ผลของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของดินขาวลำปาง ที่เติมวัตถุดิบกลุ่มฟลักซ์ต่างกัน

THE COEFFICIENT OF THERMAL EXPANSION OF LAMPANG KAOLINITE AT DIFFERENT FLUX MATERIAL

*ธมลวัฒน์ หิรัญชาติอนันต์**

Tamonwat Hirunchart-a-nan*

สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

Program of Ceramic Technology, Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University.

***Corresponding author, E-mail:** Tamonwat_hirunchartanan@hotmail.com*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของวัตถุดิบกลุ่มฟลักซ์ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของดินขาวลำปาง และหาความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของดินขาวลำปาง และน้ำยาเคลือบที่เหมาะสม สามารถใช้ร่วมกันได้โดยไม่เกิดตำหนิชนิด “การราน” วิธีดำเนินงานวิจัยแบ่งเป็น 2 ตอน การวิจัยตอนที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของวัตถุดิบกลุ่มฟลักซ์ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของดินขาวลำปางพบว่า ปริมาณของวัตถุดิบกลุ่มฟลักซ์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของดินขาวลำปางเพิ่มขึ้น การวิจัยตอนที่ 2 การขยายผลของการวิจัย โดยการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างดินขาวลำปาง และน้ำยาเคลือบพบว่า ดินขาวลำปางและน้ำยาเคลือบจะสามารถใช้ร่วมกัน โดยไม่เกิดปัญหาการรานตัวเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของดินขาวลำปาง และเคลือบมีความแตกต่างกันไม่เกิน 3.4778×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$

คำสำคัญ: ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน ดินขาว ดินขาวลำปาง วัตถุดิบ ฟลักซ์

Abstract

This research aims to study the influence of the flux material affecting the thermal expansion coefficient of the Lampang kaolin and to find correlation between coefficients of thermal expansion of the Lampang kaolin and the glaze without having the “crazing” defect. The experiments were divided into two parts. Firstly, the experiment studied influence of the flux material affecting the thermal expansion coefficient of the Lampang kaolin. The research suggests that the increasing amount of flux material affected the rise of thermal expansion coefficients of Lampang kaolin. The second part of the research studied deeper in a relationship between Lampang kaolin and the glaze. The result showed that Lampang kaolin and the glaze can be combinded, and the crazing in the glaze can be prevented when the different thermal expansion coefficients of Lampang kaolin and glaze was less than $3.4778 \times 10^{-6}{}^{\circ}C^{-1}$.

Keywords: Thermal Expansion Coefficient, Kaolin, Lampang Kaolin, Material, Flux

บทนำ

แร่ดินขาวมีต้นกำเนิดมาจากหินแกรนิตก่อนกลายสภาพเป็นแร่หินฟันม้า และถูกกัดกร่อนด้วยก๊าซ และน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างทั้งทางกายภาพและทางเคมีเป็นเวลานาน ทำให้โซเดียมไอออน โปแตสเซียมไอออน และซิลิกาบางส่วนถูกชะล้างจากโครงสร้าง เหลือเพียงผลึกของอะลูมินา ซิลิกา และน้ำ ซึ่งแปรสภาพกลายเป็นดินในที่สุด ดินขาวถูกจัดในในดินประเภทปฐมภูมิคือ ดินที่เกิดแล้วอยู่กับที่ ไม่เคลื่อนย้ายออกจากแหล่งกำเนิดแต่อย่างใด ดินชนิดนี้เป็นดินที่เกิดในแหล่งภูเขา ดังนั้นจึงมีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาวถึงสีขาวครีม มีอนุภาคขนาดใหญ่ มีอุณหภูมิการหลอมตัวสูง จุดสุกตัวสูง มีความเหนียวน้อย [1] มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ซิลิกา อะลูมินา โปแตสเซียมออกไซด์ และโซเดียมออกไซด์ เป็นต้น มีองค์องค์ประกอบทางแร่ที่สำคัญ ได้แก่ แร่อิลไลต์ แร่เคโอลิไนท์ แร่ควอตซ์ และแร่แอลไบท์ [2] องค์ประกอบเหล่านี้เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของดินขาวยกตัวอย่างเช่น ดินขาวที่มีองค์ประกอบของอะลูมินาปริมาณมาก ดินจะมีความบริสุทธิ์สูง และมีอุณหภูมิการหลอมสูง ดินขาวที่มีองค์ประกอบของโปแตสเซียมออกไซด์และโซเดียมออกไซด์ปริมาณมากจะมีอุณหภูมิการหลอมต่ำ จากปัจจัยทางด้านองค์ประกอบทางเคมี ทำให้แร่ดินขาวแต่ละแหล่งมีสมบัติที่แตกต่าง เช่น สี จุดสุกตัว อุณหภูมิการหลอม ดังนั้นการนำมาใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จึงต้องทราบสมบัติเบื้องต้นของแร่ดินขาว แหล่งแร่ดินขาวในไทย ได้แก่ ดินขาวระนอง ดินขาวนราธิวาส ดินขาวอุตรดิตถ์ และดินขาวลำปาง

ดินขาวลำปางเป็นแหล่งแร่ดินขาวที่มีสมบัติเหมาะในการนำไปใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดิน หรือสามารถนำมาใช้ขึ้นรูปได้เลยโดยไม่ต้องผสมวัตถุดิบชนิดอื่น เนื่องจากเป็นแหล่งดินชนิดเดียวที่มีแร่แอลไบต์เป็นองค์ประกอบแร่ [3] ดังนั้นจึงสามารถหลอมตัวได้ด้วยตัวเองที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก การนำแร่ดินขาวมาใช้ผลิต ผู้ผลิตต้องทราบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของดินขาว เนื่องจากผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะใช้น้ำเคลือบ เคลือบผิวเพื่อเพิ่มความมันวาว และความสวยงาม โดยทั่วไปน้ำเคลือบ และเนื้อดินหลังการเผาจะมีความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนใกล้เคียงกัน จึงสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ ไม่เกิดตำหนิชนิด “การราน” ในชั้นเคลือบ [4] เพราะหากนำน้ำยาเคลือบมาใช้กับเนื้อดินที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนที่ไม่สัมพันธ์กันจะแสดงตำหนิชนิด “การราน” ในชั้นเคลือบ [5] ซึ่งเป็นปัญหาที่สามารถสังเกตได้อย่างชัดเจน ปัจจัยที่ทำให้เนื้อดินมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน คือปริมาณของวัตถุดิบกลุ่มฟลักซ์ สาเหตุเพราะวัตถุดิบกลุ่มดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนสูง [6] หากมีปริมาณมากในแร่ดินขาวจะส่งผลต่อการหลอมตัว และการหดตัวสูงตาม เนื้อดินเกิดการหดตัวสูง แร่กลุ่มซิลิกาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในขั้นตอนของการเผา ส่งผลต่อการขยายตัวและหดตัว ด้วยเหตุนี้หากเราสามารถทราบปริมาณของวัตถุดิบกลุ่มฟลักซ์ที่เป็นองค์ประกอบของแร่ดินขาวที่ไม่ทำให้เกิดการหดตัวสูงหรือต่ำมากเกินไปจะทำให้ควบคุมการรานตัวของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจาการใช้แหล่งแร่ดินขาวต่างๆ หรือทำนายผลจากการนำน้ำยาเคลือบต่างๆ มาใช้เคลือบบนเนื้อดินชนิดนั้นๆ ได้อย่างเหมาะสม

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะเติมวัตถุดิบในกลุ่มฟลักซ์ที่มีสมบัติเป็นตัวหลอมละลายลงในดินขาวลำปางเพื่อศึกษาอิทธิพลของวัตถุดิบกลุ่มดังกล่าวต่อค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของดินขาว ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ปริมาณของวัตถุดิบกลุ่มหลอมในเนื้อดินแปลผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของดินขาวอย่างไร และสามารถเลือกดินขาวมาใช้ได้

ตรงกับความต้องการของผู้ประกอบการ เลือกใช้ให้เหมาะสมกับน้ำเคลือบก่อนการเคลือบลงบนผลิตภัณฑ์ ควบคุมปัจจัยการรานตัวของผิวเคลือบ ลดความเสียหายที่เกิดจากการรานตัวของผิวเคลือบบนผลิตภัณฑ์ลงได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของวัตถุดิบกลุ่มฟลักซ์ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของดินขาวลำปาง

2. เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของดินขาวลำปางและน้ำยาเคลือบที่เหมาะสม สามารถใช้ร่วมกันได้โดยไม่เกิดตำหนิชนิด “การราน”

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้แบ่งการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์หลักออกเป็น 2 ตอนคือ การวิจัยตอนที่ 1 เป็นการศึกษาอิทธิพลของวัตถุดิบกลุ่มฟลักซ์ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของดินขาวลำปาง การวิจัยตอนที่ 2 เป็นการวิจัยเพื่อขยายผลของการวิจัย โดยนำผลการวิจัยนำมาทดลองใช้งานหาความสัมพันธ์ระหว่างดินขาวลำปาง และน้ำยาเคลือบ เพื่อทำให้งานวิจัยควบคุมกระบวนการผลิตเซรามิก และสามารถนำผลวิจัยไปใช้เทียบเคียงได้จริงกับสภาพการที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมเซรามิก

การวิจัยตอนที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของวัตถุดิบกลุ่มฟลักซ์ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของดินขาวลำปาง

ผู้วิจัยได้แบ่งการวิจัยออกเป็น 4 ขั้นตอน เพื่อออกแบบการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของดินขาวลำปาง โดยได้กำหนดขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดตัวแปร

ตัวแปรต้น ได้แก่ อัตราส่วนผสมของสูตรดินที่มีดินขาวลำปางเป็นส่วนผสม แสดงผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของสูตรดินที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อดินสูตรที่	วัตถุดิบ (ร้อยละโดยน้ำหนักผงแห้ง)		
	โซดาเฟลด์สปาร์	ดินขาวลำปาง	ซิลิกา
1	10	60	30
2	30	40	30

ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินสูตรที่ 1 และ 2

ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ปริมาณน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสม ขนาดของตัวอย่าง อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ อุณหภูมิการเตรียมตัวอย่าง อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ทดสอบตัวอย่าง

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสม

(1) เตรียมวัตถุดิบ ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยเตรียมวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ โซดาเฟลด์สปาร์ ดินขาวลำปาง และซิลิกา นำมากรองผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช เพื่อเตรียมอนุภาคให้มีขนาด และรูปทรงที่ใกล้เคียงกัน

(2) ชั่งน้ำหนักวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสม ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่งในการชั่งน้ำหนัก แต่ละอัตราส่วนผสมใช้น้ำหนักวัตถุดิบ 500 กรัม โดยเตรียมปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างเนื้อดิน

เนื้อดินสูตรที่	วัตถุดิบ (กรัม)		
	โซดาเฟลด์สปาร์	ดินขาวลำปาง	ซิลิกา
1	50	300	150
2	150	200	150

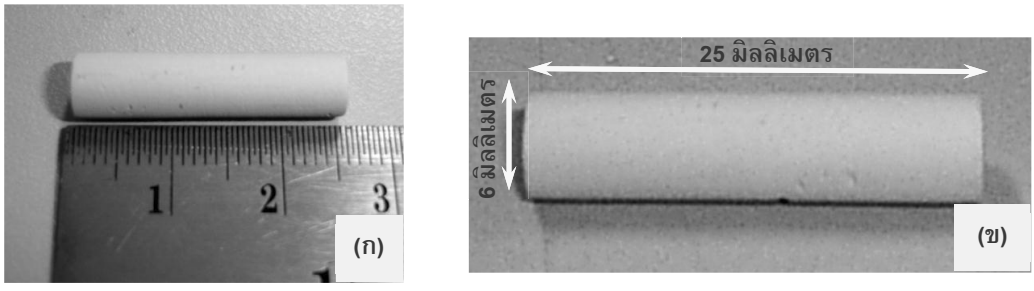
(3) ผสมวัตถุดิบ ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยเติมน้ำลงไปในวัตถุดิบปริมาณน้ำร้อยละ 250 กรัม โดยน้ำหนักของผงแห้ง จากนั้นนวดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์

(1) ขึ้นรูปตัวอย่างเนื้อดิน ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยเตรียมตัวอย่างเนื้อดินแต่ละสูตรก่อนการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ โดยเริ่มจากการรีดเนื้อดินด้วยเครื่องรีดดินชนิดคันโยกมือ รีดดินให้มีความยาว 4 เซนติเมตร

(2) การเผาตัวอย่าง ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยเผาตัวอย่างเนื้อดินด้วยเตาเผาระบบไฟฟ้าอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 2.5 องศาเซลเซียสต่อนาที

(3) การขัด การตัด และวัดขนาดตัวอย่าง ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยนำตัวอย่างเนื้อดินหลังการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เตรียมตัวอย่างเพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ เริ่มจากตัดตัวอย่างเนื้อดินให้มีความยาว 30 มิลลิเมตร ขัดตัวอย่างให้เป็นแท่งดินมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร มีความยาว 25 มิลลิเมตร หลังจากเตรียมตัวอย่างเสร็จ อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำตัวอย่างแท่งดินไปทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผลค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่อไป



ภาพที่ 1 (ก) ลักษณะตัวอย่างแท่งดิน (ข) ขนาดตัวอย่างแท่งดินหลังการเตรียมตัวอย่าง

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ตัวอย่างและผลการวิจัยตอนที่ 1

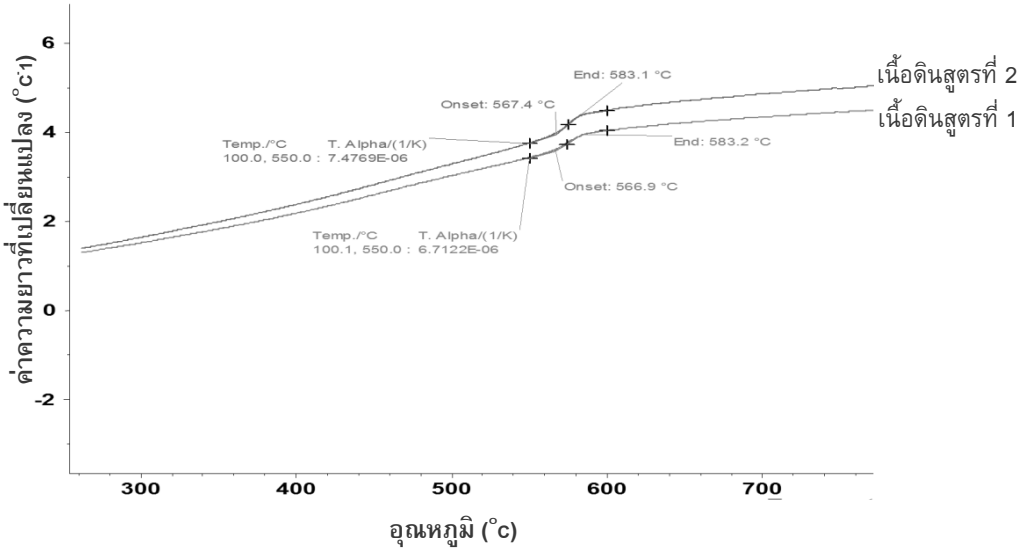
(1) วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยวิเคราะห์ตัวอย่างแท่งดินด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ โดยนำตัวอย่างวางในเครื่อง เปิดห้องเผาออก จากตัวเครื่องวางแท่งดินลงในช่องสำหรับวางตัวอย่าง ปิดห้องเผากลับยังตำแหน่งเดิม และเริ่มการวิเคราะห์

(2) ผลการวิจัยตอนที่ 1 ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้นำผลการวิจัยในขั้นตอนการวิจัยที่ 1 มาวิเคราะห์ผลการทดลองที่เกิดขึ้น เพื่อนำผลที่เกิดขึ้นใช้ในการดำเนินการวิจัยขั้นตอนที่ 2 ต่อไป

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยตอนที่ 1

ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินสูตรที่ 1 และ 2 ได้ผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินทั้ง 2 สูตร

จากภาพพบว่า เนื้อดินสูตรที่ 1 ที่มีส่วนผสมของโซดาเฟลด์สปาร์ ดินขาวลำปาง และ ซิลิกา ร้อยละโดยน้ำหนักผงแห้ง 10 60 และ 30 ตามลำดับ มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนเท่ากับ 6.7122×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ เนื้อดินสูตรที่ 2 ที่มีส่วนผสมของโซดาเฟลด์สปาร์ ดินขาวลำปาง และซิลิกา ร้อยละโดยน้ำหนักผงแห้ง 30 40 และ 30 ตามลำดับ มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนเท่ากับ 7.4769×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ โดยเนื้อดินสูตรที่ 2 มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนมากกว่าเนื้อดินสูตรที่ 1 เท่ากับ 0.7647×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ ผู้วิจัยได้เลือกใช้เนื้อดินสูตรที่ 2 นำมาใช้ทดลองเพื่อขยายผลการวิจัย

ผลการวิจัยตอนที่ 2 การขยายผลของการวิจัย โดยการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและน้ำยาเคลือบ

ในตอนที่ 2 ผู้วิจัยได้แบ่งการวิจัยออกเป็น 5 ขั้นตอน โดยได้กำหนดขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดตัวแปร

ตัวแปรต้น ได้แก่

1. อัตราส่วนผสมของสูตรดินที่ 2 แสดงดังตารางที่ 1

2. อัตราส่วนผสมของสูตรน้ำยาเคลือบ แสดงผลดังตารางที่ 3

ตัวแปรตาม ได้แก่

1. ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินสูตรที่ 2

2. ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของน้ำยาเคลือบ

ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ปริมาณน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสม ขนาดของตัวอย่าง อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ อุณหภูมิการเตรียมตัวอย่าง อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ทดสอบตัวอย่าง

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมของสูตรน้ำยาเคลือบ

สูตรน้ำยาเคลือบ	วัตถุดิบ (ร้อยละโดยน้ำหนักผงแห้ง)		
	โปแตสเฟลด์สปาร์	แคลเซียมคาร์บอเนต	ซิลิกา
1	83	9	8

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมอัตราส่วนผสมน้ำยาเคลือบ

(1) คำนวณอัตราส่วนผสมของน้ำยาเคลือบ ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาอัตราส่วนผสมของน้ำยาเคลือบที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส และคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของน้ำยาเคลือบให้ใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินสูตรที่ 2 ผู้วิจัยเลือกใช้สูตรน้ำยาเคลือบและคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของน้ำยาเคลือบ ดังนี้

สูตรน้ำยาเคลือบที่ใช้คือ

โปแตสเฟลด์สปาร์ ร้อยละ 83
แคลเซียมคาร์บอเนต ร้อยละ 9
ซิลิกา ร้อยละ 8

วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของเคลือบ

ขั้นแรกหาเปอร์เซ็นต์ออกไซด์ที่อยู่ในรูปของสารประกอบจากสูตรน้ำยาเคลือบก่อน โดยใช้ร้อยละน้ำหนักของวัตถุดิบหารด้วยน้ำหนักโมเลกุลของสารแต่ละตัว

โปแตสเฟลด์สปาร์ 83 / 556 = 0.1493
แคลเซียมคาร์บอเนต 9 / 100 = 0.0900
ซิลิกา 8 / 60 = 0.1333

ขั้นที่ 2 สร้างตารางคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของออกไซด์แต่ละตัว

ตารางที่ 4 วิธีการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของออกไซด์

วัตถุดิบ	K_2O	CaO	Al_2O_3	SiO_2
ใช้ โปแตสเฟลด์สปาร์ 0.1493 มี	0.1493	-	0.1493	0.8958
ใช้ แคลเซียมคาร์บอเนต 0.0900 มี	-	0.0900	-	-
ใช้ ซิลิกา 0.1333 มี	-	-	-	0.1333
รวมเปอร์เซ็นต์ออกไซด์แต่ละตัว	**0.1493**	**0.0900**	**0.1493**	**1.0291**

สูตรคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน

$$\alpha = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots a_nX_n$$

เมื่อ

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (Thermal Expansion Coefficients) โดยมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส$^{-1}$

a คือ เปอร์เซ็นต์ออกไซด์

X คือ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของออกไซด์ (x 10^{-7})

แทนค่าเมื่อ

a_1 **(K_2O)** = 0.1493 X_1 **(K_2O)** = 3.30×10^{-7}

a_2 **(CaO)** = 0.0900 X_2 **(CaO)** = 1.50×10^{-7}

a_3 **(Al_2O_3)** = 0.1493 X_3 **(Al_2O_3)** = 0.61×10^{-7}

a_4 **(SiO_2)** = 1.0291 X_4 **(SiO_2)** = 0.37×10^{-7}

แทนค่า

$$\alpha = [(0.1493 \times 3.30 \times 10^{-7})+(0.0900 \times 1.50 \times 10^{-7})+(0.1493 \times 0.61 \times 10^{-7}) +(1.0291 \times 0.3710^{-7})]$$

$$= [(0.4927 \times 10^{-7}) + (0.1350 \times 10^{-7}) + (0.0911 \times 10^{-7}) + (0.3808 \times 10^{-7})]$$

$$= (0.4927+ 0.1350 + 0.0911+ 0.3808) \times 10^{-7}$$

$$= 1.0996 \times 10^{-7} \text{ องศาเซลเซียส}^{-1} \text{ หรือ } 10.996 \times 10^{-6} \text{ องศาเซลเซียส}^{-1}$$

จากการคำนวณพบว่า น้ำยาเคลือบมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน 10.996×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ จากนั้นผู้วิจัยได้เตรียมตัวอย่างน้ำยาเคลือบเพื่อใช้วิเคราะห์ผลด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ต่อไป เพื่อนำค่ามาใช้เปรียบเทียบกับการคำนวณผลจากค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของออกไซด์ดังกล่าว

ขั้นตอนที่ 3 การเตรียมน้ำยาเคลือบ

(1) เตรียมวัตถุดิบ ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยเตรียมวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ โปแตสเฟลด์สปาร์ แคลเซียมคาร์บอเนต และซิลิกา นำมาผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช เพื่อเตรียมอนุภาคให้มีขนาด และรูปทรงที่ใกล้เคียงกัน

(2) ชั่งน้ำหนักวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสม ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่งในการชั่งน้ำหนัก ใช้น้ำหนักวัตถุดิบทั้งหมด 500 กรัม โดยเตรียมปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณผงวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ใช้ในการเตรียมน้ำยาเคลือบ

สูตรน้ำยาเคลือบ	โปแตสเฟลด์สปาร์ (กรัม)	แคลเซียมคาร์บอเนต (กรัม)	ซิลิกา (กรัม)
	415	45	40

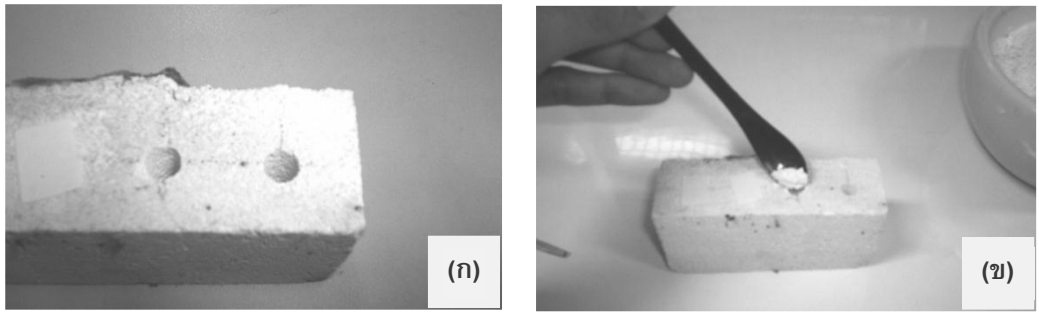
(3) บดวัตถุดิบ ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องบดความเร็วสูง หม้อบดขนาดความจุ 500 มิลลิลิตร เติมน้ำ 250 มิลลิลิตร การบดใช้เวลา 5 นาที

ขั้นตอนที่ 4 การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์

(1) ขึ้นรูปตัวอย่างน้ำยาเคลือบ ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยทำเพื่อนำผลของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของน้ำยาเคลือบที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของน้ำยาเคลือบที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ เพื่อใช้

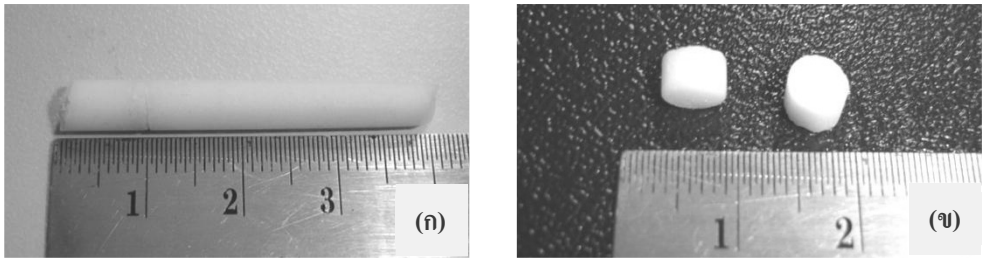
ยืนยันผลของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนจากการคำนวณ การเตรียมตัวอย่างน้ำยาเคลือบก่อนการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ เริ่มจากการชั่งน้ำยาเคลือบตามอัตราส่วนผสมบดแห้งในโกร่งบดสารเป็นเวลา 10 นาที

(2) การเผาตัวอย่าง ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยเจาะหลุมบนอิฐทนไฟชนิดเบาให้เป็นรูขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร ลึก 4 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นแม่แบบในการเตรียมตัวอย่าง เติมผงน้ำยาเคลือบในรูครั้งละ 1 – 2 กรัม และทุกครั้งที่เติมผงน้ำยาเคลือบต้องอัดให้แน่น เพื่อให้ผงน้ำยาเคลือบมีความหนาแน่น เพราะเมื่อน้ำยาเคลือบหลอมตัวจะไม่เกิดโพรงอากาศ หรือช่องว่างขนาดใหญ่ จากนั้นนำตัวอย่างเผาในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1220 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 2.5 องศาเซลเซียสต่อนาที



ภาพที่ 3 (ก) แบบเตรียมตัวอย่างน้ำยาเคลือบ (ข) การเติมตัวอย่างน้ำยาเคลือบในแบบ

(3) การขัด การตัด และวัดขนาดตัวอย่าง ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยนำตัวอย่างเคลือบหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1220 องศาเซลเซียส เตรียมตัวอย่างเพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ เริ่มจากนำตัวอย่างออกจากแม่แบบที่ทำจากอิฐทนไฟ ขัดตัวอย่างให้มีขนาดตามที่กล่าวไว้ข้างต้น แต่เนื่องจากเคลือบเป็นตัวอย่างที่มีความหนืดต่ำกว่าเนื้อดิน ดังนั้นการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์จึงเตรียมตัวอย่างให้มีขนาดที่เล็กกว่าเพื่อป้องกันการหลอมติดกับท่อวางตัวอย่าง และอุปกรณ์อื่นๆ แสดงดังภาพ ข



ภาพที่ 4 (ก) ลักษณะตัวอย่างเคลือบที่ขัดเสร็จ (ข) ตัวอย่างเคลือบที่จะนำไปทดสอบ

ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์ตัวอย่าง การทดสอบเคลือบลงบนเนื้อดิน และผลการวิจัยตอนที่ 2

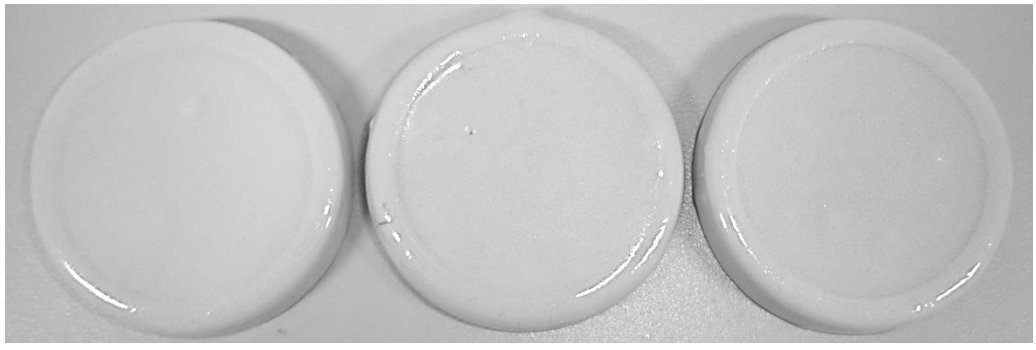
(1) วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยวิเคราะห์ตัวอย่างเคลือบด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ โดยใช้วิธีการเหมือนกับการวิจัยในข้างต้น

(2) การทดสอบเคลือบลงบนเนื้อดิน ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยนำน้ำยาเคลือบ เคลือบลงบนเนื้อดินสูตรที่ 2 เผาด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส สังเกตผลที่เกิดขึ้น

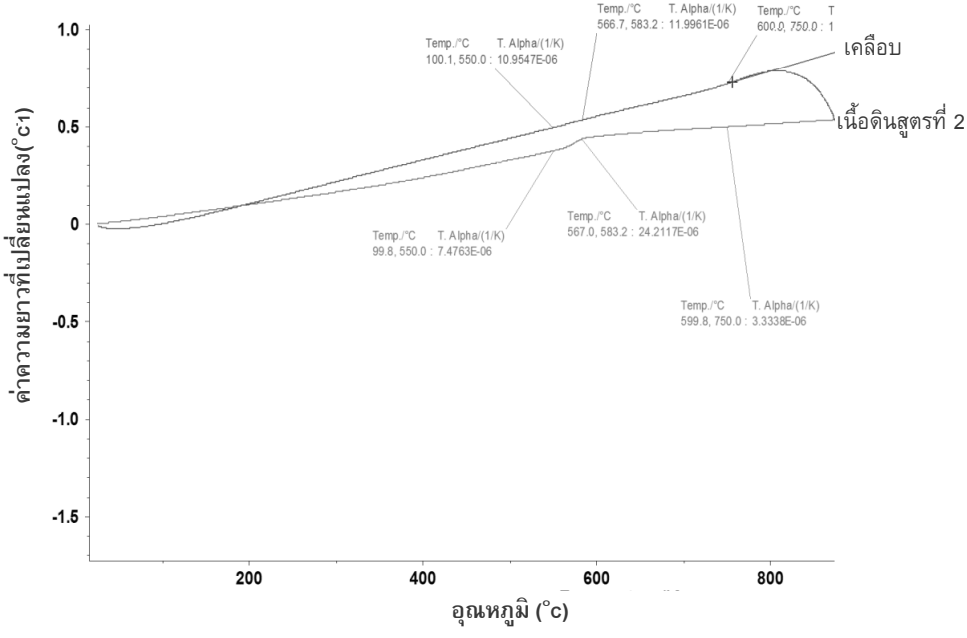
(3) ผลการวิจัยตอนที่ 2 ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้นำค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินสูตรที่ 2 และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของน้ำยาเคลือบ นำผลมาเปรียบเทียบกัน

ผลการวิจัยตอนที่ 2

ผลการนำน้ำยาเคลือบ เคลือบลงบนเนื้อดินสูตรที่ 2 และผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินสูตรที่ 2 และน้ำยาเคลือบ ได้ผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 5 และ 6



ภาพที่ 5 ตัวอย่างงานวิจัยหลังการนำน้ำยาเคลือบ เคลือบลงบนเนื้อดินสูตรที่ 2



ภาพที่ 6 ผลวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินสูตรที่ 2 และน้ำยาเคลือบ

จากภาพที่ 5 พบว่าน้ำยาเคลือบ และเนื้อดินสูตรที่ 2 สามารถนำมาใช้งานรวมกันได้ โดยไม่เกิดลักษณะการรานตัว อันเป็นสาเหตุที่เกิดขึ้นจากค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินและน้ำยาเคลือบไม่สัมพันธ์กัน

จากภาพที่ 6 พบว่า เนื้อดินสูตรที่ 2 ที่มีส่วนผสมของโซดาเฟลด์สปาร์ ดินขาวลำปาง และซิลิกา ร้อยละโดยน้ำหนักผงแห้ง 30 40 และ 30 ตามลำดับ มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนเท่ากับ 7.4769×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ น้ำยาเคลือบที่มีส่วนผสมของโปแตสเฟลด์สปาร์ แคลเซียมคาร์บอเนต และซิลิกา ร้อยละโดยน้ำหนักผงแห้ง 83 9 และ 8 ตามลำดับ มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนหลังการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ มีค่าเท่ากับ 10.9547×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ และเมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของน้ำยาเคลือบที่ได้จากการคำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของออกไซด์ คือ 10.996×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ เปรียบเทียบกัน พบว่า มีความแตกต่างกัน 0.0413×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินสูตรที่ 2 และน้ำยาเคลือบเปรียบเทียบกัน พบว่าน้ำยาเคลือบมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนมากกว่าเนื้อดินสูตรที่ 2 เท่ากับ 3.4778×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$

สรุปและอภิปรายผล

สรุปการวิจัยตอนที่ 1

เนื้อดินสูตรที่ 1 ที่มีปริมาณดินขาวลำปางร้อยละ 60 ทำการเติมโซดาเฟลด์สปาร์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักผงแห้งลงไปเป็นส่วนผสม มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนเท่ากับ 6.7122×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนน้อยกว่าเนื้อดินสูตรที่ 2 ที่มีปริมาณดินขาวลำปางร้อยละ 40 ที่ทำการเติมโซดาเฟลด์สปาร์ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักผงแห้งเป็นส่วนผสม ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนคือ 7.4769×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ โดยเนื้อดินสูตรที่ 2 มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนมากกว่าเนื้อดินสูตรที่ 1 เท่ากับ 0.7647×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณของวัตถุดิบกลุ่มฟลักซ์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของดินขาวลำปางเพิ่มขึ้น

สรุปการวิจัยตอนที่ 2

น้ำยาเคลือบหลังการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนมีค่าเท่ากับ 10.9547×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ และเมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของน้ำยาเคลือบที่ได้จากการคำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของออกไซด์ คือ 10.996×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ เปรียบเทียบกัน พบว่า มีความแตกต่างกัน 0.0413×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$

เมื่อนำน้ำยาเคลือบ เคลือบลงบนเนื้อดินสูตรที่ 2 มีปริมาณดินขาวลำปางร้อยละ 40 มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนเท่ากับ 7.4769×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ โดยน้ำยาเคลือบมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนมากกว่าเนื้อดินสูตรที่ 2 เท่ากับ 3.4778×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ พบว่าน้ำยาเคลือบ และเนื้อดินสูตรที่ 2 สามารถนำมาใช้งานรวมกันได้ โดยไม่เกิดลักษณะการรานตัว อันเป็นสาเหตุที่เกิดขึ้นจากค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินและน้ำยาเคลือบไม่สัมพันธ์กัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของดินขาวลำปางและน้ำยาเคลือบหากมีความแตกต่างกันอยู่ระหว่าง 3.4778×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ จะสามารถใช้ร่วมกันได้โดยไม่เกิดลักษณะการรานตัว

อภิปรายผลการวิจัยตอนที่ 1

จากภาพที่ 2 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินทั้ง 2 สูตรการทดลอง มีค่าต่างกันคือ ช่วงอุณหภูมิ 100 – 550 องศาเซลเซียส เนื้อดินสูตรที่ 1 (เส้นสีแดง) มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน 6.7122×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ เนื้อดินสูตรที่ 2 (เส้นสีเขียว) มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน 7.4769×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ จากผลการวิจัยพบว่า เนื้อดินทั้ง 2 สูตร มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนสูง ซึ่งสามารถคำนวณค่าดังกล่าวได้จากการเปลี่ยนแปลงขนาดยาวของแท่งทดสอบและความสัมพันธ์ของสมการดังนี้

$$\alpha = \Delta l / lo \Delta T \quad (1)$$

เมื่อ Δl = ความยาวของชิ้นงานที่เปลี่ยนไป

lo = ความยาวของชิ้นงาน

ΔT = ค่าของอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

หาก Δl มีค่ามาก นั้นก็แสดงว่า เนื้อดินหรือสารนั้นๆ มีการขยายตัวมาก ในช่วงอุณหภูมิ 100 – 550 องศาเซลเซียส เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผลึกดิน ช่วงอุณหภูมิ 450 – 600 องศาเซลเซียส เกิดปฏิกิริยาขจัดกลุ่มไฮดรอกซิลของแร่เคโอลิไนต์ ซึ่งคือกระบวนการที่กลุ่มไฮดรอกซิลหลดออกไปในรูปแบบของไอน้ำ เคโอลิไนต์เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกลายเป็นมีตาเคโอลิไนต์ที่มีขนาดเล็กลง มีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน และดินมีการขยายตัวเนื่องจากเกิดโพรงอากาศขึ้น [7] นอกจากนี้เนื้อดินทั้ง 2 สูตรการทดลองเกิดการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นทันทีเมื่อเผาถึงที่อุณหภูมิ 566 องศาเซลเซียส เนื่องจากช่วงอุณหภูมิดังกล่าว ควอทซ์เกิดการขยายตัวอย่างฉับพลันเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจาก α - Quartz เป็น β – Quartz [8]

ส่วนสาเหตุที่เนื้อดินสูตรที่ 2 เส้นสีเขียวมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนมากกว่าเนื้อดินสูตรที่ 1 เส้นสีแดง เนื่องจากเนื้อดินสูตรที่ 2 มีปริมาณของวัตถุดิบกลุ่มหลอมมากกว่าเนื้อดินสูตรที่ 1 ซึ่งฟลักซ์ชนิดโซดาเฟลด์สปาร์ที่เติมลงในเนื้อดินมีสมบัติเป็นตัวช่วยหลอมละลาย และทำให้เนื้อดินหลอมละลายได้ดีขึ้น [9] นอกจากนี้แร่ในกลุ่มเฟลด์สปาร์นิยมใช้เพิ่มเป็นตัวช่วยลดจุดหลอม ดังนั้นการเพิ่มปริมาณของโซดาเฟลด์สปาร์ ส่งผลให้การหลอมตัวของเนื้อดินมากขึ้น [8] ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนจึงมากขึ้นตาม ดังนั้นเนื้อดินสูตรที่ 2 เส้นสีเขียวจึงมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน มากกว่าเนื้อดินสูตรที่ 1 เส้นสีแดง

อภิปรายผลการวิจัยตอนที่ 2

จากภาพที่ 6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของน้ำยาเคลือบที่เตรียมขึ้นจากการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของออกไซด์ ผลการคำนวณสูตรน้ำยาเคลือบได้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนเท่ากับ 10.996×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนเท่ากับ 10.9547×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ ซึ่งมีค่าต่างกันเพียง 0.0413×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ จากนั้นนำน้ำยาเคลือบเคลือบลงบนเนื้อดินสูตรที่ 2 ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนเท่ากับ 7.4769×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ ซึ่งมีค่าต่างกันคือ 3.4778×10^{-6} องศาเซลเซียส$^{-1}$ ผลการวิจัยพบว่าน้ำยาเคลือบและเนื้อดินสูตรที่ 2 สามารถใช้ร่วมกันได้ ไม่ปรากฏลักษณะการราน ซึ่งการรานตัวของเคลือบเกิดจากค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของเคลือบมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินมากเกินไป ดรุณี วัฒนศิริเวช และสุธี วัฒนศิริเวช [7]

ได้กล่าวว่า ในสภาวะนี้เคลือบจะอยู่ภายใต้แรงเค้นดึง ส่วนเนื้อดินจะอยู่ภายใต้แรงเค้นอัด โดยปกติแล้วชั้นของเนื้อดินจะมีความหนามากกว่าชั้นเคลือบ ดังนั้นชั้นของเคลือบจึงไม่สามารถดึงเนื้อดินให้หดลงเท่ากับตัวเองได้ เพราะมีแรงดึงที่น้อยกว่า ในทางกลับกันเนื้อดินกลับมีแรงดึงเคลือบให้ยืดออกมากกว่า เมื่อเคลือบกลายเป็นของแข็งจึงเกิดรานตัวเพราะถูกเนื้อดินยืดออกนั้นเอง แต่ผลการทดลองที่ได้ไม่เป็นไปตามนั้น เป็นเพราะค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของเคลือบและเนื้อดินมีความแตกต่างกันไม่มากพอที่จะส่งผลให้เคลือบอยู่ภายใต้แรงดึงเค้นที่มากพอจนเกิดการรานตัว

เอกสารอ้างอิง

[1] ไพจิตร อึ่งศิริวัฒน์. (2541). *เนื้อดินเซรามิก.* กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

[2] ธมลวัฒน์ หิรัญชาติอนันต์. (2557). *วัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก.* ลำปาง: มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

[3] เชี่ยวชาญ แสงทอง. (2553). *ผลการแทนที่เฟลด์สปาร์ด้วยอิลไลต์ต่อวิตทริฟีเคชั่น และสมบัติของเนื้อดินไตรแอกเซียลพอร์ซเลน.* ปริญญานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิชาวัสดุศาสตร์: มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.

[4] คชินท์ สายอินทวงศ์. (2559). *สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน คุณสมบัติที่สำคัญที่หลายคนมองข้าม.* สืบค้นเมื่อ 8 ธันวาคม 2559, จาก http://www.thaiceramicsociety.com/ch_heat.php

[5] --------. (2559). *ตำหนิปัญหาร้าวในผลิตภัณฑ์เซรามิก.* สืบค้นเมื่อ 8 ธันวาคม 2559, จาก http://www.thaiceramicsociety.com/ts_mark_broken.php

[6] --------. (2559). *แนวทางการแก้ไขตำหนิของผลิตภัณฑ์ที่มีผลมาจากค่า COE.* สืบค้นเมื่อ 8 ธันวาคม 2559, จาก http://www.thaiceramicsociety.com/ts_COE.php

[7] ดรุณี วัฒนศิริเวช; และ สุธี วัฒนศิริเวช. (2552). *การวิเคราะห์แร่ดิน เคลือบ และตำหนิในผลิตภัณฑ์เซรามิก.* กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[8] ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2539). *เซรามิกส์.* พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[9] อายุวัฒน์ สว่างผล. (2543). *วัตถุดิบที่ใช้แพร่หลายในงานเซรามิกส์.* กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.