แนวทางการพัฒนาเตาฟืนเผาไฟต่ำของชุมชนเครื่องปั้นดินเผาท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราช

The Guideline for Development of Low-fire Wood Kilns for Local Ceramic Communities in Nakhon Si Thammarat Province

สมใจ มะหมีน[1] และ ฉัตรชัย แก้วดี[2]

Somjai Mahmeen[1] and Chatchai Kaewdee[2]

[1] คณะสถาปัตยกรรมและการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[2] หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: aj.chatchai@gmail.com

วันที่รับบทความ: 6 สิงหาคม 2566; วันที่ทบทวนบทความ: 19 สิงหาคม 2566; วันที่ตอบรับบทความ: 22 สิงหาคม 2566
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 31 สิงหาคม 2566

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาเตาเผาไฟต่ำที่เหมาะสมกับการผลิตเครื่องปั้นดินเผาระดับชุมชนท้องถิ่นของจังหวัดนครศรีธรรมราช กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผาชุมชนภาคใต้ ผลการวิจัยพบว่า สามารถสร้างระบบฐานข้อมูลการพัฒนาอิฐทนไฟและรูปแบบโครงสร้างเตาเผาไฟต่ำจากวัสดุท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราช, ได้แบบจำลองเตาฟื้นเผาไฟต่ำขนาดกลางที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ในเขตภาคใต้ของไทย และสามารถนำผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจากเตาเผาไฟต่ำที่พัฒนาขึ้นไปจดทะเบียนสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) รหัสประจำตัวผู้ผลิต ผู้ประกอบการ OTOP ปี พ.ศ. 2560-2561 หมายเลข 80080005

คำสำคัญ: เตาเผาไฟต่ำ, ชุมชนเครื่องปั้นดินเผาท้องถิ่น

Abstract: The objective of this research is to study and develop a low-fire kiln which is suitable for the community pottery production in Nakhon Si Thammarat. The sample group consisted of experts and pottery entrepreneurs in the southern provinces of Thailand. The results showed that the proposed method can be used to create a database system for the development of refractory bricks and low-fire wood kiln structures from local materials in Nakhon Si Thammarat. Moreover, a medium-sized low-fire kiln model suitable for the condition of the southern region of Thailand can be developed. The pottery products from the developed low-fire kiln could be registered as one-village one-product (OTOP) products with manufacturer ID 80080005 in 2017-2018.

Key words: low-fire kiln, local pottery community

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีวิกฤตทางเศรษฐกิจจากการลดลงของการส่งออก การบริโภคภายนอกและภายในประเทศ และราคาสินค้าเกษตร จากสภาพสงคราม การเกิดโรคระบาด และเงินเฟ้อทั้งในและต่างประเทศ สร้างความไม่มั่นคงให้กับประชาชนในท้องถิ่นทางด้านการดำรงชีพ คนรุ่นใหม่ไร้งานทำในเมืองและกลับมายังท้องถิ่นบ้านเกิดของตนเอง ส่งผลให้

เครื่องจักรทางเศรษฐกิจของประเทศนั้นไม่สามารถขับเคลื่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ รัฐบาลจึงมีนโยบายกระตุ้นการสร้างงาน สร้างเงินในระดับครัวเรือน โดยส่งเสริมให้พัฒนาสินค้าภายในประเทศให้มีคุณภาพและทันสมัย เพื่อกระตุ้นการบริโภคจากการท่องเที่ยวภายในประเทศ ด้วยการส่งเสริมให้ผู้ประกอบท้องถิ่นมีโอกาสสร้างรายได้เพิ่มขึ้นจากการพัฒนาสินค้าชุมชนสู่สินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) สร้างเศรษฐกิจที่ยั่งยืนไม่พึ่งพาการส่งออกเพียงด้านเดียว ลดการคาดหวังผลิตผลทางการเกษตรเพื่อการดำรงชีพโดยไม่สร้างอาชีพเสริม และกระจายงานสู่ท้องถิ่น ลดการกระจุกตัวของแรงงานในจังหวัดปริมณฑลและหัวเมืองขนาดใหญ่ แนวคิดดังกล่าวส่งเสริมให้กลุ่มธุรกิจวิสาหกิจชุมชนเกิดการตื่นตัว ทั้งจากการส่งเสริมเชิงนโยบายและการส่งเสริมการลงทุนของรัฐอย่างแน่แน่เป็นรูปธรรม[1]

ผลิตภัณฑ์หนึ่งที่อยู่ในความสนใจและต้องการไม่น้อยสำหรับโรงแรมในภาคใต้ของไทย คือ เครื่องปั้นดินเผา ที่ทำหน้าที่ใช้สอยทั้งภายในและภายนอกอาคารเพื่อประโยชน์ของการตกแต่งสถานที่ ภาชนะสำหรับสปาในโรงแรม ซึ่งผลิตภัณฑ์ดินเผาชุมชน(ดินแดง) สามารถสร้างความรู้สึกเป็นธรรมชาติ สร้างบรรยากาศเชื่อมโยงระหว่างสิ่งแวดล้อม การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมกับผู้เข้ามาท่องเที่ยวในสถานที่ท่องเที่ยวและโรงแรมต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดีแต่ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่มีคุณภาพดีต้องผลิตและจัดหามาจากแหล่งผลิตนอกเขตพื้นที่ภาคใต้เกือบทั้งหมด[2] เนื่องจากปัญหาทางด้านคุณภาพการผลิตและกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์ให้มีขนาดและสมบัติที่เหมาะสมต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับโรงแรมและสถานที่ท่องเที่ยว การส่งเสริมและพัฒนาเตาเผาเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ดีสำหรับการสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ชุมชนเพื่อผลิตเครื่องปั้นดินเผาสำหรับรองรับแหล่งท่องเที่ยวในภาคใต้จึงเป็นโจทย์ที่น่าสนใจเพื่อสร้างงานและสร้างรายได้ให้กับกลุ่มธุรกิจชุมชนขนาดย่อมผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผา เนื่องจากภาคใต้มีแหล่งวัตถุดิบดียิ่งสำหรับการผลิตเครื่องปั้นดินเผา ชุมชนมีทักษะฝีมือทางช่าง และสภาพเศรษฐกิจที่สินค้าทางการเกษตรโดยเฉพาะอย่างยิ่งยางพาราและปาล์มตกต่ำ[3] ทำให้ชุมชนมีความพร้อมที่จะฟื้นฟูความรู้ความสามารถของตนเองจากภูมิปัญหาของท้องถิ่นมาพัฒนาเป็นอาชีพเสริม แต่จากการศึกษาและสำรวจแหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผาในภาคใต้ตั้งแต่ปี 2556-2565 ของผู้วิจัยไม่พบรูปแบบของเตาเผาไฟต่ำที่พัฒนาเพื่อรองรับการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาขนาดใหญ่เช่นเดียวกับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนและผู้ประกอบการขนาดย่อมในเขตภาคกลางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น เครื่องปั้นดินเผาราชบุรี ปากเกร็ด ด่านเกวียน และบ้านเชียง[4] ทำให้การผลิตเครื่องปั้นดินเผาในภาคใต้ขาดโอกาสในการผลิตด้วยตนเองเพื่อจำหน่ายในท้องถิ่น การผลิตเครื่องปั้นดินเผาเองในภาคใต้จึงสามารถลดภาระราคาสินค้าจากการขนส่งจากแหล่งผลิตนอกพื้นที่ส่งเสริมการใช้วัตถุดิบในท้องถิ่น สร้างงานสร้างเงินให้กับคนในชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นแนวทางต่อยอดภูมิปัญญาท้องถิ่นโดยนำประเพณี วัฒนธรรมและความคิดของชุมชนสู่สินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ได้ แต่ต้องอาศัยการเผาผลิตภัณฑ์อย่างมีคุณภาพด้วยเตาเผาที่เหมาะสมกับท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราช การพัฒนาเตาเผาไฟต่ำที่เหมาะสมทั้งทางโครงสร้างเตาเผา การใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับท้องถิ่น การออกแบบทางเดินลมและรูปแบบของวัสดุเตาเผาที่เหมาะสมกับสภาพดินฟ้าอากาศของภาคใต้ เพื่อให้ชุมชนผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผาในภาคใต้นำองค์ความรู้จากการวิจัยไปปรับใช้กับการสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์และพัฒนาธุรกิจของชุมชนผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผาได้อย่างมีประสิทธิภาพและส่งเสริมการผลิตสินค้าชุมชน (OTOP) รองรับแหล่งท่องเที่ยว ในเขตภาคใต้ตามนโยบายส่งเสริมอาชีพสู่ชุมชนของรัฐบาล

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาและพัฒนาเตาเผาไฟต่ำที่เหมาะสมกับการผลิตเครื่องปั้นดินเผาระดับชุมชนท้องถิ่นของจังหวัดนครศรีธรรมราช

3. ขอบเขตการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ ได้แก่

3.1.1 ดินขาวทุ่งใหญ่ บ้านควนคลัง ตำบลทุ่งใหญ่ อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช อัตราส่วนผสมระหว่าง

3.1.2 ดินเหนียวทุ่งน้ำเค็ม บ้านมะยิง ตำบลโพธิ์ทอง อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช

3.1.3 ทรายน้ำแคบ ชุมชนบ้านน้ำแคบ ตำบลอินคีรี อำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช

3.1.4 แกลบ ได้จากแหล่งท้องถิ่นทั่วไปในจังหวัดนครศรีธรรมราช

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่

3.2.1 วิศวกรรมย้อนรอย (Reverse engineering) เพื่อทำการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการออกแบบและพัฒนาเตาเผาไฟต่ำ (Low temperature kiln) ที่เหมาะสมเพื่อสร้างเตาเผาไฟต่ำต้นแบบตามคุณลักษณะของเตาเผาสำหรับธุรกิจชุมชนหรือธุรกิจขนาดย่อมผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผาในเขตพื้นที่ของจังหวัดภาคใต้[5]

3.2.2 แบบทดลองและประเมินผลการทดลองต้นแบบเตาเผาไฟต่ำ (Low temperature kiln) ที่เหมาะสมเพื่อสร้างเตาเผาไฟต่ำต้นแบบตามคุณลักษณะของเตาเผาสำหรับธุรกิจชุมชนหรือธุรกิจขนาดย่อมผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผาในเขตพื้นที่ของจังหวัดภาคใต้[6]

3.3 การเผาและทดสอบเตาเผา

3.3.1 การเผาทดสอบอิฐทนไฟโดยใช้เตาเผาทดลองขนาดเล็กจากการใช้อิฐทนไฟที่ได้จากการทดลอง อุณหภูมิ 800-1,000 องศาเซลเซียส[7]

3.3.2 การเผาทดสอบอิฐทนไฟโดยใช้เตาเผาจริงจากการวิจัยในชุมชนกลุ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 700-800 องศาเซลเซียส

3.4 รูปแบบของเตาเผา คือ เตาเผาไฟต่ำสามารถเผาผลิตภัณฑ์อุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียส แต่ไม่เกิน 1,200 องศาเซลเซียส โดยศึกษารูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ภูมิอากาศ สภาพเศรษฐกิจ สังคม วัตถุดิบ และเชื้อเพลิงของภาคใต้

3.5 สถานที่ทดลองวิจัย และถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน ได้แก่

3.5.1 ศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยีชุมชน อาคาร 25 (ออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม) คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

3.5.2 โรงงานเครื่องเคลือบเมืองลิกอร์ อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช

3.5.3 กลุ่มแม่บ้านชุมชนบ้านมะยิง ตำบลโพธิ์ทอง อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพในส่วนที่เกี่ยวกับรูปแบบและเทคนิคการผลิตงานหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านซึ่งเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นของชุมชนในเขตจังหวัดนครศรีธรรมราช การเก็บรวบรวมข้อมูลจึงอาศัยแหล่งข้อมูลภาคสนามในการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากการสัมภาษณ์และสังเกตในขณะเก็บรวบรวมข้อมูลหลายพื้นที่ เช่น กลุ่มแม่บ้านปากมะยิง ประกอบด้วยผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านมากกว่า 10 ครัวเรือน นำมาประกอบกับการศึกษาเอกสาร การสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ การสัมภาษณ์แบบเจาะลึก การสำรวจภาคสนาม ในสถานที่จริงของแหล่งผลิตที่ประสบความสำเร็จในการผลิตสินค้าที่เป็นเอกลักษณ์ของตนเอง เช่น ด่านเกวียน หางดง ปากเกร็ด ราชบุรี และเข้าร่วมกิจกรรมการจำหน่ายสินค้าภายในและต่างประเทศ และนำเสนอเปรียบเทียบรูปแบบและลักษณะที่เป็นที่ต้องการของตลาดจำหน่ายสินค้าในเขตชุมชนกับตลาดสินค้าที่จัดจำหน่ายเป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์หรือเพื่อให้ทราบแนวทางในการปรับปรุงสินค้าเข้าสู่มาตรฐานสินค้าชุมชนตรงตามความต้องการของตลาดนอกเขตชุมชนผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้าน และตรวจสอบรูปแบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

4.1 การกำหนดอัตราส่วนผสมของเนื้อดิน โดยเป็นอัตราส่วนผสมของเนื้อดินอิฐทนไฟแสดงเป็นสูตรที่ในรูปอัตราส่วนน้ำหนักของวัตถุดิบมีความสะดวกต่อ

การใช้งาน สามารถชั่งวัตถุดิบตามน้ำหนักในอัตราส่วนตามสูตรได้ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

4.1.1 การหาอัตราส่วนผสมดิน โดยการทดลองหาอัตราส่วนผสม A ของ เนื้อดินอิฐทนไฟ ทำได้โดยใช้วิธีหาอัตราสวนผสมระหว่าง ดินเหนียวทุ่งน้ำเค็ม, ดินขาวทุ่งใหญ่, ทรายบ้านน้ำแคบ, และแกลบ ไม่เกินร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ด้วยตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า (Quad axial grid) จากวัตถุดิบพื้นฐาน 5 ส่วน แบบลดและเพิ่มสัดส่วน ครั้งละร้อยละ 10[8] ดังนี้ 1) ดินเหนียวทุ่งน้ำเค็ม อัตราส่วน ร้อยละ 0-50 2) ทรายบ้านน้ำแคบ อัตราส่วน ร้อยละ 0-50 3) ดินขาวทุ่งใหญ่ อัตราส่วน ร้อยละ 0-50 4) แกลบ อัตราส่วน ร้อยละ 0-50 เพื่อหาดินที่เหมาะสำหรับการทำอิฐทนไฟ ลักษณะและคุณสมบัติทางกายภาพ ความทนไฟ การหดตัว ความพรุนตัว ความแข็งแรง และผิวเรียบ โดยใช้สัดส่วนตามตารางสี่เหลี่ยม

หลังจากได้อัตราส่วนผสม A จึงทดลองหาอัตราส่วนผสม B ของเนื้อดินอิฐทนไฟ เพื่อขยายผลให้ละเอียดขึ้นเป็นร้อยละ 1 ทำได้โดยใช้วิธีหาอัตราส่วนผสมระหว่าง ดินเหนียวทุ่งน้ำเค็ม, ดินขาวทุ่งใหญ่, ทรายบ้านน้ำแคบ และแกลบ ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก แบบตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า (Quad Axial Grid) จากวัตถุดิบพื้นฐาน 5 ส่วน แบบลดและเพิ่มสัดส่วนครั้งละร้อยละ 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 ลักษณะที่พึงประสงค์และคุณสมบัติทางกายภาพ ความทนไฟ การหดตัว ความพรุนตัว ความแข็งแรง และผิวเรียบ โดยใช้สัดส่วนตามตารางสี่เหลี่ยม

4.2 กำหนดอัตราส่วนผสมของเนื้อดินอิฐทนไฟ การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดอัตราส่วนผสมของเนื้อดินดังนี้

4.2.1 ศึกษาหลักการ แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจากเอกสาร ตำรา บทความทางวิชาการ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องการกำหนดอัตราส่วนผสมด้วยตารางสามเหลี่ยมและตารางสี่เหลี่ยม และจัดเก็บรวบรวมข้อมูลวัตถุดิบ ดังนี้ 1) ดินเหนียวทุ่งน้ำเค็ม 2) ดินขาวทุ่งใหญ่ 3) ทรายบ้านน้ำแคบ และ 4) แกลบ

4.2.2 หาอัตราส่วนผสม ที่ได้จากการกำหนดอัตราส่วนผสมโดยใช้ตารางสี่เหลี่ยม ในอัตราส่วนผสม A โดยใช้ตารางสี่เหลี่ยมโดยขึ้นครั้งละร้อยละ 10 มากที่สุดร้อยละ 50 จะได้มาทั้งหมด 36 สูตร โดยนำมาทดลองด้วยการขึ้นรูป และทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ 1) ความทนไฟ 2) การหดตัว 3) ความพรุนตัว 4) พื้นผิว และ 5) ความแข็งแรง

4.2.3 ประเมินอัตราส่วนผสม ที่ได้จากการทดลองด้วยการขึ้นรูปและทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุดในอัตราส่วนผสม

4.2.4 เลือกอัตราส่วนผสม ที่ดีที่สุดที่ได้จากการประเมินอัตราส่วนผสม A

4.2.5 สรุปอัตราส่วนผสม ที่ได้ในสูตร A เพื่อเลือกนำไปพัฒนาเป็นสูตร B

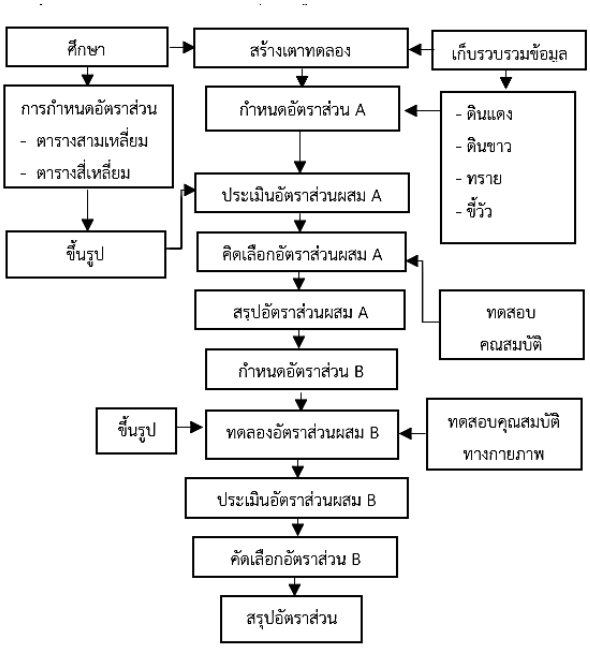
4.2.6 กำหนดอัตราส่วน ที่ดีที่สุดจากสูตร A มาการหาอัตราส่วนผสม B โดยใช้ตารางสี่เหลี่ยม โดยขึ้นและลงแกน W, X, Y และ Z ครั้งละร้อยละ 1 มากที่สุด ร้อยละ 2 จะได้มาทั้งหมด 25 สูตร

4.2.7 ทดลองอัตราส่วนผสม B ด้วยการขึ้นรูป และทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ 1) ความทนไฟ 2) การหดตัว 3) ความพรุนตัว 4) พื้นผิว และ 5) ความแข็งแรง

4.2.8 ประเมินอัตราส่วนผสม B ที่ได้จากการทดลองด้วยการขึ้นรูป และทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุดในอัตราส่วนผสม

4.2.9 คัดเลือกอัตราส่วนผสม B ที่ดีที่สุดที่ได้จากการประเมินอัตราส่วนผสม

4.2.10 สรุปอัตราส่วนผสม B ที่ดีที่สุดในสูตรเพื่อนำมาเป็นสัดส่วนในการผลิตอิฐทนไฟ



ภาพที่ 1 การกำหนดอัตราส่วนผสมของเนื้อดินอิฐทนไฟ

4.3 ศึกษารูปแบบและออกแบบ โดยนำอัตราส่วนผสมมาขึ้นรูป การร่างชิ้นงานใหม่ (Sketch) เป็นการออกแบบชิ้นงานใหม่บนชิ้นงานหลัก โดยอาศัยหลักการเลือกพื้นผิวของรูปทรงต้นแบบในตำแหน่งที่ต้องการแล้วออกแบบใหม่เพิ่มขึ้น หลังจากนั้น วาดรูปทรงที่ต้องการออกแบบโดยมีขั้นตอน ดังนี้

4.3.1 ศึกษารูปแบบของอิฐทนไฟ จากเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 1) อิฐ C1 2) อิฐ C2 3) อิฐคางหมู 4) อิฐหัวขวาน และเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการขึ้นรูปอิฐทนไฟในปัจจุบัน

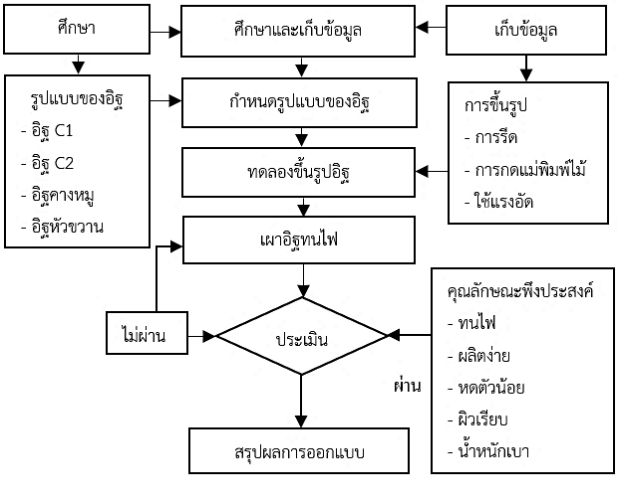
4.3.2 กำหนดรูปแบบอิฐทนไฟ สำหรับเตาเผาไฟต่ำ จากการศึกษารูปแบบที่เหมาะสม

4.3.3 ขึ้นรูปอิฐทนไฟ เมื่อได้รูปแบบสำหรับอิฐทนไฟสำหรับเตาเผาไฟต่ำ โดยการใช้วิธีกดแม่พิมพ์ไม้

4.3.4 เผาอิฐทนไฟ ที่ได้จากการกดแม่พิมพ์ไม้ นำไปเผาด้วยอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้อิฐทนไฟที่สมบูรณ์

4.3.5 ประเมินคุณลักษณะอันพึงประสงค์ของอิฐทนไฟที่ได้ ได้แก่ 1) ความทนไฟ 2) ผลิตได้ง่าย 3) การหดตัวน้อย 4) พื้นผิวเรียบ และ 5) น้ำหนักเบา

4.3.6 สรุปผลการทดลอง ที่ได้ในอัตราส่วนที่ดีที่สุดในการเลือกมาทำอิฐทนไฟ



ภาพที่ 2 การศึกษาและออกแบบอิฐทนไฟ

4.4 ทดลองหาประสิทธิภาพของอิฐทนไฟ

ในการทดลองแต่ละขั้นตอนจะต้องมีเครื่องมือประเมินในรูปแบบทดสอบ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดตามประเภท และทำการปรับปรุง ให้ดีขึ้นจนถึงเกณฑ์ ที่กำหนด จึงจะถือว่ามีประสิทธิภาพ โดยเกณฑ์ที่นำมากำหนดประสิทธิภาพของอิฐทนไฟ ประกอบด้วย 1) ความทนไฟ 2) การหดตัว 3) ความพรุน 4) พื้นผิว และ 5) ความแข็งแรง ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองหาประสิทธิภาพของอิฐทนไฟ ดังนี้

4.4.1 ศึกษาหลักการ แนวคิด ทฤษฎี ที่เกี่ยวข้องจากเอกสาร ตำรา บทความทางวิชาการ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องใน เรื่อง แบบประเมินคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบ และเก็บรวบรวมข้อมูล คุณสมบัติที่ใช้ในการทดสอบหาประสิทธิภาพของอิฐทนไฟ ได้แก่ 1) ความทนไฟ 2) การหดตัว 3) ความพรุน 4) พื้นผิว และ 5) ความแข็งแรง

4.4.2 กำหนดเกณฑ์วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เพื่อหาประสิทธิภาพของอิฐทนไฟที่เหมาะสมสำหรับเตาเผาไฟต่ำ

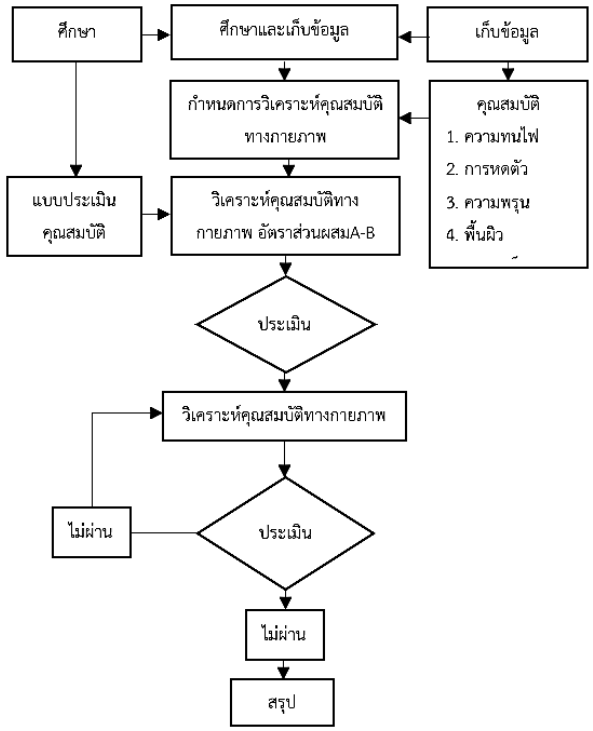
4.4.3 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย 1) ความทนไฟ 2) การหดตัว 3) ความพรุน 4) พื้นผิว และ 5) ความแข็งแรง

4.4.4 ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพในอัตราส่วน A และ B

4.4.5 เลือกอัตราส่วนผสม ที่ดีที่สุดทั้งอัตราส่วนผสม A และอัตราส่วนผสม B โดยนำเกณฑ์วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของอิฐทนไฟ ในแต่ละสูตร

4.4.6 ประเมินสูตร ที่ดีที่สุดเพื่อนำมาสรุปเก็บข้อมูล

4.4.7 สรุปการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ในอัตราส่วน A และ B



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการทดลองประสิทธิภาพ

4.5 สร้างเตาเผาทดลอง โดยสร้างเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาจากต้นแบบเตามังกร เตาทุเรียง และเตาสุโขทัย เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ให้เข้ากับเตาเผาไฟต่ำ ดังนี้

4.5.1 ศึกษาหลักการ แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจากเอกสาร ตำรา บทความทางวิชาการ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องใน เรื่อง รูปแบบของเตาเผา ได้แก่ 1) เตาเผาในท้องถิ่น 2) เตาเผาภายในประเทศไทย ได้แก่ เตามังกร เตาทุเรียง และเตาสุโขทัย

4.5.2 เก็บข้อมูลการสร้างเตาเผา จากข้อมูลจากสถานที่จริงและผู้เชี่ยวชาญ

4.5.3 กำหนดรูปแบบของเตาเผา จากการศึกษารูปแบบของเตาเผาทั้งในท้องถิ่น เตาเผาภายในประเทศไทย และนำมาประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์

4.5.4 สร้างเตาเผา จากการกำหนดรูปแบบจากการเก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ

4..5.5 ประเมินเตาเผา โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (IOC: Index of Item Objective Congruence) คุณลักษณะอันพึงประสงค์ของอิฐทนไฟใน 5 ประเด็น ได้แก่ 1) ความทนไฟ 2) หดตัว 3) พื้นผิว 4) การผลิต และ 5) น้ำหนัก

4.5.6 ปรับปรุงเตาเผา จากคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

4.5.7 ทดลองเผา เครื่องปั้นดินเผาจริง

4.5.8 สรุปข้อมูล เกี่ยวกับการนำอิฐทนไฟที่ทดลองหาอัตราส่วนผสมจากวัตถุดิบท้องถิ่นมาสร้างเตาเผาไฟต่ำ

4.6 การวิเคราะห์ข้อมูล การพัฒนาเตาเผาไฟต่ำของชุมชนเครื่องปั้นดินเผาท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราช ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลโดยการนำข้อมูลจากการวิจัยมาวิเคราะห์ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยแบ่งรูปแบบของการวิเคราะห์ ไว้ดังนี้

4.6.1 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบเนื้อดินอิฐทนไฟ สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำกาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินอิฐทนไฟ ได้แก่

1) การวิเคราะห์ความทนไฟ (Refractory) เพื่อจำแนกว่าเนื้อดินอิฐทนไฟที่ได้ควรใช้ทำผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดทนไฟได้หรือไม่ เนื้อดินอิฐทนไฟพื้นบ้านที่ทำผลิตภัณฑ์ทนไฟนั้นต้องมีความทนไฟขั้นต่ำสุดที่ 1,100 องศาเซลเซียส โดยนำชิ้นทดลองที่เตรียมไว้แล้วเข้าเตาเผาและทำการเผาโดยใช้อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส และ 1,200 องศาเซลเซียส หากชิ้นทดลองมีรูปร่าง รูปทรงที่เปลี่ยนไป เช่น โก่งงอ ปูดพอง แตกร้าว หรือสลายเป็นผง แสดงว่าเนื้อดินอิฐทนไฟอัตราส่วนผสมนั้นทนไฟในอุณหภูมิที่เผาไม่ได้ [4]

2) การวิเคราะห์การหดตัว (Shrinkage) โดยการวิเคราะห์ค่าความหดตัวของเนื้อดิน สามารถ วัดได้ 2 ขั้นตอน คือ การหดตัวเมื่อแห้งก่อนเผา และการหดตัวภายหลังเผาด้วยการคำนวณขนาดของผลิตภัณฑ์ ภายหลังแห้งและเผานิยมทำเป็นแท่งและวัดตามความยาวแล้ววิเคราะห์ตามความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปตามสูตรแล้ว นำมาวิเคราะห์ความเหมาะสมของดินอิฐทนไฟ ซึ่งดินอิฐทนไฟสูตรใดหดตัวน้อยแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมภายหลังการนำมาสร้างเป็นเตาเผา

3) การวิเคราะห์ความพรุนตัว (Porosity) โดยการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักจากการดูดซึมน้ำของอิฐทนไฟภายหลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียส ด้วยการชั่งน้ำหนักหลังเผาแล้วนำชิ้นทดลองไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก เพื่อหาค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจากการแทนที่ความพรุนตัวของอิฐทนไฟด้วยน้ำ ทำให้ทราบความหนาแน่นของอิฐ ซึ่งอิฐทนไฟที่มีความพรุนตัวสูงจะสามารถเก็บกักความร้อนได้ดี และเหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นอิฐทนไฟในการก่อเตาเผา

4) การวิเคราะห์พื้นผิว (Surface) โดยทดสอบความสามารถในการกดดินอิฐเตาเผาในแม่พิมพ์ โดยนำดินปั้นที่มีความชื้นเทียบเท่าการใช้งานทำอิฐเตาเผาจริงมาใช้ในการทดสอบ ด้วยการกดในแม่พิมพ์เดิมอย่างต่อเนื่อง 10 ครั้ง และวิเคราะห์ผลการหลุดร่อนของดินจากแม่พิมพ์ และลักษณะของอิฐ ซึ่งอิฐที่มีผิวเรียบและหลุนร่อนจากแม่พิมพ์ได้ง่ายจะเหมาะสมต่อการ ก่อผนังเตาเผา

5) การทดสอบความแข็งแรงของเนื้อดินอิฐทนไฟ (Modulus of rupture หรือ M.O.R.) โดยความแข็งแรงของเนื้อดินอิฐทนไฟเป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงความทนทานต่อแรงกระทบหรือแรงกดที่กระทำต่อเนื้อดินอิฐทนไฟที่ขึ้นรูปแล้ว เนื้อดินอิฐทนไฟที่มีความแข็งแรง เมื่อแห้งจะไม่เปราะแตกง่ายสามารถเคลื่อนย้ายได้โดยสะดวก โดยทั่วไปเนื้อดินอิฐทนไฟที่มีความเหนียวมากจะมีความแข็งแรงมาก เมื่อขึ้นรูปและผึ่งให้แห้งจะมีความแข็งแรงของเนื้อดินสูง แต่จะ โค้งงอได้ง่ายภายหลังการเผา การทดสอบทำได้โดยการใช้แรงกดเมื่อดินแห้งภายหลังการเผาที่อุณหภูมิกำหนดไว้

4.6.2 การวิเคราะห์ข้อมูลความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่ออิฐทนไฟ การวิจัยครั้งนี้มีการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่ออิฐทนไฟที่นำมาทดสอบคุณลักษณะอันพึงประสงค์สำหรับการก่อเตาเผา โดยการวิเคราะห์เชิงคุณภาพจากการประเมินและแสดงความคิดเห็น 5 ระดับของลิเคิร์ท (Likert scale) และประเมินผลโดยใช้วิธีการของเบส (Best)

4.6.3 สถิติเพื่อคำนวณคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐทนไฟ[9] ประกอบด้วย

1) ค่าความทนไฟ (Refractory) วิเคราะห์ได้โดยการหาค่าการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) [10] ดังนี้

1.1) ค่า Conduction heat transfer ซึ่งการถ่ายเทความร้อนแบบมิติเดียวนี้สามารถแสดง ได้ดังนี้ (Fourier's Law)

$$q = -kA\frac{dT}{dx} = -kA\frac{T_2 - T_1}{\Delta x} \quad \text{.....(1)}$$

q แทน อัตราการนำความร้อน, W

A แทน พื้นที่ในการถ่ายโอนความร้อน, m^2

ΔT แทน ความแตกต่างของอุณหภูมิ, ^oC

Δx แทน ระยะทางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน, m

K แทน ค่าการนำความร้อน Thermal Conductivity, w/m^oC Heat Flux, Q (watt/m^2)

$$Q = \frac{q}{A}$$

$$Q = \frac{q}{A} = -k\frac{T_2 - T_1}{\Delta x} \quad \text{.....(2)}$$

1.2) ค่า Convection Heat Transfer พลังงานของการพาความร้อน สามารถคำนวณจาก

$$q = hA(T_p - T_f) \quad \text{.....(3)}$$

h แทน สัมประสิทธิ์การพาความร้อน Heat Transfer Coefficient ที่ผิวสัมผัสระหว่างของไหลกับวัตถุ ($W/m^{2.o}C$)

A แทน พื้นที่ผิวของวัตถุที่สัมผัสกับของไหล (m^2)

T_p แทน อุณหภูมิของผิววัตถุ (K)

T_f แทน อุณหภูมิของของไหลที่อยู่ห่างออกไปจากผิว หรืออุณหภูมิส่วนต้นของของไหล (K)

2) การหดตัว (Shrinkage) ของเนื้อดินอิฐทนไฟ ทำการวิเคราะห์โดยใช้สูตร ดังนี้ [11]

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

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

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

3) ความพรุนของเนื้อดินอิฐทนไฟ ทำการวิเคราะห์โดยใช้สูตร ดังนี้ [11]

$$\text{การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100 = \%$$

4) ค่าความแข็งแรง (Modulus of Rupture หรือ M.O.R.) และทำการวิเคราะห์ด้วยสมการดังนี้ [11]

$$\text{M.O.R} = \frac{8LD}{2bd^2} \quad \text{.....(4)}$$

L แทน ค่าน้ำหนักแรงกดที่แท่งทดสอบหัก

D แทน ระยะห่างของลิ่มที่รองรับแผ่นทดสอบ

b แทน ความกว้างของแผ่นทดสอบ

d แทน ความหนาของแผ่นทดสอบ

4.7 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลการศึกษาและการพัฒนาเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้าน แบ่งได้ดังนี้

4.7.1 ข้อมูลทุติยภูมิ เก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

4.7.2 ข้อมูลปฐมภูมิ เก็บรวบรวมข้อมูลจากเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย และทำการศึกษาสำรวจจากกระบวนการผลิตจริงของผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้าน ชุมชนบ้านมะยิง ตำบลโพธิ์ทอง อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการศึกษารูปแบบเตาเผาไฟต่ำที่เหมาะสมกับการผลิตเครื่องปั้นดินเผาระดับชุมชน

ผู้วิจัยได้นำหลักและข้อดีของเตาเผาแต่ละประเภทมาใช้บูรณาการผสมผสานตามหลักการทางวิศวกรรมย้อนรอยจากรูปทรงที่เหมาะสมในเกณฑ์ดังนี้

5.1.1 รูปทรงของเตาเผา ผู้วิจัยใช้รูปทรงของเตาเผาแบบเตาแมงป่อง ซึ่งเป็นเตาพื้นบ้านของจังหวัดราชบุรีที่ใช้สำหรับเผาผลิตภัณฑ์ไฟสูง ภายหลังนำมาปรับปรุงพัฒนาให้เป็นเตามังกรสำหรับเผาโอ่งมังกรราชบุรี โดยมีรูปทรงที่สามารถรักษาโครงสร้างของเตาเผาให้สามารถผลิตได้ง่ายและลดการทรุดตัวจากความชื้นที่สูงในเขตภาคใต้ โดยนำเอารูปแบบของเตาแมงป่องที่มีลักษณะโค้งเหมาะสำหรับการใช้อิฐก้อนเล็กโครงสร้างมีการสอดรับกันมากที่สุด สามารถสร้างโครงสร้างแบบสองชั้นได้โดยไม่ทรุดตัวระหว่างผนังคู่ที่จะสร้างห่างกันเพื่อให้เกิดช่องว่างของอากาศให้เกิดการนำความร้อนไม่เสถียรทำให้ความร้อนไม่ต่อเนื่อง ซึ่งทำให้การถ่ายนำความร้อนสู่ภายนอกเตาช้าลง เพิ่มการเก็บกักความร้อนภายในเตาเผาได้นานยิ่งขึ้น

5.1.2 ทางเดินลมและห้องเผาผลิตภัณฑ์ของเตามังกรพื้นบ้าน(ธนบดี) จ.ลำปาง เป็นเตาเผาที่ปรับปรุงมาจากเตามังกรจากประเทศจีน เป็นเตาที่มีห้องเผาผลิตภัณฑ์ยาวและลาดเอียง เพื่อให้ความร้อนไหลผ่านชิ้นงานจากห้องเผาด้านหน้าเตาเผาไปสู่ปล่องเผามีพื้นที่ภายในห้องเผามาที่สุดจากเตาเผาพื้นบ้านแต่ละประเภทของไทย ระหว่างห้องเผา มีช่องเล็ก ๆ เพื่อสอดแท่งฟืนเพิ่มอุณหภูมิในห้องเผา ปล่องมีลักษณะทรงขวดปากแคบ ต่อปล่องเตาเผาสูงขึ้นให้สามารถดูดลมร้อน ออกนอกปล่องไฟได้สะดวก รูปแบบเช่นนี้เมื่อพิจารณาจะเห็นความเหมาะสมของการเพิ่มความร้อนระหว่างการเผาและรูปแบบของเตาเผาที่มีพื้นเอียงสามารถทำให้น้ำที่อาจเกิดจากปริมาณฝนมากในเขต

ภาคใต้ไหลผ่านบริเวณภายนอกเตาเผาได้ง่ายลดความสูญเสียจากอุทกภัย และทางเดินลมเอียงช่วยทำให้อุณหภูมิภายในเตาเผามีการไหลจากพื้นต่ำสู่พื้นสูงได้รวดเร็วขึ้น ไม่เกิดการใช้ความร้อน เพื่อเผาพื้นเตาให้ร้นขึ้น ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากความชื้นใต้ดินของภาคใต้ที่กว่าภูมิภาคอื่น ๆ ของไทยได้ดี อีกทั้งมีช่องเพิ่มฟืนรอบเตาเผาทำให้สามารถลดความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิภายในเตาเผาได้ดี

5.1.3 ช่องเผาและเติมเชื้อเพลิง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนาเตาเผาที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการเติมเชื้อเพลิงประเภทฟืนขนาดใหญ่และกลุ่มเปลือกไม้จากวัสดุธรรมชาติประเภททางปาล์ม ทางมะพร้าวและกาบมะพร้าว เป็นหลัก พบว่าการใช้โครงสร้างของเตาเผาที่มีช่องเติมเชื้อเพลิงเป็นโครงสร้างเดียวกันกับเตาเผาหลัก ทำให้เกิดขี้เถ้าในเตาเผาจำนวนมากและกำจัดทิ้งระหว่างเผาได้ยาก ทั้งระบบเตามังกร เตาทุเรียง และเตาพื้นบ้านของบ้านมะยิง จ.นครศรีธรรมราช จึงทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเตาเผาไฟต่ำที่อาศัยการสร้างห้องเติมเชื้อเพลิงแบบแยกส่วนจากเตาเผาหลัก พบว่า โครงสร้างเตาแบบฝรั่งเศสเป็นรูปแบบทางเดินลมล่าง สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเตาเผาไฟต่ำพื้นบ้านของไทยได้เป็นอย่างดี โดยปรับปรุงช่องเติมฟืนต่อเข้ากับช่องให้ความร้อนปกติของเตาเผาไฟต่ำ ทำให้ความร้อนส่งผ่านไปห้องเผาโดยเขม่าจากการเผาฟืนตกลงในห้องเผาด้านหน้าโดยไม่เข้าไปในห้องเผา และสามารถกำจัดออกได้ง่าย ซึ่งจากการศึกษาได้นำแบบมาจากเตาฝรั่งเศสของ ภาควิชาเครื่องเคลือบดินเผา คณะมัณฑนศิลป์ มหาวิทยาลัยศิลปากร เป็นต้นแบบในการพัฒนากับเตาเผาไฟต่ำของภาคใต้ ผสมผสานกับรูปแบบของห้องเผาของเตาเผาพื้นบ้านชุมชนบ้านด่านเกวียน จ.นครราชสีมา ที่มีห้องเผาแยกส่วนกับห้องเผาผลิตภัณฑ์แต่มีขนาดสั้นกว่า

5.1.4 ปล่องเตาเผา ผู้วิจัยได้นำความรู้และผลการศึกษาข้อมูลจากการสำรวจเพื่อประเมินการใช้ปล่องไฟแบบเดิมจากเตาเผาพื้นบ้านมะยิง ซึ่งใช้ปล่องไฟแบบสี่เหลี่ยม และเตาพื้นบ้านของด่านเกวียน จ.นครราชสีมา พบว่า เตาเผาที่ใช้ปล่องไฟสี่เหลี่ยม ทำให้การไหลวนของสมร้อนภายในเตาเผาไม่สม่ำเสมอ เกิดการปะทะของลมร้อน ทำให้ลมร้อนไม่ลื่นไหล และความร้อนขึ้นช้า ส่วนเตาเผาที่มีปล่องไฟสั้นเกิดไปทำให้ความร้อนขึ้นไม่สูง ห้องเผารับออกซิเจนไม่เพียงพอ และใช้เวลารวมทั้งเชื้อเพลิงจำนวนมากในการเผา จึงเลือกใช้ปล่องไฟแบบกลมลักษณะเช่นเดียวกับเตาทุเรียง บ้านเก้าเลี้ยว จ.นครสวรรค์ และต่อปล่องไฟให้ยาวขึ้นเช่นเดียวกับเตามังกรของ จ.ลำปาง[12]

5.2 ผลการทดลองพัฒนาเตาเผาไฟต่ำที่เหมาะสมกับชุมชนจังหวัดนครศรีธรรมราช

5.2.1 อัตราส่วนผสมของดินทนไฟ เป็นอัตราส่วนผสมระหว่างดินทุ่งน้ำเค็ม : ดินขาวทุ่งใหญ่ : ทรายน้ำแคบ : แกลบ ซึ่งพบว่า สัดส่วน 40 : 20 : 10 : 30 เป็นสัดส่วนที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการทำเป็นอิฐทนไฟมากที่สุด 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

ภาพที่ 4 การขึ้นรูปแท่งทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพอัตราส่วนผสมของดินทนไฟ

ภาพที่ 5 การรีดผสมดินทนไฟจากอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับทำอิฐเตาเผาไฟต่ำ

ภาพที่ 6 การอัดขึ้นรูปอิฐทนไฟเป็นรูปแบบต่าง ๆ ด้วยแม่พิมพ์ไม้

ภาพที่ 7 รูปแบบต่าง ๆ ของ อิฐทนไฟจากวัตถุดิบท้องถิ่นในจังหวัดนครศรีธรรมราช

5.2.2 รูปแบบของอิฐทนไฟ ที่ใช้มี 2 แบบ คือ 1) อิฐก่อขนาดมาตรฐาน C1 ความกว้าง 11.5 เซนติเมตร ความยาว 23.0 เซนติเมตร และความหนา 7.0 เซนติเมตร และ 2) อิฐหลังคาหรืออิฐคางหมู ความกว้าง 11.5 เซนติเมตร ความยาว 22.5 เซนติเมตร และความหนา 7.5 เซนติเมตร

(1) อิฐก่อผนังเตาและก่อหลังคาเตา (2) อิฐหัวขวาน

ภาพที่ 8 ตัวอย่างอิฐทนไฟจากส่วนผสมดินทนไฟ ชุด B

5.3 ผลการพัฒนาต้นแบบเตาเผาไฟต่ำที่เหมาะสมกับชุมชนของจังหวัดนครศรีธรรมราช

ผลการศึกษาข้อมูลการพัฒนาและรูปแบบโครงสร้างเตาเผาไฟต่ำที่เหมาะสมกับชุมชนของจังหวัดนครศรีธรรมราชมีบทสรุปจากการศึกษาข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลรูปแบบโครงสร้างเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาของไทยที่บูรณาการผสมผสานตามหลักการทางวิศวกรรมย้อนรอยเพื่อนำมาพัฒนาใช้สำหรับเตาเผาไฟต่ำของภาคใต้ ได้ดังนี้

5.3.1 รูปทรงของเตาเผาใช้รูปทรงพัฒนาจากเตาแมงป่องจากจังหวัดราชบุรี

5.3.2 ทางเดินลมและห้องเผาผลิตภัณฑ์ใช้รูปทรงพัฒนาจากเตามังกรพื้นบ้าน(ธนบดี) จังหวัดลำปาง

5.3.3 ช่องเผาและเติมเชื้อเพลิงใช้โครงสร้างเตาแบบฝรั่งเศสที่พัฒนาจากเตาเผาพื้นบ้านชุมชนบ้านด่านเกวียน จังหวัดนครราชสีมา

5.3.4 ปล่องเตาเผาใช้ปล่องแบบกลมตามแบบเตาทุเรียง บ้านเก้าเลี้ยว จังหวัดนครสวรรค์ และต่อปล่องไฟให้ยาวขึ้นเช่นเดียวกับเตามังกรของจังหวัดลำปาง

ภาพที่ 9 ทางเดินลมและห้องเผาผลิตภัณฑ์ใช้รูปทรงพัฒนาจากเตามังกรพื้นบ้าน(ธนบดี) จังหวัดลำปาง

ภาพที่ 10 ช่องเผาและเติมเชื้อเพลิงใช้โครงสร้างเตาแบบฝรั่งเศสจากเตาเผาพื้นบ้านชุมชนบ้านด่านเกวียน จังหวัดนครราชสีมา

ภาพที่ 11 รูปทรงของเตาแมงป่อง จังหวัดราชบุรี

5.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของโครงสร้าง การสร้าง การเผา ระบบทางเดินลมร้อน กลศาสตร์ของไหล อุณหภูมิการเผา และเชื้อเพลิง

5.4.1 อิฐทนไฟ ประสิทธิภาพของอิฐทนไฟสำหรับเตาเผาไฟต่ำพื้นบ้านท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราชมีการดำเนินงานโดยการแบ่งเป็นการทดลองสร้างเตาเผาตัวอย่างและการทดสอบการเผาอิฐ โดยสร้างเตาเผาขนาดเล็กจากอิฐทนไฟจากดินทนไฟชุด B อัตราส่วนผสมลำดับที่ 8 ที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างดินทุ่งน้ำเค็ม : ดินขาวทุ่งใหญ่ : ทรายน้ำแคบ : แกลบ เท่ากับ 41 : 20 : 9 : 30 ขนาด 1 คิวบิตฟุต (ภายในห้องเผา) และใช้เชื้อเพลิงเป็นก๊าซ LPG เผา ที่อุณหภูมิ 800, 1,000 และ 1,200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เครื่องอินฟาเรต ตรวจสอบการพาความร้อนของอิฐทนไฟจากภายในเตาเผาสูงภายนอกเตาเผา สามารถกันความร้อนตามระดับการเผาทั้ง 3 ระดับระหว่าง 37.80-40.56 องศาเซลเซียส เฉลี่ยทั้ง 3 ระดับอุณหภูมิอยู่ที่ 39.15 องศาเซลเซียส ที่เวลาเฉลี่ย 9.43 ชั่วโมง

5.4.2 ลักษณะโครงสร้างของเตาเผาไฟต่ำ ซึ่งการออกแบบร่างโครงสร้างของเตาเผาไฟต่ำพื้นบ้านท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราช การศึกษาและวิเคราะห์ความต้องการของชุมชนในการพัฒนาเตาเผาไฟต่ำพื้นบ้านท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราช ได้ดำเนินการประเมินความต้องการของคนในชุมชน และผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผาในท้องถิ่น จำนวน 5 กลุ่ม กลุ่มละ 10 คน รวม 50 คน พบว่าความต้องการของชุมชนในการพัฒนาเตาเผาไฟต่ำพื้นบ้านท้องถิ่นจังหวัดนครศรี - ธรรมราช เฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด คือ $\overline{X}$ = 4.65, SD = 0.25 ภายหลังจึงทำการออกแบบและร่างแบบที่เหมาะสมจากการประยุกต์จากเตาเผาทั้ง 4 แบบที่ทำการศึกษาตามหลักวิศวกรรมย้อนรอยและปรับขนาดพร้อมรูปแบบของการใช้งานในแต่ละส่วนของเตาเผาร่วมกับนักวิชาการที่มีประสบการณ์และความรู้เกี่ยวกับเตาเผาพื้นบ้าน จากผลการตอบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญ ผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผาชุมชนขนาดย่อม เจ้าของโรงงานเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้าน ทุกกลุ่มมีความพึงพอใจต่อเตาเผาไฟต่ำพื้นบ้านท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราชต้นแบบเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.57, SD = 0.45) โดยกลุ่มของเจ้าของโรงงานเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านเป็นกลุ่มที่ให้ระดับคะแนนความคิดเห็นเฉลี่ยสูงที่สุด คือ ($\overline{X}$ = 4.97, SD = 0.07)

อันดับ 2 เป็นกลุ่มผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผาชุมชนขนาดย่อม คือ ($\overline{X}$ = 4.35, SD = 0.62) และกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ คือ ($\overline{X}$ = 4.35, SD = 0.62) และเสนอแนะเพิ่มเติม 1) เตาเผามีขนาดใหญ่ไม่สามารถสร้างได้จำนวนมากหรือได้ทุกชุมชนควรมีแนวทางส่งเสริมจากภาครัฐหรือการให้ทุนแบบรวมกลุ่มเพื่อผลิตสินค้าร่วมกันหรือให้นำผลิตภัณฑ์มาเผาร่วมกัน 2) ควรมีการเชื่อมโยงระหว่างผู้ผลิตกับผู้ซื้อให้ชัดเจนเนื่องจากเตามีขนาดใหญ่และต้องเผาครั้งละจำนวนมากหากตลาดไม่ชัดเจนอาจไม่สามารถเผาได้บ่อยครั้ง 3) ควรมีการพัฒนางานผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่มีรูปแบบตามตลาดต้องการให้ด้วยเป็นโครงการต่อเนื่อง เพราะจะได้ผลิตตรงกับความต้องการของตลาดลดต้นทุนการประกอบธุรกิจ 4) ควรศึกษาปรับโครงสร้างเตาเผาให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้ผู้ผลิตรายย่อยสามารถสร้างได้ด้วยตนเอง และ 5) ควรทดลองใช้โครงสร้างเตาเผาตามต้นแบบแต่เปลี่ยนแปลงอิฐเผาเป็นวัสดุที่ชุมชนสามารถผลิตได้เองในต้นทุนต่ำ

ภาพที่ 12 การสร้างต้นแบบ (Model) โครงสร้างของเตาเผาไฟต่ำเพื่อวิเคราะห์และประเมินความคิดเห็นโครงสร้าง

ภาพที่ 13 ต้นแบบ (Model) โครงสร้างเตาเผาไฟต่ำภายนอก

ภาพที่ 14 ต้นแบบ (Model) โครงสร้างเตาเผาไฟต่ำภายใน

ภาพที่ 15 ต้นแบบ (Model) โครงสร้างแบบประกบเตาเผาไฟต่ำ

ภาพที่ 16 โครงสร้างช่องเติมเชื้อเพลิงเตาเผาไฟต่ำ

ภาพที่ 17 โครงสร้างช่องใส่ผลิตภัณฑ์เตาเผาไฟต่ำ

ภาพที่ 18 โครงสร้างช่องเติมเชื้อเพลิงและอากาศผนังข้างเตาเผาไฟต่ำ

ภาพที่ 19 โครงสร้างผนังข้างและปล่องเตาเผาไฟต่ำ

5.4.3 การเผา พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างชั่วโมงเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ต่อชั่วโมง ในการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างชั่วโมงเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ต่อชั่วโมง ในการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส โดยเตาเผาที่สร้างขึ้นเหมาะสมกับการเผาผลิตภัณฑ์ระหว่างอุณหภูมิ 800-1,000 บาท

ภาพที่ 20 การปิดทางบรรจุผลิตภัณฑ์เตาเผาไฟต่ำเพื่อเตรียมเผา

ภาพที่ 21 ผลิตภัณฑ์จากเตาเผาไฟต่ำหลังเผา

5.4.4 ระบบทางเดินลมร้อน ทางเดินลมและห้องเผาผลิตภัณฑ์ของเตามังกรพื้นบ้าน (ธนบดี) จ.ลำปาง เป็นเตาเผาที่ปรับปรุงมาจากเตามังกรจากประเทศจีน เป็นเตาที่มีห้องเผาผลิตภัณฑ์ยาวและลาดเอียง เพื่อให้ความร้อนไหลผ่านชิ้นงานจากห้องเผาด้านหน้าเตาเผาไปสู่ปล่องเผา มีพื้นที่ภายในห้องเผามากที่สุดจากเตาเผาพื้นบ้านแต่ละประเภทของไทย ระหว่างห้องเผามีช่อเล็ก ๆ เพื่อสอดแท่งฟืนเพิ่มอุณหภูมิในห้องเผา ปล่องมีลักษณะทรงขวดปากแคบ ต่อปล่องเตาเผาสูงขึ้นให้สามารถดูดลมร้อน ออกนอกปล่องไฟได้สะดวก รูปแบบเช่นนี้เมื่อพิจารณาจะเห็นความเหมาะสมของการเพิ่มความร้อนระหว่างการเผาและรูปแบบของเตาเผาที่มีพื้นเอียงสามารถทำให้น้ำที่อาจเกิดจากปริมาณฝนมากในเขตภาคใต้ไหลผ่านบริเวณภายนอกเตาเผาได้ง่ายลดความสูญเสียจากอุทกภัย และทางเดินลมเอียงช่วยทำให้อุณหภูมิภายในเตาเผามีการไหลจากพื้นต่ำสู่พื้นสูงได้รวดเร็วขึ้น ไม่เกิดการใช้ความร้อน เพื่อเผาพื้นเตาให้ร้อนขึ้นซึ่งอาจเกิดขึ้นจากความชื้นใต้ดินของภาคใต้ที่กว่าภูมิภาคอื่น ๆ ของไทยได้ดี อีกทั้งมีช่องเพิ่มฟืนรอบ

เตาเผาทำให้สามารถลดความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิภายในเตาเผาได้ดี

ภาพที่ 22 โครงสร้างปล่องไฟทางเดินลมและห้องเผาต้นแบบจากเตามังกรพื้นบ้าน (ธนบดี)

5.4.5 การไหลของความร้อนในเตาเผา จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์และพลศาสตร์ของไหล ซึ่งนำผลของอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองมาเป็นข้อมูลอ้างอิง หลังจากที่ทำการเปลี่ยนเอลิเมนต์ขนาดต่าง ๆ พบว่าอากาศร้อนที่ไหลเข้าไปภายในเตามีความเร็ว 0.20 เมตรต่อวินาที เห็นได้ว่ากระแสของอากาศร้อนที่ไหลเข้าสู่เตาค่อนข้างช้า อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิและความดันที่อยู่ภายในกับสิ่งแวดล้อม พิจารณาได้จากรูปแบบการไหลของอุณหภูมิ ความเร็วและความดัน ลักษณะการกระจายอุณหภูมิ บริเวณหน้าเตาจะมีอุณหภูมิสูงที่สุดและลดลงตามลำตัวเตาส่วนบริเวณที่อยู่ใกล้กับผนังเตาจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าภายใน เนื่องจากผนังเตามีความหนาประมาณ 30 เซนติเมตร

5.4.6 อุณหภูมิการเผา ผลจากแบบจำลองโดยได้เปรียบเทียบพฤติกรรมการไหลของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป 30, 60, 90 และ 120 นาที อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนไปจากการทดลองจริงอยู่ประมาณ 9.50, 14.55, 17.85 และ 16.84 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อพิจารณาลักษณะของเส้นกราฟที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง เห็นได้ว่ามีแนวโน้มลดลงตามตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิ และเมื่อเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองตลอดลำตัวเตามีค่าประมาณ 11.75 เปอร์เซ็นต์

5.4.7 เชื้อเพลิง อัตราความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงโดยใช้วัสดุเผา กาบมะพร้าวและปีกไม้ยางพารา อยู่ประมาณ 725 กิโลกรัม ในการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และ 1,350 กิโลกรัม ในการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผา เน้นความพร้อมทางด้านเชื้อเพลิงที่หาได้ในท้องถิ่น เช่น เปลือกมะพร้าว กาบมะพร้าว กาบปาล์ม กิ่งไม้ยางพารา และเศษไม้ที่เหลือจากการแปรรูป เป็นต้น เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาเป็นปัจจัยในการออกแบบและพัฒนาเตาเผาเพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุดิบ โดยชุมชนสามารถเลือกใช้วัตถุดิบที่มีราคาถูก และเผาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพได้

ภาพที่ 23 ปีกไม้ยางพาราที่เป็นเชื้อเพลิงในการเผาผลิตภัณฑ์เตาเผาไฟต่ำ

6. การอภิปรายผลหรือการวิจารณ์และสรุป

ผลการพัฒนาเตาเผาไฟต่ำของชุมชนเครื่องปั้นดินเผาท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งพบว่าดำเนินการประเมินความต้องการของคนในชุมชน และผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผาในท้องถิ่น พบว่าชุมชนผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผามีความต้องการของชุมชนในการพัฒนาเตาเผาไฟต่ำพื้นบ้านท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราช เฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุดและภายหลังจึงทำการออกแบบและร่างแบบที่เหมาะสมจากการประยุกต์จากเตาเผาทั้ง 4 แบบ ที่ทำการศึกษาตามหลักวิศวกรรมย้อนรอยและปรับขนาดพร้อมรูปแบบของการใช้งานในแต่ละส่วนของเตาเผาร่วมกับนักวิชาการที่มีประสบการณ์และความรู้เกี่ยวกับเตาเผาพื้นบ้านเพื่อนำไปทดลองเตาเผาต้นแบบ อาจเป็นเพราะว่าผู้ผลิตเห็นช่องทางของการพัฒนาอาชีพ และการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่ตอบโจทย์

ของชุมชน โดยไม่ต้องใช้เทคโนโลยีที่ยุ่งยาก สามารถสร้างเตาเผาและผลิตภัณฑ์ได้จริง และเกิดผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ตอบโจทย์ท้องถิ่น มีขนาดใหญ่ขึ้น และคุณภาพดีขึ้นจากเตาเผาที่มีคุณภาพ สร้างทางเลือกให้กับผู้บริโภค ทำให้จำหน่ายสินค้าได้เพิ่มขึ้น และสามารถผลิตได้จำนวนมากขึ้นตอบสนองความต้องการของตลาดแหล่งท่องเที่ยว ซึ่งต้องซื้อเครื่องปั้นดินเผาจากภาคอื่น ๆ ของไทย เพราะผู้ประกอบการในท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราชผลิตได้ไม่ทันตามความต้องการ การวิจัยครั้งนี้จึงเป็นแนวทางที่ได้รับการตอบรับที่ดี และสนใจจากผู้ประกอบการรุ่นใหม่ในชุมชน เพื่อรักษาอาชีพชุมชนของบรรพบุรุษ ไม่ต้องย้ายถิ่นไปทำงานในเมืองหลวง สอดคล้องกับงานวิจัยของธนสิทธิ์ จันทะรี และบรรชา สุภาวงษ์[13] ซึ่งได้ศึกษาการผลิตเครื่องปั้นดินเผาไฟต่ำในท้องถิ่นแบบดั้งเดิมเพื่ออนุรักษ์การผลิตเครื่องปั้นดินเผาของชุมชนไว้ แต่พยายามพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของสังคมและเศรษฐกิจ เช่นเดียวกับ สุจินต์ เพิ่มพูน[14] ได้พัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาบ้านทุ่งหลวง อำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย ซึ่งทำการศึกษารูปแบบดั้งเดิมของเครื่องปั้นดินเผา ในชุมชนกลุ่มตัวอย่าง และพัฒนารูปแบบของผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ให้ชุมชนเพื่อสร้างแนวทางการผลิตสินค้าตอบสนองตลาดในท้องถิ่นให้ชุมชนสามารถประกอบอาชีพได้อย่างยั่งยืน

ผลการสร้างเตาเผาไฟต่ำพื้นบ้านท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราชสามารถสร้างเตาเผาจำลองขนาดเท่าจริงที่สามารถเผาได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิ 800- 1,200 องศาเซลเซียส โดยใช้เชื้อเพลิงท้องถิ่นในปริมาณน้อยลงจากเดิม คุณภาพของผลิตภัณฑ์สม่ำเสมอ และลดเวลาในการเผา อาจเป็นเพราะการสร้างและใช้วัตถุดิบท้องถิ่นเหมาะสมกับระดับพื้นฐานของชุมชนที่สามารถนำไปประกอบอาชีพได้จริง เตาเผามีคุณภาพจากการผลิตได้โดยชุมชน วัตถุดิบในท้องถิ่นและสอดคล้องกับสภาพของภูมิภาคในเขตภาคใต้ เตาเผามีการพาความร้อนอย่างมีคุณภาพโดยพัฒนาเตาเผาในรูปแบบของเตาทุเรียง[14] ประสานกับการพัฒนากระบวนการศึกษาเตาเผาที่มีอยู่เดิมของแต่ละสถานประกอบตามหลักการวิศวกรรมย้อนรอย[15] และมีการจำลองการไหลของความร้อนในเตาเผาก่อนการสร้างเตาเผาจริงเพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อนระหว่างวัสดุ[16]

7. ข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพื่อการนำไปพัฒนางานวิจัยต่อยอดและปรับปรุงงานวิจัยการการพัฒนาเตาเผาไฟต่ำของชุมชนเครื่องปั้น ดินเผาองถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราช ในอนาคต ไว้ ดังนี้

7.1 ควรมีรายวิชาที่เกี่ยวกับภูมิปัญญาท้องถิ่นบรรจุไว้ในหลักสูตรสำหรับชุมชนเพื่อเป็นการปลูกจิตสำนึกให้เยาวชนในท้องถิ่นเห็นความสำคัญของมรดกทางภูมิปัญญาในท้องถิ่นของตนเอง โดยผ่านการเรียนการสอน การฝึกปฏิบัติ และการทาวิจัย เพื่อให้นักเรียนนักศึกษาเหล่านั้นได้มาเรียนรู้ในสถานที่จริง หรือมีการฝึกงานในสถานที่จริง เพื่อเป็นการถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านภูมิปัญญาโดยตรงซึ่งเป็นอีกวิธีการหนึ่งในการอนุรักษ์ภูมิปัญญาให้คงอยู่สืบไป

7.2 ควรมีการพัฒนาศูนย์การผลิตงานหัตถกรรมภูมิปัญญาท้องถิ่นในแต่ละชุมชนเพื่อเป็นแหล่งเรียนรู้เกี่ยวกับภูมิปัญญาในท้องถิ่น และเป็นแหล่งท่องเที่ยวเพื่อสร้างรายได้แก่ชุมชนท้องถิ่น

7.3 ควรส่งเสริมการขึ้นทะเบียนหรือจดลิขสิทธิ์งานหัตถกรรมภูมิปัญญาท้องถิ่นเพื่อป้องกันปัญหาการลอกเลียนแบบ

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ อุตสาหกรรมจังหวัดจังหวัดนครศรีธรรมราช พาณิชย์จังหวัดนครศรีธรรมราช และส่งเสริมอุตสาหกรรมจังหวัดนครศรีธรรมราช ที่ให้คำแนะนำ ชี้แนวทางชี้แหล่งข้อมูลที่สำคัญ ช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหาในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ขอขอบคุณคณะวิจัยทุกท่านที่ทำงานอย่างหนักด้วยความมุ่งมั่นตั้งใจ ด้วยหวังความสำเร็จเพื่อชุมชน

ร่วมกัน และทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

9. เอกสารอ้างอิง

[1] Community Technology Division, Department of Science Service, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation. (2022). *Report on OTOP Product Upgrading Project to Achieve Standardization: 2022 Performance Report.* Bangkok: Community Technology Division, Department of Science Service, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation. (In Thai)

[2] Kaewdee, C. (2015). Development of slip casting clay from local red clay for household ceramic production. *Wichcha,* 34(2), 34-48. (In Thai)

[3] Soontorn Rakrong. (2033). The 16 Provinces Rubber Farmers Association: From Standard Living Problems Towards Changing Policy. *Journal of Educational Innovation and Research*, 7(1), 230-247. (In Thai)

[4] Mameeen, S. (2013). Development of community pottery products in Nakhon Si Thammarat using high-temperature kilns. *Journal of the Faculty of Architecture*, Khon Kaen University, 12(1), 101-113. (In Thai)

[5] Sansanantana, M. (2007). *Product Design for Creative Innovation and Reverse Engineering.* Bangkok: SE-ED. (In Thai)

[6] Jongpluempiti, J., and Tangchaichit, K. (2011). Simulation of Temperature Distribution without Products inside a Clay Pottery Kiln at Dan Kwian, Thailand. *KKU Research Journal,* 16(2), 127-135. (In Thai)

[7] Sasrisitti, S., et al. (2004). Development of thermal insulation bricks and construction of high-temperature resistant kiln for ceramic using ceramic materials in Nakhon Si Thammarat Province. *Research Report.* Nakhon Si Thammarat: Walailak University. (In Thai)

[8] Rakson, D., & Tse, W. (2011). Development of clay and glaze for Dan Kwien earthenware in Nakhon Ratchasima Province. *Journal of Academic Research and Innovation*, 5 (Special Issue of the 5th Rajamangala University of Technology Conference), 1-15. (In Thai)

[9] Nakapparesert, P., & Dumrongsak, D. (2005). Simulation of hot air flow in a brick kiln by changing the position of hot gas outlet. *in Proceedings of the 5th Conference on Heat and Mass Transfer in Heat Equipment*, 207-212. (In Thai)

[10] Aniko Toth, Elemer Bobok. (2015). *Flow and Heat Transfer in Geothermal Systems Basic Equations for Describing and Modelling Geothermal Phenomena and Technologies*. Cambridge, MA: Elsevier Inc.

[11] Ingsiriwat, P. (1998). *Ceramic clay.* Bangkok, Thailand: Odeon Store. (In Thai)

[12] Chanreun, J., et al. (2013). Guidelines for product development and conservation of local wisdom of the pottery group at Ban Mon Khao Kaew, Phichai Subdistrict, Mueang District, Lamphun Province. *Research report.* Lamphun: Intertek College Research Center. (In Thai)

[13] Chantaree, T., and Supawong, B. (2008). *Development of clay and glaze to add value: Isan low-fired pottery products.* Khon Kaen: Faculty of Architecture. (In Thai)

[14] Permpool, S. (2008). *Development of product designs and packaging for Samkhok pottery.* Faculty of Fine and Applied Arts Rajamangala University of Technology Thanyaburi: Pathum Thani. (In Thai)

[15] National Metal and Materials Technology Center (MTEC). (2002). *Reverse engineering for the creation of new products and replacement parts.* 1st edition. Bangkok: Technology Promotion Association (Thai-Japanese). (In Thai)

[16] Fourier, J. (1822). *Theorie Analytique de la Chaleur.* Firmin Didot. (Reissued by Cambridge University Press, 2009).