การพัฒนาส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบสำหรับทำแบบพิมพ์ต้นทุนต่ำในอุตสาหกรรมเซรามิกของท้องถิ่น

DEVELOPMENT OF A MIXTURE OF PLASTER AND HUSK ASH FOR USE LOW COSTS PLASTER MOULD IN THE LOCAL CERAMIC INDUSTRY

สนิท ปิ่นสกุล
Sanit Phinsakul

Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University
*corresponding author email: sanit17@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) ทดลองสูตรส่วนผสมที่เหมาะสมของปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบในสัดส่วนที่แตกต่างกันสำหรับการทำแบบพิมพ์ 2) ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของส่วนผสมปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบ 3) สร้างแบบพิมพ์ที่ได้จากสูตรส่วนผสมที่เหมาะสมของปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบเพื่อนำไปขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิก และ 4) เปรียบเทียบผลการใช้งานแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบกับแบบพิมพ์ที่ขึ้นรูปจากปูนปลาสเตอร์ล้วน ทดลองสูตรส่วนผสมจากวัตถุดิบ 2 ชนิด คือ ปูนปลาสเตอร์และเถ้าแกลบ จำนวน 25 ตัวอย่าง ขึ้นรูปชิ้นทดสอบโดยการหล่อด้วยแบบพิมพ์โลหะ ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการขึ้นรูปเป็นแบบพิมพ์ ระยะเวลาก่อตัว ความแข็งแรง น้ำหนักหลังอบแห้ง อัตราการหล่อ และความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิก ผลการวิจัยพบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับทำแบบพิมพ์เซรามิก คือ ปูนปลาสเตอร์ร้อยละ 90 และเถ้าแกลบร้อยละ 10 ส่วนผสมสามารถขึ้นรูปเป็นแบบพิมพ์ได้ดี และแบบพิมพ์สามารถขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิกได้ดี ระยะเวลาก่อตัวของแบบพิมพ์ 23 นาที ค่าความแข็งแรงเฉลี่ย 39.30±5.37 กก./ตร.ซม. ความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 1.13±0.04 ก./ลบ.ซม. และอัตราการหล่อโดยใช้เวลา 10 นาที เท่ากับ 3.86 มม. ผู้วิจัยนำแบบพิมพ์ที่ผลิตจากส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบ และแบบพิมพ์ที่ผลิตจากปูนปลาสเตอร์ล้วนเปรียบเทียบการหล่อขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิกพบว่าแบบพิมพ์ทั้ง 2 ชนิดสามารถขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิกได้ดีไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: การพัฒนา ปูนปลาสเตอร์ เถ้าแกลบ แบบพิมพ์

Abstract

The objectives of this research were to: 1) test a formula of plaster mixed with husk ash in different ratios; 2) test the physical property of the plaster mixed with husk ash; 3) create a mold from plaster mixed with husk ash; and 4) to compare the efficiency of molds using the plaster mixed with husk ash and that of general plaster. The samples in this study were 25 of both types. Physical properties included

formability of mold, setting time, strength, post drying weight, casting rate, and formability of ceramics. The results showed that the proper formula consisted of 90% of plaster and 10% of husk ash. The setting time of the mold was 23 minutes at an average strength of 39.30±5.37 kg/cm², an average density of 1.13±0.04 g/cm³, and 10-minute molding time. The comparison of formability of ceramics revealed that there were no significant differences between the two types of molds.

Keywords: development, plaster, husk ash, plaster mould

บทนำ

ปูนปลาสเตอร์เป็นวัสดุที่มนุษย์รู้จักนำมาใช้ประโยชน์เป็นเวลายาวนานกว่า 9,000 ปี มาแล้ว จากหลักฐานพบว่ามีการใช้งานในดินแดนอนาโตเลีย (ปัจจุบันคือประเทศตุรกี และซีเรีย) เช่นเดียวกับชาวอิยิปต์ผลิตปูนปลาสเตอร์เพื่อใช้เป็นวัสดุประสานก่อสร้างพีระมิด ในคริสต์ศตวรรษที่ 18 กรุงปารีสได้ชื่อว่าเป็นเมืองหลวงของปูนปลาสเตอร์ เนื่องจากกษัตริย์ฝรั่งเศสได้ออกกฎหมายให้ชาวกรุงปารีสใช้ปูนปลาสเตอร์ฉาบบ้านไม้เพื่อป้องกันไฟไหม้ เกิดโรงงานผลิตปูนปลาสเตอร์ขนาดใหญ่ชานกรุงปารีส จนเป็นที่มาของคำว่า Plaster of Paris อันเป็นชื่อเรียกปูนปลาสเตอร์ในภาษาอังกฤษในปัจจุบัน ปูนปลาสเตอร์ได้มาจากแร่ยิปซัม (Department of Primary Industries and Mines, 2009) โดยทำการเผาแร่ยิปซัมที่อุณหภูมิประมาณ 160 องศาเซลเซียส ในภาชนะที่เป็นเหล็ก น้ำจะระเหยออกจากแร่ยิปซัมได้ผงสีขาวที่เรียกว่า ปูนปลาสเตอร์ (Choeycharoen, 2014) สำหรับประเทศไทยมีการผลิตปูนปลาสเตอร์มานานกว่า 50 ปี โดยบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด เป็นรายแรก ทำเหมืองแร่ยิปซัมเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์ อยู่ที่บ้านวังกระทะ ตำบลวังงิ้ว อำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร (Department of Primary Industries and Mines, 2009) นอกจากนี้ยังพบแหล่งแร่ยิปซัมบริเวณอำเภอทุ่งใหญ่ อำเภอฉวาง และในพื้นที่ต่อเนื่องกับ กิ่งอำเภอถ้ำพรรณรา จังหวัดนครศรีธรรมราช (Waithayawongsakul, 2008) ในระยะแรกยิปซัมถูกนำไปใช้เฉพาะในอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์อย่างเดียว ต่อมามีการนำยิปซัมไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ รวมถึงในการผลิตเซรามิกทางด้านการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อที่นิยมในโรงงานอุตสาหรรมเซรามิก เนื่องจากปูนปลาสเตอร์มีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์ เช่น เก็บรายละเอียดของแม่แบบได้อย่างดี สามารถดูดซึมน้ำได้ตามต้องการ ตลอดจนราคาไม่แพง (Choeycharoen, 2014) และยังสามารถผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะเหมือนกันหรือชิ้นงานที่มีความสลับซับซ้อนที่ไม่สามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการอื่น ๆ ได้ (Ingsiriwat, 1998) จากสภาวะโลกร้อนหลายประเทศตระหนักถึงผลเสียของการนำวัสดุที่ทำจากยิปซัมมาทิ้งเมื่อหมดอายุใช้งาน เนื่องจากเชื่อว่ายิปซัมเพิ่มความเสี่ยงของการสร้าง Hydrogen Sulphide ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดสภาวะโลกร้อนได้ ในประเทศไทยให้ความสำคัญของการนำปูนปลาสเตอร์ที่ไม่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่เช่นเดียวกัน โดยมีการวิจัยนำแบบพิมพ์ปลาสเตอร์ใช้แล้วกลับมาใช้ เช่น ผสมกับทรายซิลิกา และซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อผลิตเป็นอิฐประสาน และการศึกษาสมบัติการแข็งตัวของแบบปูนปลาสเตอร์ใช้แล้วจากอุตสาหกรรมเซรามิก เป็นต้น (Pansukhumthana, 2009) ทั้งนี้การนำวัสดุชนิดอื่นเข้าไปผสมในปูนปลาสเตอร์ เพื่อลดปริมาณการใช้ปูนปลาสเตอร์ แต่ยังคงให้คุณภาพดีเหมือนเดิมหรือดีกว่า เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดปริมาณการใช้ปูนปลาสเตอร์ได้ ผู้วิจัยเห็นว่าเถ้าแกลบ (Husk Ash) เป็นวัสดุชนิดหนึ่งนำมาเป็นส่วนผสมในปูนปลาสเตอร์ได้ เถ้าแกลบ เมื่อเผาแล้วจะได้ซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูง ตั้งแต่ร้อยละ 85-99

(Sai-inwong, 2009) ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำงานวิจัย เรื่องการพัฒนาส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบสำหรับทำแบบพิมพ์ต้นทุนต่ำในอุตสาหกรรมเซรามิกของท้องถิ่น โดยศึกษาสูตรส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์กับเถ้าแกลบแล้วทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพเพื่อคัดเลือกสูตรส่วนผสมที่มีความเหมาะสมไปผลิตแบบพิมพ์ และทดลองใช้งานแบบพิมพ์ต่อไป ผลจากการวิจัยจะได้แบบพิมพ์ที่ประหยัดค่าใช้จ่ายและช่วยลดต้นทุนในการทำแบบพิมพ์ในอุตสาหกรรมเซรามิกได้เป็นอย่างดี ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยชิ้นนี้คงจะเป็นต้นแบบสำหรับแนวคิดในการพัฒนา เพิ่มมูลค่าการใช้ประโยชน์วัตถุดิบในท้องถิ่นและวัสดุเหลือทิ้งให้มีคุณค่า และลดปริมาณการใช้แร่ยิปซัมที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตปูนปลาสเตอร์ได้ทางหนึ่ง อีกทั้งยังเป็นส่วนหนึ่งในการร่วมอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติของไทยให้คงอยู่สืบไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็นขั้นตอนตามหัวข้อต่อไปนี้

1. การกำหนดสูตรส่วนผสม

คำนวณอัตราส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบ ด้วยวิธี Biaxial Blend เพื่อกำหนดส่วนผสมของวัตถุดิบ 2 ชนิด คือ ปูนปลาสเตอร์และเถ้าแกลบ โดยปูนปลาสเตอร์เริ่มจากร้อยละ 98-50 และและเถ้าแกลบเริ่มจากร้อยละ 2-50 ได้ส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ จำนวน 25 ตัวอย่าง อัตราส่วนผสมปูนปลาสเตอร์ในแต่ละสูตร (Table 1)

Table 1 The ratio of mixtures between plaster and husk ash

Formula No.	Raw Ingredients		Formula No.	Raw Ingredients	
	Plaster	Husk ash		Plaster	Husk ash
1A	98	2	14A	72	28
2A	96	4	15A	70	30
3A	94	6	16A	68	32
4A	92	8	17A	66	34
5A	90	10	18A	64	36
6A	88	12	19A	62	38
7A	86	14	20A	60	40
8A	84	16	21A	58	42
9A	82	18	22A	56	44
10A	80	20	23A	54	46
11A	78	22	24A	52	48
12A	76	24	25A	50	50
13A	74	26	AA	100	0

2. การเตรียมวัตถุดิบ

นำเถ้าแกลบมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปบดด้วยหม้อบดเล็ก (Ball Mill) โดยวิธีบดแห้ง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช นำไปชั่งน้ำหนักส่วนผสมของวัตถุดิบสูตรละ 1 กิโลกรัม ผสมให้เข้ากันและผสมน้ำ จำนวน 800 กรัม เพื่อให้ได้ส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ที่มีค่า Consistency 80 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์สำหรับทำแบบพิมพ์ที่ใช้ในงานหล่อ

3. การขึ้นรูปชิ้นทดลอง

นำส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบแต่ละสูตรหล่อขึ้นรูปเป็นแท่งทดลองขนาด 15x4x4 เซนติเมตร ด้วยแบบพิมพ์โลหะ สูตรละ 3 แท่ง และหล่อขึ้นรูปเป็นแท่งทรงกระบอกกลวง ขนาด 15x10 เซนติเมตร เพื่อนำไปใช้ทดสอบอัตราการหล่อ สูตรละ 1 แท่ง

4. การทดสอบวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพ

การทดสอบการขึ้นรูปเป็นแบบพิมพ์และระยะเวลาก่อตัวทดสอบพร้อมกัน โดยความสามารถในการขึ้นรูปเป็นแบบพิมพ์วิเคราะห์ โดยพิจารณาดูว่าแท่งทดลองที่ขึ้นรูปด้วยแบบพิมพ์โลหะ สูตรละ 3 แท่ง แกะออกจากแบบพิมพ์แล้วมีความสมบูรณ์ดีทั้งหมดหรือไม่ ถ้ามีความสมบูรณ์ดีแสดงว่าสามารถขึ้นรูปเป็นแบบพิมพ์ได้ ส่วนระยะเวลาก่อตัววิเคราะห์โดยการจับเวลาหน่วยเป็นนาที ตั้งแต่เทปูนปลาสเตอร์ลงในแบบพิมพ์จนถึงปูนปลาสเตอร์แข็งตัวแกะออกจากแบบพิมพ์ได้ วิธีการทดสอบระยะเวลาก่อตัวประยุกต์จากวิธีการศึกษาสมบัติการแข็งตัวของปูนปลาสเตอร์ (Pimkhawkham, 2004) ทดสอบค่าความแข็งแรงของปูนปลาสเตอร์ โดยการทดสอบความทนทานต่อแรงกดของแท่งปูนปลาสเตอร์หลังผ่านการอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส การวิเคราะห์โดยใช้สูตร (Andrews, 1957) ทดสอบความหนาแน่นรวม โดยการคำนวณจากค่ามวลของสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรตามสูตรการหาความหนาแน่นรวมทั่วไป ทดสอบอัตราการหล่อ โดยเทน้ำดินเทลงในแบบพิมพ์ปลาสเตอร์รูปทรงกระบอกกลวงทิ้งไว้ 30 นาที แล้วเทน้ำดินออก หลังจากนั้นทิ้งไว้อีก 60 นาที เมื่อชิ้นงานในแบบหลุดร่อนออกมานำมาผ่าวัดความหนาของชิ้นงานด้วยเวอร์เนียร์บันทึกข้อมูล (Ingsiriwat, 1998) ทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานเซรามิก วิเคราะห์โดยนำน้ำดินเทลงในแบบพิมพ์เมื่อได้ความหนา 1 เซนติเมตร เทน้ำดินออกปล่อยไว้จนชิ้นงานหลุดร่อนออกจากแบบพิมพ์ พิจารณาดูว่าชิ้นงานสามารถขึ้นรูปด้วยแบบพิมพ์ได้หรือไม่ จดบันทึกข้อมูล

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของของส่วนผสมปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบ

จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของส่วนผสมปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบ โดยใช้วัตถุดิบ 2 ชนิด คือ ปูนปลาสเตอร์และเถ้าแกลบ ได้ส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ จำนวน 25 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ข้อมูล (Table 2)

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของส่วนผสมปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบพบว่า สูตรส่วนผสมตั้งแต่สูตรที่ 1 ถึง 21 สามารถขึ้นรูปเป็นแท่งทดลองและแบบพิมพ์สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงานเซรามิกได้ สูตรส่วนผสมตั้งแต่สูตรที่ 22 ถึง 25 ไม่สามารถขึ้นรูปได้ สูตรส่วนผสมที่มีระยะเวลาก่อตัวมากที่สุด คือ สูตรส่วนผสมที่ 20 สูตรส่วนผสมที่มีระยะเวลาก่อตัวน้อยที่สุด คือ สูตรส่วนผสมที่ 1 สูตรส่วนผสมที่มีความแข็งแรงเฉลี่ยมากที่สุด คือ สูตรที่ 4 สูตรส่วนผสมที่มีความแข็งแรงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ สูตรที่ 21 สูตรส่วนผสมที่มีความหนาแน่นรวมมากที่สุด คือ สูตรที่ 1, 2 และ 3 สูตรส่วนผสมที่มีความหนาแน่นรวมน้อยที่สุด คือ สูตรที่ 21 ปริมาณเถ้าแกลบที่เพิ่มมากขึ้นในส่วนผสมมีแนวโน้มทำให้ส่วนผสมไม่สามารถขึ้นรูปได้ ส่วนผสมมีระยะเวลาก่อตัวเพิ่มสูงขึ้น ความแข็งแรงและความหนาแน่นรวมน้อยลงและยังส่งผลทำให้ส่วนผสมมีอัตราการหล่อสูงขึ้น สูตรส่วนผสมที่มีอัตราการหล่อมากที่สุด คือ สูตรที่ 12 สูตรส่วนผสมที่มีอัตราการหล่อน้อยที่สุด คือ สูตรที่ 1

Table 2 The result of data analysis in physical properties of plaster and husk ash mixtures

Formula No.	Physical Properties of Plaster and Husk Ash Mixtures					
	Forming in the test tube	Forming in ceramic block	Forming duration (Minutes)	Casting Rate (mm.)	Average strength (kg/cm^2)	Bulk density (g/cm^3)
1	Formed	Formed	22	2.96	41.77±2.77	1.16±0.06
2	Formed	Formed	25	3.69	41.61±3.61	1.16±0.06
3	Formed	Formed	24	3.41	42.25±3.18	1.16±0.06
4	Formed	Formed	24	3.32	42.73±3.65	1.14±0.00
5	Formed	Formed	23	3.86	39.30±5.37	1.13±0.04
6	Formed	Formed	26	3.82	37.31±4.94	1.14±0.06
7	Formed	Formed	23	4.03	37.55±1.45	1.13±0.07
8	Formed	Formed	36	3.94	35.40±1.73	1.14±0.06
9	Formed	Formed	33	3.79	31.17±2.63	1.12±0.06
10	Formed	Formed	33	4.10	33.08±2.85	1.12±0.00
11	Formed	Formed	34	4.03	26.31±1.66	1.07±0.04
12	Formed	Formed	35	4.91	31.49±3.86	1.11±0.06
13	Formed	Formed	35	4.11	26.15±2.15	1.07±0.04
14	Formed	Formed	36	3.87	24.15±2.04	1.05±0.06
15	Formed	Formed	42	3.99	24.87±2.49	1.03±0.04
16	Formed	Formed	43	4.16	23.12±1.38	1.04±0.04
17	Formed	Formed	42	3.88	18.81±1.46	0.99±0.00
18	Formed	Formed	40	3.12	17.38±1.92	0.99±0.00
19	Formed	Formed	42	4.02	20.01±0.27	1.00±0.00
20	Formed	Formed	44	4.10	16.10±2.63	1.00±0.00
21	Formed	Formed	41	4.02	11.16±1.11	0.97±0.00
AA	Formed	Formed	25	3.86	44.16±2.45	1.15±0.07

Remark The 22^{nd}-25^{th} Formula cannot be formed

2. ผลการสร้างแบบพิมพ์ที่ได้จากสูตรส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบ

ผู้วิจัยคัดเลือกส่วนผสมสำหรับผลิตแบบพิมพ์ โดยเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางกายภาพของแท่งทดลองที่ผลิตจากปูนปลาสเตอร์ล้วน พบว่าสูตรที่ 5 มีคุณสมบัติเหมาะสม สูตรส่วนผสมมีปูนปลาสเตอร์ร้อยละ 90 และเถ้าแกลบร้อยละ 10 ขึ้นรูปเป็นแบบพิมพ์ได้ดี และแบบพิมพ์สามารถขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิกได้ดี ระยะเวลาการก่อตัวของแบบพิมพ์ 23 นาที ค่าความแข็งแรงเฉลี่ย 39.30±5.37 กก./ตร.ซม. ความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 1.13±0.04 ก./ลบ.ซม. และอัตราการหล่อโดยใช้เวลา 10 นาที เท่ากับ 3.86 มิลลิเมตร ผู้วิจัยนำส่วนผสมสูตรที่ 5 ไปขึ้นรูปเป็นแบบพิมพ์ชนิดหล่อกลวง จำนวน 2 ชุด ผึ่งให้แห้งและนำไปทดสอบการขึ้นรูปในขั้นตอนต่อไป การขึ้นรูปแบบพิมพ์ (Figure 1)

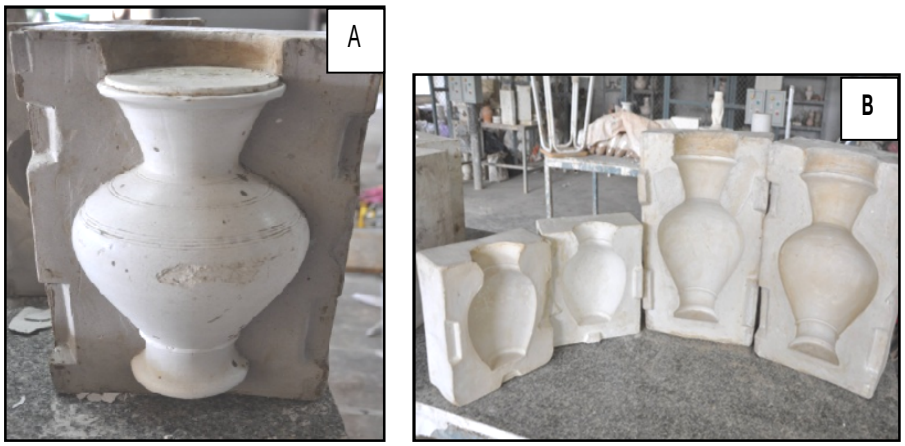

Figure 1 The forming from the block using the mixtures of plaster and husk ash
A) The forming block is clearly adjusted B) The ready-to-use forming block for casting

3. ผลการเปรียบเทียบการใช้งานแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบกับแบบพิมพ์ที่ขึ้นรูปจากปูนปลาสเตอร์ล้วน

ผู้วิจัยนำแบบพิมพ์ที่ทำจากส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบจำนวน 2 ชุด และแบบพิมพ์ที่ทำจากปูนปลาสเตอร์ล้วน จำนวน 2 ชุด ที่มีรูปทรงใกล้เคียงกันนำไปหล่อขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิกด้วยน้ำดิน (slip) โดยใช้น้ำดินที่มีการไหลตัวดีและมีความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ 1.75 ผลการทดลองพบว่าแบบพิมพ์ที่ทำจากส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบสามารถนำมาหล่อขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิกได้ดีเหมือนกับแบบพิมพ์ที่ทำจากปูนปลาสเตอร์ล้วน ตัวอย่างชิ้นงานที่หล่อขึ้น Figure 2

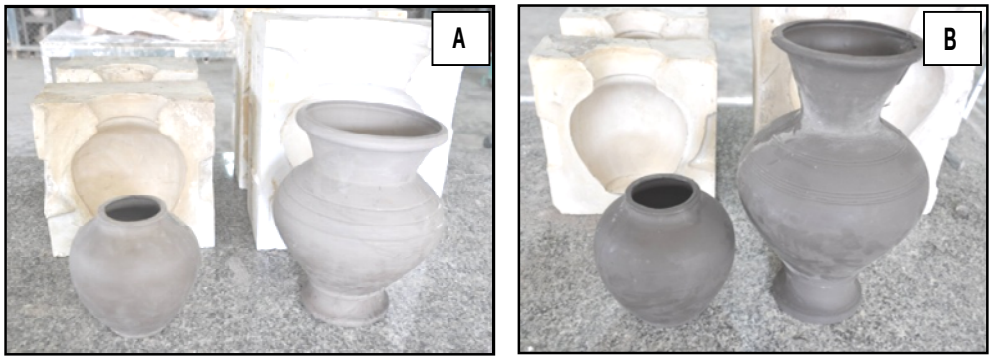

Figure 2 The product formed from the total plaster and the product formed from the forming block with plaster and husk ash
A) The product formed from the total plaster
B) The product formed from the forming block with plaster and husk ash

อภิปรายผล

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบครั้งนี้ ใช้วัตถุดิบ 2 ชนิด คือ ปูนปลาสเตอร์และเถ้าแกลบ โดยปูนปลาสเตอร์เริ่มต้นจากร้อยละ 98-50 และเถ้าแกลบ เริ่มต้นจากร้อยละ

2-50 ได้สูตรส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ จำนวน 25 สูตร ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า สูตรส่วนผสมตั้งแต่สูตรที่ 1 ถึง 21 สามารถขึ้นรูปเป็นแท่งทดลองและสามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานเซรามิกได้ สูตรส่วนผสมตั้งแต่สูตรที่ 22 ถึง 25 ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแท่งทดลองและไม่สามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานเซรามิกได้ เหตุที่ส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์สูตรที่ 22 ถึง 25 ไม่สามารถขึ้นรูปได้ เนื่องจากมีปริมาณปูนปลาสเตอร์อยู่ในช่วงร้อยละ 56 ถึงร้อยละ 50 และมีปริมาณเถ้าแกลบอยู่ในช่วงร้อยละ 44 ถึง 50 อาจเป็นไปได้ว่าปริมาณเถ้าแกลบในช่วงดังกล่าวมีมากเกินไปในส่วนผสม ทำให้ปูนปลาสเตอร์ไม่แข็งตัว เนื่องจากเถ้าแกลบไม่ได้ทำให้การแข็งตัวของปูนปลาสเตอร์สูงขึ้นเพียงแต่เติมเข้าไปเพื่อลดปริมาณการใช้ปูนปลาสเตอร์เท่านั้น เมื่อมีเถ้าแกลบปริมาณมากในส่วนผสมจึงทำให้ปูนปลาสเตอร์ไม่แข็งตัวและไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้

ส่วนสูตรที่ 1 ถึง 21 สามารถขึ้นรูปได้อาจเป็นเพราะมีปริมาณปูนปลาสเตอร์และเถ้าแกลบในสัดส่วนที่เหมาะสม ทำให้ปูนปลาสเตอร์แข็งตัวและขึ้นรูปเป็นชิ้นงานได้นั้นเอง สอดคล้องกับ Pichayapaiboon (1995) ที่กล่าวไว้ว่า โดยปกติแล้วปูนปลาสเตอร์เมื่อผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมให้เข้ากันดีปูนจะเริ่มแข็งตัวภายในเวลา 20 นาที และการแข็งตัวจะสมบูรณ์ในเวลา 30 นาที สูตรส่วนผสมที่มีระยะเวลาก่อตัวมากที่สุด คือ สูตรส่วนผสมที่ 20 สูตรส่วนผสมที่มีระยะเวลาก่อตัวน้อยที่สุด คือ สูตรส่วนผสมที่ 1 ในความเห็นของผู้วิจัยคิดว่าปริมาณของเถ้าแกลบที่มีอยู่ในสูตรส่วนผสมมีผลต่อระยะเวลาก่อตัวของปูนปลาสเตอร์คือ ทำให้ส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์มีระยะเวลาก่อตัวมากขึ้นตามปริมาณของเถ้าแกลบที่เพิ่มขึ้นในสูตรส่วนผสม เนื่องจากเมื่อพิจารณาดูระยะเวลาก่อตัวของสูตรส่วนผสมตั้งแต่สูตรที่ 1 ถึงสูตรที่ 21 พบว่าระยะเวลาการก่อตัวในภาพรวมมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังเช่นสูตรส่วนผสมสูตรที่ 1 มีส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ร้อยละ 98 เถ้าแกลบร้อยละ 2 มีระยะเวลาก่อตัว 22 นาที น้อยกว่าระยะเวลาก่อตัวของปูนปลาสเตอร์สูตรที่ 20 ที่มีส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ร้อยละ 60 เถ้าแกลบร้อยละ 40 มีระยะเวลาก่อตัว 44 นาที ความแข็งแรงของส่วนผสมปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบสูตรส่วนผสมที่มีความแข็งแรงเฉลี่ยมากที่สุด คือ สูตรที่ 4 ความแข็งแรงเฉลี่ย 42.73±3.65 กก./ตร.ซม. ในสูตรส่วนผสมมีปูนปลาสเตอร์ร้อยละ 92 เถ้าแกลบ ร้อยละ 8 สูตรส่วนผสมที่มีความแข็งแรงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ สูตรที่ 21 ความแข็งแรงเฉลี่ย 11.16±1.11 กก./ตร.ซม. ในสูตรส่วนผสมมีปูนปลาสเตอร์ร้อยละ 58 เถ้าแกลบร้อยละ 42 ในความเห็นของผู้วิจัยคิดว่าปริมาณเถ้าแกลบที่เพิ่มสูงขึ้นในสูตรส่วนผสมมีส่วนทำให้ความแข็งแรงของปูนปลาสเตอร์ลดลง ซึ่งเห็นได้จากค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ตั้งแต่สูตรที่ 1 ถึงสูตรที่ 21 ในภาพรวมมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของเถ้าแกลบที่เพิ่มมากขึ้น ระยะเวลาก่อตัวของปูนปลาสเตอร์กับค่าความแข็งแรงมีผลสืบเนื่องกัน เนื่องจากเมื่อผสมปูนปลาสเตอร์กับน้ำในปริมาณที่เหมาะสมปูนปลาสเตอร์จะเริ่มแข็งตัว โดยหลักการแข็งตัวของปูนปลาสเตอร์ตามที่ Pichayapaiboon (1995) ได้กล่าวไว้ว่า การแข็งตัวของปูนปลาสเตอร์เกิดจากการเกิดผลึกรูปเข็ม (viscart needle) สานก่ายกันไปมาจนเกิดการแข็งตัว ในความเห็นของผู้วิจัยคิดว่าอาจมีความเป็นไปได้ว่าปริมาณเถ้าแกลบที่ผสมมากเกินไปในส่วนผสมปูนปลาสเตอร์ส่งผลทำให้ปูนปลาสเตอร์เกิดผลึกรูปเข็มได้ช้าและไม่สมบูรณ์ จึงใช้ระยะเวลาก่อตัวของปูนปลาสเตอร์ยาวนานขึ้น การเกิดผลึกรูปเข็มที่สานก่ายกันไปมาแบบไม่สมบูรณ์ จึงส่งผลทำให้ความแข็งแรงของปูนปลาสเตอร์ลดลงอีกเช่นเดียวกัน สูตรส่วนผสมที่มีความหนาแน่นรวมมากที่สุดเท่ากัน ได้แก่ สูตรที่ 1, 2 และ 3 ความหนาแน่นรวม 1.16±0.06 ก/ลบ.ซม. ในสูตรส่วนผสมมีปูนปลาสเตอร์ร้อยละ 98, 96 และ 94 เถ้าแกลบร้อยละ 2, 4 และ 6 ตามลำดับ สูตรส่วนผสมที่มีความหนาแน่นรวมน้อยที่สุด คือ สูตรที่ 21

ความหนาแน่นรวม 0.97±0.00 ก/ลบ.ซม. ในสูตรส่วนผสมมีปูนปลาสเตอร์ร้อยละ 58 เถ้าแกลบร้อยละ 42 ความหนาแน่นรวมของส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์หลังอบแห้งในภาพรวมตั้งแต่สูตรที่ 1 ถึงสูตรที่ 21 มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของเถ้าแกลบที่เพิ่มสูงขึ้นในสูตรส่วนผสม เนื่องจากว่าเถ้าแกลบเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยมีน้ำหนักเบาเมื่อมีอยู่มากในสูตรส่วนผสม จึงส่งผลทำให้แท่งทดลองมีน้ำหนักเบาตามมาและทำให้ความหนาแน่นรวมลดน้อยลง ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้จึงทำให้เกิดการใช้งานเถ้าแกลบมาเป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้างน้ำหนักเบา เช่น ฝ้ากันความร้อนน้ำหนักเบา (Sai-inwong, 2009) สูตรส่วนผสมที่มีอัตราการหล่อมากที่สุด คือ สูตรที่ 12 อัตราการหล่อ 4.91 มิลลิเมตร ในสูตรส่วนผสมมีปูนปลาสเตอร์ร้อยละ 76 เถ้าแกลบร้อยละ 24 สูตรส่วนผสมที่มีอัตราการหล่อน้อยที่สุด คือ สูตรที่ 1 อัตราการหล่อ 2.96 มิลลิเมตร ในสูตรส่วนผสมมีปูนปลาสเตอร์ร้อยละ 98 เถ้าแกลบร้อยละ 2 โดยปกติแล้วปูนปลาสเตอร์เมื่อแห้งจะมีความพรุนตัวสามารถดูดซึมน้ำที่อยู่ในเนื้อดินได้ ในทางเซรามิกจึงนำมาใช้ในการทำแบบพิมพ์เพื่อขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิก และยังสามารถนำมาสร้างแบบพิมพ์ให้มีรูพรุนดูดซึมน้ำได้ตามต้องการ (Pimkhawkham, 2004) ดังนั้นแบบพิมพ์ที่มีความพรุนตัวสูงจะมีอัตราการหล่อสูงตามมา จากผลการทดลองเห็นได้ว่าสูตรส่วนผสมปูนปลาสเตอร์สูตรที่ 12 มีเถ้าแกลบผสมอยู่ร้อยละ 24 มีอัตราการหล่อสูงกว่าสูตรส่วนผสมที่ 1 มีเถ้าแกลบผสมอยู่ร้อยละ 2 เถ้าแกลบจึงมีส่วนช่วยทำให้แบบพิมพ์มีความพรุนตัวสูงสามารถดูดซึมน้ำได้ดี ทำให้มีอัตราการหล่อสูง แบบพิมพ์ที่มีอัตราการหล่อดี ส่งผลทำให้สามารถผลิตชิ้นงานได้จำนวนมากโดยใช้แบบพิมพ์น้อยและถอดชิ้นงานออกจากแบบพิมพ์ได้เร็ว (Tiamson, 2012)

สำหรับการคัดเลือกสูตรส่วนผสมในการผลิตแบบพิมพ์จากส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบ โดยเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางกายภาพของแท่งทดลองที่ผลิตจากปูนปลาสเตอร์ล้วน พบว่าสูตรส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบสูตรที่ 5 มีคุณสมบัติเหมาะสมและมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับแท่งทดลองที่ผลิตจากปูนปลาสเตอร์ล้วนสามารถนำไปใช้ผลิตแบบพิมพ์ได้ ในสูตรส่วนผสมมีปูนปลาสเตอร์ร้อยละ 90 และเถ้าแกลบร้อยละ 10 ระยะเวลาการก่อตัวของแบบพิมพ์ 23 นาที ค่าความแข็งแรงเฉลี่ย 39.30±5.37 กก./ตร.ซม. ความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 1.13±0.04 ก./ลบ.ซม. และอัตราการหล่อโดยใช้เวลา 10 นาที เท่ากับ 3.86 มิลลิเมตร ผู้วิจัยได้ชั่งน้ำหนักส่วนผสมของวัตถุดิบจำนวน 10 กิโลกรัม หลังจากนั้นผสมให้เข้ากันแล้วขึ้นรูปแบบพิมพ์ชนิดหล่อกลวงจำนวน 2 ชุด ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ขึ้นรูปแบบพิมพ์ที่ทำจากปูนปลาสเตอร์ล้วนควบคู่กันเพื่อเปรียบเทียบโดยใช้ต้นแบบชนิดเดียวกัน การขึ้นรูปแบบพิมพ์จากส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ทั้ง 2 ประเภท สามารถหล่อขึ้นรูปเป็นแบบพิมพ์ได้ดีเช่นเดียวกัน มีความแตกต่างกันเพียงสีของแบบพิมพ์เท่านั้น กล่าวคือสีของแบบพิมพ์ที่ทำจากปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบจะมีสีเทาเนื่องจากเป็นสีของเถ้าแกลบที่มีอยู่ในส่วนผสม ส่วนแบบพิมพ์ที่ทำจากปูนปลาสเตอร์ล้วนจะมีสีขาว ในความเห็นของผู้วิจัยคิดว่าสีของแบบพิมพ์ไม่ได้ส่งผลเสียหรือเป็นอุปสรรค์ต่อการหล่อขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิกแต่อย่างใด หลังจากขึ้นรูปแบบพิมพ์เสร็จแล้ว ผึ่งให้แห้งเพื่อนำไปทดสอบการหล่อขึ้นรูปในขั้นตอนต่อไป การเปรียบเทียบผลการใช้งานแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบกับแบบพิมพ์ที่ขึ้นรูปจากปูนปลาสเตอร์ล้วน ผู้วิจัยนำแบบพิมพ์อย่างละ 2 ชุด ที่มีรูปทรงใกล้เคียงกัน นำไปหล่อขึ้นรูปเป็นชิ้นงานเซรามิกพร้อมกันด้วยน้ำดิน โดยใช้น้ำดินที่มีการไหล ตัวดี และควบคุมความถ่วงจำเพาะของน้ำดินอยู่ที่ 1.75 จากผลการทดลองขึ้นรูปเป็นชิ้นงานเซรามิก พบว่าแบบพิมพ์ที่ทำจากส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบสามารถนำมาหล่อขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิกได้ดีเหมือนกับแบบพิมพ์ที่ทำจากปูนปลาสเตอร์ล้วน ในความเห็นของผู้วิจัยคิดว่าเถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบ

ตัวหนึ่งที่น่าสนใจนำมาใช้เป็นส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์เพื่อลดปริมาณการใช้ปูนปลาสเตอร์ในการสร้างแบบพิมพ์ได้ ทำให้ประหยัดต้นทุนในการทำแบบพิมพ์ได้ร้อยละ 10 เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกในท้องถิ่นหรืออุตสาหกรรมเซรามิกทั่วไปที่ต้องการลดต้นทุนในกระบวนการผลิต

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของส่วนผสมปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบในสัดส่วนที่ต่างกัน พบว่าสามารถนำไปใช้สร้างแบบพิมพ์สำหรับการขึ้นรูปเซรามิกด้วยวิธีการหล่อแบบพิมพ์ได้ โดยส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ ปูนปลาสเตอร์ร้อยละ 90 เถ้าแกลบร้อยละ 10 (โดยน้ำหนัก) ส่วนผสมสามารถขึ้นรูปเป็นแบบพิมพ์ได้ดี และแบบพิมพ์สามารถขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิกได้ดี ระยะเวลาก่อตัวของแบบพิมพ์ 23 นาที ค่าความแข็งแรงเฉลี่ย 39.30±5.37 กก./ตร.ซม. ความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 1.13±0.04 ก./ลบ.ซม. และอัตราการหล่อโดยใช้เวลา 10 นาที เท่ากับ 3.86 มม. การเปรียบเทียบผลการใช้งานแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบกับแบบพิมพ์ที่ขึ้นรูปจากปูนปลาสเตอร์ล้วน พบว่าแบบพิมพ์ทั้ง 2 ชนิด สามารถขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิกได้ดีไม่แตกต่างกัน ผู้วิจัยนำองค์ความรู้การสร้างแบบพิมพ์จากส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ผสมเถ้าแกลบถ่ายทอดให้กับสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเครื่องปั้นดินเผาบ้านเตาไห ตำบลหัวรอ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ผ่านการอบรมเชิงปฏิบัติการ ทั้งนี้พบว่าสามารถลดต้นทุนในการสร้างแบบพิมพ์ให้กับกลุ่มผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผาในท้องถิ่นได้ร้อยละ 10

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอบคุณสาขาวิชาเซรามิก คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ได้ให้ความสนับสนุนสถานที่สำหรับดำเนินการวิจัย ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Andrews, A.I. (1957). **Ceramic Test and Calculation**. New York: John Milley and Sons.

Choeycharoen, P. (2014). **Plaster**. http://www2.mtec.or.th/. September 17, 2014. [In Thai].

Department of Primary Industries and Mines. (2009). **The Usefulness of Gypsum**. Bangkok: Ministry of Industry. [In Thai].

Ingsiriwat, P. (1998). **Ceramic Clay**. Bangkok: The Odient Store Press. [In Thai].

Pansukhumthana, L. (2009). Plaster and how to recycle. **Ceramics Newsletter**, 13(30), 34-36. [In Thai].

Pichayapaiboon, P. (1995). **Ceramic Porcelain and the Creative Producing Methods**. Bangkok: Chulalongkorn University. [In Thai].

Pimkhawkham, P. (2004). **Ceramics**. Bangkok: Chulalongkorn University. [In Thai].

Sai-inwong, K. (2009). **Husk Ash-Amazing Ingredient for Ceramic Products**. http://www.thai ceramicsociety.com /rm_paint_chaff.php. September 14, 2009. [In Thai].

Tiamson, W. (2012). **Ceramics for Construction and Technical Work**. Bangkok: The Odient Store Press. [In Thai].

Waithayawongsakul, S. (2008). **A Brief History of Plaster and Gypsum**. http://www.vcharkarn.com /include/vcafe/. June 30, 2008. [In Thai].