

การศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างดินขาวลำปาง และดินดำแม่ทาน ต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของน้ำดินหล่อ

Study of Ratio between Lampang Kaolin and Mae Tan Ball Clay on Physical and Mechanical Properties of Clay Slip

ศิวัช ลาวัลย์วงศ์กุล^{1*}, กิตติชัย รมะมิ่งวงศ์²

^{1*} สาขามหาวิทยาลัยและระบบคุณภาพ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

119 ถนนลำปาง-แม่ทะ ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง โทร 081-5307695 E-mail b_sivat@hotmail.com

² สาขาเทคโนโลยีเซรามิก คณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

บทคัดย่อ

การศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม ระหว่างดินขาวลำปาง และดินดำแม่ทาน ต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของน้ำดินหล่อ เริ่มจากผสมเนื้อดิน 2 ชนิดเข้าหากัน ในอัตราส่วนต่าง ๆ ขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อ นำไปผ่านการเผา ในบรรยากาศแบบออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส นำชิ้นทดสอบที่ได้หลังการเผามาศึกษาลักษณะเฉพาะ ทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และวิเคราะห์เฟสที่เกิดขึ้นภายหลังการเผาโดยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน จากผลการศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างดินขาวลำปาง และดินดำแม่ทาน 70 ต่อ 30 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมเนื่องจากไม่พบการโค้งงอ ความแข็งแรงเหมาะสม และต้นทุนการผลิตต่ำ

คำสำคัญ: น้ำดินหล่อ, ดินขาวลำปาง, ดินดำแม่ทาน, สมบัติกายภาพและสมบัติเชิงกล

Abstract

The purpose of the study was to find the appropriate ratio of Lampang kaolin and Maetan ball clays and the physical and mechanical properties of clay slip. The two types of clay were mixed with different ratios and formed by casting. The mixtures were then fired at 1230°C in an oxidation atmosphere. The mixtures were later tested for their physical and mechanical properties and investigate by X-ray diffraction. The results showed that a 70:30 ratio of Lampang kaolin and Mea Rim ball clay was the most appropriate ratio as it offered the appropriate strength and the cost was relatively low.

Keywords: clay slip, lampang kaolin, mae tan ball clay, physical and mechanical properties

1. บทนำ

การขึ้นรูปด้วยน้ำดินหล่อ หรือ การหล่อน้ำสลิป เป็นการขึ้นรูปที่ต้องอาศัยพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ช่วยในการขึ้นรูปให้ได้ตามรูปร่างและขนาดตามแบบพิมพ์นั้น ปูนปลาสเตอร์มีคุณสมบัติในการดูดน้ำทำให้อนุภาคของดินไปเกาะอัดภายในแบบพิมพ์ ซึ่งการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อน้ำดินสามารถให้ผลิตภัณฑ์มีมาตรฐานเดียวกัน ทั้งขนาด รูปร่าง รูปทรง และความหนา จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกับระบบการผลิตแบบอุตสาหกรรม (สมศักดิ์ ขวาลาวีณย์, 2549: 141.) แต่อย่างไรก็ตามการขึ้นรูปโดยการหล่อน้ำสลิป ยังคงพบปัญหาการบิดเบี้ยวโค้งงอของผลิตภัณฑ์ โดยปกติพบมากในผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่ได้รูปทรง และขนาดตามที่ลูกค้าต้องการ ปัญหาดังกล่าวจึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หลายโรงงานในภาคอุตสาหกรรมเซรามิกของจังหวัดลำปางเกิดการสูญเสียรายได้ อันเนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐาน ส่งผลถึงการขนส่งสินค้าล่าช้าไม่เป็นไปตามระยะเวลาที่กำหนด และรวมถึงต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการสูญเสีย (ศูนย์พัฒนาเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ, 2539: 30.)

จากรายงานการวิจัยหลายชิ้นก่อนหน้านี้ พบว่ามีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาการบิดเบี้ยวโค้งงอของผลิตภัณฑ์เซรามิก เช่น คุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเป็นน้ำดินหล่อ การถอดผลิตภัณฑ์ออกจากแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ ตลอดจนปัญหาการบิดเบี้ยวที่เกิดระหว่างกระบวนการขนส่งผลิตภัณฑ์

จังหวัดลำปางเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีชื่อเสียงทางอุตสาหกรรมเซรามิก มีแหล่งวัตถุดิบและมีสถานประกอบการที่เป็นสมาชิกสมาคมเครื่องปั้นดินเผาลำปางรวมประมาณ 73 โรงงาน โดยสถานประกอบการเซรามิกขนาดกลาง และขนาดเล็ก นิยมใช้วัตถุดิบเพียง 2 ชนิดในการเตรียมน้ำดินหล่อ คือ ดินขาว และดินดำ เพื่อลดปัญหาการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบหลายชนิด และลดต้นทุนค่าใช้จ่ายที่มาจาก การเตรียมวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ ผลการสำรวจราคาวัตถุดิบพบว่า ดินขาวลำปาง ขนาด 200 เมช ราคา ตันละ 1,550 บาท ดินดำแม่ทาน ราคาตันละ 2,650 บาท ซึ่งหากควบคุมอัตราส่วนผสมให้เหมาะสมในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี โดยไม่ต้องทำการเติมตัวเติมชนิดอื่น ส่งผลให้สามารถลดต้นทุนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตได้

จากข้างต้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาถึงผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง ดินขาวลำปาง และดินดำแม่ทาน เพื่อลดปัญหาการบิดเบี้ยวโค้งงอ โดยทดสอบสมบัติทางกายภาพ เช่น การหดตัวภายหลังการเผา สีของเนื้อดิน การดูดซึมน้ำ ทดสอบสมบัติเชิงกลโดยทดสอบค่าความแกร่ง และค่าการโค้งงอ เพื่อหาสูตรน้ำดินหล่อที่เหมาะสมที่ลดเกิดปัญหาการบิดเบี้ยวโค้งงอ สำหรับนำอัตราส่วนดังกล่าวไปใช้ในสถานประกอบการเซรามิกขนาดเล็กและขนาดกลาง ตลอดจนผู้สนใจทางเซรามิกนำมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นและประยุกต์ใช้สำหรับพัฒนาเนื้อดินเซรามิกต่อไป

2. วิธีการดำเนินการ

นำดินขาวลำปางขนาด 200 เมช และ ดินดำแม่ทาน วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence (XRF)) Philips รุ่น Magix pro T04005 และศึกษาองค์ประกอบทางแร่โดยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน Panalytical รุ่น X pert pro MPD X-ray ทำการผสมดินสองชนิดเข้าหากันในอัตราส่วนดัง ตารางที่1

ตารางที่1 อัตราส่วนระหว่างดินขาวลำปาง และดินดำแม่ทาน

แหล่งดิน/ชุดการทดลองที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ดินขาวลำปาง (ร้อยละ)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
ดินดำแม่ทาน (ร้อยละ)	-	10	20	30	40	50	60	70	80	90

การทดสอบกำหนดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำดินหลอมระหว่าง 1.70 – 1.75 ขึ้นรูปขึ้นทดสอบในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ นำขึ้นทดสอบที่ได้เผาในอุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน ยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 30 นาที

ทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลหลังการเผา จากขึ้นทดสอบ 5 ชิ้น โดยการหาค่าเฉลี่ย สังเกตดูสีที่พบหลังการเผา ศึกษาการหดตัวหลังการเผา (firing shrinkage) ตามมาตรฐาน ASTM C 326-82 (2002) การดูดซึมน้ำ (water absorption) ตามมาตรฐาน ASTM C 373-88 (2002) หาค่าความแข็งแรง (bending strength) โดยใช้เครื่องมือแบบ AG-1 Series, Shimadzu ตามมาตรฐาน ASTM C1161-02 (2002) โดยใช้การวัดสามจุด กำหนดความเร็ว 0.5 มิลลิเมตร ต่อนาที ทดสอบวัดการโค้งงอ และเฟสที่เกิดภายหลังการเผาโดยเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน เพื่อดูถึงความเหมาะสมของอัตราส่วนระหว่างดินทั้ง 2 ชนิด โดยเลือกจากขึ้นทดสอบที่ไม่พบปัญหาการโค้งงอ และมีมาตรฐานเป็นตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์

3. ผลการศึกษา

3.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและองค์ประกอบทางแร่ของวัตถุดิบก่อนการเผา

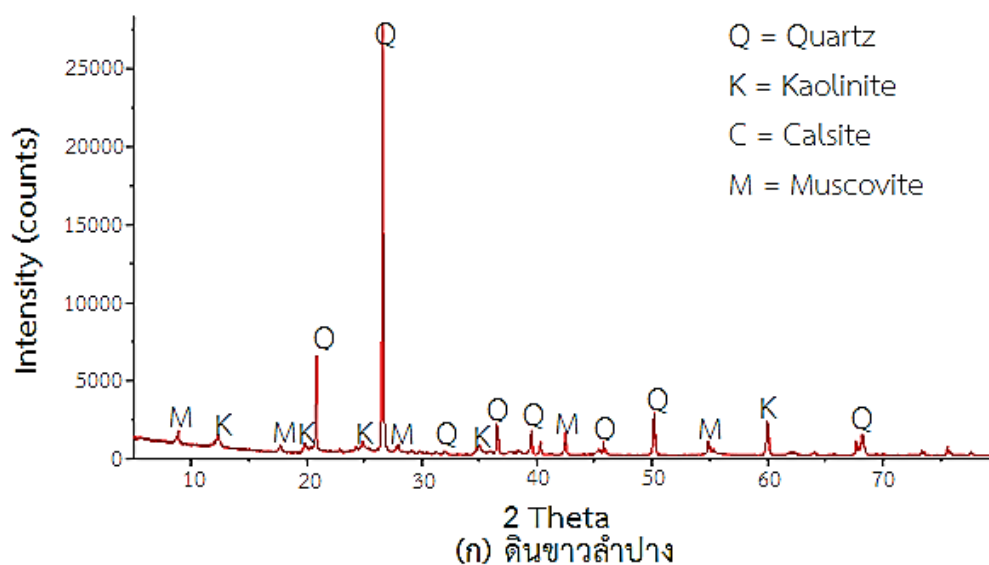
จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดินทั้งสองชนิดมีปริมาณ ซิลิกา (SiO_2) สูง ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 2 ส่งผลให้มีความทนไฟสูง และมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องด้วยความร้อนสูง ซึ่งส่งผลเสียต่อผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ในกระบวนการเผา ส่งผลให้เกิดการแตกร้าวได้ง่าย ทั้งนี้กระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นรุนแรงหรือไม่ขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของซิลิกาที่พบอีกด้วย

ปริมาณของเหล็ก (Fe_2O_3) ที่พบในดินทั้งสองชนิดมีค่าเกินร้อยละ 1 มีผลต่อการเกิดสีของเนื้อดินหลังการเผา กรณีเผาออกซิเดชันได้สีน้ำตาล ดังนั้นหากต้องการเนื้อดินที่มีความขาว ควรมีปริมาณของเหล็กไม่เกินร้อยละ 1 และจากผลการวิเคราะห์ยังพบว่าปริมาณดินขาวลำปางมีผลรวมของอัตราส่วนระหว่างโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) และโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ถึงร้อยละ 3.86 ซึ่งเป็นปริมาณที่มากสำหรับเนื้อดิน เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของสารทั้งสองชนิด มีคุณสมบัติเป็นตัวหลอมละลาย (flux) ดังนั้นในเนื้อดิน ควรมีปริมาณไม่เกินร้อยละ 4 (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2540.)

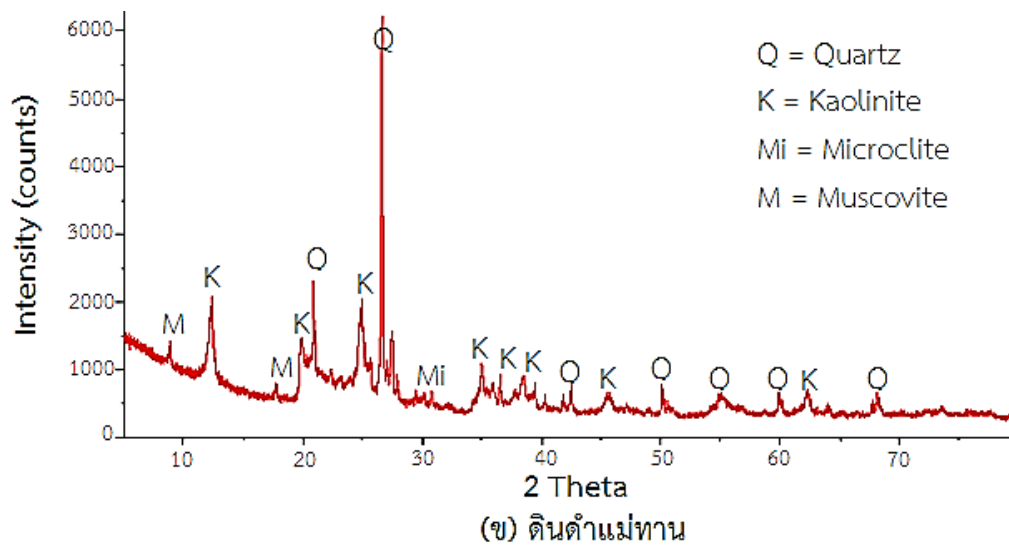
ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดตัวอย่าง	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	LOI
ดินขาว#200	67.33	21.91	1.11	0.10	0.18	0.06	0.14	3.31	0.55	5.29
ดินดำแม่ทาน	71.20	18.61	1.65	0.65	0.10	0.10	0.34	2.72	0.22	4.65

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของวัตถุดิบทั้งสองชนิดพบว่า องค์ประกอบทางแร่ของ ดินขาวลำปาง ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ (SiO₂) แร่เคโอลิไนต์ (Al₂O₃·2SiO₂·2H₂O) แร่แคลไซต์ (CaCO₃) แร่มีสโคไวต์ (KAl₃Si₃O₁₀) และแร่อัลไบท์ (NaAlSi₃O₈) ส่วนองค์ประกอบทางแร่ของดินดำแม่ทาน ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ เคโอลิไนต์ ไมโครไคลน์ (KAlSi₃O₈) และแร่มีสโคไวต์ ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบทางแร่เหล่านี้มีโอกาที่จะทำให้เกิดสารประกอบมลโสดได้ดีเนื่องจากมีอัตราส่วนระหว่าง อะลูมินา (Al₂O₃) และ ซิลิกา (คชินท์ สายอินทวงศ์, 2555.) ทำให้สามารถคาดได้ว่าสารประกอบมลโสดที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้เกิดการโค้งงอลดลง และมีค่าความแกร่งสูงขึ้น (J. Martín -Márquez, 2010.) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กราฟ XRD แสดงองค์ประกอบทางแร่ของวัตถุดิบ (ก) ดินขาวลำปาง และ (ข) ดินดำแม่ทาน



ภาพที่ 1 กราฟ XRD แสดงองค์ประกอบทางแร่ของวัตถุดิบ (ก) ดินขาวลำปาง และ (ข) ดินดำแม่ทาน (ต่อ)

3.2 สมบัติของดินหลังการเผา

ผลการทดสอบน้ำดินหล่อในเบื้องต้น พบว่าเมื่อใช้ดินดำแม่ทานเกิน ร้อยละ 50 อัตราการหล่อค่อนข้างช้า ไม่สามารถทำผลิตภัณฑ์ได้ในปริมาณที่ต้องการของโรงงานในแต่ละวัน ทั้งยังพบความแข็งแรงหลังการเผาลดลง จึงไม่นำสูตรที่มีดินดำแม่ทานที่เกินร้อยละ 50 แสดงในผลการทดลอง

จากผลการทดลองตารางที่ 3 พบอัตราส่วนระหว่างดินขาวร้อยละ 80 และดินดำร้อยละ 20 (สูตรที่ 5) ซึ่งเป็นสูตรที่ใช้ปัจจุบันในโรงงานมีค่าการโค้งงอถึง 3.5 มิลลิเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณดินขาว แนวโน้มพบว่า อัตราการหล่อมีค่าเพิ่มขึ้น และความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้น แต่ค่าการโค้งงอมีค่าเท่าเดิม แต่เมื่อปริมาณดินดำเพิ่มขึ้น ในสูตรที่ 3 (70 ต่อ 30) ไม่พบค่าการโค้งงอ พบอัตราการหล่อ อัตราการหดตัว และค่าความแกร่งโดยเฉลี่ยของเนื้อดินลดลง โดยผลทดสอบที่ได้อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน และเป็นไปตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์

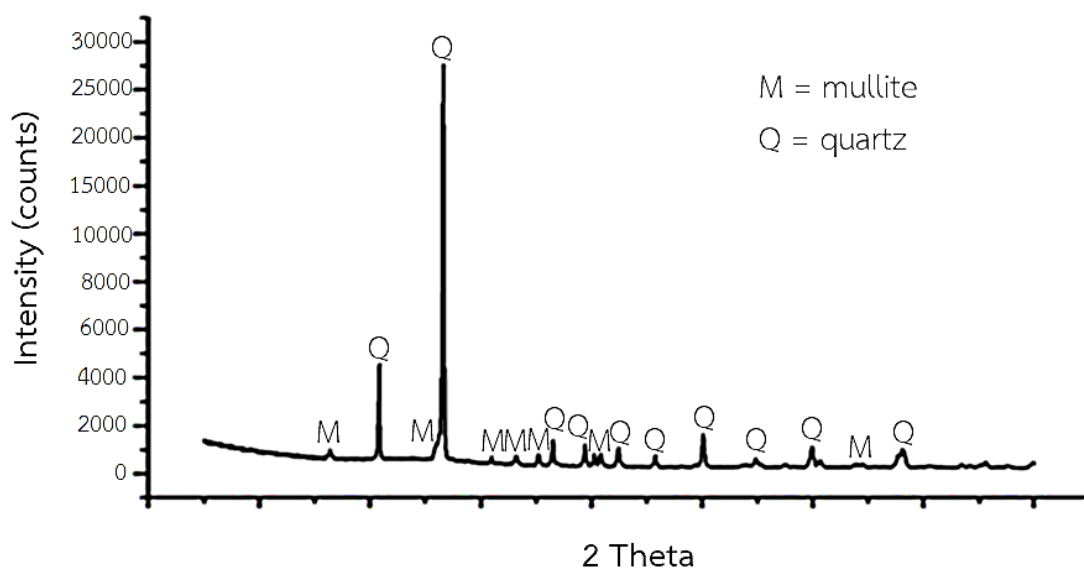
คาดว่าเมื่อเพิ่มดินดำมากขึ้นปัญหาการโค้งงอลดลง สาเหตุเนื่องจากดินดำมีความเหนียวสูง จึงมีความสามารถในการคงรูปเพิ่มขึ้น (forming ability) แต่สาเหตุที่ค่าความแข็งแรงลดต่ำลงเนื่องจากปริมาณของมลโลดที่เกิดขึ้นหลังการเผาเกิดลดลง (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2540.)

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติของน้ำดินหลังการเผา

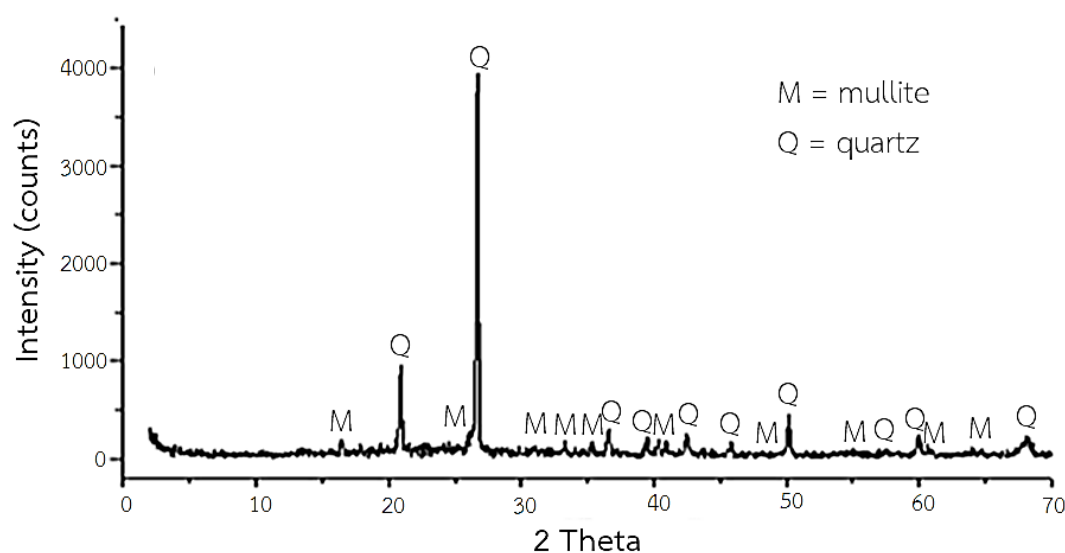
น้ำดินสูตรที่ (ดินขาว: ดินดำ)	การทดสอบ							
	อัตราการหล่อ (มิลลิเมตร)			การโค้ง งอ (มิลลิ เมตร)	การหดตัว ของ เนื้อดิน หลังเผา (ร้อยละ)	สีของ เนื้อดิน หลังการ เผา	ค่าความ แกร่ง (เมกะ ปาสคาล)	การดูด ซึมน้ำ (ร้อยละ)
	10 นาที่	20 นาที่	30 นาที่					
1. (60 : 40)	2	3	4	0	12	เหลือง ครีม	101.29	4.2
2. (65 : 35)	3	4	5	0	13	เหลือง ครีม	110.32	4.2
3. (70 : 30)	4	5	6	0	13	เหลือง ครีม	114.73	4.2
4. (75 : 25)	4	5	6	2	13	เหลือง ครีม	120.54	4.2
5. (80 : 20) ดินที่ใช้ใน โรงงาน	5	6	6.2	3.5	13	ครีม	120.97	4.2
6. (85 : 15)	6	6.5	8	3.5	13	ครีม	120.57	4.2
7. (90 : 10)	6	7	8.2	3.5	13	ครีม	122.65	4.2

3.3 องค์ประกอบทางแร่ของน้ำดินหลังการเผา

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเนื้อดิน เพื่อยืนยันถึงปริมาณการเกิดสารประกอบซิลิเกต พบภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส สูตรที่ 7 ปริมาณดินขาวลำปางร้อยละ 90 และดินดำแม่ทวนร้อยละ 10 ภาพที่ 2 (ก) กับสูตรที่ 1 ปริมาณดินขาวลำปางร้อยละ 60 และดินดำแม่ทวนร้อยละ 40 ภาพที่ 2 (ข) พบการเกิดสารประกอบซิลิเกต ที่มุม 2Theta ต่าง ๆ ที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อสังเกตแกน y ค่าความเข้มข้น (intensity) พบความแตกต่างอย่างชัดเจน เมื่อเพิ่มปริมาณดินขาวมากขึ้นเอื้อให้เกิดสารประกอบซิลิเกตเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความแกร่งเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 2



(ก) สูตรที่ 7 (90 : 10)



(ข) สูตรที่ 1 (60 : 40)

ภาพที่ 2 กราฟ XRD แสดงองค์ประกอบทางแร่ของน้ำดินหล่อหลังการเผา

(ก) สูตรที่ 7 (90 : 10) และ (ข) สูตรที่ 1 (60 : 40)

4. สรุปและการอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์และทดสอบ พบว่าอัตราส่วนระหว่างดินขาวลำปาง และดินดำแม่ทาน ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของน้ำดินหล่อ ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การหดตัวภายหลังการเผา สีของเนื้อดิน การดูดซึมน้ำ ค่าที่ได้ในแต่ละชุดข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกัน สมบัติเชิงกลพบว่าปริมาณของดินดำที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแกร่งลดลง เนื่องจากปริมาณของอะลูมินาต่อซิลิกา ไม่เพียงพอที่เกิดสารประกอบมัลไลต์ เนื่องจากปริมาณ อะลูมินาต่อซิลิกาที่พบในองค์ประกอบทางเคมีค่อนข้างต่ำ (Cemail Aksel, 2002)

สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Ven, G. L., & Ting, H. Y., 2003) ที่ทำการศึกษาการพัฒนาสมบัติเชิงกลของเนื้อเซรามิกหลังการเผา โดยวัตถุดิบที่นำมาทดลองเป็นวัตถุดิบที่ทำกระเบื้องและอิฐอยู่ในอุตสาหกรรมเซรามิกในประเทศไทยได้หวั่น ศึกษาวิเคราะห์สมบัติทางแรง สมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลหลังกระบวนการเผา พบว่าเมื่อเผาจนถึงอุณหภูมิสูงสุด สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลที่ได้มีเปอร์เซ็นต์ที่ใกล้เคียงกัน แต่ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาการเผาสมบูรณ์ส่งผลให้ความเป็นผลึกมัลไลต์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความเป็นมัลไลต์คือ 1150 องศาเซลเซียส ขึ้นไป อย่างไรก็ตามการแช่ไฟ ก็เป็นการเพิ่มปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดมัลไลต์ได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะทำให้สมบัติเชิงกลภายหลังการเผามีคุณภาพดีขึ้น (Ven, G. L., & Ting, H. Y., 2003) แต่เนื่องจากสารประกอบมัลไลต์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลเพียงให้ค่าความแกร่งที่เพิ่มขึ้น ไม่ทำให้การโค้งงอลดลง จึงมุ่งประเด็นไปที่ความเหนียวทั้งนี้เนื่องจากดินขาวเป็นดินที่มีความเหนียวน้อย (two - layer mineral) จึงมีความสามารถในการคงรูปต่ำ ส่งผลทำให้เกิดการบิดเบี้ยวโค้งงอขึ้น

ดังนั้นการศึกษารังนี้ต้องการลดปัญหาการบิดเบี้ยวโค้งงอ จึงได้เลือกอัตราส่วนของน้ำดินหล่อที่เหมาะสมในการใช้งาน คือ สูตรที่ 3 ดินขาวลำปางร้อยละ 70 และดินดำแม่ทานร้อยละ 30 ซึ่งเป็นสูตรที่ไม่พบการโค้งงอ ค่าความแข็งแรงเฉลี่ยอยู่ที่ 114.735 เมกะปาสคาล อยู่ในมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ สโตนแวร์ และเมื่อเปรียบเทียบกับราคาดินขาวลำปางขนาด 200 เมช มีราคาที่ถูกกว่าดินดำแม่ทาน ดังนั้นหากใช้ปริมาณดินขาวสูงกว่าดินดำ จะสามารถลดต้นทุนของวัตถุดิบลงได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทางหุ้นส่วนจำกัดดินเผาแหลมทองจังหวัดลำปางที่ได้เอื้อเฟื้อวัตถุดิบ และสถานที่ ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

6. บรรณานุกรม

คชินท์ สายอินทวงศ์. (2555). การผลิตแผ่นรองเตาชนิดมัลไลต์ คอร์เดียไลต์, [ออนไลน์].

แหล่งที่มา: http://www.thaiceramicsociety.com/pc_glaze_1.php, เข้าดูเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2555.

ดร.ณิ วัฒนศิริเวช และ สุธี วัฒนศิริเวช. (2552). การวิเคราะห์แร่ดิน เคลือบ และ ตำหนิในผลิตภัณฑ์เซรามิก. กรุงเทพฯ: เอเชียเพรส.

ไพจิตร อิงศิริวัฒน์. (2540). เนื้อดินเซรามิก. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

- ศูนย์พัฒนาเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ. (2539). **เนื้อดิน**. วารสาร สมาคมเซรามิกจังหวัดลำปาง, ประจำเดือน กรกฎาคม - สิงหาคม 2539, หน้า 30.
- สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์. (2549). **เซรามิกส์**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- อิทธิพล นามบัณฑิต และศักดิ์พล เทียนเสมอ. (2553). **ผลของการเผาเร็วครั้งเดียวต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในผลิตภัณฑ์สโตนแวร์**, การประชุมวิชาการ “นเรศวรวิจัย” ครั้งที่ 7, หน้า 493 – 499.
- Cemail Aksel. (2002). **The effect of mullite on the mechanical properties and thermal shock behaviour of alumina–mullite refractory materials**. Ceramics International 29, 183–188.
- Jorge, M. M., Jesus, M. R., & Maximina. R. (2010). **Mullite development on firing in porcelain stoneware bodies**. Journal of the European Ceramic Society, 30, 1599-1607.
- Materials Engineering Prince of Songkla University. (2009). **Engineering ceramics**, http://enghome.eng.psu.ac.th/mne/staff/lek_files/ceramic/u2.htm, access on 24/10/2012.
- Ryan and Radford. (1997). **Whitewares**, London: The Institute of Materials 1 Carton House Terrace.
- University of Cambridge. (2010). **X-ray crystallography** <http://www.bloggang.com/mainblog.php?id=timestoenjoy&month=11-02-2006&group=1&gblog=1>, access on 11/10/2010.
- Ven, G. L., & Ting, H. Y. (2003). **Sintering effects on the development of mechanical properties of fired clay ceramics**. Materials Science and Engineering A, 485, 5-13.