# รายงานวิจัย

# การผลิตกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา

# Manufacturing of Tile from Para Rubber Wood Asheses


โดย

ฐิติรัตน์ นิลวิจิตร

ซูไวบะห์ มะหมีน

อาแอเสาะ ยูโซ๊ะ



ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณบำรุงการศึกษาประจำปี 2558

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

**ชื่อเรื่อง** การผลิตกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา

**ผู้วิจัย** นางฐิติรัตน์ นิลวิจิตร

นางสาวซูไวบะห์ มะหมีน

นางสาวอาแอเสาะ ยูโซ๊ะ

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลของกระเบื้องที่มีส่วนผสมของขี้เถ้าไม้ยางพาราให้ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.613-2529 เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งาน และเพิ่มมูลค่าของขี้เถ้าไม้ยางพารา โดยกำหนดอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของขี้เถ้าไม้ยางพาราเท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ส่วน ตามลำดับ ต่ออัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของดินดำ หินฟันม้าและทรายแก้วซึ่งมีปริมาณคงที่เป็น 3 : 1.5 : 2 และอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของปริมาณน้ำแปรผันตรงกับปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา เท่ากับ 2.6, 3.0, 3.4, 3.8, 4.2 และ 4.6 ตามลำดับ โดยเทียบอัตรส่วนของน้ำต่อขี้เถ้าไม้ยางพารา เท่ากับร้อยละ 1 : 0.4 เป็นส่วนผสมเพื่อขึ้นรูปกระเบื้องขนาดทดสอบ ซึ่งกว้าง 20 มิลลิเมตร ยาว 23 มิลลิเมตร หนา 0.3 เซนติเมตร อบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ก่อนเผาบิสกิตที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส นำกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลด้านต่างๆ พบว่า ปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพาราร้อยละ 2 มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ 6.76 บริเวณผิวเคลือบของกระเบื้องไม่ปรากฏเป็นรอยร้าว กระเบื้องมีความแข็งแรงสามารถต้านแรงกระแทกและมีค่าร้อยละการหดตัวเชิงเส้นหลังเผา 0.52 จัดเป็นผลิตภัณฑ์กระเบื้องที่มีสมบัติเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.613-2529 ซึ่งเหมาะสำหรับใช้งานเป็นกระเบื้องบุผนังภายใน

**คำสำคัญ:** กระเบื้อง ขี้เถ้าไม้ยางพารา มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.613-2529

**Title** Manufacturing of Tile from Para Rubber Wood Asheses.

**Author** Mrs. Thitirat Srisawat

Miss.Suwaibah Mameen

Miss.A-aesoh Yusoh

## Abstract

This research aims to study the ratio of ashes from rubber tree used to make tile and study the mechanical qualification of tile made from rubber tree's ashes to meet Thai Industrial Standards or TIS 613-2529 by fixing the ratio of gunpowder, soda-lime glass and the merger to be stable while the gradually increasing the ratio of rubber tree's ashes to be 2, 3, 4, 5, 6 and 7 position respectively. And the ratio of clay, rock feldspar and sai be stable 3 : 1.5 : 2. Also the ratio of water used will direct variation to the quantity of rubber tree's ashes to be 2.6, 3.0, 3.4, 3.8, 4.2 และ 4.6 . These will be mixed together and form into the rectangle figure by the size of 20 x 23 millimeter with 0.3 centimeter high before baking it at 160 degree Celsius then burn it at 1100 degree Celsius.When comparing the mechanical qualifications of tile made from rubber tree's ashes, the research shows that using the ratio of rubber tree's ashes at 2 % position will set the product meet Thai Industrials Standards 613-2529 with the percentage of water absorbability is 6.76, no traces of crack at the surface of the tiles. The tile has a very strong structure and can also endure the heavy lifting or attack while the percentage of linear contraction after burning is 0.52 which is suitable for internal walls work.

**Keyword:** Tile, Para Rubber Wood ashes, Thai Industrials Standards 613-2529

# กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งจากคณาจารย์และนักวิทยาศาสตร์ ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตร์ทั่วไป หลักสูตรฟิสิกส์ และศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ที่ให้ความช่วยเหลือและข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้การสนับสนุนในการทำการวิจัยและขอบคุณนักศึกษาสาขาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

นางฐิติรัตน์ นิลวิจิตร

นางสาวซูไวบะห์ มะหมีน

นางสาวอาแอเสาะ ยูโซ๊ะ

กรกฎาคม 2558

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา YALA RAJABHAT UNIVERSITY

# สารบัญ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| **บทคัดย่อภาษาไทย** | ก |
| **บทคัดย่อภาษาอังกฤษ** | ข |
| **กิตติกรรมประกาศ** | ค |
| **สารบัญ** | ง |
| **สารบัญตาราง** | ฉ |
| **สารบัญภาพ** | ช |
| **บทที่ 1 บทนำ** | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.3 ขอบเขต | 2 |
| 1.4 สมมุติฐาน | 4 |
| 1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ | 4 |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 4 |
| **บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** | 5 |
| 2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง | 5 |
| 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 19 |
| **บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย** | 25 |
| 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง | 25 |
| 3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย | 27 |
| **บทที่ 4 ผลการวิจัย** | 34 |
| 4.1 ผลการวิจัย | 34 |
| **บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ** | 38 |
| 5.1 สรุปผล | 38 |
| 5.2 อภิปรายผล | 38 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ | 41 |
| **บรรณานุกรม** | 42 |


มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา YALA RAJABHAT UNIVERSITY

# สารบัญ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| **ภาคผนวก** | 44 |
| ภาคผนวก ก ภาพผลการทดลองในขั้นตอนการผลิตกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา | |
| ภาคผนวก ก ภาพผลการทดลองในขั้นตอนการผลิตกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา | 41 |
| ภาคผนวก ข ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง | 57 |
| ภาคผนวก ค สูตรที่ใช้ในการคำนวณการทดสอบสมบัติเชิงกล | 65 |
| ภาคผนวก ง ประวัติผู้วิจัย | 67 |


มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา YALA RAJABHAT UNIVERSITY

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | แสดงอัตราส่วนผสมของขี้เถ้าไม้ยางพารา | 3 |
| 2 | ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน | 7 |
| 3 | แสดงค่าความหนาของกระเบื้องเทียบกับระยะความสูงของลูกเหล็กที่ใช้ทดสอบการต้านการกระแทก | 10 |
| 4 | แสดงผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราให้ได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม | 58 |
| 5 | การหาค่าการดูดซึมน้ำของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา | 58 |
| 6 | การหาค่าร้อยละการทนต่อการรานของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา | 59 |
| 7 | การหาค่าร้อยละการต้านกระแทกของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา | 61 |
| 8 | การหาค่าเฉลี่ยด้านยาวและด้านกว้างของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา | 62 |
| 9 | แสดงค่าเฉลี่ยและค่าร้อยละด้านยาวและด้านกว้างของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา | 64 |
| 10 | การหาค่าร้อยละด้านยาวและด้านกว้างของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา | 64 |


มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา YALA RAJABHAT UNIVERSITY

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | ไดอะแกรมกระบวนการผลิตเซรามิก | 18 |
| 2 | ไดอะแกรมการผลิตกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา | 26 |
| 3 | ดินดำที่ตากจนแห้งสนิท | 27 |
| 4 | ขี้เถ้าไม้ยางพาราที่ตากจนแห้งสนิท | 28 |
| 5 | แก้วโซดาไลม์ที่ผ่านการบดจนเป็นเนื้อละเอียด | 28 |
| 6 | การอัดขึ้นรูปตามแบบพิมพ์ | 29 |
| 7 | การอบแห้งกระเบื้องที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง | 29 |
| 8 | เผาบิสกิตกระเบื้องที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 – 10 ชั่วโมง | 30 |
| 9 | กระเบื้องที่ทาสีทนไฟและนำไปชุบน้ำเคลือบ | 30 |
| 10 | กระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราเผาเคลือบ ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 – 12 ชั่วโมง | 31 |
| 11 | กระเบื้องหลังจากแช่น้ำ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง | 31 |
| 12 | การทดสอบการทนต่อการราน | 32 |
| 13 | การทดสอบการต้านการกระแทกของกระเบื้อง | 33 |
| 14 | การวัดค่าการหดตัวเชิงเส้นหลังเผาของกระเบื้อง | 33 |
| 15 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพารากับค่าร้อยละสมบัติเชิงกลทั้ง 4 ด้านของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา | 35 |
| 16 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพารากับค่าร้อยละสมบัติเชิงกลทั้ง 3 ด้านของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา | 36 |
| 17 | บีบหรือขยำดินให้ละเอียด | 46 |
| 18 | หมักดินทิ้งไว้ 1 คืน | 46 |
| 19 | ร่อนน้ำดินกำจัดเศษขยะ | 47 |
| 20 | ตากดินให้แห้ง | 47 |
| 21 | ดินดำที่แห้งสนิท | 48 |
| 22 | แช่ขี้เถ้าไม้ยางพาราในน้ำ | 48 |
| 23 | กรองขี้เถ้า | 49 |

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | หน้า |
|---|---|
| 24 ขี้เถ้าที่แห้งสนิท | 49 |
| 25 แก้วโซดาไลม์ที่บดอย่างละเอียด | 50 |
| 26 พิมพ์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 47 ตารางมิลลิเมตร | 50 |
| 27 ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน | 51 |
| 28 อัดขึ้นรูป | 51 |
| 29 อบกระเบื้องที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส | 52 |
| 30 เผาบิสกิตที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส | 52 |
| 31 กระเบื้องที่ทาสีทนไฟ | 53 |
| 32 ทดสอบการดูดซึมน้ำ | 53 |
| 33 การทดสอบการทนต่อการรานา | 54 |
| 34 การทดสอบการต้านการกระแทก | 54 |
| 35 การทดสอบการหดตัวเชิงเส้นหลังเผา | 55 |
| 36 ผลิตภัณฑ์กระเบื้องโมเสคจากขี้เถ้าไม้ยางพาราที่ยาแนว | 55 |
| 37 ผลิตภัณฑ์กระเบื้องโมเสคจากขี้เถ้าไม้ยางพารารูปทรงต่างๆ | 56 |
| 38 ผลิตภัณฑ์กระเบื้องโมเสคจากขี้เถ้าไม้ยางพารารูปทรงต่างๆ | 56 |


มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา YALA RAJABHAT UNIVERSITY

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ประชากรส่วนใหญ่มีอาชีพทำสวนยางพารา ทำให้อัตราการปลูกยางพาราเพิ่มขึ้นทุกปีเนื่องจากเป็นรายได้หลักของประชากรในสามจังหวัดชายแดนใต้ แต่สภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบันมีราคายางที่ตกต่ำทำให้เจ้าของสวนยางนิยมตัดต้นยางพาราไปขายเพื่อปลูกพืชชนิดอื่นทดแทน โดยการส่งขายไม้ยางพารากับโรงงานไฟฟ้าพลังงานชีวมวล ซึ่งเป็นโรงงานที่ผลิตกระแสไฟฟ้าจากการเผาไหม้เศษไม้ยางพารา ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส โดยหลังจากกระบวนการเผาไหม้ให้พลังงานความร้อนและถ่ายเทความร้อนให้กับหม้อน้ำ เพื่อปั่นกังหันที่ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้มีขี้เถ้าของไม้ยางพาราเกิดขึ้น โดยเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้ได้ขนาดของขี้เถ้าไม้ยางพาราที่ต่างกัน ทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก โดยขี้เถ้าขนาดเล็ก มีขนาด 1-200 ไมโครเมตร ซึ่งจะลอยไปกับอากาศร้อนและถูกดักจับโดยเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิต เพื่อแยกฝุ่นออกจากก๊าซร้อน ก่อนปล่อยขี้เถ้าไม้ยางพาราออกทางปล่องควัน โดยขี้เถ้าที่เกิดขึ้นมีปริมาณมาก ซึ่งมีลักษณะเป็นผงฝุ่น น้ำหนักเบาสามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย โครงสร้างทางเคมีของขี้เถ้าไม้ยางพาราจะประกอบด้วยส่วนที่ไม่เป็นผลึก หรืออยู่ในสถานะที่เป็นแก้ว เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง และมีองค์ประกอบทางเคมี คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ ($SiO_2$) อลูมิเนียมออกไซด์ ($AlO_2$) เฟอร์ริกออกไซด์ ($Fe_2O_3$) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ทำให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมและเป็นปัญหาในการกำจัดทิ้ง (อาบีดีน และคณะ, 2554 : 27)

จากปัญหาดังกล่าวพบว่า ขี้เถ้าไม้ยางพาราส่งผลกระทบโดยตรงต่อชุมชน หากสามารถพลิกวิกฤตโดยการนำขี้เถ้าไม้ยางพารามาเป็นโอกาสในการผลิตเป็นชิ้นงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ อีกทั้งเป็นช่องทางลดปริมาณของขี้เถ้าไม้ยางพาราและปัญหาอื่นๆ ด้วยเหตุผลที่ว่า ปัจจุบันจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นทุกปีทำให้มีความต้องการด้านปัจจัยยังชีพมากขึ้น โดยเฉพาะที่อยู่อาศัย ทำให้มีงานก่อสร้างเกิดขึ้นมากมาย ซึ่งงานก่อสร้างบ้านเรือนส่วนมากนิยมใช้กระเบื้องเซรามิกสำหรับที่อยู่อาศัยมีมากขึ้นโดยเฉพาะการใช้งานกระเบื้องบุผนัง (Wall tile) เนื่องจากกระเบื้องบุผนังทำความสะอาดได้ง่ายกว่า มีสีสันสวยงามมีความมันเงางามและคงทนถาวรไม่ซีดจางไปตามกาลเวลาทำให้มีความนิยม

ในการใช้งานเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่วัตถุดิบที่นำมาเป็นส่วนผสมของการทำกระเบื้องเซรามิกส่วนใหญ่เป็นดินและหินที่มีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ ($SiO_2$) อลูมิเนียมออกไซด์ ($AlO_2$) เป็นองค์ประกอบหลัก และมีสถานะที่เป็นแก้ว ซึ่งดินและหินเหล่านี้เกิดจากการพังทลายหน้าดินและการทำเหมืองแร่ที่มีราคาแพงอีกทั้งยังทำให้สภาพแวดล้อมเสื่อมโทรมได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญดังกล่าวและมีความสนใจที่จะนำขี้เถ้าไม้ยางพารามาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกเพื่อช่วยลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากขี้เถ้าไม้ยางพาราและลดอัตราการพังทลายดินและการทำเหมืองแร่ โดยนำเอาขี้เถ้าไม้ยางพารามาผลิตเป็นกระเบื้องและศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราเพื่อให้ได้กระเบื้องที่ต้นทุนในการผลิตต่ำ สามารถหาวัตถุดิบได้ง่ายและมีปริมาณมาก เพื่อให้ชาวบ้านได้ใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบที่มีอยู่ในชุมชน สามารถสร้างเป็นอาชีพและจำหน่ายเพื่อเป็นรายได้แก่ชุมชน เพื่อเป็นชุมชนที่เข้มแข็งตามแนวพระราชดำริสืบไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพาราในการทำกระเบื้องให้ได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราให้ได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

## 1.3 ขอบเขต

เพื่อให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ผู้วิจัยจึงกำหนดขอบเขตไว้ในการผลิตกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราดังนี้

1.3.1 ขี้เถ้าไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้ากัลฟ์ ยะลากรีน ที่อยู่ 80 หมู่ 1 ตำบลพร่อน อำเภอเมือง จังหวัด ยะลา 95000

1.3.2 ขนาดและรูปทรงทางกายภาพของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราในการทำวิจัย

1.3.2.1 ขนาดของพิมพ์

1) พิมพ์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด กว้าง 20 มิลลิเมตร ยาว 23 มิลลิเมตร หนา 0.3 เซนติเมตร

1.3.3 ศึกษาสมบัติทางกลของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราทั้ง 4 ด้าน

1.3.3.1 การดูดซึมน้ำ

1.3.3.2 การทนต่อการราน

1.3.3.3 การวัดค่าความต้านทานการกระแทก

1.3.3.4 การหดตัวเชิงเส้นของกระเบื้องหลังการเผา

1.3.4 ส่วนผสมที่ใช้ในการทำกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา

1.3.4.1 ดินดำ ที่ราบทุ่งนา ตำบลบาตง อำเภอรือเสาะ จังหวัดนราธิวาส

1.3.4.2ขี้เถ้าไม้ยางพารา ทดแทน ดินขาวและทรายแก้ว

1.3.4.3 เศษแก้วโซดาไลม์ ทดแทน หินฟันม้า

1.3.5 อัตราส่วนผสมของขี้เถ้าไม้ยางพาราในการทำกระเบื้อง มี 6 สูตรดังตารางที่ 1

**ตารางที่** 1 แสดงอัตราส่วนผสมของขี้เถ้าไม้ยางพารา

| สูตรที่ | ดินดำ* | หินฟ้าม้า* (เศษแก้วโซดาไลม์) | ดินขาว* (ขี้เถ้าไม้ยางพารา) | ทรายแก้ว* (ขี้เถ้าไม้ยางพารา) | น้ำ* |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3 | 1.5 | 0 | 2 | 2.6 |
| 2 | 3 | 1.5 | 1 | 2 | 3.0 |
| 3 | 3 | 1.5 | 2 | 2 | 3.4 |
| 4 | 3 | 1.5 | 3 | 2 | 3.8 |
| 5 | 3 | 1.5 | 4 | 2 | 4.2 |
| 6 | 3 | 1.5 | 5 | 2 | 4.6 |

* อัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก

จากตารางที่ 1 เป็นการกำหนดอัตราส่วนผสมของ ดินดำ แก้วโซดาไลม์และตัวประสาน มีอัตราส่วนผสมที่คงที่ ส่วนขี้เถ้าไม้ยางพาราจะมีอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น โดยมีอัตราส่วนของน้ำแปรผันตรงกับปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา

## 1.4สมมติฐาน

ขี้เถ้าไม้ยางพาราสามารถผลิตเป็นกระเบื้องได้

## 1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

**ขี้เถ้าไม้ยางพารา** คือ ขี้เถ้าที่หลงเหลือจากกระบวนการเผาไหม้ของเศษไม้ยางพารา มีขนาดเล็กและละเอียดมาก ประกอบด้วยสารซิลิกอนไดออกไซด์ ($SiO_2$) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) โดยจะปลิวปนไปกับก๊าซร้อนออกจากปล่องควันของโรงผลิตไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งถ้ามีปริมาณเถ้าปลิวมาก ในชั้นบรรยากาศ ก็อาจก่อให้เกิดปัญหามลภาวะของอากาศได้ (สำเร็จ, 2556 : 5)

การดูดซึมน้ำ คือ กระบวนการทางเคมีหรือฟิสิกส์ที่อะตอม โมเลกุลหรือไอออนของน้ำเข้าไปในส่วนที่เป็นเนื้อของวัสดุที่เป็นของแข็ง ซึ่งโมเลกุลที่ดูดซึมจะไปอยู่ในปริมาตรของวัสดุ ในหน่วยร้อยละ (มาตรฐานอุตสาหกรรม 613, 2529 : 6)

**การกระแทก** คือ แรงที่มากระทำต่อวัตถุอย่างอย่างรวดเร็วอาจส่งผลให้โครงสร้างของวัตถุเปลี่ยนแปลงได้ ในหน่วยร้อยละ (มาตรฐานอุตสาหกรรม 613, 2529 : 6)

**การราน** คือ บริเวณผิวเคลือบของกระเบื้องที่มีรอยร้าวปรากฏเป็นลายเส้น ในหน่วยร้อยละ (มาตรฐานอุตสาหกรรม 613, 2529 : 6)

**การหดตัวเชิงเส้น** คือ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน ทำให้เกิดความแน่นขึ้น ส่งผลให้ขนาดที่พิจารณาได้จากภายนอกลดลง ในหน่วยร้อยละ (มาตรฐานอุตสาหกรรม 613, 2529 : 6)

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทำให้ทราบอัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพาราในการทำกระเบื้องที่ได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

1.6.2 ทำให้ทราบสมบัติเชิงกลของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราที่ได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

# บทที่ 2
# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

**ทฤษฎี**

**2.1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนัง 613-2529**

การผลิตกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารามีความจำเป็นอย่างมากในการตรวจสอบคุณภาพของกระเบื้องโดยใช้เกณฑ์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดขึ้น เพื่อให้ได้กระเบื้องที่มีคุณภาพและเหมาะสำหรับความต้องการด้านประโยชน์การใช้สอยของกระเบื้องแต่ละประเภท ซึ่งในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนัง 613-2529 ได้กำหนดลักษณะของผลิตภัณฑ์และแนวทางการตรวจสอบคุณภาพของกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังไว้ดังนี้

2.1.1.1 ขอบข่ายมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ชั้นคุณภาพ ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน คุณลักษณะที่ต้องการการบรรจุ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์การตัดสิน และการทดสอบกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังและกระเบื้องเสริมประกอบ (fittings) ที่ใช้บุผนังภายในอาคาร และการรักษาความสะอาดเพื่อให้ถูกสุขลักษณะ เช่น ห้องน้ำ ห้องครัว โรงพยาบาล ฯลฯ

2.1.1.2 บทนิยาม ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้มีดังต่อไปนี้

1) กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายในซึ่งต่อไปในมาตรฐานเรียกผลิตภัณฑ์นี้ว่า“กระเบื้อง” หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอัด (pressing) ดินและส่วนผสมอื่น เช่น หิน ทราย สี เป็นต้น แล้วเผาที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 1,000 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมมุมฉาก แต่ละแผ่นมีพื้นที่ไม่น้อยกว่า 90 ตารางเซนติเมตร และมีการเคลือบบนผิวหน้ากระเบื้องให้มีสีใดๆก็ได้ ทั้งนี้รวมถึงกระเบื้องเสริมประกอบด้วย

2) การล่อนตัว (peeling) หมายถึง การแยกตัวระหว่างเคลือบกับเนื้อกระเบื้อง

3) การราน (crazing) หมายถึง การเกิดรอยร้าวบนผิวเคลือบ

4) รอยร้าว (crack) หมายถึง รอยแตกที่ลึกถึงเนื้อกระเบื้อง

5) รูเข็ม (pinhole) หมายถึง รูเล็กๆที่ปรากฏบนผิวเคลือบ

6) รอยพอง (blister) หมายถึง รอยนูนที่ผิวเคลือบซึ่งเกิดจากการขยายตัวของก๊าซหรือฟองอากาศที่อยู่ภายใน เมื่อกะเทาะแตกจะเกิดเป็นโพรงขึ้นที่ผิวเคลือบนั้น

7) หลุม (pitting) หมายถึง การเกิดหลุมเล็กๆที่ผิวหน้ากระเบื้องซึ่งมีความลึกเท่ากับหรือน้อยกว่าความกว้าง

8) รอยบิ่น (chip) หมายถึง รอยตามแนวขอบหรือตามมุมของกระเบื้องที่เกิดจากเนื้อกระเบื้องแตกหลุดออกไป

9) การหดตัวของเคลือบ (glaze crawling) หมายถึง การที่เคลือบหดตัวจนเนื้อของกระเบื้องบางส่วนไม่มีเคลือบฉาบอยู่

10) ความบิดเบี้ยว (warpage) หมายถึง ความบิดเบี้ยวจากรูปร่างของกระเบื้องที่กำหนด เนื่องจากกรรมวิธีผลิต

11) โค้งออก (convex) หมายถึง ความบิดเบี้ยวในลักษณะที่ส่วนกลางของขอบกระเบื้องโค้งออก

12) เว้าเข้า (concave) หมายถึง ความบิดเบี้ยวในลักษณะที่ส่วนกลางของขอบกระเบื้องเว้าเข้า

13) นูนขึ้น (convex) หมายถึง ความบิดเบี้ยวไปจากแนวระนาบของผิวหน้ากระเบื้อง เนื่องจากส่วนกลางตามแนวเส้นทแยงมุมหรือส่วนกลางตามแนวขอบของกระเบื้องสูงขึ้น

14) แอ่นลง (concave) หมายถึง ความบิดเบี้ยวไปจากแนวระนาบของผิวหน้ากระเบื้อง เนื่องจากส่วนกลางตามแนวเส้นทแยงมุมหรือส่วนกลางตามแนวขอบของกระเบื้องต่ำลง

15) ความสอบ (wedging) หมายถึง ลักษณะของด้านตรงข้ามของกระเบื้องสอบเข้าหากัน เนื่องจากความยาวของด้านตรงข้ามอีกคู่หนึ่งไม่เท่ากัน

2.1.1.3 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

1) ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ให้เป็นไปตามตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ที่มา : มาตรฐานอุตสาหกรรม 613 (2529 : 5 )

| มิติ | ขนาด | เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน |
|---|---|---|
| ความกว้างและความยาว | เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก ขนาดที่แนะนำ | ไม่เกิน ± ร้อยละ 0.6 ของค่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก |
| ความหนา | เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก แต่ต้องไม่น้อยกว่า 4 มิลลิเมตร | ไม่เกิน ± ร้อยละ 10 ของค่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก |

2.1.1.4คุณลักษณะที่ต้องการ

1) ลักษณะทั่วไป กระเบื้องต้องไม่มีการล่อนตัว การแยกชั้นในเนื้อกระเบื้อง การรานและการแตกหัก และเมื่อตรวจสอบกระเบื้องต้องไม่เห็นรอยร้าว รูเข็ม รอยพอง หลุม รอยบิ่น การหดตัวของเคลือบและตำหนิอื่น เช่น สีไม่สม่ำเสมอหรือจุดด่าง เป็นต้น

2) การดูดซึมน้ำ เมื่อทดสอบกระเบื้องการดูดซึมน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 18

3) ความทนสารเคมี เมื่อทดสอบกระเบื้องกระเบื้องต้องไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสารเคมี

4) ความทนการราน เมื่อทดสอบกระเบื้องแล้ว ผิวเคลือบของกระเบื้องต้องไม่รานหรือปรากฏเป็นลายเส้น

5) ความต้านการกระแทก เมื่อทดสอบกระเบื้องแล้ว กระเบื้องต้องมีสภาพไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

2.1.1.5 การบรรจุและการทำเครื่องหมาย

1) ให้บรรจุกระเบื้องในกล่องกระดาษ หรือภาชนะบรรจุอื่นให้เรียบร้อยและแข็งแรง

2) ที่กระเบื้องทุกแผ่น อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน และถาวร

3) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้า หรือชื่อผู้จัดจำหน่าย

4) ที่กล่องหรือภาชนะบรรจุกระเบื้องทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

4.1) คำว่า "กระเบื้องดินเผาบุผนังภายใน"

4.2) สีหรือลวดลาย

4.3) ขนาด เป็นมิลลิเมตร และจำนวนแผ่น

4.4) วัน เดือน ปี ที่ทำ

4.5) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้า หรือชื่อผู้จัดจำหน่าย พร้อมสถานที่ตั้ง

4.6) ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

4.7) ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

2.1.1.6 การทดสอบ

1) ขนาด

ความกว้างและความยาวใช้เครื่องวัดที่เหมาะสมซึ่งวัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร วัดกระเบื้อง ณ แนวที่ขนานและห่างจากขอบของกระเบื้องประมาณ 5 มิลลิเมตร

2) ความหนา ใช้เครื่องวัดที่เหมาะสมซึ่งวัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร วัดความหนา ณ จุดซึ่งห่างจากขอบไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร รวม 4 ตำแหน่ง ตรงส่วนที่มีขากระเบื้อง แล้วรายงานค่าเฉลี่ย

2.1.1.7 สมบัติเชิงกลด้านต่างๆ

1) การดูดซึมน้ำ (Water absorption) ทดสอบได้จากตัวอย่างที่เผาแล้วว่ามีความสามารถดูดซึมน้ำได้มากน้อยเท่าไรโดยเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักแห้งของแผ่นทดสอบ

1.1) เครื่องมือ เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

1.2) วิธีทดสอบ ทำเครื่องหมายไว้บนกระเบื้องแต่ละแผ่น แล้วอบที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดสิกเกเตอร์ จากนั้นรีบนำมาแยกชั่งทีละแผ่น ให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม น้ำหนักกระเบื้องที่ชั่งได้นี้ให้ถือเป็นน้ำหนักกระเบื้องแห้ง จากนั้นแช่

กระเบื้องเหล่านี้ให้จมอยู่ในน้ำกลั่น ต้มให้เดือดอย่างน้อย 2 ชั่วโมง โดยให้น้ำกลั่นท่วมกระเบื้องตลอดเวลา แล้วปล่อยไว้ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง นำขึ้นซับน้ำที่เกาะติดอยู่ด้วยผ้าหมาดที่สะอาด แล้วรีบชั่งทันทีทีละแผ่นให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม น้ำหนักกระเบื้องที่ชั่งให้ถือเป็นน้ำหนักหลังจากแช่น้ำ ซึ่งคำนวณได้จากสูตร (มาตรฐานอุตสาหกรรม 613, 2529 : 11)

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ$W_w$คือ น้ำหนักกระเบื้องหลังจากแช่น้ำ มีหน่วยเป็นกรัม

$W_d$คือ น้ำหนักกระเบื้องแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

2) การทนต่อการราน (Crazing resistance) เป็นการวัดบนผิวเคลือบของกระเบื้องที่มีรอยร้าวปรากฏเป็นลายเส้น

2.1) วิธีทดสอบ ใส่น้ำลงในหม้อนึ่งอัด (autoclave) ให้มากพอที่จะใช้ตลอดการทดสอบนี้ วางกระเบื้องบนขาตั้ง (supporter) ที่สูงพ้นระดับน้ำ ปิดฝาให้แน่นเริ่มต้มโดยเปิดลิ้นท่อไอน้ำออกจนกระทั่งน้ำเดือดเพื่อให้ไอน้ำไล่อากาศภายในหม้อนึ่งอัดออกหมดแล้วจึงปิดปล่อยให้น้ำเดือดต่อไปให้ความดันไอค่อยๆเพิ่มขึ้นด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอจนมีความดันประมาณ 100 กิโลปาสกาล ในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ปรับความร้อนให้พอเพียงเพื่อรักษาความดันไอน้ำให้คงที่ที่ 102±2 กิโลปาสกาล รักษาความดันนี้ไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วจึงดับไฟ และค่อยๆระบายความดันออกทีละน้อยจนหมด หลังจากทิ้งให้กระเบื้องเย็นในหม้อนึ่งอัดจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วให้นำกระเบื้องออกมาย้อมด้วยสารละลายของสีย้อมอินทรีย์ เช่น เมทิลีนบลู ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก บนผิวเคลือบ สารละลายของสีย้อมจะปรากฏแทรกเป็นลายเส้นของการรานบนผิวเคลือบนั้น บันทึกและตรวจสอบลายเส้นที่ปรากฏเหล่านี้ไว้ (มาตรฐานอุตสาหกรรม 613, 2529 : 12)

3) การต้านทานการกระแทก (Impactresistance) การวัดความแข็งแรงของกระเบื้องที่มีแรงมากระทำอย่างรวดเร็ว

3.1) เครื่องมือ

3.1.1) เหล็กเส้นกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ยาวไม่น้อยกว่า 156 มิลลิเมตร จำนวน 2 เส้น

3.1.2) ลูกเหล็กกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 19±0.05 มิลลิเมตร หนัก 28.35±0.26 กรัม

3.1.3) ชิ้นทดสอบจำลอง ซึ่งเป็นแผ่นกระดาษแข็ง

3.2) วิธีทดสอบ

3.2.1) ยึดเหล็กเส้นกลมทั้ง 2 เส้นให้มั่นคงในแนวนอนและขนานกัน โดยให้แนวแกนทั้งสองห่างกัน 76 มิลลิเมตร

3.2.2) ทดลองหาตำแหน่งที่ถูกต้องระหว่างแผ่นกระเบื้องซึ่งวางอยู่บนเหล็กเส้นกลมกับที่ยกลูกเหล็กกลมโดยทดลองหลายๆครั้งกับแผ่นกระดาษซึ่งใช้เป็นชิ้นทดสอบจำลอง จนกระทั่งได้ตำแหน่งที่เมื่อปล่อยจากที่ยก ลูกเหล็กกลมจะตกลงที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบจำลองพอดี

3.2.3) วางกระเบื้องบนเหล็กเส้นกลมทั้งสองให้สมดุลและตรงตำแหน่งที่ถูกต้อง ตามข้อที่ 2 โดยให้ด้านที่มีผิวเคลือบอยู่ข้างบน

3.2.4) ปล่อยลูกเหล็กกลมให้กระทบกับกระเบื้อง โดยเลือกใช้ระยะความสูงตามที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** แสดงค่าความหนาของกระเบื้องเทียบกับระยะความสูงของลูกเหล็กที่ใช้ทดสอบการต้านการกระแทก ที่มา : มาตรฐานอุตสาหกรรม 613 (2529 : 12 )

| ความหนาของกระเบื้อง มิลลิเมตร | ความสูงของลูกเหล็กที่ใช้ทดสอบ มิลลิเมตร |
|---|---|
| 4 | 130 |
| 5 | 230 |
| 5.5 | 260 |
| 6.5 | 330 |
| 8 | 500 |
| 9.5 | 660 |

4) การหดตัวเชิงเส้นหลังเผา (Shrinkage test )เป็นวิธีการที่จะบอกถึงความทนไฟของดินหรือความสุกตัวของเนื้อดินและทำให้สามารถคำนวณขนาดของผลิตภัณฑ์ภายหลังการ

เผาได้ถูกต้อง การทดสอบความหดตัวของเนื้อดินโดยทำเป็นแท่งทดสอบ แล้วทดสอบการหดตัวตามความยาว (Linear shrinkage) เพื่อคำนวณหาร้อยละการหดตัวของเนื้อดินจากสูตร (สุรชัย และกิตติ พงษ์, 2554 : 253)

$$\text{ร้อยละการหดตัวเชิงเส้น} = \frac{L_d - L_f}{L_d} \times 100 \qquad (2)$$

เมื่อ $L_d$ คือความยาวกระเบื้องก่อนการเผามีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

$L_f$ คือความยาวกระเบื้องหลังการเผามีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

4.1) วิธีการทดสอบ ใช้เครื่องมือวัดความยาวของกระเบื้องก่อนการเผาและความยาวกระเบื้องหลังการเผา

2.1.2 ส่วนประกอบสำคัญการทำกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา

2.1.2.1 ขี้เถ้าไม้ยางพารา (Para-wood) เป็นผลพลอยได้ (by-product) จากการเผาเศษไม้ยางพาราที่อุณหภูมิประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยหลังจากกระบวนการเผาไหม้ให้พลังงานความร้อนและถ่ายเทความร้อนให้กับหม้อน้ำ (boiler) เพื่อปั่นกังหันที่ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าแล้วนั้น จะมีขี้เถ้าเกิดขึ้น ซึ่งเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ขี้เถ้าไม้ยางพาราที่มีขนาดใหญ่ หรือขี้เถ้าหนัก (wet ash) จะตกลงสู่ก้นเตา ส่วนขี้เถ้าที่มีขนาดเล็ก คือ ประมาณ 1-200 ไมโครเมตร หรือเถ้าลอย (fly ash) จะลอยไปกับอากาศร้อนและถูกดักจับโดยเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิต (electrostatic precipitator) เพื่อแยกฝุ่นออกจากก๊าซร้อน ก่อนจะปล่อยอากาศร้อยออกทางปล่องควัน โดยขี้เถ้าเกิดขึ้นมีปริมาณร้อยละ 80-95 ของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งถือว่ามีปริมาณมาก โดยถ้าในการผลิตกระแสไฟฟ้า 22 เมกะวัตต์ ต้องใช้เศษไม้ยางพารา 750 ตัน ซึ่งจะได้ขี้เถ้าไม้ยางพาราประมาณ 15 ตัน ขี้เถ้ามีลักษณะเป็นผงฝุ่น น้ำหนักเบาสามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย เป็นปัญหาในการกำจัดทิ้ง โดยมีโครงสร้างทางเคมีของขี้เถ้าประกอบด้วยส่วนที่ไม่เป็นผลึกหรืออยู่ในสถานะแก้ว (glassy phase) เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิสูง และมีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายเซรามิกนั้นคือมีซิลิกอนไดออกไซด์ ($SiO_2$) เท่ากับ1.08 อลูมิเนียมออกไซด์ ($Al_2O_3$) เท่ากับ 0.31เฟอร์ริกออกไซด์

(Fe2O3) เท่ากับ 0.76 และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เท่ากับ 33.93 เป็นองค์ประกอบหลัก (อาบีดีน และคณะ, 2556 : 27)

2.1.2.2 ดินขาว เป็นดินที่มีสีขาวหรือสีซีดจาง ทั้งในสภาพที่ยังไม่ได้เผาและเผาแล้ว ดินขาว หรือเกาลิน (Kaolin) หรือ China Clay โดยคาว่า “เกาลิน” มาจากภาษาจีนแปลว่าภูเขาสูง ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของดินขาวในประเทศจีน ดินขาวมีหลายชนิดแตกต่างกันไปตามแหล่งที่อยู่บนผิวโลก ดินขาวส่วนใหญ่เป็นดินที่เกิดอยู่ในแหล่งผุพังของหินเดิม (Residual Clay) เป็นดินที่มีขนาดเม็ดหยาบจึงมีความเหนียวน้อย ประกอบด้วย ส่วนประกอบทางเคมีของดินขาวเป็น $(OH)_4Al_2SiO_2$ หรือ $AlO.SiO_2.2H_2O$ 39.8%AlO 46.3%$SiO_2$ และ 13.9%$H_2O$ เมื่อนำดินขาวไปใช้ในเนื้อดินปั้นจะเป็นตัวช่วยให้ผลิตภัณฑ์ดิบมีความแข็งแรง (ฤดี, 2555 : 13) ซึ่งมีความคล้ายกับองค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าไม้ยางพารา พบว่ามี $Al_2O_3$, $SiO_2$, $Fe_2O_3$ รวมกันร้อยละ 2.15 และ CaO ร้อยละ 33.93 ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลัก หากนำขี้เถ้าไม้ยางพารามาแทนดินขาวทำให้เกิดคุณสมบัติที่ช่วยให้กระเบื้องประสานและมีความแข็งแรง ( อาบีดีน และคณะ, 2554 : 30)

2.1.2.3 ดินดำ (Ball Clay) เป็นดินเหนียว ที่เกิดจากการตกตะกอนทับถมกันของดินขาว ประกอบด้วยแร่คาโอลินไนต์เป็นส่วนประกอบสำคัญ บางครั้งจะพบแร่ดินชนิดอื่นปะปนอยู่บ้าง ดินดำมีลักษณะพิเศษคือมีสารอินทรีย์ปนอยู่ด้วยเสมอ ในธรรมชาติจึงอาจมีสีต่าง ๆ เช่น สีขาว สีเทาเหลือง และสีดำ เป็นดินที่มีความละเอียดสูง มีความเหนียวดี เมื่อแห้งหรือหลังเผาจะมีความแข็งแรงสูง หลังจากผ่านการเผาแล้วจะให้สีครีม หรือสีขาว ดินดำหลายชนิดมีช่วงการเปลี่ยนแปลงสภาพของเนื้อดินไปเป็นเนื้อแก้วขณะให้ความร้อนค่อนข้างนาน ซึ่งจะเป็นประโยชน์คือช่วยปรับปรุงผลิตภัณฑ์หลังเผาให้ดีขึ้น โดยดินดำมีคุณสมบัติทางกายภาพดังต่อไปนี้

1) ขนาดเม็ดดิน ดินดำจะมีความละเอียดมาก ซึ่งความละเอียดมากหรือน้อยแตกต่างกันขึ้นกับแหล่งที่พบ แต่โดยมากแล้วดินดำจะละเอียดกว่าดินขาว

2) ความเหนียว ดินดำจะมีความเหนียวสูงกว่าดินขาว เนื่องจากการผสมดินดำลงไปในเนื้อดินปั้นจะช่วยให้การขึ้นรูปที่ใช้ความเหนียวง่ายขึ้น

3) การหดตัวเมื่อแห้ง ดินดำมีการหดตัวมากน้อยต่างกันตามแหล่งที่พบ ถ้าเป็น ดินดำแหล่งที่มีปริมาณซิลิกาสูงแทบไม่มีการหดตัวเลย แต่ถ้ามีอินทรีย์สารสูงจะมีการหดตัวประมาณ ร้อยละ 15

4) ความแข็งแรงเมื่อแห้ง ดินดำมีความแข็งแรงเมื่อแห้งมากกว่าดินขาว เมื่อทำการผสมดินดำในเนื้อดินปั้นจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงเมื่อแห้งสูงขึ้น

5) สมบัติหลังเผา ขึ้นอยู่กับว่าหลังเผาแล้วดินมีสีอย่างไร เนื้อดินดีหรือไม่ ดินดำบางชนิดมีไมกาประกอบอยู่ด้วย เมื่อผสมในเนื้อดินปั้นแล้วเผา ไมกาจะทาหน้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาในเนื้อดินปั้นให้เนื้อผลิตภัณฑ์แน่นและเนียนมากขึ้น

6) เหตุผลที่นำดินดำมาใช้ในการทำเนื้อดินปั้นเนื่องจาก

6.1) ดินดำช่วยเพิ่มความเหนียวของเนื้อดินปั้นให้สามารถขึ้นรูปได้ดีขึ้น

6.2) ดินดำช่วยพัฒนาผลิตภัณฑ์เมื่อแห้งให้มีความแข็งแรงมากขึ้นเนื่องจากเมื่อใช้ ดินดำเป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นแล้วจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เปราะและแตกหักง่าย เคลื่อนย้ายสะดวก

6.3)ดินดำ สามารถช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารในเนื้อดินปั้นขณะทำการเผาได้ดี เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่นเป็นเนื้อเดียวกันตลอด

6.4) ช่วยทำให้เนื้อดินปั้นเพื่อการหล่อมีการไหลตัวดีขึ้น

7) การนำดินดำ มาใช้ในการทำเนื้อดินปั้น มีข้อจำกัดดังนี้คือ

7.1)ดินดำมีความบริสุทธิ์ต่ำ มีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่มาก เช่น สารประกอบพวกอินทรีย์สาร เฟอร์ริกออกไซด์ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide, $TiO_2$) ซึ่งเมื่อเผาแล้วจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความขาวลดลง

7.2) ทำให้ความโปร่งแสงของผลิตภัณฑ์ลดลง

7.3) ดินดำแหล่งต่างกันมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ทำให้เกิดการจำกัดในการใช้งาน

7.4) ดินดำ มีการหดตัวสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์เมื่อแห้งและหลังการเผาบิดเบี้ยว ได้จากรายงานการสำรวจเรื่องดินของกรมทรัพยากรธรณีพบว่าดินดำมีอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย แต่ที่มีคุณสมบัติดีและมีการผลิตขายในเชิงพาณิชย์ มีเฉพาะภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ โดยดินดำภาคเหนือจะมีทรายและไมกาปนอยู่พอสมควร มีความทนไฟปานกลางและต่ำ ส่วนดินดำภาคกลางพบมากที่จังหวัดปราจีนบุรี เมื่อเผาแล้วจะมีสีเหลืองถึงสีน้ำตาลอ่อน มีความเหนียวดี ราคาถูกและผลิตง่าย ดินดำภาคใต้แหล่งที่นิยมใช้มากที่สุดคือดินดำจังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นดินที่เผาแล้วมีสีขาวและมีความทนไฟสูง มีคุณภาพดี ราคาสูงกว่าดินภาคอื่น ๆ (ฤดี, 2555 : 16)

2.1.2.4 ทรายแก้ว (Glass sand) คือ ทรายบริสุทธิ์ที่มีซิลิกา $SiO_2$ 99.41%, $Al_2O_3$ 0.21%, $Fe_2O_3$ 0.07%, CaO 0.07%,MgO 0.68% และสารอื่น ๆ เจือปนเล็กน้อย เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะทำให้มีสถานะเป็นแก้ว เช่น ทำแก้ว แว่นตา เครื่องแก้วใส ภาชนะบรรจุของกระจกแผ่นเรียบ เป็นต้น (ฤดี นิยมรัตน์, 2555 : 20) ซึ่งมีสมบัติคล้ายกับขี้เถ้าไม้ยางพารา เมื่อเกิดการสูญเสียน้ำหนักจากการเผาขี้เถ้าไม้ยางพาราจะประกอบส่วนที่ไม่เป็นผลึกหรือมีสถานะเป็นแก้ว และมีองค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าไม้ยางพารา พบว่ามี $Al_2O_3$ 0.31%, $SiO_2$ 1.08%, $Fe_2O_3$ 0.76%, CaO 33.93% และMgO 1.77 % (อาบีดีน และคณะ, 2554 : 30)

2.1.2.5 หินฟันม้าหรือแร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar) ซึ่งเป็นแร่ที่สำคัญมากในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก โดยคุณสมบัติสำคัญที่หินฟันม้ามีผลต่อเซรามิก คือเป็นตัวช่วยเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นเนื้อแก้วขึ้นระหว่างเผาผลิตภัณฑ์ ช่วยลดจุดสุกตัวให้กับผลิตภัณฑ์ ทำให้เราสามารถเผาเซรามิกที่อุณหภูมิต่ำลงได้และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความโปร่งแสงได้ดีขึ้น ซึ่งมีความคล้ายกับเศษแก้วโซดาไลม์ ที่มีคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของสุขภัณฑ์เซรามิกที่ใช้เศษแก้วเป็นตัวช่วยลดจุดสุกตัวเผาของกระเบื้องได้ (ฤดี, 2555 : 19)

**2.1.3 ขั้นตอนการทำกระเบื้อง**

ขั้นตอนการผลิตกระเบื้องถือได้ว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากในการผลิตกระเบื้องให้มีคุณภาพและเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม เนื่องจากการผลิตกระเบื้องแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดที่แตกต่างกันจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาขั้นตอนต่างๆให้เข้าใจเพื่อให้การผลิตกระเบื้องนั้นมีคุณภาพ โดยทางสมาคมเซรามิกไทย (2552 : 12) ได้ระบุถึงขั้นตอนและวิธีการต่างๆในการผลิตกระเบื้องไว้อย่างชัดเจนดังนี้

2.1.3.1 วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตกระเบื้องเซรามิกมีอยู่ด้วยกัน 3 ประเภท กล่าวคือ

1) ดิน ได้แก่ ดินขาว ดินดำ และดินแดง

2) หิน ได้แก่ หินฟันม้า หินเขี้ยวหนุมาน หินปูน หินโดโลไมต์ทัลคัม หินไพโรฟิลไลต์ หินโวลลาสโทไนต์ และทรายแก้ว

3) สารเคมีจำพวกออกไซด์ ได้แก่ โคบอล์ออกไซด์คอปเปอร์ออกไซด์ เฟอร์ริกออกไซด์ แมงกานีสออกไซด์

2.1.3.2กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ ซึ่งวัตถุดิบจะถูกนำมาบดผสมกันโดยวิธีเปียก ตามอัตราส่วนที่โรงงานจะกำหนดให้เหมาะสมกับสภาพการผลิตของตนเอง การบดผสมจะบดในหม้อบด (Ball Mill) ก่อนบดจะต้องเติมน้ำลงไปและจะใช้เวลาระหว่าง 10-12 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในสูตรวัตถุดิบที่บดผสมเข้ากันดีแล้วจะถ่ายออกมาจากหม้อบดลงในบ่อกวน และเรียกว่าน้ำดิน (Slip) ซึ่งน้ำดินนี้จะต้องนำไปอบให้แห้งต่อไป

2.1.3.3 การขึ้นรูป (Forming) การขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้น กระเบื้องบุผนัง และกระเบื้องบุหลังคา จะใช้กรรมวิธีการผลิตที่เหมือนกัน คือการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮโดรอลิก ผิดกันแต่ว่ากระเบื้องปูพื้นและบุผนังจะต้องใช้แรงอัดที่สูงมาก เพราะเนื้อดินที่เตรียมไว้ค่อนข้างแห้ง คือมีความชื้นเพียง 5-6 % จึงต้องอาศัยแรงอัดที่สูงเพื่อให้การยึดเกาะเป็นแผ่นกระเบื้องได้ การอัดขึ้นรูปกระเบื้องจะต้องมีแม่แบบเหล็กที่ทำให้ได้ขนาดเท่ากับขนาดกระเบื้อง ส่วนใหญ่ที่นิยมผลิตคือ8"x 8", 12"x12" หรือ 16"x16" สำหรับกระเบื้องหลังคาเนื้อดินที่เตรียม เพื่อการขึ้นรูปค่อนข้างเปียกมีความชื้นประมาณ 30% การขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดจะใช้แรงอัดไม่มากนัก แม่แบบที่ใช้ขึ้นรูปกระเบื้องหลังคาจะเป็นวัสดุจำพวกที่มีความเหนียวกระเบื้องทุกแผ่นที่ผ่านเครื่องอัดแล้วจะถูกลำเลียงเข้าเตาอบแห้ง เพื่อไล่ความชื้นออกให้แห้งสนิทก่อนที่จะนำไปเคลือบสี

2.1.3.4 การอบแห้ง (Drying) การอบแห้งกระเบื้องเป็นขั้นตอนที่สำคัญ โดยเฉพาะการผลิตกระเบื้องปูพื้น เพราะกระเบื้องปูพื้นจะใช้เทคนิคการเผาเพียงครั้งเดียว ฉะนั้น กระเบื้องจะต้องได้รับการไล่ความชื้นออกจากตัวกระเบื้องจนแห้งสนิทก่อนจะนำไปเคลือบสี มิฉะนั้นกระเบื้องที่เคลือบแล้วจะบิดงอ ก่อนที่จะนำเข้าเตาเผา เตาอบที่ใช้อบกระเบื้องส่วนใหญ่จะเป็นแบบตั้งตรงสูงขึ้นไปจดหลังคาโรงงาน (Vertical Dryer) เพื่อประหยัดพื้นที่ของตัวโรงงานเตาอบอีกแบบหนึ่งจะเป็นลักษณะยาวนอน (Horizontal Dryer) ภายในเตาอบจะมีกระเช้าสำหรับวางกระเบื้อง กระเบื้องที่อัดออกมาจากเครื่องอัดจะถูกลำเลียงผ่านสายพานแล้วเข้าตัวป้อนกระเบื้องส่งเข้ากระเช้าจนเต็ม หลังจากนั้นกระเช้าก็จะเคลื่อนตัวขึ้นด้านบน กระเช้าถัดไปก็จะเคลื่อนตัวมารับกระเบื้องชุดต่อไปอย่างต่อเนื่อง กระเช้าทุกกระเช้าจะหมุนเคลื่อนตัวจากด้านล่างขึ้นด้านบนแล้ววนกลับลงมาภายในห้องเตาอบจะมีลมร้อนวิ่งสวนทางลงมากระทบกับกระเบื้องในกระเช้า ซึ่งจะทำให้ความชื้นในตัวกระเบื้องถูกขับออกทีละน้อยจนกระทั่งความชื้นถูกไล่ออกเกือบหมด เมื่อกระเช้าวนกลับมาด้านล่างพร้อมที่จะถูกลำเลียงออกจากเตาอบ ปรกติอุณหภูมิภายในเตาอบจะตั้งไว้ประมาณ 180 องศาเซลเซียส พลังความร้อนภายในเตาอบจะได้จากการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติซึ่งพ่นออกมาจากหัวฉีด

กระเบื้องที่ออกจากเตาอบจะยังคงร้อนอยู่ โดยมีอุณหภูมิที่หน้ากระเบื้องประมาณ 110 องศาเซลเซียส และความชื้นที่เหลืออยู่ในกระเบื้องจะต่ำกว่า 1% ลงมา

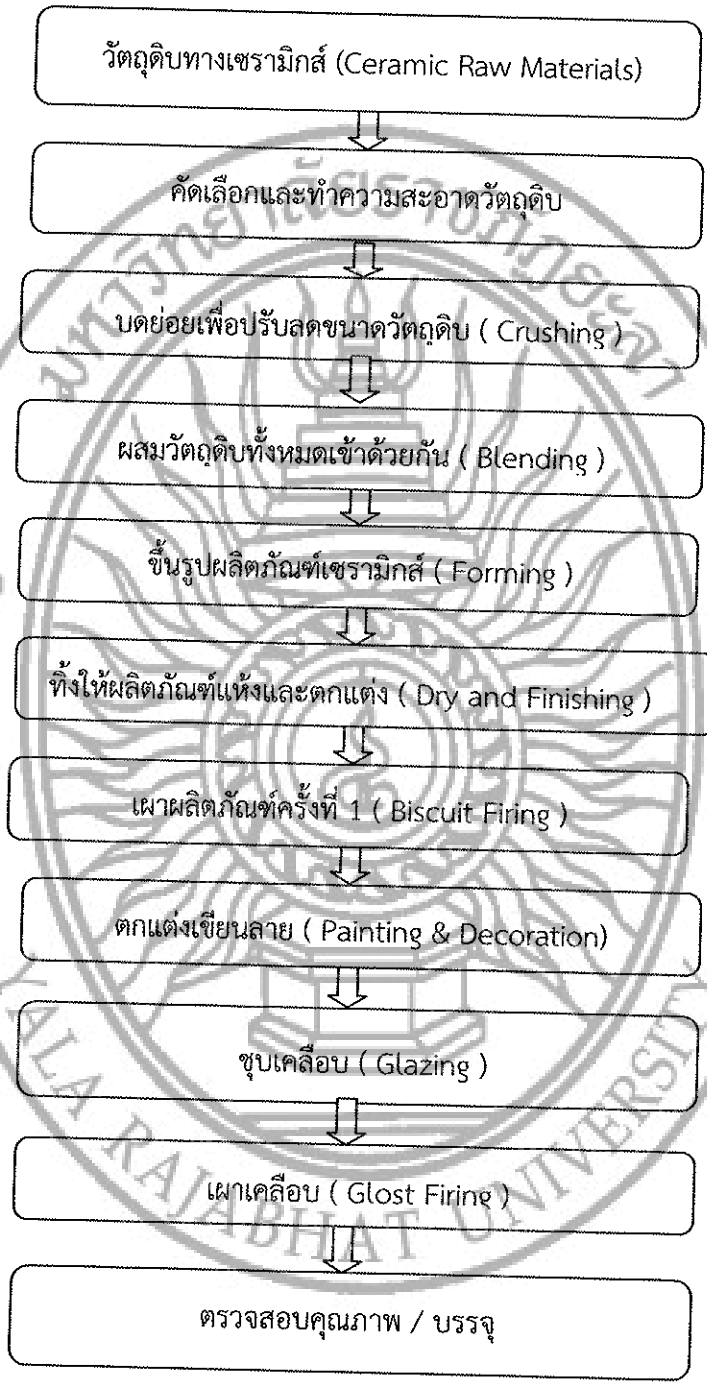
2.1.3.5 การเคลือบ (Glazing) กระเบื้องที่ออกจากเตาอบจะวิ่งมาตามสายพานผ่านเข้ารางเคลือบ ตู้แรกของสีเคลือบจะเป็นสีรองพื้นซึ่งจะเคลือบทับผิวหน้ามาด ๆ เพื่อป้องกันการเกิดรูเข็มที่ผิวหน้าของเคลือบ หลังจากผ่านการเคลือบรองพื้นแล้วกระเบื้องก็จะวิ่งผ่านไปยังตู้เคลือบตู้ที่สองซึ่งเป็นสีเคลือบที่แท้จริงการเคลือบตู้ที่สองจะใช้น้ำหนักเคลือบมากกว่าตู้แรก วิธีการเคลือบตู้ที่หนึ่งและตู้ที่สองจะใช้วิธีเคลือบได้ 2 ระบบ กล่าวคือ ระบบที่หนึ่งใช้วิธีเหวี่ยงหรือสลัดสีเคลือบเป็นฝอยเล็ก ๆลงบนแผ่นกระเบื้องด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า Disc การเคลือบด้วยวิธีนี้ผิวหน้าของเคลือบเมื่อเผาออกมาแล้วจะขรุขระคล้ายหนังไก่ส่วนอีกระบบหนึ่งจะเป็นการใช้วิธีปล่อยให้สีเคลือบไหลเป็นม่านน้ำตก และให้กระเบื้องวิ่งผ่านม่านสีเคลือบซึ่งการเคลือบด้วยวิธีนี้ สีเคลือบที่เคลือบทับบนหน้ากระเบื้องจะราบเรียบ และใช้สีเคลือบมากกว่าระบบแรกเครื่องมือที่ใช้เคลือบแบบม่านน้ำนี้เรียกว่า Bell หรือ Compana เนื่องจากกระเบื้องต้องวิ่งผ่านม่านสีเคลือบ สีเคลือบส่วนหนึ่งจะล้นออกมาที่ขอบกระเบื้องจึงจำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์ขัดขอบ เพื่อขัดสีเคลือบออกจากขอบกระเบื้องทั้งสี่ด้านมิฉะนั้นเมื่อนำเข้าเผาในเตาอาจทำให้สีเคลือบไหลย้อยมาติดลูกกลิ้งในเตา หรืออาจทำให้กระเบื้องเกาะติดกันได้ ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นการเคลือบสีเรียบหากต้องการสีลวดลายก็จะต้องผ่านเครื่องพิมพ์ลายหลังจากผ่านการเคลือบสีแล้ว การพิมพ์ลายบนหน้ากระเบื้องก็จะเหมือนกับการพิมพ์ผ้า กล่าวคือ จะต้องเตรียมลายกระเบื้องลงบนแผ่นผ้า แผ่นผ้าที่มีลายกระเบื้องจะนำไปขึงเป็นกรอบสี่เหลี่ยมเพื่อนำไปติดตั้งอยู่กับเครื่องพิมพ์ ก่อนที่กระเบื้องจะเข้าเครื่องพิมพ์ลายจะต้องพ่นน้ำกาวลงบนหน้ากระเบื้องเวลาพิมพ์สีจะได้ยึดเกาะติดกับตัวกระเบื้อง การพิมพ์ลายกระเบื้องอาจพิมพ์ตั้งแต่ 1 ลายจนถึง 3 ลาย ถ้าต้องการพิมพ์มากกว่า 3 ลายจะทำไม่ได้เพราะสีจะเยิ้มการทำลวดลายกระเบื้องนอกจากใช้เครื่องพิมพ์ลายแล้ว อาจใช้เครื่องชนิดอื่น เช่น เครื่องโรยเกล็ดสีลงบนหน้ากระเบื้อง ทำให้เกิดเป็นลวดลายเป็นจุด หรือดอกเล็ก ๆ กระจายบนหน้ากระเบื้อง กระเบื้องที่ผ่านขั้นตอนการเคลือบแล้วก็จะถูกนำไปเก็บไว้ในรถเตา เพื่อรอการนำเข้าเผาในเตาลูกกลิ้ง (Roller Kiln) ต่อไป

2.1.3.6 การเผา (Firing) กระเบื้องที่ผ่านการเคลือบสีแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่เป็นตัวกระเบื้องยังไม่แข็งแกร่งพอที่จะนำไปใช้งานได้หน้ากระเบื้องทุกแผ่นจะต้องนำไปเผาในเตาเผาเสียก่อน เตาเผาที่ใช้เผากระเบื้องมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตว่า เป็นการเผาอย่าง

ต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง ถ้าเป็นเตาที่ใช้เผาอย่างไม่ต่อเนื่องเตาที่ใช้จะเป็นเตาสี่เหลี่ยมหรือเตากลม ถ้าเป็นเตาที่ใช้เผาอย่างต่อเนื่องจะเป็นเตาอุโมงค์ (Tunnel Kiln) หรือเตาลูกกลิ้ง (Roller Kiln) โดยเฉพาะการเผากระเบื้องในปัจจุบัน ผู้ผลิตจะใช้เตาแบบลูกกลิ้งเพราะให้ผลผลิตได้มากกว่าเตาอุโมงค์ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีการเผาที่พัฒนาขึ้นใหม่ และใช้เวลาในการเผาสั้นมาก คือประมาณ 40 นาที ในขณะที่เตาอุโมงค์ต้องใช้เวลาในการเผาอย่างรวดเร็วที่สุดประมาณ 20 ชั่วโมงอุณหภูมิที่ใช้ในการเผากระเบื้องปูพื้นจะอยู่ระหว่าง 1,160-1,240 องศาเซลเซียส สำหรับการเผาด้วยเตาลูกกลิ้งจะใช้อุณหภูมิประมาณ 1,165 องศาเซลเซียส กรณีที่เป็นเตาอุโมงค์จะใช้อุณหภูมิประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส การกำหนดอุณหภูมิในการเผาขึ้นอยู่กับสูตรของเนื้อกระเบื้องและสีเคลือบที่แต่ละโรงงานจะเป็นผู้กำหนดขึ้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
YALA RAJABHAT UNIVERSITY

## กระบวนการผลิตเซรามิก




**ภาพที่ 1** ไดอะแกรมกระบวนการผลิตเซรามิก

**ที่มา :** (สมาคมเซรามิกไทย, 2552 : 12)

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**อาบีดีน ดะแซสาเมาะและคณะ (2554)** เถ้าไม้ยางพาราเป็นผลพลอยได้จากโรงงานไฟฟ้าชีวมวล เป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม วัสดุเหลือใช้นี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อใช้เถ้าไม้ยางพาราเป็นส่วนผสมในอิฐ โดยมีส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าไม้ยางพาราและทราย ในอัตราส่วน 50:45:5, 60:35:5 และ 70:25:5 อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน 0.80, 1.07 และ 1.76 จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และกำลังอัดของอิฐตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1505-2541 พบว่าปริมาณการเติมเถ้าไม้ยางพารามีผลต่อความหนาแน่นและร้อยละการดูดซึม นั้นคือ เมื่ออัตราส่วนการเติมเถ้าไม้ยางพารามีค่าเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นจะมีค่าลดลงแต่ร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น และจากผลการทดสอบกำลังอัดพบว่ากำลังอัดจะมีค่าลดลงเมื่อร้อยละการเติมเถ้าไม้ยางพารามีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากความพรุน และ ร้อยละของซิลิกอนไดออกไซด์ ($SiO_2$) และอลูมีเนียมออกไซด์ ($Al_2O_3$) ของเถ้าไม้ยางพาราที่น้อย ทำให้ลดการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานซึ่งปฏิกิริยาสร้างความแข็งแรงแก่อิฐ จากงานวิจัยสรุปได้ว่า อิฐจากการวิจัยเหมาะสำหรับการใช้งานที่ไม่รับน้ำหนัก เช่น อิฐงานประดับ อิฐสำหรับปูทางเดิน

**ธนวัฒน์ อักษรและคณะ (2555)** งานวิจัยเรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบอัตราส่วนความลงตัวระหว่างเถ้าไม้มะขามต่อดินขาวในการผลิตไส้กรองเซรามิก มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองด้านกายภาพ ด้านเคมี ด้านชีววิทยา การทดลองมี 3 ตอน คือ ตอนที่1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าไม้มะขาม พบว่ามี $Al_2O_3$, $SiO_2$, CaO, MgOเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีความคล้ายกับดินขาว เราจึงสามารถนำเถ้าไม้มะขามมาเป็นส่วนผสมของการทำไส้กรองได้ ในอัตราส่วนต่างๆ ตอนที่2 การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างไส้กรองเซรามิกที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้มะขามกับไส้กรองเซรามิกทั่วไป โดยนำเซรามิกที่มีอัตราส่วนของเถ้าไม้มะขาม 3 อัตราส่วน คือ อัตราส่วนของเซรามิกที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้มะขามต่อดินขาว อัตราส่วนที่1 คือ 10:90 อัตราส่วนที่ 2 คือ 20:80 อัตราส่วนที่3 คือ 30:70 โดยนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในด้านต่างๆ คือ การหดตัว และความแข็งแกร่งของไส้กรองเซรามิก ผลการทดลองพบว่าไส้กรองเซรามิกอัตราส่วนที่ 3 มีค่าความแข็งแกร่ง มากที่สุดคือ 353.67 ($kg/cm^2$) และมีการหดตัวของไส้กรองเซรามิกน้อยที่สุดคือ 9.174 % ตอนที่3 การศึกษาคุณภาพน้ำที่ผ่านการกรองจากไส้

กรองในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า ด้านกายภาพอัตราส่วนที่ 3 มีค่าความขุ่นน้อยที่สุด ทางด้านเคมี ไส้กรองเซรามิกในทุกอัตราส่วนนั้นมีค่าการกรองแร่ธาตุทองแดง(Cu) สังกะสี(Zn) ไนเทรต(NO) และคลอไรด์(Cl-) น้อยกว่าไส้กรองเซรามิกทั่วไป อัตราส่วนที่ 3 มีค่าการกรองฟลูออไรด์น้อยที่สุดคือ 0.08 (mg/L) และด้านจุลชีววิทยา ไม่พบเชื้อแบคทีเรีย Total Coliform bacteria และ Escherichia Coli สรุปได้ว่า ไส้กรองเซรามิกที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้มะขามต่อดินขาวอัตราส่วนที่3 คือ 30:70 มีประสิทธิภาพดีที่สุดในด้าน การหดตัวและความแข็งแกร่งของไส้กรองเซรามิกที่ดีกว่าอัตราส่วนอื่นๆ โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน มอก. ฉบับที่ 602-2529 และคุณภาพน้ำที่ผ่านจากไส้กรองในอัตราส่วนที่ 3 มีค่าความขุ่นน้อยที่สุด และค่าการกรองแร่ธาตุทองแดง สังกะสี ไนเทรต คลอไรด์ และฟลูออไรด์น้อยที่สุด โดยอ้างอิงจากมาตรฐานของน้ำประปาตามองค์การอนามัยโลก WHO ฉบับ 2010

**สำเร็จ สารมาคม(2556)** ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เถ้าลอยในการแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตบล็อกประสานที่ใช้ในงานโครงสร้างไม่รับแรงแบกทานรวมทั้งนำเสนออัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่เหมาะสมกำลังอัดของบล็อกประสานในงานโครงสร้างไม่รับแรงแบกทานต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อดินที่ใช้ในการศึกษานี้เท่ากับ 1:6 และ 1:8 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้กันในทางปฏิบัติผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของบล็อกประสานมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยจนถึงร้อยละ 30 (ค่าเหมาะสม) หลังจากนั้นความหนาแน่นแห้งจะมีค่าลดลงกำลังอัดของบล็อกประสานมีค่าลดลงตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยแม้ว่าหน่วยน้ำหนักจะมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อดินที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับผลิตบล็อกประสานในงานโครงสร้างไม่รับแรงแบกทานคือ 1/8 หากพิจารณากำลังรับแรงอัดที่เท่ากับ 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยที่เหมาะสมเท่ากับ 92:8, 87:13 และ 60:40 ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วันด้วยต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเท่ากับ 1.90, 1.85 และ 1.58 บาท

**ดนุพล ตันนโยภาสและคณะ (2552)** การวิจัยเน้นถึงความเป็นไปได้ในการนำผงหินบะซอลต์เหมืองหินกลับมาใช้ใหม่ผสมกับเถ้าใยปาล์มน้ำมันบดทำเป็นกระเบื้องเซรามิก ได้วิเคราะห์ทางเคมีและวิทยาแร่ด้วยเทคนิคการเรืองแสงรังสีเอกซ์และการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ตามลำดับ ยังได้ศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกระเบื้องที่เลือก แผ่นตัวอย่างปรุงขึ้นจากสี่ตำรับ แต่ละตำรับประกอบด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึง 30 อุณหภูมิเผาที่ 1,100 1,180 และ 1,200 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

และคงไว้ 30 นาที ได้วิเคราะห์สมบัติงานเผาได้แก่ ความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ การหดตัวหลังเผา น้ำหนักสูญหาย ความแข็ง กำลังดัด และความสวยรูปแผ่น สมบัติหลังเผาของแผ่นตัวอย่าง ได้แก่ การดูดซึมน้ำและกำลังดัดได้ตามเกณฑ์มาตรฐานไทย (มอก. 37-2529) นอกจากนี้ผลวิเคราะห์วัฏภาคโครงสร้างด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์พบแอนไฮไดรต์คริสโทบาไลต์ ควอตซ์ อะเคอร์มาไนต์โวลลาสโทไนต์ และไดออปไซต์ ผลการศึกษาระบุว่าตำรับหินฝุ่นบะซอลต์ร้อยละ 80-70 ผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันร้อยละ 20-30 เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสแสดงสมบัติเซรามิกเหมาะสมที่สุดอยู่ในเกณฑ์มอก. สำหรับการทำกระเบื้องปูพื้น

**ภาณุวัตร รื่นเรืองฤทธิ์และคณะ (2553)** การวิจัยได้มุ่งเน้นถึงการนำเศษแก้วมาใช้ทดแทนแร่ลอย (หินฟันม้า) ในกระบวนการผลิตสุขภัณฑ์เซรามิก โดยมุ่งหวังให้ต้นทุนการผลิตมีมูลค่าต่ำลง ตัวแปรที่นำมาใช้ศึกษาถึงการปรับปรุงส่วนผสม ได้แก่ ปริมาณเศษแก้วและอุณหภูมิที่ใช้เผาได้แก่ 1,180 องศาเซลเซียสและ 1,200 องศาเซลเซียสรวมถึงระยะเวลาการเผา ทั้งนี้คุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ยังคงเทียบเท่าเดิมและ/หรือดีขึ้นกว่าวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตปัจจุบัน ดัชนีที่ใช้ชี้วัดถึงการลดลงของต้นทุนการผลิตพิจารณาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำสุด (MARR) และอัตราผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C) โดยกำหนดให้โครงการมีอายุ 10 ปี ผลการศึกษาพบว่าสุขภัณฑ์ที่เผา ณ อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กล่าวคือ มีการหดตัวร้อยละ 12.16 มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.30 มีค่าโมดูลัสแตกร้าว 38.87 เมกะปาสคัลและลักษณะผิวเคลือบไม่มีการรานตัว สีขาวมันวาว มีตำหนิรูฟองอากาศเล็กน้อยและมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสุขภัณฑ์ของบริษัทขอนแก่นเซรามิกที่เผา ณ อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส มากกว่าสุขภัณฑ์ที่เผา ณ อุณหภูมิ 1,180 องศาเซลเซียสสามารถลดต้นทุนค่าวัตถุดิบและเชื้อเพลิงได้ 622,188.88 บาท/ปี โดยมีต้นทุนในการผลิตเศษแก้ว 408,197.85 บาท/ปี เมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ 1,069,469.25 บาท อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 45.97% สูงกว่าอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 10% ต่อปีและอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนมีค่ามากกว่า 1 เท่ากับ 1.39 ซึ่งมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน เมื่อพิจารณาถึงการวิเคราะห์ความไวพบว่าการนำเศษแก้วเพื่อมาใช้ในกระบวนการผลิตสุขภัณฑ์จะให้ผลตอบแทนที่ไม่คุ้มค่า หากราคาเศษแก้วเพิ่มขึ้นสูงกว่า 2.10 บาท/กิโลกรัม

**อาซีย๊ะ หมักหมันและคณะ (2556)** ได้ศึกษาการใช้ซีโอไลต์และผงหินชนวนเป็นวัตถุดิบในการผลิตเนื้อกระเบื้องเซรามิก หินชนวนแทนที่ซีโอไลต์ร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ภายใต้ความชื้นที่เหมาะสมในแต่ละอัตราส่วน ซึ่งวัตถุดิบทั้งหมดขึ้นรูปด้วยแรงอัดไฮโดรลิก100 บาร์ หมักไว้ 8 ชั่วโมง แล้วอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ก่อนเผาในเตาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิต่างกันคือ 1,100 1,150 และ 1,200 องศาเซลเซียส ผลทดสอบพบว่าความหนาแน่นรวมได้เพิ่มขึ้นตามปริมาณหินชนวนที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเติมหินชนวนลงไปได้ปรับปรุงให้สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของกระเบื้องเซรามิกซีโอไลต์ดีขึ้น โดยเฉพาะกระเบื้องผสมผงหินชนวนร้อยละ 30โดยน้ำหนักและอุณหภูมิเผาที่ 1,200 องศาเซลเซียส ทำให้กระเบื้องดูดซึมน้ำต่ำสุดคือร้อยละ 9.3 และที่เติมหินชนวนร้อยละ 10 กำลังดัดมีค่าสูงสุด 88.27 เมกะพาสคัล ซึ่งกระเบื้องทุกส่วนผสม และทุกอุณหภูมิเผาผ่านมาตรฐาน มอก. 37-2529 สำหรับกระเบื้องปูพื้น ประเภทดูดซึมน้ำสูง

**ดนุพล ตันนโยภาสและคณะ (2553)** ศึกษาผลกระทบของการเติมแกลบดำที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของกระเบื้องเซรามิกจากหินชนวน ตรวจสอบวัสดุดิบและพฤติกรรมในระหว่างการบดอัดที่กำหนดถึงความเหมาะสมสำ หรับกระบวนการเทคโนโลยีผง คุณลักษณะทางแร่ตรวจวิเคราะห์ด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์รวมทั้งวิเคราะห์เชิงความร้อนทำให้ได้ข้อมูลกระบวนการอบผนึก กระเบื้องมีขนาด 100 มม. X 100มม. X 7มม. ขึ้นรูปด้วยแรงกดไอดรอลิกที่ 10 เมกะพาสคัล หลังจากนั้นเผาที่สามอุณหภูมิจาก 1,130 1,140 และ 1,150°ซ. ได้ตรวจสอบสมบัติของกระเบื้องตัวอย่างที่อบผนึก ได้แก่ ความหนาแน่นรวม รูปทรงเปลี่ยนแปลง น้ำหนักสูญหาย การหดตัวความแข็งกระดอน กำลังดัด และการดูดซึมน้ำ ผลทดสอบการแสดงถึงแผ่นตัวอย่างหลอมเยิ้มมีความหนาแน่นและกำลังอัดเหมาะสมที่อัตราส่วนผสมเถ้าแกลบร้อยละ 30 และอุณหภูมิ 1,150 ซ. สมบัติของแผ่นตัวอย่างเหมาะสมสำหรับกระเบื้องปูพื้น

**วรรณา ต.แสงจันทร์ (2552)** การศึกษาวิจัยเป็นการทำอิฐมวลเบาจากเศษแก้ว เพื่อใช้เป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคารบ้านเรือน โดยนำเศษแก้วสีชาบดให้ละเอียด ผสมสารก่อฟอง (foaming agent)ชนิดหินปูนหรือโดโลไมต์ ในปริมาณ 0.5-2.0 ส่วน ต่อเศษแก้ว 100 ส่วน ขึ้นรูปเป็นก้อนอิฐ เผาที่อุณหภูมิ800 และ 850 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างไปทดสอบหาค่าความหนาแน่น ความต้านแรงอัด และค่าการนำความร้อน ศึกษาผลของปริมาณสารก่อฟอง และอุณหภูมิเผาต่อสมบัติ ความหนาแน่นและความต้านแรงอัด

**สุรชัย กรุดทองและกิตติพงษ์กิมะพงศ์ (2554)** งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการนำของเสียจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียในโรงงานเซรามิคมาใช้ประโยชน์โดยนำกลับมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องบิสกิต เพื่อเป็นการลดต้นทุนในด้านการจัดการกากของเสียที่เกิดขึ้นซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการจัดการสูงและมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นตามกำลังการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น ผลการศึกษาลักษณะองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนดินจากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานเซรามิค พบว่ามีสารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 67.70 และสารประกอบอะลูมินาออกไซด์ร้อยละ 16.61 ใกล้เคียงวัตถุดิบที่ใช้ในส่วนผสมของกระเบื้องบิสกิต จึงทำการทดสอบนำตะกอนดินเซรามิคมาทดแทนในส่วนผสมวัตถุดิบ งานวิจัยใช้ตะกอนดินเซรามิคทดแทนบอลเคลย์โดยใช้ตะกอนดินเซรามิคที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 100 การศึกษาใช้สูตรที่มีส่วนผสมของทัลค์ร้อยละ 60 บอลเคลย์ร้อยละ 40 และแปรอัตราส่วนการทดแทนบอลเคลย์ด้วยตะกอนดินเซรามิคเป็นร้อยละ 0, 25, 50, 75, 100 ตามลำดับขึ้นรูปกระเบื้องตัวอย่างดิบขนาด 50 มม. X 100 มม. X 10 มม.ด้วยแรงอัด 300 บาร์ กระเบื้องตัวอย่างที่ทดสอบจำนวน 10 ชิ้นต่อสูตรการทดลอง เผาให้สุกด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ1,100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที ทดสอบสมบัติกระเบื้องตัวอย่างได้แก่ รูปทรงของกระเบื้องหลังการเผา การหดตัวเชิงเส้นของกระเบื้องหลังการเผา ความสอบของกระเบื้องหลังการเผา การดูดซึมน้ำของกระเบื้องหลังการเผาผลการทดสอบกระเบื้องตัวอย่างทั้ง 5 สูตรพบว่าปริมาณของตะกอนดินเซรามิคที่เพิ่มขึ้นทำให้การหดตัวเชิงเส้นของกระเบื้องหลังการเผา ความสอบของกระเบื้องหลังการเผา การดูดซึมน้ำของกระเบื้องหลังการเผามีค่าเพิ่มสูงขึ้นกระเบื้องทดสอบทั้ง 5 สูตรมีสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 613-2529 ที่ใช้สำหรับการผลิตกระเบื้องบุผนังภายใน

**ณัฐเศรษฐ์ น้ำคำ (2551)** การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเคลือบขี้เถ้าพืชที่มีการตกแต่งเครื่องปั้นดินเผาประเภทเนื้อดินพื้นบ้าน จึงได้กำหนดตัวแปรที่ศึกษาซึ่งได้แก่ระดับความมันวาวของผิวเคลือบ ความสมบูรณ์ของเคลือบ สีของเคลือบ ความเหมาะสมของอัตราส่วนผสมของสูตรเคลือบ และผลของเคลือบขี้เถ้าพืชที่มีผลต่อการตกแต่งเครื่องปั้นดินเผาเนื้อดินพื้นบ้านวิธีการดำเนินการวิจัย คำนวณหาสูตรเคลือบด้วยวิธี TriaxialBlentโดยมีขี้เถ้าพืชทั้ง 10 ชนิด ได้แก่ กระถินข้าว(แกลบ) ข้าวโพด จามจุรี ผักตบชวา มะขาม มะขามเทศ มะพร้าว หางนกยูงและหูกวาง เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้เป็นส่วนผสมในอัตราส่วน 50-80% หินฟันม้า 10-40% ดินพื้นบ้าน 10-40% โดยขี้เถ้าพืชแต่ละชนิดจะได้สูตร 10 สูตร ซึ่งรวมทั้งสิ้น 100 สูตร นำบดผสมเคลือบ จากนั้นนำมาชุบน้ำ

เคลือบหนา 1.5 มิลลิเมตร ลงบนแผ่นทดลองที่ทำมาจากดินพื้นบ้านที่ผ่านกระบวนการเผาดิบด้วยอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และนำมาเผาเคลือบอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส บรรยากาศแบบสมบูรณ์ (Oxidation)

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
YALA RAJABHAT UNIVERSITY

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินงานวิจัย

## 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

### 3.1.1 วัสดุ

3.1.1.1 ดินดำ

3.1.1.2 ขี้เถ้าไม้ยางพารา

3.1.1.3 เศษแก้วโซดาไลม์

3.1.1.4 น้ำ

3.1.1.5 เมทิลีนบลู

### 3.1.2 อุปกรณ์

3.1.2.1 เตาอบยี่ห้อ SAMSUNG รุ่น N1712N อุณหภูมิสูงสุด 800 °C

3.1.2.2 เตาเผายี่ห้อ CARBOLICE รุ่น CWS 1200 อุณหภูมิสูงสุด 1200 °C

3.1.2.3 เครื่องบดยี่ห้อ SUPER LINE

3.1.2.4เครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง

3.1.2.5 เวอร์เนียดิจิตอล

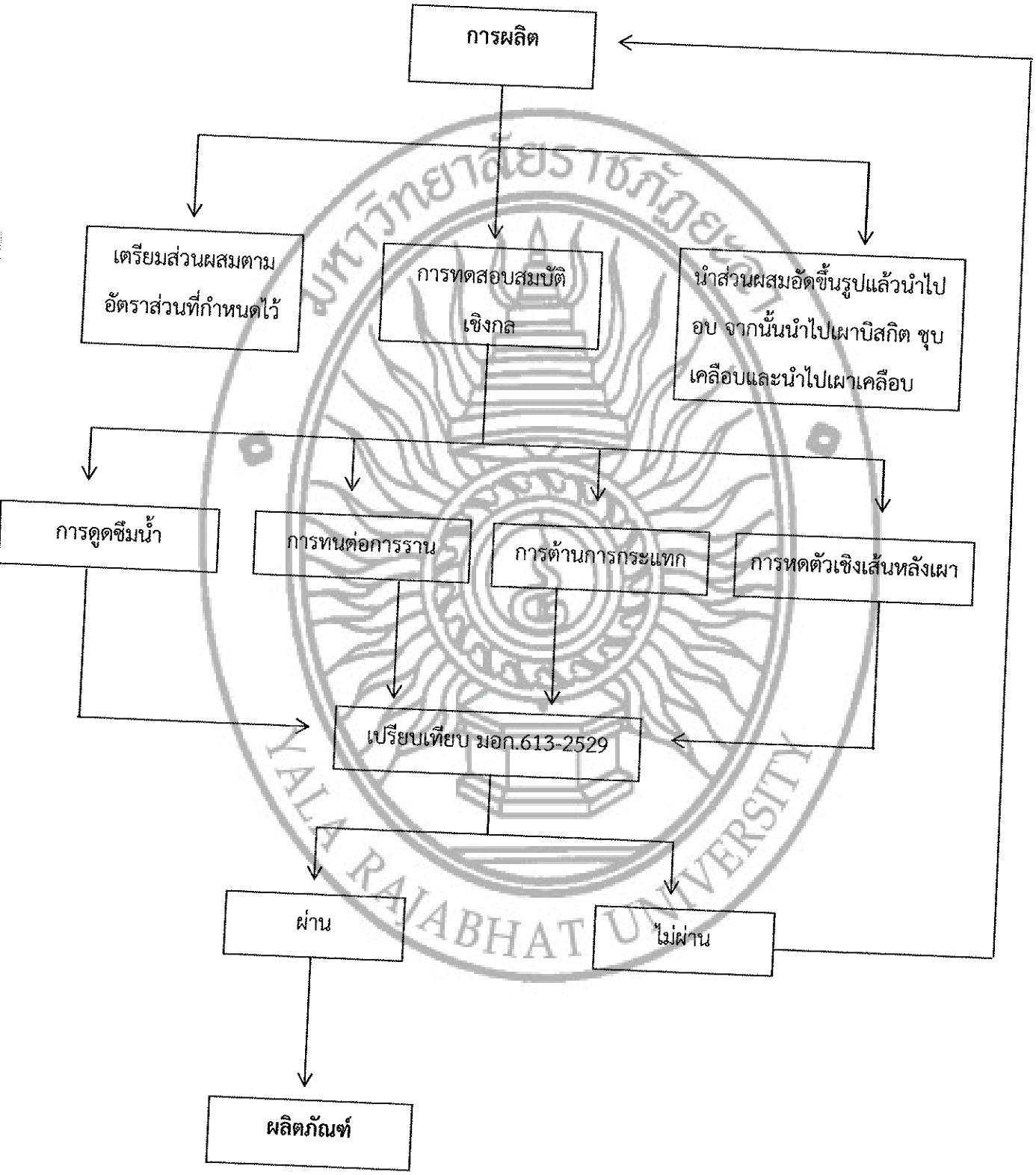
3.1.2.6 หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave)

3.1.2.7 เหล็กเส้นกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ยาว 156 มิลลิเมตร

3.1.2.8 ลูกเหล็กกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 19±0.05 มิลลิเมตร หนัก 28.35±0.26 กรัม

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา YALA RAJABHAT UNIVERSITY

## ไดอะแกรมการผลิตกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา




**ภาพที่ 2** ไดอะแกรมการผลิตกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา

## 3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

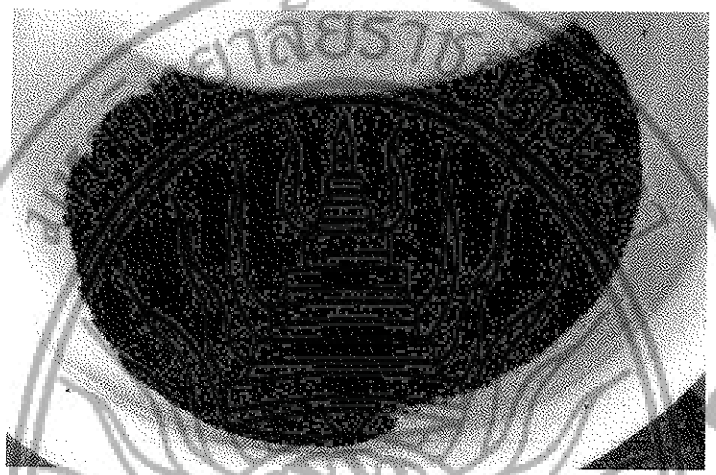
อัตราส่วนของการผลิตกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารามีความจำเป็นต้องแยกศึกษาในรายละเอียดต่างๆที่ใช้ในการผลิตกระเบื้องซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลักๆ คือ ขั้นเตรียมส่วนผสม เป็นการคัดเลือกวัตถุดิบและขนาดของวัตถุดิบให้เหมาะสมกับการทำกระเบื้อง ขั้นตอนการผลิตกระเบื้อง เป็นการขึ้นรูปกระเบื้องในรูปทรงต่างๆและให้เป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมและขั้นตอนการทดสอบ เป็นการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของกระเบื้อง โดยทำการศึกษาอัตราการดูดซึมน้ำ การทนต่อการราน การต้านการกระแทกและอัตราการหดตัวเชิงเส้นหลังเผาของกระเบื้อง

### 3.2.1 ขั้นเตรียมส่วนผสม

3.2.1.1นำดินดำ ใส่ถังแล้วเติมน้ำลงไปใช้มือบีบ ขยำให้ดินแตกยุ่ย แล้วใช้ไม้กวน ให้น้ำดินเป็นเนื้อครีม หมักดินใส่น้ำทิ้งไว้ 1 คืน (ยิ่งหมักนานเท่าไหร่ยิ่งดี) เพื่อสลายสารเคมีจำพวกเกลือ ที่มีอยู่ในดินละลายออกมา เพราะสารเกลือบางตัวจะทำให้ผลงาน เป็นคราบขาวเมื่อเผาสุกแล้ว การแช่น้ำจะทำให้ดินย่อยสลายเล็กลง ไม่มีฟองอากาศในเนื้อดิน เมื่อหมักทิ้งไว้น้ำดินจะแยกตัวออกเป็น 2 ส่วน โดยข้างบนจะเป็นน้ำใสๆ แยกชั้นจากเนื้อดินที่เป็นเนื้อครีมละเอียดตกตะกอนอยู่ชั้นล่าง ให้เทน้ำใสๆชั้นบนทิ้งไปกวนดินที่หมักให้เป็นเนื้อครีม แล้วตักมากรองใส่ตะแกรงตาถี่หรือตะแกรงร่อนแป้งกรองเก็บเศษวัสดุและกรวด หิน ทราย ทิ้งไป น้ำดินที่ผ่านตะแกรงจะเป็นดินเนื้อละเอียดล้วนๆ ถ้าน้ำดินข้นเกินไปให้เติมน้ำ ลดความข้นเพื่อง่ายต่อการกรอง ใช้ไม้ช่วยคนในตะแกรงร่วมด้วยเทเนื้อดินจากถังใส่จานรองกระถางขนาดใหญ่ หรือภาชนะทรงเตี้ยกว้าง เพื่อเป็นการตากดิน ช่วยให้ดินแห้งเร็วขึ้นแล้วนำไปตากดินทิ้งไว้ราว 2-3 วัน ดินจึงจะแห้งสนิท แล้วแต่สภาพของความชื้นในอากาศ แสงแดด และลม(ฤดี, 2555: 34)

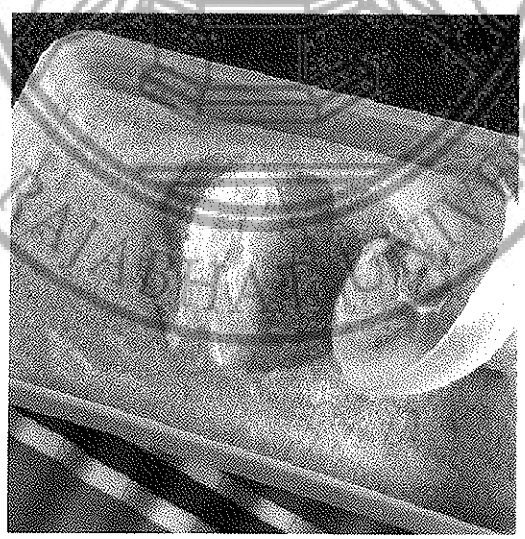
**ภาพที่ 3** ดินดำที่ตากจนแห้งสนิท

3.2.1.2 นำขี้เถ้าจากโรงงานแช่ลงในน้ำเป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้ขี้เถ้าแยกส่วนระหว่างเนื้อละเอียดกับเนื้อหยาบ โดยเนื้อละเอียดจะตกตะกอน ส่วนเนื้อหยาบจะลอยอยู่บริเวณผิวน้ำตักส่วนที่เป็นเนื้อหยาบออก จากนั้นเทน้ำที่เหลือออกจนหมด แล้วนำขี้เถ้าไม้ยางพาราที่เป็นเนื้อละเอียดมากรองผ่านตะแกรง เบอร์ 12 และนำไปตากแดดจะได้ขี้เถ้าไม้ยางพาราที่แห้งสนิทแล้วนำมาร่อนตะแกรง เบอร์ 12 อีกครั้งเพื่อให้ได้ขี้เถ้าไม้ยางพาราที่ละเอียด(สุธรรม และคณะ, 2549 : 3)



**ภาพที่ 4** ขี้เถ้าไม้ยางพาราที่ตากจนแห้งสนิท

3.2.1.3 นำแก้วโซดาไลม์มาทุบให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบด ซึ่งการบดแก้วโซดาไลม์ควรบดหลายครั้งจนเป็นเนื้อละเอียดสามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 12 ได้(ภาณุวัตร และคณะ, 2554 : 213)



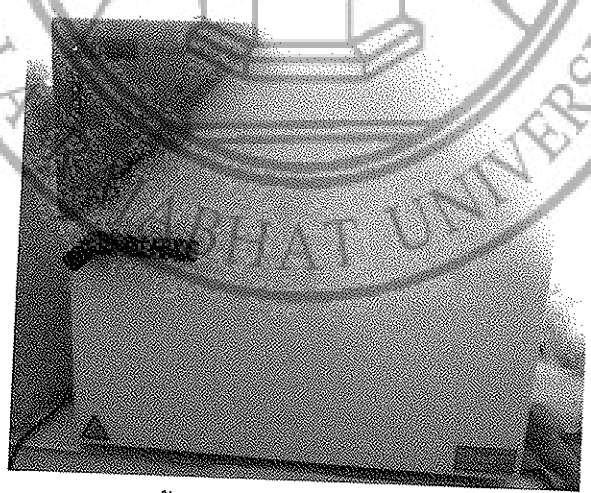
**ภาพที่ 5** แก้วโซดาไลม์ที่ผ่านการบดจนเป็นเนื้อละเอียด

### 3.2.2 ขั้นตอนการผลิตกระเบื้อง

3.2.2.1 นำดินดำ 3 ส่วน แก้วโซดาไลม์1.5 ส่วน ตัวประสาน80 กรัม ขี้เถ้าไม้ยางพารา 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ส่วน ตามลำดับ และเติมน้ำตามอัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้นในอัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพาราต่อน้ำเป็น 1 : 10 จะได้ส่วนผสมที่ใช้ในการทำกระเบื้องทั้งหมด 6 สูตร จากนั้นมาอัดขึ้นรูป (สมาคมเซรามิกไทย, 2552 : 12)

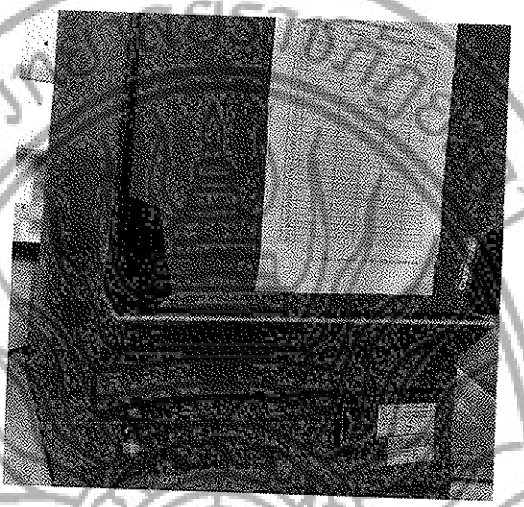
**ภาพที่ 6** การอัดขึ้นรูปตามแบบพิมพ์

3.2.2.2 นำกระเบื้องที่อัดขึ้นรูปมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการให้ความร้อนภายใต้สภาวะการควบคุมเพื่อกำจัดความชื้นที่มีอยู่ในเนื้อกระเบื้องโดยการระเหยออก (สุรชัยและกิตติพงษ์, 2554 : 252)



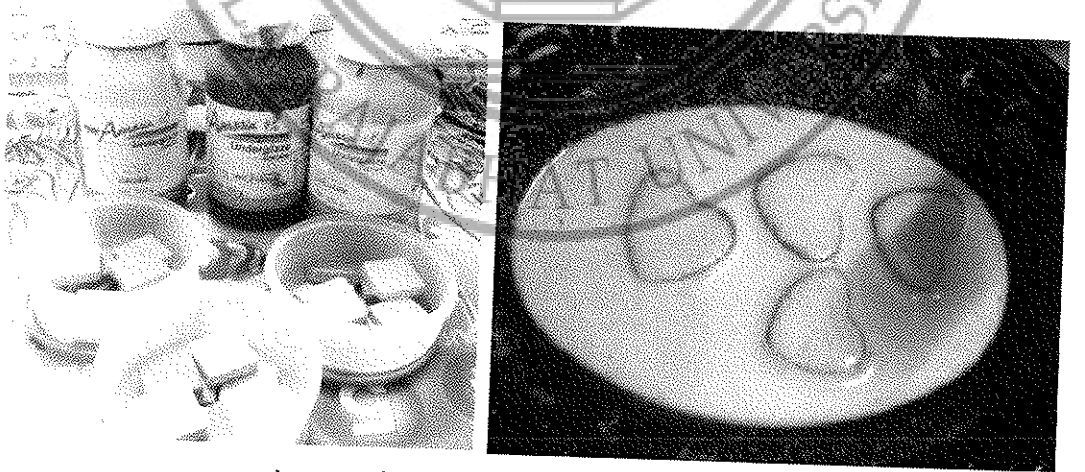
**ภาพที่ 7** การอบแห้งกระเบื้องที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.2.2.3 นำกระเบื้องที่ผ่านการอบแห้งมาเผาบิสกิตที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 – 10 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการเผาโดยการให้ความร้อน ในปริมาณการเพิ่มความร้อนทีละน้อย การเผาบิสกิตต้องให้ระยะเวลาในการเผาเป็นไปอย่างช้าๆ เพราะผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วยังมีความชื้นและสารอินทรีย์ หลงเหลืออยู่ในชิ้นงาน ดังนั้นการเผาบิสกิตจึงเป็นการเผาไล่ความชื้นและสารอินทรีย์ก่อนที่นำผลิตภัณฑ์ชุบเคลือบเพื่อให้เนื้อกระเบื้องสุกตัวและแข็งแรง (ณัฐเศรษฐ์, 2551 : 35)



**ภาพที่ 8** เผาบิสกิตกระเบื้องที่อุณภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 – 10 ชั่วโมง

3.2.2.4 นำกระเบื้องที่ผ่านการเผาบิสกิตมาทาสี ตกแต่งลวดลายและชุบเคลือบด้วยน้ำเคลือบกระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนประกอบของซิงค์ออกไซด์เพื่อให้กระเบื้องมีความมันวาว มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นและสามารถทำความสะอาดได้โดยง่าย ซึ่งการชุบเคลือบหนาประมาณ1 - 1.5 มิลลิเมตร(สมาคมเซรามิกไทย, 2552 : 3)



**ภาพที่ 9** กระเบื้องที่ทาสีทนไฟและนำไปชุบน้ำเคลือบ

3.2.2.5 นำกระเบื้องที่ผ่านการชุบเคลือบมาเผาอีกครั้ง เป็นการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 – 12 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำเคลือบหลอมเป็นเนื้อแก้วติดแน่นอยู่บนผิวกระเบื้อง (สุรชัย และกิตติพงษ์, 2554 : 252)

**ภาพที่ 10** กระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราที่เผาเคลือบ อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 – 12ชั่วโมง

### 3.2.3 ขั้นตอนการทดสอบ

3.2.3.1 วิธีการทดสอบการดูดซึมน้ำ

ทำเครื่องหมายไว้บนกระเบื้องแต่ละแผ่น แล้วอบที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ จากนั้นรีบนำมาแยกชั่งทีละแผ่น ให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม น้ำหนักกระเบื้องที่ชั่งได้นี้ให้ถือเป็นน้ำหนักกระเบื้องแห้ง จากนั้นแช่กระเบื้องเหล่านี้ให้จมอยู่ในน้ำกลั่น ต้มให้เดือดอย่างน้อย 2 ชั่วโมง โดยให้น้ำกลั่นท่วมกระเบื้องตลอดเวลา แล้วปล่อยไว้ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง นำขึ้นซับน้ำที่เกาะติดอยู่ด้วยผ้าหมาดที่สะอาดแล้วรีบชั่งทันทีทีละแผ่นให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม น้ำหนักกระเบื้องที่ชั่งให้ถือเป็นน้ำหนักหลังจากแช่น้ำซึ่งคำนวณได้จากสูตรในสมการที่ 1 (มาตรฐานอุตสาหกรรม 613, 2529: 11)

**ภาพที่ 11** กระเบื้องหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.2.3.2 วิธีการทดสอบการทนการราน

ใส่น้ำลงในหม้อนึ่งอัด (autoclave) ให้มากพอที่จะใช้ตลอดการทดสอบนี้ วางกระเบื้องบนขาตั้ง(supporter)ที่สูงพ้นระดับน้ำ ปิดฝาให้แน่นเริ่มต้มโดยเปิดลิ้นท่อไอน้ำออกจนกระทั่งน้ำเดือดเพื่อให้ไอน้ำไล่อากาศภายในหม้อนึ่งอัดออกหมดแล้วจึงปิด ปล่อยให้น้ำเดือดต่อไปให้ความดันไอค่อยๆเพิ่มขึ้นด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอจนมีความดันประมาณ 100 กิโลปาสกาล ในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ปรับความร้อนให้พอเพียงเพื่อรักษาความดันไอน้ำให้คงที่ที่ 102±2 กิโลปาสกาล รักษาความดันนี้ไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วจึงดับไฟ และค่อยๆระบายความดันออกทีละน้อยจนหมด หลังจากทิ้งให้กระเบื้องเย็นในหม้อนึ่งอัดจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วให้นำกระเบื้องออกมาย้อมด้วยสารละลายของสีย้อมอินทรีย์ เช่น เมทิลีนบลู ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก บนผิวเคลือบสารละลายของสีย้อมจะปรากฏแทรกเป็นลายเส้นของการรานบนผิวเคลือบนั้น บันทึกและตรวจสอบลายเส้นที่ปรากฏเหล่านี้ไว้(มาตรฐานอุตสาหกรรม 613, 2529: 12)

**ภาพที่ 12** การทดสอบการทนต่อการราน

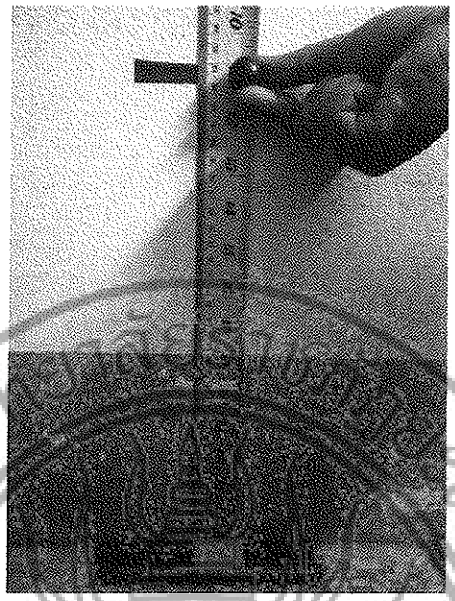
3.2.3.3 วิธีการทดสอบการต้านการกระแทก

1) ยึดเหล็กเส้นกลมทั้ง 2 เส้นให้มั่นคงในแนวนอนและขนานกัน โดยให้แนวแกนทั้งสองห่างกัน 76 มิลลิเมตร

2) ทดลองหาตำแหน่งที่ถูกต้องระหว่างแผ่นกระเบื้องซึ่งวางอยู่บนเหล็กเส้นกลมกับที่ยกลูกเหล็กกลมโดยทดลองหลายๆครั้งกับแผ่นกระดาษซึ่งใช้เป็นชิ้นทดสอบจำลอง จนกระทั่งได้ตำแหน่งที่เมื่อปล่อยจากที่ยก ลูกเหล็กกลมจะตกลงที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบจำลองพอดี

3) วางกระเบื้องบนเหล็กเส้นกลมทั้งสองให้สมดุลและตรงตำแหน่งที่ถูกต้อง ตามข้อที่ 2 โดยให้ด้านที่มีผิวเคลือบอยู่ข้างบน

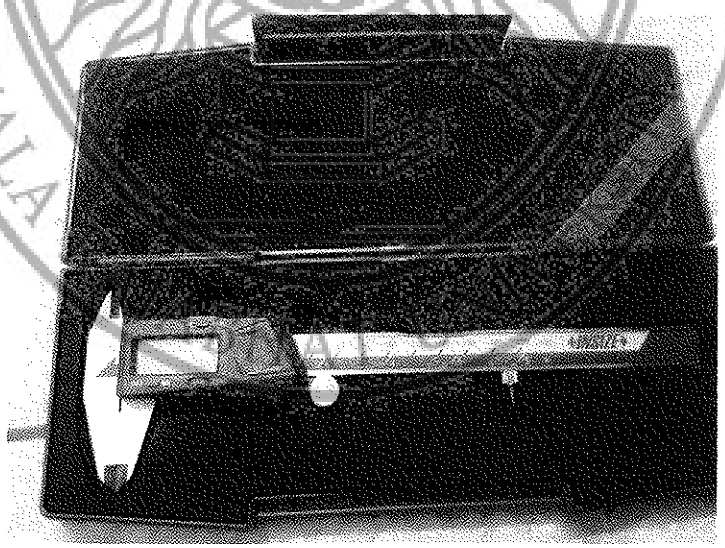
4) ปล่อยลูกเหล็กกลมให้กระทบกับกระเบื้อง โดยเลือกใช้ระยะความสูงตามที่ได้กำหนดไว้ในตารางที่ 3 (มาตรฐานอุตสาหกรรม 613, 2529: 12)



**ภาพที่ 13** การทดสอบการต้านการกระแทกของกระเบื้อง

3.2.3.4 วิธีการทดสอบการหดตัวเชิงเส้นของกระเบื้องหลังการเผา

เมื่อนำกระเบื้องไปทำการเผากระเบื้องจะสูญเสียน้ำและสารประกอบบางชนิดเช่น สารประกอบคาร์บอนที่อยู่ในโครงสร้างทางเคมีจึงเป็นผลให้ขนาดของกระเบื้องเล็กลงซึ่งวิธีการทดสอบจะใช้เวอร์เนียดิจิตอลเป็นเครื่องมือวัดความยาวของกระเบื้องเมื่อแห้งและความยาวกระเบื้องหลังการเผาซึ่งคำนวณได้จากสูตรในสมการที่ 2 (สุรชัยและกิตติพงษ์, 2554 : 253)



**ภาพที่ 14** การวัดค่าการหดตัวเชิงเส้นหลังเผาของกระเบื้องด้วยเวอร์เนียดิจิตอล

# บทที่ 4
# ผลการวิจัย

## 4.1 ผลการวิจัย

การศึกษากระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราเพื่อนำไปใช้งานด้านบุผนังนั้นมีความจำเป็นต้องศึกษาสมบัติเชิงกล ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญของกระเบื้องบุผนังในการใช้กระเบื้องที่ทำจากขี้เถ้าไม้ยางพารา โดยทำการศึกษาสมบัติเชิงกลในด้าน การดูดซึมน้ำ การทนต่อการราน การต้านการกระแทกและการหดตัวเชิงเส้นหลังเผา

**สมบัติเชิงกลของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา**

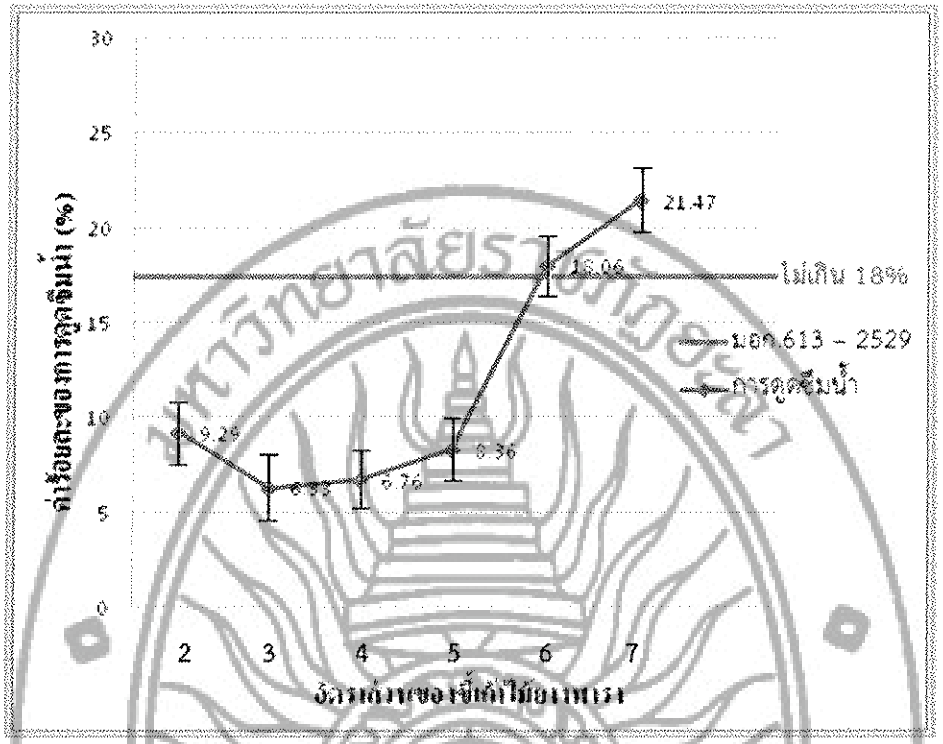
การดูดซึมน้ำถือเป็นสมบัติเชิงกลที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในการใช้งาน เนื่องจากน้ำมีสถานะเป็นของเหลวสามารถดูดซึมเข้าไปในเนื้อกระเบื้องได้ง่าย ทำให้กระเบื้องพองตัว เมื่อถูกกระแทกจะทำให้กระเบื้องแตกหรือหักได้ ดังนั้นการดูดซึมน้ำของกระเบื้องจะต้องอยู่ในระดับมาตรฐานซึ่งอัตราส่วนต่างๆของขี้เถ้าไม้ยางพาราในการทำกระเบื้องโมเสนั้นมีผลโดยตรงต่อการดูดซึมน้ำ และมีอัตราการดูดซึมน้ำที่แตกต่างกัน

การทนต่อรานถือเป็นสมบัติเชิงกลที่มีความสำคัญในการเสริมความแข็งแรงให้กระเบื้อง เนื่องจากการรานเป็นลักษณะที่ปรากฏเป็นรอยร้าวบนผิวเคลือบของกระเบื้อง หากผิวเคลือบของกระเบื้องปรากฏเป็นรอยร้าวจะทำให้กระเบื้องแตกง่าย ยากต่อการทำความสะอาดและยังก่อให้เกิดคราบสกปรก ทำให้ความสวยงามของกระเบื้องลดลง

การต้านการกระแทกถือเป็นสมบัติเชิงกลที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับการใช้งานบุผนัง เนื่องการรับแรงที่มากระแทกบนกระเบื้องจะต้องอยู่ในระดับมาตรฐาน คือ กระเบื้องจะต้องไม่แตกและร้าว เมื่อนำไปเปรียบเทียบน้ำหนักก่อนและหลังการกระแทกจะต้องได้ค่าของน้ำหนักกระเบื้องไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งอัตราส่วนต่างๆของขี้เถ้าไม้ยางพาราในการกระเบื้องนั้นมีผลโดยตรงต่อการต้านการกระแทก และมีการต้านการกระแทกที่แตกต่างกัน

การหดตัวเชิงเส้นหลังเผาถือเป็นสมบัติเชิงกลที่มีความสำคัญในด้านการพิจารณาขนาดและรูปทรงของกระเบื้อง เนื่องจากการใช้งานของกระเบื้องมีลักษณะการเชื่อมต่อกันเป็นแผงวางบนตาข่ายขนาด 12 x 12 นิ้ว จึงต้องอยู่ในระดับมาตรฐานซึ่งอัตราส่วนต่างๆของขี้เถ้าไม้ยางพาราในการกระเบื้องนั้นมีผลโดยตรงต่อการหดตัวเชิงเส้นหลังเผา และมีการหดตัวเชิงเส้นหลังเผาที่แตกต่างกัน

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลดังกล่าวได้ผลการทดสอบของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราดังภาพที่ 15

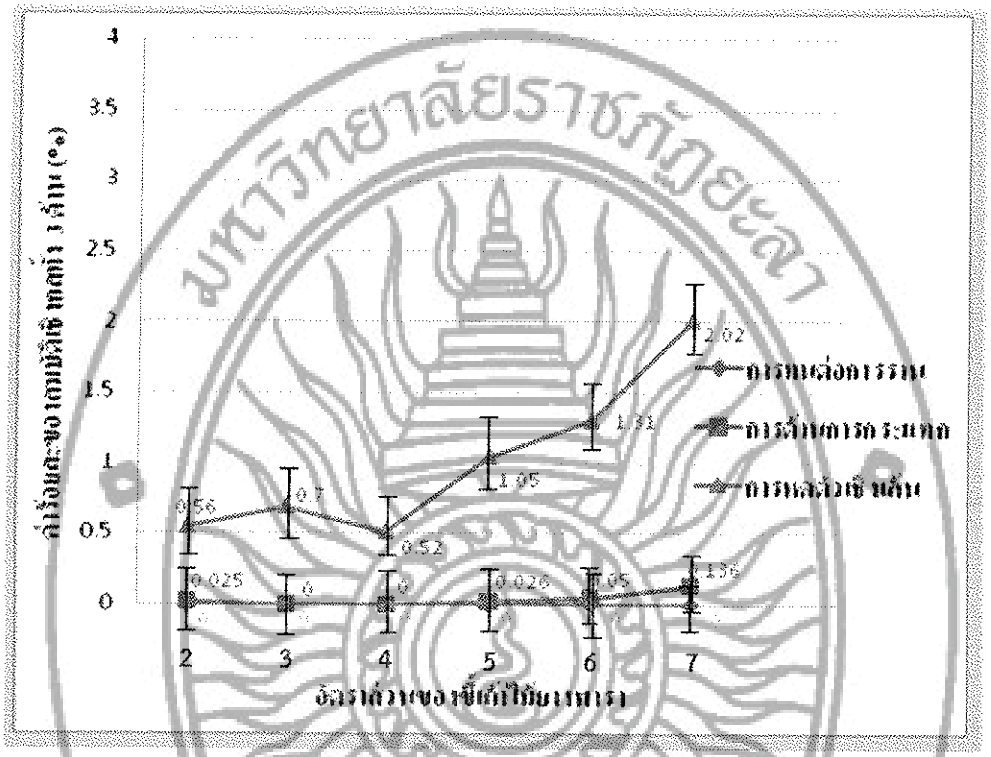



**ภาพที่ 15** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพารากับค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา

จากส่วนผสมที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 1 ดินดำ แก้วโซดาไลม์และตัวประสาน มีอัตราส่วนผสมที่คงที่ ส่วนขี้เถ้าไม้ยางพาราจะมีอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น โดยมีอัตราส่วนของน้ำแปรผันตรงกับปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา

จากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา พบว่า อัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพารา 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 9.29, 6.33, 6.76, 8.36, 18.06 และ 21.47 ตามลำดับ จากค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่ได้สามารถสรุปได้ว่า ขี้เถ้าไม้ยางพาราที่ผลิตกระเบื้องในอัตราส่วน0, 1, 2 และ 3 พบว่า มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 9.29, 6.33, 6.76 และ 8.36 ตามลำดับนั้นเป็นค่าร้อยละของการดูดซึมที่ไม่เกินร้อยละ 18 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมกระเบื้องบุผนังภายใน 613 – 2529 ที่สามารถนำกระเบื้องไปใช้งานด้านบุผนังและตกแต่งอาคารได้

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลด้าน การทนต่อการาน การต้านการกระแทกและการหดตัวเชิงเส้น ค่าที่ได้มีความละเอียดสูงทำให้ภาพที่ปรากฏมีลักษณะไม่ชัดเจน ทางคณะผู้วิจัยจึงแยกภาพของสมบัติเชิงกลทั้ง 3 ด้านไว้ ดังภาพที่ 16




**ภาพที่ 16** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพารากับค่าร้อยละสมบัติเชิงกลทั้ง 3 ด้านของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา

จากการทดสอบการทนต่อการรานของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา ที่มีอัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มีค่าร้อยละการการทนต่อการรานของกระเบื้องจากขี้เถ้าไมยางพาราเท่ากับ 0 ในทุกๆปริมาณของขี้เถ้าไม้ยางพาราที่ใช้ในการทำกระเบื้อง แสดงว่าบริเวณผิวเคลือบของกระเบื้องที่มีอัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพาราที่แตกต่างกันไม่ปรากฏเป็นรอยร้าว

จากการทดสอบการต้านการกระแทกของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราพบว่า อัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพารา 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มีค่าร้อยละการต้านการกระแทกเท่ากับ0.025, 0, 0, 0.026, 0.053 และ 0.277 ตามลำดับจากค่าร้อยละการต้านการกระแทกที่ได้สามารถสรุปได้ว่า ขี้เถ้าไม้ยางพาราที่ผลิตกระเบื้องในอัตราส่วน 1 และ 2 พบว่า มีค่าร้อยละการต้านการกระแทกเท่ากับ 0 นั้นเป็นค่าร้อยละของการต้านการกระแทกที่ไม่เกินร้อยละ 0 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมกระเบื้องบุผนังภายใน 613 – 2529 ที่สามารถนำกระเบื้องไปใช้งานด้านบุผนังและตกแต่งอาคารได้

จากการทดสอบการหดตัวเชิงเส้นหลังเผาของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราพบว่า อัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพารา 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มีค่าร้อยละการหดตัวเชิงเส้นหลังเผาเท่ากับ0.56, 0.70, 0.52, 1.05, 1.31 และ 2.02 ตามลำดับจากค่าร้อยละการหดตัวเชิงเส้นที่ได้สามารถสรุปได้ว่า ขี้เถ้าไม้ยางพาราที่ผลิตกระเบื้องในอัตราส่วน 0 และ 2 พบว่า มีค่าร้อยละการหดตัวเชิงเส้นหลังเผาเท่ากับ 0.56 และ 0.52 นั้นเป็นค่าร้อยละการหดตัวเชิงเส้นหลังเผาที่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานกำหนด ซึ่งไม่เกินร้อยละ 0.50 ตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมกระเบื้องบุผนังภายใน 613 – 2529 ที่สามารถนำไปใช้งานด้านบุผนังและตกแต่งอาคารได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
YALA RAJABHAT UNIVERSITY

# บทที่ 5
# สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผล

การผลิตกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราโดยกำหนดอัตราส่วนของดินดำ 3 ส่วน แก้วโซดาไลม์ 1.5 ส่วน และตัวประสาน80 กรัม ซึ่งเป็นอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของขี้เถ้าไม้ยางพาราเท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ส่วนตามลำดับ ต่ออัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของดินดำ หินฟันม้าและทรายแก้ว ซึ่งมีปริมาณคงที่เป็น 3 : 1.5 : 2 และอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของปริมาณน้ำแปรผันตรงกับปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพาราเท่ากับ 2.6, 3.0, 3.4, 3.8, 4.2 และ 4.6 ตามลำดับ โดยเทียบอัตราส่วนของน้ำต่อขี้เถ้าไม้ยางพารา เท่ากับร้อยละ 1 : 0.4

จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา ด้านการดูดซึมน้ำ พบว่า เมื่อยิ่งเพิ่มอัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพาราค่าการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นด้วยด้านการทนต่อการรานของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา พบว่า อัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการรานบนผิวเคลือบของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราด้านการการต้านการกระแทกของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา พบว่า เมื่อยิ่งเพิ่มอัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพาราค่าการต้านการกระแทกจะเพิ่มขึ้นด้วยด้านการหดตัวเชิงเส้นหลังเผาของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา พบว่า เมื่อมีอัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพาราเพิ่มขึ้นค่าการหดตัวเชิงเส้นหลังเผาจะเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อนำผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการทดสอบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 613-2529 ผลปรากฏว่ากระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราที่มีอัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา 2 ส่วน มีค่าร้อยละสมบัติเชิงกลทั้ง 4 ด้านที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม 613-2529 ซึ่งกระเบื้องที่ได้จากการวิจัยเหมาะสำหรับงานบุผนังห้องต่างๆและตกแต่งอาคาร

## 5.2 อภิปรายผล

งานวิจัยเรื่องนี้ได้ทำการทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ การดูดซึมน้ำการทนต่อการราน การต้านการกระแทกและการหดตัวเชิงเส้นหลังเผา

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราที่กำหนดอัตราส่วนของดินดำ 3 ส่วน แก้วโซดาไลม์1.5 ส่วน และตัวประสาน40% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่คงที่ ส่วนขี้เถ้าไม้ยางพาราจะมีอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น โดยมีอัตราส่วนของน้ำแปรผันตรงกับปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา พบว่า เมื่อยิ่งเพิ่มอัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพาราค่าการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นด้วยจาก

การทดสอบการดูดซึมน้ำของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราที่กำหนดอัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพาราเป็น 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ส่วน จะมีค่าร้อยละ 9.29, 6.33, 6.76, 8.36, 18.06 และ 21.47 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าร้อยละตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 613-2529 จะได้ว่า อัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา 0,1,2 และ 3 ส่วน มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ 9.29, 6.33, 6.76 และ 8.36 ที่เป็นไปตามมาตรฐานมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.613-2529 และที่มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำสุด คือ อัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา 1 ส่วน รองลงมาเป็น 2 ส่วนและมากที่สุด 5ส่วน มีค่าร้อยละอยู่ที่ 6.33,6.76 และ 21.47ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของกระเบื้องหลังการเผาในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ดนุพลตันนโยภาสและคณะ ( 2553 : 844 ) เรื่องสมบัติของกระเบื้องเซรามิคที่ทำจากหินชนวนเติมขี้เถ้าแกลบดำเนื่องจากเนื้อกระเบื้องเศษหินชนวนผสมขี้เถ้าแกลบดำ ปริมาณของขี้เถ้าแกลบดำที่เติมลงไปทำให้ค่าดูดซึมน้ำมีค่ามาก เพราะเนื้อขี้เถ้าแกลบดำมีค่าพื้นที่ความพรุนจำเพาะสูง

จากการทดสอบการทนต่อการรานของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราที่กำหนดอัตราส่วนของดินดำ 3 ส่วน แก้วโซดาไลม์1.5 ส่วน และตัวประสาน40% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่คงที่ ส่วนขี้เถ้าไม้ยางพาราจะมีอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น โดยมีอัตราส่วนของน้ำแปรผันตรงกับปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา พบว่า เมื่อยิ่งเพิ่มอัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพาราในกระเบื้องไม่มีผลต่อการทดสอบการทนต่อการราน โดยมีค่าร้อยละเป็น 0 จากอัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพาราที่กำหนดไว้ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ส่วน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ภาณุวัตร รื่นเรืองฤทธิ์และคณะ(2553: 253) เรื่องการศึกษาการใช้เศษแก้วเพื่อลดต้นทุนในกระบวนการผลิตสุขภัณฑ์เซรามิกเกี่ยวกับลักษณะผิวเคลือบของกระเบื้องที่ไม่มีการรานตัว มีตำหนิรูฟองอากาศเล็กน้อย

จากการทดสอบการต้านการกระแทกของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราที่กำหนดอัตราส่วนของดินดำ 3 ส่วน แก้วโซดาไลม์1.5 ส่วน และตัวประสาน80 กรัม ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่คงที่ ส่วนขี้เถ้าไม้ยางพาราจะมีอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น โดยมีอัตราส่วนของน้ำแปรผันตรงกับปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา พบว่า เมื่อยิ่งเพิ่มอัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพาราค่าการต้านการกระแทกจะเพิ่มขึ้น หมายความว่าความแข็งแรงลดลงจากการทดสอบการต้านการกระแทกของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราที่กำหนดอัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพาราเป็น 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ส่วน จะมีค่าร้อยละ 0.025, 0, 0, 0.026, 0.053 และ 0.277 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบค่าร้อยละตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.613-2529 จะได้ว่าอัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา 1 ส่วนและ 2 ส่วน มีค่าร้อยละการต้านการกระแทก 0 หมายความว่ากระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา1 ส่วนและ 2 ส่วน มีความแข็งแรงสามารถต้านการกระแทกที่เป็นไปตามมาตรฐานมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.613-2529

อย่างไรก็ตามค่าผลการทดสอบการต้านการกระแทกของกระเบื้องในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ อาบีดีน ดะแซสาเมาะและคณะ(2554 : 33) เรื่องสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพที่มีส่วนผสมของขี้เถ้าไม้ยางพาราเนื่องจากอัตราการต้านการกระแทกขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพาราที่เข้าไปแทนที่มวลรวมในกระเบื้อง ซึ่งมวลรวมในกระเบื้องจะเป็นตัวที่ทำให้เนื้อดินเกิดการประสานกันภายในเนื้อกระเบื้องและมวลรวมในกระเบื้องที่เป็นขี้เถ้าไม้ยางพาราจะทำให้เกิดช่องว่างในกระเบื้องจึงทำให้เมื่อเพิ่มขี้เถ้าไม้ยางพารามากขึ้นอัตราการต้านการกระแทกมีค่ามากขึ้นและมีความแข็งแรงลดลง

จากการทดสอบการหดตัวเชิงเส้นหลังเผาของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราที่กำหนดอัตราส่วนของดินดำ 3 ส่วน แก้วโซดาไลม์1.5 ส่วน และตัวประสาน40% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่คงที่ ส่วนขี้เถ้าไม้ยางพาราจะมีอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น โดยมีอัตราส่วนของน้ำแปรผันตรงกับปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา พบว่า เมื่อยิ่งเพิ่มอัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพาราค่าการต้านการกระแทกจะเพิ่มขึ้นหมายความว่าความแข็งแรงลดลงจากการทดสอบการหดตัวเชิงเส้นหลังเผาของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราที่กำหนดอัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพาราเป็น 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ส่วน จะมีค่าร้อยละ 0.56, 0.70, 0.52, 1.05, 1.31 และ 2.02 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าร้อยละตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.613-2529 จะได้ว่าอัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา 1 ส่วนและ 2 ส่วน มีค่าร้อยละการหดตัวเชิงเส้นหลังเผาเป็น0.70และ 0.52ตามลำดับซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.613-2529 และที่มีค่าร้อยละการหดตัวเชิงเส้นต่ำสุด คือ อัตราส่วนของปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา 2 ส่วน และมากที่สุด 5ส่วน มีค่าร้อยละอยู่ที่ 0.52 และ 2.02ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าผลการทดสอบการหดตัวเชิงเส้นหลังเผาของกระเบื้องหลังการเผาในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ดนุพลตันนโยภาสและคณะ(2552 : 155) เรื่องคุณลักษณะกระเบื้องเซรามิกผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ผสมร่วมกับขี้เถ้าใยปาล์มน้ำมันเนื่องจากกระเบื้องหินฝุ่นบะซอลต์ผสมขี้เถ้าใยปาล์มน้ำมันมีการหดตัวเชิงเส้นเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมขี้เถ้าใยปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นผลขี้เถ้าใยปาล์มมีความละเอียดและมีน้ำหนักเบา เมื่อได้รับความร้อนจากการเผาทำให้เกิดการบีบอัดสูง จึงเป็นผลทำให้ค่าการหดตัวเชิงเส้นของกระเบื้องหลังเผามีค่ามาก

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

1.เพิ่มรูปแบบของกระเบื้องให้มีความหลากหลาย

2.สร้างเครื่องอัดเนื้อกระเบื้องที่มีขนาดตามแบบมาตรฐานและแรงอัดที่คงที่

3.ในการทำวิจัยครั้งต่อไปอาจใช้ส่วนผสมของขี้เถ้าชนิดอื่นแทนขี้เถ้าไม้ยางพารา

4.การเผาเคลือบของกระเบื้องที่เตาเผาเป็นระบบปิดควรวางกระเบื้องใกล้กับขดลวดความร้อนของเตาเพื่อน้ำเคลือบสุกตัว

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
YALA RAJABHAT UNIVERSITY

# บรรณานุกรม


คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 60. (2529). **กระเบื้องดินเผาบุผนัง.** มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาบุผนัง 613-2529.กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

ณัฐเศรษฐ์ น้ำคำ.(2551). **การศึกษาผลของเคลือบขี้เถ้าพืชที่มีผลต่อการตกแต่งเครื่องปั้นดินเผาเนื้อดินพื้นบ้าน**.วิทยาศาสตรบัณฑิตเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม. คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.

ดนุพล ตันนโยภาส และคณะ.วันที่ 22-23 เมษายน 2553. **"สมบัติของกระเบื้องเซรามิกที่ทำจากหินชนวนเติมเถ้าแกลบ"**. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. หน้า 841-846.

ดนุพล ตันนโยภาส และคณะ.วันที่ 3 ตุลาคม 2552 - มกราคม 2553. **"คุณลักษณะกระเบื้องเซรามิกผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ผสมร่วมกับเถ้าใยปาล์มน้ำมัน"**.วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. หน้า149-159.

ธนวัฒน์ อักษร และคณะ.(2555).**การศึกษาเปรียบเทียบอัตราส่วนความลงตัวระหว่างเถ้าไม้มะขามต่อดินขาวในการผลิตไส้กรองเซรามิก**.สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง.

ภาณุวัตรรื่นเรืองฤทธิ์ และคณะ. วันที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม 2554.**"การศึกษาการใช้เศษแก้วเพื่อลดต้นทุนในกระบวนการผลิตสุขภัณฑ์เซรามิก"**.วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.หน้า 211.

ฤดี นิยมรัตน์. (2555).**อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นและเคลือบที่เหมาะสมต่อการผลิตของที่ระลึกเพื่อส่งเสริมคุณค่าการท่องเที่ยวของจังหวัดระนอง.**ดุษฎีบัณฑิต. (Technology Management). คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

วรรณา ต.แสงจันทร์. มกราคม 2552. **"การพัฒนาอิฐมวลเบาจากเศษแก้ว.วารสารกรมวิทยาศาสตร์บูรการ"**.วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. หน้า 46-52.

สมาคมเซรามิกไทย. (2552). **กระเบื้อง**. กว่าจะมาเป็นเซรามิก. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำเร็จ สารมาคม. (2556). **การประยุกต์ใช้เถ้าลอยในการผลิตบล็อกประสาน**.วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สุธรรม ศรีหล่มสัก และคณะ. มกราคม– มีนาคม2550. **“เคลือบศิลาดลบนเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน II”**.วารสารเทคโนโลยีสุรนารี.หน้า 53-61.

สุรชัย กรุดทอง และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์.วันที่ 8-9 ธันวาคม 2554.**“การใช้ตะกอนดินเซรามิคเป็นส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องบิสกิต”**.การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. หน้า 249-257.

อาซียะ หมักหมัน และคณะ. วันที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2556.**“กลไกการเผาผนึกของเนื้อกระเบื้องเซรามิกซีโอไลต์ที่เติมเศษหินชนวน”**.วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. หน้า 16-24.

อาบีดีน ดะแซสาเมาะ และคณะ.วันที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2556. **“สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของอิฐที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพารา”**.วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. หน้า 25-35.

YALA RAJABHAT UNIVERSITY

# ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
YALA RAJABHAT UNIVERSITY

# ภาคผนวก ก

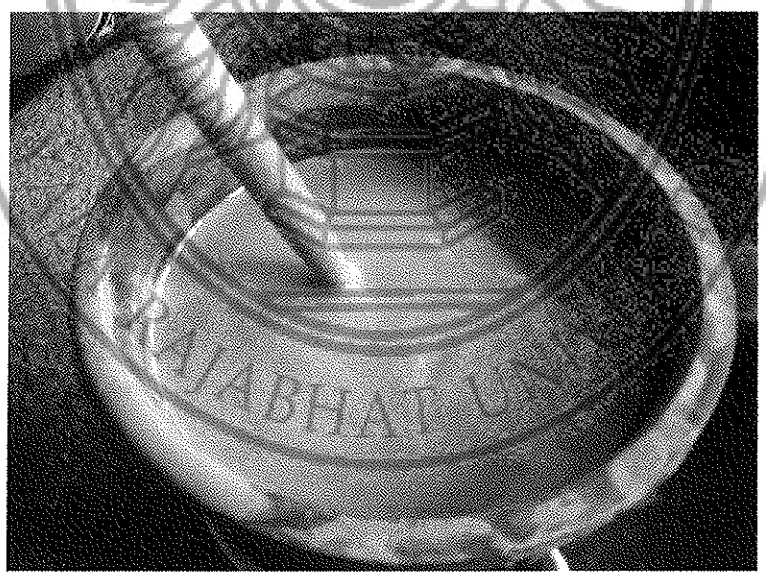
ภาพผลการทดลองในขั้นตอนการผลิตกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
YALA RAJABHAT UNIVERSITY

# ภาคผนวก ก

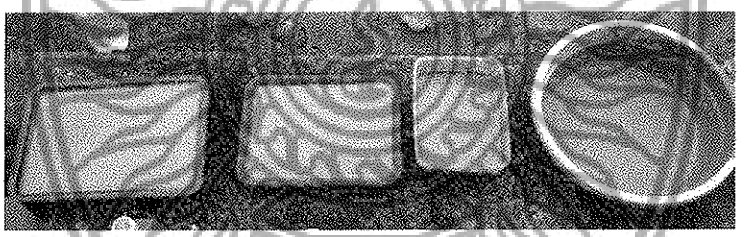
**ตอนที่** 1 การเตรียมวัสดุ

**ภาพที่** 17 บีบหรือขยำดินให้ละเอียด



**ภาพที่** 18 หมักดินทิ้งไว้ 1 คืน

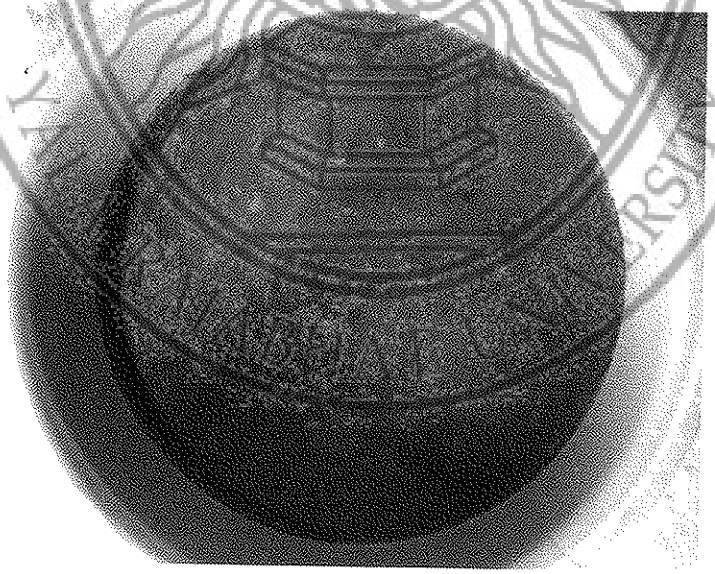
ภาพที่ 19 ร่อนน้ำดินกำจัดเศษขยะ



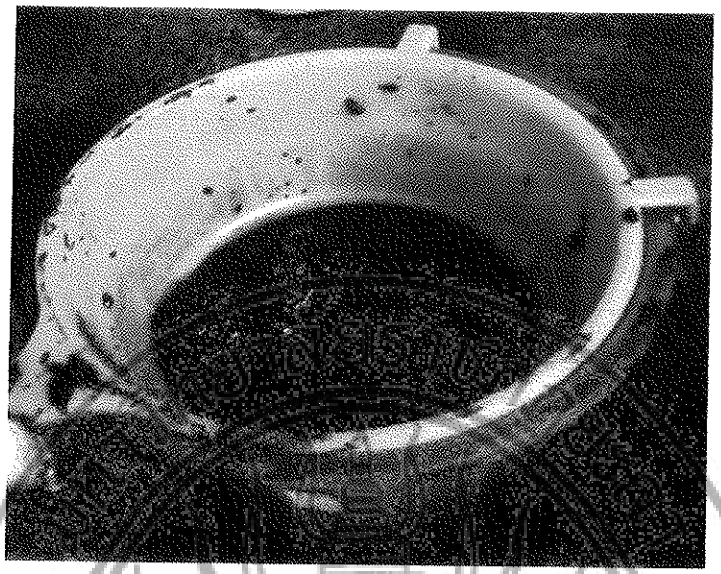
ภาพที่ 20 ตากดินให้แห้ง

YALA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาพที่ 21 ดินดำที่แห้งสนิท



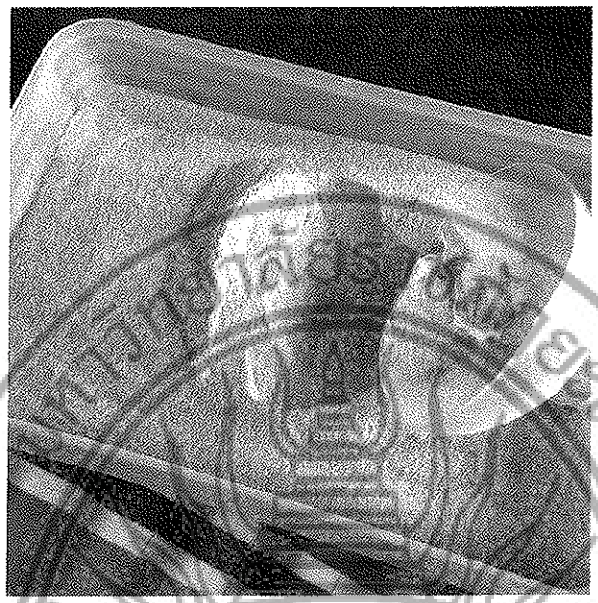
ภาพที่ 22 แช่ขี้เถ้าไม้ยางพาราในน้ำ



ภาพที่ 23 กรองขี้เถ้า

**ภาพที่** 24 ขี้เถ้าที่แห้งสนิท

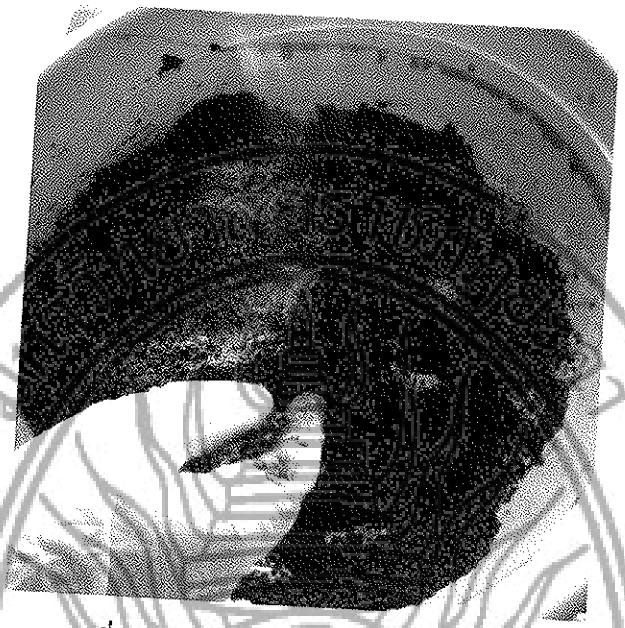
**ตอนที่** 2 การเตรียมวัสดุ



**ภาพที่** 25 แก้วโซดาไลม์ที่บดอย่างละเอียด

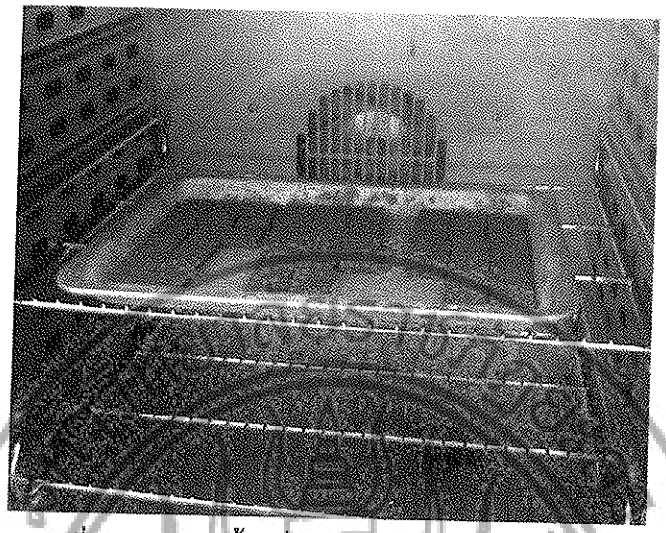
**ภาพที่** 26 พิมพ์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 47 ตารางมิลลิเมตร

ตอนที่ 3 การเตรียมส่วนผสม

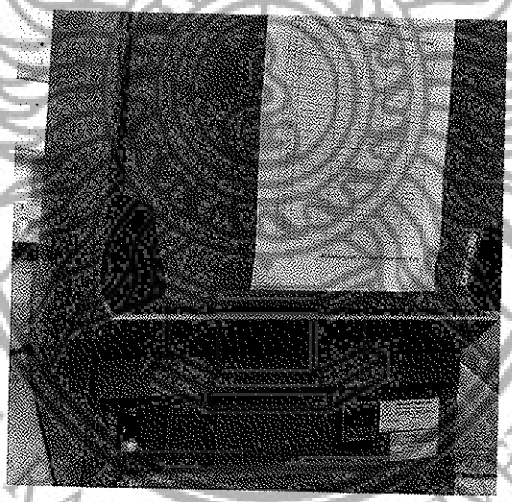


ภาพที่ 27 ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน

ภาพที่ 28 อัดขึ้นรูป



ภาพที่ 29 อบกระเบื้องที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส

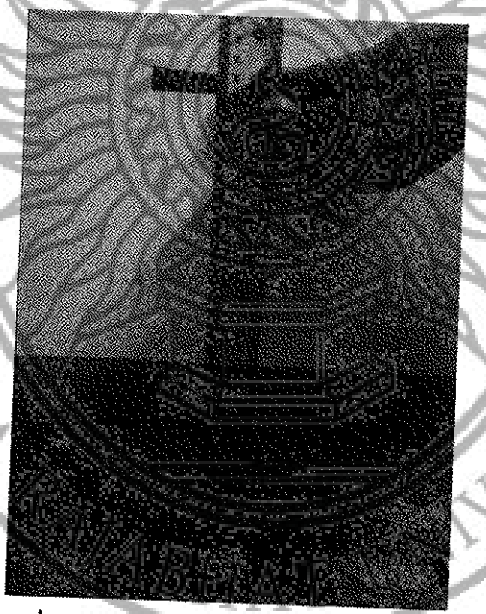


ภาพที่ 30 เผาบิสกิตที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 31 กระเบื้องที่ทาสีทนไฟ

ภาพที่ 32 ทดสอบการดูดซึมน้ำ

**ภาพที่ 33** การทดสอบการทนต่อการราน

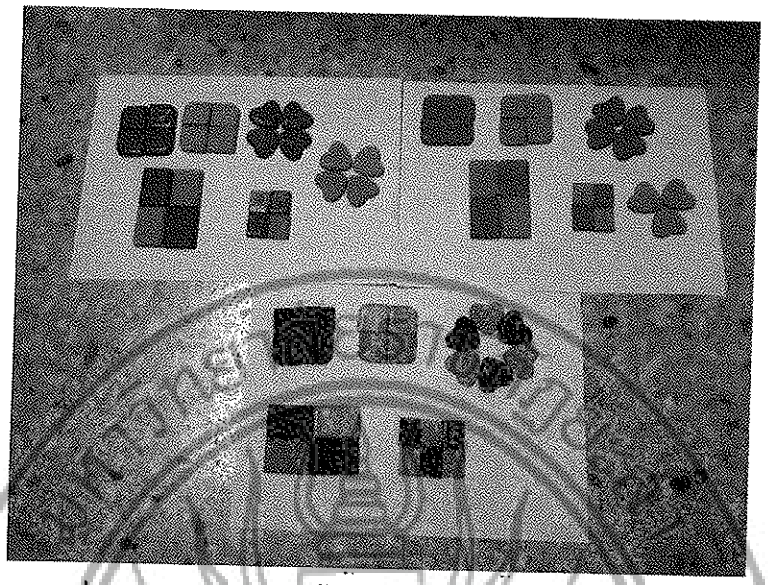


**ภาพที่ 34** การทดสอบการต้านการกระแทก

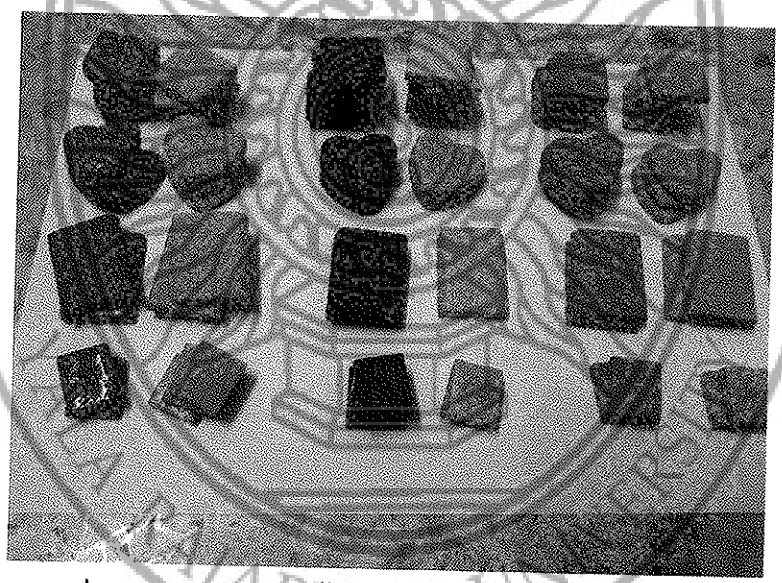
ภาพที่ 35 การทดสอบการหดตัวเชิงเส้นหลังเผา

ภาพที่ 36 ผลิตภัณฑ์กระเบื้องโมเสคจากขี้เถ้าไม้ยางพาราที่ยาแนว

RAJABHAT UNIV



ภาพที่ 37 ผลิตภัณฑ์กระเบื้องโมเสคจากขี้เถ้าไม้ยางพารารูปทรงต่างๆ



ภาพที่ 38 ผลิตภัณฑ์กระเบื้องโมเสคจากขี้เถ้าไม้ยางพารารูปทรงต่างๆ

# ภาคผนวก ข

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

# ภาคผนวก ข

**ตารางที่ 4** แสดงผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราให้ได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

| สมบัติเชิงกล | มาตรฐานอุตสาหกรรม 613-2529 | ปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| การดูดซึมน้ำ | ไม่เกินร้อยละ 18 | 9.29 | 6.33 | 6.76 | 8.36 | 18.06 | 21.47 |
| การทนต่อการราน | 0 หรือไม่ราน | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| การต้านการกระแทก | 0 หรือไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง | 0.025 | 0 | 0 | 0.026 | 0.05 | 0.136 |
| การหดตัวเชิงเส้นหลังเผา | ไม่เกินร้อยละ 0.5 | 0.56 | 0.70 | 0.52 | 1.05 | 1.31 | 2.02 |

**ตอนที่** 1 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

**ตารางที่ 5** การหาค่าการดูดซึมน้ำของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา

| อัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพารา | จำนวนก้อน | น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (g) | น้ำหนักหลังแช่น้ำ (g) | ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 4.23±0.05 | 4.62±0.05 | **9.29±0.05** |
| | 2 | 4.32±0.05 | 4.70±0.05 | |
| | 3 | 4.26±0.05 | 4.68±0.05 | |
| | **$\bar{x}$** | **4.27±0.05** | **4.67±0.05** | |
| 1 | 1 | 4.41±0.05 | 4.66±0.05 | **6.33±0.05** |
| | 2 | 4.04±0.05 | 4.32±0.05 | |
| | 3 | 4.22±0.05 | 4.49±0.05 | |
| | **$\bar{x}$** | **4.22±0.05** | **4.49±0.05** | |
| 2 | 1 | 4.48±0.05 | 4.72±0.05 | **6.76±0.05** |
| | 2 | 4.05±0.05 | 4.36±0.05 | |

| อัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพารา | จำนวนก้อน | น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (g) | น้ำหนักหลังแช่น้ำ (g) | ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ |
|---|---|---|---|---|
| | 3 | 4.27±0.05 | 4.58±0.05 | |
| | $\bar{X}$ | **4.28±0.05** | **4.55±0.05** | |
| 3 | 1 | 4.78±0.05 | 5.18±0.05 | 8.36±0.05 |
| | 2 | 4.81±0.05 | 5.19±0.05 | |
| | 3 | 4.76±0.05 | 5.18±0.05 | |
| | $\bar{X}$ | **4.78±0.05** | **5.18±0.05** | |
| 4 | 1 | 3.87±0.05 | 4.75±0.05 | 18.06±0.05 |
| | 2 | 3.98±0.05 | 4.58±0.05 | |
| | 3 | 4.03±0.05 | 4.69±0.05 | |
| | $\bar{X}$ | **3.96±0.05** | **4.67±0.05** | |
| 5 | 1 | 3.97±0.05 | 4.6±0.05 | 21.47±0.05 |
| | 2 | 3.61±0.05 | 4.46±0.05 | |
| | 3 | 3.84±0.05 | 4.8±0.05 | |
| | $\bar{X}$ | **3.80±0.05** | **4.62±0.05** | |

**ตอนที่** 2 ผลการทดสอบการทนต่อการราน

**ตารางที่ 6** การหาค่าร้อยละการทนต่อการรานของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา

| อัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพารา | จำนวนก้อน | จำนวนลายเส้นที่ปรากฏ | ค่าร้อยละการทนต่อการราน |
|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | |
| | 3 | 0 | |
| | $\bar{X}$ | **0** | |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | |
| | 3 | 0 | |
| | $\bar{X}$ | **0** | |

| อัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพารา | จำนวนก้อน | จำนวนลายเส้นที่ปรากฏ | ค่าร้อยละการทนต่อการราน |
|---|---|---|---|
| 2 | 1 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | |
| | 3 | 0 | |
| | $\bar{X}$ | 0 | |
| 3 | 1 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | |
| | 3 | 0 | |
| | $\bar{X}$ | 0 | |
| 4 | 1 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | |
| | 3 | 0 | |
| | $\bar{X}$ | 0 | |
| 5 | 1 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | |
| | 3 | 0 | |
| | $\bar{X}$ | 0 | |

*หมายเหตุ : กระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพาราที่ปรากฏเป็นลายเส้นบนผิวเคลือบจำนวน 15 เส้น เท่ากับ 100 เปอร์เซ็น*

มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

**ตอนที่** 3 การทดสอบการต้านการกระแทก

**ตารางที่** 7 การหาค่าร้อยละการต้านกระแทกของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา

| อัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพารา | จำนวนก้อน | น้ำหนักก่อนกระแทก (g) | น้ำหนักหลังกระแทก (g) | ค่าร้อยละการต้านการกระแทก |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 81.91±0.05 | 81.91±0.05 | 0.025±0.05 |
| | 2 | 75.83±0.05 | 75.80±0.05 | |
| | 3 | 78.88±0.05 | 78.85±0.05 | |
| | $\bar{X}$ | **78.87±0.05** | **78.85±0.05** | |
| 1 | 1 | 78.15±0.05 | 78.15±0.05 | 0 |
| | 2 | 78.78±0.05 | 78.78±0.05 | |
| | 3 | 76.62±0.05 | 76.62±0.05 | |
| | $\bar{X}$ | **77.85±0.05** | **77.85±0.05** | |
| 2 | 1 | 78.35±0.05 | 78.35±0.05 | 0 |
| | 2 | 77.72±0.05 | 77.72±0.05 | |
| | 3 | 79.16±0.05 | 79.16±0.05 | |
| | $\bar{X}$ | **78.41±0.05** | **78.41±0.05** | |
| 3 | 1 | 75.47±0.05 | 75.45±0.05 | 0.026±0.05 |
| | 2 | 76.72±0.05 | 76.70±0.05 | |
| | 3 | 76.78±0.05 | 76.76±0.05 | |
| | $\bar{X}$ | **76.32±0.05** | **76.30±0.05** | |
| 4 | 1 | 75.54±0.05 | 75.50±0.05 | 0.053±0.05 |
| | 2 | 76.13±0.05 | 76.10±0.05 | |
| | 3 | 75.20 | 75.15±0.05 | |
| | $\bar{X}$ | **76.62±0.05** | **75.58±0.05** | |
| 5 | 1 | 74.02±0.05 | 73.90±0.05 | 0.136±0.05 |
| | 2 | 73.33±0.05 | 73.25±0.05 | |
| | 3 | 73.30±0.05 | 73.20±0.05 | |
| | $\bar{X}$ | **73.55±0.05** | **73.45±0.05** | |

**ตอนที่** 4 ผลการทดสอบการหดตัวเชิงเส้นหลังเผา

**ตารางที่ 8** การหาค่าเฉลี่ยด้านยาวและด้านกว้างของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา

| อัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพารา | จำนวนก้อน | ความยาวก่อนเผา (mm) | | | | ความกว้างก่อนเผา (mm) | | | | ความยาวหลังเผา (mm) | | | | ความกว้างหลังเผา (mm) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ด้านที่ 1 | ด้านที่ 2 | ด้านที่ 3 | $\bar{x}$ | ด้านที่ 1 | ด้านที่ 2 | ด้านที่ 3 | $\bar{x}$ | ด้านที่ 1 | ด้านที่ 2 | ด้านที่ 3 | $\bar{x}$ | ด้านที่ 1 | ด้านที่ 2 | ด้านที่ 3 | $\bar{x}$ |
| 0 | 1 | 23.02 | 23.05 | 22.89 | 22.99±0.05 | 18.41 | 18.4 | 18.42 | 18.41±0.05 | 22.85 | 22.96 | 22.99 | 22.93±0.05 | 18.37 | 18.33 | 18.4 | 18.37±0.05 |
| | 2 | 23.11 | 23.16 | 23.05 | 23.11±0.05 | 18.48 | 18.47 | 18.43 | 18.46±0.05 | 23.01 | 23.05 | 23.04 | 23.03±0.05 | 18.42 | 18.47 | 18.48 | 18.46±0.05 |
| | 3 | 23.1 | 23.11 | 23.02 | 23.08±0.05 | 18.43 | 18.4 | 18.44 | 18.42±0.05 | 23.05 | 22.93 | 22.89 | 22.96±0.05 | 18.36 | 18.32 | 18.39 | 18.36±0.05 |
| | $\bar{x}$ | | | | **23.06±0.05** | | | | **18.43±0.05** | | | | **22.97±0.05** | | | | **18.39±0.05** |
| 1 | 1 | 21.96 | 21.99 | 21.98 | 21.98±0.05 | 19.25 | 19.27 | 19.37 | 19.30±0.05 | 21.93 | 21.9 | 21.92 | 21.92±0.05 | 19.18 | 19.15 | 19.28 | 19.20±0.05 |
| | 2 | 22.34 | 22.34 | 22.33 | 22.33±0.05 | 19.27 | 19.2 | 19.29 | 19.25±0.05 | 22.3 | 22.3 | 22.25 | 22.28±0.05 | 19.21 | 19.18 | 19.09 | 19.16±0.05 |
| | 3 | 21.9 | 21.92 | 21.93 | 21.92±0.05 | 19.38 | 19.25 | 19.14 | 19.26±0.05 | 21.8 | 21.86 | 21.89 | 21.85±0.05 | 19.23 | 19.24 | 19.09 | 19.19±0.05 |
| | $\bar{x}$ | | | | **22.07±0.05** | | | | **19.27±0.05** | | | | **22.02±0.05** | | | | **19.18±0.05** |
| 2 | 1 | 22.4 | 22.4 | 22.43 | 22.41±0.05 | 19.19 | 19.25 | 19.22 | 19.22±0.05 | 22.45 | 22.39 | 22.33 | 22.39±0.05 | 19.2 | 19.18 | 19.15 | 19.18±0.05 |
| | 2 | 21.74 | 21.71 | 21.82 | 21.76±0.05 | 19.24 | 19.16 | 19.23 | 19.21±0.05 | 21.61 | 21.59 | 21.67 | 21.62±0.05 | 19.21 | 19.24 | 19.26 | 19.24±0.05 |
| | 3 | 21.99 | 21.83 | 21.97 | 21.93±0.05 | 19.3 | 19.36 | 19.37 | 19.34±0.05 | 21.83 | 21.78 | 21.89 | 21.83±0.05 | 19.27 | 19.3 | 19.26 | 19.28±0.05 |
| | $\bar{x}$ | | | | **22.03±0.05** | | | | **19.26±0.05** | | | | **21.95±0.05** | | | | **19.23±0.05** |

| อัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพารา | จำนวนก้อน | ความยาวก่อนเผา (mm) | | | | ความกว้างก่อนเผา (mm) | | | | ความยาวหลังเผา (mm) | | | | ความกว้างหลังเผา (mm) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ด้านที่ 1 | ด้านที่ 2 | ด้านที่ 3 | $\bar{x}$ | ด้านที่ 1 | ด้านที่ 2 | ด้านที่ 3 | $\bar{x}$ | ด้านที่ 1 | ด้านที่ 2 | ด้านที่ 3 | $\bar{x}$ | ด้านที่ 1 | ด้านที่ 2 | ด้านที่ 3 | $\bar{x}$ |
| 3 | 1 | 22.32 | 22.27 | 22.32 | 22.30±0.05 | 19.17 | 19.18 | 19.26 | 19.20±0.05 | 22.22 | 22.16 | 22.2 | 22.19±0.05 | 19.09 | 19.08 | 19.14 | 19.10±0.05 |
| | 2 | 22.42 | 22.24 | 22.29 | 22.32±0.05 | 19.25 | 19.31 | 19.25 | 19.27±0.05 | 22.38 | 22.09 | 22.15 | 22.21±0.05 | 19.11 | 19.09 | 19.12 | 19.11±0.05 |
| | 3 | 22.23 | 22.21 | 22.22 | 22.22±0.05 | 19.12 | 19.09 | 19.08 | 19.10±0.05 | 22.17 | 22.1 | 22.13 | 22.13±0.05 | 19.06 | 19.01 | 18.98 | 19.02±0.05 |
| | $\bar{x}$ | | | | **22.28±0.05** | | | | **19.19±0.05** | | | | **22.18±0.05** | | | | **19.08±0.05** |
| 4 | 1 | 22.44 | 22.38 | 22.47 | 22.43±0.05 | 19.33 | 19.28 | 19.27 | 19.29±0.05 | 22.34 | 22.26 | 22.31 | 22.30±0.05 | 19.31 | 19.25 | 19.21 | 19.26±0.05 |
| | 2 | 22.23 | 22.25 | 22.3 | 22.26±0.05 | 19.28 | 19.25 | 19.24 | 19.26±0.05 | 22.07 | 22.1 | 22.2 | 22.12±0.05 | 19.08 | 19.09 | 19.07 | 19.08±0.05 |
| | 3 | 21.87 | 21.78 | 21.68 | 21.78±0.05 | 19.31 | 19.23 | 19.31 | 19.28±0.05 | 21.63 | 21.58 | 21.49 | 21.57±0.05 | 19.16 | 19.13 | 19.1 | 19.13±0.05 |
| | $\bar{x}$ | | | | **22.16±0.05** | | | | **19.28±0.05** | | | | **22.00±0.05** | | | | **19.16±0.05** |
| 5 | 1 | 22.18 | 22.24 | 22.24 | 22.22±0.05 | 19.15 | 19.14 | 19.25 | 19.18±0.05 | 22.01 | 22.03 | 22.1 | 22.05±0.05 | 19.08 | 18.95 | 19.06 | 19.03±0.05 |
| | 2 | 22.43 | 22.34 | 22.33 | 22.37±0.05 | 19.24 | 19.2 | 19.17 | 19.20±0.05 | 22.14 | 22.1 | 22.12 | 22.12±0.05 | 19.05 | 19.03 | 19 | 19.03±0.05 |
| | 3 | 21.66 | 21.7 | 21.74 | 21.7±0.05 | 19.26 | 19.18 | 19.21 | 19.22±0.05 | 21.47 | 21.44 | 21.41 | 21.44±0.05 | 18.97 | 18.92 | 19.03 | 18.97±0.05 |
| | $\bar{x}$ | | | | **22.10±0.05** | | | | **19.20±0.05** | | | | **21.87±0.05** | | | | **19.01±0.05** |

**ตารางที่ 9** แสดงค่าเฉลี่ยและค่าร้อยละด้านยาวและด้านกว้างของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา

| อัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพารา | X̄ความยาวก่อนเผา (mm) | X̄ความยาวหลังเผา (mm) | ค่าร้อยละความยาวหลังเผา | X̄ความกว้างก่อนเผา (mm) | X̄ความกว้างหลังเผา (mm) | ค่าร้อยละความกว้างหลังเผา |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 23.06±0.05 | 22.97±0.05 | 0.36 | 18.43±0.05 | 18.39±0.05 | 0.20 |
| 1 | 22.07±0.05 | 22.02±0.05 | 0.26 | 19.27±0.05 | 19.18±0.05 | 0.44 |
| 2 | 22.03±0.05 | 21.95±0.05 | 0.38 | 19.26±0.05 | 19.23±0.05 | 0.14 |
| 3 | 22.28±0.05 | 22.18±0.05 | 0.46 | 19.19±0.05 | 19.08±0.05 | 0.60 |
| 4 | 22.16±0.05 | 22.00±0.05 | 0.71 | 19.28±0.05 | 19.16±0.05 | 0.60 |
| 5 | 22.10±0.05 | 21.87±0.05 | 1.03 | 19.2±0.05 | 19.01±0.05 | 0.99 |

**ตารางที่ 10** การหาค่าร้อยละด้านยาวและด้านกว้างของกระเบื้องจากขี้เถ้าไม้ยางพารา

| อัตราส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพารา | ร้อยละการหดตัวด้านยาวของกระเบื้อง | ร้อยละการหดตัวด้านกว้างของกระเบื้อง | รวมค่าร้อยละการหดตัวเชิงเส้นหลังเผา |
|---|---|---|---|
| 0 | 0.357±0.05 | 0.205±0.05 | 0.562±0.05 |
| 1 | 0.257±0.05 | 0.444±0.05 | 0.701±0.05 |
| 2 | 0.378±0.05 | 0.144±0.05 | 0.522±0.05 |
| 3 | 0.459±0.05 | 0.596±0.05 | 1.055±0.05 |
| 4 | 0.712±0.05 | 0.596±0.05 | 1.308±0.05 |
| 5 | 1.026±0.05 | 0.990±0.05 | 2.015±0.05 |

# ภาคผนวก ค

สูตรที่ใช้ในการคำนวณการทดสอบสมบัติเชิงกล

# ภาคผนวก ค

**สูตรที่** ค-1 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

สูตรการดูดซึมน้ำ

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100$$

เมื่อ $W_w$ คือ น้ำหนักกระเบื้องหลังจากแช่น้ำ เป็นกรัม

$W_d$ คือ น้ำหนักกระเบื้องแห้ง เป็นกรัม

**สูตรที่** ค-2 การวัดค่าความต้านทานการกระแทก

สูตรการต้านการกระแทก

$$\text{ร้อยละการต้านการกระแทก} = \frac{\text{มวลก่อนกระแทก} - \text{มวลหลัง}}{\text{มวลก่อนกระแทก}} \times 100$$

**สูตรที่** ค-3 การวัดการหดตัวเชิงเส้น

สูตรการหดตัวเชิงเส้น

$$\text{ร้อยละการหดตัวเชิงเส้น} = \frac{L_d - L_f}{L_d} \times 100$$

เมื่อ $L_d$ คือ ความยาวกระเบื้องเมื่อแห้ง

$L_f$ คือ ความยาวกระเบื้องหลังการเผา

มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

# ภาคผนวก ง

ประวัติผู้วิจัย

**ชื่อ (ภาษาไทย) :** นางฐิติรัตน์ นิลวิจิตร

(ภาษาอังกฤษ) : Mrs. Thitirat Ninwijit

**ตำแหน่งปัจจุบัน :** อาจารย์

**หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ**

สาขาวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 133 ถ.เทศบาล 3 ต.สะเตง อ.เมือง จ.ยะลา 95000, โทรศัพท์มือถือ 0818852876, โทรสาร และอีเมล์ : thitirat143@hotmail.com

**ประวัติการศึกษา**

| ระดับการศึกษา | สถานศึกษา | ปีที่จบการศึกษา |
|---|---|---|
| ประถมศึกษา | ร.ร.จิปิภพพิทยา จ.ปัตตานี | 2540 |
| มัธยมศึกษาตอนต้น | ร.ร.โพธิ์คีรีราชศึกษา จ.ปัตตานี | 2543 |
| มัธยมศึกษาตอนปลาย | ร.ร.คณะราษฎรบำรุง จ.ยะลา | 2546 |
| ประกาศนียบัตรบัณฑิต วิชาชีพครู | ม. ศรีนครินทรวิโรฒ กทม. | 2548 |
| ปริญญาตรี (วท.บ.ฟิสิกส์) | ม.สงขลานครินทร์ จ.สงขลา | 2549 |
| ปริญญาโท (วท.ม. ฟิสิกส์) | ม.เชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ | 2553 |

**สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ**

ทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุ

**ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย**

**โครงการวิจัย :**

| ลำดับที่ | ปี | เรื่อง |
|---|---|---|
| 1 | 2552 | สมบัติให้ความร้อน เอ็นทีซี พีทีซี และการเก็บประจุไฟฟ้าของ อิเล็กทรอนิกส์เซรามิกส์และการประยุกต์ใช้ |
| 2 | 2553 | การสร้างเครื่องวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจแบบตัวเลข |

**การประชุมวิชาการ :**

- เสนองานวิจัย "เครื่องมือวัดแอลกอฮอล์จากลมหายใจ" งานประชุมวิชาการสัปดาห์วิทยาศาสตร์ ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ประจำปี 2554
- เสนอเค้าโครงงานวิจัย "การผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษผักผลไม้" เวทีกลั่นกรองโครงงานวิจัย ณ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
- เสนอเค้าโครงงานวิจัย "เครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์อย่างง่าย" เวทีกลั่นกรองโครงงานวิจัย ณ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

**รางวัลผลงานวิจัย :**

สมบัติให้ความร้อน เอ็นทีซี พีทีซีและการเก็บประจุไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์เซรามิกส์และการประยุกต์ใช้ (Heating, NTC, PTC and capacitive properties of electronic ceramics and applications)ได้รับรางวัลผลงานวิจัยในระดับชมเชยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2549

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา YALA RAJABHAT UNIVERSITY

**ชื่อ (ภาษาไทย)** : นางสาวซูไวบะห์ มะหมีน

**(ภาษาอังกฤษ)** : **Miss.** Suwaibah Mameen

**ตำแหน่งปัจจุบัน : นักศึกษา โปรแกรมวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา**

**หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ**

สาขาวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 133 ถ.เทศบาล 3 ต.สะเตง อ.เมือง จ.ยะลา 95000 และอีเมล์ : kentamameen@gmail.com

**ประวัติการศึกษา**

| ระดับการศึกษา | สถานศึกษา | ปีที่จบการศึกษา |
|---|---|---|
| มัธยมศึกษาตอนต้น | ร.ร.ศาสนูปถัมภ์ | 2550 |
| มัธยมศึกษาตอนปลาย | ร.ร.ศาสนูปถัมภ์ | 2553 |

YALA RAJABHAT UNIVERSITY

**ชื่อ (ภาษาไทย)** : นางสาวอาแอเสาะ ยูโซ๊ะ

**(ภาษาอังกฤษ)** : **Miss.** A-aesoh Yusoh

**ตำแหน่งปัจจุบัน : นักศึกษา โปรแกรมวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา**

**หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ**

สาขาวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 133 ถ.เทศบาล 3 ต.สะเตง อ.เมือง จ.ยะลา 95000 และอีเมล์ : ball.rs@hotmail.com

**ประวัติการศึกษา**

| ระดับการศึกษา | สถานศึกษา | ปีที่จบการศึกษา |
|---|---|---|
| มัธยมศึกษาตอนต้น | ร.ร.ธรรมวิทยามูลนิธิ | 2550 |
| มัธยมศึกษาตอนปลาย | ร.ร.พัฒนาวิทยา | 2553 |

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา YALA RAJABHAT UNIVERSITY