

ความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอราคอตตา ที่มีส่วนผสมของเถ้าพืช

THE STRENGTH OF CERAMICS TERRACOTTA CONTAINING PLANT ASH

ธนารักษ์ จิตชาณวิชัย

Thanarat Jitcharnvichai

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

Corresponding author e-mail: papthanarat@gmail.com

วันที่เข้าระบบ 8 มกราคม 2567

วันที่แก้ไขบทความ 26 มีนาคม 2567

วันที่ตอบรับบทความ 27 มีนาคม 2567

บทคัดย่อ

วิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอราคอตตาที่มีเถ้าพืชเป็นส่วนผสม และเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอราคอตตาที่ไม่มีเถ้าพืชและมีเถ้าพืชผสมอยู่ วัตถุดิบที่กำหนดคือ ดินเหนียวทะเลแก้ว เถ้าแกลบ เถ้าขี้เถ้า และเถ้าต้นข้าวโพด กำหนดกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง 3 กลุ่ม เตรียมวัตถุดิบ ซึ่งวัตถุดิบและส่วนผสมให้เข้ากัน ขึ้นรูปด้วยการอัดแบบ เเผในอุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ผลการวิจัยพบว่า เนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอราคอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้ว มีความแข็งแรง 148.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอราคอตตาที่มีเถ้าต้นข้าวโพดเป็นส่วนผสมมีความแข็งแรงสูงสุดคือ 288.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีปริมาณเถ้าต้นข้าวโพดผสมอยู่ร้อยละ 25 ของวัตถุดิบ เนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอราคอตตาที่มีเถ้าขี้เถ้าเป็นส่วนผสมมีความแข็งแรงสูงสุดคือ 216.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีปริมาณเถ้าขี้เถ้าผสมอยู่ร้อยละ 12.5 ของวัตถุดิบ และ เนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอราคอตตาที่มีเถ้าแกลบเป็นส่วนผสมมีความแข็งแรงสูงสุดคือ 79 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีปริมาณเถ้าแกลบผสมอยู่ร้อยละ 2.5 ของวัตถุดิบ เมื่อนำมาเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงกับเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอราคอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้ว พบว่าเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอราคอตตาที่มีเถ้าแกลบผสมมีความแข็งแรงต่ำกว่ากลุ่มที่มีเถ้าขี้เถ้าและเถ้าต้นข้าวโพดผสมอยู่ ซึ่งมีความแข็งแรงที่สูงกว่า โดยค่าความแข็งแรงที่แตกต่างกันยังขึ้นอยู่กับปริมาณของส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าพืชแต่ละชนิด อุณหภูมิที่เผา การขึ้นรูป และปริมาณของเถ้าพืชในส่วนผสม โดยส่วนผสมที่กล่าวมาข้างต้นสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ได้จริง และเป็นข้อมูลสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งต่อไปได้

คำสำคัญ: เซรามิกส์, เถ้าพืช, ความแข็งแรงของเซรามิกส์, เทอราคอตตา

Abstract

The objective of this research is to study the strength of terracotta ceramics containing plant ash as an ingredient and compare the difference in strength between terracotta ceramics without plant ash and those with plant ash mixed with them. The determined raw materials were Thalekaew clay, rice husk ash, rubber ash, and corn stalk ash. The researchers categorized the samples into three groups using purposive sampling, prepared and weighed the materials, ground, and mixed them together. After that, they formed those samples by pressing in a mold and burned them at the temperature of 1,100 degrees Celsius. The research results revealed that terracotta ceramics made from Thalekaew clay exhibited a strength of 148.5 kilograms per square centimeter. With plant ash mixed in the raw materials, terracotta ceramics with 25 percent corn trunk ash showed the highest strength of 288.0 kilograms per square centimeter; terracotta ceramics with 12.5 percent rubber wood ash showed the highest strength of 216.7 kilograms per square centimeter; and terracotta ceramics with 2.5 percent rice husk ash yielded the highest strength of 79 kilograms per square centimeter. When comparing the strength values of terracotta ceramics made from Talay Kaew clay, and those mixed with rice husk ash displayed lower strength than those containing rubber wood ash and corn trunk ash, which revealed higher strength. These strength values varied based on the number of chemical components in each type of plant ash, the burning temperature, the forming process, and the amount of plant ash in the mixture. In summary, the mixture mentioned above can develop to be actual products. In addition, the obtained information is useful for future research endeavors.

Keywords: Ceramics, Plant ash, Strength of ceramics, Terracotta

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งเกษตรกรรมที่สำคัญของโลก มีการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจที่ใช้ในการอุปโภคและบริโภคมากมาย เป็นแหล่งปลูกข้าวที่เป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญ เป็นแหล่งปลูกยางพาราที่มีกำลังการผลิตลำดับต้นๆ ของโลก ทั้งยังเป็นแหล่งเพาะปลูกข้าวโพดเพื่อการบริโภคและเป็นอาหารสัตว์จำนวนมาก ทำให้มีปริมาณของเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวมหาศาล เช่น แกลบ กิ่งและเศษลำต้นยางพารา และต้นข้าวโพดแห้ง เป็นต้น

เซรามิกส์เป็นวัสดุที่สำคัญกลุ่มหนึ่งที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจัดเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ในกลุ่มเอร์ทเทินแวร์ มีสีโทนแดง เผาที่อุณหภูมิต่ำ (790-800 องศาเซลเซียส) หรือปานกลาง (1,050-1,100 องศาเซลเซียส) ส่วนใหญ่ไม่เคลือบ มีการดูดซึมน้ำมากกว่า ร้อยละ 7 ใช้เป็นเครื่องประดับตกแต่ง เช่น กระเบื้อง กระเบื้องมุงหลังคา แจกัน ประติมากรรมเครื่องปั้นดินเผาสมัยโบราณ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2548) โดยไพจิตร (2541) กล่าวว่า วัตถุดิบที่ทำกระเบื้องมุงหลังคา ใช้ดินแดงเนื้อละเอียดที่มีความเหนียว และควรเป็นดินที่เนื้อละเอียดกว่าดินสำหรับทำอิฐดินเผา จึงสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตา ซึ่งค่าความแข็งแรงของเซรามิกส์ คือ ความสามารถของผลิตภัณฑ์ที่ทนต่อแรงกระแทกที่มากระทำกับผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2548) ได้ให้คำจำกัดความของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์กลุ่มเอร์ทเทินแวร์ ว่า มีเนื้อดินเปราะ แตกหักง่าย การแตกเปราะหักนั้นแสดงถึงความไม่แข็งแรงของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ชนิดนั้นๆ และวีระศักดิ์ และคณะ (2543) กล่าวว่า สิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาวัสดุ คือ สมบัติที่ต้องมีความแข็งแรง ความคงทน และความปลอดภัยเพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้งานได้อย่างเต็มที่และเหมาะสมที่สุดสำหรับผู้บริโภค ด้วยผลิตภัณฑ์เซรามิกส์นั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีความแข็งแรงต่อการนำไปใช้งานตามแต่ละชนิดที่แตกต่างกันออกไป

จากข้อมูลทีกล่าวมาข้างต้น เนื้อดินเหนียวจากแหล่งทะเลแก้ว อำเภอมือง จังหวัดพิษณุโลก มีคุณสมบัติสอดคล้องกันกับเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตา คือ เมื่อเผาที่อุณหภูมิปานกลาง ดินมีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าร้อยละ 7 มีสีน้ำตาลอมแดง มีความแข็งแรง 149.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (สุภกิจ, 2560) อีกทั้งเป็นวัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่นที่ทำการวิจัย เหมาะสมที่จะนำมาศึกษาเพื่อหาความแข็งแรงของเนื้อดินเทอรากอตตาที่มีเถ้าพืชเป็นส่วนผสม และเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างความแข็งแรงของเนื้อดินเทอรากอตตาที่ไม่มีเถ้าพืชและมีเถ้าพืชผสมอยู่ โดยเลือกเถ้าพืชที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีปริมาณมากพอต่อการใช้งานจริง ได้แก่ เถ้าแกลบ เถ้าขี้เถ้า และเถ้าต้นข้าวโพด เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินท้องถิ่นที่ผสมเถ้าพืชให้มีความแข็งแรงที่มากขึ้นให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดประโยชน์แก่วิสาหกิจชุมชนหน่วยงาน สถานประกอบการด้านอุตสาหกรรมเซรามิกส์ต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาที่มีเถ้าพืชชนิดต่างๆ เป็นส่วนผสม

2.2 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาที่ไม่มีเถ้าพืช และมีเถ้าพืชเป็นส่วนผสม

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเถ้าพืชที่มีผลต่อความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอราคอตตานี้ ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีดำเนินการไว้ตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการเลือกวัตถุดิบ กำหนดอัตราส่วนผสม และการเตรียมวัตถุดิบที่ใช้วิจัย

1. กำหนดวัตถุดิบจากวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีปริมาณมากเพียงพอต่อการใช้งานจริง ได้แก่ ดินเหนียวทะเลแก้ว เถ้าแกลบ เถ้าขี้เถ้า และเถ้าต้นข้าวโพด

2. กำหนดอัตราส่วนผสมของเนื้อดินเทอราคอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้ว เถ้าแกลบ เถ้าขี้เถ้า และเถ้าต้นข้าวโพด โดยกำหนดเป็น 3 กลุ่มตัวอย่าง โดยการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จากวัตถุดิบ 2 ชนิดบนแกนเส้นตรง (Line blend) แบ่งเป็นช่วง ๆ ละ 2.5 และวัตถุดิบมีการแปรเปลี่ยนไปตามอัตราส่วนผสมของดินเหนียวทะเลแก้วกับเถ้าพืชแต่ละชนิด จึงได้อัตราส่วนผสมกลุ่มตัวอย่างละ 20 อัตราส่วนผสม รวมทั้งสิ้น 60 อัตราส่วนผสม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอราคอตตา ที่มีเถ้าพืชเป็นส่วนผสม 3 กลุ่มตัวอย่าง รวม 60 อัตราส่วนผสม

อัตราส่วนผสมที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ดินเหนียวทะเลแก้ว	97.5	95.0	92.5	90.0	87.5	85.0	82.5	80.0	77.5	75.0
เถ้า *	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0
รวม	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
อัตราส่วนผสม	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ดินเหนียวทะเลแก้ว	72.5	70.0	67.5	65.0	62.5	60.0	57.5	55.0	52.5	50.0
เถ้า *	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0
รวม	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

* คือ เถ้าแกลบ เถ้าขี้เถ้า และเถ้าต้นข้าวโพด กำหนดเถ้า 1 ชนิดคือ 1 กลุ่มตัวอย่าง

3. เตรียมวัตถุดิบ แกลบสดได้มาจากโรงสีข้าวในอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก กิ่งของขี้เถ้าได้จากแหล่งปลูกขี้เถ้า ตำบลวังทอง อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก และต้นข้าวโพดแห้งได้จากแปลงปลูกข้าวโพดใน อำเภอกงไกรลาส จังหวัดสุโขทัย โดยเถ้าพืชทั้ง 3 ชนิด ต้องผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิสูงมากกว่า 800 องศาเซลเซียสในบรรยากาศทั่วไป (กรณีไม่มีเตาเผาสามารถเผากลางแจ้งหรือในภาชนะวงปูนซีเมนต์ได้ ซึ่งต้องใช้เวลาในการเผาด้วยเตาเผา) เถ้าที่เผาได้มีลักษณะเป็นสีเทา มีน้ำหนักเบา สัมผัสแล้วนุ่มมือ ซึ่งหากเมื่อสัมผัสแล้วมีลักษณะหยาบคล้ายเม็ดทราย และมีสีเข้มดำ แสดงว่ายังไม่กลายเป็นเถ้าต้องเผาท่อจนกลายเป็นเถ้า เพื่อให้ได้เถ้าที่บริสุทธิ์

ที่สุด นำเถ้าที่ได้ไปล้างให้สะอาดตามกรรมวิธีการล้างเถ้าพืชโดยวิธีการตกตะกอนของเถ้าพืช เช่นเดียวกับการเตรียมผงดินทะเลแก้ว จากนั้นอบเถ้าให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และนำไปผ่านตะแกรงความละเอียด ขนาด 80 เมช เพื่อให้เถ้ากลายเป็นผง ในกรณีของดินเหนียวทะเลแก้ว นำดินเหนียวไปแช่น้ำอย่างน้อย 48 ชั่วโมง กวนล้างนำสิ่งเจือปนในดินให้ออกมากที่สุด ทิ้งให้ตกตะกอนรินน้ำและสิ่งเจือปนที่ลอยอยู่บนผิวน้ำออก นำดินที่ตกตะกอนไปผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช และทำให้แห้งเช่นเดียวกับเถ้าพืชทั้ง 3 ชนิด นำไปบดให้แตกตัวและผ่านตะแกรงอีกครั้งให้เป็นผงดิน โดยลักษณะของเถ้าพืชที่ผ่านการเผาแสดงตามภาพที่ 1



เถ้าแกลบ



เถ้ายางพารา



เถ้าต้นข้าวโพด

ภาพที่ 1 เถ้าไม้ที่ใช้ในการวิจัย

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดลอง การเผา และการทดสอบความแข็งแรงของเนื้อดิน เนื้อดินเซรามิกส์ประเภท เทอราคอตตาจากดินทะเลแก้ว และเนื้อดินเทอราคอตตาที่มีเถ้าพืชเป็นส่วนผสม

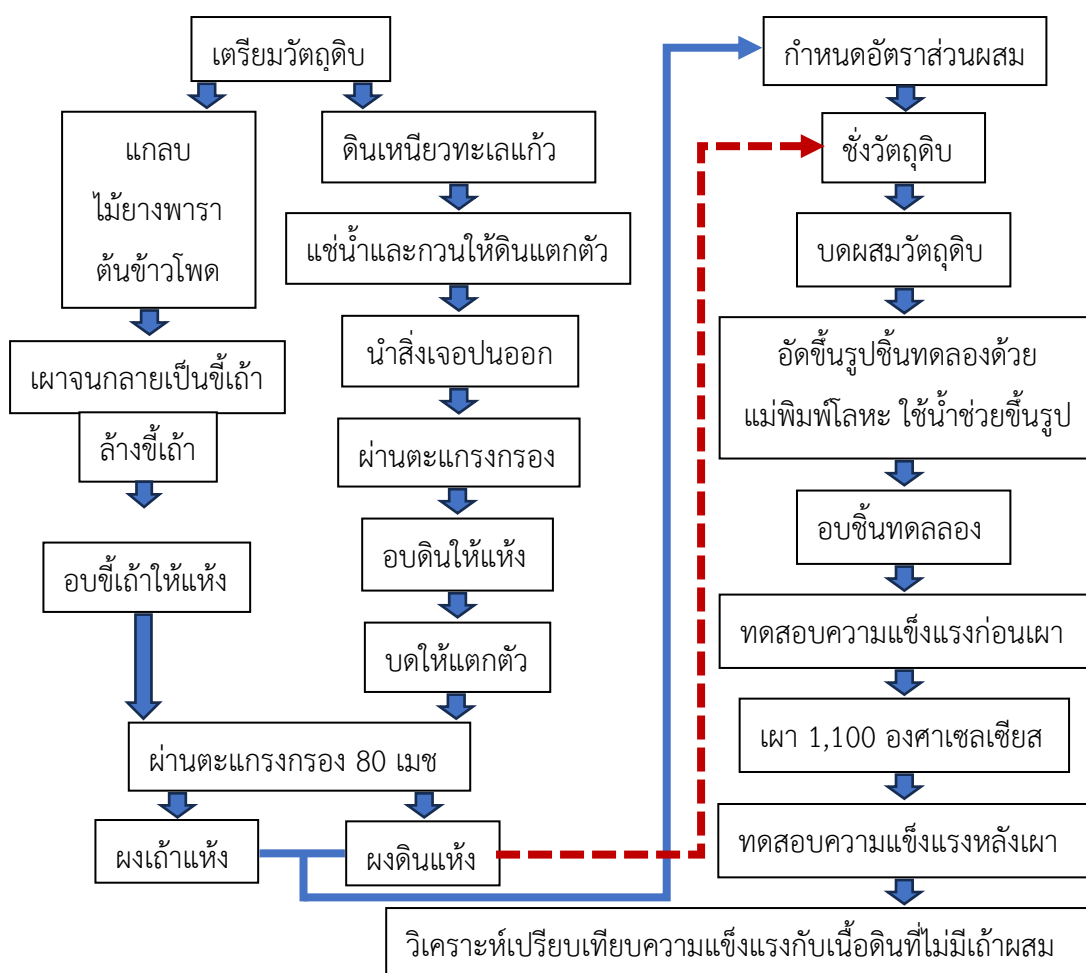
1. นำวัตถุดิบที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 1 มาชั่งส่วนผสมตามที่กำหนดด้วยเครื่องชั่งระบบดิจิทัล ของบริษัท Mettler Toledo กำหนดความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง และบดผสมแบบแห้งด้วยเครื่องบดความเร็วสูง (Hi-speed centrifugal) ความเร็ว 500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 3 นาที โดยมี 1 อัตราส่วนผสมที่ไม่มีส่วนประกอบของเถ้าพืชผสมอยู่เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการวิจัย ในกรณีของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอราคอตตา จากดินเหนียวทะเลแก้วซึ่งดินผงเป็นดินเหนียวทะเลแก้วเพียงอย่างเดียว และนำไปผ่านขบวนการทดลองเช่นเดียวกับกลุ่มตัวอย่างที่ทำการวิจัย

2. นำวัตถุดิบที่ได้ในข้อ 1 ไปขึ้นรูปโดยวิธีการอัดแบบในแบบพิมพ์โลหะด้วยเครื่องอัดที่แรงกด 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ใช้น้ำช่วยในการยัดเกาะขึ้นทลลงในขณะขึ้นรูป ร้อยละ 6 ของวัตถุดิบอัดขึ้นทลลงจำนวน 6 ชิ้น เพื่อนำผลการทดลองที่ได้แต่ละชิ้นมาหาค่าเฉลี่ยที่แม่นยำที่สุด

3. นำชิ้นทดลองที่ผ่านการอัดแบบไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นำมาทดสอบความแข็งแรงก่อนเผาจำนวน 3 ชิ้น ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรง (MOR) ของบริษัท Ametek รุ่น Lloyd LS1 หาค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของชิ้นทดลอง และนำชิ้นทดลองที่เหลือเผาในอุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำไปทดสอบความแข็งแรงหลังเผาโดยเครื่องทดสอบความแข็งแรงเช่นเดิม

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นวิเคราะห์ เปรียบเทียบความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาที่ไม่มีเถ้าฟุ้งและมีเถ้าฟุ้งเป็นส่วนผสม ทั้ง 3 กลุ่ม โดยการนำผลการทดลองจากขั้นตอนที่ 2 มาวิเคราะห์เปรียบเทียบการทดลอง

จากขั้นตอนการวิจัย ทั้ง 3 ขั้นตอนสามารถสรุปเป็นภาพการดำเนินการวิจัยได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการวิจัยเพื่อหาความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาที่มีเถ้าฟุ้งเป็นส่วนผสม

4. ผลการวิจัย

ความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาภายหลังจากดำเนินการทดลองแสดงตามตารางที่ 2, 3, 4 และ 5

ตารางที่ 2 ค่าความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้ว มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm²)

เนื้อดินเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้ว	
ความแข็งแรงก่อนเผา	2.5
ความแข็งแรงหลังเผา	148.5

จากตารางที่ 2 เป็นผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบกับความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาที่มีส่วนผสมระหว่างดินเหนียวทะเลแก้ว กับเถ้าฟิซ พบว่า เนื้อดินก่อนการเผามีค่าความแข็งแรง 2.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเนื้อดินหลังการเผามีค่าความแข็งแรง 148.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ตารางที่ 3 ค่าความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วที่มีเถ้าเกลบเป็นส่วนผสม มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm²)

ส่วนผสมที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ความแข็งแรงก่อนเผา	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0
ความแข็งแรงหลังเผา	79.0	72.7	71.3	70.8	52.5	45.8	45.6	40.7	36.5	36.3
ส่วนผสมที่	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ความแข็งแรงก่อนเผา	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0
ความแข็งแรงหลังเผา	32.7	27.7	23.0	17.6	15.3	12.4	10.2	7.6	6.2	5.5

* ค่าความแข็งแรงก่อนเผาที่ทดสอบจากแรงกดของน้ำหนักตัวสุดคือ 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

จากตารางที่ 3 เป็นผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วที่มีเถ้าเกลบเป็นส่วนผสม พบว่า ทุกอัตราส่วนผสมมีความแข็งแรงก่อนเผาน้อยกว่า 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนค่าความแข็งแรงหลังเผา อัตราส่วนผสมที่ 20 เนื้อดินมีค่าความแข็งแรงน้อยที่สุดคือ 5.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอัตราส่วนผสมที่ 1 เนื้อดินมีความแข็งแรงมากที่สุดคือ 79.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ตารางที่ 4 ค่าความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วที่มี
ไส้ยางพาราเป็นส่วนผสม มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm²)

อัตราส่วนผสมที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ความแข็งแรงก่อนเผา*	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0
ความแข็งแรงหลังเผา	141.6	158.8	166.0	191.7	216.7	212.4	193.7	163.6	147.4	137.2
อัตราส่วนผสมที่	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ความแข็งแรงก่อนเผา	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0
ความแข็งแรงหลังเผา	122.2	119.6	117.1	70.9	67.9	65.9	59.9	43.7	34.6	34.6

* ค่าความแข็งแรงก่อนเผาที่ทดสอบจากแรงกดของน้ำหนักตัวสุดคือ 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

จากตารางที่ 4 เป็นผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วที่มีไส้ยางพาราเป็นส่วนผสม พบว่า ทุกอัตราส่วนผสมมีความแข็งแรงก่อนเผาน้อยกว่า 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนค่าความแข็งแรงหลังเผา อัตราส่วนผสมที่ 19 และ 20 เนื้อดินมีค่าความแข็งแรงน้อยที่สุดคือ 34.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอัตราส่วนผสมที่ 5 เนื้อดินมีค่าความแข็งแรงมากที่สุดคือ 216.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

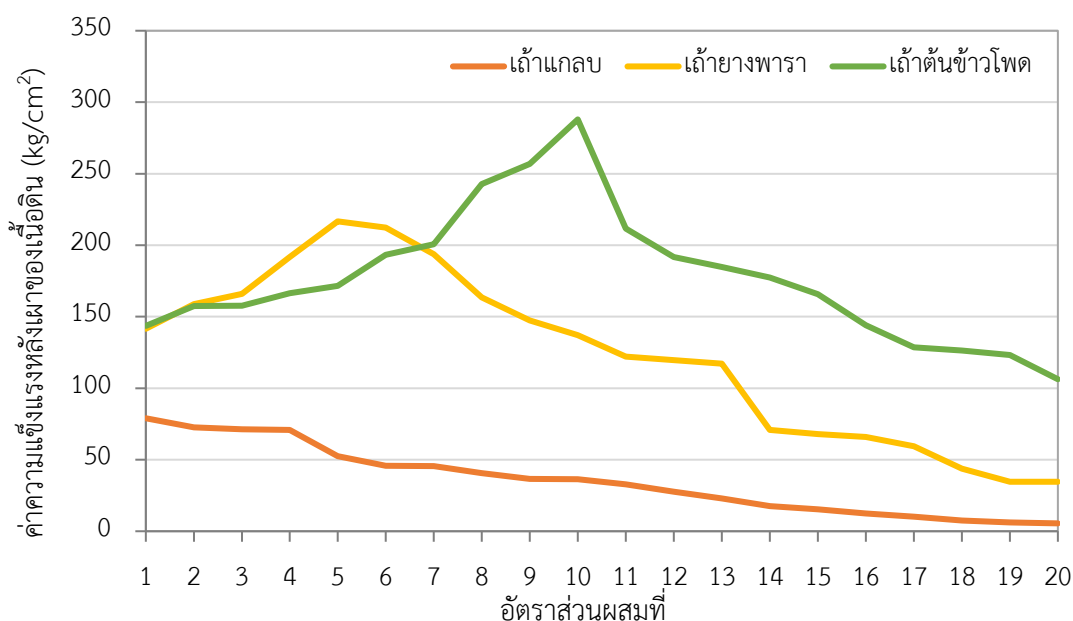
ตารางที่ 5 ค่าความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วที่มี
ไส้ต้นข้าวโพดเป็นส่วนผสม มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm²)

อัตราส่วนผสมที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ความแข็งแรงก่อนเผา*	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0
ความแข็งแรงหลังเผา	143.5	157.5	157.7	166.5	171.5	193.3	200.7	242.7	256.8	288.0
อัตราส่วนผสมที่	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ความแข็งแรงก่อนเผา	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0
ความแข็งแรงหลังเผา	211.7	191.7	184.7	177.5	165.7	144.1	128.7	126.3	123.3	106.3

* ค่าความแข็งแรงก่อนเผาที่ทดสอบจากแรงกดของน้ำหนักตัวสุดคือ 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

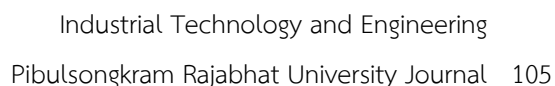
จากตารางที่ 5 เป็นผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วที่มีไส้ต้นข้าวโพดเป็นส่วนผสม พบว่า ทุกอัตราส่วนผสมมีความแข็งแรงก่อนเผาน้อยกว่า 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนค่าความแข็งแรงหลังเผา อัตราส่วนผสมที่ 20 เนื้อดินมีค่าความแข็งแรงน้อยที่สุดคือ 106.3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอัตราส่วนผสมที่ 10 เนื้อดินมีค่าความแข็งแรงมากที่สุดคือ 288.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ข้อมูลจากตารางที่ 3 , 4 และ 5 สามารถแสดงเป็นกราฟเพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วที่มีส่วนผสมของเถ้าชนิดต่างๆ หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ความแข็งแรงหลังเผาของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วที่มีส่วนผสมของเถ้าพืชชนิดต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง

จากภาพที่ 3 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาที่มีดินทะเลแก้วผสมกับเถ้าพืช 3 ชนิด ชนิดละ 1 กลุ่มตัวอย่าง โดยมีปริมาณของเถ้าพืชแตกต่างกันในแต่ละอัตราส่วนผสม ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการวิจัยในแต่ละกลุ่มตัวอย่างได้เลือกอัตราส่วนผสมที่มีความแข็งแรงสูงสุดมาทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้แก่ ส่วนผสมที่มีเถ้ากลบเลือกอัตราส่วนผสมที่ 1 ส่วนผสมที่มีเถ้าขี้เถ้าเลือกอัตราส่วนผสมที่ 5 และส่วนผสมที่มีเถ้าต้นข้าวโพดเลือกอัตราส่วนผสมที่ 10 แสดงตามภาพที่ 4



เก้าต้นข้าวโพด

ภาพที่ 4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการวิจัย

5. สรุปผล และการอภิปรายผล

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอร์ราคอตตาที่มีส่วนผสมของเถ้าพืช สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 เนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วก่อนการเผามีค่าความแข็งแรง 2.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และดินเหนียวทะเลแก้วหลังการเผามีค่าความแข็งแรง 148.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

5.1.2 เนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วที่มีเถ้ากลบ เถ้า
 ยางพารา และเถ้าต้นข้าวโพด ทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่างรวม 60 อัตราส่วนผสม ทุกอัตราส่วนผสมมีค่าความ
 แข็งแรงก่อนเผาไม่น้อยกว่า 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

5.1.3 เนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วที่มีเถ้ากลบเป็นส่วนผสม พบว่า อัตราส่วนผสมที่ 20 เนื้อดินมีความแข็งแรงหลังเผาอย่างน้อยที่สุดคือ 5.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอัตราส่วนผสมที่ 1 เนื้อดินมีความแข็งแรงหลังเผามากที่สุดคือ 79.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

5.1.4 เนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วที่มีไส้ยางพาราเป็นส่วนผสม พบว่า อัตราส่วนผสมที่ 19 และ 20 เนื้อดินมีความแข็งแรงหลังเผาอย่างน้อยที่สุดคือ 34.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอัตราส่วนผสมที่ 5 เนื้อดินมีความแข็งแรงหลังเผามากที่สุดคือ 216.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

5.1.5 เนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วที่มีเถาต้นข้าวโพดเป็นส่วนผสม พบว่า อัตราส่วนผสมที่ 20 เนื้อดินมีความแข็งแรงหลังเผาอย่างน้อยที่สุดคือ 106.3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอัตราส่วนผสมที่ 10 เนื้อดินมีความแข็งแรงหลังเผามากที่สุดคือ 288.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง ความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอร์ราคอตตาที่มีส่วนผสมของเถ้าพืช สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

5.2.1 ความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอร์ราคอตตาที่มีเถ้าพืชต่างชนิดกันเป็นส่วนผสมในเนื้อดินทำให้เกิดความแตกต่างกันตามลักษณะของเถ้าพืชที่ผสมลงไป คือ กลุ่มที่ผสมเถ้าแกลบที่ปริมาณน้อยสุด คือ อัตราส่วนผสมที่ 1 ผสมเพียงร้อยละ 2.5 เนื้อดินมีความแข็งแรงมากที่สุดในกลุ่มนี้ คือ 79.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และค่าความแข็งแรงของกลุ่มตัวอย่างนี้จะลดลงไปตามลำดับจนถึงอัตราส่วนผสมสุดท้ายที่มีเถ้าแกลบที่ผสมอยู่ร้อยละ 50 คือ 5.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แตกต่างจากกลุ่มที่ผสมเถ้าขี้เถ้าและกลุ่มที่ผสมเถ้าต้นข้าวโพด คือ กลุ่มที่ผสมเถ้าขี้เถ้าในอัตราส่วนผสมที่ 1 มีเถ้าขี้เถ้าผสมอยู่ร้อยละ 2.5 มีความแข็งแรง 141.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร กลับมีความแข็งแรงต่ำกว่าอัตราส่วนผสมที่ 5 คือ 216.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่มีเถ้าขี้เถ้าผสมอยู่ร้อยละ 12.5 และค่าความแข็งแรงของกลุ่มตัวอย่างนี้จะลดลงไปตามลำดับตั้งแต่อัตราส่วนผสมที่ 6 จนถึงอัตราส่วนผสมสุดท้ายที่มีเถ้าขี้เถ้าผสมอยู่ร้อยละ 47.5 และร้อยละ 50 คือ 34.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับกลุ่มที่ผสมเถ้าต้นข้าวโพด ในอัตราส่วนผสมที่ 1 มีเถ้าต้นข้าวโพดผสมอยู่ร้อยละ 2.5 มีความแข็งแรง 143.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร กลับมีความแข็งแรงต่ำกว่าอัตราส่วนผสมที่ 10 คือ 288.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่มีเถ้าต้นข้าวโพดผสมอยู่ร้อยละ 25 และค่าความแข็งแรงของกลุ่มตัวอย่างนี้จะลดลงไปตามลำดับตั้งแต่อัตราส่วนผสมที่ 11 จนถึงอัตราส่วนผสมสุดท้ายที่มีเถ้าต้นข้าวโพดที่ผสมอยู่ร้อยละ 50 คือ 106.3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

จากค่าความแข็งแรงที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่มตัวอย่างที่ทำการวิจัย พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีเถ้าแกลบเป็นส่วนผสมนั้น เถ้าแกลบมีส่วนประกอบทางเคมีเป็นซิลิกาออกไซด์ถึงร้อยละ 82.92 และมีส่วนประกอบทางเคมีที่เป็นออกไซด์ที่ช่วยลดอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย (เสริมศักดิ์, 2536) ซึ่งปริมาณของซิลิกาออกไซด์ที่มีสูงมากย่อมทำให้เกิดความทนไฟเพิ่มขึ้นมีผลต่อการสุกตัว และการเชื่อมต่อนองของอนุภาคของวัตถุดิบ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่ากลุ่มที่มีเถ้าแกลบเป็นส่วนผสมมีความแข็งแรงต่ำ เนื่องจากเนื้อดินยังไม่สุกตัวพอที่จะทำให้อนุภาคของวัตถุดิบหลอมตัวเชื่อมกันส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของเนื้อดินนั้นลดลง แต่ในทางกลับกันกลุ่มที่ผสมเถ้าขี้เถ้าและเถ้าต้นข้าวโพดนั้น เถ้าขี้เถ้ามีส่วนประกอบทางเคมีเป็นซิลิกาออกไซด์ต่ำมากเพียงร้อยละ 1.69 และมีออกไซด์ที่ช่วยลดอุณหภูมิที่สูง คือ แคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 52.31 (ธนุพล และคณะ, 2557) ซึ่งสอดคล้องกับ อรุณ (2561) กล่าวว่าเถ้าขี้เถ้ามีส่วนประกอบทางเคมีเป็นซิลิกาออกไซด์ร้อยละ 1.71 และมีออกไซด์ที่ช่วยลดอุณหภูมิที่สูง คือ แคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 43.37 โดยปริมาณของออกไซด์ที่ช่วยลดอุณหภูมินี้มีส่วนสำคัญที่ทำให้เนื้อดินสุกตัวได้ดีขึ้นในอุณหภูมิที่กำหนดจึงทำให้ค่าความแข็งแรงของเนื้อดินกลุ่มเถ้าขี้เถ้าสูงกว่าเนื้อ

ดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วเพียงอย่างเดียว และเป็นไปในทางเดียวกันกับกลุ่มเถ้านข้าวโพด ซึ่งเถ้านข้าวโพดมีส่วนประกอบทางเคมีของซิลิกาออกไซด์ร้อยละ 34.61 และมีส่วนผสมในกลุ่มของออกไซด์ที่ช่วยลดอุณหภูมิอยู่พอสมควร เช่น โพแทสเซียมออกไซด์ ร้อยละ 13.9 และ แคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 6.22 เป็นต้น (เสริมศักดิ์, 2536) ปริมาณของออกไซด์ที่ช่วยลดอุณหภูมินี้มีส่วนสำคัญที่ทำให้เนื้อดินสุกตัวได้ดีขึ้นในอุณหภูมิที่กำหนด จึงทำให้ค่าความแข็งแรงของกลุ่มเถ้านข้าวโพดสูงกว่าเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วเพียงอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงของเนื้อดิน 3 กลุ่มตัวอย่าง จึงขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าพืชแต่ละชนิดที่ผสมลงไปเนื้อดินและมีผลโดยตรงกับความแข็งแรงของเนื้อดินเมื่อเผาเนื้อดินนั้นที่อุณหภูมิเดียวกัน อีกทั้งความแข็งแรงของเนื้อดินนั้นๆ จะมากขึ้นน้อยขึ้นอยู่กับกระบวนการเผาเนื้อดินนั้นให้ถึงจุดสุกตัวด้วยเช่นกัน

5.2.2 จากการทดสอบค่าความแข็งแรงของกลุ่มตัวอย่างที่มีเถ้าพืชชนิดต่างๆ เป็นส่วนผสมเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วเพียงอย่างเดียว พบว่า ค่าความแข็งแรงก่อนเผาสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีเถ้าพืชชนิดต่างๆ เป็นส่วนผสม คือ 2.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งโคมล (2531) กล่าวว่า ดินเหนียวเป็นวัตถุดิบที่ใช้มากในอุตสาหกรรมมีเม็ดละเอียดมีความเหนียวดีเหมาะกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดความแข็งแรงต่อผลิตภัณฑ์เมื่อยังไม่เผา นอกจากนี้ ปรีดา (2539) กล่าวว่า ดินเหนียวมีลักษณะพิเศษคือ มีสารอินทรีย์ปนอยู่เสมอ สารอินทรีย์นี้มีส่วนประกอบคล้ายลิกไนต์มาก ดินเหนียวเมื่อแห้งมีความแข็งแรงสูง เมื่อผสมเนื้อดินปั้นจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงสูงตามด้วย ดังนั้นจึงเป็นผลดีต่อการตกแต่ง เก็บรักษาและเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ได้สะดวก แต่ในทางกลับกันเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วเพียงอย่างเดียวมีค่าความแข็งแรงหลังเผา 148.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรกลับมีค่าความแข็งแรงหลังเผาที่ต่ำกว่ากลุ่มตัวอย่างของกลุ่มที่มีเถ้ายางพารา และกลุ่มเถ้านข้าวโพดผสมอยู่ ยกเว้นกลุ่มที่มีเถ้ากล้วยผสมอยู่มีความแข็งแรงต่ำกว่าเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วเพียงกลุ่มเดียว

จากการทดสอบความแข็งแรงของเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้ว ได้มีการศึกษาส่วนประกอบทางเคมีไว้ พบว่าดินเหนียวทะเลแก้วมีปริมาณซิลิกาออกไซด์ร้อยละ 61.60 มีอลูมินาออกไซด์ร้อยละ 5.48 (ทนารัช, 2561) ซึ่งสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี ของ ประสิทธิ์ (2539) ที่ได้ศึกษาไว้ พบว่า มีปริมาณซิลิกาออกไซด์ใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 62.00 มีอลูมินาออกไซด์ร้อยละ 18.20 มีเหล็กออกไซด์ร้อยละ 5.46 ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าแหล่งวัตถุดิบนี้ยังคงมีความเสถียร และคุณภาพที่เชื่อถือได้ เนื่องจากดินเหนียวทะเลแก้วมีซิลิกาออกไซด์ และอลูมินาออกไซด์จึงทำให้ดินมีความทนไฟสูง आयुวัฒน์ (2543) แต่เนื่องด้วยดินมีเหล็กออกไซด์ที่พอเหมาะจะทำให้ดินสุกตัวในระดับหนึ่งจึงทำให้มีความแข็งแรงเพียงพอต่อคุณภาพของ

เนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาที่จะนำไปใช้งาน แต่เนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วมีค่าความแข็งแรงสูงกว่ากลุ่มที่ผสมเถ้าแกลบเนื่องจากการเพิ่มเถ้าแกลบเข้าไปในส่วนผสมของเนื้อดินยังทำให้ดินมีความทนไฟสูงขึ้นเพราะ ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบที่มีซิลิกาออกไซด์สูงกว่าร้อยละ 80 ยิ่งทำให้เนื้อดินมีปริมาณซิลิกาออกไซด์เพิ่มขึ้นเมื่อเผาในอุณหภูมิที่กำหนดเนื้อดินจึงยังไม่สุกตัวทำให้ค่าความแข็งแรงลดลงเมื่อเทียบกับเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้ว แต่อย่างไรก็ตามเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วกลับมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่ากลุ่มที่มีเถ้าขี้เถ้า และกลุ่มที่มีเถ้าต้นข้าวโพดผสมอยู่ อาจเนื่องจากเถ้าขี้เถ้าและเถ้าต้นข้าวโพด มีปริมาณออกไซด์ที่ทำหน้าที่ช่วยลดอุณหภูมิในการเผา ในปริมาณที่พอเหมาะ มีปริมาณซิลิกาออกไซด์ไม่สูงเกินไป และเผาในอุณหภูมิที่เหมาะสมพอดีกับอัตราส่วนผสมของกลุ่มตัวอย่างที่กำหนด จึงทำให้เนื้อดินทั้ง 2 กลุ่มนี้มีความแข็งแรงสูงกว่าเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาจากดินเหนียวทะเลแก้วเพียงอย่างเดียว อีกทั้งการขึ้นรูปโดยวิธีการอัดแบบจะทำให้ปริมาณของวัตถุดิบในหนึ่งหน่วยพื้นที่สูงกว่าการหล่อแบบเนื่องจากปริมาณน้ำที่ใช้ขึ้นรูปน้อยกว่าจึงทำให้เกิดการอัดแน่นของเนื้อวัตถุดิบมากกว่าเมื่อนำเนื้อดินไปเผาจนถึงจุดสุกตัวและปริมาณของเนื้อวัตถุดิบที่มากกว่าย่อมทำให้เนื้อดินนั้นๆ มีความแข็งแรงสูงตามไปด้วย ซึ่งเหมาะสมกับเนื้อดินเซรามิกส์ประเภทเทอรากอตตาที่นิยมนำมาทำผลิตภัณฑ์ตกแต่ง ประเภทกระเบื้องปูพื้น กระเบื้องมุงหลังคาที่มักใช้การขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบ

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับใช้ในการวิจัย ทำให้การดำเนินการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- โกลม รักษ์วงศ์. (2531). วัตถุดิบที่ใช้ในงานเครื่องปั้นดินเผาและเนื้อดินปั้น. กรุงเทพมหานคร: วิทยาลัยครูพระนคร.
- دنول دننโยماس และคณะ. (2557). ผลของการเติมเถ้าลอยไม้ยางพาราต่อสมบัติของมวลรวม น้ำหนักเบาผลิตจากแก้วขวดใส. 15(1), 32.
- ทนาย จิตชาวิชัย. (2561). เครื่องปั้นดินเผาอุณหภูมิต่ำทำจากเถ้าลอยลิกไนต์ และดินเหนียวทะเลแก้ว จังหวัดพิษณุโลก. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยราชภัฏพระพิบูลสงคราม.

- ประสิทธิ์ แก้วฟุ้งรังษี. (2539). การทดลองหาประสิทธิภาพเนื้อดินปั้นประเภทสโตนแวร์ของดินเหนียวทะเลแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2539). เซรามิกส์ (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2541). เนื้อดินเซรามิกส์. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, สุรศักดิ์ ไวยวงษ์สกุล, พุศศักดิ์ บุญยกุลศรีรุ่ง, วรมน สุภัทรวณิชย์, วีระ ชูกระชั้น, ศรีเฉล ขุนทน, ...สรินทร์ ลิ้มปนาท. (2543). เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์ : ทฤษฎีและหลักการงานเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2548). พจนานุกรมศัพท์วัสดุศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- เสริมศักดิ์ นาคบัว. (2536). เคลือบซีเถ้าพีช. กรุงเทพฯ: เจ.ฟิล์ม โปรเซส จำกัด.
- สุภกิจ พุ่มพวง. (2560). การทดลองเนื้อดินปั้นที่มีน้ำหนักเบา จากดินเหนียวทะเลแก้ว. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยราชภัฏพระพิบูลสงคราม.
- อรนุช จินดาสกุลยนต์. (2561, มีนาคม). ซีเถ้าไม้สำหรับเคลือบเซรามิกส์. เอกสารในการนำเสนอในที่ประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 6 ราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงวิจัย, มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอม. ราชบุรี.
- อายุวัฒน์ สว่างผล. (2543). วัตถุดิบที่ใช้แพร่หลายในงานเซรามิกส์. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.