

๗๓๘.๑๔
ส ๖๓๘ ก
ร.๖

การทดลองทำภาชนะทนความร้อนชนิดนี้แน่นอนจากอัตราส่วนผสมระหว่าง
อะลูมินา ดินขาว หินพัมม้า และดินเหนียว

10 ส.ค. 2539

ปริญญานิพนธ์
ของ
ศาสตราจารย์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
มีนาคม 2538
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

195738

การทดลองทำภาชนะทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น จากอัตราส่วนผสมระหว่าง
อะลูมินา ดินขาว หินฟันม้า และดินเหนียว

บทคัดย่อ
ของ
ศาสตราจารย์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
มีนาคม 2538

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อทำภาชนะทนความร้อนชนิดเนื้อแน่นจากอัตราส่วนระหว่าง อะลูมินา ดินขาว หินฟันม้า และดินเหนียว โดยทดลองอัตราส่วนผสมที่ได้จากตารางสี่เหลี่ยม มาทำการทดลองขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อพิมพ์ แล้วเผาที่ระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส จากนั้นทดสอบความทนไฟ ความพรุนตัว การหดตัว และความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ ตอนที่ 1 เป็นการทดลองหาอัตราส่วนที่ดีที่สุดของ วัสดุดิบ ตอนที่ 2 เป็นการนำผลการทดลองที่เลือกได้จากตอนที่ 1 มาทดลองซ้ำเพื่อให้ได้ เนื้อดินปั้นทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น ตอนที่ 3 เป็นการทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง และ ทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน

ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่สามารถนำมาผลิตภาชนะมีอัตราส่วน ผสมของ อะลูมินา ดินขาว หินฟันม้า และดินเหนียว อยู่ในระหว่างร้อยละ 5-15 : 25-35 : 15-25 : 35-45 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการใช้งานของภาชนะตัวอย่างสามารถใช้เป็น ภาชนะประกอบอาหารได้ดีในลักษณะการอบ นึ่ง ใส่น้ำ หรือใช้สัมผัสเปลวไฟโดยตรงด้วยการ เติมอุณหภูมิอย่างช้า ๆ

AN EXPERIMENT ON VITREOUS OVEN PROOF WARE WITH THE RATIO
OF ALUMINA, KAOLIN, FELDSPAR AND BALL CLAY

AN ABSTRACT

BY

SATHORN CHONLACHATPINYO

Presented in partial fulfillment of the requirements for the Master
of Education degree in Industrial Education
at Srinakharinwirot University

March 1995

This experimental research, an Experiment on Vitreous Oven Proof Ware with the Ratio of Alumina, Kaolin, Feldspar and Ball Clay, was carried out by means of experimenting the mixing ratio derived from the quadraxial grid, forming by slip casting and then firing at 1,280 degree Celsius. After that the refractoriness, the porosity, the total shrinkage and thermal shock resistance were tested.

The experiment was done in three stages. The first trial was to find out the best mixing ratio of the materials selected. Then, the result was re-tested to get the best material for making vitreous oven proof wares. The last one was to experiment the forming and to test the utility efficiency.

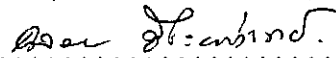
The experiment proved that the best mixing ratio of Alumina, Kaolin, Feldspar and Ball Clay was 5-15 : 25-35 : 15-25 : 35-45 respectively. The samples utensils proved to be used efficiently in various ways of cooking, baking, steaming or slow cooking-heating.

คณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการสอบได้พิจารณาปฏิญานพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควร
รับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของ
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการควบคุม

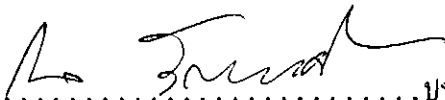

.....ประธาน

(ศ. รณม รัตน์วงศ์)


.....กรรมการ

(ศ. จลวย ชีระเผ่าพงษ์)

คณะกรรมการสอบ


.....ประธาน

(ศ. รณม รัตน์วงศ์)

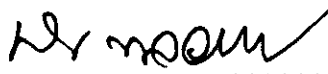

.....กรรมการ

(ศ. จลวย ชีระเผ่าพงษ์)


.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(รศ. ทวี พรหมพฤษ)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับปฏิญานพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ดร. ศิริยุภา พูลสุวรรณ)

วันที่ 10 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2534

ประกาศคุณูปการ

ผลการวิจัยฉบับนี้ได้รับความอนุเคราะห์ ให้คำแนะนำ แก่ไข ดุแล และให้กำลังใจอย่างดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ โทมัส รักษ์วงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ จลวย ชีระเผ่าพงษ์ รวมทั้งรองศาสตราจารย์ ทวี พรหมพฤกษ์ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบ พร้อมกับให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาโลหะ คณะวิทยาศาสตร์ศึกษา วิทยาลัยครูพระนคร ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่ และเครื่องมือทดสอบ ตลอดจนให้คำแนะนำทำให้การวิจัยครั้งนี้ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย

ขอขอบคุณ อาจารย์ปรีดา ตรงสิน อาจารย์กฤษ บุญ-หลง และเพื่อน ๆ ที่ได้สนับสนุน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ผู้วิจัยขอมอบความดีทั้งหมดของงานวิจัยนี้แด่คุณพ่อคุณแม่ และครอบครัว

สาธิต ชลชาติภิญโญ

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
จุดมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ความสำคัญของการวิจัย.....	4
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	6
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
เนื้อดินปั้น ส่วนผสมของเนื้อดินปั้น และวิธีการหาค่าอัตราส่วนผสมของ เนื้อดินปั้น.....	8
เนื้อดินปั้นทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น.....	14
วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเนื้อดินปั้นทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น.....	14
กรรมวิธีการขึ้นรูปเครื่องปั้นดินเผา.....	17
เตาเผาและการเผาผลิตภัณฑ์.....	19
การวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาและเครื่องมือวัดอุณหภูมิ.....	22
การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น...	24
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศและต่างประเทศ.....	26
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	29
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	29

ตัวแปรที่จะศึกษา.....	30
เกณฑ์คัดเลือกเนื้อดินบันทึกความร้อนชนิดเนื้อแน่น.....	36
วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง.....	36
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	36
ลำดับขั้นตอนในการทดลอง.....	37
สูตรที่ใช้ในการทดลอง.....	45
สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง.....	45
4 ผลการทดลอง.....	46
เกณฑ์คัดเลือกเนื้อดินบันทึกความร้อนชนิดเนื้อแน่น.....	46
ผลการทดลองตอนที่ 1.....	46
ผลการทดลองตอนที่ 2.....	48
ผลการทดลองตอนที่ 3.....	49
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	50
จุดมุ่งหมายของการทดลอง.....	50
สรุปผลการทดลอง.....	51
อภิปรายผล.....	52
ข้อเสนอแนะ.....	54
บรรณานุกรม.....	55

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	58
ภาคผนวก ก.....	59
ภาคผนวก ข.....	62
ภาคผนวก ค.....	65
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	67

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

1	แสดงค่าของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่อ่านได้ของแต่ละจุดบนตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า ในภาพประกอบ 1.....	12
2	แสดงผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง.....	17
3	อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในแต่ละจุดที่อ่านค่าได้จากภาพประกอบ 3.....	32
4	แสดงอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในแต่ละจุดที่อ่านค่าได้จากภาพประกอบ 5.	35
5	แสดงผลการทดลองตอนที่ 1.....	47
6	แสดงผลการทดลองตอนที่ 2.....	48
7	อัตราส่วนผสมที่กระจายได้จากจุดที่ 5.....	61
8	แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชิ้นทดลอง ตอนที่ 1.....	63
9	แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชิ้นทดลอง ตอนที่ 2.....	64

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่าแสดงอัตราส่วนผสมวัตถุดิบ.....	11
2 แสดงวิธีการวางโคนและการล้อมของโคน.....	23
3 แสดงตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่าซึ่งประกอบไปด้วยจุดผสมจำนวน 16 จุด.....	31
4 แสดงตัวอย่างอัตราส่วนผสมที่เลือกได้จากการทดลองครั้งที่ 1.....	33
5 แสดงตัวอย่างการกระจายอัตราส่วนผสมการทดลองครั้งที่ 2.....	34
6 ชั้นทดลองความหนาไฟ.....	38
7 แสดงลักษณะของชั้นทดลอง.....	38
8 แผนภูมิแสดงลำดับขั้นการทดลอง.....	41
9 แผนภูมิแสดงลำดับขั้นการทดลองตอนที่ 1.....	42
10 แผนภูมิแสดงลำดับขั้นการทดลองตอนที่ 2.....	43
11 แผนภูมิแสดงลำดับขั้นการทดลองตอนที่ 3.....	44
12 แสดงการกระจายอัตราส่วนผสมจุดที่ 5.....	60
13 ภาพผลิตภัณฑ์ภายใต้ภาวะทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น.....	66

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

อุตสาหกรรมเซรามิกส์เป็นอุตสาหกรรมที่เก่าแก่มาก มีประวัติยาวนานนับหลายศตวรรษและมีการพัฒนามาตลอดเวลาจนถึงปัจจุบัน สำหรับประเทศไทยอุตสาหกรรมเซรามิกส์เป็นที่รู้จักกันในนามอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา ซึ่งเคยมีชื่อเสียงมากในสมัยสุโขทัย ปัจจุบันอุตสาหกรรมเซรามิกส์ในประเทศไทยยังเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานและยังมีขนาดไม่ใหญ่นัก กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและพลังงาน ได้ให้ความสำคัญแก่เทคโนโลยีที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ โดยได้จัดตั้งศูนย์ขึ้น 3 ศูนย์ เพื่อรับผิดชอบด้านนโยบายและให้การสนับสนุนทางเทคโนโลยี คือ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ซึ่งการพัฒนาเทคโนโลยีด้านเซรามิกส์ก็เป็นนโยบายของกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ (บัญญัติ บรรทัดฐาน. 2531 : 2) โดยมีศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติเป็นผู้ประสานงาน และให้การสนับสนุนตามแผนนโยบายของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 6

เนื่องจากอุตสาหกรรมเซรามิกส์เป็นอุตสาหกรรมสาขาย่อยสาขาหนึ่งของการผลิตและการพัฒนาวัสดุ และเป็นสาขาเทคโนโลยีที่ได้รับความสำคัญสูง สามารถใช้วัตถุดิบ แร่ธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่มากในประเทศเพื่อการผลิตเป็นสินค้าที่มีมูลค่าเพิ่มเพื่อการส่งออกได้ (เจริญ วัชรรังสี. 2531 : 1) ปัจจุบันประเทศไทยใช้แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 ในด้านโอกาสการขยายฐานการผลิต สาขาอุตสาหกรรม ได้ระบุว่า ยังคงมีอยู่มากทั้งอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออก และอุตสาหกรรมทดแทนการนำเข้า โดยเฉพาะอุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมวิศวกรรม อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงอุตสาหกรรมพื้นฐาน (เบญจวรรณ

มณียาย. ม.ป.ป. : 9) และยังกำหนดแนวทางสนับสนุนให้มีการพัฒนาและนำเอาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้

ภาชนะดินเผาทนความร้อนเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งซึ่งจัดอยู่ในประเภทเครื่องใช้ในครัวเรือน และเป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ได้รับการส่งเสริมการผลิตทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ คุณสมบัติของภาชนะทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น คือ ต้องมีความพรุนตัวน้อย เนื้อภาชนะมีความแข็งแรงและต้องทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดี คือ อย่างน้อยต้องสามารถทนทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจาก 150 องศาเซลเซียส ลงในน้ำเย็นได้โดยไม่แตกร้าวเสียหาย ต้องสามารถใช้ประกอบอาหารโดยสามารถสัมผัสไฟโดยตรงได้ หรือสามารถใส่อาหารเข้าอบในเตาและนำออกจากเตาได้ในขณะร้อน โดยภาชนะไม่แตกร้าวเสียหาย เนื้อดินปั้นที่สามารถนำมาผลิตเป็นภาชนะทนความร้อนมีหลายรูปแบบ เช่น เนื้อดินชนิดพอร์ซเลน เนื้อดินชนิดคอร์เดียไรท์ และเนื้อดินชนิดสโตนแวร์ (Singer. 1963 : 1100) ดังเช่น จากงานวิจัยของ พิมพ์วัลลภ วัฒนภาส (ม.ป.ป. : 17) ได้วิจัยผลิตภัณฑ์ทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น โดยเตรียมเนื้อดินกับสารประกอบแมกนีเซียมซึ่งจัดอยู่ในเนื้อดินชนิดคอร์เดียไรท์ สามารถนำมาผลิตภาชนะทนความร้อนชนิดเนื้อแน่นได้ และงานวิจัยของ โคบายาชิ และคนอื่น ๆ (Kobayashi and others. 1922 : 737-743) ได้ทดลองทำผลิตภัณฑ์สีขาวชนิดเนื้อแน่น โดยใช้อัตราส่วนผสมของอะลูมินา (alumina) หินฟันม้า (feldspar) และดินขาว (kaolin) พบว่า ถ้าเนื้อดินใช้ส่วนผสมของอะลูมินาสูงจะมีจุดสุกตัวสูง และทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างกระทันหันได้ดี ถ้าใช้ส่วนผสมของหินฟันม้าสูงจุดสุกตัวจะต่ำ เพราะหินฟันม้าเป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิ ถ้าใช้ส่วนผสมของดินขาวสูงจะช่วยให้การขึ้นรูปดีขึ้น แต่จะมีผลต่อการหดตัวหลังการเผา แต่สภาพปัจจุบัน ทวี พรหมพฤกษ์ (2523 : 84) ได้กล่าวถึงผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ที่ผลิตออกมาส่วนใหญ่ยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ กล่าวคือ มีความพรุนตัวสูง เนื่องจากเผาไม่ถึงจุดสุกตัว (non vitreous) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อัตราการดูดซึมน้ำมาก ขาดความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างกระทันหันทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์จากภาชนะ (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 84)

จากสภาพปัญหาและปัจจัยข้างต้น ผู้วิจัยจึงมุ่งศึกษาทดลองทำภาชนะทนความร้อนชนิดเนื้อแน่นที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างกระทันหันได้ และมีคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น เหนือถึงจุดสุกตัว มีความพรุนตัวน้อย การศึกษาทดลองเพื่อพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์นี้กระทำโดยใช้โครงสร้างเนื้อดินจากอัตราส่วนผสมของอะลูมินา ดินขาว หินฟันม้า และดินเหนียว (ball clay) ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัตถุดิบที่นำมาเป็นส่วนผสมของเนื้อดิน กล่าวคือ การนำอะลูมินาผสมในเนื้อดินนั้นจะก่อให้เกิดความทนทานต่อปฏิกิริยาทางเคมี ทนต่อความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างกระทันหันได้ดี สำหรับคุณสมบัติของดินขาว คือ มีความเหนียวน้อย ทนความร้อนและมีความบริสุทธิ์สูง เหมาะกับการนำมาผสมกับวัตถุดิบอื่น ๆ เป็นเนื้อดินนั้น ส่วนหินฟันม้าเมื่อนำมาผสมในเนื้อดินนั้นหรือน้ำเคลือบจะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดจุดสุกตัว และสำหรับดินเหนียวเมื่อนำมาผสมในเนื้อดินนั้นจะทำให้ง่ายต่อการขึ้นรูปและช่วยเพิ่มความแข็งแรงต่อเนื้อดินนั้นก่อนการเผา

จากหลักการและเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยหวังว่า การทดลองทำภาชนะทนความร้อนชนิดเนื้อแน่นจากอัตราส่วนผสมระหว่างอะลูมินา ดินขาว หินฟันม้า และดินเหนียว ครั้งนี้จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ภาชนะทนความร้อนเนื้อแน่นแล้ว ยังสนับสนุนการผลิตผลิตภัณฑ์ทนความร้อนเนื้อแน่นประเภทอื่น ๆ ได้อีกด้วย อีกทั้งยังสอดคล้องแนวนโยบายของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ในการพัฒนานำเอาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้ต่อไป

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อหาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบสำหรับทำเนื้อดินปั้นทนความร้อนเนื้อแน่น
2. เพื่อทำภาชนะทนความร้อนเนื้อแน่นจากอัตราส่วนที่ได้จากการทดลอง

ความสำคัญของการวิจัย

1. ผลการวิจัยสามารถนำไปผลิตภาชนะทนความร้อนชนิดเนื้อแน่นได้
2. สนับสนุนการผลิตผลิตภัณฑ์ทนความร้อนชนิดเนื้อแน่นประเภทอื่น ๆ ได้

ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองแบบจำเพาะเจาะจง จะมีการทดลองหาอัตราส่วนผสมเนื้อดินเป็น 3 ขั้นตอน คือ
 - 1.1 การทดลองขั้นที่ 1 จะเป็นการทดลองเบี่ยงต้นโดยคัดเลือกอัตราส่วนผสมที่ผ่านเกณฑ์การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพทั้งก่อนและหลังการเผา มาขยายผลส่วนผสมที่ละเอียดขึ้นเพื่อการทดลองขั้นต่อไป
 - 1.2 การทดลองขั้นที่ 2 จะเป็นการนำผลคัดเลือกที่ดีที่สุดจากการทดลองขั้นที่ 1 มาขยายผลโดยหาอัตราส่วนที่ละเอียดขึ้น มาทดลองซ้ำเพื่อให้ได้ผลดีที่สุดไปทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต่อไป
 - 1.3 การทดลองขั้นที่ 3 จะเป็นการนำผลการทดลองที่ดีที่สุดไปทำการทดลองขึ้นรูปภาชนะทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น และนำไปทดสอบคุณสมบัติการใช้งาน
2. การขึ้นรูปแท่งทดลองและผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ จะใช้วิธีหล่อพิมพ์ (slip casting)
3. เตาเผาที่ใช้ในการทดลอง กำหนดให้ใช้เตาไฟฟ้า การวัดอุณหภูมิภายในเตาใช้โรคนขนาดมาตรฐานของออร์ตัน (orton cone)
4. อุณหภูมิที่ทำการทดลองในครั้งนี้กำหนดการเผาที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส (2,336 องศาฟาเรนไฮต์)

5. เคลือบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นเคลือบเฟลด์สปาร์ (feldspartic glaze) ซึ่งมีส่วนผสมดังนี้

หินพัมมะ	ร้อยละ 34.0
หินเขียวหนุมาน	ร้อยละ 39.0
หินปูน	ร้อยละ 10.0
ดินขาว	ร้อยละ 13.0
สังกะสีออกไซด์	ร้อยละ 1.0
โคโรไลม์	ร้อยละ 4.0
แบเรียมคาร์บอเนต	ร้อยละ 1.0

6. ประชากรในการวิจัยครั้งนี้ คือ วัตถุติดดังต่อไปนี้

- 6.1 อะลูมินา
- 6.2 ดินขาว
- 6.3 หินพัมมะ
- 6.4 ดินเหนียว

7. กลุ่มตัวอย่าง เป็นการสุ่มแบบเจาะจง (purposive sampling) จากตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า (quadraxial grid) จะได้ตัวอย่างอัตราส่วนผสมที่มีประชากรครบทั้ง 4 ชนิด คือ อะลูมินา ชนิดที่ใช้ในการค้าทั่วไป ดินขาว อ.แจ่ม จ.ลำปาง หินพัมมะ จ.ราชบุรี และดินเหนียวพริ้ว จ.สุราษฎร์ธานี ทั้งหมด 16 จุด (16 ตัวอย่าง หรือ 16 สูตรส่วนผสม)

8. ตัวแปรที่จะศึกษา

8.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ อัตราส่วนผสมของเนื้อดินนั้น

8.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

8.2.1 ความเหมาะสมกับการขึ้นรูปด้วยการหล่อพิมพ์

8.2.2 ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (thermal shock)

8.2.3 การหดตัว (total shrinkage)

8.2.4 ความพรุนตัว (porosity)

8.2.5 ความทนไฟ (refractoriness)

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ภาชนะทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น หมายถึง ภาชนะที่ใช้ประกอบอาหารในเตาอบหรือเตาท่อ โดยใช้ประกอบกับตะแกรงกระจายอุณหภูมิ (asbestos mat) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในโต๊ะอาหารในรูปของภาชนะอาหาร บางครั้งจะเรียกภาชนะเหล่านี้ว่า ภาชนะทนไฟ (flame resistance)
2. อัตราส่วนผสม หมายถึง อัตราส่วนของวัตถุดิบแต่ละตัวที่นำมาผสมเข้าด้วยกัน ปริมาณของวัตถุดิบคิดเป็นอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก โดยใช้ตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า
3. วัตถุดิบ หมายถึง วัตถุดิบที่เตรียมเพื่อใช้ผสมเป็นเนื้อดินปั้นทนไฟชนิดเนื้อแน่น สำหรับการทดลองครั้งนี้วัตถุดิบที่ใช้ประกอบด้วย อะลูมินา ดินขาว หินพัมมา และดินเหนียว
4. ดินขาวลำปาง หมายถึง ดินขาวที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ในบริเวณเขาปางคำ ต.บ้านสา อ.แจ้ห่ม จ.ลำปาง เนื้อดินมีความเหนียวน้อยและหดตัวน้อย มีสีขาว ทนความร้อนได้สูงถึง 1,400 องศาเซลเซียส (2,608 องศาฟาเรนไฮต์)
5. ดินเหนียวพริ้ว หมายถึง ดินเหนียวที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ใน ต.พริ้ว อ.บ้านนาสาร จ.สุราษฎร์ธานี มีความเหนียวและหดตัวมาก ปริมาณของธาตุเหล็กค่อนข้างสูง ใช้ผสมในเนื้อดินปั้นเพื่อช่วยในการขึ้นรูปขึ้น
6. หินพัมมา จ.ราชบุรี หมายถึง วัตถุดิบที่ใช้ผสมในเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ ทำหน้าที่เป็นตัวประสานทำให้เนื้อดินมีความแข็งแรง ลดจุดสุกตัวของเนื้อดินและน้ำเคลือบ
7. อะลูมินา หมายถึง วัตถุดิบที่ใช้ผสมในเนื้อดินปั้น เป็นสารทนความร้อน เป็นสารที่มีความเฉื่อยทนต่อปฏิกิริยาของกรดและด่าง การนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา

จะบดให้เป็นผงละเอียด มีสีขาว มีจุลหุลอมละลายประมาณ 2,050 องศาเซลเซียส (3,722 องศาฟาเรนไฮต์)

8. ชนิดที่ใช้ในการทางการค้าทั่วไป (commercial grade) หมายถึง วัตถุดิบที่นำมาใช้ทำเครื่องเคลือบดินเผาที่มีจำหน่ายทั่วไป

9. ตารางสีเคลือบด้านเทา หมายถึง ตารางสีเคลือบด้านเทาที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ทำเนื้อดินปั้น

10. โคน (cone) หมายถึง เครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิภายในเตาเผา สำหรับการทดลองครั้งนี้ใช้โคนขนาดมาตรฐานของออร์ตัน โดยใช้โคนหมายเลข 9 ระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส

11. ความเหมาะสมกับการขึ้นรูป หมายถึง เนื้อดินปั้นที่ผ่านการเตรียมในรูปน้ำดิน (slip) แล้วสามารถขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อได้โดยไม่แตกร้าว

12. การหดตัว หมายถึง จำนวนร้อยละของการหดตัวของเนื้อดินปั้นที่ผ่านการเผาในระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส

13. ความพรุนตัว หมายถึง จำนวนร้อยละของความสามารถในการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของเนื้อดินปั้นที่ผ่านการเผาในระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส

14. ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หมายถึง คุณสมบัติของเนื้อดินปั้นที่ผ่านการเผาที่ระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส แล้วต้องมีความต้านทานการเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 150 องศาเซลเซียส (302 องศาฟาเรนไฮต์) ลงในน้ำเย็นทันทีทันใดได้โดยไม่แตกร้าวหรือกระเทาะเสียหาย

15. ความทนไฟ หมายถึง ความทนทานต่อความร้อนของเนื้อดินปั้นโดยไม่หลอมละลายในระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้แยกกล่าวเป็นหัวข้อดังนี้ คือ

1. เนื้อดินปั้น ส่วนผสมของเนื้อดินปั้น และวิธีการหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้น
2. เนื้อดินปั้นทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น
3. วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเนื้อดินปั้นทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น
4. กรรมวิธีการขึ้นรูปเครื่องปั้นดินเผา
5. เตาเผาและการเผาผลิตภัณฑ์
6. การวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาและเครื่องมือวัดอุณหภูมิ
7. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น
8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศและต่างประเทศ

1. เนื้อดินปั้น ส่วนผสมของเนื้อดินปั้น และวิธีการหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้น

เนื้อดินปั้น หมายถึง ดินที่เตรียมขึ้นจากดินธรรมชาติ หรือดินที่นำไปผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่น เพื่อให้เนื้อดินมีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น เพิ่มความเหนียวให้แก่เนื้อดินปั้น เพิ่มความหนาแน่นในอุณหภูมิที่ต้องการเผา เพิ่มความโปร่งแสงให้กับเนื้อดินหลังการเผา (Rhodes. 1973 : 24) เพิ่มความคงทนต่อสภาพการใช้งาน เช่น ทนต่อกรดและด่าง ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทนทานต่อการขัดถู ให้ความพรุนตัวหรือไม่มีความพรุนตัว เป็นต้น การทำเนื้อดินปั้นแต่ละชนิดจึงต้องนำวัตถุดิบที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ (โรคมล รักษ์วงศ์. 2532 : 127)

เนื้อดินปั้นอาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เนื้อดินปั้นที่มีดินเป็นส่วนผสม ซึ่งได้แก่ เนื้อดินปั้นชนิดสโรตนแวร์ที่อาจมีดินล้วน ๆ แต่ส่วนมากจะมีวัตถุติดอื่นผสมอยู่ด้วยและเนื้อดินปั้นที่ไม่มีดินเป็นส่วนผสม ซึ่งอาจมีเนื้อวัตถุติดชนิดเดียวกันหรือหลายชนิดผสมกัน (ปรีดา พิมพ์ขาวจำ 2532 : 83)

การกล่าวถึงส่วนผสมของเนื้อดินปั้น อาจกล่าวได้ถึง 4 ลักษณะ คือ

ลักษณะที่ 1 การกล่าวถึงโดยเขียนเป็นร้อยละของน้ำหนักวัตถุดิบ เช่น

ดินขาว	ร้อยละ	35
ดินเหนียว	ร้อยละ	25
หินเขียวหนุมาน	ร้อยละ	13
หินฟันม้า	ร้อยละ	27

ลักษณะที่ 2 การกล่าวถึงโดยเขียนเป็นร้อยละของน้ำหนักออกไซด์ เช่น

Loss on Ignition	ร้อยละ	5.7
SiO ₂	ร้อยละ	66.7
Al ₂ O ₃	ร้อยละ	21.6
Fe ₂ O ₃	ร้อยละ	0.5
CaO	ร้อยละ	0.6
MgO	ร้อยละ	0.4
K ₂ O, Na ₂ O	ร้อยละ	4.5

ลักษณะที่ 3 การกล่าวถึงโดยเขียนในรูปร้อยละของน้ำหนักแร่ เช่น

แร่ดิน	ร้อยละ	50
ควอตซ์ (Quartz)	ร้อยละ	25
เฟลด์สปาร์	ร้อยละ	25

ลักษณะที่ 4 การกล่าวถึงโดยเขียนเป็นสูตรทั่วไป เช่น



RO, R_2O หมายถึง ออกไซด์ของโลหะซึ่งมีวาเลนซ์ 1 และ 2 ตามลำดับ
เช่น CaO, MgO, K_2O และ Na_2O เป็นต้น

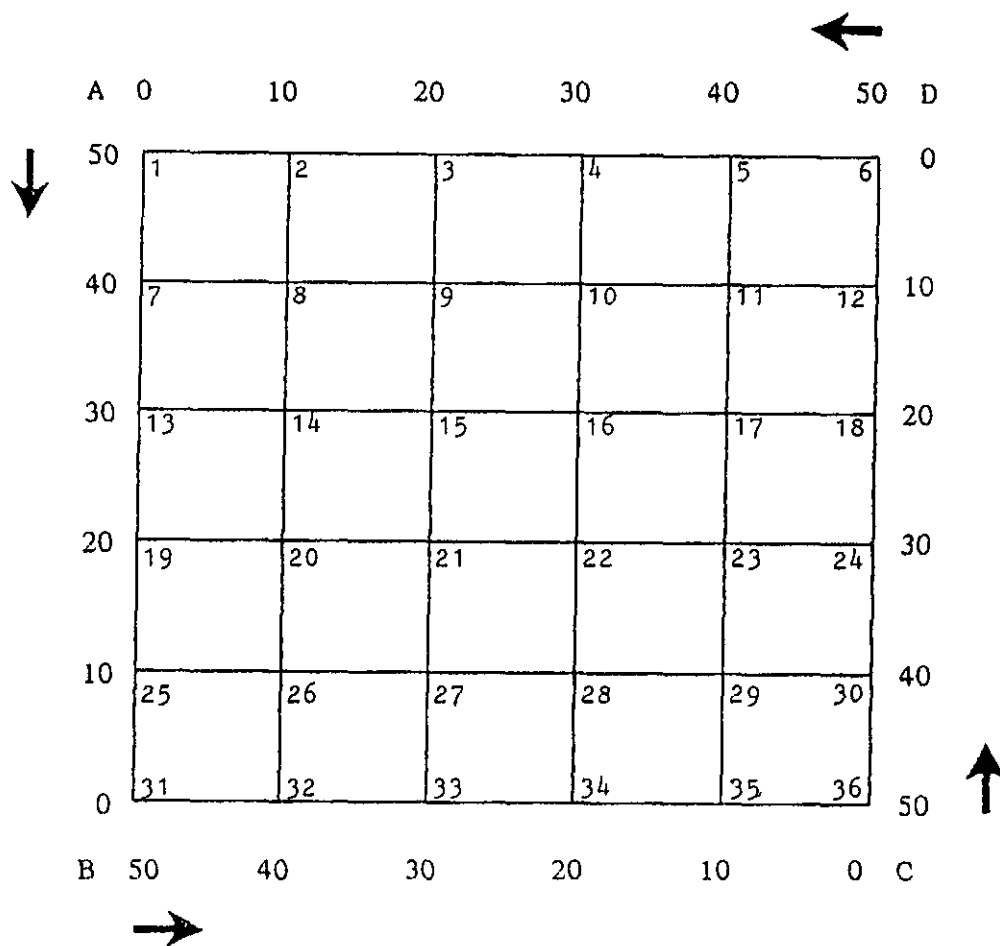
R_2O_3 หมายถึง ออกไซด์ของโลหะซึ่งมีวาเลนซ์ 3 เช่น Al_2O_3 , และ
 TiO_2 เป็นต้น (ปริตดา พิมพ์ขาวจำ. 2532 : 34-85)

ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยจะกล่าวถึงอัตราส่วนผสมตามลักษณะที่ 1 คือ กล่าวเป็น
ร้อยละน้ำหนักของวัตถุดิบ

วิธีการหาค่าอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้น ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการหาค่าอัตราส่วนผสมโดย
ใช้ตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่าตามหลักการของฮอปเปอร์ (Hopper. 1984 : 74) โดยกำหนด
วัตถุดิบไว้ที่มุมของตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า และอ่านค่าออกมาเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบแต่ละตัวที่
รวมกันอยู่ในแต่ละจุดบนตาราง ซึ่งจะมียุ้งทั้งสิ้น 36 จุด วิธีหาค่าของวัตถุดิบในแต่ละจุดบน
ตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า

กำหนดให้ A, B, C, D เป็นวัตถุดิบ 4 ชนิด

การหาค่าของวัตถุดิบแต่ละชนิดต้องอ่านตามทิศทางของลูกศรที่กำกับไว้แต่ละมุม โดย
จุดเริ่มต้นจะมีค่าวัตถุดิบเท่ากับ 50 ของน้ำหนักจากจุดเริ่มต้น แนวที่ห่างออกไปจะลดหลั่นไป
ตามลำดับจนถึง 0 ซึ่งผลรวมของวัตถุดิบแต่ละจุดบนตารางเมื่อรวมกันแล้วจะได้ผลเท่ากับ 100
พอดี ดังภาพประกอบ 1 และตาราง 1



ภาพประกอบ 1 ตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่าแสดงอัตราส่วนผสมวัตถุดิบ

ตาราง 1 แสดงค่าของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่อ่านได้ของแต่ละจุดบนตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่าในภาพประกอบ 1

จุดที่	วัตถุดิบ A	วัตถุดิบ B	วัตถุดิบ C	วัตถุดิบ D	รวม
1	50	50	-	-	100
2	50	40	-	10	100
3	50	30	-	20	100
4	50	20	-	30	100
5	50	10	-	40	100
6	50	-	-	50	100
7	40	50	10	-	100
8	40	40	10	10	100
9	40	30	10	20	100
10	40	20	10	30	100
11	40	10	10	40	100
12	40	-	10	50	100
13	30	50	20	-	100
14	30	40	20	10	100
15	30	30	20	20	100
16	30	20	20	30	100
17	30	10	20	40	100
18	30	-	20	50	100
19	20	50	30	-	100

ตาราง 1 (ต่อ)

จุดที่	วัตถุดิบ A	วัตถุดิบ B	วัตถุดิบ C	วัตถุดิบ D	รวม
20	20	40	30	10	100
21	20	30	30	20	100
22	20	20	30	30	100
23	20	10	30	40	100
24	20	-	30	50	100
25	10	50	40	-	100
26	10	40	40	10	100
27	10	30	40	20	100
28	10	20	40	30	100
29	10	10	40	40	100
30	10	-	40	50	100
31	-	50	50	-	100
32	-	40	50	10	100
33	-	30	50	20	100
34	-	20	50	30	100
35	-	10	50	40	100
36	-	-	50	50	100

2. เนื้อดินปั้นทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น

การเตรียมเนื้อดินปั้นทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น เพื่อผลิตเป็นภาชนะที่ใช้ประกอบอาหารในเตาอบหรือเตาทั่วไป ซึ่งใช้ประกอบกับตะแกรงกระจายอุณหภูมิ เนื้อดินปั้นทนความร้อนประเภทนี้เมื่อนำมาผลิตเป็นภาชนะแล้วควรมีคุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึง คือ

1. ผลิตภัณฑ์จากเนื้อดินปั้นชนิดนี้ต้องมีความต้านทานการเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 150 องศาเซลเซียส ลงในน้ำเย็นในทันทีทันใดได้โดยสภาพไม่เปลี่ยนแปลง
2. ผลิตภัณฑ์ต้องสามารถใส่อาหารเข้าอบในเตาและนำออกจากเตาได้ในขณะร้อนโดยผลิตภัณฑ์ไม่แตกร้าวเสียหาย หรือสามารถใช้ประกอบอาหารโดยสามารถสัมผัสโดยตรงได้
3. ผลิตภัณฑ์เมื่อเผาเคลือบแล้วจะเนื้อแน่น มีความแข็งแรงสูง ดูดซึมน้ำได้ไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์

3. วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเนื้อดินปั้นทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น

วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเนื้อดินปั้นทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น ผู้วิจัยได้กำหนดให้ใช้อะลูมินา ดินขาว หินฟันม้าและดินเหนียว เพราะวัตถุดิบแต่ละชนิดต่างก็มีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะอย่างในตัวเอง ซึ่งเมื่อรวมกันแล้วจะเอื้อประโยชน์ซึ่งกันและกันก่อให้เกิดคุณลักษณะตามที่ต้องการได้

1. อะลูมินา (alumina) อะลูมินาเป็นวัตถุดิบที่ใช้มากในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ อะลูมินาบริสุทธิ์จะได้จากคอแรนด์ (corundum) นอกจากนี้จะได้จากบอกไซต์ (bauxite) ไดอะสปอร์ (diaspor) กิบbsite (gibbsite) และจากการเผาอะลูมิเนียมไฮดรต (aluminium hydrate : $Al_2(OH)_2$) สูตรทางเคมีของอะลูมินา คือ Al_2O_3 มีน้ำหนักโมเลกุล 102 (Nelson. 1968 : 305) อะลูมินามีจุดหลอมละลายประมาณ 2,050 องศาเซลเซียส อะลูมินาเป็นสารทนความร้อน (refractory) ใช้มากในอุตสาหกรรมวัตถุดิบไฟ ปกติอะลูมินาจะมีความแข็งในระดับ 8 สามารถนำไปใช้ในวัตถุขัดถู (abrasive) โดยเฉพาะ

พลีทที่อยู่ในรูปของคอร์รันดัม ซึ่งในธรรมชาติคอร์รันดัมจะมีความแข็งมากอาจอยู่ในรูปของพลอย (gem stone) และพลอยเทียม

การนำอะลูมินามาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาจะบดให้เป็นผงสีขาว อะลูมินาเป็นสารที่มีความเฉื่อย (inert) ทนต่อปฏิกิริยาของกรดและด่าง มีความบริสุทธิ์สูงชนิดหนึ่งในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ โดยจะมีส่วนผสมอื่น ๆ บ้างเล็กน้อย เช่น โซเดียมออกไซด์ ร้อยละ 0.1 - 0.2 แคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 0.1 นอกจากนี้ยังมีเหล็กออกไซด์อีกเพียงเล็กน้อย (โรมล รักร่วงศ์. 2531 : 30)

ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกอะลูมินาเป็นวัตถุดิบในส่วนผสมของเนื้อดินปั้นทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น เพราะอะลูมินาจะเกิดผลต่อเนื้อดินปั้น คือ อะลูมินาทนทานต่อปฏิกิริยาทางเคมีทั้งสภาวะกรดและด่างได้ดี มีความทนทานต่อความร้อนได้สูง และทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างกะทันหันได้ดีอีกด้วย (Singer. 1963 : 432)

2. ดินขาว เป็นแร่ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติ จากการผุพังและการสลายตัวโดยปฏิกิริยาทางเคมีของหินอัคนีและหินแปรบางชนิด แร่ดินขาวจึงมีชื่อเรียกทางธรณีวิทยาว่า เกาลินไนท์ หรือเกาลิน สำหรับคำว่า เกาลินนี้เป็นคำที่มาจากภาษาจีน หมายถึง สันเขาสูงอันเป็นบริเวณที่มีการพบแหล่งดินขาว ดินขาวเป็นวัตถุดิบที่สำคัญอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ในการทำเครื่องปั้นดินเผา

ดินขาวมีส่วนประกอบทางเคมีเป็น $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ มีสีขาวหรือสีขาวหม่น มีความเหนียวน้อย หดตัวน้อย มีความแข็งแกร่งก่อนเผาไหม้ ย่อยตัวได้ง่าย ทนความร้อนได้สูงและมีความบริสุทธิ์สูง แหล่งดินขาวที่พบในประเทศไทยที่นำมาใช้งานอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผามีหลายแหล่งด้วยกัน ได้แก่ ดินขาวลำปาง ดินขาวระนอง และดินขาวยะลา เป็นต้น

ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกดินขาวเป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งที่จะใช้ในส่วนผสมของเนื้อดินปั้นทนไฟชนิดเนื้อแน่น เพราะดินขาวมีคุณสมบัติสามารถทนความร้อนได้สูง หดตัวน้อย ดินขาวที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้ดินขาวลำปาง เนื่องจากเป็นแหล่งดินที่มี

ปริมาณสำรองมาก มีความบริสุทธิ์สูง และเป็นที่นิยมาใช้งานในวงการอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาโดยทั่วไป

3. หินฟันม้า เป็นวัตถุดิบสำคัญใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ ทำหน้าที่เป็นตัวหลอมละลายในอุณหภูมิสูง ช่วยละลายวัตถุดิบอื่นให้มีอุณหภูมิในการเผาต่ำลง หินฟันม้าเป็นสารประกอบของแอลอะลูมิเนียมซิลิเกต (alkalines aluminium silicate) ซึ่งเกิดจากการแปรสภาพของหินแกรนิต มีลักษณะทั่วไปทึบแสง พบในธรรมชาติมีทั้งสีขาวและสีชมพู หินฟันม้าที่นิยมาใช้งานอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาโดยทั่วไปมี 3 ชนิด คือ

3.1 หินฟันม้าชนิดโรบัตส (potash feldspar) มีสูตรทางเคมี คือ $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ เป็นหินฟันม้าที่มีสารประกอบโรบัตสโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกต (potassium aluminium silicate) มีจุดหลอมละลายประมาณ 1,200 - 1,250 องศาเซลเซียส ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบได้ดี

3.2 หินฟันม้าชนิดโซดา (soda feldspar) ได้แก่ หินอัลไบท์ (albite) มีสูตรทางเคมี คือ $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ เป็นหินฟันม้าที่มีสารประกอบโซเดียมอะลูมิเนียมซิลิเกต (sodium aluminium silicate) เป็นผลึกสีเทาหรือสีขาวขุ่น ใช้ผสมในเนื้อเคลือบไฟสูงเพื่อปรับอุณหภูมิ หินฟันม้าชนิดนี้ช่วยทำให้อุณหภูมิของเคลือบต่ำกว่าหินฟันม้าชนิดโรบัตส

3.3 หินฟันม้าชนิดแคลเซียม (calcium feldspar) ได้แก่ หินโลมสปาร์ ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้หินฟันม้าชนิดโรบัตสเป็นวัตถุดิบในการผสมเนื้อดินปั้น เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวหลอมละลายวัตถุดิบอื่น ๆ (flux) ให้มีจุดสุกตัวที่ต่ำลง

4. ดินเหนียว เป็นดินที่มักพบในที่ราบต่ำ เป็นดินที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของดินขาวที่ไหลเคลื่อนไปทับถมกันในที่ราบต่ำเป็นเวลานานนับพันปี เนื้อดินมีความละเอียด เหนียวดี พบในแหล่งธรรมชาติ มักมีสีเทา สีดำ เนื่องจากมีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ เนื้อดินจึงมีความบริสุทธิ์ต่ำ (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 58) และเมื่อนำไปเผาแล้วจะมีสีขาวหรือครีม จึงมี

ประโยชน์ที่จะนำไปผสมกับดินหรือเนื้อดินนั้นทำให้ง่ายต่อการขึ้นรูป และช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เนื้อดินนั้นก่อนทำการเผาอีกด้วย

แหล่งดินชนิดนี้พบที่ อ.บางละมุง จ.ชลบุรี อ.ปากพลี จ.นครนายก และที่ ต.พรุฬห์ อ.บ้านนาสาร จ.สุราษฎร์ธานี

ดินเหนียวที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในการทดลองครั้งนี้เลือกใช้ดินเหนียวพรุฬห์ อ.บ้านนาสาร จ.สุราษฎร์ธานี เนื่องจากเป็นแหล่งที่มีปริมาณสำรองมากเหมาะกับการผลิตในระบบอุตสาหกรรม

ตาราง 2 แสดงผลการวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	L.O.I.
อะลูมินา	-	99.90	-	-	-	-	-	-
หินพัมมาราบุรี	65.20	20.40	1.00	1.70	-	6.70	1.50	1.50
ดินขาวลำปาง	51.20	36.40	1.40	1.10	2.10	2.50	2.50	5.30
ดินเหนียวสุราษฎร์ฯ	59.80	25.30	2.60	0.10	1.90	0.50	0.50	9.70

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์. 2514

4. กรรมวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ในขบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผาจะสามารถแยกขั้นตอนต่าง ๆ ได้หลายขั้นตอน การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จัดได้ว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญ เพราะเป็นการแปรรูปวัตถุดิบหรือเนื้อดินนั้นออกมาเป็นวัตถุดิบ การขึ้นรูปมีอยู่หลายวิธี การกำหนดหรือเลือกวิธีการขึ้นรูปนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมหลายประการ เช่น ปริมาณการผลิต รูปทรงของผลิตภัณฑ์ เป้าหมายการผลิต

และความเหมาะสมของเนื้อดินปั้น เมื่อสามารถกำหนดวิธีการขึ้นรูปได้แล้ว การเตรียมเนื้อดินปั้นก็ต้องสอดคล้องกับวิธีการด้วย โดยทั่วไปสภาพของเนื้อดินปั้นจะสามารถจัดเตรียมได้ถึง 3 แบบ คือ

1. ดินแห้ง ดินผง (powder clay) เหมาะกับการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดดิน (pressing)
2. ดินปั้น (plastic clay) เหมาะกับการขึ้นรูปแบบอิสระ (hand forming)

แบบปั้นหมุน (throwing) และแบบใบมีด (jiggering)

3. น้ำดิน (slip) เหมาะกับการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ (casting)

การขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อต้องอาศัยพิมพ์ซึ่งทำจากปูนปลาสเตอร์ (plaster mold) เป็นหลัก เพราะปูนปลาสเตอร์จะช่วยดูดน้ำจากน้ำดินให้แห้งและคงรูปตามแบบพิมพ์ (ทวีพรหมพฤกษ์, 2523 : 20-43) การหล่อพิมพ์แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

- 1.. การหล่อพิมพ์แบบกลวง (drain casting) หมายถึง การหล่อที่ได้ความหนาของผลิตภัณฑ์ตามความต้องการแล้วก็เทน้ำดินที่เหลือออกจากพิมพ์
2. การหล่อแบบตัน (solid casting) หมายถึง การหล่อน้ำดินลงในพิมพ์ให้เป็นแท่งตัน โดยไม่มีการเทน้ำดินออก

น้ำดินที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ ประกอบด้วยดินและวัสดุอื่น ๆ ที่ผ่านการบดผสมกระจายลอยตัวอยู่ในน้ำ ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมจะอยู่ระหว่างร้อยละ 35-50 โดยน้ำหนักของดิน แล้วเติมขี้เถ้าหรือขี้เถ้าผสมลงไปประมาณร้อยละ 0.20-0.50 เพื่อช่วยให้น้ำดินเกิดการลอยตัวได้ดี

การผสมน้ำลงในน้ำดินที่ใช้หล่อพิมพ์แบบกลวง ควรมีความถ่วงจำเพาะระหว่าง 1.65-1.80 ส่วนน้ำดินที่ใช้ในการหล่อแบบตันควรมีความถ่วงจำเพาะระหว่าง 1.75-1.95 (ปรีดาพิมพ์ขาวจำ, 2532 : 135)

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดการขึ้นรูปขึ้นทดลองและผลิตภัณฑ์ตัวอย่างด้วยวิธีการหล่อแบบกลวง เนื่องจากวิธีหล่อจะได้ชิ้นงานที่เท่าและเหมือนกัน และยังสามารถกำหนดความหนาบางของผลิตภัณฑ์ได้อย่างสม่ำเสมอ

5. เตาเผาและการเผาผลิตภัณฑ์

เตาเผา (kiln) เป็นเครื่องมือที่จำเป็นและสำคัญมากในงานเครื่องปั้นดินเผา ทำหน้าที่ให้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนสถานะภาพผลิตภัณฑ์ทั้งด้านเคมีและฟิสิกส์ เตาเผาที่ใช้กันในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้เหมาะสมกับความต้องการ มีประสิทธิภาพสูง ประหยัดเชื้อเพลิง ควบคุมสภาวะปลอดภัย มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันไป (ทวี พรหมพฤษย์. 2524 : 11) มีการแบ่งประเภทเตาเผาออกได้ตามลักษณะต่าง ๆ ในที่นี้จะกล่าวถึงการแบ่งตามชนิดของเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถแบ่งแยกได้ชัดเจนและเป็นที่ยอมรับทั่วไป กล่าวคือ

1. เตาชนิดที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง เป็นเตาที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในอดีต ปัจจุบันความนิยมลดลงเนื่องจากเชื้อเพลิงหายากและมีราคาแพงขึ้น อีกทั้งการควบคุมคุณภาพในการเผาค่อนข้างยุ่งยาก จึงไม่เหมาะกับการเผาที่ต้องการความเที่ยงตรง เช่น การทดลอง

2. เตาเผาชนิดที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง เป็นเตาที่สามารถเผาได้อุณหภูมิสูงและปรับบรรยากาศภายในเตาได้ นิยมใช้มากในระบบอุตสาหกรรม เพราะเมื่อเทียบกับเตาชนิดอื่น ๆ แล้วเป็นเตาที่ค่อนข้างประหยัดค่าใช้จ่ายและสามารถควบคุมการเผาได้สะดวก

3. เตาเผาชนิดที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง เป็นเตาที่เคยได้รับความนิยมมาระยะหนึ่ง ภายหลังความนิยมลดลงเนื่องจากตัวเตามีขนาดค่อนข้างใหญ่ ลงทุนสูง เมื่อเทียบกับเตาที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง อีกทั้งการควบคุมก็ค่อนข้างยุ่งยาก การเผาต้องฉีดกระจายน้ำมันให้เป็นฝอยโรยใช้แรงดันของลม

4. เตาไฟฟ้า เป็นเตาเผาที่มีผู้ให้ความสนใจและนิยมใช้กันมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะสถานศึกษาและโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา เนื่องจากผู้ใช้มีความสะดวกสบาย ควบคุมได้ง่าย มีความปลอดภัยสูง เตาไฟฟ้าเป็นเตาเผาได้สะอาดที่สุด เตาได้ตั้งแต่อุณหภูมิต่ำไปจนกระทั่งอุณหภูมิสูง และเร่งอุณหภูมิให้เพิ่มขึ้นได้ตามต้องการ เนื่องจากใช้สวิตช์สำหรับควบคุมอุณหภูมิในการเผา ไม่มีเปลวไฟ ไม่มีควัน เตาได้อย่างสะอาด เตาไฟฟ้าจำแนกออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้ คือ

4.1 เตาไฟฟ้าชนิดที่เผาในอุณหภูมิไม่เกิน 1,000 องศาเซลเซียส ภายในเตาเผาใช้ขดลวดชนิดนิโครม (nichrome) เป็นตัวให้ความร้อน ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ในการเผาดิบเผาเคลือบไฟฟ้าหรือเผาสีบนเคลือบเท่านั้น เพราะถ้าเผาอุณหภูมิที่สูงกว่านี้ลวดอาจขาดได้เนื่องจากทนความร้อนไม่ได้สูง โดยปกติลวดนิโครมจะเผาอุณหภูมิสูงสุดเพียง 1,050 องศาเซลเซียส

4.2 เตาไฟฟ้าชนิดที่ใช้เผาอุณหภูมิสูง ซึ่งมี 2 ลักษณะ คือ ลักษณะแรกใช้แท่งความร้อนชนิดซิลิคอนคาร์ไบด์ (silicon carbide) หรือที่เรียกว่า แท่งโกรบา (groba) สามารถให้ความร้อนได้สูงถึงอุณหภูมิ 1,575 องศาเซลเซียส (2,934 องศาฟาเรนไฮต์) นิยมใช้เผาผลิตภัณฑ์ประเภทปอร์สเลนชนิดอุณหภูมิสูงหรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นฉนวนไฟฟ้า (electric insulator) หรือเผาทดลองงานวิจัย เป็นต้น ลักษณะที่ 2 ใช้ขดลวดชนิดแคนทัล (kanthal wire) เป็นตัวให้ความร้อน สามารถให้ความร้อนได้สูงถึงอุณหภูมิประมาณ 1,375 องศาเซลเซียส (2,561 องศาฟาเรนไฮต์) มีราคาถูกกว่าชนิดแท่งทนความร้อนจึงมีผู้นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน

ผู้วิจัยเลือกใช้เตาไฟฟ้า เนื่องจากเตาไฟฟ้ามีคุณสมบัติเหมาะสมกับการเผาทดลองงานวิจัย

การเผาผลิตภัณฑ์ (firing) เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งในการทำเครื่องเคลือบดินเผา การเผาผลิตภัณฑ์ที่เครื่องเคลือบดินเผา โดยปกติทั่วไปจะเผาทั้ง 3 ครั้ง คือ เผาดิบเผาเคลือบ และเผาสีบนเคลือบ แต่ในบางกรณีอาจเผาเพียงครั้งเดียวและมีการเคลือบด้วย (one firing) โดยไม่ต้องผ่านการเผาดิบก่อน ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดเชื้อเพลิงและแรงงานได้ แต่ผลิตภัณฑ์ก็อาจเสียหายได้ง่ายเช่นกัน การเผาในแต่ละครั้งจะเผาตามลำดับขั้นดังนี้

1. การเผาดิบ (biscuit firing) เป็นการเผาครั้งแรกเพื่อให้เนื้อดินนั้นหรือผลิตภัณฑ์มีความแข็ง (mechanical strength) และคงรูป เป็นการตรวจสอบสภาพผลิตภัณฑ์ว่ามีการแตกร้าวหรือไม่ก่อนนำไปเคลือบ นับว่าเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงและแรงงานได้ เพราะเป็นขั้นตอนที่ทำให้เชื่อมั่นได้ว่าผลิตภัณฑ์นั้นจะไม่แตกก่อนนำไปเคลือบ

การให้ความร้อนในการเผาจะต้องเพิ่มความร้อนที่ละน้อย ไม่ว่าจะเป็นเตาชนิดใด ควรใช้ระบบเวลาการเผาเป็นไปอย่างช้า ๆ (slow rate) เสมอ การเผาเร็วเกินไป อาจทำให้ผลิตภัณฑ์แตกเสียหายได้ง่าย โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ควรใช้เวลาในการเผาที่ยาวนานขึ้น เพื่อความปลอดภัยไม่ให้เกิดผลิตภัณฑ์แตกเสียหาย อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาโดยทั่วไปประมาณ 750-800 องศาเซลเซียส (1,304-1,490 องศาฟาเรนไฮต์)

2. การเผาเคลือบ (glaze firing) เป็นการเผาที่ทำให้น้ำเคลือบที่เคลือบผลิตภัณฑ์ไว้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน มีผิวเรียบ ด้านหรือมันแวววาว ตามแต่ชนิดของเคลือบ มีความแข็งและสามารถทนต่อกรดและด่างได้ดี การเผาเคลือบจะต้องเผาให้ได้อุณหภูมิตามข้อกำหนดของน้ำเคลือบแต่ละชนิด มิฉะนั้นอาจเกิดการเสียหายได้ เช่น เผาไฟเกิน ทำให้เคลือบไหลมากอาจไหลติดพื้นเตาหรือชั้นรอง ยากแก่การเอาออก ทำให้เสียหายได้ และการเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนดไว้ มีผลให้น้ำเคลือบไม่เป็นมันเท่าที่ควร การเผาเคลือบที่ดีควรให้อัตราการเผาอยู่ในช่วง 100-150 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง แต่ถ้าผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่ ค่อนข้างหนา ควรยืดเวลาในการเผาให้ช้ากว่านี้ การเผาเคลือบไม่ควรเร่งการเผาให้เร็วเกินไป การเผาที่ใช้โคนเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมินั้นภายหลังจากที่โคนลัมแล้วควรเผาแช่ไว้ (soaking period) อีกประมาณครึ่งชั่วโมงจะทำให้การเผาสมบูรณ์ยิ่งขึ้น การปิดเตาหลังการเผาเคลือบได้ที่แล้วควรปล่อยให้เตาทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง จะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่แตกเสียหาย

3. การเผาสีบนเคลือบ (overglaze firing) เป็นการเผาครั้งที่ 3 เพื่อตกแต่งลวดลายให้สวยงาม โดยใช้สีบนเคลือบเขียนลวดลายบนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาเคลือบแล้ว และนำไปเข้าเตาเผา อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาสีบนเคลือบโดยทั่วไปประมาณ 750-800 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 3-5 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ตกแต่งสีบนเคลือบของประเทศไทยเรียกว่า เครื่องเบญจรงค์ (ทวี พรหมพฤษษ์. 2523 : 152-157)

การทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยจะใช้เฉพาะการเผาติดและการเผาเคลือบเท่านั้น เนื่องจากการเผาผลิตภัณฑ์ตัวอย่างไม่มีการตกแต่งด้วยสีบนเคลือบ

6. การวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาและเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาจะสามารถทำการวัดได้หลายแบบ คือ

1. การวัดอุณหภูมิด้วยสายตา โดยใช่วิธีดูสีของไฟโดยประมาณ เป็นวิธีการของผู้มีประสบการณ์และความชำนาญในการเผาผลิตภัณฑ์ในสมัยโบราณที่ยังไม่มีเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่แม่นยำเหมือนในปัจจุบัน ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบสีของไฟกับอุณหภูมิที่ได้นั้นก็จะไม่เที่ยงตรงและมาตรฐานเหมือนกับการใช้เครื่องมือชนิดอื่น ๆ

2. การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกไพโรมิเตอร์ (thermo electric pyrometer) เป็นการวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องมือที่ประกอบด้วยเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) ทำจากโลหะสองชนิดโดยเชื่อมปลายให้ติดกัน เมื่อได้รับความร้อนทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าบอกค่าอุณหภูมิ แปลงค่าเป็นมิลลิโวลต์ (millivolts) เป็นองศาอุณหภูมิโดยการเปรียบเทียบ

3. การวัดอุณหภูมิด้วยออปติคอลไพโรมิเตอร์ (optical pyrometer) เป็นการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยหลักการเทียบสีไฟภายในเตากับสีของไส้หลอดภายในเครื่องมือ

ออปติคอลไพโรมิเตอร์ประกอบด้วย เลนส์สำหรับดูไฟ มีแบตเตอรี่ทำให้ไส้หลอดร้อนแดง การใช้งานจะส่องดูแสงภายในเตาเผา เลนส์จะทำหน้าที่รวมแสงเป็นเส้น ซึ่งจะปรากฏเพียงจุดกับไส้หลอด ทำให้เราสามารถปรับสีไส้หลอดให้เหมือนกับเส้นจากเลนส์ แล้วสามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้ทันทีจากจุดปรับแบตเตอรี่ แต่การใช้เครื่องมือชนิดนี้มีข้อบกพร่อง คือ วัดได้เฉพาะช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 750 องศาเซลเซียสขึ้นไปเท่านั้น

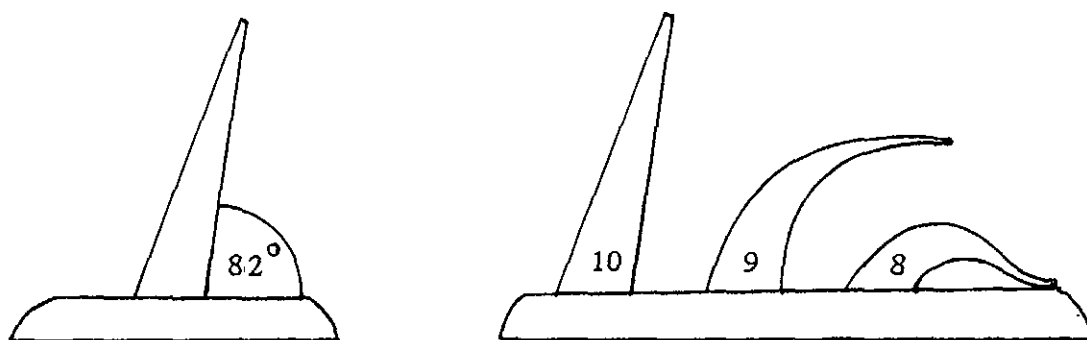
4. การวัดอุณหภูมิด้วยไพโรเมตริกโคน (pyrometric cone)

โคนมีลักษณะเป็นรูปปิรามิด ยอดแหลม ฐานสามเหลี่ยมที่ข้างกันอยู่มี 2 ชนิด คือ เซกเกอร์โคน (segger cone) และออร์ตันโคน

หลักการทำงานของโคนเกิดจากการใช้วัตถุติดกับฟลักซ์ (flux) ในอัตราส่วนที่ต่างกันไปโดยกำหนดค่าได้เป็นหมายเลข ซึ่งแต่ละหมายเลขจะมีจุดหลอมละลายต่างกันไป ซึ่ง

เมื่อนำโคนไปตั้งไว้ในเตาเผาแล้วอุณหภูมิภายในเตาเผาสูงขึ้นจนถึงจุดหลอมละลายของโคน โคนก็จะอ่อนตัวลึกลง ทำให้ทราบระดับของอุณหภูมิภายในเตาขณะที่เผาได้ทันที

การวางโคนเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งของการใช้โคน ถ้าวางไม่ถูกค่าของอุณหภูมิอาจเปลี่ยนแปลงได้ (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 160) การวางโคนต้องมีฐานที่สร้างขึ้นด้วยเนื้อดินปั้น (cone plaque) ที่มีความทนไฟสูง การเผาแต่ละครั้งต้องวางโคน 3 ตัว เช่น โคนหมายเลข 8, 9 และ 10 ตามลำดับ โดยแต่ละตัวต้องหันหน้าด้านแบนทำมุมกับฐานประมาณ 82 องศา แต่ละตัววางเรียงเป็นแถวตามลำดับ ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 แสดงวิธีการวางโคนและการลึกลงของโคน

การวางโคนภายในเตาเผา จะต้องวางในตำแหน่งที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน โคนแต่ละตัวต้องมีความสามารถทนความร้อนได้ในจุดต่าง ๆ เมื่อเผาถึงจุดสุกตัว (vitrify) ของโคนตัวใดแล้วโคนนั้นจะต้องลึกลงมาติดที่ฐานรอง จากตัวอย่างในภาพประกอบ 2 ระดับอุณหภูมิที่ต้องการ คือ โคนหมายเลข 9 ฉะนั้นจึงต้องวางโคน 3 ตัว คือ โคนหมายเลข 8, 9 และ 10 ตามลำดับ โคนหมายเลข 8 จะเริ่มโร้กลงลง เป็นการเตือนให้เราทราบและใช้ความระมัดระวังคอยดู จากนั้นให้เผาจนกระทั่งโคนหมายเลข 9 เริ่มโร้กลง แสดงว่าอุณหภูมิจะถึงจุดที่ต้องการแล้ว ต่อจากนั้นให้เผาจนกระทั่งโคนหลายเลข 9 โร้กลง แต่โคนหมายเลข 10 ยังไม่ได้โร้กลงจึงปิดเตา แสดงว่า เราเผาได้ถึงระดับอุณหภูมิที่ต้องการพอดี แต่ถ้าปล่อยให้โคน

หลายเลข 10 ไร่จึงขอ แสดงว่า เราเผาอุณหภูมิสูงเกินกว่าที่ต้องการ โคนาซึ่งบอกอุณหภูมิภายในเตาเผาได้เกือบทุกส่วน นอกจากนั้นยังใช้หาความหนาแน่นของวัตถุได้แน่นอนด้วย

โคนที่ใช้กันโดยทั่วไปมีอยู่ 2 ขนาด ได้แก่ ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก โคนขนาดใหญ่ที่ใช้เป็นมาตรฐานจะมีหมายเลขต่างกันไปถึง 64 หมายเลข โดยเริ่มตั้งแต่หมายเลข 022 ถึงหมายเลข 42 แต่ละหมายเลขจะมีจุดหลอมตัวต่างกันไปเป็นลำดับที่ด้านข้างตัวโคนจะมีหมายเลขกำกับไว้เพื่อใช้เปรียบเทียบเป็นองศาอุณหภูมิ

ในการวิจัยครั้งนี้ เพื่อให้ผลการวิจัยมีความถูกต้องเที่ยงตรง เกี่ยวกับอุณหภูมิ การวิจัยจึงเลือกใช้อุปกรณ์การวัดอุณหภูมิประเภทไพโรเมตริกโคน การวัดอุณหภูมิด้วยไพโรเมตริกโคนหรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า โคน เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ได้รับความนิยมแพร่หลาย เพราะเป็นการวัดที่ประหยัดค่าใช้จ่าย ใช้งานง่าย มีความแม่นยำ ไม่ต้องบำรุงรักษา

7. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น

การทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเนื้อดินปั้นมีความสำคัญมาก ทำให้สามารถจำแนกความแตกต่างของเนื้อดินปั้นแต่ละชนิดได้ และยังสามารถนำผลต่างของคุณสมบัติไปใช้ในการตัดสินใจที่จะ เลือกเนื้อดินปั้นให้เหมาะสมกับลักษณะงานแต่ละประเภทได้อย่างถูกต้องอีกด้วย ซึ่งคุณสมบัติที่จะต้องทดสอบมีดังนี้

1. ทดสอบการหดตัวของเนื้อดินปั้น เนื้อดินปั้นที่มีการหดตัวมากย่อมเป็นสาเหตุอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการแตก การร่อน และการบิดเบี้ยวของผลิตภัณฑ์ การทดสอบการหดตัวของเนื้อดินปั้นหลังการเผาสามารถกระทำดังนี้

- 1.1 นำเนื้อดินปั้นที่นวดแล้วมาทำเป็นชิ้นทดลอง โดยวัดเป็นความยาว 12 เซนติเมตร กว้าง 3 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร
- 1.2 ทำเครื่องหมายบนผิวชิ้นทดลอง โดยวัดเป็นความยาว 10 เซนติเมตร
- 1.3 นำชิ้นทดลองไปผึ่งให้แห้งแล้วนำเข้าเผาตามอุณหภูมิที่กำหนด

1.4 วัดความยาวของเครื่องหมายบนชิ้นทดลองที่ทำไว้ภายหลังจากที่เผาแล้ว

1.5 คำนวณร้อยละสูตร ดังนี้

$$\text{การหดตัว} = \frac{\text{ความยาวดินเปียก} - \text{ความยาวดินที่เผาแล้ว}}{\text{ความยาวของดินเปียก}} \times 100$$

2. การทดสอบความพรุนตัวของเนื้อดินปั้น เป็นวิธีที่จะช่วยให้เราทราบว่าเนื้อดินปั้นนั้นเผาถึงจุดสุกตัว (vitrification) หรือไม่ เนื้อดินปั้นที่มีความพรุนตัวมากจะดูดซึมน้ำได้มาก เนื้อดินปั้นที่มีความพรุนตัวน้อยก็จะดูดซึมน้ำได้น้อย วิธีการหาร้อยละของการดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นมีวิธีการดังนี้ คือ

2.1 นำชิ้นทดลองที่ผ่านการเผาในอุณหภูมิที่กำหนดมาชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้

2.2 นำชิ้นทดลองไปต้มในจุดน้ำเดือดนาน 2 ชั่วโมง และแช่ทิ้งไว้อีก 24 ชั่วโมง

2.3 นำชิ้นทดลองที่ต้มแล้วมาเช็ดให้แห้ง แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อหาจุดอิ่มตัวของชิ้น

ทดลองจดบันทึกไว้

2.4 วัดความพรุนตัวจากการคำนวณหาร้อยละของการดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้น โดยใช้สูตรของ เคนนี่

$$\text{การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักจุดอิ่มตัว} - \text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่แห้ง}}{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่แห้ง}} \times 100$$

3. ความทนไฟของเนื้อดินปั้น มีวิธีการทดสอบดังนี้

3.1 นำดินที่เตรียมไว้มาทำชิ้นทดลองเป็นรูปโคน ให้มีขนาดเท่ากับโคนขนาดใหญ่มากตามมาตรฐานของเซกเกอร์ แล้วผึ่งให้แห้งสนิท

3.2 นำชิ้นทดลองเข้าเตาเผาใช้ระดับอุณหภูมิในการเผาสูงจนชิ้นทดลองหลอมละลาย

ล้มลงราบกับพื้น แล้วจึงปิดเตา จดบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้ ซึ่งจะเป็นค่าความหนาแน่นของดินที่นำมาทดสอบ

สำหรับการทดลองครั้งนี้ จะเผาขึ้นทดลองในระดับอุณหภูมิที่กำหนด คือ 1,280 องศาเซลเซียส เพื่อดูว่าอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่ทดลองจะสามารถทนต่อความร้อนในระดับอุณหภูมิที่กำหนดได้หรือไม่เท่านั้น

4. การทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสามารถทำได้ดังนี้

- 4.1 อุ่นเตาให้ร้อนถึง 150 องศาเซลเซียส
- 4.2 ใส่ขึ้นทดลองเข้าในเตา คงอุณหภูมิไว้ 45 นาที
- 4.3 นำขึ้นทดลองออกมาอย่างรวดเร็ว แล้วใส่ลงในน้ำทันที
- 4.4 ตรวจสอบความเสียหายของขึ้นทดลอง เช่น การแตกร้าว กระจาย
- 4.5 ถ้าไม่ปรากฏความเสียหายต่อขึ้นทดลอง ให้นำขึ้นทดลองเข้าเผาที่อุณหภูมิเดิมอีก ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ทำการทดลอง 5 ครั้ง ถ้าไม่มีการเสียหายจึงเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอีก รอบละ 50 องศาเซลเซียส (122 องศาฟาเรนไฮต์) จนกว่ารอยร้าวจะเกิดขึ้น

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศและต่างประเทศ

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

พิมพ์วัลลภ วัฒนภาส (ม.ป.ป. : 11-17) ได้วิจัยผลิตภัณฑ์ทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น รวดเรียบเนื้อดินผสมกับสารประกอบแมกนีเซียม ซึ่งจัดอยู่ในเนื้อดินชนิดคอร์เดียไรท์ เผาในระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ถึง 260 องศาเซลเซียส การเลือกใช้วัตถุดิบควรเลือกใช้วัตถุดิบที่มีความบริสุทธิ์ เพราะเป็นผลต่อคุณสมบัติของเนื้อผลิตภัณฑ์ภายหลังการเผา

โคบายาชิ และคนอื่น ๆ (Kobayashi and others. 1992 : 737-743) ได้ทดลองทำผลิตภัณฑ์สีขาวเนื้อแน่นโดยใช้อัตราส่วนผสมของอะลูมินา หินฟันม้า และดินขาว ผลการทดลองสรุปได้ว่า

1. ถ้าใช้หินฟันม้าผสมในเนื้อดินนั้น ร้อยละ 40 จะสามารถเผาให้ถึงจุดสุกตัวได้ในอุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส
2. ถ้าใช้หินฟันม้าผสมในเนื้อดินนั้น ร้อยละ 30 จะสามารถเผาให้ถึงจุดสุกตัวได้ในอุณหภูมิระหว่าง 1,200-1,300 องศาเซลเซียส
3. ถ้าใช้หินฟันม้าผสมในเนื้อดินนั้น ร้อยละ 10-20 จะสามารถเผาให้ถึงจุดสุกตัวได้ในระดับอุณหภูมิ 1,350 องศาเซลเซียส
4. จากอัตราส่วนผสมที่ทำการทดลอง โดยใช่
 - อะลูมินา ร้อยละ 20-50
 - ดินขาว ร้อยละ 20-50
 - หินฟันม้า ร้อยละ 10-40
 จากการทดลองจะเกิดผลดังนี้
 - 4.1 ถ้าใช้อัตราส่วนผสมของหินฟันม้าสูงจุดสุกตัวจะต่ำ เพราะหินฟันม้าเป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิ
 - 4.2 ถ้าใช้ส่วนผสมของอะลูมินาสูงจุดสุกตัวจะสูง และทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกระแทกกันได้ดี
 - 4.3 ถ้าใช้อัตราส่วนผสมของดินขาวสูง การขึ้นรูปจะได้ผลดีแต่การหดตัวหลังการเผาจะสูง

คาว่าฮาระ และคนอื่น ๆ (Kawahara and others. 1992 : 228-231) ได้ทดลองทำผลิตภัณฑ์พรุนตัว โดยใช้อะลูมินาเป็นวัตถุดิบหลัก (porous alumina ceramic) เผาในอุณหภูมิระหว่าง 1,200-1,600 องศาเซลเซียส โดยใช้วิธีผสมวัตถุดิบสำหรับการขึ้นรูป

2 วิธี คือ

1. ใช้อะลูมินาผสมกับน้ำในเครื่องบดความเร็วรอบสูง 12 ชั่วโมง โดยใช้ตัวเชื่อมประสาน (bonding agent) เพื่อให้เกิดความเหนียวขึ้นรูปโดยการพิมพ์ได้
 2. ใช้อะลูมินาผสมกับกรดเกลือ (HCl) โดยใช้กรดเกลือเป็นตัวทำปฏิกิริยากับอะลูมินา ใช้เวลา 24 ชั่วโมง ในอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
- ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้
1. การเตรียมเนื้อดินปั้นวิธีที่ 1 ความพรุนตัวจะน้อยกว่าการเตรียมเนื้อดินปั้นวิธีที่ 2 เมื่อเผาในอุณหภูมิที่เท่ากัน
 2. เนื้อดินปั้นจากกรรมวิธีเตรียมทั้ง 2 วิธี จะเผาถึงจุดสุกตัวในอุณหภูมิ 1,600 องศาเซลเซียส
 3. ถ้าหากเนื้อดินปั้นมีความละเอียดมากจะเผาถึงจุดสุกตัวได้ดีกว่า
 4. เนื้อดินปั้นที่หยาบกว่าจะมีความพรุนตัวสูงกว่าเนื้อดินปั้นที่ละเอียด เมื่อเผาในอุณหภูมิที่เท่ากัน
 5. จากการทดลองเนื้อดินปั้นจะคงรูปได้ในอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสขึ้นไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาได้เนื้อดินบันทึกความร้อนชนิดเนื้อแน่นจากอัตราส่วนผสมระหว่างอะลูมินา ดินขาว หินฟันม้า และดินเหนียว โดยใช้ตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่าในการหาอัตราส่วนผสม การวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดรายละเอียดตามหัวข้อดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
2. ตัวแปรที่จะศึกษา
3. เกณฑ์คัดเลือกเนื้อดินบันทึกความร้อน
4. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง
5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
6. ลำดับขั้นตอนการทดลอง
7. สูตรที่ใช้ในการทดลอง
8. สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1. ประชากรที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ

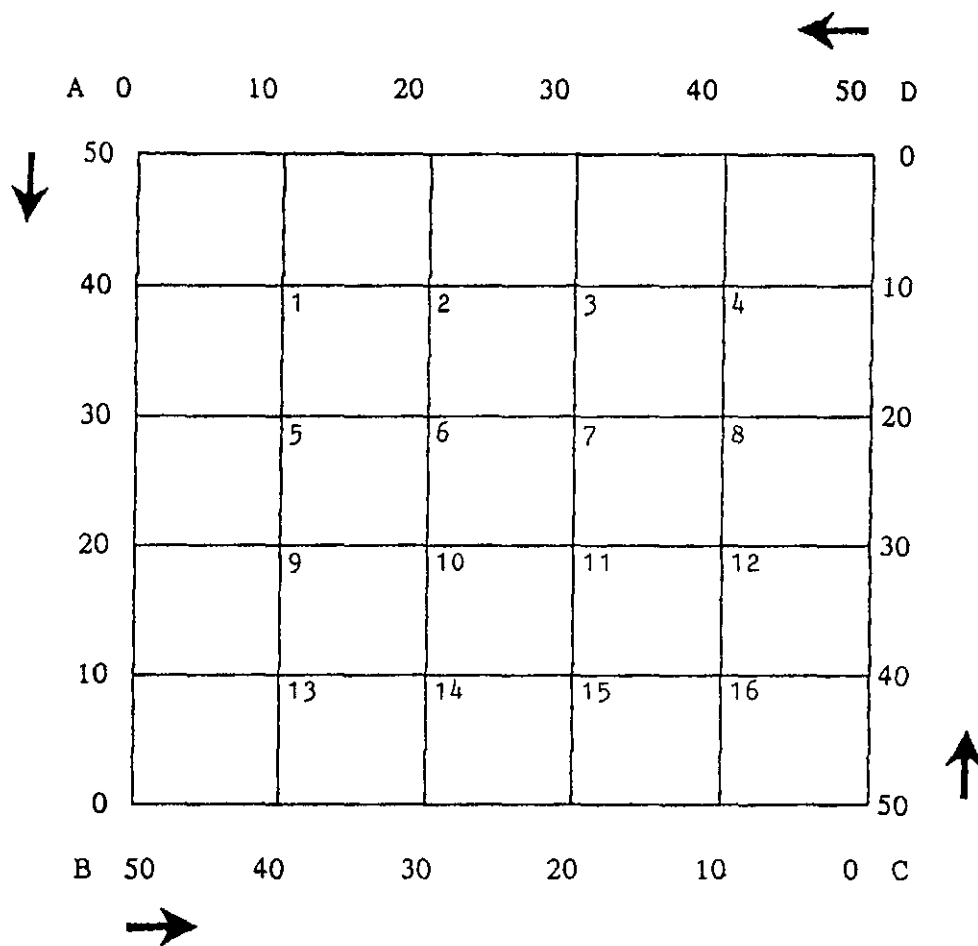
- 1.1.1 อะลูมินา
- 1.1.2 ดินขาว
- 1.1.3 หินฟันม้า
- 1.1.4 ดินเหนียว

1.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ อัตราส่วนผสมที่มีประชากรครบทั้ง 4 ชนิด คือ อะลูมินาชนิดที่ใช้ในทางการค้าทั่วไป ดินขาว อ.แจ่ม จ.ลำปาง หินพันม้า ราชบุรี และดินเหนียวพรุพี จ.สุราษฎร์ธานี จากตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า จำนวน 16 จุด (16 ตัวอย่าง หรือ 16 สูตรส่วนผสม)

2. ตัวแปรที่จะศึกษา

2.1 ตัวแปรต้น ได้แก่

2.1.1 อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง แบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ การทดลองครั้งที่ 1 ได้จากการสุ่มแบบเจาะจงอย่างมีระบบในตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่าระยะห่างของตารางจุดละ 10 หน่วย จะได้จำนวน 16 จุด แต่ละจุดประกอบไปด้วยอัตราส่วนผสมของอะลูมินาชนิดที่ใช้ในทางการค้าทั่วไป ดินขาวลำปาง หินพันม้า ราชบุรี และดินเหนียวพรุพี ซึ่งวัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีปริมาณแปรเปลี่ยนไปตามตำแหน่งของจุดผสม เมื่อรวมปริมาณของอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิด ทุกจุดจะมีค่าเท่ากับ 100 หน่วย ดังภาพประกอบ 3



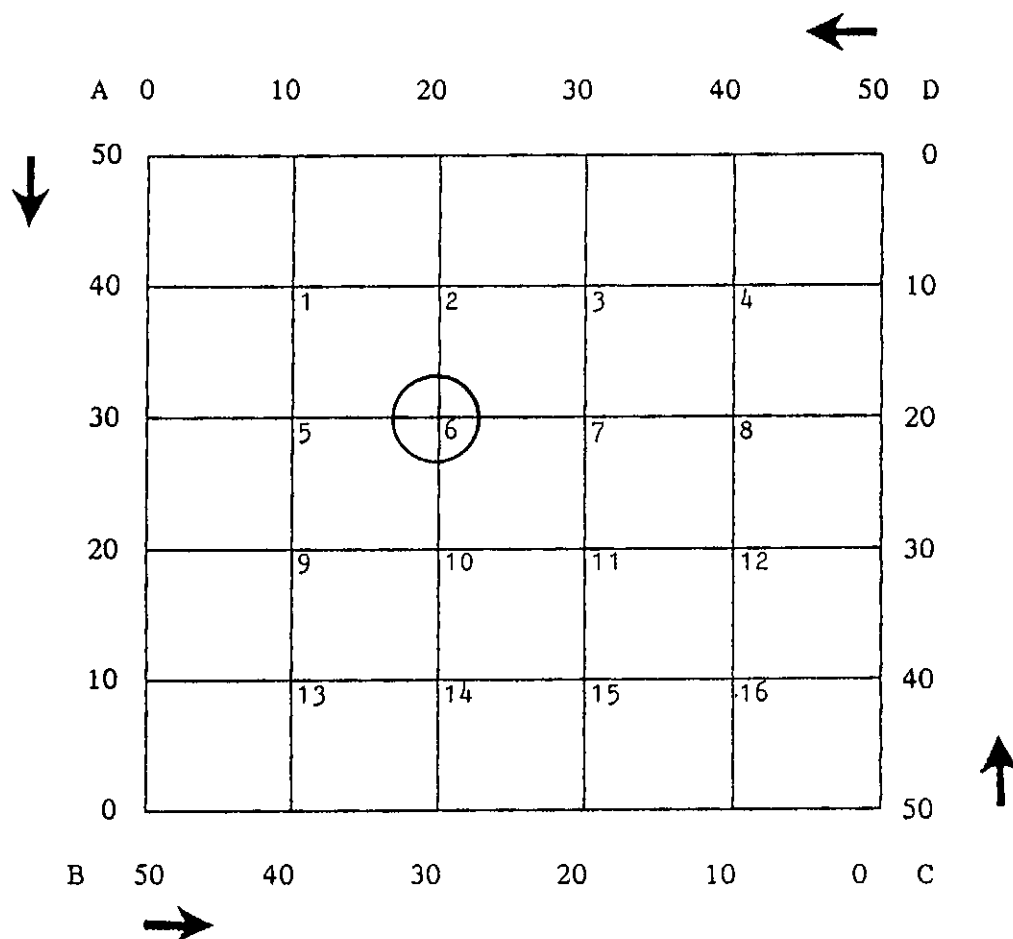
ภาพประกอบ 3 แสดงตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่าซึ่งประกอบไปด้วยจุดผสมจำนวน 16 จุด

ตาราง 3 อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในแต่ละจุดที่อ่านค่าได้จากภาพประกอบ 3

จุดที่	ดินขาวลำปาง	ดินเหนียวพรุพี	หินพื้นม้า ราชบุรี	อะลูมินา	รวม
1	40	40	10	10	100
2	40	30	10	20	100
3	40	20	10	30	100
4	40	10	10	40	100
5	30	40	20	10	100
6	30	30	20	20	100
7	30	30	20	30	100
8	30	10	20	40	100
9	20	40	30	10	100
10	20	30	30	20	100
11	20	20	30	30	100
12	20	10	30	40	100
13	10	40	40	10	100
14	10	30	40	20	100
15	10	20	40	30	100
16	10	10	40	40	100

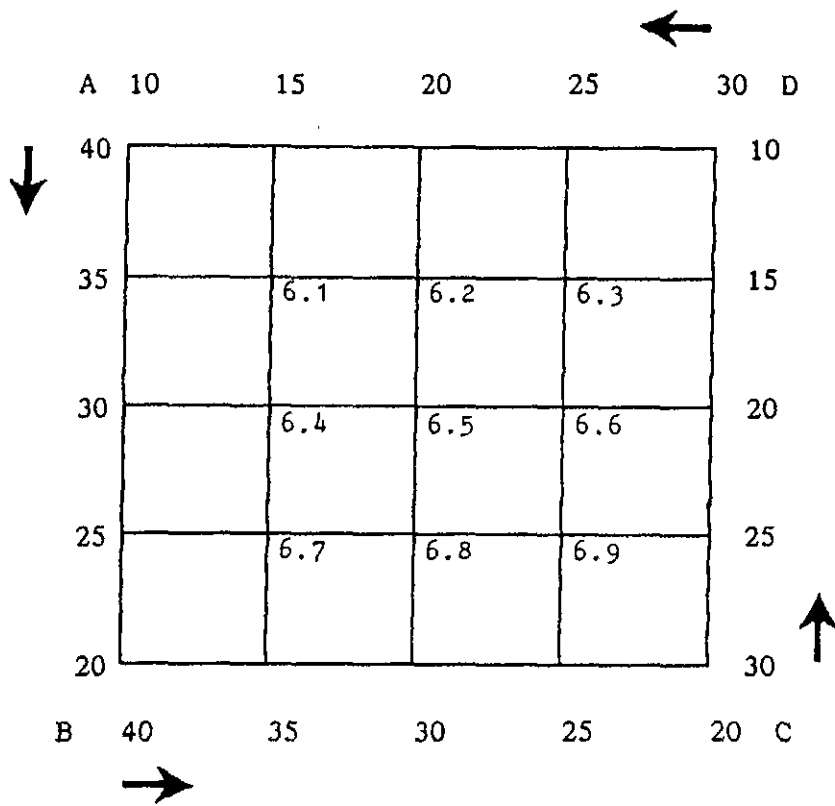
การทดลองครั้งที่ 2 ได้จากการคัดเลือกอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่ดีที่สุด จากการทดลองครั้งที่ 1 มาขยายผลโดยกระจายอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นรอบบริเวณที่เลือกได้

จากตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่าจากผลการทดลองครั้งที่ 1 เช่น สมมุติให้จุด 6 เป็นจุดที่ดีที่สุด ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 แสดงตัวอย่างอัตราส่วนผสมที่เลือกได้จากการทดลองครั้งที่ 1

จากภาพประกอบ 4 แสดงว่า จุด 6 คือ จุดที่จะนำไปขยายผลการทดลองครั้งที่ 2 โดยกระจายอัตราส่วนผสมรอบจุด 6 ทุกด้านให้มีระยะห่างออกไปอีกด้านละ 5 หน่วย จะได้ส่วนผสมอีก 9 อัตราส่วนผสม ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 แสดงตัวอย่างการกระจายอัตราส่วนผสมการทดลองครั้งที่ 2

ตาราง 4 แสดงอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในแต่ละจุดที่อ่านค่าได้จากภาพประกอบ 5

จุดที่	ดินขาวลำปาง	ดินเหนียวพรุพี	หินฟันม้า	ราชบุรี	อะลูมินา	รวม
6.1	35	35	15		15	100
6.2	35	30	15		20	100
6.3	35	25	15		25	100
6.4	30	35	20		15	100
6.5	30	30	20		20	100
6.6	30	25	20		25	100
6.7	25	35	25		15	100
6.8	25	30	25		20	100
6.9	25	25	25		25	100

2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

2.2.1 ความเหมาะสมกับการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อพิมพ์

2.2.2 ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

2.2.3 การหดตัว

2.2.4 ความพรุนตัว

2.2.5 ความทนไฟ

3. เกณฑ์คัดเลือกเนื้อดินบนพื้นฐานความร้อนชนิดเนื้อแน่น

มีหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกดังนี้

1. ความทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ต้องสามารถทนทานการเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 150 องศาเซลเซียส ลงในน้ำเย็นได้โดยไม่แตกร้าวเสียหาย
2. การดูดซึมน้ำของเนื้อดินบนจะดูดซึมน้ำได้ในระหว่างร้อยละ 0.0 - 10.0
3. ความทนไฟของเนื้อดินบนต้องสามารถทนความร้อนได้ตั้งแต่ 1,280 องศาเซลเซียส ขึ้นไป

4. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบที่ใช้ประกอบด้วย

1. อะลูมินา
2. ดินขาวลำปาง
3. ฟินฟันม้า ราชบุรี
4. ดินเหนียวพรุพี

ในการทดลองครั้งนี้กำหนดวิธีขึ้นรูปด้วยการหล่อพิมพ์ จึงต้องผสมวัตถุดิบด้วยน้ำและโซเดียมซิลิเกต เพื่อช่วยให้สามารถขึ้นรูปได้

5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องชั่งชนิดละเอียด
2. เตาไฟฟ้าชนิดใช้เผาในอุณหภูมิสูง
3. ตะแกรงร่อนขนาด 80, 100 เมช

4. กระบอกลง
5. แบบพิมพ์สำหรับทำขึ้นทดลองและผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง
6. อ่างน้ำ
7. หม้อบด
8. ไม้บรรทัด
9. icoหมายเลข 8, 9 และ 10
10. คีมด้ามยาว

6. ลำดับขั้นในการทดลอง

การทดลองครั้งนี้จะแบ่งลำดับขั้นการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

ตอนที่ 1 เป็นการทดลองเพื่อหาจุดที่ดีที่สุดของอัตราส่วนผสม จำนวน 16 จุด

ตอนที่ 2 เป็นการทดลองเนื้อดินปั้นทนความร้อนจากผลการคัดเลือกตามขั้นตอนที่ 1

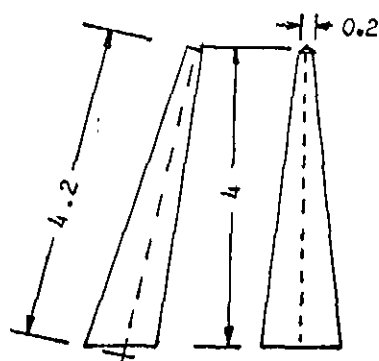
โดยการกระจายจุดที่ดีที่สุด จำนวน 9 จุด

ตอนที่ 3 เป็นการทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากผลการคัดเลือกที่ดีที่สุดจากการทดลองครั้งที่ 2

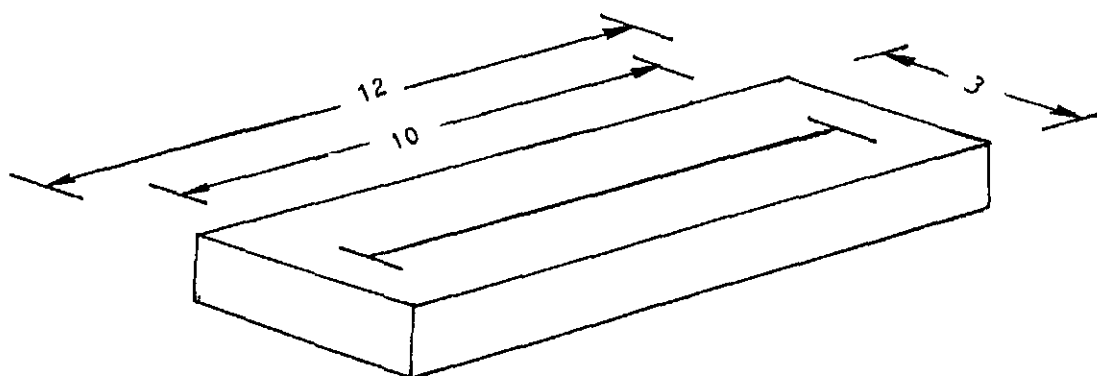
ตอนที่ 1 มีลำดับขั้นการทดลองดังนี้

1. เตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง โดยบดวัตถุดิบให้ละเอียดแล้วผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช
2. ชั่งวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมของการทดลองตอนที่ 1 ที่คำนวณได้จากตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า จำนวน 16 จุด จุดละ 500 กรัม เพื่อนำไปทำขึ้นทดลอง
3. นำวัตถุดิบเข้าบดในหม้อบดขนาดเล็ก โดยเติมน้ำ 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร บดนาน 3 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช แล้วเติมโรซเดียมซิลิเกต 1.5 กรัม

4. นำน้ำดินมาทำเป็นชั้นทดลองและชั้นทดลองความทนไฟ โดยใช้แบบพิมพ์ที่เตรียมไว้ ทำเครื่องหมายความยาวและรหัสบนชั้นทดลองและชั้นทดลองความทนไฟ จากนั้นฝังชั้นทดลองและชั้นทดลองความทนไฟให้แห้งในบรรยากาศปกติประมาณ 1 สัปดาห์
5. นำชั้นทดลองและชั้นทดลองความทนไฟที่แห้งแล้วเข้าเผาด้วยเตาไฟฟ้าในระดับ อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 6 ชั้นทดลองความทนไฟ



ภาพประกอบ 7 แสดงลักษณะของชั้นทดลอง

6. ทดสอบการหดตัวหลังการเผา โดยนำชิ้นทดลองที่เผาแล้วมาวัดความยาวของเครื่องหมายที่ทำไว้ และนำมาคำนวณหาค่าร้อยละของการหดตัว

7. ทดสอบการดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้น โดยชั่งน้ำหนักของชิ้นทดลองแต่ละชิ้นและจดบันทึกไว้ จากนั้นนำชิ้นทดลองไปต้มในจุดน้ำเดือดนาน 2 ชั่วโมง และทิ้งชิ้นทดลองไว้ในหม้อต้มอีก 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำชิ้นทดลองมาเช็ดให้แห้ง ชั่งน้ำหนักของชิ้นทดลองอีกครั้งและจดบันทึกไว้ แล้วจึงคำนวณหาค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำ

8. ทดสอบความทนไฟของเนื้อดินปั้น โดยดูผลจากการเผาชิ้นทดลองความทนไฟว่า ไร้คงหรือไหม้ ถ้าไร้คงแสดงว่าเนื้อดินปั้นเริ่มหลอมละลายและไม่สามารถทนต่อระดับอุณหภูมิที่เผาได้

9. ทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยอุ่นเตาให้ร้อนถึง 150 องศาเซลเซียส ใส่ชิ้นทดลองเข้าในเตาอบอุณหภูมิไว้ 45 นาที จากนั้นนำชิ้นทดลองออกมาอย่างรวดเร็วแล้วใส่ลงในน้ำทันที ตรวจสอบความเสียหายของชิ้นทดลอง เช่น การแตกร้าว กระเทาะ ถ้าไม่ปรากฏความเสียหายต่อชิ้นทดลองให้นำชิ้นทดลองเข้าเผาที่อุณหภูมิเดิมอีกครั้ง ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ทำการทดลอง 5 ครั้ง ถ้าไม่มีการเสียหายจึงเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอีกรอบละ 50 องศาเซลเซียส จนกว่ารอยร้าวจะเกิดขึ้น

ตอนที่ 2 เป็นการทดลองในชุดที่ 2 มีลำดับขั้นการทดลองดังนี้

1. เลือกจุดที่ดีที่สุดจากการทดลองชุดที่ 1 มากระจายหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นทนไฟ โดยรอบบริเวณจุดที่เลือกตามตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า โดยใช้ช่วงห่างแต่ละช่วงมีค่าต่างกันเพียง 5 หน่วย ดังตัวอย่าง การกระจายหาอัตราส่วนผสมชุดที่ 2 หน้า 34

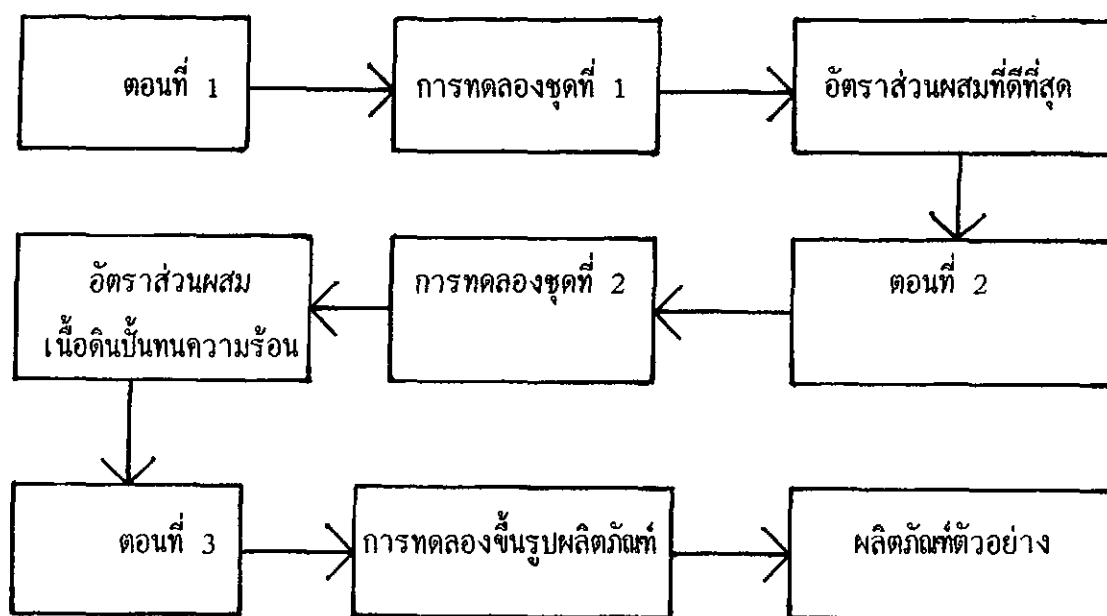
2. ชั่งวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมของการทดลองชุดที่ 2 ที่กระจายได้จุดละ 500 กรัม เพื่อนำไปทำชิ้นทดลองและชิ้นทดลองความทนไฟ อัตราส่วนผสมของการทดลองชุดที่ 2 จะมีทั้งหมด 9 อัตราส่วนผสม แล้วนำไปทดสอบตามลำดับขั้นเหมือนการทดลองชุดที่ 1

3. นำขึ้นทดลองชุดที่ 2 ที่ผ่านการเผาในระดับอุณหภูมิที่ 1,280 องศาเซลเซียส แล้วมาทดสอบ คือ

- 3.1 ทดสอบการหดตัวหลังการเผา
- 3.2 ทดสอบความพรุนตัว
- 3.3 ทดสอบความทนไฟ
- 3.4 ทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ตอนที่ 3 เป็นการนำผลการทดลองจุดที่ดีที่สุดจากการทดลองครั้งที่ 2 นำมาขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่างตามขั้นตอน ดังนี้

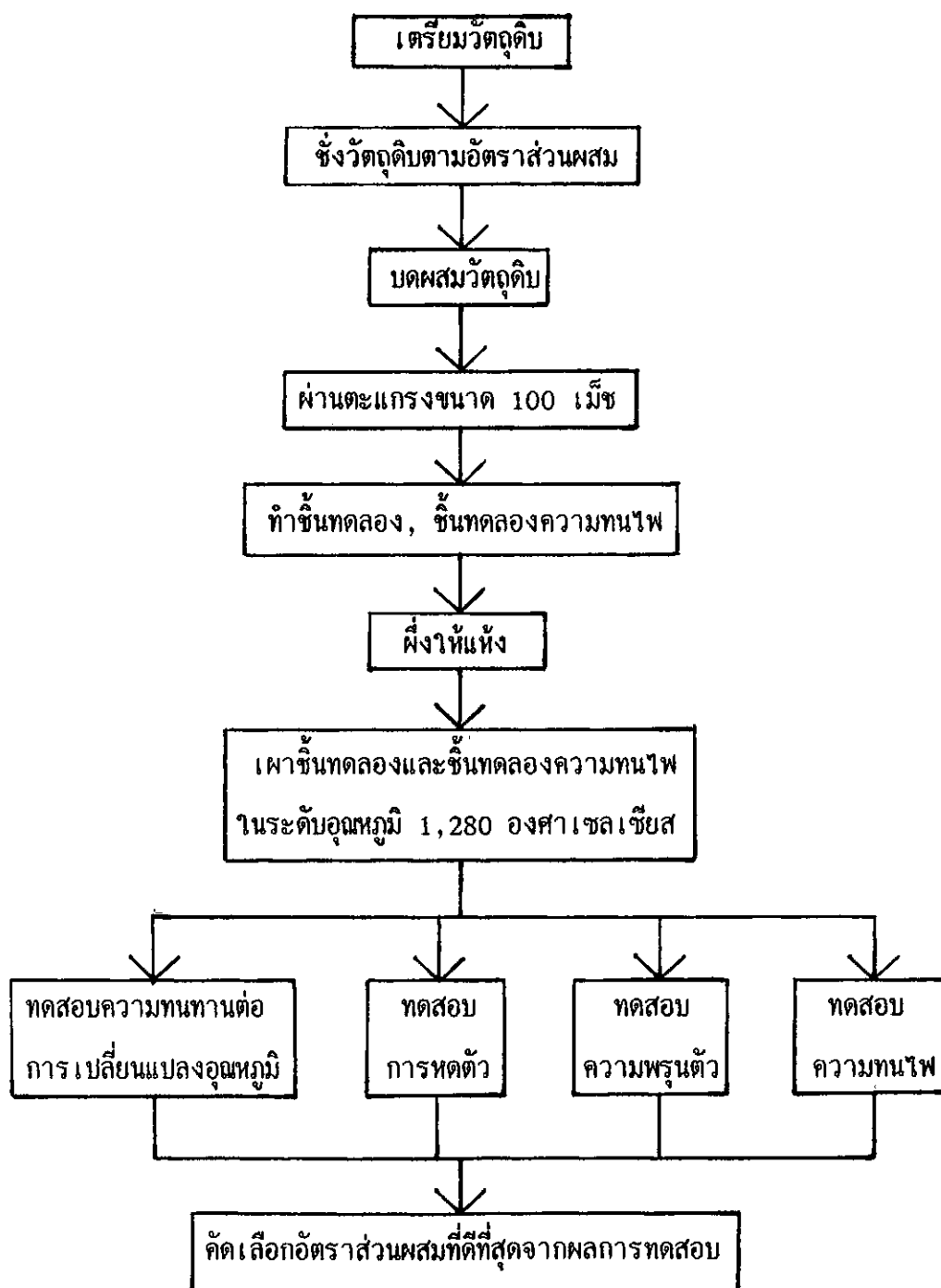
1. เตรียมวัตถุดิบ
 - 1.1 บดและร่อนวัตถุดิบผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช
 - 1.2 ชั่งและบดวัตถุดิบ โดยใช้หม้อบดขนาดใหญ่โดยผสมน้ำในวัตถุดิบ ร้อยละ 40
 - 1.3 นำน้ำดินออกมาผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช เติมสารโซเดียมซิลิเกตลงในน้ำดิน ร้อยละ 0.30 ของน้ำหนักเนื้อดินปั้น
2. ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ โดยนำน้ำดินไปหล่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากพิมพ์ที่เตรียมไว้
3. ผึ่งผลิตภัณฑ์ให้แห้งในอุณหภูมิปกติ ประมาณ 1 สัปดาห์
4. การเผาดิบ ใช้อุณหภูมิการเผาประมาณ 750 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการเผา 7 ชั่วโมง
5. การเคลือบผลิตภัณฑ์ จะเคลือบเฉพาะด้านในของผลิตภัณฑ์
6. การเผาเคลือบจะเผาที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการเผา 10 ชั่วโมง
7. คัดเลือกผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง



ภาพประกอบ 8 แผนภูมิแสดงลำดับขั้นตอนการทดลอง

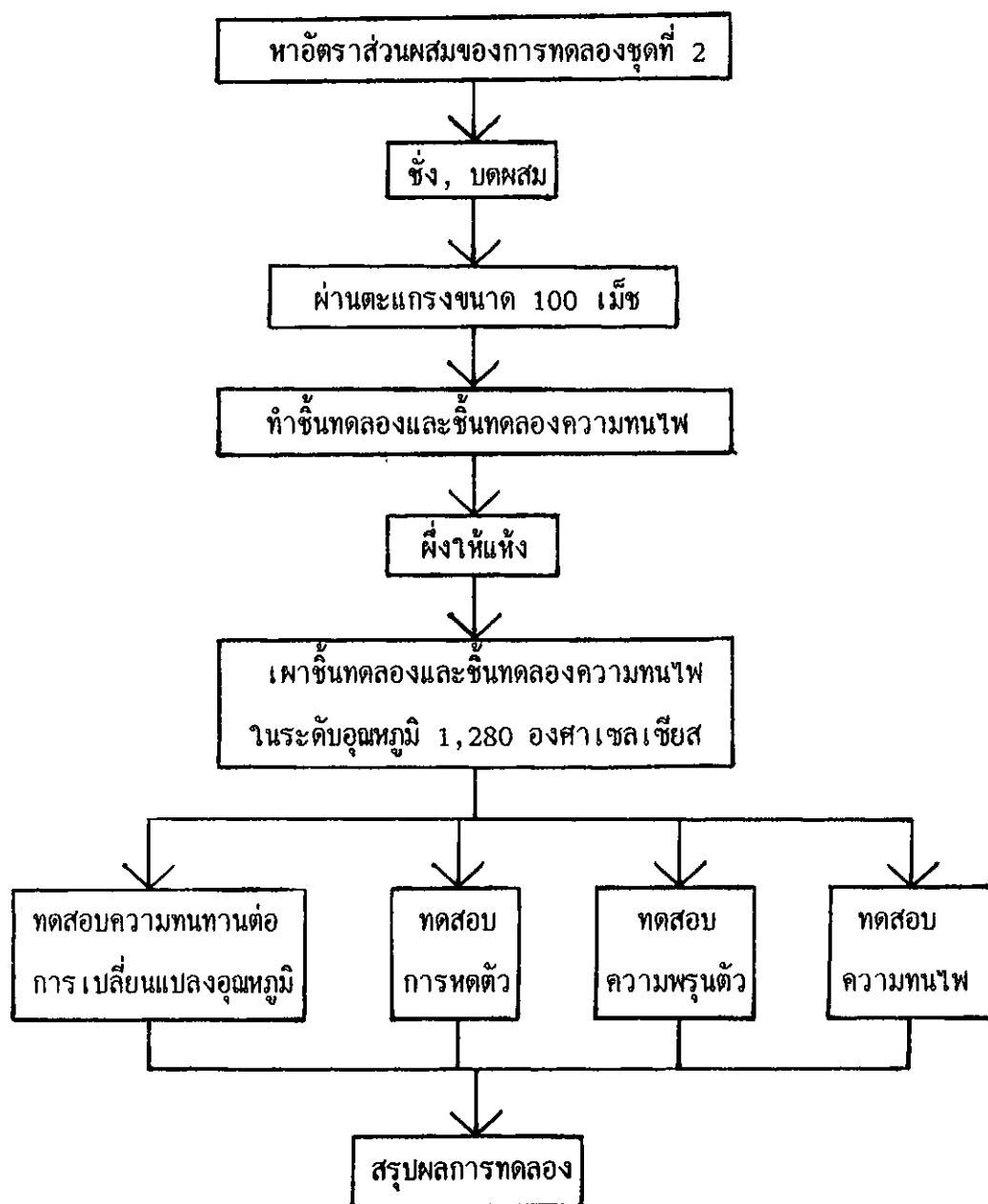
จากภาพประกอบ 8 ตอนที่ 1 เป็นการทดลองชุดที่ 1 เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุด เพื่อนำไปกระจายหาอัตราส่วนผสมการทดลองชุดที่ 2 ตอนที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อให้ได้ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นทนความร้อน ตอนที่ 3 เป็นการทดลองนำเนื้อดินปั้นทนความร้อนไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในแต่ละตอนแสดงลำดับขั้นตอนดังภาพประกอบ 9, 10 และ 11

ตอนที่ 1



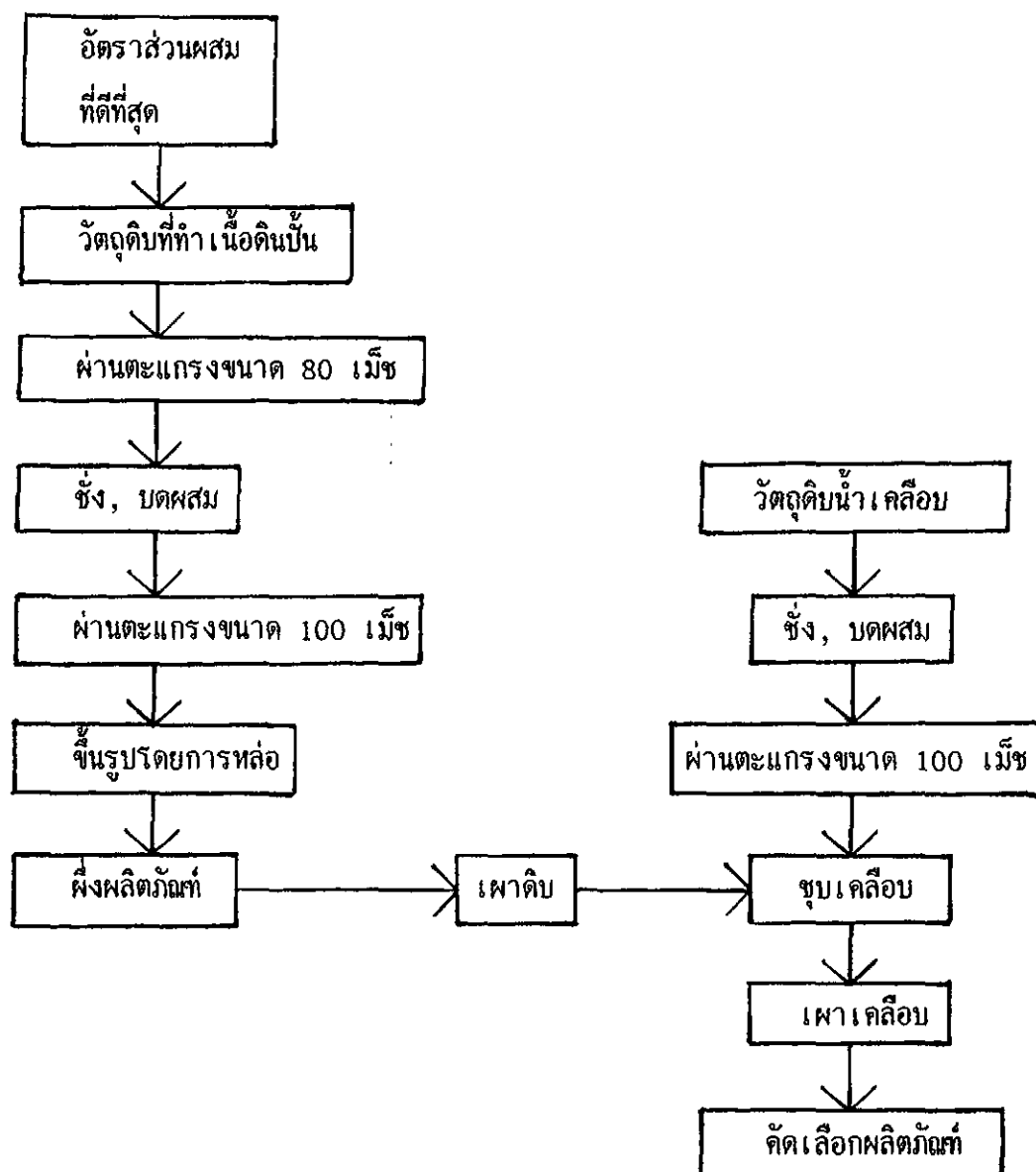
ภาพประกอบ 9 แผนภูมิแสดงลำดับขั้นตอนการทดลองตอนที่ 1

ตอนที่ 2



ภาพประกอบ 10 แผนภูมิแสดงลำดับขั้นตอนการทดลองตอนที่ 2

ตอนที่ 3



ภาพประกอบ 11 แผนภูมิแสดงลำดับขั้นตอนการทดลองตอนที่ 3

7. สูตรที่ใช้ในการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ได้นำสูตรมาใช้คำนวณเพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินนั้น ดังนี้

1. การหาร้อยละของการหดตัวหลังการเผา (Rhodes. 1973 : 200)

$$\text{การหดตัว} = \frac{\text{ความยาวดินเปียก} - \text{ความยาวของดินที่เผาแล้ว}}{\text{ความยาวดินเปียก}} \times 100$$

2. การหาร้อยละของการดูดซึมน้ำ (Kenny. 1949 : 158)

$$\text{การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักจุดอิ่มตัว} - \text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้ง}}{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้ง}} \times 100$$

8. สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง

1. สถานที่ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะวิชาอุตสาหกรรมศึกษา วิทยาลัยครูพระนคร
2. ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เริ่มจากเดือนมีนาคม 2536 ถึงเดือนตุลาคม 2537

ตาราง 5 ผลการทดลองชุดที่ 1

เนื้อดินชั้น หมายเลข	ความเหมาะสม กับการขึ้นรูป	ความทนทาน ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความ ทนไฟ
1	เหมาะสม	ผ่าน	14.0	10.88	ทนได้
2	เหมาะสม	ผ่าน	11.5	17.15	ทนได้
3	เหมาะสม	ผ่าน	8.0	22.07	ทนได้
4	เหมาะสม	ผ่าน	6.0	25.13	ทนได้
5	เหมาะสม	ผ่าน	15.0	4.66	ทนได้
6	เหมาะสม	ผ่าน	12.5	11.41	ทนได้
7	เหมาะสม	ผ่าน	6.5	23.17	ทนได้
8	ไม่เหมาะสม	-	-	-	-
9	เหมาะสม	ไม่ผ่าน	15.80	3.80	ทนได้
10	ไม่เหมาะสม	-	-	-	-
11	ไม่เหมาะสม	-	-	-	-
12	ไม่เหมาะสม	-	-	-	-
13	ไม่เหมาะสม	-	-	-	-
14	ไม่เหมาะสม	-	-	-	-
15	ไม่เหมาะสม	-	-	-	-
16	ไม่เหมาะสม	-	-	-	-

จากตาราง 5 แสดงให้เห็นว่าเนื้อดินบ้นที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อพิมพ์ ได้แก่ เนื้อดินบ้น หมายเลข 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 9 เมื่อนำเนื้อดินบ้นไปเผาที่ระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าสามารถทนไฟได้ทุกหมายเลข เนื้อดินบ้นที่มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0-10 ได้แก่ เนื้อดินบ้นหมายเลข 5 และ 9 คือ ดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 4.66 และ 3.80 ตามลำดับ

จากผลการทดลองตอนที่ 1 ผู้วิจัยได้เลือกเนื้อดินบ้นหมายเลข 5 เพื่อนำไปกระจาย ห้าอัตราส่วนผสมของเนื้อดินบ้นในตอนต่อไป

ผลการทดลองตอนที่ 2 ขึ้นรูปและเผาขึ้นทดลองของการทดลองชุดที่ 2 ซึ่งได้จากการกระจายอัตราส่วนผสมหมายเลข 5 ได้ทั้งหมด 9 อัตราส่วนผสม (ดูการกระจายจุดในภาคผนวก) ปรากฏผลตามตาราง 6

ตาราง 6 ผลการทดลองชุดที่ 2

เนื้อดินบ้น หมายเลข	ความเหมาะสม กับการขึ้นรูป	ความทนทนต่อการ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความ ทนไฟ
5.1	เหมาะสม	ผ่าน	15.8	6.71	ทนได้
5.2	เหมาะสม	ผ่าน	14.5	9.38	ทนได้
5.3	เหมาะสม	ผ่าน	12.5	12.32	ทนได้
5.4	เหมาะสม	ไม่ผ่าน	15.5	0.10	ทนได้
5.5	เหมาะสม	ผ่าน	14.8	4.30	ทนได้
5.6	เหมาะสม	ผ่าน	13.5	5.10	ทนได้
5.7	เหมาะสม	ไม่ผ่าน	16.0	0.00	ทนได้
5.8	เหมาะสม	ไม่ผ่าน	15.5	2.44	ทนได้
5.9	เหมาะสม	ผ่าน	14.5	4.25	ทนได้

จากตาราง 6 เนื้อดินปั้นทุกอัตราส่วนผสมมีความเหมาะสมกับการขึ้นรูปโดยการหล่อ สามารถทนไฟในระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส ได้ทุกหมายเลข การดูดซึมน้ำร้อยละ 0-10 ได้แก่ เนื้อดินหมายเลข 5.1, 5.2, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 และ 5.9 คือ ดูดซึมน้ำร้อยละ 6.71, 9.38, 0.10, 4.30, 5.10, 0.00, 2.44 และ 4.25 ตามลำดับ เนื้อดินปั้นที่ผ่านเกณฑ์ทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 5.1, 5.2, 5.3, 5.5, 5.6 และ 5.9

จากผลการทดลองตอนที่ 2 มีเนื้อดินปั้นที่สามารถนำไปทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด คือ เนื้อดินหมายเลข 5.1, 5.2, 5.5, 5.6 และ 5.9 ผู้วิจัยได้ทดลองนำเนื้อดินปั้นหมายเลข 5.6 ไปทดลองขึ้นรูปภาชนะ เนื่องจากมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระดับที่ดีมาก (ดูตารางการทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในภาคผนวก)

ผลการทดลองตอนที่ 3 ใช้อัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นหมายเลข 5.6 มาทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในรูปของภาชนะหุ้งต้ม แล้วทดสอบการใช้งานซึ่งปรากฏผลดังนี้

เนื้อดินปั้นสามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อได้ผลดีเมื่อเผาในระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส เนื้อดินปั้นสามารถทนต่อความร้อนได้ดี ไม่มีการบิดเบี้ยว และเคลือบสามารถจับติดผิวเนื้อดินปั้นได้ดี เมื่อนำภาชนะมาทดลองประกอบอาหารปรากฏว่า ภาชนะสามารถใช้งานได้ดี โดยสามารถใช้ประกอบอาหารในเตาอบ และสามารถใช้อประกอบอาหารโดยสัมผัสเปลวไฟโดยตรงได้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลองครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้เนื้อดินปั้นเพื่อผลิตภาชนะทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น จากอัตราส่วนผสมระหว่างอะลูมินา ดินขาว หินฟันม้า และดินเหนียว ภายใต้อารางสีเหลือง การหาอัตราส่วนผสม การทดลองครั้งนี้ได้แบ่งลำดับขั้นการทดลองเป็น 3 ตอน คือ

ตอนที่ 1 เป็นการทดลองเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดที่ผ่านเกณฑ์การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพทั้งก่อนและหลังการเผา เพื่อจะนำไปทำการทดลองขั้นที่ 2 ต่อไป

ตอนที่ 2 เป็นการนำอัตราส่วนผสมที่คัดเลือกได้จากตอนที่ 1 มาหาอัตราส่วนที่ละเอียดขึ้น แล้วทดลองซ้ำเพื่อให้ได้ผลที่ดีที่สุดไปทำการทดลองขั้นรูปภาชนะ

ตอนที่ 3 เป็นการขึ้นรูปภาชนะทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น และทดสอบคุณสมบัติการใช้งาน

เกณฑ์คัดเลือกเนื้อดินปั้นทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น

1. ความทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ต้องสามารถทนทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจาก 150 องศาเซลเซียส ลงในน้ำเย็นได้โดยไม่แตกร้ายเสียหาย
2. การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นจะดูดซึมน้ำได้ในระหว่างร้อยละ 0-10
3. ความทนไฟของเนื้อดินปั้นต้องสามารถทนความร้อนได้ตั้งแต่ 1,280 องศาเซลเซียส ขึ้นไป

ผลการทดลองตอนที่ 1 เมื่อเตรียมเนื้อดินปั้นแล้วนำไปขึ้นรูปขึ้นทดลองด้วยวิธีการหล่อพิมพ์ แล้วนำไปเผาในระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส ปรากฏผลดังตาราง 5

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองทำภาชนะทนความร้อนชนิดเนื้อแน่นจากอัตราส่วนผสมระหว่างอะลูมินา ดินขาว หินพัมัว และดินเหนียว

จุดมุ่งหมายของการทดลอง

การทดลองครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาเนื้อดินปั้นทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น จากอัตราส่วนผสมระหว่างอะลูมินา ดินขาว หินพัมัว และดินเหนียว ให้สามารถนำผลการทดลองมาผลิตเป็นภาชนะทนความร้อนชนิดเนื้อแน่นได้ ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองเป็น 3 ตอน คือ

ตอนที่ 1 เป็นการทดลองชุดที่ 1 โดยใช้อัตราส่วนผสมระหว่างอะลูมินาร้อยละ 10-40 ดินขาวลำปางร้อยละ 10-40 หินพัมัวร้อยละ 10-40 และดินเหนียวพรุร้อยละ 10-40 จำนวน 16 อัตราส่วนผสม ขึ้นรูปขึ้นทดสอบด้วยวิธีการหล่อพิมพ์ เเผาในระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส แล้วนำมาทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนดเพื่อหาจุดที่ดีที่สุดสำหรับนำไปทดลองตอนต่อไป

ตอนที่ 2 เป็นการทดลองชุดที่ 2 โดยนำจุดที่ดีที่สุดจากการทดลองชุดที่ 1 มากระจายอัตราส่วนผสมด้วยตารางสี่เหลี่ยม ทำให้ได้อัตราส่วนผสมใหม่อีกจำนวน 9 อัตราส่วนผสม ทำการทดลองซ้ำเหมือนการทดลองชุดที่ 1 แล้วนำมาทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนด ก็คือ มีความทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างน้อยจาก 150 องศาเซลเซียส ลงน้ำเย็นได้โดยไม่แตกร้าวเสียหาย การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นจะอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 0-10 และความทนไฟของเนื้อดินปั้นต้องสามารถทนความร้อนได้ตั้งแต่ 1,280 องศาเซลเซียสขึ้นไป

ตอนที่ 3 เป็นการทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากเนื้อดินปั้นทนความร้อนชนิดเนื้อแน่นที่สุดที่ทดลองได้จาก ตอนที่ 2 แล้วทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน

สรุปผลการทดลอง

ตอนที่ 1 เมื่อชั่ง บดผสม เนื้อดินปั้นทั้ง 16 ส่วนผสมแล้ว นำเนื้อดินปั้นไปขึ้นรูปขึ้นทดลองด้วยวิธีการหล่อพิมพ์ มีเนื้อดินปั้นที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อพิมพ์ทั้งสิ้น 8 อัตราส่วน ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 9 จากนั้นนำขึ้นทดลองไปเผาที่ระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าขึ้นทดลองทุกหมายเลขสามารถทนไฟได้ เนื้อดินปั้นที่มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0-10 ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 5 และ 9 คือ ดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 4.66 และ 3.80 ตามลำดับ และเมื่อทำการทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ มีเนื้อดินปั้นที่ผ่านการทดสอบ ได้แก่ หมายเลข 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 เนื้อดินปั้นที่มีความเหมาะสมตามเกณฑ์คัดเลือก ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 5 ประกอบไปด้วย อะลูมินาร้อยละ 10 ดินขาวลำปางร้อยละ 30 ดินเหนียวพรุร้อยละ 40 และหินพัมมาร์ร้อยละ 20

ตอนที่ 2 เป็นการทดลองอัตราส่วนผสม จำนวน 9 จุด ที่ได้จากการกระจายอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้น หมายเลข 5 ซึ่งอัตราส่วนผสมประกอบไปด้วย อะลูมินาร้อยละ 5-15 ดินขาวลำปางร้อยละ 25-35 หินพัมมาร์ร้อยละ 15-25 และดินเหนียวพรุร้อยละ 35-45 ปรากฏว่า เนื้อดินปั้นทุกอัตราส่วนผสมมีความเหมาะสมกับการขึ้นรูปโดยการหล่อ และสามารถทนไฟในระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียสได้ทุกหมายเลข อัตราการดูดซึมน้ำร้อยละ 0-10 ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 5.1, 5.2, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 และ 5.9 คือ ดูดซึมน้ำร้อยละ 6.71, 9.38, 0.10, 4.30, 5.10, 0.00, 2.44 และ 4.25 ตามลำดับ เนื้อดินปั้นที่ผ่านเกณฑ์ทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 5.1, 5.2, 5.3, 5.5, 5.6 และ 5.9

จากผลการทดลองตอนที่ 2 มีเนื้อมันที่สามารถนำไปทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด คือ เนื้อมันหมายเลข 5.1, 5.2, 5.5, 5.6 และ 5.9

ตอนที่ 3 นำอัตราส่วนผสมเนื้อมันหมายเลข 5.6 ประกอบไปด้วย อะลูมินาร้อยละ 15 ดินขาวร้อยละ 30 หินฟันม้าร้อยละ 20 และดินเหนียวร้อยละ 35 มาทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ในรูปของภาชนะหุงต้ม ผลปรากฏว่า เนื้อมันสามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อพิมพ์ได้ดี เมื่อเผาในระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส เนื้อมันสามารถทนต่อความร้อนได้ดี ไม่มีการบิดเบี้ยว ยุบตัว และเคลือบสามารถจับติดผิวเนื้อมันได้ดี เมื่อนำภาชนะมาทดลองประสิทธิภาพการใช้งาน ปรากฏว่า ภาชนะสามารถใช้งานได้ดีโดยสามารถหุงประกอบอาหารด้วยวิธีการอบ นึ่ง และเมื่อนำภาชนะไปทดสอบในลักษณะสัมผัสเปลวไฟโดยตรงโดยไม่ให้ความร้อนอย่างช้า ๆ ก็สามารถต้มน้ำปริมาตร 500 มิลลิลิตร ให้เดือดได้ในเวลา 8 นาที

อภิปรายผล

จากการทดลองอัตราส่วนผสมระหว่าง อะลูมินาร้อยละ 10-40 ดินขาวร้อยละ 10-40 หินฟันม้าร้อยละ 10-40 และดินเหนียวร้อยละ 10-40 ขึ้นรูปด้วยการหล่อพิมพ์เผาในระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส ผลการทดลองมีดังนี้

การทดลองตอนที่ 1 พบว่า อัตราส่วนผสมของเนื้อมันที่ดีที่สุดตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ มีปริมาณ อะลูมินาร้อยละ 10 ดินขาวร้อยละ 30 หินฟันม้าร้อยละ 20 และดินเหนียวร้อยละ 40 อัตราส่วนผสมของเนื้อมันที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปด้วยการหล่อพิมพ์มีปริมาณของดินขาวรวมกับดินเหนียวเป็นอัตราส่วนผสมอยู่ระหว่างร้อยละ 50-80 และอัตราส่วนผสมของเนื้อมันที่มีปริมาณหินฟันม้ามากกว่าอะลูมินา เมื่อผ่านการเผาที่ระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส จะมีอัตราการหดตัวมาก แต่ความพรุนตัวจะลดต่ำลง อัตราส่วนผสมของเนื้อมันที่มีปริมาณอะลูมินาสูงจะมีการหดตัวน้อย แต่มีความพรุนตัวจะสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ รกมล รักษ์วงศ์ (2531 : 30)

การทดลองตอนที่ 2 พบว่า การนำอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่ผ่านเกณฑ์คัดเลือก มาขยายจุดการทดลองส่งผลให้อัตราส่วนผสมที่เกิดขึ้นมีปริมาณวัตถุดิบอยู่ในสัดส่วนที่ละเอียดขึ้น อัตราส่วนผสมทุกจุดมีความเหมาะสมกับการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อพิมพ์ เนื้อดินสามารถทนไฟได้ใน ระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส ได้ทั้ง 9 จุด ความพรุนตัวของเนื้อดินปั้นเกือบทั้งหมด อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ ร้อยละ 0-10 มีเนื้อดินหมายเลข 5.3 เพียงจุดเดียวที่มีอัตราการ ดูดซึมน้ำร้อยละ 12.32 ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราส่วนผสมของ อะลูมินาต่อหินฟันม้า เท่ากับ 1:1 การหดตัวเมื่อผ่านการเผาในระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส แล้วอยู่ระหว่างร้อยละ 12.5-16.0 ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับความพรุนตัวของเนื้อดิน กล่าวคือ เนื้อดินปั้นที่มีความพรุนตัวน้อยจะมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ต่ำ ซึ่ง สอดคล้องกับความเห็นของ ทวี พรหมพฤกษ์ (2523 : 84)

การทดลองตอนที่ 3 พบว่า การนำภาชนะทนความร้อนชนิดเนื้อแน่นไปทดลองหา ประสิทธิภาพการใช้งาน ปรากฏว่า ภาชนะตัวอย่างสามารถใช้งานได้ดีในลักษณะการประกอบ อาหารด้วยวิธีการอบ หรือึ่งไอน้ำ และสามารถใช้ในการประกอบอาหารโดยให้ภาชนะสัมผัส เปลวไฟโดยตรงได้ โดยให้ความร้อนอย่างช้า ๆ ซึ่งสอดคล้องกับความเห็นของ จิงเกอร์ (1963 : 1100) ผู้วิจัยได้ทดลองใช้ภาชนะตัวอย่างต้มน้ำ 500 กรัม ด้วยเตาแก๊ส สามารถ ต้มน้ำให้เดือดได้ในเวลา 8 นาที ภาชนะทนความร้อนสามารถนำไปใช้บนโต๊ะอาหารในรูปของ ภาชนะอาหาร โดยใช้กับเตาที่ใช้ถ่านไม้หรือเชื้อเพลิงแข็ง เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนขณะ รับประทานได้ดี และตัวภาชนะเองมีคุณสมบัติในการเก็บความร้อนได้ดีอีกด้วย จากการทดสอบ คุณสมบัติการใช้งาน พบว่า ภาชนะตัวอย่างที่เคลือบภายในหนาจะเกิดการแตกร้าวเสียหายได้ ง่ายกว่าการเคลือบที่บางกว่า

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการทดลองไปใช้

1.1 การนำผลการทดลองนี้ไปใช้ในการทำภาระทนความร้อนชนิดเนื้อแน่นที่ระดับอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส ควรมีการทดลองอัตราส่วนผสมอีกครั้งหนึ่งเพื่อความมั่นใจ เนื่องจากวัตถุดิบจากแหล่งอื่น ๆ ที่นำมาใช้แต่ละครั้ง อาจมีความแตกต่างกันทำให้ได้ผลไม่ตรงกับที่ผู้วิจัยได้ทดลองไว้

1.2 การนำผลการทดลองนี้ไปใช้กับเคลือบสูตรอื่น ควรมีการทดลองอีกเช่นกัน เนื่องจากเนื้อดินของผู้วิจัยอาจจะไม่เหมาะสมกับเคลือบสูตรอื่น ซึ่งอาจทำให้ผลไม่เป็นไปตามที่ต้องการ

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ควรศึกษาโดยการนำอัตราส่วนผสมที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ไปพัฒนาเป็นเนื้อดินปั้นที่มีคุณสมบัติเฉพาะด้าน เช่น ใสกรอง เนื่องจากเนื้อดินปั้นมีอะลูมินาสูง และอุปกรณ์ที่ใช้ในเตาอบชนิดต่าง ๆ เป็นต้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

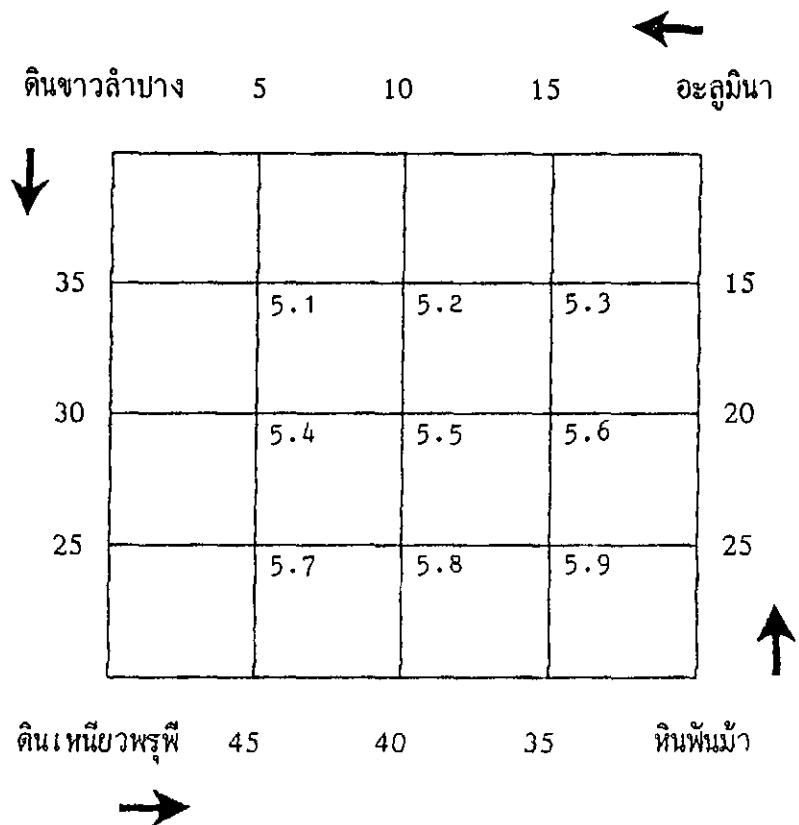
- โกมล รักวงศ์. วัตถุดิบที่ใช้งานเครื่องปั้นดินเผาและเนื้อดินปั้น. นนทบุรี : โรงเรียน
มารदानุเคราะห์, 2531.
- เจริญ วัชรรังสี. "คำกล่าวรายงานในพิธีเปิดการสัมมนา เรื่อง การพัฒนาเทคโนโลยี
เซรามิกส์เพื่อการส่งออก," ใน การพัฒนาเทคโนโลยีเซรามิกส์เพื่อการส่งออก.
กรุงเทพฯ : กรมวิทยาศาสตร์, 2531.
- ทวี พรหมพฤษ. เครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2523.
_____. เตาและการเผา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จงเจริญการพิมพ์, 2525.
- บัญญัติ บรรทัดฐาน. "คำกล่าวเปิดการสัมมนา เรื่อง การพัฒนาเทคโนโลยีเซรามิกส์เพื่อ
การส่งออก," ใน การพัฒนาเทคโนโลยีเซรามิกส์เพื่อการส่งออก. กรุงเทพฯ :
กรมวิทยาศาสตร์, 2531.
- เบญจวรรณ มณีฉาย. เหตุการณ์ทันโลกฉบับพิเศษ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ภูมิบัณฑิต, ม.ป.ป.
- ปรีดา พิมพ์ขาวจำ. เซรามิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
2532.
- พิมพ์วิมล วัฒนภาส. รายงานผลการวิจัยผลิตภัณฑ์ทนความร้อนชนิดเนื้อแน่น. กรุงเทพฯ :
ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกส์ กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ,
ม.ป.ป.
- สมศักดิ์ แท้มบุญเลิศชัย จีระศักดิ์ พงษ์พิชญพิจิตร และสมคิด จาตุศรีพิทักษ์. "แนวโน้มและ
สู่ทางการส่งออกผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ในตลาดโลก," ใน การพัฒนาเทคโนโลยีเซรามิกส์
เพื่อการส่งออก. กรุงเทพฯ : กรมวิทยาศาสตร์, 2531.
- สุรศักดิ์ อกสิทธิ์. น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช, 2531.
- อนันต์ศักดิ์ โชติมงคล. "วัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์," เซรามิกส์ไทย.

- Fraser, Harry. Glazes for the Craft Potter. London : Pitman Publishing, 1973.
- Hopper, Robin. The Ceramic Spectrum. Pennsylvania : Chilton Book Company, 1984.
- Kawahara, Akihiko and others. "Preparation of Porous Alumina Ceramics by Using the Gelation of Aluminium Alginate," Journal of the Ceramic Society of Japan. 100(2) : 228-231; February, 1992.
- Kenny, John B. The Complete of Pottery Making. New York : Chilton Book Company, 1949.
- Kobayashi, Yuichi and others. "Vitrification of Whiteware Bodies in Alumina-feldspar-kaolin System," Journal of the Ceramic Society of Japan. 100(5) : 737-743; May, 1992.
- Nelson, Glenn C. Ceramics. Duluth : Holt, Rinehart and Winston Inc., 1966.
- Rhodes, Daniel. Clay and Glazes for the Potter. London : Pitman Publishing Company, 1973.
- Singer, Sonja S. Industrial Ceramics. London : Chapman and Hall Ltd., 1963.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก .

**การกระจายอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นจากการทดลอง
ของจุดที่ดีที่สุดของการทดลองตอนที่ 1**



ภาพประกอบ 12 แสดงการกระจายอัตราส่วนผสมจุดที่ 5

ภาคผนวก ข .

แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อการ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชั้นทดลอง

ตาราง 8 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชั้นทดลอง ตอนที่ 1

ชั้นทดลอง	ระดับอุณหภูมิทดสอบเป็นองศาเซลเซียส									
	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	X	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ทำการทดสอบ 5 ครั้ง

✓ ผ่านการทดสอบ

X ไม่ผ่านการทดสอบ

ตาราง 9 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชั้นทดลอง ตอนที่ 2

ชั้นทดลอง	ระดับอุณหภูมิทดสอบเป็นองศาเซลเซียส									
หมายเลข	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
5.1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5.2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5.4	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5.6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5.7	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.8	✓	✓	X	-	-	-	-	-	-	-
5.9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

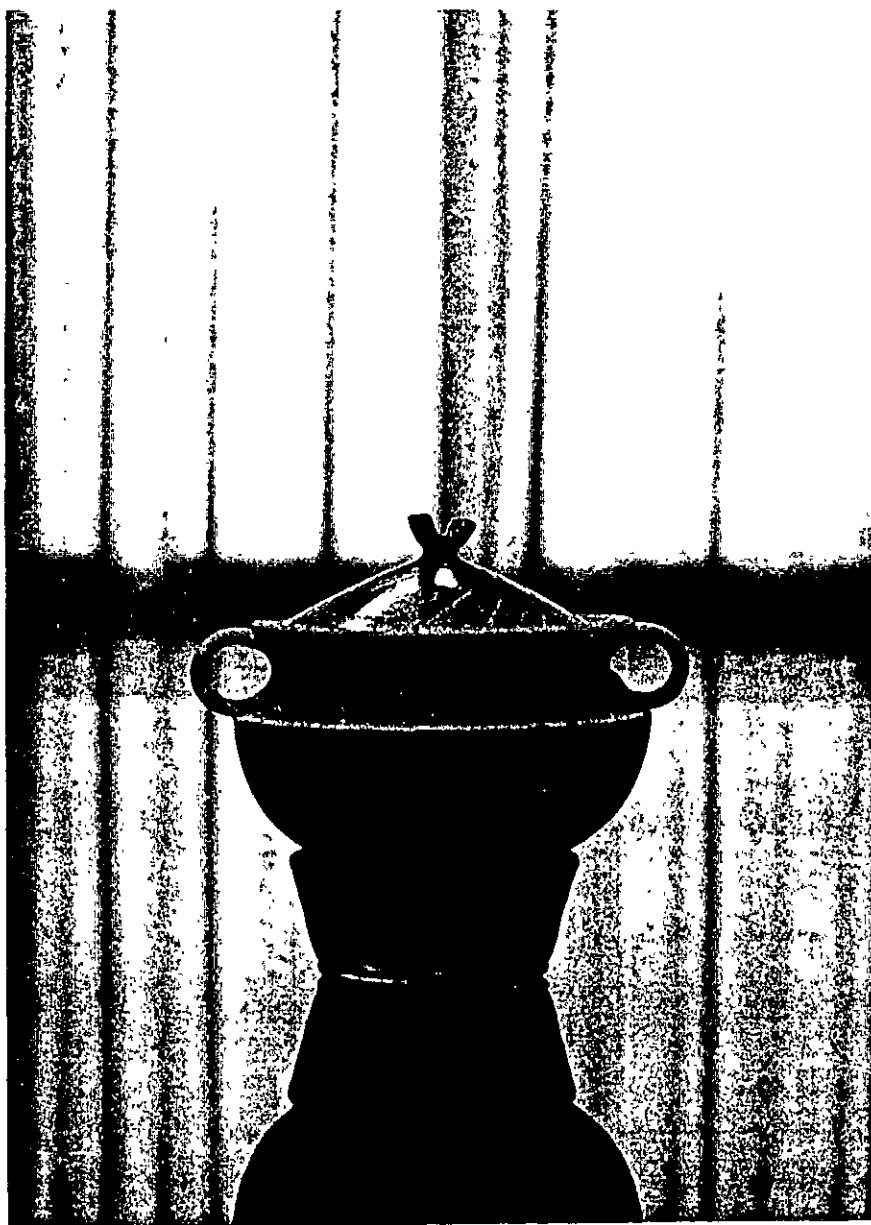
หมายเหตุ : ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ทำการทดสอบ 5 ครั้ง

✓ ผ่านการทดสอบ

X ไม่ผ่านการทดสอบ

ภาคผนวก ค .

ภาพผลิตภัณฑ์อาหารทะเลความชื้นชนิดเนื้อแน่น



ภาพประกอบ 13 ภาพผลิตภัณฑ์ภาชนะทนความร้อนชนิดเน้นเน้น

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ นายสาธิต ชลชาติภิญโญ

เกิดวันที่ 8 เดือนพฤษภาคม พุทธศักราช 2499

สถานที่เกิด อ.หันคา จ.ชัยนาท

สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 34/2 หมู่ 2 ต.บางพรหม เขตตลิ่งชัน กรุงเทพมหานคร

ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน อาจารย์ 2

สถานที่ทำงาน วิทยาลัยครูพระนคร

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2514 ม.ศ. 3 จากโรงเรียนการมัธยมศึกษาลัย จ.สุพรรณบุรี

พ.ศ. 2516 ป.กศ. จากวิทยาลัยครูสวนสุนันทา

พ.ศ. 2518 ป.กศ.สูง (วิชาเอกอุตสาหกรรมศิลป์ สาขาเครื่องปั้นดินเผา) จากวิทยาลัยครูพระนคร

พ.ศ. 2523 ค.บ. (วิชาเอกอุตสาหกรรมศิลป์ สาขาเครื่องปั้นดินเผา) จากวิทยาลัยครูพระนคร

พ.ศ. 2537 กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร