

The energy reduction of glass melting can be carried out by modifying glass batch using low-enthalpy raw materials or transforming typical loose powder batches into preheated granule batches, which are herein called “Semi-Instant Glass Batch (SGB)”. The SGB can be melted faster than loose powder batches because the water and CO2 in raw materials have already been eliminated. The surface areas of the SGB that contacts to heat also increases resulting in better heat conductivity, therefore the melting time decreases. The purpose of this work was to produce the SGB by granulation. The ground glass batch was granulated by using Na-CMC as binder agent, in which, the suitable viscosity was determined. It was found that the best ratio of agent/solution was 25 g/100ml water. The melting efficiency was studied by the Batch-Free-Time experiments. The results showed that the SGB performed the better melting efficiency than the loose powder batch and the bigger size of SGB effects on the better of melting efficiency.

คำสำคัญ: แกรนูล, วัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูป, การหลอมแก้ว
Keywords: Granule, Pelletized glass batch, Glass melting

[1] กรมวิทยาศาสตร์บริการ
[*] Corresponding author E-mail address: kanit@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

ในสถานการณ์ปัจจุบันกลุ่มอุตสาหกรรมแก้วของไทยกำลังประสบปัญหาด้านต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะผู้ประกอบการขนาด SME เนื่องจากมีต้นทุนด้านพลังงานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 20 ซึ่งวิธีการลดต้นด้านพลังงานที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ การลดพลังงานที่ใช้หลอมวัตถุดิบแก้วในเตาหลอม ซึ่งสูงถึงร้อยละ 50 ของต้นทุนทั้งหมดของการผลิตแก้ว การปรับปรุงวัตถุดิบแก้วให้หลอมเร็วขึ้นโดยการนำไปขึ้นรูปเป็นเม็ดและการนำไปให้ความร้อนก่อนนำไปร้อน ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า “วัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูป” สามารถลดพลังงานในการหลอมได้ร้อยละ 5-10 [1] เพราะผิวสัมผัสของวัตถุดิบที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างวัตถุดิบเกิดเร็วขึ้น และสมบัติการนำความร้อนของวัตถุดิบดีกว่าการใช้วัตถุดิบแก้วธรรมดาที่เป็นผง (loose powder) การให้ความร้อนก่อน (Preheating) ทำให้ไม่ต้องใช้พลังงานในปฏิกิริยาขั้นต้น (pre-reaction) เพื่อไล่ความชื้นและ ก๊าซ CO2 ในวัตถุดิบออก ทำให้ระยะเวลาที่ใช้หลอมลดลง [2]

การพัฒนาวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปมีมาตั้งแต่ปี 1970 [1] แต่เนื่องจากต้นทุนพลังงานในช่วงเวลานั้นยังไม่สูงมาก ทำให้ต้นทุนการผลิตวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปยังไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับพลังงานที่ลดลง เพราะต้องมีการติดตั้งเครื่องจักรสำหรับการขึ้นรูปวัตถุดิบและการให้ความร้อนเพิ่มเติม จึงไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้กันในอดีต แต่ในภาวะปัจจุบันที่ราคาพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างมาก การใช้วัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปจึงเป็นที่น่าสนใจมากขึ้น สำหรับโรงงานแก้วประเทศไทย ยังไม่มีการนำวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปมาใช้ เนื่องจากไม่มีผู้ผลิต ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งราคาแพงทำให้โรงงานแก้วและกระจกไม่นำมาใช้

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Engelleitner [3] ได้เปรียบเทียบระยะเวลาการหลอมวัตถุดิบแก้วโซดาไลม์กึ่งสำเร็จรูปที่เผา (calcined) ที่อุณหภูมิ 750 – 900 ºC และไม่เผา วัตถุดิบแก้วกึ่งสำเร็จรูปที่ศึกษาเป็นการเตรียมแบบ Briquetting โดยไม่ใช่ตัวประสาน มีความหนาแน่น 2.36 g/cm3 ผลการเปรียบเทียบพบว่า วัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปใช้เวลา 24-34 นาทีในการหลอมวัตถุดิบให้ถึงอุณหภูมิ 1315 – 1426ºC แต่วัตถุดิบแก้วกึ่งสำเร็จรูปที่ไม่ได้เผาใช้เวลา 47 นาที และนำเสนอให้ใช้ความร้อนจากไอเสียของเตาหลอมมาเผาแก้วโซดาไลม์กึ่งสำเร็จรูปก่อน เพื่อการประหยัดพลังงาน

Byers และคณะ [4] จดสิทธิบัตรผลงานของ เรื่องการพัฒนาวัตถุดิบแก้วอัดเม็ด (compacting glass batch) โดยปรับปรุงกระบวนการผลิตหลังการอัดขึ้นรูปวัตถุดิบแก้วเป็น briquettes เพื่อเพิ่มความแข็งแรง กระบวนการประกอบด้วย การขึ้นรูป วัตถุดิบแก้วตั้งต้น การผสมเกลืออัลคาไลน์ อาทิ โซเดียมคาร์บอเนต โปแตสเซียมคาร์บอเนต โซเดียมซัลเฟต น้ำ ร้อยละ 4-10 โดยน้ำหนัก

Cheng และ Deng [5] ศึกษาอิทธิพลของตัวประสาน CMC (Carboxyl methyl cellulose solution) ต่อพฤติกรรมการสลายตัวของวัตถุดิบแก้วโซดาไลม์เม็ด ซึ่งประกอบด้วย เฟลสปาร์ ร้อยละ 7.09 โดยน้ำหนัก โดโลไมต์ ร้อยละ 16.21 โดยน้ำหนัก หินปูน ร้อยละ 2.44 โดยน้ำหนัก ทรายแก้ว ร้อยละ 57.36 โดยน้ำหนัก โซดาแอช ร้อยละ 16.25 โดยน้ำหนัก และโซเดียมซัลเฟต ร้อยละ 0.65 โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่าตัวประสาน CMC สามารถเร่งการสลายตัว (decomposition) ของสารประกอบคาร์โบเนตและการเกิดซิลิเกตได้ และเมื่อให้ความร้อนแก่วัตถุดิบแก้วก้อนกลมที่อุณหภูมิ 850 ºC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซิลิกาในวัตถุดิบแก้วแปรสภาพเป็นซิลิเกตในปริมาณร้อยละ 90

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาปัจจัยของการผลิตวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูป ได้แก่ ความเข้มข้นของตัวประสานที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูป ขนาดของเม็ดแกรนูลที่ขึ้นรูปได้ และความสามารถในการหลอมของวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูป โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

1. เตรียมสูตรวัตถุดิบแก้วที่ใช้หลอมแก้วศิลปะที่ขึ้นรูปด้วยการเป่า โดยนำวัตถุดิบแก้วตามสัดส่วนในตารางที่ 1 มาอบที่อุณหภูมิ 110ºC เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง (อัตราส่วนลูกบดที่ใช้ในการบด ขนาดใหญ่ กลาง เล็ก : 60 20 20) จนวัตถุดิบมีขนาดอนุภาคประมาณ 120 µm แล้วนำวัตถุดิบไปขึ้นรูปเป็นเม็ดแกรนูลด้วยเครื่องจานหมุน โดยใช้ Na-CMC เป็นตัวประสาน (binder) ปริมาณไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนักพ่นลงบนวัตถุดิบแก้วขณะอยู่บนจานหมุน

2. ทดลองหาปริมาณความเข้มข้นของ Na-CMC ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแกรนูล โดยการเปรียบเทียบความหนืด (ทดสอบด้วยเครื่อง Brookfield Viscometers) ของสารละลาย Na-CMC อัตราส่วน 10 15 20 25 และ 30 กรัมต่อน้ำ 1000 มิลลิลิตร ที่ทิ้งไว้ให้เซ็ตตัวเป็นเวลา 1-13 วัน

3. นำเม็ดแกรนูลที่ขึ้นรูปแล้วไปขัดแยกขนาดด้วยตะแกรงที่มีขนาดเมช No. 7 (>2.41 มม.) No.10 (1.67–2.41 มม.) และ No. 14 (1.20–1.66 มม.) เพื่อหาสัดส่วนของแต่ละขนาด

4. นำเม็ดแกรนูลทั้งหมดไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 450ºC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปหลอมที่อุณหภูมิ 1250ºC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการหลอมกับวัตถุดิบผงแก้ว

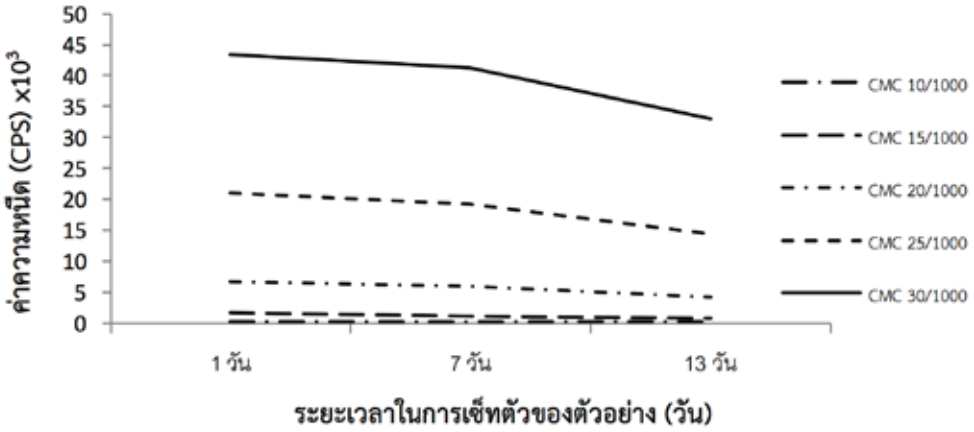
5. นำเม็ดแกรนูลทั้ง 3 ขนาดไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 450ºC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปหลอมที่อุณหภูมิ 1300ºC เป็นเวลา 20 นาที เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการหลอมของเม็ดแกรนูลแต่ละขนาด

ตารางที่ 1 สูตรวัตถุดิบ 1

วัตถุดิบ	ปริมาณ (100 kg)
Sand (SiO_2)	50
Sodium Carbonate (Na_2CO_3)	22.5
Calcium Carbonate ($CaCO_3$)	12
Sodium feldspar ($NaAlSiO_3$)	8.5
Barium Carbonate ($BaCO_3$)	2.5
Zinc Oxide (ZnO)	1.75
Antimony Oxide (Sb_2O_3)	1
Potassium Carbonate (K_2CO_3)	0.75

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

ผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของ Na-CMC ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแกรนูล (รูปที่ 1) พบว่า คือ Na-CMC 25 กรัม ต่อน้ำ 1000 มิลลิลิตร เหมาะสมที่สุดเนื่องจากสามารถขึ้นรูปได้ดี และไม่หนืดเกินไปจนไม่สามารถฉีดพ่นได้ รูปที่ 2 แสดงลักษณะของเม็ดแกรนูลที่ขึ้นรูปได้แยกตามขนาดเมช No. 7 10 และ 14 โดยมีสัดส่วนร้อยละ 4 10 และ 22 ตามลำดับ และร้อยละ 64 มีขนาดน้อยกว่า 1.2 มม. หรือมีลักษณะเป็นผง

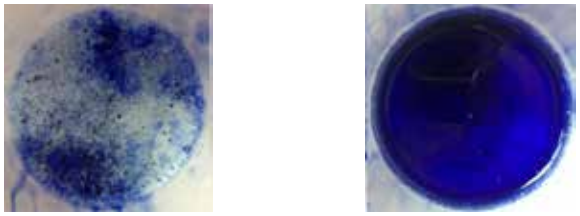


รูปที่ 1 ผลการวัดค่าความหนืดของตัวประสาน

เมช No.14 เมช No.10 เมช No.7

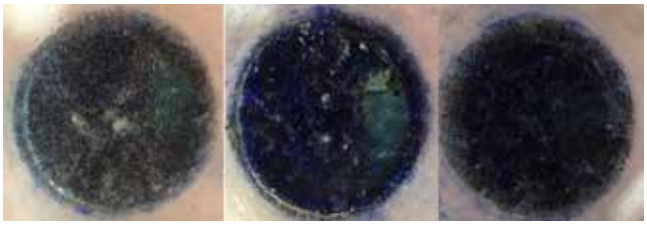
รูปที่ 2 ขนาดเม็ดแกรนูลหลังการคัดแยกขนาด

จากการทดลองหลอมวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปที่ใช้ Na-CMC 25 กรัม ต่อน้ำ 1000 มิลลิลิตร เป็นตัวประสานและผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการหลอมที่อุณหภูมิ 1250°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปหลอมได้เร็วขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อวัตถุดิบธรรมดาดังรูปที่ 3 และจากการทดลองเปรียบเทียบการหลอมของวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปที่ขนาดแตกต่างกัน พบว่าขนาดใหญ่มีแนวโน้มหลอมได้เร็วกว่าเม็ดเล็ก ดังรูปที่ 4



วัตถุดิบธรรมดา วัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูป

รูปที่ 3 การหลอมวัตถุดิบธรรมดาเทียบกับวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปที่อุณหภูมิ 1250°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



เมช 14 (1.20–1.66 มม.) เมช 10 (1.67–2.41 มม.) เมช No. 7 (>2.41 มม.)

รูปที่ 4 ผลการหลอมเม็ดแกรนูลขนาดเมช No. 7 10 และ 14

4. สรุป (Conclusion)

พารามิเตอร์ที่ใช้ขึ้นรูปวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปในการทดลองนี้ คือ การผสมวัตถุดิบแก้วที่บดให้มีอนุภาคขนาดประมาณ 120 ไมครอน และใช้ Na-CMC ความเข้มข้น 25 กรัม ต่อน้ำ 1000 มิลลิลิตร เป็นตัวประสาน แล้วนำไปให้ความร้อนที่450°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลที่ได้คือสามารถหลอมตัวได้เร็วกว่าวัตถุดิบธรรมดาอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอุณหภูมิให้ความร้อนนี้เป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของก๊าซเสียที่ปล่อยออกมาจากเตาหลอมแก้วสู่บรรยากาศ ดังนั้นถ้านำความร้อนทิ้งนี้ไปให้ความร้อนกับเม็ดแกรนูลก่อนนำไปหลอมจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเตาหลอมได้

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณกองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการที่สนับสนุนให้จัดทำโครงการการพัฒนาวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปสำหรับอุตสาหกรรมแก้วเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหลอม ซึ่งผลงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการดังกล่าว

6. เอกสารอ้างอิง (Reference)

[1] PINCUS, A. G. and D. H. DAVIES. *Batching in the glass industry.* New York : Books for Industry and the Glass Industry Magazine, 1981, pp.67-70.

[2] BEERKENS, R. Analysis of elementary process steps in industrial glass melting tanks - Some ideas on innovations in industrial glass melting. *Ceramics – Silikaty.* 2008, 52(4), 206–217.

[3] ENGELLEITNER, W.H. Pellets cut cost, improve quality. In: A.G. PINCUS and D. H. DAVIES. *Batching in the glass industry*. New York : Books for Industry and the Glass Industry Magazine, 1981, pp.67-70.

[4] BALL CORPORATION. Rapid strength development in compacting glass batch materials. S.A. BYERS, J.R. MCKEE and M.C. GRIDLEY. Int. Cl. C03C 3/04. US Pat. 4,236,929. 1980-12-02.

[5] CHENG, J, and Z, DENG. Decomposition kinetics of granulated glass batch. *Journal of Non-Crystalline Solids.* 2012, 358(23), 3294-3298.