

การศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมไพโรเมตริกโคน  
จากวัตถุดิบในจังหวัดลำปาง  
Feasibility the Preparation of Pyrometric Cone  
from Raw Materials in Lampang

ศิวัช ลาววัลย์วดีกุล<sup>1\*</sup>, กิตติศักดิ์ สมุทธารักษ์<sup>2</sup>, วิเชษฐ ยิ้มละมัย<sup>3</sup>, จักรกฤษณ์ ฮั่นยะลา<sup>4</sup> และมัตติกา บุญมา<sup>5</sup>

Siwat Lawanwadeekul<sup>1\*</sup>, Kittisak Samootharak<sup>2</sup>, Wichet Yimlamai<sup>3</sup>,

Jakkrit Hunyala<sup>4</sup> and Mattika Bunma<sup>5</sup>

<sup>1\*,2,3,4,5</sup> สาขามาตรวิทยาและระบบคุณภาพ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

119 ถนนลำปาง-แม่ทะ ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100 โทรศัพท์ 081-5307695 E-mail b\_siwat@lpru.ac.th

<sup>1\*,2,3,4,5</sup> Department of Metrology and Quality System, Faculty of Industrial Technology,

Lampang Rajabhat University 119 Lampang-Mae Ta Road, Tambon Chompoo, Amphur Muang,

Lampang Province. 52100 Tel +66 81 5307695 E-mail b\_siwat@lpru.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมไพโรเมตริกโคนจากวัตถุดิบในจังหวัดลำปาง เพื่อใช้ในการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของอุณหภูมิภายในเตาเผาเซรามิก คณะวิจัยเริ่มการทดลองโดยวิเคราะห์ตัวอย่างไพโรเมตริกโคนมาตรฐาน เกรดทางการค้าเพื่อหาค่าองค์ประกอบทางเคมี (XRF) และองค์ประกอบทางแร่ (XRD) นำผลวิเคราะห์ที่ได้ไปคำนวณหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม จากนั้นขึ้นรูปไพโรเมตริกโคนตามวิธีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 558) นำไปทดลองเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศแบบออกซิเดชัน พบว่าการโน้มตัวของโคนสูตรที่ 10 อัตราส่วนซิลิการ้อยละ 50 หินปูนร้อยละ 10 เฟลด์สปาร์ร้อยละ 40 ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงโคนมาตรฐาน และเมื่อเปรียบเทียบกับราคากับไพโรเมตริกโคนมาตรฐาน โคนทำขึ้นสามารถลดต้นทุนลงถึงร้อยละ 10

**คำสำคัญ :** ไพโรเมตริกโคน, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, เตาเผาเซรามิก

#### Abstract

This research aim was to study the feasibility of the preparation of a pyrometric cone made from raw materials in Lampang province which was used to validate the temperature in a ceramic kiln. The research team started the experiment by analyzing chemical and mineral composition (XRF and XRD) of a commercial-grade pyrometric cone. Then, following a pyrometric formulation in accordance with the Thailand Industrial Standard (TISI) 558, the kiln was fired at 1230° Celsius in an oxidation atmosphere. It was found that the cone consisted of silica (50%), limestone (10%), and feldspar (40%). It gave an accurate result and the price is cheaper than the standard cones by 10%.

**Keywords :** Pyrometric Cone, Thailand Industrial Standard, and Ceramic Kiln

## 1. บทนำ

จากนโยบายแผนเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 ปี 2560-2564 ยุทธศาสตร์ที่ 8 การพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิจัย และนวัตกรรม ด้วยการพัฒนาผู้ประกอบการให้เป็นผู้ประกอบการทางเทคโนโลยี (Technology Entrepreneur) ได้มีการพัฒนาข้อเสนอในการสร้างวัสดุที่ใช้ในการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิก โดยใช้วัสดุดิบในท้องถิ่นเพื่อลดต้นทุนและปัญหาการนำเข้าวัสดุดิบจากต่างประเทศ (Research and Development Institute, 2016)

จากการทำวิจัยภายใต้งบประมาณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) คณะวิจัยพบว่าโรงงานเซรามิกส่วนใหญ่ในจังหวัดลำปางนิยมใช้เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ในการตรวจสอบอุณหภูมิภายในเตาเผา ปัญหาที่พบ คือ โรงงานทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้วัดอุณหภูมิไว้เพียงจุดเดียว ณ บริเวณกึ่งกลางหลังคาเตา ซึ่งไม่ใช่ตัวแทนที่ทั้งหมดของอุณหภูมิในเตาเผา (Lawanwadeekul, S., 2016) ทั้งยังไม่สามารถบอกความสามารถในการทำงานของการเผา (Heat-Work) ที่เกี่ยวข้องกับ เวลา อัตราการเผา และบรรยากาศในการเผาได้

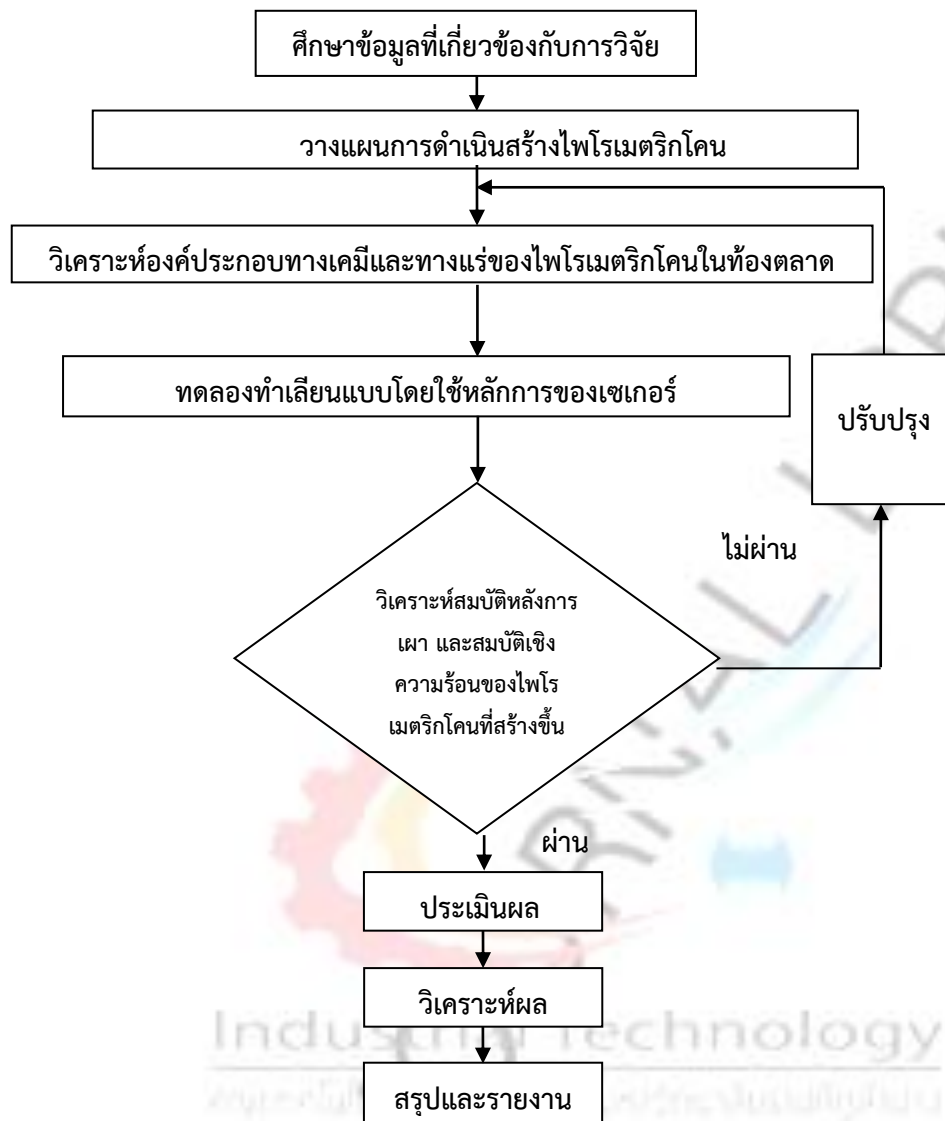
ส่งผลให้คณะวิจัยสนใจสร้างวัสดุที่สามารถช่วยในการตรวจสอบอุณหภูมิอย่างง่าย โดยใช้วัสดุดิบในท้องถิ่น เกิดเป็นแนวคิดในการสร้างไพโรเมตริกโคน (Pyrometric Cone, PCE) เพื่อช่วยในการประเมินพฤติกรรมของชิ้นงานที่ผ่านการเผา ไพโรเมตริกโคนส่วนผสมหลัก คือ ควอตซ์ ตัวช่วยหลอม และออกไซด์ต่าง ๆ ตามอัตราส่วนที่กำหนดอัดขึ้นรูป มีลักษณะเป็นฐานสามเหลี่ยมยาว 6 มิลลิเมตร สูง 31 มิลลิเมตร มีสมบัติการหลอมและยุบตัวเมื่อถึงอุณหภูมิเฉพาะของโคนชนิดนั้น แม้ว่าไพโรเมตริกโคนมาตรฐานจะมีขายในท้องตลาดอยู่แล้ว แต่ทั้งหมดล้วนนำเข้าจากต่างประเทศ และมีราคาสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ดำเนินการโดยใช้วัสดุดิบเกรดทางการค้า ภายในประเทศที่มีจำหน่ายในจังหวัดลำปางเป็นสารตั้งต้น คณะวิจัยได้สังเกตเห็นว่าหากสามารถผลิตได้จะช่วยผู้ประกอบการในการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิก ลดปัญหาของเสียในโรงงานที่เกิดจากการเผา และยังสามารถพัฒนาต่อยอดจนสิทธิบัตรได้อีกด้วย

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างไพโรเมตริกโคน จากวัสดุดิบในจังหวัดลำปาง

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการในการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างไพโรเมตริกโคน จากวัสดุดิบในจังหวัดลำปาง เพื่อให้การดำเนินงานเกิดความสำเร็จตามเป้าหมายภายหลังการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และองค์ประกอบทางแร่ผู้วิจัยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐานของ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (TISI, 1985) มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้



ภาพที่ 1 วิธีการดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่าง ทำตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเริ่มจากซังสารเคมีที่ใช้ในการทำไพโรเมตริกโคนปริมาณ 250 กรัม นำไปบดผสมในโถรงปอร์ชเลน ร่อนบนตะแกรง 250 เมช แบ่งตัวอย่างที่บดออกเป็น 5 กอง กองละ 50 กรัม นำมาผสมคลุกเคล้ากัน ใช้กาว เป็นตัวเชื่อมประสาน นำโคนตัวอย่างและโคนมาตรฐานปักบนแป้นที่ทำด้วยวัสดุทนไฟ ซึ่งมีส่วนประกอบที่ไม่ทำให้เกิดการหลอมตัวของโคน การตั้งโคนให้เหลือความสูงด้านเอียงจากแป้น 23.8 มิลลิเมตร และด้านหน้าของโคนทำมุมกับแนวราบ 82 องศา ตั้งโคนตัวอย่างสลับกับโคนมาตรฐาน ขนาดของแป้นที่ใช้เลือกใช้ที่มีขนาดรูปร่างพอเหมาะ ทำจากส่วนผสมของอลูมินาร้อยละ 80 และดินทนไฟร้อยละ 20 การเผาเตาไฟฟ้า บรรยากาศแบบออกซิชั่น อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 2.5 องศาเซลเซียสต่อนาที ควบคุมอุณหภูมิของเตาโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลที่ผ่านการสอบเทียบต่อเข้ากับโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

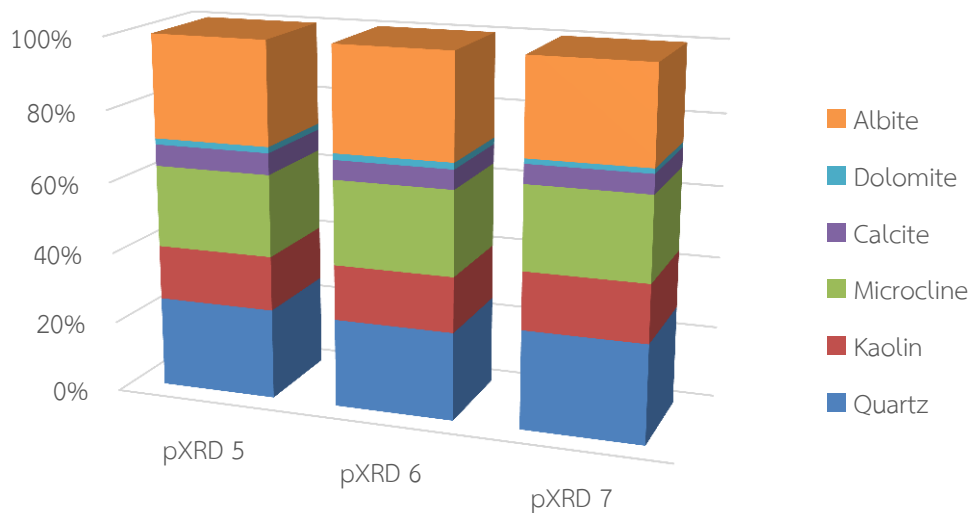


ภาพที่ 2 การเตรียมไพโรเมตริกโคน และการจัดเรียงในเตาเผา

#### 4. ผลการวิจัย

##### 4.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่และทางเคมี

คณะวิจัยเริ่มกระบวนการโดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของไพโรเมตริกโคนมาตรฐานก่อนการเผาโดยใช้เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน Olympus รุ่น Terra และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ Philips รุ่น MegixPro MUA/USEP T84005 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่และองค์ประกอบทางเคมีของไพโรเมตริกโคนมาตรฐานแสดงดังภาพที่ 3 และตารางที่ 1



ภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางแร่ของไพโรเมตริกโคนมาตรฐานเบอร์ 5 6 และ 7

**ตารางที่ 1** ปริมาณร้อยละของแร่จากการวิเคราะห์ไพโรเมตริกโคนมาตรฐานเบอร์ 5 6 และ 7

	Quartz SiO <sub>2</sub>	Kaolin Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2SiO <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Microcline KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Calcite CaCO <sub>3</sub>	Dolomite CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Albite NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
pXRD 5	24.7	15.4	23.6	5.4	1.8	29.2
pXRD 6	25.3	15.2	22.9	6	1.7	28.9
pXRD 7	27.6	16	23.2	5.3	1.4	26.6

จากภาพที่ 3 พบปริมาณองค์ประกอบทางแร่ของไพโรเมตริกโคนมาตรฐานประกอบด้วยควอตซ์ เกลิน ไมโครไคลน์ แคลไซต์ โดโลไมต์ และอัลไบท์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยโคนมาตรฐานเบอร์ 5 ถึง 7 มีสัดส่วนการโค้งงอที่อุณหภูมิ 1207 1243 1257 องศาเซลเซียสตามลำดับ (Orton Ceramic, 2016) โดยในตารางที่ 1 พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของปริมาณควอตซ์ซึ่งเป็นวัตถุดิบไฟ และการลดลงของอัลไบท์ที่เป็นตัวช่วยหลอมอย่างมีนัยสำคัญกับอุณหภูมิที่โคนสามารถทนไฟได้สูงขึ้น และทำการยืนยันผลจากองค์ประกอบทางเคมีในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไพโรเมตริกโคนมาตรฐาน

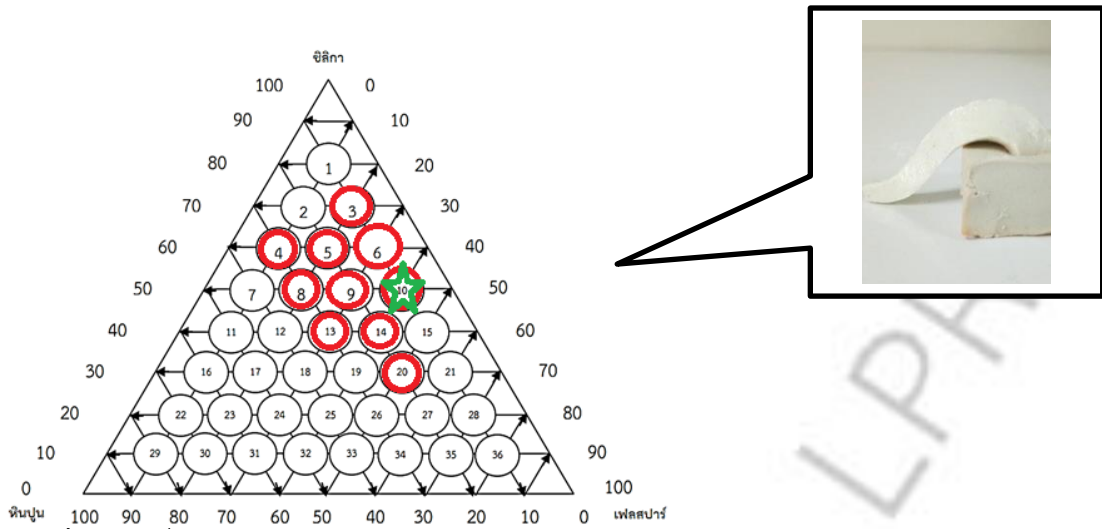
Sample	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	LOI
pXRF 5	69.64	12.11	0.76	0.82	3.90	0.37	3.90	3.41	5.09
pXRF 6	72.03	11.36	0.70	0.85	3.57	0.39	3.99	3.45	3.66
pXRF 7	72.60	10.72	0.64	0.83	3.39	0.30	3.92	3.14	4.46
เฟลด์สปาร์	68.52	17.55	0.20	0.29	1.77	0.58	4.50	4.31	1.24
หินปูน	0.10	0.50	0.16	0.01	54.18	0.66	-	-	43.43
ซิลิกา	99.16	0.43	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	-

#### 4.2 การสร้างไพโรเมตริกโคน

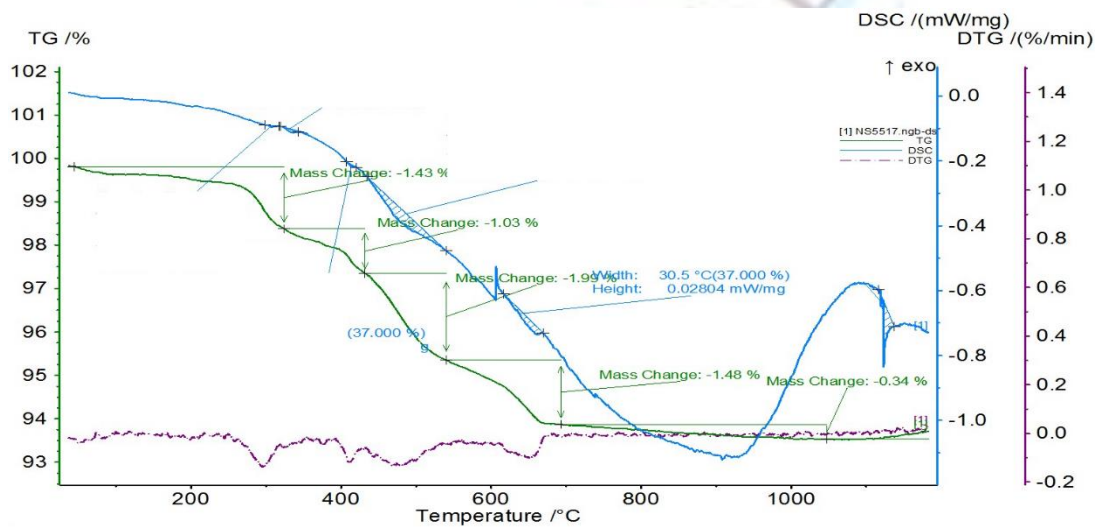
นำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและองค์ประกอบทางแร่ คำนวณโดยใช้สูตรเซเกอร์ (Seger's Formula) เนื่องจากข้อมูลเบื้องต้นพบว่าไพโรเมตริกโคนมาตรฐานที่จำหน่ายในท้องตลาดมีองค์ประกอบคล้ายสูตรเคลือบ (Ingsiriwat, P., 2004) ในการทดลองครั้งนี้วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองนำมาจากบริษัทซีเบลโก้มีเนอร์รัลส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่นำมาจำหน่ายในจังหวัดลำปาง ซึ่งได้แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในตารางที่ 2

ค่าที่ได้จากการคำนวณเป็นเพียงค่าประมาณ ดังนั้นเพื่อยืนยันสมมุติฐานในการสร้างไพโรเมตริกโคน คณะวิจัยทำการทวนสอบโดยใช้เฟสไดอะแกรมระบบเทอร์นารี (Ternary) เพื่อผสมสารทั้ง 3 ชนิดในอัตราส่วนต่าง ๆ ทั้งสิ้น 36 สูตร ทำขึ้นทดสอบจำนวน 5 ชิ้นทดสอบต่อหนึ่งสูตรในรอบการเผาตามวิธีที่ระบุไว้ในวิธีการดำเนินการวิจัย ทำการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ทั้งสิ้น 3 ครั้ง เพื่อยืนยันผล พบว่าสูตรที่ 10 อัตราส่วนซิลิการ้อยละ 50 หินปูนร้อยละ 10 เฟลด์สปาร์ร้อยละ 40 ให้การโน้มตัวของโคนใกล้เคียงโคนมาตรฐานและใกล้เคียงกับการคำนวณ





ภาพที่ 4 สูตรที่เกิดการหลอมตัว



ภาพที่ 5 ผลวิเคราะห์ทางความร้อนของไพโรเมตริกโคนสูตรที่ 10

ภาพที่ 5 ผลวิเคราะห์ทางความร้อนของไพโรเมตริกโคนสูตรที่ 10 อธิบายได้ถึงโน้มน้ำตัวของไพโรเมตริกโคนเมื่อผ่านการเผา เริ่มต้นจากเฟลด์สปาร์ ( $K_2O Na_2O Al_2O_3 6SiO_2$ ) ซึ่งมีส่วนผสมของออกไซด์ในกลุ่มอัลคาไลน์ (Alkaline Oxide) เช่น โซเดียมออกไซด์ และโพแทสเซียมออกไซด์ ดูดพลังงานเพื่อสลายพันธะ ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส พบว่าเฟลด์สปาร์เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัตถุดิบกลายเป็นลูไซต์ ( $Leucite, KNaO Al_2O_3 4SiO_2 + 2SiO_2$ ) ลูไซต์สามารถหลอมตัวเป็นน้ำแก้วหรือก้อน (Gob) เมื่อได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้น (Keowkamnerd, K., 2010) ในขณะที่ลูไซต์ที่มีสมบัติของต่างเริ่มหลอม จะส่งผลให้วัตถุดิบที่เป็นสารประกอบอื่น เช่น ซิลิกา และหินปูนที่มีความทนไฟสูงเริ่มหลอม อ่อนตัวลง และโน้มน้ำตัวเนื่องจากแรงโน้มถ่วงอันเกิดจากองศาที่ทำการตั้งโคนไว้ (Thiansem, S., 2009)

## 5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างไฟโรเมตริกโคน จากวัตถุดิบในจังหวัดลำปาง พบว่าการสร้างไฟโรเมตริกโคนช่วงอุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส โดยใช้เฟสไดอะแกรมระบบเทอนารี (Ternary) เพื่อผสมสารทั้ง 3 ชนิด คือ ซิลิกา หินปูน และเฟลด์สปาร์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ จำนวน 36 อัตราส่วนผสม พบว่าอัตราส่วนผสมที่ 3 4 5 6 7 8 9 10 13 14 และ 20 เกิดการโน้มตัว โดยสูตรที่ 10 อัตราส่วนซิลิกา ร้อยละ 50 หินปูน ร้อยละ 10 เฟลด์สปาร์ ร้อยละ 40 มีการโน้มตัวใกล้เคียงกับไฟโรเมตริกโคนมาตรฐานเบอร์ 5 ขณะทำการเผาพร้อมกัน

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของวัตถุดิบ พบว่าส่วนผสมมีผลต่อลักษณะการโค้งงอของไฟโรเมตริกโคนหลังการเผา หากมีวัตถุดิบที่ทนไฟเป็นส่วนผสมอยู่ปริมาณมากทำให้ไฟโรเมตริกโคนเกิดการโค้งงอน้อยหรือคงรูป หากมีวัตถุดิบที่ช่วยในการหลอมตัวอยู่มาก สามารถทำให้ไฟโรเมตริกเกิดการโค้งงอได้ง่าย (Khuntyoting, T., 2015)

ในการทดลองใช้เทอร์โมคัปเปิล TYPE R ที่ผ่านการสอบเทียบตามมาตรฐานการวัดอุณหภูมิระดับนานาชาติปี 1990 (ITS-90) ณ อุณหภูมิสูงสุด 1230 องศาเซลเซียส มีค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ไม่เกินร้อยละ 1 หรือ  $\pm 12$  องศาเซลเซียส เทอร์โมคัปเปิลติดตั้งบริเวณส่วนบนของเตาวงโคนที่ทดลอง และวางโคนมาตรฐานเบอร์ 5 6 7 ที่มีการโค้งงอที่อุณหภูมิ 1207 1243 1257 องศาเซลเซียส ในเตาเผาตามลำดับ พบว่าที่อุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิลแสดง 1230 องศาเซลเซียส โคนมาตรฐานเบอร์ 5 มีการหลอมตัวเนื่องจากเกินอุณหภูมิที่กำหนด โคนมาตรฐานเบอร์ 6 มีการโค้งงอใกล้เคียงกับระยะที่ผู้ผลิตกำหนด และโคนเบอร์ 7 เริ่มมีการโน้มตัว ดังแสดงในภาพที่ 4 ทำให้สามารถยืนยันผลได้ว่าค่าอุณหภูมิที่แสดงผลบนเทอร์โมคัปเปิล การโค้งงอของโคนมาตรฐาน และการโค้งงอของโคนที่ทดลองมีลักษณะสอดคล้องกัน

ทำการวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าไฟโรเมตริกโคนมาตรฐาน 1 กล่องบรรจุ 25 ชิ้น ราคา 360 บาท คิดเป็นชิ้นละ 14.4 บาท เทียบกับต้นทุนวัตถุดิบในการสร้างไฟโรเมตริกโคนสูตรที่ 10 มีอัตราส่วน ซิลิกา ร้อยละ 50 หินปูน ร้อยละ 10 เฟลด์สปาร์ ร้อยละ 40 จำนวน 25 ชิ้น เท่ากัน ต้องใช้วัตถุดิบทั้งสิ้น 1,250 กรัม แบ่งเป็นซิลิกา 625 กรัม เป็นเงิน 16.5 บาท หินปูน 125 กรัม เป็นเงิน 4 บาท และเฟลด์สปาร์ 500 กรัม เป็นเงิน 11 บาท รวมทั้งสิ้นต้นทุนในการสร้างไฟโรเมตริกโคนสูตรที่ 10 เป็นเงิน 31.5 บาท คิดเป็นชิ้นละ 1.26 บาท

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางที่มอบทุนสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณบริษัทแหลมทองพอร์ซเลนจังหวัดลำปาง ที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัย ตลอดจนนำชิ้นงานไปทดลองใช้จริงภายในโรงงาน ขอขอบคุณอาจารย์กนกกาญญา รวมไมตรี และขอใจนางสาวเบญจรัตน์ มีสุข นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิกที่ช่วยในการทำการทดลอง

## 7. เอกสารอ้างอิง

- Ingsiriwat, P., (2004). **Glaze**. Odeon Store, Bangkok
- Keowkamnerd, K., (2010). **Refractory**. Department of Industrial Chemistry, Faculty of Science, Chiang Mai University.
- Khunyotyng, T., (2015). **The Effect of Changes in Talc Size on the Properties of Earthenware**. Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal.
- Lawanwadeekul, S., (2016). **Guidelines of Quality Control in Ceramic Manufacturing Process for Reducing Defect in Factory :Case Study of The Small Ceramic Factories in Lampang Province That Joined the Project "Pee Liang Nong 2"**. National Lampang Research Conference 2, Lampang
- Orton Ceramic. (2016). **Temperature Equivalents for Orton Pyrometric Cones (°C)**. [online]. Available HTTP:[https://www.ortonceramic.com/Pyrometric\\_Conos/](https://www.ortonceramic.com/Pyrometric_Conos/)
- Research and Development Institute. (2016). **Research Report of the Research Fund**. Lampang Rajabhat University, Lampang
- Thiansem, S., (2009). **Sanitary Ware**. Department of Industrial Chemistry, Faculty of Science, Chiang Mai University.
- TISI. (1985). **Refractory Test Materials Vol. 3 Equivalent Pyrometric Cone (PCE)**. Ministry of Industry, Bangkok

Industrial Technology  
Lampang Rajabhat University Journal