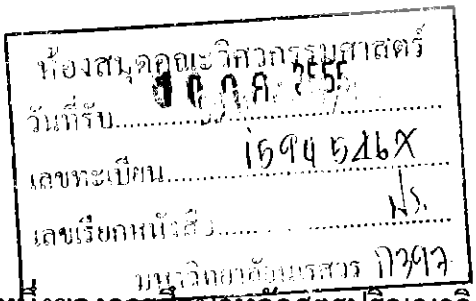
ผลของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วในดินขาวระนอง และดินขาวลำปาง ที่มีผลต่ออุณหภูมิในการเผา สมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องปูพื้น

THE EFFECTS OF GLASS POWDER RATIO IN KAOLIN (RANONG) AND KAOLIN (LAMPANG) ON FIRING TEMPERATURE, PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES FOR FLOOR TILES

นางสาวกัลยกร ชุนใช้ รหัส 51362251
นางสาวปาจรีย์ อุ่นแก้ว รหัส 51362381
นายยงยุทธ เชื้อบุญมี รหัส 51362466



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน ผลของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วในดินขาวระนอง และดินขาวลำปางที่มีผลต่ออุณหภูมิในการเผา สมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องปูพื้น

ผู้ดำเนินโครงงาน
นางสาวกัลยกร ชุนใช้ รหัส 51362251
นางสาวปาจรีย์ อุ่นแก้ว รหัส 51362381
นายยงยุทธ เชื้อบุญมี รหัส 51362466

ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย
สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา 2554

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย)

.....กรรมการ
(อาจารย์มานะ วีรวิกรม)

.....กรรมการ
(อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ผลกระทบของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วในดินขาวระนอง และดินขาวลำปางที่มีผลต่ออุณหภูมิในการเผา สมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องปูพื้น		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวกัลยกร	ชุนใช้	รหัส 51362251
	นางสาวปาจรีย์	อุ่นแก้ว	รหัส 51362381
	นายยงยุทธ	เชื้อบุญมี	รหัส 51362466
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ธณิกานต์	ธงชัย	
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ		
ภาควิชา	วิศวกรรมศาสตร์		
ปีการศึกษา	2554		

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาการลดอุณหภูมิในการเผากระเบื้องปูพื้นด้วยการใช้เศษแก้วสีเขียวผสมกับดินขาวระนอง และดินขาวลำปาง ในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ตามลำดับ ขึ้นรูปเป็นกระเบื้องขนาด 2×10×1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เผาที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส จากนั้นทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงดัด ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มปริมาณเศษแก้วสีเขียว และอุณหภูมิในการเผา ส่งผลให้สีของกระเบื้องปูพื้นหลังเผามีสีเข้มขึ้น ตามลักษณะเฉดสีของเนื้อดินที่นำมาผลิตกระเบื้องปูพื้น นอกจากนี้ยังส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง และค่ากำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น 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 20 : 80 และ 40 : 60 ณ อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ได้แก่ กระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองที่อัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80 และ 40 : 60 กระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางที่อัตราส่วน 0 : 100 และ 20 : 80 พบว่าสามารถใช้เศษแก้วสีเขียวมาเป็นส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องปูพื้นเพื่อลดอุณหภูมิในการเผาขึ้นรูปลงได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย เป็นอย่างสูง ที่ให้โอกาสแก่ผู้ทำโครงงานในการดำเนินงานครั้งนี้ อีกทั้งให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ เกี่ยวกับการค้นคว้าข้อมูล แนวทางปฏิบัติการดำเนินโครงงาน การวิเคราะห์ ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติ รวมถึงแง่คิดในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ จนโครงงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์มานะ วีรวิกรม อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์ อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์ และคณาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดวิชาความรู้ทางวิชาการอันสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินโครงงานได้จนสำเร็จ อีกทั้งให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงงานครั้งนี้

ขอขอบพระคุณครูช่าง ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้ทำผู้จัดทำโครงงาน จนงานลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่สนับสนุน เป็นกำลังใจ และคอยให้ความช่วยเหลือแก่ผู้จัดทำมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องๆ ทุกคนที่ให้คำปรึกษา และความช่วยเหลือในการทำโครงงานนี้จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
กัลยกร ชุนใช้
ปาจรีย์ อุ่นแก้ว
ยงยุทธ เชื้อบุญมี

เมษายน 2555

สารบัญ

หน้า

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

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 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน.....3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงาน.....3
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน.....3

บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น.....5
2.1 กระเบื้องเซรามิก.....5
2.2 ชนิดของกระเบื้องเซรามิก.....5
2.3 วัตถุดิบในการผลิตกระเบื้อง.....11
2.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก.....27
2.5 การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก.....30
2.6 การทดสอบ.....34
2.7 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.....36
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....44

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน.....48
3.1 ขั้นตอน และระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการทำโครงงาน.....48
3.2 วัตถุดิบ และอุปกรณ์.....49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย....49
3.4 วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง....51
3.5 จัดทำรูปเล่มรายงาน....51

บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์....52
4.1 ศึกษาผลของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง และดินขาวลำปาง ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องปูพื้น....52
4.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเผาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้น....60

บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ....70
5.1 สรุปผลการทดลอง....70
5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา....71
5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา....71

เอกสารอ้างอิง....72

ภาคผนวก ก....74

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน....3
2.1 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินขาวมาตรฐานอังกฤษ กับแหล่งดินขาวในประเทศไทย....14
2.2 สารอนินทรีย์ที่ใช้ผสมแก้ว และสีที่เกิดขึ้น....22
2.3 องค์ประกอบทางเคมี....22
2.4 ขนาด และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน....40
2.5 พื้นที่ของรอยบิ่นต่อ 1 จุด....40
2.6 ความบิดเบี้ยว....41
2.7 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาด และคุณลักษณะที่ต้องการ....43
2.8 รายการทดสอบ....44
3.1 อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนอง และดินขาวลำปาง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)....50
4.1 สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด หลังเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส....52
4.2 สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางหลังเผา ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด หลังเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส....56
4.3 สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส....61
4.4 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ....62
4.5 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ....63
4.6 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ....64
4.7 สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางหลังเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส....65
4.8 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ....66
4.9 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ....68
4.10 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ....69
ก.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส....75
ก.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง เผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส....76
ก.3 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนองเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส....77
ก.4 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส....78
ก.5 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง เผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส....79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.6 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส....80
ก.7 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส....81
ก.8 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง เผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส....82
ก.9 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนองเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส....83
ก.10 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส....84
ก.11 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง เผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส....85
ก.12 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส....86
ก.13 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนองเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส....87
ก.14 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนองเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส....89
ก.15 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนองเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส....91
ก.16 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปางเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส....93
ก.17 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปางเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส....95
ก.18 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปางเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส....97

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 กระเบื้องบุผนัง (เนื้อเอิร์ธเธินแวร์)....6
2.2 กระเบื้องปูพื้น (เนื้อสโตนแวร์)....6
2.3 กระเบื้องโมเสค (เนื้อพอร์ซเลน)....7
2.4 กระเบื้องแกรนิต (เนื้อพอร์ซเลน)....8
2.5 กระเบื้องเคลือบเนื้อแกรนิต (Glaze Porcelain)....9
2.6 กระเบื้องเติร์ดไฟริ่ง....9
2.7 กระเบื้องที่ผลิตจากกระบวนการรีด....10
2.8 กระเบื้องเนื้อแดงไม่เคลือบ (เทอร์ราคอตต้า)....10
2.9 กระเบื้องที่มีรูปร่างพิเศษ (Special Shape)....11
2.10 ปฏิกิริยาของดินขาว เมื่อผ่านอุณหภูมิต่างๆ และการเปลี่ยนแปลงรูปผลึกทางโครงสร้างเคมี....15
2.11 แก้วโซดาไลม์ (Soda Lime Glass)....23
2.12 แก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate Glass)....23
2.13 แก้วตะกั่ว (Lead Glass)....24
2.14 แก้วโอปอล (Opal Glass)....24
2.15 แก้วอะลูมิโนซิลิเกต (Alumino Silicate Glass)....25
2.16 แก้วอัลคาไลน์เอิร์ท อลูมิโนซิลิเกต (Alkaline-Earth Alumino Silicate)....25
2.17 กลาสเซรามิก (Glass Ceramic)....26
2.18 การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น....26
2.19 ตัวอย่างชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการฉีด....28
2.20 สุขภัณฑ์....29
2.21 กระเบื้องปูพื้น....29
2.22 ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปด้วย Extrusion....30
2.23 แสดงลักษณะการเชื่อมตัวของอนุภาคในขบวนการเผาผนึก....33
2.24 การราน....37
2.25 รูเข็ม....37
2.26 รอยพอง....37
2.27 หลุม....37
2.28 รอยบิ่น....38
2.29 การหดตัวของเคลือบ....38
2.30 โค้งงอ และเว้าเข้า....38
2.31 นูนขึ้น....38
2.32 แอ่นลง....39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	48
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหนาแน่นกับร้อยละของเศษแก้วสีเขียวผสมกับดินขาวระนอง เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส	54
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำกับร้อยละของเศษแก้วสีเขียวผสมดินขาวระนอง เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส	55
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดกับร้อยละของเศษแก้วสีเขียวผสมกับดินขาวระนอง เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส	56
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหนาแน่นกับร้อยละของเศษแก้วสีเขียวผสมกับดินขาวลำปาง เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส	58
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำกับร้อยละของเศษแก้วสีเขียวผสมกับดินขาวลำปาง เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส	59
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดกับร้อยละของเศษแก้วสีเขียวผสมกับดินขาวลำปาง เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส	60
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหนาแน่นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง	62
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง	63
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง	64
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหนาแน่นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปาง	67
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปาง	68
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปาง	69

สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ

ASTM	=	American Society for Testing and Materials
T_g	=	Glass Transition Temperature
T_m	=	Melting Temperature
cm	=	เซนติเมตร
cm^2	=	ตารางเซนติเมตร
cm^3	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
mm	=	มิลลิเมตร
in	=	นิ้ว
MPa	=	เมกะปาสคาลาล
kg	=	กิโลกรัม
g	=	กรัม
°C	=	องศาเซลเซียส
µm	=	ไมครอน
Psi	=	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงงาน

เศรษฐกิจของประเทศไทยล้วนขับเคลื่อนจากทางภาครัฐ และภาคเอกชน ทั้งจากทางอุตสาหกรรม และเกษตรกรรม อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญอุตสาหกรรมหนึ่งของประเทศ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ผลิตผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้ก่อสร้าง ตกแต่ง รวมถึงใช้งานภายในบ้าน หรืออาคารสถานที่ต่างๆ โดยอุตสาหกรรมการผลิตกระเบื้องเซรามิกมีอัตราการขยายตัวเป็นอันดับที่สอง รองจากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร (กรมศุลกากร, 2553) ซึ่งอุตสาหกรรมทางเซรามิกของประเทศไทยนั้น โดยทั่วไปแล้วเป็นอุตสาหกรรมเซรามิกแบบดั้งเดิม (Conventional Ceramics) รวมถึงอุตสาหกรรมการผลิตกระเบื้องเซรามิก ซึ่งมีเนื้อส่วนผสมหลักที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ ดิน โดยดินที่ใช้ในการผลิตอุตสาหกรรมเซรามิกจะมีหลายชนิด และดินที่นิยมใช้เป็นเนื้อส่วนผสมหลักในแทบทุกอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะผลิตกระเบื้อง ผลิตสุขภัณฑ์ หรือผลิตเครื่องใช้ภายในบ้าน (ถ้วย จาน ชาม) ได้แก่ ดินขาว ซึ่งดินขาวนั้นมีแหล่งที่มาหลายแหล่ง เช่น ดินขาวระนอง ดินขาวลำปาง เป็นต้น โดยในกระบวนการผลิตต้องมีผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปเรียบร้อยมีการเผาที่อุณหภูมิสูงถึง 1,250 องศาเซลเซียส (°C) การใช้อุณหภูมิการเผาสูงนี้ เป็นหนึ่งที่ส่วนผลให้อุตสาหกรรมเซรามิกส่วนใหญ่มีต้นทุนการผลิตสูง

ปัจจุบันประเทศไทยมีภาวะการขยายตัวทางเศรษฐกิจที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีการผลิตสินค้าและบรรจุภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ มากมาย เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น ซึ่งสินค้าและบรรจุภัณฑ์ส่วนใหญ่มีการผลิตที่ซับซ้อน ใช้องค์ประกอบที่กำจัดยาก ซึ่งแก้วเป็นขยะประเภทหนึ่งที่กำจัดยากเพราะไม่สามารถย่อยสลายตามกาลเวลาได้ ดังนั้นปริมาณขยะแก้วจึงมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากยังมีขยะตกค้างตามแหล่งชุมชนต่างๆ ซึ่งนำไปสู่ปัญหาขยะล้นเมือง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการบริหารจัดการขยะแก้วชนิดต่างๆ อย่างเหมาะสม เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และเกิดประโยชน์สูงสุด โดยนำกลับมาหลอมใช้ใหม่ และอาจนำมาเป็นส่วนประกอบในการผลิตกระเบื้อง เพื่อลดต้นทุนในการผลิต และต้นทุนค่าวัตถุดิบ ซึ่งการนำเศษแก้วมาหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ จึงเป็นการตอบสนอง และการแก้ปัญหาจากขยะเศษแก้วได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะนำไปสู่หนทางการแก้ปัญหา และการพัฒนาที่ยั่งยืน

งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาการลดอุณหภูมิในการเผากระเบื้องเซรามิก เพื่อลดต้นทุนในกระบวนการผลิต ด้วยการใช้เศษแก้วเหลือทิ้งมาประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องเซรามิก เนื่องจากแก้วเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมเพื่อผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ของสินค้าหลากหลายชนิด เช่น เครื่องดื่มชูกำลัง เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาอัตราส่วนผสมของเศษแก้วในดินขาวระนอง และดินขาวลำปางเพื่อหาแนวทางในการลดอุณหภูมิในการเผา และขยะที่เกิดจากแก้ว ในการผลิตกระเบื้องปูพื้นเซรามิก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาอัตราส่วนของเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนอง และอุณหภูมิในการเผาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงดัด

1.2.2 ศึกษาอัตราส่วนของเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปาง และอุณหภูมิในการเผาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงดัด

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 ได้กระเบื้องปูพื้นจากการผสมเศษแก้วสีเขียวกับดินขาวระนอง และเศษแก้วสีเขียวกับดินขาวลำปางในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ตามลำดับ

1.3.2 ได้สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงดัด ของกระเบื้องปูพื้นจากการผสมเศษแก้วสีเขียวกับดินขาวระนอง และเศษแก้วสีเขียวกับดินขาวลำปางในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 เผาที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

อัตราส่วนของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง และอัตราของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง ที่มีผลต่ออุณหภูมิในการเผา สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงดัด

1.5 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ใช้ดินขาวจากจังหวัดระนอง และจังหวัดลำปาง

1.5.2 ใช้เศษแก้วสีเขียว

1.5.3 ศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการทำกระเบื้องปูพื้น โดยใช้เศษแก้วสีเขียวกับดินขาวระนองในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 และเศษแก้วสีเขียวกับดินขาวลำปางในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ตามลำดับ

1.5.4 ใช้อัตราเร็วในการเผา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 600 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 30 นาที จากนั้นให้อัตราเร็วในการเผา 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนถึง 1000 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 30 นาที แล้วลดอุณหภูมิในการเผาด้วยอัตราเร็ว 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนถึงอุณหภูมิห้อง

หมายเหตุ เปลี่ยนอุณหภูมิในการเผาจาก 1,000 เป็น 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

1.5.5 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และทางกล ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงดัด

1.5.6 ใช้น้ำประปาในการบดเปียกส่วนผสม

1.5.7 ใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก. 37–2529) เพื่อพิจารณาลักษณะทั่วไป ร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่ากำลังรับแรงดัด

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

อาคารปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

กรกฎาคม 2554 – เมษายน 2555

1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา									
	พ.ศ. 2554						พ.ศ. 2555			
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.8.1 รวบรวมเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←	→								
1.8.2 ทำแม่พิมพ์แผ่นกระเบื้องขนาด 2×10×1 ลูกบาศก์-เซนติเมตร		←	→							
1.8.3. เก็บรวบรวมขวดเบียร์สีเขียว แล้วนำไปทุบด้วยค้อนให้เป็นเศษแก้วสีเขียว แล้วนำมาบดด้วยเครื่องบดละเอียด และนำเศษแก้วสีเขียวที่บดละเอียดไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 50 เมช			←	→	→					
1.8.4 นำดินที่เป็นก้อนมาบดให้ละเอียด					←	→				

ตารางที่ 1.1 (ต่อ) ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา									
	พ.ศ. 2554						พ.ศ. 2555			
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.8.5 บดเปียกส่วนผสม นำส่วนผสมที่ผ่านการบดเปียกมาอบไล่ความชื้น แล้วทำการบดแห้ง					←	→				
1.8.6 นำส่วนผสมที่ผ่านการบดแห้งแล้วมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 50 เมช						↔				
1.8.7 นำวัตถุดิบไปขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้องขนาด 2×10×1 ลูกบาศก์เซนติเมตร						↔	→			
1.8.8 ทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100, 1,200 องศาเซลเซียส						↔	→			
1.8.9 ทำการทดสอบลักษณะทั่วไป ค่าความหนาแน่น ค่าร้อยละการดูดซึม และค่ากำลังรับแรงดัด							↔	→		
1.8.10 วิเคราะห์สรุปผล และจัดทำรูปเล่ม									↔	→

บทที่ 2
หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 กระเบื้องเซรามิก

กระเบื้องดินเซรามิก หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอัดดิน (Pressing) หรืออัดรีดดิน (Extruding) และส่วนผสมอื่นๆ เช่น หิน ทราย สี แล้วเผาที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 1,000 องศาเซลเซียส (°C) จนเนื้อกระเบื้องแข็งแกร่ง มีอัตราการดูดซึมน้ำค่อนข้างต่ำ สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยฉับพลัน มีลักษณะเป็นแผ่น มีสี รูปร่างใดๆ ก็ได้ มีทั้งประเภทเคลือบ และไม่เคลือบ (ปาร์ย, 2548)

2.2 ชนิดของกระเบื้องเซรามิก

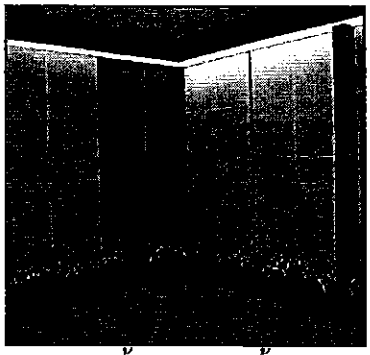
กระเบื้องเซรามิกแต่ละประเภทก็มีลักษณะของเนื้อกระเบื้องที่แตกต่างกันเพราะส่วนผสม และกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถแบ่งชนิดของกระเบื้องเซรามิกตามประเภทเนื้อดินจะแบ่งได้เป็น 9 ชนิด คือ

2.2.1 กระเบื้องบุผนัง (เนื้อเอิร์ธเธินแวร์; Earthen Ware)

กระเบื้องบุผนัง คือกระเบื้องที่ใช้สำหรับบุผนังของบ้าน หรืออาคาร ในอดีตนั้นกระเบื้องบุผนังมักจะถูกจำกัดการใช้งานอยู่เพียงในห้องน้ำเท่านั้น แต่ในปัจจุบันผู้ผลิตกระเบื้องได้มีการพัฒนาสีสันลวดลายให้มีความสวยงามจนสามารถนำมาใช้งานได้ในทุกพื้นที่ของบ้าน หรืออาคาร ซึ่งข้อดีของการใช้กระเบื้องบุผนังทดแทนการทาสี หรือการใช้วอลล์เปเปอร์ เพื่อตกแต่งให้ห้องมีความสวยงามขึ้น คือกระเบื้องจะมีความทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ทำความสะอาดง่ายกว่าวัสดุอื่นๆ อีกทั้งในปัจจุบันผู้ผลิตก็ได้ออกแบบลูกเล่นต่างๆ ในการตกแต่งตามความคิดของเจ้าของบ้านเอง

เนื้อกระเบื้องสำหรับบุผนังควรจะมีน้ำหนักเบา ดังนั้นจึงต้องมีความพรุนตัวสูง มีความแข็งแรงปานกลางจนถึงต่ำ ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีความแข็งแรงมากเท่ากับกระเบื้องสำหรับปูพื้น และขนาดของกระเบื้องต้องมีความเที่ยงตรงมากในแต่ละแผ่น เพื่อที่เวลาปูกระเบื้องแล้วจะส่งผลให้ได้แนวของกระเบื้องที่สวยงาม ดังนั้นการหดตัวของกระเบื้องชนิดนี้จะต้องต่ำมาก อาจกล่าวได้ว่า ไม่เกิดการหดตัวเลย อีกทั้งต้องไม่เกิดการรานตัว หรือการแตกร้าวของผิวเคลือบเมื่อใช้งานไปในระยะเวลาหนึ่ง (Delay Crazing) อันเกิดเนื่องมาจากการขยายตัวเนื่องจากความชื้น และสีเคลือบต้องมีความทนทานต่อกรด และเบส เนื่องจากบางครั้งผู้ใช้งานอาจทำความสะอาดพื้นกระเบื้องด้วยน้ำยาล้างห้องน้ำ ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด หรือเบสได้

เนื้อดินของกระเบื้องบุผนังนั้น โดยส่วนมากจะเป็นเนื้อดินชนิดเอิร์ธเธินแวร์ ซึ่งมีร้อยละการดูดซึมน้ำสูง (ร้อยละ15-22) ความแข็งแรงไม่สูงมากนัก สีเคลือบส่วนใหญ่มักจะเป็นผิวมัน ดังนั้นจึงไม่ควรนำเอากระเบื้องบุผนังไปใช้งานที่ต้องรับน้ำหนักมาก หรือต้องสัมผัสกับน้ำอยู่ตลอดเวลา หรือใช้ในพื้นที่ที่มีการขูดขีดขัดสีอยู่ตลอดเวลา เช่น พื้นที่สาธารณะ หรือพื้นบ้าน เนื่องจากจะทำให้เกิดความเสียหายต่อผิวของกระเบื้อง ซึ่งจะทำให้ความสวยงามหมดลงไปได้ในที่สุด นอกจากนี้อาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งานได้ถ้านำกระเบื้องบุผนัง ซึ่งมีผิวมันมากเป็นพิเศษไปใช้ปูพื้น



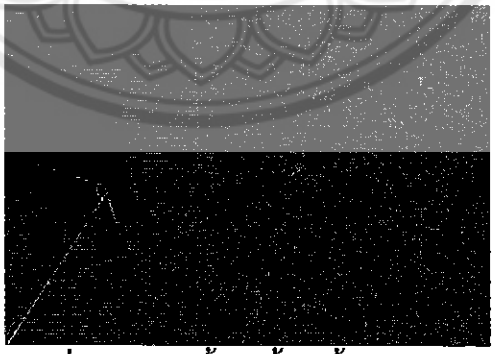
รูปที่ 2.1 กระเบื้องบุผนัง (เนื้อเอิร์ธเธินแวร์)
ที่มา : www.thaicontractor.com

2.2.2 กระเบื้องปูพื้น (เนื้อสโตนแวร์; Stone ware)

กระเบื้องปูพื้นจุดประสงค์หลักของกระเบื้องชนิดนี้ คือใช้สำหรับปูพื้นเพื่อให้เกิดความสวยงาม มีความคงทน ทำความสะอาดง่าย สามารถใช้ทดแทนวัสดุประเภทอื่นที่มีราคาสูงกว่า เช่น หินแกรนิต หินอ่อน พื้นไม้ เป็นต้น

เนื้อกระเบื้องปูพื้นโดยส่วนใหญ่เป็นเนื้อสโตนแวร์ มีร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำถึงปานกลาง (ประมาณร้อยละ 3-6) ความแข็งแรงปานกลาง ผิวเคลือบมีทั้งแบบผิวมัน และผิวด้าน รวมทั้งลวดลายและสีสันที่มีให้เลือกมากมายขึ้นกับความต้องการของผู้ใช้งาน และขึ้นกับการใช้งานของพื้นที่ที่จะปูกระเบื้อง

คุณสมบัติที่สำคัญที่ผู้ใช้งานควรคำนึงถึงสำหรับกระเบื้องปูพื้นแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ผู้ใช้งานเห็น หรือสัมผัสได้ เช่น สีสัน ลวดลาย ลักษณะของผิวเคลือบ ขนาด คุณภาพของผิวหน้า ความโค้งแอ่นของกระเบื้อง และส่วนที่สองเป็นคุณสมบัติทางกายภาพ ที่ผู้ใช้งานไม่สามารถวัดค่าออกมาเป็นตัวเลขได้ แต่ทางผู้ผลิตได้มีการควบคุมคุณภาพตามมาตรฐานที่ได้มีการกำหนดเอาไว้เพื่อไม่ให้ลูกค้านำไปใช้งานแล้วเกิดปัญหาได้ในภายหลัง



รูปที่ 2.2 กระเบื้องปูพื้น (เนื้อสโตนแวร์)
ที่มา : www.thaicontractor.com

2.2.3 กระเบื้องโมเสค (เนื้อพอร์ซเลน; Porcelain)

เป็นกระเบื้องที่มีร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำ มีความแข็งแรงสูง เนื้อกระเบื้องจัดอยู่ในประเภทพวกพอร์ซเลนมักเป็นกระเบื้องที่มีขนาดเล็ก (ต่ำกว่า 4 นิ้วลงไป) ผู้ผลิตจะทำการนำโมเสค

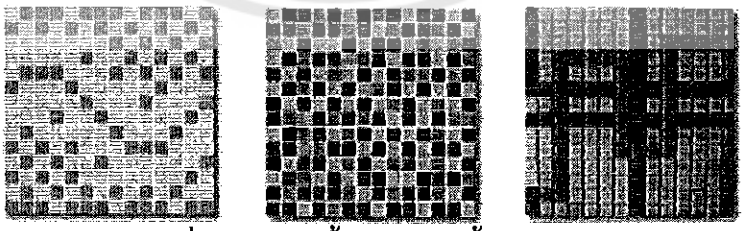
เหล่านี้ไปติดบนแผ่น (Sheet) ซึ่งทำมาจากไนล่อน เวลาปูก็ทำการปูไปทั้งแผ่นจำนวนชิ้นของโมเสคในแต่ละแผ่นนั้นขึ้นกับขนาดของโมเสคที่นำมาติดกับแผ่น

สีของตัวกระเบื้องโมเสคจะมีความเข้มอ่อนแตกต่างกันได้ โดยมาจากสภาพความแตกต่างของอุณหภูมิเตาที่แต่ละตำแหน่งของเตา โดยผู้ผลิตจะนำกระเบื้องโมเสคเหล่านี้มาจัดเรียงเฉดสีให้กลมกลืนกันภายใน 1 แผ่น เรียกว่าการ Mix Pattern ซึ่งการที่เกิดความเข้มอ่อนของสีในแต่ละแผ่นนั้นถือว่าเป็นเสน่ห์ หรือเป็นเอกลักษณ์ของกระเบื้องโมเสค ซึ่งลูกค้าที่เลือกใช้กระเบื้องประเภทนี้จึงมักจะชอบในความต่างของเฉดสีของกระเบื้องชนิดนี้ นอกจากนี้ในปัจจุบันผู้ผลิตยังได้นำเทคโนโลยีสำหรับการตกแต่งลวดลายที่ใช้กับกระเบื้องปูพื้น หรือบุผนังมาใช้กับการผลิตกระเบื้องโมเสคด้วย ทำให้กระเบื้องชนิดนั้นมีลูกเล่นมากขึ้นกว่าในอดีตที่มีเอกลักษณ์อยู่เพียงการผสมกันของเฉดสีของแต่ละแผ่น

กระเบื้องโมเสคสามารถใช้ได้ทั้งการปูพื้น และบุผนัง นอกจากนี้ยังสามารถใช้ปูผนังด้านนอกของอาคาร ซึ่งมักนิยมกันมากในประเทศญี่ปุ่น เราเรียกกระเบื้องโมเสคที่ใช้ปูนอกอาคารว่า Facing Tile ตัว Footing ของ Facing Tile นี้จะมีความลึกมากกว่าโมเสคปกติ เพื่อความสามารถในการยึดติดได้ดีขึ้น การปู Facing Tile มักจะใช้วิธีปูไปบนแผ่นคอนกรีตสำเร็จก่อน เมื่อเรียบร้อยแล้วจึงสามารถยกขึ้นไปติดตั้งพร้อมกับการก่อสร้างอาคารได้เลย

ข้อดีของกระเบื้อง Facing Tile คือสีจะสามารถคงทนอยู่ได้ดีกว่าสีทาอาคาร และยังสามารถทำความสะอาดได้ง่ายกว่า ไม่สกปรก หรือขึ้นราได้ง่าย เนื่องจากค่าร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำมาก การเลือกใช้กระเบื้องโมเสคสำหรับปูพื้นนั้นควรเลือกประเภทของเคลือบที่มีผิวไม่มันมากนัก เพื่อจะได้ไม่มีอันตรายเวลาพื้นลื่น นอกจากนี้ความสามารถในการทนทานต่อสารเคมีนั้นกระเบื้องโมเสคจะมีความทนทานได้ดีกว่ากระเบื้องปูพื้น หรือบุผนัง เนื่องจากกระเบื้องโมเสคใช้อุณหภูมิในการเผาที่สูงกว่าดังนั้นจึงสามารถใช้วัตถุดิบที่ทนทานต่อสารเคมีได้ดีกว่ากระเบื้อง 2 ชนิดที่ได้กล่าวมาแล้ว

ข้อเสียของกระเบื้องชนิดนี้จะอยู่ที่ปัญหาการทำความสะอาด เนื่องจากกระเบื้องนี้มีขนาดเล็กทำให้มีรอยต่อระหว่างแผ่น (Joint) ซึ่งบริเวณดังกล่าวเวลาทำการปูจะต้องใช้ปูนซีเมนต์ขาวในการยาแนว ซึ่งบริเวณนี้จะมีโอกาสที่จะเกิดคราบความสกปรก ตะไคร่สีเขียว ได้ง่ายถ้าไม่ดูแลรักษาดีพออาจจะทำให้เกิดสิ่งสกปรกขึ้นมาได้



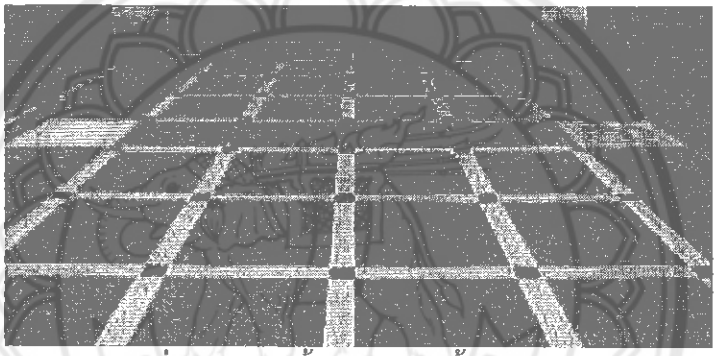
รูปที่ 2.3 กระเบื้องโมเสค (เนื้อพอร์ซเลน)
ที่มา : www.srithanee.com

2.2.4 กระเบื้องแกรนิต (เนื้อพอร์ซเลน)

เป็นกระเบื้องที่มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำมาก (มีผู้ผลิตบางราย สามารถพูดได้ว่าไม่ดูดซึมน้ำเลย) มีความแข็งแรงสูง เนื้อผลิตภัณฑ์เป็นพอร์ซเลน มีคำเรียกกระเบื้องชนิดนี้อยู่หลายคำอาทิ เช่น Homogeneous Tile, Granite Tile, Granito Tile, Porcelain Tile ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นคำเรียก

กระเบื้องที่มีการผลิตเลียนแบบหินธรรมชาติ โดยการนำเอาสีเซรามิกเข้าไปผสมกับเนื้อดิน เพื่อให้เกิดสีขึ้นในเนื้อดิน เทคโนโลยีเริ่มต้นเมื่อประมาณสิบกว่าปีก่อน เริ่มจากการพยายามผลิตกระเบื้องให้มีลักษณะ และสีสันใกล้เคียงหินแกรนิตธรรมชาติ มีทั้งแบบไม่ขัดผิวหน้า และขัดพื้นผิวให้มีความมันเหมือนในการขัดหินแกรนิต ต่อมาได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตอย่างต่อเนื่องทั้งในส่วนของเครื่องจักร ส่วนของเทคนิคการผลิต การตกแต่งลวดลาย ทำให้สามารถผลิตกระเบื้องที่เลียนแบบหินธรรมชาติได้แทบทุกชนิด ทั้งสีสัน และลวดลายจนบางครั้งแทบไม่สามารถแยกออกได้ว่า แผ่นไหนเป็นกระเบื้องที่มนุษย์ผลิต หรือแผ่นไหนเป็นหินที่ธรรมชาติได้รังสรรค์ขึ้นมา

เนื่องจากกระเบื้องแกรนิตนั้นได้มีการนำสีเซรามิกใส่ผสมลงไปกับเนื้อดินจึงส่งผลทำให้กระเบื้องทั้งแผ่นมีสีเหมือนกัน ดังนั้นเมื่อใช้กระเบื้องไปนานๆ จนเกิดการขัดสี หรือการกร่อนของผิวหน้ากระเบื้องก็ยังไม่เกิดปัญหาเหมือนกับกระเบื้องที่ใช้การเคลือบผิว เนื่องจากเมื่อผิวหน้าด้านบนสึกไปพื้นด้านล่างก็ยังคงมีสี เช่น เดียวกันกับพื้นด้านบน แต่สำหรับกระเบื้องแกรนิตที่ผ่านการขัดผิวจนมันเงาแล้วอาจจะพบปัญหาผิวหน้าหมอง และด้านขึ้นเมื่อใช้ไปนานๆ ได้

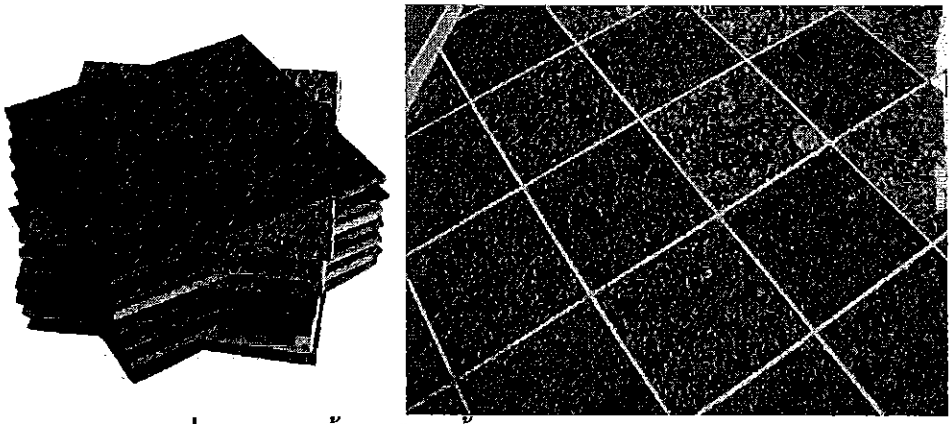


รูปที่ 2.4 กระเบื้องแกรนิต (เนื้อพอร์ซเลน)
ที่มา : www.srithanee.com

2.2.5 กระเบื้องเคลือบเนื้อแกรนิต (Glaze Porcelain)

กระเบื้องเคลือบเนื้อแกรนิตมีสมบัติใกล้เคียงกับกระเบื้องแกรนิต ทั้งในเรื่องร้อยละการดูดซึมน้ำ ความแข็งแรง แต่ที่ผิวหน้าจะมีการเคลือบสี และตกแต่งลวดลาย เพื่อให้เกิดความสวยงาม รวมทั้งช่วยปรับปรุงสมบัติด้านการขัดสี การขูดขีด ให้มีความทนทานด้วย เคลือบที่ใช้กับกระเบื้องแกรนิตนั้นมักจะเป็นเคลือบที่มีความทนทานทั้งกับสารเคมี และการขัดสี จึงสามารถใช้กระเบื้องชนิดนี้ได้ในทุกพื้นที่รวมทั้งภายนอกอาคาร และสถานที่สาธารณะต่างๆ ที่มีผู้คนสัญจรไปมาเป็นจำนวนมาก

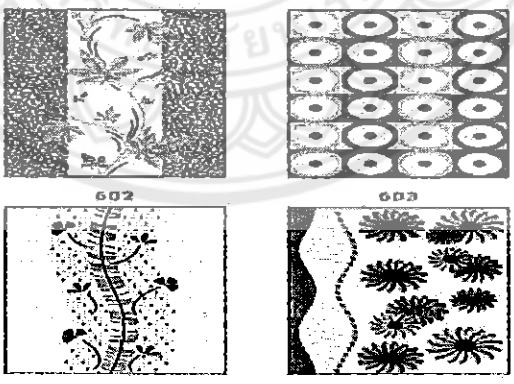
กระเบื้องชนิดนี้เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในประเทศแถบยุโรป และอเมริกาที่มีอากาศหนาวเย็น อุณหภูมิในช่วงฤดูหนาวจะต่ำกว่าจุดเยือกแข็งจนทำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็ง ซึ่งถ้ากระเบื้องมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำสูงก็จะพบปัญหาน้ำที่อยู่ตามรูพรุนกลายเป็นน้ำแข็ง และถ้ามีปริมาณมากอาจทำให้กระเบื้องแตกได้ เนื่องจากการขยายตัวของน้ำแข็งจึงเรียกสมบัติที่สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่อุณหภูมิต่ำมากนี้ว่าความต้านทานการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่อุณหภูมิต่ำ (Frost Resistance)



รูปที่ 2.5 กระเบื้องเคลือบเนื้อแกรนิต (Glaze Porcelain)
ที่มา : www.srithanee.com

2.2.6 กระเบื้องเติร์ดไฟริ่ง (Third Firing)

เป็นกระเบื้องตกแต่งที่มีการเผาหลายครั้ง และหลายอุณหภูมิเพื่อให้เกิดความสวยงามได้จากการนำกระเบื้องปูพื้น บุผนัง หรืออื่นๆ ที่ผ่านการเผาแล้วมาทำการตกแต่งลวดลายเพิ่มเติม แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ผลิตกระเบื้องดังกล่าว อุณหภูมิที่ใช้ในการเผานั้นขึ้นอยู่กับสีที่นำมาตกแต่ง อาจมีการเผามากกว่าหนึ่งครั้งก็ได้ขึ้นกับชนิดของสีที่นำมาตกแต่ง กระเบื้องชนิดนี้จะใช้ตกแต่งควบคู่ไปกับกระเบื้องชนิดต่างๆ ที่นำมาเป็นพื้นเพื่อให้เกิดความสวยงามขึ้น ซึ่งลวดลายนั้นมีทั้งลายดอกไม้ ลายกราฟิก รูปการ์ตูน ภาพธรรมชาติ หรือแม้แต่ภาพอิมเพรสชั่นนิสก็ยังสามารถนำมาใช้กับกระเบื้องได้ การใช้งานมีได้ทั้งเป็นกระเบื้องตัดขอบ (Border) หรือเป็นกระเบื้องที่มีลวดลายแซมอยู่ทั่วไปของพื้นที่ (Spot Tile) ข้อควรระวังของกระเบื้องชนิดนี้ คือความทนทานของสีที่นำมาตกแต่งต่อการขูดขีด ต่อสารเคมีจะต่ำ ถึงแม้ว่าจะผ่านการเผามาแล้วก็ตาม



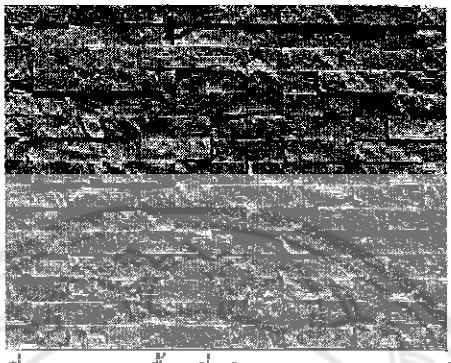
รูปที่ 2.6 กระเบื้องเติร์ดไฟริ่ง
ที่มา : www.thaicontractor.com

2.2.7 **กระเบื้องที่ผลิตจากกระบวนการรีด (Spilt Tile) เนื้อสโตนแวร์ หรือพอร์ซเลน**

ความแตกต่างของกระเบื้องชนิดนี้กับกระเบื้องที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นอยู่ที่กระบวนการผลิต ซึ่งกระเบื้องชนิดนี้จะขึ้นรูป โดยการนำดินที่มีความชื้นสูงมาเข้าเครื่องรีดผ่านหัวแบบ (Die) ให้ได้รูปร่างตามแบบ แล้วจึงตัดตามขนาดที่ต้องการ สมบัติต่างๆ ของกระเบื้องหลังเผาแล้วก็จะใกล้เคียงกับกระเบื้องปูพื้นทั้งในเรื่องร้อยละการดูดซึมน้ำ ความแข็งแรง ความทนทานต่อสารเคมี แต่สิ่งที่

กระเบื้องชนิดนี้ทำได้ยาก คือความหลากหลายของขนาดกระเบื้อง โดยเฉพาะกระเบื้องที่มีขนาดใหญ่ สำหรับลวดลาย และสีสันนั้นได้มีการพัฒนาให้ลวดลายหลากหลายขึ้นจากเดิมที่มีเพียงการเคลือบสีเพียงอย่างเดียว ซึ่งตามท้องตลาดพบว่าปัจจุบันจะเริ่มเห็น Spilt Tile ที่มีลวดลายสวยงามเพิ่มขึ้น

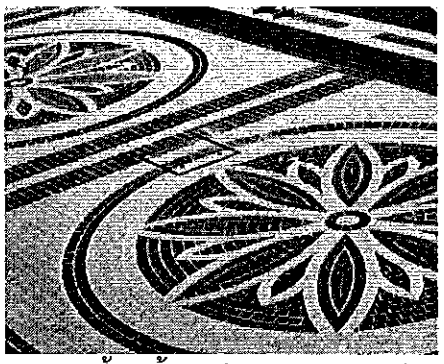
การใช้งานสามารถใช้ได้ทั้งภายใน และภายนอกอาคาร มีผู้ผลิตบางรายผลิตกระเบื้องที่มีรูปทรงพิเศษใช้สำหรับเป็นจมูกบันได ทำให้การปูกระเบื้องตามขั้นบันไดมีความสวยงามเพิ่มขึ้น และช่วยลดความคมของรอยต่อกระเบื้องตรงขอบบันไดได้



รูปที่ 2.7 กระเบื้องที่ผลิตจากกระบวนการรีด
ที่มา : www.thaitiles.com

2.2.8 กระเบื้องเนื้อแดงไม่เคลือบ (เทอร์ราคอตต้า; Terra Cotta) ซึ่งมักเป็นเนื้อเอิร์ธเธินแวร์

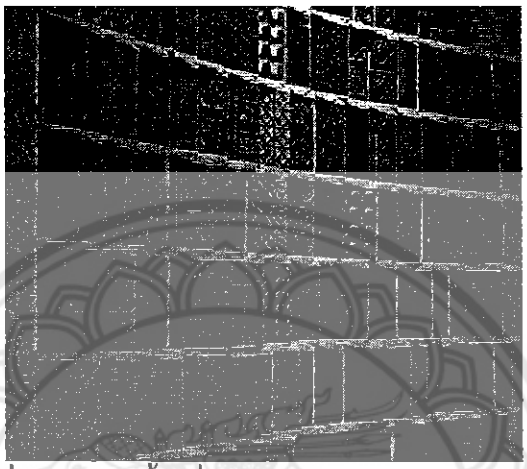
ผลิตมาจากดินแดง หรือดินที่มีปริมาณร้อยละเหล็กออกไซด์ (Ferric Oxide; Fe_2O_3) สูง มีทั้งการขึ้นรูปแบบ Pressing, Extruding และการขึ้นรูปด้วยมือ มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำสูง ความแข็งแรงไม่สูงมากนัก เหมาะใช้สำหรับตกแต่งบ้านให้สวยงามมากกว่าคำนึงถึงประโยชน์ใช้สอยที่แท้จริง มีราคาถูกกว่ากระเบื้องชนิดอื่นๆ ปัญหาที่พบได้มากในการใช้งานกระเบื้องประเภทนี้ คือเรื่องความสกปรกบนผิวหน้าจะเกิดขึ้นได้ง่ายแต่กำจัดออกไปได้ยาก รวมทั้งการเกิดตะไคร่น้ำ ซึ่งจะทำให้ลื่นง่ายจะเกิดอันตรายกับผู้ใช้งานได้ จึงไม่เหมาะที่จะใช้งานในพื้นที่ภายนอกอาคารที่ถูกน้ำในพื้นที่ที่เปียกชื้นเสมอๆ และพื้นที่ที่ต้องการรับแรง



รูปที่ 2.8 กระเบื้องเนื้อแดงไม่เคลือบ (เทอร์ราคอตต้า)
ที่มา : www.thaitiles.com

2.2.9 กระเบื้องที่มีรูปร่างพิเศษ (Special Shape)

กระเบื้องที่ผลิตกระเบื้องเลียนแบบหินธรรมชาตินี้ คือกระเบื้องรัสติก (Rustic) เป็นกระเบื้องที่มีผิวเคลือบด้าน มีพื้นผิวที่ทำร่องรอยให้คล้ายลักษณะของชั้นหินตามธรรมชาติ หรืออาจจะเป็นพื้นผิวราบเรียบแบบกระเบื้องทั่วๆ ไปก็ได้ สีสันส่วนใหญ่เป็นแนว Earth Tone เช่น สีน้ำตาลแดง สีเทาดำ สีเขียวเทา สีเทอร์ราคอตต้า โดยแต่ละแผ่นจะมีสีสันที่แตกต่างกันไปบ้างไม่ได้เหมือนกันทุกแผ่นซึ่งเป็นเสน่ห์ของกระเบื้องชนิดนี้ เมื่อมาปูรวมกันก็จะทำให้เกิดความกลมกลืนได้



รูปที่ 2.9 กระเบื้องที่มีรูปร่างพิเศษ (Special Shape)
ที่มา : www.b2bthai.com

ทั้งหมดนี้ คือรายละเอียดของกระเบื้องในแต่ละประเภท และความเหมาะสมในการใช้งานที่ผู้ผลิตมีความตั้งใจผลิตขึ้นมา เพื่อสนองความต้องการให้กับลูกค้าให้มากที่สุด ซึ่งถ้าผู้ใช้งานใช้ได้ถูกต้องตามที่ผู้ผลิตออกแบบมาให้แล้วจะทำให้เกิดปัญหาได้น้อยที่สุด หรือแม้ว่าเกิดปัญหาขึ้นได้ก็ยังสามารถร้องเรียนไปยังหน่วยงานบริการหลังการขาย เพื่อให้มาตรวจสอบ และแก้ไขให้ได้ ซึ่งมีทั้งการซ่อมแซม หรือชดเชย

2.3 วัตถุดิบในการผลิตกระเบื้อง

วัตถุดิบในการผลิตกระเบื้องมีหลายชนิดด้วยกัน โดยส่วนประกอบหลักๆ ได้แก่ ดิน หินฟันม้า (Feldspar) และอื่นๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของกระเบื้อง

2.3.1 ดิน

ดินเป็นวัตถุดิบที่มีความเหนียว เมื่อโดนน้ำจะจับตัวเป็นก้อนสามารถนำมาปั้นเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ง่าย ความเหนียว และสีของดินมีลักษณะแตกต่างกันไปในแต่ละทั้งในด้านโครงสร้างผลึกของดิน และคุณสมบัติภายหลังการเผา เช่น สี การหดตัว ความแข็งแกร่ง และความทนไฟ เป็นต้น นักแร่วิทยาได้แบ่งแร่ดินออกเป็น 4 กลุ่ม คือ

กลุ่มแร่เกาลินไนท์ (Kaolinite) มีโครงสร้างของผลึกดินเป็นแผ่นบางๆ เรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ เบียดอัดกันแน่น โครงสร้างของผลึกประสานกันแข็งแรง แร่อื่นไม่สามารถที่จะแทรกเข้าไปใน

โครงสร้างของผลึกได้ ดังนั้นแร่ดินเกาลินไนท์จึงมีความบริสุทธิ์มาก ได้แก่ ดินขาวระนอง และดินขาวนราธิวาส

กลุ่มฮอลลอยไซท์ (Holloysite) มีโครงสร้างเปลี่ยนแปลงจากแร่เกาลินไนท์ โดยผลึกที่เป็นแผ่นเกิดการม้วนตัวเป็นหลอด หรือกลายเป็นผลึกรูปแท่ง โครงสร้างของผลึกเกิดการเรียงตัวไม่เป็นระบบแตกต่างจากโครงสร้างเกาลินไนท์เดิม แร่ดินฮอลลอยไซท์ คือดินขาวที่มีความเหนียว มีความบริสุทธิ์น้อยกว่าเกาลินไนท์

กลุ่มอิลไลท์ (Illite) หรือมีอีกชื่อหนึ่งว่า กลุ่มแร่ไมกา ซึ่งมีโครงสร้างแตกต่างจากเกาลินไนท์โดยสิ้นเชิง ผลึกของดินไม่ได้เรียงตัวซ้อนกันด้วยแร่ชนิดเดียวกัน แต่มีผลึกของแร่อื่นเข้ามาแทรกอยู่ในระหว่างผลึกด้วย แร่อิลไลท์มีผลึกหยาบกว่า แร่เซอริไซท์ (Sericite) เป็นแร่ดินขาวที่มีไมกาอยู่สูง จึงมีจุดหลอมละลายต่ำกว่าดินขาวบริสุทธิ์

กลุ่มมอนท์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite) มีโครงสร้างผลึกที่ไม่แน่นอน เม็ดของผลึกดินมีความละเอียดมาก โครงสร้างของผลึกแตะกันอยู่หลวมๆ ดังนั้น น้ำ อินทรีย์สาร และแร่ธาตุจึงแทรกเข้าไปตามชั้นของผลึกดินได้ และมีปริมาณของแร่ธาตุอื่นๆ เข้ามาประกอบอยู่ในดินมากทำให้ดินไม่บริสุทธิ์ แต่มีความเหนียวสูง และมีเนื้อดินละเอียดมาก ได้แก่ ดินเบนโตไนท์ (Mcmeekin, 1967)

ดินที่ใช้ในการผลิตกระเบื้องเซรามิกสามารถใช้ได้หลากหลายชนิด เช่น ดินขาว ดินดำ และดินเหนียว เป็นต้น

2.3.1.1 ดินขาว (Kaolin, China Clay)

ดินขาว (Kaolin; $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) มีอยู่หลายชนิดแตกต่างกันไป ตามแหล่งที่อยู่บนผิวโลก ดินขาวส่วนใหญ่เป็นดินที่เกิดอยู่ในแหล่งผุพังของหินเดิม (Residual Clay) เป็นดินที่มีขนาดเม็ดหยาบจึงมีความเหนียวน้อย ประกอบด้วยแร่เกาลินไนท์มากกว่าดินชนิดอื่นๆ แหล่งดินชนิดนี้มี 2 แบบ

ก. แหล่งต้นกำเนิด (Residual Deposits)

ดินขาวแหล่งนี้ มักพบในลักษณะเป็นภูเขา หรือที่ราบ ซึ่งเดิมทีเป็นแหล่งแร่หินฟันม้า เมื่อหินฟันม้าผุพังโดยบรรยากาศ (Weathering) ผลสุดท้ายจะเหลือเป็นดินขาวอยู่ ณ ที่นั้น กระบวนการเกิดดินขาว (Kaolinization) นี้มีขั้นตอนของปฏิกิริยาต่างๆ ดังนี้

$KAlSi_3O_8 + H_2O \longrightarrow HAlSi_3O_8 + KOH$ (ปฏิกิริยา Hydrolysis)

$HAlSi_3O_8 \longrightarrow HAlSiO_4 + 2SiO_2$ (ปฏิกิริยา Desilication)

$2HAlSiO_4 + H_2O \longrightarrow (OH)_4Al_2Si_2O_5$ (ปฏิกิริยา Hydration)

$KAlSi_3O_8$ (หินฟันม้าชนิดโพแทส; Potash Feldspar)

$(OH)_4Al_2Si_2O_5$ (ดินขาว)

สิ่งสกปรกที่พบเสมอในดินแหล่งนี้ คือซิลิกา (Silica; SiO_2) นอกจากนี้ยังมีหินฟันม้า และผลิตผลอื่นๆ ที่ยังไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากปฏิกิริยายังไม่สมบูรณ์ และอาจมีสิ่งสกปรกที่อื่นที่เข้าไปปน

ข. แหล่งสะสมที่ลุ่ม (Sedimentary Deposit)

หมายถึง แหล่งดินขาวที่เกิดจากดินขาวจากแหล่งแรกถูกกระแสน้ำพัดพาไป และไปสะสมที่บริเวณที่ราบลุ่ม ในประเทศไทยมีแหล่งดินขาวหลายจังหวัดมีจังหวัดลำปาง อุตรดิตถ์ ปราจีนบุรี ระนอง สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช เป็นต้น

ดินขาวที่ขุดขึ้นมา ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มีอยู่ 3 ชนิด คือ

ข.1 ดินขาวที่มีความบริสุทธิ์ และมีความทนไฟสูงสามารถนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาได้

ข.2 ดินขาวอีกชนิดหนึ่งเป็นเกรดของฟิลเลอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ทำสี ยาง ยาฆ่าแมลง ปุ๋ย และอื่นๆ โดยใช้ดินขาวที่มีเนื้อสีขาวบริสุทธิ์ตามผลวิเคราะห์ทางเคมี แต่ไม่ได้นำไปเผาผ่านความร้อนในกระบวนการผลิต

ข.3 ดินขาวที่เป็นดินสอพองซึ่งไม่ใช่ดินขาว แต่เป็นปูนขาวชอล์ก (Chalk) หรือแคลเซียมคาร์บอเนต (Calciumcarbonate; $CaCo_3$) เกิดจากผลึกของหินปูนตามธรรมชาติที่มีลักษณะเป็นผลึกละเอียดสีขาวบางครั้งเป็นสีอมชมพู และน้ำตาลอ่อนซึ่งใช้เป็นเนื้อดินปั้นขึ้นรูปไม่ได้ใช้ผสมทำปูนซีเมนต์

ดินขาวที่มีความบริสุทธิ์สูง เผาแล้วได้สีขาวบริสุทธิ์ นิยมนำมาทำผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน โบนไชน่า (Bone Chaina) และผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีเนื้อสีขาวทุกชนิด ดังนั้นสีดินภายหลังการเผาเป็นสิ่งสำคัญมากขณะที่โรงงานผลิตกระเบื้องปูพื้นสนใจดินที่มีราคาถูกหดตัวน้อยและมีปริมาณคาร์บอนต่ำ สามารถอัดเป็นแผ่นได้ง่ายโดยไม่บิ่น หรือแตกร้าว สีดินจะเป็นสีเหลืองนวลหรือออกแดงเล็กน้อยไม่เป็นปัญหา ส่วนโรงงานสุขภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยการหล่อน้ำดินจะเลือกใช้ดินคุณภาพดี เพื่อผสมน้ำดินหล่อ สำหรับผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ๆ ให้ถอดพิมพ์ได้ง่ายมีออกไซด์ของเหล็ก (Fe_2O_3) และไทเทเนียม (TiO_2) อยู่ในปริมาณน้อย

ค. แหล่งดินขาวที่พบในประเทศไทย

มีดินขาวแหล่งต่างๆ หลายแหล่งในประเทศไทย เช่นที่ เชียงราย ลำปาง อุตรดิตถ์ ปราจีนบุรี ระนอง ชุมพร และนราธิวาส ดินขาวมีหลายเกรด หลายคุณภาพ บางแหล่งไม่สามารถนำมาทำเซรามิกได้ แหล่งดินขาวที่ใช้ทำในอุตสาหกรรมเซรามิก ได้แก่ ดินขาวระนอง ชุมพร และนราธิวาส เป็นดินขาวคุณภาพปานกลาง ซึ่งเป็นแร่เกาลินไนท์ (Medium Ordered Kaolinite) มีความบริสุทธิ์ และมีความขาวมากกว่าดินขาวลำปาง ดินขาวลำปางเป็นดินขาวเซอริไซท์มีแร่ไมกาเป็นส่วนประกอบหลักมีแร่เกาลินไนท์ประกอบอยู่เป็นส่วนน้อย หรือแร่เกาลินไนท์คุณภาพต่ำ (Disordered Kaolinite) แร่เซอริไซท์เกิดจากการผุพังของหินแกรนิต ซึ่งกลายเป็นหินฟันม้าก่อนที่จะกลายเป็นแร่เกาลินไนท์ จึงเป็นแร่เกาลินไนท์ที่ไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินขาวมาตรฐานอังกฤษ กับแหล่งดินขาวในประเทศไทย

ผลวิเคราะห์ทางเคมี ดินขาว	สารเคมีของ ดินขาว บริสุทธิ์	มาตรฐาน ดินขาวอังกฤษ	ดินขาว ลำปาง	ดินขาว ระนอง	ดินขาว นราธิวาส
SiO_2	46	46-47	59.70	48.75	47.30
Al_2O_3	39	37-39	27.60	34.58	35.72
Fe_2O_3	-	0.4-1.0	0.84	0.71	0.38
TiO_2	-	1	0.07	0.02	0.20
CaO	-	-	0.13	0.07	0.11
MgO	-	-	0.25	0.34	1.01
K_2O	-	1.0-2.0	5.85	2.52	1.76
Na_2O	-	-	0.15	0.4	0.39
น้ำหนักที่หายไปหลังการเผาอินทรีย์สาร น้ำ และก๊าซ (LOI) (Loss on ignition)	14	12.5	5.39	10.66	12.99

ที่มา: Engineering Ceramics (2546)

ง. สมบัติต่างๆ ของดินขาว (Kaolin)

ง.1 สูตรดินขาว $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$

ง.2 ส่วนประกอบร้อยละ 39.5 ร้อยละ 46.5 ร้อยละ 14.0 โดยน้ำหนัก

ง.3 สมบัติเคมีดินเกาลินมีปฏิกิริยาแตกตัวในขั้นตอนการเผาดังนี้

รูปที่ 2.10 ปฏิกิริยาของดินขาว เมื่อผ่านอุณหภูมิต่างๆ และการเปลี่ยนแปลงรูปผลึกทางโครงสร้างเคมี

จ. **สมบัติทางกายภาพของดินขาว**

การศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพของดินขาวทำให้เราสามารถนำดินขาวไปใช้ประโยชน์ได้ สมบัติทางกายภาพของดินขาว ที่ควรศึกษาก่อนนำไปใช้ประโยชน์ ในด้านต่างๆ มีดังนี้ คือ

จ.1 ขนาดของอนุภาค (Particle Size) ขนาดของอนุภาคดินจะมีผลต่อความเหนียว (Plasticity) และการหดตัวของเนื้อดินปั้นเมื่อแห้ง (Drying Shrinkage) ดินเม็ดละเอียดจะให้ความเหนียว และการหดตัวเมื่อแห้ง มากกว่าเม็ดหยาบ ดินที่มีเม็ดหยาบจะมีความเหนียวน้อย

จ.2 รูปร่างของอนุภาค (Particle Shape) รูปร่างของแร่เกาลินไนท์ทั่วไปจะเป็นแผ่นหกเหลี่ยม (Hexagonal Plates) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ตั้งแต่ 0.05-10.0 ไมครอน (μm)

จ.3 สมบัติการแลกเปลี่ยนอนุมูลของดินขาว (Base Exchange Capacity) ปกติดินขาวที่บริสุทธิ์จะไม่มีการแลกเปลี่ยนอนุมูล หรือดูดซับอนุภาค และโมเลกุลอื่นๆ แต่ถ้าไม่บริสุทธิ์จะเกิดการแลกเปลี่ยนอนุมูล หรือดูดซับเอาผลึกของแร่ที่มีขนาดเล็กไว้ที่ผิวผลึกเกาลินไนท์ที่บริสุทธิ์ มีโครงสร้างผลึกที่แข็งแรง แร่ธาตุ และอินทรีย์สารแทรกเข้าไปในโครงสร้างผลึกไม่ได้ จึงคงความบริสุทธิ์ได้ดี

จ.4 คุณสมบัติเมื่อแห้ง (Drying Properties) ดินขาวที่บริสุทธิ์จะมีการหดตัวเมื่อแห้ง (Drying Shrinkage) ไม่สูงนัก ดินขาวที่มีเม็ดละเอียดจะมีค่าการหดตัวมากกว่าดินเม็ดหยาบ

จ.5 ความแข็งแรงของเนื้อดินเมื่อแห้ง (Green Strength) ดินขาวมีความแข็งแรงน้อย เปราะแตกได้ง่ายเมื่อแห้งเพราะมีความเหนียวน้อย

จ.6 สมบัติหลังจากการเผา (Firing Properties) ดินขาวที่มีคุณภาพดีเผาแล้วควรจะได้สีขาว แต่ถ้าเป็นสีครีม หรือสีน้ำตาลอ่อน แสดงว่ามีแร่ธาตุเจือปนอยู่สูง ดินขาวที่มีการหดตัวเกินร้อยละ 20 หลังการเผาไม่ควรใช้ดินขาวนั้นในเนื้อดินปั้นปริมาณมาก

ฉ. ประโยชน์ของดินขาว

ดินขาวสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเซรามิก และนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ดังนี้

ฉ.1 ใช้ทำผลิตภัณฑ์เซรามิก เช่น ถ้วยชาม เครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องประดับ เป็นต้น

ฉ.2 ทำผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง เช่น อิฐก่อสร้าง อิฐปูพื้น ท่อระบายน้ำ กระเบื้องมุงหลังคา เป็นต้น

ฉ.3 ใช้ทำเป็นเบ้าหลอมในอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก และหล่อเหล็ก

ฉ.4 ใช้ทำเครื่องกรองน้ำ (Water Filter)

ฉ.5 ใช้ทำฉนวนไฟฟ้า ในการทำฉนวนไฟฟ้าที่ทนแรงดันไฟฟ้าได้สูง (High-tension Insulator) ทำฉนวนไฟฟ้า (Electrical Porcelain)

ฉ.6 ใช้ทำเครื่องมือวิทยาศาสตร์ เช่น เบ้าหลอม (Crucible) ผลิตเซรามิกกึ่งตัวนำ (Semi-conducting Ceramic)

ฉ.7 ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ โดยเติมลงไปในเยื่อกระดาษ เพื่อทำให้กระดาษ มีคุณสมบัติดูดซับน้ำหมึก ช่วยให้ผิวหน้ากระดาษเรียบ และมันเป็นเงา สีของกระดาษขาวขึ้นช่วยเพิ่มน้ำหนักของกระดาษ และทำให้กระดาษทึบแสง ทำให้ไม่เห็นตัวหนังสือ หรือลายพิมพ์อื่นๆ ในหน้าตรงข้าม

ฉ.8 เป็นตัวฟอกสี และตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมน้ำมันปิโตรเลียม

ฉ.9 ใช้ในอุตสาหกรรมยาง โดยเติมลงไปในยาง (Rubber Filler) ให้มีความแข็งแรงทนทาน

ฉ.10 ใช้ผสมลงในของเหลวที่ใช้ในงานเจาะ (Drilling Fluid) สำรวจน้ำมันปิโตรเลียม

ฉ.11 ใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร เช่น เป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลง และปุ๋ย

ฉ.12 ใช้ในอุตสาหกรรมพรมน้ำมัน ทอผ้า และพลาสติก

ฉ.13 ใช้ในอุตสาหกรรมสี โดยใช้ผลิตสีขาว (White Pigment)

ฉ.14 ใช้ในอุตสาหกรรมทำยารักษาโรค เครื่องสำอาง ทำฟันปลอม (Dental Porcelain)

2.3.1.2 ดินดำ (Ball Clay)

ดินดำ หรือดินเหนียวขาว เกิดจากดินขาวซึ่งย้ายถิ่น (Sedimentary Clay) ไปตกตะกอนสะสมในแหล่งใหม่ ดินดำเป็นดินที่มีขนาดผลึกเม็ดละเอียดมาก อนุภาคของดินยึดเกาะกันได้ดี มีอินทรีย์สารที่มีโครงสร้างคล้ายกับที่พบในถ่านหินลิกไนท์เจือปนอยู่ จึงช่วยให้ดินชนิดนี้ มีความเหนียว และทำให้มีสีเปลี่ยนไปจากสีขาวกลายเป็นสีเทาจนถึงสีดำ แต่เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงเนื้อดินจะมีสีขาว หรือสีครีม อินทรีย์สารต่างๆ จะถูกเผาไหม้หมดไปจากเนื้อดิน

ดินดำที่มีเนื้อละเอียดหลังการเผาเป็นสีขาว และมีความทนไฟ 1,300 องศาเซลเซียส โดยไม่บิดเบี้ยวมักเป็นดินที่มีคุณภาพดี นิยมนำมาใช้ผสมในผลิตภัณฑ์สีขาว เช่น พอร์ซเลน โบนไชนา และไวท์เอิร์ธเธินแวร์ (White Earthen Ware) ส่วนดินดำทั่วไปที่คุณภาพปานกลางมีทรายเจือปนอยู่ค่อนข้างมากใช้ทำเนื้อดินขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนทำท่อน้ำดินเผา หรือผสมในเนื้อดินทำกระเบื้องปูพื้น

ชื่อเรียกดินดำว่า บอลเคลย์ (Ball Clay) ได้มาจากวิธีขุดดินจากเหมืองในประเทศอังกฤษ เพื่อสะดวกในการลำเลียง และการขนส่ง ดินดำถูกตัดเป็นก้อนสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีน้ำหนักโดยประมาณก้อนละ 30-35 ปอนด์ (13-15 กิโลกรัม) เมื่อลำเลียงขึ้นรถคนงานจะใช้วิธีโยนรับส่งทีละก้อนแบบโยนลูกบอลส่งต่อกัน ซึ่งการขนถ่ายลงจากรถก็ใช้วิธีเดียวกัน ดินเหนียวจึงถูกขนานนามว่าบอลเคลย์ แต่ถ้าจะแปลตามศัพท์แล้วควรจะเรียกดินเหนียวว่า พลาสติกเคลย์ (Plastic Clay) ซึ่งแปลว่าดินที่มีความเหนียว

ก. ส่วนประกอบทางเคมีของดินดำ

ในดินดำประกอบด้วยแร่เกาลินไนท์เป็นส่วนใหญ่ เช่นเดียวกับดินขาว แต่เป็นผลึกเกาลินไนท์ชนิดไม่สมบูรณ์ในระหว่างผลึกมีแร่ธาตุ และอินทรีย์สารแทรกอยู่

ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณจะมีซิลิการ้อยละ 40-60 อะลูมินาร้อยละ 30 น้ำผลึก และอินทรีย์สารประมาณร้อยละ 10 นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุอื่นๆ ปะปนอยู่ในดินด้วย เช่น ไทเทเนียม เฟอร์ริก (Fe_2O_3) แคลเซียม (CaO) แมกนีเซียม (MgO) เหล็กซัลเฟต (FeS) โพแทสเซียม (K_2O) และโซดียม (Na_2O) เป็นต้น

สูตรเคมีของดินดำ

ก.1 ดินดำทั่วไป $Al_2O_3 \cdot 4\ SiO_2 \cdot 2\ H_2O \cdot 0.1\ K_2O$ (มีอะลูนาร้อยละ 20-25 ตามผลวิเคราะห์ทางเคมี)

ก.2 ดินดำ-ดินเหนียวอุตสาหกรรม $Al_2O3 \cdot 2\ SiO_2 \cdot 2\ H_2O \cdot 0.1\ K_2O$ (มีอะลูมินาร้อยละ 30-38 ตามผลวิเคราะห์ทางเคมี)

ก.3 ดินดำปนทราย $Al_2O_3 \cdot 9\ SiO_2 \cdot 2\ H_2O \cdot 0.2\ K_2O$ (มีซิลิการ้อยละ 60-80 ตามผลวิเคราะห์ทางเคมี)

ข. สมบัติทางกายภาพของดินดำ

ข.1 ขนาดของดินเหนียวจะมีผลึกละเอียดมากน้อยเพียงใดเปลี่ยนแปลงไปตามแหล่งที่พบ เมื่อถูกพัดพาไปไกลจากแหล่งเดิมมากขนาดเม็ดอนุภาคจะละเอียดมากขึ้นตามลำดับ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.05-1.00 ไมโครเมตร

ข.2 ความเหนียว (Plasticity) ดินเหนียวเป็นดินที่อมน้ำได้มาก ความเหนียวจะมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ซึ่งประกอบด้วยหลักสำคัญ คือปริมาณของอินทรีย์สาร ขนาดของเม็ดดิน และวัตถุดิบที่ให้ความเหนียว เช่น ดินเบนโตไนท์ เป็นต้น

ข.3 การหดตัวเมื่อแห้ง (Drying Shrinkage) ดินเหนียวที่มีทรายปนอยู่สูงแทบไม่มีการหดตัวเลย แต่ดินเหนียวที่มีอินทรีย์สารสูงจะมีการหดตัวมาก ประมาณร้อยละ 13-17

ข.4 การหดตัวหลังเผา (Firing Shrinkage) มีการหดตัวสูงประมาณร้อยละ 15 เนื่องจากดินเหนียวมีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก

ข.5 ความแข็งแรงของดินเมื่อแห้งก่อนเผา (Green Strength) ดินเหนียวมีความแข็งแรงสูง ประมาณ 100-1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Psi)

ข.6 สีหลังเผาเป็นสีขาวนวลถึงครีม

ข.7 มีแร่ธาตุพวกด่าง และไมกาในดินทำหน้าที่เป็นตัวหลอมละลายช่วยลดอุณหภูมิในการเผา

ค. แหล่งดินดำในประเทศไทย

ค.1 ดินดำแม่หยวก อ.เมือง จ.เชียงใหม่

ค.2 ดินดำ อ.พาน จ.เชียงราย

ค.3 ดินเหนียวแม่ทาน อ.แม่ทะ จ.ลำปาง

ค.4 ดินดำวังเหนือ จ.ลำปาง

ค.5 ดินเหนียวแจ้คอน อ.แจ้ห่ม จ.ลำปาง

ค.6 ดินดำปากพลี จ.ปราจีนบุรี

ค.7 ดินดำบ้านนาสาร และพลุพลี จ.สุราษฎร์ธานี

ค.8 ดินดำลานสกา จ.นครศรีธรรมราช

ง. ประโยชน์ของดินดำ (Ball Clay)

ดินดำใช้กันมากในอุตสาหกรรมถ้วยชาม และสุขภัณฑ์ โดยนำไปผสมกับดินขาว ประโยชน์ของดินดำได้แก่

ง.1 ช่วยเพิ่มความเหนียวของผลิตภัณฑ์ ทำให้เนื้อดินปั้นขึ้นรูปได้ดีผสมในเนื้อดินอัตราส่วนร้อยละ 20-50

ง.2 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงก่อนเผา (Green Strength) ลดการสูญเสียจากการแตกหักก่อนเผา ในขณะที่เคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ไม่เปราะ หรือแตกหักง่าย

ง.3 ทำให้น้ำดินหล่อที่ใช้ในการเทแบบไหลตัวดี

ง.4 ทำหน้าที่เสริมปฏิกิริยาระหว่างมวลสารในระหว่างการเผา ทำให้ดินสุกตัวได้เร็ว ประหยัดเวลาในการเผา และช่วยในการหลอมละลาย

จ. ข้อเสีย

อย่างไรก็ตามดินดำบางชนิด อาจสร้างปัญหาในการผลิตเซรามิก

จ.1 ในดินดำมีสิ่งเจือปนอื่นๆ สูง เช่น คาร์บอน แร่ไทเทเนียม แร่เหล็ก ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์หลังเผามีตำหนิ และความขาวของเนื้อดินเสียไปด้วย

จ.2 ถ้าใช้ดินดำผสมในปริมาณมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ค่อยโปร่งแสง มีการหดตัวสูง ทำให้บิดเบี้ยว และแตกร้าวหลังการเผา

จ.3 เนื่องจากดินดำ มีองค์ประกอบ ในเนื้อดินไม่แน่นอน จึงยุ่งยากในการควบคุมอัตราส่วนผสมทั้งเนื้อดินปั้น และการหล่อแบบ

2.3.1.3 ดินเหนียว (Plastic Clay)

ดินเหนียว คือดินเนื้อละเอียดที่มีแร่ธาตุเจือปนอยู่ตามธรรมชาติค่อนข้างสูง ไม่บริสุทธิ์เหมือนดินขาว เมื่อขุดพบมีสีต่างๆ เช่น สีเหลือง สีเทา สีดำ หรือสีส้มแดง หลังการเผาดินก็จะมีสีต่างๆ กันไป เช่น สีเทา สีน้ำตาล สีแดง หรือสีเหลืองอมเทา ดังนั้นดินเหนียวก็คือดินที่มีความเหนียวเนื้อละเอียดที่เป็นสีต่างๆ ภายหลังการเผาดินดำจัดว่าเป็นดินเหนียวประเภทหนึ่งด้วย แต่ดินดำแตกต่างจากดินเหนียว คือดินดำมีแร่ธาตุเจือปนอยู่ในปริมาณต่ำ ค่อนข้างบริสุทธิ์ แต่มีอินทรีย์สารเจือปนอยู่สูง ดินดำบางชนิดมีความเหนียวน้อย บางชนิดเหนียวมาก

ในปัจจุบันนิยมใช้ดินเหนียว และดินดำประกอบกันในเนื้อดินปั้น ที่ไม่ต้องการความขาวมาก เช่น ผลิตภัณฑ์กระเบื้อง หรือเครื่องสุขภัณฑ์ เพื่อช่วยในการขึ้นรูปได้ดี และเพื่อใช้ดินเหนียวเป็นวัตถุดิบที่ให้ความเหนียว โดยมีแหล่งสำรองเพิ่มเติม จากดินดำซึ่งมีราคาแพงกว่าดินเหนียว

แหล่งดินเหนียวที่สำคัญในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผามีอยู่หลายแหล่ง เช่น จ.ลำปาง และเชียงราย เช่น ดินเหนียววังเหนือ ดินเหนียวแม่ทาน ดินเหนียวแจ้คอน และดินเหนียว อ.พาน เป็นต้น

2.3.2 หินฟันม้า

หินฟันม้าเป็นสารที่ประกอบอะลูมิโนซิลิเกตของอัลคาไลด์ (Alkaline Alumino Silicate) และอัลคาไลด์เอิร์ธ (Alkaline-Earth Alumino Silicate) โดยเฉพาะสารประกอบของโซเดียม (Sodium; Na), โพแทสเซียม (Potassium; K), แคลเซียม (Calcium; Ca) พบมาก และใช้มากในอุตสาหกรรมเซรามิก สารประกอบบริสุทธิ์ของ Na, K และ Ca หาได้ยากในแร่หินฟันม้าจะมีทั้ง Na, K และ Ca ซึ่งจะมีอัตราส่วนแตกต่างไป เนื่องจากว่า สารประกอบทั้งสามตัวนี้มีการละลายซึ่งกันและกัน หินฟันม้าใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกเพื่อเป็นตัวเริ่มก่อให้เกิดปฏิกริยาการเกิดเนื้อแก้วในเนื้อผลิตภัณฑ์ ดังนั้นหินฟันม้าจึงเป็นตัวส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก้ว และช่วยส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติโปร่งแสงดีขึ้น หินฟันม้าเป็นแหล่งอัลคาไลด์ อะลูมินา และแก้ว ข้อดีที่ทำให้อุตสาหกรรมเซรามิกนำมาใช้ คือหินฟันม้ามีราคาถูก และเป็นสารประกอบอัลคาไลด์ที่ไม่ละลายน้ำ

แร่หินฟันม้าที่พบมากมี 3 ชนิด คือ K $[AL,Si_3]O_8$ เรียกว่าโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (Potash Feldspar Orthoclas) Na [Al, $Si_3]O_8$ เรียกโซเดียมเฟลด์สปาร์ (Sodium Feldspar Albite) และ Ca $[Al_2, Si_2]O_8$ เรียกแคลเซียมเฟลด์สปาร์ (Calcium Feldspar Anorthite) โดยปกติเฟลด์สปาร์จะเริ่มหลอมละลายเล็กน้อยที่อุณหภูมิประมาณ 1,150 องศาเซลเซียส โพแทสเฟลด์สปาร์หลอมละลายที่อุณหภูมิ 1,220 องศาเซลเซียส โซเดียมเฟลด์สปาร์หลอมละลายที่อุณหภูมิ 1,170-1,200 องศาเซลเซียส แคลเซียมเฟลด์สปาร์ หลอมที่ 1,550 องศาเซลเซียส และแบเรียมเฟลด์สปาร์หลอมที่ 1,715 องศาเซลเซียส

ในประเทศไทยมีแหล่งหินฟันม้าหลายแห่ง เช่น จังหวัดตาก อุทัยธานี นครศรีธรรมราช การทำเหมืองแร่ และการแต่งแร่หินฟันม้า ทำโดยการระเบิดแหล่งแร่แล้วทำการคัดเลือกแร่ แล้วจึงส่งแร่ไปยังโรงแต่งแร่

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

เฟลด์สปาร์เป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต 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 หน้าที่ของหินฟันม้าในเนื้อดิน

ก. ลดความเหนียวของเนื้อดินก่อนเผา

ข. เป็นตัวประสานให้ผลึกของดินหลอมตัวกันแน่น เนื้อดินหลอมเป็นแก้ว ลดการดูดซึมน้ำ

ค. ลดอุณหภูมิในการเผา

ง. เพิ่มความโปร่งแสงให้ผลิตภัณฑ์ภายหลังการเผา

นอกจากนี้ยังใช้หินฟันม้าในการเตรียมน้ำเคลือบซึ่งใช้ปริมาณร้อยละ 30-70 ในน้ำเคลือบอุณหภูมิสูงทุกชนิด และใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมการผลิตแก้ว ซึ่งใช้ในอัตราส่วนประมาณร้อยละ 30-40

2.3.3 แก้ว

"แก้ว" มาจากภาษาอังกฤษว่า "Glass" เป็นวัตถุโปร่งใส เนื้อใสสะอาด มีความเป็นมันแววววาวสุกใส แก้วเป็นสารประกอบของซิลิกากับสารโลหะออกไซด์มีลักษณะโปร่งตา และมีความเปราะในตัวเอง ตามสมาคมอเมริกันเพื่อการทดสอบ และวัสดุ (American Society for Testing and Materials; ASTM) กล่าวว่า แก้ว คือวัสดุที่เป็นสารอนินทรีย์ต่างๆ มาเผาให้ถึงจุดละลายที่อุณหภูมิสูง และเมื่อเวลาเย็นตัวลงมาจะกลายเป็นของแข็งโดยไม่ตกผลึก

แก้ว หมายถึง วัสดุแข็งที่มีรูปลักษณะอยู่ตัว และเป็นเนื้อเดียว โดยปกติแล้วเกิดจากการเย็นตัวลงอย่างฉับพลันของวัสดุหลอมหนืด ซึ่งทำให้การแข็งตัวนั้นไม่ก่อผลึก ตัวอย่างเช่น น้ำตาลซึ่งหลอมละลาย และถูกทำให้แข็งตัวอย่างรวดเร็ว อาจด้วยการหยดลงบนผิวเย็น น้ำตาลที่แข็งตัวนี้จะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียว ไม่แสดงให้เห็นถึงลักษณะที่เป็นผลึก ซึ่งสามารถสังเกตได้จากรอยแตกหักซึ่งมีลักษณะละเอียด (Conchoidal Fracture)

จากคำนิยามดังกล่าวจะเห็นว่าแก้วมีลักษณะที่เหมือนกับเซรามิก คือแก้วประกอบขึ้นจากสารอนินทรีย์เหมือนกัน และแก้วต้องผ่านการใช้อุณหภูมิสูงจึงทำให้แก้วถูกเรียกว่าเป็นวัสดุในกลุ่มเดียวกับเซรามิก

แต่สิ่งที่ต่างกันระหว่างแก้วกับเซรามิกมีเหมือนกัน นั่นคือแก้วต้องมีการหลอมตัวก่อนที่จะขึ้นรูปในขณะที่เซรามิกต้องขึ้นรูปก่อนแก้วจะแข็งตัวโดยไม่มีการตกผลึก

แก้วสามารถที่จะผลิตได้หลากหลายวิธี โดยการที่จะเลือกวัตถุดิบในจะต้องมีการคำนวณเพื่อหาปริมาณสารที่ต้องการใช้ใน Batch เนื่องจากสารที่ต้องการใช้ใน Batch จะได้มาจากปฏิกิริยาของวัตถุดิบ โดยในระหว่างการหลอมวัตถุดิบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และโครงสร้าง โดยจะทำให้เกิดฟองอากาศที่ต้องกำจัดออกไป โดยในผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่ต้องการการขึ้นรูปทรงที่เฉพาะจะทำโดยมีการใช้กระบวนการทางความร้อนเข้าช่วย เพื่อกำจัดความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นเนื่องจาก

การเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว และการปรับปรุงให้แก้วมีความแข็งแกร่งขึ้นโดยการอบเทมเปอร์ (Temper)

เนื้อแก้วบริสุทธิ์นั้นจะโปร่งใส ผิวค่อนข้างแข็ง ยากแก่การกัดกร่อน เฉื่อยต่อปฏิกิริยาทางเคมี และชีวภาพ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ทำให้แก้วนั้นมีประโยชน์ใช้งานอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตาม แก้วนั้นถึงแม้จะแข็ง แต่ก็เปราะแตกหักง่าย และมีรอยแตกที่ละเอียดคม สมบัติของแก้วนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายด้วยการผสมสารอื่นลงในเนื้อแก้ว หรือการปรับสภาพด้วยการใช้ความร้อน

แก้วโดยทั่วไปนั้นทำจากซิลิคอนไดออกไซด์ (Silicon Dioxide; SiO_2) ซึ่งอาจอยู่ในรูปของสารประกอบทางเคมีในแร่ควอตซ์ (Quartz; SiO_2) หรือในรูป Polycrystalline ของทราย ซิลิกาบริสุทธิ์ มีจุดหลอมเหลวที่ 2,000 องศาเซลเซียส เพื่อความสะดวกในกระบวนการผลิต จะมีการผสมสาร 2 ชนิดลงไปด้วยชนิดแรก คือโซดาแอช (Soda Ash) ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือโซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate; Na_2CO_3) หรือสารประกอบโพแทสเซียม เช่น โพแทสเซียมคาร์บอเนต (Potassium carbonate; K_2CO_3) เพื่อช่วยให้อุณหภูมิในการหลอมเหลวนั้นต่ำลงอยู่ที่ประมาณ 1,000-1,500 องศาเซลเซียส โดยสารนี้ยังส่งผลข้างเคียงทำให้แก้วนั้นละลายน้ำได้ จึงต้องมีการเติมสารอีกชนิด คือหินปูนซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate; $CaCO_3$) (เมื่ออยู่ในเนื้อแก้ว จะกลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide; CaO) เพื่อทำให้แก้วนั้นไม่ละลายน้ำ

2.3.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของแก้ว

องค์ประกอบทางเคมีของแก้วจะมีผลต่อคุณสมบัติของแก้ว ดังต่อไปนี้

ก. SiO_2 แก้วที่มีปริมาณของ SiO_2 สูง จะทำให้แก้วนั้นมีโครงสร้างที่แข็งแรง ทนต่อความร้อน และสารเคมี แต่ทำการผลิตได้ยากเนื่องจากต้องใช้การหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงขึ้น และขึ้นรูปได้ยากเนื่องจากมีความหนืดสูง

ข. Na_2O แก้วที่มีปริมาณ Na_2O สูงจะหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำ เปราะแตกง่าย และไม่ทนต่อสารเคมี ถ้ามีปริมาณ Na_2O สูงมากๆ จะสามารถละลายน้ำได้

ค. K_2O ช่วยให้การตกผลึกเป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้การเรียงตัวของผลึกออกมาสวยงาม

ง. CaO, MgO หรือ BaO จะช่วยในการขึ้นรูป ทำให้แก้วคงตัว (Set) เร็วขึ้นเมื่อเย็นลง และเพิ่มความทนต่อสารเคมี แก้วที่มีปริมาณ MgO มากกว่า CaO จะทำให้ให้การตกผลึกเป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้การเรียงตัวของผลึกออกมาสวยงาม

จ. Al_2O_3 แก้วที่มีปริมาณ Al_2O_3 สูง จะทำให้แก้วนั้นมีความทนทานต่อการสึกกร่อน และสารเคมีได้ดีขึ้น

ฉ. B_2O_3 แก้วที่มีสารประกอบพวก Boron เป็นองค์ประกอบ (Borosilicate) จะมีความคงทนต่อกรด-ด่าง และทนต่อความร้อน เนื่องจากจะทำให้สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนลดลง แก้วประเภทนี้เป็นแก้วที่ใช้ในอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ และเป็นแก้วประเภทที่สามารถใช้ในเตาไมโครเวฟได้

ช. PbO แก้วที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ (Lead Glass) เนื้อแก้วใสวาว เนื่องจากมีค่าดัชนีหักเหสูงมีความอ่อน (Soft) ไม่แข็งกระด้าง ง่ายต่อการเจียระไน เคาะมีเสียงกังวาน

ซ. Fe_2O_3 ช่วยประหยัดเชื้อเพลิงในขณะหลอม แต่จะทำให้เนื้อกระจกใส มีสีค่อนไปทางเขียว

ณ. ออกไซด์ อื่นๆ หากต้องการให้แก้ว หรือกระจกมีสีสันต่างๆ สามารถเติมสารนอกเหนือจากส่วนผสมข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว ดังนี้

ตารางที่ 2.2 สารอินทรีย์ที่ใช้ผสมแก้ว และสีที่เกิดขึ้น

สารอินทรีย์ที่ใช้	สีที่ปรากฏ
โลหะเงิน (Ag)	สีเหลือง
ทองแดงออกไซด์ (CuO)	สีเขียวและสีน้ำเงิน
ทองแดง (Cu)	สีแดงทับทิม
แคดเมียมซัลไฟด์ (CdS)	สีเหลือง
แคดเมียมซัลไฟด์ผสมกับซีลิเนียม (CdS & Se)	สีแดงสดและสีส้ม
โลหะซีลิเนียมอ (Se)	สีชมพู แดง และน้ำตาลแดง
โลหะไทเทเนียมและซีเรียมออกไซด์ (Ti & Ce)	สีเหลือง
กำมะถัน (S)	สีเหลืองอำพัน
กำมะถันกับตะกั่ว (Pb) / เหล็ก (Fe) / นิกเกิล (Ni) / โคบอลท์ (Co)	สีดำเข้ม
เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3)	สีน้ำเงิน เขียวและเหลืองอำพัน
แมงกานีสออกไซด์ (MnO_2)	สีเหลืองอำพัน
โครเมียมออกไซด์ (CrO, Cr_2O_3)	สีเขียว
นิกเกิลออกไซด์ และโคบอลท์ออกไซด์ (NiO, Ni_2O_3 & CoO, Co_2O_3)	สีน้ำตาล ม่วง

ที่มา : www.glasswarechemical.com (2552)

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมี	วัตถุดิบซึ่งเป็นที่มา
SiO_2	Silica sand
Na_2O	Soda ash (Na_2CO_3), Salt cake (Na_2SO_4)
K_2O	Feldspar (เป็นแร่พวก Alumino silicate ที่มี Na, K เจือปน)
CaO	Dolomite (เป็นแร่พวก carbonate ของ Mg, Ca) , Lime stone
MgO	Dolomite
Al_2O_3	Feldspar
Fe_2O_3	Impurities

ที่มา : บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว (2539)

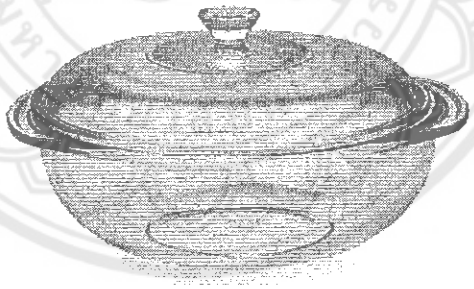
2.3.3.2 ชนิดของแก้ว

การแบ่งประเภทของแก้ว สามารถแบ่งได้หลายแบบ เช่น แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต แบ่งองค์ประกอบทางเคมี หรือแบ่งตามการใช้งาน แต่โดยส่วนใหญ่เรามักจะบอกประเภทของแก้วตามองค์ประกอบของมัน ดังนี้

ก. แก้วโซดาไลม์ (Soda Lime Glass) ผลิตจากวัตถุดิบหลัก คือทราย หินปูน โซดาแอช แก้วโซดาไลม์เป็นแก้วที่พบเห็นโดยทั่วไป ได้แก่ แก้วที่เป็นขวด แก้วน้ำ กระจก เป็นต้น สามารถทำให้เกิดสีต่างๆ ได้ โดยการเติมออกไซด์ที่มีสีลงไป

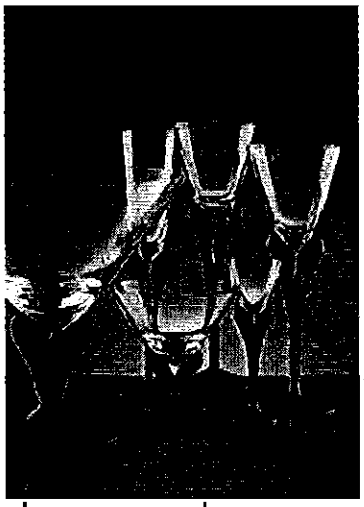
รูปที่ 2.11 แก้วโซดาไลม์ (Soda Lime Glass)
ที่มา : www.packingsiam.com

ข. แก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate Glass) หรือ Pyrex เป็นแก้วที่มีการเติมบอริกออกไซด์ลงไป ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ และทนต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อน แก้วที่ได้สามารถนำไปใช้ทำเครื่องแก้ววิทยาศาสตร์ ทำภาชนะแก้วสำหรับใช้ในเตาไมโครเวฟ



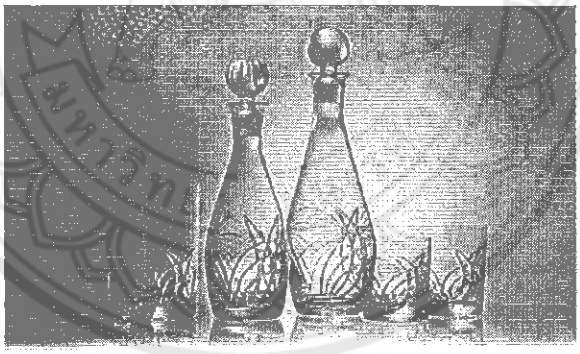
รูปที่ 2.12 แก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate Glass)
ที่มา : www.packingsiam.com

ค. แก้วตะกั่ว (Lead Glass) หรือ แก้วคริสตัล เป็นแก้วที่มีสารผสมของตะกั่วออกไซด์ อยู่มากกว่าร้อยละ 24 โดยน้ำหนัก จะเป็นแก้วที่มีดัชนีหักเหสูงมากกว่าแก้วชนิดอื่น ทำให้มีประกายแวววาวสวยงาม และแกะสลักเป็นลวดลายต่างๆ ได้ ใช้ทำเครื่องแก้วที่มีราคาแพง



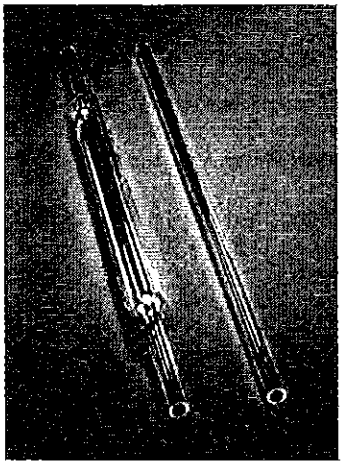
รูปที่ 2.13 แก้วตะกั่ว (Lead Glass)
ที่มา : www.packingsiam.com

ง. แก้วโอปอล (Opal Glass) เป็นแก้วที่มีการเติมสารบางชนิดลงไป เช่น โซเดียมฟลูออไรด์ (Sodium fluoride; NaF) หรือแคลเซียมฟลูออไรด์ (Calcium fluoride; CaF_2) ทำให้มีการตกผลึก หรือการแยกเฟสขึ้นในเนื้อแก้ว ทำให้แก้วชนิดนี้มีความขุ่น หรือโปร่งแสง เนื่องจากสามารถหลอม และขึ้นรูปได้ง่ายจึงมีต้นทุนการผลิตต่ำ และสามารถทำให้มีความแข็งแรงทนทานมากขึ้นเมื่อนำไปผ่านขบวนการอบ (Tempering) หรือการเคลือบ (Laminating)



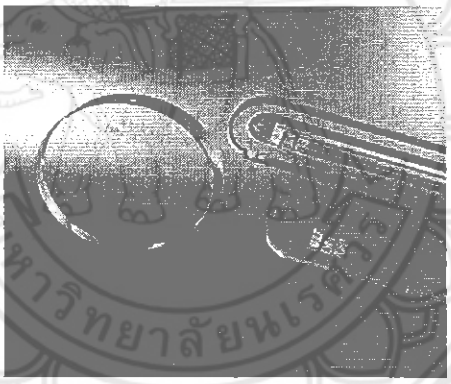
รูปที่ 2.14 แก้วโอปอล (Opal Glass)
ที่มา : www.packingsiam.com

จ. แก้วอะลูมิโนซิลิเกต (Alumino Silicate Glass) มีอะลูมินา และซิลิกาเป็นส่วนผสมหลักมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว เนื่องจากความร้อน และมีจุดอ่อนตัวของแก้ว (Softening Point) สูงพอที่จะป้องกันการสูญเสียรูปทรงเมื่อทำการอบ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.15 แก้วอะลูมิโนซิลิเกต (Alumino Silicate Glass)
ที่มา : www.packingsiam.com

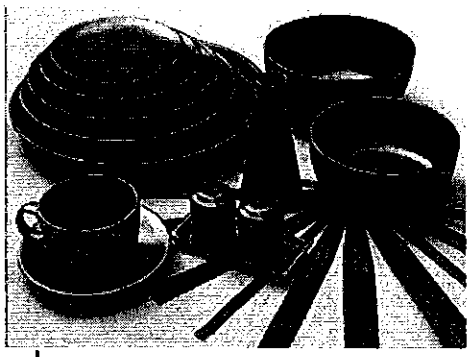
ฉ. แก้วอัลคาไลน์เอิร์ท อะลูมิโนซิลิเกต (Alkaline-Earth Alumino Silicate) มีส่วนผสมของแคลเซียมออกไซด์ หรือแบเรียมออกไซด์ ทำให้มีค่าดัชนีหักเหใกล้เคียงกับแก้วตะกั่ว แต่ผลิตง่ายกว่า มีความทนทานต่อกรด และด่างมากกว่าแก้วตะกั่วเล็กน้อย



รูปที่ 2.16 แก้วอัลคาไลน์-เอิร์ท อะลูมิโนซิลิเกต (Alkaline-Earth Alumino Silicate)
ที่มา : www.packingsiam.com

ช. กลาสเซรามิก (Glass Ceramic) เป็นแก้วประเภทลิเธียมอะลูมิโนซิลิเกต (Lithium Alumino Silicate) ที่มี TiO_2 หรือ ZrO_2 ผสมอยู่เล็กน้อย ซึ่งจะทำให้เกิดผลึกในเนื้อแก้ว ซึ่งอาจทำให้แก้วมีความทึบแสง หรือโปร่งใส ขึ้นกับชนิดของผลึก กลาสเซรามิกจะทนทาน และมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำมาก สามารถนำไปใช้เป็นภาชนะหุงต้ม หรือเป็นแผ่นบนเตาหุงต้มได้

I5445 46X
มร.
ว 347 ผ
2554

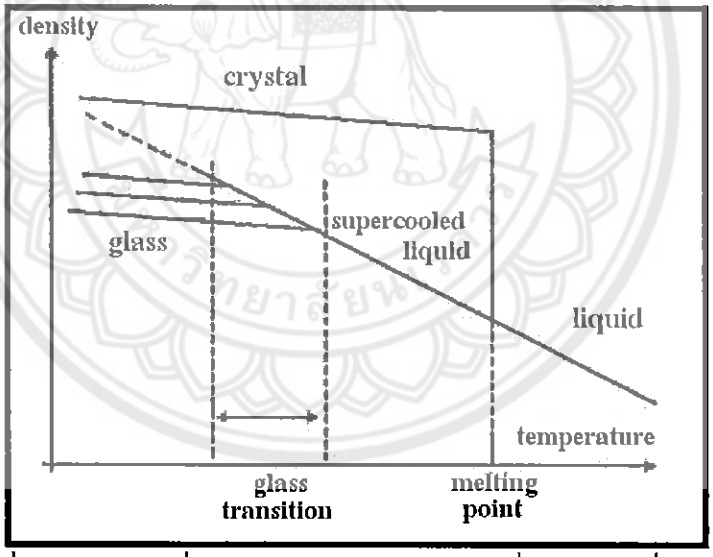


รูปที่ 2.17 กลาสเซรามิก (Glass Ceramic)
ที่มา : www.packingsiam.com

นอกจากนี้อาจมีแก้วประเภทอื่นๆ อีกหลายประเภท ขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่แตกต่างกันออกไป แต่เนื่องจากอาจมีการใช้ที่แพร่หลายนัก จึงไม่นำมากล่าวในที่นี้

2.3.3.3 สมบัติของวัสดุแก้ว

สมบัติพื้นฐานของวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน หรือแก้ว คือ Glass Transition Temperature หรือ T_g จึงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอันหนึ่งที่จะบอกว่าวัสดุนั้นเป็นวัสดุอสัณฐาน หรือแก้ว



รูปที่ 2.18 การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น
ที่มา : บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว (2539)

จากกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเปรียบเทียบกันระหว่างวัสดุแก้วกับผลึก สำหรับผลึกนั้นเมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของมันอย่างรวดเร็ว นั่นคือเกิดการหลอมละลายกลายเป็นของเหลวที่จุดหลอมเหลว หรือ T_m แต่สำหรับแก้วแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นเพียงเล็กน้อยที่ T_g กลายเป็นของเหลวที่มีความหนืดสูงมาก เรียกว่า Supercooled Liquid ก่อนที่จะหลอมเหลวเป็นของเหลวต่อไป เนื่องจากแก้วเกิดจากของเหลวที่ถูกทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วโดยไม่มีการตกผลึก แก้วจึงมีพฤติกรรมเหมือนของเหลวที่หนืดมากสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปตามแรงกระทำจากภายนอก

ได้ แต่ในความเป็นจริงการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย และจะเกิดขึ้นช้ามากจนไม่อาจสังเกตได้ สมบัติของวัสดุแก้วนั้นมักจะขึ้นอยู่กับสารชนิดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบในแก้ว ทำให้ลักษณะพันธะในแก้วเปลี่ยนแปลงไปซึ่งจะส่งผลไปยังลักษณะทางเคมี และกายภาพของแก้วนั้น

2.3.3.4 การใช้งานวัสดุแก้ว

วัสดุศาสตร์จะแบ่งชนิดของแก้วตามประเภทของการใช้งานดังต่อไปนี้

ก. แก้วในงานก่อสร้าง (Constructions) เช่น กระจกแผ่น กระจกลาย อิฐแก้ว (Glass Brock) เป็นต้น ต้องมีความแข็งแรง ความโปร่งใสสูง สามารถผลิตในปริมาณมากเพื่อให้คุ้มกับการลงทุน

ข. แก้วบรรจุภัณฑ์ (Containers) เช่น ขวด แก้วน้ำ และภาชนะต่างๆ ควรจะมีความทนทานทางกายภาพ และทางเคมีระดับในระดับหนึ่ง และควรสามารถนำกลับมาล้างใช้ได้ใหม่อย่างน้อย 50 ครั้ง

ค. แก้วที่ผ่านการแปรรูป (Specialty Glass) เช่น กระจกนิรภัยชนิดต่างๆ กระจกฉนวน กระจกเสริมลวด เป็นการนำกระจกแผ่นแบบ float มาอบ ดัด ตัดแต่ง ซึ่งจะทำให้ได้กระจกที่มีรูปร่างตามที่ต้องการ มีความทนทานมากขึ้น กระจกนิรภัยจะช่วยป้องกันอันตรายที่เกิดจากการแตกได้

ง. แก้วเครื่องประดับ ตกแต่ง (Ornaments & Figurines) เช่น แก้วคริสตัล ของชำรวยต่างๆ แก้วสลัก เจียระไน มักเป็นแก้วพวก Borosilicate ซึ่งสามารถนำมาเป่าขึ้นรูปได้ง่าย หรือแก้วผสมตะกั่ว ซึ่งจะทำให้แกะสลัก และเจียระไนได้ง่าย

จ. แก้วในอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics & Electrical Glass) เช่น Cathode-ray Tubes, Capacitors, Resistors, Computer Components และ Print Circuits เป็นต้น แก้วที่ใช้จะต้องมีค่า Dielectric ที่ดี มีการสูญเสียทางไฟฟ้าน้อยในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกันสูง หน้าจอทีวีเป็นแก้วสำหรับป้องกันการแผ่รังสี ก็ควรมีปริมาณตะกั่วสูง

ฉ. แก้วในงานทางแสง (Optical Glass) เช่น หลอดไฟ ต้องมีทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ส่วนเลนส์ ใยแก้วนำแสง ต้องใช้วัตถุดิบที่มีความบริสุทธิ์สูง

ช. แก้วในงานอื่นๆ (Other Glass) เช่น ใยแก้ว โฟมแก้ว วัสดุคอมโพสิต ต้องสามารถใช้ในงานที่ต้องการความแข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อน ทนความร้อน และมีความต้านทานไฟฟ้าที่ดี

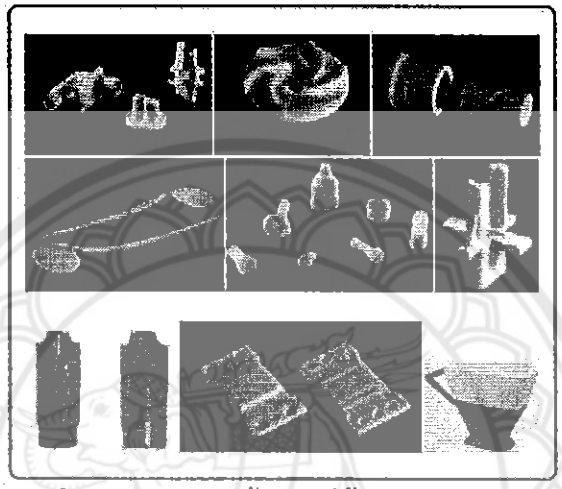
2.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก

เซรามิกเป็นผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่ง ที่พบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่น ถ้วยชาม กระเบื้อง สุขภัณฑ์ หรือแม้กระทั่งชิ้นส่วนของอุปกรณ์เครื่องใช้ชนิดต่างๆ ผลิตภัณฑ์เซรามิกเหล่านี้มีรูปร่างลักษณะแตกต่างกัน จึงมีวิธีการขึ้นรูปหลายวิธีที่แตกต่างกันออกไป

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกมีอยู่หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อแตกต่างกัน ทั้งในการเตรียมเนื้อดินปั้น และอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ รวมถึงรูปลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สามารถขึ้นรูปได้ โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

2.4.1 การฉีดขึ้นรูป (Injection Molding)

การขึ้นรูปเซรามิกโดยวิธี Injection Molding จะถูกใช้ในกระบวนการผลิตเซรามิกที่มีรูปร่างซับซ้อน หรือมีหน้าตัดเล็กๆ โดยวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปจะต้องเป็นแบบกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Slurry) และจะต้องมี Powder, Organic Polymer, Solvent / Plasticizer, Lubricant และ Additives เป็นส่วนประกอบ เช่น Surfactant ซึ่งจะช่วยให้เปียกน้ำได้ดีขึ้นเมื่อได้ Slurry ตามที่ต้องการแล้ว นำไปให้ความร้อนอย่างช้าๆ แล้วทำการฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ (Mold) ด้วยความดันค่าหนึ่งจนเต็มแม่พิมพ์แล้วปล่อยให้แข็งตัวซึ่งจะได้เป็นชิ้นงาน เพื่อนำไปผ่านกระบวนการต่างๆ



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการฉีด
ที่มา : วารสารเซรามิกส์ ปีที่ 13 ฉบับที่ 31 พฤษภาคม - สิงหาคม 2552

2.4.2 การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อน้ำดิน (Slip Casting)

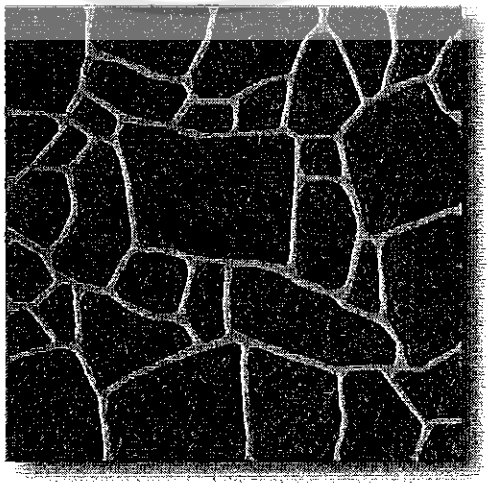
การหล่อเป็นวิธีขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องจิกเกอร์ หรือการอัดพิมพ์ การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อน้ำดินจะต้องอาศัยแบบพิมพ์จำนวนมากในการผลิตคำว่าสลิป (Slip) หมายถึงน้ำดินเหลวทั่วไป และน้ำดินสำหรับงานหล่อเรียกว่า การขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อน้ำดินต้องเติมน้ำยากันดินตกตะกอนในส่วนผสมของน้ำดินด้วย

การขึ้นรูปด้วยวิธีน้ำหล่อดินเหมาะสำหรับการผลิตชิ้นงานที่ยากมีรายละเอียดมาก หรืองานที่ค่อนข้างซับซ้อน เช่น ชิ้นงานแกะสลัก ชิ้นงานที่มีรูปทรงเหลี่ยม หรือทรงอิสระต่างๆ เช่น เครื่องสุขภัณฑ์ ชิ้นงานประเภทตั้งโต๊ะที่มีรูปทรงภายในกลวง เช่น กาน้ำชา กาแฟ แจกัน ตุ๊กตาที่ระลึกต่างๆ วิธีการหล่อน้ำดินมีกระบวนการผลิต และตกแต่งผิวให้เรียบช้ากว่าวิธีจิกเกอร์ ถ้าเป็นพิมพ์ขนาดใหญ่หล่อได้วันละ 1 ชิ้นต่อพิมพ์ แต่ถ้าเป็นพิมพ์ขนาดเล็ก 2 ชิ้นต่อพิมพ์ ต้องเสียเวลาในการอบแห้งนาน ผลิตภัณฑ์มีน้ำในเนื้อดินมากจึงมีการหดตัวสูง

รูปที่ 2.20 สุขภัณฑ์
ที่มา : www.b2hand.com

2.4.3 การขึ้นรูปด้วยวิธีการอัด

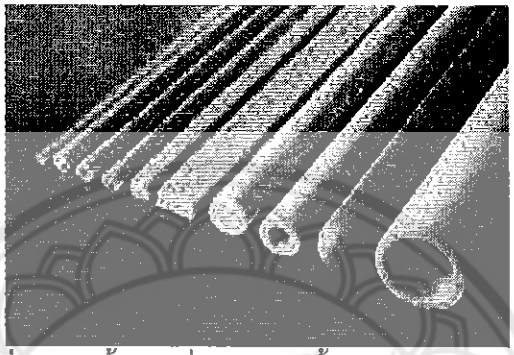
วิธีนี้จะเตรียมเนื้อดินปั้นให้อยู่ในรูปของผงกลมๆ ที่ไหลตัวได้ดี จากนั้นจึงนำไปอัดด้วยเครื่องอัดแรงดันสูงเพื่อให้เกาะติดกันเป็นแผ่น วิธีนี้จะใช้น้ำในการขึ้นรูปน้อยที่สุด ทำให้ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งมีการหดตัวน้อยกว่าวิธีอื่นๆ แต่รูปทรงผลิตภัณฑ์ที่สามารถขึ้นรูปได้จำกัดตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ ได้แก่ กระเบื้องชนิดต่างๆ เป็นต้น ซึ่งการขึ้นรูปโดยวิธีอัดใช้แพร่หลายในการผลิตผลิตภัณฑ์ทนไฟ กระเบื้อง และผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดพิเศษแรงอัดจะอัดบนแผ่นที่มีผงเนื้อดินปั้นแห้ง หรือมีความชื้นเล็กน้อยอยู่ภายในแบบ แบบที่ใช้เป็นโลหะแข็ง วิธีการอัดผงเนื้อผลิตภัณฑ์อาจอัดด้วยเครื่องอัดชนิดต่างๆ ซึ่งมีแรงอัดต่างกันไปในการอัดแผ่นกระเบื้อง หรือผลิตภัณฑ์ใดๆ สิ่งสำคัญ คือจะต้องทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ ถ้าผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอจะเป็นเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์โค้งงอ และมีการหดตัวไม่เท่ากัน การอัดผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กความหนาแน่นจะสม่ำเสมอมากกว่าผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ เนื่องจากมีแรงเสียดสีผนังแบบน้อยกว่า (ปรีดา, 2532)



รูปที่ 2.21 กระเบื้องปูพื้น
ที่มา : www.thaicontractor.com

2.4.4 การอัดขึ้นรูป (Extrusion)

การขึ้นรูปโดยวิธีนี้ทำโดยอัดเนื้อดินซึ่งอาจมีความเหนียวผ่านแผ่นโลหะซึ่งมีลักษณะคล้ายรวงผึ้งจากนี้จึงอัดหลอดเนื้อดินปั้นผ่านกระบอกสูบซึ่งอาจมีการดูดอากาศออกด้วย ถ้าต้องการให้มีรูปร่างตามต้องการ อาจใส่แบบไว้ที่ปลายกระบอกสูบ เมื่อเนื้อดินปั้นผ่านแบบออกมาจะได้ผลิตภัณฑ์รูปร่างตามแบบ หรืออาจให้เนื้อดินปั้นผ่านกระบอกสูบออกมาแล้วตัดแท่งดินเอาไว้ตามความเหมาะสมเพื่อใช้ในการขึ้นรูปต่อไป การขึ้นรูปโดยวิธีนี้ใช้ขึ้นรูปอิฐก่อสร้าง ท่อระบาย ลูกถ้วย ฉนวนไฟฟ้าขนาดใหญ่



รูปที่ 2.22 ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปด้วย Extrusion
ที่มา : Thai Ceramic Society (2551)

2.5 การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก

ในกระบวนการเผานั้น ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ได้จากการเผาจะมาจากการรวมตัวกันของวัตถุดิบทั้งวัสดุที่อ่อน (Soft) และแข็ง (Hard) เข้าด้วยกัน และตัววัตถุดิบเองนั้น สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีจะเปลี่ยนไประหว่างการเผา เช่น ความแข็งแรง การดูดซึมน้ำ สัมประสิทธิ์การขยายตัว เนื่องจากความร้อน การนำความร้อน และอื่นๆ ซึ่งสมบัติเหล่านี้มาจากชนิด และจำนวน Phase ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเผา

ในระหว่างกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกในเตาจะต้องมีการเกิดปฏิกิริยาในการเผาที่สำคัญอยู่ 4 ปฏิกิริยา คือการอบแห้ง (Drying), การสลายตัวของส่วนประกอบ (Decomposition), การเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) และการเผาจนเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ (Vitrification)

การอบแห้งในช่วง Pre heating ของเตาก่อนเข้าสู่ช่วงการเผา เพื่อเป็นการขจัดน้ำจำนวนมากกลไกการขจัดน้ำในดินนั้นจะต้องทำอย่างระมัดระวัง ถ้าเร็วเกินไปผลิตภัณฑ์จะแตกหักได้ง่าย โดยความดันภายในของรูพรุนของตัวผลิตภัณฑ์เองในขั้นตอนแรกที่อุณหภูมิประมาณ 100-120 องศาเซลเซียส น้ำในดิน อันได้แก่ ความชื้น และน้ำที่เติมเข้ามาจะถูกขับไล่ออกโดยให้ความร้อนอย่างช้าๆ และระมัดระวังน้ำในโครงสร้าง (Chemical Combine Water) จะไม่ถูกไล่ออกด้วยจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ Decomposition ประมาณ 590 องศาเซลเซียส เมื่อการอบแห้งสมบูรณ์แล้ว อาจเกิดการแตก (Crack) ได้ถ้าก๊าซ (Gas) ร้อนสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดการหดตัวอย่างรวดเร็ว ที่ผิวหน้าแห้งแล้ว แต่ภายในยังคงมีความชื้นอยู่ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นน้ำภายในจะกลายเป็นไอขยายตัวขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้นปริมาตรของไอน้ำเพิ่มขึ้นทำให้เกิดทำรอยแตกที่ไม่สม่ำเสมอ

ระหว่างขั้น Decomposition สารอินทรีย์ในดินถูกย่อยสลายไป และน้ำภายในโครงสร้าง (Chemically Combined Water) ถูกกำจัดออกไป โดยทั่วไปขั้นตอนนี้จะเริ่มที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส จนถึง 500 องศาเซลเซียส ซึ่งสารอินทรีย์ที่อยู่ในเนื้อดินก็จะเริ่มถูกขจัดไปด้วย

ขั้นตอนที่สาม คือการเกิดออกซิเดชั่นเป็นขั้นตอนที่สำคัญของการเผาในขั้นนี้สารที่เผาไหม้ได้ถูกขจัดออก และเกิดออกซิเดชั่นของเหล็ก (Fe) และสารประกอบอื่นๆ สำหรับการผลิตให้ได้สีที่ดีนั้นจะต้องมีออกซิเดชั่นที่สมบูรณ์ ในที่นี้ความร้อนต้องควบคุมให้ดีหลีกเลี่ยงให้ความร้อนเกินไป หรือเกิดแกนดำ (Black Core) ขึ้นภายใน และสีที่มีผลต่อสภาวะออกซิเดชั่นมากๆ ถ้าเผาอย่างเร่งรีบ หรือค่าพารามิเตอร์ระหว่างกาซกับอากาศปรับไม่เหมาะก็จะทำให้สีหลังเผาของผลิตภัณฑ์เพี้ยนไปได้ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบ เช่น พวกเทอราคอตตา หรือผลิตภัณฑ์ที่มีการเผาเคลือบต่างๆ แกนดำในผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นเนื่องจากการออกซิเดชั่นไม่เพียงพอของพวกสารอินทรีย์ อย่างไรก็ตาม แกนดำก็ไม่ได้เกิดจากคาร์บอนอย่างเดียว แต่อาจเกิดเนื่องจากการรีดิวซ์ของเหล็กได้

ช่วงของการเกิดออกซิเดชั่นดีที่สุดสำหรับการเผาอยู่ระหว่าง 930-1,040 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงสำคัญสำหรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และจะทำให้การทำงานยืดหยุ่นขึ้นโดยสามารถเพิ่ม Production ได้ หรือเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบที่ใช้ในสูตรได้

ระหว่างช่วงการเผาขั้นตอนสุดท้ายนั้นผลิตภัณฑ์จะถูกให้ความร้อนเต็มที่ทำให้เกิดการหลอมตัวเกิดเป็นเฟสของเนื้อแก้วขึ้น (Vitrification) ขึ้น และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง ความเร็วในการยกอุณหภูมิขึ้นระหว่างช่วงนี้จะมีความสำคัญมากกว่าช่วงอื่นๆ เพราะต้องระวังไม่ให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนมากเกินไปจนทำให้เกิด Overfiring

2.5.1 การเผา (Firing)

การเผาในทางเซรามิก คือการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ผลิตภัณฑ์เซรามิกในเตาภายใต้บรรยากาศที่เหมาะสม เพื่อเปลี่ยนสภาพดินให้เป็นถาวรวัตถุมีความแข็งแกร่งเหมือนหินช่วยให้ผลิตภัณฑ์เกิดความคงทนถาวร และสวยงาม การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกมี 3 ขั้นตอนดังนี้

2.5.1.1 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 ระวังไม่ให้เกิดเขม่า หรือควันสีดำจับผลิตภัณฑ์ และเตาเผา ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ ควรอุ่นที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง ผึ่งในแสงแดดร้อนจัด อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปผลิตภัณฑ์อาจแตกได้ เผาเสร็จแล้ว ทิ้งให้เตาเย็นลง เท่ากับเวลาที่ทำการเผา ห้ามเปิดเตาก่อนอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์กระทบอากาศเย็นนอกเตา จะแตกได้

2.5.1.2 การเผาเคลือบ (Glost Firing)

ชิ้นงานที่เผาดิบถูกนำมาชุบเคลือบแล้วเผา เพื่อให้เคลือบหลอมเป็นแก้วติดแน่นอยู่บนผิวชิ้นงาน การเผาเคลือบ อุณหภูมิ และบรรยากาศการเผาขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ เช่น การเผาผลิตภัณฑ์ปอร์ซเลน เริ่มต้นเผาภายใต้บรรยากาศออกซิเดชันตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มจุดเตาจนถึงอุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเผาภายใต้บรรยากาศรีดักชัน (Reduction Firing; RF) จนถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการ

ภาชนะที่ชุบเคลือบแล้วทุกชิ้นต้องเช็ดที่บริเวณก้นผลิตภัณฑ์ให้หมดเคลือบ เพื่อป้องกันการหลอมละลายของเคลือบติดบนแผ่นรองเตาเผา ผลิตภัณฑ์ทุกชิ้นจะต้องวางห่างกันเล็กน้อยไม่ให้น้ำเคลือบสัมผัสกัน เพราะเคลือบจะหลอมติดกัน เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง

ผลิตภัณฑ์ในเตาแก๊สควรวางห่างจากบริเวณหัวพ่นเล็กน้อย ถ้าผลิตภัณฑ์โดนเปลวไฟเลียเคลือบจะด่าง ในเตาไฟฟ้าอย่าวางผลิตภัณฑ์ชิดขดลวดมากเกินไปเคลือบจะไหลติดขดลวดเสียหายได้ ผลิตภัณฑ์ใหญ่ควรวางไว้กลางๆ เตาให้ได้รับความร้อนสม่ำเสมอ ลดความบิดเบี้ยวหลังการเผา

วงจรในการเผาเคลือบ

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

ช่วงที่ 2 950-1250 องศาเซลเซียส OF ใช้เวลา 3-4 ชั่วโมง หรือ 950-1250 องศาเซลเซียส เผาภายใต้บรรยากาศรีดักชันใช้เวลา 4-5 ชั่วโมง

ช่วงที่ 3 เผาแช่อุณหภูมิคงที่ (Soaking) 1250 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

การเผาในบรรยากาศสันดาปไม่สมบูรณ์ ต้องใช้เวลาในการเผานานกว่าเตาไฟฟ้าเล็กน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความจุของเตาเผา เตามีขนาดใหญ่จะต้องใช้เวลาในการเผานานขึ้น และแช่อุณหภูมิคงที่ไว้นาน 20-30 นาที

โดยปกติเตาเผาทุกเตาบริเวณชั้นบนของเตาเผาจะร้อนกว่าด้านล่าง 20-30 องศาเซลเซียส ผู้ใช้เตาควรสังเกตผลการเผาทุกครั้ง เพื่อให้ทราบความแตกต่าง ของเตาเผาแต่ละเตา

2.5.1.3 การเผาตกแต่ง (Decoration Firing)

ชิ้นงานที่เผาเคลือบแล้ว นิยมตกแต่งด้วยสี หรือติดรูปลอก (Decal) ที่ทำขึ้นสำหรับตกแต่งสีโดยเฉพาะติดลงไปบนภาชนะที่เคลือบ แล้วนำไปเผาเพื่อให้สิ่งตกแต่งติดทนกับชิ้นงาน เรียกว่าการตกแต่งบนเคลือบ (Overglaze Firing) อุณหภูมิที่ใช้เผาตกแต่งบนเคลือบประมาณ 650-850 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดสี (Pigment) หรือประเภทวัตถุดิบที่นำมาทำสี

การเผาสีตกแต่งลอก และสีเงินสีทอง จะต้องเผาในบรรยากาศสันดาปสมบรูณ์ ตลอดการเผาจากอุณหภูมิห้องถึง 750 องศาเซลเซียส ในเตาเผาไม่ควรมีความชื้นอยู่ ถ้าเตาเผามีความชื้นจากการเผาดิบเมื่อนำสีทองเผาต่อจากเตาเผาดิบสีทองจะหมองเพราะไม่ชอบความชื้น สีเขียวก็จะพอง เพราะมีความชื้นในเตาเผามากเกินไป

ดังนั้นถึงแม้ว่าอุณหภูมิในการเผาดิบที่ 750 องศาเซลเซียส ใกล้เคียงกับการเผาสีตกแต่งก็ไม่ควรเอาชิ้นงานเขียนสี และติดรูปลอกเข้าเตาเผาในการเผาดิบ เพราะชิ้นงานที่ออกมาจะมีตำหนิ ไม่ได้มาตรฐาน สีหมองคล้ำ หรือเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

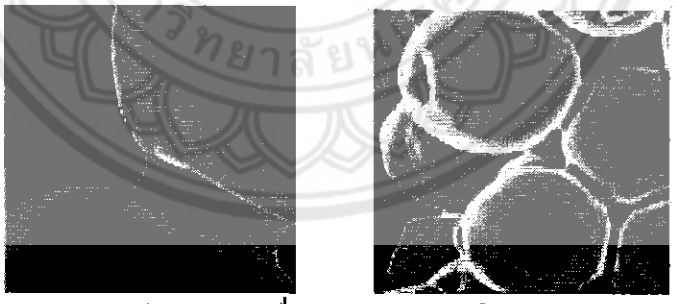
2.5.2 การเผาผนึก (Sintering)

กระบวนการเผาผนึกเป็นกระบวนการที่ทำให้ผงสารที่ผ่านการอัดขึ้นรูปเกิดกระบวนการแน่นตัวแล้วกลายเป็นเซรามิกที่มีความแข็งแรงพอที่จะคงรูปร่างที่ได้ทำการขึ้นรูปไว้ ซึ่งจะเป็นกระบวนการที่มีการใช้อุณหภูมิสูง เพื่อให้อะตอมของสารเกิดการแพร่เข้าไปยึดเกาะกันแน่นมากยิ่งขึ้น โดยการใช้พลังงานความร้อนไปกระตุ้นให้อะตอมของสารเกิดการแพร่ (Diffusion) เข้าหากัน ทำให้เกิดจุดสัมผัสระหว่างอนุภาคผงที่อยู่ติดกันมากขึ้น ที่เรียกว่า คอ (Neck) มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยกระบวนการเผาผนึกที่เป็นแบบที่มีเพียงสถานะของแข็ง (Solid Stage Sintering) นั้น จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะด้วยกัน คือ

ระยะแรก (Initial Stage) เป็นช่วงที่มีการเกิดคอขึ้นมาระหว่างอนุภาคที่อยู่ชิดติดกัน

ระยะกลาง (Intermediate Stage) เป็นช่วงที่มีการกำจัดโพรงแบบเปิด โดยในระยะกลางนี้คอจะมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันของอนุภาคมากยิ่งขึ้น

ระยะสุดท้าย (Final Stage) เป็นระยะที่มีการกำจัดโพรงแบบเปิด (Closed Pore) ซึ่งจะมีผลให้สารนั้นมีการหดตัว และทำให้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะการเชื่อมตัวของอนุภาคในกระบวนการเผาผนึก
ที่มา : E-Learning SAKHON NAKHON RAJABHAT UNIVERSITY (2549)

Liquid Phase Sintering คือการ Sintering ที่เนื้อสาร Sinter บางส่วน หรือทั้งหมดอยู่ในสภาวะของเหลว Liquid Phase Sintering เป็น Sintering Mechanism ที่สำคัญในการ Sinter สารประกอบซิลิเกตเกือบทุกชนิด ดั้งนั้นผลิตภัณฑ์พวกเซรามิกดั้งเดิมเกือบทุกชนิด เช่น กระเบื้อง, จาน, ชาม, สุขภัณฑ์, เป็นต้น จึงถูก Sinter ด้วยกลไกนี้

ขณะการเกิด Liquid Phase Sintering ซึ่งอยู่ระหว่างเกรน (Grains) จะช่วยให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของอนุภาคในช่วงต้นของการ Sinter เกิดได้อย่างง่ายดายยิ่งขึ้น ส่งผลให้อนุภาคยึดตัวกันได้แน่น

ข้อดีของ Liquid Phase Sintering ช่วยให้ Sinter ได้เร็วขึ้น ใช้อุณหภูมิต่ำลง แต่กลับได้ความหนาแน่นที่สูงขึ้นทำให้ประหยัดเวลา และพลังงาน ทั้งยังช่วย Sinter สารประกอบเซรามิกบางชนิดที่ Sinter ยากๆ $Al_2O_3.ZrO_2$ ให้ Sinter ได้ง่ายขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม Liquid Phase Sintering ก็มีข้อเสียเช่นกัน คือ การ Sinter แบบนี้จะทำให้เกิด Glassy Grain Boundary ซึ่งไม่มีความทนไฟ และไม่การคืบ (Creep) เท่าเนื้อวัสดุส่วนที่เป็นเกรน ดังนั้น Liquid Phase Sintering จึงทำให้คุณสมบัติทางกล ความทนไฟ ตลอดจนสมบัติทางไฟฟ้าบางอย่างของ Bulk ทั้งก้อนด้อยลง

สำหรับสารประกอบซิลิเกตเหลวหนืด (Viscous Liquid Silicate) ที่เกิดระหว่าง Sinter จะช่วยเชื่อมยึดประสารให้อนุภาคในชิ้นงานเกาะกันเป็นเนื้อเดียว อย่างไรก็ตามเราจะต้องควบคุมอุณหภูมิ และเวลาในการ Sinter ให้เหมาะสมด้วย เพื่อให้ทั้งปริมาณ และความหนืดของ Viscous Liquid อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (ไพจิตร, 2541)

2.6 การทดสอบ

2.6.1 ค่าความแข็งแรงภายใต้กำลังรับแรงดัด

โดยทั่วไปการทดสอบความแข็งประเภทนี้ สามารถทำได้โดยการทดสอบหาค่าความแข็งแรงภายใต้กำลังรับแรงดัดของผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังเผา ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ และเป็นตัวควบคุมคุณภาพอย่างหนึ่ง เพราะมีอิทธิพลต่อการใช้ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ และมีอิทธิพลกรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เพราะผลิตภัณฑ์ดิบที่ไม่แข็งแรงทำให้ลำบากต่อการขนย้าย และการเผาต้องมีความระมัดระวังมาก

2.6.1.1 วิธีการทดสอบ

เตรียมชิ้นงานหลังเผาที่ผ่านการขึ้นรูป เพื่อนำไปอัดให้หักโดยผ่านเครื่องมือทดสอบด้วยแรงกด จนถึงแรงกดที่ทำให้ชิ้นงานนั้นหักแล้วนำไปคำนวณค่าความแข็งแรง

2.6.1.2 การคำนวณ

ความแข็งแรงภายใต้กำลังรับแรงดัด (Modulus of Rupture; MOR) จากสูตร

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

P = แรงกดที่ทำให้แผ่นกระเบื้องหัก	หน่วย กิโลกรัม
L = ระยะห่างของจุดรองรับ	หน่วย เซนติเมตร
b = ความกว้างของแผ่นกระเบื้อง	หน่วย เซนติเมตร
d = ความหนาของแผ่นกระเบื้อง	หน่วย เซนติเมตร

2.6.2 ความหนาแน่น และร้อยละการดูดซึมน้ำ

ความหนาแน่นเป็นสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุแต่ละชนิดที่อาจแปรผันได้ตามปัจจัยต่างๆ เช่น ของไหลจะมีความหนาแน่นเปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน และความดันเปลี่ยนแปลงส่วนของแข็งชนิดเดียวกัน จะมีความหนาแน่นต่างกันได้ตามสภาพของโครงสร้าง มลทิน และรูพรุนในเนื้อของวัสดุนั้นๆ ในงานเซรามิกจำเป็นต้องศึกษาเรื่องความหนาแน่นของวัตถุดิบ เนื่องจากความหนาแน่นของ

วัตถุดิบไม่ว่าจะเป็นวัสดุเซรามิก เช่น ดิน หิน แร่ต่างๆ หรือวัตถุดิบเพื่อการขึ้นรูป ได้แก่ น้ำดิน รวมถึงความหนาแน่นของน้ำเคลือบ ที่ตกแต่งผลิตภัณฑ์ล้วนมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.6.2.1 วิธีการทดสอบ

ก. อบชิ้นงานให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า Wd เป็นน้ำหนักชิ้นงานแห้งหลังอบ

ข. เผาชิ้นงาน ชั่งน้ำหนักหลังเผา บันทึกค่า Wf เป็นน้ำหนักชิ้นแห้งหลังเผา

ค. ต้มชิ้นงานในน้ำกลั่นให้เดือดนาน 2 ชั่วโมง และแช่ไว้อีก 24 ชั่วโมง

ง. ชั่งน้ำหนักชิ้นงานในน้ำ บันทึกค่า Wss ซึ่งเป็นน้ำหนักชิ้นงานหลังต้มชั่งในน้ำ

จ. เช็ดผิวของชิ้นงาน ชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า Ws ซึ่งเป็นน้ำหนักชิ้นงานหลังต้มชั่งในอากาศ

ฉ. นำค่าจากการทดลองมาคำนวณตามสูตร

2.6.2.2 การคำนวณ

ปริมาตรของชิ้นงาน (Exterior Volume)

$$V = \frac{Ws - Wss}{\rho L} \tag{2.2}$$

ปริมาตรของรูพรุนเปิด (Volume of Open Pores)

$$Vb = \frac{Ws - Wf}{\rho L} \tag{2.3}$$

ร้อยละของความพรุนตัวปรากฏ (Apparent Porosity)

$$\% \text{ Apparent Porosity} = \frac{Ws - Wf}{Ws - Wss} \times 100 \tag{2.4}$$

ความหนาแน่นของชิ้นงาน (Bulk Density)

$$\text{Bulk Density} = \frac{Wf}{W_s - W_{ss}} \tag{2.5}$$

ร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

$$\% \text{ Water Absorption} = \frac{Ws - Wd}{Wd} \times 100 \tag{2.6}$$

ρL หมายถึง ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
Wd หมายถึง น้ำหนักชิ้นงานแห้งก่อนต้ม (กรัม)
Wf หมายถึง น้ำหนักชิ้นงานหลังเผา (กรัม)
Ws หมายถึง น้ำหนักชิ้นงานหลังต้มชั่งในอากาศ (กรัม)
Wss หมายถึง น้ำหนักชิ้นงานหลังต้มชั่งในน้ำ (กรัม)

2.7 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเซรามิกมีคุณภาพ เป็นที่เชื่อถือของผู้บริโภค สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรม จึงได้กำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์เซรามิกไว้ดังนี้ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2529)

2.7.1 ขอบข่าย

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

2.7.2 บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.7.2.1 กระเบื้องดินเผาปูพื้น ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “กระเบื้อง” หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอัดดิน และส่วนผสมอื่นๆ เช่น หิน ทราย สี เป็นต้น แล้วเผาที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 1,000 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นแผ่น

2.7.2.2 การล่อนตัว (Peeling) หมายถึง การแยกตัวระหว่างเคลือบกับเนื้อกระเบื้อง

2.7.2.3 การราน (Crazing) หมายถึง การเกิดรอยร้าวบนผิวเคลือบ แสดงดังรูปที่ 2.24

2.7.2.4 รอยร้าว (Crack) หมายถึง รอยแตกที่ลึกถึงเนื้อกระเบื้อง

2.7.2.5 รูเข็ม (Pinhole) หมายถึง รูเล็ก ๆ ที่ปรากฏบนผิวเคลือบ แสดงดังรูปที่ 2.25

2.7.2.6 รอยพอง (Blister) หมายถึง รอยนูนที่ผิวเคลือบซึ่งเกิดจากการขยายตัวของก๊าซ หรือฟองอากาศที่อยู่ภายใน แสดงดังรูปที่ 2.26

2.7.2.7 หลุม (Pitting) หมายถึง การเกิดหลุมเล็กๆ ที่ผิวหน้ากระเบื้องซึ่งมีความลึกเท่ากับ หรือน้อยกว่าความกว้าง แสดงดังรูปที่ 2.27

2.7.2.8 รอยบิ่น (Chip) หมายถึง รอยตามแนวขอบ หรือตามมุมของกระเบื้องซึ่งเกิดจากเนื้อกระเบื้องแตกหลุดออกไป แสดงดังรูปที่ 2.28

2.7.2.9 การหดตัวของเคลือบ (Glaze Crawling) หมายถึง การที่เคลือบหดตัวจนเนื้อของกระเบื้องบางส่วนไม่มีเคลือบฉาบอยู่ แสดงดังรูปที่ 2.29

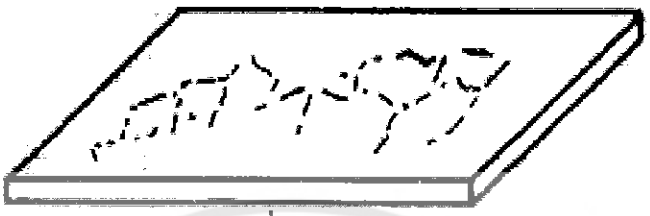
2.7.2.10 ความบิดเบี้ยว (Warpage) หมายถึง ความบิดเบี้ยวจากรูปร่างของกระเบื้องตามที่กำหนดเนื่องจากกรรมวิธีผลิต

2.7.2.11 โค้งออก หมายถึง ความบิดเบี้ยวในลักษณะที่ส่วนกลางของขอบกระเบื้องโค้งออกแสดงดังรูปที่ 2.30

2.7.2.12 เว้าเข้า หมายถึง ความบิดเบี้ยวในลักษณะที่ส่วนกลางของขอบกระเบื้องเว้าเข้า แสดงดังรูปที่ 2.30

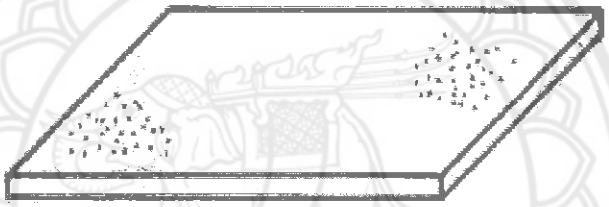
2.7.2.13 นูนขึ้น (Convex) หมายถึง ความบิดเบี้ยวไปจากแนวระนาบของผิวหน้ากระเบื้องเนื่องจากส่วนกลางตามแนวเส้นทแยงมุมของกระเบื้องสูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.31

2.7.2.14 แอ่นลง (Concave) หมายถึง ความบิดเบี้ยวออกไปจากแนวระนาบของผิวหน้ากระเบื้อง เนื่องจากส่วนกลางตามแนวเส้นทแยงมุมของกระเบื้องต่ำลง แสดงดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.24 การราน

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

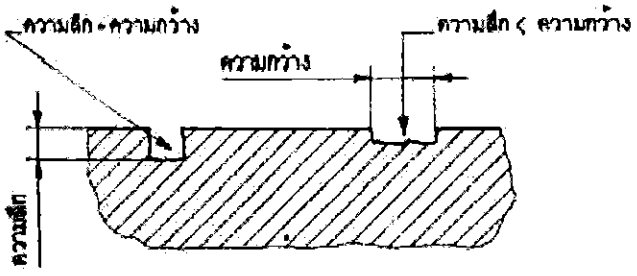


รูปที่ 2.25 รูเข็ม

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

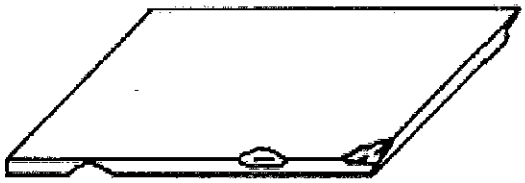
รูปที่ 2.26 รอยพอง

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)



รูปที่ 2.27 หลุม

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

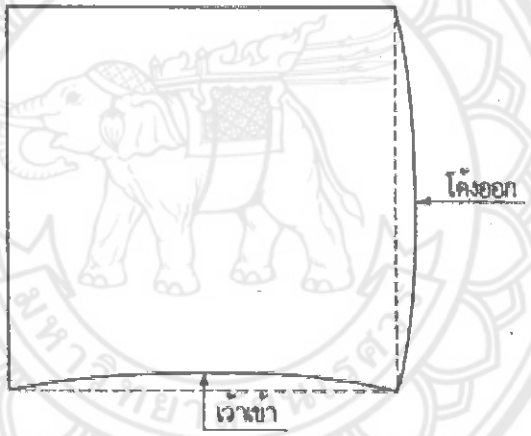


รูปที่ 2.28 รอยบิ่น

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

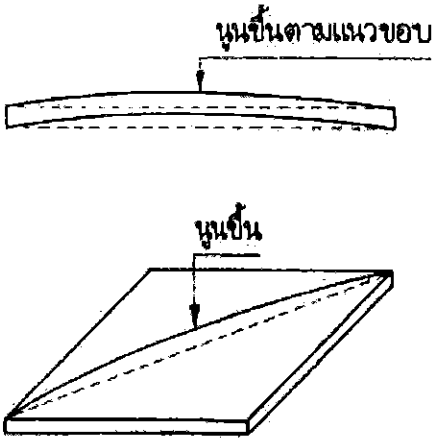
รูปที่ 2.29 การหดตัวของเคลือบ

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)



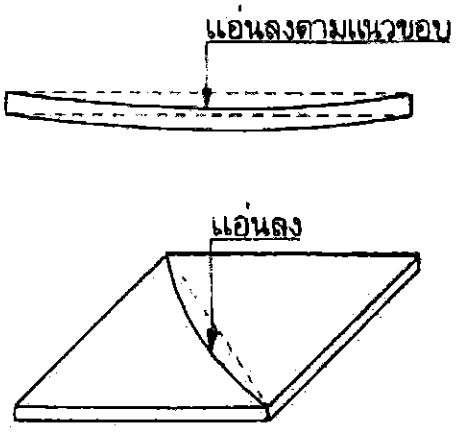
รูปที่ 2.30 โค้งงอและเว้าเข้า

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)



รูปที่ 2.31 นูนขึ้น

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)



รูปที่ 2.32 แอ่นลง

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

2.7.3 ประเภท ชนิด และชั้นคุณภาพ

2.7.3.1 กระเบื้องแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

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**

2.7.3.2 กระเบื้อง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

ก. ชนิดเคลือบ

ข. ชนิดไม่เคลือบ

2.7.3.3 กระเบื้อง แบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ

ก. ชั้นคุณภาพที่ 1

ข. ชั้นคุณภาพที่ 2

2.7.4 ขนาด และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ขนาด และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ให้เป็นไปตามตารางที่ 2.4 การวัดให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาบุผนังภายนอก มาตรฐานเลขที่ มอก. 614

ตารางที่ 2.4 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)

2.7.5 คุณลักษณะที่ต้องการ

2.7.5.1 ลักษณะทั่วไป

ก. ชั้นคุณภาพที่ 1

ก.1 ชนิดเคลือบ

กระเบื้องต้องไม่มีการล่อนตัว การแยกชั้นในเนื้อกระเบื้อง การราน และการแตกหัก และเมื่อตรวจสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายในมาตราฐานเลขที่ มอก. 613 แล้ว ต้องไม่เห็นรอยร้าว รูเข็ม รอยพอง หลุม รอยบิ่น การหดตัวของเคลือบ

ก.2 ชนิดไม่เคลือบ

กระเบื้องต้องไม่มีการแยกชั้นในกระเบื้อง หรือการแตกหัก และเมื่อตรวจสอบมาตรฐาน มอก. 613 ต้องไม่เห็นรอยร้าว รูเข็ม รอยพอง ลีรอยบิ่น

ข. ชั้นคุณภาพที่ 2

ข.1 จุดด่าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ได้ไม่เกิน 3 จุด

ข.2 ความบกพร่องของผิวเคลือบต่างๆ รวมกันได้ไม่เกิน 5 ตาราง เซนติเมตร

ข.3 พื้นที่ของรอยบิ่นที่มุม หรือขอบ เมื่อทดสอบต้องได้ไม่เกินที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.5 แต่ทั้งนี้ในกระเบื้องแผ่นเดียวกันจะมีรอยบิ่นที่มุม และที่ขอบรวมกันได้ไม่เกิน 3 จุด

ตารางที่ 2.5 พื้นที่ของรอยบิ่นต่อ 1 จุด

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

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

2.7.5.2 ความบิดเบี้ยว

ไม่เกินที่กำหนดในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 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	
เกิน 200 ถึง 300	1.5 มิลลิเมตร	1.5 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	1.5 มิลลิเมตร	1.5 มิลลิเมตร	ร้อยละ 0.5 ของความยาวด้านที่วัด
เกิน 300 ถึง 500	ร้อยละ 0.5	ร้อยละ 0.5					
เกิน 200 ถึง 300	2.5 มิลลิเมตร	2.5 มิลลิเมตร					

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

หมายเหตุ ก. ความบิดเบี้ยวในลักษณะโค้งออก และเว้าเข้ากำหนดเฉพาะกระเบื้องที่มีขอบตรง

ข. ความบิดเบี้ยวในลักษณะนูนขึ้น และแอ่นลงกำหนดเฉพาะกระเบื้องที่เป็นแผ่นเรียบ

ค. ความเบี่ยงเบนจากความได้ฉากกำหนดเฉพาะกระเบื้องที่เป็นมุมฉาก

2.7.5.3 การดูดซึมน้ำ

ก. กระเบื้องประเภทดูดซึมน้ำต่ำ (ทั้งชนิดเคลือบ และไม่เคลือบ) การดูดซึมน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 3

ข. กระเบื้องประเภทดูดซึมน้ำปานกลางค่อนข้างต่ำ (ทั้งชนิดเคลือบ และไม่เคลือบ) การดูดซึมน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 6

ค. กระเบื้องประเภทดูดซึมน้ำปานกลาง (ต้องเป็นชนิดเคลือบอย่างเดียว) การดูดซึมน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 10

ง. กระเบื้องประเภทดูดซึมน้ำสูง (ต้องเป็นชนิดเคลือบอย่างเดียว) การดูดซึมน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 16

2.7.5.4 ความทนสารเคมี

เมื่อทดสอบตาม มอก. 613 แล้ว กระเบื้องต้องไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสารเคมี

2.7.5.5 ความทนการราน

เมื่อทดสอบตาม มอก. 614 แล้ว ผิวเคลือบของกระเบื้องต้องไม่ราน

2.7.5.6 ความต้านแรงดัด

ก. กระเบื้องประเภทดูดซึมน้ำต่ำ และประเภทดูดซึมน้ำปานกลางค่อนข้างต่ำ ต้องมีความต้านแรงดัดไม่น้อยกว่า 25.0 เมกะปาสคาล

ข. กระเบื้องประเภทดูดซึมน้ำปานกลาง และประเภทดูดซึมน้ำสูง ต้องมีความต้านแรงดัดไม่น้อยกว่า 17.5 เมกะปาสคาล

2.7.5.7 การทนการขัดสี

เมื่อทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาโมเสกมาตรฐานเลขที่ มอก. 38 แล้ว น้ำหนักของกระเบื้องที่หายไปต้องไม่เกิน 0.1 กรัม

2.7.6 การบรรจุ

ให้บรรจุกระเบื้องในกล่องกระดาษ หรือภาชนะบรรจุอื่นให้เรียบร้อย และแข็งแรง

2.7.7 เครื่องหมาย และฉลาก

2.5.7.1 ที่กระเบื้องทุกแผ่นอย่างน้อยต้องมีเลขอักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดดังต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน และถาวร

ก. ชั้นคุณภาพ (โดยใช้สีดำขีดเป็นเส้นด้านหลังกระเบื้องสำหรับชั้นคุณภาพที่ 2)

ข. ชื่อผู้ทำ หรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้า หรือชื่อผู้จัดจำหน่าย

2.7.7.2 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 พร้อมสถานที่ตั้ง

ญ. ประเทศที่ทำ

หมายเหตุ ข้อ ค. จ. และ ฉ. ให้ระบุเฉพาะบรรจุในกล่อง หรือภาชนะที่บรรจุมิดชิด

2.7.7.3 ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทย ที่กำหนดไว้ข้างต้น

2.7.7.4 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม นั้นได้ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

2.7.8 การชักตัวอย่าง และเกณฑ์ตัดสิน

2.7.8.1 รุ่นในที่นี้ หมายถึง กระเบื้องชั้น คุณภาพ ขนาด รูปร่าง และสีเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกันที่ทำ หรือส่งมอบ หรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

2.7.8.2 การชักตัวอย่าง และการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างตามที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

ก. การชักตัวอย่าง และการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด และคุณลักษณะที่ต้องการ

ก.1 ให้ชักตัวอย่างกระเบื้องโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ 2.7 แต่ละชุดตัวอย่างให้นำไปทดสอบตามรายการรายการในตารางที่ 2.8 รายการที่ 1 ถึง 4 ก่อน แล้วจึงใช้ตัวอย่างจากชุดเดียวกันนี้ไปทดสอบตามรายการที่ 5 ถึง 8

ตารางที่ 2.7 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาด และคุณลักษณะที่ต้องการ

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

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

หมายเหตุ: กระเบื้องจำนวน 25 แผ่น ให้ถือเป็น 1 ชุดตัวอย่าง

ก.2 จำนวนตัวอย่างกระเบื้องที่ไม่เป็นไปตามข้อ 2.7.4 และข้อ 2.7.5 ในแต่ละรายการต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับในตารางที่ 2.8 จึงจะถือว่ากระเบื้องรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ 2.8 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)

2.7.8.3 เกณฑ์ตัดสินใจ

ตัวอย่างกระเบื้องต้องเป็นไปตามข้อ 2.7.5.1 หัวข้อย่อย ก.2 จึงจะถือว่ากระเบื้องรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศุภเอก ประมูลมาก, อนินท์ มีมนต์ และสมศักดิ์ อิทธิโสภณกุล (2553) การศึกษาการขึ้นรูปแก้วสีบุผนังภายในจากเศษขวดแก้วสีขาวด้วยกรรมวิธีซินเตอริง มีจุดมุ่งหมายเพื่อ ศึกษาการนำเอาเศษแก้วที่ไม่ใช้แล้วมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยการขึ้นรูปจะประยุกต์กระบวนการซินเตอริงมาใช้ และนำเศษขวดแก้วสีขาวซึ่งเป็นแก้วชนิดโซดาไลม์ มาผสมกับสีเซรามิกเพื่อให้เกิดเป็นสีสันสวยงาม สามารถนำไปใช้ได้จริง โดยศึกษาถึงการหดตัวตามกรรมวิธีทางเซรามิก และอ้างอิงการทดสอบความต้านทานการกระแทก และการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน (มอก.613–2529) ในขั้นตอนของการทดลอง เริ่มจากขวดแก้วสีขาวมาทุบแล้วบดด้วยเครื่องบด และนำผงแก้วที่ได้ร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดความละเอียด 100 เมช และ 200 เมช ผสมกับสีเซรามิกประเภทเกรซสเตน สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน จากนั้นนำไปอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกด้วยแรง 15 ตันต่อตารางนิ้วเพื่อให้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 30×30×4 มิลลิเมตร และนำไปเผาซินเตอริงที่ช่วงอุณหภูมิ 700–850 องศาเซลเซียส จากนั้นนำแก้วสีที่ได้ไป ศึกษาการหดตัว และทดสอบการต้านทานการกระแทก การดูดซึมน้ำต่อไปจากการทดลองการศึกษาการการศึกษาการขึ้นรูปแก้วสีบุผนังภายในจากเศษขวดแก้วสีขาวด้วยกรรมวิธีซินเตอริง พบว่าอุณหภูมิที่ทำให้แก้วเกิดสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินนั้นจะสังเกตเห็นสีที่ชัดเจนผิวเรียบเป็นมันวาวได้ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์การหดตัวมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิการซินเตอริงสูงขึ้น และในการทดสอบความต้านการกระแทกนั้นชิ้นงานไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำจะไม่เกินร้อยละ 18 ซึ่งตรงกับคุณลักษณะที่ยอมรับได้ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน (มอก.613–2529)

อนุชา วรรณก้อน และสมัญญา สงวนพรรค (2551) ทีมวิจัยของ เอ็มเทค คิดค้นพัฒนาวิธีการเพิ่มมูลค่าเศษแก้วโซดาไลม์ที่เป็นวัสดุเหลือใช้ ผลิตเป็นวัสดุประเภทกระเบื้อง และเลือกใช้วัตถุดิบราคาถูก หาง่าย สำหรับงานอุตสาหกรรม คือผงแก้วจากเศษแก้วเหลือใช้ ปูนขาว ซึ่งมีคุณสมบัติพอซโซลานิกเป็นส่วนผสม ผ่านกระบวนการบ่มให้ความร้อนด้วยไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวดที่อุณหภูมิ และความดันสูง ซึ่งต่างจากผลิตภัณฑ์เซรามิกทั่วไปที่ต้องใช้เชื้อเพลิงปริมาณมากในการเผา จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มาทดสอบสมบัติต่างๆ เพื่อปรับปรุงพัฒนาสูตร และสภาวะที่เหมาะสม ตั้งแต่การปรับปรุงองค์ประกอบทางเคมี ความหนาแน่น ความต้านทานแรงตัดการดูดซึมน้ำ รวมถึงขั้นตอนการผลิตเพื่อให้ได้กระเบื้องที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด โครงการได้พัฒนาต้นแบบกระเบื้องจากเศษแก้ว 10x10 เซนติเมตร ที่มีความแข็งแรงในรูปความต้านทานแรงดัด (Bending Strength) เท่ากับ 8.32-12.21 เมกะปาสคาล ทนทานต่อแรงกระแทก น้ำหนักเบา และมีการปรับปรุงคุณภาพด้านความสวยงามโดยการเติมผงสี และการเติมสารเคมีเพื่อลดค่าการดูดซึมน้ำ รวมถึงเพิ่มความเงาให้พื้นผิวโดยการเคลือบผิวด้วยอะคลิริก คุณสมบัติที่ได้เพียงพอต่อการนำไปใช้งานเป็นวัสดุบุผนังภายใน และเมื่อมีการปรับปรุงคุณภาพด้านความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำให้ดีขึ้นกว่าเดิม ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นกระเบื้องบุผนังตกแต่งภายในได้โครงการได้รับอนุสิทธิบัตรกระบวนการผลิตกระเบื้องจากเศษแก้วด้วยวิธีอบไอน้ำ เลขที่ยื่นคำขอ 8030000940 วันที่ยื่นคำขอ 01/08/2551

เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ และคณะ (2548) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการนำของเสียที่เป็นแก้ว ชนิดต่างๆ มาเป็นวัตถุดิบ เพื่อทดแทนแร่เฟลด์สปาร์ ซึ่งเป็นตัวหลอมละลายในการผลิตกระเบื้องเซรามิก ของเสียที่เป็นแก้ว ที่ใช้มี 3 ชนิด ได้แก่เศษขวดแก้วสีชา เศษขวดแก้วสีเขียว และเศษกระจกใสที่ใช้แล้ว ผลการศึกษาลักษณะองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบด้วยวิธีเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence spectrometry; XRF) พบว่า สารประกอบอะลูมินาในเศษขวดแก้วสีชา เศษขวดแก้วสีเขียว เศษกระจกใส และแร่เฟลด์สปาร์มีประมาณร้อยละ 1.26, 1.34, 1.42 และ 16.81 ตามลำดับ และสารประกอบซิลิเกตไดออกไซด์ (SiO_2) ในเศษขวดแก้วสีชา เศษขวดแก้วสีเขียว เศษกระจกใส และแร่เฟลด์สปาร์มีปริมาณร้อยละ 70.69, 66.86, 65.63 และ 72.16 ตามลำดับ เนื่องจากมีสารประกอบซิลิกาใกล้เคียงกัน จึงเลือกใช้เศษแก้วทั้ง 3 ประเภทเป็นวัตถุดิบทดแทนแร่เฟลด์สปาร์เศษแก้วทั้ง 3 ชนิดผ่านการบดละเอียดขนาด 200 เมช (ประมาณ 0.1 มิลลิเมตร) โดยงานวิจัยนี้ ใช้ส่วนผสมอัตราส่วนดินดำต่อแร่เฟลด์สปาร์เท่ากับ 8 ต่อ 5 คิดเป็นร้อยละ 60 ของส่วนผสมทั้งหมด รวมกับทรายแก้วอบแห้งร้อยละ 40 แปรค่าอัตราส่วนการทดแทนแร่เฟลด์สปาร์ด้วย ของเสียที่เป็นแก้วร้อยละ 0 และร้อยละ 100 ของแร่เฟลด์สปาร์ที่ใช้ในส่วนผสม ขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้องขนาด 4×4 ตารางนิ้ว ด้วยความดัน 100 บาร์เผาด้วยอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ทดสอบคุณภาพในด้านค่ากำลังรับแรงดัด ค่าการหดตัว ค่าการดูดซึมน้ำ การทนสารเคมี และความทนการราน ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.37-2529) สำหรับกระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียว ซึ่งผ่านการทดสอบคุณภาพดีที่สุดเมื่อ 40 เทียบกับเศษแก้วประเภทอื่นๆ และแร่เฟลด์สปาร์ จากนั้นจึงทำการแปรค่าความดัน และอุณหภูมิในการเผาเป็น 200 บาร์ และ 1,150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ผลการทดสอบพบว่า กระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวร้อยละ 100 ขึ้นรูปที่ความดัน 100 บาร์เผาที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส มีค่ากำลังรับแรงดัดเท่ากับ 28.86 เมกกะปาสคาล ค่าการหดตัวหลังการเผา และค่าการดูดซึมน้ำเป็นร้อยละ 14.83 และร้อยละ 3.93 ตามลำดับ การทดสอบความทนสารเคมีประเภทกรด-ด่าง และการทนการราน ไม่ปรากฏความเสียหายจากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ของเสียที่

เป็นแก้วสีเขียว สามารถนำมาใช้ทดแทนแร่เฟลด์สปาร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด และยังช่วยลดต้นทุนในการผลิตทั้งค่าวัตถุดิบ และค่าพลังงานที่ใช้ในการเผา ดังนั้นการนำของเสียที่เป็นแก้วมาทดแทนแร่เฟลด์สปาร์ อาจเป็นทางเลือกที่เหมาะสมอีกทางที่ภาคอุตสาหกรรมจะนำไปพัฒนา และใช้ต่อไปได้ในอนาคต

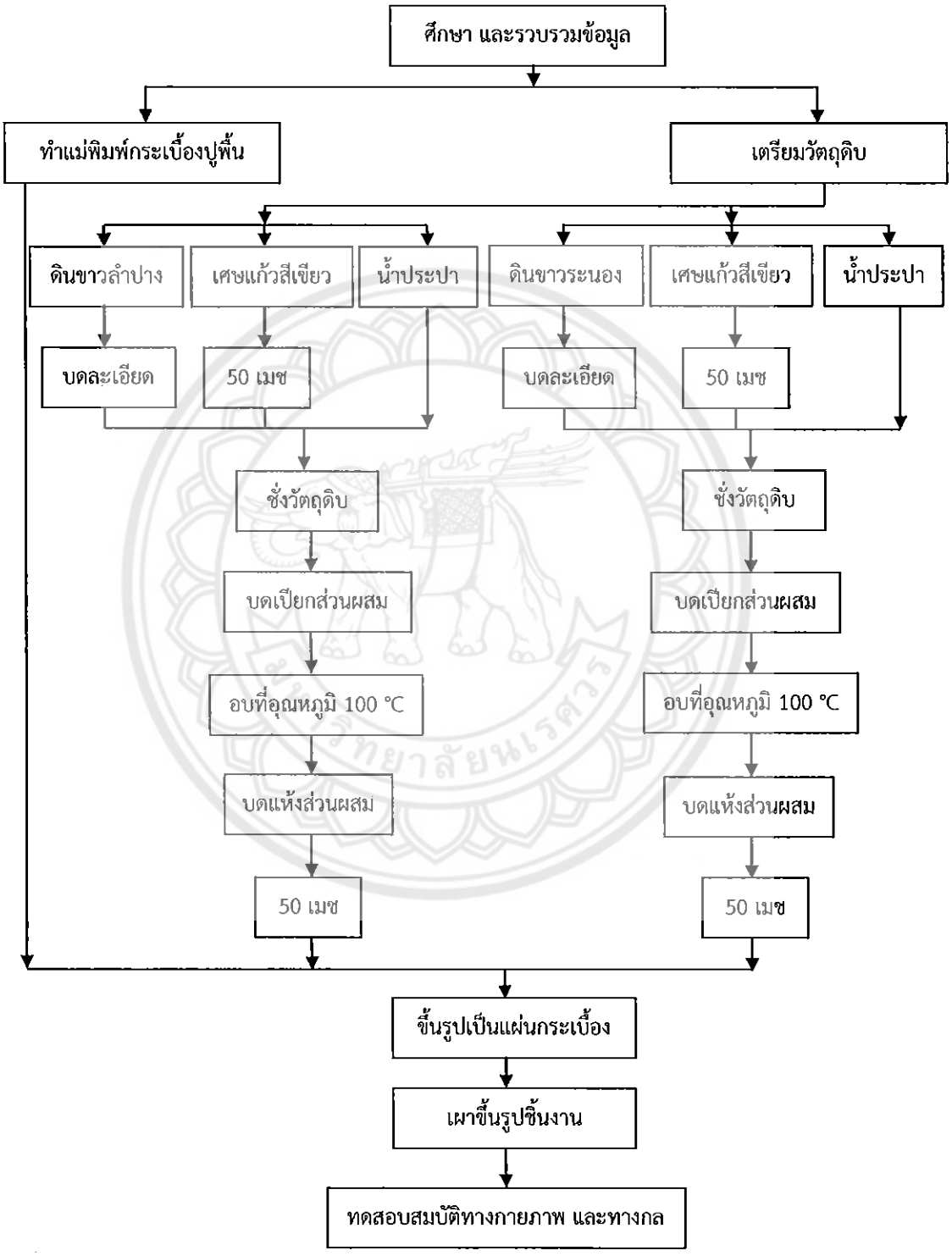
ภัทรวรรณ เฉยเจริญ (2553) ได้ศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งประเภทแก้วโซดาไลม์ เศษแก้วบอโรซิลิเกต และกากตะกอนเคลือบฟริต กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการเป็นตัวช่วยหลอมในการทดแทนแร่โซเดียวเฟลด์สปาร์ ซึ่งเป็นแร่ธรรมชาติที่นิยมใช้เป็นตัวช่วยหลอมในปัจจุบัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยลดอุณหภูมิการเผา ลดการใช้ทรัพยากร และส่งเสริมการนำวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในอุตสากรรมการผลิตกระเบื้องเซรามิก การทดลองได้ทำการแทนที่แร่โซเดียมเฟลด์สปาร์ซึ่งมีอยู่ในปริมาณ ร้อยละ 40 ในสูตรกระเบื้องมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงด้วยวัสดุเหลือทิ้งประเภทต่างๆ ในปริมาณร้อยละ 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 โดยน้ำหนัก การเตรียมชิ้นงานทดลองใช้วิธีการเดียวกับการผลิตจริงในอุตสาหกรรม ทำการเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,000, 1,050, 1,100 และ 1,125 องศาเซลเซียส ทดสอบสมบัติทางกายภาพต่างๆ ค่าการหดตัวเชิงเส้น ค่าความหนาแน่น และค่าความบิดเบี้ยวของชิ้นงานหลังเผา สมบัติทางกลได้แก่ ค่าความต้านทานแรงดัดสมบัติทางความร้อน ได้แก่ค่าการขยายตัว และหดตัวของชิ้นงานในระหว่างการเผาด้วยเครื่อง Dilatomator วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดินด้วยเทคนิค XRF และวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ด้วยเทคนิค XRD (X-ray Diffractrometer) เปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างสูตรทดลองและสูตรมาตรฐานที่ใช้อ้างอิง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการเป็นตัวช่วยหลอมของวัสดุเหลือทิ้งประเภทต่างๆ

เกษมสันต์ จางตระกูล และสถาพร ทองย้อย (2553) ได้ศึกษาการผลิตกระเบื้องดินเซรามิกโดยนำเศษแก้วสีชามาผสมกับดิน เพื่อลดอุณหภูมิในการเผา ทดสอบสมบัติทางกล และทางกายภาพ โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างดินดำต่อเศษแก้วสีชา และอัตราส่วนผสมระหว่างดินขาวต่อเศษแก้วสีชาเป็น 100 : 0, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40, 50 : 50, และ 40 : 60 ขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้องขนาด 25.75 × 152.75 × 35 ลูกบาศก์มิลลิเมตร และแปรค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 900, 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส โดยทดสอบคุณภาพของกระเบื้องในด้านสีของกระเบื้องหลังเผา ค่าความหนาแน่น ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่าการหดตัวหลังเผา และค่ากำลังรับแรงดัด ผลการศึกษาพบว่าปริมาณเศษแก้วสีชาที่เพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง ค่าการหดตัวหลังเผาเพิ่มขึ้น และค่ากำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น โดยกระเบื้องดินเซรามิกที่ผลิตจากดินดำ และเศษแก้วสีชา 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) ในขณะที่กระเบื้องดินเซรามิกทุกอัตราส่วน ให้ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) จึงพบว่าสามารถใช้เศษแก้วสีชามาเป็นส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องดินเซรามิก เพื่อลดจุดสุกตัวทำให้เนื้อดินสุกเร็วขึ้น ทั้งยังช่วยให้สามารถลดอุณหภูมิในการเผาขึ้นรูปลงได้ จากการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิการเผา 1,000 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วนผสมระหว่างดินดำต่อเศษแก้วสีชามีเพียง 2 สูตรที่ให้ค่ากำลังรับแรงดัดผ่านมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แต่ในอัตราส่วนผสมระหว่างดินขาวต่อดินขาวต่อเศษแก้วสีชาพบว่าให้ค่ากำลังรับแรงดัดผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้มากถึง 4 สูตร จึงทำให้เราทราบว่า ดินขาวสามารถให้ค่ากำลังรับแรงดัดได้มากกว่าดินดำ

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 ดินขาวจังหวัดลำปาง

3.2.1.3 เศษแก้วสีเขียว

3.2.1.4 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 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดัด

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.3.1 ศึกษา และรวบรวมข้อมูล

ศึกษาอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง และดินขาวลำปาง ที่มีผลต่ออุณหภูมิในการเผา สมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องเซรามิก รวบรวมข้อมูลเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.3.2 กรรมวิธีการผลิต

3.3.2.1 เก็บรวมรวมขวดแก้วสีเขียวที่เหลือทิ้ง มาทำความสะอาดแล้วนำไปทุบด้วยค้อนให้เป็นเศษแก้วสีเขียว และนำมาบดด้วยเครื่องบดละเอียด (Ball Mill) อีกครั้ง

3.3.2.2 นำเศษแก้วสีเขียวที่บดละเอียดไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 50 เมช

3.3.2.3 นำดินที่เป็นก้อนมาบดให้ละเอียด

3.3.2.4 ชั่งเศษแก้วสีเขียว และดิน โดยมีอัตราส่วนดังนี้

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนอง และดินขาวลำปาง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

อัตราส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
เศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนอง	**เศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปาง**
0 : 100	0 : 100
20 : 80	20 : 80
40 : 60	40 : 60
60 : 40	60 : 40

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 2×10×1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.3.2.10 ทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้อัตราเร็วในการเผา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 600 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 30 นาที จากนั้นให้อัตราเร็วในการเผา 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนถึง 1000 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 30 นาที แล้วลดอุณหภูมิในการเผาด้วยอัตราเร็ว 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนถึงอุณหภูมิห้อง

หมายเหตุ เปลี่ยนอุณหภูมิในการเผาจาก 1,000 เป็น 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

3.3.2.11 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ และทางกลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) (ลักษณะทั่วไป ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่ากำลังรับแรงดัด)

3.3.3 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ และทางกลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาปูพื้น

3.3.3.1 ค่ากำลังรับแรงดัด

เตรียมชิ้นงานขนาด 2×10×1 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยกดแบบ 3 Point Bending ใช้ Span Length เท่ากับ 50 มิลลิเมตร และใช้อัตราเร็วกดเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตรต่อนาที แล้วทำการกดโดยใช้เครื่อง UTM (Universal Transverse Mercator) จนถึงแรงกดที่ทำให้ชิ้นงานนั้นหักแล้วนำไปคำนวณค่าความแข็งแรงภายใต้กำลังรับแรงดัด (Modulus of Rupture; MOR) ได้ดังสมการที่ 2.1

3.3.3.2 ความหนาแน่น และร้อยละการดูดซึม

ก. อบชิ้นงานให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า Wd เป็นน้ำหนักชิ้นงานแห้งหลังอบ

ข. เผาชิ้นงาน ชั่งน้ำหนักหลังเผา บันทึกค่า Wf เป็นน้ำหนักชิ้นแห้งหลังเผา

ค. ต้มชิ้นงานในน้ำกลั่นให้เดือดนาน 2 ชั่วโมง และแช่ไว้อีก 24 ชั่วโมง

ง. ชั่งน้ำหนักชิ้นงานในน้ำ บันทึกค่า Wss ซึ่งเป็นน้ำหนักชิ้นงานหลังต้มชั่งในน้ำ

จ. เช็ดผิวของชิ้นงาน ชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า Ws ซึ่งเป็นน้ำหนักชิ้นงานหลังต้มชั่งในอากาศ

ฉ. นำค่าจากการทดลองมาคำนวณตามสูตร 2.2, 2.5 และ 2.6

3.4 วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

3.4.1 วิเคราะห์อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวผสมกับดินขาวระนอง และดินขาวลำปาง ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกล

3.4.2 วิเคราะห์ผลของอุณหภูมิในการเผาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้อง

3.4.3 สรุปผลการทดลองจากการศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง และดินขาวลำปาง ที่มีผลต่ออุณหภูมิการเผา สมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้อง

3.5 จัดทำรูปเล่มรายงาน

นำข้อมูลทั้งหมด และผลการทดลองมาจัดทำรูปเล่มรายงาน

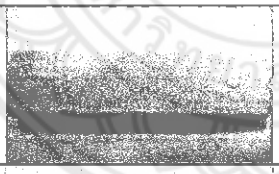
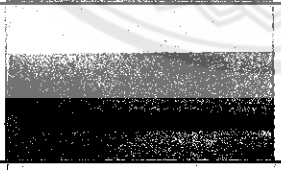
บทที่ 4
ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

4.1 ศึกษาผลของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วในดินขาวระนอง ดินขาวลำปาง ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องปูพื้น

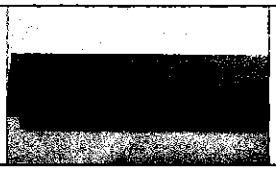
ผลกระทบของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง และดินขาวลำปางที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องปูพื้น โดยแปรอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนองเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ตามลำดับ และแปรอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปางเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ตามลำดับ ใช้อุณหภูมิในการเผาขึ้นรูปที่ 1,000 องศาเซลเซียส และพิจารณาค่าที่เหมาะสมจากค่าทดสอบเทียบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องปูพื้น (มอก.37-2529) ได้แก่ สีของกระเบื้องหลังเผา ค่าความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่ากำลังรับแรงดัด

4.1.1 อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง

ตารางที่ 4.1 สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด หลังเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนอง	สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด (MPa)
0 : 100		1.81	10.87	0.90
20 : 80		1.86	10.64	2.31
40 : 60		2.02	5.90	5.75

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด หลังเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนอง	สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (g/cm3)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด (MPa)
60 : 40		2.08	4.89	19.24
มาตรฐานอุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529)	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด	ไม่เกินร้อยละ 6	ไม่ต่ำกว่า 25 MPa

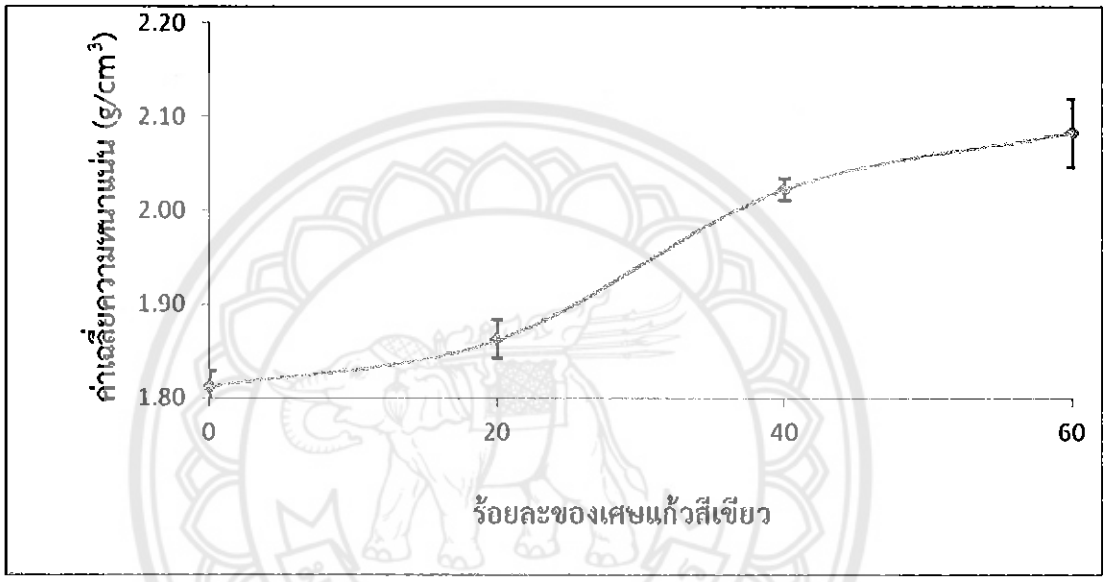
4.1.1.1 สีกระเบื้องปูพื้นหลังเผา

เมื่อนำกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองไปผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส พบว่ากระเบื้องปูพื้นหลังเผามีสีน้ำตาล เนื่องจากแก้วที่ใช้เป็นแก้วโซดาไลม์สีเขียว ซึ่งโดยปกติในการผลิตแก้วโซดาไลม์สีเขียวมักจะมีการเติมสีเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีสีสันสวยงาม หรือเพื่อให้ตรงกับวัตถุประสงค์การใช้งานของแก้ว แก้วโซดาไลม์สีเขียวจะถูกเติมด้วยโครเมียมออกไซด์ ทองแดงออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ โดยแก้วมีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิประมาณ 650–700 องศาเซลเซียส เมื่อแก้วได้รับความร้อนจึงเกิดการหลอมตัว เมื่อแก้วที่หลอมผสมกับดินขาวระนอง ซึ่งดินขาวระนองที่ใช้ในการดำเนินโครงงานมีลักษณะสีครีมปนน้ำตาลอ่อน การเผาส่งผลให้ออกไซด์ที่อยู่ในแก้วมีส่วนเสริมให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีสีเข้มขึ้นในเฉดสีน้ำตาลตามลักษณะเฉดสีของเนื้อดิน นั่นคือกระเบื้องปูพื้นหลังเผามีลักษณะสีน้ำตาล และนอกจากนี้เมื่อเพิ่มปริมาณเศษแก้วสีเขียว พบว่าสีของกระเบื้องปูพื้นหลังเผามีสีที่เข้มขึ้น แต่มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ดินขาวระนองประกอบด้วยแร่เกาลินไนท์ที่มีอินทรีย์สารปนอยู่ในเนื้อดินปริมาณน้อย มีโครงสร้างของผลึกดินเป็นแผ่นบางๆ เรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ เบียดอัดกันแน่นโครงสร้างของผลึกประสานกันแข็งแรงแร่อื่นไม่สามารถที่จะแทรกเข้าไปในโครงสร้างของผลึกได้ ซึ่งทำให้ดินขาวระนองมีความบริสุทธิ์ กระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองที่ได้จึงให้สีที่ไม่แตกต่างกันมากนัก

4.1.1.2 การทดสอบความหนาแน่น

อิทธิพลของอัตราส่วนของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้น ได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 นั่นคือเมื่อนำกระเบื้องปูพื้นไปผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนองที่อัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ตามลำดับ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นหลังเผาเพิ่มขึ้น เนื่องจากในกระบวนการผลิตแก้วนั้นมีการเติมฟลักซ์ หรือออกไซด์ต่างๆ ลงไปเพื่อช่วยลดจุดหลอมตัว ยกตัวอย่างเช่น หินฟันม้า ซึ่งหินฟันม้านี้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญใน

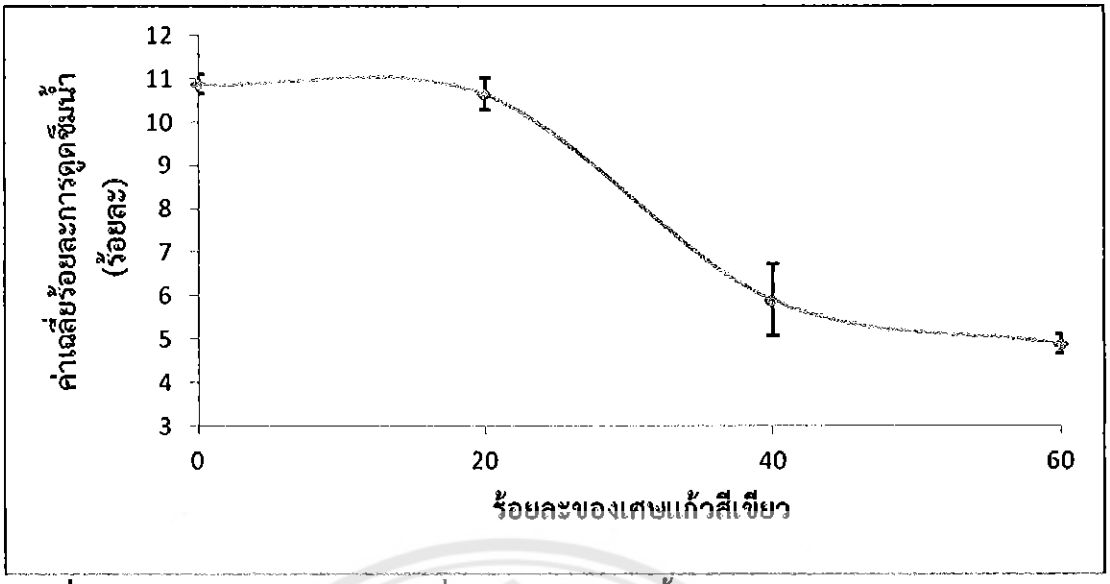
กลุ่มลดอุณหภูมิการหลอมตัว หรือวัตถุดิบช่วยในการหลอมละลายอีกทั้งเป็นวัตถุดิบสำคัญ ที่ใช้เติมในกระบวนการผลิตแก้ว เพื่อลดจุดหลอมละลายในกระบวนการผลิต ดังนั้นแก้วจึงเปรียบเสมือนเป็นตัวเริ่มก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิด Liquid Phase Sintering ในดิน เกิดเฟสที่เป็นของเหลวช่วยในการเผาผนึกขึ้น เป็นตัวประสานให้ผลึกของดินรวมตัวกันแน่น เนื้อดินหลอมเชื่อมเป็นเนื้อเดียวกัน การเพิ่มปริมาณแก้วลงไปในดินนั้นเป็นการเพิ่มวัตถุดิบที่ช่วยให้เกิดการหลอมตัวได้อย่างรวดเร็วจึงเปรียบเสมือนการเติม Liquid Phase Sintering ให้กับเนื้อดิน เนื้อดินจึงเกิดการ Sintering ได้ง่ายทำให้อนุภาคของเนื้อดินทำให้เนื้อดินเกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอดทั่วทั้งชิ้นงาน ส่งผลให้อนุภาคยึดตัวได้แน่นจึงทำให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหนาแน่นกับร้อยละของเศษแก้วสีเขียวผสมกับดินขาวระนอง เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

4.1.1.3 ทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ

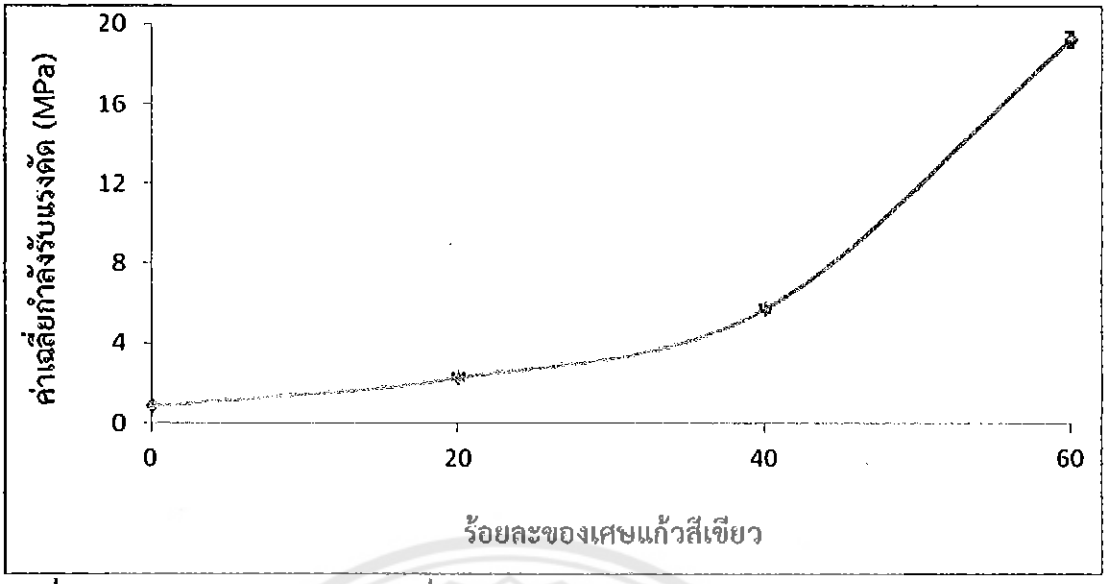
อิทธิพลของอัตราส่วนของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนองที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้น ได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 นั่นคือเมื่อนำกระเบื้องปูพื้นไปผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง สอดคล้องกับการทดสอบที่ 4.1.1.2 ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณเศษแก้วสีเขียวจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลง เหตุผลดังอธิบายไว้ในการทดสอบที่ 4.1.1.2 ดังนั้นการที่กระเบื้องปูพื้นมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเศษแก้วสีเขียว นั้นแสดงถึงปริมาณรูพรุนภายในเนื้อของกระเบื้องปูพื้นที่ลดลง จึงส่งผลให้เมื่อมีการทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำแล้ว พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง เมื่อมีการเพิ่มของเศษแก้วสีเขียว โดยพบว่าที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 และ 60 : 40 ให้ค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก. 37-2529)



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำกับร้อยละของเศษแก้วสีเขียวผสมกับดินขาวระนอง เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

4.1.1.4 การทดสอบกำลังรับแรงดัด

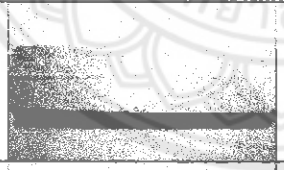
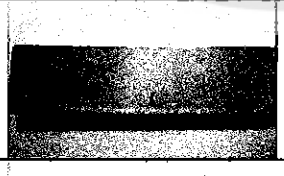
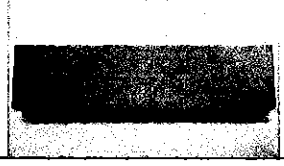
อิทธิพลของอัตราส่วนของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้น ได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.3 นั่นคือเมื่อนำกระเบื้องปูพื้นไปผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดกระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดสอบที่ 4.1.1.2 และ 4.1.1.3 ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณเศษแก้วสีเขียวส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง อีกทั้งสอดคล้องกับการทดลองเรื่อง ผลกระทบของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วเหลือทิ้งที่มีผลต่ออุณหภูมิในการเผา สมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเซรามิก (นายเกษมสันต์ และนายสถาพร, 2553) ที่พบว่าค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเศษแก้วสีชาลงในอัตราส่วนผสมจะช่วยให้เกิด Liquid Phase Sintering ได้ง่าย ส่งผลให้อนุภาคของเนื้อดินยึดติดกันแน่น มีความแข็งแกร่งเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้กระเบื้องหลังเผามีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น โดยพบว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองกับเศษแก้วสีเขียวที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 60 : 40 ให้ค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529)



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดกับร้อยละของเศษแก้วสีเขียวผสมกับดินขาวระนอง เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

4.1.2 อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปาง

ตารางที่ 4.2 สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางหลังเผา ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด หลังเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปาง	สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางหลังเผา	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด (MPa)
0 : 100		1.84	10.63	0.38
20 : 80		1.90	8.87	10.59
40 : 60		2.04	5.04	22.41

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางหลังเผา ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด หลังเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปาง	สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางหลังเผา	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด (MPa)
60 : 40	[redacted]	2.11	3.69	39.95
มาตรฐานอุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529)	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด	ไม่เกินร้อยละ 6	ไม่ต่ำกว่า 25 MPa

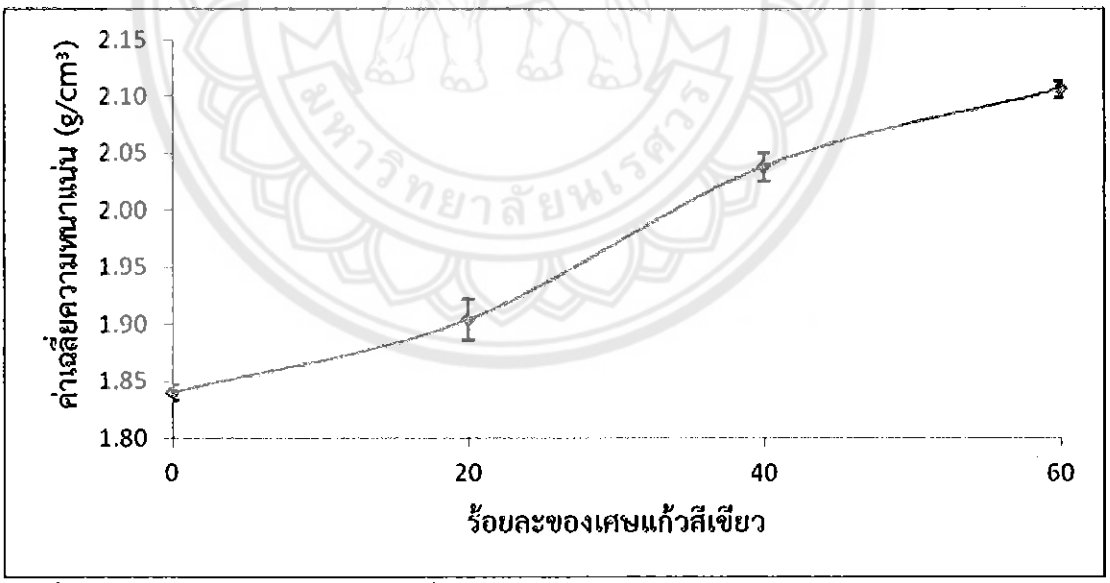
4.1.2.1 สีกระเบื้องปูพื้นหลังเผา

เมื่อนำกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางไปผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส พบว่ากระเบื้องปูพื้นหลังเผามีสีน้ำตาลเข้ม เนื่องจากแก้วที่ใช้เป็นแก้วโซดาไลม์สีเขียว ซึ่งโดยปกติในการผลิตแก้วโซดาไลม์สีเขียวมักจะมีการเติมสีเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีสีสันสวยงาม หรือเพื่อให้ตรงกับวัตถุประสงค์การใช้งานของแก้ว แก้วโซดาไลม์สีเขียวจะถูกเติมด้วยโครเมียมออกไซด์ ทองแดงออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ โดยแก้วมีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิประมาณ 650–700 องศาเซลเซียส เมื่อแก้วได้รับความร้อนจึงเริ่มเกิดการหลอมตัวผสมกับดินขาวลำปาง ซึ่งดินขาวลำปางที่ใช้ในการดำเนินโครงงานมีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม การเผาจึงส่งผลให้ออกไซด์ที่อยู่ในแก้วมีส่วนเสริมให้กระเบื้องมีสีที่เข้มขึ้น และให้สีในเฉดสีน้ำตาลเข้มตามลักษณะสีของเนื้อดิน นั่นคือกระเบื้องปูพื้นมีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม เมื่อเพิ่มปริมาณเศษแก้วสีเขียวพบว่าสีของกระเบื้องปูพื้นหลังเผามีสีที่เข้มขึ้นและมีความแตกต่างกันของสีกระเบื้องมากกว่ากระเบื้องปูพื้นจากดินขาวระนอง เนื่องจากดินขาวลำปางเป็นดินขาวเซอริไซท์มีแร่ไมกาเป็นส่วนประกอบหลักมีแร่เกาลินไนท์ประกอบอยู่เป็นส่วนน้อย หรือเป็นแร่เกาลินไนท์คุณภาพต่ำ มีโครงสร้างแตกต่างจากเกาลินไนท์ของดินขาวระนอง คือผลึกของดินไม่ได้เรียงตัวซ้อนกันด้วยแร่ชนิดเดียวกัน แต่มีผลึกของแร่อื่นเข้ามาแทรกอยู่ในระหว่างผลึก และนอกจากนี้ดินขาวลำปางมีปริมาณอะลูมินาอยู่ในโครงสร้างน้อยกว่าดินขาวระนอง ซึ่งอะลูมินานั้นจะมีอุณหภูมิในการหลอมตัวสูง จึงทำให้ดินขาวลำปางมีจุดหลอมละลายต่ำกว่าดินขาวระนอง ดินขาวลำปางซึ่งมีความบริสุทธิ์น้อย หรือมีอินทรีย์สารปนอยู่ในเนื้อดินมากกว่าดินขาวระนอง และมีสีเข้มกว่าดินขาวระนอง เมื่อนำมาผสมกับเศษแก้วสีเขียว แล้วนำไปผ่านการเผาขึ้นรูป ส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางหลังเผามีสีที่เข้มกว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผา

4.1.2.2 การทดสอบความหนาแน่น

อิทธิพลของอัตราส่วนของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้น ได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.4 นั่นคือเมื่อนำกระเบื้องปูพื้นไปผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของเศษแก้วในดิน

ขาวลำปางต่อเศษแก้วสีเขียวในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ตามลำดับ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นหลังเผาเพิ่มขึ้น เนื่องจากในกระบวนการผลิตแก้วนั้นมีการเติมฟลักซ์ หรือออกไซด์ต่างๆ ลงไปเพื่อช่วยลดจุดหลอมตัว ยกตัวอย่างเช่น หินฟันม้า ซึ่งหินฟันม้านี้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในกลุ่มลดอุณหภูมิการหลอมตัว หรือวัตถุดิบช่วยในการหลอมละลายเป็นวัตถุดิบที่ใช้เติมในกระบวนการผลิตแก้ว เพื่อลดจุดหลอมละลายในกระบวนการผลิต ดังนั้นแก้วจึงเปรียบเสมือนเป็นตัวเริ่มก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิด Liquid Phase Sintering ในดิน เกิดเฟสที่เป็นของเหลวช่วยในการเผาผนึกขึ้น เป็นตัวประสานให้ผลึกของดินรวมตัวกันแน่น เนื้อดินหลอมเชื่อมเป็นเนื้อเดียวกัน การเพิ่มปริมาณแก้วลงไปในดินนั้นเป็นการเพิ่มวัตถุดิบที่ช่วยให้เกิดการหลอมตัวได้อย่างรวดเร็วจึงเปรียบเสมือนการเติม Liquid Phase Sintering ให้กับเนื้อดิน เนื้อดินจึงเกิดการ Sintering ได้ง่ายทำให้อนุภาคของเนื้อดินเกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอดทั่วทั้งชิ้นงาน นอกจากนี้ดินขาวลำปางเป็นดินขาวเซอริไซท์มีแร่ไมกาเป็นส่วนประกอบหลักมีแร่เกาลินไนท์ประกอบอยู่เป็นส่วนน้อย หรือเป็นแร่เกาลินไนท์คุณภาพต่ำ มีโครงสร้างแตกต่างจากเกาลินไนท์ของดินขาวระนอง คือผลึกของดินไม่ได้เรียงตัวซ้อนกันด้วยแร่ชนิดเดียวกัน แต่มีผลึกของแร่อื่นเข้ามาแทรกอยู่ในระหว่างผลึก และดินขาวลำปางมีปริมาณอะลูมินาอยู่ในโครงสร้างน้อยกว่าดินขาวระนอง ซึ่งอะลูมินานั้นจะมีอุณหภูมิในการหลอมตัวสูง จึงทำให้ดินขาวลำปางมีจุดหลอมละลายต่ำกว่าดินขาวระนอง ทั้งนี้ดินขาวลำปางมีปริมาณหินฟันม้ามากกว่าดินขาวระนอง ซึ่งการมีปริมาณหินฟันม้าอยู่สูงจะส่งผลให้ช่วยลดจุดหลอมตัวได้ดี และช่วยให้เกิด Liquid Phase Sintering และเกิด Neck Growth ได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้อนุภาคยึดตัวได้แน่นจึงทำให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น

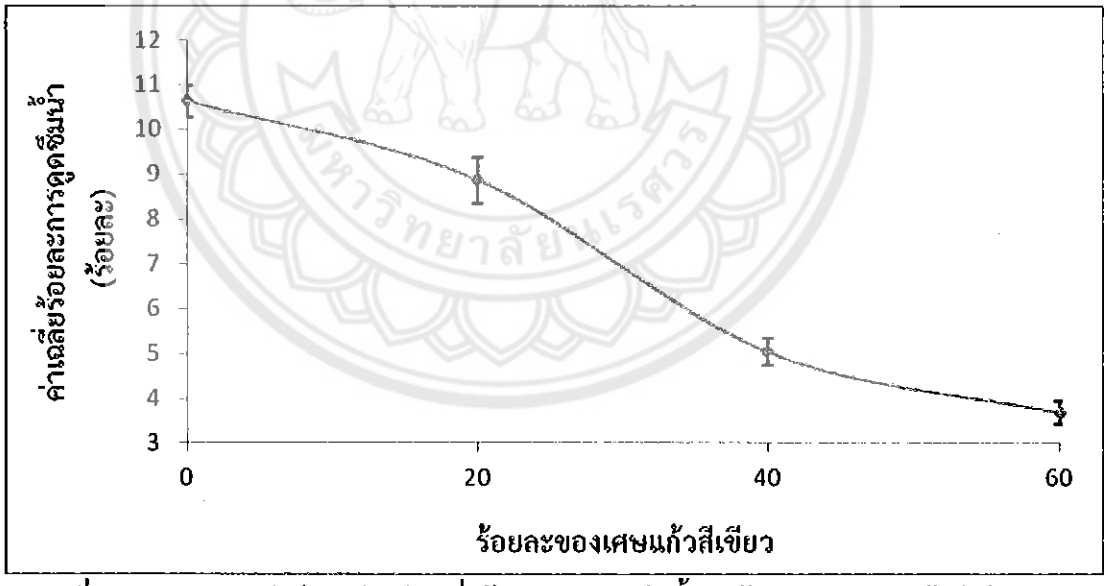


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหนาแน่นกับร้อยละของเศษแก้วสีเขียวผสมกับดินขาวลำปาง เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

4.1.2.3 การทดสอบร้อยการดูดซึมน้ำ

อิทธิพลของอัตราส่วนของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปางที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้น ได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.5 นั่นคือเมื่อนำกระเบื้องปูพื้นไปผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่า

ลดลง สอดคล้องกับการทดสอบที่ 4.1.2.2 ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณเศษแก้วสีเขียวจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น เหตุผลดังได้อธิบายไว้ในการทดสอบที่ 4.1.2.2 ดังนั้น การที่กระเบื้องปูพื้นมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเศษแก้วสีเขียว นั่นแสดงถึงปริมาณรูพรุนที่ลดลงภายในเนื้อกระเบื้องปูพื้น จึงส่งผลให้เมื่อทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำแล้วพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเศษแก้วสีเขียว นอกจากนี้ยังพบว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางมีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง ทั้งนี้เนื่องจากกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางมีปริมาณหินฟันม้ามากกว่าดินขาวระนอง อีกทั้งดินลำปางเป็นดินขาวเซอริไซต์ที่มีแร่ไมกาเป็นส่วนประกอบหลักมีแร่เกาลินไนท์ประกอบอยู่เป็นส่วนน้อย หรือเป็นแร่เกาลินไนท์คุณภาพต่ำ อีกทั้งมีผลึกของแร่อื่นเข้ามาแทรกอยู่ระหว่างผลึก และดินขาวลำปางมีปริมาณอะลูมินาอยู่ในโครงสร้างน้อยกว่าดินขาวระนอง ซึ่งอะลูมินานั้นจะมีอุณหภูมิในการหลอมตัวสูง จึงทำให้ดินขาวลำปางมีจุดหลอมละลายต่ำกว่าดินขาวระนอง ดังนั้นจึงส่งผลให้เมื่อมีการเผากระเบื้องปูพื้นที่อุณหภูมิเดียวกัน พบว่ากระเบื้องดินขาวลำปาง จะมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นที่สูงกว่าดินขาวระนอง จึงส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำกว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองนั่นเอง โดยพบว่าที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 และ 60 : 40 ให้ค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองแล้วพบว่าที่อัตราส่วนผสมที่ให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) เท่ากับ 40 : 60 และ 60 : 40 เหมือนกับกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปาง

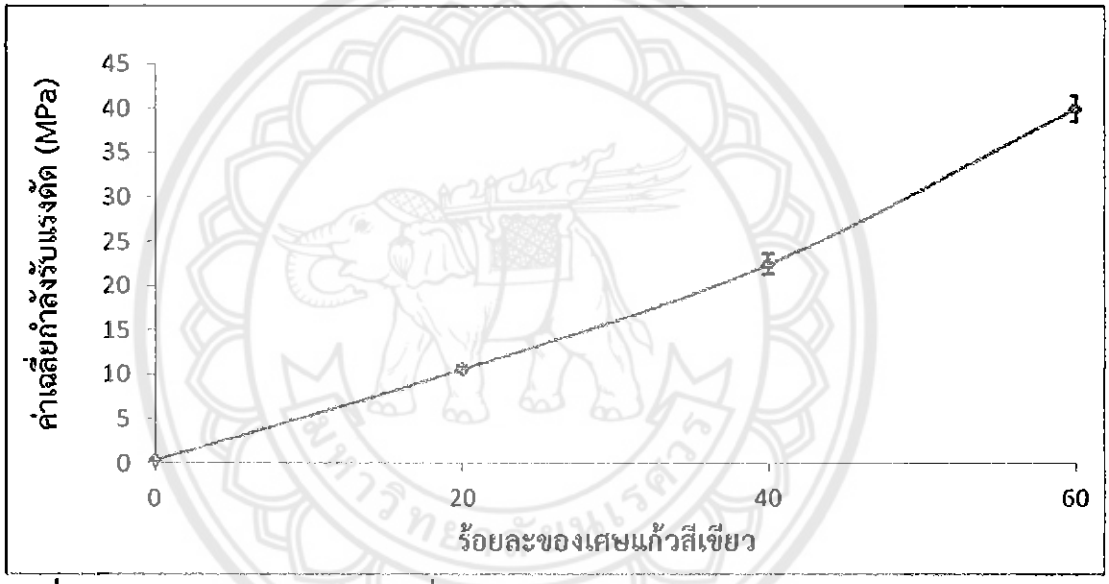


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำกับร้อยละของเศษแก้วสีเขียวผสมกับดินขาวลำปาง เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

4.1.2.4 การทดสอบกำลังรับแรงดัด

อิทธิพลของอัตราส่วนของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้น ได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.5 นั่นคือเมื่อนำกระเบื้องปูพื้นไปผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางกับค่าเฉลี่ย

กำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง พบว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางจะให้ค่าที่สูงกว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง ที่สอดคล้องกับการทดสอบที่ 4.1.2.2 และ 4.1.2.3 ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณเศษแก้วสีเขียวจะส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และมีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง โดยค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางมีค่าสูงกว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง ส่งผลให้เมื่อทดสอบค่ากำลังรับแรงดัด พบว่าค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางมีค่ามากกว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง โดยพบว่าที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 60 : 40 ให้ค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองแล้วพบว่าที่อัตราส่วนผสมที่ให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) เท่ากับ 60 : 40 เหมือนกับกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปาง จะเห็นว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางมีความแข็งแกร่งมากกว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง



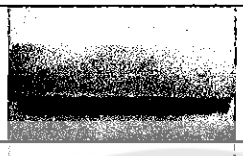
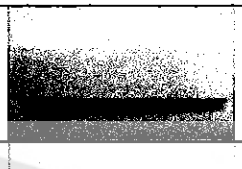
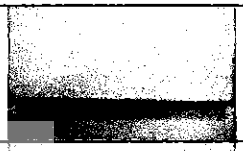
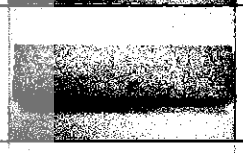
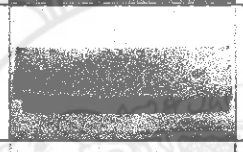
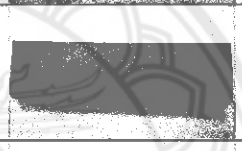
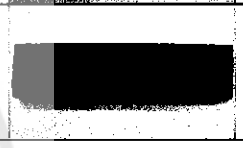
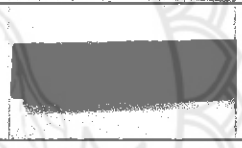
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดกับร้อยละของเศษแก้วสีเขียวผสมกับดินขาวลำปาง เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

4.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเผาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้น

การศึกษาผลของอุณหภูมิในการเผาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกล โดยใช้เศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนอง และเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปาง แปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนองในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ตามลำดับ และแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปางในอัตราส่วน 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ตามลำดับ ใช้อุณหภูมิในการเผาขึ้นรูปที่ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และพิจารณาค่าที่เหมาะสมจากการทดสอบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) ได้แก่ สีของกระเบื้องหลังเผา ค่าความหนาแน่น ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่ากำลังรับแรงดัด

4.2.1 ผลของอุณหภูมิในการเผาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่ผลิตจากเศษแก้วสีเขียวกับดินขาวระนอง

ตารางที่ 4.3 สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนอง	อุณหภูมิในการเผา (°C)		
	1,000	1,100	1,200
0 : 100			
20 : 80			
40 : 60			
60 : 40			-

4.2.1.1 สีกระเบื้องปูพื้นหลังเผา

สีกระเบื้องปูพื้นหลังเผา ได้แสดงผลดังตารางที่ 4.3 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนองเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ตามลำดับ นำไปเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส พบว่าการเพิ่มของอุณหภูมิ ส่งผลให้สีของกระเบื้องปูพื้นหลังเผามีสีน้ำตาล เนื่องจากแก้วที่ใช้เป็นแก้วโซดาไลม์สีเขียว ซึ่งโดยปกติในการผลิตแก้วโซดาไลม์นี้มักจะมีการเติมสีเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีสีสันที่สวยงาม หรือเพื่อตรงกับวัตถุประสงค์การใช้งานของแก้ว แก้วโซดาไลม์สีเขียวจึงถูกเติมด้วยออกไซด์ของโครเมียม ทองแดงออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ เมื่อแก้วหลอมผสมกับดินขาวระนอง ซึ่งดินขาวระนองที่ใช้ในการดำเนินโครงการมีสีครีมปนน้ำตาลอ่อน เมื่อนำไปผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นจึงส่งผลให้ออกไซด์ที่อยู่ในแก้วมีส่วนเสริมให้กระเบื้องมีสีที่เข้มขึ้น และนอกจากนี้ดินขาวระนองยังประกอบด้วยแร่เกาลินไนท์ที่มีอินทรีย์สารปนอยู่ในเนื้อดินปริมาณน้อย ซึ่งทำให้เนื้อดินมีความบริสุทธิ์ และมีความขาว เมื่อนำไปผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง สีของกระเบื้องปูพื้นหลังเผาที่ได้จึงให้สีที่ไม่แตกต่างกันมากนัก

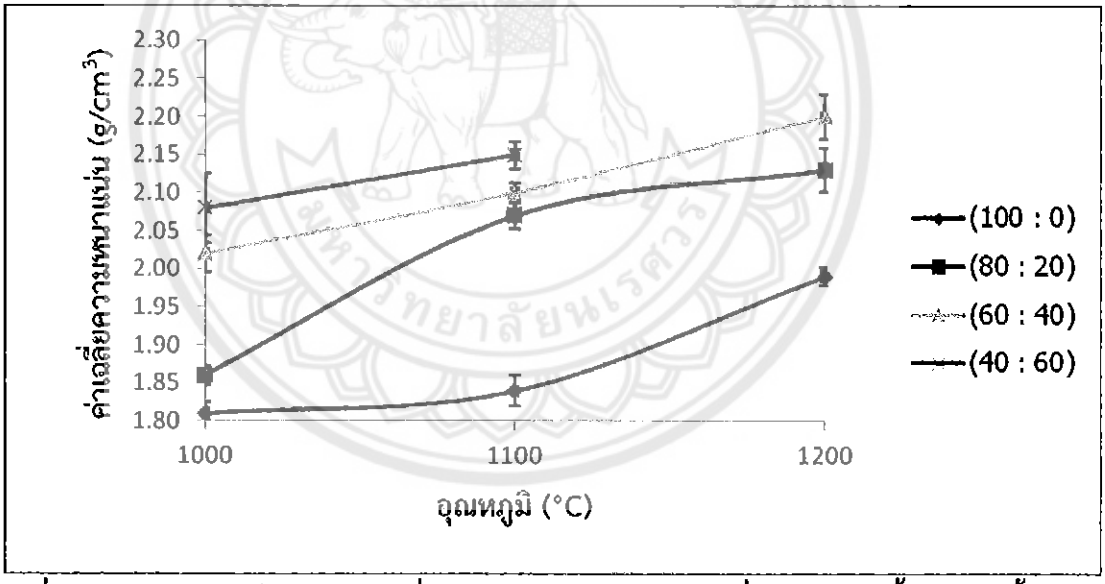
4.2.1.2 การทดสอบความหนาแน่น

ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ได้แสดงผลดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.7 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนองเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 60 : 40 และ 40 : 60 ตามลำดับ แล้วนำกระเบื้องปูพื้นไปผ่านการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากกระเบื้องปูพื้นประกอบด้วยเศษแก้วสีเขียว และดินขาวระนอง ดังนั้นการ

เพิ่มอุณหภูมิในการเผากระเบื้องปูพื้นเปรียบเสมือนการเร่งให้เกิด Liquid Phase Sintering นั่นคือ การเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้เศษแก้วสีเขียว และดินขาวระนองหลอมได้ดีขึ้น ทำให้เนื้อดินเกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอด ส่งผลให้อนุภาคของเนื้อดินเกิดการหดตัวติดกันได้ง่ายกระเบื้องปูพื้นที่เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมเท่ากับ 60 : 40 กระเบื้อง ปูพื้นหลังเผาเกิดการหลอมติดกันทุกชิ้น ไม่สามารถนำมาทดสอบหาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นได้

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนอง	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (g/cm^3)		
	1000 °C	1100 °C	1200 °C
0 : 100	1.81	1.84	1.99
20 : 80	1.86	2.07	2.13
40 : 60	2.02	2.10	2.20
60 : 40	2.08	2.15	-
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529)	ไม่กำหนด		



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหนาแน่นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง

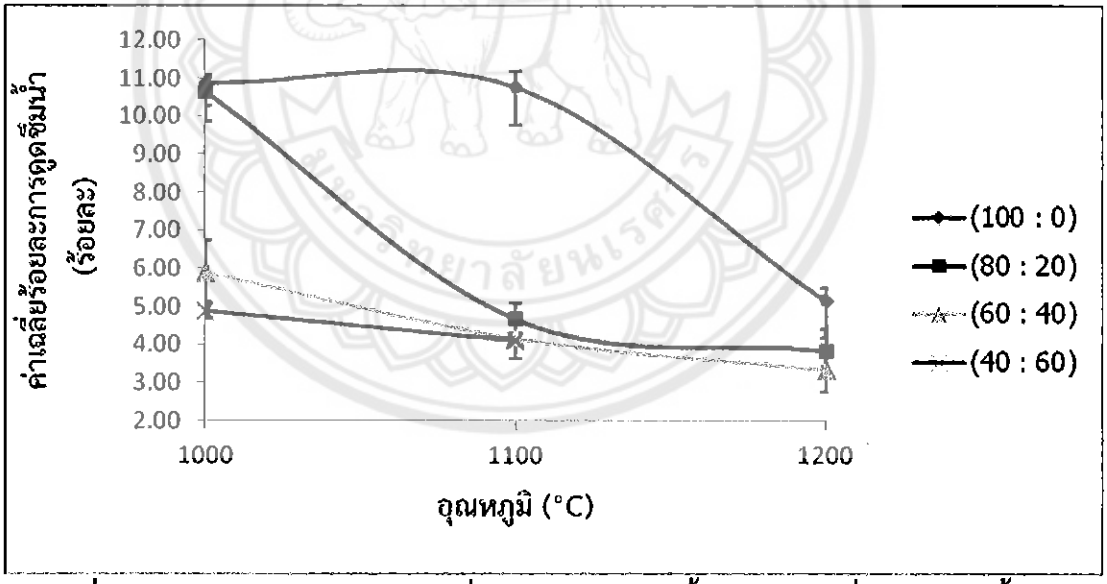
4.2.1.3 การทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ

ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ได้แสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.8 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนองเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ตามลำดับ แล้วนำกระเบื้องปูพื้นไปผ่านการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบที่ 4.2.1.2 ที่พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผา ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้รูพรุนภายในชิ้นงานลดลง จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง โดยที่

อุณหภูมิในการเผา 1,000 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60, 60 : 40 ที่อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ที่อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80 และ 40 : 60 ให้ค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) และพบว่ากระเบื้องปูพื้นที่เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมเท่ากับ 60 : 40 กระเบื้องปูพื้นหลังเผาเกิดการหลอมติดกันทุกชิ้น ไม่สามารถนำมาทดสอบหาค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำได้

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนอง	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ		
	1000 °C	1100 °C	1200 °C
0 : 100	10.87	10.77	5.82
20 : 80	10.64	4.68	3.85
40 : 60	5.90	4.16	3.32
60 : 40	4.89	4.12	-
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529)	ไม่เกินร้อยละ 6		



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง

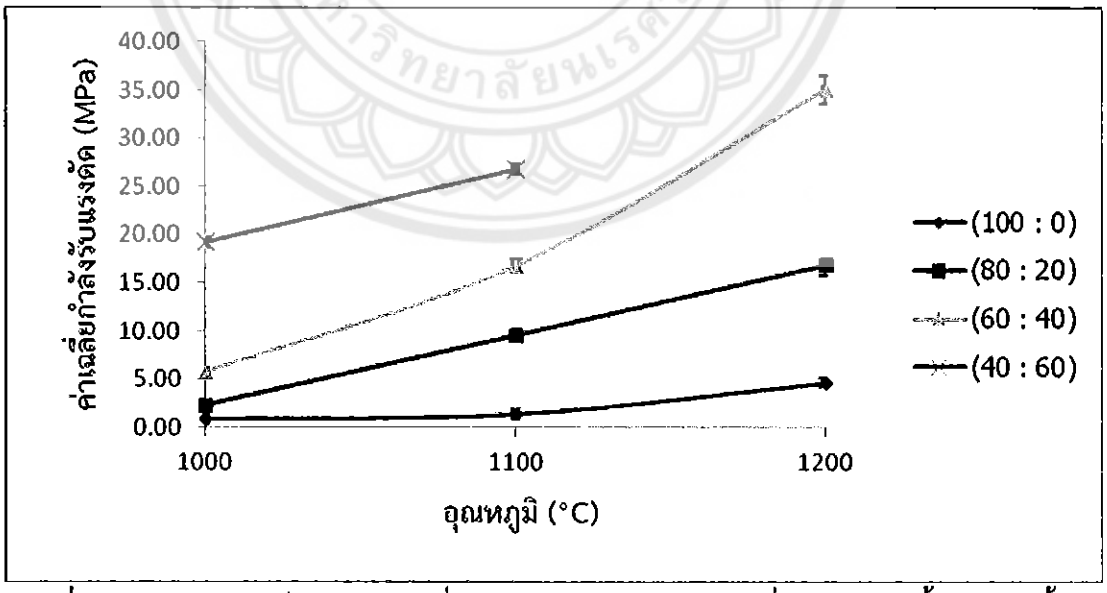
4.2.1.4 การทดสอบกำลังรับแรงดัด

ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด ได้แสดงดังตารางที่ 4.6 รูปที่ 4.9 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนองเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ตามลำดับ แล้วนำกระเบื้องปูพื้นไปผ่านการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดมีค่าเพิ่มมากขึ้น

สอดคล้องกับการทดสอบที่ 4.2.1.2 และ 4.2.1.3 ที่พบว่าการเพิ่มของอุณหภูมิส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในการเผา ทำให้เกิด Liquid Phase Sintering ได้ง่าย ส่งผลให้อนุภาคของเนื้อดินเกิดการหดตัวติดกันได้มากขึ้น อนุภาคของเนื้อดินยึดตัวกันได้แน่น มีช่องว่างระหว่างเนื้อดินน้อยลง จึงทำให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น โดยที่อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมเท่ากับ 60 : 40 และที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 ให้ค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) จึงทำให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดมีค่าเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่กระเบื้องที่เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมเท่ากับ 60 : 40 กระเบื้องหลังเผาเกิดการหลอมติดกันทุกชิ้น ไม่สามารถนำมาทดสอบหาค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดได้

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

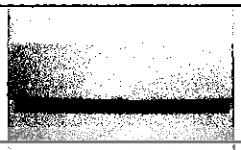
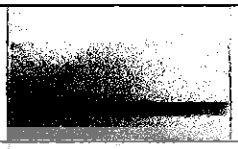
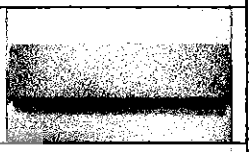
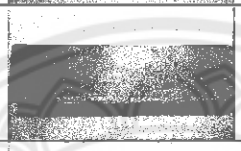
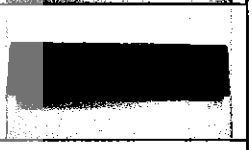
อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนอง	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด (MPa)		
	1,000 °C	1,100 °C	1,200 °C
0 : 100	0.90	1.42	4.67
20 : 80	2.31	9.56	16.83
40 : 60	5.75	16.75	35.00
60 : 40	19.24	26.82	-
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529)	ไม่น้อยกว่า 25 เมกะปาสคาล		



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง

4.2.2 ผลของอุณหภูมิในการเผาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่ผลิตจากเศษแก้วสีเขียวกับดินขาวลำปาง

ตารางที่ 4.7 สีของกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางหลังเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปาง	อุณหภูมิในการเผา (°C)		
	1,000	1,100	1,200
0 : 100			
20 : 80			
40 : 60			-
60 : 40		-	-

4.2.2.1 สีกระเบื้องปูพื้นหลังเผา

สีกระเบื้องหลังเผา ได้แสดงผลดังตารางที่ 4.7 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปางเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ตามลำดับ เมื่อนำไปเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส พบว่าการเพิ่มของอุณหภูมิส่งผลให้สีของกระเบื้องปูพื้นหลังเผามีสีน้ำตาลเข้ม เนื่องจากแก้วที่ใช้เป็นแก้วโซดาไลม์สีเขียว ซึ่งโดยปกติในการผลิตแก้วโซดาไลม์นี้มักจะมีการเติมสีเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีสีสันที่สวยงาม หรือเพื่อตรงกับวัตถุประสงค์การใช้งานของแก้ว แก้วโซดาไลม์สีเขียวจึงถูกเติมด้วยออกไซด์ของโครเมียม ทองแดงออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ เมื่อแก้วหลอมผสมกับดินขาวลำปาง ซึ่งดินขาวลำปางที่ใช้ในการดำเนินโครงงานมีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม เมื่อนำไปผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นจึงส่งผลให้ออกไซด์ที่อยู่ในแก้วมีส่วนเสริมให้กระเบื้องมีสีน้ำตาลเข้ม และนอกจากนี้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผายังพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางมีสีที่เข้มขึ้น และสีของกระเบื้องมีความแตกต่างกันมากกว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง เนื่องจากดินขาวลำปางเป็นดินขาวเซอริไซท์มีแร่ไมกาเป็นส่วนประกอบหลักมีแร่เกาลินไนท์ประกอบอยู่เป็นส่วนน้อย หรือแร่เกาลินไนท์คุณภาพต่ำ มีโครงสร้างแตกต่างจากเกาลินไนท์ของดินขาวระนอง คือผลึกของดินไม่ได้เรียงตัวซ้อนกันด้วยแร่ชนิดเดียวกัน แต่มีผลึกของแร่อื่นเข้ามาแทรกอยู่ในระหว่างผลึก และนอกจากนี้ดินขาวลำปางมีปริมาณอะลูมินาอยู่ในโครงสร้างน้อยกว่าดินขาวระนอง ซึ่งอะลูมินานั้น จะมีอุณหภูมิในการหลอมตัวสูง จึงทำให้ดินขาวลำปางมีจุดหลอมละลายต่ำกว่าดินขาวระนอง ส่งผลทำให้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นกระเบื้อง

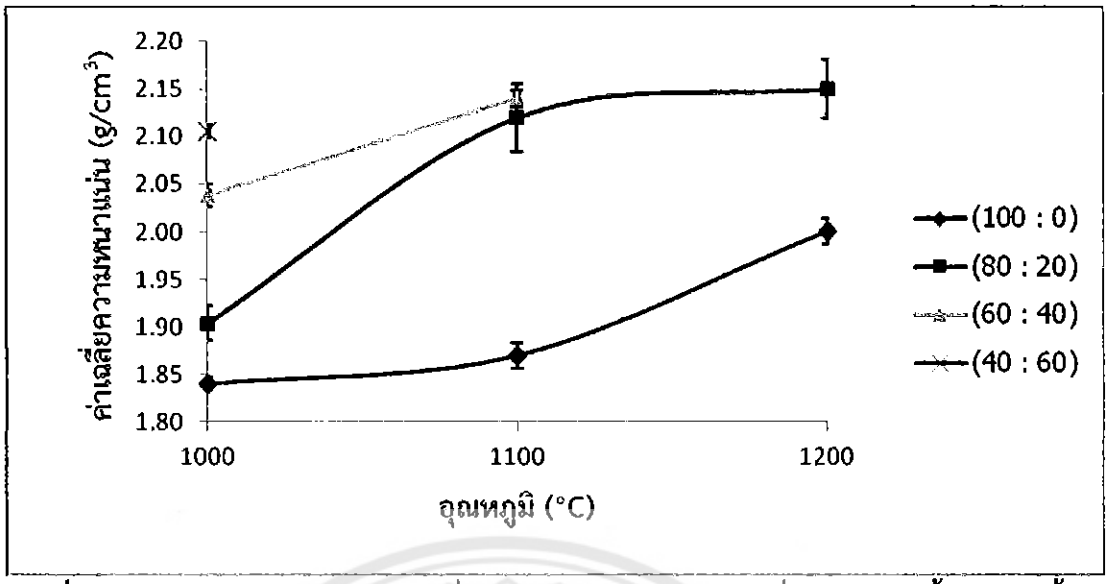
ปูพื้นหลังเผาที่ผลิตจากดินขาวลำปางมีสีที่เข้ม และมีความแตกต่างกันมากกว่ากระเบื้องปูพื้นที่ผลิตจากดินขาวระนอง

4.2.2.2 การทดสอบความหนาแน่น

ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ได้แสดงผลดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.10 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปางเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ตามลำดับ แล้วนำกระเบื้องปูพื้นไปผ่านการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าค่าเฉลี่ยความหนาแน่นหลังเผาเพิ่มขึ้น เนื่องจากดินขาวลำปางเป็นดินขาวเซอริไซท์มีแร่ไมกาเป็นส่วนประกอบหลักมีแร่เกาลินไนท์ประกอบอยู่เป็นส่วนน้อย หรือเป็นแร่เกาลินไนท์คุณภาพต่ำ มีโครงสร้างแตกต่างจากเกาลินไนท์ของดินขาวระนอง คือผลึกของดินไม่ได้เรียงตัวซ้อนกันด้วยแร่ชนิดเดียวกัน แต่มีผลึกของแร่อื่นเข้ามาแทรกอยู่ในระหว่างผลึก และนอกจากนี้ดินขาวลำปางมีปริมาณอะลูมินาอยู่ในโครงสร้างน้อยกว่าดินขาวระนอง ซึ่งอะลูมินานั้นจะมีอุณหภูมิในการหลอมตัวสูง จึงทำให้ดินขาวลำปางมีจุดหลอมละลายต่ำกว่าดินขาวระนอง ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิในการเผากระเบื้องปูพื้นจะเร่งการเกิด Liquid Phase Sintering ได้ง่ายทำให้เนื้อดินเกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอด ส่งผลให้อนุภาคของเนื้อดินเกิดการหดตัวติดกันได้ง่าย ส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นมากกว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง ในขณะที่กระเบื้องปูพื้นที่เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 60 : 40 และที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 และ 60 : 40 กระเบื้องปูพื้นหลังเผาเกิดการหลอมติดกันทุกชิ้น ไม่สามารถนำมาทดสอบหาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นได้ เนื่องจากดินขาวลำปางมีจุดหลอมละลายต่ำกว่าดินขาวระนอง ทำให้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาดินขาวลำปางจะเกิดความร้อนสะสมบริเวณคอคอดมากขึ้นส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางหลังเผาเกิดการหลอมได้ง่ายกว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปาง	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (g/cm^3)		
	1000 °C	1100 °C	1200 °C
0 : 100	1.84	1.87	2.00
20 : 80	1.90	2.12	2.15
40 : 60	2.04	2.14	-
60 : 40	2.11	-	-
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529)	ไม่กำหนด		



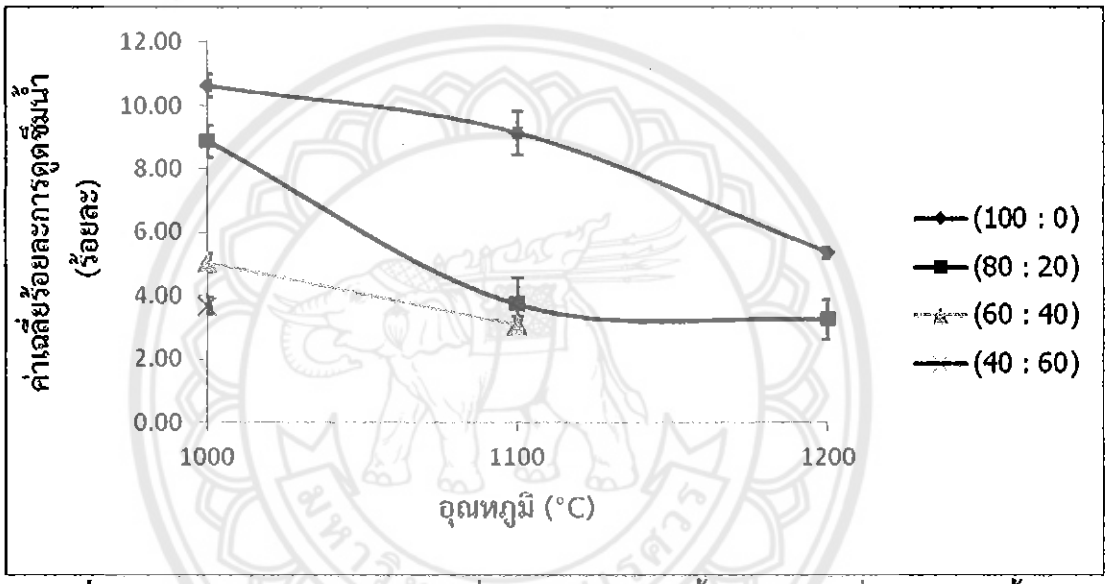
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหนาแน่นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปาง

4.2.2.3 การทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ

ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ได้แสดงผลดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.11 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปางเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ตามลำดับ แล้วนำกระเบื้องปูพื้นไปผ่านการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบที่ 4.2.2.2 ที่พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้รูพรุนภายในชิ้นงานลดลง จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง โดยที่อุณหภูมิในการเผา 1,000 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ที่อุณหภูมิในการเผา 1,100 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 40 : 60 ที่อุณหภูมิในการเผา 1,200 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมเท่ากับ 0 : 100 และ 20 : 80 ให้ค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) และเมื่อเปรียบเทียบกับกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองแล้วพบว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางมีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำน้อยกว่า ในขณะที่กระเบื้องปูพื้นเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมเท่ากับ 60 : 40 และที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 และ 60 : 40 กระเบื้องปูพื้นหลังเผาเกิดการหลอมติดกันทุกชิ้น ไม่สามารถนำมาทดสอบหาค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำได้ เนื่องจากดินขาวลำปางเป็นดินขาวเซอริไซท์มีแร่ไมกาเป็นส่วนประกอบหลักมีแร่เกาลินไนท์ประกอบอยู่เป็นส่วนน้อย หรือเป็นแร่เกาลินไนท์คุณภาพต่ำ มีโครงสร้างแตกต่างจากเกาลินไนท์ของดินขาวระนอง คือผลึกของดินไม่ได้เรียงตัวซ้อนกันด้วยแร่ชนิดเดียวกัน แต่มีผลึกของแร่อื่นเข้ามาแทรกอยู่ในระหว่างผลึก และนอกจากนี้ดินขาวลำปางมีปริมาณอะลูมินาอยู่ในโครงสร้างน้อยกว่าดินขาวระนอง ซึ่งอะลูมินานั้นจะมีอุณหภูมิในการหลอมตัวสูง จึงทำให้ดินขาวลำปางมีจุดหลอมละลายต่ำกว่าดินขาวระนองทำให้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาดินขาวลำปางจะเกิดความร้อนสะสมบริเวณคอคอดมากขึ้น ส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางหลังเผาเกิดการหลอมได้ง่ายกว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปาง	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ		
	1000 °C	1100 °C	1200 °C
0 : 100	10.63	9.13	5.35
20 : 80	8.87	3.73	3.25
40 : 60	5.04	3.07	-
60 : 40	3.69	-	-
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529)	ไม่เกินร้อยละ 6		



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปาง

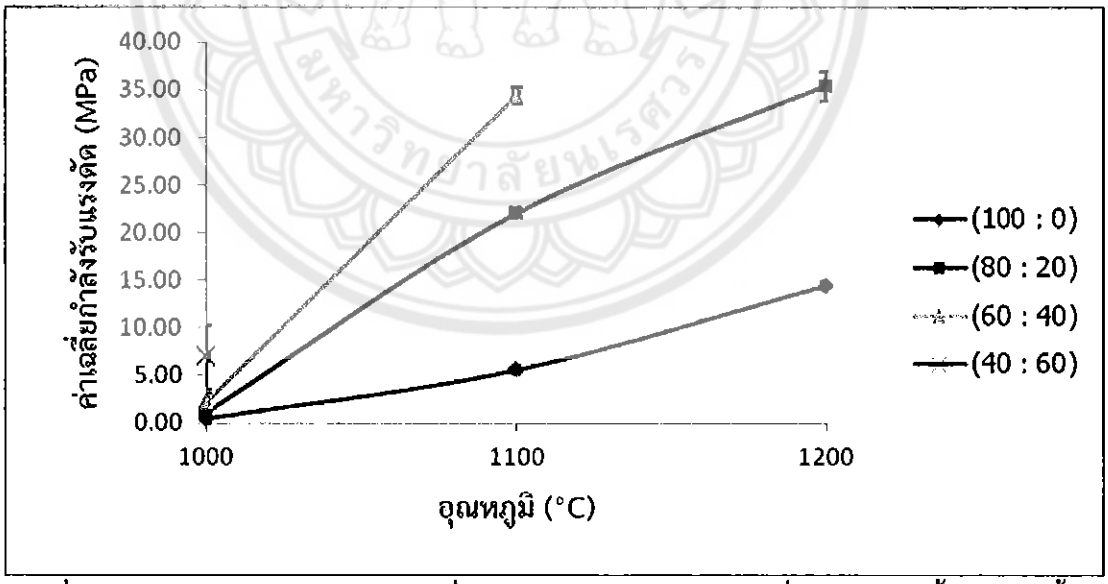
4.2.2.4 การทดสอบกำลังรับแรงดัด

ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด ได้แสดงผลดังตารางที่ 4.10 รูปที่ 4.12 เมื่อแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปางเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ตามลำดับ แล้วนำกระเบื้องปูพื้นไปผ่านการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผา ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในการเผา ทำให้เกิด Liquid Phase Sintering ได้ง่าย ส่งผลให้อนุภาคของเนื้อดินเกิดการหดตัวติดกันได้มากขึ้น อนุภาคของเนื้อดินยึดตัวกันได้แน่น มีช่องว่างระหว่างเนื้อดินน้อยลง จึงทำให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น ซึ่งผลจากการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความหนาแน่น และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผา ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลงจึงทำให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดมีค่าเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองพบว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางมีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดมากกว่า สอดคล้องกับการทดสอบ

ที่ 4.2.2.2 และ 4.2.2.3 ที่พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสูงกว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองดังเหตุผลที่ได้กล่าวมา นอกจากนี้พบว่าที่อุณหภูมิในการเผา 1,000 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมเท่ากับ 60 : 40 ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 และที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80 ให้ค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) ในขณะที่อุณหภูมิ 1,100 ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 60 : 40 ที่อุณหภูมิ 1,200 ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 และ 60 : 40 กระเบื้องปูพื้นหลังเผาเกิดการหลอมติดกันทุกชิ้น ไม่สามารถนำมาทดสอบหาค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดได้

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปาง	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัด (MPa)		
	1,000 °C	1,100 °C	1,200 °C
0 : 100	0.38	5.56	14.43
20 : 80	10.59	22.00	35.42
40 : 60	22.41	34.39	-
60 : 40	39.95	-	-
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529)	ไม่น้อยกว่า 25 เมกะปาสคาล		



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปาง

บทที่ 5
บทสรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวผสมกับดินขาวระนอง และดินขาวลำปาง อุณหภูมิในการเผามีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องปูพื้น และอัตราส่วนที่เหมาะสมของเศษแก้วสีเขียวผสมกับดินขาวระนอง และดินขาวลำปาง ที่สามารถช่วยลดอุณหภูมิในการเผากระเบื้องปูพื้น สามารถวิเคราะห์และสรุปผลในเรื่องสมบัติทางกายภาพ และทางกล ได้แก่ สีของกระเบื้องหลังเผา ค่าความหนาแน่น ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่ากำลังรับแรงดัด ได้ดังนี้

5.1.1 อัตราส่วนของเศษแก้วกับดินขาวระนอง และดินขาวลำปาง และอุณหภูมิในการเผาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องปูพื้น

การเพิ่มอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง และดินขาวลำปาง รวมถึงอุณหภูมิในการเผาที่สูงขึ้น ส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง และค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น โดยพบว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่น และมีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดสูงกว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง แต่ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่ากระเบื้องปูพื้นดินขาวระนอง นอกจากนี้การเพิ่มอัตราส่วนผสมของเศษแก้ว และการเพิ่มอุณหภูมิในการเผายังส่งผลให้กระเบื้องปูพื้นหลังเผามีสีเข้มขึ้น โดยกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางจะให้สีที่เข้มขึ้นในเฉดสีน้ำตาลเข้ม และกระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองจะให้สีที่เข้มขึ้นในเฉดสีน้ำตาล

5.1.2 อัตราส่วนที่เหมาะสมของเศษแก้วในดินขาวระนอง และดินขาวลำปาง ที่สามารถลดอุณหภูมิในการเผากระเบื้องปูพื้น

อัตราส่วนที่เหมาะสมของเศษแก้วสีเขียวผสมกับดินขาว ได้แก่ กระเบื้องปูพื้นดินขาวระนองที่อัตราส่วนผสมเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนองเท่ากับ 60 : 40 ที่อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 ที่อุณหภูมิการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดเท่ากับ 26.82 และ 35.00 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) และที่อัตราส่วนผสมเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวระนองเท่ากับ 40 : 60 และ 60 : 40 ที่อุณหภูมิการเผา 1,000 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 40 : 60 และ 60 : 40 ที่อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60 ที่อุณหภูมิการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 5.90, 4.89, 4.68, 4.16, 4.12, 5.82, 3.85 และ 3.32 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก. 37-2529) และกระเบื้องปูพื้นดินขาวลำปางที่อัตราส่วนผสมเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปางเท่ากับ 60 : 40 ที่อุณหภูมิการเผา 1,000 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 40 : 60 ที่อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส และที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80 ที่อุณหภูมิการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ให้ค่าค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดเท่ากับ 26.82, 34.39 และ 35.42 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ซึ่งให้

ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) และที่อัตราส่วนผสมเศษแก้วสีเขียวต่อดินขาวลำปางเท่ากับ 40 : 60 และ 60 : 40 ที่อุณหภูมิการเผา 1,000 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80 และ 40 : 60 ที่อุณหภูมิการเผา 1,100 องศาเซลเซียส และที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 0 : 100 และ 20 : 80 ที่อุณหภูมิการเผา 1,200 องศาเซลเซียส ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 5.04, 3.69, 3.73, 3.07, 5.35, และ 3.25 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) จากผลดังกล่าวทำให้ทราบถึง อัตราส่วนที่เหมาะสมของเศษแก้วในดินขาวระนอง และดินขาวลำปาง และ สามารถใช้เศษแก้วสีเขียวมาเป็นส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องปูพื้นเพื่อลดอุณหภูมิในการเผาขึ้นรูปได้

5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา

5.2.1 ปรับเปลี่ยนไปใช้แก้วชนิดอื่นๆ หรือของเสียชนิดอื่นๆ เพื่อลดปริมาณของเสียที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

5.2.2 นำเศษแก้วที่เหลือทิ้งมาเป็นส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องปูพื้นในอุตสาหกรรมผลิตกระเบื้องในปัจจุบัน เพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุนในการผลิตกระเบื้องปูพื้น

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา

5.3.1 ในขั้นตอนการบดแก้ว และบดดิน เกิดการฟุ้งกระจายของเศษแก้ว และดิน ส่งผลให้เกิดการระคายเคืองตา ผิวหนัง และเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ ดังนั้นจึงควรสวมแว่น และผ้าปิดจมูก

5.3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือในห้องปฏิบัติการไม่เพียงพอต่อความต้องการทำให้เกิดความล้าช้าในการปฏิบัติงาน และเครื่องมือบางชนิดไม่มี ทำให้ต้องไปขอใช้เครื่องมือจากห้องอื่น

5.3.3 เกิดความล้าช้าในการปฏิบัติงาน เนื่องจากต้องใช้เวลาในการหาวัตถุดิบ และการส่งวัตถุดิบเพราะแหล่งวัตถุดิบอยู่ไกล

เอกสารอ้างอิง

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

คชินท์ สายอินทวงศ์. (2551). **แนวทางในการเลือกใช้งานกระเบื้องเซรามิก และแนวทางในการเลือกใช้งานกระเบื้องเซรามิก.** สืบค้นเมื่อวันที่ 19 กรกฎาคม 2554, จาก http://www.thaiceramicsociety.com/pd_tile_way1.php

บริการข้อมูลวิทยาศาตร์ และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว. (2539). **สมบัติของวัสดุแก้ว.** สืบค้นเมื่อวันที่ 19 กรกฎาคม 2554, จาก http://www2.mtec.or.th/th/research/GSAT/glassweb/property.html

ปาณิศรา ชูผล มทศ. (2551). หินฟันม้า สืบค้นเมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 2554, จาก http://www.phuketdata.net/main/index.php?option=com_content&task=view&id=234&Itemid=2

ปาร์ย อรรถพิสาล. (2548). **การพัฒนาคุณภาพของกระเบื้องเซรามิกที่ผลิตจากของเสียที่เป็นแก้ว.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2532). **เซรามิก.** ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, ชดชนก อัฑฒพงศ์, อลิสา วิเชียรเจริญ และอัจฉราภรณ์ พรมบุตร. (2548). **การใช้ของเสียที่เป็นแก้วทดแทนแร่เฟลด์สปาร์ในการผลิตกระเบื้องเซรามิก.** วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย 20, 1.

ไพรจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2541). **เนื้อดินเซรามิก.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

ภัทรวรรณ เฉยเจริญ. (2553). **การใช้เศษแก้วและกากตะกอนเคลือบฟริตเป็นตัวช่วยหลอมในการผลิตกระเบื้องเซรามิก.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน และสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (2552). **องค์ประกอบทางเคมีของแก้ว.** สืบค้นเมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 2554, จาก http://www.mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/BOY/Rowmat.HTM

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

ศุภเอก ประมูลมาก, อนินท์ มีมนต์ และสมศักดิ อิทธิโสภณกุล. (2554). **การศึกษากระบวนการใช้เศษแก้วรีไซเคิลผลิตแผ่นแก้วสีตกแต่งผนังภายในอาคาร.** การพัฒนาทดลอง, วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ และการสื่อสารสานักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ และกรมศุลกากร. (2553). **อุตสาหกรรมเซรามิกของประเทศไทย.** สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2554, จาก www.ie.eng.chula.ac.th/academics/course/2104328/assignments/01.../07.pd..

อนุชา วรรณก้อน. (2551). **การผลิต และปรับปรุงคุณสมบัติต้นแบบกระเบื้องมวลเบาจากเศษแก้ว.** สืบค้นเมื่อวันที่ 15 สิงหาคม 2554, จาก http://www.mtec.or.th

อัญชลี มโนนุกุล และลดาวรรณ โชติรัตน์. (พฤษภาคม – สิงหาคม 2552). **กระบวนการฉีดขึ้นรูปเซรามิกส์.** วารสารเซรามิกส์ ปีที่ 13 ฉบับที่ 31 พฤษภาคม - สิงหาคม 2552

be2hand. (2552). **สุขภัณฑ์.** สืบค้นเมื่อวันที่ 2 สิงหาคม 2554, จาก http://www.be2hand.com/upload/200906/200906-05-095034-3.jpg

E-Learning SAKHON NAKHON RAJABHAT UNIVERSITY. (2549). **การเผาผนึก.** สืบค้นเมื่อวันที่ 8 สิงหาคม 2554, จาก http://e-learning.snru.ac.th/els/kalaya/Ch6.4.3%20Sinter%20sintering.html#Sintering

Engineering Ceramics. (2546). **ประเภทของดิน และการทดสอบทางเซรามิก.** สืบค้นเมื่อวันที่ 19 กรกฎาคม 2554, จาก http://www.mne.eng.psu.ac.th/staff/lek_files/ceramic/home.html

Glasswarechemical. (2552). **แก้วสี.** สืบค้นเมื่อ 14 กุมภาพันธ์ 2555, จาก http://www.glasswarechemical.com/glassblowing/colored-glass.html

Packaging Learning Center. (2553). **ชนิดโดยทั่วไปของแก้ว.** สืบค้นเมื่อ 4 สิงหาคม 2554, จาก http://www.packingsiam.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538991021&Ntype=7

Srithanee Ceramics. (2553). **รูปกระเบื้อง.** สืบค้นเมื่อ 2 สิงหาคม 2554, จาก http://www.srithanee.com/Default.aspx?pageid=6

Thaicontractor. (2548). **ชนิดของกระเบื้อง.** สืบค้นเมื่อ 2 สิงหาคม 2554, จาก http://thaicontractor.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1267:2011-06-30-01-18-52&catid=36:scoop&Itemid=54

Thaitiles. (2553). **รูปกระเบื้อง.** สืบค้นเมื่อ 4 สิงหาคม 2554, จาก http://www.thaitiles.com

The Thai Ceramic Society. (2538). **ชนิดของกระเบื้อง.** สืบค้นเมื่อวันที่ 22 กรกฎาคม 2554, จาก http://www. thaiceramicsociety.or.th/krabuang_htdoc/krabuang.html

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดลองกระเบื้องปูพื้นหลังเผาขึ้นรูป

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ปริมาตร (cm^3)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	32.2	17.9	35.8	17.9	1.80	1.81	0.02
	32.2	18.1	35.8	17.7	1.82		
	32.5	18.0	35.8	17.8	1.83		
	32.1	17.8	35.7	17.9	1.79		
	32.0	17.9	35.4	17.5	1.83		
20:80	32.0	18.0	35.3	17.3	1.85	1.86	0.02
	32.0	18.0	35.3	17.3	1.85		
	31.0	17.9	34.4	16.5	1.88		
	31.0	17.5	34.3	16.8	1.85		
	31.0	18.0	34.4	16.4	1.89		
40:60	32.0	18.3	34.2	15.9	2.01	2.02	0.01
	32.3	18.3	34.3	16.0	2.02		
	32.1	18.0	33.8	15.8	2.03		
	32.2	18.2	34.0	15.8	2.04		
	32.4	18.1	34.2	16.1	2.01		
60:40	32.1	18.1	34.0	15.9	2.02	2.08	0.04
	32.3	18.4	33.8	15.4	2.10		
	32.5	18.7	34.1	15.4	2.11		
	32.5	18.5	34.0	15.5	2.10		
	32.2	18.2	33.6	15.4	2.09		

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง เผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษสีเขียวแก้วในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ปริมาตร (cm^3)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	32.0	18.1	35.8	17.7	1.81	1.84	0.03
	32.0	18.1	35.6	17.5	1.83		
	31.9	18.0	35.2	17.2	1.85		
	32.0	18.0	35.4	17.4	1.84		
	31.8	18.0	34.9	16.9	1.88		
20:80	32.0	18.0	33.8	15.8	2.03	2.07	0.04
	32.1	18.2	33.9	15.7	2.04		
	32.0	18.2	33.5	15.3	2.09		
	32.2	18.1	33.4	15.3	2.10		
	32.1	18.0	33.3	15.3	2.10		
40:60	32.1	18.3	33.8	15.5	2.07	2.10	0.03
	32.3	18.4	33.7	15.3	2.11		
	32.2	17.9	33.4	15.5	2.08		
	32.1	18.4	33.3	14.9	2.15		
	32.2	18.0	33.4	15.4	2.09		
60:40	32.1	18.2	33.3	15.1	2.13	2.15	0.04
	31.8	18.7	33.2	14.5	2.19		
	31.7	18.6	33.6	15.0	2.11		
	32.5	18.5	33.8	15.3	2.12		
	32.5	18.4	33.3	14.9	2.19		

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนองเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษสีเขียวแก้วในดินขาวลำปาง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ปริมาตร (cm^3)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	30.5	16.8	32.5	15.7	1.94	1.99	0.06
	31.0	17.2	32.6	15.4	2.01		
	30.0	17.0	32.7	15.7	1.91		
	31.0	17.2	32.3	15.1	2.05		
	31.0	17.2	32.3	15.1	2.05		
20:80	31.5	18.0	32.6	14.6	2.16	2.13	0.06
	32.5	18.2	33.8	15.6	2.08		
	32.0	17.9	33.2	15.3	2.09		
	32.0	18.2	32.6	14.4	2.22		
	31.0	18.0	32.9	14.9	2.08		
40:60	32.0	18.3	32.7	14.4	2.22	2.20	0.06
	31.0	18.4	32.1	13.7	2.26		
	31.0	18.0	31.8	13.8	2.25		
	32.0	18.1	32.9	14.8	2.16		
	31.0	18.0	32.7	14.7	2.11		
60:40	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ปริมาตร (cm^3)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	32.7	18.1	35.8	17.7	1.85	1.84	0.01
	32.1	18.1	35.7	17.6	1.82		
	32.0	18.1	35.3	17.2	1.86		
	32.0	18.3	35.7	17.4	1.84		
	32.2	18.0	35.6	17.6	1.83		
20:80	32.3	18.2	35.1	16.9	1.91	1.90	0.04
	32.4	18.3	35.7	17.4	1.86		
	32.4	18.3	35.4	17.1	1.89		
	32.5	18.3	34.8	16.5	1.97		
	32.8	18.4	35.8	17.4	1.89		
40:60	32.1	18.0	34.0	16.0	2.01	2.04	0.03
	32.1	17.9	33.8	15.9	2.02		
	32.0	18.0	33.6	15.6	2.05		
	32.2	18.0	33.5	15.5	2.08		
	32.3	18.0	33.9	15.9	2.03		
60:40	32.5	18.0	33.4	15.4	2.11	2.11	0.02
	32.0	18.1	33.2	15.1	2.12		
	32.0	18.0	33.2	15.2	2.11		
	31.9	18.0	33.1	15.1	2.11		
	31.8	17.9	33.2	15.3	2.08		

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง เผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ปริมาตร (cm^3)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	32.5	18.1	35.5	17.4	1.87	1.87	0.03
	32.0	18.0	35.4	17.4	1.84		
	33.0	18.2	35.5	17.3	1.91		
	32.0	17.9	35.4	17.5	1.83		
	33.0	18.0	35.5	17.5	1.89		
20:80	32.1	18.0	33.0	15.0	2.14	2.12	0.08
	32.5	18.3	33.5	15.2	2.14		
	33.0	18.3	34.1	15.8	2.09		
	31.7	18.2	33.9	15.7	2.02		
	31.8	18.3	32.6	14.3	2.22		
40:60	32.0	18.0	33.0	15.0	2.13	2.14	0.02
	32.2	18.2	33.1	14.9	2.16		
	32.1	18.0	33.1	15.1	2.13		
	32.4	18.2	33.2	15.0	2.17		
	32.0	18.3	33.3	15.0	2.14		
60:40	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ปริมาตร (cm^3)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	32.0	17.8	33.7	15.9	2.01	2.00	0.03
	32.1	18.0	33.9	15.9	2.02		
	32.3	17.9	33.9	16.0	2.02		
	32.0	17.7	33.6	15.9	2.01		
	32.3	17.7	34.2	16.5	1.96		
20:80	31.9	18.5	32.8	14.3	2.23	2.15	0.07
	32.0	18.2	32.9	14.7	2.18		
	31.8	18.0	33.6	15.6	2.04		
	32.1	18.2	33.0	14.8	2.17		
	32.4	18.0	33.1	15.1	2.15		
40:60	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
60:40	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		

ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	32.2	35.8	11.18	10.87	0.47
	32.2	35.8	11.18		
	32.5	35.8	10.15		
	32.1	35.7	11.21		
	32.0	35.4	10.63		
20:80	32.0	35.3	10.31	10.64	0.33
	32.0	35.3	10.31		
	31.0	34.4	10.97		
	31.0	34.3	10.65		
	31.0	34.4	10.97		
40:60	32.0	34.2	6.88	5.90	0.64
	32.3	34.3	6.19		
	32.1	33.8	5.30		
	32.2	34.0	5.59		
	32.4	34.2	5.56		
60:40	32.1	34.0	5.92	4.89	0.61
	32.3	33.8	4.64		
	32.5	34.1	4.92		
	32.5	34.0	4.62		
	32.2	33.6	4.35		

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง เผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	32.0	35.8	11.88	10.77	0.82
	32.0	35.6	11.25		
	31.9	35.2	10.34		
	32.0	35.4	10.63		
	31.8	34.9	9.75		
20:80	32.0	33.8	5.62	4.68	0.94
	32.1	33.9	5.61		
	32.0	33.5	4.69		
	32.2	33.4	3.73		
	32.1	33.3	3.74		
40:60	32.1	33.8	5.30	4.16	0.68
	32.3	33.7	4.33		
	32.2	33.4	3.73		
	32.1	33.3	3.74		
	32.2	33.4	3.73		
60:40	32.1	33.3	3.74	4.12	1.27
	31.8	33.2	4.40		
	31.7	33.6	5.99		
	32.5	33.8	4.00		
	32.5	33.3	2.46		

ตารางที่ ก.9 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนองเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	30.5	32.5	6.56	5.82	2.02
	31.0	32.6	5.16		
	30.0	32.7	9.00		
	31.0	32.3	4.19		
	31.0	32.3	4.19		
20:80	31.5	32.6	3.49	3.85	1.52
	32.5	33.8	4.00		
	32.0	33.2	3.75		
	32.0	32.6	1.88		
	31.0	32.9	6.13		
40:60	32.0	32.7	2.19	3.32	1.31
	31.0	32.1	3.55		
	31.0	31.8	2.58		
	32.0	32.9	2.81		
	31.0	32.7	5.48		
60:40	-	-	-	-	-
	-	-	-		
	-	-	-		
	-	-	-		
	-	-	-		

ตารางที่ ก.10 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	32.7	35.8	9.48	10.63	0.81
	32.1	35.7	11.21		
	32.0	35.3	10.31		
	32.0	35.7	11.56		
	32.2	35.6	10.56		
20:80	32.3	35.1	8.67	8.87	1.14
	32.4	35.7	10.19		
	32.4	35.4	9.26		
	32.5	34.8	7.08		
	32.8	35.8	9.15		
40:60	32.1	34.0	5.92	5.04	0.68
	32.1	33.8	5.30		
	32.0	33.6	5.00		
	32.2	33.5	4.04		
	32.3	33.9	4.95		
60:40	32.5	33.4	2.77	3.69	0.58
	32.0	33.2	3.75		
	32.0	33.2	3.75		
	31.9	33.1	3.76		
	31.8	33.2	4.40		

ตารางที่ ก.11 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง เผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	32.5	35.5	9.23	9.13	1.53
	32.0	35.4	10.63		
	33.0	35.5	7.58		
	32.0	35.4	10.63		
	33.0	35.5	7.58		
20:80	32.1	33.0	2.80	3.73	1.82
	32.5	33.5	3.08		
	33.0	34.1	3.33		
	31.7	33.9	6.94		
	31.8	32.6	2.52		
40:60	32.0	33.0	3.13	3.07	0.61
	32.2	33.1	2.80		
	32.1	33.1	3.08		
	32.4	33.2	2.35		
	32.0	33.3	4.00		
60:40	-	-	-	-	-
	-	-	-		
	-	-	-		
	-	-	-		
	-	-	-		

ตารางที่ ก.12 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง	น้ำหนักแห้งก่อนต้ม (g)	น้ำหนักหลังต้มชั่งในอากาศ (g)	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	32.0	33.7	5.31	5.35	0.40
	32.1	33.9	5.61		
	32.3	33.9	4.95		
	32.0	33.6	5.00		
	32.3	34.2	5.88		
20:80	31.9	32.8	2.82	3.25	1.38
	32.0	32.9	2.81		
	31.8	33.6	5.66		
	32.1	33.0	2.80		
	32.4	33.1	2.16		
40:60	-	-	-	-	-
	-	-	-		
	-	-	-		
	-	-	-		
	-	-	-		
60:40	-	-	-	-	-
	-	-	-		
	-	-	-		
	-	-	-		
	-	-			

ตารางที่ ก.13 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนองเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง	แรงกด (kg)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	2.19	5	2.34	0.96	0.75	0.90	0.26
	3.48	5	2.33	0.90	1.36		
	2.82	5	2.33	0.95	0.99		
	1.39	5	2.33	0.99	0.45		
	2.54	5	2.33	1.00	0.80		
	2.18	5	2.32	0.96	0.75		
	3.27	5	2.33	0.96	1.12		
	2.91	5	2.33	0.98	0.96		
	3.18	5	2.34	0.95	1.11		
	2.00	5	2.34	0.96	0.68		
20:80	6.17	5	2.30	1.00	1.97	2.31	0.59
	6.68	5	2.31	1.00	2.13		
	4.97	5	2.30	1.00	1.59		
	8.63	5	2.29	0.85	3.84		
	6.61	5	2.31	0.93	2.43		
	6.41	5	2.31	0.95	2.26		
	6.67	5	2.31	0.99	2.17		
	6.44	5	2.30	0.93	2.38		
	6.76	5	2.32	0.97	2.28		
	6.31	5	2.30	1.00	2.02		

ตารางที่ ก.13 (ต่อ) ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนองเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง	แรงกด (kg)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	15.18	5	2.36	0.92	5.59	5.75	0.52
	16.92	5	2.26	0.90	6.80		
	14.95	5	2.25	0.94	5.53		
	14.52	5	2.25	0.94	5.37		
	15.23	5	2.26	0.95	5.50		
	18.82	5	2.26	0.96	6.65		
	15.08	5	2.26	0.94	5.56		
	14.80	5	2.26	0.95	5.34		
	15.11	5	2.26	0.94	5.57		
	15.24	5	2.26	0.94	5.62		
60:40	50.50	5	2.27	0.93	18.92	19.24	1.15
	47.44	5	2.29	0.91	18.41		
	54.56	5	2.26	0.95	19.68		
	53.44	5	2.28	0.93	19.94		
	49.67	5	2.30	0.92	18.77		
	53.45	5	2.26	0.94	19.69		
	49.70	5	2.29	0.95	17.69		
	54.66	5	2.29	0.91	21.21		
	47.22	5	2.27	0.93	17.70		
	54.19	5	2.26	0.93	20.40		

ตารางที่ ก.14 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนองเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง	แรงกด (kg)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	4.43	5	2.33	0.95	1.55	1.42	0.24
	3.41	5	2.32	1.00	1.08		
	3.58	5	2.33	0.97	1.20		
	4.64	5	2.32	0.99	1.50		
	4.31	5	2.31	0.95	1.52		
	4.45	5	2.32	1.00	1.41		
	3.77	5	2.33	1.00	1.19		
	5.26	5	2.30	0.96	1.83		
	3.92	5	2.31	0.99	1.27		
	4.78	5	2.33	0.95	1.67		
20:80	27.79	5	2.22	0.88	11.89	9.56	1.46
	17.75	5	2.25	0.84	8.22		
	23.30	5	2.23	0.88	9.93		
	20.22	5	2.24	0.88	8.58		
	25.74	5	2.23	0.89	10.72		
	19.76	5	2.20	0.91	7.98		
	25.95	5	2.21	0.87	11.42		
	18.82	5	2.27	0.87	8.06		
	19.86	5	2.20	0.88	8.58		
	25.12	5	2.23	0.90	10.23		

ตารางที่ ก.14 (ต่อ) ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนองเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง	แรงกด (kg)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	30.11	5	2.15	0.79	16.51	16.75	2.41
	24.78	5	2.15	0.82	12.61		
	32.10	5	2.15	0.80	17.16		
	42.18	5	2.13	0.81	22.21		
	30.40	5	2.14	0.80	16.33		
	31.86	5	2.14	0.80	17.11		
	32.99	5	2.13	0.80	17.81		
	29.23	5	2.13	0.81	15.39		
	31.52	5	2.13	0.80	17.01		
	29.53	5	2.15	0.81	15.40		
60:40	71.21	5	2.24	0.96	25.38	26.82	1.77
	67.34	5	2.32	0.97	22.70		
	74.34	5	2.25	0.92	28.72		
	71.64	5	2.25	0.92	27.68		
	77.44	5	2.25	0.96	27.48		
	74.94	5	2.25	0.93	28.34		
	77.53	5	2.25	0.96	27.51		
	71.19	5	2.25	0.92	27.50		
	74.10	5	2.25	0.97	25.75		
	74.88	5	2.25	0.95	27.13		

ตารางที่ ก.15 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนองเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง	แรงกด (kg)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	15.59	5	2.32	0.97	5.26	4.67	1.50
	14.94	5	2.31	0.99	4.86		
	15.81	5	2.33	1.00	4.99		
	15.80	5	2.32	0.98	5.22		
	15.76	5	2.32	0.97	5.31		
	15.62	5	2.33	0.98	5.14		
	15.14	5	2.32	0.98	5.00		
	1.29	5	2.33	0.99	0.42		
	15.91	5	2.32	0.96	5.48		
	15.23	5	2.33	0.98	5.01		
20:80	23.19	5	2.24	0.96	8.26	16.83	3.47
	44.98	5	2.23	0.89	18.74		
	43.86	5	2.21	0.88	18.85		
	33.83	5	2.23	0.87	14.75		
	43.34	5	2.22	0.86	19.42		
	44.71	5	2.23	0.88	19.05		
	39.01	5	2.23	0.91	15.54		
	46.51	5	2.22	0.91	18.61		
	35.50	5	2.22	0.86	15.91		
	46.00	5	2.23	0.89	19.16		

ตารางที่ ก.15 (ต่อ) ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนองเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวระนอง	แรงกด (kg)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	82.36	5	2.16	0.77	47.32	35.00	4.63
	57.08	5	2.16	0.78	31.96		
	66.95	5	2.13	0.80	36.14		
	63.56	5	2.16	0.79	34.69		
	66.49	5	2.14	0.81	34.84		
	59.62	5	2.15	0.80	31.88		
	58.48	5	2.16	0.80	31.12		
	60.60	5	2.13	0.77	35.31		
	64.44	5	2.16	0.81	33.45		
	62.22	5	2.15	0.80	33.27		
60:40	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		

ตารางที่ ก.16 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปางเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง	แรงกด (kg)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	1.16	5	2.41	0.91	0.43	0.38	0.10
	1.48	5	2.41	0.89	0.57		
	0.78	5	2.41	0.96	0.26		
	0.76	5	2.41	0.93	0.27		
	0.85	5	2.41	0.95	0.29		
	1.08	5	2.41	0.90	0.41		
	1.00	5	2.41	0.93	0.35		
	1.35	5	2.40	0.95	0.46		
	1.12	5	2.42	0.92	0.40		
	0.98	5	2.41	0.90	0.37		
20:80	22.76	5	2.31	0.87	9.58	10.59	1.54
	28.69	5	2.32	0.88	11.75		
	33.40	5	2.31	0.92	12.57		
	26.03	5	2.31	0.90	10.24		
	21.62	5	2.31	0.91	8.31		
	24.41	5	2.31	0.92	9.18		
	27.74	5	2.31	0.91	10.67		
	28.19	5	2.32	0.91	10.79		
	33.62	5	2.31	0.90	13.22		
	25.58	5	2.31	0.92	9.63		

ตารางที่ ก.16 (ต่อ) ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปางเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง	แรงกด (kg)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	60.67	5	2.30	0.94	21.97	22.41	3.68
	72.76	5	2.30	0.86	31.47		
	50.70	5	2.30	0.88	20.94		
	51.62	5	2.30	0.85	22.86		
	43.90	5	2.31	0.83	20.30		
	53.75	5	2.31	0.86	23.15		
	49.60	5	2.30	0.90	19.59		
	52.14	5	2.31	0.91	20.05		
	56.45	5	2.31	0.85	24.88		
	50.17	5	2.31	0.92	18.88		
60:40	78.94	5	2.10	0.80	43.21	39.95	4.43
	66.74	5	2.13	0.76	39.91		
	83.25	5	2.13	0.80	44.93		
	60.23	5	2.12	0.83	30.34		
	76.06	5	2.13	0.80	41.05		
	70.28	5	2.11	0.81	37.35		
	79.73	5	2.11	0.80	43.44		
	64.07	5	2.13	0.79	35.46		
	81.80	5	2.10	0.82	42.62		
	77.13	5	2.10	0.81	41.19		

ตารางที่ ก.17 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปางเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง	แรงกด (kg)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	10.72	5	2.37	0.82	4.95	5.56	0.67
	12.81	5	2.36	0.74	7.29		
	12.13	5	2.37	0.83	5.47		
	12.06	5	2.38	0.82	5.55		
	11.81	5	2.36	0.83	5.34		
	12.48	5	2.36	0.83	5.65		
	11.48	5	2.37	0.82	5.30		
	11.15	5	2.36	0.84	4.93		
	12.02	5	2.37	0.84	5.29		
	12.60	5	2.38	0.82	5.79		
20:80	48.91	5	2.19	0.87	21.71	22.00	1.30
	55.17	5	2.20	0.87	24.38		
	52.10	5	2.20	0.90	21.51		
	50.79	5	2.20	0.88	21.93		
	49.54	5	2.21	0.90	20.36		
	52.62	5	2.21	0.87	23.15		
	53.17	5	2.19	0.87	23.60		
	49.70	5	2.20	0.89	20.98		
	50.28	5	2.20	0.90	20.76		
	52.29	5	2.20	0.90	21.59		

ตารางที่ ก.17 (ต่อ) ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปางเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง	แรงกด (kg)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	51.57	5	2.11	0.81	27.41	34.39	2.84
	65.61	5	2.12	0.83	33.05		
	70.25	5	2.11	0.80	38.27		
	66.70	5	2.11	0.81	35.45		
	64.75	5	2.10	0.82	33.74		
	62.49	5	2.11	0.80	34.04		
	66.48	5	2.11	0.81	35.33		
	65.85	5	2.10	0.81	35.16		
	60.99	5	2.10	0.77	36.04		
	66.59	5	2.11	0.81	35.39		
60:40	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		

ตารางที่ ก.18 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปางเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง	แรงกด (kg)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0:100	26.56	5	2.31	0.80	13.22	14.43	1.47
	30.05	5	2.29	0.81	14.72		
	33.85	5	2.29	0.81	16.57		
	23.70	5	2.30	0.81	11.55		
	28.36	5	2.30	0.80	14.18		
	30.41	5	2.29	0.79	15.66		
	31.14	5	2.29	0.81	15.25		
	28.70	5	2.29	0.81	14.05		
	26.90	5	2.30	0.80	13.44		
	31.87	5	2.28	0.81	15.67		
20:80	45.13	5	2.18	0.78	25.04	35.42	4.91
	79.48	5	2.21	0.81	40.33		
	57.52	5	2.20	0.80	30.06		
	74.39	5	2.21	0.81	37.75		
	71.17	5	2.21	0.80	37.02		
	74.09	5	2.19	0.79	39.88		
	69.21	5	2.20	0.81	35.28		
	74.94	5	2.19	0.81	38.37		
	59.87	5	2.20	0.79	32.08		
	73.77	5	2.21	0.80	38.37		

ตารางที่ ก.18 (ต่อ) ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นที่ได้จากอัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปางเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวในดินขาวลำปาง	แรงกด (kg)	ระยะห่างของจุดรับแรง (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ค่ากำลังรับแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
40:60	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
60:40	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-		

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาวกัลยกร ชุนใช้
ภูมิลำเนา 327 หมู่ 3 ต. บึงปลาทู อ. บรรพตพิสัย
จ. นครสวรรค์
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนวมินทราชูทิศ มัชฌิม จ. นครสวรรค์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail: k_c1989@hotmail.com

ชื่อ นางสาวปาจรีย์ อุ่นแก้ว
ภูมิลำเนา 17 หมู่ 22 ต. ลาดแค อ. ชนแดน จ. เพชรบูรณ์
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนดงขุยวิทยาคม จ. เพชรบูรณ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail: yun_2217@hotmail.com

ชื่อ นายยงยุทธ เชื้อบุญมี
ภูมิลำเนา 11 หมู่ 3 ต. วังหิน อ. วังโป่ง จ. เพชรบูรณ์
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนวังโป่งพิทยาคม จ. เพชรบูรณ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail: yut_seventeam@gmail.com