



โครงการวิจัย เรื่อง

การรีไซเคิลของเสียเซรามิกเพื่อผลิตกระเบื้องบุผนัง  
Recycle of Ceramics Waste for Wall Tile Manufacturing

โดย

ผศ.ไพบุลย์                      แยมเพื่อน  
นายปราโมทย์                พูนนายม  
ผศ.ดร.กิตติพงษ์            กิมะพงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
งบประมาณประจำปี 2556

การรีไซเคิลของเสียเซรามิกเพื่อผลิตกระเบื้องบุผนัง

งบประมาณประจำปี 2556





โครงการวิจัย เรื่อง

การรีไซเคิลของเสียเซรามิกเพื่อผลิตกระเบื้องบุผนัง  
Recycle of Ceramics Waste for Wall Tile Manufacturing

โดย

ผศ.ไพบูลย์            แยมเพื่อน  
นายปราโมทย์        พูนนายม  
ผศ.ดร.กิตติพงษ์    กิมะพงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
งบประมาณประจำปี 2556

ผู้วิจัย : ผศ.ไพบุลย์ แยมเผื่อน  
นายปราโมทย์ พูนนายม  
ผศ.ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์  
ชื่องานวิจัย : การรีไซเคิลของเสียเซรามิกเพื่อผลิตกระเบื้องบุผนัง  
หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

### บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การเพิ่มขึ้นของกำลังการผลิตส่งผลทำให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น การเกิดของเสียจากกระบวนการผลิต หรือฝุ่นตะกอนดินในระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานเซรามิก ซึ่งมีปริมาณสูงในแต่ละปี หากมีการนำของเสียเหล่านี้กลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้ง อาจส่งผลทำให้การใช้ทรัพยากรการผลิตเกิดประโยชน์สูงสุดได้ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการนำตะกอนดินจากการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกมาใช้เป็นส่วนผสมของกระเบื้องปิสกิต และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนดินเซรามิกและสมบัติของกระเบื้อง

ส่วนผสมของกระเบื้องบุผนังประกอบด้วยทัลค์ร้อยละ 60 และสารผสมร้อยละ 40 โดยในสารผสมประกอบด้วยบอลเคลย์และตะกอนดินเซรามิก ปริมาณของตะกอนดินเซรามิกในส่วนผสมของสารผสมมีการเปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 0 – 100 ของส่วนผสมที่เปลี่ยนแปลง ส่วนผสมที่กำหนดถูกทำการขึ้นรูปด้วยแรงดันและอุณหภูมิที่กำหนดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย 613-2529 ขึ้นงานที่ทำการเคลือบผิวและทำการทดสอบสมบัติการหดตัว การดูดซึมน้ำ การสอบ การราน และการต้านทานสารเคมีและการต้านทานแรงกระแทก

ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนดินเซรามิกในสารผสมส่งผลต่อการเพิ่มการหดตัวเชิงปริมาตรและการดูดซึมน้ำของกระเบื้องบุผนังผลการทดสอบขึ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวมีสมบัติความสอของกระเบื้อง ความทนต่อสารเคมี ความทนการราน ความต้านทานแรงกระแทก มีค่าการทดสอบสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 613-2529 การทดลองนี้แสดงความเป็นไปได้ในการนำตะกอนดินเซรามิกสามารถทดแทนบอลเคลย์ในส่วนผสมของกระเบื้องปิสกิตได้และสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ประมาณร้อยละ 40

**คำสำคัญ :** ตะกอนดิน บอลเคลย์ กระเบื้องปิสกิต กระเบื้องบุผนัง

Name : Assist. Prof. Paiboon Yaemporn  
Mr.Pramote Poonayam  
Assist. Prof. Kittipong Kimapong, Ph.D.  
Research Title : Recycle of Ceramics Waste for Wall Tile Manufacturing  
Organization : Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

### Abstract

A ceramics manufacturing process was continuously developed and discovered a proper composition to increase the ceramics productivity. However, an increasing of productivity also affected to increase the ceramic waste such as a product defect, sediment sludge in waste water or so on. So, if the recycle of the waste could be reproduced, the process cost of the ceramics manufacturing process could be reduced. This study aimed to recycle sediment sludge by replacing sediment sludge to ball clay for producing biscuit porcelain and study a relation of sediment sludge amount and biscuit porcelain properties.

Wall tiles porcelain composition was 60% talc and 40% alloying element that composed of ball clay and ceramic sludge waste. The amount of ceramics sludge waste in the composition of the alloying element was varied from 0-100%. The various designed composition was produced to be a specimen that was followed by TIS standard using the specific pressure and temperature. The specimens that were surface coated were investigated for the biscuit porcelain properties.

The results are summarized as follows. An increase of the ceramics sludge waste amount in alloying element of the biscuit porcelain specimen affected to increase the volumetric shrinkage and the water absorption of the biscuit porcelain specimens. The coated surface specimen showed that the tested results such as the wedging property, the crazing property, the chemical resistance and impact resistance were higher than that of the properties were shown in TIS. 613-2529. The results also showed that ceramics sludge waste could replace ball clay in the composition of the biscuit porcelain and also showed the decrease of processing cost of about 40%.

**Keywords:** sludge waste, ball clay, biscuit tiles, wall tiles porcelain

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปี 2556 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทดลอง และขอขอบพระคุณ คุณสุรชัย กรุดทอง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลตะกอนดินเซรามิก ทำให้การทดลองสามารถดำเนินการไปได้ได้อย่างราบรื่น

สุดท้าย คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอน จนทำให้คณะผู้วิจัยมีโอกาสในการทำวิจัยนี้ นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่มีความเกี่ยวข้องกับการทำงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามถึง ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบแต่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ไพบูลย์ แยมเพื่อน  
ปราโมทย์ พูนนายม  
กิตติพงษ์ กิมะพงศ์



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กากตะกอนของเสียอุตสาหกรรม	3
2.2 ดินดำ	5
2.3 ทัลค์	7
2.4 สารช่วยการกระจายลอยตัว	9
2.5 กระบวนการผลิตเซรามิค	10
2.6 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 613-2529	19
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	25
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	25
3.2 การทดสอบกระเบื้อง	34
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	37
4.1 การทดสอบการหดตัวเชิงปริมาตรของกระเบื้อง	37
4.2 การทดสอบความสอ	38
4.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำ	38
4.4 การทดสอบสารเคมี	40
4.5 การทดสอบความทนการราน	41
4.6 การทดสอบความต้านทานแรงกระแทก	42
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	44
5.1 สรุปผลการทดลอง	44
บรรณานุกรม	45
ภาคผนวก ก	47
ภาคผนวก ข	51
ภาคผนวก ค	55
ภาคผนวก ง	59

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	การวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีของวัตถุบิที่ใ้ในงานวิจัย	25
3.2	การออกแบบการทดลองของส่วนผสมในงานวิจัย	28
4.1	ตารางแสดงการทดสอบความทนกรดและความทนต่างของกระเบื้อง	42
4.2	ตารางแสดงการทดสอบความทนการรานของกระเบื้อง	43
4.3	ตารางการทดสอบความต้านทานแรงกระแทกของกระเบื้อง	44





## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ตะกอนดินเซรามิกที่ได้จากกระบวนการผลิตกระเบื้องเซรามิก	4
2.2	ดินดำ (Ball clay)	5
2.3	ทัลค์ (Talc)	7
2.4	สารช่วยการกระจายลอยตัว	9
2.5	Spray Dryer	11
2.6	ส่วนประกอบของเครื่องอัดขึ้นรูปกระเบื้อง	12
2.7	การเคลือบสีกระเบื้อง	13
2.8	เตาเผากระเบื้องเซรามิก	16
2.9	การราน (Crazing)	19
2.10	รูเข็ม (Pinhole)	19
2.11	รอยพอง (Blister)	20
2.12	หลุม (Pitting)	20
2.13	รอยบิ่น (Chip)	21
2.14	การหดตัวของเคลือบ (Glaze Crawling)	21
2.15	การโค้งออก และ เว้าเข้า	22
2.16	นูนขึ้น (Convex)	22
2.17	แอนลง (Concave)	23
3.1	ตะกอนดินเซรามิกจากกระบวนการผลิตกระเบื้องเซรามิก	26
3.2	ตะกอนดินเซรามิกที่ผ่านการอบความชื้น	26
3.3	ทัลค์ที่ผ่านการอบความชื้น	27
3.4	บอลเคลย์ที่ผ่านการอบความชื้น	27
3.5	วัตถุดิบซึ่งด้วยเครื่องซึ่งตามสูตรการทดลอง	28
3.6	หม้ออบดินเซรามิกที่ใช้ในงานวิจัย	29
3.7	น้ำสลิบที่ได้หลังจากบดปั่น	29
3.8	การหาค่าความหนาแน่นของน้ำสลิบ	30
3.9	การหาค่าการไหลตัวของน้ำสลิบ	30
3.10	ลักษณะของน้ำสลิบที่เกิดการแข็งตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน	31
3.11	น้ำสลิบที่ผ่านการอบ	31
3.12	ลักษณะก่อนการบดปั่น	32
3.13	ลักษณะผงดินหลังการบดปั่น	32
3.14	การชั่งน้ำหนักหาปริมาณการควบคุมควบคุมความชื้นของผงดิน	33
3.15	ผงดินที่นำมาร่อนผ่านตะแกรง	33
3.16	การขึ้นรูปกระเบื้องด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก	34
3.17	เตาเผาไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัย	34
3.18	กระเบื้องบิสกิตที่ได้หลังจากการเผา	35

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.19	การเคลือบผิวกระเบื้องบิสกิต	35
3.20	กระเบื้องบุผนังที่มีส่วนผสมของตะกอนดินเซรามิก	36
4.1	การหัดตัวเชิงปริมาตรของกระเบื้อง	37
4.2	ความสอของกระเบื้อง	38
4.3	การดูดซึมน้ำของกระเบื้อง	39
4.4	โครงสร้างจุลภาคของเนื้อกระเบื้องที่มีส่วนผสมของตะกอนดินเซรามิก	40
4.5	การทดสอบความหดกรดและต่างของกระเบื้อง	41
4.6	การทดสอบความทนการรานของกระเบื้อง	42
4.7	การทดสอบความต้านทานแรงกระแทกของกระเบื้อง	43



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การพัฒนาโครงสร้างทางเศรษฐกิจของประเทศไทยตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ได้มีการมุ่งเน้นส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมภายในประเทศเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก การเพิ่มขึ้นของโรงงานอุตสาหกรรมแสดงให้เห็นถึงการพัฒนาโครงสร้างทางเศรษฐกิจที่เป็นรูปธรรม แต่ผลกระทบที่ตามมาจากการพัฒนาของภาคอุตสาหกรรมคือแหล่งกำเนิดทางมลพิษที่เพิ่มขึ้นไม่ว่าจะเป็นมลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ มลพิษทางเสียง มลพิษที่เกิดจากของเสียอุตสาหกรรม [1]

อุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกของไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การขยายตัวด้านกำลังการผลิตที่สูง ส่งผลให้มีความต้องการวัตถุดิบในการผลิตเพิ่มมากขึ้นทั้งวัตถุดิบที่มีในประเทศและวัตถุดิบที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งวัตถุดิบที่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศนั้นมีราคาสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย ผู้ผลิตจึงไม่สามารถแข่งขันทางด้านราคาผลิตภัณฑ์ได้ จึงมีความพยายามในการลดการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศและกลับมาใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ในประเทศ วัตถุดิบที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดต้นทุนการผลิตและทดแทนการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ [2] ตลอดจนปริมาณของแร่ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเริ่มมีไม่เพียงพอจึงมีความพยายามในการวิจัยเพื่อศึกษาวัสดุชนิดใหม่ วัตถุดิบที่มีราคาถูก การใช้เศษวัสดุหรือวัตถุดิบที่เป็นของเสีย การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบบางส่วนหรือทั้งหมดของวัตถุดิบโดยไม่ทำให้กระบวนการผลิตเปลี่ยนแปลงและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่ลดลงจากเดิม [3]

การเพิ่มขึ้นของกำลังการผลิตในทางกลับกันปัญหาที่ตามมาคือปัญหาด้านมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมไม่ว่าจะเป็นเรื่องความร้อน เสียง ฝุ่นละออง น้ำเสีย ตะกอนดินจากกระบวนการผลิต โรงงานเซรามิกขนาดใหญ่หรือโรงงานที่ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมจะมีระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้มีค่าตามมาตรฐานก่อนปล่อยออกภายนอกโรงงานหรือนำกลับมาใช้ใหม่ภายในโรงงาน ลักษณะของตะกอนดินที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียจะมีลักษณะเป็นเนื้อดินที่มีความละเอียด ซึ่งส่วนใหญ่ตะกอนดินที่ได้จะถูกนำไปฝังกลบ การกำจัดตะกอนดินที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียเป็นการสิ้นเปลืองและมีค่าใช้จ่ายในการจัดการมากทำให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มสูงขึ้น [4]

จากดังกล่าวข้างต้นจึงควรมีการศึกษาของเสียที่เป็นตะกอนดินมาใช้ประโยชน์ โดยการนำตะกอนดินมาเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบประเภทดินในกระบวนการ ผลิตกระเบื้องปิสกิตเพื่อเป็นอีกทางเลือกในการนำวัตถุดิบที่เป็นของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์และเป็นการลดต้นทุนในการผลิตและการจัดการของเสียตลอดจนเป็นการลดการสร้างมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม

#### 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ตะกอนดินของกระเบื้องเซรามิกเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบในการผลิตกระเบื้องบุผนัง

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตกระเบื้องเซรามิกจากการใช้ตะกอนดิน

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 ตะกอนดินเซรามิกที่เก็บตัวอย่างอยู่ในช่วง มีนาคมถึง เมษายน พ.ศ. 2554
- 1.3.2 ควบคุมความชื้นของผงดินในการขึ้นรูปกระเบื้องที่ความชื้น 6.0-6.5 %
- 1.3.3 การขึ้นรูปกระเบื้องใช้เครื่องอัดขึ้นรูปแบบไฮดรอลิก ขึ้นรูปที่แรงดัน 300 บาร์
- 1.3.4 กระเบื้องปิสกิตมี ขนาด 50 x 100 x 10 มม.
- 1.3.5 กระเบื้องปิสกิตอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 150-160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที
- 1.3.6 กระเบื้องปิสกิตเผาอุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เผาในเตาไฟฟ้าเป็นเวลา 60 นาที
- 1.3.7 ทดสอบกระเบื้องปิสกิตอ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 613-2529

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 กระเบื้องปิสกิตที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับการผลิตกระเบื้องบุผนังภายในโดย อ้างอิงสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.613-2529
- 1.4.2 กระเบื้องปิสกิตที่มีส่วนผสมของตะกอนดินสามารถลดต้นทุนในกระบวนการผลิต
- 1.4.3 กระเบื้องปิสกิตที่มีส่วนผสมของตะกอนดินสามารถลดการสร้างมลภาวะสิ่งแวดล้อม



## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 กากตะกอนของเสียอุตสาหกรรม

พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 กำหนดคำนิยามของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 หมายความว่า คือสิ่งของที่ไม่ใช้แล้วหรือของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการประกอบกิจการโรงงานรวมถึงของเสียจากวัตถุดิบ ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ของเสียที่เป็นผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพและน้ำทิ้งที่มีองค์ประกอบหรือมีคุณสมบัติที่เป็นอันตราย [5]

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ได้ให้ คำนิยาม คำว่าของเสียหมายถึง ขยะมูลฝอย สิ่งปฏิกูล น้ำเสีย อากาศเสีย มลพิษหรือวัตถุอันตรายอื่นใด ซึ่งถูกปล่อยทิ้งหรือมีที่มาจากแหล่งกำเนิดมลพิษรวมถึงกากตะกอนหรือสิ่งตกค้างจากสิ่งเหล่านั้นทั้งที่อยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ [6]

จากรายงานฉบับสมบูรณ์โครงการพัฒนาส่งเสริมการใช้ทรัพยากรแร่และโลหะหมุนเวียนเพื่อการพัฒนาอย่างมีดุลยภาพ ของสถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ได้ทำการคัดเลือกของเสียและวัสดุเหลือใช้มาดำเนินการศึกษาและจัดทำแนวทางปฏิบัติที่เป็นเลิศโดยกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเซรามิก อิฐ กระจกเบี่ยงและผลิตภัณฑ์สำหรับงานก่อสร้างเป็นหนึ่งในของเสียและวัสดุเหลือใช้ ที่ได้ดำเนินการศึกษาเนื่องจากฐานข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ปี 2550 ระบุว่าปริมาณกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเซรามิก อิฐ กระจกเบี่ยงและผลิตภัณฑ์สำหรับงานก่อสร้างที่ขออนุญาตนำออกนอกโรงงานมีประมาณ 7,070 ตัน ซึ่งปริมาณกากตะกอนจากการสำรวจโรงงานในจังหวัดสระบุรีพบว่ามีปริมาณ 21,526 ตัน [7]

#### 2.1.1 ข้อมูลแหล่งกำเนิด

กากของเสียอุตสาหกรรมเซรามิกได้แก่ ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการขึ้นรูป การตกแต่งชิ้นงานหลังการขึ้นรูป ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาแล้วทั้งการเผาเคลือบและเผาอบสีกิต น้ำเสียและน้ำทิ้งตั้งแต่ขั้นตอนการล้างวัตถุดิบ การเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และการทำความสะอาดอาคารโรงงาน [8]



รูปที่ 2.1 ตะกอนดินเซรามิกที่ได้จากกระบวนการผลิตกระเบื้องเซรามิก

### 2.1.2 คุณสมบัติของกากตะกอน

คุณสมบัติของกากตะกอนเซรามิกจากการวิเคราะห์พบว่าองค์ประกอบหลักของกากของเสียประกอบไปด้วยซิลิการ้อยละ 58 อะลูมินา ร้อยละ 32 น้ำในผลึกและอินทรีย์สารและสารอื่นๆร้อยละ 10 [7]

### 2.1.3 การจัดการกากตะกอน

หลักการจัดการกากอุตสาหกรรมสามารถจำแนกได้เป็น 5 กระบวนการได้แก่การลดการเกิดของเสีย การนำกลับมาใช้ใหม่ การใช้ซ้ำ ส่วนนี้จะเป็นการป้องกันการเกิดมลพิษ การบำบัดและการกำจัดจะเป็นการจัดการที่ปลายเหตุ [9] ในส่วนการป้องกันการเกิดมลพิษจะใช้แนวทางการปฏิบัติตามหลักการ 3R Concept โดยหลักการ 3R Concept เกิดขึ้นเมื่อเดือนมิถุนายน 2548 จากการประชุมสุดยอดผู้นำกลุ่ม G8 โดยนายกรัฐมนตรีญี่ปุ่นเป็นผู้นำเสนอหลักการ 3R Concept เพื่อส่งเสริมการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน (Sustainable) โดยเน้นให้มีการลดของเสีย มีการใช้ซ้ำ และการนำกลับมาใช้ใหม่ให้มากขึ้น ทั้งนี้เพื่อช่วยอนุรักษ์และใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้คุ้มค่าที่สุด [10], [11]

การลดการเกิดของเสีย (Reduce) เป็นการลดการเกิดของเสียอุตสาหกรรมตั้งแต่แหล่งกำเนิด การควบคุมการผลิต เช่น การเลือกวัตถุดิบในกระบวนการผลิตที่มีคุณภาพและบริสุทธิ์มากขึ้น ทำให้เกิดของเสียลดน้อยลงหรือการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการผลิต โดยการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตหรือเปลี่ยนเครื่องจักรในกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ทำให้ของเสียลดน้อยลง [7] , [9]

การใช้ซ้ำ (Reuse) : เป็นการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตเดิม เช่นการนำน้ำที่ผ่านระบบบำบัดมาใช้ตักจับฝุ่นที่ระบบบำบัดอากาศของกระบวนการผลิตผงดิน (Wet Scrubber) [7]

การนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ (Recycle) เป็นการนำของเสียที่เกิดขึ้นไปปรับใช้กับสูตรการผลิตในกระบวนการผลิตเดิม โดยการแยกของเสียและพัฒนาปรับสูตรการผลิต ซึ่งของเสียและวัสดุ

เหลือใช้ที่สามารถรีไซเคิลได้ ได้แก่ Green Tile, Fired Tile, Body Powder หรือนำไปใช้ในกระบวนการผลิตใหม่เช่นใช้เติมในวัตถุดิบของปูนซีเมนต์ เป็นต้น [7], [9]

ส่วนการบำบัด และการกำจัดนั้นเป็นการจัดการที่ปลายเหตุ นำไปทำการบำบัดด้วยวิธีการต่างได้แก่ การนำไปบำบัดด้วยวิธีชีวภาพ หรือทางเคมี ส่วนการกำจัดได้แก่ การนำไปฝังกลบอย่างปลอดภัยโดยมีการปรับเสถียรหรือเป็นของแข็งแล้ว [9]

## 2.2 ดินดำ (Ball Clay)

ดินดำหรือดินเหนียวขาว ดินดำเป็นดินที่มีขนาดผลึกเม็ดละเอียดมาก อนุภาคของเม็ดดินยึดเกาะกันได้ดี มีอินทรีย์สารที่มีโครงสร้างคล้ายกับที่พบในถ่านหินลิกไนท์เจือปนอยู่ จึงช่วยให้ดินชนิดนี้มีความเหนียว และทำให้มีสีที่เปลี่ยนไปจากสีขาวกลายเป็นสีเทาจนถึงสีดำ แต่เมื่อนำไปเผาในอุณหภูมิที่สูงเนื้อดินจะมีสีขาวหรือครีม อินทรีย์สารต่างๆจะถูกเผาไหม้หมดไปจากเนื้อดิน [12]



รูปที่ 2.2 ดินดำ (Ball clay)

### 2.2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของดินดำ

โดยทั่วไปดินดำหรือดินเหนียวขาวจะประกอบไปด้วยแร่กาโอลินไนท์เป็นส่วนใหญ่เช่นเดียวกับดินขาว [12], [13] มีผลึกขนาดเล็กกว่าดินชนิดอื่นๆ แต่เป็นผลึกกาโอลินไนท์ชนิดที่ไม่สมบูรณ์ (Disordered Kaolinite) ในระหว่างผลึกจะมีแร่ธาตุและอินทรีย์สารแทรกอยู่ [12] เช่น Montmorillonite Quartz Mica Ironsulfide Illite เป็นต้น ดินดำหรือดินเหนียวขาวเมื่อแห้งจะมีความแข็งแรงสูง (High Strength) และมีความหดตัวสูง (High Shrinkage) ด้วยเช่นกัน ดินดำหรือดินเหนียวขาวจะมีช่วงอุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงกว้างกว่าดินชนิดอื่นๆ จึงเป็นวัตถุดิบที่ปรับปรุงเนื้อผลิตภัณฑ์หลังจากการเผาแล้วให้ดียิ่งขึ้น [13] ส่วนประกอบทางเคมีของดินดำหรือดินเหนียวขาว

โดยทั่วไป คือ  $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O \cdot 0.1K_2O$  [12] หรืออาจมีสารประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันไปตามแหล่งสะสมที่พบโดยประมาณอาจจำแนกได้ดังนี้

$Al_2O_3$  มีสารประกอบอยู่ที่ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

$SiO_2$  มีสารประกอบอยู่ที่ประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์

$H_2O$  มีสารประกอบอยู่ที่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ [12], [13]

นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุอื่นๆเจือปนในปริมาณเล็กน้อย เช่นไทเทเนียม ( $TiO_2$ ) เฟอริก ( $Fe_2O_3$ ) แคลเซียม ( $CaO$ ) แมกนีเซียม ( $MgO$ ) เหล็กซัลเฟต ( $FeS$ ) โพแทสเซียม ( $K_2O$ ) และโซเดียม ( $Na_2O$ ) เป็นต้น

## 2.2.2 สมบัติทางกายภาพของดินดำ

ดินดำหรือดินเหนียวขาวโดยทั่วไปที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบผสมในเนื้อดิน (Clay Bodies) นั้นต้องมีสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ดังต่อไปนี้ [13]

ก. ขนาดของเม็ดดิน (Particle Size) มีขนาดเม็ดดินละเอียดกว่าดินขาว (Kaolin) อนุภาคมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.05-1.00 ไมโครเมตร

ข. ความเหนียวของดิน (Plasticity) ดินเหนียวเป็นดินที่อมน้ำได้มาก ความเหนียวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ซึ่งประกอบด้วยหลักสำคัญ ดินดำหรือดินเหนียวขาวคือ ปริมาณของอินทรีย์สาร ขนาดของเม็ดดินและวัตถุดิบที่ทำให้ความเหนียวเช่น ดินเบนโตไนท์ จะมีความเหนียวมากกว่าดินขาว (Kaolin) เหมาะสมที่จะนำมาผสมกับวัตถุดิบอื่นๆ (Other Material)

ค. การหดตัวเมื่อแห้ง (Drying Shrinkage) ดินเหนียวขาวทั่วไปมีการหดตัวเมื่อแห้งมาก แต่บางแหล่งอาจหดตัวน้อย ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของ  $SiO_2$  ที่เจือปนในเนื้อดิน ถ้า  $SiO_2$  ในเนื้อดินมีมากดินจะหดตัวน้อยหรือแทบจะไม่มีหดตัวเลย แต่ถ้าในเนื้อดินมีสารอินทรีย์สูงจะมีการหดตัวมากประมาณ 13-17 เปอร์เซ็นต์

ง. ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (Green Strength) ดินดำหรือดินเหนียวขาวจะมีความแข็งแรงเมื่อแห้งมากกว่าดินขาวเพราะมีความเหนียวมากกว่าจึงนิยมใช้ผสมกับเนื้อดินชนิดอื่นๆ (Other Clay) เพื่อให้ได้ทรงรูปทรงได้ง่าย ไม่เปราะ โดยเฉลี่ยความแข็งแรงเมื่อแห้งของดินเหนียวขาว อยู่ระหว่าง 160-180 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือในตำราบางเล่มจะมีความแข็งแรงประมาณ 100-1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

จ. การหดตัวหลังเผา (Firing Shrinkage) ดินดำหรือดินเหนียวขาวเป็นวัตถุดิบที่มีสมบัติพิเศษคือเมื่อยังไม่เผาจะปรากฏสีดำหรือสีเทา แต่หลังจากการเผาในอุณหภูมิสูงจะปรากฏสีขาวหรือครีม การที่ดินดำหรือดินเหนียวขาวจะปรากฏสีขาวมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับจำนวนธาตุเหล็กในเนื้อดินเหนียวขาวด้วย สำหรับการหดตัวมีการหดตัวสูงประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากดินเหนียวมีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก [12], [13]

## 2.2.3 ประโยชน์ของดินดำหรือดินเหนียวขาว

ดินดำหรือดินเหนียวขาวมีประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา ถ้วยชามอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ โดยนำไปเป็นส่วนผสมประโยชน์ของดินดำหรือดินเหนียวขาวได้แก่

ก. ช่วยเพิ่มความเหนียวให้กับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากดินมีความเหนียวมากทำให้สะดวกในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์



ข. ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงก่อนเผา (Green Strength) ให้มีความแข็งแรง ลดการสูญเสียจากการแตกหักก่อนเผาและในขณะเคลื่อนย้าย

ค. ทำให้น้ำสลิป (Slip) มีการไหลตัวที่ดี

ง. ทำหน้าที่เสริมปฏิกริยาระหว่างมวลสารในเนื้อดิน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่นในระหว่างการเผา ทำให้ดินสุกตัวได้เร็วประหยัดเวลาในการเผาช่วยในการหลอมละลาย [12], [13]

### 2.3 ทัลค์ (Talc)

ทัลค์หรือสตีทไทท์ (Steatite) เป็นคำที่เข้าใจว่ามาจากภาษาอาหรับว่า Talk [13] เป็นสารประกอบของแมกนีเซียมซิลิเกตกับน้ำ ( $3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ ) [8], [9] มีความแข็งระดับที่ 1 ใน Moh's Scale [14] เป็นวัตถุดิบแมกนีเซียมตามธรรมชาติที่มีราคาถูกกว่าแมกนีเซียมบริสุทธิ์หรือแมกนีเซียมสังเคราะห์ [12] มักพบอยู่ในหินแปรจำพวกหินชีสต์โดยทั่วไป [13] ทัลค์จัดอยู่ในกลุ่มแร่สเม็คไทท์เมื่อสัมผัสแล้วจะรู้สึกลื่นมือ [12] จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า หินสบู่ (Soapstone) [13]



รูปที่ 2.3 ทัลค์ (Talc)

#### 2.3.1 โครงสร้างและลักษณะของแร่ทัลค์

โครงสร้างของแร่ทัลค์มีโครงสร้างแบบ Mica-like Structure เป็นชั้น T-O-T หรือคล้ายกับมอนโนลิโลไนท์ (Montmorillonite) มีชั้นของเตตระฮีดรอล 2 ชั้นที่เป็นซิลิกา กับชั้นออกตะฮีดรอลของ  $\text{Mg}^{2+}$  (Brucite Sheet) แรงยึดระหว่างชั้นไม่แข็งแรงโดยเป็นแรงแวนเดอร์วาล์ว เกิดการเลื่อนของชั้นได้ง่าย [14] เป็นหินที่มีรูปผลึกเป็นแบบโมโนคลินิก (Monoclinic) [13], [14] ลักษณะของผลึกเป็นแผ่นหนารูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนและรูปหกเหลี่ยม เนื้อสमानแน่นบางครั้งจะพบว่ามีลักษณะแผ่นเป็นรูปแนวรัศมี มีแนวแตกเรียบสมบูรณ์ชนิดที่เป็นแผ่นบางๆจะโค้งงอได้แต่กลับไม่ได้มีความถ่วงจำเพาะ 2.7-2.8 หรือในตำราบางเล่มจะอยู่ที่ 2.6-2.8 สามารถใช้มีดตัดได้เป็นชั้นๆ

ลักษณะเนื้อวาวแบบมุกและแบบน้ำมันฉาบ สีของทัลค์จะมีสีเทา สีเขียวแอมป์เปิล สีขาวหรือสีน้ำเงิน [13]

### 2.3.2 สมบัติทางเคมีของแร่ทัลค์

สูตรทางเคมีว่า  $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  โดยมีเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบต่างๆดังต่อไปนี้

MgO มีสารประกอบอยู่ที่ประมาณ 31-31.8 เปอร์เซ็นต์

$\text{SiO}_2$  มีสารประกอบอยู่ที่ประมาณ 63.5-64 เปอร์เซ็นต์

$\text{H}_2\text{O}$  มีสารประกอบอยู่ที่ประมาณ 4.7-5 เปอร์เซ็นต์ [12], [13], [14]

นอกจากนี้จะมีมลทินจากแร่ธาตุอื่นๆเจือปนในปริมาณเล็กน้อย เช่น อะลูมินา เหล็ก แคลเซียม ต่างและน้ำ [12]

### 2.3.3 คุณสมบัติที่สำคัญของทัลค์

ก. C.O.E (สัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อน) สูงประมาณ  $270 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  ที่อุณหภูมิ  $1,020 \text{ } ^\circ\text{C}$

ข. ความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.7-2.8 หรือในตำราบางเล่มจะอยู่ที่ 2.6 - 2.8

ค. การขยายตัวหลังจากอบแห้ง

ง. สามารถบดให้เป็นผงละเอียดได้ง่าย

จ. ใส่เคลือบหรือน้ำดินจะทำให้เคลือบหรือน้ำดินเกิด Thixotropy เนื่องจากการบวมน้ำ (Swelling) ของ T-O-T layer ที่มีน้ำไปแทรกอยู่ระหว่างชั้น

ฉ. D.T.A curve เกิดปฏิกิริยาดูดความร้อนที่  $900-1000 \text{ } ^\circ\text{C}$  เนื่องจากเกิดการสลายตัวของน้ำในโครงสร้างผลึก (Dehydroxylation) [14]

### 2.3.4 ประโยชน์การใช้งานของทัลค์

ทัลค์มีประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมหลายอย่างแต่ที่นิยมนำมาใช้กันมากคือนำมาบดย่อยเป็นผงผสมทำสี การผสมยาง ทำยาฆ่าแมลง กระจกฝ้า แป้งฝุ่นทาหน้าหรือทำดินสอสำหรับขีดเส้นเสื้อผ้าและโลหะเป็นต้น [13] สำหรับประโยชน์ของทัลค์ในอุตสาหกรรมเซรามิกได้แก่

ก. ใช้เป็นวัตถุดิบของเนื้อดินในส่วนผสมของกระเบื้องปูพื้น บุผนัง เพื่อป้องกันการขยายตัวของเนื้อดินเมื่อถูกความชื้น ป้องกันการร้าว (Crazing) การเติมทัลค์จะช่วยเพิ่มความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อน (Thermal Shock Resistance) ในกระเบื้องบุผนัง การเติมทัลค์ลงไปแทนคาร์บอนเตบางส่วนจะช่วยให้การเผาเร็วขึ้นทั้งในช่วงการเผาและช่วงการเย็นตัว

ข. ใช้ผสมในเนื้อดินที่ต้องการการขยายตัวต่ำเมื่ออบด้วยความร้อนสูง ใช้เป็นส่วน ผสมในเนื้อดินในการทำภาชนะสำหรับการปรุงอาหารที่วางบนเปลวไฟโดยตรงได้ เพราะมีแรงต้านทานจากความร้อนได้ดี โดยไม่แตกร้าวเนื่องจากทัลค์มีสมบัติการขยายตัวต่ำ

ค. เป็นส่วนผสมในเนื้อดินทำวัสดุทนไฟสามารถเผาในอุณหภูมิสูงๆโดยขยายตัวต่ำ

ง. ผสมในน้ำเคลือบมีคุณสมบัติเป็นตัวหลอมละลายในน้ำเคลือบอุณหภูมิสูงทำให้ผิวเคลือบมีความเนียนลื่นมือ [12], [13], [14]

## 2.4 สารช่วยการกระจายลอยตัว (Flocculant) [15]

โซเดียมไอออน ( $\text{Na}^+$ ) เป็นสารเคมีที่ช่วยให้อนุภาคเกิดการกระจายลอยตัว เป็นตัวช่วยให้ดินและอนุภาคอื่นๆ ลอยตัวในส่วนผสมของน้ำดินหรือน้ำสลิปและควบคุมการตกตะกอนให้เกิดน้อยลง [15], [16] โดยเมื่อเติมโซเดียมไอออนเข้าไปในน้ำดินหรือน้ำสลิป โซเดียมไอออนจะเข้าไปรบกวนโครงสร้างแบบเจล (Gel Structure) ของน้ำดินหรือน้ำสลิป เพราะโซเดียมไอออนเป็นไอออนที่มีขนาดใหญ่และมีประจุบวกต่ำ (คือ +1) จึงยึดเกาะกับโครงสร้างแบบเจลไม่แน่น ทำให้โครงสร้างเกิดการจับตัวกันอย่างหลวมๆ ส่งผลให้น้ำสลิปไหลตัวได้ดี คือ ดีฟลอคคูลแลนท์ (Deflocculant) ในทางตรงกันข้ามไอออนที่มีประจุบวกสองบวกสาม เช่น แมกนีเซียมไอออน ( $\text{Mg}^{2+}$ ) แคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) และอะลูมิเนียมไอออน ( $\text{Al}^{3+}$ ) เป็นไอออนที่มีประจุสูงๆและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆจึงเข้าไปยึดกับโครงสร้างแบบเจลน้ำสลิปได้แน่นทำให้น้ำสลิป ฟลอคคูลแลนท์ (Flocculant) คือ ชั้นไหลยากและตกตะกอน สารช่วยกระจายลอยตัวที่ใช้ในงานเซรามิกมี 2 ชนิด คือพวกอัลคาไลน (Alkali Cation Type) ได้แก่สารเคมีที่มีสมบัติเป็นด่าง เช่น โซเดียมซิลิเกต โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate ;  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) เป็นต้น และพวกโพลีแอนไอออน (Polyanion Type) ได้แก่ โซเดียมโพลีอะครีเลต (Sodium Polyacrylate) แอมโมเนียมโพลีอะครีเลต (Amonium Polyacrylate) พวกโพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) แต่สารเคมีประเภทนี้จะไม่นิยมใช้กับน้ำดินเพราะมีผลต่อแบบพิมพ์ ทำให้แบบพิมพ์สึกหรออย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.4 สารช่วยการกระจายลอยตัว

ในการนำสารช่วยกระจายลอยตัวมาใช้นิยมใช้พวกอัลคาไลน เนื่องจากมีราคาถูกกว่าและมีผลกระทบต่อด้านอื่นต่ำกว่าโดยเฉพาะผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงความชื้นเหลวซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้ในการปรับความหนืดของน้ำดินในงานเซรามิกคือโซเดียมซิลิเกต และ โซเดียมคาร์บอเนตโดยโซเดียมซิลิเกต จะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ช้ากว่าโซเดียมคาร์บอเนต แต่โซเดียมคาร์บอเนตอาจมีผลต่อการทรงตัว

ของผลิตภัณฑ์หลังการขึ้นรูปได้ ในการใช้งานจึงนิยมใช้ทั้งโซเดียมซิลิเกตและโซเดียมคาร์บอเนตร่วมกัน

นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงปริมาณของดีฟลอคคูลแลนท์ที่เติมลงไปด้วยเพราะหากเติมในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้มีโซเดียมไอออนส่วนเกิน ซึ่งกำจัดได้ยากมากในน้ำสลิป สาเหตุที่กำจัดโซเดียมไอออนส่วนเกินออกจากน้ำสลิปได้ยากมากเพราะเกลือของโซเดียมเกือบทุกชนิดละลายน้ำการที่มีโซเดียมไอออนมากเกินไปในน้ำสลิปจะทำให้ชั้นดับเบิลเลเยอ (Double Layer) ที่หุ้มรอบอนุภาคเซรามิคบางลง ซึ่งจะส่งผลให้อนุภาคเซรามิคไม่แขวนลอยอย่างเสถียรในน้ำสลิป การเติมดีฟลอคคูลแลนท์เข้าไปอีกกลับจะทำให้ น้ำสลิปตกตะกอนมากยิ่งขึ้น

## 2.5 กระบวนการผลิตเซรามิค

กระบวนการผลิตเซรามิคมีอยู่ด้วยกัน 5 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบ การเตรียมเนื้อดิน การขึ้นรูป การเคลือบและการเผา [16]

### 2.5.1 การเตรียมวัตถุดิบและการเตรียมเนื้อดิน

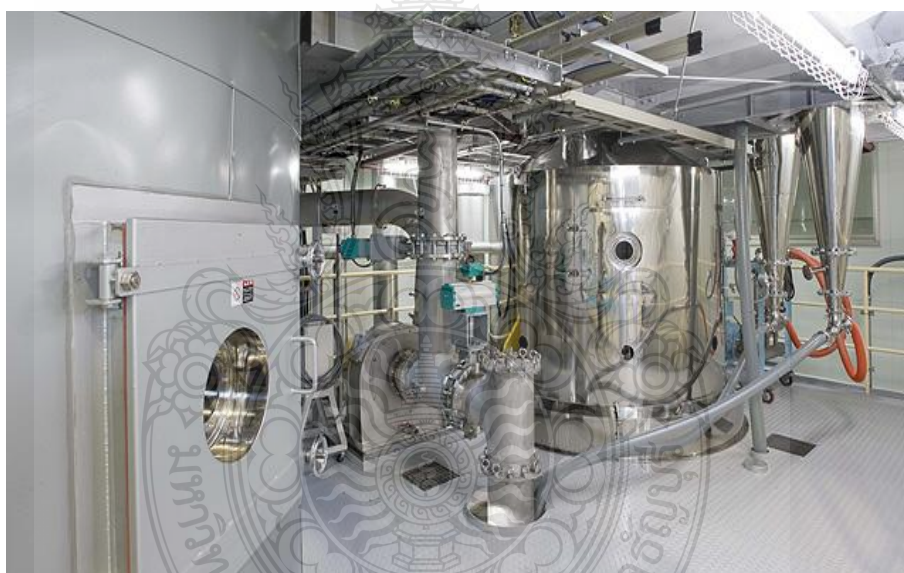
ในอุตสาหกรรมผลิตกระเบื้องเซรามิคขั้นตอนในการผลิตผงดินสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธี การกดอัด (Pressing) โรงงานอุตสาหกรรมที่เป็นผู้ผลิตส่วนใหญ่จะใช้วิธีการเตรียมเนื้อดิน ด้วยวิธีแบบเปียก (Wet Process) ซึ่งเริ่มต้นจากนำวัตถุดิบทั้งวัสดุแข็ง (Hard Materials) และวัสดุไม่แข็ง (Soft Materials) มาชั่งตามสัดส่วนที่ต้องการและใส่ลงบอลมิลล์ (Ball Mill) เติมน้ำและ สารเคมีในการไหลตัวทำการบดจนได้ความละเอียดตามที่ต้องการ หลังจากนั้นจึงถ่ายลงบ่อเพื่อทำการอบแห้งและทำให้เป็นผงดิน (Granulate) โดยใช้เครื่องพ่นอบแห้ง (Spray Dryer) น้ำดินจะถูกฉีดขึ้นไปด้วยความดันสูงผ่านหัวฉีด (Nozzle) ควบคุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างเหมาะสม [14] เม็ดดินจะมีปริมาณน้ำในรูปของความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 [18] สิ่งสำคัญในการเตรียมน้ำดินได้แก่

ก. ความหนาแน่นน้ำสลิป (Density) และเปอร์เซ็นต์ของแข็ง (Solid) ของน้ำสลิป ความหนาแน่นของน้ำสลิปและเปอร์เซ็นต์ของแข็งควรมีค่าสูงที่สุดเท่าที่การไหลตัวของน้ำสลิปยังอยู่ในเกณฑ์ที่ทำงานได้ เนื่องจากไม่ต้องใช้พลังงานความร้อนในการระเหยของน้ำมากเกินไปเพราะยิ่งถ้าความหนาแน่นของน้ำสลิปต่ำหมายถึงปริมาณน้ำที่อยู่ในน้ำสลิปจะมีค่ามากจึงต้องใช้พลังงานความร้อนมากในการระเหยน้ำ [14]

ข. ความหนืดของน้ำสลิป (Viscosity) ความหนืดของน้ำสลิปควรมีค่าที่เหมาะสมกับขนาดของปั๊มลูกสูบ (Piston Pump) จำนวนของก้านหัวฉีด ขนาดของรูหัวฉีดโดยที่ความหนืดไม่ควรมีค่าสูงเกินไป จนทำให้ปั๊มทำงานหนักเกินไปและการไหลตัวผ่านหัวฉีดเป็นไปได้ยากลำบากจะทำให้ปริมาณการผลิตลดต่ำลงและขนาด ของเม็ดดินจะมีขนาดใหญ่ขึ้น รวมทั้งการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินจะมีค่าเปลี่ยนไปด้วยในกรณีที่การไหลตัวของน้ำสลิปมีค่าต่ำเกินไปทำให้ขนาดของเม็ดดินเล็กลงการควบคุมความชื้นจะเป็นไป ได้ยาก น้ำสลิปพุ่งสูงและกระจายจนไปเกาะติดอยู่ที่ผนังของหอบ (Spray Chamber) และเมื่อมีปริมาณดินสะสมมากก็จะเกิดการถล่มลงมาซึ่งสายพานด้านล่างทำให้ความชื้นมีค่าแตกต่างกันและเกิดการล้นที่ตะแกรง篩ด้านล่างทำให้เกิดการสูญเสียของผงดินในขณะทำการผลิต นอกจากค่าการไหลตัวที่เหมาะสมในการพ่นอบแห้งแล้ว สิ่งจำเป็นที่ต้องคำนวนหาคือจุดที่ประหยัดต้นทุนในการผลิตของกระบวนการเนื่องจากการที่ต้องการให้น้ำสลิปมีค่าความหนาแน่นสูงแต่มีการ

ไหลตัวที่คืนนั้นจำเป็นที่จะต้องเติมสารที่ช่วยในการไหลตัวเพื่อช่วยให้น้ำสลิป สามารถผลิตเป็นผงดินได้ตามคุณสมบัติที่ต้องการดังนั้นจึงควรทำการคำนวณต้นทุนในการเติมสารที่ช่วยในการไหลตัวที่ทำให้การไหลตัวดีขึ้นเปรียบเทียบกับต้นทุนในการใช้พลังงานความร้อนในการระเหยน้ำที่จุดของปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน [14]

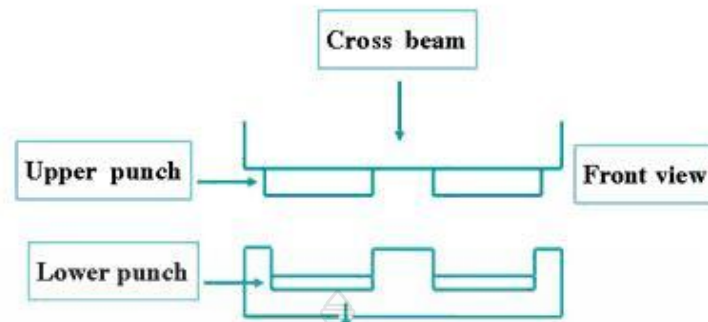
ค. ความละเอียดของน้ำดิน (%Residue) ในการบดน้ำสลิปนั้นจะมีการควบคุมค่าความละเอียดของน้ำสลิปก่อนการถ่ายแล้วก็ตามแต่การตรวจสอบความละเอียดของน้ำสลิปก็เป็นแค่เพียงการสุ่มตัวอย่างเท่านั้น ดังนั้นหลังจากมีการถ่ายน้ำสลิปออกจากหม้อบดแล้วจำเป็นต้องผ่านตะแกรง篩ที่มีความละเอียดพอสมควรเพื่อกรองเอาเศษวัสดุที่ยังมีขนาดใหญ่หรือสิ่งสกปรกต่างๆหลังจากกระบวนการบดไม่ให้หลุดลงไปบ่อที่เตรียมไว้สำหรับเครื่องฟนอบแห้ง ซึ่งจะทำให้เกิดการอุดตันที่บริเวณรูหัวฉีด ส่งผลให้ความชื้นของผงดินเปลี่ยนไปรวมทั้งขนาดของเม็ดดินด้วย ขนาดของตะแกรงที่ใช้ไม่ควรมีความละเอียดจนเกินไปจนน้ำสลิปไหลผ่านไม่ทัน แต่ก็ไม่ควรหยาบเกินไปจนเศษวัสดุที่ยังมีขนาดใหญ่ผ่านไปได้อย่างไปในอุตสาหกรรมเซรามิกใช้กันอยู่ที่ 60-100 Mesh [14]



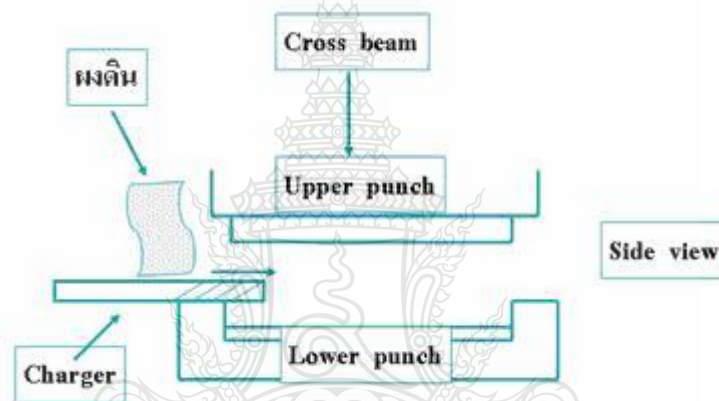
รูปที่ 2.5 Spray Dryer

### 2.5.2 การอัดขึ้นรูปด้วยวิธีอัดดินฝุ่น

การขึ้นรูปด้วยดินฝุ่นนิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกระเบื้องเซรามิกทั้งกระเบื้องปูพื้น กระเบื้องบุผนัง กระเบื้องผนังหลังคา เป็นต้น การขึ้นรูปด้วยดินฝุ่นจะต้องใช้เครื่องอัดที่มีกำลังแรง อัดสูงโดยเครื่องอัดที่มีกำลังแรงอัดสูงต้องใช้แม่พิมพ์ที่เป็นโลหะเนื้อแข็ง [12] เครื่องอัดขึ้นรูปกระเบื้องประกอบไปด้วย Cross Beam ชุดป้อนผงดิน Charger Complete Set ซึ่งประกอบไปด้วย Upper Punch Lower Punch Liner [14] แสดงในรูปที่ 2.6



(ก) ด้านหน้าเครื่องอัดขึ้นรูปกระเบื้อง



(ข) ด้านข้างเครื่องอัดขึ้นรูปกระเบื้อง

รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของเครื่องอัดขึ้นรูปกระเบื้อง

ก. แรงอัดที่ใช้ผลิตกระเบื้อง กำลังแรงอัดของเครื่องที่ใช้เพื่อการผลิตกระเบื้องที่มีขนาดใหญ่ ต้องใช้แรงอัดที่สูงกว่ากระเบื้องที่มีขนาดเล็กทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของเนื้อดินที่ใช้ในการผลิตด้วย ดินที่มีความชื้นมากจะใช้แรงอัดน้อยกว่าดินที่มีความชื้นน้อย

ดินฝุ่นแห้ง	ความชื้น 2-7%	ใช้แรงอัด 300-500 ก.ก. / ซม. <sup>2</sup>
ดินฝุ่นกึ่งแห้ง	ความชื้น 9-12%	ใช้แรงอัด 100-250 ก.ก. / ซม. <sup>2</sup>
ดินเหนียว	ความชื้น 15-20%	ใช้แรงอัด 100-150 ก.ก. / ซม. <sup>2</sup>

อัตราส่วนของน้ำในเนื้อดินที่ใช้ในการขึ้นรูปต้องมีความชื้นที่สม่ำเสมอเท่ากันทุกครั้งเป็นมาตรฐานเพื่อควบคุมอัตราการหดตัวของเนื้อดินให้มีคุณภาพสม่ำเสมอ [12]

ข. ปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปแบบอัด

ความชื้นผงดิน (Moisture) ถ้าความชื้นของผงดินสูงเกินไปจะทำให้ผงดินติดหน้าแบบพิมพ์ สำหรับผงดินที่มีความชื้นต่ำเกินไปจะเกิดปัญหามุมและขอบกระเบื้องได้ง่ายและเกิดรอยแยกในเนื้อกระเบื้อง (Lamination)

- 1). ขนาดอนุภาคของเม็ดดิน (Grain Size Distribution) ส่งผลต่อการจับตัวของกระเบื้องดิน ถ้าการกระจายตัวของผงดินไม่เหมาะสมจะทำให้ค่าความหนาแน่นของกระเบื้องดินเปลี่ยน แปลงไป ส่งผลต่อการหดตัวของกระเบื้องหลังเผา
- 2). แรงอัดในการขึ้นรูป (Pressing Pressure) แรงดันในการขึ้นรูปที่สูงจะส่งผลให้กระเบื้องดินมีความหนาแน่นที่สูง การหดตัวหลังเผาจะมีค่าต่ำ
- 3). ความเร็วในการป้อนผงดิน (Speed of Charger) ส่งผลต่อความหนาแน่นของกระเบื้องในช่วงด้านหัวและท้ายของแผ่น
- 4). ความเร็วในการอัดขึ้นรูป (Cycle of Pressing) ส่งผลต่อความหนาแน่นและตำหนิต่างๆที่อาจเกิดขึ้นรวมทั้งปริมาณการผลิตด้วย
- 5). การออกแบบแม่พิมพ์ (Mold Design) ทำให้ความหนาแน่นของกระเบื้องดินในแต่ละจุดไม่เท่ากัน ส่งผลให้มีการหดตัวไม่เท่ากันทำให้เกิดกระเบื้องร้าวในขณะอบแห้ง

### 2.5.3 การเคลือบสี

ในการตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกให้มีความงดงามเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงทนถาวรนั้นผลิตภัณฑ์เซรามิกจำเป็นที่จะต้องมีการเคลือบสีสำหรับเหตุผลดังกล่าวการเคลือบสีนั้นมีความสำคัญอยู่มากมายเพื่อที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสวยงาม [14] แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเคลือบสีกระเบื้อง

ก. วัตถุดิบที่ใช้ในการเคลือบล้วนแต่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ซึ่งวัตถุดิบที่เป็นพิษการเตรียมเคลือบได้แก่ นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์ คอปเปอร์ออกไซด์ โครเมียมออกไซด์ แบเรียมออกไซด์ ตะกั่วและซิลิกา [17]

ข. องค์ประกอบของสูตรเคลือบ การแบ่งกลุ่มวัตถุดิบในสูตรการเคลือบตามกฎของเซเกอร์นิกเคมีชาวเยอรมันได้จำแนกวัตถุดิบในการเตรียมน้ำยาเคลือบออกเป็น 3 กลุ่มคือ

1). วัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นด่าง (Alkali หรือ Basic Group) หรือวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นตัวหลอมละลายในเคลือบช่วยลดอุณหภูมิการเผาให้ต่ำลงทำให้น้ำยาเคลือบหลอมละลายเร็วขึ้น และเพิ่มการไหลตัวของเคลือบทำให้เคลือบมีผิวเรียบ

2). วัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นกลาง (Intermediate Group หรือ Amphoteric Oxides) เป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติช่วยให้เคลือบมีความหนืด ไม่ไหลหลุดออกจากผิวผลิตภัณฑ์ขณะหลอมละลาย และลดการแตกรานของน้ำยาเคลือบ

3). วัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นกรด (Acid Group) เป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นตัวหนไฟในน้ำยาเคลือบเพิ่มจุดหลอมละลาย ทำให้น้ำยาเคลือบมีความแข็งแรงทนทานต่อรอยขีดข่วนและแรงกระแทก เป็นวัตถุดิบที่สามารถทนต่อฤทธิ์กรดหรือด่างได้ดี

ค. คุณสมบัติของวัตถุดิบในน้ำยาเคลือบ

1). สารตะกั่ว (PbO) จุดหลอมละลาย  $770^{\circ}\text{C} - 1,120^{\circ}\text{C}$  ทำหน้าที่เป็นตัวหลอมละลายที่ให้แก้วในอุณหภูมิต่ำ  $900^{\circ}\text{C} - 1,120^{\circ}\text{C}$  ถ้าเผาในอุณหภูมิเกิน  $1,180^{\circ}\text{C}$  สารตะกั่วจะระเหยเป็นไอ สารตะกั่วเป็นสารพิษไม่ควรใช้ตะกั่วโดยตรงในการเตรียมเคลือบควรนำตะกั่วมาหลอมกับซิลิกาให้เป็นฟริตเสียก่อน

2). บอแรกซ์ (Borax  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) จุดหลอมละลาย  $741^{\circ}\text{C}$  ทำหน้าที่เป็นตัวหลอมละลายที่ให้แก้วในอุณหภูมิต่ำ  $900^{\circ}\text{C} - 1,100^{\circ}\text{C}$  เป็นด่างที่ให้โซเดียมและบอริกออกไซด์อยู่รวมกันเป็นสารละลายน้ำได้ จึงนิยมนำมาหลอมเป็นฟริตก่อนใช้เคลือบผลิตภัณฑ์

3). ฟริต (Frit) ฟริตคือวัตถุดิบที่ใช้เตรียมเคลือบอุณหภูมิต่ำ ซึ่งทำจากวัตถุดิบที่เป็นพิษหรือวัตถุดิบที่ละลายน้ำได้ นำมาเผาหลอมรวมกับซิลิกาซึ่งเป็นแก้ว ทำให้อุณหภูมิที่หลอมตัวเป็นแก้วมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำและไม่ดูดซึมเข้าทางผิวหนึ่ง ฟริตถูกนำมาบดให้ละเอียดในรูปผงเคลือบสำเร็จรูปก่อนนำมาใช้เป็นน้ำยาเคลือบในอุณหภูมิที่นิยมนำมาเตรียมจากวัตถุดิบตะกั่วและบอแรกซ์หรือทั้งสองชนิดรวมกัน ฟริตนิยมนำมาใช้ผสมในน้ำยาเคลือบอุณหภูมิต่ำปริมาณ 80-100% โดยน้ำหนัก เนื่องจากเคลือบฟริตมีส่วนผสมของซิลิกาและอะลูมินาอยู่บ้างแล้ว จึงใช้เป็นเคลือบสำเร็จรูปในอุณหภูมิที่ต่ำได้ ถ้าเคลือบในอุณหภูมิปานกลาง  $1,150^{\circ}\text{C} - 1,200^{\circ}\text{C}$  จะใช้ฟริตในปริมาณที่น้อยลงเพื่อลดอุณหภูมิการหลอมละลายของเคลือบโดยใช้ปริมาณ 20 - 40% ร่วมกับวัตถุดิบตัวหลอมละลายอื่นๆในสูตรเคลือบ ส่วนการเคลือบในอุณหภูมิสูงโดยปกติไม่นิยมใช้ ฟริตเป็นส่วน ประกอบในวัตถุดิบ แต่ในการเคลือบอุณหภูมิสูงบางชนิดที่พิเศษอาจจะใช้ฟริตในสูตรเคลือบด้วย แต่ในปริมาณไม่เกิน 5%

4). ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) วัตถุดิบจุดหลอมละลายสูง หลอมละลายได้แก้วที่อุณหภูมิ  $1,800^{\circ}\text{C}$  สังกะสี (Zinc) เป็นด่างที่นิยมใช้ในเคลือบอุณหภูมิปานกลางถึงอุณหภูมิสูง  $1,150^{\circ}\text{C} - 1,250^{\circ}\text{C}$  โดยใช้ร่วมกับด่างตัวอื่นๆ เช่น หินปูน โซดาเฟลด์สปาร์ เป็นต้น ถ้าใช้เฉพาะสังกะสีตัวเดียวเคลือบจะไม่หลอมละลาย

5). แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เป็นวัตถุดิบที่มีจุดหลอมละลายสูงมาก  $2,800^{\circ}\text{C}$  จัดเป็นวัตถุดิบทนไฟแต่มีคุณสมบัติเป็นด่างหรือตัวหลอมละลายในเคลือบอุณหภูมิสูง  $1,250^{\circ}\text{C}$  ขึ้นไปถึง  $1,300^{\circ}\text{C}$  แมกนีเซียมไม่ได้ใช้เป็นตัวหลอมละลายหลักในสูตรเคลือบใช้ในปริมาณน้อยมาก ประมาณ 1-10 % ถ้าใช้ในปริมาณมากเคลือบจะทนไฟสูงและเกิดเป็นเคลือบกึ่งด้าน (Semi Matt) วัตถุดิบที่ให้แมกนีเซียมได้แก่ ทัลค์ โดโลไมต์ (Dolomite) แมกนีเซียมคาร์บอเนต (Magnesium Carbonate)



6). ลิเทียมออกไซด์ ( $\text{Li}_2\text{O}$ ) วัสดุที่มีจุดหลอมละลายให้แก้วในอุณหภูมิ  $1,150^\circ\text{C}$  คุณสมบัติเป็นตัวหลอมละลายที่ดีในเคลือบอุณหภูมิปานกลางและอุณหภูมิสูง  $1,150^\circ\text{C} - 1,230^\circ\text{C}$  ลิเทียมมีราคาแพงจึงไม่นิยมใช้ในเคลือบอุตสาหกรรม ลิเทียมมีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งสีเคลือบวัสดุที่ให้ลิเทียมได้แก่ ลิเทียมคาร์บอเนต ลิเทียมเฟลด์สปาร์หรือเลปิโดไลต์

7). สตรอนเซียมออกไซด์ ( $\text{SrO}_2$ ) เป็นวัสดุที่มีจุดหลอมละลาย  $2,430^\circ\text{C}$  มีคุณสมบัติเป็นต่าง ใช้ในเคลือบอุณหภูมิปานกลาง  $1,150^\circ\text{C} - 1,250^\circ\text{C}$  โดยปกติจะใช้ไม่เกิน 30% ในสูตรเคลือบอุณหภูมิปานกลางโดยใช้ร่วมกับต่างตัวอื่นๆด้วย เช่น โซดาเฟลด์สปาร์ ซิงค์ออกไซด์ แบเรียมคาร์บอเนตโดยใช้ร่วมกันหลายตัว เพื่อลดอุณหภูมิในการหลอมละลายได้ดีกว่าใช้เพียงตัวเดียว สตรอนเซียมมีราคาแพงจึงไม่นิยมใช้ในเคลือบอุตสาหกรรมที่ใช้เคลือบในปริมาณมาก วัสดุที่ทำให้สตรอนเซียมได้แก่ สตรอนเซียมคาร์บอเนต

8). แบเรียมคาร์บอเนต ( $\text{BaCO}_3$ ) เป็นวัสดุที่มีจุดหลอมละลาย  $1,923^\circ\text{C}$  คุณสมบัติเป็นตัวหลอมละลายที่อุณหภูมิปานกลางถึงอุณหภูมิสูง  $1,180^\circ\text{C} - 1,250^\circ\text{C}$  โดยปกติแบเรียมไม่ช่วยหลอมละลายหลักจึงใช้เป็นตัวเร่งตัวหนึ่งในการหลอมละลายของเคลือบ แต่ใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย 5-8 % ถ้าใช้ในปริมาณมากก็ไม่ได้ทำให้เคลือบละลายเร็วขึ้น แต่ใช้เกิน 20% ขึ้นไปในเคลือบมักจะทำให้สีด้านแทน ถ้าเผาเกินอุณหภูมิไปเล็กน้อย  $20^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}$  จะเกิดเป็นฟองบนผิวเคลือบ จึงต้องระวังเรื่องการเผาเป็นพิเศษ

9). แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) หรือหินปูนเป็นวัสดุที่มีจุดหลอมละลายสูง  $2,500^\circ\text{C}$  มีคุณสมบัติเป็นตัวหลอมละลายหลักในเคลือบอุณหภูมิสูง  $1,250^\circ\text{C} - 1,300^\circ\text{C}$  สามารถใช้เพียงอย่างเดียวในสูตรเคลือบเพื่อเป็นตัวหลอมละลายได้ แต่โดยปกติจะใช้ร่วมกับโซดาหรือโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ปริมาณที่ใช้ 15-25% ในเคลือบอุณหภูมิสูงช่วยให้น้ำยาเคลือบมีความแข็งแรง วัสดุที่ทำให้แคลเซียม ได้แก่ หินปูนสีขาว (Whiting Limestone) แคลไซต์ ( $\text{CaCO}_3$ ) หินปูนสีเทา (Gray Limestone)

10). เฟลด์สปาร์ ( $\text{KNaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ) หรือหินฟันม้าเป็นวัสดุที่มีจุดหลอมละลาย  $1,180^\circ\text{C} - 1,200^\circ\text{C}$  มีคุณสมบัติเป็นเคลือบได้ตามธรรมชาติ มีต่าง กลาง และกรดอยู่ครบในส่วนประกอบของเคลือบเป็นวัสดุหลักในสูตรเคลือบ มีตั้งแต่ 40-60% ในสูตรเคลือบอุณหภูมิสูงเกือบทุกชนิดถ้าใช้โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์เพียงอย่างเดียวทำเคลือบจะต้องเผาถึงอุณหภูมิ  $1,400^\circ\text{C}$  จึงจะได้เคลือบใส ดังนั้นเพื่อเป็นการลดอุณหภูมิในการหลอมละลายได้ดีและได้เคลือบใส จะต้องใช้เฟลด์สปาร์ร่วมกับตัวหลอมละลายอื่นๆด้วย เฟลด์สปาร์ที่นิยมใช้ในสูตรเคลือบ มี 2 ชนิด คือโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์และโซดาเฟลด์สปาร์

11). เนฟเฟลีนโซดาไนต์ ( $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Na}_2\text{O} \cdot 4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{SiO}_2$ ) เป็นเฟลด์สปาร์ที่มีตัวหลอมละลายมากกว่าเฟลด์สปาร์ธรรมดา มีจุดหลอมละลายต่ำ  $1,100^\circ\text{C} - 1,200^\circ\text{C}$  เหมาะสำหรับทำเคลือบหิน เพราะสามารถใช้เป็นวัสดุหลักได้ทันที 70-80% ในสูตรเคลือบวัสดุนี้หายากในประเทศไทยต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

12). อะลูมินาออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) มีจุดหลอมละลายอยู่ที่  $2,050^\circ\text{C}$  มีคุณสมบัติเป็นตัว กลางทำให้ผิวเคลือบเหนียวติดเกาะกับเนื้อดินได้ดี ไม่ไหลออกจากตัวผลิตภัณฑ์ขณะเผาถึงจุดสุกตัวหลอมละลายช่วยทำให้เคลือบที่ยังไม่ได้เผามีความแข็งแรงสามารถเกาะติดผิวผลิตภัณฑ์ได้แน่นไม่หลุดเป็นฝุ่นติดมือ

ขณะจับหรือทำให้เคลือบมีตำหนิได้ง่าย โดยปกติจะใช้ดินขาวเป็นวัตถุดิบที่ให้อะลูมินาในเคลือบ เพื่อช่วยให้เคลือบลอยตัวไม่ตกตะกอนกันถังและช่วยให้เคลือบไม่หลุดเป็นฝุ่นและมีคุณสมบัติเป็นตัวหนืด ในขณะที่เคลือบหลอมละลายวัตถุดิบที่ให้อะลูมินาได้แก่ ดินขาว และ อลูมินาไฮดรอกไซด์

13). ซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) จุดหลอมละลาย  $1,750^\circ\text{C}$  เป็นทรายแก้วหรือหินแก้วหลักของแร่ควอทซ์ มีค่าความแข็ง 7 ทำให้บดละเอียดได้ยาก มีคุณสมบัติเป็นกรด ทำหน้าที่เป็นตัวทนไฟ ลดการไหลตัวของน้ำเคลือบทำให้ผิวเคลือบมีความแข็งแรงทนต่อรอยขีดข่วน ทนแรงกระแทก ทนกรดและด่างได้ดี ในเคลือบอุณหภูมิสูงเกือบทุกชนิด มีปริมาณซิลิกาในสูตร 25-30% วัตถุดิบที่ให้ซิลิกาได้แก่ ควอทซ์ (Quartz) ฟลิน (Flint) ซิลิกา ทรายแก้วบริสุทธิ์และเฟลด์สปาร์ทุกชนิด

#### 2.5.4 การเผากระเบื้อง

ในกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ได้จากการเผาจะมาจากการรวมตัวกันของวัตถุดิบทั้งวัตถุดิบแบบอ่อน (Soft Materials) และวัตถุดิบแบบแข็ง (Hard Materials) เข้าด้วยกันและคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีจะเปลี่ยนไประหว่างการเผา เช่นความแข็งแรง การดูดซึมน้ำสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน การนำความร้อนและอื่นๆ ซึ่งสมบัติเหล่านี้มาจากชนิดและจำนวนเฟสที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเผา ในระหว่างการเผาในเตามีขั้นตอนในการเผาที่สำคัญอยู่ 4 ขั้นตอนคือ การอบแห้ง (Drying) การสลายตัวของส่วนประกอบ (Decomposition) การเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) และการเผาจนเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ (Vitrification) แสดงในรูปแบบที่ 2.8



รูปที่ 2.8 เตาเผากระเบื้องเซรามิก

ก. การอบแห้ง (Drying) ในช่วงก่อนให้ความร้อน (Pre Heating) ของเตาก่อนเข้าสู่ช่วงการเผาเพื่อเป็นการขจัดน้ำ กลไกการขจัดน้ำในดินต้องทำอย่างระมัดระวังเพราะถ้าเร็วเกินไปผลิตภัณฑ์จะแตกหักได้ง่ายโดยความดันภายในของรูพรุนของตัวผลิตภัณฑ์เอง ในขั้นตอนแรกที่อุณหภูมิประมาณ  $120^\circ\text{C}$  น้ำในดินอันได้แก่ ความชื้นและน้ำที่เติมเข้ามาจะถูกขับไล่ออก โดยให้ความร้อน

อย่างช้าๆและระมัดระวังน้ำในโครงสร้าง (Chemical Combine Water) จะไม่ถูกไล่ออกด้วย จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 590°C เมื่อการอบแห้งสมบูรณ์แล้วอาจเกิดการแตกร้าว (Crack) ได้ถ้าร้อน สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดการหดตัวอย่างรวดเร็วที่ผิวหน้าแต่ภายในยังคงมีความชื้นอยู่เมื่อ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นน้ำภายในจะกลายเป็นไอขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาตรของไอน้ำเพิ่มขึ้น (PV=NRT) ทำให้เกิดการแตกร้าว (Crack) ที่ไม่สม่ำเสมอ

ข. การสลายตัวของส่วนประกอบ (Decomposition) ในระหว่างขั้นการสลายตัวของ ส่วนประกอบ (Decomposition) สารอินทรีย์ในดินถูกย่อยสลายไปและน้ำภายในโครงสร้าง (Chemically Combined Water) ถูกกำจัดออกไปโดยทั่วไปขั้นตอนนี้จะเริ่มประมาณ 100°C จนถึง อุณหภูมิ 500°C ซึ่งสารอินทรีย์ที่อยู่ในเนื้อดินจะเริ่มถูกขจัดไปด้วย

ค. การเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) การเกิดออกซิเดชันเป็นขั้นตอนที่สำคัญของการเผาสารที่ เผาไหม้ได้ถูกขจัดออกและเกิดออกซิเดชันของเหล็ก (Fe) และสารประกอบอื่นๆ สำหรับการผลิตให้ได้ สีที่ดีจะต้องมีออกซิเดชันที่สมบูรณ์ ความร้อนจะต้องควบคุมอย่างดีและหลีกเลี่ยงการให้ความร้อนที่ มากเกินไปเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดแกนดำ (Black Core) ภายในและสีที่มีผลต่อสภาวะออกซิเดชัน มากๆ ถ้าเผาอย่างเร่งรีบหรือ ค่าพารามิเตอร์ระหว่าง ก๊าซ กับอากาศที่ไม่เหมาะสมจะทำให้สีหลังเผา ของผลิตภัณฑ์ผิดเพี้ยนไปไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบหรือผลิตภัณฑ์ที่มีการเผาเคลือบต่างๆ แกนดำ (Black Coring) ในผลิตภัณฑ์เนื่องจากการออกซิเดชันไม่เพียงพอของพวกสารอินทรีย์อย่างไร ก็ตามแกนดำ ในผลิตภัณฑ์ไม่ได้เกิดจากคาร์บอนเพียงอย่างเดียว แต่อาจเกิดเนื่องจากการลดลงของ เหล็กได้ ช่วงของการเกิดออกซิเดชันที่ดีที่สุดสำหรับการเผาอยู่ระหว่าง 930°C -1040°C ซึ่งเป็นช่วง สำคัญสำหรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์และจะทำให้การทำงานยืดหยุ่นขึ้นโดยสามารถเพิ่มผลผลิตได้หรือ เปลี่ยนแปลงวัตถุดิบที่ใช้ในสูตรได้

ง. การเผาจนเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ (Vitrification) ระหว่างช่วงการเผาขั้นตอนสุดท้ายนั้น ผลิตภัณฑ์จะถูกให้ความร้อนเต็มที่ทำให้เกิดการหลอมตัวเกิดเป็นเฟสของเนื้อแก้วขึ้น (Vitrification) และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง ความเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นระหว่างช่วงนี้จะมีความสำคัญ มากกว่าช่วงอื่นๆ เพราะต้องระวังไม่ให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนมากเกินไปจนทำให้เกิด Over Firing

1). องค์ประกอบสำคัญสำหรับการเผา เตาเผาเป็นแหล่งที่ให้ความร้อนเพื่อที่จะทำให้น้ำในดิน ที่มาจากวัตถุดิบต่างๆเกิดปฏิกิริยาแต่ความร้อนไม่ใช่สิ่งจำเป็นอย่างเดียวสำหรับการเกิดปฏิกิริยาเพื่อ เปลี่ยนวัตถุดิบให้กลายเป็นเนื้อเซรามิก สภาพแวดล้อม บรรยากาศ กระบวนการเผาทั้งทางกายภาพ และทางเคมีก็เป็นสิ่งสำคัญในการทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ด้วย ก๊าซต่างๆไปที่มีใน เตาจะเป็น O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>3</sub> สำหรับ O<sub>2</sub> และ N<sub>2</sub> ได้มาจากอากาศที่ถูกใส่เข้ามาจากหัวเผา (Burner) หรือจากพัดลม (Blower) ของเตา การเผาไหม้ของ เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน(Hydrocarbon Fuel) เช่น ถ่านหิน น้ำมันก๊าซ ก๊าซธรรมชาติ จะทำให้เกิด CO<sub>2</sub>และไอน้ำซึ่งเป็นการการเผาไหม้ที่ สมบูรณ์ ถ้าการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีการเกิด CO และ H<sub>2</sub> เกิดขึ้นสำหรับสารประกอบของซิลิเฟออร์ เกิดมาจากมลทินของตัวเชื้อเพลิงปฏิกิริยาทางเคมีของผลิตภัณฑ์ถูกควบคุมโดยสัดส่วนของ O<sub>2</sub> และ CO ซึ่งก๊าซทั้งสองจะมีผลต่อปฏิกิริยาที่เกิดกับ Fe, Mn, V, C ในผลิตภัณฑ์ทั้งในส่วนของเนื้อดิน และสีเคลือบ คาร์บอนโดยธรรมชาติจะเป็นธาตุประกอบอยู่ในวัตถุดิบในรูปของสารอินทรีย์ทั้งในดิน ชนิดต่างๆหรือแร่อื่นๆหรือในบางโอกาส คาร์บอนอาจถูกเติมลงไปโดยเป็นตัวหล่อลื่นและตัวควบคุม

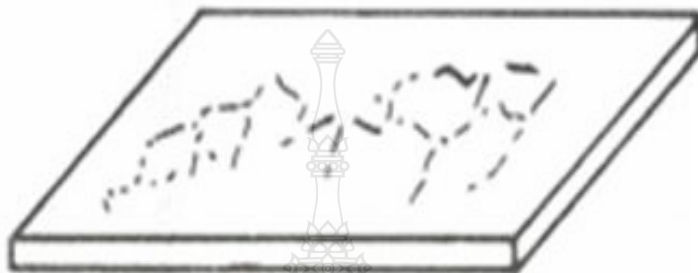
ความพรุน (Porosity) แต่ไม่ว่าในกรณีใดก็ตามคาร์บอนจะต้องถูกเผาไหม้ออกไปในช่วงที่เหมาะสมของกระบวนการเผา ตัวคาร์บอนที่อยู่ในรูปของแข็งจะเปลี่ยนไปเป็นก๊าซออกไปจากเนื้อดิน โดยผ่านรูพรุนที่เปิด (Open Pore) ถ้าการเผาไหม้ไม่สามารถไล่คาร์บอนออกไปได้หมดจะกลายเป็นแกนสีดำ (Black Coring) อยู่ภายในเนื้อดินซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์หลังเผาและความสวยงามของผิวเคลือบหลังเผาด้วย

2). ในเนื้อดินเซรามิกจะมีสารประกอบต่างๆอยู่มากมาย ทั้งที่เราต้องการและไม่ต้องการ สารประกอบบางตัวเมื่อถูกเผาไหม้จะมีการเปลี่ยนสถานะไปเป็นก๊าซซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะสีหลังเผาทั้งสีของเนื้อดินและสีเคลือบ นอกจากนี้ก๊าซบางตัวก็ส่งผลถึงสภาพแวดล้อมภายนอกด้วยในขั้นตอนการเผาจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการควบคุมให้ปริมาณของออกซิเจนมีเพียงพอในการเผาไหม้ ออกซิเจนจะช่วยกำจัดสารประกอบคาร์บอนในเนื้อดินและ Oxidize สารประกอบอื่นๆอย่างสมบูรณ์เมื่อเผาผลิตภัณฑ์ที่มีคาร์บอน คาร์บอนจะต้องเคลื่อนออก ในขณะที่เนื้อดินจะยังคงมีรูพรุนอยู่ในการเผาควรให้เกิดบรรยากาศออกซิเดชันตั้งแต่ช่วง Preheating  $550^{\circ}\text{C} - 980^{\circ}\text{C}$  เพื่อช่วยกำจัดคาร์บอนหรือก็คือสารอินทรีย์ต่างๆที่มีอยู่ในเนื้อดินสภาวะ Oxidizing จำเป็นอย่างยิ่งโดยจะช่วยกำจัด Sulfur ซึ่งในวัตถุดิบบางตัวมีพวก Iron Sulfide (Pyrite และ Pyrrhotite) ซึ่งปกติในการเผาไหม้พวก Sulfur จะกลายเป็นก๊าซ  $\text{SO}_2$  ซึ่งเมื่อถูกปล่อยออกไปจากเตาจะทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม สภาวะ Oxidizing ที่ดีจะช่วยเปลี่ยน Sulfur ให้กลายเป็น  $\text{SO}_3$  ซึ่งจะถูกดูดซับที่พื้นผิวภายในของเนื้อดินจึงขจัดปัญหา Sulfurous gas ออกมาจากในเตาได้ สำหรับสารประกอบ  $\text{V}_2\text{O}_5$  จะถูก Oxidize เป็น Inert chemical ใน  $\text{SiO}_2$  และ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  เมื่อจำนวนออกซิเจนไม่เพียงพอในการเผาเชื้อเพลิงที่เป็นไฮโดรคาร์บอนจะให้ CO ซึ่ง Gas นี้จะเป็น Reducing Agent กับ Fe, V และ Mn ซึ่งต้องการในผลิตภัณฑ์เซรามิกเพราะว่า Fe ในรูป Ferrous ( $\text{FeO}$ ) จะเป็นสีดำและเป็น Flux ในพวก Aluminosilicate Product ทำให้เกิดจุดดำที่ผิวหน้าของเคลือบส่วนในพวกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความขาวมากๆ เช่น Porcelain สี Blue-White ได้มาจากบรรยากาศที่มี CO อยู่ นอกจากนี้ CO ในบรรยากาศของเตาจะไป Reduce V ที่เป็นรูปแบบที่ Reactive มากและ MnO จะละลายได้ดีมากใน Acid Solution จึงไม่เป็นที่ต้องการใน Ceramic Body

## 2.6 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.613-2529

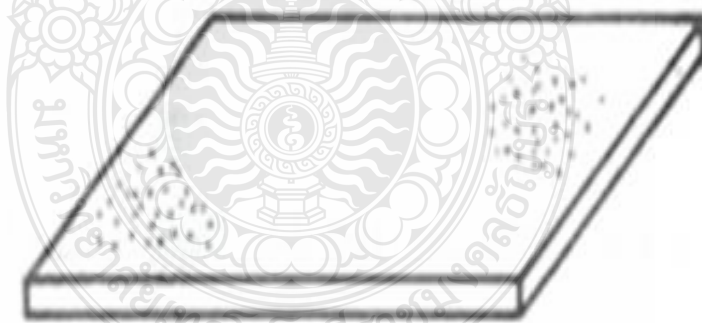
### 2.6.1 นิยาม

- 1). การลอกตัว (Peeling) หมายถึง การแยกตัวระหว่างเคลือบกับเนื้อกระเบื้อง
- 2). การราน (Crazing) หมายถึง การเกิดรอยร้าวบนผิวเคลือบ แสดงในรูปที่ 2.9



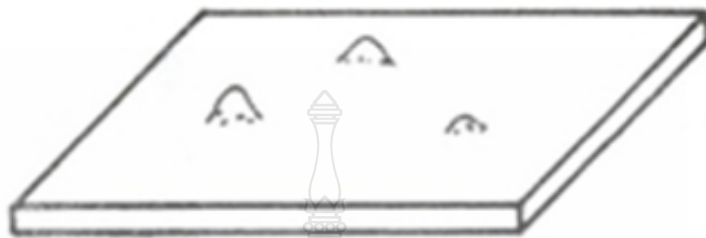
รูปที่ 2.9 การราน (Crazing)

- 3). รอยร้าว (Crack) หมายถึง รอยแตกที่ลึกถึงเนื้อกระเบื้อง
- 4). รูเข็ม (Pinhole) หมายถึง รูเล็กๆ ที่ปรากฏบนผิวเคลือบ แสดงในรูปที่ 2.10



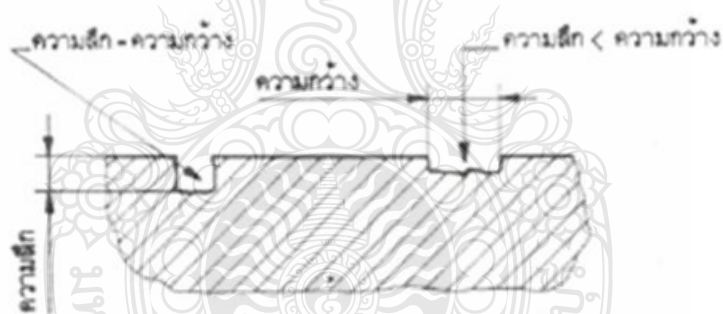
รูปที่ 2.10 รูเข็ม (Pinhole)

5. รอยพอง (Blister) หมายถึงรอยนูนที่ผิวเคลือบซึ่งเกิดจากการขยายตัวของก๊าซหรือฟองอากาศที่อยู่ภายในเมื่อกระเทาะแตกจะเกิดเป็นโพรงชั้นที่ผิวเคลือบนั้น แสดงในรูปที่ 2.11



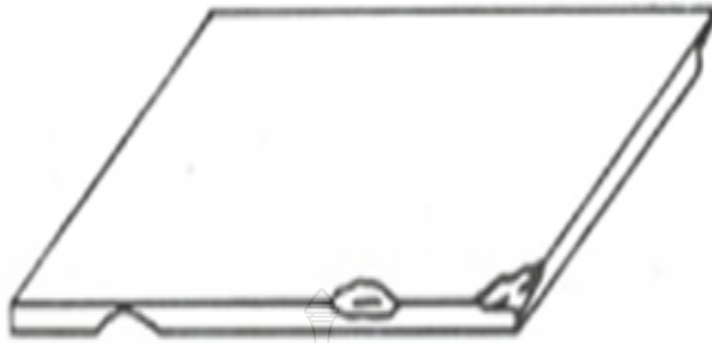
รูปที่ 2.11 รอยพอง (Blister)

6. หลุม (Pitting) หมายถึงการเกิดหลุมเล็กๆที่ผิวหน้ากระเบื้องซึ่งมีความลึกเท่ากับหรือน้อยกว่าความกว้าง แสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 หลุม (Pitting)

7. รอยบิ่น (Chip) หมายถึงรอยตามแนวขอบหรือตามมุมของกระเบื้องซึ่งเกิดจากเนื้อกระเบื้องแตกหลุดออกไป แสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 รอยบิ่น (Chip)

8). การหดตัวของเคลือบ (Glaze Crawling) หมายถึงการที่เคลือบหดตัวจนเนื้อของกระเบื้องบางส่วนไม่มีเคลือบฉาบอยู่ แสดงในรูปที่ 2.14

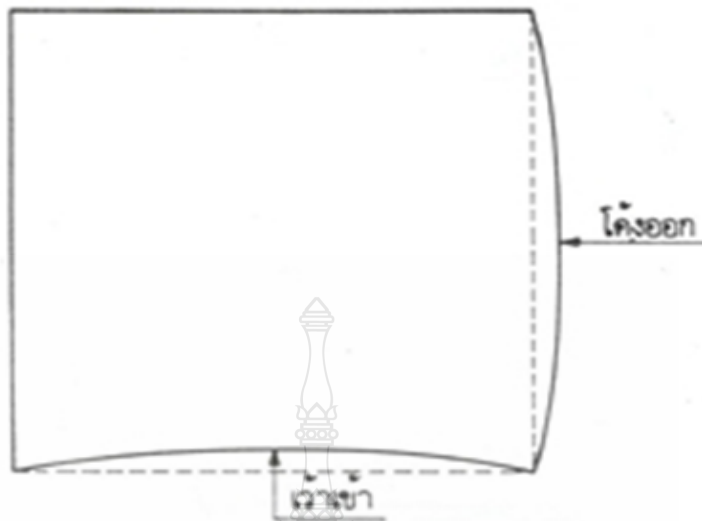


รูปที่ 2.14 การหดตัวของเคลือบ (Glaze Crawling)

9). ความบิดเบี้ยว (Warpage) หมายถึงความบิดเบี้ยวจากรูปร่างของกระเบื้องที่กำหนดเนื่องจากกรรมวิธีผลิต

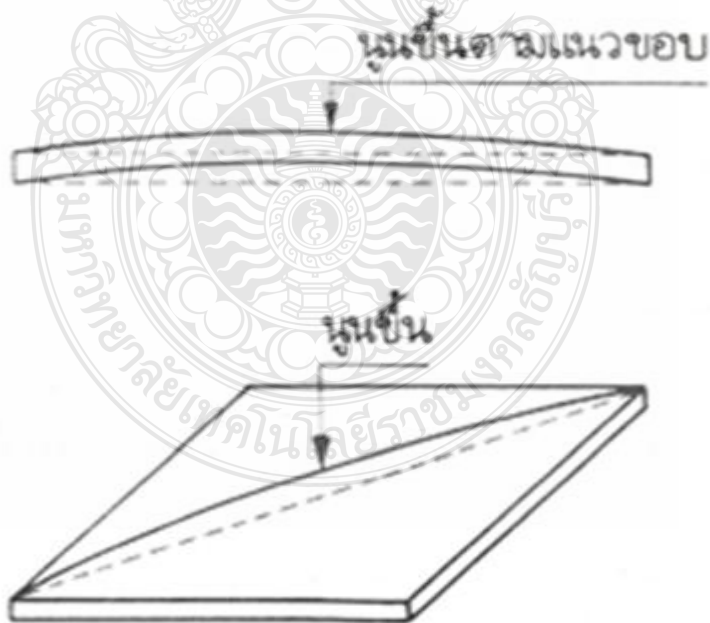
10). โค้งออก หมายถึง ความบิดเบี้ยวในลักษณะที่ส่วนกลางของขอบกระเบื้องโค้งออก แสดงในรูปที่ 2.15

11). เว้าเข้า หมายถึงความบิดเบี้ยวในลักษณะที่ส่วนกลางของขอบกระเบื้องเว้าเข้าแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การโค้งออก และ เว้าเข้า

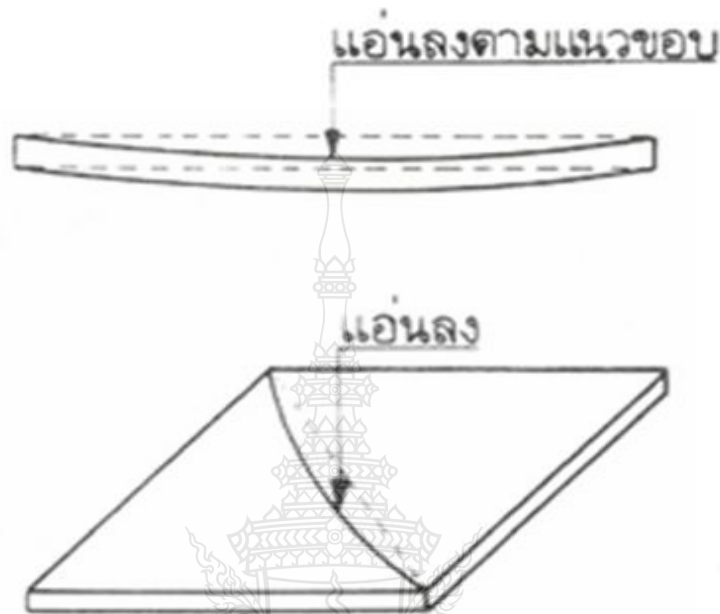
12). นูนขึ้น (Convex) หมายถึงความบิดเบี้ยวไปจากแนวระนาบของผิวหน้ากระเบื้อง เนื่องจากสวนกลางตามแนวเส้นทแยงมุม หรือสวนกลางตามแนวขอบของกระเบื้องสูงขึ้น แสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 นูนขึ้น (Convex)



13). แอนลง (Concave) หมายถึง ความบิดเบี้ยวไปจากแนวระนาบของผิวหน้า กระจกเง้า เนื่องจากส่วนกลางตามแนวเส้นทแยงมุมหรือส่วนกลางตามแนวขอบของกระจกเง้าต่ำลง แสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แอนลง (Concave)

14) ความสอบ (Wedging) หมายถึงลักษณะของด้านตรงข้ามของกระจกเง้าสอบเข้าหากัน เนื่องจากความยาวของ ด้านตรงข้ามอีกคู่หนึ่งไม่เท่ากัน

15) การดูดซึมน้ำ เป็นการทำให้กระจกเง้าอึดตัวด้วยน้ำแล้วชั่งในน้ำเพื่อคำนวณหาสมบัติต่างๆ โดยใช้ความสัมพันธ์ของมวลแห้ง มวลเมื่ออึดตัวและมวลที่ชั่งในน้ำ การทำให้อึดตัวด้วยน้ำมีด้วยกัน 2 วิธี คือ วิธีการต้มและวิธีการแช่น้ำภายใต้สุญญากาศ การต้มทำให้อึดตัวได้ง่าย ส่วนวิธีแช่น้ำภายใต้สุญญากาศทำให้น้ำซึมเข้าไปในรูพรุนเปิดเกือบทั้งหมด [xx]

16). ความทนสารเคมี เป็นการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของกระจกเง้าที่ทดสอบต่อสารเคมีที่นำมาทำการทดสอบในระยะเวลาที่กำหนด [yy]

17). ความต้านทานแรงกระแทก เป็นการตรวจสอบความต้านทานแรงกระแทกของกระจกเง้า โดยการวัดค่าสัมประสิทธิ์การคืนสภาพ [zz]

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำตะกอนและวัสดุเหลือใช้ในการผลิตกระเบื้อง

มีนักวิชาการและนักวิจัยจำนวนมากไม่น้อยที่ทำการศึกษาค้นคว้าและพัฒนากระเบื้องที่มีส่วนผสมของตะกอนและวัสดุเหลือใช้ อาทิเช่น

1. Cho, Rea Ung: การเตรียมเนื้อกระเบื้องจากเศษเหลือทิ้งของเซรามิก เศษกระเบื้อง และปูนพลาสเตอร์ และตะกอนที่แห้งแล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้กระบวนการขึ้นรูปแบบอัดเคลือบเงาและการเผา [xx] ได้กล่าวไว้ว่าการใช้ประโยชน์จากตะกอนเหลือทิ้งของอุตสาหกรรมเพื่อผลิตกระเบื้องเศษเหลือทิ้งของภาชนะเซรามิก เศษกระเบื้อง เศษปูนพลาสเตอร์ ตะกอนของน้ำทิ้งที่เป็นกรด ตะกอนที่ได้จากการผลิตโซดาแอช ตะกอนน้ำทิ้งจากชุมชน ตะกอนอะลูมิเนียม ผงเหล็กและเหล็กกล้าที่ผ่านการบดละเอียด จากการทดลองส่วนผสมของของตะกอนพบว่า ตะกอนเศษเหลือทิ้งของภาชนะเซรามิกสามารถผสมในวัตถุดิบได้ 13-17% เศษกระเบื้องสามารถผสมในวัตถุดิบได้ 13-17% เศษปูนพลาสเตอร์สามารถผสมในวัตถุดิบได้ 4-6% ตะกอนของน้ำทิ้งที่เป็นกรดสามารถผสมในวัตถุดิบได้ 9-11% ตะกอนที่ได้จากการผลิตโซดาแอชสามารถผสมในวัตถุดิบได้ 9-11% ตะกอนน้ำทิ้งจากชุมชนสามารถผสมในวัตถุดิบได้ 18-22% ตะกอนอะลูมิเนียมสามารถผสมในวัตถุดิบได้ 9-11% ผงเหล็กและเหล็กกล้าที่ผ่านการบดละเอียดสามารถผสมในวัตถุดิบได้ 9-11% โดยส่วนผสมดังกล่าวมีการไล่ความชื้นออกก่อนที่จะทำให้แห้งด้วยความร้อนและขึ้นรูปแบบอัดกับแผ่นโลหะจากนั้นนำมาเคลือบเงาและเผาที่อุณหภูมิ 1200-1500 องศาเซลเซียส

2. L.Catarino, J.Sousa, I.M.Martins, M.T.Vieira, M.M.Oliveira: **ผลิตภัณฑ์เซรามิกจากเศษหิน** [xx] ได้กล่าวไว้ว่า เศษที่เกิดจากการใช้เครื่องจักรในกระบวนการตัดหินชนวนนำมาใช้ในกระบวนการขึ้นรูปและเผาในอุตสาหกรรมเซรามิก เช่น กระเบื้องปูพื้นและกระเบื้องผนังหลังคา โดยการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่าความหนาแน่นจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1150-1170 ° C และจากนั้นความหนาแน่นจะเริ่มลดลง เนื่องจากขนาดของอนุภาควัตถุดิบและการใช้เศษผงหินในปริมาณที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปเป็นตัวแปรที่สำคัญและเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการใช้ของเสียด้วยเหตุผลทางเศรษฐกิจและกระเบื้องที่ได้จากการทดลองมีความเหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตกระเบื้องปูพื้น

3. P.Torres, R.S.Manjate, S.Quaresma, H.R.Fernandes, J.M.F.Ferreira :**การพัฒนาองค์ประกอบพื้นฐานของกระเบื้องเซรามิกจากตะกอนควอตซ์และหินแกรนิต** [xx] จากการศึกษาจากตะกอนที่ได้จากอุตสาหกรรมตัดและขัดหินธรรมชาติ (หินแกรนิตและควอตซ์) พบว่ามีลักษณะการกระจายตัว ขนาดอนุภาคและองค์ประกอบทางเคมี ความร้อนและศักยภาพในการเป็นส่วนประกอบหลักในกระเบื้องจากการประเมินผล มีเป้าหมายในการออกแบบสูตรให้มีคุณสมบัติที่ดีกว่า การดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่าและกำลังดัดที่สูงขึ้น เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกระเบื้องโดยการอัดรีด ลักษณะการดูดซึมน้ำ 8-9% และค่ากำลังดัด 17-18 MPa โดยเผาที่อุณหภูมิ 1100 ° C, 1125 ° C, 1150 ° C และ 1200 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าทุกสูตรที่มีการปรับปรุงมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นจากการรวมตัวกันของตะกอนหินแกรนิต มีแรงดัดมีค่ามากขึ้น การดูดซึมน้ำลดลงอ้างอิงตามผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน ISO 13006

### บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองได้แก่ตะกอนดินที่ได้จากกระบวนการผลิตกระเบื้องเซรามิก เพื่อต้องการศึกษาการใช้ประโยชน์ของเสียจากอุตสาหกรรมเซรามิกและลดการเกิดมลภาวะที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยการใช้ตะกอนดินเซรามิกทดแทนดินดำในกระบวนการผลิตกระเบื้องปิสกิต เนื่องจากผลการวิเคราะห์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบด้วยเครื่อง DHF82 Multi-Element Rapid Analysis Instrument ตะกอนดินเซรามิกและดินดำมีปริมาณสารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์สารประกอบอะลูมินาออกไซด์ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แสดงในตารางที่ 3.1 ในการทดสอบสมบัติของกระเบื้องปิสกิตในส่วนของการหดตัวเชิงปริมาตรของกระเบื้อง การหดตัวเชิงเส้นของกระเบื้อง ความสอบของกระเบื้อง การดูดซึมน้ำของกระเบื้อง ทดสอบความทนสารเคมี ความทนการร้าว ความต้านทานแรงกระแทก อ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องบุผนังภายใน มอก.613-2529 หาปริมาณตะกอนดินที่เหมาะสมในกระเบื้องปิสกิตสำหรับการผลิตกระเบื้องบุผนังภายใน

ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย

วัตถุดิบ	ปริมาณสารประกอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
ทัลค์	58-62	0.04	0.15-3	25-27	3-5	-	0.16	-
บอลเคลย์	66-68	20-22	1.3-1.6	0.2-0.4	0.1-0.3	0.1-0.4	2-2.5	0.5-0.7
ตะกอนดิน	67.70	16.61	0.56	2.87	1.65	-	-	0.22

#### 3.1.1 การเตรียมการทดลอง

ในการเตรียมการทดลองการใช้ตะกอนดินจากกระบวนการผลิตกระเบื้องเซรามิกโดยใช้ตะกอนดินเซรามิกทดแทนดินดำในกระบวนการผลิตกระเบื้องปิสกิต มีขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดลองดังต่อไปนี้

1). เก็บตัวอย่างตะกอนดินเซรามิกจากกระบวนการผลิตกระเบื้องเซรามิก โดยในงานวิจัยทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินในช่วงเดือน มีนาคม ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2554



รูปที่ 3.1 ตะกอนดินเซรามิกจากกระบวนการผลิตกระเบื้องเซรามิก

2). นำตะกอนดินเซรามิกที่เก็บตัวอย่างมาทำการอบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการอบตะกอนดินเซรามิกด้วยเครื่องอบความชื้นของบริษัท ไท่หยางอุตสาหกรรม จำกัด โดยทำการอบที่อุณหภูมิ 150-160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เพื่อไล่ความชื้นในตะกอนดินเซรามิกที่เก็บตัวอย่าง



รูปที่ 3.2 ตะกอนดินเซรามิกที่ผ่านการอบความชื้น

3). นำวัสดุดิบในการทดลองมาทำการอบแบบเดียวกันกับตะกอนดินเซรามิก งานวิจัยนี้จะใช้แทลค์และบอลเคลย์เป็นส่วนผสมในการทำการวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.4



รูปที่ 3.3 ฟิล์มที่ผ่านการอบความชื้น



รูปที่ 3.4 บอลเคลย์ที่ผ่านการอบความชื้น

4). นำวัตถุดิบมาทำการออกแบบการทดลอง โดยงานวิจัยใช้ส่วนผสมฟิล์มร้อยละ 60บอลเคลย์ ร้อยละ 40 [12] แปรอัตราส่วนตะกอนดินเซรามิกทดแทนบอลเคลย์ในการผลิตกระเบื้องปูผนังและได้ทำการออกแบบการทดลองดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การออกแบบการทดลองของส่วนผสมในงานวิจัย

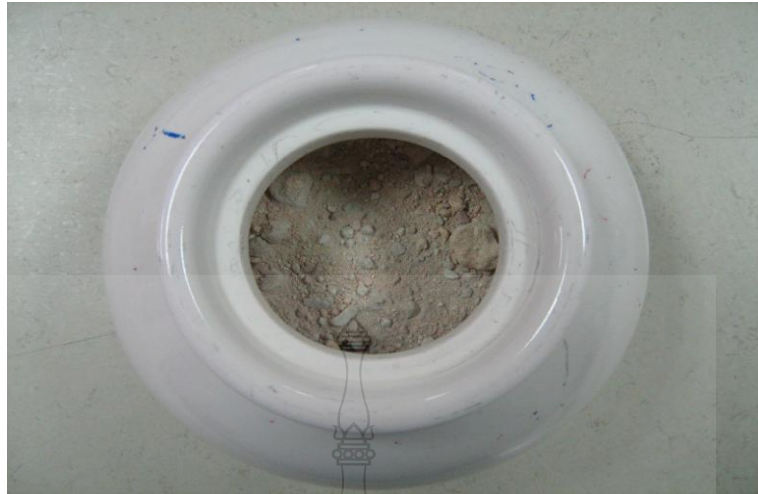
สูตรการทดลอง	วัตถุดิบ (%)		
	ทัลค์	บอลเคลย์	ตะกอนดินเซรามิก
สูตรการทดลองที่ 1	60	40	0
สูตรการทดลองที่ 2	60	30	10
สูตรการทดลองที่ 3	60	20	20
สูตรการทดลองที่ 4	60	10	30
สูตรการทดลองที่ 5	60	0	40

5). วัตถุดิบในการวิจัยนำมาทำการชั่งด้วยเครื่องชั่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BS2202S ตามสูตรการทดลองในตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของทัลค์ร้อยละ 60 บอลเคลย์ร้อยละ 40 [12] จากนั้นทำการนำตะกอนดินเซรามิกมาทดแทนบอลเคลย์ อัตราส่วนบอลเคลย์ต่อตะกอนดินเซรามิกที่ 40:0, 30:10 20:20, 10:30 และ 0:40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วัตถุดิบชั่งด้วยเครื่องชั่งตามสูตรการทดลอง

6). นำวัตถุดิบที่ทำการชั่งตามสูตรการทดลองในตารางที่ 3.2 และเติมสารช่วยการกระจาย ลอยตัวในปริมาณที่เหมาะสม จากนั้นนำวัตถุดิบทั้งหมดใส่ลงในหม้ออบเซรามิกโดยภายในหม้ออบเซรามิกได้มีการเติมลูกบดเซรามิกเพื่อช่วยในการบดวัตถุดิบ เติมน้ำสะอาดในปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักวัตถุดิบทั้งหมด แสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 หม้ออบเซรามิกที่ใช้ในงานวิจัย

7). นำหม้ออบเซรามิกใส่ลงในเครื่องบดป่น ซึ่งงานวิจัยใช้เครื่องบดป่นของบริษัทไท่หยางอุตสาหกรรม จำกัด โดยทำการบดป่นเป็นเวลา 10 นาทีเพื่อให้ส่วนผสมของวัตถุดิบเข้ากันเป็นน้ำสลิป แสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 น้ำสลิปที่ได้หลังจากบดป่น

8). นำน้ำสลิปมาทำการกรองด้วยตะแกรงเพื่อกรองสิ่งที่ไม่ต้องการออก นำน้ำสลิปที่ได้มาทำการตรวจสอบความหนาแน่นด้วยถ้วยปริมาตรทรงกลมขนาด 10 ลบ.มม. ทำการชั่งด้วยเครื่องชั่งยี่ห้อ Sartorius รุ่นBS2202S ทำการตรวจสอบการไหลตัวของน้ำดินด้วยถ้วยไทมมอนด์ No.50 ทำการจับเวลาเพื่อหาค่าการไหลตัวของน้ำสลิปด้วยนาฬิกาจับเวลาอิเล็กทรอนิกส์ แสดงในรูปที่ 3.9



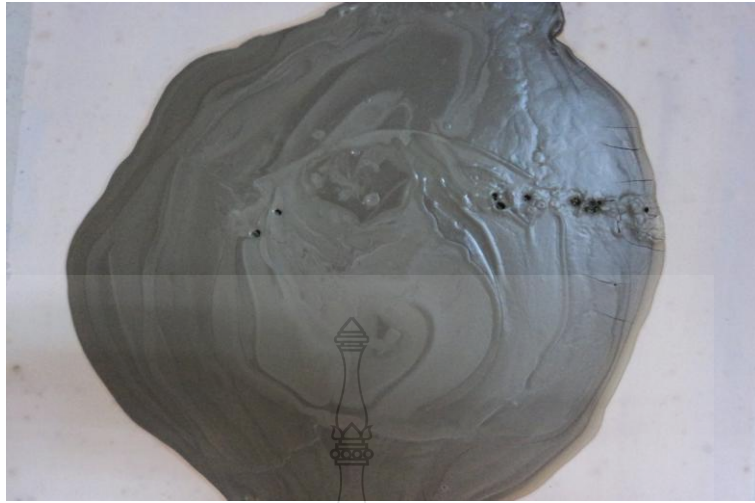
รูปที่ 3.8 การหาค่าความหนาแน่นของน้ำสลิป



รูปที่ 3.9 การหาค่าการไหลตัวของน้ำสลิป

9). นำน้ำสลิปเทใส่ภาชนะและทิ้งไว้ให้แห้งในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วันเพื่อให้ น้ำสลิปมีการ แข็งตัวและสามารถนำเข้าอบได้ แสดงในรูปที่ 3.10





รูปที่ 3.10 ลักษณะของน้ำสลิปที่เกิดการแข็งตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน

10). นำน้ำสลิปที่เริ่มแข็งตัวนำเข้าอบ โดยในงานวิจัยใช้เครื่องอบไฟฟ้าของบริษัท ไทหยางอุตสาหกรรม จำกัด ทำการอบที่อุณหภูมิ 150-160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที เพื่อให้น้ำสลิปแห้งเหมาะสำหรับนำไปปั่นเป็นผงดิน แสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 น้ำสลิปที่ผ่านการอบ

11). นำน้ำสลิปที่แห้งหลังจากการอบใส่ลงในหม้อบดพลาสติก โดยภายในหม้อบดได้มีการเติมลูกบดเซรามิกเพื่อช่วยในการบดวัตถุดิบให้เป็นผงดิน งานวิจัยใช้เครื่องบดปั่นของบริษัท ไทหยางอุตสาหกรรม จำกัด โดยใช้เวลาในการบดปั่นเป็นเวลา 5 นาที แสดงในรูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 ลักษณะก่อนการบดป่น



รูปที่ 3.13 ลักษณะผงดินหลังการบดป่น

12). นำผงดินที่ได้มาทำการชั่งน้ำหนัก หาปริมาณที่เหมาะสมในการควบคุมสเปรย์น้ำเพื่อควบคุมความชื้นของผงดินโดยทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BS2202S จากนั้นนำผงดินที่ได้หลังจากการควบคุมความชื้นนำมาร้อนผ่านตะแกรง แสดงในรูปที่ 3.14 และรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.14 การชั่งน้ำหนักหาปริมาณการควบคุมควบคุมความชื้นของผงดิน



รูปที่ 3.15 ผงดินที่นำมาร่อนผ่านตะแกรง

13). นำผงดินที่ร่อนผ่านตะแกรงมาทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก งานวิจัยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิก ยี่ห้อ NANNETTI FAENZA โดยใช้แรงดันในการขึ้นรูปที่ 300 บาร์ [12] ทำการขึ้นรูปกระเบื้องเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 50 มม. x 100 มม. x 10 มม. จากนั้นนำกระเบื้องที่ทำการขึ้นรูปมาทำการอบด้วยเตาอบไฟฟ้า อบที่อุณหภูมิ 150-160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที แสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การขึ้นรูปกระเบื้องด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิค

14). นำกระเบื้องที่ได้หลังจากการอบ นำไปวางเรียงบนแผ่นฉนวนความร้อนในเตาไฟฟ้าโดยใช้เตาเผาไฟฟ้า ยี่ห้อ PIROMETROL เเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส โดยเผาแซ่ไฟเป็นเวลา 60 นาที แสดงในรูปที่ 3.17 กระเบื้องปิสกิตที่มีส่วนผสมของตะกอนดินเซรามิคแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 เตาเผาไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 3.18 กระเบื้องปิสกิตที่ได้หลังจากการเผา

15). นำกระเบื้องปิสกิตมาทำการเคลือบผิวหน้ากระเบื้อง งานวิจัยนี้ใช้เอนโกบ (Engobe) และฟริต (Frit) ในการเคลือบผิวหน้ากระเบื้อง แสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การเคลือบผิวกระเบื้องปิสกิต

16). นำกระเบื้องที่ผ่านการเคลือบผิวหน้ามาทำการอบอีกครั้ง ด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 150-160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที

17). นำกระเบื้องที่ได้หลังจากการอบ นำไปวางเรียงบนแผ่นฉนวนความร้อนในเตาไฟฟ้า เเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส โดยเผาแซ่ไฟเป็นเวลา 60 นาที กระเบื้องบุผนังที่ทำการทดลองแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 กระเบื้องปูผนังที่มีส่วนผสมของตะกอนดินเซรามิก

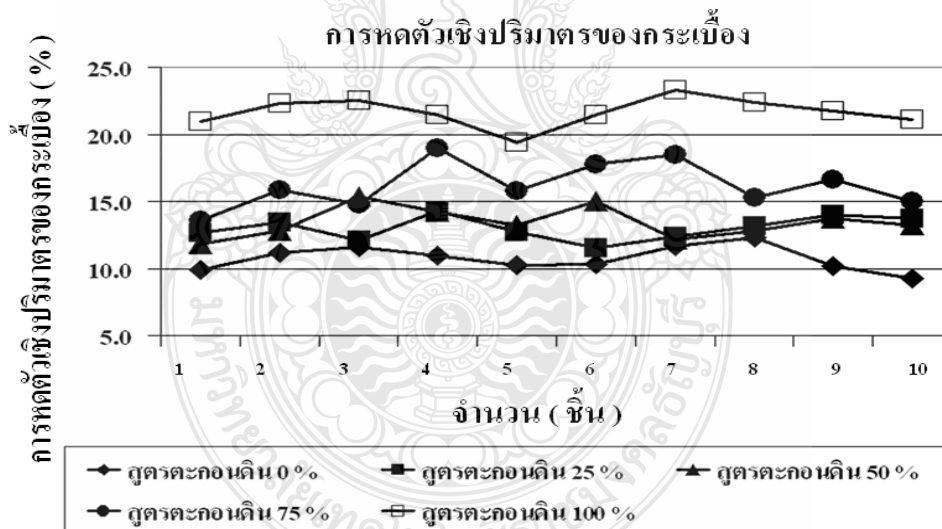


## บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

ผลการทดสอบการใช้ตะกอนดินเซรามิกเป็นส่วนผสมในกระเบื้องบิสกิต สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

### 4.1 การทดสอบการหดตัวเชิงปริมาตรของกระเบื้อง

กระเบื้องที่มีส่วนผสมของตะกอนดินเซรามิก ดังรูปที่ 4.1 มีค่าอยู่ในช่วง 10.76 - 23.49 % การเพิ่มขึ้นของตะกอนดินเซรามิกทำให้การหดตัวเชิงปริมาตรของกระเบื้องมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ตามการเพิ่มขึ้นของตะกอนดินเซรามิก เนื่องจากตะกอนดินเซรามิกมีความละเอียด ทำให้ปริมาตรรวมช่องว่างภายในเนื้อกระเบื้องเกิดการเก็บสะสมความชื้นไว้ในปริมาณมาก [18] และเมื่อได้รับความร้อนจากการเผากระเบื้องทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นออกจากส่วนผสมในวัตถุดิบ [16] ทำให้การหดตัวเชิงปริมาตรของกระเบื้องมีค่าสูง ผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของดनुพล ตันนโยภาส เรื่อง ผลกระทบการเติมผงหินพัมมิชที่มีต่อสมบัติและโครงสร้างจุลภาคของเนื้อดินสทั้งพระสำหรับการผลิตกระเบื้องเนื่องจากการเพิ่มปริมาณของหินพัมมิชในเนื้อดินทำให้การหดตัวเชิงปริมาตรของกระเบื้องเพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อการอบผนึกของกระเบื้อง [19]



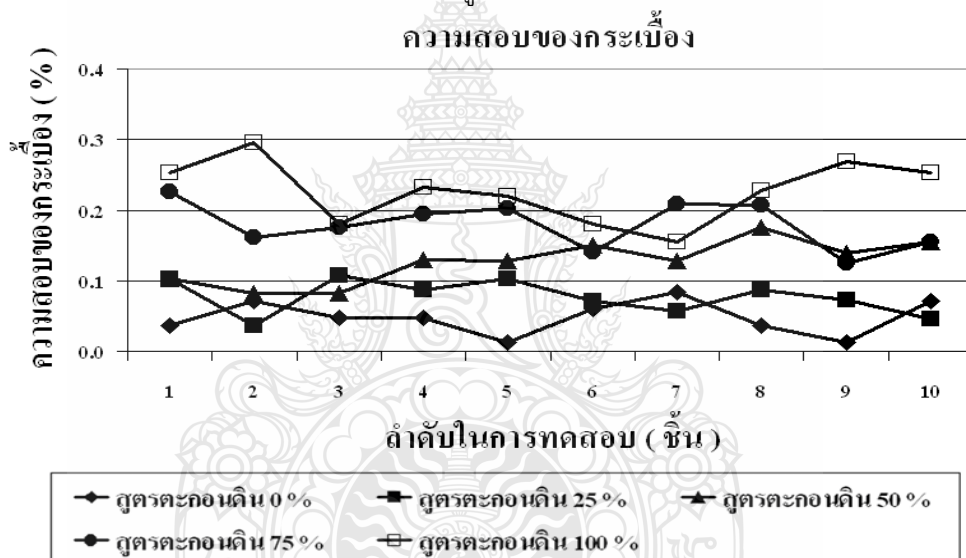
รูปที่ 4.1 การหดตัวเชิงปริมาตรของกระเบื้อง

#### 4.2 การทดสอบความสอของกระเบื้อง

ความสอของกระเบื้องเป็นการวัดด้านตรงข้ามของกระเบื้องที่สอเข้าหากันโดยทำการวัดด้านทั้ง 4 และคำนวณหาความสอจากสูตร

$$\frac{\text{ผลต่างความยาวด้านทั้งสองที่อยู่ตรงข้าม}}{\text{ความยาวเฉลี่ยของด้านทั้งสองที่วัด}} \times 100 \quad (1)$$

งานวิจัยใช้ดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ยี่ห้อ Mitutodo ในการวัด ผลการทดสอบความสอของกระเบื้องพบว่าความสอของกระเบื้องมีความสอเพียงเล็กน้อยอยู่ใน ช่วง 0.01-0.29% ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องบุผนังภายใน มอก.613-2529 ที่ระบุค่าความสอของกระเบื้องต้องไม่เกินร้อยละ 0.5% [20] แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสอของกระเบื้อง

#### 4.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำของกระเบื้อง

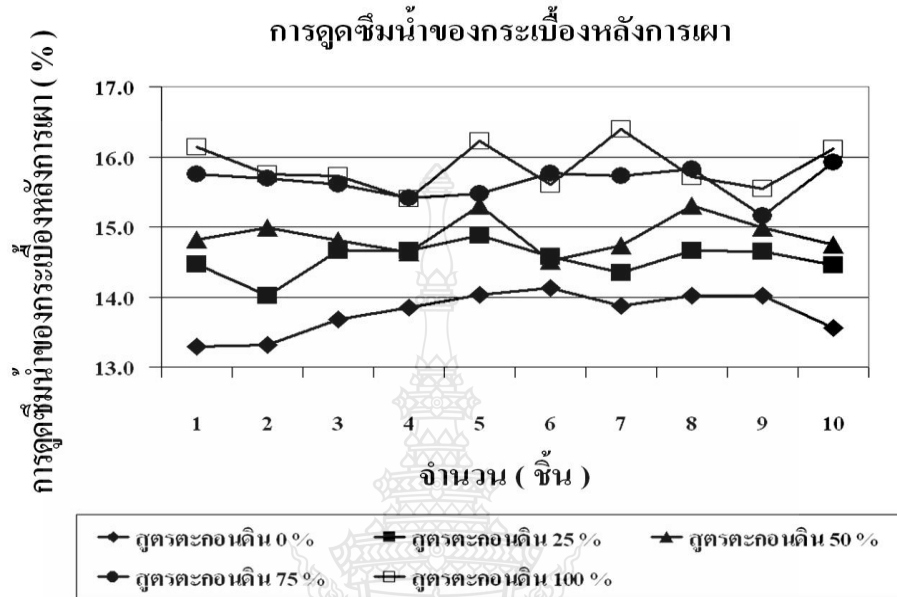
การทดสอบการดูดซึมน้ำของกระเบื้อง กระเบื้องที่ทำการทดสอบชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องยี่ห้อ Sartorius รุ่น BS2202S และเครื่องหาค่าดูดซึมน้ำของ บริษัทไท่หยาง อุตสาหกรรมโดยใช้เวลาในการต้ม 90 นาที การดูดซึมน้ำของกระเบื้องสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{การดูดซึมน้ำ ร้อยละ} = [(Ww - Wd) / Wd] \times 10 \quad (2)$$

เมื่อ Ww คือน้ำหนักของกระเบื้องหลังแช่น้ำ และ Wd คือน้ำหนักของกระเบื้องแห้งกระเบื้องที่มีส่วนผสมของตะกอนดินเซรามิกมีค่าการดูดซึมน้ำของกระเบื้องอยู่ในช่วง 13.77 – 15.86 % แสดงในรูปที่ 4.3 การดูดซึมน้ำของกระเบื้องแปรผันตามปริมาณของตะกอนดินเซรามิกที่เติมลงไป เมื่อเติม

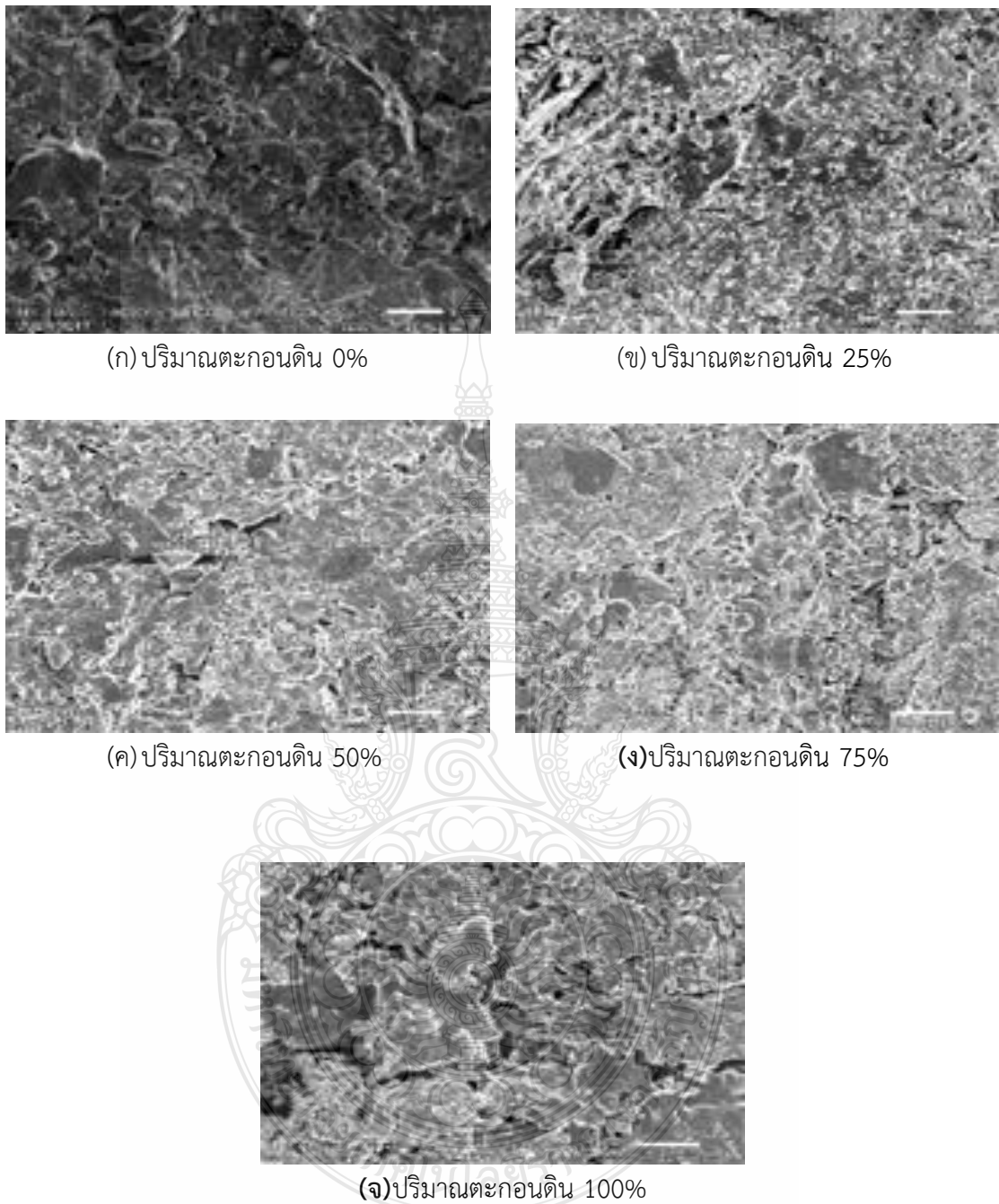


ตะกอนดินเซรามิกในปริมาณที่มากขึ้นทำให้การดูดซึมน้ำของกระเบื้องมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากตะกอนดินเซรามิกมีพื้นที่ความพรุนจำเพาะสูง จึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคขึ้นจึงเก็บสะสมน้ำได้มากกว่า



รูปที่ 4.3 การดูดซึมน้ำของกระเบื้อง

และจากการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6510 กำลังขยาย 1500 เท่า แสดงในรูปที่ 4.4 (ก) พบว่าขนาดของรูพรุนกระเบื้องมีขนาดใหญ่และเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณตะกอนดินเซรามิกที่เพิ่มขึ้น (ข - จ) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องบุผนังภายใน มอก.613-2529 ระบุไว้ว่าค่าการดูดซึมน้ำของกระเบื้องบุผนังไม่เกินร้อยละ 18 [20] อย่างไรก็ตามผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของกระเบื้องในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของตุนพล ตันนโยภาส เรื่องสมบัติของกระเบื้องเซรามิกที่ทำมาจากหินชนวนเติมเถ้าแกลบดำ เนื่องจากเนื้อกระเบื้องพิเศษหินชนวนผสมเถ้าแกลบดำ ปริมาณของเถ้าแกลบดำที่เติมลงไปทำให้ค่าดูดซึมน้ำมีค่ามากเพราะเถ้าแกลบดำมีค่าพื้นที่ความพรุนจำเพาะสูง เนื่องจากการอบผืนยังไม่สมบูรณ์เต็มที่ทำให้เกิดช่องว่างและรูพรุนเปิด [21]

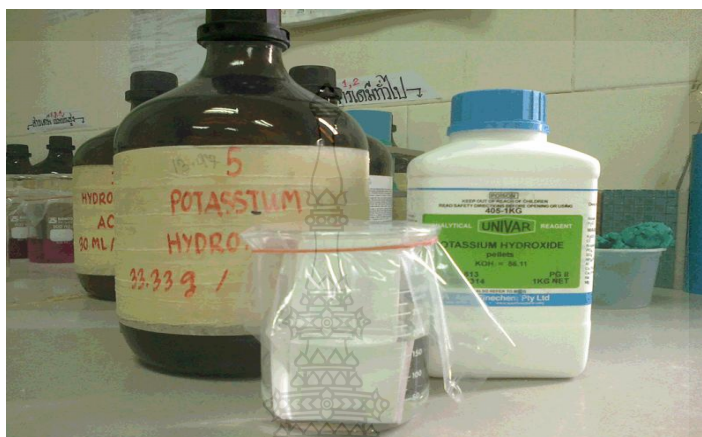


รูปที่ 4.4 โครงสร้างจุลภาคของเนื้อกระเบื้องที่มีส่วนผสมของตะกอนดินเซรามิก

#### 4.4 การทดสอบความทนกรดและความทนด่าง

ทดสอบความทนต่อสารเคมี ความทนกรดใช้กรดไฮโดรคลอริก ความทนด่างใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3 ผสมกับน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทดสอบกระเบื้องโดยการแช่กระเบื้องให้ 2 ใน 3 ของผิวเคลือบจมในสารละลายทั้งสองเป็นเวลา 7 วัน และควบคุมความเข้มข้นของสารละลายให้คงที่ตลอดเวลาทดสอบ แสดงในรูปที่ 4.5 เมื่อครบกำหนด

ตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงที่ผิวเคลือบโดยเปรียบเทียบกับผิวเคลือบที่ไม่ได้แช่ผลการทดสอบ กระเบื้องทดสอบไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสารเคมีไปจากเดิม แสดงในตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องบุผนังภายใน มอก.613-2529 [20] ที่ระบุว่า ต้องไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสารเคมี



รูปที่ 4.5 การทดสอบความทนกรดและต่างของกระเบื้อง

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการทดสอบความทนกรดและความทนต่างของกระเบื้อง

สูตรการทดลอง	สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ	
	ไฮโดรคลอริก	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
สูตรการทดลองที่ 1	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
สูตรการทดลองที่ 2	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
สูตรการทดลองที่ 3	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
สูตรการทดลองที่ 4	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
สูตรการทดลองที่ 5	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง

#### 4.5 การทดสอบความทนการรานของกระเบื้อง

การทดสอบนำกระเบื้องทดสอบใส่ตะแกรงวางไว้ในหม้อนึ่งอัด งานวิจัยนี้ใช้หม้อนึ่งอัดยี่ห้อ Gabbrielli จากนั้นเติมน้ำในหม้อนึ่งอัดและปิดฝาให้แน่น ในระหว่างการต้มจะเปิดท่อเพื่อให้ไอน้ำได้ อากาศภายในจนหมดทำการปิดฝาท่อปล่อยต้มให้น้ำเดือดจนมีความดันประมาณ 100 กิโลปาสคาล รักษาระดับแรงดันไว้ประมาณ 60 นาที หลังจากนั้นหยุดเครื่องแล้วระบายความดันออกข้างๆจนไม่มีความดันและปล่อยกระเบื้องให้เย็น นำกระเบื้องออกมาทำการทดสอบการรานของกระเบื้องโดยหยด สารละลายเมทิลีนบลูร้อยละ 1 โดยน้ำหนักบนผิวเคลือบและทำการเช็ดสารละลายเมทิลีนบลูออก ทดสอบการรานของกระเบื้อง แสดงในรูปที่ 4.6 ผลการทดสอบกระเบื้องไม่พบการรานของกระเบื้อง

ซึ่งผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องปูผนังภายใน มอก.613-2529 [20] ระบุว่าผิวเคลือบของกระเบื้องต้องไม่พบการราน แสดงในตารางที่ 4.2



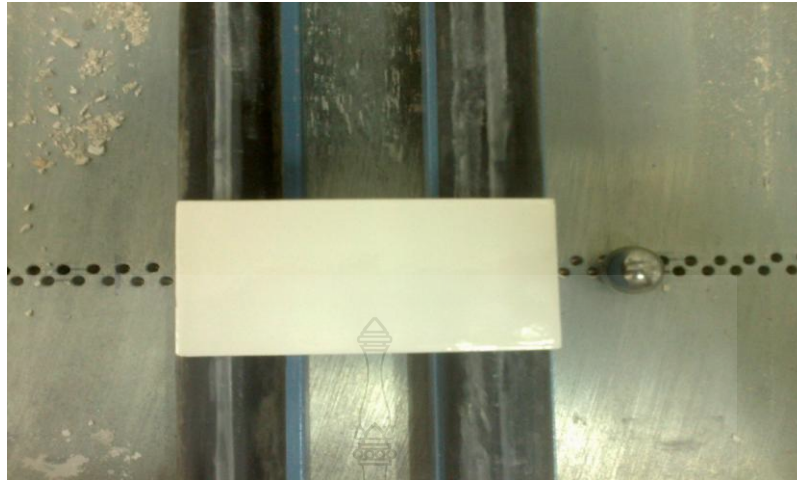
รูปที่ 4.6 การทดสอบความทนการรานของกระเบื้อง

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงการทดสอบความทนการรานของกระเบื้อง

สูตรการทดลอง	สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ
สูตรการทดลองที่ 1	ไม่เปลี่ยนแปลง
สูตรการทดลองที่ 2	ไม่เปลี่ยนแปลง
สูตรการทดลองที่ 3	ไม่เปลี่ยนแปลง
สูตรการทดลองที่ 4	ไม่เปลี่ยนแปลง
สูตรการทดลองที่ 5	ไม่เปลี่ยนแปลง

#### 4.6 การทดสอบความต้านทานแรงกระแทกของกระเบื้อง

การทดสอบนำกระเบื้องวางบนแท่นที่เตรียมไว้ โดยแท่นทั้ง 2 ขนานกันจากนั้นใช้ลูกเหล็กกลม น้ำหนัก 28.35 กรัมปล่อยจากระยะความสูงที่ 660 มิลลิเมตร [20] ให้ลูกเหล็กตกลงตรงกลางแผ่นกระเบื้องทดสอบ แสดงในรูปที่ 4.7 ผลการทดสอบพบว่าไม่ปรากฏรอยแตกของผิวเคลือบ ซึ่งผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องปูผนังภายใน มอก.613-2529 [20] กระเบื้องจะต้องไม่มีสภาพเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม แสดงในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.7 การทดสอบความต้านทานแรงกระแทกของกระเบื้อง

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงการทดสอบความต้านทานแรงกระแทกของกระเบื้อง

สูตรการทดลอง	การทดสอบ
สูตรการทดลองที่ 1	ไม่ปรากฏรอยแตกร้าวบนผิวเคลือบ
สูตรการทดลองที่ 2	ไม่ปรากฏรอยแตกร้าวบนผิวเคลือบ
สูตรการทดลองที่ 3	ไม่ปรากฏรอยแตกร้าวบนผิวเคลือบ
สูตรการทดลองที่ 4	ไม่ปรากฏรอยแตกร้าวบนผิวเคลือบ
สูตรการทดลองที่ 5	ไม่ปรากฏรอยแตกร้าวบนผิวเคลือบ

## บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาการใช้ตะกอนดินเซรามิกเป็นส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องปิสกิตได้แนวทางสรุปดังต่อไปนี้

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ตะกอนดินเซรามิกมีความพรุนมาก เนื่องจากมีปริมาณสารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ในตะกอนดินเซรามิก ทำให้น้ำสลิบมีความหนืดสูงจึงต้องใช้น้ำในปริมาณที่มากขึ้นในการผสม

5.1.2 ปริมาณตะกอนดินเซรามิกจากงานวิจัยที่เติมไปในส่วนผสมมีปริมาณน้อยในการผลิตจริงที่ใช้ปริมาณตะกอนดินเซรามิกจำนวนมาก การควบคุมคุณภาพของกระเบื้องเป็นเรื่องที่มีความสำคัญ

5.1.3 กระเบื้องที่มีส่วนผสมของตะกอนดินเซรามิกในการทดสอบมีการหดตัวเชิงปริมาตรที่เพิ่มขึ้นตามอัตราการเพิ่มขึ้นของตะกอนดินเซรามิกในส่วนผสม เนื่องจากตะกอนดินเซรามิกมีความละเอียด ทำให้ปริมาตรรวมช่องว่างภายในเนื้อกระเบื้องเกิดการเก็บสะสมความชื้นไว้ในปริมาณมาก และเมื่อได้รับความร้อนจากการเผากระเบื้องทำให้เกิดการสูญเสียน้ำออกจากส่วนผสมในวัตถุดิบทำให้การหดตัวเชิงปริมาตรของกระเบื้องมีค่าสูง ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของตะกอนดินเซรามิกมีผลต่อการหดตัวของกระเบื้อง ซึ่งการหดตัวของกระเบื้องจะมีผลต่อคุณภาพของกระเบื้องในการนำไปใช้งาน

5.1.4 ความสอบของกระเบื้องมีความสอบ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องบุผนังภายใน มอก.613-2529

5.1.5 การดูดซึมน้ำของกระเบื้อง แปรผันตามปริมาณของตะกอนดินเซรามิกที่เติมลงไปในส่วนผสมวัตถุดิบของกระเบื้องปิสกิตเมื่อเติมตะกอนดินเซรามิกในปริมาณที่มากขึ้นทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของกระเบื้องหลังการเผามีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากเนื้อตะกอนดินเซรามิกมีความละเอียดจึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคและรูพรุนเปิดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าดูดซึมน้ำของกระเบื้องมีค่าสูง

5.1.6 ความทนต่อสารเคมี กรดและด่างของกระเบื้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องบุผนังภายใน มอก.613-2529

5.1.7 ความทนการร้าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องบุผนังภายใน มอก.613-2529

5.1.8 ความต้านทานแรงกระแทกไม่พบรอยแตกร้าวบนผิวเคลือบ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องบุผนังภายใน มอก.613-2529

5.1.9 ปริมาณของตะกอนดินเซรามิกที่เหมาะสมในการนำไปทดแทนบอลเคลย์ ในการผลิตกระเบื้องปิสกิตที่ใช้สำหรับกระเบื้องบุผนังอยู่ที่ไม่เกิน 25 % ของน้ำหนักที่ทดแทนบอลเคลย์ เนื่องจากการทดสอบสมบัติการหดตัวของกระเบื้องในเชิงปริมาตรของกระเบื้อง ความสอบของกระเบื้อง การดูดซึมน้ำของกระเบื้อง น้อยเหมาะสมในการใช้งานเนื่อง จากง่ายต่อการควบคุมคุณภาพของกระเบื้องในกระบวนการผลิต

## บรรณานุกรม

- [1] คงวุฒิ ยอดพยุง. การจัดการของเสียอุตสาหกรรมของโรงงานอุตสาหกรรมเคมีในนิคมอุตสาหกรรมบางปู กรณีศึกษา บริษัท แอ็กโกร ( ประเทศไทย ) จำกัด , สารนิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) , คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม , สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ , พ.ศ. 2551
- [2] เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ ชดชนก อัทธพงษ์ อลิสสา วิเชียรเจริญ และอัจฉราภรณ์ พรหมบุตร. การใช้ของเสียที่เป็นแก้วทดแทนแร่เฟลด์สปาร์ในการผลิตกระเบื้องเซรามิก. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย ปีที่ 20 ฉบับที่ 1 หน้า 39-47
- [3] A.P. Luz, S. Ribeiro , “Use of Glass Waste as a Raw Material in Porcelain Stoneware Tile Mixtures”. Ceramics International 33 (2007) 761–765
- [4] คชินท์ สายอินทวงศ์ , แนวทางการกำจัดของเสียในอุตสาหกรรมเซรามิก , วารสารเซรามิกส์ , พฤษภาคม – สิงหาคม 2549
- [5] ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548. ราชกิจจานุเบกษา. ฉบับกฤษฎีกา เล่มที่ 123 , ตอนพิเศษ 11 ง , 25 มกราคม 2548 , หน้า 14-19
- [6] พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535
- [7] รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการพัฒนาส่งเสริมการใช้ทรัพยากรแร่ และโลหะหมุนเวียนเพื่อการพัฒนาอย่างมีคุณภาพ , สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย , 23 มีนาคม 2552
- [8] รูปแบบมาตรฐานการผลิตเซรามิกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อสนับสนุนการส่งออกโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด , ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม , พิมพ์ครั้งที่ 1 : มีนาคม 2554
- [9] เอกบุตร อุตมพงษ์,การจำแนกประเภทและชนิดกากของเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อการจัดการอย่างเหมาะสม,ส่วนกำกับและตรวจสอบโครงการ,สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม
- [10] แนวการพัฒนากลไกการเรียกคืนซากผลิตภัณฑ์,วารสาร Engineering Today ปีที่ 5 ฉบับที่ 57 กันยายน 2550 หน้าที่ 65-70ชวลิต เชียงกูล. 2542 โลหะวิทยา สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น) กทม
- [11] แนวทางปฏิบัติตามหลักการ 3Rs และ Eco-design , จาก <http://eco-town.dpim.go.th/webdatas/articleFile 1297.pdf>
- [12] ไพจิตร อิงศิริวัฒน์ , หนังสือ เนื้อดินเซรามิก
- [13] รองศาสตราจารย์อายุวัฒน์ สว่างผล , วัตถุดิบที่ใช้แพร่หลายในงานเซรามิกส์
- [14] [www.thaiceramicsociety.com](http://www.thaiceramicsociety.com)
- [15] สุธรรม ศรีหล่มสัก และ เอกสิทธิ์ นิมิวิญญา , การเลือกเติม Deflocculants และ Focculants ในน้ำสลิป , ภาควิชาวิศวกรรมเซรามิก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

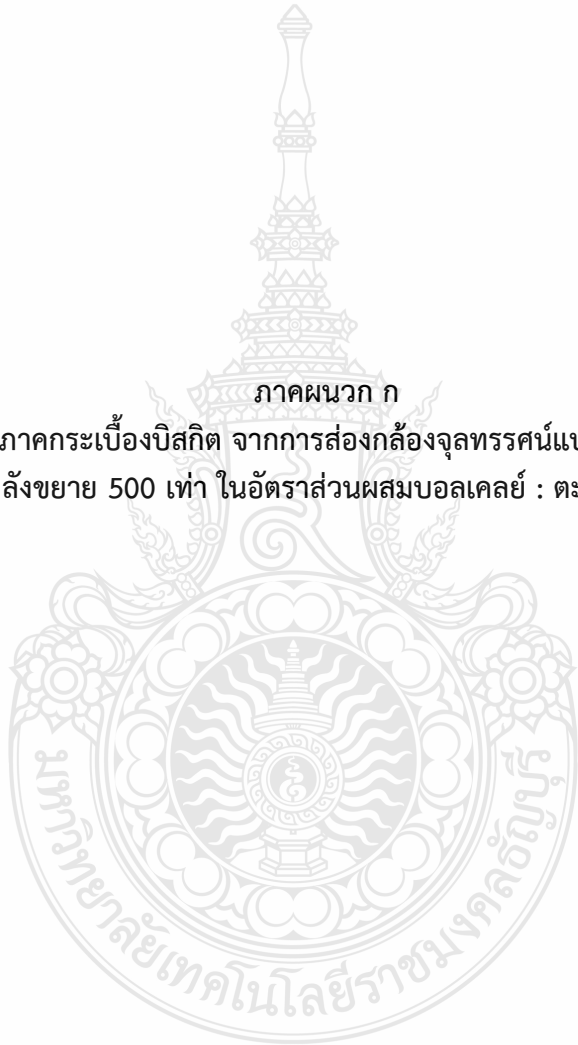
- [16] [www.mne.eng.psu.ac.th](http://www.mne.eng.psu.ac.th)
- [17] ไพจิตร อังศิริวัฒน์ , หนังสือ รวมสูตรเคลือบเซรามิกส์
- [18] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน
- [19] Soil Physics Properties. Dr.Suchada Sanusan . Soil Resources and Environment . Faculty of Agricultural Production . Maejo University
- [20] ดนุพล ตันนโยภาส ปาจารย์ เกิดกุล สุชาติ จันทรมณีย์. ผลกระทบของการเติมผงหินพัมมิชที่มีต่อสมบัติและโครงสร้างจุลภาคของเนื้อดินสที่งพระสำหรับการผลิตกระเบื้อง.การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ครั้งที่ 8. 22-23 เมษายน 2553

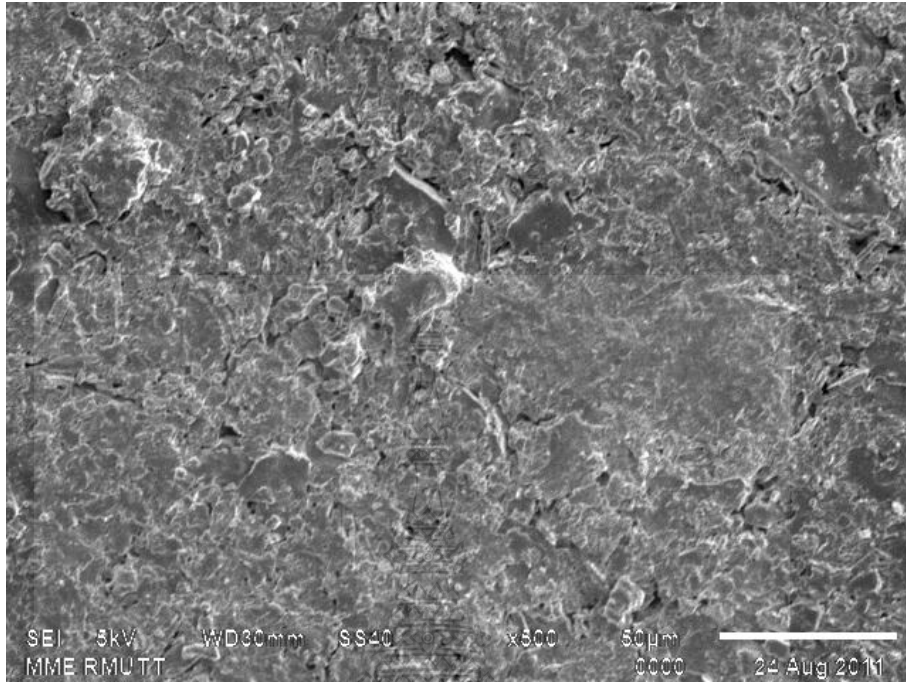




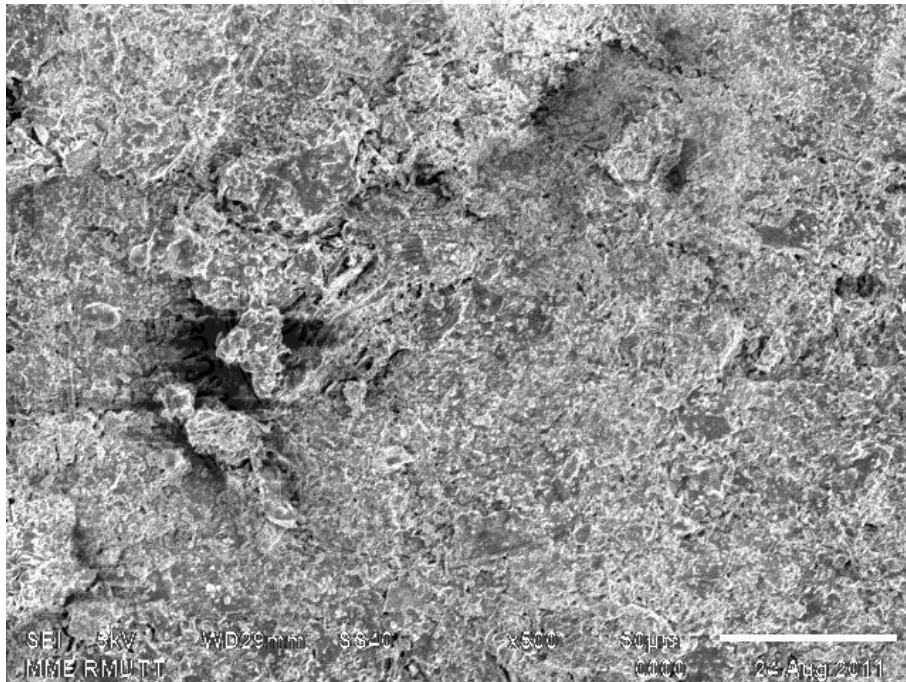
ภาคผนวก ก

โครงสร้างจุลภาคกระเบื้องปสิทิต จากการส่องกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)  
ที่อัตรากำลังขยาย 500 เท่า ในอัตราส่วนผสมบอเคลย์ : ตะกอนดินเซรามิก

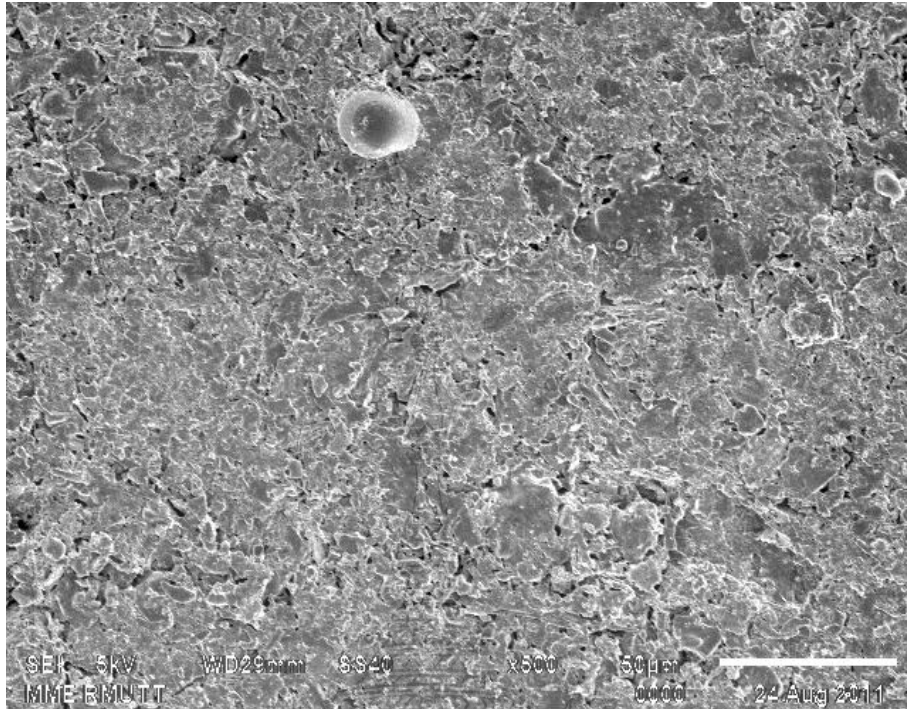




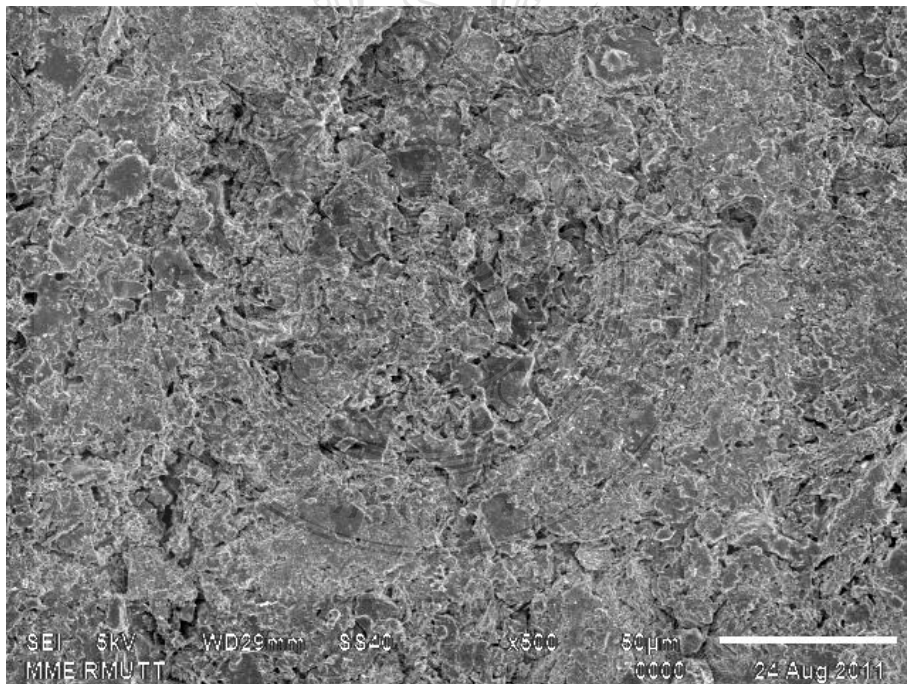
ก.1 บอลเคลย์ 100 % ต่อ ตะกอนดินเซรามิก 0 %



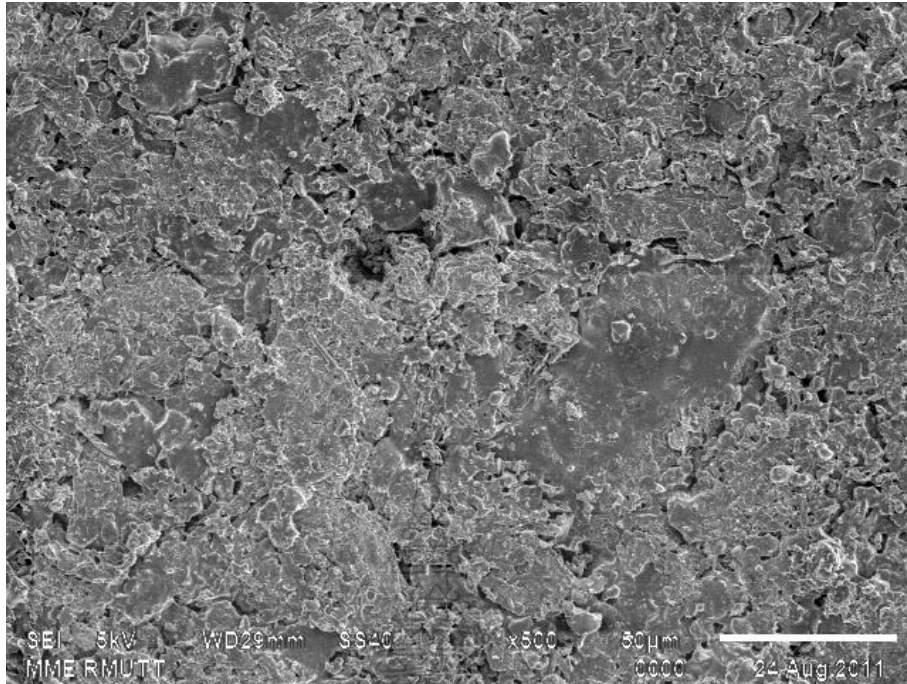
ก.2 บอลเคลย์ 75 % ต่อ ตะกอนดินเซรามิก 25 %



ก.3 บอลเคลย์ 50 % ต่อ ตะกอนดินเซรามิก 50 %




ก.4 บอลเคลย์ 25 % ต่อ ตะกอนดินเซรามิก 75 %

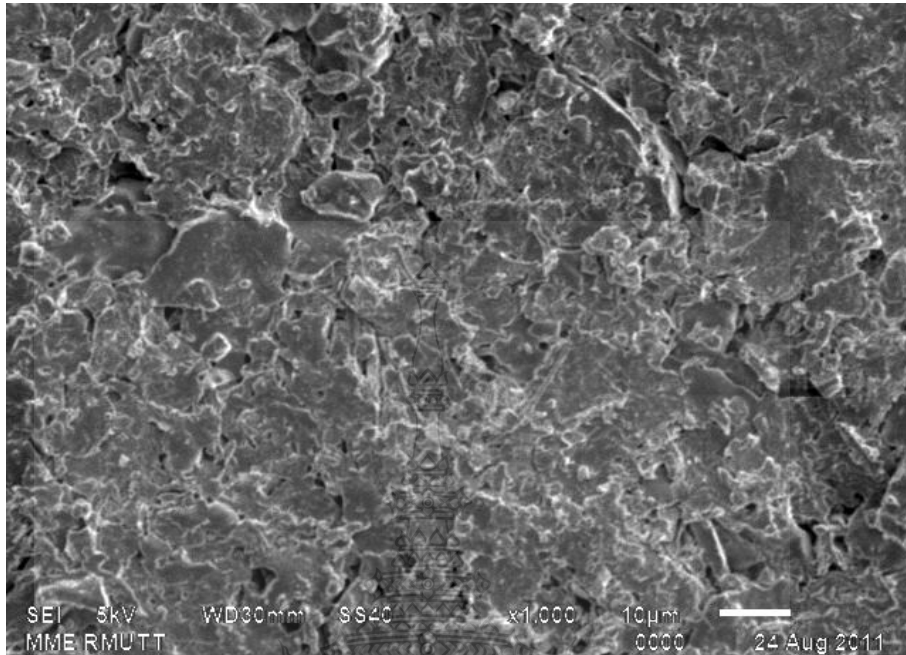


ก.5 บอลเคลือบ 0 % ต่อ ตะกอนดินเซรามิก 100 %

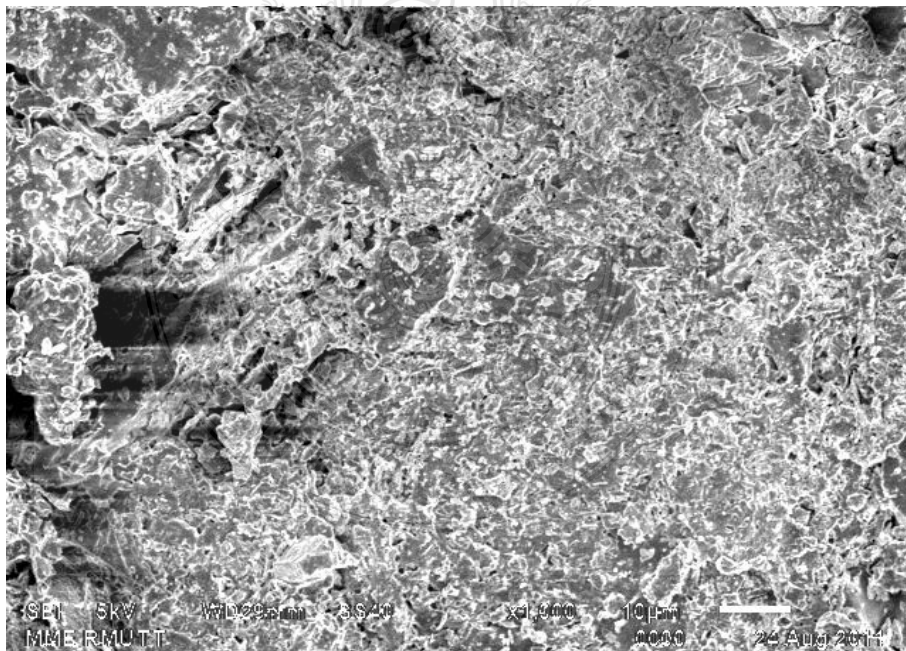




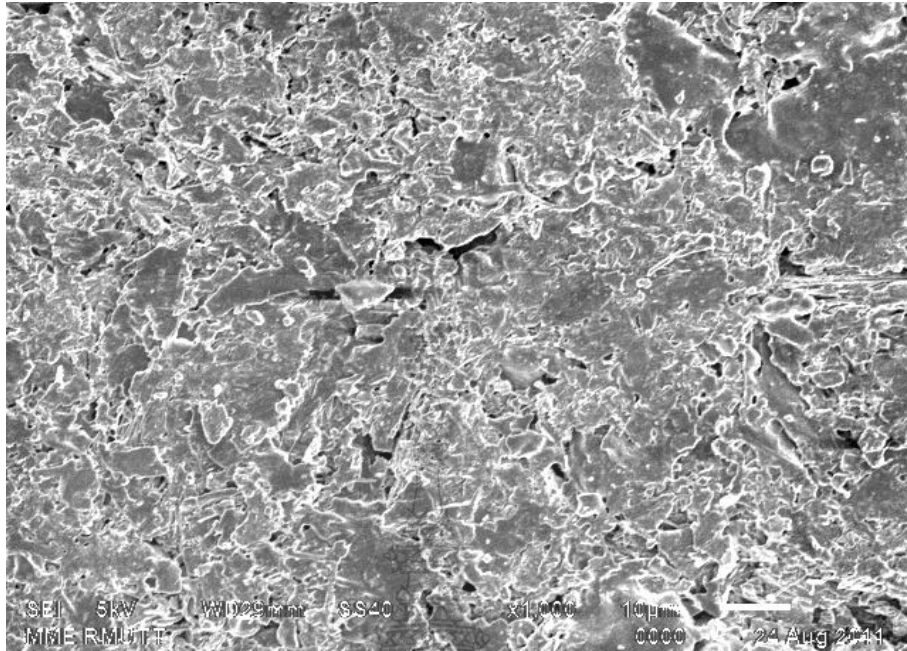
ภาคผนวก ข  
โครงสร้างจุลภาคกระเบื้องปัสกิต จากการส่องกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)  
ที่อัตรากำลังขยาย 1,000 เท่า ในอัตราส่วนผสมบอลเคลย์ : ตะกอนดินเซรามิค



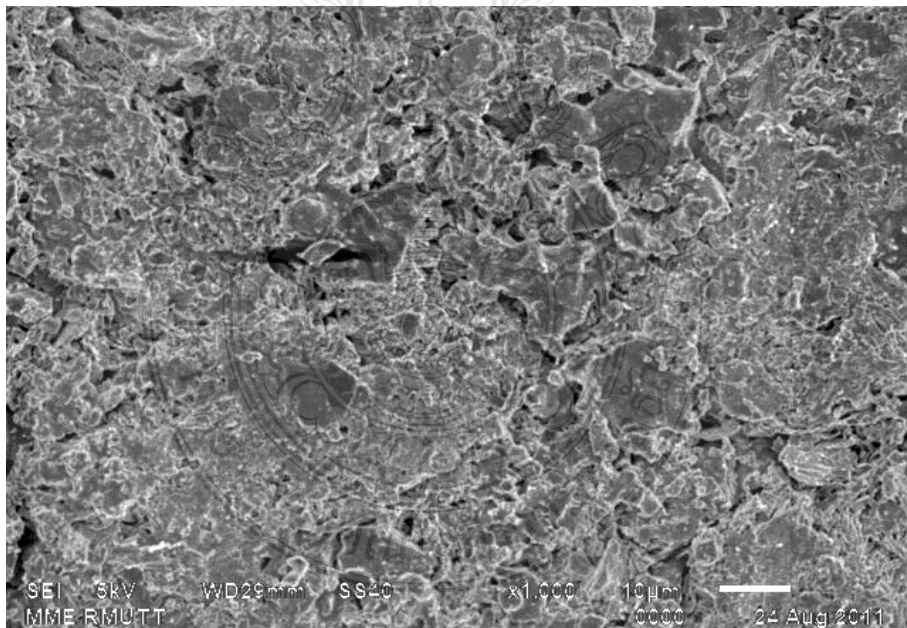
ข.1 บอลเคลย์ 100 % ต่อ ตะกอนดินเซรามิก 0 %



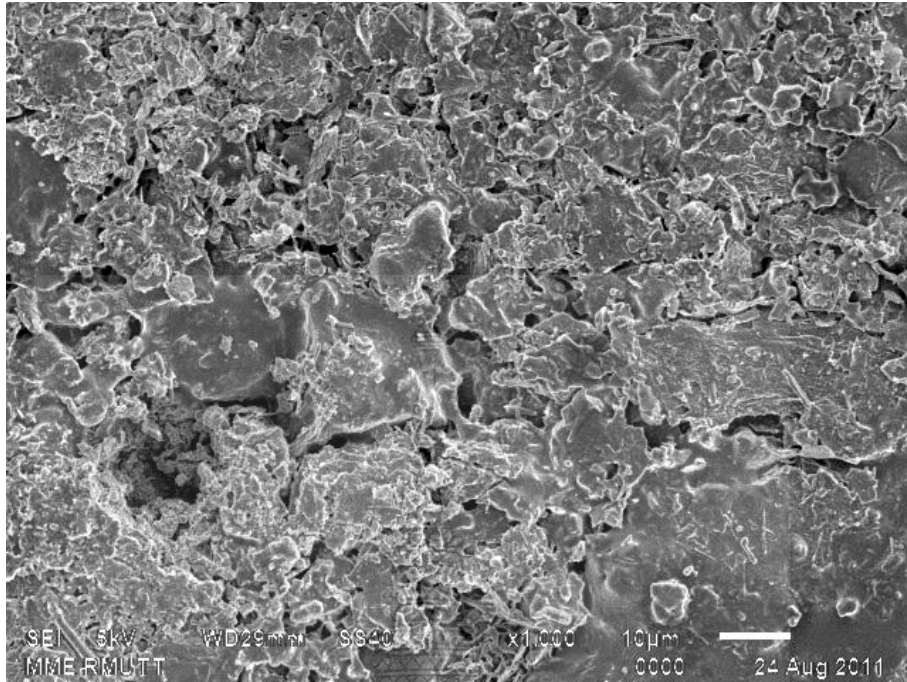
ข.2 บอลเคลย์ 75 % ต่อ ตะกอนดินเซรามิก 25 %



ข.3 บอลเคลย์ 50 % ต่อ ตะกอนดินเซรามิก 50 %




ข.4 บอลเคลย์ 25 % ต่อ ตะกอนดินเซรามิก 75 %



ข.5 บอลเคลือบ 0 % ต่อ ตะกอนดินเซรามิก 100 %

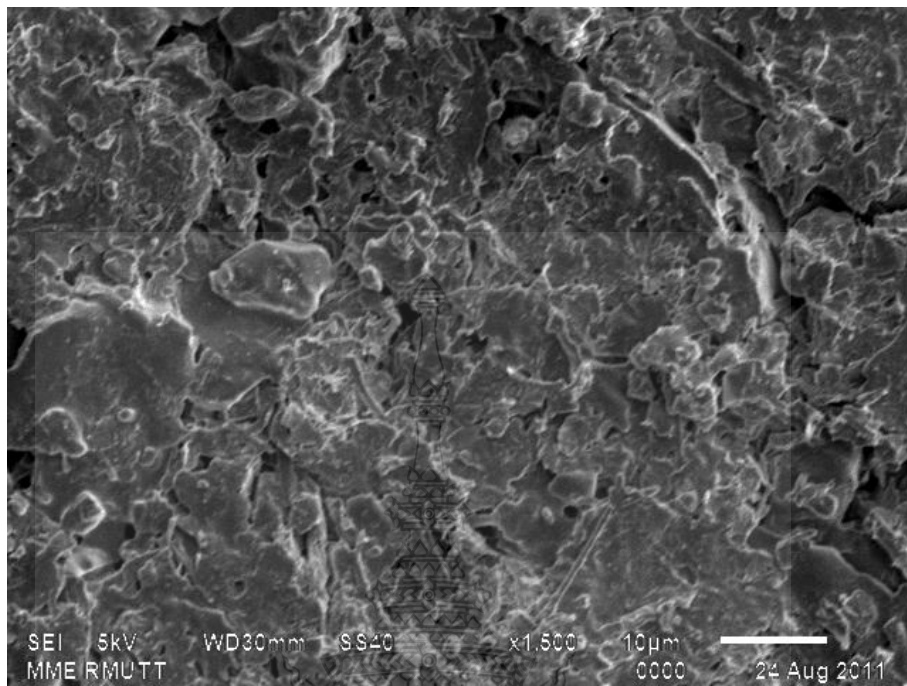




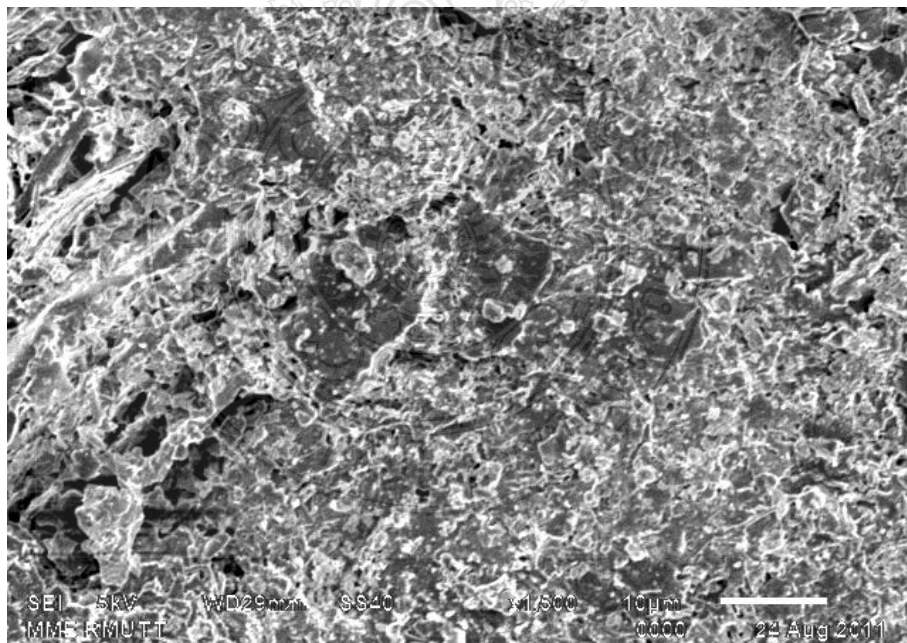


ภาคผนวก ค

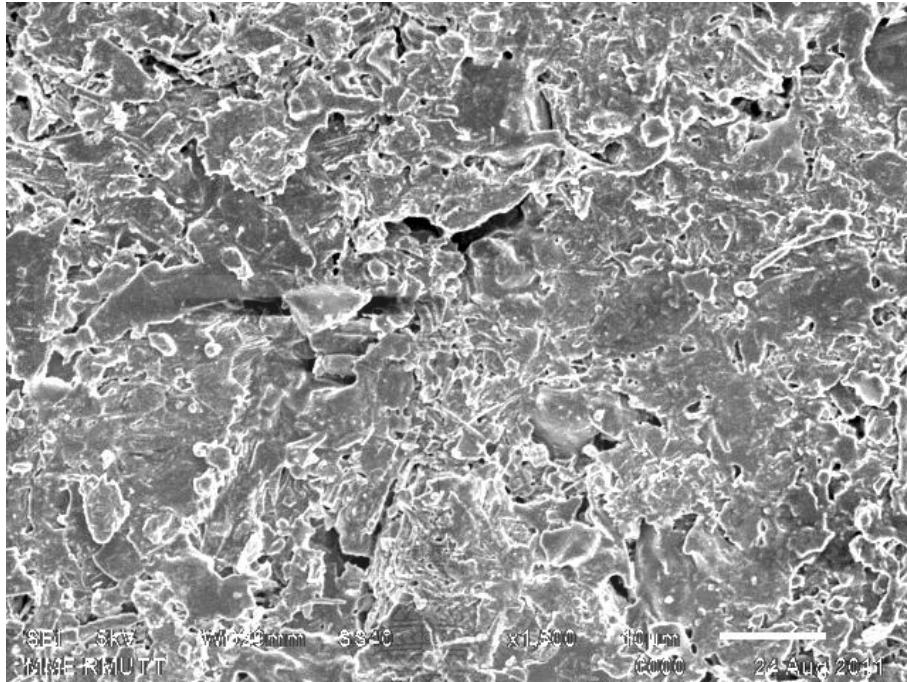
โครงสร้างจุลภาคกระเบื้องปิสกิต จากการส่องกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)  
ที่อัตรากำลังขยาย 1,500 เท่า ในอัตราส่วนผสมบอลเคลย์ : ตะกอนดินเซรามิก



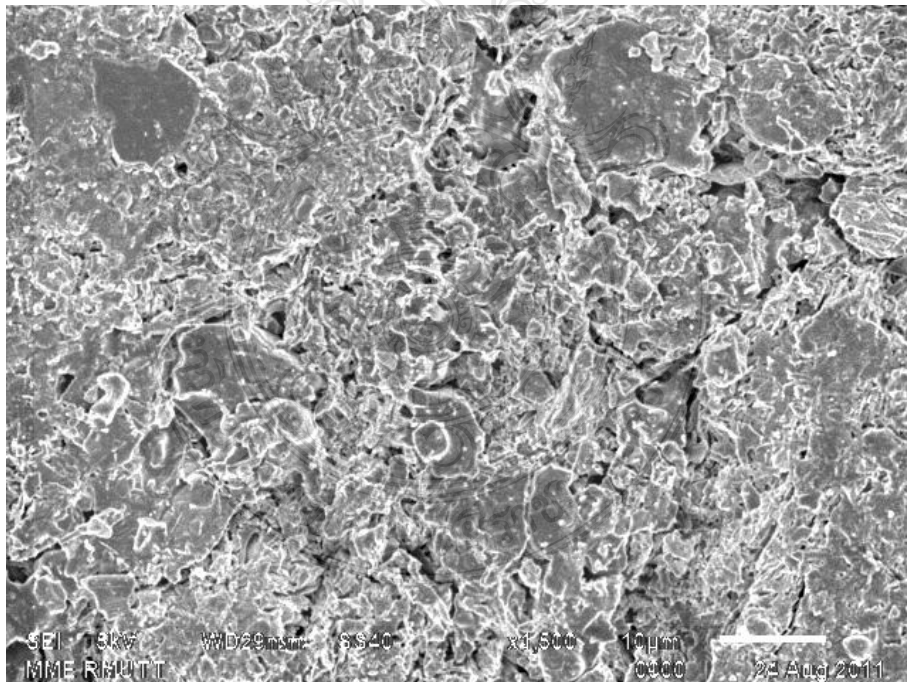
ค.1 บอลเคลย์ 100 % ต่อ ตะกอนดินเซรามิก 0 %



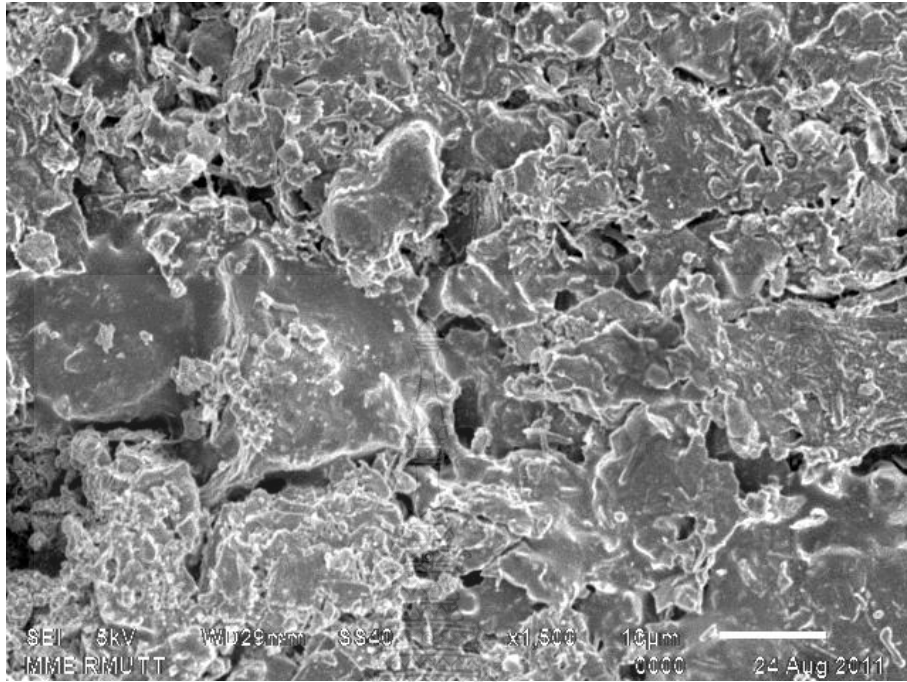
ค.2 บอลเคลย์ 75 % ต่อ ตะกอนดินเซรามิก 25 %



ค.3 บอลเคลย์ 50 % ต่อ ตะกอนดินเซรามิก 50 %




ค.4 บอลเคลย์ 25 % ต่อ ตะกอนดินเซรามิก 75 %



ค.5 บอลเคลือบ 0 % ต่อ ตะกอนดินเซรามิก 100 %





ภาคผนวก ง  
ผลงานที่ตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2555 (IE Network Conference 2012) 17-19 ตุลาคม 2555 โรงแรมเมธาวลัย ชะอำ อำเภอลำพะอง จังหวัดเพชรบุรี หน้า 1787-1793



## การใช้ตะกอนดินเซรามิคเป็นส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องบุผนัง

### Replacement of Ceramic Sludge Waste for Wall tile Porcelain Production

ไพบุณย์ แยมผื่อน<sup>1</sup> ปราโมทย์ พูนนายม<sup>2</sup> กิตติพงษ์ กิมะพงศ์<sup>3</sup> สุรัชชัย กรุดทอง<sup>4\*</sup>  
กลุ่มการพัฒนากระบวนการผลิตวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110  
E-mail: Paiboon.y@en.rmutt.ac.th

Paiboon Yaemphuan<sup>1</sup> Pramote Poonayom<sup>2</sup> Kittipong Kimapong<sup>3</sup> Surachai Krudthong<sup>4\*</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> Center of Development Material Process , Department of Industrial Engineering ,  
Faculty of Engineering , Rajamangala University of Technology Thanyaburi 12110  
E-mail: Paiboon.y@en.rmutt.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการนำของเสียจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียในโรงงานเซรามิคมาใช้ประโยชน์ โดยการนำกลับมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องบุผนัง ผลการศึกษาลักษณะองค์ประกอบทางเคมีตะกอนดินเซรามิคจากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานเซรามิคพบว่ามีสารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 67.70 และ สารประกอบอะลูมินาออกไซด์ร้อยละ 16.61 ใกล้เคียงวัตถุดิบที่ใช้ในส่วนผสมของกระเบื้องบุผนัง การศึกษาใช้สูตรที่มีส่วนผสมของทัลค์ร้อยละ 60 บอลเคลย์ร้อยละ 40 แปรอัตราส่วนการทดแทนบอลเคลย์ด้วยตะกอนดินเซรามิคเป็นร้อยละ 0 , 25 , 50 , 75 , 100 ตามลำดับ ขึ้นรูปกระเบื้องดิบตัวอย่างขนาด 50 มม.x100 มม.x10 มม.ด้วยแรงอัด 300 บาร์ เผาให้สุกด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที จากนั้นทำการเคลือบผิวและนำมาเผาด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที อีกครั้ง ทดสอบสมบัติกระเบื้องตัวอย่างได้แก่ รูปทรงกระเบื้อง การหดตัวเชิงเส้นของกระเบื้อง ความสอบของกระเบื้อง การดูดซึมน้ำของกระเบื้อง ความทนสารเคมี ความทนการราน ความต้านทานแรงกระแทก ผลการทดสอบกระเบื้องพบว่าปริมาณของตะกอนดินเซรามิคที่เพิ่มขึ้นทำให้การหดตัวเชิงเส้นของกระเบื้อง ความสอบของกระเบื้อง การดูดซึมน้ำของกระเบื้องมีค่าเพิ่มสูงขึ้น การทดสอบความทนสารเคมี ความทนการราน ความต้านทานแรงกระแทก การทดสอบไม่พบการเปลี่ยนแปลง กระเบื้องทดสอบทั้ง 5 สูตรการทดลองผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.613-2529 ที่ใช้สำหรับการผลิตกระเบื้องบุผนังภายใน

**คำหลัก** ตะกอนดินเซรามิค บอลเคลย์ กระเบื้องบุผนังภายใน

#### Abstract

This research aims to study the effects of waste water treatment plant from the ceramic to be used and reused as an ingredient in the manufacture of wall tile porcelain. Study the chemical composition of sediments from the wastewater treatment plant ceramics were compound silicon dioxide of 67.70 and a compound of alumina oxide were 16.61 close to the raw materials used in a mixture of wall tile porcelain. The formula containing a mixture of metal milk 60 percent ball clay 40 percent and replacement ratio varies with soil clay ceramic ball as the percentage of 0, 25, 50, 75, 100 respectively, forming the raw tile

size 50 mm x 100 mm x 10 mm with compression at 300 bar, Burned with electric stove and furnace temperature at 1,100 °C for 60 minutes, Glazing and burned with electric stove and furnace temperature at 1,000 °C for 60 minutes again, Property of tile examples after burned include the shape of the tiles. The linear shrinkage of the tiles. The wedging of the tiles. The water absorption of the tiles. Chemical resistance. Crazeing and Impact resistance. Test results showed that the amount of ceramic increased sediment. The linear shrinkage of the tiles ,The wedging of the tile , The water absorption of the tiles is increased. Chemical resistance, Crazeing resistance and Impact resistance is unchanged. Test the properties five tiles formula TIS 613-2529 standard criteria used for the production of wall tiles inside.

**Keywords:** Ceramic Sludge Waste, Ball clay, Wall tiles porcelain

## 1. บทนำ

อุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การขยายตัวด้านกำลังการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีความต้องการวัตถุดิบในการผลิตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จึงมีความพยายามในการนำวัตถุดิบที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ [1] วิจัยศึกษาวัสดุชนิดใหม่ วัตถุดิบที่มีราคาถูก วัตถุดิบที่เป็นของเสียหรือการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบบางส่วนหรือทั้งหมดของวัตถุดิบเพื่อลดต้นทุนการผลิตโดยไม่ทำให้กระบวนการผลิตเปลี่ยนแปลงและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่ลดลงจากเดิม [2]

ของเสียจากอุตสาหกรรมเซรามิก ได้แก่ ตะกอนจากการเตรียมวัตถุดิบ การขึ้นรูป การตกแต่งชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาทั้งการเผาเคลือบ และการเผาบิสกิต นำทิ้งจากกระบวนการผลิต [3] และการขัดผิวซึ่งโรงงานผลิตเซรามิกจะมีระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้มีค่าตามมาตรฐานก่อนปล่อยออกภายนอกหรือนำกลับมาใช้ ลักษณะของตะกอนดินที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียมีลักษณะเป็นเนื้อดินที่มีความละเอียด ส่วนใหญ่ตะกอนดินจะถูกนำไปทิ้งหรือนำไปฝังกลบ การกำจัดตะกอนดินจากการบำบัดน้ำเสียเป็นการสิ้นเปลืองและมีค่าใช้จ่ายในการจัดการมาก ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น [4]

จากรายงานของสถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมได้คัดเลือกของเสียและวัสดุเหลือใช้มาดำเนินการศึกษาและจัดทำแนวทางปฏิบัติที่เป็นเลิศโดยตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตเซรามิกเป็นหนึ่งในของเสียและวัสดุเหลือใช้ที่ได้ดำเนินการศึกษาและจาก

ฐานข้อมูลกรมโรงงานอุตสาหกรรม ปี 2550 ระบุว่าปริมาณตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตเซรามิกที่ขออนุญาตนำออกนอกโรงงานมีประมาณ 7,070 ตัน ซึ่งปริมาณตะกอนดินจากการสำรวจโรงงานในจังหวัดสระบุรีพบว่ามีปริมาณ 21,526 ตัน [5]

จากข้างต้นจึงทำการศึกษาตะกอนดินเซรามิกมาใช้ประโยชน์ โดยงานวิจัยนี้เป็นการนำตะกอนดินเซรามิกมาเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบในการผลิตกระเบื้องบุผนังภายใน เพื่อเป็นทางเลือกในการนำวัตถุดิบที่เป็นของเสียมาใช้ประโยชน์ลดต้นทุนกระบวนการผลิตและการจัดการของเสียให้เกิดประโยชน์สูงสุด

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### วัสดุที่ใช้

ทลค์จากจังหวัดอุดรดิตถ์ การเติมทลค์ในส่วนผสมของกระเบื้องบุผนัง จะช่วยให้การเผาเร็วขึ้นในช่วงการเผาและช่วงการเย็นตัว [6] , [7] , [8]

บอลเคลย์จากจังหวัดหนองคาย บอลเคลย์เมื่อแห้งจะมีความแข็งแรงสูง มีความหดตัวสูง ช่วงอุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงกว้างกว่าดินชนิดอื่น เป็นวัตถุดิบที่ปรับปรุงเนื้อผลิตภัณฑ์หลังการเผา [6]

ตะกอนดินเซรามิกจากการขัดกระเบื้อง ทำการอบแห้งและบดละเอียด

ดีฟลอกกูแลนท์ เป็นสารที่ให้อนุภาคเซรามิกแขวนลอยได้ดี โครงสร้างจับตัวกันอย่างหลวมๆ ทำให้น้ำสลิบไหลตัวได้ดี [9]

น้ำ เพื่อทำให้อุณหภูมิรวมเป็นเนื้อเดียวกัน



### อัตราส่วนผสมของกระเบื้อง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของการนำตะกอนดินเซรามิกมาใช้ในส่วนผสมของกระเบื้องบุผนังภายใน ใช้ทดแทน วัสดุติบบอลเคลย์ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีด้วยเครื่อง DHF82 Multi-element Rapid Analysis Instrument ในตารางที่ 1 ตะกอนดินเซรามิกและบอลเคลย์มีปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์ และอะลูมินาออกไซด์ที่ใกล้เคียงกันจึงใช้ตะกอนดินเซรามิกมาทดแทนบอลเคลย์ ในการผลิตกระเบื้องบุผนังภายใน การศึกษาใช้สูตรที่มีส่วนผสมมวลร้อยละ 60 บอลเคลย์ ร้อยละ 40 [8] แปรอัตราส่วนการทดแทนบอลเคลย์ด้วยตะกอนดินเซรามิกร้อยละ 0 , 25 , 50 , 75 , 100 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุติบ

วัสดุติบ	ปริมาณสารประกอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
ทัลค์	58-62	0.04	0.15-0.3	25-27	3-5	-	0.16	0
บอลเคลย์	66-68	20-22	1.3-1.6	0.2-0.4	0.1-0.3	0.1-0.4	2-2.5	0.5-0.7
ตะกอนดิน	67.60	16.61	0.56	2.87	1.65	-	-	0.22

นำวัสดุติบซึ่งตามสูตรที่ออกแบบด้วยเครื่องชั่งยี่ห้อ Sartorius รุ่น BS2202S จากนั้นนำวัสดุติบทั้งหมดใส่ลงในเครื่อง Ball mill เติมน้ำและสารช่วยการกระจาย ลอยตัวในปริมาณที่เหมาะสม บดเป็นน้ำสลิปด้วยเครื่อง Ball mill ของไต้หวันทางอุตสาหกรรมเป็นเวลา 10 นาที นำน้ำสลิปที่ได้ใส่ภาชนะที่เตรียมไว้และทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องจนน้ำสลิปเริ่มแข็งตัว จึงนำมาทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบความชื้นของไต้หวันทางอุตสาหกรรม ที่อุณหภูมิ 150-160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที นำมาบดเป็นผงดินด้วยเครื่องบดของไต้หวันทางอุตสาหกรรมเป็นเวลา 5 นาที ทำการร่อนผงดินผ่านตะแกรงเพื่อกรองส่วนที่ไม่ต้องการออก การขึ้นรูปกระเบื้องเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 50 มม.X100 มม.X10 มม. ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกยี่ห้อ NANNETTI FAENZA-ITALIA แรงอัด 300 บาร์ [8] กระเบื้องทดสอบนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบความชื้นของไต้หวันทางอุตสาหกรรม ที่อุณหภูมิ 150-160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที ก่อนไปวางบนแผ่นฉนวนความร้อนในเตาไฟฟ้าโดยใช้

เตาเผาไฟฟ้ายี่ห้อ PIROMETROL เเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส โดยเผาแซ่ไฟเป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำกระเบื้องบิสกิตมาเคลือบผิวและทำการอบเคลือบด้วยเครื่องอบความชื้นของไต้หวันทางอุตสาหกรรมด้วยอุณหภูมิ 150-160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปเผาด้วยเตาไฟฟ้า เเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส โดยเผาแซ่ไฟเป็นเวลา 60 นาที ทดสอบสมบัติกระเบื้องบุผนังภายในตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องบุผนังภายใน มอก. 613-2529 ในเรื่องของรูปทรงของกระเบื้อง การหดตัวเชิงเส้นของกระเบื้อง ความสอบของกระเบื้อง การดูดซึมน้ำของกระเบื้อง ความทนต่อสารเคมี ความทนการร้าว ความต้านทานแรงกระแทก [10] เพื่อทำการคัดเลือกส่วนผสมที่เหมาะสมและแนวโน้มนการพัฒนาต่อไป



รูปที่ 1 กระเบื้องบุผนังภายในที่มีส่วนผสมของตะกอนดินเซรามิก

### 3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

#### การบดบดเม็ดและความได้ฉาก

วัดความบดบดเม็ดแผ่นกระเบื้องไปจากแนวระนาบด้วยเหล็กวัดฉากยี่ห้อ Eagle ความบดบดเม็ดของแผ่นกระเบื้องที่มีส่วนผสมของตะกอนดินเซรามิกในทุกสูตรการทดลองมีความบดบดเม็ดเพียงเล็กน้อย ( รูปที่ 2 a )



( a )



(b)

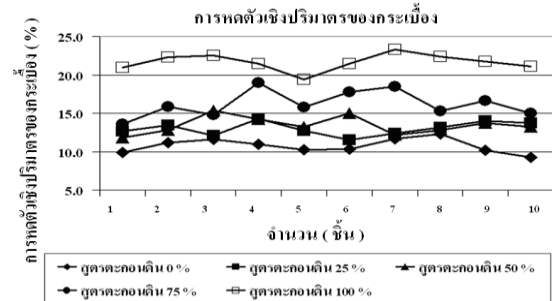
รูปที่2 (a) การวัดความบิดเบี้ยวและความได้ฉาก และ (b) การวัดการโค้ง เว้า หนุนและแอนของกระเบื้อง

การวัดผิวหน้ากระเบื้องตามความยาวของเส้นทแยงมุมแผ่นกระเบื้องและการคว่ำแผ่นกระเบื้องแนบไปกับพื้นคอนกรีตสังเคราะห์ได้ในทุกสูตรการทดลองการวัดความได้ฉาก โค้งออก เว้าเข้า หนุนขึ้น และแอนลง โดยใช้เหล็กวัดฉากยี่ห้อ Eagle ฟิลเลอร์เกจยี่ห้อ JAEGERTOOL ย่านการวัด 0.01-1.00 มม.พบว่าทุกสูตรการทดลอง ความได้ฉาก การโค้งออก เว้าเข้า หนุนขึ้นและแอนลง (รูปที่ 2b) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องบุผนังภายใน มอก.613-2529 กำหนดขนาดมิติที่ไม่เกิน 100 มิลลิเมตร ความบิดเบี้ยวตามแนวขอบ โค้งออก เว้าเข้าร้อยละ 0.5 หนุนขึ้น ร้อยละ 0.4 และแอนลงร้อยละ 0.3 ความบิดเบี้ยวตามแนวเส้นทแยงมุมหนุนขึ้นร้อยละ 0.3 แอนลงร้อยละ 0.2 ตามลำดับ

### การหดตัวเชิงปริมาตรของกระเบื้อง

กระเบื้องที่มีส่วนผสมของตะกอนดินเซรามิก มีการหดตัวเชิงปริมาตรที่เพิ่มขึ้นตามอัตราการเพิ่มขึ้นของตะกอนดินเซรามิกในส่วนผสมมีค่าอยู่ในช่วง 10.76 - 23.49 % (รูปที่ 3) สรุปว่าการเพิ่มขึ้นของตะกอนดินเซรามิกทำให้การหดตัวเชิงปริมาตรของกระเบื้องมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากในตะกอนดินเซรามิกมีความละเอียดทำให้ปริมาตรรวมของช่องว่างภายในเนื้อกระเบื้องเกิดการเก็บสะสมความชื้นไว้ในปริมาณมาก [11] เมื่อได้รับความร้อนจากการเผาทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นออกจากส่วนผสมในวัตถุดิบ [12] ทำให้การหดตัวเชิงปริมาตรของกระเบื้องมีค่ามาก ผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของตุนุพล ตันนโยภาส เรื่องผลกระทบการเติมผงหินพัมมิชที่มีต่อสมบัติและโครงสร้างจุลภาคของเนื้อดินสังเคราะห์สำหรับการ

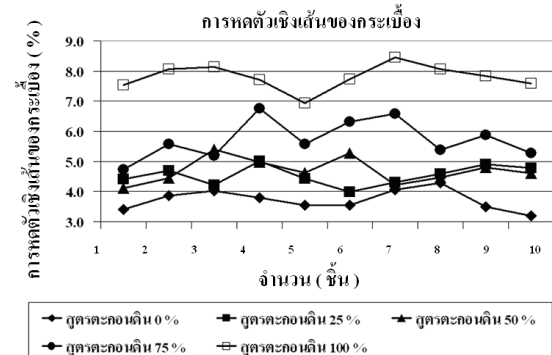
ผลิตกระเบื้องเนื่องจากการเพิ่มปริมาณของหินพัมมิชในเนื้อดินทำให้การหดตัวเชิงปริมาตรของกระเบื้องเพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อการอบแห้งของกระเบื้อง [13]



รูปที่3 การหดตัวเชิงปริมาตรของกระเบื้อง

### การหดตัวเชิงเส้นของกระเบื้อง

กระเบื้องที่มีส่วนผสมของตะกอนดินเซรามิกมีการหดตัวเชิงเส้นเพิ่มขึ้นตามอัตราการเพิ่มของตะกอนดินเซรามิกในส่วนผสมมีค่าอยู่ในช่วง 3.72 - 8.50 % (รูปที่ 4) สรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของตะกอนดินเซรามิกมีผลต่อการหดตัวเชิงเส้นของกระเบื้องสอดคล้องกับการหดตัวเชิงปริมาตรของกระเบื้อง



รูปที่4 การหดตัวเชิงเส้นของกระเบื้อง

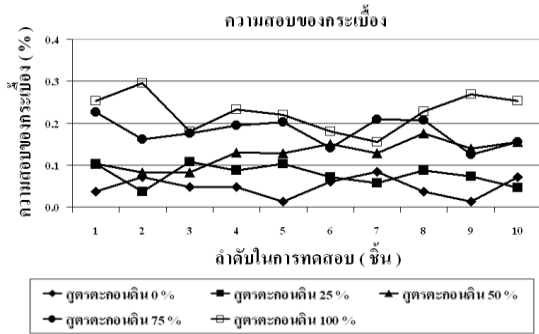
### ความสอของกระเบื้อง

ความสอของกระเบื้องเป็นการวัดด้านตรงข้ามของกระเบื้องที่สอเข้าหากันโดยทำการวัดด้านทั้ง 4 และคำนวณหาความสอจากสูตร

$$\frac{\text{ผลต่างความยาวด้านทั้งสองที่อยู่ตรงข้ามกัน}}{\text{ความยาวเฉลี่ยของด้านทั้งสองที่วัด}} \times 100 \quad (1)$$

งานวิจัยใช้ดิิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ยี่ห้อ Mitutodo ในการวัดผลการทดสอบความสอของกระเบื้องพบว่า

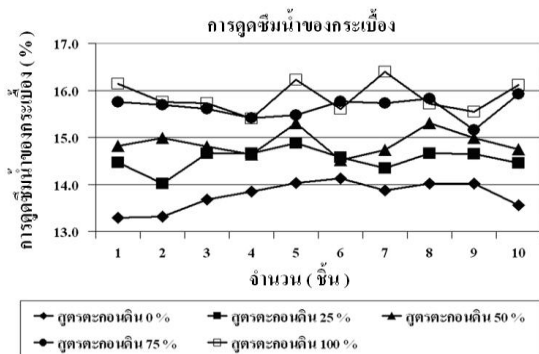
ความสอของกระเบื้องมีความสอเพียงเล็กน้อยอยู่ในช่วง 0.01-0.29% ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องบุผนังภายใน มอก.613-2529 ความสอของกระเบื้องไม่เกินร้อยละ 0.5% [ 10 ] (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 ความสอของกระเบื้อง

### การดูดซึมน้ำของกระเบื้อง

กระเบื้องที่มีส่วนผสมของตะกอนดินเซรามิกมีค่าการดูดซึมน้ำของกระเบื้องอยู่ในช่วง 13.77 – 15.86 % (รูปที่ 6) การดูดซึมน้ำของกระเบื้องแปรผันตามปริมาณของตะกอนดินเซรามิกที่เพิ่มขึ้น เมื่อเติมตะกอนดินเซรามิกในปริมาณที่มากขึ้นการดูดซึมน้ำของกระเบื้องมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากตะกอนดินเซรามิกมีพื้นที่ความพรุนจำเพาะสูง จึงเกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคขึ้น กระเบื้องทดสอบผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องบุผนังภายใน มอก. 613-2529 ค่าการดูดซึมน้ำของกระเบื้องบุผนังไม่เกินร้อยละ 18 [ 10 ]

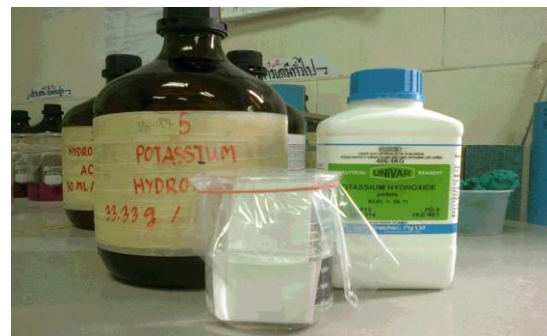


รูปที่ 6 การดูดซึมน้ำของกระเบื้อง

### ความทนต่อสารเคมี

#### ความทนกรดและความทนด่าง

ทดสอบความทนต่อสารเคมี ความทนกรดใช้กรดไฮโดรคลอริก ความทนด่างใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3 ผสมกับน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทดสอบกระเบื้องโดยการแช่กระเบื้องให้ 2 ใน 3 ของผิวเคลือบจมในสารละลายทั้งสองเป็นเวลา 7 วันและควบคุมความเข้มข้นของสารละลายให้คงที่ตลอดเวลาทดสอบ (รูปที่ 7) เมื่อครบกำหนด ตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงที่ผิวเคลือบโดยเปรียบเทียบกับผิวเคลือบที่ไม่ได้แช่ ผลการทดสอบกระเบื้องทดสอบไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสารเคมีไปจากเดิมผลการทดสอบผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องบุผนังภายใน มอก. 613-2529 [ 10 ] ที่ระบุว่าต้องไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสารเคมี



รูปที่ 7 การทดสอบความทนต่อสารเคมี

#### ความทนการราน

นำกระเบื้องทดสอบใส่ตะแกรงวางไว้ในหม้อหนึ่งอัดงานวิจัยนี้ใช้หม้อหนึ่งอัดยี่ห้อ GABRIELLI จากนั้นเติมน้ำในหม้อหนึ่งอัดและปิดฝาให้แน่น ในระหว่างการต้มจะเปิดท่อเพื่อให้ไอน้ำไล่อากาศภายในจนหมดทำการปิดฝาท่อปล่อยให้ไอน้ำเดือดจนมีความดันประมาณ 100 กิโลปาสกาล รักษาระดับแรงดันไว้ประมาณ 60 นาที หลังจากนั้นหยุดเครื่องแล้วระบายความดันออกช้าๆจนไม่มีความดันและปล่อยให้เย็น นำกระเบื้องออกมาทำการทดสอบการรานของกระเบื้อง โดยหยดสารละลายเมทิลีนบลูร้อยละ 1 โดยน้ำหนักบนผิวเคลือบและทำการเช็ดสารละลายเมทิลีนบลูออกทดสอบการรานของกระเบื้อง (รูปที่ 8)

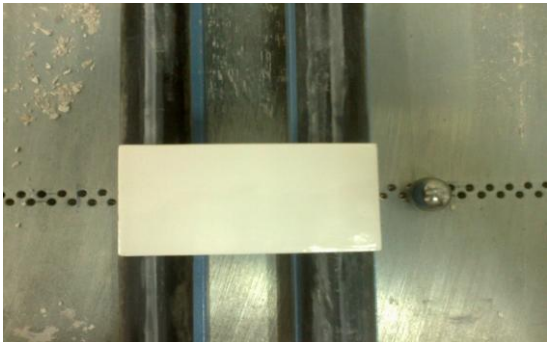


รูปที่8 การทดสอบการรานของกระเบื้อง

ผลการทดสอบกระเบื้องไม่พบการรานของกระเบื้อง ซึ่งผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องบุผนังภายใน มอก.613-2529 [ 10 ] ที่ระบุว่าผิวเคลือบของกระเบื้องต้องไม่พบการราน

#### ความต้านทานแรงกระแทก

นำกระเบื้องวางบนแท่นที่เตรียมไว้ โดยแทนทั้ง 2 ขนานกัน จากนั้นใช้ลูกเหล็กกลมน้ำหนัก 28.35 กรัม ปลดปล่อยจากระยะความสูงที่ 660 มิลลิเมตร [ 10 ] ให้ลูกเหล็กตกลงตรงกลางแผ่นกระเบื้องทดสอบ ( รูปที่9 ) ผลการทดสอบพบว่า ไม่ปรากฏรอยแตกของผิวเคลือบ ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องบุผนังภายใน มอก.613-2529 [ 10 ] กระเบื้องจะต้องไม่มีสภาพเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม



รูปที่9 การทดสอบความต้านทานแรงกระแทก

#### 4.สรุปผลงานวิจัย

1. ตะกอนดินเซรามิกมีความพรุนตัวมากเนื่องจากมีปริมาณสารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ น้ำสลิบจึงมีความหนืดสูง ต้องใช้น้ำในปริมาณที่มากขึ้นในการผสม
2. ปริมาณตะกอนดินเซรามิกจากงานวิจัยมีปริมาณน้อย ในการผลิตจริงการใช้ปริมาณตะกอนดินเซรามิกในปริมาณมาก การควบคุมคุณภาพกระเบื้องเป็นเรื่องที่สำคัญ

3. กระเบื้องที่มีส่วนผสมของตะกอนดินเซรามิก มีการหดตัวเชิงปริมาตร การหดตัวเชิงเส้น ความสอป การดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้น ตามอัตราการเพิ่มของตะกอนดินเซรามิกในส่วนผสม การเพิ่มของตะกอนดินเซรามิกจึงมีผลต่อการควบคุมคุณภาพของกระเบื้องในการนำไปใช้งาน

4. ปริมาณตะกอนดินเซรามิกที่เหมาะสม สำหรับการนำไปใช้ทดแทนบอลเคลย์ ในการผลิตกระเบื้องบุผนังภายในอยู่ที่ไม่เกิน 25 % ของน้ำหนักที่ทดแทนบอลเคลย์เนื่องจากการทดสอบสมบัติการหดตัวเชิงปริมาตร และเชิงเส้นของกระเบื้อง ความสอปของกระเบื้อง การดูดซึมน้ำของกระเบื้องมีค่าน้อยเหมาะสมในการใช้งาน เอกสารอ้างอิง

- [1] เพ็ชรพร เขาวงกัจเจริญ , ชดชนก อัทธพงษ์, อธิสา วิเชียรเจริญ และ อัจฉราภรณ์ พรหมบุตร.การใช้ของเสียที่เป็นแก้วทดแทนแร่เฟลด์สปาร์ในการผลิตกระเบื้องเซรามิก. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย 20 (1): 39-47.
- [2] A.P. Luz, S. Ribeiro. 2007. Use of glass waste as a raw material in porcelain stoneware tile mixtures. Ceramics International 33 :761-765
- [3] ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2554. รูปแบบมาตรฐานการผลิตเซรามิกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อสนับสนุนการส่งออกโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด.
- [4] คชินท์ สายอินทวงศ์. 2549. แนวทางการกำจัดของเสียในอุตสาหกรรมเซรามิก. วารสารเซรามิกส์.
- [5] สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม. 2552. โครงการพัฒนาส่งเสริมการใช้ทรัพยากรแร่ และ โลหะหมุนเวียนเพื่อการพัฒนาอย่างมีคุณภาพ.
- [6] आयुวัฒน์ สว่างผล. 2543. วัตถุประสงค์ที่ใช้แพร่หลายในงานเซรามิกส์. พิมพ์ครั้งที่1. โรงพิมพ์ไอ.เอส.พรินติ้งเฮ้าส์, กรุงเทพฯ
- [7] www.thaiceramicsociety.com. เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับวัตถุดิบเซรามิก
- [8] ไพจิตร อังศิริวัฒน์. 2541. เนื้อดินเซรามิก. พิมพ์ครั้งที่1. โรงพิมพ์ไอ.เอส.พรินติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ

- [9] สุธรรม ศรีหล่มสัก และ เอกสิทธิ์ นิ่มวิญญา. 2008. การเลือกเติม deflocculants และ focculants ในน้ำ สลিপ. Ceramic Journal.
- [10] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.2529. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผา บุษ้างภายใน.มอก.613-2529.
- [11] Soil Physics Properties. Dr.Suchada Sanusan . Soil Resources and environment . Faculty of Agricultural production . Maejo University
- [12] [www.mne.eng.psu.ac.th](http://www.mne.eng.psu.ac.th)
- [13] ดนุพล ตันนโยภาส ปาจารย์ เกิดกุล สุชาติ จันทรมณี. ผลกระทบของการเติมผงหินพัมมิช ที่มีต่อสมบัติและโครงสร้างจุลภาคของเนื้อดินสทั้งพระ สำหรับการผลิตกระเบื้อง.การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ครั้งที่ 8. 22-23 เมษายน 2553