

# แบบพิมพ์เซรามิกส์สำหรับกระบวนการจุ่มขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ

## Ceramic molds for dipping process of natural rubber products

นุชรีย์ ชมเชย<sup>1\*</sup>Nucharee Chomchoey<sup>1\*</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสูตรส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อใช้ผลิตแบบพิมพ์เซรามิกส์สำหรับกระบวนการจุ่มขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ มีวิธีดำเนินการ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 ทดสอบสมบัติของสูตรดินผสม 10 สูตร โดยใช้แผนภาพตารางสามเหลี่ยมด้านเท่ากำหนดอัตราส่วนผสมวัตถุดิบ ดินขาว ไดอะตอมไมท์ และเบนโทไนต์ ขึ้นรูปขึ้นทดสอบด้วยวิธีหล่อน้ำดิน และเผาที่อุณหภูมิ 800°C ในบรรยากาศออกซิเดชัน ทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลตามมาตรฐาน ASTM C 326-03 ASTM C 373-72 และ ASTM C 674-81 ทดสอบสีโดยใช้เครื่องวัดสีมิโนลต้า วิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณทางแร่ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction; XRD) และวิเคราะห์สมบัติโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM) ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบการใช้งานจริงโดยนำสูตรที่เหมาะสมขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ผลการวิจัย พบว่า สูตรที่เหมาะสมที่จะใช้ผลิตแบบพิมพ์เซรามิกส์สำหรับกระบวนการจุ่มขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ ประกอบด้วยดินขาว 53-58 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไดอะตอมไมท์ 27-36 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเบนโทไนต์ 10-15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะพิเศษ คือ มีความพรุนตัว 41-45 เปอร์เซ็นต์ การหดตัว 0.7-1.0 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรของรูพรุนเปิด 11-16 ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าโมดูลัสของการแตกหัก 6-8 เมกะพาสคาล ผลการนำไปใช้งาน พบว่า แบบพิมพ์เซรามิกส์มีคุณสมบัติเด่นเรื่องน้ำหนักเบา ดูดติดน้ำได้ดี ขึ้นงานที่ขึ้นรูปจากแบบพิมพ์มีผิวเรียบ มีความหนาสม่ำเสมอ และถอดชิ้นงานออกจากแบบพิมพ์ได้ง่าย

**คำสำคัญ:** แบบพิมพ์เซรามิกส์ ดินขาว ไดอะตอมไมท์ เบนโทไนต์ ยางธรรมชาติ

### Abstract

The aim of this research is to develop an optimal formulation of ingredients for producing ceramic molds used in the dipping process of natural rubber products. The methodology was divided into two steps. In Step 1, we tested the properties of 10 different soil mixtures using an equilateral triangle grid diagram to determine the optimal ratios of kaolin, diatomite, and bentonite. Specimens were created using a solid casting method and fired at 800°C in an oxidizing atmosphere. We assessed physical and mechanical properties in accordance with ASTM C 326-03, ASTM C 373-72, and ASTM C 674-81 standards. Color measurements were conducted with a Minolta chroma meter, while mineral composition and content were analyzed via X-ray diffraction (XRD), and microstructural properties were examined using scanning electron microscopy (SEM). In Step 2, we tested the practical applications by using the appropriate formula to create a prototype for the rubber product dipping process. The results indicated that the optimal clay mixture for manufacturing ceramic molds comprises 53-58% kaolin by weight, 27-36% diatomite by weight, and 10-15% bentonite by weight. The ceramic products exhibited distinctive properties, including an apparent porosity of 41-45%,

<sup>1</sup> คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

<sup>1</sup> Faculty of Science, Prince of Songkla University, Songkhla 90110

\*Corresponding author: e-mail: Nucharee.ch@psu.ac.th

Received: November 4, 2023, Accepted: December 10, 2023, Published: July 16, 2024



shrinkage of 0.7-1.0%, open pore volume of 11-16 cm<sup>3</sup>, and a modulus of rupture of 6-8 MPa. The application of these ceramic molds demonstrated outstanding properties such as lightweight and excellent latex absorption. Workpieces produced with these ceramic molds could be easily removed and had smooth surfaces with consistent thickness.

**Keywords:** ceramic mold, kaolin, diatomite, bentonite, natural rubber

## บทนำ

หลักสูตรวัสดุศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มีภารกิจด้านการเรียน การสอน ด้านการวิจัย และด้านบริการวิชาการไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์ทดสอบ การให้คำปรึกษา รวมถึงการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องทางด้านวัสดุและการนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งปัญหาการเลือกใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสมกับการใช้งานก็เป็นปัญหาหนึ่งที่ต้องตระหนักและให้ความสำคัญ เช่น การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติด้วยกระบวนการจุ่ม (Dipping) โดยใช้แบบพิมพ์ปูนพลาสเตอร์จะนำแบบพิมพ์ที่อุณหภูมิ 60°C เพื่ออุ่นแบบพิมพ์ ก่อนนำแบบพิมพ์จุ่มในสารช่วยจับตัว จากนั้นนำแบบพิมพ์จุ่มในสูตรน้ำยางที่เตรียมไว้และนำแบบพิมพ์ที่อุณหภูมิ 80-120°C เป็นเวลา 10-15 นาที ทำให้แบบพิมพ์ปูนพลาสเตอร์มีอายุการใช้งานสั้นลง เปราะและมีผิวขรุขระ ไม่เรียบ เนื่องจากอุณหภูมิการตากหรืออบแห้งปูนพลาสเตอร์ไม่ควรเกิน 60°C ซึ่งหากอุณหภูมิที่ใช้อบสูงกว่า 100°C น้ำผลึกในปูนพลาสเตอร์จะถูกเผาจนระเหิดกลายเป็นไอ ทำให้ผลึกปูนกรอบ เสื่อมสภาพ เปราะ และแตกหักได้ง่าย (สุมาลี, 2538) ดังนั้นการผลิตแบบพิมพ์เซรามิกส์เพื่อใช้แทนแบบพิมพ์ปูนพลาสเตอร์จึงเป็นการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม และเป็นการแก้ปัญหาที่น่าสนใจ เนื่องจากวัสดุเซรามิกส์มีสมบัติเด่น คือ ทนความร้อน มีจุดหลอมเหลวสูง และทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีได้ดี ซึ่งผู้วิจัยเคยศึกษาและผลิตแบบพิมพ์เซรามิกส์สำหรับผลิตแผ่นมเทียมจากยางพองน้ำโดยใช้วิธีการขึ้นรูปแบบหล่อขึ้นดินทั้งในส่วนของการทดสอบและตัวผลิตภัณฑ์ ทำการเผาขึ้นงานที่อุณหภูมิ 800°C และทดสอบการใช้งานจริงโดยนำไปใช้ผลิตแผ่นมเทียมจากยางพองน้ำธรรมชาติ ผลทดสอบ พบว่า สามารถนำไปใช้ขึ้นรูปแผ่นมเทียมจากยางพองน้ำแทนแบบเดิมที่ผลิตจากปูนพลาสเตอร์ได้ดี มีคุณสมบัติเด่นในเรื่องน้ำหนักเบา สามารถเก็บรายละเอียดได้ครบ ผิวเรียบ มีอายุการใช้งานนานขึ้นและที่สำคัญ คือ สามารถทนต่อไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการคงรูปแผ่นมเทียมจากยางพองน้ำได้ (นุชรี, 2562) โดยในงานวิจัยดังกล่าวใช้ดินผสมสำเร็จรูปทางการค้า (คอมพาวด์เคลย์) แต่ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยคิดค้นสูตรผสมขึ้นมาใหม่โดยใช้ ดินขาว โคอะตอมไมท์ และเบนโทไนต์เป็นวัตถุดิบหลัก จำนวน 10 สูตร โดยใช้ตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า (Triaxial diagram) กำหนดสูตรส่วนผสม เน้นให้มีคุณสมบัติเรื่องความแข็งแรง น้ำหนักเบา ค่าการหดตัวหลังเผาต่ำ ใช้ระยะเวลาในการขึ้นรูปน้อยและถอดชิ้นงานออกจากแบบได้ง่าย แต่ยังคงสามารถเก็บรายละเอียดได้ครบ ผิวเรียบ มีอายุการใช้งานสูง โดยทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลตามมาตรฐานการทดสอบชิ้นงานเซรามิกส์ ASTM C 326-03 ASTM C 373-72 และ ASTM C 674-81 ตรวจวัดสี วิเคราะห์ทางเรขาคณิต (XRD) วิเคราะห์คุณสมบัติโครงสร้าง (SEM) และทดสอบการใช้งานจริงโดยนำสูตรที่เหมาะสมขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบและนำไปใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ ซึ่งสูตรส่วนผสมที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการเรียนการสอนทั้งรายวิชาปฏิบัติการภายในหลักสูตรและภายนอกหลักสูตร เช่น นำสูตรที่ได้ไปใช้ขึ้นรูปแท่งทดสอบตามมาตรฐานการเตรียมชิ้นงานสำหรับให้นักศึกษาใช้ทำปฏิบัติการในรายวิชา 317-301 ปฏิบัติการทดสอบสมบัติของวัสดุ 1 หลักสูตรวัสดุศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และใช้ในรายวิชาปฏิบัติการ 343-321 ปฏิบัติการน้ำยาง หลักสูตรวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รวมถึงการนำไปใช้ประโยชน์ โดยการเปิดเป็นบริการวิชาการแก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ สามารถต่อยอดไปสู่การใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้

## วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาสูตรส่วนผสมสำหรับใช้ขึ้นรูปแบบพิมพ์เซรามิกส์แทนแบบพิมพ์ปูนพลาสเตอร์
2. เพื่อบริการวิชาการแก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ

## ระเบียบวิธีวิจัย

## ขั้นตอนที่ 1 ทดสอบสมบัติของสูตรดินผสม

1. การเตรียมวัตถุดิบ นำวัตถุดิบ ดินขาว (Kaolin) ไดอะตอมไมท์ (Diatomite No.RS-80) และ เบนโทไนต์ (Bentonite White) ซึ่งผ่านกระบวนการล้างจากบริษัทผู้ผลิตต่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

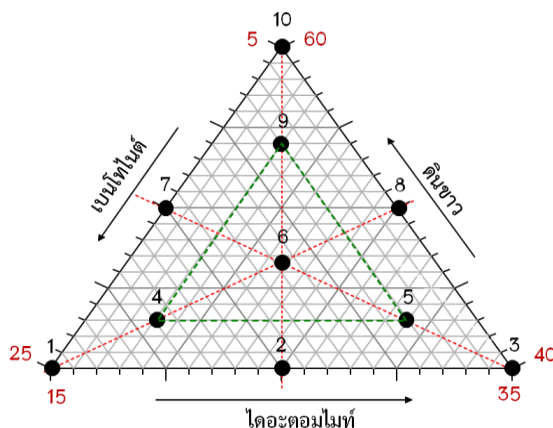
## 2. การขึ้นรูปชิ้นทดสอบ

2.1 กำหนดอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบโดยใช้ตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า ดังภาพที่ 1 คำนวณและชั่งส่วนผสม จำนวน 10 สูตร จากวัตถุดิบ ดินขาว ไดอะตอมไมท์ และเบนโทไนต์ ดังตารางที่ 1 โดยผสมวัตถุดิบลงในหม้อบดขนาด 2 กิโลกรัม พร้อมลูกบดอลูมินา ขนาด 10 15 และ 20 มิลลิเมตร ปริมาณ  $\frac{1}{2}$  ของหม้อบด เติมน้ำกรอง 1600 มิลลิลิตร อัตราส่วน solid : liquid; 1 : 1.5-2 ทั้งนี้ปริมาณน้ำที่เติมขึ้นอยู่กับปริมาณเบนโทไนต์ (ปริมาณน้ำแปรผันโดยตรงกับปริมาณเบนโทไนต์) บดผสมวัตถุดิบโดยใช้เครื่องบดผสม (Ball mill) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และตั้งทิ้งไว้ 1 คืน

2.2 นำน้ำดิน (น้ำสลิป) ที่ได้หยดโซเดียมซิลิเกต และกวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เครื่องกวนน้ำดิน ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที วัดค่าความถ่วงจำเพาะให้อยู่ในช่วง 1.4-1.5 โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์

2.3 ขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อหน้าดินแบบหล่อตัน (เทน้ำสลิปให้เต็มแบบพิมพ์ในครั้งเดียว) โดยใช้แบบพิมพ์ปูนพลาสติกขนาดร่อง กว้าง 3.00 เซนติเมตร ยาว 13.5 เซนติเมตร และ ลึก 1.5 เซนติเมตร วางขึ้นทดสอบทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

2.4 ตกแต่งชิ้นทดสอบ เขียนตัวเลขระบุหมายเลขบนชิ้นทดสอบ



ภาพที่ 1 การกำหนดอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบโดยใช้ตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า

ตารางที่ 1 สูตรดินผสม 10 สูตร คำนวณเทียบสัดส่วนโดยน้ำหนักเป็นสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

สูตร	สัดส่วนโดยน้ำหนัก (g)			สัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)		
	ดินขาว	ไดอะตอมไมท์	เบนโทไนต์	ดินขาว	ไดอะตอมไมท์	เบนโทไนต์
1	40.00	15.00	25.00	50.00	18.75	31.25
2	40.00	25.00	15.00	50.00	31.25	18.75
3	40.00	35.00	5.00	50.00	43.75	6.25
4	43.00	18.00	19.00	53.75	22.50	23.75
5	43.00	29.00	8.00	53.75	36.25	10.00
6	46.50	21.75	11.75	58.13	27.19	14.69
7	50.00	15.00	15.00	62.50	18.75	18.75
8	50.00	25.00	5.00	62.50	31.25	6.25
9	54.00	18.00	8.00	67.50	22.50	10.00
10	60.00	15.00	5.00	75.00	18.75	6.25

## 2.5 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกล (Physical and mechanical testing)

1) การหดตัวหลังเผา (Total linear shrinkage after firing,  $S_t$ ) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 326-03 โดยนำชิ้นทดสอบไปอบที่อุณหภูมิ  $110^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดค่าความกว้างของชิ้นทดสอบหลังอบ จากนั้นนำชิ้นทดสอบเผาที่อุณหภูมิ  $800^{\circ}\text{C}$  อัตราการขึ้นอุณหภูมิ  $3^{\circ}\text{C}/\text{นาที่}$  ยืนไฟที่อุณหภูมิ  $800^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 60 นาที บันทึกค่าความกว้างของชิ้นทดสอบหลังเผา คำนวณค่า  $S_t$  ตามสมการที่ 1

$$S_t = [(L_p - L_f) / L_p] \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

เมื่อ

$L_p$  คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบหลังอบ (mm)

$L_f$  คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบหลังเผา (mm)

2) ปริมาตรรูพรุนเปิด (Volume of open pores,  $V_{op}$ ) ความพรุนตัวปรากฏ (Apparent porosity, P) การดูดซึมน้ำ (Water absorption, A) ความถ่วงจำเพาะ (The apparent specific gravity, T) ความหนาแน่นอัตรา (Bulk density, B) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 373-72 โดยนำชิ้นทดสอบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ  $800^{\circ}\text{C}$  ชั่งน้ำหนัก บันทึกเป็นค่าน้ำหนักแห้งหลังเผา จากนั้นต้มชิ้นทดสอบในน้ำกลั่นเป็นเวลา 5 ชั่วโมง และแช่ชิ้นทดสอบทิ้งไว้ในน้ำที่ต้มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบในน้ำ บันทึกเป็นค่าน้ำหนักอิมมัตด้วยน้ำชั่งในน้ำ และชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบในอากาศ บันทึกเป็นค่าน้ำหนักอิมมัตด้วยน้ำชั่งในอากาศ คำนวณค่าต่าง ๆ ตามสมการที่ 2-6

ปริมาตรของรูพรุนเปิด (Volume of open pores,  $V_{op}$ )

$$V_{op} = M - D \dots \dots \dots (2)$$

ความพรุนตัวปรากฏ (Apparent porosity, P)

$$P = [(M - D) / V] \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

การดูดซึมน้ำ (Water absorption, A)

$$A = [(M - D) / D] \times 100 \dots \dots \dots (4)$$

ความหนาแน่นปรากฏ (The apparent specific gravity, T)

$$T = D / (D - S) \dots \dots \dots (5)$$

ความหนาแน่นอัตรา (Bulk Density, B)

$$B = D / V \dots \dots \dots (6)$$

เมื่อ

D คือ น้ำหนักแห้งหลังเผา (g)

S คือ น้ำหนักอิมมัตด้วยน้ำชั่งในน้ำ (g)

M คือ น้ำหนักอิมมัตด้วยน้ำชั่งในอากาศ (g)

3) ค่าความแกร่งหรือโมดูลัสแตกหัก (Modulus of rupture, M) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 674-81 โดยนำชิ้นทดสอบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ  $800^{\circ}\text{C}$  วัดค่าความกว้างและความหนาของชิ้นทดสอบหลังเผา ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงและแรงกดแบบสากล (Universal Testing Machine : UTM) ใช้แรงกดแบบ 3 จุด (3-point bending) ความเร็วของหัวกด 10 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ 60 มิลลิเมตร คำนวณค่า M ตามสมการที่ 7

$$M = 3PL/2bd^2 \dots\dots\dots(7)$$

เมื่อ

P คือ ค่าแรงกดที่ทำให้แท่งทดสอบหัก (N)

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ (mm)

b คือ ความกว้างของแท่งทดสอบ (mm)

d คือ ความหนาของแท่งทดสอบ (mm)

4) ตรวจวัดสีขึ้นทดสอบหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C โดยใช้เครื่องวัดสี (Chroma meter) ยี่ห้อ MINOLTA รุ่น CR400

5) วิเคราะห์คุณสมบัติโครงสร้างจุลภาคของขึ้นทดสอบหลังเผาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5800, JEOL ประเทศไทย

6) วิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ด้วยเครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer : XRD) ยี่ห้อ Philips รุ่น X'Pert MPD ประเทศเนเธอร์แลนด์ ช่วงการทดสอบ 5-50°  $\text{CuK}\alpha(\lambda = 0.154 \text{ nm})$

## ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบการใช้งานจริง

1. การผลิตแบบพิมพ์เซรามิกส์และทดสอบการใช้งาน

1.1 ทำแบบหล่อปูนพลาสติกสำหรับใช้ขึ้นรูปแบบพิมพ์เซรามิกส์ตามแบบที่บริษัทผู้ผลิตดูเงเพาะชำจากยางพาราต้องการ ดังภาพภาพที่ 3 ซึ่งเป็นแบบพิมพ์แบบประกบ 3 ชั้น



ภาพที่ 3 แบบหล่อปูนพลาสติกสำหรับขึ้นรูปแบบพิมพ์เซรามิกส์

1.2 เตรียมส่วนผสมน้ำดิน โดยใช้วิธีการเตรียมน้ำดินเช่นเดียวกับการเตรียมน้ำดินสำหรับขึ้นรูปขึ้นทดสอบ

1.3 ขึ้นรูปแบบพิมพ์เซรามิกส์ด้วยวิธีหล่อน้ำดินเหลวลงในแบบหล่อปูนพลาสติก ในข้อ 1.1 แขน้ำดินทิ้งไว้ในแบบหล่อปูนพลาสติกเพื่อให้แบบหล่อปูนพลาสติกดูดน้ำออกจากน้ำดิน ขณะจับเวลาให้เติมน้ำดินให้เต็มแบบหล่อปูนพลาสติกตลอดเวลาที่จับเวลา เทน้ำดินออกจากแบบหล่อเมื่อครบเวลาที่กำหนดและได้ความหนาตามต้องการ ปาดน้ำดินส่วนที่เหลือนี้ออกจากแบบหล่อปูนพลาสติก วางชิ้นงานที่ได้ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ดังภาพที่ 4

1.4 ถอดแบบพิมพ์เซรามิกส์ออกจากแบบหล่อปูนพลาสติก วางทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องและนำเข้าตู้อบเพื่ออบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.5 นำแบบพิมพ์เซรามิกส์หลังอบเผาที่อุณหภูมิ 800°C อัตราการขึ้นอุณหภูมิ 3°C/นาที ขึ้นไฟที่อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลา 60 นาที ดังภาพที่ 5 และนำแบบพิมพ์เซรามิกส์ต้นแบบส่งบริษัทที่ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางพารา เพื่อทดสอบการใช้งานจริง



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4 ขั้นตอนการขึ้นรูปแบบพิมพ์เซรามิกส์โดยใช้แบบหล่อปูนพลาสติก (ก) การใส่น้ำดินเหลวลงในแบบหล่อปูนพลาสติก (ข) การเทน้ำดินออกจากแบบหล่อ และ (ค) ลักษณะแบบหล่อปูนพลาสติกหลังเทน้ำดินและปาดตกแต่ง



(ก)



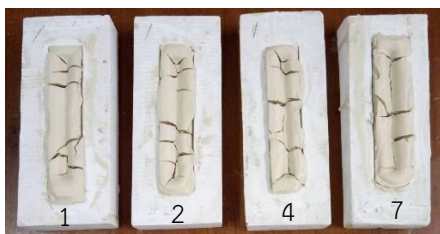
(ข)

ภาพที่ 5 แบบพิมพ์เซรามิกส์ (ก) ก่อนเผา และ (ข) หลังเผา

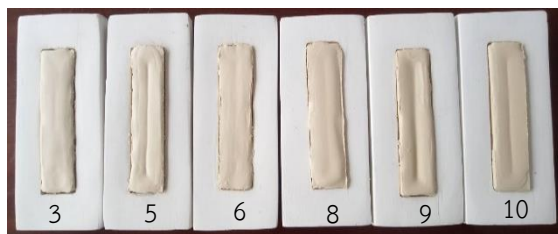
## ผลการวิจัย

### 1. การขึ้นรูปขึ้นทดสอบ

ผลจากการนำส่วนผสมทั้ง 10 สูตร ขึ้นรูปขึ้นทดสอบด้วยวิธีหล่อดินแบบหล่อตัน โดยใช้แบบพิมพ์ปูนพลาสติก พบว่า สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 4 และสูตรที่ 7 ไม่สามารถขึ้นรูปได้ ขึ้นงานแตก และสูตรส่วนผสมที่สามารถขึ้นรูปได้มี 6 สูตรคือ สูตรที่ 3 สูตรที่ 5 สูตรที่ 6 สูตรที่ 8 สูตรที่ 9 และสูตรที่ 10 ดังภาพที่ 6



(ก)



(ข)

ภาพที่ 6 ลักษณะขึ้นทดสอบ (ก) สูตรที่ไม่สามารถขึ้นรูปได้ (ข) สูตรที่สามารถขึ้นรูปได้

### 2. การตรวจวัดสีขึ้นทดสอบหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C

ตรวจวัดสีขึ้นทดสอบหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C โดยใช้เครื่องวัดสี ยี่ห้อ MINOLTA รุ่น CR400 ผลการวัดสี ดังตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าขึ้นทดสอบทั้ง 6 สูตร มีสีขาวครีมที่ใกล้เคียงกันมาก

ตารางที่ 2 สีของขึ้นทสดอบหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C

สูตร	L*	a*	b*
3	87.98	4.22	15.95
5	87.55	4.52	16.40
6	86.61	5.16	16.40
8	87.54	4.75	16.21
9	88.16	5.16	15.41
10	87.84	5.15	15.77

โดยที่ L\* คือ ค่าความขาว, a\* (+) คือ ค่าสีแดง, a\* (-) คือ ค่าสีเขียว, b\* คือ ค่าความเหลือง

### 3. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของขึ้นทสดอบ

จากผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล ดังตารางที่ 3 พบว่า ขึ้นทสดอบทั้ง 6 สูตร มีค่าการหดตัวหลังเผาเฉลี่ย ( $S_f$ ) และปริมาตรของรูพรุนเปิดเฉลี่ย ( $V_{op}$ ) ต่ำ การหดตัวหลังเผาเป็นผลจากสารอินทรีย์ น้ำและแร่ในดินเกิดการสลายตัวและเรียงตัวใหม่ทำให้อนุภาคชิดกันมากขึ้นเป็นผลทำให้มีขนาดเล็กลงขึ้นอยู่กับชนิดของแร่และความละเอียด หากมีการหดตัวมากอาจทำให้ชิ้นงานเกิดการโค้งงอมากและเกิดการแตกหักได้ (ไพจิตร, 2541) , (สุนารี และคณะ, 2562) แต่ถ้าดินหดตัวน้อยหรือไม่มีการหดตัว แสดงให้เห็นว่าเนื้อดินนั้นไม่มีความเหนียวทำให้เกิดปัญหาสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ (เพียรพิน, 2560) นอกจากนี้จะเห็นว่าขึ้นทสดอบทั้ง 6 สูตร มีค่าความพรุนตัวปรากฏเฉลี่ย ( $P$ ) สูงมาก สอดคล้องกับค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย ( $A$ ) ที่สูงมากเช่นกัน ส่งผลต่อความสามารถในการดูดติดน้ำยาง ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏ ( $T$ ) และค่าความหนาแน่นอัตราวม ( $B$ ) มีค่าต่ำไม่เกิน 2.50 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนค่าโมดูลัสแตกหัก ( $M$ ) สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 มีค่า  $6.59 \pm 0.17$  เมกะพาสกาล และ  $7.85 \pm 1.13$  เมกะพาสกาล ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าสูตรที่ 3 สูตรที่ 8 สูตรที่ 9 สูตรที่ 10 และมีค่าสูงกว่าดินผสมทางการค้าอย่างชัดเจน โดยเฉพาะสูตรที่ 6 มีค่าโมดูลัสของการแตกหักสูงถึง  $7.85 \pm 1.13$  เมกะพาสกาล ในขณะที่ดินผสมทางการค้ามีค่าโมดูลัสของการแตกหักเพียง  $4.06 \pm 0.28$  เมกะพาสกาล (นุชรีย์, 2562) ซึ่งค่าโมดูลัสของการแตกหักแสดงถึงความแข็งแรงของชิ้นงาน (ค่าโมดูลัสของการแตกหักแปรผันโดยตรงกับค่าความแข็งแรง)

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของขึ้นทสดอบหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C

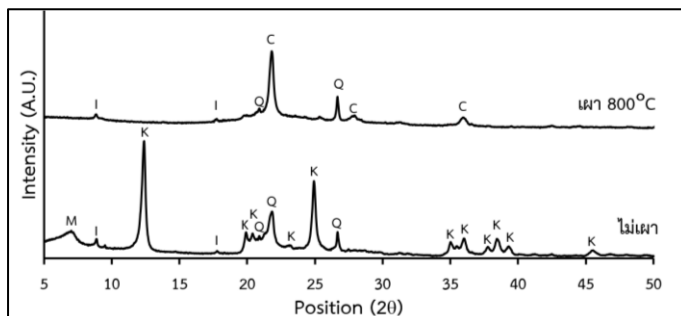
ค่า	สูตร						
ทดสอบ	3	5	6	8	9	10	ดินผสมทางการค้า
$S_f$ (%)	0.89±0.28	0.75±0.20	1.03±0.23	0.91±0.25	1.11±0.16	1.26±0.06	1.26±0.04
$V_{op}$ (cm <sup>3</sup> )	20.35±0.71	15.42±0.56	11.81±0.53	21.97±0.78	18.62±0.70	18.13±1.24	23.42±0.96
$P$ (%)	51.04±1.05	45.31±0.66	41.41±1.20	50.64±0.55	49.75±0.45	52.04±0.31	31.78±0.04
$A$ (%)	47.20±0.96	40.17±0.59	34.52±1.00	44.41±0.47	41.59±0.36	44.21±0.25	19.36±0.02
$T$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.21±0.05	2.06±0.03	2.05±0.04	2.31±0.03	2.38±0.02	2.45±0.02	2.41±0.01
$B$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.08±0.00	1.13±0.00	1.20±0.00	1.14±0.00	1.20±0.00	1.18±0.00	1.64±0.01
$M$ (MPa)	2.26±0.25	6.59±0.17	7.85±1.13	0.34±0.03	0.65±0.18	0.54±0.09	4.06±0.28

### 4. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของขึ้นทสดอบหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C ด้วยเทคนิค XRD

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ด้วยเทคนิค XRD ของขึ้นทสดอบสูตรที่ 6 (ทดสอบเฉพาะสูตรที่ 6 เลือกจากสมบัติทางกายภาพและทางกล) ทั้งก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C ดังภาพที่ 7 พบว่ารูปแบบพีก XRD ของขึ้นทสดอบก่อนเผามีรูปแบบ XRD ตามมาตรฐาน International Centre for Diffraction Data (ICDD) หมายเลข 01-089-6538 01-085-0794 00-026-0911 และ 00-060-0315 ระบุเป็น Kaolinite Quartz Illite และ Montmorillonite ตามลำดับ ทั้งนี้ Kaolinite เป็นแร่ที่เป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ในดินขาว และมีความสัมพันธ์กับ Quartz และ Illite ที่มักปะปนอยู่ในดิน (ดร.ณิ และคณะ, 2546) ส่วน Montmorillonite เป็นแร่ที่พบมากในเบนโทไนต์ (ไพจิตร, 2541) ซึ่งดินขาวและเบนโทไนต์เป็นส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการขึ้นรูปขึ้นทสดอบ ในขณะที่รูปแบบพีก XRD ของขึ้นทสดอบหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C มีรูปแบบ XRD ตามมาตรฐาน International Centre for Diffraction Data (ICDD) หมายเลข 01-085-0794



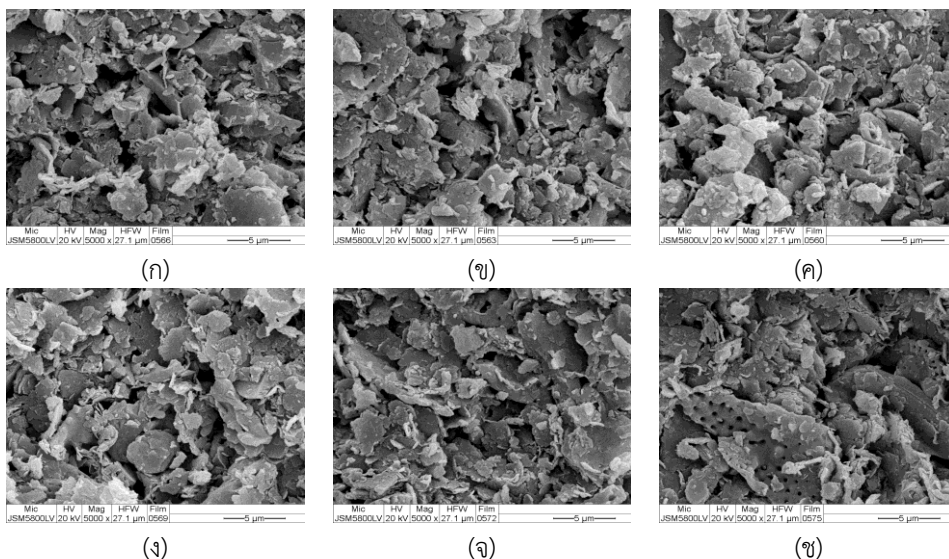
01-082-0512 และ 00-026-0911 ระบุเป็น Quartz Cristobalite และ Illite ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ขึ้นทดสอบหลังเผาที่ 800°C อนุภาคภายในโครงสร้างมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึก พบองค์ประกอบของแร่ Cristobalite โดยไม่มีองค์ประกอบของแร่ Kaolinite และ Montmorillonite เนื่องจาก Kaolinite เมื่อเผาจนอุณหภูมิถึง 450°C กลุ่ม OH<sup>-</sup> ถูกจัดออกจากโครงสร้างผลึกและเกิดการเรียงตัวใหม่เป็น Metakaolin ซึ่งเป็นกลุ่มอะตอมที่มีโครงสร้างไม่เป็นระเบียบ หลังการเผาจึงไม่สามารถตรวจพบได้ด้วย XRD (ปริดา, 2547), (สุนารี และคณะ, 2562) ส่วน Cristobalite ที่มีน้ำจะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกของ Quartz เนื่องจากอุณหภูมิ 573°C ผลึก Quartz เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปอยู่ในรูป Quartz อุณหภูมิสูงและกลายเป็น Cristobalite มากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาสูงขึ้น ในขณะที่ Illite เป็นแร่เดิมที่มีอยู่ในขึ้นทดสอบตั้งแต่ก่อนเผาและยังไม่มีเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C



ภาพที่ 7 ผลการวิเคราะห์ XRD ของขึ้นทดสอบหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C สูตรที่ 6 (K=Kaolinite Q=Quartz I=Illite M=Montmorillonite และ C=Cristobalite)

#### 5. การวิเคราะห์โครงสร้างและองค์ประกอบของขึ้นทดสอบหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C ด้วยเครื่อง SEM

ผลการวิเคราะห์สมบัติโครงสร้างจุลภาคของขึ้นทดสอบหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM) ดังภาพที่ 8 พบว่า ขึ้นทดสอบมีรูปร่างเป็นแผ่น ๆ เกาะกลุ่มรวมกัน และมีรูพรุนภายในกระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งเห็นรูพรุนชัดเจนมากในสูตรที่ 10 ภาพที่ 8 (ข) ซึ่งมีขนาดรูพรุนประมาณ 0.1-0.3 ไมโครเมตร ซึ่งสอดคล้องกับค่าความพรุนตัวปรากฏเฉลี่ย (P) ซึ่งสูตรที่ 10 มีค่าความพรุนตัวปรากฏเฉลี่ย (P) สูงที่สุด รองลงมาเป็นสูตรที่ 3 สูตรที่ 8 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 ตามลำดับ



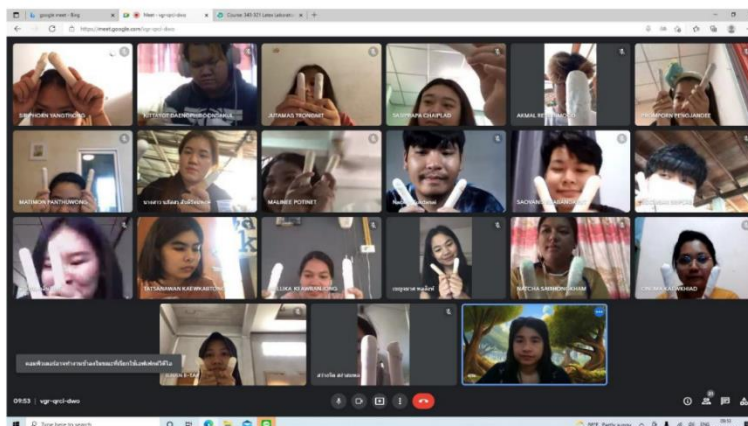
ภาพที่ 8 ภาพถ่าย SEM ของขึ้นทดสอบหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C ที่กำลังขยาย 5000X, (ก) สูตรที่ 3 (ข) สูตรที่ 5 (ค) สูตรที่ 6 (ง) สูตรที่ 8 (จ) สูตรที่ 9 และ (ข) สูตรที่ 10



## 6. การขึ้นรูปแบบพิมพ์เซรามิกส์ต้นแบบและการทดสอบขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ

ทดสอบการใช้งานจริงโดยนำสูตรที่ 6 เนื่องจากเป็นสูตรที่มีค่าโมดูลัสของการแตกหักสูงสุด (แข็งแรงมากที่สุด) ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ โดยมีบริษัทผู้ผลิตถุงเพาะชำจากยางพารา (บริษัทจีพีเอ็นรับเบอร์เทค) รับผลิตภัณฑ์ต้นแบบดังกล่าวไปทดสอบการใช้งาน และได้ออกเอกสารรับรองการนำไปใช้ประโยชน์โดยระบุว่า “แบบพิมพ์เซรามิกส์ที่ผลิตสามารถนำไปใช้เป็นแบบพิมพ์ในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ แทนแบบพิมพ์ปูนพลาสเตอร์เดิมซึ่งไม่ทนความร้อน มีอายุการใช้งานสั้น เมื่อนำแบบพิมพ์เซรามิกส์มาขึ้นรูปขึ้นงานถุงเพาะชำจากยางพารา พบว่า แบบพิมพ์เซรามิกส์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและกำลังการผลิตของบริษัทให้สูงขึ้น เนื่องจากแบบพิมพ์เซรามิกส์มีคุณสมบัติเด่นเรื่องน้ำหนักเบา ดูดตื้นน้ำได้ดีกว่าแบบพิมพ์ปูนพลาสเตอร์ และขึ้นงานถุงเพาะชำที่ได้มีผิวเรียบ สวย มีความหนาสม่ำเสมอ สามารถถอดชิ้นงานออกจากแบบได้ง่ายกว่าแบบปูนพลาสเตอร์”

นอกจากนี้ได้นำผลงานดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเรียนการสอนโดยนำสูตรที่ได้ไปใช้ขึ้นรูปเป็นแท่งทดสอบตามมาตรฐานการเตรียมชิ้นงาน (ASTM C 674-81) ให้นักศึกษาใช้ทำปฏิบัติการวิชา 317-301 ปฏิบัติการทดสอบสมบัติของวัสดุ 1 หลักสูตรวัสดุศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ผลการนำไปใช้งาน พบว่า ผลการทดสอบที่ได้สามารถนำไปใช้คำนวณและอภิปรายผลเกี่ยวกับพฤติกรรมทางกลของวัสดุ สร้างความเข้าใจแก่นักศึกษาได้เป็นอย่างดี และมีการนำสูตรส่วนผสมไปใช้ในรายวิชาปฏิบัติการ 343-321 ปฏิบัติการน้ำยาง หลักสูตรวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยนำสูตรที่ได้คิดค้นขึ้นไปใช้ขึ้นรูปแบบพิมพ์เซรามิกส์ลักษณะเป็นท่อกลอง ปลายมน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ยาว 12 เซนติเมตร และหนา 0.2 เซนติเมตร จำนวน 40 ชิ้น ผลการนำไปใช้งาน พบว่าสามารถขึ้นรูปน้ำยางด้วยเทคนิคการจุ่มได้ดี การก่อฟิล์มยาง และการเซตตัวขณะเปียก มีลักษณะเหมือนกับแบบพิมพ์เซรามิกส์ขนาดใหญ่ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการที่มีการเรียนในห้องปฏิบัติการสามารถล้างทำความสะอาดเพื่อนำมาใช้ซ้ำได้ เหมือนกับแบบพิมพ์ขนาดใหญ่ ผลงานชิ้นนี้เหมาะสมเป็นอย่างยิ่งในการนำมาใช้ในการจัดการเรียนสอนรายวิชาปฏิบัติการแบบออนไลน์ร่วมกับการใช้ชุดปฏิบัติการสำเร็จรูป



ภาพที่ 9 บรรยากาศการนำแบบพิมพ์เซรามิกส์แบบท่อกลอง ปลายมน ไปใช้เป็นชุดปฏิบัติการสำเร็จรูปสำหรับเรียนรายวิชาปฏิบัติการแบบออนไลน์ ในช่วงสถานการณ์โรคระบาดไวรัสโคโรนา-19

### สรุปผลการวิจัย

สูตรดินผสมทั้ง 10 สูตร ประกอบด้วย ดินขาว ไดอะตอมไมท์ และเบนโทไนต์ เป็นวัตถุดิบส่วนผสมสูตรที่สามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบได้มี 6 สูตร คือ สูตรที่ 3 สูตรที่ 5 สูตรที่ 6 สูตรที่ 8 สูตรที่ 9 และสูตรที่ 10 ปัจจัยที่ส่งผลให้สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 4 และสูตรที่ 7 ไม่สามารถขึ้นรูปขึ้นทดสอบได้เนื่องจากในสูตรส่วนผสมมีปริมาณเบนโทไนต์มากกว่า 18% โดยน้ำหนัก ทำให้งานมีความเหนียวและหดตัวมาก ลักษณะสีของชิ้น

ทดสอบทุกสูตรมีสีขาวครีมที่ใกล้เคียงกัน ผลทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลมีผลที่สอดคล้องกัน โดยสูตรที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ผลิตแบบพิมพ์เซรามิกส์สำหรับกระบวนการจุ่มขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติซึ่งเปรียบเทียบกับดินผสมสำเร็จรูปทางการค้า คือ สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 ซึ่งประกอบด้วย ดินขาว 53-58 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไตอะตอมไมท์ 27-36 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเบนโทไนต์ 10-15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่งผลให้แบบพิมพ์เซรามิกส์มีคุณสมบัติเด่นคือ มีค่าความพรุนตัว 41-45 เปอร์เซ็นต์ การหดตัว 0.7-1.0 เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ 34-40 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรของรูพรุนเปิด 11-16 ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีค่าความแกร่งหรือค่าโมดูลัสแตกหัก 6-8 เมกะพาสคาล

### อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของสูตรดินผสมทั้ง 6 สูตรกับดินผสมสำเร็จรูปทางการค้าเมื่อเผาที่อุณหภูมิเดียวกัน (นุชรี, 2562) พบว่า สูตรดินผสมส่วนใหญ่ (5 สูตร) มีค่าการหดตัวหลังเผาเฉลี่ย ( $S_f$ ) และค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏ ( $T$ ) ต่ำกว่าดินผสมสำเร็จรูปทางการค้า ยกเว้นสูตรผสมที่ 10 มีค่า  $S_f$  และค่า  $T$  ใกล้เคียงกับค่าของดินผสมสำเร็จรูป ซึ่งมีผลมาจากสูตรที่ 10 มีปริมาณดินขาวมากกว่าสูตรอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าสูตรผสมทั้ง 6 สูตรมีค่าปริมาตรของรูพรุนเปิดเฉลี่ย ( $V_{op}$ ) และความหนาแน่นอัตราวมเฉลี่ย ( $B$ ) ต่ำกว่าดินผสมสำเร็จรูปทางการค้า แต่มีค่าความพรุนตัวปรากฏเฉลี่ย ( $P$ ) และค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย ( $A$ ) สูงกว่าดินผสมสำเร็จรูปทางการค้าอย่างชัดเจน เนื่องจากสูตรผสมทั้ง 6 สูตรมีไตอะตอมไมท์เป็นส่วนผสมและเมื่อพิจารณาค่าความแกร่งหรือค่าโมดูลัสแตกหัก ( $M$ ) พบว่า ดินผสมส่วนใหญ่ (4 สูตร) มีค่า  $M$  ต่ำกว่าดินผสมสำเร็จรูปทางการค้า แต่มีสูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 ที่มีค่า  $M$  สูงกว่าดินผสมสำเร็จรูปทางการค้า ซึ่งเป็นผลมาจากอนุภาคภายในโครงสร้างเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึก จาก Quartz เป็น Cristobalite หลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C ผลการวิเคราะห์โครงสร้างและองค์ประกอบด้วยเครื่อง SEM แสดงให้เห็นการกระจายของรูพรุนในชิ้นงานได้อย่างชัดเจนโดยเฉพาะชิ้นงานสูตรที่ 10 มีค่าความพรุนตัวปรากฏเฉลี่ยสูงสุด มีค่าสูงถึง  $52.04 \pm 0.31$  เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีค่าโมดูลัสของการแตกหักเพียง  $0.54 \pm 0.09$  เมกะพาสคาล ซึ่งสอดคล้องกับผลทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกล นั่นคือ ยิ่งชิ้นงานมีความพรุนตัวสูงจะส่งผลให้มีค่าความแข็งแรงต่ำ ไม่เหมาะที่จะนำมาทำเป็นแบบพิมพ์ ในขณะที่สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 ชิ้นทดสอบมีค่าการหดตัวต่ำ (0.7-1.0 เปอร์เซ็นต์) และปริมาตรของรูพรุนเปิดต่ำ (11-16 ลูกบาศก์เซนติเมตร) แต่มีค่าความพรุนตัวสูงแต่ไม่สูงมาก (41-45 เปอร์เซ็นต์) และค่าการดูดซึมน้ำสูง (34-40 เปอร์เซ็นต์) ส่งผลในทางที่ดีในแง่ของน้ำหนักของชิ้นงานและการนำไปใช้เป็นแบบพิมพ์เซรามิกส์สำหรับใช้ในกระบวนการจุ่ม (Dipping) ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ ทำให้ผลิตภัณฑ์แบบพิมพ์เซรามิกส์ที่ได้มีคุณสมบัติเด่นเรื่องน้ำหนักเบา ทนความร้อน สามารถดูดซับน้ำได้ดี ชิ้นงานที่ขึ้นรูปจากแบบพิมพ์มีผิวเรียบ ความหนาสม่ำเสมอ และสามารถถอดชิ้นงานออกจากแบบพิมพ์ได้ง่าย สูตรดินผสมทั้ง 6 สูตร สามารถพัฒนาให้มีค่าความแกร่งหรือค่าโมดูลัสแตกหักเพิ่มสูงขึ้นโดยนำไปเผาที่อุณหภูมิที่สูงกว่า 800°C หรือเพิ่มวัสดุตัวเติมที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงลงในสูตรส่วนผสม

### กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินกองทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีงบประมาณ 2563 (Faculty of Science Research Fund) สัญญาเลขที่ วท.พ.น.363001

### เอกสารอ้างอิง

- ดร.ณิ วัฒนศิริเวช สุธิ วัฒนศิริเวช และภินันท์ นันทิยา. 2546. การศึกษาและปรับปรุงคุณสมบัติของเนื้อดินเซรามิกจากแหล่งดินเวียงกาหลง. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. เชียงราย. 61 หน้า.
- นุชรี ชมเชย. 2562. เบ้าเซรามิกส์สำหรับผลิตเตาต้มเห็ดจากยางพองน้ำ. หน้า 628-634. ใน: การประชุมวิชาการวิจัยระดับชาติสำหรับบุคลากรสายสนับสนุนวิชาการในสถาบันอุดมศึกษา ครั้งที่ 11. วันที่ 20 - 21 มิถุนายน 2562. ณ สำนักบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.
- ปรีดา พิมพ์ขาว. 2547. เซรามิกส์. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร. 526 หน้า.



- เพียรพิน ก่อวุฒิพงศ์. 2560. การพัฒนาส่วนผสมของเนื้อดินปั้นโดยใช้แหล่งดินบ้านหนองหัวยางเพื่อทำผลิตภัณฑ์สโตนแวร์. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี. 10(2): 60-74.
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. 2541. เนื้อดินเซรามิก. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพมหานคร. 406 หน้า.
- สุนารี บดีพงศ์ ปิยะ ผ่านศึก และอภิญา สุกรัตน์. 2562. การศึกษาสมบัติทางแร่วิทยา องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวจากแหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านชุมชนโรงอ่าง จังหวัดปัตตานี. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ. 13(1): 17-29.
- สุมาลี เต็มใจ. 2538. แบบพิมพ์ปูนพลาสเตอร์. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 43(137): 26-32.
- ASTM C 326-03. 2008. Standard Test Method for Drying and Firing Shrinkages of Ceramic Whiteware Clays, United State: ASTM.
- ASTM C 373-72. 2008. (Reapproved 1977), Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, United State: ASTM.
- ASTM C 674-81. 2008. Standard Test Methods for Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials, United State: ASTM.