

## การพัฒนาเคลือบไฟต่ำสำหรับผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ 1180 องศาเซลเซียส Development of Glaze Composition for Stoneware Ceramic 1180°C

ศิวัช ลาวัลย์วดีกุล<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>สาขามাত্রวิทยาและระบบคุณภาพ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

119 ถนนลำปาง-แม่ทะ ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง

โทร0815307695 E-mail b\_sivat@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาเคลือบไฟต่ำสำหรับผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ 1180 องศาเซลเซียส เริ่มจากผสมเคลือบสำเร็จรูป และฟritอุตสาหกรรมเข้าหากัน ในปริมาณต่าง ๆ ทำการเคลือบบนชิ้นทดสอบ นำไปผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศแบบออกซิเดชัน จากนั้นทำการทดสอบลักษณะปรากฏบนผิวเคลือบโดยเครื่องคัลเลอริมิเตอร์ พบมีค่า  $L^*$  เฉลี่ยระหว่าง 73.01 – 86.16 ทดสอบพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนโดยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ ศึกษาความทนทานต่อแรงกดของผิวเคลือบ โดยเครื่องทดสอบความแข็งแบบบริคเวล พบมีค่าเฉลี่ย 19.0 – 24.6 เมื่อทดสอบความแกร่งของเนื้อดินภายหลังการเผามีค่าเฉลี่ย 21.17 เมกะปาสคาล จากผลการศึกษาพบว่า การเติมฟrit ในปริมาณมากกว่าร้อยละ 60 ส่งผลให้เกิดเคลือบใสได้ดี และยังสามารถประหยัดต้นทุนเชื้อเพลิงจากการเผาในอุณหภูมิเดิมได้ถึงร้อยละ 12.5

**คำสำคัญ:** เคลือบไฟต่ำ, ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์, ฟrit

### Abstract

The purpose of the research was to develop a glaze composition for stoneware ceramics fired at 1180°C. The experiment started with a blend of basic glaze and commercial fritted glaze in specified ratios which were later used to coat the specimens. After that, the specimens were fired at 1180°C in an oxidation atmosphere. A colorimeter was used to measure the surface of the glaze layer and it was found that the surface had a lightness  $L^*$  between 73.01-86.16. A dilatometer was used to measure hardness and bending strength and it was found that the hardness was 19.0-24.6 and the bending strength was 21.17 megapascals. The results showed that adding more than 60% fritted glazes resulted in better quality clear glaze and saved fuel costs by up to 12.5%.

**Keywords:** Low Temperature Glaze, Stoneware, Frit

### 1. บทนำ

จังหวัดลำปาง และสมาคมเครื่องปั้นดินเผาลำปาง เดินหน้าวางยุทธศาสตร์ รับมือเศรษฐกิจ โดยมุ่งเน้น การลดต้นทุนการผลิต การพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ และการเพิ่มรูปแบบที่หลากหลาย (ผู้จัดการออนไลน์, 2555.) ส่งผลให้โรงงานเซรามิกจำนวนมากมุ่งเน้นการพัฒนา และค้นหาเทคนิค

ต่าง ๆ เพื่อให้เกิดอัตลักษณ์เฉพาะโรงงานขึ้น เทคนิคการเคลือบเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ได้รับ การพัฒนา เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความโดดเด่น และสามารถผลิตในปริมาณมาก ผลที่ตามมา คือ ขาดการควบคุมคุณภาพ ซึ่งเป็นจุดอ่อนทางการตลาดที่สำคัญของผลิตภัณฑ์เซรามิก นอกจากนี้ ประเทศไทยประสบปัญหาวิกฤตเชื้อเพลิงขึ้นราคาส่งผลกระทบต่อผู้ประกอบการ

องค์ประกอบตั้งต้นหรือส่วนผสมของเคลือบแต่ละชนิด มักนิยมศึกษาสูตรเคลือบจากสูตร ของเซเกอร์ ซึ่งให้ความสำคัญในด้านขององค์ประกอบทางเคมีของเคลือบ โดยเซเกอร์ได้จำแนก เคลือบเป็น 3 ชนิด คือ เคลือบตั้งต้นที่เป็นพื้นฐาน (basic glaze) จากนั้นได้มีการเติมสารให้สีเข้าไป ร่วมในเคลือบกลายเป็นเคลือบสี (color glaze) จนในที่สุดมีการเติมตัวเติมอื่น ๆ จนกลายเป็นเคลือบ ที่มีลักษณะพิเศษ (special glaze) เกิดขึ้นมากมาย (สุรศักดิ์ โกสียพันธ์, 2534.) ดังนั้นหากสามารถ ควบคุมเคลือบพื้นฐานซึ่งจุดเริ่มต้นให้คงคุณสมบัติเดิม แต่สามารถเผาในอุณหภูมิต่ำ จะส่งผลให้ ลดต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผา รวมถึงเป็นการควบคุมคุณภาพขั้นพื้นฐานที่ทำให้ลดปริมาณ ของเสียหายที่เกิดจากความไม่แน่นอนของวัตถุดิบ เช่น การเกิดสีที่ผิดเพี้ยน เคลือบหลอมตัว ไม่สม่ำเสมอ เป็นต้น

ปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้ผู้วิจัยสนใจที่จะพัฒนาเคลือบผสมสำเร็จใช้กับผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ เนื่องจากสโตนแวร์เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตมากในจังหวัดลำปาง โดยจุดมุ่งหมายให้เคลือบพื้นฐาน มีอุณหภูมิสุกตัวต่ำจากเดิม เป้าหมายคือ ลดอุณหภูมิเผาจากปกติ 1250 – 1300 องศาเซลเซียส ลงเหลือในช่วง 1180 – 1200 องศาเซลเซียส เพื่อให้สอดคล้องตามความต้องการด้านการลดค่าเชื้อเพลิง ในการเผาของกลุ่มอุตสาหกรรมเซรามิก โดยให้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์คงเดิม การวิจัยครั้งนี้ ยังหวังให้ ผู้ประกอบการเกิดการตระหนักถึงการทำวิจัย จากปัญหาที่พบในโรงงานเพื่อตอบโจทย์ความต้องการ ของตัวโรงงานอุตสาหกรรมอย่างแท้จริง เพื่อให้เกิดการพัฒนาในภาคอุตสาหกรรมเซรามิกต่อไป

## 2.วิธีการดำเนินการ

นำน้ำดินหล่อสโตนแวร์ และเคลือบสำเร็จรูป จากห้างหุ้นส่วนจำกัดดินเผาแหลมทองมา วิเคราะห์องค์ประกอบเคมีโดยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence (XRF)) รุ่น Magix pro T04005 บริษัท Philips ทำการผสมเคลือบสำเร็จรูป และพริตเข้าหากันในอัตราส่วนต่าง ๆ กลุ่มตัวอย่างแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่1 อัตราส่วนระหว่างเคลือบสำเร็จรูป และพริต

| สูตรเคลือบ/ชุดการทดลองที่ | 1   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
|---------------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| เคลือบสำเร็จรูป (ร้อยละ)  | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |
| พริต (ร้อยละ)             | -   | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |

การทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลได้กำหนดค่าความถ่วงจำเพาะของเคลือบระหว่าง 1.50 - 1.55 ใช้เวลาในการชุบ 5 วินาที ขึ้นทดสอบที่ได้ นำไปผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเดชัน ยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 15 นาที

ขั้นตอนทดสอบหลังการเผา นำมาทดสอบความใส และความขาว โดยเครื่องคัลเลอริมิเตอร์ รุ่น color reader CR - 10 บริษัท Minolta ค่าที่ได้จากการวัดสี แสดงเป็น ค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$

$L^*$  ค่าความสว่างของขั้นตอนทดสอบ กรณีที่ค่าที่ได้สูงแสดงว่าขั้นตอนทดสอบมีความสว่างมาก กรณีค่าที่ได้ต่ำแสดงว่าขั้นตอนทดสอบมีลักษณะมืดหรือทึบ

$a^*$  ค่าที่ได้เป็นบวกแสดงว่าขั้นตอนทดสอบมีเม็ดสีอยู่ในโทนสีแดง กรณีเป็นลบแสดงว่าขั้นตอนทดสอบมีเม็ดสีอยู่ในโทนสีเขียว

$b^*$  ค่าที่ได้เป็นบวกแสดงว่าขั้นตอนทดสอบมีเม็ดสีอยู่ในโทนสีเหลือง กรณีเป็นลบแสดงว่าขั้นตอนทดสอบมีเม็ดสีอยู่ในโทนสีน้ำเงิน

ทำการศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนโดยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ (dilatometer) รุ่น DIL 420 C บริษัท Netzsch ศึกษาความทนทานต่อแรงกดของผิวเคลือบโดยเครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเวล (rock well hardness test) รุ่น FR-e Series บริษัท Future-tech corporation และทดสอบความแกร่งของเนื้อดินภายหลังการเผา (bending strength) โดยเครื่อง AG-1 Series บริษัท Shimadzu ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1161-02 วัดแบบสามจุด โดยใช้ความเร็ว 0.5 มิลลิเมตร/นาที

### 3. ผลการวิจัย

#### 3.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบก่อนการเผา

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

| ตัวอย่าง   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | MnO <sub>2</sub> | CaO  | MgO  | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | LOI  |
|------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|------|------|------------------|-------------------|------|
| น้ำดินหล่อ | 71.69            | 18.65                          | 1.30                           | 0.22             | 0.05             | 0.09 | 0.13 | 2.65             | 0.45              | 4.50 |
| เคลือบใส   | 64.62            | 13.89                          | 0.80                           | 0.10             | 0.01             | 7.17 | 0.19 | 4.16             | 2.21              | 6.53 |

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำดินหล่อ และเคลือบใสในตารางที่ 2 พบน้ำดินหล่อบมีปริมาณของเหล็กสูงและมีปริมาณของกลุ่มต่างค่อนข้างมาก ซึ่งอาจส่งผลต่อสีของเคลือบเล็กน้อย เนื่องจากสารเหล่านี้จะส่งผลทำให้เนื้อดินไม่ขาวและมีจุดของแร่เหล็ก (iron spot) ส่วนในเคลือบใสพบว่ามีปริมาณของเหล็กออกไซด์ร้อยละ 0.80 คาดว่าเหล็กออกไซด์ในปริมาณดังกล่าวจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีในเคลือบ (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2540)

องค์ประกอบทางเคมีของฟritอุตสาหกรรมที่นำมาใช้ในการทดสอบ

(บริษัท เค.เอช. เซรามิก จำกัด, 2555)

ฟrit D165 ประกอบด้วย Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, MgO, CaO, BaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> และ SiO<sub>2</sub>

ฟrit D185 ประกอบด้วย Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, CaO, BaO, ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> และ SiO<sub>2</sub>

ฟrit D205 ประกอบด้วย Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, MgO, CaO, BaO, ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> และ ZrO<sub>2</sub>

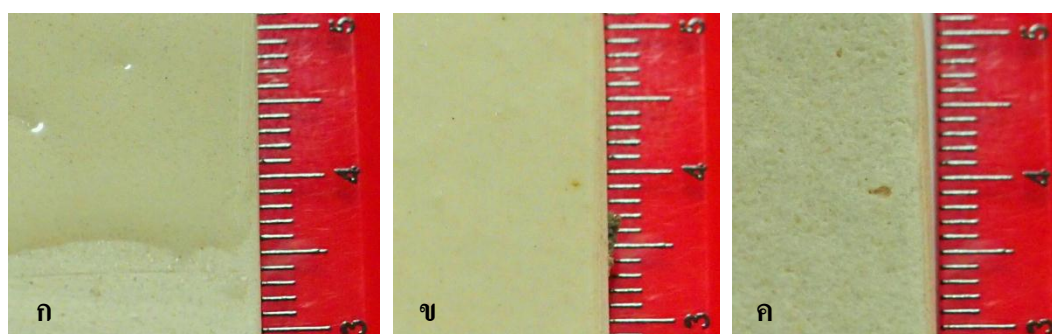
ตารางที่ 3 การทดสอบความใสของเคลือบโดยเครื่องวัดสี

| Samples    | L*    | a*    | b*     | Whiteness |
|------------|-------|-------|--------|-----------|
| D165 100 % | 81.63 | +2.83 | +11.12 | 78.34     |
| D165 90 %  | 84.78 | +3.20 | +11.10 | 80.89     |
| D165 80 %  | 83.12 | +3.07 | +11.17 | 79.53     |
| D165 70 %  | 82.97 | +3.47 | +12.54 | 78.54     |
| D165 60 %  | 82.71 | +2.61 | +11.59 | 79.02     |
| D165 50 %  | 81.95 | +2.81 | +12.23 | 78.02     |
| D165 40 %  | 81.66 | +3.22 | +12.97 | 77.31     |
| D165 30 %  | 80.88 | +3.58 | +13.12 | 76.68     |
| D165 20 %  | 79.88 | +2.47 | +9.36  | 77.68     |
| D165 10 %  | 79.29 | +4.01 | +13.19 | 75.12     |
| D185 100 % | 82.86 | +3.01 | +10.72 | 79.56     |
| D185 90 %  | 86.16 | +2.77 | +8.77  | 83.38     |
| D185 80 %  | 84.25 | +3.26 | +11.17 | 82.19     |
| D185 70 %  | 85.41 | +2.71 | +9.84  | 80.07     |
| D185 60 %  | 83.08 | +3.31 | +11.05 | 79.52     |
| D185 50 %  | 80.12 | +3.15 | +12.08 | 76.52     |
| D185 40 %  | 82.08 | +3.67 | +12.83 | 77.65     |
| D185 30 %  | 80.66 | +3.35 | +12.54 | 76.70     |
| D185 20 %  | 79.82 | +3.90 | +13.18 | 75.58     |
| D185 10 %  | 73.01 | +2.58 | +10.40 | 75.98     |
| D205 100 % | 82.55 | +3.20 | +11.88 | 78.65     |
| D205 90 %  | 84.99 | +2.86 | +11.23 | 81.03     |
| D205 80 %  | 83.01 | +3.36 | +13.19 | 78.23     |
| D205 70 %  | 83.36 | +2.81 | +10.43 | 81.80     |
| D205 60 %  | 83.50 | +3.58 | +11.53 | 79.55     |
| D205 50 %  | 82.20 | +3.18 | +12.64 | 77.94     |
| D205 40 %  | 81.34 | +3.29 | +12.95 | 77.47     |
| D205 30 %  | 81.39 | +3.60 | +13.58 | 76.70     |
| D205 20 %  | 81.30 | +3.60 | +13.18 | 75.58     |
| D205 10 %  | 82.11 | +3.15 | +10.95 | 78.79     |

### 3.2 ผลการทดสอบความใสของเคลือบ

จากตารางการทดสอบความใสของเคลือบภายหลังการเผาโดยเครื่องวัดสี พบค่า  $L^*$  ของเคลือบทั้ง 3 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน คือระหว่าง 86 ถึง 79 ค่า  $L^*$  สูงสุดที่พบ คือ 86.16 เป็นของอัตราส่วน การใช้ฟrit D185 90% และค่า  $L^*$  ต่ำสุดที่พบคือ 79.29 เป็นอัตราส่วน การใช้ ฟrit D165 10% จากการทดลองพบว่าค่า  $L^*$  มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากอัตราส่วนของฟritที่เป็นตัวช่วยหลอมลดลง

ค่าความขาว (whiteness) พบอยู่ในช่วงระหว่าง 83 ถึง 75 ค่าสูงสุดที่พบ คือ 83.38 เป็นอัตราส่วนปริมาณ ฟrit D185 90% ส่วนค่าต่ำสุดที่พบคือ 75.12 เป็นอัตราส่วนปริมาณ ฟrit D165 10% ซึ่งค่าที่พบสอดคล้องกับค่า  $L^*$



ภาพที่ 1 ก. แสดงลักษณะปรากฏบนพื้นผิวของเคลือบฟrit D185 90% และเคลือบสำเร็จรูป 10%  
 ข. แสดงลักษณะปรากฏบนพื้นผิวของเคลือบฟrit D185 50% และเคลือบสำเร็จรูป 50%  
 ค. แสดงลักษณะปรากฏบนพื้นผิวของเคลือบฟrit D185 10% และเคลือบสำเร็จรูป 90%

จากภาพที่ 1 เมื่อทำการตรวจสอบลักษณะปรากฏบนพื้นผิวของเคลือบ พบว่าเคลือบสำเร็จรูปที่ผสมฟritอุตสาหกรรมทั้ง 3 ชนิด คือ ฟrit D165, D185 และ D205 สามารถทำให้เกิด เคลือบใสที่มีการสุกตัวสมบูรณ์ โดยใช้ฟritในปริมาณที่สูงกว่า 60% แต่หากลดปริมาณ ฟritลง เคลือบจะมีลักษณะทึบ (opaque glaze) เนื่องจากเคลือบเริ่มมีการสุกตัวไม่สมบูรณ์ที่ปริมาณ ฟritต่ำกว่า 40% เคลือบมีลักษณะผิวด้าน (matt glaze) ไม่สุกตัว

### 3.3 ผลการทดสอบการขยายตัวเนื่องจากความร้อน

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการขยายตัวเนื่องจากความร้อน (coefficient of thermal expansion)

| Sample                                                | clay | basic glaze | D165 | D185 | D205 |
|-------------------------------------------------------|------|-------------|------|------|------|
| CTE<br>( $\times 10^{-6} \text{m}/^{\circ}\text{C}$ ) | 1.85 | 1.80        | 1.65 | 1.85 | 2.05 |

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน ของวัตถุดิบแต่ละชนิด โดยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ ในช่วงอุณหภูมิห้องถึง 1180 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวลงในเครื่องทดสอบ ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน ระหว่างเนื้อดิน เคลือบ และฟritจะพบว่ามีความใกล้เคียงกัน ปกติแล้วเคลือบควรจะมีค่า

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนน้อยกว่าเนื้อดิน เพื่อให้เคลือบอยู่ในภาวะบีบอัดจะเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์

### 3.4 การทดสอบความแข็งของผิวเคลือบโดยการทดสอบแบบร็อคเวล

การทดสอบความแข็งแบบร็อคเวล เลือกใช้การทดสอบ C สเกล โหลด 150 กิโลกรัม หัวกดแบบเพชร (HRC) ทำการกด 3 ครั้ง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 5 การทดสอบความแข็งของเคลือบ โดย rock well C scale

| ปริมาณฟrit | D165            | D185            | D205            |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 100        | 24.3            | 21.4            | 24.6            |
| 90         | 24.6            | 21.9            | 22.6            |
| 80         | 24.1            | 21.2            | 21.6            |
| 70         | 24.7            | 20.7            | 20.6            |
| 60         | 20.2            | 20.6            | 20.8            |
| 50         | 20.7            | 20.2            | 20.3            |
| 40         | 20.4            | 20.3            | 20.7            |
| 30         | 20.8            | 20.1            | 21.1            |
| 20         | 20.6            | 19.0            | 21.1            |
| 10         | ไม่สามารถวัดได้ | ไม่สามารถวัดได้ | ไม่สามารถวัดได้ |

จากการทดสอบพบว่าค่าความแข็ง มีค่าไม่สูงมาก เนื่องจากเคลือบที่ใช้เผาเป็นเคลือบในอุณหภูมิต่ำ การเกิดเฟสของเคลือบจึงยังไม่สมบูรณ์ พบว่าเมื่อลดปริมาณการเติมฟritลง ค่าความแข็งจะลดลงตาม ทั้งนี้เนื่องจากการที่เคลือบไม่หลอมตัวเป็นเนื้อแก้วฉาบบริเวณผิวแห่งทดสอบ สังเกตชัดเจนที่ปริมาณการใช้ฟrit 10% แห่งทดสอบแต่ก่อนจะวิเคราะห์ผลได้จึงไม่สามารถหาค่าแรงกดได้

### 3.5 ผลการทดสอบความแกร่งของเนื้อดิน

ตารางที่ 6 ความแกร่งของเนื้อดินภายหลังการเผา

| Samples        | Bending strenght (MPa) |
|----------------|------------------------|
| clay slip 1230 | 23.75                  |
| clay slip 1180 | 21.17                  |

เนื้อดินภายหลังการเผา ค่าความแกร่งของเนื้อดินที่พบ มีค่าใกล้เคียงกัน จะเห็นได้ว่าเมื่อลดอุณหภูมิในการเผาลง ค่าความแกร่งของเนื้อดินลดลงเล็กน้อย เนื่องจากอุณหภูมิในการเผาต่ำเกิดมลไอดี้น้อย ส่งผลให้ค่าความแกร่งลดลง

### 3.7 ผลการเปรียบเทียบการใช้แก๊ส

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบการใช้แก๊ส

| อุณหภูมิ          | ปริมาณแก๊สที่ใช้ | ค่าความร้อนสุทธิ | เผา 1 ครั้ง เป็นเงิน |
|-------------------|------------------|------------------|----------------------|
| 1230 องศาเซลเซียส | 23 กิโลกรัม      | 1133.81 เมกะจูล  | 426.42 บาท           |
| 1180 องศาเซลเซียส | 17 กิโลกรัม      | 838.03 เมกะจูล   | 315.18 บาท           |

การทดสอบใช้เตาไฟเบอร์สำหรับเผาทดสอบ (L.P.G. Kiln) ขนาด 1 คิวบิกเมตร ใช้แก๊ส 1 ถึงขนาดถังบรรจุ 48 กิโลกรัม เป็นเชื้อเพลิง ทำการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ใช้เวลาในการเผา 8 ชั่วโมง ทำการเย็นไฟที่อุณหภูมิสูงสุด 15 นาที เพื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊สที่ใช้ในการเผา ผลการทดลองพบว่า การใช้ฟrit เพื่อลดอุณหภูมิในการเผาสามารถประหยัดการใช้แก๊สได้ถึงร้อยละ 12.5 ประหยัดค่าใช้จ่ายในการเผาลงเป็นเงิน 111.28 บาท

### 4. การอภิปรายและสรุปผลการวิจัย

สามารถเกิดเคลือบไฟต่ำเผาที่อุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียส โดยเมื่อฟrit ได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่หลอมตัว สารประกอบของฟrit จะแตกโครงสร้างเป็นออกไซด์ เมื่อหลอมเป็นน้ำแก้ว ออกไซด์เหล่านี้จะแตกตัวกลายเป็นไอออน และนำไปสู่สารประกอบอื่นๆเกิดการหลอมตัว และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการเผา ไอออนเหล่านั้นก็กลับมาเรียงตัวกันอย่างรวดเร็วในรูปแบบโครงสร้างที่ไร้ระเบียบ เกิดเป็นเคลือบใส ส่งผลให้ การวิเคราะห์ปริมาณของฟrit อุตสาหกรรมทั้ง 3 ชนิดที่ใช้แล้วทำให้เกิดการหลอมตัวมากที่สุดในแต่ละชุดข้อมูล คือที่ปริมาณร้อยละ 90 เมื่อลดปริมาณการเติมฟrit พบความสว่างและค่าความขาวลดลง ที่ปริมาณการใช้ฟrit 30 ถึงร้อยละ 10 เคลือบมีลักษณะผิวด้าน เนื่องจากเคลือบสุกตัวไม่สมบูรณ์ ผลการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเคลือบหลังการเผา พิจารณาความแข็งของผิวเคลือบ พบเมื่อลดปริมาณการเติมฟrit ลง ค่าความแข็งจะลดลงตาม เนื่องจากเคลือบไม่หลอมตัว เป็นเนื้อแก้วฉาบบริเวณผิวแห่งทดสอบ ส่งผลให้แห่งทดสอบหักไม่สามารถอ่านค่าได้

การวิเคราะห์พบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนที่พบระหว่างเคลือบและเนื้อดินมีค่าใกล้เคียงกัน จึงไม่เกิดการร้าวตัว ภายหลังการเผา ผลการวิเคราะห์ค่าความแกร่งของเนื้อดิน พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อลดอุณหภูมิในการเผาลง ค่าความแกร่งของเนื้อดินลดลงเพียงเล็กน้อย คาดว่าเนื่องจากการเผาในอุณหภูมิต่ำเกิดมัลไลต์ได้น้อย

เมื่อสังเกตปริมาณการใช้แก๊สในเผาขึ้นงาน 1 เตา ที่อุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียส สามารถลดการใช้แก๊สลงจากเดิมถึง 6 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 12.5 ปริมาณความร้อนสุทธิในการเผาลดลง ส่งผลให้ประหยัดค่าใช้จ่ายจากเดิม โดยทางห้างหุ้นส่วนจำกัดดินเผาแหลมทอง เลือกใช้การเติมฟrit ที่ร้อยละ 70 เนื่องจากมีค่าการทดสอบและราคาของวัตถุดิบที่เหมาะสม อีกทั้งผลิตภัณฑ์ของทางโรงงานเป็นจำพวก ลูกกรงเซรามิก ซึ่งไม่ได้รับการขัด ล้าง บริเวณผิวเคลือบ จึงทำให้ค่าความแข็งและค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน ดังกล่าวสามารถยอมรับได้

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทางหุ้นส่วนจำกัดดินเผาแหลมทองจังหวัดลำปาง และบริษัท เค.เอส.เซรามิก ที่ได้เอื้อเฟื้อวัตถุดิบ และสถานที่ ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

- ครุฑินทร์ สายอินทวงศ์. (2555). สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.thaiceramicsociety.com/ch\\_heat.php](http://www.thaiceramicsociety.com/ch_heat.php)
- ผู้จัดการออนไลน์. (2555). เซรามิกลำปางประยุกต์ศาสตร์เร่งหาตลาดใหม่-กระจายสินค้าทั่วประเทศ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.manager.co.th/Local/ViewNews.aspx?NewsID=9510000033733>
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2547). รวมสูตรเคลือบเซรามิกซ์. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- วรรณดา ต.แสงจันทร์., ลดา พันธุ์สุขุมธนา. (2555). การพัฒนาเคลือบไฟต่ำ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.thaiceramicsociety.or.th/pdf/Article/47.pdf>
- ศักดิ์พล เทียนเสมอ. (2553). การพัฒนาส่วนผสมเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ลูกกรงเซรามิก 1230 องศาเซลเซียส. รายงานการปฏิบัติการฉบับสมบูรณ์, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. (2534). น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.
- สุรินทร์ ลิ้มปนาท. (2555). การพัฒนาเคลือบไฟต่ำในผลิตภัณฑ์ดินแดง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.research.chula.ac.th/cu\\_online/2553/vol\\_29\\_1.html](http://www.research.chula.ac.th/cu_online/2553/vol_29_1.html)
- A.Paul 2<sup>nd</sup>. (1990). *Chemistry of Glasses*. Chapman and Hall London .
- Seeger. (1902). *Collected writings* – Chem. Pub.