ผลของตัวเติมและอุณหภูมิเผาต่อการผลิตแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ – มัลไลท์

Effect of Additives and Sintering Temperatures on Production of Cordierite – Mullite Support

นุชรีย์ ชมเชย[1*], ดรุณี ผ่องสุวรรณ[1] และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ[2]

Nucharee Chomchoey[1*], Darunee Bhongsuwan[1] and Tripob Bhongsuwan[2]

[1] *ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์*

[2] *ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์*

[1] *Department of Materials Science and Technology, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Thailand*

[2] *Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Thailand*

Received : 1 February 2019

Revised : 26 June 2019

Accepted : 18 August 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของตัวเติมและอุณหภูมิเผาในการผลิตแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ – มัลไลท์ โดยเริ่มจากเตรียมแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์จากวัตถุดิบ ดินขาว ดินดำ ทัลคัมและอลูมินา ขึ้นรูปโดยวิธีหล่อน้ำดินแบบหล่อตัน ทำการแปรค่าอุณหภูมิเผาแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์และอุณหภูมิเผาดินขาวเพื่อใช้เป็นวัสดุตัวเติมที่อุณหภูมิ 1200 1300 และ 1400°C พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาชิ้นทดสอบเพื่อให้เกิดเฟสคอร์เดียไรท์และเผาดินขาวเพื่อให้เกิดเฟสมัลไลท์สูงสุดคืออุณหภูมิ 1400°C จากนั้นทำการเตรียมแผ่นทดสอบชนิดคอร์เดียไรท์ – มัลไลท์ โดยการแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างวัตถุดิบที่ทำให้เกิดเฟสคอร์เดียไรท์ต่อตัวเติมคือดินขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1400°C จำนวน 3 สูตร ดังนี้ สูตร CM-1 เป็น 80:20, CM-2 เป็น 70:30 และ CM-3 เป็น 60:40 พบว่าหลังเผาที่อุณหภูมิ 1400°C แผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์มีค่าโมดูลัสแตกหัก 58.24±1.36 MPa ส่วนแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ – มัลไลท์ สูตร CM-1 CM-2 และ CM-3 มีค่า 45.35±1.55 MPa 38.33±2.63 MPa และ 30.94±2.02 MPa ตามลำดับ มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น (CTE) ต่ำกว่า 5 x10^{-6} 1/°C และมีจุดอ่อนตัว (Ts) ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกันคือ 1318 1258 และ 1265°C ตามลำดับ ผลการทดสอบความต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันพบว่าแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ – มัลไลท์ สูตร CM-3 ซึ่งมีเฟสมัลไลท์สูงสุดทำให้สามารถต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ดีที่สุด

คำสำคัญ : คอร์เดียไรท์, คอร์เดียไรท์ – มัลไลท์, สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น, การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน

***Corresponding author. E-mail** : nucharee.ch@psu.ac.th

Abstract

This research aims at studying the effect of additives and sintering temperatures on production of cordierite – mullite support. This work starts with the preparation of the cordierite support from kaolin, ball clay, talcum and alumina by solid casting method and varying temperature in heat treatment of cordierite support and fired kaolin for use as additives at 1200 1300 and 1400°C. It was found that the optimum temperature used to produce the cordierite phase in the cordierite support and to produce the maximum mullite phase from kaolin was at 1400°C. The preparation of the cordierite – mullite support was then started by varying the mixture composition among the raw materials that cause the cordierite phase to additives, i.e. the fired kaolin at 1400°C to 3 formulas, namely CM-1 for 80:20, CM-2 for 70:30 and formula CM-3 60:40. After sintering at 1400°C, cordierite support and the cordierite – mullite support, CM-1, CM-2 and CM-3 have a modulus of rupture 58.24 ± 1.36 MPa, 45.35 ± 1.55 MPa, 38.33 ± 2.63 MPa and 30.94 ± 2.02 MPa; respectively. All formula showed a coefficient of linear thermal expansion (CTE) of lower than $5x10^{-6}$ 1/°C and showed a softening point (Ts) at temperature of 1,318, 1,258 and 1,265°C, respectively. Result of thermal shock resistance test found that samples of cordierite – mullite support of formula CM-3 showing a maximum mullite phase indicated an excellent thermal shock resistance property.

Keywords : cordierite, cordierite – mullite, coefficient of linear thermal expansion, thermal shock resistance

บทนำ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา เปิดสอนใน 2 สาขาวิชา คือ สาขาวัสดุศาสตร์และสาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ มีภารกิจด้านการเรียนการสอนและด้านการวิจัย ซึ่งการจัดการเรียนการสอนโดยเฉพาะรายวิชาปฏิบัติการและงานวิจัยจะมีการเผาสารตัวอย่างเพื่อเปลี่ยนแปลงสภาพโครงสร้างหรือลักษณะเฟสของสารโดยใช้เตาเผาอุณหภูมิสูง และในการใช้งานเตาเผาอุณหภูมิสูงอุปกรณ์รองรับชิ้นงานหรือรองรับภาชนะเผาสาร (Crucible) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญและมีความจำเป็นต้องใช้เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารและความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับพื้นเตาเผา ทั้งนี้คุณสมบัติของอุปกรณ์รองรับชิ้นงานที่ดีต้องสามารถรับน้ำหนักได้ดีแม้เป็นการรับน้ำหนักที่อุณหภูมิสูงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Refractoriness under load) สามารถทนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยฉับพลันได้ดี (Good thermal shock resistance) มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น (Coefficient of linear thermal expansion : CTE) ต่ำ โดยทั่วไปแผ่นรองเผาจำแนกตามเนื้อส่วนประกอบได้หลายชนิด ได้แก่ ชนิดคอร์เดียไรท์ (Cordierite) สูตรเคมี คือ $2MgO.2Al_2O_3.5SiO_2$ ชนิดมัลไลต์ (Mullite) สูตรเคมี คือ $3Al_2O_3.2SiO_2$ และชนิดซิลิกอนคาร์ไบด์ (Silicon carbide) สูตรเคมี คือ SiC เป็นต้น ซึ่งแผ่นรองเผาแต่ละชนิดมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไปโดยชนิดซิลิกอนคาร์ไบด์จะรับน้ำหนักที่อุณหภูมิสูงได้ดีกว่าชนิดมัลไลต์และชนิดคอร์เดียไรท์แต่มีข้อเสียคือนอกจากมีราคาที่สูงแล้วยังมีค่า CTE สูงด้วย ส่งผลให้มีค่าความทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยฉับพลันต่ำกว่าชนิดมัลไลต์และชนิดคอร์เดียไรท์ นอกจากนี้แผ่นรองเผาชนิดซิลิกอนคาร์ไบด์ยังมีโอกาสเกิดซิลิกาซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มสีขาวขุ่นขึ้นที่ผิวชิ้นงานส่งผลให้ความแข็งแรงลดลงและเศษซิลิกาอาจหลุดร่อนไปติดกับชิ้นงานที่ต้องการเผาทำให้เกิดตำหนิขึ้นที่ผิวผลิตภัณฑ์ ส่วนแผ่นรองเผาชนิดมัลไลต์มีข้อดีในเรื่อง

ความทนทานที่อุณหภูมิสูง แต่มีค่า CTE สูงกว่าเมื่อเทียบกับชนิดคอร์เดียไรท์ที่มีค่าCTE ต่ำแต่มีข้อเสียคือมีความทนทานที่อุณหภูมิสูงได้ต่ำกว่าชนิดมัลไลต์ จึงมีการนำส่วนประกอบทั้งชนิดคอร์เดียไรท์และชนิดมัลไลต์มาผสมผสานกัน ผลิตเป็นแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์-มัลไลต์เพื่อให้ทนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยฉับพลันได้ดีและรับน้ำหนักที่อุณหภูมิสูงได้โดยไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Saiinthawong, 2008) มีงานวิจัยที่นำวัตถุดิบคอร์เดียร์ไรท์และมัลไลท์เกรดการค้ามาทำการทดลองโดยปรับค่าอัตราส่วนผสมจาก 0-100% แปรค่าอุณหภูมิเผา 1250-1400°C พบว่าอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดในการทดลองนี้คือคอร์เดียร์ไรท์และมัลไลท์ 70:30 ที่อุณหภูมิเผา 1400°C มีสมบัติกายภาพและทางความร้อนที่ดีมากว่าสูตรอื่นๆ (Kiattisaksophon *et al.,* 2008) แต่คอร์เดียไรท์และมัลไลท์สำเร็จรูปทางการค้ามีราคาแพง การนำวัตถุดิบที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้ในการผลิตจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเป็นการลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบในธรรมชาติ ซึ่งมีงานวิจัยที่ศึกษาการพัฒนาเนื้อคอร์เดียไรท์เพื่อใช้เป็นคะตะไลติกคอนเวอร์เตอร์สำหรับรถยนต์โดยใช้วัตถุดิบภายในประเทศ โดยมีเป้าหมายเพื่อให้มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ การทดลองแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ใช้วัตถุดิบเป็นดินขาวระนองผสมกับอลูมินา และทัลคัม ส่วนกลุ่มที่ 2 ใช้วัตถุดิบคล้ายกับกลุ่มที่ 1 แต่เพิ่มดินดำลำปาง เผาทดสอบที่อุณหภูมิ 1300 - 1400°C พบว่าชิ้นงานกลุ่มที่ 1 ที่อุณหภูมิเผา 1400°C มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนที่ดีมากกว่าสูตรที่ 2 (Wangrakdiskul, 2007)

ในธรรมชาติแร่มัลไลท์มพบได้น้อยมากดังนั้นมัลไลท์ส่วนใหญ่จึงมาจากการสังเคราะห์ มัลไลท์สามารถสังเคราะห์ได้จากวัตถุดิบที่ประกอบไปด้วย Al_2O_3 และ SiO_2 ได้แก่ ดินขาว, ดินดำ, อลูมิน่า, วัตถุดิบที่เป็น SiO_2 ได้แก่ ทราย, Quartz, แกลบ (Saiinthawong, 2008) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเน้นศึกษาผลของตัวเติมคือดินขาวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงโดยแปรค่าอุณหภูมิที่ใช้เผาดินขาวเพื่อให้เกิดเฟสของมัลไลท์ในชิ้นงานและแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างวัตถุดิบ คือ ดินขาว (Kaolin) ดินดำ (Ball clay) ทัลคัม และอลูมินาที่ทำให้เกิดเฟสคอร์เดียไรท์ต่อตัวเติมเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ – มัลไลท์ พร้อมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางกล ทางแร่องค์ประกอบโครงสร้างทางเคมีและการศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของชิ้นงานแผ่นรองเผาที่ผลิตขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ

1.1 นำวัตถุดิบ ดินขาว (Kaolin) ดินดำ (Ball clay) ทัลคัม และอลูมินา ซึ่งผ่านกระบวนการล้างจากบริษัทผู้ผลิตอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบโดยใช้เทคนิคเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) ร่วมกับเทคนิคการวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุเมื่อได้รับความร้อนภายใต้บรรยากาศที่กำหนด (TGA) ซึ่งได้ผลการทดสอบระบุองค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

องค์ประกอบทางเคมี	วัตถุดิบ (wt %)			
	ดินขาว	ดินดำ	ทัลคัม	อลูมินา
Al_2O_3	36.464	30.390	0.161	99.712
SiO_2	48.403	53.211	39.977	0.158
K_2O	0.975	2.234	-	-
CaO	-	0.206	0.831	-
TiO_2	0.683	0.446	-	-
Fe_2O_3	0.608	1.343	0.092	-
Rb_2O	0.024	0.087	-	-
Y_2O_3	0.013	0.034	-	-
ZrO_2	-	0.032	-	-
MgO	-	-	37.774	-
LOI*	12.830	12.017	21.165	0.130

* Loss on Ignition (LOI) คือ ส่วนของน้ำ และอินทรีย์สารที่สลายไปเมื่อเผาวัตถุตัวอย่างที่อุณหภูมิ 850 °C

2. การผลิตแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์และการทดสอบสมบัติ

2.1 นำข้อมูลผลทดสอบองค์ประกอบทางเคมีในตารางที่ 1 คำนวณและชั่งส่วนผสมวัตถุดิบเพื่อผลิตแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ ซึ่งมีสูตรเคมี คือ $2MgO{\cdot}2Al_2O_3{\cdot}5SiO_2$ ประกอบด้วย MgO 13.7% Al_2O_3 34.9% และ SiO_2 51.4% ตามอัตราส่วนที่คำนวณ (ตารางที่ 2) โดยผสมลงในหม้อบดขนาด 2 กก. พร้อมลูกบดอลูมินา ขนาด 10 15 และ 20 มม. ปริมาณ ½ ของหม้อบด เติมน้ำกรอง 1600 มล. บดผสมวัตถุดิบโดยใช้เครื่องบดผสม (Ball mill) เป็นเวลา 24 ชม. และตั้งทิ้งไว้ 1 คืน

ตารางที่ 2 ส่วนผสมวัตถุดิบสำหรับผลิตแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์

วัตถุดิบ	ดินขาว	ดินดำ	ทัลคัม	อลูมินา
ปริมาณ (%)	40.40	21.20	30.40	8.00

2.2 นำน้ำดิน (น้ำสลิป) ที่ได้หยดโซเดียมซิลิเกต กวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เครื่องกวนน้ำดิน ความเร็วรอบ 500 rpm วัดค่าความถ่วงจำเพาะให้อยู่ในช่วง 1.75-1.85 โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ ค่าความหนืดให้อยู่ในช่วง 85-95 cP โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Digital viscometer)

2.3 ขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อน้ำดินแบบหล่อตัน (เทน้ำสลิปให้เต็มแบบพิมพ์ในครั้งเดียว) โดยใช้แบบพิมพ์ปูนพลาสเตอร์แบบประกบด้านข้าง 4 ด้าน ฐาน 1 ด้าน โดยฐานที่เตรียมขึ้นมีขนาดกว้าง 22 ซม. ยาว 32 ซม. หนา 4 ซม. แท่งประกบมีขนาดกว้าง 4 ซม. ยาว 32 ซม. หนา 4 ซม. หล่อชิ้นทดสอบให้ได้ความหนาชิ้นงานอย่างน้อย 1.5 ซม. และตัดส่วนขอบออกทั้ง 4 ด้าน

(ตัดขอบชิ้นงานขณะชิ้นงานยังไม่แห้ง) ขนาดชิ้นงานกำหนดความกว้างอย่างน้อย 3 ซม. ยาว 14 ซม. หนา 1.5 ซม. วางชิ้นงานที่ได้ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

2.4 ตกแต่งชิ้นงาน เขียนตัวเลขระบุหมายเลขบนชิ้นงานและนำไปอบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชม. บันทึกค่าน้ำหนัก ความกว้างและความหนาชิ้นงานหลังอบ

2.5 แปรค่าอุณหภูมิเผาชิ้นงาน 1200 1300 และ 1400°C โดยใช้อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิคือ 3°C/min จากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 700°C รักษาอุณหภูมิคงที่ที่ 700°C เป็นเวลา 30 นาที และใช้อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิคือ 5°C/min จากอุณหภูมิ 700°C จนถึงอุณหภูมิสุดท้าย (1200 1300 และ 1400°C) รักษาอุณหภูมิคงที่ที่อุณหภูมิสุดท้ายเป็นเวลา 1 ชม. บันทึกค่าน้ำหนัก ความกว้างและความหนาชิ้นงานหลังเผา

2.6 ต้มชิ้นงานที่ผ่านการเผาในน้ำกลั่นเป็นเวลา 5 ชม. และแช่ชิ้นงานทิ้งไว้ในน้ำที่ต้มเป็นเวลา 24 ชม.

2.7 ทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล (Physical and mechanical testing) ได้แก่ การหดตัวหลังเผา (Total linear shrinkage after firing, S_l) ตามมาตรฐาน ASTM C 326-03 ปริมาตรชิ้นงาน (The exterior volume, V) ปริมาตรรูพรุนเปิด (Volume of open pores, V_{OP}) ความพรุนตัวปรากฏ (Apparent porosity, P) การดูดซึมน้ำ (Water absorption, A) ความหนาแน่นปรากฏ (The apparent specific gravity, T) ความหนาแน่นอัดรวม (Bulk density, B) ตามมาตรฐาน ASTM C 373-72 ค่าความแกร่งหรือโมดูลัสแตกหัก (Modulus of rupture, M) ตามมาตรฐาน ASTM C 674-81 ตรวจสอบองค์ประกอบทางแร่ด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffractometer; XRD) โดยใช้ข้อมูลมาตรฐาน PDF-2 release 2013 ของ ICDD (International Centre for Diffraction Data) มาวิเคราะห์หาชนิดของแร่ที่อยู่ในตัวอย่าง โดยนำข้อมูลมาตรฐานมาเปรียบเทียบกับรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD pattern) ร่วมกับการศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนโดยใช้เครื่อง Dilatometer วัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น (Coefficient of linear thermal expansion: CTE)

3. การผลิตแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์– มัลไลท์และการทดสอบสมบัติ

3.1 เผาดินขาวที่อุณหภูมิ 1200 1300 และ 1400°C อัตราการขึ้นอุณหภูมิ 4°C/min และคงค่าอุณหภูมิคงที่ 1 ชม. บดลดขนาดดินขาวหลังเผาให้มีขนาด - 40 mesh ตรวจสอบองค์ประกอบและปริมาณทางแร่ด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันโดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบกึ่งเชิงปริมาณ วิเคราะห์ด้วยเทคนิค RIR (Reference intensity ratio)

3.2 คำนวณและชั่งส่วนผสมเพื่อผลิตแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ - มัลไลท์ โดยแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างวัตถุดิบที่ทำให้เกิดเฟสคอร์เดียไรท์ต่อตัวเติมคือดินขาวที่ผ่านการเผาในหัวข้อ 3.1 ที่พบว่ามีองค์ประกอบและปริมาณของแร่มัลไลท์สูงสุด เป็น 3 สูตร คือ สูตร A 80:20 สูตร B 70:30 และสูตร C 60:40 ตามอัตราส่วนผสม (ตารางที่ 3) โดยผสมลงในหม้อบดขนาด 2 กก. พร้อมลูกบดอลูมินา ขนาด 10 15 และ 20 มม. ปริมาณ ½ ของหม้อบด เติมน้ำกรอง 1200 มล. บดผสมวัตถุดิบโดยใช้เครื่องบดผสม (Ball mill) เป็นเวลา 24 ชม. ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน

ตารางที่ 3 ส่วนผสมวัตถุดิบสำหรับผลิตแผ่นรองเตาชนิดคอร์เดียไรท์ - มัลไลท์

วัตถุดิบ	สูตร		
	CM-1	CM-2	CM-3
ดินขาว	32.32	28.28	24.24
ดินดำ	16.96	14.84	12.72
ทัลคัม	24.32	21.28	18.24
อลูมินา	6.40	5.60	4.80
วัสดุตัวเติม	20.00	30.00	40.00

3.3 นำน้ำดิน (น้ำสลิป) ที่ได้หยดโซเดียมซิลิเกต กวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เครื่องกวนน้ำดิน ความเร็วรอบ 500 rpm วัดค่าความถ่วงจำเพาะให้อยู่ในช่วง 1.75-1.85 โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ ค่าความหนืดให้อยู่ในช่วง 85-95 cP โดยใช้เครื่องวัดความหนืด

3.4 ขึ้นรูปชิ้นงาน ด้วยวิธีหล่อน้ำดิน แบบหล่อตัน โดยใช้แบบพิมพ์ปูนพลาสเตอร์เช่นเดียวกับการขึ้นรูปชิ้นงานชนิดคอร์เดียไรท์

3.5 วางชิ้นงานทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ตกแต่งชิ้นงาน เขียนตัวเลขบนชิ้นงาน อบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชม. บันทึกค่าน้ำหนัก ความกว้างและความหนาชิ้นงานหลังอบ

3.6 เผาชิ้นงานชนิดคอร์เดียไรท์ - มัลไลท์ที่อุณหภูมิ 1400°C โดยใช้อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิคือ 3°C/min จากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 700°C รักษาอุณหภูมิคงที่ที่ 700°C เป็นเวลา 30 นาที และใช้อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิคือ 5°C/min จากอุณหภูมิ 700°C จนถึงอุณหภูมิ 1400°C รักษาอุณหภูมิคงที่ที่อุณหภูมิ 1400°C เป็นเวลา 1 ชม. บันทึกค่าน้ำหนัก ความกว้างและความหนาชิ้นงานหลังเผา

3.7 ต้มชิ้นงานที่ผ่านการเผาในน้ำกลั่น เป็นเวลา 5 ชม. และแช่ชิ้นงานทิ้งไว้ในน้ำที่ต้มเป็นเวลา 24 ชม. นำชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทางกล ทางแร่และองค์ประกอบทางแร่เช่นเดียวกับการทดสอบชิ้นงานชนิดคอร์เดียไรท์หัวข้อ 2.7

3.8 เตรียมตัวอย่างชิ้นทดสอบโดยขึ้นรูปเป็นแท่งทรงกระบอกตันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มม. สูง 3.5 ซม. และเผาที่อุณหภูมิ 1400°C โดยใช้การขึ้นอุณหภูมิเหมือนการเผาชิ้นงานในข้อที่ 3.6 เพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน โดยส่งไปทดสอบที่ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.9 ทดสอบความต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันตามมาตรฐาน ASTM C 554-93 โดยนำชิ้นงานชนิดคอร์เดียไรท์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1400°C และชนิดคอร์เดียไรท์-มัลไลท์ ทั้ง 3 สูตร เผาที่อุณหภูมิ 200°C อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ คือ 10°C/min และคงค่าอุณหภูมิคงที่ 1 ชม. คีบชิ้นงานออกมาอย่างรวดเร็วใส่ลงในน้ำที่อุณหภูมิห้องทันที แช่ชิ้นงานทิ้งไว้ประมาณ 5-10 นาที จุ่มชิ้นงานลงใน 0.025 % เมทิลลีนบลู เพื่อตรวจดูรอยแตกร้าวของชิ้นงาน หากไม่ปรากฏความเสียหายของชิ้นงาน ให้เพิ่มอุณหภูมิการเผาทดสอบเป็น 300 400 500 และ 600°C ตามลำดับ

ผลการวิจัย

1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล (ตารางที่ 4) พบว่าแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์มีค่าการหดตัวหลังเผาและค่าโมดูลัสแตกหักเพิ่มขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิที่เผา ส่วนปริมาตรชิ้นงาน ปริมาตรรูพรุนเปิด ความพรุนตัวปรากฏ และการดูดซึมน้ำ มีค่าลดลงโดยแปรผกผันกับอุณหภูมิที่เผา แต่ค่าความหนาแน่นปรากฏ และค่าความหนาแน่นอัดรวมมีค่าใกล้เคียงกันแม้ว่าชิ้นงานจะทำการเผาที่อุณหภูมิเผาที่สูงขึ้น

ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพและทางกลของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 - 1400°C

ค่าทดสอบ	อุณหภูมิเผา		
	1200	1300	1400
S_t (%)	8.73±0.73	9.70±0.51	10.32±0.13
V (cm^3)	29.26±1.32	26.46±2.03	25.94±1.90
V_{op} (cm^3)	7.85±0.84	3.55±0.28	2.82±0.32
P (%)	26.82±2.16	13.43±1.01	10.93±1.69
A (%)	14.19±1.28	6.69±0.52	5.51±0.91
T (g/cm^3)	2.59±0.05	2.32±0.02	2.23±0.02
B (g/cm^3)	1.89±0.02	2.01±0.01	1.99±0.03
M (MPa)	47.70±0.21	54.00±1.09	58.24±1.36

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณทางแร่ของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 - 1400°C ด้วยเทคนิค XRD

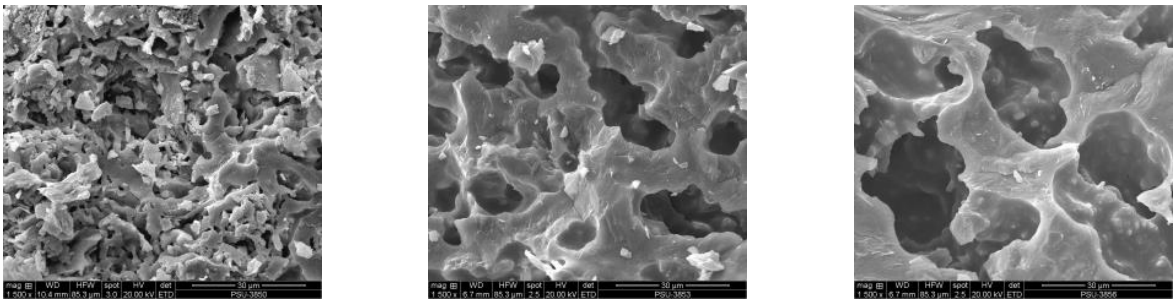
การวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณทางแร่โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบกึ่งเชิงปริมาณ คำนวณจากอัตราส่วนความเข้มอ้างอิง (Reference intensity ratio: RIR) ของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์หลังเผา (ตารางที่ 5) พบว่าที่อุณหภูมิเผา 1200°C เกิดเฟสคอร์เดียไรท์ขึ้นแต่มีปริมาณน้อย (8.9 wt %) และมีปริมาณมากขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น โดยพบว่าที่อุณหภูมิเผา 1400°C มีเฟสคอร์เดียไรท์สูงสุด (93 wt %) และมีเฟสของสปิเนลปริมาณน้อย (7.0 wt %)

ตารางที่ 5 องค์ประกอบและปริมาณทางแร่ของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 -1400°C

อุณหภูมิเผา (°C)	องค์ประกอบ	wt %
1200	Silicon oxide	15.8
	Quartz	9.9
	Corundum	20.8
	Mullite	31.7
	Sapphirine	5.0
	Spinel	7.9
	Magnesium aluminum silicate (Cordierite)	8.9
1300	Magnesium aluminum silicate (Cordierite)	76.0
	Spinel	7.0
	Corundum	4.0
	Mullite	13.0
1400	Magnesium aluminum silicate (Cordierite)	93.0
	Spinel	7.0

3. การวิเคราะห์โครงสร้างและองค์ประกอบของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ด้วยเครื่อง SEM

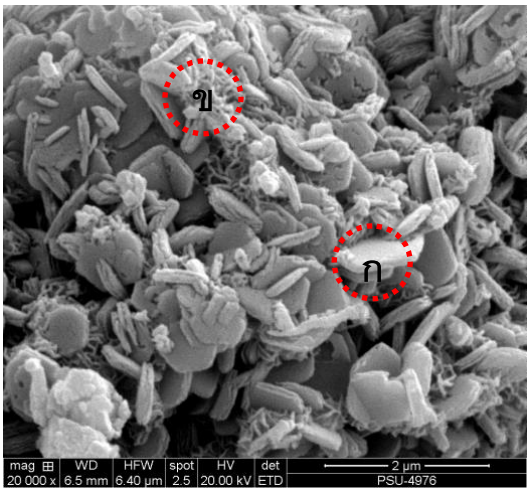
ลักษณะการหลอมรวมกันของอนุภาคภายในโครงสร้าง (ภาพที่ 1) ที่กำลังขยายเท่ากันคือ 1500x จะเห็นได้ว่าภาพที่ 1(ก) อนุภาคภายในโครงสร้างมีการหลอมรวมกันน้อยมากเมื่อเทียบกับภาพที่ 1(ข) และ ภาพที่ 1(ค) ซึ่งผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณทางแร่ก็แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของอนุภาคภายในโครงสร้างเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกเป็นเฟสคอร์เดียไรท์มากขึ้นตามอุณหภูมิการเผาที่สูงขึ้น สอดคล้องกับผลทดสอบทางกายภาพที่ระบุว่าชิ้นงานมีปริมาตรปริมาตรรูพรุนเปิด ความพรุนตัวปรากฏ และการดูดซึมน้ำลดลง แต่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่เผาสูงขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกลไกการเกิดซินเทอริงของสาร



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 1 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์หลังเผาที่อุณหภูมิ (ก) 1200 (ข) 1300 และ (ค) 1400°C ที่กำลังขยาย 1500x

เมื่อเพิ่มกำลังขยายภาพถ่าย SEM ของชิ้นงานแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200°C (ภาพที่ 2) พบว่าภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะของแร่ Mullite และ Corundum อย่างชัดเจน สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณทางแร่ของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200°C ด้วยเทคนิค XRD ที่ระบุว่ามีปริมาณแร่ Mullite และ Corundum อยู่ในโครงสร้าง 31.7 % และ 20.8 % ตามลำดับ



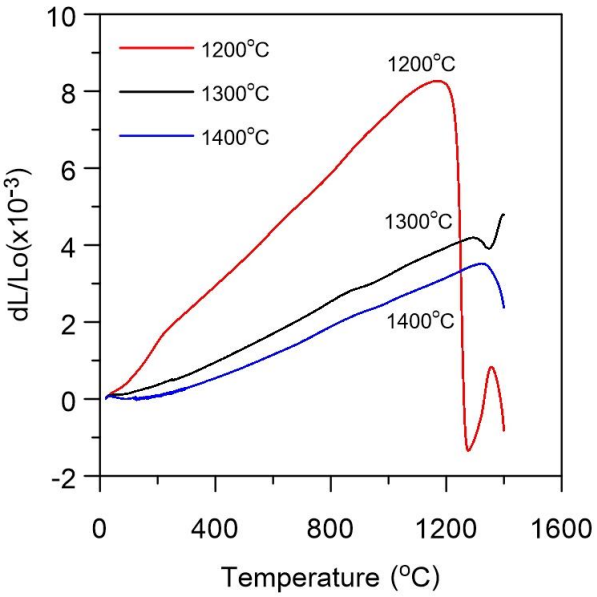
ภาพที่ 2 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200°C กำลังขยาย 20000x (ก) Corundum และ (ข) Mullite

4. การศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์หลังเผา

การศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนโดยใช้เครื่อง Dilatometer วัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น (CTE) (ภาพที่ 3 ตารางที่ 6) พบว่าแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200°C มีค่า CTE สูงกว่าชิ้นทดสอบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1300 และ 1400°C อย่างชัดเจน โดยพบว่าจุดอ่อนตัวมีค่าแปรผกผันกับค่า CTE แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณทางแร่ที่ระบุว่าตรวจพบปริมาณเฟสคอร์เดียไรท์สูงสุดที่อุณหภูมิ 1400°C และมีปริมาณน้อยสุดที่อุณหภูมิ 1200°C ซึ่งเฟสคอร์เดียไรท์ช่วยลดค่า CTE ให้ต่ำลง และมีจุดอ่อนตัวสูงขึ้น

ตารางที่ 6 พฤติกรรมทางความร้อนของรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์หลังเผา

อุณหภูมิเผา (°C)	T_S (°C)	CTE 800°C (1/°C)	CTE 300 - 1,100°C (1/°C)
1200	1,170	7.8×10^{-6}	7.2×10^{-6}
1300	1,295	4.2×10^{-6}	3.7×10^{-6}
1400	1,320	3.8×10^{-6}	3.2×10^{-6}



ภาพที่ 3 กราฟการขยายตัวเนื่องจากความร้อนของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 - 1400°C

5. การวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณทางแร่ของดินขาว (วัสดุตัวเติม) หลังเผา

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ด้วยเทคนิค XRD และวิเคราะห์กึ่งเชิงปริมาณแร่ด้วยเทคนิค RIR (ตารางที่ 7) พบว่าอุณหภูมิเผาที่เหมาะสมในการเผาดินขาวเพื่อให้เกิดเฟสของมัลไลท์สูงสุดคืออุณหภูมิ 1400°C

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางแร่และปริมาณทางแร่ของดินขาวหลังเผา

อุณหภูมิเผา (°C)	องค์ประกอบ	wt %
1200	Mullite, syn	88.0
	Quartz low, syn	12.0
1300	Mullite, syn	88.1
	Cristobalite , syn	3.0
	Quartz low, syn	8.9
1400	Mullite, syn	90.0
	Cristobalite , syn	5.0
	Quartz low, syn	5.0

6. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ - มัลไลท์

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล (ตารางที่ 8) พบว่าแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ – มัลไลท์มีค่าการหดตัวหลังเผา ค่าความหนาแน่นปรากฏ และค่าความหนาแน่นอัดรวมเพิ่มขึ้นตามปริมาณตัวเติมที่เพิ่มขึ้น โดยสูตร CM-3 มีค่าสูงสุด ส่วนปริมาตรชิ้นงานและปริมาตรรูพรุนเปิด ความพรุนตัวปรากฏ และการดูดซึมน้ำ สูตร CM-2 มีค่าสูงสุด ผลการ

ทดสอบสมบัติทางกลพบว่าค่าโมดูลัสแตกหักลดลงตามปริมาณวัสดุตัวเติมที่เพิ่มขึ้นโดยสูตร CM-1 มีค่าสูงสุด เนื่องจากปริมาณของคอร์เดียไรท์ที่มีสมบัติช่วยเพิ่มความแข็งแรงมีปริมาณลดลง

ตารางที่ 8 สมบัติทางกายภาพและทางกลของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ - มัลไลท์

ค่าทดสอบ	สูตร		
	CM-1	CM-2	CM-3
S_t (%)	12.59±0.61	12.71±0.34	13.36±0.62
V (cm^3)	19.70±1.57	26.31±1.96	20.13±0.33
V_{op} (cm^3)	1.19±0.26	2.09±0.19	1.54±0.10
P (%)	6.00±0.95	7.95±0.76	7.63±0.45
A (%)	2.94±0.48	3.89±0.38	3.62±0.21
T (g/cm^3)	2.04±0.01	2.05±0.00	2.11±0.01
B (g/cm^3)	2.17±0.01	2.22±0.02	2.28±0.01
M (MPa)	45.35±1.55	38.33±2.63	30.94±2.02

7. การวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณทางแร่ของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ - มัลไลท์

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณทางแร่ โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบกึ่งเชิงปริมาณด้วยเทคนิค RIR ของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ - มัลไลท์ (ตารางที่ 9) พบว่าแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ - มัลไลท์ ทั้ง 3 สูตร ตรวจพบองค์ประกอบทางแร่เป็นไปตามอัตราส่วนผสมที่กำหนดทั้ง 3 สูตร

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางแร่และปริมาณทางแร่ของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์-มัลไลท์

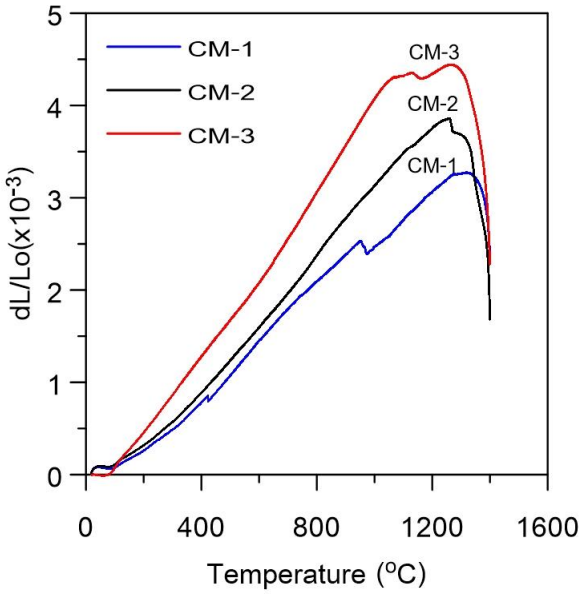
สูตร	องค์ประกอบทางแร่	wt %
CM-1	Magnesium aluminum silicate (Cordierite)	81
	Mullite, syn	19
CM-2	Magnesium aluminum silicate (Cordierite)	71
	Mullite, syn	29
CM-3	Magnesium aluminum silicate (Cordierite)	62
	Mullite, syn	38

8. การศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ - มัลไลท์

การศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนโดยใช้เครื่อง Dilatometer วัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น (CTE) (ตารางที่ 10 ภาพที่ 4) พบว่าแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ – มัลไลท์ สูตร CM-1 ซึ่งมีปริมาณคอร์เดียร์ไรท์ 80% มีจุดอ่อนตัวสูงสุด และค่า CTE ที่อุณหภูมิ 800°C และช่วง 300 - 1100°C ต่ำสุดเมื่อเทียบกับสูตร CM-2 และสูตร CM-3

ตารางที่ 10 พฤติกรรมทางความร้อนของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ - มัลไลท์

สูตร	T_S (°C)	CTE 800°C (1/°C)	CTE 300 - 1,100°C (1/°C)
CM-1	1,318	2.4×10^{-6}	2.8×10^{-6}
CM-2	1,258	4.7×10^{-6}	3.6×10^{-6}
CM-3	1,265	5.0×10^{-6}	4.3×10^{-6}



ภาพที่ 4 กราฟการขยายตัวเนื่องจากความร้อนของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ - มัลไลท์ สูตร CM-1 CM-2 และ CM-3

9. การทดสอบความต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์และแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์-มัลไลท์

การทดสอบความต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน (ตารางที่ 11) พบว่าที่อุณหภูมิ 400°C ชิ้นงานคอร์เดียไรท์และชิ้นงานคอร์เดียไรท์-มัลไลท์ สูตร CM-1 มีรอยร้าวเกิดขึ้น แต่สูตร CM-1 มีรอยร้าวน้อยกว่าชิ้นงานคอร์เดียไรท์ ส่วนชิ้นงานคอร์เดียไรท์-มัลไลท์สูตร CM-2 และสูตร CM-3 มีรอยร้าวที่อุณหภูมิ 600°C โดยสูตร CM-3 มีรอยร้าวน้อยกว่าสูตร CM-2

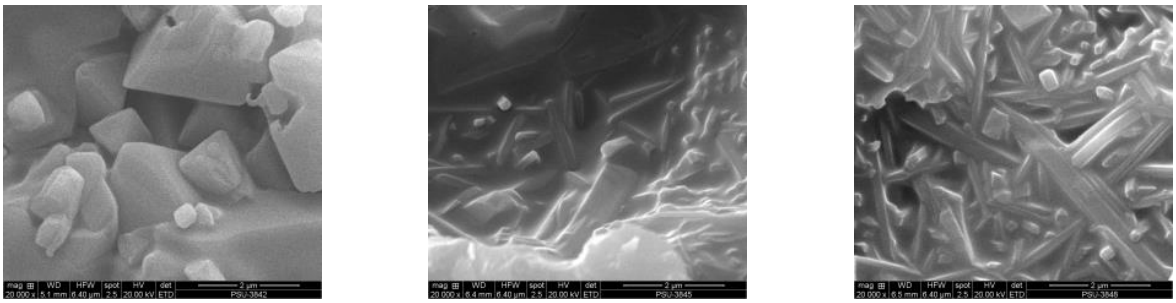
ตารางที่ 11 การทดสอบความต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ แผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ – มัลไลท์ สูตร CM-1 CM-2 และ CM-3

สูตร	อุณหภูมิเผา (°C)				
	200	300	400	500	600
คอร์เดียไรท์	✓	✓	×	×	×
CM-1	✓	✓	×	×	×
CM-2	✓	✓	✓	✓	×
CM-3	✓	✓	✓	✓	×

หมายเหตุ สัญลักษณ์ ✓ คือ ไม่มีรอยร้าว และสัญลักษณ์ × คือ มีรอยร้าว แต่ยังไม่แตกหรือแยกออกจากกัน เป็นรอยร้าวในเนื้อภายในชิ้นงาน

10. การวิเคราะห์โครงสร้างและองค์ประกอบของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์-มัลไลท์ด้วยเครื่อง SEM

จากภาพถ่าย SEM (ภาพที่ 5) แสดงให้เห็นลักษณะและปริมาณแร่มัลไลท์ที่เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนวัสดุตัวเติมที่เพิ่มขึ้นและเกิดการหลอมรวมกันภายในโครงสร้างของชิ้นงาน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณทางแร่โดยใช้เทคนิค XRD



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 5 ลักษณะโครงสร้างภายในของแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ - มัลไลท์ สูตร (ก) CM-1 (ข) CM-2 และ (ค) CM-3 ที่กำลังขยาย 5000x

วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาผลของตัวเติมและอุณหภูมิเผาในการผลิตแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ – มัลไลท์ พบว่าสามารถนำดินขาวมาใช้เป็นวัสดุตัวเติมเพื่อให้เกิดเฟสมัลไลท์ขึ้นในชิ้นงานแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ได้โดยนำดินขาวไปเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อเปลี่ยนแปลงรูปผลึกโครงสร้างทางเคมี โดยพบว่าที่อุณหภูมิเผา 1200°C มีเฟสมัลไลท์เกิดขึ้น 88 % ควอตซ์ 12 % และที่อุณหภูมิเผา 1300°C มีเฟสมัลไลท์เกิดขึ้น 88.1 % คริสโตบาไลต์เกิดขึ้น 3 % และมีปริมาณควอตซ์ลดลงเหลือเพียง 8.9 % เนื่องจากควอตซ์เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นคริสโตบาไลต์ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาสูงขึ้นเป็น 1400°C ตรวจพบเฟสมัลไลท์เกิดขึ้น

สูงถึง 90 % มีคริสโตบาไลต์เพิ่มขึ้นเป็น 5 % และมีปริมาณควอตซ์ลดลงเหลือ 5 % ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของเฟสมัลไลท์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการเผาอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้อุณหภูมิ 1400°C ในการเผาดินขาวเพื่อใช้เป็นวัสดุตัวเติม ในส่วนการผลิตแผ่นรองเผาตามสูตรผสมคอร์เดียไรท์และมีการเผาชิ้นงานเพื่อเปลี่ยนแปลงรูปผลึกโครงสร้างทางเคมีพบว่าที่อุณหภูมิเผา 1200°C ชิ้นงานมีรูปผลึกโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นมัลไลท์และรองลงมาเป็นคอรันดัมและมีคอร์เดียไรท์เพียง 8.9 % สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย SEM ที่แสดงให้เห็นลักษณะและปริมาณของมัลไลท์และคอรันดัมอย่างชัดเจนและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาสูงขึ้น พบว่าที่อุณหภูมิเผา 1300°C มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกอย่างชัดเจนโดยเฉพาะคอรันดัมที่มีปริมาณลดลงเหลือเพียง 4 % เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของคอรันดัมไปเป็นคอร์เดียไรท์และยิ่งเพิ่มอุณหภูมิเผาเป็น 1400°C คอรันดัมและมัลไลท์เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นคอร์เดียไรท์ที่สมบูรณ์และมีเฟสสปิเนลเพียง 7 % ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่เลือกใช้อุณหภูมิ 1400°C เป็นอุณหภูมิเผาชิ้นงานแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ – มัลไลท์ ซึ่งผลทดสอบพฤติกรรมทางความร้อนของชิ้นงานคอร์เดียร์ไรท์และชิ้นงานคอร์เดียไรท์ – มัลไลท์ สูตร CM-1 CM-2 และ CM-3 แสดงให้เห็นว่าสูตร CM-3 ซึ่งมีส่วนผสมของเฟสมัลไลท์มากที่สุดสามารถต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้มากที่สุดและชิ้นงานแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์บริสุทธิ์สามารถต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้น้อยที่สุด ดังนั้นการเติมมัลไลท์ในชิ้นงานชนิดคอร์เดียไรท์จะทำให้ชิ้นงานมีความต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันให้สูงขึ้นเนื่องจากมัลไลท์ซึ่งมีลักษณะเป็นเข็มจะประสานกันไปมาและไปแทนที่เนื้อแก้วรอบบอนุภาค ซึ่งมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติความต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันของมัลไลท์เซรามิกส์ซึ่งระบุว่ามัลไลท์เซรามิกส์บริสุทธิ์ที่ไม่มีวัสดุตัวเติมมีค่า Critical temperature difference (ΔTc) สูงถึง 750 °C (Hamidouche *et al*., 2016) ขณะที่คอร์เดียร์ไรท์เป็นตัวที่ช่วยเพิ่มค่า T_S และทำให้ค่า CTE มีค่าต่ำลงเมื่อผลิตเป็นแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์ – มัลไลท์

สรุปผลการวิจัย

อุณหภูมิ 1400°C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับใช้เผาแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์เพื่อให้เกิดเฟสคอร์เดียไรท์ปริมาณสูงสุดและเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสำหรับเผาดินขาว (วัสดุตัวเติม) เพื่อให้เกิดเฟสมัลไลท์สูงสุด โดยพบว่ามีสมบัติเด่นๆ คือคอร์เดียไรท์มีส่วนช่วยให้ชิ้นงานมีค่าโมดูลัสแตกหักสูงขึ้น ช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นให้ต่ำลง และมีจุดอ่อนตัวสูงขึ้น ในขณะเดียวกันการเกิดผลึกรูปเข็มของมัลไลท์ช่วยให้ชิ้นงานมีความต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันให้สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามแผ่นรองเผาชนิดคอร์เดียไรท์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 และ 1300°C ก็ยังสามารถนำไปใช้เป็นแผ่นรองเผาชิ้นงานได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้เผาซึ่งต้องมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดอ่อนตัว (T_S) ของแผ่นรองเผาที่ผลิตขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินกองทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีงบประมาณ 2559 (Faculty of Science Research Fund) สัญญาเลขที่ วท.ทป.159002

เอกสารอ้างอิง

ASTM C 326-03, *Standard Test Method for Drying and Firing Shrinkages of Ceramic Whiteware Clays*, United State: ASTM, 2008.

ASTM C 373-72 (Reapproved 1977), *Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products*, United State: ASTM, 2008.

ASTM C 554-93 (Reapproved 2006), *Crazing Resistance of Fired Glazed Ceramic Whitewares by a Thermal Shock Method*, United State: ASTM, 2008.

ASTM C 674-81, *Standard Test Methods for Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials*, United State: ASTM, 2008.

Hamidouche, M. Bouaouadja, N, Olagnon, C., & Fantozzi, G. (2003). Thermal shock behavior of mullite ceramic. *Ceramics International Journal*, *29*(6), 599-609.

Kiattisaksophon, P., & Thiansem, S. (2008). The preparation of cordierite-mullite composite for thermal shock resistance material. *Chiang Mai Journal Science*, *35*(1), 6-10.

Saiinthawong, K. (2008). Production of cordierite – mullite support. *Ceramics Journal*, *11* (29), 48-54. (in Thai)

Wangrakdiskul, U. (2007). Development of cordierite ceramics for catalytic converter using local raw materials. *King Mongkut's University of Technology North Bangkok Journal*, *17*(3), 39-46. (in Thai)