

ผลของลิเทียมคาร์บอเนตและเศษแก้วต่อการลดอุณหภูมิสุกตัวของเนื้อดินสำหรับผลิตกระเบื้องปูพื้น

The Effect of Cullet and Lithium Carbonate on Reducing Sintering Temperature of Ceramic Floor Tiles

แสงโสม จิตต์วารี^{1*}, จิรวรรณ เตียรธสุวรรณ², นันทน์ ถาวรังกูร³, และลดา พันธุ์สุขุมธนา⁴

^{1*} สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ สาขาวิชาการออกแบบและผลิตแบบบูรณาการ คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

086-8685146 E-mail: sangsomt@gmail.com

^{2,3} คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 แขวงบางมด กรุงเทพฯ 10140

⁴ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเนื้อกระเบื้องปูพื้นที่ใช้ดินขาวผสมกับควอตซ์และแร่ฟันม้า หลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 และ 1150 องศาเซลเซียส เทียบกับเนื้อกระเบื้องปูพื้นที่ใช้เศษแก้วทดแทนแร่ฟันม้า และศึกษาผลการใช้ลิเทียมคาร์บอเนตร่วมกับเศษแก้วทดแทนแร่ฟันม้าต่อการลดอุณหภูมิสุกตัวของเนื้อดินสำหรับผลิตกระเบื้องปูพื้น โดยการนำดินขาวจังหวัดระนอง ผสมกับแร่ฟันม้า ควอตซ์ และใช้เศษแก้วทดแทนแร่ฟันม้าที่ร้อยละ 0 และ 100 โดยเติมลิเทียมคาร์บอเนตในส่วนผสมของเนื้อดิน ร้อยละ 0 0.5 และ 1.0 ตามลำดับ จำนวน 6 สูตร เผาที่อุณหภูมิ 1100 และ 1150 องศาเซลเซียส แล้วนำมาหาค่าการหดตัว ทดสอบสมบัติด้านการดูดซึมน้ำ และวัดค่าสี (CIELab) จากการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินระหว่างใช้แร่ฟันม้าเป็นส่วนผสมกับใช้เศษแก้วทดแทนแร่ฟันม้า พบว่า เนื้อดินที่ใช้ แร่ฟันม้าเป็นส่วนผสมหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส มีค่าการหดตัว ร้อยละ 0.80 - 1.41 น้อยกว่าเนื้อดินที่ใช้เศษแก้วทดแทนแร่ฟันม้าที่มีค่าการหดตัว ร้อยละ 5.19 - 5.84 และมีค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 25.14 - 26.62 โดยน้ำหนัก มากกว่าเนื้อดินที่ใช้เศษแก้วทดแทนแร่ฟันม้าที่มีค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 13.92 - 16.12 โดยน้ำหนัก และพบว่า เนื้อดินที่ใช้แร่ฟันม้าเป็นส่วนผสมหลังเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส มีค่าการหดตัว ร้อยละ 10.85 - 11.20 มากกว่าเนื้อดินที่ใช้เศษแก้วทดแทนแร่ฟันม้าที่มีค่าการหดตัว ร้อยละ 8.35 - 9.01 มีค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 0.16 - 0.30 โดยน้ำหนัก ใกล้เคียงเนื้อดินที่ใช้เศษแก้วทดแทนแร่ฟันม้าที่มีค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 0.15 - 0.30 โดยน้ำหนัก และค่าความสว่าง (L^*) ร้อยละ 83.43 - 84.32 มากกว่าเนื้อดินที่ใช้เศษแก้วทดแทนแร่ฟันม้าที่มีค่าความสว่าง (L^*) ร้อยละ 76.04 - 76.48 และจากการศึกษาพบว่า การใช้ลิเทียมคาร์บอเนตร่วมกับ เศษแก้วที่ทดแทนแร่ฟันม้าเป็นส่วนผสมของเนื้อดินมีผลต่อการลดอุณหภูมิสุกตัวของเนื้อดิน และมีแนวโน้มสามารถนำไปพัฒนาส่วนผสมของเนื้อดินสำหรับผลิตกระเบื้องปูพื้นดูดซึมน้ำต่ำไม่เกินร้อยละ 0.5 ให้สามารถใช้อุณหภูมิเผาไม่เกิน 1150 องศาเซลเซียสได้

คำสำคัญ : เศษแก้ว, ลิเทียมคาร์บอเนต

Abstract

This study compared the physical properties of ceramic floor tiles made from kaolin and quartz with those made from glass cullet and feldspar prepared at sintering temperatures of 1100°C and 1150°C. In addition, the effects of using lithium carbonate and glass cullet instead of feldspar to reduce the sintering temperature of ceramic floor tiles were studied. The base body was prepared from Ranong kaolin, feldspar and quartz. Feldspar was replaced by glass cullet at proportions of 0% and 100%. Lithium carbonate was used as an additive at proportions of 0%, 0.5% and 1.0%. A total of six formula samples were prepared and fired at 1100°C and 1150°C. Shrinkage, water absorption, and color (CIELab) were measured in the fired samples. The results showed that at 1100°C, the shrinkage of feldspar samples (0.80-1.41%) was less than that of glass cullet samples (5.19-5.84%). The water absorption of feldspar tiles (5.14-26.62%) was more than that of glass cullet tiles (13.92-16.12%). At 1150°C, the shrinkage of feldspar tiles (10.85-11.20%) was more than that of glass cullet tiles (8.35-9.01%). The water absorption of feldspar-added samples (0.16-0.30%) was comparable to that of glass cullet tiles (0.15-0.30%). Moreover, the brightness (L^*) of feldspar tiles (83.43-84.32%) was greater than that of glass cullet tiles (76.04-76.48%). It was also found that the sintering temperature of the tiles could be further reduced by adding lithium carbonate to the glass cullet. Glass cullet together with lithium carbonate were therefore shown to be promising raw materials if used to develop low water-absorption ceramic floor tiles, at a proportion of not more than 0.5% and at a sintering temperature of not more than 1150°C.

Keywords : Cullet, Lithium carbonate

1. บทนำ

จากภาวะความต้องการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยเฉพาะการใช้ก๊าซธรรมชาติในสาขาอุตสาหกรรมการผลิตของประเทศ พบว่า มีการใช้ก๊าซธรรมชาติในสาขาอุตสาหกรรมการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 89,785 ล้านลูกบาศก์ฟุต ในปี พ.ศ.2553 เป็น 112,069 ล้านลูกบาศก์ฟุต ในปี พ.ศ.2557 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ราคาก๊าซธรรมชาติมีการขยับตัวสูงขึ้น

อุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ต้องใช้ก๊าซแอลพีจี (LPG) หรือ ก๊าซ เอ็นจีวี (NGV) เป็นเชื้อเพลิงที่เป็นปัจจัยหลักสำคัญในการเผาผลาญผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะในการผลิตกระเบื้องปูพื้น ตามมาตรฐาน ISO13006 กระเบื้องเซรามิกกลุ่ม BI_u ที่มาตรฐานดังกล่าวได้กำหนดให้เป็นประเภทของกระเบื้องเซรามิกที่ขึ้นรูปโดยใช้วิธีอัดขึ้นรูป ที่มีค่าการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 0.5 นั้น ซึ่งในการผลิตกระเบื้องประเภทนี้จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิเผาสูงประมาณ 1190 - 1230 องศาเซลเซียส (Matteucci et al., 2002) เพื่อให้เนื้อกระเบื้องหรือเนื้อดินสุกตัวมีสมบัติดูดซึม

น้ำตามที่กำหนด คือมีค่าการดูดซึมน้ำไม่เกิน ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักกระเบื้อง ตามมาตรฐานบังคับใช้ปัจจุบัน ผนวกกับความต้องการของตลาด ทำให้มีการกำหนดค่าความสว่าง (Lightness) ของเนื้อดินหลังเผา โดยมีค่าความสว่าง (L^*) มากกว่า 70 เพื่อให้การออกแบบตกแต่งมีสีสันสวยงามตามต้องการ ทำให้ผู้ผลิตกระเบื้องเซรามิกต้องแบกรับภาระต้นทุนพลังงานที่สูงขึ้น และต้องเผชิญกับสถานการณ์การแข่งขันของตลาดที่ทวีความรุนแรงมากขึ้น

จากการศึกษางานวิจัยเนื้อเซรามิกที่ผ่านมา (Matteucci et al., 2002; Segadães et al., 2003; Menezes et al., 2004; Souza et al., 2004; Esposito, 2005; Tarvornpanich et al., 2005; Tucci and Esposito, 2006; Luz and Ribeiro, 2007; Raimondo et al., 2007; Torres et al., 2007; Tucci et al., 2007; Punsukumtana L. et al., 2014; ชุตินา เอี่ยมโชติชวลิต และศิริพร ลาภเกียรติถาวร, 2552) ได้มีการศึกษาการใช้ฟลักซ์ชนิดต่าง ๆ ที่มีจุดหลอมเหลว (Melting point) ต่ำกว่าแร่ฟันม้า ได้แก่ เนฟเฟลีนไฮยาลินท์ หินปูน ทัลคัม สปอดูมิน แคลเซียมฟลูออไรด์ โคลิมาไนท์ และ ฟริต (Frit) ลิเทียมออกไซด์ ฯลฯ รวมถึงนำของเสียหรือวัสดุที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดต้นทุนการผลิตในด้านเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผา เช่น เศษแก้วบด เศษหินแกรนิต และฝุ่นหินปูน ฯลฯ

การใช้เศษแก้วรีไซเคิลเป็นการช่วยลดการใช้ความร้อนในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งก่อปัญหาภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน (ธิตวัฒน์ ภินันท์ธวัช, 2552) จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า เศษแก้วบดใช้เป็นฟลักซ์แทนแร่ฟันม้าได้ดี รวมถึง Matteucci et al., (2002); Tarvornpanich et al. (2005); Luz and Ribeiro (2007); ชุตินา เอี่ยมโชติชวลิต และศิริพร ลาภเกียรติถาวร, 2552) ได้ศึกษาวิจัยพบว่า สามารถใช้เศษแก้วบดแทนแร่ฟันม้าในการเผากระเบื้องอุณหภูมิต่ำได้ เป็นการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและมลพิษ และจะสามารถช่วยลดจุดสุกตัวของเนื้อดิน

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลการใช้ลิเทียมออกไซด์เป็นฟลักซ์ (Qiao et al., 2003; Oberžan et al., 2009) พบว่า ลิเทียมออกไซด์ในรูปของลิเทียมคาร์บอเนต เป็นฟลักซ์ที่แรงกว่าแก้วและแร่ฟันม้า เพราะมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 618 องศาเซลเซียส มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ ทำให้เนื้อดินทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดี หากใช้ในปริมาณ ร้อยละ 1-2 ร่วมกับ ฟลักซ์ชนิดอื่นช่วยลดอุณหภูมิการเผาลง ทำให้เกิดการสุกตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000 องศาเซลเซียส ได้ และการใช้ในรูปของสปอดูมินหรือลิเทียมเฟลด์สปาร์ ($\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) ในปริมาณ ร้อยละ 7 ให้ผลสอดคล้องกันคือ ช่วยให้เกิดการหลอมที่อุณหภูมิต่ำลงส่งผลให้เนื้อดินมีจุดสุกตัวลดลง และความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ทำให้การดูดซึมน้ำลดลง แต่วัตถุดิบดังกล่าวมีราคาแพง ทำให้ต้นทุนเนื้อดินดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้น

การวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการทดลองใช้ลิเทียมคาร์บอเนตร่วมกับเศษแก้วบดที่ใช้แทนแร่ฟันม้าเป็นส่วนผสมของเนื้อดินสำหรับผลิตกระเบื้องปูพื้น เพื่อหาแนวทางในการพัฒนาส่วนผสมของเนื้อดินสำหรับผลิตกระเบื้องปูพื้นดูดซึมน้ำต่ำไม่เกิน ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ที่มีค่าความสว่าง (L^*) มากกว่า 70 ที่ใช้อุณหภูมิเผาต่ำกว่า 1150 องศาเซลเซียส โดยไม่ใช้สารประกอบของตะกั่ว ในส่วนผสมของเนื้อดิน เพื่อความปลอดภัยและประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผา ซึ่งจะลดการใช้อุณหภูมิเผาจากเดิมประมาณ 40 - 80 องศาเซลเซียส กำหนดใช้ลิเทียมคาร์บอเนต ราคาโลกรัมละประมาณ 750 บาท ในปริมาณไม่เกิน ร้อยละ 1 หรือคิดเป็นต้นทุนวัตถุดิบไม่เกินร้อยละ 0.75 บาท และใช้เศษแก้วบดซึ่งราคาโลกรัมละประมาณ 12 บาท แทนแร่ฟันม้า ซึ่งราคาโลกรัมละประมาณ

12 บาท เพื่อลดต้นทุนการผลิตจากเดิม โดยต้นทุนพลังงานจากเชื้อเพลิงที่ใช้เผาพร้อมกับต้นทุนวัตถุดิบต่ำกว่าที่ผลิตในท้องตลาดเดิมประมาณร้อยละ 10 เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตกระเบื้องที่ต้องเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส และกำหนดให้ค่าความสว่าง (L^*) มากกว่า 70 เพื่อให้ผู้ผลิตสามารถนำเนื้อดินที่ได้ไปออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีสีสรรตามต้องการ ช่วยเพิ่มโอกาสในการแข่งขันและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะใช้ผลิตกระเบื้องในเชิงพาณิชย์ได้

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเนื้อกระเบื้องปูพื้นที่ใช้ดินขาวผสมกับควอตซ์และแร่ฟันม้า หลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 และ 1150 องศาเซลเซียส เทียบกับเนื้อกระเบื้องปูพื้นที่ใช้เศษแก้วบดแทนแร่ฟันม้า

2.2 เพื่อศึกษาผลการใช้ลิเทียมคาร์บอเนตร่วมกับเศษแก้วบดที่ใช้แทนแร่ฟันม้า ต่อการลดอุณหภูมิสุดตัวของเนื้อดินสำหรับผลิตกระเบื้องปูพื้น

3. ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาส่วนผสมของเนื้อดินสำหรับผลิตกระเบื้องปูพื้นดูดซึมน้ำต่ำไม่เกิน ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ที่มีค่าความสว่าง (L^*) มากกว่า 70 ที่ใช้อุณหภูมิเผาต่ำกว่า 1150 องศาเซลเซียส โดยไม่ใช้สารประกอบของตะกั่วในส่วนผสมของเนื้อดิน ใช้วัตถุดิบ 5 ชนิด คือ ดินขาว (Kaolin) แร่ฟันม้า (Feldspar) ควอตซ์ (Quartz sand) เศษแก้วบด (Cullet) และลิเทียมคาร์บอเนต (Lithium carbonate) กำหนดใช้เศษแก้วบดผสมในเนื้อดินแทนแร่ฟันม้าที่ ร้อยละ 0 และ 100 และเติมลิเทียมคาร์บอเนตในเนื้อดิน ร้อยละ 0 0.5 และ 1 รวมเป็นอัตราส่วนผสมเนื้อดินจำนวน 6 สูตร ดังตารางที่ 2 ความชื้นของเนื้อดินอยู่ที่ประมาณ ร้อยละ 6 - 8 ขึ้นรูปแผ่นตัวอย่างด้วยการอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก กำหนดใช้อุณหภูมิการเผาที่อุณหภูมิ 1100 และ 1150 องศาเซลเซียส โดยเตาไฟฟ้าทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดิน หลังเผา ได้แก่ การหดตัว การดูดซึมน้ำ และวัดค่าสีเฉพาะเนื้อดินที่ไม่เป็นผงติดมือโดยง่ายเมื่อสัมผัส และผิวไม่ยุ่ยเมื่อต้มในน้ำ

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีรายละเอียดวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

4.1 นำวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย X - Ray Fluorescence Spectroscopy (XRF) ได้ผลวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 1 และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (mesh)

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมี	ดินขาว (ร้อยละ)	แร่ฟันม้า (ร้อยละ)	ควอตซ์ (ร้อยละ)	เศษแก้วบด (ร้อยละ)	ลิเทียมคาร์บอเนต (ร้อยละ)
SiO ₂	48.48	67.12	99.21	67.44	0.05
Al ₂ O ₃	36.19	19.64	0.22	0.99	0.02
K ₂ O	2.18	0.39	0.02	0.22	-
Na ₂ O	0.04	10.68	-	12.32	0.01

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

องค์ประกอบทางเคมี	ดินขาว (ร้อยละ)	แร่ฟันม้า (ร้อยละ)	ควอตซ์ (ร้อยละ)	เศษแก้วบด (ร้อยละ)	ลิเทียมคาร์บอเนต (ร้อยละ)
TiO ₂	0.05	0.07	-	0.04	-
Fe ₂ O ₃	0.99	0.05	0.04	4.22	0.04
CaO	0.04	0.92	0.01	9.10	0.13
MgO	0.14	0.03	-	3.46	0.01
Cr ₂ O ₃	-	-	-	1.83	-
Li ₂ O	-	-	-	-	40.56
L.O.I.	12.10	0.46	0.19	0.10	59.44

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า เศษแก้วบดมีสมบัติเป็นฟลักซ์หรือเป็นตัวช่วยลดจุดหลอมเหลวที่ดี และมีแนวโน้มเป็นฟลักซ์ที่แรงกว่าแร่ฟันม้า เนื่องจากมี Al₂O₃ น้อยกว่า และมี Na₂O มากกว่าแร่ฟันม้า ดังนั้นการวิจัยนี้จึงใช้เศษแก้วบดแทนแร่ฟันม้าเพื่อช่วยลดอุณหภูมิหลอมเหลวของเนื้อดิน

4.2 เตรียมแผ่นตัวอย่างทดสอบ และเผา ดังนี้

1) ชั่งส่วนผสมตามตารางที่ 2 ผสมน้ำในอัตราส่วน 1:1 แล้วบดเปียกด้วยโกร่งไฟฟ้าเป็นเวลาประมาณ 30 นาที เพื่อให้ส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันและละเอียดยิ่งขึ้น

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของเนื้อดินที่ใช้ในการศึกษาทดลอง

อัตราส่วนผสมสูตรที่	รหัส	ดินขาว (ร้อยละ)	แร่ฟันม้า (ร้อยละ)	ควอตซ์ (ร้อยละ)	เศษแก้วบด (ร้อยละ)	ลิเทียมคาร์บอเนต (ร้อยละ)
1	N40	50	40	10	-	-
2	N40L05	50	40	10	-	0.5
3	N40L1	50	40	10	-	1.0
4	G40	50	-	10	40	-
5	G40L05	50	-	10	40	0.5
6	G40L1	50	-	10	40	1.0

2) นำส่วนผสมตามข้อ 1) มาบดด้วยโกร่ง โดยบดให้ส่วนผสมที่จับเป็นก้อนแตกออกจนมีลักษณะเป็นผง แล้วนำมาผ่านตะแกรง 100 เมช

3) ปรับความชื้นของเนื้อดินให้อยู่ที่ประมาณ ร้อยละ 6 - 8

4) นำส่วนผสมมาขึ้นรูปเป็นแผ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 x 5 x 1 เซนติเมตรด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก โดยใช้กำลังแรงอัดประมาณ 35 MPa

5) อบแผ่นตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110±10 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง

6) นำแผ่นตัวอย่างไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1100 และ 1150 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราเร่ง 6.5 องศาเซลเซียสต่อนาที และเย็นไฟที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 30 นาที แล้วปล่อยให้แผ่นตัวอย่างเย็นตัวลง

4.3 ทดสอบสมบัติหลังเผาและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1) ทดสอบการหดตัวหลังเผา (Linear Shrinkage) โดยวัดระยะความกว้างของแผ่นตัวอย่างแล้วหาค่าเฉลี่ยของสูตรดินแต่ละสูตรทั้งก่อนและหลังเผาด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์แล้วคำนวณการหดตัวหลังเผา โดยใช้สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ร้อยละการหดตัวหลังเผา} = \frac{\text{ความยาวเปียก} - \text{ความยาวหลังเผา}}{\text{ความยาวเปียก}} \times 100 \quad (1)$$

2) ทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) โดยใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิก มอก.2398 เล่ม 3-2551 หรือ ISO 10545-3 : 1995

3) วัดค่าสีของเนื้อดินหลังเผาโดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab) ในระบบสีซีไออี แอลเอบี (CIELab $L^* a^* b^*$)

4) วิเคราะห์ผลการทดลองตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด

4.4 สรุปผลและรายงานผลการวิจัย

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเนื้อกระเบื้องปูพื้นที่ใช้ดินขาวผสมกับควอตซ์และแร่ฟันม้า หลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 และ 1150 องศาเซลเซียส เทียบกับเนื้อกระเบื้องปูพื้นที่ใช้เศษแก้วบดแทนแร่ฟันม้า ในด้านการหดตัว การดูดซึมน้ำ และค่าความสว่าง (L^*) ของเนื้อดิน ดังแสดงในตารางที่ 3 - 6 และภาพที่ 1 - 4

ตารางที่ 3 ผลการดูดซึมน้ำของเนื้อดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 และ 1150 องศาเซลเซียส

รหัส	ชั้นที่	1100 °C			1150 °C		
		นน.หลัง อบแห้ง (กรัม)	นน.เปียก (กรัม)	การดูดซึม น้ำ (ร้อยละ)	นน.หลัง อบแห้ง (กรัม)	นน.เปียก (กรัม)	การดูดซึม น้ำ (ร้อยละ)
N40	1	23.20	29.10	25.43	21.50	21.60	0.47
	2	23.20	29.00	25.00	21.40	21.40	0.00
	3	23.20	29.00	25.00	21.30	21.30	0.00
	เฉลี่ย			25.14	เฉลี่ย		0.16
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.25	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.27
N40L05	1	16.60	20.80	25.30	21.80	21.80	0.00
	2	22.80	28.80	26.32	21.90	22.00	0.46

ตารางที่ 3 ผลการดูดซึมน้ำของเนื้อดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 และ 1150 องศาเซลเซียส (ต่อ)

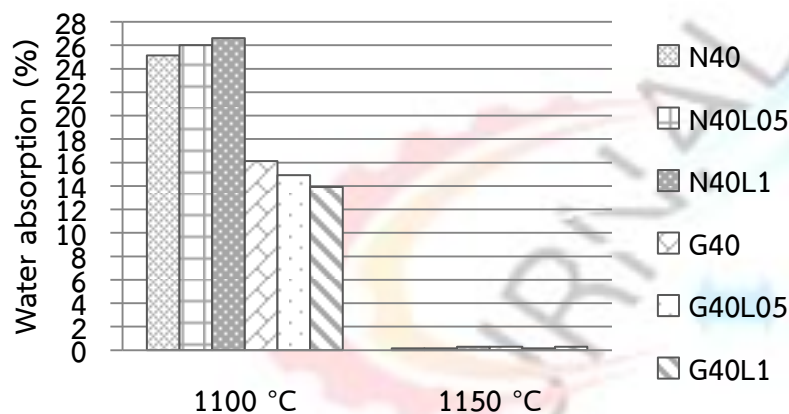
รหัส	ชั้นที่	1100 °C			1150 °C		
		นน.หลัง อบแห้ง (กรัม)	นน.เปียก (กรัม)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	นน.หลัง อบแห้ง (กรัม)	นน.เปียก (กรัม)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
N40L1	3	23.50	29.70	26.38	22.00	22.00	0.00
		เฉลี่ย		26.00	เฉลี่ย		0.15
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.61	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.26
	1	22.50	28.40	26.22	22.00	22.00	0.00
	2	23.30	29.50	26.61	21.90	22.00	0.46
	3	23.30	29.60	27.04	22.00	22.10	0.45
G40		เฉลี่ย		26.62	เฉลี่ย		0.30
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.41	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.26
	1	23.50	27.20	15.74	22.60	22.60	0.00
	2	23.00	26.80	16.52	22.60	22.70	0.44
	3	23.00	26.70	16.09	22.60	22.70	0.44
		เฉลี่ย		16.12	เฉลี่ย		0.29
G40L05		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.39	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.26
	1	23.70	27.10	14.35	22.50	22.50	0.00
	2	24.00	27.60	15.00	22.70	22.70	0.00
	3	24.00	27.70	15.42	22.40	22.50	0.45
		เฉลี่ย		14.92	เฉลี่ย		0.15
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.54	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.26
G40L1	1	23.70	27.00	13.92	22.40	22.50	0.45
	2	23.90	27.20	13.81	22.30	22.40	0.45
	3	23.50	26.80	14.04	22.20	22.20	0.00
		เฉลี่ย		13.92	เฉลี่ย		0.30
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.12	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.26

ตารางที่ 4 ผลการหดตัวของเนื้อดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 และ 1150 องศาเซลเซียส

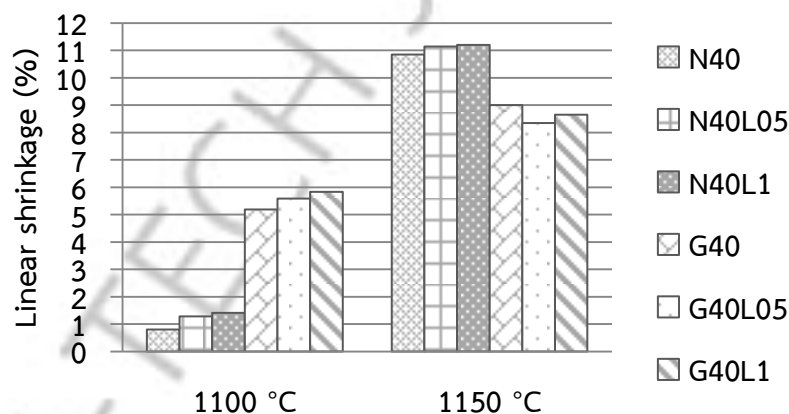
รหัส	ชั้นที่	1100 °C			1150 °C			
		ความยาว เมื่อเปียก (มม.)	ความยาว หลังเผา (มม.)	การหดตัว (ร้อยละ)	ความยาว เมื่อเปียก (มม.)	ความยาว หลังเผา (มม.)	การหดตัว (ร้อยละ)	
N40	1	50.00	49.41	1.18	50.00	44.63	10.74	
	2	50.00	49.81	0.38	50.00	44.49	11.02	
	3	50.00	49.58	0.84	50.00	44.61	10.78	
	เฉลี่ย			0.80	เฉลี่ย			10.85
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.40	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.15
N40L05	1	50.00	49.41	1.18	50.00	44.31	11.38	
	2	50.00	49.37	1.26	50.00	44.46	11.08	
	3	50.00	49.30	1.40	50.00	44.51	10.98	
	เฉลี่ย			1.28	เฉลี่ย			11.15
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.11	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.21
N40L1	1	50.00	49.30	1.40	50.00	44.14	11.72	
	2	50.00	49.35	1.30	50.00	44.70	10.60	
	3	50.00	49.23	1.54	50.00	44.36	11.28	
	เฉลี่ย			1.41	เฉลี่ย			11.20
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.12	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.56
G40	1	50.00	47.22	5.56	50.00	45.53	8.94	
	2	50.00	47.52	4.96	50.00	45.49	9.02	
	3	50.00	47.47	5.06	50.00	45.47	9.06	
	เฉลี่ย			5.19	เฉลี่ย			9.01
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.32	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.06
G40L05	1	50.00	47.25	5.50	50.00	45.75	8.50	
	2	50.00	47.10	5.80	50.00	45.92	8.16	
	3	50.00	47.26	5.48	50.00	45.81	8.38	
	เฉลี่ย			5.59	เฉลี่ย			8.35
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.18	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.17
G40L1	1	50.00	47.23	5.54	50.00	45.95	8.10	
	2	50.00	47.16	5.68	50.00	45.99	8.02	
	3	50.00	46.85	6.30	50.00	45.08	9.84	
	เฉลี่ย			5.84	เฉลี่ย			8.65
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.40	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			1.03

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบสมบัติของเนื้อดินที่ใช้แร่ฟันม้า กับเนื้อดินที่ใช้เศษแก้วแทนแร่ฟันม้าหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 และ 1150 องศาเซลเซียส

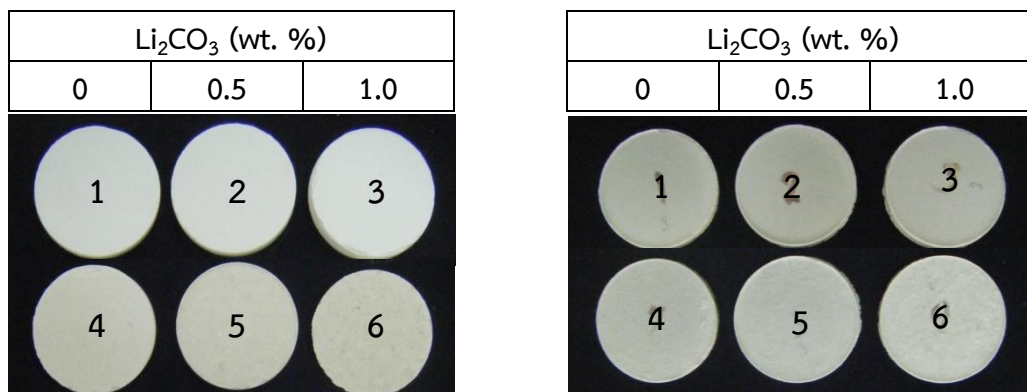
รหัสตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)		ค่าเฉลี่ยการหดตัว (ร้อยละ)	
	1100 °C	1150 °C	1100 °C	1150 °C
N40	25.14	0.16	0.80	10.85
N40L05	26.00	0.15	1.28	11.15
N40L1	26.62	0.30	1.41	11.20
G40	16.12	0.29	5.19	9.01
G40L05	14.92	0.15	5.59	8.35
G40L1	13.92	0.30	5.84	8.65



ภาพที่ 1 ผลเปรียบเทียบร้อยละการดูดซึมน้ำของเนื้อดินที่ใช้แร่ฟันม้า กับเนื้อดินที่ใช้เศษแก้วแทนแร่ฟันม้าหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 และ 1150 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 2 ผลเปรียบเทียบร้อยละการหดตัวของเนื้อดินที่ใช้แร่ฟันม้า กับเนื้อดินที่ใช้เศษแก้วแทนแร่ฟันม้าหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 และ 1150 องศาเซลเซียส



เผาที่อุณหภูมิ 1100 °C

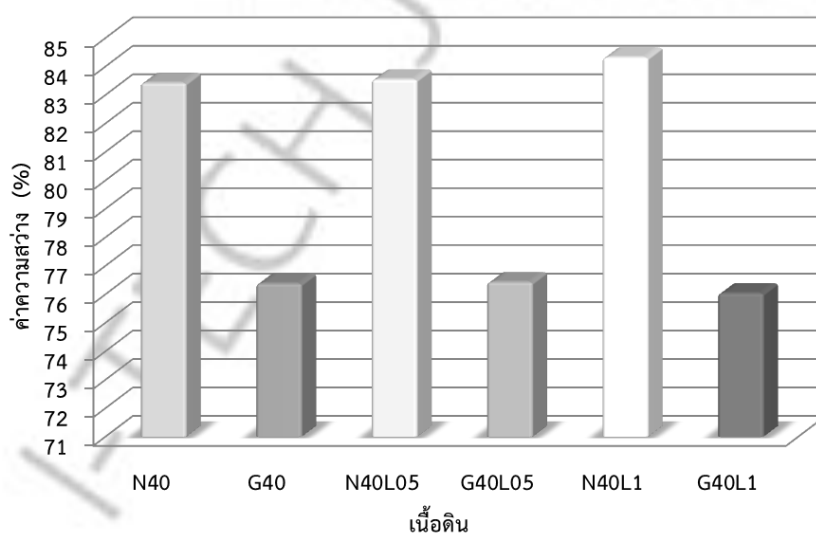
เผาที่อุณหภูมิ 1150 °C

ภาพที่ 3 ตัวอย่างเนื้อดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 และ 1150 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 6 ค่าสีของเนื้อดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส

รหัสตัวอย่าง	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
N40	83.43	1.66	8.59	ref.
N40L05	83.55	1.56	8.83	0.2864
N40L1	84.32	1.48	7.98	1.0939
G40	76.38	2.22	7.31	7.1871
G40L05	76.43	1.82	8.21	7.0121
G40L1	76.04	1.72	8.33	7.3948

ความสว่างของเนื้อดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1150 °C

ภาพที่ 4 ผลเปรียบเทียบร้อยละค่าความสว่าง (L^*) ของเนื้อดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส
ผลการศึกษ พบว่า

1) จากการเปรียบเทียบสมบัติของเนื้อดินที่ใช้แร่ฟีนมา กับเนื้อดินที่ใช้เศษแก้ว แทนแร่ฟีนมา ในด้านการหดตัว และการดูดซึมน้ำ ของเนื้อดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส พบว่าเนื้อดินที่ใช้แร่ฟีนมาเป็นส่วนผสมของเนื้อดินมีค่าการหดตัวอยู่ในช่วง ร้อยละ 0.08 - 1.41 น้อยกว่าเนื้อดินที่ใช้เศษแก้วทดแทนแร่ฟีนมา ที่มีค่าการหดตัวอยู่ในช่วง ร้อยละ 5.19 - 5.84 การดูดซึมน้ำของเนื้อดินที่ใช้แร่ฟีนมา มีค่าการดูดน้ำอยู่ในช่วง ร้อยละ 25.14 - 26.62 มากกว่า เนื้อดินที่ใช้เศษแก้วทดแทนแร่ฟีนมา

2) จากการเปรียบเทียบสมบัติของเนื้อดินที่ใช้แร่ฟีนมา กับเนื้อดินที่ใช้เศษแก้วแทนแร่ฟีนมา ในด้านการหดตัว การดูดซึมน้ำ และค่าความสว่าง (L^*) ของเนื้อดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อดินที่ใช้แร่ฟีนมาเป็นส่วนผสมของเนื้อดินมีค่าการหดตัวอยู่ในช่วง ร้อยละ 10.85 - 11.20 มากกว่า เนื้อดินที่ใช้เศษแก้วทดแทนแร่ฟีนมา ที่มีค่าการหดตัวอยู่ในช่วง ร้อยละ 8.35 - 9.01 การดูดซึมน้ำของเนื้อดินที่ใช้แร่ฟีนมา มีค่าการดูดน้ำอยู่ในช่วง ร้อยละ 0.15 - 0.30 ใกล้เคียงกับ เนื้อดินที่ใช้เศษแก้วทดแทนแร่ฟีนมา และเนื้อดินมีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง ร้อยละ 83.43 - 84.32 น้อยลงเมื่อใช้เศษแก้วทดแทนแร่ฟีนมา ที่มีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง ร้อยละ 76.04 - 76.38

5.2 ผลการศึกษาผลการใช้ลิเทียมคาร์บอเนตร่วมกับเศษแก้วทดแทนแร่ฟีนมาต่อการลดอุณหภูมิสุกตัวของเนื้อดินสำหรับผลิตภัณฑ์ปั้น ดังแสดงในตารางที่ 3 - 6 และภาพที่ 1 - 4

ผลการศึกษา พบว่า

1) เนื้อดินที่ใช้ลิเทียมคาร์บอเนตร่วมกับเศษแก้วทดแทนแร่ฟีนมาหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส การหดตัวของเนื้อดินมีค่าการหดตัวมากขึ้นเมื่อมีปริมาณของลิเทียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยมีค่าการหดตัวอยู่ในช่วง ร้อยละ 5.19 - 5.84 การดูดซึมน้ำน้อยลง เมื่อมีปริมาณของลิเทียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยมีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง ร้อยละ 5.19 - 5.84

2) เนื้อดินที่ใช้ลิเทียมคาร์บอเนตร่วมกับเศษแก้วทดแทนแร่ฟีนมาหลังเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส การหดตัวของเนื้อดินมีค่าการหดตัวน้อยลงเมื่อมีปริมาณของลิเทียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยมีค่าการหดตัวอยู่ในช่วง ร้อยละ 8.35 - 9.01 การดูดซึมน้ำมากขึ้น เมื่อมีปริมาณของลิเทียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยมีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง ร้อยละ 0.15 - 0.30 นอกจากนี้ พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ของเนื้อดินลดลง เมื่อมีปริมาณของลิเทียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยมีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง ร้อยละ 76.04 - 76.38

3) การใช้ลิเทียมคาร์บอเนตร่วมกับเศษแก้วทดแทนแร่ฟีนมาเป็นส่วนผสมของเนื้อดิน มีผลต่อการสุกตัวของเนื้อดินมากขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นตามลำดับ โดยค่าการ หดตัวมากขึ้น และค่าการดูดซึมน้ำน้อยลง

6. อภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลอง พบว่า เนื้อดิน ทั้ง 6 สูตร มีค่าการดูดซึมน้ำลดลง และมีค่าการหดตัวมากขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น และเมื่อใช้อุณหภูมิเผาที่ 1150 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อดินมีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง ร้อยละ 0.15 - 0.30 โดยน้ำหนัก หรือเข้าใกล้ศูนย์ แสดงให้เห็นว่าเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น

เนื้อดินสุกตัวมากขึ้น เนื่องจากอนุภาคของเม็ดสารเกิดการเยิ้มและหลอมตัวเชื่อมติดเป็นเนื้อเดียวกัน เนื้อดินจึงมีแนวโน้มสุกตัวที่อุณหภูมิเผาไม่เกิน 1150 องศาเซลเซียส

จากการเปรียบเทียบค่าการหดตัวและค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส ระหว่างเนื้อดินที่ใช้แร่ฟันม้า กับเนื้อดินที่ใช้เศษแก้วทดแทนแร่ฟันม้า พบว่า เนื้อดินที่ใช้เศษแก้วทดแทนแร่ฟันม้า มีค่าการหดตัวน้อยกว่าเนื้อดินที่ใช้แร่ฟันม้า และการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มสูงกว่า แสดงให้เห็นว่า เนื้อดินมีแนวโน้มถูกเผาเกินจุดสุกตัว ทั้งนี้เพราะแร่ฟันม้ามี Al_2O_3 ประมาณ ร้อยละ 19.64 มากกว่าในเศษแก้วที่มีประมาณ ร้อยละ 0.99 ดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนั้นการใช้เศษแก้วทดแทนแร่ฟันม้าจึงมี Al_2O_3 ต่ำ ทำให้เนื้อดินมีความทนอุณหภูมิได้ต่ำ ส่งผลให้เนื้อดินมีจุดสุกตัวต่ำลง และเศษแก้วยังมี Na_2O CaO และ MgO ที่มากกว่าในแร่ฟันม้า Na_2O CaO และ MgO เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิในการเผาสูง (Fluxing agent) จึงทำให้เนื้อดินมีจุดสุกตัวต่ำลงหรือมีความทนอุณหภูมิได้ต่ำ

จากการเปรียบเทียบค่าความสว่าง (L^*) ของเนื้อดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส ระหว่างเนื้อดินที่ใช้แร่ฟันม้า กับเนื้อดินที่ใช้เศษแก้วทดแทนแร่ฟันม้า พบว่าเนื้อดินที่ใช้เศษแก้วทดแทนมีค่าความสว่าง (L^*) น้อยกว่าเนื้อดินที่ใช้แร่ฟันม้า ทั้งนี้เพราะเศษแก้วมีปริมาณออกไซด์ที่เป็นตัวทำให้เกิดสี ได้แก่ Fe_2O_3 และ Cr_2O_3 มากกว่าในแร่ฟันม้า ดังผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเศษแก้วและแร่ฟันม้าในตารางที่ 1 จึงทำให้เนื้อดินหลังเผามีสีเข้มหรือมีค่าความสว่างน้อยลง

จากการทดลองใช้ลิเทียมคาร์บอเนตร่วมกับเศษแก้วทดแทนแร่ฟันม้าซึ่งเป็นส่วนผสมของเนื้อดิน เผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อดินมีการหดตัวน้อยลง การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น หรือมีแนวโน้มถูกเผาเกินจุดสุกตัว เมื่อมีปริมาณของลิเทียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น เป็นเพราะเนื้อดินได้รับความร้อนมากเกินไป อนุภาคเกิดการผุและการสลายเป็นก๊าซทำให้เกิดการขยายตัวขึ้น เป็นผลให้การหดตัวลดลง และค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า เศษแก้วสามารถใช้เป็นฟลักซ์แทนแร่ฟันม้าได้ดีสอดคล้องกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา (Matteucci et al., 2002; Tarvorpanich et al., 2005; Luz and Ribeiro, 2007; ชุตินา เอี่ยมโชติชวลิต และศิริพร ลาภเกียรติถาวร, 2552) และแสดงให้เห็นว่า ลิเทียมคาร์บอเนตช่วยให้อนุภาคเกิดปฏิกิริยาหลอมเชื่อมอนุภาคเข้าด้วยกัน (vitrification) ดีขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Qiao และคณะ (2003) ดังนั้น เมื่อใช้ลิเทียมคาร์บอเนตร่วมกับเศษแก้วจึงทำให้เนื้อดินสุกตัวดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ลิเทียมคาร์บอเนตร่วมกับเศษแก้วยังมีผลให้เนื้อดินหลังเผามีค่าความสว่างลดลง เมื่อมีปริมาณของลิเทียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะลิเทียมคาร์บอเนตช่วยเร่งปฏิกิริยาให้ออกไซด์ที่เป็นตัวทำให้เกิดสีในเศษแก้ว ได้แก่ Fe_2O_3 และ Cr_2O_3 เกิดผลึกสีหลังการเผาดีขึ้น จึงทำให้เนื้อดินหลังเผามีค่าความสว่างลดลง

7. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยผลของลิเทียมคาร์บอเนตและเศษแก้วต่อการลดอุณหภูมิสุกตัวของเนื้อดินสำหรับผลิตภัณฑ์เบื่องปูพื้น เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเนื้อกระเบื้องปูพื้นที่ใช้ดินขาวผสมกับควอตซ์และแร่ฟันม้า หลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 และ 1150 องศาเซลเซียส เทียบกับเนื้อกระเบื้องปูพื้นที่ใช้เศษแก้วทดแทนแร่ฟันม้า และศึกษาผลการใช้ลิเทียมคาร์บอเนตร่วมกับ

เศษแก้วบดที่ใช้แทนแร่ฟันม้าต่อการลดอุณหภูมิสุกตัวของเนื้อดิน สำหรับผลิตภัณฑ์กระเบื้องปูพื้นสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

7.1 การเปรียบเทียบสมบัติของเนื้อดินที่ใช้แร่ฟันม้า กับเนื้อดินที่ใช้เศษแก้วบดแทนแร่ฟันม้า ในด้านการหดตัว การดูดซึมน้ำ และค่าความสว่าง (L^*) ของเนื้อดินหลังเผา พบว่าเนื้อดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เนื้อดินที่ใช้เศษแก้วบดแทนแร่ฟันม้ามีการหดตัวมากกว่าและมีการดูดซึมน้ำน้อยกว่าเนื้อดินที่ใช้แร่ฟันม้า และเมื่อเผาเนื้อดินที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อดินที่ใช้เศษแก้วบดแทนแร่ฟันม้า มีการหดตัวน้อยกว่าและมีการดูดซึมน้ำมากกว่าเนื้อดินที่ใช้แร่ฟันม้า และพบว่า เนื้อดินที่ใช้แร่ฟันม้ามีค่าความสว่าง (L^*) มากกว่าเนื้อดินที่ใช้เศษแก้วบดแทนแร่ฟันม้า

7.2 การศึกษาผลการใช้ลิเทียมคาร์บอเนตร่วมกับเศษแก้วบดที่ใช้แทนแร่ฟันมาเป็นส่วนผสมของเนื้อดิน พบว่า เนื้อดินสุกตัวมากขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น และสุกตัวดีขึ้นเมื่อใช้ลิเทียมคาร์บอเนตร่วมกับเศษแก้วบด โดยมีแนวโน้มสามารถนำไปพัฒนาส่วนผสมของเนื้อดินสำหรับผลิตภัณฑ์กระเบื้องปูพื้นดูดซึมน้ำต่ำไม่เกินร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยการหดตัวรวมไม่เกิน ร้อยละ 10 และค่าความสว่าง (L^*) มากกว่า ร้อยละ 76.00 ให้สามารถใช้อุณหภูมิเผาต่ำ ที่ 1150 องศาเซลเซียสได้

ทั้งนี้ ผลการวิจัยนี้ จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดต้นทุนพลังงานที่ใช้ในการผลิตกระเบื้องปูพื้นสำหรับผู้ผลิตกระเบื้องต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัยครั้งนี้

9. เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2557). รายงานคุณภาพพลังงานของประเทศ

ไทย Energy Balance of Thailand 2557/2014. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

หน้า 23.

ชุตินา เอี่ยมโชติชวลิต และศิริพร ลาภเกียรติถาวร. (2552). การพัฒนาสูตรดินสำหรับเผาอุณหภูมิต่ำสำหรับอุตสาหกรรมกระเบื้องตกแต่ง, การสัมมนาลดต้นทุนพลังงานและสร้างนวัตกรรมใหม่ ทางรอด ทางเลือกของอุตสาหกรรมเซรามิกส์ไทย. โรงแรมเวียง ลคอร จังหวัดลำปาง.

จิตติวัฒน์ ภินันท์ธวัช. (2552). การบริหารอุปทานของอุตสาหกรรมเศษแก้ว เพื่อการรีไซเคิล.

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น, ปีที่ 2 ฉบับที่ 2, ธันวาคม 2551 – พฤษภาคม 2552. หน้า 60.

Andreola F., Barbieri L., Corradi A., Lancellotti I. and Manfredimi T. (2002). Utilisation of municipal incinerator grate slag for manufacturing porcelainized stoneware

- tiles manufacturing. **Journal of the European Ceramic Society**, vol. 22 (9-10), September 2002, pp. 1457-1462.
- Esposito L., Salem.A., Tucci A., Gualtieri A. and Jazayeri S.H. (2005). The use of nepheline-syenite in a body mix for porcelain stoneware tiles. **Ceramics International**, vol. 31 (2), August 2004, pp. 233-240.
- Luz A.P. and Ribeiro S., (2007). Use of glass waste as a raw material in porcelain stoneware tile mixtures. **Ceramics International**, vol. 33 (5), July 2007, pp. 761-765.
- Matteucci F., Dondi M. and Guarini G. (2002). Effect of soda-lime glass on sintering and technological properties of porcelain stoneware tiles, **Ceramics International**, vol. 28 (18), March 2002, pp. 873-880.
- Menezes R.R., Ferreira H.S., Neves G.A., Lira H.L. and Ferreira H.C. (2004). Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles. **Journal of the European Ceramic Society**, vol. 25 (9-10), July 2004, pp. 1149-1158.
- Oberžan M., Holc J., Buh M., Kuščer D., Lavrač I., and Kosec M. (2009). High-alumina porcelain with the addition of a Li_2O -bearing fluxing agent. **Journal of the American Ceramic Society**, vol. 29 (11), August 2009, pp. 2143-2152.
- Punsukumtana L., Rugthaicharoencheep S., Saengchantara WT., Suphanam N., Sirinukunwattana K. and Pharaboon S. (2014). Effect of firing temperatures on physical properties and phase evolution of fine stoneware bodies, **Key Engineering Materials**, vol. 608, April 2014, pp. 114-121.
- Qiao L., Zhou H., Chen K. and Fu R. (2003). Effects of Li_2O on the low temperature sintering and thermal conductivity of AlN ceramics. **Journal of the European Ceramic Society**, vol. 23 (9), August 2003, pp. 1517-1524.
- Raimondo M., Z.C., Matteucci F., Guarini G., Dondi M. and Labrincha J.A. (2007). Effect of waste glass (TV/PC cathodic tube and screen) on technological properties and sintering behaviour of porcelain stoneware tiles. **Ceramics International**, vol. 33 (4), February 2006, pp. 615-623.
- Segadães A.M., Carvalho M.A. and Ferreira H.C. (2003). Using phase diagrams to deal with moisture expansion. **Ceramics International**, vol. 29 (8), June 2003, pp. 947-954.
- Souza G. P., R.E., Tucci A., Esposito L. and Lee W. E. (2004). Microstructural variation in porcelain stoneware as a function of flux system. **Journal of the American Ceramic Society**, vol. 87 (10), October 2004, pp. 1959-1966.

- Tarvornpanich T., Souza G.P. and Lee W.E. (2005). Microstructural evolution on firing soda-lime-silica glass fluxed whitewares. **Journal of the American Ceramic Society**, vol. 88 (5), May 2005, pp. 1302-1308.
- Torres P., Manjate R.S., Quaresma S., Fernandes H.R. and Ferreira J.M.F. (2007). Development of ceramic floor tile compositions based on quartzite and granite sludges. **Journal of the European Ceramic Society**, vol. 27 (16), April 2007, pp. 4649-4655.
- Tucci A., Esposito L., Malmusi L. and Rambaldi E. (2007). New body mixes for porcelain stoneware tiles with improved mechanical characteristics. **Journal of the European Ceramic Society**, vol. 27 (2-3), 2007, pp. 1875-1881.
- Tucci A., R.E. and Esposito L. (2006). Use of scrap glass as raw material for porcelain stoneware tiles. **Advances in Applied Ceramics**, vol. 105, (1), February 2006, pp. 40-45.