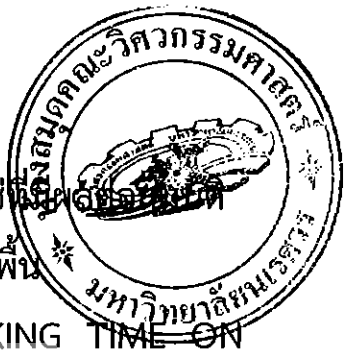


ศึกษาอัตราการให้ความร้อนและระยะเวลาการเผาแช่ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลของกระเบื้องปูพื้น

THE STUDY OF HEATING RATE AND SOAKING TIME ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES FOR FLOOR TILES

นายธวัชชัย ตุ้ยลำปาง รหัส 52363288

นางสาวศิริพร คูทอง รหัส 52363516

นางสาวศุภลักษณ์ กระถิน รหัส 52363530

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 1 ส.ค. 2556
เลขทะเบียน 1632748
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ธ 394 ค 2556

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2555

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน ศึกษาอัตราการให้ความร้อนและระยะเวลาการเผาแช่ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลของกระเบื้องปูพื้น

ผู้ดำเนินโครงงาน นายธวัชชัย ตุ้ยลำปาง รหัส 52363288
นางสาวศิริพร คูทอง รหัส 52363516
นางสาวศุภลักษณ์ กระถิน รหัส 52363530

ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2555

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย)

.....กรรมการ
(อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ศึกษาอัตราการให้ความร้อนและระยะเวลาการเผาแช่ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลของกระเบื้องปูพื้น		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายธวัชชัย	ตุ้ยลำปาง	รหัส 52363288
	นางสาวศิริพร	คูทอง	รหัส 52363516
	นางสาวศุภลักษณ์	กระถิน	รหัส 52363530
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ธณิกานต์	ธงชัย	
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2555		

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาอัตราการให้ความร้อนและระยะเวลาการเผาแช่ของกระเบื้องปูพื้นที่ผลิตจากเศษกระจกใสกับดินขาวระนอง ในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80 และ 40 : 60 ตามลำดับ ขึ้นรูปเป็นกระเบื้องขนาด 2x10x1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เผาที่อุณหภูมิ 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงดัด ผลการศึกษาพบว่าการให้อัตราการให้ความร้อนอย่างช้าๆ ส่งผลให้สีของกระเบื้องปูพื้นหลังเผามีสีเข้มขึ้น ตามลักษณะเฉดสีของเนื้อดินที่นำมาผลิต มากกว่าอัตราการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังส่งผลให้ค่าความหนาแน่นและค่ากำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง โดยค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดและค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) ณ อุณหภูมิ 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ได้แก่ กระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองที่อัตราส่วน 40 : 60 ผลการศึกษาการเพิ่มระยะเวลาการเผาแช่พบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการเผาแช่ ส่งผลให้สีของกระเบื้องปูพื้นหลังเผามีสีเข้มขึ้น ตามลักษณะเฉดสีของเนื้อดินที่นำมาผลิตกระเบื้องปูพื้น นอกจากนี้ยังส่งผลให้ค่าความหนาแน่นและค่ากำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง โดยค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดและค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) ณ อุณหภูมิ 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ได้แก่ กระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองที่อัตราส่วน 40 : 60 ดังนั้นการเพิ่มอัตราการให้ความร้อนและระยะเวลาการเผาแช่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกล โดยที่การเพิ่มระยะเวลาการเผาแช่จะมีผลทำให้สมบัติทางกายภาพและทางกลดีขึ้นและสามารถนำไปใช้งานได้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความกรุณาและอนุเคราะห์ช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ให้ความกรุณารับคำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิด และให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูล แนวทางการปฏิบัติการดำเนินโครงงานที่ถูกต้องตามระเบียบวิธีด้วยความเอาใจใส่อย่างดี สม่ำเสมอตลอดมา ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติ รวมถึงแง่คิดในการทำงานให้มีประสิทธิภาพ จึงทำให้โครงงานนี้เสร็จสมบูรณ์ไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์ อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์ อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ อาจารย์มานะ วีรวิกรม และคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทถ่ายทอดวิชาความรู้ทางวิชาการอันสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินโครงงานจนสำเร็จ อีกทั้งให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงงานครั้งนี้

ขอขอบพระคุณครูช่าง ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้จัดทำโครงงาน จนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ผู้ซึ่งให้ความรัก ความเมตตา ความห่วงใย และเป็นกำลังใจให้กับผู้จัดทำโครงงานจนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณพี่และเพื่อนทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจ ผู้จัดทำโครงงานรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณอย่างสูง

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
ธวัชชัย ตุ้ยลำปาง
ศิริพร คูทอง
ศุภลักษณ์ กระถิน

มีนาคม 2556

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อ.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญรูป.....ญ
สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ.....ฐ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย.....2
1.6 สถานที่ในการดำเนินงาน.....3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงาน.....3
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน.....4

บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น.....6
2.1 กระเบื้องเซรามิก.....6
2.2 ชนิดกระเบื้องเซรามิก.....6
2.3 วัตถุดิบในการผลิตกระเบื้องเซรามิก.....9
2.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก.....27
2.5 การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก.....31
2.6 อัตราการให้ความร้อน.....35
2.7 การทดสอบ.....36
2.8 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.....38
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 51

3.1 ขั้นตอน และระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการทำโครงงาน 51

3.2 วัตถุดิบ และอุปกรณ์ 52

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 52

3.4 วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง 59

3.5 จัดทำรูปเล่มรายงาน 59

บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ 60

4.1 ศึกษาผลของอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้น 60

4.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเผาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่ผลิตจากเศษกระจกใสกับดินขาวระนอง 64

4.3 ศึกษาผลของอัตราการให้ความร้อนที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้น 70

4.4 ผลของระยะเวลาในการเผาแช่ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้น 75

บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ 81

5.1 สรุปผลการทดลอง 81

5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา 83

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา 83

เอกสารอ้างอิง 84

ภาคผนวก ก 86

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน....4

2.1 ขนาด และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน....42

2.2 พื้นที่ของรอยบิ่นต่อ 1 จุด....43

2.3 ความบิดเบี้ยว....43

2.4 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาด และคุณลักษณะที่ต้องการ....46

2.5 รายการทดสอบ....46

3.1 อัตราส่วนผสมระหว่างดินขาวระนองต่อเศษกระจก (ร้อยละโดยน้ำหนัก)....53

3.2 อัตราการให้ความร้อนที่ 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาที่อุณหภูมิ 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส....53

3.3 ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที เผาที่อุณหภูมิ 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส....56

4.1 สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด หลังเผาขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส....60

4.2 สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส....65

4.3 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส....66

4.4 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส....67

4.5 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส....69

4.6 สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส....71

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.7 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส....72

4.8 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส....73

4.9 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส....74

4.10 สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส....76

4.11 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส....77

4.12 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส....78

4.13 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส....79

ก.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง จากอัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)....87

ก.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง จากอัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)....89

ก.3 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง จากอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)....91

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.4 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใส ในดินขาวระนอง จากอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน).....93

ก.5 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใส ในดินขาวระนอง จากอัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่).....95

ก.6 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใส ในดินขาวระนอง จากอัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่).....97

ก.7 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของ เศษกระจกใสในดินขาวระนอง จากอัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน).....99

ก.8 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของ เศษกระจกใสในดินขาวระนอง จากอัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน).....101

ก.9 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของ เศษกระจกใสในดินขาวระนอง จากอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน).....103

ก.10 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของ เศษกระจกใสในดินขาวระนอง จากอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน).....105

ก.11 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของ เศษกระจกใสในดินขาวระนอง จากอัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่).....107

ก.12 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของ เศษกระจกใสในดินขาวระนอง จากอัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่).....109

ก.13 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใส ในดินขาวระนอง จากอัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน).....111

ก.14 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใส ในดินขาวระนอง จากอัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน).....113

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.15 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใส ในดินขาวระนอง จากอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน).....115
ก.16 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใส ในดินขาวระนอง จากอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน).....117
ก.17 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใส ในดินขาวระนอง จากอัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่).....119
ก.18 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใส ในดินขาวระนอง จากอัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่).....121

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 กระเบื้องบุผนัง....7
2.2 กระเบื้องปูพื้น....8
2.3 กระเบื้องแกรนิต....8
2.4 กระเบื้องเคลือบ....9
2.5 การใช้งานกระจกบริเวณทางเข้าอาคาร....15
2.6 การเปรียบเทียบสีของสันกระจกใสแบบธรรมดาทั่วไปและกระจกใสพิเศษ....16
2.7 ลักษณะการแตกของกระจกนิรภัยเทมเปอร์....17
2.8 การเปรียบเทียบลักษณะการแตกของกระจกเทมเปอร์และกระจกฮีตสเตรงค์....18
2.9 อาคารสำนักงานใหญ่การบินไทยที่ใช้กระจกสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์....20
2.10 ลักษณะของกระจกเงาหลังเขียว....21
2.11 ลักษณะของกระจกเงาหลังน้ำเงิน....21
2.12 กระจกกันไฟ....24
2.13 กระจกลวดลาย....25
2.14 กระจกลดการสะท้อนแสงให้เหมาะสำหรับการแสดงสินค้า....25
2.15 การเปรียบเทียบความแตกต่างบนผิวกระจกทำความสะอาดตัวเองและกระจกทั่วไป....26
2.16 กระจกเสริมลวด....27
2.17 การหล่อชนิด Solid Cast....28
2.18 การหล่อแบบชนิด Drain Cast....28
2.19 การวางเนื้อดินปั้นที่จุดศูนย์กลางแป้นหมุน....29
2.20 ช่างปั้นใช้ความสามารถดึงเนื้อดินให้ได้รูปทรงตามต้องการ....29
2.21 ขั้นตอนการขึ้นรูปโดย Jigger....29
2.22 ขั้นตอนการอัดขึ้นงานแบบง่ายๆ....30
2.23 ลักษณะการเชื่อมตัวของอนุภาคในขบวนการซินเตอร์ริ่ง....34
2.24 การราน....39
2.25 รูเข็ม....39
2.26 รอยพอง....39
2.27 หลุม....39
2.28 รอยบิ่น....40
2.29 การหดตัวของเคลือบ....40
2.30 โค้งงอและเว้าเข้า....40
2.31 นูนขึ้น....40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.32 แอ่นลง....41

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน....51

3.2 อัตราการให้ความร้อนที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส....54

3.3 อัตราการให้ความร้อนที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส....54

3.4 อัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส....55

3.5 อัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส....55

3.6 ระยะเวลาในการเผาแช่ที่ 30 นาที เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส....56

3.7 ระยะเวลาในการเผาแช่ที่ 30 นาที เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส....57

3.8 ระยะเวลาในการเผาแช่ที่ 60 นาที เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส....57

3.9 ระยะเวลาในการเผาแช่ที่ 60 นาที เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส....58

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหนาแน่นกับร้อยละของเศษกระจกใสผสมกับดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส....62

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำกับร้อยละของเศษกระจกใสผสมกับดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส....63

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดกับร้อยละของเศษกระจกใสผสมกับดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส....64

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหนาแน่นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง....67

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง....68

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง....69

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหนาแน่นกับอัตราการให้ความร้อนที่ 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง....72

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำกับอัตราการให้ความร้อนที่ 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง....73

4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดกับอัตราการให้ความร้อนที่ 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง....75

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหนาแน่นกับระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที ของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง....77

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำกับระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที ของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง....78

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดกับระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที ของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง....80

สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ

ASTM	=	American Society for the Testing of Materials
T_m	=	Melting Temperature
T_g	=	Glass Transition Temperature
MPa	=	เมกะปาสคาล
kg	=	กิโลกรัม
g/cm^3	=	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
g	=	กรัม
cm^3	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
in	=	นิ้ว
cm	=	เซนติเมตร
mm	=	มิลลิเมตร
$^{\circ}C$	=	องศาเซลเซียส
$^{\circ}F$	=	องศาฟาเรนไฮต์
μm	=	ไมครอน

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงงาน

ประเทศไทยในปัจจุบัน ถือว่าอยู่ในช่วงที่กำลังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งทางด้านเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม โดยการพัฒนาเหล่านี้ได้รับการสนับสนุนทั้งจากทางภาครัฐ และเอกชน โดยเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีและอุตสาหกรรม เนื่องจากภาคอุตสาหกรรมเป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอาหาร และหนึ่งในนั้น คืออุตสาหกรรมเซรามิกซึ่งเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญกับอุตสาหกรรมของไทย เนื่องจากจะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมเซรามิกมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างมากเพราะผลิตภัณฑ์เซรามิกเป็นผลิตภัณฑ์พื้นฐานในการใช้งานในชีวิตประจำวัน ได้แก่ เครื่องเรือนเครื่องใช้ เช่น แก้ว จาน ถ้วย ชาม งานตกแต่ง และการใช้งานภายในอาคารบ้านเรือน เช่น กระเบื้อง โดยอุตสาหกรรมการผลิตกระเบื้องเซรามิกมีอัตราการขยายตัวเป็นอันดับสอง รองจากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร (กรมศุลกากร,2553) แต่ทั้งนี้กระบวนการทำกระเบื้องเซรามิกยังคงมีต้นทุนการผลิตที่สูง มีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อน ดังนั้น จึงคิดค้นแนวทางการลดต้นทุนการผลิตด้วยการลดพลังงานในกระบวนการเผาโดยการศึกษาอัตราการให้ความร้อนและระยะเวลาในการเผาแช่ นอกจากนี้เพื่อเป็นแนวทางในการนำสิ่งของที่ไม่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม รวมถึงต้นทุนในการเผาผลิตภัณฑ์ จึงเกิดแนวคิดในการนำเศษกระจกใส มาปรับปรุงในส่วนผสมของกระเบื้องเซรามิก เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วกระเบื้องเซรามิกจะมีส่วนผสมหลักได้แก่ ดิน เช่น ดินขาว ซึ่งมีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูง โดยดินขาวนี้สามารถหาได้จากหลายแหล่ง เช่น ดินขาวลำปาง ดินขาวระนอง ดินขาวปราจีนบุรี ดินขาวอุตรดิตถ์ เป็นต้น แต่ดินขาวที่นิยมใช้กันมาก คือ ดินขาวระนอง ซึ่งมีความบริสุทธิ์อยู่มาก ทำให้ได้กระเบื้องเซรามิกที่มีคุณภาพดี โดยกระบวนการทำกระเบื้องเซรามิกจะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมากในการเผา เศษกระจกใสจึงเป็นส่วนหนึ่งที่จะสามารถช่วยลดอุณหภูมิในการเผาและลดต้นทุนในกระบวนการผลิตค่าใช้จ่าย นอกจากนี้เศษกระจกใสยังเป็นสิ่งของที่ไม่ใช้แล้วหากไม่ได้เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลจะเป็นขยะที่เป็นปัญหาและยังมีมากมายในประเทศ หากสามารถนำเศษกระจกใสมาใช้ใหม่ จะเป็นการลดปริมาณขยะและลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งนำไปสู่การแก้ปัญหา และยังพัฒนาต่อยอดความคิดได้อย่างต่อเนื่อง โดยในปัจจุบันยังไม่มีการนำเศษกระจกใส มาผสมกับดินขาวเพื่อผลิตกระเบื้องเซรามิกมากนัก

งานวิจัยนี้จึงเป็นการประยุกต์นำเศษกระจกใสกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ และเพื่อเป็นการลดปริมาณปัญหาขยะต่างๆ โดยผสมกับดินขาวเพื่อลดอุณหภูมิในการเผารวมทั้งเป็นการลดต้นทุนการผลิต นอกจากนี้ยังนำชิ้นงานมาศึกษาที่อัตราการให้ความร้อนและเวลาในการเผาแช่ที่แตกต่างกันเพื่อนำมาเปรียบเทียบความเหมาะสมของกระบวนการเผาและการนำไปใช้งานที่ถูกต้อง โดยยังคงมาตรฐานกระเบื้องเซรามิกที่มีคุณภาพดีไว้ด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาอัตราการให้ความร้อนของกระเบื้องดินขาวระนองผสมเศษกระจกใส ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงดัด

1.2.2 ศึกษาระยะเวลาการเผาแช่ของกระเบื้องดินขาวระนองผสมเศษกระจกใส ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงดัด

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 ได้กระเบื้องปูพื้นจากการผสมเศษกระจกใสกับดินขาวระนอง ในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80 และ 40 : 60 ตามลำดับ

1.3.2 ได้สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงดัด ของกระเบื้องปูพื้นจากการผสมเศษกระจกใสกับดินขาวระนอง ในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80 และ 40 : 60 ตามลำดับ เผาที่อุณหภูมิ 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส

1.3.3 ผลของอัตราการให้ความร้อนต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงดัด ของกระเบื้องปูพื้นจากการผสมเศษกระจกใสกับดินขาวระนองในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80 และ 40 : 60 ตามลำดับ เผาที่อุณหภูมิ 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส

1.3.4 ผลของระยะเวลาการเผาแช่ต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงดัด ของกระเบื้องปูพื้นจากการผสมเศษกระจกใสกับดินขาวระนองในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80 และ 40 : 60 ตามลำดับ เผาที่อุณหภูมิ 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

อัตราส่วนของเศษกระจกใส อัตราการให้ความร้อน และระยะเวลาการเผาแช่ของกระเบื้องดินขาวระนองผสมเศษกระจกใส ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกลได้แก่ ค่ากำลังรับแรงดัด

1.5 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ใช้ดินขาวจากจังหวัดระนอง

1.5.2 ใช้เศษกระจกใสไม่ฉาบปรอท

1.5.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำกระเบื้องปูพื้นโดยใช้เศษกระจกใสกับดินขาวระนองในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80 และ 40 : 60 ตามลำดับ

1.5.4 ศึกษาอัตราการให้ความร้อนในการเผากระเบื้องปูพื้น โดยเริ่มจากใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนถึง 600 องศาเซลเซียส เผาแช่ 30 นาที จากนั้นใช้อัตราการให้ความร้อนเดิมจนถึงอุณหภูมิการเผาที่ 1,100 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงเปลี่ยนอุณหภูมิการเผาเป็น 1,200 องศาเซลเซียส

1.5.5 ศึกษาอัตราการให้ความร้อนในการเผากระเบื้องปูพื้น โดยเริ่มจากใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 600 องศาเซลเซียส เผาแช่ 30 นาที จากนั้นใช้อัตราการให้ความร้อนเดิม จนถึงอุณหภูมิการเผาที่ 1,100 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงเปลี่ยนอุณหภูมิการเผาเป็น 1,200 องศาเซลเซียส

1.5.6 ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่ที่ 30 นาที โดยใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 600 องศาเซลเซียส เผาแช่ไว้เป็นเวลา 30 นาที จนถึงอุณหภูมิการเผาที่ 1,100 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงเปลี่ยนอุณหภูมิการเผาเป็น 1,200 องศาเซลเซียส

1.5.7 ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่ที่ 60 นาที โดยใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 3 องศาเซลเซียส ต่อนาที จนถึง 600 องศาเซลเซียส เผาแช่ไว้เป็นเวลา 60 นาที จนถึงอุณหภูมิการเผาที่ 1,100 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงเปลี่ยนอุณหภูมิการเผาเป็น 1,200 องศาเซลเซียส

1.5.8 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงดัด

1.5.9 ใช้น้ำประปาในการบดเปียกส่วนผสม

1.5.10 เศษกระจกใสที่ผ่านการบดจะถูกร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 50 เมช (0.297 มิลลิเมตร)

1.5.11 ใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก. 37-2529) เพื่อพิจารณาลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่ากำลังรับแรงดัด

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

อาคารปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

กรกฎาคม 2555 – กุมภาพันธ์ 2556

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา							
	พ.ศ.2555						พ.ศ.2556	
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1.8.1 รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←	→						
1.8.2 เก็บรวบรวมเศษกระจกแล้วนำไปทุบด้วยค้อนให้มีขนาดที่เล็กแล้วนำมาบดด้วยเครื่องบดละเอียดและนำเศษกระจกที่บดละเอียดไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 50 เมช		←	→					
1.8.3 นำดินขาวระนองที่เป็นก้อนนำมาบดละเอียด			←	→				
1.8.4 บดเปียกส่วนผสมนำส่วนผสมที่ผ่านการบดเปียกมาอบไล่ความชื้นแล้วทำการบดแห้ง				←	→			
1.8.5 นำวัตถุดิบไปขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้องขนาด 2x10x1 ลูกบาศก์เซนติเมตร					←	→		
1.8.6 ทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส						←	→	

ตารางที่ 1.1 (ต่อ) ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา							
	พ.ศ.2555						พ.ศ.2556	
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1.8.7 ทำการทดสอบลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ค่าร้อยละการดูดซึม และค่ากำลังรับแรงดัด								←→
1.8.8 วิเคราะห์สรุปผลและจัดทำรูปเล่ม								←→

บทที่ 2
หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 กระเบื้องเซรามิก

กระเบื้องเซรามิก หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากดินดำ ดินขาว และส่วนผสมอื่นๆ เช่นหิน ทราย สี เป็นต้น นำมาบดให้ละเอียด และผสมให้เข้ากัน แล้วนำมาขึ้นรูปด้วยวิธีการอัด (Pressing) หรือวิธีการอัดรีดดิน (Extruding) ให้เป็นแผ่น จากนั้นนำไปเผา ในเตาที่มีอุณหภูมิการเผา ไม่ต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียส จนเนื้อกระเบื้องแข็งแกร่ง กระเบื้องเซรามิก มีจุดเด่น ในเรื่องของการดูดซึมน้ำที่ค่อนข้างต่ำ สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยฉับพลัน (บัญชา, 2545)

2.2 ชนิดของกระเบื้องเซรามิก

2.2.1 กระเบื้องเซรามิกที่แบ่งประเภทตามการใช้งาน

กระเบื้องเซรามิกอาจแบ่งประเภทตามการใช้งานของกระเบื้อง ซึ่งจำแนกประเภทได้ 2 ประเภท ได้แก่ กระเบื้องบุผนัง และกระเบื้องปูพื้น

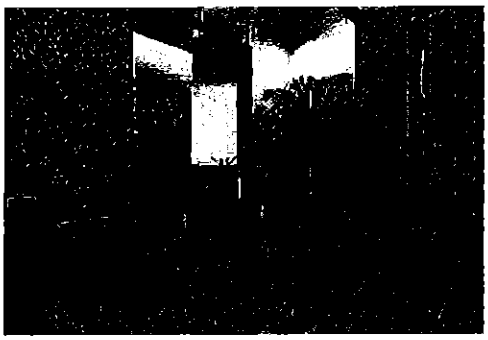
2.2.2 กระเบื้องเซรามิกที่แบ่งประเภทตามลักษณะเนื้อดิน

ถ้าแบ่งประเภทกระเบื้องตามลักษณะของเนื้อดิน ตามกระบวนการผลิตและคุณภาพที่มาตรฐานสากลยอมรับซึ่งเป็นการจำแนกประเภทตามแนวทางของผู้ผลิต เราสามารถแบ่งประเภทของกระเบื้องได้เป็น กระเบื้องบุผนัง (เนื้อเอิร์ธเธินแวร์ ; Earthenware) กระเบื้องปูพื้น (เนื้อสโตน-แวร์ ; Stoneware) กระเบื้องแกรนิต (เนื้อพอร์ชเลน ; Porcelain) และกระเบื้องเคลือบ (เนื้อพอร์ชเลน ; Porcelain)

2.2.2.1 กระเบื้องบุผนัง

กระเบื้องบุผนัง คือกระเบื้องที่ใช้สำหรับบุผนังของบ้านหรืออาคาร เนื้อกระเบื้องสำหรับบุผนังนั้นจะต้องมีน้ำหนักเบา ดังนั้นจึงต้องมีพรุนตัวสูง มีความแข็งแรงปานกลางจนถึงต่ำ นั่นคือ ไม่จำเป็นต้องมีความแข็งแรงมากเท่ากับกระเบื้องสำหรับปูพื้น

เนื้อดินของกระเบื้องบุผนังนั้นจะเป็นเนื้อดินชนิดเอิร์ธเธินแวร์ มีร้อยละการดูดซึมน้ำสูง (ร้อยละ 15-22) ดังนั้นความแข็งแรงจึงไม่สูงมากนัก สีเคลือบส่วนใหญ่มักจะเป็นผิวมัน ดังนั้นจึงไม่ควรนำเอากระเบื้อง บุผนังไปใช้งานที่ต้องรับน้ำหนักมากหรือต้องสัมผัสกับน้ำอยู่ตลอดเวลา หรือใช้ในพื้นที่ที่มีการขูดขีดขัดสีอยู่ตลอดเวลาเช่นพื้นที่สาธารณะ หรือพื้นบ้าน เพราะจะทำให้เกิดความเสียหายต่อผิวของกระเบื้อง ซึ่งจะทำให้ความสวยงามหมดลงไปได้ในที่สุด แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระเบื้องบุผนัง
ที่มา : www.sosuco.com

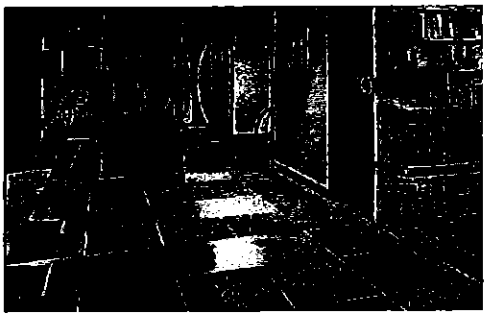
2.2.2.2 กระเบื้องปูพื้น

จุดประสงค์หลักของกระเบื้องชนิดนี้ คือใช้สำหรับปูพื้นเพื่อให้เกิดความสวยงาม มีความคงทน ทำความสะอาดง่าย สามารถใช้ทดแทนวัสดุประเภทอื่นที่มีราคาสูงกว่า เช่น หินแกรนิต หินอ่อน พื้นไม้ เนื้อกระเบื้องเป็นเนื้อสโตนแวร์ มีร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำถึงปานกลาง (ร้อยละ 3-6) ความแข็งแรงปานกลาง ผิวเคลือบมีทั้งแบบผิวมันและผิวด้าน รวมทั้งลวดลายและสีสันที่มีให้เลือกมากมาย ขึ้นกับความต้องการของผู้ใช้ และขึ้นกับการใช้งานของพื้นที่ที่จะปูกระเบื้อง คุณสมบัติที่สำคัญที่ผู้ใช้งานควรคำนึงถึงสำหรับกระเบื้องปูพื้นแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เราเห็นหรือสัมผัสได้ เช่น สีสัน ลวดลาย ลักษณะของผิวเคลือบ ขนาด คุณภาพของผิวหน้า ความโค้ง-แอ่นของกระเบื้อง กับส่วนที่เป็นคุณสมบัติทางกายภาพ ที่ผู้ใช้งานไม่สามารถวัดค่าออกมาเป็นตัวเลขได้ แต่ทางผู้ผลิตได้มีการควบคุมคุณภาพตามมาตรฐานที่ได้มีการกำหนดเอาไว้เพื่อไม่ให้ลูกค้านำไปใช้งานแล้วเกิดปัญหาได้ในภายหลัง แสดงดังรูปที่ 2.2 ซึ่งสมบัติเหล่านี้ได้แก่

ก. ความแข็งแรงของเนื้อกระเบื้องซึ่งถ้ามีค่าต่ำเกินกว่ามาตรฐานอาจจะทำให้กระเบื้องแตกหรือร้าวได้เมื่อใช้งานในพื้นที่ที่ต้องรับแรงกดมาก

ข. การดูดซึมน้ำ ถ้าการดูดซึมน้ำสูงเกินไปจะทำให้เฉดสีของกระเบื้องเปลี่ยนไป อันเนื่องมาจากความชื้นที่สะสมอยู่ในเนื้อกระเบื้อง อาจพบปัญหาน้ำเหนียวซึ่งมีลักษณะคล้ายเจล ทำความสะอาดยาก ทำให้พื้นผิวของกระเบื้องลดความสวยงามลง ซึ่งปัญหานี้จะพบร่วมกันกับปัญหาน้ำใต้ดินในพื้นที่ที่ใช้งานและคุณภาพของปูนซีเมนต์ที่นำมาใช้งานไม่ได้ตามคุณภาพ และถ้าความชื้นมากเกินไปประกอบกับการดูดซึมน้ำของกระเบื้องสูงอาจพบปัญหาที่รุนแรงถึงขั้นกระเบื้องร่อนออกจากพื้นซีเมนต์ได้

ค. ความทนทานต่อการขูดขีดซึ่งจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับคุณภาพของผิวเคลือบ โดยส่วนใหญ่แล้วผิวเคลือบที่เป็นผิวมันจะมีความทนทานต่อการขูดขีดต่ำกว่าผิวเคลือบด้านจึงทำให้เกิดเป็นรอยได้ง่ายกว่า ดังนั้นจึงควรระมัดระวังในการใช้งานของกระเบื้องผิวมัน ที่ควรหลีกเลี่ยงการขูดขีดที่จะเกิดขึ้น



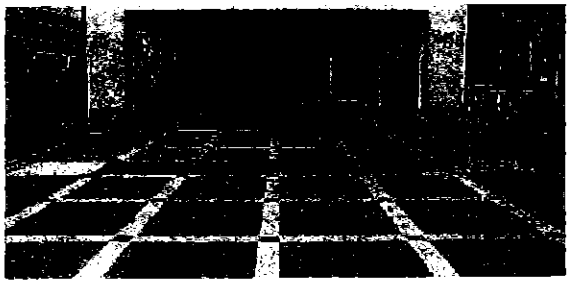
รูปที่ 2.2 กระเบื้องปูพื้น

ที่มา : www.tamlaydee.com

2.2.2.3 กระเบื้องแกรนิต

กระเบื้องชนิดนี้จะนำเอาส่วนผสมของ ดิน หิน แร่ นำมาขึ้นรูป และผ่านกระบวนการเผาด้วยอุณหภูมิสูง ซึ่งสามารถที่จะผลิตให้มีขนาด ลวดลายและสีสันตามที่ต้องการได้ กระเบื้องชนิดนี้มีความแข็งแรงและทนทานสูง มีร้อยละของการดูดซึมน้ำต่ำมาก ทนต่อการถูกขูดขีด และทนความร้อนได้สูง มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และมีราคาถูกเมื่อเทียบกับแกรนิตเทียม สามารถนำมาขัดให้เกิดความเงาได้ แสดงดังรูปที่ 2.3

นอกจากนี้การพัฒนาในวงการเซรามิก จึงทำให้สามารถผลิตกระเบื้องที่มีลักษณะคล้ายกับหินแกรนิตธรรมชาติได้ และเรียกกระเบื้องที่ผลิตออกมานี้ว่า แกรนิตเทียม หรือ หินอ่อนเทียม ซึ่งผลิตโดยการหล่อ หรือขึ้นรูปจากอีพอกส์ซึ่งผสมกับผงหิน หรือเม็ดหิน สามารถสร้างสีสันให้เสมือนกับหินแกรนิตได้ตามต้องการ มีความแข็งแรงและความทนทานมากเช่นกัน สามารถควบคุมในเรื่องของอัตราการดูดซึมน้ำได้ ทนต่อการขูดขีดสูง สามารถนำมาขัดให้เกิดความมันวาว และสามารถกำหนดการทนทานต่อความร้อนได้ มีความสวยงาม สามารถใส่สีลงไปในเนื้อได้ จึงทำให้เมื่อใช้งานไปนานๆ จนกระทั่งจนเกิดการกร่อน การขัดสี จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องของสี ถึงแม้ผิวหน้าจะหลุดร่อนไป แต่เนื้อภายในก็ยังมีสีสันเหมือนกับผิวด้านหน้า แต่กระเบื้องนี้จะมีราคาแพงมาก สีซีดง่ายเมื่อโดนแสงอาทิตย์แผดเผา ไม่ทนต่อสารเคมี



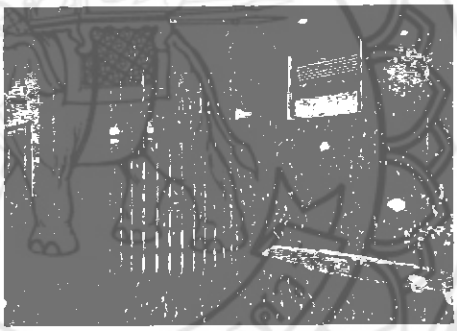
รูปที่ 2.3 กระเบื้องแกรนิต

ที่มา : www.tradevv.com

2.2.2.4 กระเบื้องเคลือบ

กระเบื้องเคลือบเนื้อพอร์ซเลน มีสมบัติใกล้เคียงกับกระเบื้องแกรนิต ทั้งในเรื่องร้อยละการดูดซึมน้ำ ความแข็งแรง แต่ที่ผิวหน้าจะมีการเคลือบสี และตกแต่งลวดลาย เพื่อให้เกิดความสวยงามรวมทั้งช่วยปรับปรุงสมบัติด้านการขัดสี การขูดขีด ให้มีความทนทานด้วย เคลือบที่ใช้กับกระเบื้องแกรนิตนั้นมักจะเป็นเคลือบที่มีความทนทานทั้งกับสารเคมี และการขัดสี จึงสามารถใช้กระเบื้องชนิดนี้ได้ในทุกพื้นที่รวมทั้งภายนอกอาคาร และสถานที่สาธารณะต่างๆ ที่มีผู้คนสัญจรไปมาเป็นจำนวนมาก

กระเบื้องชนิดนี้เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในประเทศแถบยุโรป และอเมริกาที่มีอากาศหนาวเย็น อุณหภูมิในช่วงฤดูหนาวจะต่ำกว่าจุดเยือกแข็งจนทำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็ง ซึ่งถ้ากระเบื้องมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำสูงก็จะพบปัญหาน้ำที่อยู่ตามรูพรุนกลายเป็นน้ำแข็ง และถ้ามีปริมาณมากอาจทำให้กระเบื้องแตกได้ เนื่องจากการขยายตัวของน้ำแข็งจึงเรียกสมบัติที่สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่อุณหภูมิต่ำมากนี้ว่าความต้านทานการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่อุณหภูมิต่ำ (Frost Resistance) แสดงดังรูปที่ 2.4 (ปรีดา, 2547)



รูปที่ 2.4 กระเบื้องเคลือบ
ที่มา : www.homedecorthai.com

2.3 วัตถุดิบในการผลิตกระเบื้องเซรามิก

ในกระบวนการผลิตกระเบื้องเซรามิกนั้น มีวัตถุดิบหลายชนิดที่ต้องนำมาเป็นส่วนประกอบเพื่อขึ้นรูป และเพิ่มสมบัติต่างๆ ของกระเบื้องให้ดียิ่งขึ้น ไม่ว่าจะเป็น ดิน หินฟันม้า (Feldspar) ทราย เป็นต้น

2.3.1 ดิน

ถ้าจะกล่าวกันโดยทั่วไป ดินเกิดจากการแปรสภาพของหิน หรือการสลายตัวโดยการกระทำของน้ำและสภาวะอากาศ (Weathering) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติที่ต่อเนื่องกันตลอดเวลา นอกจากนี้ปฏิกิริยาทางเคมีของสารต่างๆ และพวกพืช สัตว์ สามารถทำลายหินให้กลายเป็นดินได้เช่นเดียวกัน

2.3.1.1 องค์ประกอบที่สำคัญของดิน

ในธรรมชาติดินประกอบไปด้วยแร่ธาตุหลายอย่าง จะมีมากน้อยขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด เป็นหลักสำคัญ

ธรรมชาติของดินบางแหล่งเนื้อดินหยาบ และเนื้อดินบางแหล่งละเอียด ซึ่งมีความแตกต่างกันตามพลังงานที่สลายตัว ซึ่งมีอิทธิทำให้ดินมีความเหนียวมาก เหนียวน้อย ดินที่มีความละเอียดมาก มักจะมีสารซึ่งเรียกว่า โคลลอยดอล (Colloidal) ทำให้ช่วยความเหนียวเพิ่มขึ้น

2.3.1.2 ความเหนียวของดิน (Plasticity)

ตามธรรมชาติดินที่มีความเหนียว เมื่อนำมาผสมกับน้ำอย่างพอเหมาะแล้ว สามารถนำมาปั้นหรือขึ้นรูปทรงได้ตามต้องการ เป็นการแสดงให้เห็นว่าดินมีความเหนียวดี แต่ถ้าดินนั้นไม่สามารถขึ้นรูปทรงได้ตามต้องการ สามารถพิสูจน์ได้เลยว่า ดินนั้นไม่มีความเหนียว

โดยธรรมชาติดินที่มีความเหนียวมาก สังเกตได้โดย เนื้อดินมักละเอียด (Fineness) เมื่อจับจะรู้สึกลื่นมือ แต่เมื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์ต้องระมัดระวังมาก เนื่องจากดินมีความหดตัวสูง ผลิตภัณฑ์จะและเสียหายได้ง่าย

ปกติดินที่มีความเหนียวมักจะเป็นดินประเภทที่เกิดในที่ราบลุ่ม (Secondary Clay) และมีส่วนประกอบของ Carbonaceous Matter และประเภทสารอินทรีย์ (Organic Matter) ปะปนอยู่เป็นอันมาก มักจะทำให้เกิดความเหนียวเพิ่มขึ้น ถ้าพบในรูปของวัตถุดิบแล้ว มักจะเป็นสีดำหรือสีเทาแต่เมื่อนำไปเผาไฟแล้วจะให้สีขาว มีประโยชน์เป็นอันมากในการนำไปเป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นชนิดสีขาว หรือผลิตภัณฑ์ประเภทพอร์ซเลน ความเหนียวของดินนับว่ามีความสำคัญมาก

2.3.1.3 ความแตกต่างของดิน

ดินที่นำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ มีข้อแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับการกำเนิดของดิน มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ อย่างมาก เช่น สีของดิน ความทนไฟ การหดตัว และความเหนียวของดิน ซึ่งแบ่งตามแหล่งกำเนิดเป็น 2 ชนิด คือ

ก. ดินที่เกิดในที่ราบสูง (Primary Clay or Residual Clay) ได้แก่ ดินขาว (Kaolin) เป็นดินที่สลายตัวและอยู่ในแหล่งเดิม เนื้อดินหยาบ ให้สีขาวหรือขาวหม่น ความทนไฟสูง ความเหนียวไม่ดีพอที่จะขึ้นรูปได้ ต้องนำไปผสมกับวัตถุชนิดอื่น

ข. ดินที่เกิดในที่ราบต่ำ (Secondary Clay or Sedimentary Clay) เป็นดินที่เกิดในที่ราบลุ่ม ที่ราบต่ำ ส่วนใหญ่ได้แก่ บอลเคลย์ (Ball Clay) เนื้อดินละเอียด มีความเหนียวดี นิยมนำไปทำเนื้อผลิตภัณฑ์ชนิดพอร์ซเลน พบในธรรมชาติเป็นวัตถุดิบ มักเป็นสีเทา สีเทาดำ แต่เมื่อนำไปเผาไฟแล้วให้สีขาว

2.3.1.4 ดินชนิดต่างๆ (Kinds of Clay)

ก. ดินขาว (Kaolin or China Clay)

ส่วนใหญ่เป็นดินที่เกิดในที่ราบสูง เนื้อดินหยาบ มีความทนไฟสูง (1,800 องศาเซลเซียส) นำมาขึ้นรูปโดยตรงยากแก่การทรงตัว และมีความเหนียวน้อย การนำไปใช้ผลิต

เครื่องปั้นดินเผาต้องนำไปผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่น เป็นดินที่มีการหดตัวน้อย พบในธรรมชาติมีสีขาวหม่น

ประโยชน์ของดินขาว ใช้เป็นวัตถุดิบทำอุตสาหกรรมชนิดอื่นๆ อีก เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสี ประเภทยา อาหารสัตว์ อุตสาหกรรมวัตถุทนไฟ และไฟเบอร์ความร้อน

แหล่งที่พบดินขาวในประเทศไทยมี 2 ประเภท ซึ่งมีความแตกต่างกันในส่วนประกอบทางเคมี

ก.1 ดินขาวที่เกิดจากสารประกอบอะลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminium Silicate) เป็นดินที่เกิดจากการแปรสภาพของหินแกรนิต หรือหินฟันม้า กลายมาเป็นดินขาว มีส่วนประกอบอลูมินา ซิลิกา และน้ำ นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอย่างอื่น ที่เกิดตามธรรมชาติปะปนอยู่ เช่นเหล็ก (Iron Oxide) แคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide) แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide) อัลคาไลน์ (Alkalines) โพแทสเซียมและโซเดียม (Potassium and Sodium) เป็นต้น ดินขาวชนิดนี้เป็นดินขาวที่นิยมนำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ ตลอดจนอุตสาหกรรมต่างๆ

ก.2 ดินขาวที่เกิดจากสารประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate) หรือที่ชาวบ้านเรียกว่าดินสอพอง ดินชนิดนี้เกิดจากการผุพังของหินปูน กลายมาเป็นดินขาว ซึ่งมีส่วนประกอบของแคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide) และสารประกอบอย่างอื่นปะปนอยู่ด้วย

ดินขาวชนิดนี้เมื่อนำมาผสมกับน้ำ สามารถขึ้นรูปทรงได้เช่นกัน แต่เมื่อนำไปเผาจะสลายตัวแตกยุ่ย ไม่สามารถคงรูปได้ ดินขาวชนิดนี้ตรวจสอบได้โดยง่าย โดยใช้กรดอินทรีย์หยดลงไปจะเกิดปฏิกิริยาเดือดฟู่ เห็นได้ชัดเจน จึงไม่มีนิยมนำมาทำผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ข. ดินขาวเหนียว (Ball Clay)

เป็นดินที่พบในที่ราบต่ำ มีลักษณะที่ตรงกันข้ามกับดินขาว (Kaolin) มีร้อยละของเหล็กค่อนข้างสูง สามารถหลอมตัวได้ในอุณหภูมิที่ไม่สูงมากนัก มีความเหนียว เนื้อดินละเอียด มีสารประกอบอย่างอื่นปะปนมาก เมื่ออยู่ในรูปของวัตถุดิบที่ยังชื้นอยู่ สีมักจะเป็นสีเทา สีดำ เผาในอุณหภูมิประมาณ 1,300 องศาเซลเซียส ส่วนมากมีสารคาร์บอนมากเมื่อนำไปเผาแล้วให้สีขาว มีความหดตัวสูง

ค. ดินทนไฟ (Fire clay)

เป็นดินชนิดที่สามารถทนความร้อนได้สูงถึง 1,500 องศาเซลเซียส มีความเหนียวมากเมื่อเป็นวัตถุดิบ อาจพบเป็นสีน้ำตาลอ่อน สีเทา หรือสีเข้ม นิยมนำไปใช้ทำอิฐทนไฟ ใช้ทำส่วนต่างๆ ของเตาเผา เตาถลุง เตาต้มน้ำ มีผู้นิยมนำไปผสมเป็นเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภท สโตนแวร์ ทำหีบทนไฟ (Saggers) ส่วนผสมของอุปกรณ์เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตา ทุ่นทนไฟ

ทำชั้นเตาผสม ทำผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ ทำผลิตภัณฑ์ชนิด Ceramic Sculptive เนื้อดินค่อนข้างหยาบ

ง. ดินเซ็กเกอร์เคลย์ (Sagger Clay)

ส่วนมากเป็นดินที่ใช้ทำหีบป้องกันไม่ให้เปลวไฟไปเผาถูกผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาโดยตรง เพราะจะทำให้ผิวผลิตภัณฑ์เสียหายได้ เป็นดินที่มีความทนไฟสูง และมีความเหนียวดี มีความยืดหยุ่นต่อความร้อนเย็นได้ดี อีกทั้งช่วยลดการแตกร้าวได้ดี สีของดินเมื่อพบในธรรมชาติมักมีสีอ่อน สีเทา สีเทาดำ มีผู้นิยมนำไปผสมผลิตภัณฑ์ชนิดสโตนแวร์ เทอราคอตต้า และผลิตภัณฑ์เอิร์ธเธินแวร์ เช่นกัน

จ. สโตนแวร์เคลย์ (Stoneware Clay)

เป็นดินที่ค่อนข้างเหนียว เผาถึงจุดสุกตัวประมาณ 1,200 – 1,300 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่มีสีเทา เทาเข้ม หรือน้ำตาลเข้ม เป็นดินที่พบในที่ราบต่ำ บางทีก็ถูกเรียกว่าดินทนไฟ (Fire Clay) มีผู้นิยมนำไปทำหีบทนไฟ (Saggers) ทำอิฐ และอิฐทนไฟ สามารถเผาในอุณหภูมิสูง

เป็นดินที่ไม่ต้องนำมาผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่น สามารถขึ้นรูปทรงเองได้เหมาะในการขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนอย่างยิ่ง (Wheel Work) มีผู้นิยมนำมาทำผลิตภัณฑ์ชนิดเคลือบเกลือ (Salt Glaze) และผลิตภัณฑ์ชนิดเคลือบไฟสูง (High Fire Stone Ware)

ฉ. เอิร์ธเธินแวร์เคลย์ (Earthenware Clay)

เป็นดินที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ ส่วนมากมีร้อยละของเหล็กค่อนข้างสูง เผาในอุณหภูมิ 950-1,100 องศาเซลเซียส เมื่อเป็นวัตถุดิบจะมีสีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลแก่ และเทา นิยมใช้ผลิตประเภทอิฐมอญ อิฐโปร่ง ท่อระบายน้ำ กระเบื้องมุงหลังคา โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีความเหนียวมาก ติดเหนียวแน่น ในการนำไปใช้ส่วนมากนิยมผสมกับทราย หรือดินเชื้อ มีสารจำพวกด่างมาก ในประเทศเรานิยมนำมาใช้ผลิตเป็นกระถางต้นไม้ ครกกล้วยไม้ ประเภทหม้อข้าว หม้อแกงในอดีต

ช. วัตถุดิบชนิดอื่นๆ (Other Kind of Clay)

มีมากมายหลายชนิด เช่น ดินผิวโลก (Surface Clay) ซึ่งมีทรายผสมค่อนข้างมาก ความเหนียวน้อย นิยมใช้ทำประเภทอิฐ เช่น

ช.1 ดินปนทราย (Flint Clay) นิยมใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทอิฐทนไฟ มีความแข็งแรงทนทานดี

ช.2 ดินดาน (Shale) เป็นดินที่เกิดจากการทับถมของดินเป็นชั้นๆ ใต้พื้นดินมีความเหนียวไม่มากนัก นิยมนำไปผสมทำผลิตภัณฑ์ประเภทของใหญ่ๆ (Heavy Clay Product) นับว่าได้ผลดีมาก

ช.3 ดินเบนโทไนท์ (Bentonite Clay) เป็นดินที่เกิดจากขี้เถ้าภูเขาไฟ มีความเหนียวมากกว่าดินเหนียวธรรมดา มีการหดตัวมาก ใช้ในส่วนผสมของเนื้อดินปั้นไม่มากนัก ซึ่งในประเทศเรามีแหล่งอยู่ทางภาคเหนือ

ช.4 ดินเทอราคอตต้า (Terra Cotta) หรือบางทีเรียกว่าดินเหนียวธรรมดาทั่วไป เป็นดินที่จัดอยู่ในประเภทเกรดต่ำ เนื้อหยาบ มีความเหนียวพอสมควร นิยมนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทเทอราคอตต้า สิ่งก่อสร้างต่างๆ

ช.5 ดินประเภทที่มีอะลูมินาสูง (High - Alumina) เป็นดินที่เกิดจากแร่บอกไซต์ (Bouxite) หรือไดอะสปอร์ (Diaspore) เป็นดินที่มีแร่อะลูมินาสูง และมีความทนไฟสูง ใช้ทำผลิตภัณฑ์อิฐทนไฟใช้ในเตาหลอมประเภทพวกโลหะต่างๆ (ไพจิตร, 2541)

2.3.2 หินฟันม้า (Feldspar)

หินฟันม้าเป็นสารที่ประกอบอะลูมิโนซิลิเกตของอัลคาไลด์ (Alkaline Alumino Silicate) และอัลคาไลด์เอิร์ธ (Alkaline-Earth Alumino Silicate) โดยเฉพาะสารประกอบของโซเดียม (Sodium; Na), โพแทสเซียม (Potassium; K), แคลเซียม (Calcium; Ca) พบมาก และใช้งานมากในอุตสาหกรรมเซรามิก สารประกอบบริสุทธิ์ของ Na , K และ Ca หาได้ยาก ในแร่หินฟันม้า จะมีทั้ง Na , K และ Ca แต่จะมีอัตราส่วนแตกต่างไป เนื่องจากว่า สารประกอบทั้งสามตัวนี้มีการละลายซึ่งกันและกัน หินฟันม้าใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกเพื่อเป็นตัวเริ่มก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดเนื้อแก้วในเนื้อผลิตภัณฑ์ ดังนั้นหินฟันม้าจึงเป็นตัวส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก้ว และช่วยส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติโปร่งแสงดีขึ้น หินฟันม้าเป็นแหล่งอัลคาไลด์ อะลูมินา และแก้ว ข้อดีที่ทำให้อุตสาหกรรมเซรามิกนำมาใช้ก็ คือหินฟันม้ามีราคาถูก และเป็นสารประกอบอัลคาไลด์ที่ไม่ละลายน้ำ

แร่หินฟันม้าที่พบมากมี 3 ชนิด คือ $K[AL,Si_3]O_8$ เรียกว่าโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (Potash Feldspar ; Orthoclase) $Na[Al,Si_3]O_8$ เรียกโซเดียมเฟลด์สปาร์ (Sodium Feldspar ; Albite) และ $Ca[Al_2,Si_2]O_8$ เรียกแคลเซียมเฟลด์สปาร์ (Calcium Feldspar ; Anorthite) โดยปกติเฟลด์สปาร์จะเริ่มหลอมละลายเล็กน้อย ที่อุณหภูมิประมาณ 1,150 องศาเซลเซียส โพแทสเฟลด์สปาร์หลอมละลายที่อุณหภูมิ 1,220 องศาเซลเซียส โซเดียมเฟลด์สปาร์ หลอมละลายที่อุณหภูมิ 1,170-1,200 องศาเซลเซียส แคลเซียมเฟลด์สปาร์ หลอมที่ 1,550 องศาเซลเซียส และ $Ba[Al_2Si_2]O_8$ เรียกแบเรียมเฟลด์สปาร์ (Barium Feldspar) หลอมที่ 1,715 องศาเซลเซียส

ในประเทศไทยมีแหล่งหินฟันม้าหลายแห่ง เช่น จังหวัดตาก อุทัยธานี นครศรีธรรมราช

2.3.2.1 ส่วนประกอบของหินฟันม้า

หินฟันม้าส่วนใหญ่มีส่วนประกอบคงที่พอสมควร เว้นแต่อัตราส่วนของ Na และ K เท่านั้นที่เปลี่ยนแปลงไป หินฟันม้าที่มีร้อยละ Na สูงใช้ในการผลิตแก้ว และเคลือบ ส่วนหินฟันม้าที่มีร้อยละ K สูงใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้น ส่วนประกอบทางเคมี จะประกอบด้วย K_2 อยู่ระหว่างร้อยละ 3.3 ถึง 13.1 Na_2O อยู่ระหว่างร้อยละ 1.9 ถึง 12.9 Fe อยู่ระหว่างร้อยละ 0.04 ถึง

0.2 หินฟันม้าที่มีร้อยละ Fe ต่ำ เหมาะสำหรับใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความขาว ใช้ในเคลือบที่ไม่ต้องการให้มีสี และใช้ในการผลิตแก้ว

2.3.2.2 สมบัติทางกายภาพ

ก. ความถ่วงจำเพาะ 2.56-2.63

ข. หลอมละลายที่ 1,150-1,532 องศาเซลเซียส

ค. ความแข็ง 6.0-6.5 โมห์สเกล

เฟลด์สปาร์เป็น สารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต หรืออัลคาไลน์เอิร์ธ (ด่าง) ดังนั้น เฟลด์สปาร์จึงมีวัตถุดิบที่เป็นด่าง คือตัวหลอมละลาย มีอะลูมินาเป็นตัวกลาง และมีซิลิกาซึ่งเป็นตัวทนไฟด้วย จึงจัดเป็นวัตถุดิบที่ให้เคลือบได้ตามธรรมชาติ โดยปกติเฟลด์สปาร์จะเริ่ม หลอมละลายเล็กน้อยที่อุณหภูมิประมาณ 1,150 องศาเซลเซียส โพแทสเฟลด์สปาร์หลอมละลายที่อุณหภูมิ 1,220 องศาเซลเซียส โซดาเฟลด์สปาร์ หลอมละลายที่อุณหภูมิ 1,170-1,200 องศาเซลเซียส แคลเซียมเฟลด์สปาร์หลอมที่ 1,550 องศาเซลเซียส และแบเรียมเฟลด์สปาร์หลอมที่ 1,715 องศาเซลเซียส

2.3.2.3 หน้าที่ของเฟลด์สปาร์ในเนื้อดิน

ก. ลดความเหนียวของเนื้อดินก่อนเผา

ข. เป็นตัวประสานให้ผลึกของดินหลอมตัวกันแน่น เนื้อดินหลอมเป็นแก้ว ลดการดูดซึมน้ำ

ค. ลดอุณหภูมิในการเผา

ง. เพิ่มความโปร่งแสงให้ผลิตภัณฑ์ภายหลังการเผา

นอกจากนี้ยังใช้เฟลด์สปาร์ในการเตรียมน้ำเคลือบซึ่งใช้ปริมาณร้อยละ 30-70 ในน้ำเคลือบอุณหภูมิสูงทุกชนิด และใช้เป็นส่วนผสม ในอุตสาหกรรมการผลิตแก้ว ซึ่งใช้ในอัตราส่วนประมาณร้อยละ 30-40 (ทวี, 2523)

2.3.3 กระจก

จำแนกประเภทของกระจกตามกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีแตกต่างกัน ดังนี้

2.3.3.1 กระจกธรรมดา

กระจกธรรมดาหรือส่วนใหญ่มักเรียกตามคำในภาษาอังกฤษว่า “กระจกโฟลท” (Float Glass) เป็นกระจกพื้นฐานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตโดยตรงแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ กระจกใส กระจกใสพิเศษ และกระจกสี ซึ่งมีรายละเอียดและข้อพิจารณาในการนำไปใช้งาน ดังนี้

ก. กระจกใส

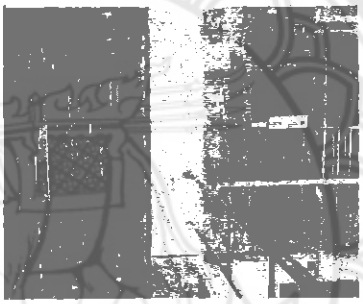
กระจกใส (Clear Glass) คือกระจกที่มีความโปร่งใสมองเห็นได้อย่างชัดเจน และให้ภาพสะท้อนที่สมบูรณ์ไม่บิดเบี้ยว นอกจากนั้นกระจกใสยังเป็นกระจกพื้นฐาน สำหรับนำไปผลิตกระจกพิเศษชนิดต่างๆ เช่น กระจกเทมเปอร์ กระจกลามิเนต กระจกฉนวนกันความร้อน และกระจกเคลือบผิว เป็นต้น ทั้งนี้คุณภาพของกระจกชนิดพิเศษเหล่านี้ ขึ้นอยู่กับคุณภาพของกระจกใสที่นำมาผลิต แสดงดังรูปที่ 2.5

สมบัติ

ก.1 การมองเห็นจากภายนอกเข้ามาภายในอาคารสามารถมองได้เห็นอย่างชัดเจน

ก.2 มีการสะท้อนแสง

ก.3 ผิวกระจกไม่ร้อนเพราะกระจกดูดกลืนความร้อนน้อยมาก



รูปที่ 2.5 การใช้งานกระจกบริเวณทางเข้าอาคาร

ที่มา : ศ.สุนทร (2551)

ข. กระจกใสพิเศษ

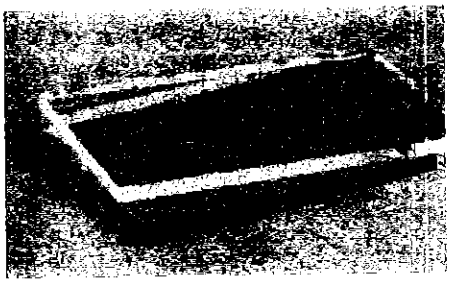
กระจกใสพิเศษ (Extra Clear Glass) คือกระจกใสที่มีโลหะเหล็กผสมอยู่ในกระจกน้อยกว่ากระจกใสทั่วไป จึงทำให้กระจกมีความใสมากกว่ากระจกใสธรรมดาที่มีสีอมเขียวในเนื้อกระจก สังเกตได้ง่ายจากการดูที่สันกระจก ซึ่งกระจกใสธรรมดาสันกระจกจะเห็นเป็นกระจกสีเขียวในขณะที่กระจกพิเศษสันกระจกจะใส แสดงดังรูปที่ 2.6

สมบัติ

ข.1 มีความโปร่งแสงมาก ทำให้เห็นภาพกระจกเหมือนจริงมากกว่ากระจกใสธรรมดา จึงมักจะนำไปทำตู้แสดงสินค้า หรือชิ้นงานแสดงในนิทรรศการต่างๆ

ข.2 ผิวกระจกไม่ร้อน เนื่องจากความใสกว่ากระจกธรรมดาจึงมีการดูดกลืนความร้อนได้น้อยมาก

ข.3 ยอมให้พลังงานแสงอาทิตย์ผ่านได้มากกว่ากระจกใสธรรมดาทั่วไป จึงมักจะนำไปเป็นส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)



รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบสีของสันกระจกใสแบบธรรมดาทั่วไปและกระจกใสพิเศษ
ที่มา : ศ.สุนทร (2551)

ค. กระจกสี

กระจกสี (Tinted Glass) หรืออาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กระจกดูดซับความร้อน (Heat Absorbing Glass) ผลิตขึ้นโดยการผสมออกไซด์ของโลหะ เช่น เหล็ก โคบอลท์ ในขั้นตอนการผลิตกระจก ทำให้กระจกมีสีสันรวมถึงสมบัติในการดูดซับความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมากระทบผิวกระจก และลดปริมาณของแสงที่ผ่านกระจกลง

กระจกสีที่ดี นอกจากให้ความสวยงามด้านสีสันและมีความสดใสของเนื้อกระจกที่มีความบริสุทธิ์แล้ว จะต้องมีคุณสมบัติในการลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้ผ่านเข้ามาภายในอาคารน้อยที่สุด ซึ่งสมบัติที่ดี จะต้องยอมให้แสงสว่างผ่านได้มาก และยอมให้ความร้อนผ่านได้น้อย

สมบัติ

ค.1 เมื่อแสงอาทิตย์ส่องกระทบกระจกสี กระจกจะดูดกลืนพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ และทำให้ความร้อนที่ผิวกระจกสูงขึ้น

ค.2 สามารถลดพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่องกระทบกระจกได้มากกว่ากระจกใส ขึ้นอยู่กับสีและความหนาของกระจก

ค.3 ช่วยลดความสว่างจ้าที่ส่องผ่านกระจก ทำให้ได้แสงสว่างที่นุ่มนวล เกิดความสบายตาในการมอง และไม่มีผลทำให้การมองเห็นวัตถุที่อยู่ด้านหลังกระจกรูปร่างผิดไปจากเดิม

2.3.3.2 กระจกอบความร้อน

กระจกอบความร้อน (Heat Treated Glass) คือการนำกระใส หรือกระจกสีไปผ่านกระบวนการปรับแต่งคุณภาพของผิวกระจก ทำให้มีความแข็งแกร่งมากขึ้น เพื่อรับแรงกระทำต่อกระจกได้มากขึ้น แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือกระจกเทมเปอร์ และกระจกฮีตสเตรงค์เทน

ก. กระจกเทมเปอร์

กระจกเทมเปอร์ (Tempered Glass) เป็นการนำกระจกโฟลทไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนกับกระจกที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัว (Softening Point) ของกระจกเล็กน้อยประมาณ 650-700 องศาเซลเซียส และทำให้ผิวกระจกเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว โดยการ

ใช้ลมเย็นเป่า การเย็นตัวอย่างรวดเร็วของผิวกระจกขณะที่ชั้นกลางแผ่นกระจกยังคงร้อนอยู่นี้ ทำให้กระจกสร้างชั้น Compressive Stress ที่ชั้นผิวนอกของแผ่นกระจกทั้ง 2 ด้าน โดยส่วนกลางของกระจกจะเกิดชั้น Tensile Stress ขึ้น เหมือนลักษณะแซนวิช และชั้นนี้จะช่วยต้านแรงแตกหักงอจากแรงกระทำภายนอกได้ดี ทำให้แผ่นกระจกที่ผ่านกระบวนการเทมเปอร์แล้วมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นประมาณ 3-5 เท่า แสดงดังรูปที่ 2.7

สมบัติ

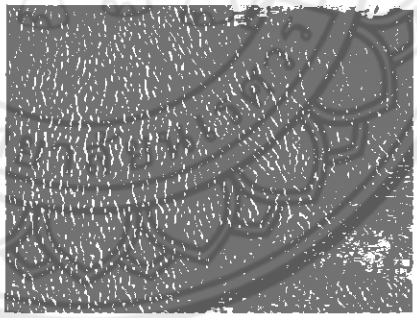
ก.1 มีความแข็งแรงต่อแรงดึงและแรงที่ทำให้หักงอ (Bending Strength) สูง เมื่อเทียบกับกระจกธรรมดา

ก.2 มีความทนต่อแรงที่มากระทบกระจก ซึ่งเกิดจากแรงลม แรงกดดันของร่างกายมนุษย์หรือแรงดันของน้ำ

ก.3 ความทนต่อแรงที่วัตถุกระแทกลงบนกระจก หรือการกระแทกของร่างกายมนุษย์

ก.4 ความปลอดภัยในการใช้งาน เนื่องจากการแตกหักของกระจกเทมเปอร์จะแตกออกเป็นเม็ดเล็กๆ ทำให้ลดอันตรายที่จะเกิดจากการโดนกระจกบาดได้

ก.5 ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างทันทีทันใด (Thermal Breakage) กระจกเทมเปอร์มีความสามารถในการทนต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทันทีที่ความแตกต่างของอุณหภูมิสูงถึง 170 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.7 ลักษณะการแตกของกระจกนิรภัยเทมเปอร์

ที่มา : ศ.สุนทร (2551)

ข. กระจกฮีตสเตรงค์เทน

กระจกฮีทสเตรงค์เทน (Heat Strengthen Glass) เป็นกระจกที่ได้จากกระบวนการผลิตคล้ายกับกระจกเทมเปอร์ คือให้ความร้อนกับกระจกที่ประมาณ 600-650 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้กระจกเย็นตัวลงอย่างช้าๆ จึงทำให้กระจกฮีตสเตงค์เทนมีความแข็งแรงน้อยกว่ากระจกเทมเปอร์แต่จะไม่มีปัญหาเรื่องความอ่อนไหวต่อการรับแรงที่เป็นจุดในการใช้งาน ลักษณะการแตกของกระจกฮีตสเตรงค์เทน จะมีความคมคล้ายกระจกธรรมดา จึงต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดใน

เรื่องความแข็งแรง และความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริงระหว่างกระจกฮีตสเตรงค์เทนและกระจกเทมเปอร์อย่างรอบคอบ แสดงดังรูปที่ 2.8

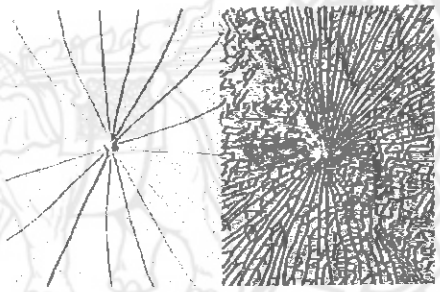
สมบัติ

ข.1 กระจกฮีตเตงค์เทนจัดเป็นกระจกกึ่งนิรภัย เพราะมีสมบัติพิเศษคือมีความแข็งแกร่งกว่ากระจกธรรมดาประมาณ 2 เท่า ทำให้สามารถรับแรงลมได้ดีกว่ากระจกธรรมดาที่มีความหนาเท่ากัน จึงสามารถนำไปใช้กับอาคารที่มีความสูงหลายชั้นได้

ข.2 ทนต่อการแตกของกระจกเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากถึง 70 องศาเซลเซียส

ข.3 ลักษณะการแตกของกระจกชนิดนี้ จะแตกเป็นแผ่นเหมือนกระจกธรรมดาจนถึงแตกเป็นเม็ดข้าวโพดขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้ที่อยู่ใกล้ได้

ข.4 กระจกฮีตสเตงค์เทนไม่ใช่กระจกนิรภัย จึงควรพิจารณาเลือกใช้กระจกประเภทนี้ให้ถูกต้อง



รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบลักษณะการแตกของกระจกเทมเปอร์และกระจกฮีตสเตรงค์

ที่มา : ศ.สุนทร (2551)

2.3.3.3 กระจกเคลือบผิว

กระจกเคลือบผิว (Sulface Coated Glass) คือการนำกระจกใสหรือกระจกสีผ่านกระบวนการเคลือบโลหะลงบนผิวกระจกเพื่อลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานสถาปัตยกรรมเพื่อการประหยัดพลังงาน และงานอุตสาหกรรมตู้แช่เย็นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันวิธีการเคลือบโลหะลงบนผิวกระจกสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การเคลือบแบบไอทางเคมี และการเคลือบแบบสูญญากาศ โดยแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

การเคลือบแบบไอทางเคมี

การเคลือบแบบไอทางเคมี (Chemical Vapor Deposition; CVD) กรรมวิธีนี้กระจกจะถูกเคลือบในขณะที่ยังอยู่ในลักษณะที่อ่อนตัวอยู่ ออกไซด์ของโลหะจะถูกเคลือบลงบนผิวของกระจก โดยโลหะจะแทรกซึมผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกับกระจก ด้วยกรรมวิธีนี้ จึงทำให้ออกไซด์ของโลหะเคลือบลงบนผิวกระจกมีความแข็งแรงทนทานต่อการขูดขีด มีอายุการใช้งานนานกว่า

กรรมวิธีการเคลือบแบบสูญญากาศ กระจกที่เคลือบด้วยวิธีนี้สามารถนำไปแปรรูปเป็นกระจกเทมเปอร์ กระจกลามิเนต กระจกฮีตสเตรงค์เทน หรือนำไปดัดโค้งได้

การเคลือบแบบสูญญากาศ

การเคลือบแบบสูญญากาศ (Vacuum Deposition) กระบวนนี้ทำได้โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าลงบนแท่งประจุลบในห้องสูญญากาศที่บรรจุด้วยก๊าซอาร์กอนหรือก๊าซชนิดอื่นๆ ความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้าทำให้อิเล็คตรอนปะทะกับโมเลกุลของก๊าซ โมเลกุลของก๊าซจะเปลี่ยนสภาพเป็นประจุบวกและวิ่งตรงไปชนกับแท่งโลหะ ทำให้อะตอมของแท่นโลหะถูกปล่อยไปเคลือบผิวกระจก การเคลือบด้วยกรรมวิธีนี้สารที่เคลือบจะไม่มีความทนทานต่อการถูกขูดขีด และมีโอกาสเกิดสนิมได้ง่าย นอกจากนี้ยังเสื่อมสภาพเร็วไม่คงทนต่อการใช้งาน และที่สำคัญ จะไม่สามารถนำไปแปรรูปเป็นกระจกเทมเปอร์ หรือกระจกฮีตสเตรงค์เทนได้ เนื่องจาก ความร้อนในกระบวนการเทมเปอร์หรือฮีตสเตรงค์เทนจะทำลายโลหะที่เคลือบ จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการอบความร้อนให้กระจกก่อนทำการเคลือบโลหะ

ก. กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์

กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์หรือเรียกกันทั่วไปว่ากระจกสะท้อนแสง (Solar Reflective Glass) เป็นกระจกที่ผ่านกระบวนการเคลือบโลหะลงบนผิวกระจกเพื่อเพิ่มสมบัติในการสะท้อนแสง ทำให้สามารถสะท้อนพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้มากขึ้น กระจกประเภทนี้มีค่าการสะท้อนแสงค่อนข้างสูงทำให้ความโปร่งใสน้อยลง สีของกระจกมีหลากหลายสีให้เลือกแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับรูปแบบการเคลือบและสีของกระจกที่เป็นวัตถุดิบที่นำมาเคลือบ กระจกสะท้อนแสงสามารถนำมาแปรรูปหรือผ่านกระบวนการผลิตเป็นกระจกฮีตสเตรงค์เทน กระจกเทมเปอร์ กระจกลามิเนต กระจกฉนวนกันความร้อน หรือกระจกดัดโค้งได้ แสดงดังรูปที่ 2.9

สมบัติ

ก.1 ลดพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านเข้ามาภายในอาคาร ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องปรับอากาศทำความเย็น

ก.2 ช่วยลดแสงที่แรงจ้าให้นุ่มนวลลง ทำให้เกิดความสบายตาในการมอง

ก.3 สร้างความเป็นส่วนตัวให้แก่คนภายในอาคาร เนื่องจากคนภายนอกมองทะลุเข้ามาในตัวอาคารได้ยากในเวลากลางวัน

รูปที่ 2.9 อาคารสำนักงานใหญ่การบินไทยที่ใช้กระจกสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์
ที่มา : ศ.สุนทร (2551)

ข. กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ (Emissivity)

เป็นสมบัติจำเพาะของผิววัตถุใดๆ ที่บ่งบอกความสามารถในการสะท้อนความร้อนที่ตกกระทบบนผิววัตถุนั้นๆ หรือความสามารถในการแผ่รังสี (Radiate) ความร้อนออกจากผิววัตถุนั้นๆ ดังนั้นกระจกที่เคลือบด้วยสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำมาก จึงหมายความว่ากระจกนั้นมีความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวกระจกนั้นน้อยมาก ด้วยเหตุนี้จึงเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นกระจกฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคาร และผนังตู้แช่เย็นต่างๆ เป็นต้น

กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำจะสะท้อนคลื่นความร้อน (Long Wave Radiation) ได้มาก ในขณะที่ยอมให้แสงสว่างผ่านกระจกได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับกระจกใส และมีค่าการสะท้อนแสงน้อย กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำนิยมใช้ในประเทศที่มีอากาศหนาว เนื่องจากอุณหภูมิภายนอกอาคารต่ำมาก กระจกนี้จะทำหน้าที่กักเก็บความร้อนจากเครื่องทำความร้อนไว้ภายในอาคารได้ดี และยังทำหน้าที่กักเก็บ ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกไว้ในอาคารได้ดีอีกด้วย

สมบัติ

ข.1 ป้องกันการนำความร้อนผ่านกระจกได้ดี

ข.2 ยอมให้แสงธรรมชาติผ่านกระจกได้มากกว่ากระจกสะท้อนแสงและกระจกสี

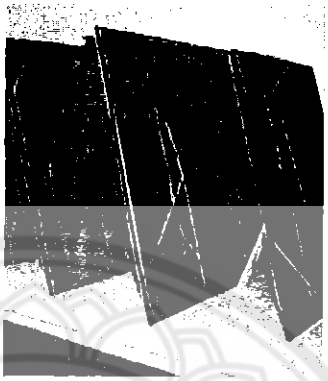
ข.3 สามารถนำไปทำเป็นกระจกฉนวนกันความร้อน และเพิ่มคุณสมบัติความเป็นฉนวนของกระจกด้วยการบรรจุก๊าซเฉื่อย ในช่องว่างระหว่างกระจก

ค. กระจกเงา

กระจกเงา (Mirror) ที่ดีควรผลิตจากกระจกโฟลทใสหรือกระจกโฟลทสีที่มีคุณภาพสูง จึงจะให้ภาพที่แจ่มชัดเหมือนจริงไม่บิดเบี้ยวหลอกตา ในปัจจุบันมีกรรมวิธีการผลิต 2 แบบ ได้แก่

ค.1 กระจกเงาหลังเขียว

กระจกเงาที่ด้านหลังเป็นสีเขียว จะมีส่วนผสมของทองแดง โดยผ่านกรรมวิธีเคลือบเงาด้วยเครื่องจักร 4 ขั้นตอน คือ การเคลือบวัสดุเงิน การเคลือบวัสดุทองแดงที่บริสุทธิ์ การเคลือบสีอย่างดีชั้นแรก และการเคลือบสีอย่างดีชั้นที่สอง แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะของกระจกเงาหลังเขียว

ที่มา : www.scgexperience.co.th

ค.2 กระจกเงาหลังน้ำเงิน

กระจกเงาหลังน้ำเงินไม่มีส่วนผสมของทองแดง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีทันสมัยที่สุดในปัจจุบัน มีความคงทนกว่ากระจกเงาทั่วไปถึง 10 เท่า

สมบัติ

กระจกเงาเหมาะสำหรับแก่การตกแต่งภายใน โดยเฉพาะกระจกเงาใสซึ่งจะให้บรรยากาศภายในห้องกว้างและสว่างมากขึ้น ส่วนกระจกเงาสีอื่นๆ เช่น สีชา สีบรอนซ์ และสีฟ้า จะช่วยเพิ่มบรรยากาศแห่งสีสันมากขึ้น หลังจากนั้นกระจกเงายังช่วยเพิ่มพื้นที่ทางสายตา และลดความอึดอัดจากความคับแคบของห้องได้ แสดงดังรูปที่ 2.11

รูปที่ 2.11 ลักษณะของกระจกเงาหลังน้ำเงิน

ที่มา : www.topcoatingandbozz.com

2.3.3.4 กระจกดัดแปลง

คำว่า กระจกดัดแปลง (Processed Glass) ในที่นี้หมายถึง การนำกระจกประเภทต่างๆ มาดัดแปลง หรือปรุงแต่งด้วยกระบวนการหรือผ่านขั้นตอนต่างๆ เพื่อให้ได้กระจกที่มีคุณสมบัติตามความต้องการและเพื่อตอบสนองการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ตัวอย่างของกระจกดัดแปลงที่รู้จักกันทั่วไป ได้แก่ กระจกฉนวนกันความร้อน และกระจกลามิเนต

ก. กระจกฉนวนกันความร้อน

กระจกฉนวนกันความร้อน (Insulated Glass) คือการนำกระจกตั้งแต่สองแผ่นขึ้นไป มาประกอบการวางขนานกันโดยมีอะลูมินัมโปรไฟล์ (Aluminum Profile) ที่ใส่สารดูดความชื้นกั้นระหว่างกระจกทั้งสองแผ่น โดยสารดูดความชื้นนี้จะทำหน้าที่ดูดความชื้นในช่องว่างระหว่างกระจกทั้งสองแผ่นให้แห้งตลอดเวลา จึงเรียกอากาศในช่องว่างระหว่าง**กระจกทั้งสองแผ่นว่า**"อากาศแห้ง" **ทำให้ได้กระจกฉนวนกันความร้อนที่มีคุณสมบัติในการสกัดกั้น**การถ่ายเทความร้อนที่**เกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของกระจก

จากการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น **จะไม่มีผลกระทบต่อ**ความสามารถในการเป็นฉนวน แต่ในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาฟาร์**เรนไฮต์ (°F) จะมีผล**ทำให้สารดูดความชื้นไม่สามารถทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์ มีผลทำให้เกิดฝ้า **หรือแนวน้ำภายในช่อง**อากาศแห้ง ดังนั้น ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาถึงสภาพอากาศ ซึ่งจะมีผลต่อ**ความสามารถในการดูด**ความชื้นของสารดูดความชื้นในกระจกกันฉนวนกันความร้อนให้เหมาะสมด้วย

กระจกฉนวนกันความร้อนที่ผลิตขึ้นในประเทศใน**ปัจจุบันมี 2 ชนิด คือ**กระจกฮีตมิเตอร์ และกระจกฮีตสต็อป (ชื่อกระจกทั้งสองชนิดเป็นชื่อทางการค้า**ของบริษัทผู้ผลิต) ซึ่ง**มีข้อมูลโดยสังเขป ดังนี้

ก.1 กระจกฮีตมิเรอร์

ลักษณะของกระจกฮีตมิเรอร์ (Heat Mirror) **เป็นระบบของ**กระจกสองชั้น ที่เคลือบสารที่สภาพการแผ่รังสีต่ำทั้ง 2 ด้านของฟิล์มที่อยู่ระหว่าง**ช่องว่างอากาศ** โดยที่ช่องว่างอากาศสะท้อนรังสี (Reflective Air Space) ซึ่งจะทำให้ค่าการถ่าย**เทความร้อนรวมของกระจกชนิดนี้อาจมีค่าต่ำ โดยสมบัติที่สำคัญของกระจกฮีตมิเรอร์ คือสามารถสะท้อนความร้อนออกไปจากกระจกได้ถึงร้อยละ 80 หรือยอมให้ความร้อนส่งผ่านเข้ามาเพียงร้อยละ 10 ที่เหลือร้อยละ 10 จะถูกดูดกลืนเข้าไปในกระจก ทำให้ความร้อนภายในอาคารมีน้อยมาก และผิวกระจกก็จะไม่ร้อน ส่งผลให้ขณะที่เรายืนใกล้กระจกจะไม่รู้สึกร้อน ซึ่งเป็นผลจากอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ และกระจกฮีตมิเรอร์ยังยอมให้แสงสว่างเข้ามามากถึงร้อยละ 50 ทำให้ความสามารถช่วยการประหยัดไฟฟ้า ในการใช้ระบบแสงสว่างช่วงเวลากลางวันในบริเวณนั้นได้ อีกทั้งป้องกันรังสีอัลตร้าไวโอเลตเข้าสู่ภายในอาคารได้ดี โดยสามารถสะท้อนรังสีได้มากถึงร้อยละ 98 และยอมให้มีการส่งผ่านเข้ามาเพียงร้อยละ 2**

ก.2 กระจกฮีตสต็อป

กระจกฮีตสต็อป (Heat Stop) เป็นกระจกที่ผลิตขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาการบำรุงรักษายากของกระจกฮีตมิเตอร์ อีกทั้งสามารถป้องกันคลื่นยาวและคลื่นสั้นได้ดีกว่า กระจกฮีตสต็อปมีลักษณะเป็นกระจกสองชั้นประกอบขึ้นด้วยกระจกสีที่เคลือบด้วยสารที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำบนผิวกระจกด้านนอกและกระจกด้านในเป็นกระจกใส สารที่เคลือบนั้นสามารถป้องกันรังสีอินฟราเรดให้ผ่านเข้ามาเพียงร้อยละ 5 ช่องว่างตรงกลางใส่ก๊าซอาร์กอนซึ่งเป็นก๊าซเฉื่อยมีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำมาก ทำให้กระจกชนิดนี้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมต่ำด้วย ในขณะเดียวกันแสงสามารถผ่านกระจกชนิดนี้เข้ามามาก ทำให้สัดส่วนของปริมาณแสงที่ผ่านเข้ามาในอาคารต่อค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดสูงกว่า 130 โดยคุณสมบัติที่สำคัญของกระจกฮีตสต็อป คือสามารถสะท้อนความร้อนออกจากไปจากกระจกได้มาก ลดภาระในการทำความเย็นภายในอาคารได้มาก ยอมให้แสงสว่างเข้ามามากเพียงพอต่อการใช้งานทำให้สามารถช่วยการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการส่องสว่างช่วงเวลากลางวันลงได้มาก สามารถช่วยป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตเข้าสู่ภายในอาคารได้ดี โดยสามารถสะท้อนรังสีได้มากถึงร้อยละ 95 สามารถช่วยในเรื่องของการกรองแสงธรรมชาติที่ผ่านเข้ามาภายในอาคารให้นุ่มนวลขึ้น ทำให้ผู้ใช้อาคารสบายตา อีกทั้งยังป้องกันอันตรายที่เกิดจากบาดของกระจกด้วยสมบัติของกระจกนิรภัย และกันเสียงรบกวนจากภายนอกได้ดี

ข. กระจกลามิเนต

กระจกลามิเนต (Laminated Glass) เป็นกระจกที่ผลิตขึ้นด้วยวัตถุประสงค์เพื่อให้ความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ ด้วยการนำกระจกตั้งแต่ 2 แผ่นขึ้นไปมาอัดติดกัน โดยมีแผ่นฟิล์ม PVB ที่เหนียวและแข็งแรง ซ้อนอยู่ระหว่างกลาง ทำหน้าที่ยึดกระจก 2 แผ่นให้ติดกัน เมื่อกระจกชนิดนี้ถูกกระแทกจนแตก แผ่นพีวีบีจะทำหน้าที่ช่วยยึดไม่ให้เศษกระจกหลุดออกมาทำให้อันตรายต่อผู้ที่อยู่ใกล้ลักษณะการแตกจะมีรอยแตก กระจกลามิเนตจัดเป็นกระจกนิรภัยที่ให้ความปลอดภัยสูง นิยมใช้เป็นกระจกบังลมของรถยนต์ขนาดใหญ่

สมบัติ

ข.1 กระจกลามิเนตช่วยลดโอกาสการบาดเจ็บและความรุนแรงจากกระจกบาดได้

ข.2 สามารถหน่วงเหนี่ยวการบุกรุก เพราะกระจกลามิเนตมีคุณสมบัติป้องกันการมะลุทะลวงได้

ข.3 ช่วยลดเสียงรบกวนจากภายนอก และยังสามารถลดการก้องเสียงได้ดี

ข.4 ช่วยในการประหยัดพลังงาน โดยเฉพาะเมื่อนำกระจกประหยัดพลังงานและฟิล์มที่มีสมบัติในการประหยัดพลังงานมาลามิเนต จะสามารถลดความร้อนจากแสงแดดที่จะผ่านเข้ามาภายในอาคาร ทำให้ประหยัดพลังงานในการทำความเย็นให้อาคารลงได้มาก

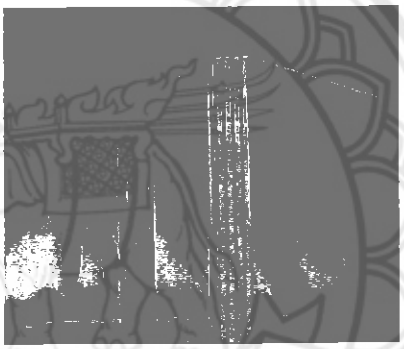
ข.5 สามารถกรองรังอัลตราไวโอเลตได้มากกว่าร้อยละ 95

2.3.3.5 กระจกที่ผลิตขึ้นมาเพื่อการใช้งานพิเศษ

นอกจากกระจก 4 ประเภทข้างต้นดังที่กล่าวมาแล้ว ยังมีการผลิตกระจกชนิดอื่นๆ อีกมากมายเพื่อวัตถุประสงค์ในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น

ก. กระจกกันไฟ

กระจกกันไฟคือ กระจกที่มีคุณสมบัติกันเปลวไฟ กันควันไฟ และกันความร้อนที่เกิดจากเพลิงไหม้ กระจกกันไฟที่นิยมใช้ทั่วไป ประกอบด้วยแผ่นกระจกคุณภาพดีความหนา 2 มิลลิเมตร (mm.) ประกบกันหลายชั้น โดยที่ระหว่างชั้นกระจกลามิเนตด้วยสารโซเดียมซิลิเกต ซึ่งในขณะเกิดเพลิงไหม้อุณหภูมิในอาคารจะเพิ่มขึ้นรวดเร็วภายใน 15-30 นาที และอุณหภูมิสูงถึง 900 องศาเซลเซียส กระจกกันไฟสามารถป้องกันความร้อนระดับนี้ได้นานถึง 2 ชั่วโมง และในขณะเดียวกันสามารถป้องกันเปลวไฟและควันไฟที่เกิดจากเพลิงไหม้ไม่ให้เข้าสู่ภายในห้อง แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 กระจกกันไฟ

ที่มา : www.siamsafety.com

ข. กระจกลวดลาย

กระจกลวดลาย (Pattern Glass) ผลิตโดยผ่านกระจกที่ยังอ่อนตัวเข้าไปสู่แถวของลูกกลิ้ง เพื่อให้ได้ความหนาที่ต้องการ และพิมพ์ลวดลายซึ่งติดกับลูกกลิ้งลงบนผิวด้านใดด้านหนึ่งของกระจก หรือทั้งสองด้านขณะที่กระจกกำลังจะแข็งตัว ลวดลายที่ถูกพิมพ์ลงบนกระจกจะช่วยในการควบคุมปริมาณแสง และให้ภาพที่มีความต่อเนื่องสวยงามแปลกตา เหมาะสำหรับการตกแต่ง โดยมีสมบัติ คือกระจกลวดลายมีคุณสมบัติโปร่งแสง แต่ไม่โปร่งใสเหมือนกับกระจกใส จึงทำให้เกิดภาพและแสงที่นุ่มนวลกระจกลวดลายยังมีสมบัติให้แสงผ่านทะลุได้พอๆ กับกระจกใส แสดงดังรูปที่ 2.13

รูปที่ 2.13 กระจกลวดลาย

ที่มา : www.easternglass.co.th

ค. กระจกตัดเงา

กระจกตัดเงา (Anti Reflective Glass) หรือกระจกลดแสงสะท้อน ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดเงาสะท้อนบนผิวกระจก ทำให้สามารถมองเห็นวัตถุและสิ่งของได้อย่างชัดเจน และยังช่วยลดความอ่อนล้าต่อการใช้สายตาจากการต้องเพ่งมองวัตถุผ่านกระจกได้เป็นอย่างดี เทคโนโลยีในการเคลือบสารลดเงาบนผิวกระจกเป็นแบบฮาดโคทติ้ง (Hard Coating) ทำให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานและง่ายต่อการดูแลรักษา สามารถใช้งานได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร แสดงดังรูปที่ 2.14

สมบัติ

ค.1 การมองเห็นจากภายนอกเข้ามาภายในอาคาร สามารถมองได้เห็นอย่างชัดเจน

ค.2 ยอมให้แสงสว่างผ่านตัวกระจกได้มากกว่ากระจกใส

ค.3 มีค่าการสะท้อนแสงที่ต่ำ จึงมองเห็นภาพหรือสิ่งของได้ชัดเจน

ค.4 สามารถนำมาแปรรูปเป็นกระจกเทมเปอร์ กระจกลามิเนต และกระจกฉนวนกันความร้อนได้

รูปที่ 2.14 กระจกลดการสะท้อนแสงให้เหมาะสำหรับการแสดงสินค้า

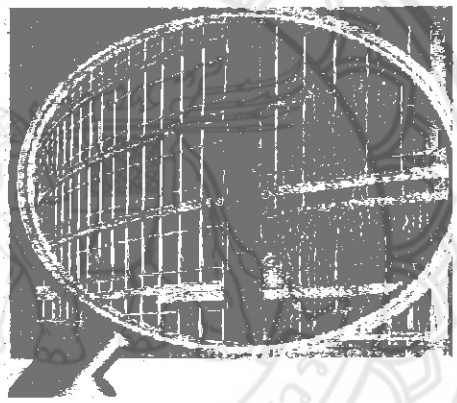
ที่มา : ศ.สุนทร (2551)

ง. กระจกทำความสะอาดเอง

กระจกทำความสะอาดเอง (Self Cleanibg Glass) เป็นกระจกที่ได้พัฒนาขึ้นจนมาสารถทำความสะอาดตนเองได้ โดยอาศัยรังสีอัลตร้าไวโอเลต ซึ่งเป็นพลังงานจากแสงอาทิตย์ ไปลดขนาดโมเลกุลของสิ่งสกปรกประเภทสารอินทรีย์ และใช้น้ำชะล้างสิ่งสกปรกออกไป แสดงดังรูปที่ 2.15 โดยมีกระบวนการทำความสะอาด 2 ขั้นตอนหลักคือ

ง.1 กระบวนการทำความสะอาดผิวกระจกโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยอาศัยรังสีอัลตราไวโอเลตช่วยในการทำให้ฝุ่นละอองและคราบสกปรกที่เกิดจากสารอินทรีย์ซึ่งติดอยู่บนผิวกระจกให้มีขนาดเล็กลงและหลุดออกไป

ง.2 กระบวนการทำความสะอาดด้วยน้ำ ซึ่งช่วยชะล้างสิ่งสกปรกที่เกิดจากกระบวนการข้างต้นหลุดออกไปได้ง่าย และสารที่เคลือบบนผิวกระจกจะทำให้ผิวกระจกแห้งเร็วขึ้น และแทบไม่เหลือคราบน้ำบนผิวกระจก



รูปที่ 2.15 การเปรียบเทียบความแตกต่างบนผิวกระจกทำความสะอาดตัวเองและกระจกทั่วไป
ที่มา : ศ.สุนทร (2551)

จ. กระจกเสริมลวด (Wired Fire Resistance Glass)

โดยสามารถแบ่งประเภทกระจกเสริมลวดกันไฟ ได้ดังนี้

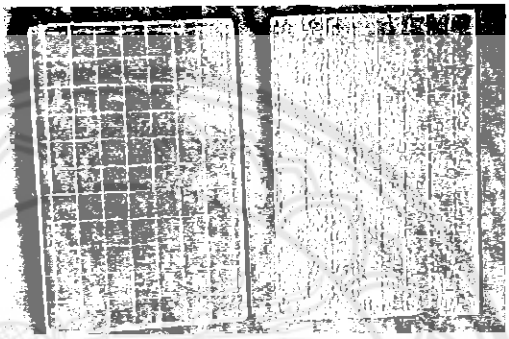
จ.1 กระจกเสริมลวดกันไฟ

ผลิตโดยการใส่แผงตาข่ายลวดทนไฟลงในกระจกขณะที่กระจกอ่อนตัว เพื่อเป็นการเพิ่มสมบัติไม่ให้กระจกแตกร่วงขณะเกิดเพลิงไหม้ ป้องกันไม่ให้ควันไฟทะลุผ่านกระจกจนเป็นเหตุให้เกิดการสำลักควันไฟจนเสียชีวิตได้ มักนำมาใช้สำหรับบริเวณที่ต้องการความแข็งแรงทนทานเป็นพิเศษ ใช้เป็นกระจกป้องกันการโจรกรรมหรือกระจกกันไฟ

กระจกเสริมลวดกันไฟไม่สามารถป้องกันความร้อนที่เกิดจากเพลิงไฟม้ได้ ในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ อุณหภูมิจะสูงถึง 900 องศาเซลเซียส ดังนั้นการใช้กระจกเสริมลวดกันไฟจึงไม่ควรใช้ในพื้นที่ที่กว้างเพื่อลดการแผ่ความร้อนผ่านกระจก

จ.2 กระจกเสริมลวดไม่กันไฟ

ปัจจุบันยังมีใช้กันอยู่ เมื่อเกิดอุบัติเหตุกระจกจะแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ มีความคม ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ที่อยู่อาศัยได้โดยเฉพาะหากใช้ในส่วนของช่องแสงด้านบนกระจกเสริมลวด จึงไม่เหมาะสมสำหรับใช้ภายในอาคาร โดยคุณสมบัติที่สำคัญของกระจกเสริมลวดไม่กันไฟ คือมีความแข็งแรง และทนทานเป็นพิเศษ จึงมักใช้เป็นกระจกป้องกันการโจรกรรม หากเกิดการแตกออกจะเป็นชิ้นเล็กๆ มีความคม ในกรณีที่เป็นกระจกเสริมลวดทั่วไป และหากกรณีที่ใช้กระจกเสริมลวดกันไฟสามารถใช้เป็นกระจกนิรภัยได้ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.16 (ศ.สุนทร, 2551)



รูปที่ 2.16 กระจกเสริมลวด

ที่มา : ศ.สุนทร (2551)

2.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก

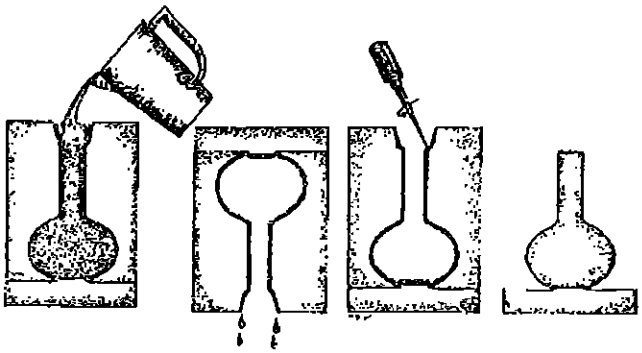
การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก มีวิธีการแตกต่างกันหลายวิธี ขึ้นอยู่กับชนิดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงคุณภาพและสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิต การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ใช้ในชีวิตประจำวันในโรงงานอุตสาหกรรมอาจแบ่งได้ 4 วิธี ดังนี้

2.4.1 การขึ้นรูปโดยการหล่อแบบ (Slip Casting)

น้ำเนื้อดินปั้นทุกชนิดที่ใช้สำหรับขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อแบบมีสมบัติไหลตัวได้ดี มีปริมาณร้อยละของแข็งสูงกระจายลอยตัวอยู่ในของเหลวปกติแล้วใช้น้ำ โดยมีสารเคมีเป็นตัวช่วยทำให้เกิดการกระจายลอยตัวได้ดี การหล่อแบบเป็นวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการเทน้ำเนื้อดินปั้นลงไปในแบบซึ่งเป็นรูปร่างของผลิตภัณฑ์ตามต้องการ ความหนาของผลิตภัณฑ์จะค่อยๆ ก่อตัวขึ้น เมื่อแบบที่ใช้เริ่มดูดของเหลวเข้าสู่เนื้อแบบ เนื้อผลิตภัณฑ์เริ่มด้วยมีความเหนียวเกาะกันและเริ่มแข็งขึ้นเรื่อยๆ หลังจากปล่อยให้แห้งแกะออกจากแบบอบให้แห้งสนิทแล้วจึงนำไปเผาเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จ

2.4.1.1 กระบวนการหล่อแบบมี 2 วิธี

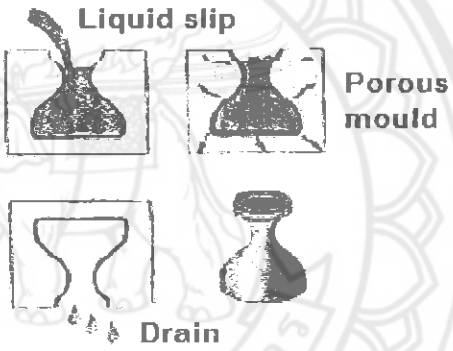
ก. การหล่อแบบโดยให้น้ำดินแข็งตัวอยู่ในแบบเลย เรียก Solid Casting ซึ่งเหมาะกับการหล่อแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาและมีรูปร่างซับซ้อน แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การหล่อชนิด Solid Cast

ที่มา : www.greenstone.org

ข. การหล่อแบบโดยมีการปล่อยน้ำดินที่เหลือทิ้ง เรียก Drain Casting ซึ่งเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผนังบาง และต้องการความหนาสม่ำเสมอ แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การหล่อแบบชนิด Drain Cast

ที่มา : www.dc168.4shared.com

2.4.2 การขึ้นรูปโดยอาศัยความเหนียว

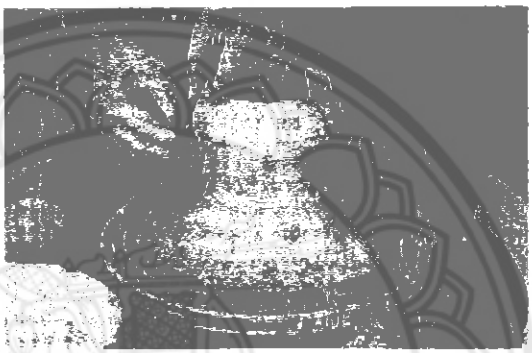
ความเหนียวของดินหรือเนื้อดินปั้นอาจเปรียบเทียบกันได้โดยการทดลองหาความต้านทานต่อแรงอัด หรือหาในรูปของความต้านทานต่อแรงดึงก็ได้

2.4.2.1 การขึ้นรูปโดยอาศัยแป้นหมุน (Throwing)

ก. การขึ้นรูปโดยวิธีนี้ต้องอาศัยความชำนาญเป็นพิเศษ วิธีนี้ใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ง่ายๆ เช่น แจกัน และผลิตภัณฑ์ฉนวนไฟฟ้าแรงสูงบางแบบ แสดงดังรูปที่ 2.19 และ 2.20

รูปที่ 2.19 การวางเนื้อดินปั้นที่จุดศูนย์กลางแป้นหมุน

ที่มา : ปรีดา (2547)

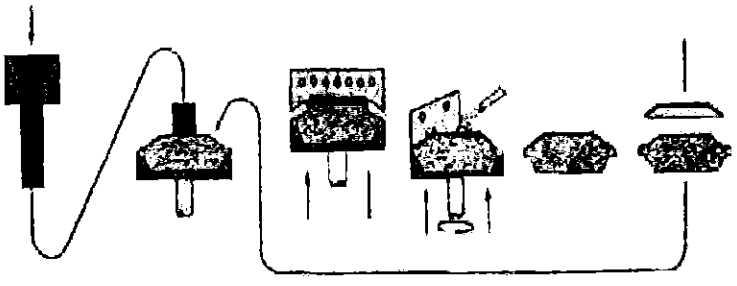


รูปที่ 2.20 ช่างปั้นใช้ความสามารถดึงเนื้อดินให้ได้รูปทรงตามต้องการ

ที่มา : ปรีดา (2547)

2.4.2.2 การขึ้นรูปโดยอาศัยเครื่อง Jigger

การขึ้นรูปโดยวิธีนี้ดัดแปลงมาจากการขึ้นรูปโดยแป้นหมุน คือวางเนื้อดินปั้นบนแบบปลาสเตอร์ ซึ่งติดอยู่กับแป้นหมุนแล้วกดแม่แบบอีกอันหนึ่งลงบนเนื้อดินปั้นก็จะได้ผลิตภัณฑ์ ซึ่งด้านหนึ่งจะเหมือนแบบปลาสเตอร์ ส่วนอีกด้านหนึ่งจะเหมือนแม่แบบที่กดลงบนเนื้อดินปั้น การขึ้นรูปโดยวิธีนี้ใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรมทำถ้วยชาม และต้องมีความชำนาญมากจึงจะสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่ดีได้ แสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ขั้นตอนการขึ้นรูปโดย Jigger

ที่มา : ปรีดา (2547)

2.4.2.3 การขึ้นรูปโดยวิธีอัดเนื้อดินปั้นผ่านกระบอกสูบและหัวแบบ ซึ่งอยู่ตอนปลายของกระบอกสูบ (Extrusion)

การขึ้นรูปโดยวิธีนี้ทำโดยอัดเนื้อดินปั้นซึ่งมีความเหนียวผ่านแผ่นโลหะซึ่งมีลักษณะคล้ายรวงผึ้งจากนี้จึงอัดหลอดเนื้อดินปั้นผ่านกระบอกสูบ ซึ่งอาจมีการดูดอากาศออกด้วย ถ้าต้องการให้มีรูปร่างอย่างไร อาจใส่แบบไว้ที่ปลายกระบอกสูบ เมื่อเนื้อดินปั้นผ่านแบบออกมาจะได้ผลิตภัณฑ์รูปร่างตามแบบ หรืออาจให้เนื้อดินปั้นผ่านกระบอกสูบออกมาแล้วตัดแท่งดินเอาไว้ตามความเหมาะสมเพื่อใช้ในการขึ้นรูปต่อไป การขึ้นรูปโดยวิธีนี้ขึ้นรูปอิฐก่อสร้าง ท่อระบาย ลูกถ้วย ฉนวนไฟฟ้าขนาดใหญ่

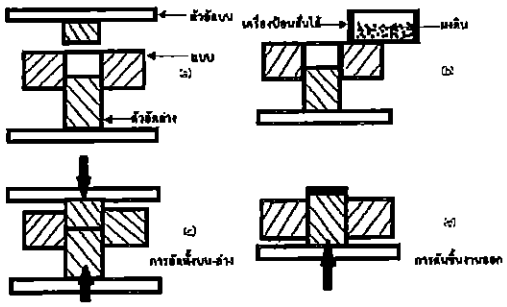
2.4.3 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยใช้แรงอัด

การขึ้นรูปโดยวิธีการนี้ใช้แพร่หลายในการผลิตผลิตภัณฑ์วัตถุทนไฟ กระเบื้อง และผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดพิเศษ แรงอัดจะอัดลงบนแบบซึ่งมีผงเนื้อดินปั้นแห้งๆ หรือมีความชื้นเล็กน้อยอยู่ภายในแบบ แบบที่ใช้เป็นโลหะแข็ง การขึ้นรูปโดยวิธีการนี้มีหลายสิ่งหลายอย่างที่จะต้องคำนึงถึง

การขึ้นรูปโดยการอัดเนื้อดินปั้นแห้ง (Dry and Dust Pressing)

ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์และงานด้านไฟฟ้า มีขนาดเล็กๆ บางชนิดมีรูปร่างง่ายๆ แต่มีหลายชนิดที่มีรูปร่างซับซ้อน ผลิตภัณฑ์ทุกชนิดต้องการขนาดที่เป็นมาตรฐานที่ถูกต้องเพื่อจะได้ใช้แทนกันได้ในวงจรของงาน และต้องมีค่าสมบัติทางด้านไดอิเล็กทริก (Dielectric) และสมบัติทางกลศาสตร์สม่ำเสมอ

ในบางกรณีผลิตภัณฑ์เซรามิกเหล่านี้ใช้ร่วมกันหรือใช้แทนผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติก ผลิตภัณฑ์พลาสติกมีข้อดีที่มีขนาดสามารถผลิตได้มาตรฐานแน่นอน ความแน่นอนของผลิตภัณฑ์เซรามิกขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น การหดตัว ขนาดของอนุภาค และการกระจายตัวของขนาดของอนุภาค ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์หลังจากขึ้นรูปและวิธีการเผา วิธีที่สามารถทำให้ได้สิ่งต่างๆ เหล่านี้จะต้องเป็นวิธีการที่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างและขนาดต่างๆได้ เพราะว่าการปรับปรุงส่วนใดส่วนหนึ่งในวงจรการผลิตจะต้องมีการออกแบบใหม่เสมอ แสดงดังรูปที่ 2.22 (ปรีดา, 2547)



รูปที่ 2.22 ขั้นตอนการอัดชิ้นงานแบบง่ายๆ

ที่มา : ปรีดา (2547)

2.5 การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก

ในกระบวนการเผานั้น ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ได้จากการเผาจะมาจากการรวมตัวกันของวัตถุดิบทั้งวัสดุที่อ่อน (Soft) และแข็ง (Hard) เข้าด้วยกัน และตัววัตถุดิบเองนั้น คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมี จะเปลี่ยนไประหว่างการเผา เช่น ความแข็งแรง การดูดซึมน้ำ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน การนำความร้อน และอื่นๆ ซึ่งสมบัติเหล่านี้มาจากชนิด และจำนวนเฟส (Phase) ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเผา

2.5.1 การเกิดปฏิกิริยาในการเผา

ในระหว่างกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกในเตาจะต้องมีการเกิดปฏิกิริยาในการเผาที่สำคัญดังนี้

2.5.1.1 การอบแห้ง (Drying)

การอบแห้ง เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญ ในการผลิตเซรามิก ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปเสร็จแล้ว ต้องรอให้แห้งสนิท ก่อนนำไปเผา การรอให้แห้งเสียเวลานาน กระบวนการผลิต ไม่สามารถดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง จึงต้องมีห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยใช้ลมความชื้น และอุณหภูมิ เพื่อช่วยให้เกิดความสม่ำเสมอในการอบแห้งชิ้นงานการอบแห้ง ตามหลักการแล้ว การผึ่งแห้งชิ้นงาน ควรเป็นไปอย่างช้าๆ ค่อยเป็นค่อยไป ไม่ควรเร่งอัตราการอบแห้ง ชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ความหนาของชิ้นงาน 1-2 นิ้ว บางครั้ง ต้องใช้เวลาการอบแห้งเป็นเดือน

2.5.1.2 การเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน (Oxidation Firing : OF)

จะต้องทำให้บรรยากาศในเตาเผามีออกซิเจนมากเกินพอ ซึ่งทำได้โดยให้อากาศผ่านเข้าเตาอย่างเต็มที่ โดยการปรับหัวพ่นไฟ และมีปริมาณเพียงพอ ที่จะไล่ก๊าซ ที่เกิดจากการเผาไหม้ ให้พ้นออกไปจากเตา ได้เร็วที่สุด ซึ่งควรจะต้องเปิดเดมเปอร์ (Damper) หรือตัวควบคุมความร้อนออก สำหรับเตาที่ใช้แดมเปอร์ชนิดเสียบ แต่ถ้าเป็นเผาที่ใช้แดมเปอร์ ชนิดเป็นรูปหลังปล่อง ต้องปิดรูปแดมเปอร์ให้หมด ปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะเริ่มตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียส ขึ้นไป หลังการไล่น้ำนอกโครงสร้าง (Free Water) ออกไป จนถึงอุณหภูมิ 900-950 องศาเซลเซียส จะแช่ หรือคงค่าอุณหภูมิการเผาไว้ (Soaking) จนมั่นใจว่า เผาไล่คาร์บอนออกจากเนื้อผลิตภัณฑ์ที่เผาได้หมด จากนั้นจะดำเนินการเผาไปเรื่อยๆ จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายของการเผาตามต้องการ เรียกว่า จุดสุกตัวของผลิตภัณฑ์ แล้วคงอุณหภูมิ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สุกทั่วกัน ก่อนจะปิดเตาเผา ทิ้งให้เตาเย็นลง

2.5.1.3 การเผาในบรรยากาศรีดักชัน (Reduction Firing : RF)

การเผาแบบรีดักชัน (Reduction Firing) นี้ ช่วงแรกต้องเผาแบบออกซิเดชัน ไปจนถึงอุณหภูมิ 950-1,000 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในช่วงนี้ จะคงค่าอุณหภูมิการเผาไว้ (Soaking) จนแน่ใจว่าไล่คาร์บอนออกจากเนื้อผลิตภัณฑ์ที่เผาหมดแล้ว จึงทำการปรับเปลี่ยนบรรยากาศการเผา เป็นบรรยากาศรีดักชัน โดยเปิดตัวควบคุมความร้อน (Damper) ของเตา

ประมาณร้อยละ 50 สำหรับเตา ที่ใช้แดมเปอร์แบบเสียบ ถ้าเป็นเตาที่ใช้แดมเปอร์แบบรูหลังปล่อง ต้องเปิดรูแดมเปอร์ สังเกตเปลวไฟที่แลบออกมาจากด้านหน้า และด้านหลังของเตาเผา เผาไปเรื่อยๆ จนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ และคงค่าอุณหภูมิเผาไว้ (Soaking) จะใช้เวลาเร็ว หรือช้าขึ้นอยู่กับ ขนาดเตาเผา ผลิตภัณฑ์ที่เรียงเข้าเตาเผา และเคลือบ ในช่วงที่ยืนไฟนี้ มักจะเปลี่ยนบรรยากาศการเผา ให้เป็นบรรยากาศที่เป็นกลาง (Neutral Firing ; NF) จนปิดเตาทิ้งให้เย็นลง

2.5.1.4 การเผาไหม้ในบรรยากาศนิวทรัล (Neutral Firing)

เป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และไม่มีออกซิเจนเหลืออยู่เลย หรือเป็นการเผาไหม้ที่มีออกซิเจนที่พอดี (เพ็ชรพร, 2548)

2.5.2 การเผา (Firing)

การเผาในทางเซรามิก คือการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ผลิตภัณฑ์เซรามิกในเตาภายใต้บรรยากาศที่เหมาะสม เพื่อเปลี่ยนสภาพดินให้เป็นถาวรวัตถุมีความแข็งแกร่งเหมือนหินช่วยให้ผลิตภัณฑ์เกิดความคงทนถาวร และสวยงาม การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกมี 3 ขั้นตอนดังนี้

2.5.2.1 การเผาดิบ (Biscuit Firing)

ชิ้นงานที่ผ่านการเผาแล้วยังคงมีความชื้น และสารอินทรีย์อยู่ในชิ้นงาน การเผาไล่ความชื้น และสารอินทรีย์ ก่อนนำไปชุบเคลือบเป็นสิ่งที่จำเป็นเนื่องจากช่วยลดปริมาณน้ำในชิ้นงานซึ่งเป็นตัวการทำให้เกิดแรงดันจนชิ้นงานอาจระเบิดในการเผาเคลือบถ้าชิ้นงานถูกเผาดิบมาก่อนการเผาในช่วงแรกเร่งไฟเร็วขึ้นได้การชุบเคลือบจะชุบได้ง่ายกว่าชิ้นงานที่ยังไม่ได้เผาดิบ บรรยากาศของการเผาดิบ คือบรรยากาศออกซิเดชัน (Oxidation Firing ; OF) ที่เผาบรรยากาศนี้เพื่อเปลี่ยนเหล็กออกไซด์ในชิ้นงานให้อยู่ในรูปของสารประกอบของเฟอร์ริกออกไซด์

การเผาดิบ คือการเผาครั้งที่หนึ่งโดยยังไม่ได้ชุบน้ำเคลือบสามารถที่จะเผาในอุณหภูมิต่ำ หรืออุณหภูมิสูงก็ได้

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาดิบแล้วจะมีความพรุนตัวสูง เนื่องจากการเผาดิบเผาในอุณหภูมิต่ำ 750-800 องศาเซลเซียส ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถดูดซึมน้ำเคลือบได้ดีเหมาะสำหรับผู้ไม่ชำนาญในการชุบเคลือบ เมื่อชุบเสียสามารถนำผลิตภัณฑ์ไปล้างเคลือบออกผึ่งให้แห้งแล้วนำมาเคลือบใหม่

วงจรการเผาดิบผลิตภัณฑ์ ประเภทถ้วยชาม แจกันที่มีขนาดสูงไม่เกิน 30 เซนติเมตร ใช้วงจรการเผาดิบธรรมดา แต่ถ้าเป็นงานประติมากรรม หรืองานที่มีความหนาเกิน 1 นิ้ว ต้องเผาให้ช้าลงกว่าธรรมดาควรแยกเผาคนละเตา

สรุปการเผาดิบ จะต้องเผาแบบสันดาปสมบูรณ์ (Fully Oxidation) ตั้งแต่ต้นจนจบ 24-750 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 6-7 ชั่งโมง โดยระวังไม่ให้เกิดเขม่า หรือควันสีดำจับผลิตภัณฑ์ และเตาเผา ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ ควรอุ่นที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส เป็น

เวลา 2-4 ชั่วโมง ผึ่งในแสงแดดร้อนจัด อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป ผลิตภัณฑ์อาจแตกได้ เผาเสร็จแล้ว ทิ้งให้เตาเย็นลง เท่ากับเวลาที่ทำการเผา ห้ามเปิดเตาก่อนอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์กระทบอากาศเย็นนอกเตา จะแตกได้

2.5.2.2 การเผาเคลือบ (Glost Firing)

ชิ้นงานที่เผาดิบ ถูกนำมาชุบเคลือบแล้วเผา เพื่อให้เคลือบหลอมเป็นแก้ว ติดแน่นอยู่บนผิวชิ้นงาน การเผาเคลือบ อุณหภูมิ และบรรยากาศการเผา ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ เช่น การเผาผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน เริ่มต้นเผา ภายใต้บรรยากาศออกซิเดชัน ตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มจุดเตา จนถึงอุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส หลังจากนั้น เผาภายใต้บรรยากาศรีดักชัน จนถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการ

ภาชนะที่ชุบเคลือบแล้วทุกชิ้น ต้องเช็ดที่บริเวณก้นผลิตภัณฑ์ให้หมดเคลือบ เพื่อป้องกันการหลอมละลายของเคลือบ ติดบนแผ่นรองเตาเผา ผลิตภัณฑ์ทุกชิ้นจะต้องวางห่างกันเล็กน้อย ไม่ให้น้ำเคลือบสัมผัสกัน เพราะเคลือบจะหลอมติดกัน เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง

ผลิตภัณฑ์ในเตาแก๊ส ควรวางห่างจากบริเวณหัวพ่นเล็กน้อย ถ้าผลิตภัณฑ์โดนเปลวไฟเลียเคลือบจะด่าง ในเตาไฟฟ้า อย่าวางผลิตภัณฑ์ชิดขดลวดมากเกินไป เคลือบจะไหล ติดขดลวดเสียหายได้ ผลิตภัณฑ์ใหญ่ ควรวางไว้กลางๆ เตาให้ได้รับความร้อนสม่ำเสมอ ลดความบิดเบี้ยวหลังการเผา

วงจรในการเผาเคลือบ

ช่วงที่ 1 อุณหภูมิห้อง 24-950 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 5-6 ชั่วโมง

ช่วงที่ 2 950-1,250 องศาเซลเซียส (การเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ; Oxidation Firing) ใช้เวลา 3-4 ชั่วโมง หรือ 950-1,250 องศาเซลเซียส (การเผาในบรรยากาศรีดักชัน) ใช้เวลา 4-5 ชั่วโมง

ช่วงที่ 3 เผาแช่อุณหภูมิคงที่ (Soaking) 1,250 องศาเซลเซียส เท่ากับ 15 นาที

การเผาในบรรยากาศสันดาปไม่สมบูรณ์ ต้องใช้เวลาในการเผานานกว่าเตาไฟฟ้าเล็กน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความจุของเตาเผา เตามีขนาดใหญ่จะต้องใช้เวลาในการเผานานขึ้น และแช่อุณหภูมิคงที่ไว้นาน 20-30 นาที

โดยปกติเตาเผาทุกเตาบริเวณชั้นบนของเตาเผาจะร้อนกว่าด้านล่าง 20-30 องศาเซลเซียส ผู้ใช้เตาควรสังเกตผลการเผาทุกครั้ง เพื่อให้ทราบความแตกต่าง ของเตาเผาแต่ละเตา

2.5.2.3 การเผาตกแต่ง (Decoration Firing)

ชิ้นงานที่เผาเคลือบแล้ว นิยมตกแต่งด้วยสี หรือติดรูปลอก (Decal) ที่ทำขึ้นสำหรับตกแต่งสีโดยเฉพาะติดลงไปบนภาชนะที่เคลือบ แล้วนำไปเผา เพื่อให้สิ่งตกแต่ง ติดทนกับชิ้นงาน เรียกว่า การตกแต่งบนเคลือบ (Overglaze Firing) อุณหภูมิที่ใช้เผาตกแต่งบนเคลือบประมาณ 650-850 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดสี (Pigment) หรือประเภทวัตถุดิบที่นำมาทำสี

การเผาสีตกแต่งลอก และสีเงินสีทอง จะต้องเผาในบรรยากาศสันดาปสมบรูณ์ ตลอดการเผาจากอุณหภูมิห้องถึง 750 องศาเซลเซียส ในเตาเผาไม่ควรมีความชื้นอยู่ ถ้าเตาเผามีความชื้นจากการเผาดิบ เมื่อนำสีทองเผาต่อจากเตาเผาดิบสีทองจะหมองเพราะไม่ชอบความชื้น สีเขียวก็จะพอง เพราะมีความชื้นในเตาเผามากเกินไป

ดังนั้นถึงแม้ว่าอุณหภูมิในการเผาดิบที่ 750 องศาเซลเซียส ใกล้เคียงกับการเผาสีตกแต่งก็ไม่ควรเอาชิ้นงานเขียนสี และติดรูปลอกเข้าเตาเผาในการเผาดิบ เพราะชิ้นงานที่ออกมาจะมีตำหนิ ไม่ได้มาตรฐาน สีหมองคล้ำ หรือเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (เพ็ชรพร, 2548)

2.5.3 การเผาซินเตอร์ (Sintering)

การซินเตอร์ หรือการผนึก คือกระบวนการยึดเหนี่ยวอนุภาคของแข็งเข้าด้วยแรงระหว่างอะตอม (Atomic Force) แรงยึดเหนี่ยวจะมีค่าลดลงตามระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่กระบวนการการขัดขวางการยึดเกาะตัวระหว่างอนุภาค จากการผนึก เช่น การสัมผัสไม่เต็มหน้าระหว่างอนุภาค การเกิดฟิล์มบนผิวหน้าอนุภาค และไม่เกิดสภาพการยืดตัวแบบพลาสติก สิ่งเหล่านี้จะลดอิทธิพลลงไปตามระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จึงถือว่าอุณหภูมิยิ่งสูงจะทำให้การซินเตอร์ได้ผลดียิ่งขึ้น การอบแห้งผงที่นาน หรือการให้อุณหภูมิสูงขึ้นเท่าใดก็ยิ่งจะทำให้การยึดตัวระหว่างอนุภาคมีความเหนียวแน่น และผลลัพธ์สุดท้ายชิ้นงาน ที่ได้จะมีกำลังวัสดุสูงขึ้นมากเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 2.23

รูปที่ 2.23 ลักษณะการเชื่อมตัวของอนุภาคในกระบวนการซินเตอร์ริ่ง
ที่มา : บัญชา (2545)

กระบวนการผนึกจะเริ่มต้นจากการยึดเหนี่ยวตัวเข้าด้วยกันระหว่างอนุภาคใกล้เคียง ในขณะที่ผงได้รับความร้อนสูงในการยึดเกาะตัวจะมีการแพร่ซึมของอะตอมระหว่างอนุภาคที่สัมผัสกัน ส่งผลให้เกิดขอบรอยต่อระหว่างอนุภาค ถึงแม้จะสัมผัสอุณหภูมิสูง เพียงชั่วระยะเวลาสั้นๆ ก็ตาม ในช่วงต่อไปจะเกิดบริเวณเชื่อมต่อระหว่างอนุภาค ที่เรียกว่า คอ (Neck) ส่วนของคอจะค่อยๆ ขยายใหญ่ขึ้น บริเวณส่วนกลางระหว่าง 3 อนุภาคที่ชิดติดกันจะเกิดเป็นรูกลม และในกระบวนการขั้นสุดท้ายนี้วัตถุจะหดตัว และมีช่องเป็นรูพรุน อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน โดยการผนึกจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังต่อไปนี้

2.5.3.1 การเผาผนึกช่วงเริ่มต้น (Initial Sintering) จะเกี่ยวข้องกับการจัดเรียงตัวกันใหม่อีกครั้งหนึ่งของอนุภาคผงภายในชิ้นงานและการเกิดพันธะที่แข็งแรง หรือคอ (Neck) ขึ้นมาที่บริเวณจุดสัมผัสระหว่างอนุภาคผง ความหนาสัมพัทธ์ของชิ้นงานในช่วงนี้อาจจะเพิ่มขึ้นจาก 0.5-0.6 ได้ ส่วนใหญ่เนื่องมาจากการที่อนุภาคผงมีการประสานชิดตัวกันมากยิ่งขึ้นนั่นเอง

2.5.3.2 การเผาผนึกช่วงกลาง (Intermediate Sintering) เป็นช่วงที่ขนาดของคอเริ่มโตขึ้นและปริมาณของความพรุนในชิ้นงานจะเริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอนุภาคเริ่มเข้ามาใกล้ชิดติดกันมากขึ้น ทำให้ชิ้นงานเกิดมีการหดตัวลงอย่างชัดเจน เริ่มมีเกรนและขอบเกรนเกิดขึ้น ทำให้มีการเติบโตของเกรนบางเกรนเกิดขึ้น ขั้นตอนนี้จะดำเนินไปเรื่อยๆอย่างต่อเนื่องในขณะที่ช่องว่างของรูพรุนจะเริ่มเกิดการเชื่อมต่อกัน (พวกรูพรุนปิด) และจะสิ้นสุดพฤติกรรมนี้ทันทีเมื่อรูพรุนเกิดมีการแยกตัวหลุดออกไปอยู่ต่างหาก (พวกรูพรุนเปิด) การหดตัวของชิ้นงานจะเกิดขึ้นมากสุดในการเผาผนึกช่วงกลางนี้ และอาจจะทำให้ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของชิ้นงานมีค่าสูงถึงประมาณ 0.9

2.5.3.3 การเผาผนึกช่วงสุดท้าย (Final State Sintering) เป็นช่วงที่รูพรุนในชิ้นงานเริ่มปิดตัวเองและค่อยๆ ถูกกำจัดให้หมดไปจากชิ้นงานอย่างช้าๆ โดยอาศัยกลไกการแพร่ของอากาศจากรูพรุนออกมาตามแนวขอบเกรน แล้วหลุดออกไปจากผิวของชิ้นงาน ซึ่งจะทำให้เกิดการแน่นตัวเพิ่มขึ้นจากเดิมอีกเพียงเล็กน้อย ขนาดของเกรนจะเพิ่มขึ้นในการเผาผนึกช่วงสุดท้ายนี้ (บัญชา, 2545)

2.5.4 การสุกตัวกระเบื้องดินเผาปูพื้น

ในกระบวนการผลิตกระเบื้องดินเผาปูพื้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก. 37-2529) โดยคำนึงถึงค่าร้อยละการดูดซึมน้ำและค่ากำลังรับแรงดัด เพื่อเป็นเกณฑ์ชี้วัดคุณภาพ โดยชิ้นงานกระเบื้องที่ผ่านการเผา ณ อุณหภูมิใดๆ เมื่อทำการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำและค่ากำลังรับแรงดัดแล้ว หากพบว่าค่าที่ได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก. 37-2529) แสดงว่ากระเบื้องดินเผาปูพื้นมีสมบัติที่เหมาะสม ซึ่งเกิดจากการสุกตัวของเนื้อดินที่ดี

2.6 อัตราการให้ความร้อน

ในการเผา อัตราการให้ความร้อนเป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่สำคัญไม่น้อยไปกว่าอุณหภูมิในการเผา เนื่องจากอัตราการให้ความร้อนส่งผลกับการจัดเรียงตัวของอนุภาคภายในโครงสร้างของผลึก โดยการให้อัตราความร้อนอย่างช้าๆ จะส่งผลให้เฟสของเหลวซึ่งเป็นเฟสที่สำคัญที่ช่วยในการจัดเรียงตัวขณะเผาของอนุภาค มีลักษณะของการเกิดเฟสนานขึ้น เป็นผลให้การจัดเรียงตัวของอนุภาคสามารถเกิดได้อย่างสมบูรณ์ รวมทั้งมีเวลาให้อนุภาคจัดเรียงได้นานขึ้น ชิ้นงานจึงมีความแน่นตัวเพิ่มขึ้น อีกทั้งการจัดเรียงตัวใหม่ของอนุภาคจะช่วยอุดรูพรุน ทำให้รูพรุนในชิ้นงานลดลง ซึ่งในทางตรงกันข้ามอัตราการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว จะส่งผลให้เฟสของเหลวมีลักษณะการจัดเรียงตัวที่เร็วขึ้น เป็นผลให้การ

จัดเรียงตัวของอนุภาคไม่สามารถเกิดได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากมีเวลาให้อนุภาคจัดเรียงตัวได้ลดลง ชิ้นงานจึงมีความแน่นตัวต่ำ ทำให้เกิดรูพรุนในชิ้นงานเพิ่มขึ้น (ชมพูนุช, 2550)

2.7 การทดสอบ

2.7.1 ค่าความแข็งแรงภายใต้กำลังรับแรงดัด

โดยทั่วไปการทดสอบความแข็งประเภทนี้ สามารถทำได้โดยการทดสอบหาค่าความแข็งแรงภายใต้กำลังรับแรงดัดของผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังเผา ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ และเป็นตัวควบคุมคุณภาพอย่างหนึ่ง เพราะมีอิทธิพลต่อการใช้ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ และมีอิทธิพลกรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์

2.7.1.1 วิธีการทดสอบ

เตรียมชิ้นงานหลังเผาที่ผ่านการขึ้นรูป เพื่อนำไปอัดให้หักโดยผ่านเครื่องมือทดสอบด้วยแรงกด จนถึงแรงกดที่ทำให้ชิ้นงานนั้นหักแล้วนำไปคำนวณค่าความแข็งแรง

2.7.1.2 การคำนวณ

ความแข็งแรงภายใต้กำลังรับแรงดัด (Modulus of Rupture ; MOR) แสดงดังสมการที่ 2.1

$$MOR = \frac{3PL}{2bd^2} \qquad (2.1)$$

P = แรงกดที่ทำให้แผ่นกระเบื้องหัก หน่วย นิวตัน

L = ระยะห่างของจุดรองรับ หน่วย เซนติเมตร

b = ความกว้างของแผ่นกระเบื้อง หน่วย เซนติเมตร

d = ความหนาของแผ่นกระเบื้อง หน่วย เซนติเมตร

2.7.2 ความหนาแน่น และร้อยละการดูดซึมน้ำ

ความหนาแน่นเป็นสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุแต่ละชนิดที่อาจแปรผันได้ตามปัจจัยต่างๆ ซึ่งในงานเซรามิกจำเป็นต้องศึกษาเรื่องความหนาแน่นของวัตถุดิบ เนื่องจากความหนาแน่นของวัตถุดิบไม่ว่าจะเป็นวัสดุเซรามิก เช่น ดิน หิน แร่ต่างๆ หรือวัตถุดิบเพื่อการขึ้นรูป ได้แก่ น้ำดิน รวมถึงความหนาแน่นของน้ำเคลือบ ที่ตกแต่งผลิตภัณฑ์ล้วนมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.7.2.1 วิธีการทดสอบ

ก. อบชิ้นงานให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า W_d เป็นน้ำหนักชิ้นงานแห้งหลังอบ

ข. เผาชิ้นงาน ชั่งน้ำหนักหลังเผา บันทึกค่า W_f เป็นน้ำหนักชิ้นแห้งหลังเผา

ค. ต้มชิ้นงานในน้ำกลั่นให้เดือดนาน 2 ชั่วโมง และแช่ไว้อีก 24 ชั่วโมง

ง. ชั่งน้ำหนักชิ้นงานในน้ำ บันทึกค่า W_{ss} ซึ่งเป็นน้ำหนักชิ้นงานหลังต้มชั่งในน้ำ

จ. เช็ดผิวของชิ้นงาน ชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า W_s ซึ่งเป็นน้ำหนักชิ้นงานหลังต้มชั่งในอากาศ

ฉ. นำค่าจากการทดลองมาคำนวณตามสมการ

2.7.2.2 การคำนวณ

ปริมาตรของชิ้นงาน (Exterior Volume) แสดงดังสมการที่ 2.2

$$V = \frac{W_s - W_{ss}}{\rho_L} \tag{2.2}$$

ความหนาแน่นของชิ้นงาน (Bulk Density) แสดงดังสมการที่ 2.3

$$\text{Bulk Density} = \frac{W_f}{W_s - W_{ss}} \tag{2.3}$$

ร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) แสดงดังสมการที่ 2.4

$$\%\ \text{Water Absorption} = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \tag{2.4}$$

ρ_L หมายถึง ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

W_d หมายถึง น้ำหนักชิ้นงานแห้งก่อนต้ม (กรัม)

W_f หมายถึง น้ำหนักชิ้นงานหลังเผา (กรัม)

W_s หมายถึง น้ำหนักชิ้นงานหลังต้มชั่งในอากาศ (กรัม)

W_{ss} หมายถึง น้ำหนักชิ้นงานหลังต้มชั่งในน้ำ (กรัม)

(กัลยากร, 2554)

2.8 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเซรามิกมีคุณภาพ เป็นที่เชื่อถือของผู้บริโภค สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม จึงได้กำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์เซรามิกไว้ดังนี้

2.8.1 ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ประเภท ชนิด และชั้นคุณภาพ ขนาด และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน คุณลักษณะที่ต้องการ การบรรจุ เครื่องหมาย และฉลาก การชักตัวอย่าง และเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบกระเบื้องดินเผาปูพื้น และกระเบื้องเสริมประกอบ (Fittings)

2.8.2 บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.8.2.1 กระเบื้องดินเผาปูพื้น ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า "กระเบื้อง" หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอัด (Pressing) ดิน และส่วนผสมอื่นๆ เช่น หิน ทราย สี เป็นต้น แล้วเผาที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 1,000 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นแผ่น

2.8.2.2 การล่อนตัว (Peeling) หมายถึง การแยกตัวระหว่างเคลือบกับเนื้อกระเบื้อง

2.8.2.3 การราน (Crazing) หมายถึง การเกิดรอยร้าวบนผิวเคลือบ แสดงดังรูปที่ 2.23

2.8.2.4 รอยร้าว (Crack) หมายถึง รอยแตกที่ลึกถึงเนื้อกระเบื้อง

2.8.2.5 รูเข็ม (Pinhole) หมายถึง รูเล็กๆ ที่ปรากฏบนผิวเคลือบ แสดงดังรูปที่ 2.24

2.8.2.6 รอยพอง (Blister) หมายถึง รอยนูนที่ผิวเคลือบซึ่งเกิดจากการขยายตัวของก๊าซ หรือฟองอากาศที่อยู่ภายใน แสดงดังรูปที่ 2.26

2.8.2.7 หลุม (Pitting) หมายถึง การเกิดหลุมเล็กๆ ที่ผิวหน้ากระเบื้องซึ่งมีความลึกเท่ากับ หรือน้อยกว่าความกว้าง แสดงดังรูปที่ 2.27

2.8.2.8 รอยบิ่น (Chip) หมายถึง รอยตามแนวขอบ หรือตามมุมของกระเบื้องซึ่งเกิดจากเนื้อกระเบื้องแตกหลุดออกไป แสดงดังรูปที่ 2.28

2.8.2.9 การหดตัวของเคลือบ (Glaze Crawling) หมายถึง การที่เคลือบหดตัวจนเนื้อของกระเบื้องบางส่วนไม่มีเคลือบฉาบอยู่ แสดงดังรูปที่ 2.29

2.8.2.10 ความบิดเบี้ยว (Warpage) หมายถึง ความบิดเบี้ยวจากรูปร่างของกระเบื้องตามที่กำหนดเนื่องจากกรรมวิธีผลิต

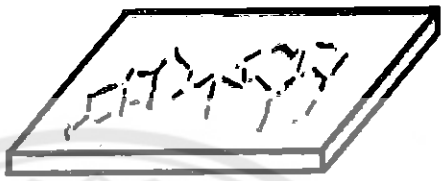
2.8.2.11 โค้งงอ หมายถึง ความบิดเบี้ยวในลักษณะที่ส่วนกลางของขอบกระเบื้องโค้งงอ แสดงดังรูปที่ 2.30

2.8.2.12 เว้าเข้า หมายถึง ความบิดเบี้ยวในลักษณะที่ส่วนกลางของขอบกระเบื้องเว้าเข้า แสดงดังรูปที่ 2.30

2.8.2.12 เว้าเข้า หมายถึง ความบิดเบี้ยวในลักษณะที่ส่วนกลางของขอบกระเบื้องเว้าเข้า แสดงดังรูปที่ 2.30

2.8.2.13 นูนขึ้น (Convex) หมายถึง ความบิดเบี้ยวไปจากแนวระนาบของผิวหน้ากระเบื้องเนื่องจากส่วนกลางตามแนวเส้นทแยงมุมของกระเบื้องสูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.31

2.8.2.14 แอ่นลง (Concave) หมายถึง ความบิดเบี้ยวออกไปจากแนวระนาบของผิวหน้ากระเบื้อง เนื่องจากส่วนกลางตามแนวเส้นทแยงมุมของกระเบื้องต่ำลง แสดงดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.24 การราน

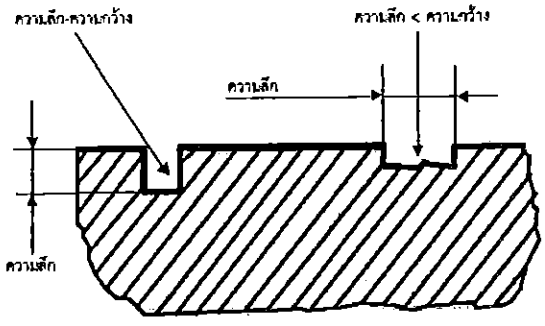
ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

รูปที่ 2.25 รูเข็ม

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

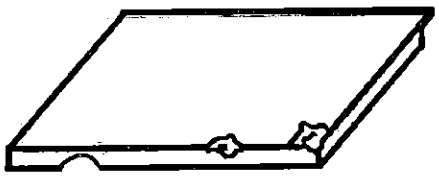
รูปที่ 2.26 รอยพอง

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)



รูปที่ 2.27 หลุม

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

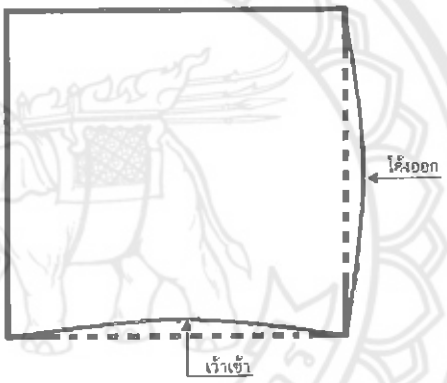


รูปที่ 2.28 รอยบิ่น

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

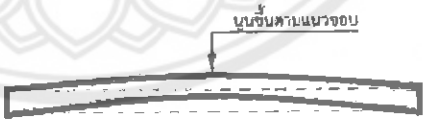
รูปที่ 2.29 การหดตัวของเคลือบ

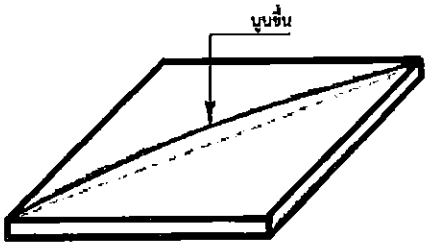
ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)



รูปที่ 2.30 โค้งงอและเว้าเข้า

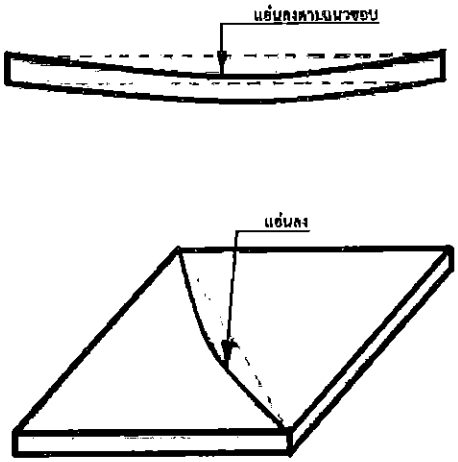
ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)





รูปที่ 2.31 นูนขึ้น

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)



รูปที่ 2.32 แอ่นลง

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

2.8.3 ประเภท ชนิด และชั้นคุณภาพ

2.8.3.1 กระเบื้องแบ่งออกเป็น 4 ประเภท

ก. ประเภทการดูดซึมน้ำต่ำ (Low Water Absorption; ใช้สัญลักษณ์ LF) เหมาะสำหรับใช้ทั้งภายใน และภายนอกอาคาร

ข. ประเภทดูดซึมน้ำปานกลางค่อนข้างต่ำ (Low Medium Water Absorption; ใช้สัญลักษณ์ LMF) เหมาะสำหรับใช้ทั้งภายใน และภายนอกอาคาร

ค. ประเภทดูดซึมน้ำปานกลาง (Medium Water Absorption; ใช้สัญลักษณ์ MF) เหมาะสำหรับใช้ภายในอาคาร

ง. ประเภทดูดซึมน้ำสูง (High Water Absorption; ใช้สัญลักษณ์ HF) เหมาะสำหรับใช้ภายในอาคาร

2.8.3.2 กระเบื้อง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

ก. ชนิดเคลือบ

ข. ชนิดไม่เคลือบ

2.8.3.3 กระเบื้อง แบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ

ก. ชั้นคุณภาพที่ 1

ข. ชั้นคุณภาพที่ 2

2.8.4 ขนาด และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ขนาด และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ให้เป็นดังตารางที่ 2.1 การวัดให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาบุผนังภายนอก มาตรฐานเลขที่ มอก.614

ตารางที่ 2.1 ขนาด และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

มิติ	ขนาด	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
ความกว้าง และความยาว หรือ มิติในแนวแกนหลักสองแกน	เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก	ไม่เกิน ± ร้อยละ 0.6 ของค่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก
ความหนา	เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก	ไม่เกิน ± ร้อยละ 5 ของค่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

2.8.5 คุณลักษณะที่ต้องการ

2.8.5.1 ลักษณะทั่วไป

ก. ชั้นคุณภาพที่ 1

ก.1 ชนิดเคลือบ

กระเบื้องต้องไม่มีการล่อนตัว การแยกชั้นในเนื้อกระเบื้อง การราน และการแตกหัก และเมื่อตรวจสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายในมาตรฐานเลขที่ มอก. 613 แล้วต้องไม่เห็นรอยร้าว รูเข็ม รอยพอง หลุม รอยบิ่น การหดตัวของเคลือบ

ก.2 ชนิดไม่เคลือบ

กระเบื้องต้องไม่มีการแยกชั้นในกระเบื้อง หรือการแตกหัก และเมื่อตรวจสอบมาตรฐาน มอก. 613 ต้องไม่เห็นรอยร้าว รูเข็ม รอยพอง รอยบิ่น

ข. ชั้นคุณภาพที่ 2

ข.1 จุดด่าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ได้ไม่เกิน 3 จุด

ข.2 ความบกพร่องของผิวเคลือบต่างๆ รวมกันได้ไม่เกิน 5 ตารางเซนติเมตร

ข.3 พื้นที่ของรอยบิ่นที่มุม หรือขอบ เมื่อทดสอบต้องได้ไม่เกินที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.2 แต่ทั้งนี้ในกระเบื้องแผ่นเดียวกันจะมีรอยบิ่นที่มุม และที่ขอบรวมกันได้ไม่เกิน 3 จุด

ตารางที่ 2.2 พื้นที่ของรอยบิ่นต่อ 1 จุด

มิติ มิลลิเมตร	บิ่นที่มุมหรือขอบ ตารางมิลลิเมตร ไม่เกิน
ไม่เกิน 100	2
เกิน 100 ถึง 200	3
เกิน 200 ถึง 300	4
เกิน 300	5

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

2.8.5.2 ความบิดเบี้ยว

ไม่เกินที่กำหนดดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความบิดเบี้ยว

มิติ มิลลิเมตร	ความบิดเบี้ยวตามแนวขอบ				ความบิดเบี้ยวตามแนวเส้นทแยงมุม		ความเบี่ยงเบนจากความได้ฉาก
	โค้งออก	เว้าเข้า	นูนขึ้น	แอ่นลง	นูนขึ้น	แอ่นลง	
ไม่เกิน 200	ร้อยละ 0.75	ร้อยละ 0.75	ร้อยละ 1.5	ร้อยละ 0.15	ร้อยละ 0.75	ร้อยละ 0.75	ร้อยละ 0.5 ของความยาวด้านที่วัด
เกิน 200 ถึง 300	1.5 มิลลิเมตร	1.5 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	1.5 มิลลิเมตร	1.5 มิลลิเมตร	
เกิน 300 ถึง 500	ร้อยละ 0.5	ร้อยละ 0.5					
เกิน 200 ถึง 300	2.5 มิลลิเมตร	2.5 มิลลิเมตร					

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

2.8.5.3 การดูดซึมน้ำ

ก. กระเบื้องประเภทดูดซึมน้ำต่ำ (ทั้งชนิดเคลือบ และไม่เคลือบ) การดูดซึมน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 3

ข. กระเบื้องประเภทดูดซึมน้ำปานกลางค่อนข้างต่ำ (ทั้งชนิดเคลือบ และไม่เคลือบ) การดูดซึมน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 6

ค. กระเบื้องประเภทดูดซึมน้ำปานกลาง (ต้องเป็นชนิดเคลือบอย่างเดียว) การดูดซึมน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 10

ง. กระเบื้องประเภทดูดซึมน้ำสูง (ต้องเป็นชนิดเคลือบอย่างเดียว) การดูดซึมน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 16

2.8.5.4 ความทนสารเคมี

เมื่อทดสอบตาม มอก. 613 แล้ว กระเบื้องต้องไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสารเคมี

2.8.5.5 ความทนการราน

เมื่อทดสอบตาม มอก. 614 แล้ว ผิวเคลือบของกระเบื้องต้องไม่ราน

2.8.5.6 ความต้านแรงดัด

ก. กระเบื้องประเภทดูดซึมน้ำต่ำ และประเภทดูดซึมน้ำปานกลางค่อนข้างต่ำต้องมีความต้านแรงดัดไม่น้อยกว่า 25.0 เมกะปาสคาล

ข. กระเบื้องประเภทดูดซึมน้ำปานกลาง และประเภทดูดซึมน้ำสูง ต้องมีความต้านแรงดัดไม่น้อยกว่า 17.5 เมกะปาสคาล

2.8.5.7 การทนการขัดสี

เมื่อทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาโมเสก มาตรฐานเลขที่ มอก. 38 แล้ว น้ำหนักของกระเบื้องที่หายไปต้องไม่เกิน 0.1 กรัม

2.8.6 การบรรจุ

ให้บรรจุกระเบื้องในกล่องกระดาษ หรือภาชนะบรรจุอื่นให้เรียบร้อย และแข็งแรง

2.8.7 เครื่องหมาย และฉลาก

2.8.7.1 ที่กระเบื้องทุกแผ่นอย่างน้อยต้องมีเลขอักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดดังต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน และถาวร

ก. ชั้นคุณภาพ (โดยใช้สีดำขีดเป็นเส้นด้านหลังกระเบื้องสำหรับชั้นคุณภาพที่ 2)

ข. ชื่อผู้ทำ หรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้า หรือชื่อผู้จัดจำหน่าย

2.8.7.2 ที่กล่อง หรือภาชนะบรรจุกระเบื้องทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

ก. คำว่า "กระเบื้องดินเผาปูพื้น"

ข. ประเภท หรือสัญลักษณ์ของประเภท

ค. ชนิด

ง. ชั้นคุณภาพ

จ. สี หรือลวดลาย

ฉ. รูปร่าง

ช. ขนาดเป็นมิลลิเมตร และจำนวนแผ่น

ช. วัน เดือน ปี ที่ทำ

ฌ. ชื่อผู้ทำ หรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้า หรือชื่อผู้จัดจำหน่าย พร้อม สถานที่ตั้ง

ญ. ประเทศที่ทำ

หมายเหตุ ข้อ ค. จ. และ ฉ. ให้ระบุเฉพาะบรรจุในกล่อง หรือภาชนะที่บรรจุมิดชิด

2.8.7.3 ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทย ที่กำหนดไว้ข้างต้น

2.8.7.4 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม นั้นได้ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

2.8.8 การชักตัวอย่าง และเกณฑ์ตัดสิน

2.8.8.1 รุ่นในที่นี้ หมายถึง กระเบื้องชั้น คุณภาพ ขนาด รูปร่าง และสีเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกันที่ทำ หรือส่งมอบ หรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

2.8.8.2 การชักตัวอย่าง และการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างตามที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

ก. การชักตัวอย่าง และการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด และคุณลักษณะที่ต้องการ

ก.1 ให้ชักตัวอย่างกระเบื้องโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ 2.4 แต่ละชุดตังอย่างให้นำไปทดสอบตามรายการรายการในตารางที่ 2.5 รายการที่ 1 ถึง 4 ก่อน แล้วจึงใช้ตัวอย่างจากชุดเดียวกันนี้ไปทดสอบตามรายการที่ 5 ถึง 8

ตารางที่ 2.4 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาด และคุณลักษณะที่ต้องการ

ขนาดรุ่น (แผ่น)	ขนาดตัวอย่าง (แผ่น)
ไม่เกิน 10,000	25
10,001 ถึง 35,000	50
เกิน 35,000	75

หมายเหตุ : กระเบื้องจำนวน 25 แผ่น ให้ถือเป็น 1 ชุดตัวอย่าง

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

ก.2 จำนวนตัวอย่างกระเบื้องที่ไม่เป็นไปตามข้อ 2.7.4 และข้อ 2.7.5 ในแต่ละรายการต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับดังตารางที่ 2.5 จึงจะถือว่ากระเบื้องรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ 2.5 รายการทดสอบ

รายการทดสอบ	ทดสอบตาม	ขนาดตัวอย่าง (แผ่น)	เลขจำนวนที่ยอมรับ (แผ่น)
ลักษณะทั่วไป	มอก. 613	25	2
ขนาด	มอก. 614	10	0
ความบิดเบี้ยว	มอก. 614	10	0
การดูดซึมน้ำ	มอก. 613	3	0
ความทนสารเคมี	มอก. 613	6	0
ความทนการราน	มอก. 614	3	0
ความต้านแรงดัด	มอก. 614	10	0
ความทนต่อการขัดสี	มอก. 38	3	0

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

2.8.8.3 เกณฑ์ตัดสินใจ ตัวอย่างกระเบื้องต้องเป็นไปตามข้อ 2.7.5.1 หัวข้อย่อย ก.2 จึงจะถือว่ากระเบื้องรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2529)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นางสาวกัลยากร และคณะ (2554) โครงงานนี้เป็นการศึกษาการลดอุณหภูมิในการเผากระเบื้องปูพื้นด้วยการใช้เศษแก้วสีเขียวผสมกับดินขาวระนอง และดินขาวลำปาง ในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ตามลำดับ ขึ้นรูปเป็นกระเบื้อง เผาที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส จากนั้นทดสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่าการเพิ่มปริมาณเศษแก้วสีเขียว และอุณหภูมิในการเผา ส่งผลให้สีของกระเบื้องปูพื้นหลังเผามีสีเข้มขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง และค่ากำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น แต่พบว่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนอง 60 : 40 ที่อุณหภูมิการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ชิ้นงานเกิดการหลอมตัดกันทุกชิ้น ไม่สามารถนำมาทดสอบหาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นได้ ในขณะที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปาง 60 : 40 ที่อุณหภูมิการเผาที่ 1,100 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 และ 60 : 40 ที่อุณหภูมิการเผาที่ 1,200 องศาเซลเซียส พบว่ากระเบื้องปูพื้นหลังเผาเกิดการหลอมติดกันทุกชิ้นงาน ไม่สามารถนำมาทดสอบหาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นได้เช่นกัน โดยค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก. 37-2529) ณ อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ได้แก่ กระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางที่อัตราส่วน 60 : 40 ณ อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ได้แก่ กระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองที่อัตราส่วน 60 : 40 กระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางที่อัตราส่วน 40 : 60 และ ณ อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ได้แก่ กระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองที่อัตราส่วน 40 : 60 กระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางที่อัตราส่วน 20 : 80 และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก. 37-2529) ณ อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ได้แก่ กระเบื้องดินขาวลำปาง และกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองที่อัตราส่วน 40 : 60 และ 60 : 40 ณ อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ได้แก่ กระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองที่อัตราส่วน 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 กระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางที่อัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80 และ 40 : 60 จากผลดังกล่าวทำให้ทราบถึง อัตราส่วนที่เหมาะสมของเศษแก้วในดินขาวระนอง และดินขาวลำปาง และสามารถใช้เศษแก้วสีเขียวมาเป็นส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องปูพื้นเพื่อลดอุณหภูมิในการเผาขึ้นรูปได้

นายเกษมสันต์ จางตระกูล และนายสถาพร ทองย้อย (2553) โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตกระเบื้องดินเซรามิก โดยนำเศษแก้วสีชามาผสมกับดินเพื่อลดอุณหภูมิในการเผา ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างดินดำต่อเศษแก้วสีชา และอัตราส่วนผลมระหว่างดินขาวต่อเศษแก้วสีชาเป็น 100 : 0, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40, 50 : 50 และ 40 : 60 ขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้อง และแปรค่าอุณหภูมิที่ใช้งานในการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 900, 1,000, 1,100, และ 1,200 องศาเซลเซียส แต่พบว่าในขณะที่กระเบื้องที่ผ่านการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินดำต่อเศษแก้วสีชาเท่ากับ 50 : 50 และ 40 : 60 กระเบื้องหลังเผาเกิดการหลอมตัวติดกันทุกชิ้นงาน ไม่สามารถนำมาทดสอบหาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นได้ และกระเบื้องที่ผ่านการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนผสม

ระหว่างดินขาวต่อเศษแก้วสีชาเท่ากับ 40 : 60 กระเบื้องหลังเผาเกิดการหลอมตัวติดกันทุกชิ้นงาน ไม่สามารถนำมาทดสอบหาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นได้เช่นกัน โดยทดสอบคุณภาพของกระเบื้องในด้านสีของกระเบื้องหลังเผา ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณเศษแก้วสีชาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้กระเบื้องดินเซรามิกมีสีกระเบื้องหลังเผาที่แตกต่างกัน ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง ค่าการหดตัวหลังเผาเพิ่มขึ้น และค่ากำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น โดยกระเบื้องดินเซรามิกที่ผลิตจากดินดำและเศษแก้วสีชา เผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนระหว่างดินดำต่อเศษแก้วสีชาเท่ากับ 50 : 50 และ 40 : 60 ให้ค่ากำลังรับแรงดัดผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก. 37-2529) และกระเบื้องดินเซรามิกที่ผลิตจากดินขาว และเศษแก้วสีชา เผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนระหว่างดินขาวต่อเศษแก้วสีชาเท่ากับ 70 : 30, 60 : 40, 50 : 50 และ 40 : 60 ให้ค่ากำลังรับแรงดัดผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก. 37-2529) ในขณะที่กระเบื้องดินเผาทุกอัตราส่วน ให้ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก. 37-2529) จึงพบว่าสามารถใช้เศษแก้วสีชามาเป็นส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องดินเซรามิก เพื่อลดจุดสุกตัว ทำให้เนื้อดินสุกตัวเร็วขึ้น ทั้งยังช่วยให้สามารถลดอุณหภูมิในการเผาขึ้นรูปลงได้

ศุภเอก และคณะ (2553) งานวิจัยนี้ศึกษาการขึ้นรูปแก้วสีบุผนังภายในจากเศษขวดแก้วสีขาวด้วยกรรมวิธีชินเตอริง ทำการทดสอบความต้านทานการกระแทก และการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน (มอก.613-2529) ในขั้นตอนของการทดลอง เริ่มจากขวดแก้วสีขาวมาทุบแล้วบดด้วยเครื่องบด และนำผงแก้วที่ได้ร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดความละเอียด 100 เมช และ 200 เมช ผสมกับสีเซรามิก ประเภทเกรซสเตน สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน จากนั้นนำไปอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกด้วยแรง 15 ตันต่อตารางนิ้วเพื่อให้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 30×30×4 ลูกบาศก์มิลลิเมตร และนำไปเผาชินเตอริงที่ช่วงอุณหภูมิ 700–850 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่ทำให้แก้วเกิดสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินนั้นจะสังเกตเห็นสีที่ชัดเจนผิวเรียบเป็นมันวาวได้ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์การหดตัวมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิการชินเตอริงสูงขึ้น และในการทดสอบความต้านการกระแทกนั้นชิ้นงาน ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังการทดสอบ ค่าการดูดซึมน้ำจะไม่เกิน 18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตรงกับคุณลักษณะ ที่ยอมรับได้ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน (มอก.613-2529)

ชมพูนุช (2552) ในงานวิจัยนี้ ได้เตรียมเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไททาเนตโดยวิธีมิกซ์ออกไซด์ ใส่ตะกั่วออกไซด์ให้เพิ่มร้อยละ 3 โดยโมล ตั้งแต่การเตรียมผงก่อนการแคลไซน์ นำไปเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,150 และ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยแปรค่าอัตราการให้ความร้อนเป็น 3, 5 และ 10 องศาเซลเซียส/นาที ศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราการให้ความร้อนต่อสมบัติของเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไททาเนต พบว่าเซรามิกที่ซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสนั้น มีความแน่นตัว สภาพยอมสัมพัทธ์ และค่าความแข็งแบบ วิกเกอร์เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการให้ความร้อนลดลง

ส่วนเซรามิกที่ซินเตอร์ ณ อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียสนั้น ให้ผลในแนวโน้มเดียวกันแต่ค่าไม่เด่นชัดเท่าใดนัก

อนุชา (2549) การวิจัยเศษแก้วชนิดโซดาไลม์ (Soda-Lime) มาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการจัดการขยะประเภทแก้ว โดยทีมวิจัยนำเศษแก้วมาบดจนเป็นผงละเอียด และนำไปผสมกับปูนขาว (แคลเซียมไฮดรอกไซด์, $Ca(OH)_2$) และน้ำ หลังจากผสมส่วนผสมทั้งหมดเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว จึงนำไปอัดขึ้นรูปให้กลายเป็นกระเบื้องจากเศษแก้วที่มีขนาด 10x10x0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตร ขั้นตอนสุดท้ายนำผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วไปบ่มด้วยไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวดที่มีอุณหภูมิและความดันสูง และ ได้ทดลองปรับเปลี่ยนส่วนผสมวัตถุดิบ เพื่อหาส่วนผสมที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งแรงดัด (Flexural Strength) สูงสุด และนำผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นไปวัดสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล โดยใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐานเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกระทรวงอุตสาหกรรม (มอก. 613-2529) ปรากฏผลว่า กระเบื้องจากเศษแก้วสามารถใช้เป็นกระเบื้องบุผนังตกแต่งภายในได้ เพราะต้นแบบมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการใช้งาน ทนทานต่อการกระแทก อีกทั้งกระบวนการผลิตไม่ใช้เชื้อเพลิงปริมาณมากในการเผา จึงช่วยลดต้นทุนด้านวัตถุดิบและพลังงานได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบยังเติมผงสี และเคลือบผิวด้วยโพลิเมอร์เพื่อเพิ่มความสวยงาม และลดการดูดซึมน้ำได้เช่นเดียวกับกระเบื้องบุผนัง

เพ็ชรพร และคณะ (2548) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการนำของเสียที่เป็นแก้วชนิดต่างๆ มาเป็นวัตถุดิบ เพื่อทดแทนแร่เฟลด์สปาร์ ได้แก่เศษขวดแก้วสีชา เศษขวดแก้วสีเขียว และเศษกระจกใสที่ใช้แล้ว โดยนำมาผ่านการบดละเอียดขนาด 200 เมช แปรค่าอัตรา ส่วนการทดแทนแร่เฟลด์สปาร์ด้วย ของเสียที่เป็นแก้วร้อยละ 0 และร้อยละ 100 ของแร่เฟลด์สปาร์ที่ใช้ในส่วนผสมขึ้นรูป เป็นแผ่นกระเบื้องขนาด 4x4 ตารางนิ้ว ด้วยความดัน 100 บาร์เผาด้วยอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ทดสอบคุณภาพในด้านค่ากำลังรับแรงดัด ค่าการหดตัว ค่าการดูดซึมน้ำ การทนสารเคมีและความทนการราน ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.37-2529) จากนั้นจึงทำการแปรค่าความดันและอุณหภูมิในการเผาเป็น 200 บาร์ และ 1,150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ผลการทดสอบพบว่า ของเสียที่เป็นแก้วสีเขียว สามารถนำมาใช้ทดแทนแร่เฟลด์สปาร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด และยังช่วยลดต้นทุนในการผลิตทั้งค่า วัตถุดิบ และค่าพลังงานที่ใช้ในการเผา ดังนั้นการนำของเสียที่เป็นแก้วมาทดแทนแร่เฟลด์สปาร์ อาจเป็นทางเลือกที่เหมาะสมอีกทางที่ภาคอุตสาหกรรมจะนำไปพัฒนา และใช้ต่อไปได้ในอนาคต

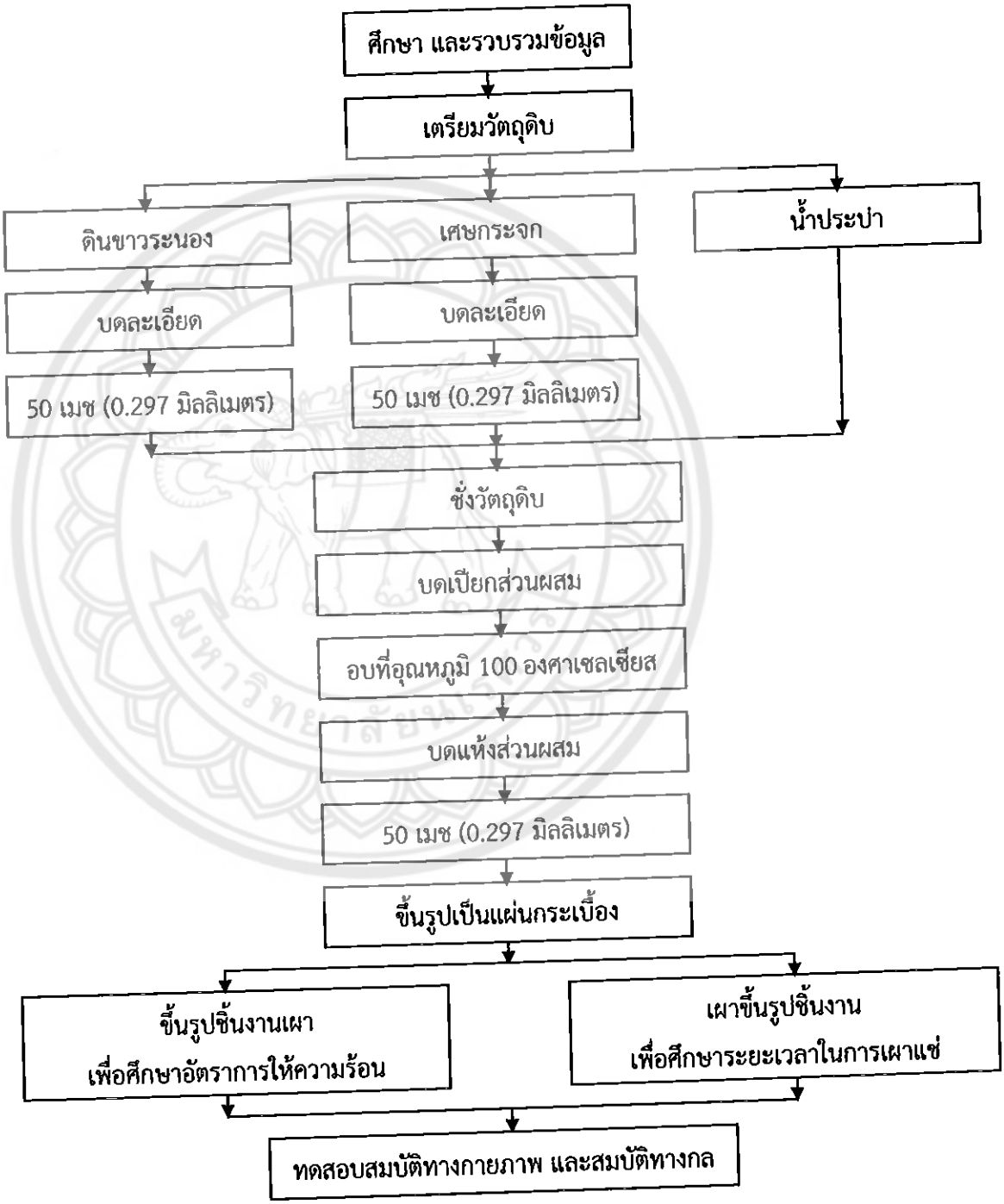
ฉัตรชัย และคณะ (2548) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการแทนที่เฟลด์สปาร์ด้วยเศษแก้วขนาดต่างๆ ในเนื้อดินกระเบื้องเซรามิก แปรค่าขนาดเศษแก้วที่ใช้เป็นขนาด 4 มิลลิเมตร นำมาบดและคัดขนาดที่เล็กกว่า 147 104 และ 750 ไมโครเมตร ตามลำดับ ขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้องขนาด 4 x 4 ตารางนิ้ว ด้วยความดันการอัดขึ้นรูป 100 บาร์ เผาที่ อุณหภูมิ 1,200, 1,150 และ 1,100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่า สำหรับการแทนที่เฟลด์สปาร์ด้วยเศษแก้วขนาด 4 มิลลิเมตร เนื้อวัตถุดิบผสมกันอย่างไม่ทั่วถึง ทำให้กระเบื้องหลังเผาแตกหักง่าย ส่วนการแทนที่ด้วยเศษแก้วที่มีขนาด

ระหว่าง 75-104 ไมโครเมตร เมื่อนำมาทดสอบคุณภาพทางกายภาพ ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.37-2529) พบว่า กระเบื้องมีจุดสุกตัวของเนื้อกระเบื้องประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส สามารถผลิตกระเบื้องที่มีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดสูงที่สุด เนื่องจากมีความเหมาะสมทั้งด้านการผสมวัตถุดิบและด้านการกระจายความร้อนได้อย่างทั่วถึงขณะเผา

ปาร์ย (2548) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาคุณภาพของกระเบื้องเซรามิกที่มีการใช้ของเสียที่เป็นแก้วสีชามาทดแทนเฟลด์สปาร์ซึ่งเป็นตัวหลอมละลายในกระบวนการผลิตกระเบื้องเซรามิก โดยนำซิลิกาอะลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ร่วมกับของเสียที่เป็นแก้วสีชา แปรค่าอัตราส่วนการทดแทนเฟลด์สปาร์ด้วยของเสียที่เป็นแก้วสีชาต่อซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็น 100 : 0, 80 : 20, 75 : 25 และ 70 : 30 ของเฟลด์สปาร์ที่ใช้ในส่วนผสม ขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้องขนาด 4x4 นิ้ว และแปรค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,200, 1,150 และ 1,100 องศาเซลเซียส ทดสอบคุณภาพของกระเบื้องในด้านกำลังรับแรงดัด การหดตัว การดูดซึมน้ำ การทนสารเคมี และความทนการรานผลการศึกษาพบว่า ทุกอัตราส่วนของการทดแทนที่เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ให้ค่าการทดสอบเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529)

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

3.1 ขั้นตอน และระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการทำโครงงาน



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 วัตถุดิบ และอุปกรณ์

3.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำโครงงาน

3.2.1.1 ดินขาวจังหวัดระนอง

3.2.1.2 เศษกระจกไม่ฉาบปรอท

3.2.1.3 น้ำ

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงงาน

3.2.2.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.2.2.2 บีกเกอร์

3.2.2.3 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

3.2.2.4 ตะแกรงร่อนขนาด 50 เมช

3.2.2.5 หม้อบด และลูกบด

3.2.2.6 เครื่องอัดขึ้นรูปกระเบื้อง

3.2.2.7 เตาอบ

3.2.2.8 เตาเผาอุณหภูมิสูง

3.2.2.9 เครื่อง UTM (Universal Testing Machine)

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

3.3.1.1 ศึกษาอัตราการให้ความร้อนของกระเบื้องดินขาวระนองผสมเศษกระจกใส ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกลได้แก่ ค่ากำลังรับแรงดัด รวบรวมข้อมูลเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.3.1.2 ศึกษาระยะเวลาการเผาแช่ของกระเบื้องดินขาวระนองผสมเศษกระจกใส ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกลได้แก่ ค่ากำลังรับแรงดัด รวบรวมข้อมูลเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.3.2 กรรมวิธีการผลิต

3.3.2.1 เก็บรวบรวมกระจกที่เหลือทิ้ง มาทำความสะอาดแล้วนำไปทุบด้วยค้อนให้เป็นเศษกระจก และนำมาบดด้วยเครื่องบดละเอียด (Ball Mill) อีกครั้ง

3.3.2.2 นำเศษกระจกที่บดละเอียดไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 50 เมช

3.3.2.3 นำดินที่เป็นก้อนมาบดให้ละเอียด

3.3.2.4 ชั่งเศษกระจก และดิน โดยมีอัตราส่วนดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกต่อดินขาวระนอง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

เศษกระจก	0	20	40
ดินขาวระนอง	100	80	60

3.3.2.5 ทำการบดเปียกส่วนผสมดังกล่าวเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

3.3.2.6 นำส่วนผสมที่ผ่านการบดเปียกแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3.3.2.7 นำส่วนผสมที่ผ่านการอบแล้วมาบดแห้ง

3.3.2.8 นำส่วนผสมที่ผ่านการบดแห้งแล้วมาร่อนผ่านตะแกรง 50 เมช

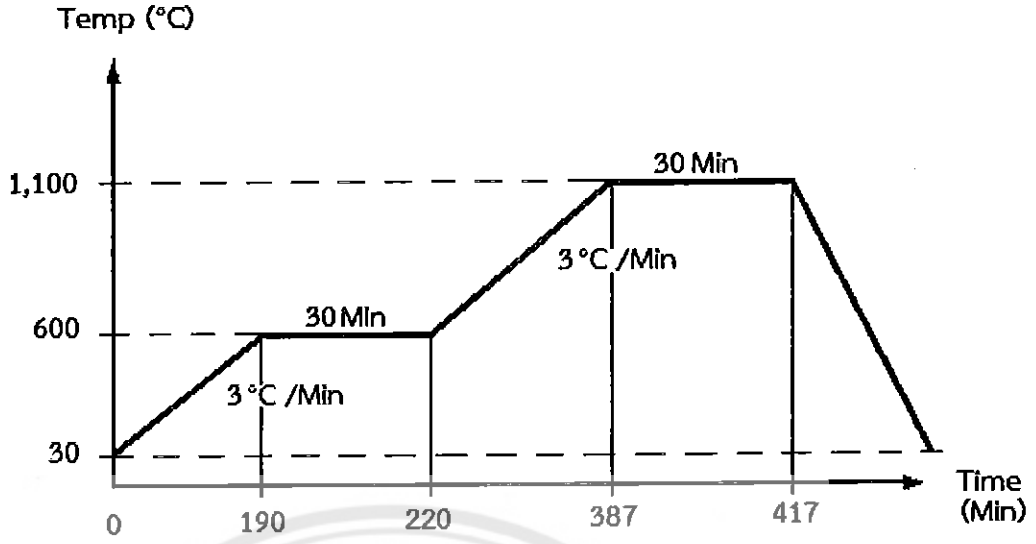
3.3.2.9 นำวัตถุดิบไปขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้อง โดยทำการขึ้นรูปกระเบื้องขนาด 10x2x1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.3.2.10 นำกระเบื้องที่ผ่านการขึ้นรูปไปเข้าสู่กระบวนการเผา โดยทำการเผาดังตารางที่ 3.2 และ 3.3

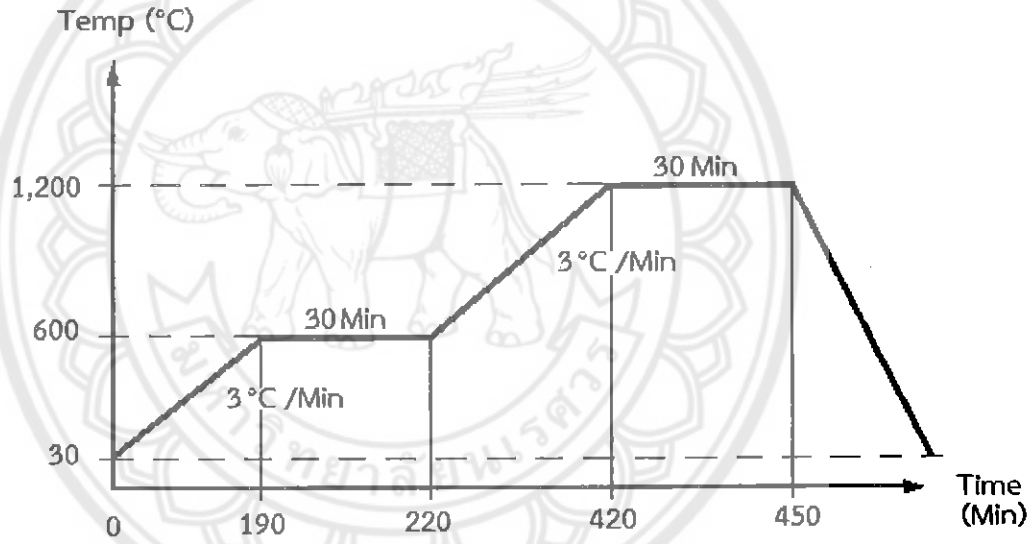
3.3.2.11 ขั้นตอนของกระบวนการเผาขึ้นรูปชิ้นงานกระเบื้อง แสดงดังรูปที่ 3.2-3.9

ตารางที่ 3.2 อัตราการให้ความร้อนที่ 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาที่อุณหภูมิ 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส

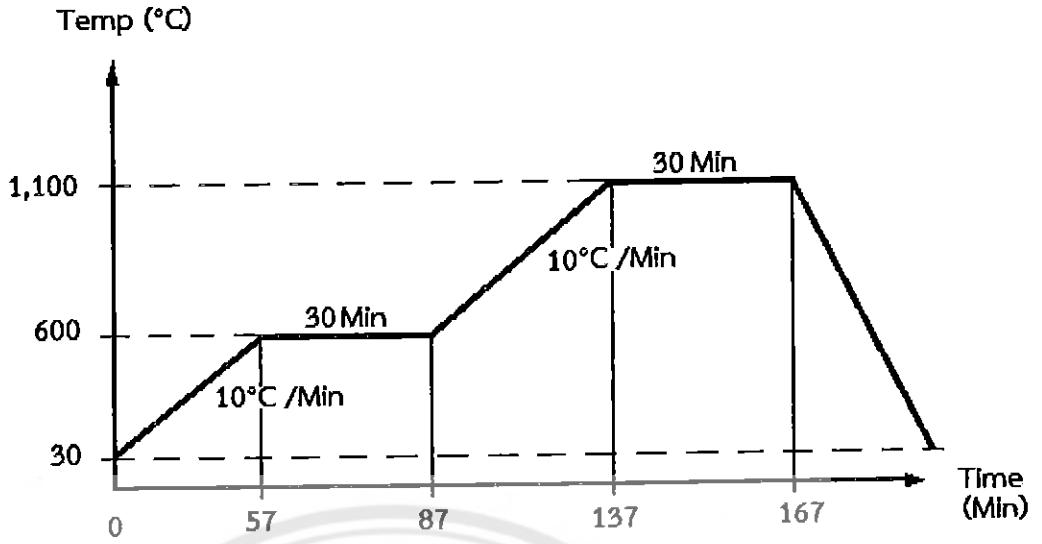
กระบวนการเผาที่	อัตราส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก) เศษกระจกใสต่อดินขาว	อัตราการให้ความร้อน (องศาเซลเซียสต่อนาที)	ระยะเวลาในการเผาแช่ (นาที)	อุณหภูมิในการเผา (องศาเซลเซียส)
1	0 : 100	3	30	1,100
2	20 : 80	3	30	1,100
3	40 : 60	3	30	1,100
4	0 : 100	3	30	1,200
5	20 : 80	3	30	1,200
6	40 : 60	3	30	1,200
7	0 : 100	10	30	1,100
8	20 : 80	10	30	1,100
9	40 : 60	10	30	1,100
10	0 : 100	10	30	1,200
11	20 : 80	10	30	1,200
12	40 : 60	10	30	1,200



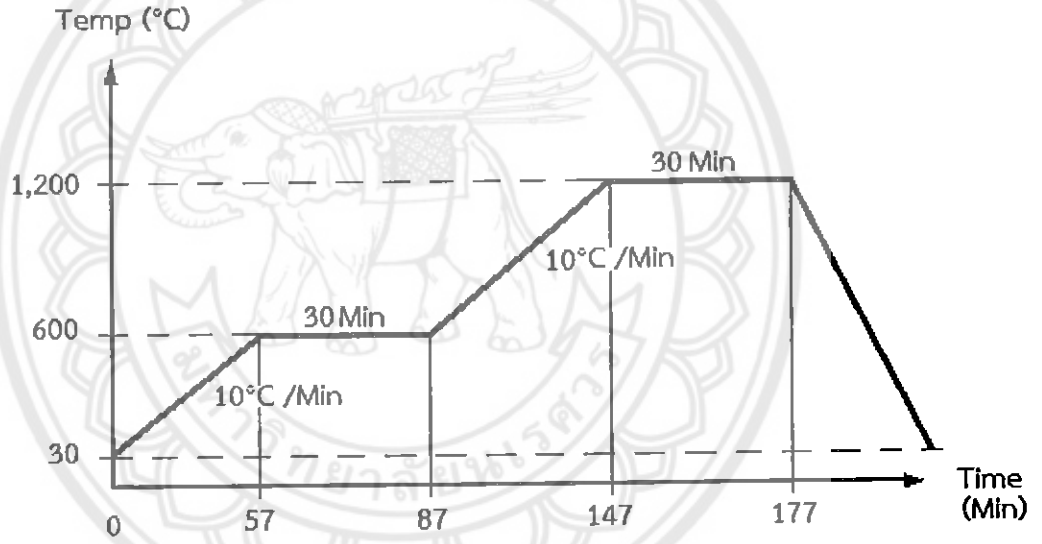
รูปที่ 3.2 อัตราการให้ความร้อนที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.3 อัตราการให้ความร้อนที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส



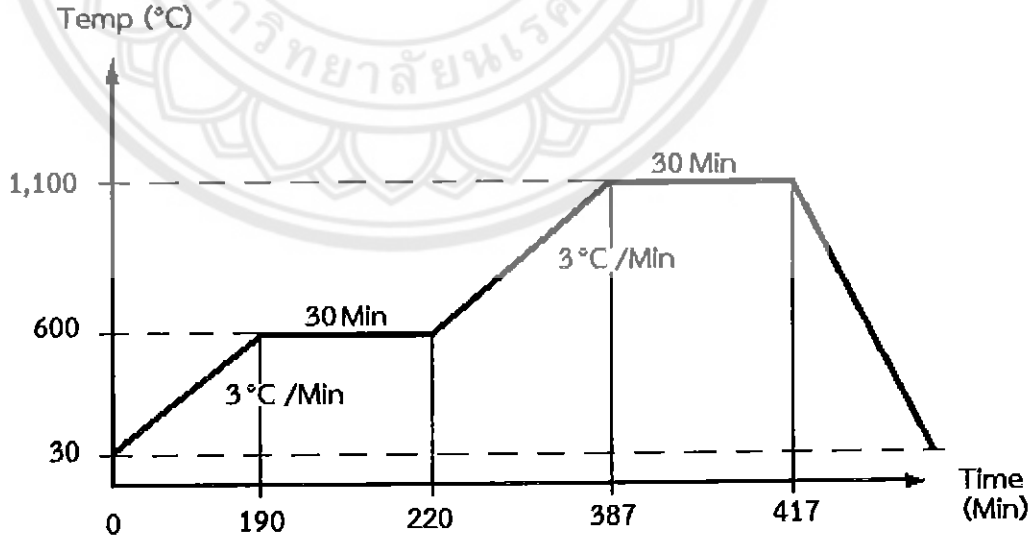
รูปที่ 3.4 อัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส



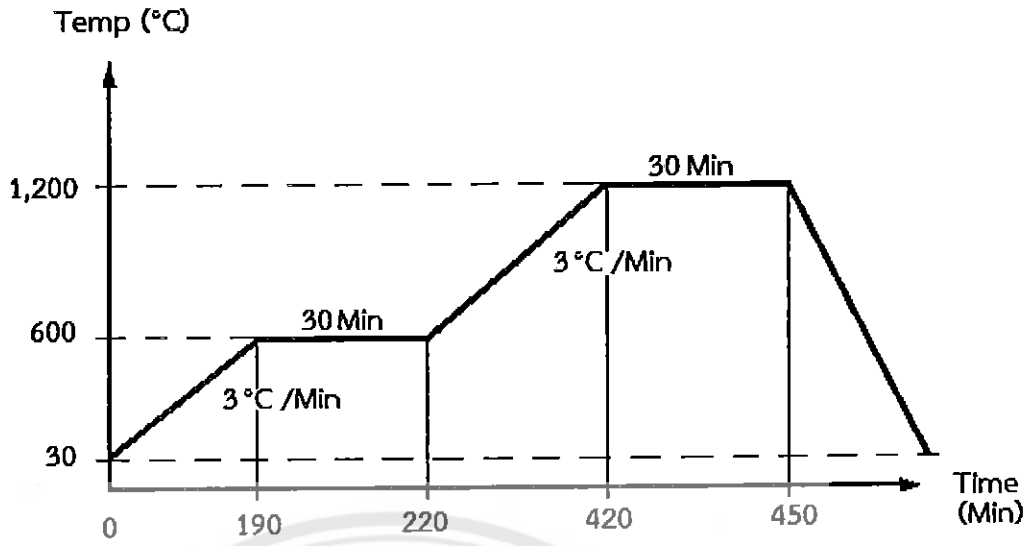
รูปที่ 3.5 อัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3.3 ระยะเวลาในการเผาแช่ที่ 30 และ 60 นาที เผาที่อุณหภูมิ 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส

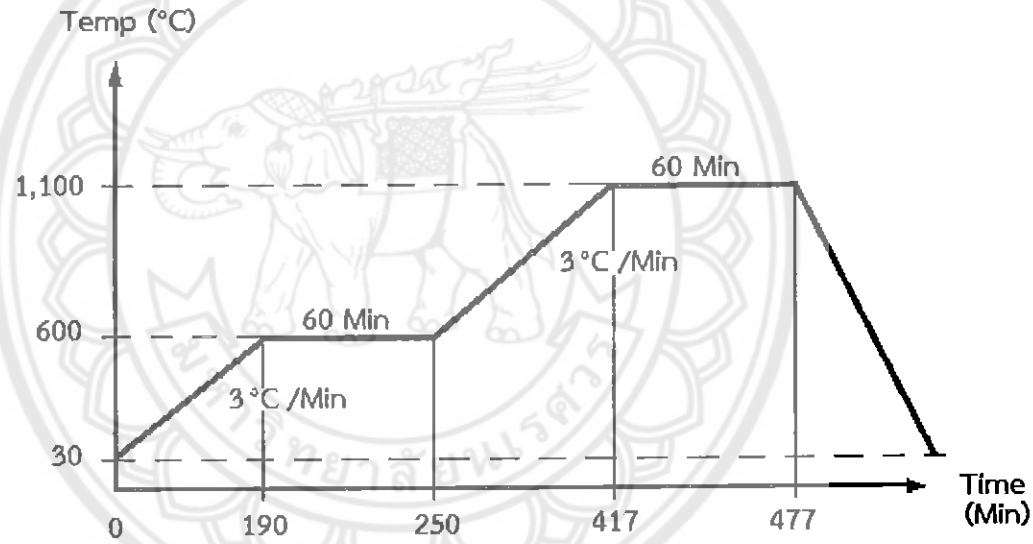
กระบวนการเผาที่	อัตราส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก) เศษกระจกใสต่อดินขาว	อัตราการให้ความร้อน (องศาเซลเซียสต่อนาที)	ระยะเวลาในการเผาแช่ (นาที)	อุณหภูมิในการเผา (องศาเซลเซียส)
1	0 : 100	3	30	1,100
2	20 : 80	3	30	1,100
3	40 : 60	3	30	1,100
4	0 : 100	3	30	1,200
5	20 : 80	3	30	1,200
6	40 : 60	3	30	1,200
7	0 : 100	3	60	1,100
8	20 : 80	3	60	1,100
9	40 : 60	3	60	1,100
10	0 : 100	3	60	1,200
11	20 : 80	3	60	1,200
12	40 : 60	3	60	1,200



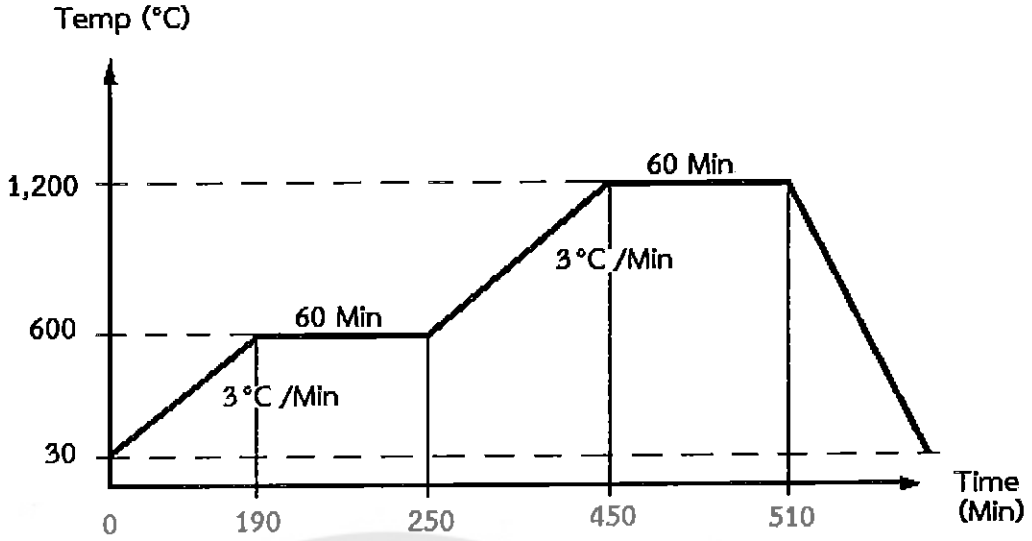
รูปที่ 3.6 ระยะเวลาในการเผาแช่ที่ 30 นาที เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.7 ระยะเวลาในการเผาแช่ที่ 30 นาที เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.8 ระยะเวลาในการเผาแช่ที่ 60 นาที เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.9 ระยะเวลาในการเผาแช่ที่ 60 นาที เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

3.3.2.12 ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก. 37-2529) (ลักษณะทั่วไป ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่ากำลังรับแรงดัด)

3.3.3 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ และทางกลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น

3.3.3.1 ค่ากำลังรับแรงดัด

เตรียมชิ้นงานขนาด 10×2×1 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยกดแบบ 3 Pointbending ใช้ Span Length เท่ากับ 50 มิลลิเมตร และใช้อัตราเร็วกดเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตรต่อนาทีแล้วทำการกดโดยใช้เครื่อง UTM (Universal Testing Machine) จนถึงแรงกดที่ทำให้ชิ้นงานนั้นหักแล้วนำไปคำนวณค่าความแข็งแรงภายใต้กำลังรับแรงดัด (Modulus of Rupture; MOR) ได้ดังสมการที่ 2.1

3.3.3.2 ความหนาแน่น และร้อยละการดูดซึม

ก. อบชิ้นงานให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า W_d เป็นน้ำหนักชิ้นงานแห้งหลังอบ

ข. เผาชิ้นงาน ชั่งน้ำหนักหลังเผา บันทึกค่า W_f เป็นน้ำหนักชิ้นแห้งหลังเผา

ค. ต้มชิ้นงานในน้ำกลั่นให้เดือดนาน 2 ชั่วโมง และแช่ไว้อีก 24 ชั่วโมง

ง. ชั่งน้ำหนักชิ้นงานในน้ำ บันทึกค่า W_{ss} ซึ่งเป็นน้ำหนักชิ้นงานหลังต้มชั่งในน้ำ

จ. เช็ดผิวของชิ้นงาน ชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า W_s ซึ่งเป็นน้ำหนักชิ้นงานหลังต้มชั่งในอากาศ

ฉ. นำค่าจากการทดลองมาคำนวณดังสมการที่ 2.2, 2.3 และ 2.4

3.4 วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

3.4.1 วิเคราะห์อัตราการให้ความร้อนของกระเบื้องดินขาวระนองผสมเศษกระจกใส ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล

3.4.2 วิเคราะห์ระยะเวลาการเผาแช่ของกระเบื้องดินขาวระนองผสมเศษกระจกใส ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล

3.4.3 สรุปผลการทดลองจากการศึกษาอัตราส่วนของเศษกระจกใส อัตราการให้ความร้อน และระยะเวลาการเผาแช่ของกระเบื้องดินขาวระนองผสมเศษกระจกใส ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล

3.5 จัดทำรูปเล่มรายงาน

นำข้อมูลทั้งหมด และผลการทดลองมาจัดทำรูปเล่มรายงาน

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 4
ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

4.1 ศึกษาผลของอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้น

ผลกระทบของอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนองที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้น โดยแปรอัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80 และ 40 : 60 ตามลำดับ ให้อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผาขึ้นรูป 1,100 องศาเซลเซียส และพิจารณาสีของกระเบื้องหลังเผา ค่าความหนาแน่น รวมทั้งเปรียบเทียบค่าการทดสอบกำลังรับแรงดัดและค่าร้อยละการดูดซึมน้ำกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) ได้แก่ ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่ากำลังรับแรงดัด

4.1.1 ผลของอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้น

ตารางที่ 4.1 สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด หลังเผาขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนอง	สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด (MPa)
0 : 100		1.60	22.68	5.95
20 : 80		1.65	15.12	13.02
40 : 60		1.94	5.43	29.92

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด หลังเผาขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส

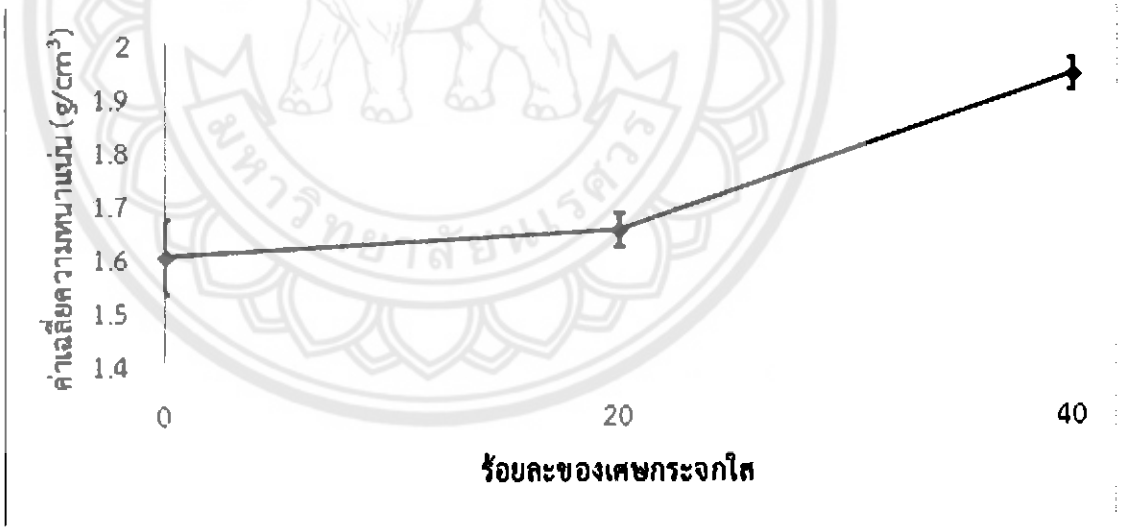
อัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนอง	สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด (MPa)
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529)	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด	ไม่เกินร้อยละ 6	ไม่ต่ำกว่า 25 MPa

4.1.1.1 สีของกระเบื้องปูพื้นหลังเผา

สีของกระเบื้องปูพื้นหลังเผา ได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.1 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80, และ 40 : 60 ตามลำดับ นำไปให้อัตราการให้ความร้อนที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผา มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น เนื่องจากกระจกที่ใช้เป็นกระจกใสไม่ฉาบปรอท ซึ่งในกระบวนการผลิตกระจกใสจะเป็นการนำออกไซด์โลหะมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจนเกิดการหลอมตัว โดยออกไซด์ดังกล่าวจะประกอบด้วยโซเดียมออกไซด์ ซิลิเกตออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์ เมื่อกระจกใสได้รับความร้อน จะเกิดการหลอมตัว โดยออกไซด์โลหะต่างๆ จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิด Liquid Phase Sintering ในดินมากขึ้น เป็นผลให้ดินมีการสุกตัวได้ดีขึ้น จึงส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีสีน้ำตาลที่เข้มขึ้นอันเกิดจากการสุกตัวของเนื้อดินที่ดีขึ้น เนื่องจากมี Liquid Phase Sintering ในดินมากขึ้น ซึ่งดินขาวระนอง ที่ใช้ในการดำเนินโครงงานมีลักษณะสีครีมปนน้ำตาลอ่อน การเผาที่อุณหภูมิสูงจึงส่งผลให้ออกไซด์โลหะในกระจกใสมีส่วนเสริมให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีสีเข้มขึ้นในเฉดสีน้ำตาลตามลักษณะเฉดสีของเนื้อดิน นั่นคือ กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีลักษณะสีน้ำตาล แต่มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยทั้งนี้ดินขาวระนองประกอบด้วยแร่เกาลินไนท์ที่มีอินทรีย์สารปนอยู่ในเนื้อดินปริมาณน้อย มีโครงสร้างของผลึกดินเป็นแผ่นบางๆ เรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ เบียดอัดแน่นโครงสร้างของผลึก ประสานกันแข็งแรง แร่อื่นไม่สามารถ ที่จะแทรกเข้าไปในโครงสร้างของผลึกได้ ซึ่งทำให้ดินขาวระนองมีความบริสุทธิ์ กระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองที่ได้จึงให้สีที่ไม่แตกต่างมากนัก

4.1.1.2 การทดสอบความหนาแน่น

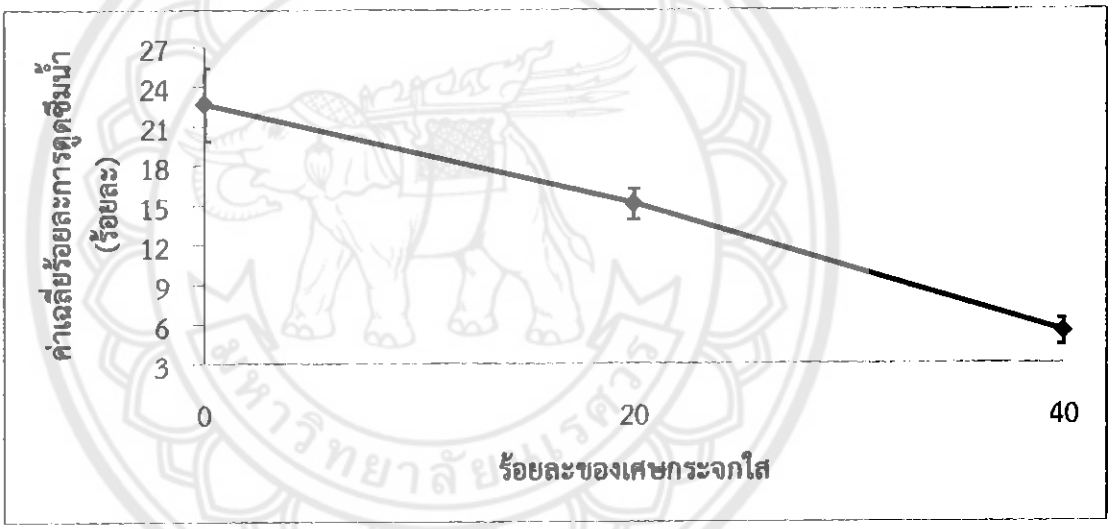
อิทธิพลของอัตราส่วนของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้น ได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 นั่นคือเมื่อนำกระเบื้องปูพื้นไปผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนองที่อัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80, และ 40 : 60 ตามลำดับ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นหลังเผาเพิ่มขึ้น เนื่องจากในเนื้อดินมีส่วนประกอบของฟลักซ์ที่เป็นวัตถุดิบหลักซึ่งช่วย ลดอุณหภูมิการหลอมตัวของเนื้อดิน อีกทั้งในกระบวนการผลิตกระจกใสนั้น มีการเติมฟลักซ์หรือออกไซด์โลหะต่างๆ ด้วยเช่นกัน จึงส่งผลให้ฟลักซ์ในเศษกระจกใสเป็นส่วนเสริมที่ช่วยในการลดอุณหภูมิการหลอมตัวของกระเบื้องปูพื้นให้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นกระจกใสจึงเปรียบเสมือนเป็นตัวเริ่มก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิด Liquid Phase Sintering ในดินเกิดเฟสที่เป็นของเหลวช่วยในการเผาผลึกมากขึ้น เป็นตัวประสานให้ผลึกของดินรวมตัวกันแน่น เนื้อดินหลอมเชื่อมเป็นเนื้อเดียวกัน การเพิ่มปริมาณกระจกใสลงไปในดินนั้น เป็นการเพิ่มวัตถุดิบที่ช่วยให้เกิดการหลอมตัวได้อย่างรวดเร็ว จึงเปรียบเสมือนการเติม Liquid Phase Sintering ให้กับเนื้อดินเกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอดทั่วทั้งชิ้นงาน ส่งผลให้อนุภาคยึดตัวได้แน่นจึงทำให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหนาแน่นกับร้อยละของเศษกระจกใสผสมกับดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส

4.1.1.3 ทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ

อิทธิพลของอัตราส่วนของเศษกระจกใสในดินขาวระนองที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้น ได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, และ 40 : 60 ตามลำดับ อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง สอดคล้องกับการทดลองที่ 4.1.1.2 ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณเศษกระจกใสจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เหตุผลดังอธิบายไว้ในการทดลองที่ 4.1.1.2 ดังนั้นการที่กระเบื้องปูพื้นมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเศษกระจกใสนั้น แสดงถึงปริมาณรูพรุนในเนื้อของกระเบื้องปูพื้นที่ลดลง จึงส่งผลให้เมื่อมีการทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง เมื่อมีการเพิ่มของเศษกระจกใส โดยพบว่าที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 ให้ค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก. 37-2529)

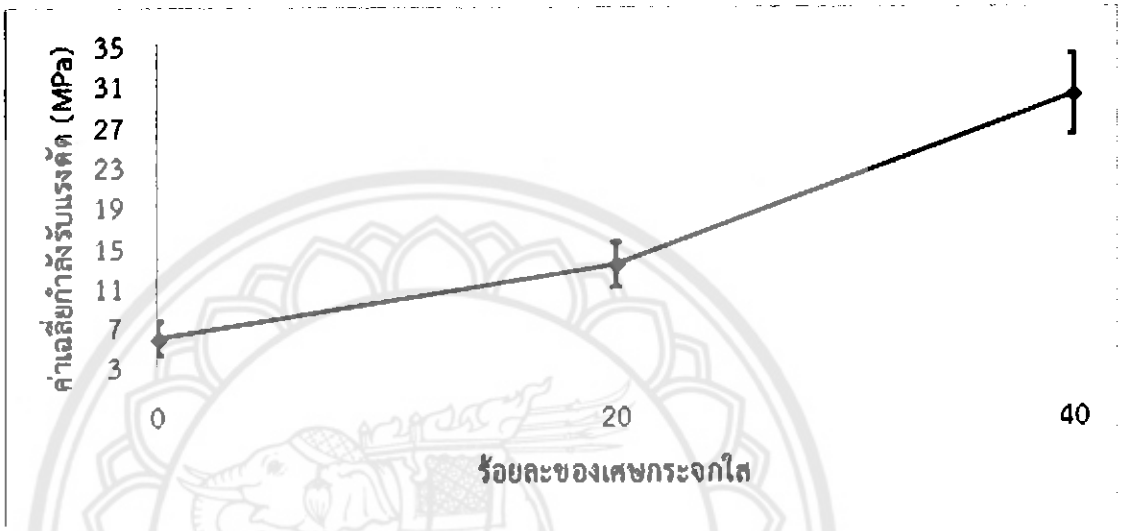


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำกับร้อยละของเศษกระจกใสผสมกับดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส

4.1.1.4 การทดสอบกำลังรับแรงดัด

อิทธิพลของอัตราส่วนของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.3 นั่นคือเมื่อนำกระเบื้องไปผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดกระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองที่ 4.1.1.2 และ 4.1.1.3 ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณเศษกระจกใสส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำลดลง อีกทั้งสอดคล้องกับการทดลองเรื่อง ผลกระทบของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วเหลือทิ้งที่มีผลต่ออุณหภูมิในการเผา สมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาเซรามิก (เกษมสันต์ และสถาพร, 2553) ที่พบว่าการ

เพิ่มปริมาณเศษแก้วจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเศษแก้วสีชาลงในอัตราส่วนผสมจะช่วยให้เกิด Liquid Phase Sintering ได้ง่าย ส่งผลให้อนุภาคของเนื้อดินยึดติดกันแน่น มีความแข็งแกร่งเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้กระเบื้องหลังเผามีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น โดยพบว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง กับเศษกระจกใสที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 ให้ค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529)



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดกับร้อยละของเศษกระจกใสผสมกับดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส

4.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเผาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่ผลิตจากเศษกระจกใสกับดินขาวระนอง

ผลกระทบของอุณหภูมิในการเผาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้น โดยแปรอัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80 และ 40 : 60 ตามลำดับ ใช้อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผาขึ้นรูป 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส และพิจารณาสีของกระเบื้องหลังเผา ค่าความหนาแน่น รวมทั้งเปรียบเทียบค่าการทดสอบกำลังรับแรงดัดและค่าร้อยละการดูดซึมน้ำกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) ได้แก่ ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่ากำลังรับแรงดัด

4.2.1 ผลของอุณหภูมิในการเผาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่ผลิตจากเศษกระจกใสกับดินขาวระนอง

4.2.1.1 สีของกระเบื้องปูพื้นหลังเผา

สีกระเบื้องปูพื้นหลังเผา ได้แสดงผลดังตารางที่ 4.2 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, และ 40 : 60 ตามลำดับ นำไปเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ส่งผลให้สีของกระเบื้องปูพื้นหลังเผามีสีน้ำตาลเข้มขึ้น นั่นคือเมื่อพิจารณากระเบื้องปูพื้นที่อัตราส่วนผสมเดียวกัน เปรียบเทียบที่อุณหภูมิการเผา 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส พบว่าที่อัตราส่วนผสมเดียวกัน ที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส จะให้สีกระเบื้องปูพื้นหลังเผามีสีที่เข้มกว่า เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะช่วยทำให้การเกิด Liquid Phase Sintering เกิดได้อย่างรวดเร็วขึ้น ส่งผลให้ดินสุกตัวได้ดีขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิยังช่วยให้ฟลักซ์ในเนื้อดินเกิดการหลอมตัวได้มาก ดินจะสุกตัวได้ดียิ่งขึ้น ทำให้สีของกระเบื้องปูพื้นหลังเผา ณ อุณหภูมิที่สูงกว่ามีสีที่เข้มกว่าที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 4.2 สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส

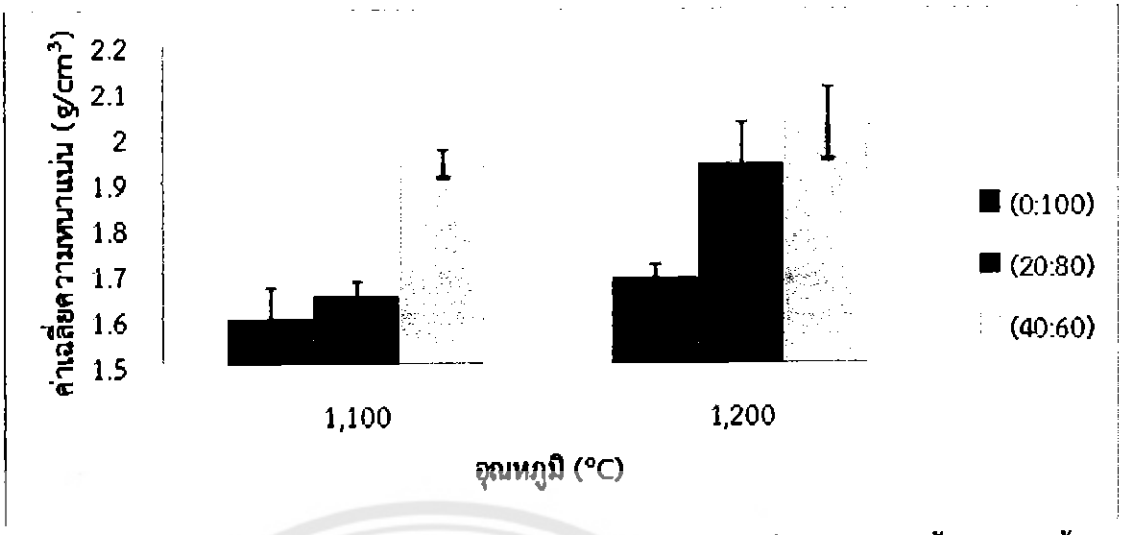
อัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนอง	อุณหภูมิในการเผา (°C) 1,100	อุณหภูมิในการเผา (°C) 1,200
0 : 100		
20 : 80		
40 : 60		
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาปูพื้น(มอก.37-2529)	ไม่กำหนด	

4.2.1.2 การทดสอบความหนาแน่น

ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, และ 40 : 60 ตามลำดับ แล้วนำกระเบื้องปูพื้นไปผ่านการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากกระเบื้องปูพื้นประกอบด้วยเศษกระจกใสและดินขาวระนอง ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิในการเผากระเบื้องปูพื้นเปรียบเสมือนการเร่งให้เกิด Liquid Phase Sintering นั่นคือการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้เศษกระจกใส และดินขาวระนองหลอมได้ดีขึ้น ทำให้เนื้อดินเกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอด ส่งผลให้อนุภาคของเนื้อดินเกิดการหดตัวติดกันได้ง่าย จึงทำให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนอง	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (g/cm^3) ที่อุณหภูมิ 1,100 ($^\circ C$)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (g/cm^3) ที่อุณหภูมิ 1,200 ($^\circ C$)
0 : 100	1.60	1.69
20 : 80	1.65	1.94
40 : 60	1.94	2.03
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาปูพื้น(มอก.37-2529)	ไม่กำหนด	



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหนาแน่นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง

4.2.1.3 การทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ

ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, และ 40 : 60 ตามลำดับ แล้วนำกระเบื้องปูพื้นไปผ่านการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบที่ 4.2.1.2 นั่นคือ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้รูพรุนภายในชิ้นงานลดลง จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง โดยที่อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 ให้ค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529)

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนอง	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) ที่อุณหภูมิ 1,100 (°C)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) ที่อุณหภูมิ 1,200 (°C)
0 : 100	22.68	19.12
20 : 80	15.12	6.28
40 : 60	5.43	2.26

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนอง	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) ที่อุณหภูมิ 1,100 (°C)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) ที่อุณหภูมิ 1,200 (°C)
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาปูพื้น(มอก.37-2529)	ไม่เกินร้อยละ 6	

รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง

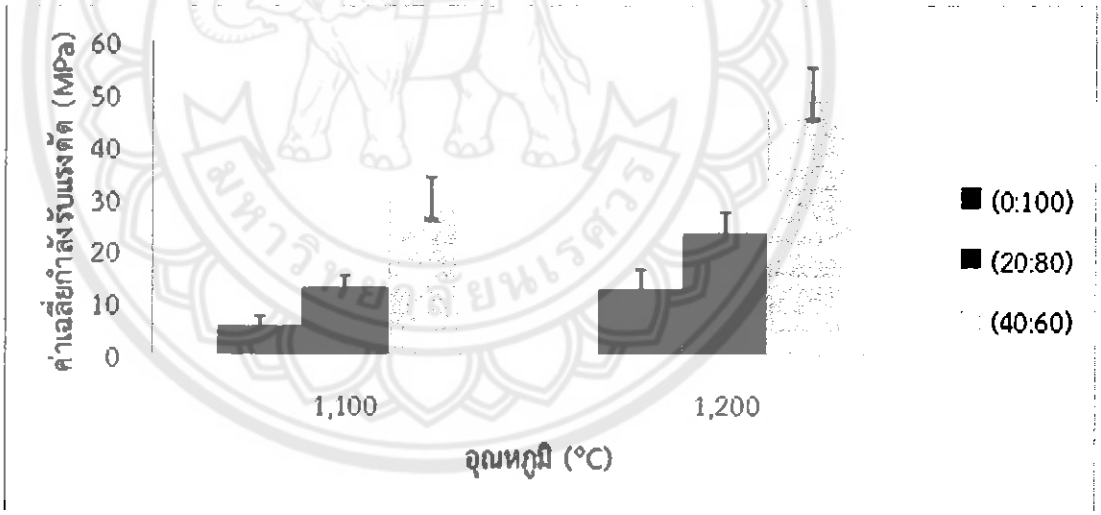
4.2.1.4 การทดสอบกำลังรับแรงดัด

อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง ได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 นั่นคือเมื่อนำกระเบื้องปูพื้นอัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80, และ 40 : 60 ตามลำดับ แล้วนำกระเบื้องปูพื้นไปผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดมีค่าเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับการทดสอบที่ 4.2.1.2 และ 4.2.1.3 ที่พบว่าการเพิ่มของอุณหภูมิส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาทำให้เกิด Liquid Phase Sintering ได้ง่าย ส่งผลให้อนุภาคของเนื้อดินเกิดการหดตัวติดกันได้มากขึ้น อนุภาคของเนื้อดินยึดติดกันได้แน่น มีช่องว่างระหว่างเนื้อดินน้อยลงจึงทำให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น โดยพบว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองกับเศษกระจกใส

ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 ที่อุณหภูมิ 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ให้ค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529)

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนอง	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด (MPa) ที่อุณหภูมิ 1,100 (°C)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด (MPa) ที่อุณหภูมิ 1,200 (°C)
0 : 100	5.95	12.54
20 : 80	13.02	23.18
40 : 60	29.92	50.08
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น(มอก.37-2529)	ไม่ต่ำกว่า 25 MPa	



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง

4.3 ศึกษาผลของอัตราการให้ความร้อนที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้น

ผลกระทบของอัตราการให้ความร้อนที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้น โดยใช้เศษกระจกใสต่อดินขาวระนอง แปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80 และ 40 : 60 ตามลำดับ ใช้อัตราการให้ความร้อน 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผาขึ้นรูป 1,100 องศาเซลเซียส และพิจารณาสีของกระเบื้องหลังเผา ค่าความหนาแน่น รวมทั้งเปรียบเทียบค่าการทดสอบกำลังรับแรงดัดและค่าร้อยละการดูดซึมน้ำกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) ได้แก่ ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่ากำลังรับแรงดัด

4.3.1 ผลของอัตราการให้ความร้อนที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่ผลิตจากเศษกระจกใสกับดินขาวระนอง

4.3.1.1 สีกระเบื้องปูพื้นหลังเผา

สีของกระเบื้องปูพื้นหลังเผา ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.6 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองในอัตราส่วนเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, และ 40 : 60 ตามลำดับ นำไปให้อัตราการให้ความร้อน 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผาขึ้นรูป 1,100 องศาเซลเซียสพบว่าการให้อัตราการให้ความร้อนอย่างช้าๆ ส่งผลให้สีของกระเบื้องปูพื้นหลังเผามีสีน้ำตาลที่เข้มกว่า เนื่องจากอัตราการให้ความร้อนที่ต่ำหรือเป็นไปอย่างช้าๆ จะส่งผลให้เกิดการให้ความร้อนในชิ้นกระเบื้องอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ ทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์ค่อยๆเกิด Liquid Phase Sintering ในตัวและหลอมเอาเนื้อดินมาติดกันอย่างช้าๆ แต่มีการสุกตัวของเนื้อดินที่สูงกว่า เกิดจากเนื้อดินมีเวลาในการจัดเรียงตัวให้ชิดกันมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอดได้ดี เป็นผลให้เกิดการสุกตัวของเนื้อดินที่มากว่าการให้อัตราการให้ความร้อนที่รวดเร็ว ดังนั้น สีของเนื้อดินจึงมีความเข้มกว่านั่นเอง

ตารางที่ 4.6 สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส

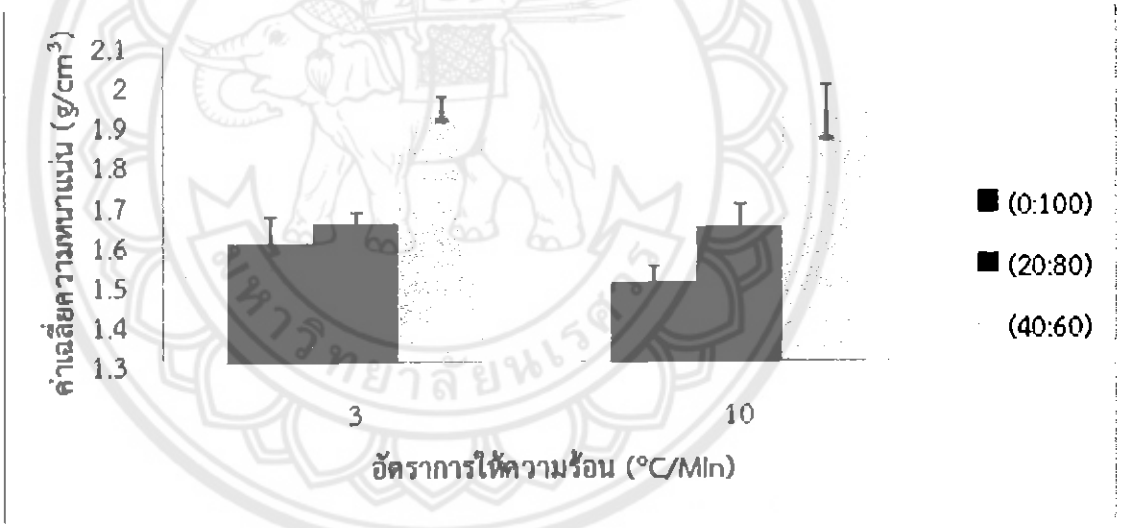
อัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใส ต่อดินขาวระนอง	อัตราการให้ความร้อน 3 (° C/Min)	อัตราการให้ความร้อน 10 (° C/Min)
0 : 100		
20 : 80		
40 : 60		
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาปูพื้น(มอก.37-2529)	ไม่กำหนด	

4.3.1.2 การทดสอบความหนาแน่น

อิทธิพลของอัตราการให้ความร้อนที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.7 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, และ 40 : 60 ตามลำดับ นำไปให้อัตราการให้ความร้อน 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผาขึ้นรูป 1,100 องศาเซลเซียส พบว่าที่อัตราการให้ความร้อนที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสูงกว่าที่อัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ในทุกๆ อัตราส่วนผสม ทั้งนี้เนื่องจากการให้อัตราความร้อนอย่างช้าๆ จะทำให้เนื้อดินของกระเบื้องปูพื้นและเศษกระจกใสสามารถหลอมตัวได้ดี จึงส่งผลให้เกิดการสุกตัวของเนื้อดินได้มาก เป็นผลให้เนื้อดินเกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอดได้มากกว่า อนุภาคของเนื้อดินเกิดการหดตัวติดกันได้ง่าย จึงทำให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าความหนาแน่นที่ดีกว่า

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนอง	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (g/cm^3) ที่อัตราการให้ความร้อน 3 ($^{\circ}C/Min$)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (g/cm^3) ที่อัตราการให้ความร้อน 10 ($^{\circ}C/Min$)
0 : 100	1.60	1.50
20 : 80	1.65	1.64
40 : 60	1.94	1.93
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาปูพื้น(มอก.37-2529)	ไม่กำหนด	



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหนาแน่นกับอัตราการให้ความร้อนที่ 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง

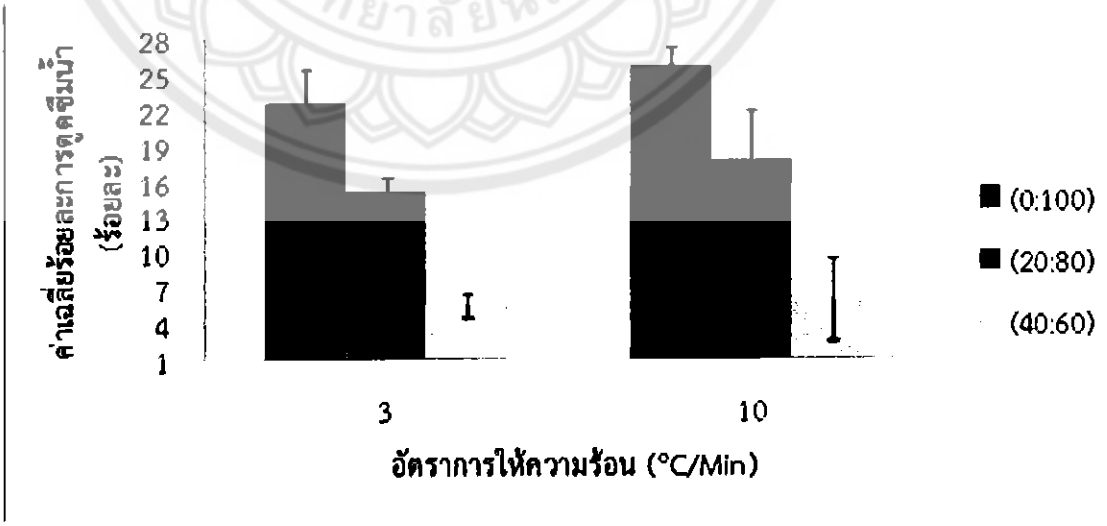
4.3.1.3 การทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ

อิทธิพลของอัตราการให้ความร้อนที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.8 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, และ 40 : 60 ตามลำดับ นำไปให้อัตราการให้ความร้อน 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผาขึ้นรูป 1,100 องศาเซลเซียส พบว่าการให้อัตราการให้ความร้อนอย่างช้าๆ ส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผา มีค่าเฉลี่ยร้อยละดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่าการให้อัตราการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว

ในทุกอัตราส่วนผสม สอดคล้องกับการทดลองที่ 4.3.1.2 ดังนั้นเมื่อมีการให้ความร้อนอย่างช้าๆ กระเบื้องปูพื้นจะมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นที่สูงขึ้น แสดงถึงปริมาณรูพรุนภายในเนื้อของกระเบื้องปูพื้นที่ลดลง จึงส่งผลให้เมื่อมีการทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง ซึ่งเมื่อมีการให้อัตราการให้ความร้อนอย่างช้าๆ คือที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่าที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 ให้ค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529)

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนอง	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) ที่อัตราการให้ความร้อน 3 (°C/Min)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) ที่อัตราการให้ความร้อน 10 (°C/Min)
0 : 100	22.68	25.84
20 : 80	15.12	17.74
40 : 60	5.43	6.02
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น(มอก.37-2529)	ไม่เกินร้อยละ 6	



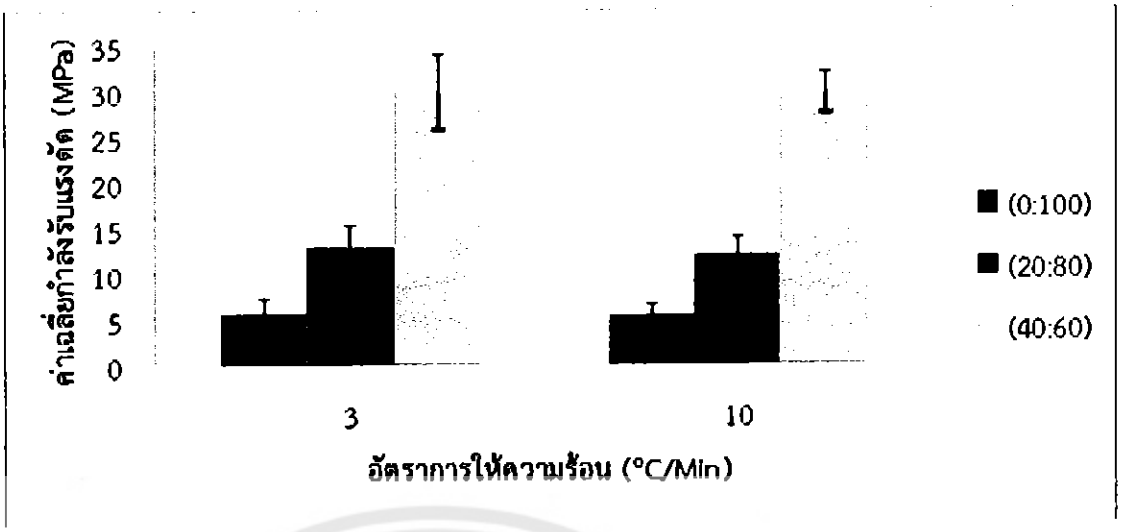
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำกับอัตราการให้ความร้อนที่ 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง

4.3.1.4 การทดสอบกำลังรับแรงดัด

อิทธิพลของอัตราการให้ความร้อนที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง ได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.9 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80, และ 40 : 60 ตามลำดับ โดยให้อัตราการให้ความร้อนที่ 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส พบว่าที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดสูงกว่าที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ในทุกๆ อัตราส่วนผสม สอดคล้องกับการทดสอบที่ 4.3.1.2 และ 4.3.1.3 ที่พบว่าการให้อัตราการให้ความร้อนอย่างช้าๆ ส่งผลให้กระเบื้องปูพื้น ดินขาวระนองมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากการให้อัตราการให้ความร้อนอย่างช้าๆ เปรียบเสมือนการเพิ่มเวลาให้กับการหลอมตัวของเศษกระจกใสและดินขาวระนอง อีกทั้งการเกิดปฏิกิริยา Liquid Phase Sintering ในดินมากขึ้น ส่งผลให้เนื้อดินเกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอด ทำให้อนุภาคของเนื้อดินเกิดการหดตัวติดกันได้ง่าย มีช่องว่างระหว่างเนื้อดินน้อยลงมีความแข็งแกร่งเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น โดยพบว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองกับเศษกระจกใสที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 ที่อัตราการให้ความร้อน 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ให้ค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529)

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนอง	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด (MPa) ที่อัตราการให้ความร้อน 3 ($^{\circ}$C/Min)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด (MPa) ที่อัตราการให้ความร้อน 10 ($^{\circ}$C/Min)
0 : 100	5.95	5.45
20 : 80	13.02	12.17
40 : 60	29.92	29.83
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาปูพื้น(มอก.37-2529)	ไม่ต่ำกว่า 25 MPa	



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดกับอัตราการให้ความร้อนที่ 3 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง

4.4 ผลของระยะเวลาในการเผาแช่ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้น

ผลกระทบของระยะเวลาในการเผาแช่ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้น โดยใช้เศษกระจกใสต่อดินขาวระนอง แปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80 และ 40 : 60 ตามลำดับ ใช้อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที อุณหภูมิในการเผาขึ้นรูป 1,100 องศาเซลเซียส และพิจารณาสีของกระเบื้องหลังเผา ค่าความหนาแน่น รวมทั้งเปรียบเทียบค่าการทดสอบกำลังรับแรงดัดและค่าร้อยละการดูดซึมน้ำกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) ได้แก่ ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่ากำลังรับแรงดัด

4.4.1 ผลของระยะเวลาในการเผาแช่ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่ผลิตจากเศษกระจกใสกับดินขาวระนอง

4.4.1.1 สีของกระเบื้องปูพื้นหลังเผา

สีของกระเบื้องปูพื้นหลังเผา ได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.10 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80, และ 40 : 60 ตามลำดับ นำไปให้อัตราการให้ความร้อนที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส พบว่าการเพิ่มของระยะเวลาในการเผาแช่ส่งผลให้กระเบื้อง ปูพื้นหลังเผามีสีน้ำตาลเข้มขึ้น เนื่องจากระยะเวลาในการเผาแช่ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการให้ความร้อนในชิ้นงานกระเบื้องได้นานขึ้น มีการกระจายความร้อนอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ ทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีเวลาในการเกิด Liquid Phase Sintering ในดินมากขึ้น อนุภาคของเนื้อดินมี

เวลาในการหลอมตัวชิดติดกัน เกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอดทั่วทั้งชิ้นงาน เป็นผลให้เกิดการสุกตัวของเนื้อดินได้ดีขึ้น ทำให้สีของดินนั้นสามารถแสดงออกได้มากกว่าระยะเวลาในการเผาแช่ที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 4.10 สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส

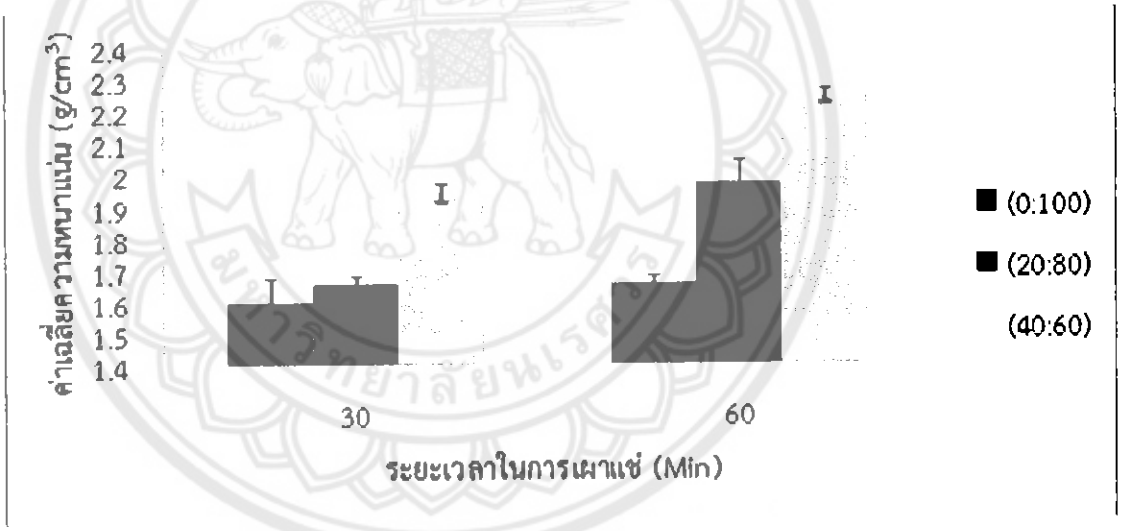
อัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนอง	ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที	ระยะเวลาในการเผาแช่ 60 นาที
0 : 100		
20 : 80		
40 : 60		
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาปูพื้น(มอก.37-2529)	ไม่กำหนด	

4.4.1.2 การทดสอบความหนาแน่น

อิทธิพลของระยะเวลาในการเผาแช่ ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง ได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.10 นั่นคือเมื่อนำกระเบื้องปูพื้นอัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80, และ 40 : 60 ตามลำดับ นำไปให้อัตราการให้ความร้อนที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส พบว่าที่ระยะเวลาในการเผาแช่ 60 นาที ให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นหลังเผาสูงกว่าที่ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที ในทุกๆ อัตราส่วนผสม ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาในการเผาแช่ จะทำให้เนื้อดินของกระเบื้องปูพื้นและเศษกระจกใสสามารถหลอมตัวได้มากขึ้น จึงเกิดการสุกตัวได้ดี ส่งผลให้เนื้อดินเกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอดได้มากกว่า อนุภาคของเนื้อดินเกิดการชิดติดกันมากขึ้น ทำให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าความหนาแน่นที่ดีกว่า

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนอง	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (g/cm^3) ที่ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 (Min)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (g/cm^3) ที่ระยะเวลาในการเผาแช่ 60 (Min)
0 : 100	1.60	1.65
20 : 80	1.65	1.97
40 : 60	1.94	2.24
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาปูพื้น(มอก.37-2529)	ไม่กำหนด	



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหนาแน่นกับระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที ของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง

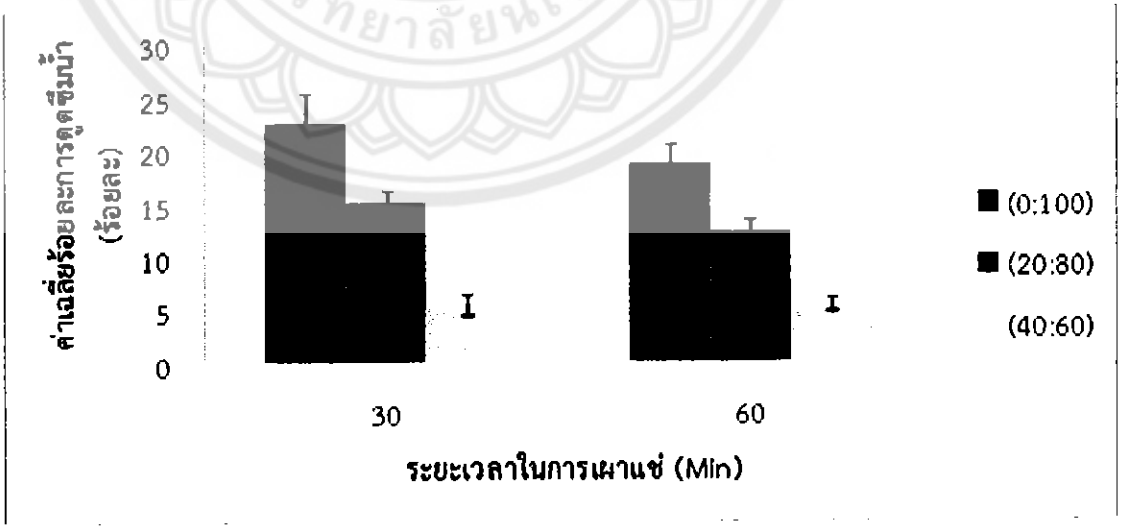
4.4.1.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

อิทธิพลของระยะเวลาในการเผาแช่ ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง ได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.11 นั่นคือเมื่อนำกระเบื้องปูพื้นอัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80, และ 40 : 60 ตามลำดับ นำไปให้อัตราการให้ความร้อนที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส ไปทำการทดสอบทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ พบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการเผาแช่ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของ

กระเบื้องปูพื้นลดลง สอดคล้องกับการทดลองที่ 4.4.1.2 ซึ่งแสดงว่าเมื่อมีการเพิ่มระยะเวลาในการเผาแช่ กระเบื้องปูพื้นจะมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นที่สูงขึ้น แสดงถึงปริมาณรูพรุนภายในเนื้อของกระเบื้องปูพื้นที่ลดลง จึงส่งผลให้เมื่อมีการทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง โดยที่ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 และระยะเวลาในการเผาแช่ 60 นาที ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 ให้ค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529)

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนอง	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) ที่ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 (Min)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) ที่ระยะเวลาในการเผาแช่ 60 (Min)
0 : 100	22.68	18.80
20 : 80	15.12	12.39
40 : 60	5.43	5.43
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น(มอก.37-2529)	ไม่เกินร้อยละ 6	



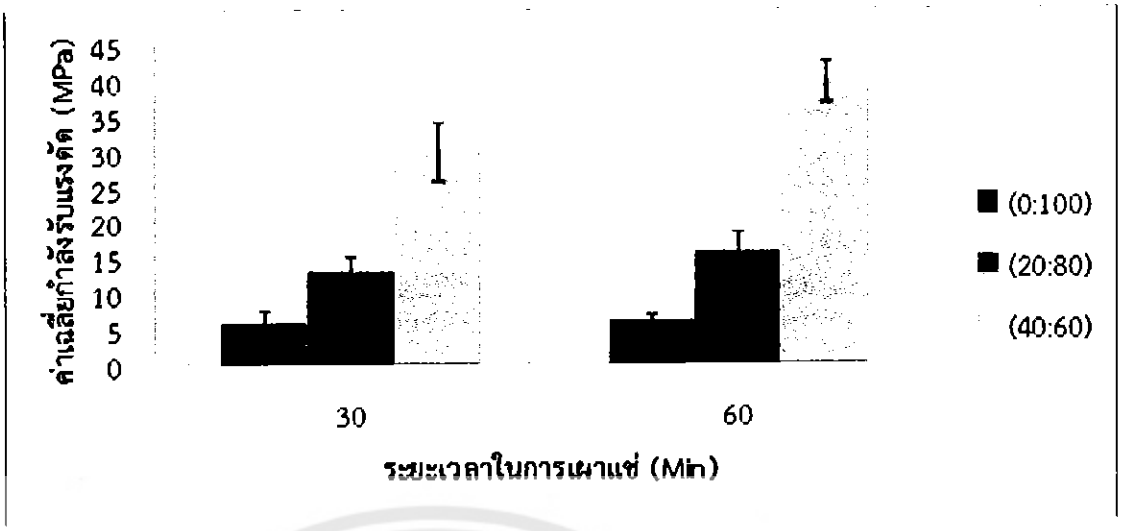
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำกับระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที ของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง

4.4.1.4 การทดสอบกำลังรับแรงดัด

อิทธิพลของระยะเวลาในการเผาแช่ที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง ได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.12 นั่นคือเมื่อนำกระเบื้องปูพื้นอัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80, และ 40 : 60 ตามลำดับ นำไปให้อัตราการให้ความร้อนที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส พบว่าที่ระยะเวลาในการเผาแช่ 60 นาที ให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นหลังเผาสูงกว่าที่ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที ในทุกๆ อัตราส่วนผสม สอดคล้องกับการทดสอบที่ 4.4.1.2 และ 4.4.1.3 ที่พบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการเผาแช่ ส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองมีค่าเฉลี่ยตามความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาในการเผาแช่เปรียบเสมือนการเพิ่มระยะเวลาให้กับการหลอมตัวของเศษกระจกใสและดินขาวระนองอีกทั้งการเกิดปฏิกิริยา Liquid Phase Sintering ในดินมากขึ้น ส่งผลให้เนื้อดินเกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอด ทำให้อนุภาคของเนื้อดินเกิดการหดตัวติดกันได้ง่าย มีช่องว่างระหว่างเนื้อดินน้อยลง มีความแข็งแกร่งเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผา มีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น โดยพบว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองกับเศษกระจกใสที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 ที่ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที ให้ค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529)

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ขึ้นรูปที่อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษกระจกใสต่อดินขาวระนอง	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด (MPa) ที่ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 (Min)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด (MPa) ที่ระยะเวลาในการเผาแช่ 60 (Min)
0 : 100	5.95	6.10
20 : 80	13.02	15.72
40 : 60	29.92	39.86
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น(มอก.37-2529)	ไม่ต่ำกว่า 25 MPa	



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดกับระยะเวลาในการเผาแช่ 30 และ 60 นาที ของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง

บทที่ 5
บทสรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาอัตราส่วนผสม อุณหภูมิในการเผา อัตราการให้ความร้อน และระยะเวลาการเผาแช่ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลของกระเบื้องปูพื้น สามารถนำมาวิเคราะห์และสรุปผลในเรื่องสมบัติทางกายภาพและทางกล ได้แก่ สีของกระเบื้องหลังเผา ค่าความหนาแน่น ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่ากำลังรับแรงดัด ได้ดังนี้

5.1.1 อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้น

การเพิ่มอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใส ส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง โดยพบว่ากระเบื้องดินเผาปูพื้นที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 ให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดสูงกว่ากระเบื้องดินเผาปูพื้น ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 0 : 100 และ 20 : 80 นอกจากนี้ การเพิ่มอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสยังส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น โดยอัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 จะให้ลักษณะเฉดสีน้ำตาลที่เข้มกว่าอัตราส่วนผสมเท่ากับ 0 : 100 และ 20 : 80

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) พบว่า อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสต่อดินขาวระนองเท่ากับ 40 : 60 ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 5.43 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดเท่ากับ 29.92 เมกะปาสคาล ซึ่งผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) จากผลดังกล่าวทำให้ทราบถึงอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สามารถทำให้สมบัติทางกายภาพและทางกลดีขึ้น

5.1.2 อุณหภูมิในการเผา ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้น

การเพิ่มอุณหภูมิในการเผา ส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง โดยพบว่าอุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดสูงกว่าอุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส จึงพบว่าอุณหภูมิในการเผาดังกล่าวให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่าอุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส นอกจากนี้การเพิ่ม

อุณหภูมิในการเผายังส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นมีสีที่เข้มขึ้น โดยอุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส จะให้ลักษณะเฉดสีน้ำตาลเข้มกว่าการให้อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) พบว่าอุณหภูมิในการเผา 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ของกระเบื้องปูพื้นที่มีอัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดเท่ากับ 29.92 และ 50.08 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 5.43 และ 2.26 ตามลำดับ ซึ่งผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) จากผลดังกล่าวทำให้ทราบถึงอุณหภูมิในการเผาที่เหมาะสมที่สามารถทำให้สมบัติทางกายภาพและทางกลดีขึ้น

5.1.3 อัตราการให้ความร้อน ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้น

อัตราการให้ความร้อนที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและค่ากำลังรับแรงดัดสูงกว่าอัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ดังนั้นอัตราการให้ความร้อนดังกล่าวให้ค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่าอัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที นอกจากนี้ที่อัตราการให้ความร้อนที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที จะให้สีที่เข้มกว่าในลักษณะเฉดสีน้ำตาลเข้ม และอัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จะให้สีในลักษณะเฉดสีน้ำตาล ดังนั้นการเพิ่มอัตราการให้ความร้อน ส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดลดลง ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น และการเพิ่มอัตราการให้ความร้อนยังส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีที่สีอ่อนลง

เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) พบว่า อัตราการให้ความร้อนที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ระยะเวลาการเผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิการเผาขึ้นรูป 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 โดยให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดเท่ากับ 29.92 และ 50.08 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) และให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 5.43 และ 2.26 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) จากผลดังกล่าวทำให้ทราบถึงอัตราการให้ความร้อนที่เหมาะสมที่สามารถทำให้สมบัติทางกายภาพและทางกลดีขึ้น

5.1.4 ระยะเวลาในการเผาแช่ ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้น

การเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการเผาแช่ ส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและค่ากำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง โดยพบว่าระยะเวลา

ในการเผาแช่ที่ 60 นาที ให้ค่าความหนาแน่นและค่ากำลังรับแรงดัดที่สูงกว่าระยะเวลาในการเผาแช่ที่ 30 นาที แต่ให้ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่าระยะเวลาในการเผาแช่ที่ 30 นาที นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการเผาแช่จะส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นมีสีที่เข้มขึ้น ในลักษณะเฉดสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งพบว่าที่ระยะเวลาในการเผาแช่ 60 นาที จะให้กระเบื้องปูพื้นที่มีสีเข้มกว่ากระเบื้องปูพื้นที่ระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) พบว่า ระยะเวลาในการเผาแช่ที่ 60 นาที ที่อัตราการให้ความร้อนที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิการเผา 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 โดยให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด 39.86 และ 66.64 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) และให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 5.43 และ 0.73 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) จากผลดังกล่าวทำให้ทราบถึงระยะเวลาการเผาแช่ที่เหมาะสมที่สามารถทำให้สมบัติทางกายภาพและทางกลดีขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา

เศษกระจกใสที่ใช้ อาจปรับเปลี่ยนเป็นเศษกระจกชนิดอื่น และเป็นการนำเอาของที่เหลือใช้มาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ อีกทั้งลดปัญหาการเพิ่มขึ้นของขยะอีกด้วย

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไขปัญหา

5.3.1 อุปกรณ์ และเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ มีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ทำให้เกิดความล้าช้าในการปฏิบัติงาน จึงต้องใช้ระยะเวลาเพิ่มมากขึ้นในการประเมินและสรุปผล การทดลอง

5.3.2 ในการปฏิบัติการ ได้ใช้เศษกระจกใสมาบดละเอียด มีขนาดอนุภาคที่เล็กฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศ ซึ่งทำให้อาจเกิดอาการระคายเคืองตา และผิวหนัง อีกทั้งหากสูดเข้าไปพร้อมกับการหายใจ อาจทำให้มีอันตรายต่อร่างกายภายในได้ ดังนั้นจึงต้องสวมเครื่องป้องกัน ทั้งแว่นตา และผ้าปิดปาก ทุกครั้งที่ปฏิบัติการ

5.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติการค่อนข้างมีราคาแพง อีกทั้งยังเกิดความเสียหายได้ง่าย จึงต้องใช้ความระมัดระวังเป็นอย่างมากในการปฏิบัติงาน

5.3.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการปฏิบัติงานต้องใช้วัตถุดิบจากแหล่งที่ผลิต ซึ่งอยู่ไกล และต้องใช้เวลาในการรอ ทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน

เอกสารอ้างอิง

เกษมสันต์ จางตระกูล และสถาพร ทองย้อย.(2553). **ผลกระทบของอัตราส่วนของเศษแก้วเหลือทิ้งที่มีผลต่ออุณหภูมิในการเผา สมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเซรามิก** ปริญญานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

กัลยากร ชุนใช้, ปาจรีย์ อุ่นแก้ว และยงยุทธ เชื้อบุญมี.(2554). **ผลของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วในดินขาวระนอง และดินขาวลำปาง ที่มีผลต่ออุณหภูมิในการเผา สมบัติทางกายภาพและทางกลของกระเบื้องปูพื้น** ปริญญานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

ฉัตรชัย พรฐิติโภคิน, เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, และศิริธัญว์ เจียมศิริเลิศ.(2548). **ผลของขนาดของเสียประเภทแก้วที่ใช้ทดแทนแร่เฟลสปาร์ในการผลิตกระเบื้องเซรามิก** ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

ชมพูนุช พืชมาก.(2552). **อิทธิพลของอัตราการให้ความร้อนต่อความแน่นตัวร้อยละค่าความแข็งแบบบีกเกอร์ของเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไททาเนต.** ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ทวี พรหมพฤกษ์.(2523). **วิชาเครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น.** ภาควิชาช่างปั้นดินเผา คณะอุตสาหกรรมศิลป์ วิทยาลัยครูพระนคร บางเขน.

บัญชา ชื่นจิต.(2545). **ผลิตภัณฑ์เซรามิกและเทคโนโลยี.** คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏสุรินทร์

ปาร์ย อรรถพิสาล วิทยานิพนธ์.(2548). **การพัฒนาคุณภาพของกระเบื้องเซรามิกที่ผลิตจากของเหลือที่เป็นเศษแก้ว.** จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ.(2547). **เซรามิก.** ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ และวิวรรธน์ เทียนศิริ. (มกราคม-เมษายน 2548). **การใช้ของเสียที่เป็นแก้วเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระเบื้องเซรามิก.** วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย 19, 1 : 103-112

ไพจิตร อึ่งศิริวัฒน์.(2541). **เนื้อดินเซรามิก.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

สุนทร บุญญาธิการ.(2551). **นวัตกรรมการใช้กระจกสำหรับเมืองร้อนชื้น.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์คูลพริ้นท์

ศุภเอก ประมูลมาก, อนินท์ มีมนต์ และสมศักดิ์ อิทธิโสภณกุล.(2553). **การศึกษากระบวนการใช้เศษแก้วรีไซเคิลผลิตแผ่นแก้วสีตกแต่งภายในอาคาร.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ และการสื่อสารสำนักงานปลัดกระทรวงพานิชย์ และกรมศุลกากร.(2553). **อุตสาหกรรมเซรามิกของประเทศไทย.** สืบค้นเมื่อวันที่ 21 กรกฎาคม 2554, จาก http://www.ie.eng.chula.ac.th/academic/course/2104328/assignment/01.../07.pd.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2529). **มาตรฐานอุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก. 37 - 2529).**

อนุชา วรรณก้อน และทีมวิจัยจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.(2549). **การวิจัยเศษ แก้ว** ชนิดโซดาไลม์มาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.

China Manufacturers Directory Technology Co.,Ltd. (2551). **กระเบื้องแกรนิต (เนื้อพอร์ซเลน).** สืบค้นเมื่อวันที่ 28 กรกฎาคม 2555, จาก http://www.tradevv.com

Eastern Glass Decoration Co., Ltd. .(2548). **กระจกลวดลาย.** สืบค้นเมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 2555, จาก http://www.easternglass.co.th

Engineering Ceramics.(2550). **การหล่อแบบชนิด Drain Cast.** สืบค้นเมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 2555, จาก http://www.dc168.4shared.com

Greenstone Digital Libraly.(2552). **การหล่อชนิด Solid Cast.** สืบค้นเมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 2555, จาก http://www.greenstone.org

Homedecorthai.(2550). **กระเบื้องเคลือบ (เนื้อพอร์ซเลน).** สืบค้นเมื่อวันที่ 29 กรกฎาคม 2555, จาก http://www.homedecorthai.com/

Kit for Safety and Environment Limited.(2550). **กระจกกันไฟ.** สืบค้นเมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 2555, จาก http://www.siamsafety.com/index.php

Krasin Prasanparn.(2549). **ลักษณะของกระจกเงาหลังน้ำเงิน.** สืบค้นเมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 2555, จาก http://www.topcoatingandbozz.com/

SCG Experience.(2555). **ลักษณะของกระจกเงาหลังเขียว.** สืบค้นเมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 2555, จาก http://www.scgexperience.co.th/th/home.aspx

Sosuco and Group Co.,Ltd.(2551). **กระเบื้องบุผนัง.** สืบค้นเมื่อวันที่ 28 กรกฎาคม 2555, จาก http://www.sosuco2008.co.th/product.

Tamlaydee Makehome.(2552). **กระเบื้องปูพื้น (เนื้อสโตนแวร์).** สืบค้นเมื่อวันที่ 28 กรกฎาคม 2555, จาก http://www.tamlaydee.com/forum/

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดลองกระเบื้องปูพื้นหลังเผาขึ้นรูป

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ปริมาตร (cm^3)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	33.5	19.7	40.7	21.0	1.60	1.60	0.07
	33.5	19.9	40.9	21.0	1.60		
	37.5	22.5	45.5	22.9	1.64		
	35.5	21.2	42.7	21.5	1.65		
	35.0	21.0	42.0	21.0	1.67		
	35.5	21.6	43.0	21.4	1.66		
	36.5	22.0	44.2	22.2	1.64		
	36.0	21.7	45.2	23.5	1.53		
	35.5	21.2	45.0	23.8	1.49		
	35.5	21.3	45.2	23.9	1.49		
20:80	40.5	22.2	46.5	24.3	1.67	1.65	0.03
	37.0	20.2	43.3	23.1	1.60		
	37.5	20.6	43.6	23.0	1.63		
	38.0	20.9	43.2	22.3	1.70		
	36.5	19.9	41.7	21.8	1.67		
	37.0	20.1	43.0	22.9	1.62		
	39.5	21.4	45.1	23.7	1.67		
	38.5	21.0	44.7	23.7	1.62		
	38.0	20.3	43.3	23.0	1.65		
	37.5	20.2	43.0	22.8	1.64		

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ปริมาตร (cm^3)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	37.0	19.8	38.9	19.1	1.94	1.94	0.03
	38.5	20.5	40.3	19.8	1.94		
	41.0	22.4	43.2	20.8	1.97		
	41.0	21.6	42.7	21.1	1.94		
	40.0	21.5	41.6	20.1	1.99		
	39.0	21.1	41.1	20.0	1.95		
	39.5	21.8	41.9	20.1	1.97		
	40.5	22.1	42.9	20.8	1.95		
	38.0	20.5	40.7	20.2	1.88		
	37.0	19.8	39.4	19.6	1.89		

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ปริมาตร (cm^3)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	36.5	22.0	43.5	21.5	1.69	1.69	0.03
	35.5	21.3	41.6	20.3	1.75		
	35.5	21.1	41.6	20.5	1.71		
	36.0	21.8	43.2	21.4	1.68		
	39.5	24.1	47.0	22.9	1.72		
	36.0	21.7	43.1	21.4	1.68		
	36.5	21.8	43.2	21.4	1.71		
	35.0	21.0	41.7	20.7	1.69		
	36.0	21.8	43.2	21.4	1.68		
	35.5	21.2	43.1	21.9	1.62		
20:80	37.0	20.1	39.8	19.7	1.88	1.94	0.09
	37.5	20.3	40.0	19.7	1.90		
	36.0	19.3	38.3	19.0	1.89		
	37.0	20.0	38.8	18.8	1.97		
	37.5	22.4	39.8	17.4	2.16		
	37.5	20.2	40.0	19.8	1.89		
	36.5	19.8	39.2	19.4	1.88		
	37.0	20.1	38.8	18.7	1.98		
	36.5	19.8	39.1	19.3	1.89		
	37.0	20.2	38.9	18.7	1.98		

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ปริมาตร (cm^3)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	40.5	21.4	41.8	20.4	1.99	2.03	0.08
	40.5	21.1	41.7	20.6	1.97		
	41.5	22.1	42.1	20.0	2.08		
	42.0	21.6	43.1	21.5	1.95		
	42.5	23.8	43.9	20.1	2.11		
	41.5	22.0	42.3	20.3	2.04		
	42.0	21.7	42.9	21.2	1.98		
	42.5	23.6	43.0	19.4	2.19		
	42.0	21.6	42.6	21.0	2.00		
	42.0	21.6	43.0	21.4	1.96		

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ปริมาตร (cm^3)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	35.0	20.8	43.0	22.2	1.58	1.50	0.04
	33.5	20.2	42.9	22.7	1.48		
	34.5	20.4	43.1	22.7	1.52		
	36.0	21.5	45.5	24.0	1.50		
	35.5	20.9	44.4	23.5	1.51		
	35.0	20.5	43.2	22.7	1.54		
	35.5	21.0	44.8	23.8	1.49		
	35.0	20.9	44.5	23.6	1.48		
	34.0	20.0	43.4	23.4	1.45		
	34.5	20.2	43.0	22.8	1.51		
20:80	40.0	22.5	47.1	24.6	1.63	1.64	0.06
	38.0	24.4	47.1	22.7	1.68		
	40.5	23.8	47.9	24.1	1.68		
	36.5	22.0	43.2	22.2	1.64		
	39.0	24.0	47.0	23.0	1.69		
	40.0	20.0	44.0	24.0	1.66		
	38.1	21.0	46.0	25.0	1.52		
	39.0	22.0	45.1	23.1	1.69		
	40.1	21.2	45.0	23.8	1.68		
	40.0	22.1	48.0	25.9	1.54		

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ปริมาตร (cm^3)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	39.5	22.0	42.2	20.2	1.96	1.93	0.07
	41.5	21.6	43.6	22.0	1.89		
	40.0	20.5	41.7	21.2	1.89		
	38.0	22.1	42.2	20.1	1.89		
	40.0	22.4	42.5	20.1	1.99		
	39.0	20.5	42.0	21.5	1.81		
	40.5	21.0	41.5	20.5	1.98		
	41.0	20.5	41.0	20.5	2.00		
	38.5	21.5	40.5	19.0	2.03		
	39.5	23.0	44	21.0	1.88		

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ปริมาตร (cm^3)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	36.0	21.7	43.5	21.8	1.65	1.59	0.05
	37.0	22.1	44.4	22.3	1.66		
	35.5	20.9	43.2	22.3	1.59		
	34.0	19.7	41.6	21.9	1.55		
	33.5	18.3	40.7	22.4	1.50		
	34.5	19.9	41.7	21.8	1.58		
	35.5	20.8	43.3	22.5	1.58		
	36.0	21.7	43.5	21.8	1.65		
	34.0	19.7	41.6	21.9	1.55		
	35.0	20.3	42.4	22.1	1.58		
20:80	35.5	21.1	39.6	18.5	1.92	1.93	0.05
	35.5	21.3	39.2	17.9	1.98		
	36.5	22.0	41.1	19.1	1.91		
	37.5	22.6	41.8	19.2	1.95		
	34.0	20.4	38.9	18.5	1.84		
	37.0	22.1	40.8	18.7	1.98		
	36.5	21.7	40.6	18.9	1.93		
	37.0	22.2	41.0	18.8	1.97		
	38.0	23.0	42.5	19.5	1.95		
	35.0	21.1	40.0	18.9	1.85		

ตารางที่ ก.4 (ต่อ) ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ปริมาตร (cm^3)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	41.5	22.2	42.4	20.2	2.05	2.07	0.06
	39.5	21.0	40.7	19.7	2.01		
	41.5	23.0	42.6	19.6	2.12		
	41.0	21.6	41.4	19.8	2.07		
	42.0	23.2	42.9	19.7	2.13		
	39.0	20.6	40.6	20.0	1.95		
	41.5	22.8	42.3	19.5	2.13		
	40.0	21.1	40.8	19.7	2.03		
	41.0	22.8	42.1	19.3	2.12		
	42.5	23.5	43.4	19.9	2.14		

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ปริมาตร (cm^3)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	34.0	21.8	42.0	20.2	1.68	1.65	0.03
	33.5	21.7	42.0	20.3	1.65		
	35.0	21.8	43.5	21.7	1.61		
	34.0	21.9	42.8	20.9	1.63		
	35.0	22.6	43.3	20.7	1.69		
	34.0	21.8	42.7	20.9	1.63		
	33.0	21.0	41.6	20.6	1.65		
	34.5	22.0	42.9	20.9	1.65		
	35.0	22.7	43.6	20.9	1.65		
	34.0	21.8	42.8	21.0	1.62		
20:80	36.0	22.2	40.1	17.9	2.02	1.97	0.07
	35.5	21.1	40.3	19.2	1.85		
	34.0	20.1	38.4	18.3	1.86		
	37.5	23.3	42.3	19.0	1.97		
	37.0	23.7	42.2	18.5	2.00		
	36.5	22.5	40.6	18.1	2.02		
	36.0	22.3	40.0	17.7	2.03		
	34.5	20.6	38.7	18.1	1.91		
	37.0	23.6	42.1	18.5	2.00		
	36.5	22.4	40.5	18.1	2.02		

ตารางที่ ก.5 (ต่อ) ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ปริมาตร (cm^3)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	39.5	23.8	41.5	17.7	2.23	2.24	0.02
	37.5	23.0	40.0	17.0	2.21		
	40.0	24.7	42.3	17.6	2.27		
	37.5	23.0	39.8	16.8	2.23		
	39.0	23.4	40.7	17.3	2.25		
	39.5	23.9	41.6	17.7	2.23		
	39.5	23.8	41.5	17.7	2.23		
	40.0	24.6	42.4	17.8	2.25		
	39.0	23.5	40.8	17.3	2.25		
	39.5	23.7	41.6	17.9	2.21		

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ปริมาตร (cm^3)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	35.0	22.7	41.5	18.8	1.86	1.83	0.05
	34.5	21.4	40.4	19.0	1.82		
	33.5	21.2	40.9	19.7	1.70		
	35.5	22.6	42.0	19.4	1.83		
	35.0	22.6	41.4	18.8	1.86		
	34.0	21.7	40.3	18.6	1.83		
	34.5	21.5	40.5	19.0	1.82		
	35.5	22.6	41.4	19.1	1.86		
	34.0	21.6	40.4	18.8	1.81		
	33.5	22.7	40.8	18.1	1.85		
20:80	34.0	19.7	34.9	15.2	2.24	2.24	0.04
	32.5	18.6	33.3	14.7	2.21		
	33.5	19.3	34.6	15.3	2.19		
	33.5	19.9	34.8	14.9	2.25		
	32.5	18.8	33.5	14.7	2.21		
	34.0	19.8	34.8	15.0	2.27		
	34.5	19.9	34.9	15.0	2.30		
	33.5	19.4	34.7	15.3	2.19		
	34.0	19.7	34.8	15.1	2.25		
	34.0	19.8	34.9	15.1	2.25		

ตารางที่ ก.6 (ต่อ) ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ปริมาตร (cm^3)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	43.5	25.5	43.9	17.8	2.44	2.41	0.02
	43.5	25.6	43.6	17.8	2.44		
	40.5	24.0	40.9	16.9	2.40		
	40.0	23.6	40.2	16.6	2.41		
	42.5	24.8	42.6	17.8	2.39		
	40.5	24.2	41.2	17.0	2.38		
	40.0	23.7	40.3	16.6	2.41		
	40.0	23.6	40.2	16.6	2.41		
	40.5	24.1	40.9	16.8	2.41		
	41.5	24.7	42.1	17.4	2.39		

ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	33.5	40.7	21.49	22.68	2.76
	33.5	40.9	22.09		
	37.5	45.5	21.07		
	35.5	42.7	20.28		
	35.0	42.0	20.00		
	35.5	43.0	21.13		
	36.5	44.2	21.10		
	36.0	45.2	25.56		
	35.5	45.0	26.76		
	35.5	45.2	27.32		
20:80	40.5	46.5	14.81	15.12	1.18
	37.0	43.3	17.03		
	37.5	43.6	16.27		
	38.0	43.2	13.68		
	36.5	41.7	14.25		
	37.0	43.0	16.22		
	39.5	45.1	14.18		
	38.5	44.7	16.10		
	38.0	43.3	13.95		
	37.5	43.0	14.67		

ตารางที่ ก.7 (ต่อ) ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	37.0	38.9	5.14	5.43	0.99
	38.5	40.3	4.68		
	41.0	43.2	5.37		
	41.0	42.7	4.15		
	40.0	41.6	4.00		
	39.0	41.1	5.38		
	39.5	41.9	6.08		
	40.5	42.9	5.93		
	38.0	40.7	7.11		
	37.0	39.4	6.49		

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	36.5	43.5	19.18	19.12	1.30
	35.5	41.6	17.18		
	35.5	41.6	17.18		
	36.0	43.2	20.00		
	39.5	47.0	18.98		
	36.0	43.1	19.72		
	36.5	43.2	18.36		
	35.0	41.7	19.14		
	36.0	43.2	20.00		
	35.5	43.1	21.41		
20:80	37.0	39.8	7.57	6.28	1.02
	37.5	40.0	6.67		
	36.0	38.3	6.39		
	37.0	38.8	4.86		
	37.5	39.8	6.13		
	37.5	40.0	6.67		
	36.5	39.2	7.40		
	37.0	38.8	4.86		
	36.5	39.1	7.12		
	37.0	38.9	5.14		

ตารางที่ ก.8 (ต่อ) ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	40.5	41.8	3.12	2.26	0.75
	40.5	41.7	2.96		
	41.5	42.1	1.45		
	42.0	43.1	2.62		
	42.5	43.9	3.29		
	41.5	42.3	1.93		
	42.0	42.9	2.14		
	42.5	43.0	1.18		
	42.0	42.6	1.43		
	42.0	43.0	2.38		

ตารางที่ ก.9 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	35.0	43.0	24.86	25.84	1.49
	33.5	42.9	28.06		
	34.5	43.1	24.93		
	36.0	45.5	26.39		
	35.5	44.4	25.07		
	35.0	43.2	23.43		
	35.5	44.8	26.20		
	35.0	44.5	27.14		
	34.0	43.4	27.65		
	34.5	43.0	24.64		
20:80	40.0	47.1	17.75	17.74	4.17
	38.0	47.1	23.95		
	40.5	47.9	18.75		
	36.5	43.2	18.36		
	39.0	47.0	20.51		
	40.0	44.0	10.00		
	38.1	46.0	20.73		
	39.0	45.1	15.64		
	40.1	45.0	12.22		
	40.0	48.0	20.00		

ตารางที่ ก.9 (ต่อ) ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส-ต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	39.5	42.2	6.84	6.02	3.52
	41.5	43.6	5.06		
	40.0	41.7	4.25		
	38.0	42.2	11.05		
	40.0	42.5	6.25		
	39.0	42.0	7.69		
	40.5	41.5	2.47		
	41.0	41.0	0.00		
	38.5	40.5	5.19		
	39.5	44	11.39		

ตารางที่ ก.10 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	36.0	43.5	20.83	21.35	0.76
	37.0	44.4	20.00		
	35.5	43.2	21.69		
	34.0	41.6	22.35		
	33.5	40.7	21.49		
	34.5	41.7	20.87		
	35.5	43.3	21.97		
	36.0	43.5	20.83		
	34.0	41.6	22.35		
	35.0	42.4	21.14		
20:80	35.5	39.6	11.55	11.89	1.46
	35.5	39.2	10.42		
	36.5	41.1	12.60		
	37.5	41.8	11.47		
	34.0	38.9	14.41		
	37.0	40.8	10.27		
	36.5	40.6	11.23		
	37.0	41.0	10.81		
	38.0	42.5	11.84		
	35.0	40.0	14.29		

ตารางที่ ก.10 (ต่อ) ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส-ต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	41.5	42.4	2.17	2.38	0.82
	39.5	40.7	3.04		
	41.5	42.6	2.65		
	41.0	41.4	0.98		
	42.0	42.9	2.14		
	39.0	40.6	4.10		
	41.5	42.3	1.93		
	40.0	40.8	2.00		
	41.0	42.1	2.68		
	42.5	43.4	2.12		

ตารางที่ ก.11 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	34.0	40.0	17.65	18.8	1.93
	34.0	40.5	19.12		
	35.0	42.0	20.00		
	36.0	42.5	18.06		
	33.5	40.4	20.59		
	36.5	43.5	19.18		
	36.0	42.6	18.33		
	35.0	41.6	18.86		
	36.5	42.9	17.53		
	35.5	42.2	18.87		
20:80	36.0	40.1	11.38	12.39	1.18
	35.5	40.3	13.52		
	34.0	38.4	12.94		
	37.5	42.3	12.80		
	37.0	42.2	14.05		
	36.5	40.6	11.23		
	36.0	40.0	11.11		
	34.5	38.7	12.17		
	37.0	42.1	13.78		
	36.5	40.5	10.96		

ตารางที่ ก.11 (ต่อ) ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	39.5	41.5	5.06	5.43	0.71
	37.5	40.0	6.67		
	40.0	42.3	5.75		
	37.5	39.8	6.13		
	39.0	40.7	4.36		
	39.5	41.6	5.32		
	39.5	41.5	5.06		
	40.0	42.4	6.00		
	39.0	40.8	4.62		
	39.5	41.6	5.32		

ตารางที่ ก.12 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	35.0	41.5	18.57	18.75	1.83
	34.5	40.4	17.10		
	33.5	40.9	22.09		
	35.5	42.0	18.31		
	35.0	41.4	18.29		
	34.0	40.3	18.53		
	34.5	40.5	17.39		
	35.5	41.4	16.62		
	34.0	40.4	18.82		
	33.5	40.8	21.79		
20:80	34.0	34.9	2.65	2.74	0.77
	32.5	33.3	2.46		
	33.5	34.6	3.28		
	33.5	34.8	3.88		
	32.5	33.5	3.08		
	34.0	34.8	2.35		
	34.5	34.9	1.16		
	33.5	34.7	3.58		
	34.0	34.8	2.35		
	34.0	34.9	2.65		

ตารางที่ ก.12 (ต่อ) ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	43.5	43.9	0.92	0.73	0.55
	43.5	43.6	0.23		
	40.5	40.9	0.99		
	40.0	40.2	0.50		
	42.5	42.6	0.24		
	40.5	41.2	1.73		
	40.0	40.3	0.75		
	40.0	40.2	0.50		
	40.5	40.9	0.01		
	41.5	42.1	1.45		

ตารางที่ ก.13 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	แรงกด (N)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	167.64	5	2.39	0.87	6.95	5.95	1.66
	157.87	5	2.39	0.88	6.39		
	145.25	5	2.40	0.98	4.72		
	191.73	5	2.40	0.98	6.23		
	90.57	5	2.39	0.90	3.50		
	162.22	5	2.40	0.86	6.85		
	100.97	5	2.39	0.96	3.43		
	144.36	5	2.39	0.89	5.71		
	187.44	5	2.40	0.91	7.07		
	204.37	5	2.39	0.86	8.67		
20:80	398.61	5	2.30	1.14	10.00	13.02	2.27
	301.27	5	2.31	0.94	11.07		
	460.42	5	2.30	0.95	16.63		
	363.71	5	2.28	0.93	13.83		
	359.95	5	2.29	0.91	14.23		
	299.88	5	2.30	0.92	11.55		
	310.65	5	2.30	1.02	9.75		
	395.99	5	2.29	0.96	14.07		
	398.11	5	2.31	0.95	14.32		
	380.28	5	2.29	0.92	14.71		

ตารางที่ ก.13 (ต่อ) ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	แรงกด (N)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	750.45	5	2.18	0.83	37.47	29.92	4.10
	648.85	5	2.17	0.88	28.95		
	702.25	5	2.18	0.90	29.82		
	874.76	5	2.15	0.97	32.43		
	676.65	5	2.17	0.93	27.03		
	771.23	5	2.19	0.86	35.71		
	720.02	5	2.19	0.95	27.32		
	699.12	5	2.19	0.96	25.97		
	680.71	5	2.15	0.90	29.31		
	650.99	5	2.15	0.95	25.16		

ตารางที่ ก.14 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	แรงกด (N)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	460.59	5	2.34	0.92	17.44	12.54	3.58
	424.56	5	2.32	0.89	17.32		
	387.27	5	2.34	0.87	16.39		
	280.18	5	2.34	0.90	11.08		
	220.66	5	2.35	0.99	7.18		
	300.17	5	2.33	0.90	11.92		
	341.67	5	2.31	0.95	12.29		
	290.44	5	2.33	1.05	8.47		
	377.28	5	2.30	0.97	13.07		
	281.16	5	2.28	0.95	10.24		
20:80	497.62	5	2.19	0.89	21.51	23.18	4.07
	489.15	5	2.21	0.86	22.44		
	522.71	5	2.22	0.77	29.78		
	581.11	5	2.16	0.84	28.59		
	439.81	5	2.18	0.87	19.99		
	601.26	5	2.19	0.89	25.99		
	520.31	5	2.17	0.89	22.70		
	509.79	5	2.20	0.84	24.63		
	498.87	5	2.17	0.99	17.59		
	510.12	5	2.19	0.97	18.56		

ตารางที่ ก.14 (ต่อ) ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	แรงกด (N)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	1293.75	5	2.13	0.90	56.24	50.08	5.04
	1204.77	5	2.11	0.92	50.59		
	1311.89	5	2.12	0.96	50.35		
	1252.22	5	2.11	1.06	39.61		
	1201.88	5	2.17	0.92	49.07		
	1102.12	5	2.15	0.92	45.42		
	1190.98	5	2.16	0.88	53.40		
	1259.76	5	2.14	0.93	51.04		
	1334.12	5	2.18	0.90	56.66		
	1204.02	5	2.11	0.94	48.43		

ตารางที่ ก.15 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	แรงกด (N)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	168.38	5	2.41	0.87	6.92	5.45	1.21
	142.21	5	2.38	0.89	5.65		
	86.75	5	2.39	0.88	3.51		
	151.91	5	2.38	0.92	5.65		
	192.86	5	2.38	0.90	7.50		
	99.88	5	2.40	0.90	3.85		
	144.30	5	2.41	0.90	5.54		
	139.76	5	2.37	0.95	4.90		
	160.12	5	2.40	0.93	5.73		
	135.56	5	2.40	0.90	5.22		
20:80	468.96	5	2.31	1.03	14.35	12.17	1.79
	435.20	5	2.30	0.95	15.72		
	372.15	5	2.32	0.99	12.27		
	299.71	5	2.26	0.91	12.01		
	290.92	5	2.29	0.97	10.12		
	320.59	5	2.30	1.00	10.45		
	353.31	5	2.29	0.97	12.29		
	307.22	5	2.30	0.94	11.33		
	311.76	5	2.29	0.99	10.41		
	390.21	5	2.30	1.00	12.73		

ตารางที่ ก.15 (ต่อ) ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	แรงกด (N)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	667.11	5	2.14	0.86	31.61	29.83	2.22
	710.26	5	2.15	0.91	29.91		
	602.67	5	2.15	0.90	25.95		
	490.24	5	2.14	0.81	26.18		
	699.11	5	2.13	0.87	32.52		
	720.42	5	2.13	0.90	31.31		
	701.68	5	2.12	0.90	30.64		
	590.98	5	2.10	0.82	31.38		
	690.12	5	2.12	0.91	29.48		
	667.74	5	2.16	0.89	29.27		

ตารางที่ ก.16 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีเผาแช่ที่ 30 นาที ที่อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	แรงกด (N)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	301.61	5	2.30	0.88	12.70	11.97	1.57
	285.99	5	2.31	0.91	11.21		
	262.12	5	2.32	0.87	11.19		
	298.87	5	2.32	0.82	14.36		
	247.68	5	2.33	0.81	12.15		
	255.10	5	2.30	0.87	10.99		
	311.78	5	2.30	0.83	14.75		
	202.99	5	2.32	0.82	9.75		
	266.17	5	2.29	0.89	11.00		
	232.70	5	2.29	0.81	11.61		
20:80	510.68	5	2.19	0.83	25.38	21.74	6.03
	312.43	5	2.18	0.78	17.66		
	315.49	5	2.18	0.75	19.39		
	490.29	5	2.15	0.74	31.23		
	517.18	5	2.17	0.77	30.14		
	380.09	5	2.20	0.70	26.44		
	360.23	5	2.18	0.80	19.36		
	311.57	5	2.17	0.84	15.26		
	319.94	5	2.16	0.81	16.93		
	304.48	5	2.18	0.82	15.57		

ตารางที่ ก.16 (ต่อ) ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 30 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาอัตราการให้ความร้อน)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	แรงกด (N)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	941.26	5	2.10	0.85	46.52	49.52	4.84
	1078.84	5	2.11	0.88	49.51		
	1278.19	5	2.10	0.87	60.31		
	1143.18	5	2.11	0.87	53.68		
	1015.17	5	2.11	0.91	43.57		
	997.79	5	2.12	0.85	48.85		
	1126.87	5	2.10	0.90	49.68		
	1004.19	5	2.07	0.91	43.93		
	1067.76	5	2.11	0.88	49.01		
	1102.44	5	2.08	0.89	50.18		

ตารางที่ ก.17 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	แรงกด (N)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	146.21	5	2.35	0.87	6.16	6.10	0.95
	139.16	5	2.35	0.87	5.86		
	161.98	5	2.36	0.89	6.49		
	140.41	5	2.36	0.87	5.89		
	152.76	5	2.35	0.88	6.29		
	202.18	5	2.34	0.90	8.00		
	109.88	5	2.36	0.89	4.40		
	179.12	5	2.36	0.91	6.87		
	136.65	5	2.35	0.90	5.38		
	147.11	5	2.36	0.91	5.64		
20:80	334.39	5	2.22	0.84	16.01	15.72	2.95
	223.52	5	2.22	0.86	10.21		
	386.66	5	2.23	0.77	21.93		
	424.17	5	2.22	0.90	17.69		
	340.15	5	2.22	0.88	14.83		
	312.79	5	2.22	0.87	13.96		
	398.25	5	2.22	0.90	16.61		
	322.52	5	2.21	0.84	15.51		
	381.02	5	2.22	0.92	15.20		
	380.59	5	2.21	0.92	15.25		

ตารางที่ ก.17 (ต่อ) ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส (ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	แรงกด (N)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	876.15	5	2.16	0.87	40.19	39.86	2.92
	817.71	5	2.15	0.83	41.40		
	789.91	5	2.15	0.89	34.78		
	900.15	5	2.15	0.83	45.58		
	855.75	5	2.16	0.87	39.25		
	860.39	5	2.15	0.89	37.89		
	801.01	5	2.14	0.82	41.75		
	855.32	5	2.16	0.85	41.10		
	861.23	5	2.17	0.87	39.32		
	800.01	5	2.17	0.86	37.38		

ตารางที่ ก.18 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	แรงกด (N)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	324.94	5	2.28	0.85	14.79	14.06	1.37
	290.18	5	2.28	0.82	14.19		
	350.88	5	2.29	0.86	15.53		
	344.02	5	2.29	0.86	15.23		
	398.22	5	2.29	0.91	15.74		
	312.75	5	2.28	0.86	13.91		
	271.01	5	2.29	0.88	11.46		
	340.56	5	2.29	0.89	14.08		
	327.23	5	2.29	0.90	13.23		
	298.99	5	2.27	0.89	12.47		
20:80	782.61	5	2.14	0.74	50.08	43.07	4.20
	690.12	5	2.14	0.71	47.97		
	700.42	5	2.15	0.74	44.61		
	683.44	5	2.15	0.74	43.53		
	601.15	5	2.15	0.70	42.79		
	655.00	5	2.14	0.73	43.07		
	596.62	5	2.15	0.74	38.00		
	600.99	5	2.15	0.76	36.29		
	620.21	5	2.14	0.70	44.35		
	611.02	5	2.15	0.73	39.99		

ตารางที่ ก.18 (ต่อ) ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เผาแช่ 60 นาที อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส (ศึกษาระยะเวลาในการเผาแช่)

อัตราส่วนผสมของเศษกระจกใสในดินขาวระนอง	แรงกด (N)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	1128.61	5	2.15	0.84	55.79	66.64	9.38
	1019.89	5	2.16	0.82	52.66		
	1358.79	5	2.16	0.82	70.16		
	1012.88	5	2.15	0.78	58.07		
	1490.02	5	2.14	0.80	81.59		
	1369.65	5	2.16	0.79	76.20		
	1300.76	5	2.16	0.81	68.83		
	1501.01	5	2.16	0.86	70.46		
	1121.88	5	2.15	0.80	61.14		
	1459.96	5	2.17	0.84	71.51		