อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมจากวัตถุดิบท้องถิ่นนครศรีธรรมราชต่อการผลิตอิฐทนไฟสำหรับเตาเผาไฟต่ำ

The optimum mix ratio of local materials in Nakhon Si Thammarat for the production of low-temperature refractory bricks

ฉัตรชัย แก้วดี[1]

Chatchai Kaewdee[1]

[1] หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: aj.chatchai@gmail.com

วันที่รับบทความ: 7 สิงหาคม 2566; วันที่ทบทวนบทความ: 19 สิงหาคม 2566; วันที่ตอบรับบทความ: 22 สิงหาคม 2566
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 31 สิงหาคม 2566

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนผสมจากวัตถุดิบท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราชที่เหมาะสมต่อการผลิตอิฐทนไฟสำหรับตาเผาไฟต่ำ โดยใช้ส่วนผสมจากดินแดงทุ่งน้ำเค็ม ดินขาว ทุ่งใหญ่ ทรายน้ำแคบ แกลบดิบ ขี้เถ้าแกลบ และขี้วัว ด้วยการใช้อัตราส่วนผสมจากตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า และหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมและทดสอบสมบัติทางกายภาพของอิฐทนไฟและสามารถขึ้นรูปได้โดยไม่แตกร้าว ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนระหว่าง ดินแดงทุ่งน้ำเค็ม : ดินขาวทุ่งใหญ่ (ค่าคงที่) + ทรายน้ำแคบ (ค่าคงที่) : แกลบดิบ + ขี้เถ้าแกลบ : ขี้วัว เท่ากับ 40 : 10+15 : 15+5 : 15 เผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส สามารถเป็นอิฐทนไฟที่มีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม 5 ด้าน คือ 1) ความทนไฟ (Refractory) ด้านการถ่ายเทความร้อนแบบมิติเดียว เท่ากับ ด้านการพาความร้อน เท่ากับ 2.14 2) การหดตัว (Shrinkage) เท่ากับ ร้อยละ 16.5 3) ความพรุนตัว (Porosity) เท่ากับร้อยละ 32.7 4) พื้นผิว (Surface) อยู่ในระดับ 4 และ 5) ความแข็งแรงของเนื้อดินอิฐทนไฟ (Modulus of Rupture) เท่ากับ 25.24 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

คำสำคัญ: อัตราส่วนผสม, อิฐทนไฟ, เตาเผาไฟต่ำ

Abstract: The objective of this research was to determine the optimum mix ratio of local materials in Nakhon Si Thammarat for the production of low-temperature refractory bricks. The mixture was composed of Thung Nam Khem red clay, Thung Yai kaolin, Nam Kap sand, raw husk, husk ash and cow dung. The mix ratio was determined using a square table and the physical properties of the bricks were tested. The results showed that the optimum mix ratio was 40:10+15:15+5:15, which was fired at 950°C. The bricks had the following physical properties: 1) thermal conductivity of, 2) shrinkage of 16.5%, 3) porosity of 32.7%, 4) surface level 4 and 5) modulus of rupture of 25.24 kg/cm^2

Key words: mix ratio, refractory bricks, low-temperature kiln

1. บทนำ

การผลิตอิฐทนไฟจากวัตถุดิบท้องถิ่น เพื่อใช้ในการสร้างเตาเผาไฟต่ำในระดับชุมชนมีการพัฒนาและผลิตใช้กันมาอย่างยาวนาน โดยใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นและการสืบทอดกันมา ด้วยเทคนิควิธีการที่ไม่ได้ควบคุมคุณภาพ แต่อาศัยการพัฒนาและสังเกตจากรุ่นสู่รุ่น ทำให้อิฐทนไฟสำหรับสร้างเตาเผาไฟต่ำทำหน้าที่เก็บกักความร้อนได้ไม่ดีเท่าที่ควร การเผาผลิตภัณฑ์มีคุณภาพต่ำ เตาเผามีอุณหภูมิสูงไม่เท่าที่ต้องการ ห้องเผาสูญเสียอุณหภูมิได้ง่ายและต้องใช้เชื้อเพลิงในปริมาณมาก ทำให้ในระยะยาวไม่คุ้มค่าต่อเชื้อเพลิงที่นำมาเผาผลิตภัณฑ์ แต่การผลิตและนำอิฐทนไฟคุณภาพสูงมาสร้างเตาเผาชุมชนไม่สามารถทำได้โดยง่ายในระดับท้องถิ่น ด้วยเหตุอิฐทนไฟมีราคาสูง ไม่มีผู้ผลิตในท้องถิ่นและชุมชนไม่สามารถจัดหาหรือจัดซื้อมาทำเตาเผาได้จากปัญหาดังกล่าวอาจเกิดขึ้นจากการขาด องค์ความรู้ในการวิจัยหาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบท้องถิ่นที่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตอิฐทนไฟที่มีคุณภาพในระดับหนึ่งที่สามารถเก็บกักความร้อนได้ดี จัดหาวัตถุดิบได้ง่าย และมีราคาจากการผลิตต่ำ การวิจัยเพื่อผลิตอิฐทนไฟคุณภาพจึงมีความสำคัญต่อการผลิตเครื่องปั้นดินเผาของชุมชนเพื่อให้สอดคล้องกับการพัฒนาเศรษฐกิจระดับฐานราก[1]

อิฐทนไฟเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตได้ในระดับชุมชนท้องถิ่น ประกอบด้วย 1) วัตถุดิบที่ทำหน้าที่สร้างช่องว่างของอากาศภายในก้อนอิฐให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศและเก็บกังความร้อนในช่องว่าง ได้แก่ แกลบ และขี้เถ้าแกลบ 2) วัตถุดิบทำหน้าที่โครงสร้างแข็ง ได้แก่ ทราย 3) วัตถุดิบทำหน้าที่ทนไฟหลังเผา ได้แก่ ดินขาว 4) วัตถุดิบทำหน้าที่เพิ่มความเหนียวขณะขึ้นรูป ได้แก่ ดินแดงพื้นบ้าน และ 5) วัตถุดิบเชื่อมประสานโครงสร้างขณะขึ้นรูป ได้แก่ เส้นใยเซลลูโลสจากงานวิจัยของ เลิศชาย สถิติพนาวงศ์[2] ได้ใช้อัตราส่วนผสมเพื่อพัฒนาอิฐทนไฟจากวัตถุดิบท้องถิ่นประกอบด้วย ดินบางปะหัน 20 % ดินขาว 30 % ทราย 30 % และขี้เลื่อย 20 % สามารถทนไฟได้ที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส แต่ผลที่ปรากฏทำให้อิฐทนไฟมีหลายสูตรไม่สามารถขึ้นรูปได้เนื่องจากวัตถุดิบที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยเกินกว่า 20 % ไม่สามารถขึ้นรูปได้ การหาวัตถุดิบเพื่อให้วัตถุดิบที่ทำหน้าที่เพิ่มความพรุนตัวในอิฐทนไฟใส่ในปริมาณเพิ่มขึ้นได้จึงมีความน่าสนใจในการผลิตอิฐทนไฟ เพื่อให้สามารถทนไฟได้เพิ่มขึ้น ผู้วิจัยจึงสนใจนำมูลวัวมาใช้เป็นวัตถุดิบประสานในอิฐทนไฟในขณะขึ้นรูป เนื่องจากการศึกษาการพัฒนาอิฐทนไฟและการทำผนังเตาเผาของประเทศอินเดียพบว่ามีการนำมูลวัวมาเป็นส่วนผสมสำคัญในการทำเตาเผา เพื่อทำหน้าที่เพิ่มความเหนียวและการคงสภาพของอิฐทนไฟและผนังเตาเผาได้ดีขณะขึ้นรูปและหาได้ง่ายในท้องถิ่นนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบและผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่มีประวัติศาสตร์ยาวนานมาตั้งแต่สมัยศรีวิชัย[3] ผลิตและส่งจำหน่ายเครื่องปั้นดินเผาในเขตพื้นที่และจังหวัดใกล้เคียงมายาวนาน การพัฒนาความรู้เกี่ยวกับดินและวัตถุดิบที่ราคาถูก หาง่ายในจังหวัด มีศักยภาพเชิงพาณิชย์ และสร้างความยั่งยืนในการดำรงชีพบนพื้นฐานที่ผลิตได้ด้วยตนเอง มาทดลองเพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมอิฐทนไฟที่มีคุณภาพ แข็งแรง ทนทาน สามารถรักษาอุณหภูมิภายในเตาได้ดี ทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์สม่ำเสมอและสวยงาม สามารถนำมาผลิตเป็นสินค้าชุมชนเป็นที่ต้องการของตลาด อีกทั้งลดการซื้ออิฐทนไฟคุณภาพสูงจากโรงงานอุตสาหกรรมจะช่วยให้ชุมชนมีนวัตกรรมทางการพัฒนาเตาเผาชุมชนใช้ได้อย่างยั่งยืน ผลิตและสร้างได้ด้วยตนเองในราคาที่เหมาะสม และสอดคล้องกับการพัฒนาของประเทศและพึ่งพาตนเองตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง ซึ่งเป็นเหตุผลที่สำคัญในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ที่ผู้วิจัยมีความสนใจ และพัฒนาให้เหมาะสมกับนวัตกรรมในระดับชุมชน

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อหาอัตราส่วนผสมจากวัตถุดิบท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราชที่เหมาะสมต่อการผลิตอิฐทนไฟสำหรับตาเผาไฟต่ำ โดยใช้ส่วนผสมจากดินแดงทุ่งน้ำเค็ม ดินขาวทุ่งใหญ่ ทรายน้ำแคบ แกลบดิบ ขี้เถ้าแกลบ และขี้วัว

2.2 เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมและทดสอบสมบัติทางกายภาพของอิฐทนไฟและสามารถขึ้นรูปได้โดยไม่แตกร้าว

3. ขอบเขตการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ดินแดงบ้านทุ่งน้ำเค็ม (Thung Nam Kam red clay) เป็นดินที่พบในแหล่งตำบลโมคลาน อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาบ้านมะยิงและโรงงานอิฐในเขตอำเภอท่าศาลา ดินมีความละเอียดมาก กากค้างตะแกรงร่อนน้อย เมื่อแห้งมีความแข็งแรงสูง การหดตัวและความแข็งแรงสูงสุดที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ความทนไฟได้ไม่เกิน 1,150 องศาเซลเซียส สีของดินหลังการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นสีส้ม ดินมีส่วนประกอบด้วย SiO_2 = 63.85%, Al_2O_3 = 21.04%, Fe_2O_3 = 2.74%, TiO_2 = 0.27%, MgO = 0.78%, K_2O = 2.20%, CaO = 0.06% และ L.O.I. = 7.93% [4]

3.1.2 ดินขาวทุ่งใหญ่ (Thung Yai kaolin) เป็นดินจากแร่เกาลินไนท์ (Kaolinite) จากแหล่ง อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช ดินขาวมีค่าการหดตัวหลังเผา ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส สูงมากถึงร้อยละ 16.4 และเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ให้เป็นสีเหลืองครีมทำให้ไม่เหมาะสำหรับงานอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ดินมีส่วนผสมของแร่เกาลินไนท์และควอรตซ์ (Quartz) เป็นองค์ประกอบหลัก ประกอบด้วย SiO_2 = 47.4%, Al_2O_3 = 35%, Fe_2O_3 = 1.06% และ TiO_2= 2% [4]

3.1.3 ทรายน้ำแคบ (Nam Kap sand) เป็นทราย ที่เกิดขึ้นจากลำธารแม่น้ำ เรียกว่าทรายแม่น้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 - 0.5 มิลลิเมตร มีปริมาณซิลิกามากกว่าร้อยละ 95 มีสารประกอบอื่น ๆ อยู่ในปริมาณน้อย โดยเฉพาะมีเหล็กออกไซด์ไม่เกิน 10 % มีสูตรเคมีเป็นซิลิกา (SiO_2) [5]

3.1.4 แกลบ (Rice husk) เป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากกระบวนการสีข้าวเปลือก มีลักษณะสีเหลืองทอง แกลบประกอบด้วยสารอินทรีย์และซิลิกา (Silica) ปริมาณสารอินทรีย์ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (Carbon) ≈ 51% ออกซิเจน ≈ 42% ส่วนที่เหลือเป็นไฮโดรเจน (Hydrogen) และไนโตรเจน (Nitrogen) เมื่อแกลบเผาไหม้จะทำให้เกิดเถ้า ≈13 - 30% ประกอบด้วย SiO_2 ≈ 85 - 97% ส่วนอื่นจะประกอบด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น (K_2O) = 2.3%, MgO = 0.5%, Al_2O_3 = 0.4%, CaO = 0.4%, Fe_2O_3 = 0.2% และ Na_2O = 0.1% [6]

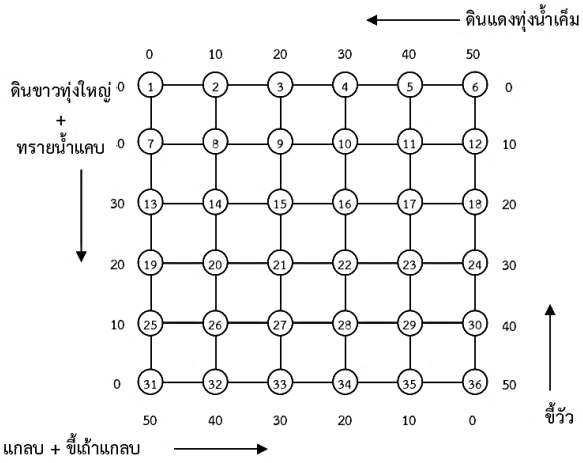
3.1.5 ขี้เถ้าแกลบ (Raw husk) โดยไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์[7] กล่าวว่า ขี้เถ้าแกลบมีปริมาณของซิลิกาอยู่สูงหากนำไปใช้ทำเคลือบโดยลำพังเคลือบจะทนไฟเกินไปไม่หลอมละลาย ดังนั้นจึงนิยมใช้ขี้เถ้าจากแกลบในสูตรเคลือบแทนควอตซ์ (Quartz) หรือซิลิกา จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีของขี้เถ้าแกลบประกอบด้วย SiO_2 = 96.00%, Al_2O_3 = 1.00%, Fe_2O_3 = 0.04%, CaO = 0.48%, MgO = 0.22%, K_2O = 0.90%, Na_2O = 0.26%, P_2O_5 = 0.02%, MnO = 0.19 %

3.1.6 มูลวัว (Cow dung) เป็นของเสียจากวัวมีลักษณะเป็นเส้นใยจากเศษพืชที่หลงเหลือในรูปแบบเซลลูโลสเส้นใยยาว มีค่าเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 7.9 จัดอยู่ในระดับด่างเล็กน้อยค่าสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 10:1 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 20:1 จึงเหมาะสมต่อการใส่ให้กับพืช โดยค่าการนำไฟฟ้า (EC) เท่ากับ 7.14 มีปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) เท่ากับ 36.19% มีค่าไนโตรเจนเท่ากับ 2.0% ค่าฟอสฟอรัสเท่ากับ 1.3% และค่าโพแทสเซียม เท่ากับ 3.7% [8]

3.2 อุปกรณ์ ได้แก่ อุปกรณ์สำหรับการผสมและผลิตแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ ได้แก่ อุปกรณ์ผสม แม่พิมพ์อัดขึ้นรูป เครื่องมือวัดสมบัติทางกายภาพของอิฐทนไฟ และอุปกรณ์ทดลองหาอัตราส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ และเครื่องมือประเมินสมบัติทางกายภาพของแม่พิมพ์ ได้แก่ ตาชั่ง เครื่องขูดผิว เครื่องวัดความแข็งแรง และเตาเผา

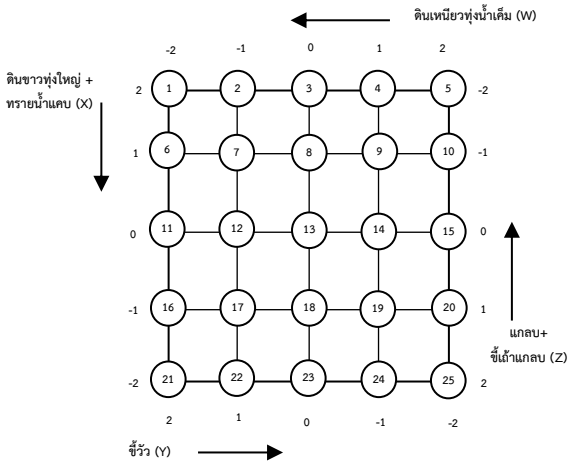
4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การกำหนดอัตราส่วนผสมของเนื้อดินอิฐทนไฟ โดยทดลองหาอัตราส่วนผสมชุด A ของเนื้อดินอิฐทนไฟ ทำได้โดยใช้วิธีหาอัตราสวนผสม ดินแดงทุ่งน้ำเค็ม ดินขาวทุ่งใหญ่ ทรายบ้านน้ำแคบ แกลบ ขี้เถ้าแกลบ และขี้วัว ไม่เกิน 50% โดยน้ำหนัก ด้วยตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า (Quad axial grid)[9] จากวัตถุดิบพื้นฐาน 5 ส่วน แบบลดและเพิ่มสัดส่วน ครั้งละ 10% ดังนี้ 1) ดินแดงบ้านทุ่งน้ำเค็ม อัตราส่วนผสม 0 - 50% 2) ดินขาวทุ่งใหญ่ (50%) รวมกับทรายบ้านน้ำแคบ (50%) รวมอัตราส่วนผสม 0 - 50% 3) แกลบ (50%) รวมกับขี้เถ้าแกลบ (50%) อัตราส่วนผสม 0 - 50% 4) ขี้วัว อัตราส่วน 0-50% เพื่อหาดินที่เหมาะสำหรับการทำอิฐทนไฟ ลักษณะและสมบัติทางกายภาพความทนไฟ การหดตัว ความพรุนตัว ความแข็งแรง และผิวเรียบ โดยใช้สัดส่วนตามตารางสี่เหลี่ยมดังภาพที่ 1

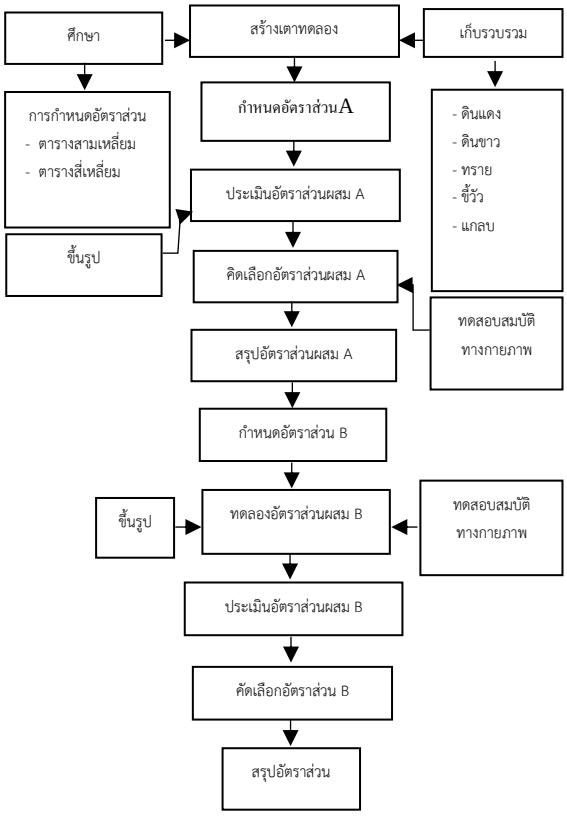


ภาพที่ 1 ตารางสี่เหลี่ยมอัตราส่วนผสมของดินชุด A

ทำได้โดยใช้วิธีหาอัตราส่วนผสม ดินเหนียวทุ่งน้ำเค็ม ดินขาว ทุ่งใหญ่ ทรายบ้านน้ำแคบ และแกลบ ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก แบบตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า (Quad axial grid) จากวัตถุดิบพื้นฐาน 5 ส่วน แบบลดและเพิ่มสัดส่วน ครั้งละ ร้อยละ 1 ดังนี้ 1) ดินแดงบ้านทุ่งน้ำเค็ม อัตราส่วน ร้อยละ 0-5 2) ทรายบ้านน้ำแคบ อัตราส่วน ร้อยละ 0-5 3) ดินขาวทุ่งใหญ่ อัตราส่วน ร้อยละ 0-5 4) แกลบ อัตราส่วน ร้อยละ 0-5 เพื่อหาดินที่เหมาะสำหรับการทำอิฐทนไฟ ลักษณะที่พึงประสงค์และสมบัติทางกายภาพ ความทนไฟ การหดตัว ความพรุนตัว ความแข็งแรง และผิวเรียบ โดยใช้สัดส่วนตามตารางสี่เหลี่ยมในรูปที่ 2 และได้อัตราส่วนตามตารางที่ 1 ดินที่เหมาะสำหรับการทำอิฐทนไฟ ลักษณะที่พึงประสงค์และสมบัติทางกายภาพ ความทนไฟ การหดตัว ความพรุนตัว ความแข็งแรง และผิวเรียบ โดยใช้สัดส่วนตามตารางสี่เหลี่ยม ในรูปที่ 2 และ 3 ซึ่งได้อัตราส่วนชุด B ตามตารางที่ 1



ภาพที่ 2 ตารางสี่เหลี่ยมอัตราส่วนผสมของดินชุด B



ภาพที่ 3 การกำหนดอัตราส่วนผสมของดินชุด A เป็น B

ที่ 1 อัตราส่วนผสมของดินชุด B

ลำดับที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ				รวม
	ดินแดงทุ่งน้ำเค็ม	ดินขาวทุ่งใหญ่+ทรายบ้านน้ำแคบ	ขี้วัว	อกลบดิบ+ขี้เถ้าแกลบ	
1	W_2	X_2	Y_2	Z_2	100
2	W_2	X_1	Y_1	Z_1	100
3	W_2	X_0	Y_0	Z_0	100
4	W_2	X_{-1}	Y_{-1}	Z_{-1}	100
5	W_2	X_{-2}	Y_{-2}	Z_{-2}	100
6	W_1	X_2	Y_2	Z_2	100
7	W_1	X_1	Y_1	Z_1	100
8	W_1	X_0	Y_0	Z_0	100
9	W_1	X_{-1}	Y_{-1}	Z_{-1}	100
10	W_1	X_{-2}	Y_{-2}	Z_{-2}	100
11	W_0	X_2	Y_2	Z_2	100
12	W_0	X_1	Y_1	Z_1	100
13	W_0	X_0	Y_0	Z_0	100
14	W_0	X_{-1}	Y_{-1}	Z_{-1}	100
15	W_0	X_{-2}	Y_{-2}	Z_{-2}	100
16	W_{-1}	X_2	Y_2	Z_2	100
17	W_{-1}	X_1	Y_1	Z_1	100
18	W_{-1}	X_0	Y_0	Z_0	100
19	W_2	X_1	Y_1	Z_1	100
20	W_{-1}	X_{-2}	Y_{-2}	Z_{-1}	100
21	W_{-2}	X_2	Y_2	Z_2	100
22	W_{-2}	X_1	Y_1	Z_1	100
23	W_{-2}	X_0	Y_0	Z_0	100
24	W_{-2}	X_{-1}	Y_{-1}	Z_{-1}	100
25	W_{-2}	X_{-2}	Y_{-2}	Z_{-2}	100

4.2 การทดสอบทางกายภาพของดินอิฐทนไฟ

การวิจัยครั้งนี้ได้ทดสอบทางกายภาพของดินอิฐทนไฟ โดยใช้เกณฑ์การพิจารณาในเรื่องความทนไฟ (Refractory) การหดตัว (Shrink) ความพรุนตัว (Porosity) ลักษณะพื้นผิว (Texture) และความแข็งแรง (Strength) และการขึ้นรูป (Forming)[9] ดังนี้

4.2.1 ความทนไฟ (Refractory) เป็นการพิจารณาความร้อนสูญเสียจากการนำ (Conduction Loss) ความร้อนของวัสดุแล้วคำนวณด้วยสูตรการถ่ายเทความร้อนจากการนำเป็นการถ่ายเทที่อาศัยของแข็งเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวทั้งสองด้านของของแข็งการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ ความหนาชนิดของวัสดุและผลต่างของอุณหภูมิตามกฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (Fourier's Law of Conduction) ดังนี้ [6]

$$Q_{cond} = \left(\frac{kA\left(T_{s_{in}} - T_{s_{out}}\right)}{\Delta x}\right)\Delta t \quad \text{.....(1)}$$

เมื่อ k แทน ค่าการนำความร้อน (*W/m-K*) มีค่า 7.0 *W/m-K* สำหรับอิฐทนความร้อน

A แทน พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน (m^2)

$T_{s_{in}}$ แทน อุณหภูมิผิวภายใน (องศาเซลเซียส)

$T_{s_{out}}$ แทน อุณหภูมิผิวภายนอก (องศาเซลเซียส)

Δt แทน ช่วงเวลาที่พิจารณา (*s*)

Δx แทน ความหนาของผนัง (*m*)

4.2.2 การทดสอบลักษณะพื้นผิว (Surface) เป็นการทดสอบด้านความสามารถในการกดดินแม่พิมพ์ โดยนำดินปั้นที่มีความชื้นเทียบเท่าการใช้งานทำอิฐเตาเผาจริงมาใช้ในการทดสอบ ด้วยการกดในแม่พิมพ์เดิมอย่างต่อเนื่อง 10 ครั้ง และวิเคราะห์ผลการหลุดร่อนของดินจากแม่พิมพ์ ๆ ถ้าเนื้อดินอิฐเตาเผามีการหดตัวมากก็จำเป็นที่จะต้องให้เนื้อดินอิฐเตาเผานั้นแห้งอย่างช้า ๆ และแห้งอย่างสม่ำเสมอทั่วเนื้อดินสาเหตุโดยลักษณะผิว 5 ระดับ[1] ได้แก่

ระดับ 1 หมายถึง ผิวเรียบมาก

ระดับ 2 คือ ผิวเรียบ

ระดับ 3 คือ ผิวเรียบปานกลาง

ระดับ 4 คือ ผิวหยาบ

ระดับ 5 คือ ผิวหยาบมาก

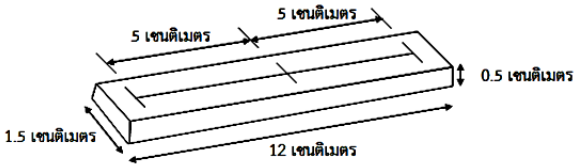
4.2.3 การทดสอบการหดตัว (Shrinkage) ของเนื้อดินอิฐเตาเผา สมบัติเกี่ยวกับการหดตัวของเนื้อดินอิฐเตาเผามีความสำคัญ เพราะในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ทีมีขนาดใหญ่ ๆ ถ้าเนื้อดินอิฐเตาเผามีการหดตัวมากก็จำเป็นที่จะต้องให้เนื้อดินอิฐเตาเผานั้นแห้งอย่างช้า ๆ และแห้งอย่างสม่ำเสมอทั่วเนื้อดินสาเหตุที่หดตัวก็เนื่องมาจากน้ำที่อยู่รอบ ๆ เนื้อดินอิฐเตาเผาระเหยออกไป ทำให้เนื้อดินอิฐเตาเผาเข้ามาติดกันจึงเกิดการหดตัว โดยปกติแล้วเนื้อดินอิฐเตาเผาทีมีความละเอียดและเหนียวย่อมมีการหดตัวมากกว่าเนื้อดินอิฐเตาเผาหยาบ การหดตัวของเนื้อดินอิฐเตาเผามีอยู่ 2 ระยะด้วยกัน คือ การหดตัวหลังจากการผึ่งให้แห้ง (Drying Shrinkage) และการหดตัวหลังจากการเผา

(Firing shrinkage) การหดตัวหลังจากการเผามีความสำคัญในการเผาผลิตภัณฑ์มาก เพราะถ้าเนื้อดินอิฐเตาเผามีการหดตัวสูง จำเป็นจะต้องเผาผลิตภัณฑ์อย่างช้าและควบคุมอุณหภูมิให้สม่ำเสมอ มิฉะนั้นผลิตภัณฑ์จะเกิดการบิดเบี้ยว หรือแตกเสียหายได้ นอกจากนี้การทดสอบหาร้อยละของการหดตัวของเนื้อดินอิฐเตาเผาทั้งก่อนเผาและหลังเผายังเป็นประโยชน์ต่อการขยายแบบเพื่อจะให้ได้ผลิตภัณฑ์มีขนาดตามที่ต้องการ วิธีทดสอบความหดตัวของเนื้อดินอิฐเตาเผาโดยวิธีการหาความยาวของวัตถุดิบที่หายไปโดยใช้แท่งทดสอบดังภาพที่ 4 และนำไปวิเคราะห์ด้วยสมการ[9] ดังนี้

$$\text{ร้อยละของการหดตัวของดินขณะแห้ง} = \frac{(\text{ความยาวดินเปียก} - \text{ความยาวดินแห้ง})}{\text{ความยาวดินเปียก}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละของการหดตัวของดินที่เผาแล้ว} = \frac{(\text{ความยาวดินแห้ง} - \text{ความยาวดินที่เผาแล้ว})}{\text{ความยาวดินแห้ง}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละของการหดตัวของดิน} = \frac{(\text{ความยาวดินแห้ง} - \text{ความยาวดินที่เผาแล้ว})}{\text{ความยาวดินเปียก}} \times 100$$



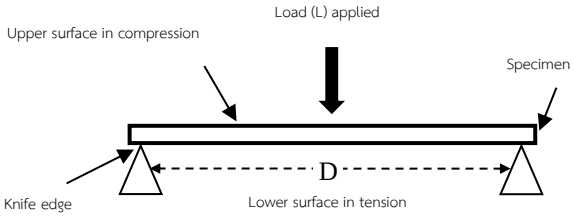
ภาพที่ 4 แท่งทดสอบปูนปลาสเตอร์

4.2.4 ค่าความแข็งแรง (Modulus of Rupture or M.O.R.) ทำการวิเคราะห์ด้วยสมการ[9] ดังนี้

$$MOR = \frac{8LD}{2bd^2} \quad \text{..... (2)}$$

L	แทน	ค่าน้ำหนักแรงกดที่แท่งทดสอบหัก
D	แทน	ระยะห่างของลิ่มที่รองรับแผ่นทดสอบ
b	แทน	ความกว้างของแผ่นทดสอบ
d	แทน	ความหนาของแผ่นทดสอบ

4.2.5 การทดสอบความแข็งแรงของเนื้อดินอิฐทนไฟ (Modulus of Rupture หรือ M.O.R.) โดยความแข็งแรงของเนื้อดินอิฐทนไฟเป็นสมบัติที่แสดงถึงความทนทานต่อแรงกระทบหรือแรงกดที่กระทำต่อเนื้อดินอิฐทนไฟที่ขึ้นรูปแล้ว เนื้อดินอิฐทนไฟทีมีความแข็งแรงเมื่อแห้งจะไม่เปราะแตกง่ายสามารถเคลื่อนย้ายได้โดยสะดวก โดยทั่วไปเนื้อดินอิฐทนไฟทีมีความเหนียวมากจะมีความแข็งแรงมาก เมื่อขึ้นรูปและผึ่งให้แห้ง ขั้นตอนในการทำการทดสอบความแข็งแรงของเนื้อดินทำตามขั้นตอนดังนี้ 1) อัดดินลงในแบบพิมพ์ปลาสเตอร์สำหรับทำแท่งทดลองความแข็งแรง 2) เมื่อแท่งทดลองแห้งนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเผาดิบที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส 3) นำแท่งทดลองมาหาค่าแรงกดที่ทำให้แท่งทดลองหักโดยใช้อุปกรณ์ทดสอบความแข็งแรง ดังภาพที่ 5 และ 4) จดบันทึกแรงกดที่ทำให้แท่งทดลองหักแล้วนำไปคำนวณหาค่าความแข็งแรง[10]



ภาพที่ 5 แสดงแท่งทดสอบวางบนลิ่มปลายแหลม 2 จุด และแรงกดทางด้านบนของแผ่นทดสอบ

5. ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ตารางสูตรอัตราส่วนผสมของอิฐทนไฟ ชุด A ที่ไม่สอดคล้องกับเป้าหมายของการใช้วัตถุดิบ พบว่า มีอัตราส่วนผสมของอิฐทนไฟ ชุด A จำนวน 19 สูตร จาก 36 สูตร ไม่สอดคล้อง ได้แก่ สูตรลำดับที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,12, 13, 18, 19, 24, 25, 31, 32, 33, 34, 35 และ 36 และเลือกสูตรจากอัตราส่วนผสมอิฐทนไฟที่เหลือจำนวน 17 สูตร เป็นอัตราสวนผสมที่ใช้ในการทดสอบทางกายภาพของเนื้อดินที่เหมาะสมเป็นอิฐทนไฟ 5 ประเด็น ได้แก่ 1) ความทนไฟ 2) การหดตัว 3) ความพรุนตัว 4) พื้นผิว และ 5) ความแข็งแรง เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม ชุด A สำหรับทำอิฐทนไฟของเตาเผาไฟต่ำพื้นบ้านท้องถิ่นภาคใต้ ปรากฏผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบทางกายภาพอัตราส่วนผสมของอิฐทนไฟ ชุด A

อัตราส่วนผสม ลำดับที่ (สูตร)	รายการประเมิน (ระดับอุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส)												ความเหมาะสมต่อการขึ้นรูปด้วยการอัดแม่พิมพ์ (5 ระดับ)				
	ความทนไฟ		ลักษณะผิว (5 ระดับ)		ความชื้น (%)		การหดตัว (%)		ความแข็งแรง (Kg/cm^2)		การดูดซึมน้ำ (%)		มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)
	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา					
8	5	-	-	2	-	6.35	-	5.00	2.54	5.46	-	52.00				✓	
9	5	-	-	4	-	17.23	-	5.00	2.22	5.78	-	48.00			✓		
10	4	-	-	4	-	18.93	-	5.00	2.30	6.25	-	43.20	✓				
11	3	-	-	2	-	11.93	-	5.00	2.40	6.10	-	43.00		✓			
14	3	-	-	2	-	13.13	-	5.00	2.35	5.42	-	51.00				✓	
15	3	-	-	4	-	14.15	-	4.00	2.25	5.32	-	49.50				✓	
16	5	-	-	4	-	11.11	-	5.00	2.23	5.05	-	45.50				✓	
17	3	-	-	3	-	22.53	-	6.00	2.30	5.41	-	40.10				✓	
20	2	-	-	2	-	12.08	-	4.00	2.48	5.22	-	52.40		✓			
21	3	-	-	3	-	8.06	-	5.00	2.32	5.32	-	52.00				✓	
22	3	-	-	3	-	13.17	-	5.00	2.33	5.24	-	44.00			✓		
23	4	-	-	4	-	14.88	-	6.00	2.25	4.84	-	38.50			✓		
26	3	-	-	5	-	16.90	-	6.00	1.65	4.65	-	45.00			✓		
27	2	-	-	5	-	16.25	-	6.00	1.25	3.57	-	40.00				✓	
28	2	-	-	5	-	15.01	-	6.00	1.01	3.22	-	40.10				✓	
29	2	-	-	5	-	22.74	-	6.00	1.08	3.12	-	41.50				✓	
30	2	-	-	5	-	23.12	-	6.00	1.03	3.07	-	41.50				✓	

* หมายเหตุ **1) ลักษณะความเหนียว 5 ระดับ** ได้แก่ ระดับ 1 คือ เหนียวน้อยที่สุด ระดับ 2 คือ เหนียวน้อย ระดับ 3 คือ เหนียวปานกลาง ระดับ 4 คือ เหนียวมาก ระดับ 5 คือ เหนียวมากที่สุด

2) **ลักษณะผิว 5 ระดับ** ได้แก่ ระดับ 1 คือ ผิวเรียบมาก ระดับ 2 คือ ผิวเรียบ ระดับ 3 คือ ผิวเรียบปานกลาง ระดับ 4 คือ ผิวหยาบ ระดับ 5 คือ ผิวหยาบมาก

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบทางกายภาพอัตราส่วนผสมของอิฐทนไฟ ชุด A พบว่าอัตราส่วนผสมลำดับที่ 10 ที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างดินทุ่งน้ำเค็ม : ดินขาวทุ่งใหญ่ : ทรายน้ำแคบ : แกลบ เท่ากับ 40 : 20 : 10 : 30 มีสมบัติเหมาะสมสำหรับการทำเป็นอิฐทนไฟมากที่สุด โดยมีลักษณะความเหนียวก่อนเผาระดับมาก ผิวอิฐหลังเผามีเนื้อหยาบ ความชื้นหลังเผาร้อยละ 18.93 การหดตัวก่อนเผาร้อยละ 5.00 ความแข็งแรงก่อนเผา 2.30 Kg/cm^2 ความแข็งแรงหลังเผา 2.30 Kg/cm^2 การดูดซึมน้ำหลังเผา ร้อยละ 43.20 และความเหมาะสมต่อการขึ้นรูปด้วยการอัดในแม่พิมพ์อยู่ในระดับมากที่สุด แล้วกำหนดเป็นศูนย์ลำดับกลางของอัตราส่วนผสมชุด B ดังตารางที่ 3 (อัตราส่วนผสมลำดับที่ 10 กำหนดเป็นอัตราส่วนผสมลำดับที่ 13 ของชุด B)

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบทางกายภาพอัตราส่วนผสมของอิฐทนไฟ ชุด B

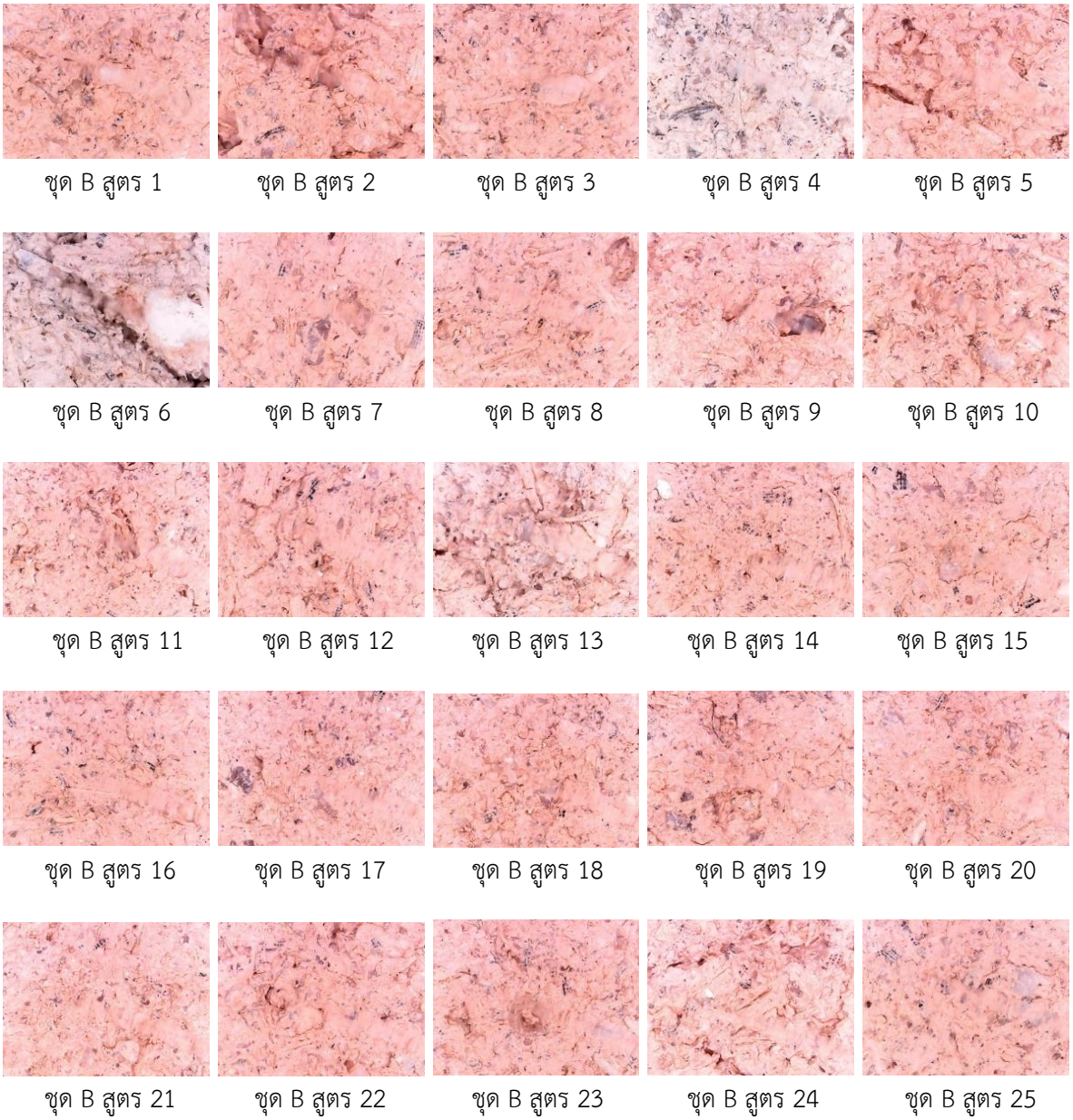
อัตราส่วนผสม ลำดับที่	รายการประเมิน (ระดับอุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส)												ความเหมาะสมต่อการขึ้นรูปด้วยการอัดแม่พิมพ์ (5 ระดับ)				
	ลักษณะความเหนียว (5 ระดับ)		ลักษณะผิว (5 ระดับ)		ความชื้น (%)		การหดตัว (%)		ความแข็งแรง (Kg/cm^2)		การดูดซึมน้ำ (%)		มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)
	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา					
1	5	-	3	-	23.98	-	6.0	3.28	8.54	-	39.3			✓			
2	5	-	3	-	18.17	-	5.0	3.30	7.85	-	40.0			✓			
3	5	-	3	-	19.28	-	5.0	3.25	8.11	-	40.1			✓			
4	5	-	3	-	22.74	-	5.0	3.33	8.05	-	38.0			✓			
5	5	-	4	-	26.66	-	5.0	3.01	8.24	-	38.2			✓			
6	5	-	5	-	17.64	-	5.0	3.20	8.13	-	39.1			✓			
7	5	-	5	-	22.25	-	6.0	3.15	8.74	-	39.3			✓			
8	5	-	5	-	27.24	-	5.0	3.20	9.25	-	41.00	✓					
9	4	-	5	-	20.27	-	5.0	3.15	9.10	-	40.0			✓			
10	4	-	4	-	24.11	-	5.0	2.98	9.15	-	43.0			✓			
11	4	-	4	-	24.08	-	5.0	2.88	9.14	-	40.1			✓			
12	4	-	4	-	15.71	-	7.0	2.50	7.28	-	38.5				✓		
13**	4	-	4	-	18.93	-	5.00	2.30	6.25	-	43.20				✓		
14	4	-	4	-	20.21	-	5.0	2.30	6.18	-	40.0				✓		
15	3	-	4	-	25.49	-	8.0	2.28	6.20	-	40.0				✓		
16	3	-	4	-	18.57	-	5.0	2.29	6.54	-	43.05				✓		
17	3	-	4	-	22.66	-	5.0	2.24	6.08	-	40.0				✓		
18	4	-	4	-	21.87	-	5.0	2.65	5.87	-	44.0				✓		
19	4	-	4	-	16.01	-	5.0	2.45	5.48	-	42.8					✓	
20	3	-	4	-	27.44	-	7.0	2.25	5.90	-	47.5					✓	
21	3	-	4	-	12.80	-	6.0	2.26	5.11	-	43.0					✓	
22	3	-	4	-	25.25	-	6.0	2.18	6.25	-	40.0					✓	
23	4	-	4	-	20.05	-	5.0	2.11	5.78	-	40.0					✓	
24	4	-	4	-	11.94	-	5.0	2.15	5.65	-	40.1					✓	
25	3	-	4	-	11.18	-	7.0	2.12	6.10	-	38.0					✓	

* หมายเหตุ **1) ลักษณะความเหนียว 5 ระดับ** ได้แก่ ระดับ 1 คือ เหนียวน้อยที่สุด ระดับ 2 คือ เหนียวน้อย ระดับ 3 คือ เหนียวปานกลาง ระดับ 4 คือ เหนียวมาก ระดับ 5 คือ เหนียวมากที่สุด

2) **ลักษณะผิว 5 ระดับ** ได้แก่ ระดับ 1 คือ ผิวเรียบมาก ระดับ 2 คือ ผิวเรียบ ระดับ 3 คือ ผิวเรียบปานกลาง ระดับ 4 คือ ผิวหยาบ ระดับ 5 คือ ผิวหยาบมาก

** อัตราส่วนผสมลำดับที่ 13 ของ ชุด B คือ อัตราส่วนผสมลำดับที่ 10 ของ ชุด A (เดิม)

จากตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบทางกายภาพอัตราส่วนผสมของอิฐทนไฟ ชุด B พบว่าอัตราส่วนผสมลำดับที่ 10 ที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างดินทุ่งน้ำเค็ม : ดินขาวทุ่งใหญ่ : ทรายน้ำแคบ : แกลบ เท่ากับ 41 : 20 : 9 : 30 มีสมบัติเหมาะสมสำหรับการทำเป็นอิฐทนไฟมากที่สุด โดยมีลักษณะความเหนียวก่อนเผาระดับมาก ผิวอิฐหลังเผามีเนื้อหยาบ ความชื้นหลังเผาร้อยละ 27.24 การหดตัวก่อนเผาร้อยละ 5.00 ความแข็งแรงก่อนเผา 3.20Kg/cm^2 ความแข็งแรงหลังเผา 9.25 Kg/cm^2 การดูดซึมน้ำหลังเผา ร้อยละ 41.00 และความเหมาะสมต่อการขึ้นรูปด้วยการอัดในแม่พิมพ์อยู่ในระดับมากที่สุด



ภาพที่ 6 ลักษณะผิวอิฐทนไฟแต่ละสูตร จากอิฐทนไฟ ชุด B

(1) อิฐก่อผนังเตา **(2) อิฐก่อหลังคาเตา** **(3) อิฐดินสูตร 8 ชุด B**

ภาพที่ 7 ตัวอย่างอิฐทนไฟสูตร B13 จากอัตราส่วนผสมดินทนไฟ ชุด B

ภาพที่ 8 อิฐทนไฟหลังเผาพร้อมใช้ก่อเตาเผา

ภาพที่ 11 การใช้อิฐ C2 ชนิดก่อหลังคาเตาเผา

ภาพที่ 9 การใช้อิฐ C2 ชนิดก่อผนังนำมาก่อพื้นเตาเผา

ภาพที่ 12 การใช้โครงเหล็กรัดผนังเตาเผาเพื่อรักษาโครงสร้าง

ภาพที่ 10 การใช้อิฐ C2 ชนิดก่อผนังเตาเผา

6. การอภิปรายผลหรือการวิจารณ์และสรุป

จากการการพัฒนาส่วนอัตราส่วนผสมของอิฐทนไฟจากดินแดงทุ่งน้ำเค็ม ดินขาวทุ่งใหญ่ แกลบ ขี้เถ้าแกลบ มูลวัว โดยทดลองกับดินและวัตถุดิบท้องถิ่นตามธรรมชาติในแหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผาชุมชนนครศรีธรรมราช จำนวน 5 ตัวอย่าง ด้วยการใช้อัตราส่วนผสมแบบตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า และประเมินความเหมาะสมต่อการใช้เผาเครื่องปั้นเครื่องปั้นดินเผาด้วยเกณฑ์ 5 ด้าน ได้แก่ ความทนไฟ, การหดตัว, ความพรุนตัว, ความพรุนตัว ความแข็งแรง และสมบัติทนไฟ หดตัวน้อย ผิวเรียบ ผลิตง่าย น้ำหนักเบา และการประเมินความพึงพอใจผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ ความสามารถ หรือนักวิชาการที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับเครื่องปั้นดินเผาชุมชน

ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนระหว่าง ดินแดงทุ่งน้ำเค็ม ดินขาวทุ่งใหญ่ แกลบ ขี้เถ้าแกลบ มูลวัว

ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลองสามารถพัฒนาเพื่อเป็นส่วนผสมในการพัฒนาอิฐทนไฟสำหรับเผาเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้าน มีอัตราส่วนเท่ากับ 40 : 20 : 10 : 15 :15, สามารถนำมาเผาเครื่องปั้นดินเผาที่อุณหภูมิระหว่าง 750-1,050 องศาเซลเซียส และทนต่อการทดสอบ การใช้งาน จากผลิตภัณฑ์ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส โดยส่วนผสมที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น สามารถผลิตอิฐทนไฟเพื่อใช้สำหรับเผาเครื่องปั้นดินเผา และเหมาะสมต่อการนำไปเผาเครื่องปั้นดินเผาไฟต่ำกับผู้เชี่ยวชาญและผู้ผลิตระดับชุมชนกลุ่มบ้านมะยิง ต.โพธิ์ทองอ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช ผู้ร่วมทดสอบการใช้งานมีความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.41, S.D. = 0.58) และพอใจต่อการใช้ดินและตับหินสีที่นำมาผลิตเป็นสีเขียนบนเครื่องปั้นดินเผาเนื่องจากไม่ยุ่งยากต่อการผลิต เกิดความแตกต่างและแปลกใหม่ช่วยลดการใช้พลังงานสิ้นเปลืองเกินความจำเป็น สีผิวของชิ้นงานสม่ำเสมอเป็นที่ต้องการของตลาด ผู้ซื้อมีความสนใจในสินค้าเพิ่มขึ้น

7. ข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพื่อการนำไปพัฒนางานวิจัยต่อยอดและปรับปรุงงานวิจัยในอนาคตไว้ ดังนี้

7.1 หากต้องการนำวัตถุดิบธรรมชาติจากการทดลองครั้งนี้ไปใช้ผลิตเชิงอุตสาหกรรมระดับครัวเรือนหรือผลิตสำหรับชุมชน สามารถทำได้โดยวัตถุดิบที่จัดหามาสำหรับการผลิตควรมาจากแหล่งวัตถุดิบในบริเวณเดียวกัน และควรจัดหาในปริมาณมากเพียงพอ และมูลวัวที่ใช้การทดลองควรมีการใช้ในระยะเวลาไม่เกิน 1 ปี เพื่อคุณภาพของสารช่วยยึดเกาะ

7.2 ควรมีการศึกษาข้อมูลของวัตถุดิบในหลายแหล่งหรือบริเวณใกล้เคียงของแหล่งคัดเลือกเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงหรือความแตกต่างกันของวัตถุดิบเมื่อจะผลิตจำนวนมาก หรืออาจใช้วิธีการผสมวัตถุดิบในแหล่งก่อนการทดสอบสมบัติเพื่อประกันความเสี่ยงหรือข้อผิดพลาดในการจัดทำอิฐทนไฟจากวัตถุดิบท้องถิ่น

7.3 ควรมีการศึกษาหรือพัฒนากระบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรมหรือสำรวจศักยภาพของชุมชนที่สามารถผลิตเชิงอุตสาหกรรมเพื่อรองรับการผลิตในปริมาณมากในอนาคต

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้คำแนะนำ ชี้แนวทาง ชี้แหล่งข้อมูลที่สำคัญ ช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหาในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ขอขอบคุณคณะวิจัยทุกท่านที่ทำงานอย่างหนักด้วยความมุ่งมั่นตั้งใจ ด้วยหวังความสำเร็จเพื่อชุมชนร่วมกัน และทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

9. เอกสารอ้างอิง

[1] Kaewdee, K. (2015). Solving the problem of cracking of folk pottery from production process. *In The 3rd National and International Research Conference of Nakhon Si Thammarat Rajabhat University,* 20-22 May 2015, Nakhon Si Thammarat, Thailand, 125-137. (In Thai)

[2] Sathitpanawong, L., Krajangyao, A., & Kongkaew, S. (2012). *Development of 1,300 ℃ refractory bricks from Bang Pa Han clay, white clay, sand and sawdust.* Nakhon Si Ayutthaya: Faculty of Science and Technology, Department of Applied Science, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University. (In Thai)

[3] Nakhon Si Thammarat Provincial Culture Office. (2006). *Local wisdom in folk handicraft: Ma Ying pottery, Thasala District, Nakhon Si Thammarat Province.* Nakhon Si Thammarat: Nakhon Si Thammarat Provincial Culture Office. (In Thai)

[4] Rasigreeyakorn, C. (1999). *Mapping for geological resource exploration.* Bangkok: Secretariat of the Department of Mineral Resources. (In Thai)

[5] Sarasit, S. (2004). *Development of thermal insulation bricks and construction of high-temperature kiln for ceramic production in Nakhon Si Thammarat Province.* Nakhon Si Thammarat Rajabhat University: Office of the Higher Education Commission. (In Thai)

[6] Phintsukul, S. (2012). *Development of insulating refractory bricks from rice husk ash.* Phitsanulok: Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University. (In Thai)

[7] Ingsiriwattana, P. (2004). *Ceramic glaze recipes.* (2nd ed.). Bangkok: Odeon Store. (In Thai)

[8] Pornmeeyoo, S., Chittaladakorn, A., & Pataradelok, H. (2012). Effect of cow manure, compost and chemical fertilizers on water convolvulus (Ipomoea aquatica) production. *In Proceedings of the 2nd Postgraduate Research Conference of Suan Sunandha Rajabhat University*, 4-5 September 2012, Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok, Thailand, 1-12. (In Thai)

[9] Ingkirit, P. (1998). *Ceramic body.* (1st ed.). Bangkok: O.S. Printing House. (In Thai)

[10] Yosat, N., et al. (2016). *Guidelines for the production of wall materials such as jointed earth blocks mixed with ceramic waste to increase energy saving efficiency.* Bangkok: Faculty of Architecture, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (In Thai)