ผลกระทบของเศษแก้วที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของปูนซีเมนต์ขาวในการผลิตกระเบื้องเซรามิก

EFFECT OF GLASS POWDER ON PHYSICAL PROPERTIES AND MECHANICAL PROPERTIES OF WHITE CEMENT FOR CERAMIC TILES

นายชวลิต มากเมือง รหัส 50360753
นางสาวสุชาดา คำกล่อม รหัส 50365604

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ [illegible]
เลขทะเบียน 15904845
เลขเรียกหนังสือ ...
มหาวิทยาลัยนเรศวร 28/04 2553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2553

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน ผลกระทบของเศษแก้วที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของปูนซีเมนต์ขาวในการผลิตกระเบื้องเซรามิก

ผู้ดำเนินโครงงาน นายชวลิต มากเมือง รหัส 50360753

นางสาวสุชาดา คำกล่อม รหัส 50365604

ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2553

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย)

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์มานะ วีรวิกรม)

.....กรรมการ
(อาจารย์ชุลีพรย์ ป่าไร่)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ผลกระทบของเศษแก้วที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของปูนซีเมนต์ขาวในการผลิตกระเบื้องเซรามิก		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายชวลิต	มากเมือง	รหัส 50360753
	นางสาวสุชาดา	คำกล่อม	รหัส 50365604
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ธณิกานต์	ธงชัย	
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2553		

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของเศษแก้วที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความสอบ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อแรงดัด ของปูนซีเมนต์ขาวในการผลิตกระเบื้องเซรามิก ที่ขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ 20 และ 100 เมช ในอัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ที่แตกต่างกัน ได้แก่ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60 และ 50 : 50 แล้วนำมาขึ้นรูปเป็นกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากเศษแก้วโซดาไลม์ ผสมกับปูนซีเมนต์ขาวขนาด 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นบ่มชิ้นงานเป็นเวลา 28 วัน แล้วจึงนำมาทำการทดสอบโดยทำการทดสอบหาค่าความสอบ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อแรงดัด พบว่ากระเบื้องที่มีส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ ขนาด 100 เมช ในอัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวที่เท่ากับ 50 : 50 ให้ค่าในการทดสอบที่ดีที่สุดคือ ให้ค่าเฉลี่ยความสอบเท่ากับร้อยละ 0.265 โดยน้ำหนัก ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเท่ากับ 2.414 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 8.302 และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัดเท่ากับ 143.870 เมกะปาสคาล

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งหมดเมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน (มอก.613 – 2529) พบว่ามีค่าที่ไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนด ฉะนั้นการผสมเศษแก้วโซดาไลม์กับปูนซีเมนต์ขาวสามารถนำมาเป็นแนวทางในการผลิตกระเบื้องเซรามิก อีกทั้งเป็นการลดต้นทุนในการผลิตเนื่องจากกระเบื้องบุผนังที่มีการทำการผลิตในปัจจุบันต้องนำไปผ่านกระบวนการเผา สำหรับกระเบื้องที่ทำการผลิตนี้มีส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ขาวและเศษแก้วโซดาไลม์ ซึ่งไม่สามารถนำไปผ่านกระบวนการเผาได้ดังนั้นจึงเป็นการลดต้นทุนในด้านของเชื้อเพลิง รวมทั้งลดปริมาณขยะที่เกิดจากเศษแก้ว และการนำเศษแก้วทำเป็นกระเบื้องบุผนังภายในนั้นสามารถเป็นอีกหนึ่งองค์ความรู้ที่จะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ และยังเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย เป็นอย่างสูง ที่ให้โอกาสแก่ผู้ทำโครงงานในการดำเนินงานครั้งนี้ อีกทั้งให้คำแนะนำและคำปรึกษาในเรื่องต่างๆ เกี่ยวกับการค้นหาข้อมูล แนวทางการปฏิบัติการในการดำเนินโครงงาน การวิเคราะห์ ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติ รวมถึงให้แง่คิดในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพจนโครงงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์ อาจารย์มานะ วีรวิกรม อาจารย์ชุลีพรย์ ป่าไร่ อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์ และคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทถ่ายทอดวิชาความรู้ทางวิชาการอันสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินโครงงานได้จนสำเร็จ อีกทั้งให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงงานในครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบพระคุณครูช่างภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และอบรมสั่งสอนให้ผู้จัดทำโครงงานเป็นคนดีของสังคม

ขอขอบพระคุณบิดามารดา และทุกๆ คนในครอบครัวที่สนับสนุน เป็นกำลังใจ และคอยให้ความช่วยเหลือแก่ผู้จัดทำมาโดยตลอด

ท้ายนี้ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความรัก คำปรึกษา และความช่วยเหลือขณะที่ศึกษา และทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

ผู้ดำเนินโครงงาน

ชวลิต มากเมือง

สุชาดา คำกล่อม

เมษายน 2554

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญรูป.....ช
สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ.....ฌ

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 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน.....2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน.....3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน.....3
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน.....3

บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น.....5
2.1 กระเบื้อง.....5
2.2 แก้ว.....15
2.3 ปูนซีเมนต์ขาว.....24
2.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก.....33
2.5 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน.....34
2.6 ทฤษฎีที่ใช้ในการทดลอง.....43
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน....48

3.1 วัตถุดิบ และอุปกรณ์....49

3.2 วิธีการขึ้นรูป....49

3.3 การทดสอบลักษณะเฉพาะ และสมบัติ....53

3.4 วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง....54

3.5 จัดทำรูปเล่มรายงาน....54

บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์....55

4.1 การทดสอบความสอบ....55

4.2 การทดสอบความหนาแน่น....57

4.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำ....58

4.4 การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดัด....60

บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ....62

5.1 สรุปผลการทดลอง....62

5.2 ข้อเสนอแนะ....63

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข....63

เอกสารอ้างอิง....64

ภาคผนวก ก....67

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน....80

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน....3

2.1 การแบ่งระดับชั้นของการขัดสี PEI (Porcelain Enamel Institution)....9

2.2 ความหนาแน่นของแก้วชนิดต่างๆ....23

2.3 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์แลนต์....29

2.4 ขนาด และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน....39

2.5 พื้นที่ของรอยบิ่นต่อ 1 จุด....40

2.6 ความบิดเบี้ยวตามแนวขอบ และตามแนวเส้นทแยงมุม....40

2.7 รายการทดสอบ และแผนการชักตัวอย่าง....42

3.1 ส่วนผสมของอัตราส่วนระหว่างซีเมนต์ขาวตราเสือ และเศษแก้วโซดาไลม์....52

4.1 ผลการทดสอบความสอบของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนต่างๆ....55

4.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนต่างๆ....57

4.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนต่างๆ....58

4.4 ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนต่างๆ....60

ก.1 ผลการทดสอบค่าความสอบของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์....68

ก.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์....71

ก.3 ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์....74

ก.4 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์....77

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กระเบื้องเซรามิก	5
2.2	การนำกระเบื้องเซรามิกมาใช้งาน	14
2.3	ขวดแก้วสีใส และขวดแก้วสีชา	16
2.4	ขวดแก้วโซดาไลม์	18
2.5	แก้วบอโรซิลิเกต	18
2.6	แก้วตะกั่ว	19
2.7	แก้วโอปอล	19
2.8	แก้วอลูมิโนซิลิเกต	20
2.9	กลาส-เซรามิก	21
2.10	การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เปรียบเทียบกันระหว่างวัสดุแก้วกับผลึก	21
2.11	ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ	31
2.12	ปูนซีเมนต์ขาวตราช้าง	32
2.13	การราน	35
2.14	รูเข็ม	35
2.15	รอยพอง	36
2.16	หลุม	36
2.17	รอยบิ่น	36
2.18	การหดตัวของเคลือบ	36
2.19	โค้งงอ และเว้าเข้า	37
2.20	นูนขึ้น	37
2.21	แอ่นลง	38
2.22	การวัดค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด	44
3.1	แผนภาพขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	48
3.2	ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ	49
3.3	บดเศษแก้วด้วยเครื่องบด (Ball Mill)	50
3.4	เศษแก้วขนาด 20 เมช	50
3.5	เศษแก้วขนาด 100 เมช	51
3.6	หล่อชิ้นงานลงแม่พิมพ์	51

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.7	ขัดผิวกระเบื้อง	52
4.1	ค่าความสอบเฉลี่ย (ร้อยละ) ของกระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์กับปูนซีเมนต์ขาว	56
4.2	ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย (g/cm^3) ของกระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์กับปูนซีเมนต์ขาว	57
4.3	ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของกระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์กับปูนซีเมนต์ขาว	59
4.4	ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดเฉลี่ย (MPa) ของกระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์กับปูนซีเมนต์ขาว	60

สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ

ASTM	=	American Society for The Testing of Materials
T_m	=	Melting Temperature
T_g	=	Glass Transition Temperature
Pa	=	ปาสคาล
GPa	=	จิกะปาสคาล
MPa	=	เมกะปาสคาล
N/mm^2	=	นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร
mm	=	มิลลิเมตร
cm^3	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
cm^2	=	ตารางเซนติเมตร
Lux	=	ความสว่าง (Illuminance หรือ Illumination) ของแสง
MHz	=	Mega Hertz
XRD	=	X-Ray Diffraction
kg	=	กิโลกรัม
m	=	เมตร
°C	=	องศาเซลเซียส
°F	=	องศาฟาเรนไฮต์

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงงาน

จากวิวัฒนาการ และเทคโนโลยีที่มีความก้าวหน้ามากขึ้น ทำให้มนุษย์สามารถผลิตสิ่งของเครื่องใช้ในรูปแบบต่างๆ เพื่อยกระดับ และเพิ่มคุณภาพชีวิตให้มากยิ่งขึ้น ดังนั้นมนุษย์จึงมีการผลิตสินค้าต่างๆ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการ ซึ่งหลังจากสินค้าถูกใช้ไปหมดแล้วจะกลายเป็นขยะต่อไป ทำให้ปริมาณขยะเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ขยะหลายชนิดยังมีมูลค่าสามารถนำกลับมาแปรรูปใช้ใหม่ได้

แก้วเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ขวดบรรจุเครื่องปรุงรส ฯลฯ ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม เช่น ขวดบรรจุน้ำอัดลม หรือขวดบรรจุเครื่องดื่มชนิดต่างๆ นอกจากนี้ในทางวิทยาศาสตร์ยังใช้แก้วมาเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องมือในการทดลองทางวิทยาศาสตร์ อันเนื่องมาจากแก้วมีสมบัติโปร่งใส หรือโปร่งแสง ไม่เกิดปฏิกิริยากับอาหาร และยา นอกจากนี้ยังสามารถขึ้นรูปให้มีรูปทรงหลากหลาย โดยจุดเด่นที่สำคัญของแก้วนั้นคือ สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกโดยการหลอมเพื่อรีไซเคิลใหม่ได้อีกหลายครั้งโดยที่คุณสมบัติของแก้วไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

การนำเศษแก้วที่ถูกมองว่าเป็นขยะกลับมาใช้ใหม่ให้เป็นประโยชน์จึงเป็นเรื่องที่จำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อทำให้เศษขยะแก้วเหลือใช้มีคุณค่าทางเศรษฐกิจมากขึ้น สำหรับขวดแก้วนั้นถึงแม้จะสามารถนำกลับมารีไซเคิลเพื่อผลิตเป็นขวดแก้วใหม่ได้ แต่ขยะแก้วที่มีอยู่ในปัจจุบันก็ยังไม่สามารถนำกลับไปรีไซเคิลได้ทั้งหมดเนื่องจากยังมีขยะตกค้างตามแหล่งชุมชนต่างๆ มากมาย ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วแก้วที่ถูกนำกลับไปรีไซเคิลใหม่มีแค่ร้อยละ 46 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2541) จากเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นหนึ่งในสาเหตุที่นำไปสู่ภาวะขยะล้นเมือง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการบริหารจัดการอย่างเหมาะสมเกี่ยวกับขยะแก้วชนิดต่างๆ อีกทั้งยังเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และก่อให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุดด้วยการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสามารถตอบสนอง และแก้ปัญหาดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังแสดงถึงความรับผิดชอบด้านสิ่งแวดล้อมต่อสังคม และเป็นอีกหนึ่งแนวทางเพื่อก่อให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกนำเศษแก้วมาเป็นองค์ประกอบหนึ่งของส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องเซรามิก

เนื่องจากกระเบื้องเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศ เพราะโดยพื้นฐานแล้วแทบทุกครัวเรือนต่างก็มีความจำเป็นในการนำมาใช้งานทั้งสิ้น อีกทั้งยังเป็นที่ต้องการของตลาดในปัจจุบันที่นิยมใช้กระเบื้องในงานที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น และได้มีการพัฒนาคุณสมบัติในด้านต่างๆ ของกระเบื้องให้มีจุดประสงค์ในการใช้งานที่แตกต่างกันไปเพื่อตอบสนองต่อความต้องการในการใช้งาน โดยสามารถนำมาใช้งานได้ทั้งในการนำมาทำเป็นกระเบื้องปูพื้น กระเบื้องบุผนัง หรือกระเบื้องที่ใช้ในการประดับตกแต่ง จากที่กล่าวมาจะเห็นว่ากระเบื้องเป็นผลิตภัณฑ์ทางเซรามิกอีกชนิดหนึ่งที่มีความจำเป็นในสังคมปัจจุบัน

จะเห็นได้ว่าการนำเศษแก้วมาแปรสภาพเพื่อเป็นส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องบุผนังภายในจึงเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการช่วยลดปริมาณขยะ อีกทั้งการนำเศษแก้วทำเป็นกระเบื้องบุผนังภายในนั้นสามารถเป็นอีกหนึ่งองค์ความรู้ที่จะช่วยลดต้นทุนในด้านของวัตถุดิบรวมทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ และยังเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

ศึกษาขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ และอัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวตราเสือเพื่อผลิตเป็นกระเบื้องบุผนังภายใน แล้วนำมาทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความสอบ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อแรงดัด

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

ได้ผลิตภัณฑ์กระเบื้องบุผนังภายใน ที่ทำการผลิตจากเศษแก้วโซดาไลม์ผสมกับปูนซีเมนต์ขาว

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

ขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ และอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ในกระเบื้องบุผนังภายใน ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 เศษแก้วที่ใช้เป็นเศษแก้วโซดาไลม์

1.5.2 ใช้ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ

1.5.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวตราเสือเพื่อผลิตกระเบื้องบุผนังภายใน

1.5.4 ใช้เศษแก้วโซดาไลม์ขนาด 20 เมช ผสมกับปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ ในอัตราส่วนผสมที่เท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60 และ 50 : 50 ตามลำดับ

1.5.5 ใช้เศษแก้วโซดาไลม์ขนาด 100 เมช ผสมกับปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ ในอัตราส่วนผสมที่เท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60 และ 50 : 50 ตามลำดับ

1.5.6 ศึกษาสมบัติทางกล และทางกายภาพของกระเบื้องบุผนังภายใน ได้แก่ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ ความแข็งแรงต่อแรงดัด และความสอบ

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

เดือนตุลาคม 2553 - เดือนเมษายน 2554

1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินงาน	ช่วงเวลาในการปฏิบัติงาน						
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ช่วงเตรียมวัตถุดิบ เศษแก้วบดละเอียด (Glass Powder) 1.1 นำเศษแก้วโซดาไลม์ที่เหลือใช้ที่จะใช้เป็นวัตถุดิบมาทำความสะอาด 1.2 เมื่อทำความสะอาดเสร็จแล้วนำเศษแก้วโซดาไลม์ มาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด (Ball Mill) 1.3 นำเศษแก้วโซดาไลม์ที่ถูกบดละเอียดแล้วมาผ่านตะแกรงร่อนที่ 20 เมช และ 100 เมช 1.4 นำเศษแก้วโซดาไลม์ที่ผ่านการร่อนแล้วมาเก็บใส่ภาชนะ ปูนซีเมนต์ขาว (White Cements) ตราเสือ	←	→					
2. ช่วงเตรียมแม่พิมพ์ 2.1 เตรียมแม่พิมพ์ขนาด 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร 2.2 ทำชิ้นงานทดสอบด้วยวิธีการหล่อ (Casting)		←	→				

1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 (ต่อ) ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินงาน	ช่วงเวลาในการปฏิบัติงาน						
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
2.2.1 นำเศษแก้ว และปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ มาผสมเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่กำหนดไว้ในตาราง 2.2.2 เมื่อได้ส่วนผสมดังกล่าวแล้วนำมาผสมเข้าด้วยกันกับน้ำ 2.2.3 นำส่วนผสมเทลงแม่พิมพ์ 2.2.4 ปล่อยทิ้งไว้ 10 – 12 ชั่วโมง 2.2.5 เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้วนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ขัดผิวหน้าให้เรียบให้เห็นถึงผิวของเศษแก้วโซดาไลม์		←					
3. บ่มชิ้นงานที่ได้หลังจากขัดผิวหน้าเรียบร้อยแล้วในอากาศเป็นเวลา 28 วัน เมื่อครบกำหนดแล้วเตรียมนำชิ้นงานมาทำการทดสอบ			←				
4. ทดสอบชิ้นงาน 4.1 การทดสอบความสอบ 4.2 การทดสอบความหนาแน่น 4.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำ 4.4 การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดัด				←	→		
5. วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง						←	→
6. จัดทำรายงานโครงงานวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์							← →

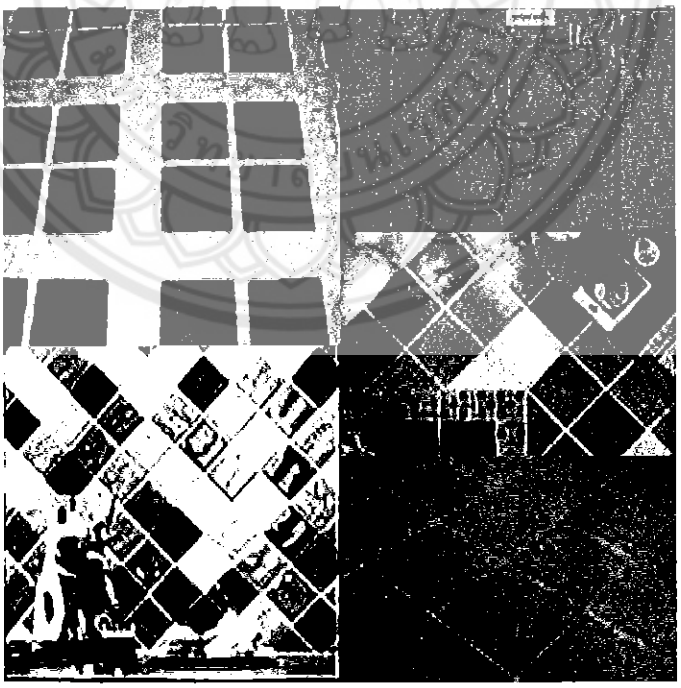
บทที่ 2
หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 กระเบื้อง

กระเบื้องเซรามิกแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ กระเบื้องปูพื้น และกระเบื้องบุผนัง มีทั้งชนิดเคลือบมัน และชนิดที่ไม่เคลือบมัน ในส่วนผิวหน้าเคลือบนั้นแบ่งได้เป็นผิวมัน (Glossy) และผิวธรรมดา (Matt) ซึ่งสามารถแบ่งเป็นผิวไม่หยาบ (Satin) และผิวหยาบ (Rustic) ขนาดของกระเบื้องปูพื้นมี 8 x 8 ตารางนิ้ว, 12 x 12 ตารางนิ้ว, 16 x 16 ตารางนิ้ว, 20 x 20 ตารางนิ้ว ส่วนขนาดของกระเบื้องบุผนังมี 4 x 4 ตารางนิ้ว, 2.5 x 8 ตารางนิ้ว, 8 x 8 ตารางนิ้ว, 8 x 10 ตารางนิ้ว, 8 x 12 ตารางนิ้ว

กระเบื้องปูพื้นจะมีเนื้อที่แข็งกว่ากระเบื้องบุผนัง เพื่อสามารถทนรับน้ำหนักที่กดลงบนตัวกระเบื้องได้ และทนต่อการขีดข่วน โดยจะมีเนื้อ (Texture) แตกต่างกันออกไป จึงสามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการของสถานที่ โดยทั่วไปจะมีการระบุชนิดของกระเบื้องไว้ที่ด้านหลังกระเบื้องที่ข้างกล่อง

กระเบื้องบุผนังมักจะมีผิวมัน และมีฐานราก (Footing) เพื่อให้ยึดกำแพงได้ ที่สำคัญกระเบื้องปูพื้นสามารถนำมาปูผนังได้แต่กระเบื้องบุผนังไม่ควรนำมาปูพื้นโดยเด็ดขาด เพราะกระเบื้องบุผนังไม่มีความทนทานต่อการขูดขีด และไม่ได้ออกแบบมาเพื่อรับน้ำหนักมากๆ ถ้าหากนำมาใช้ผิดวัตถุประสงค์ จะทำให้มีอายุการใช้งานต่ำกว่าความเป็นจริง



รูปที่ 2.1 กระเบื้องเซรามิก

ที่มา: บริษัท โสสุโก้ เซรามิก จำกัด (2543)

2.1.1 การเลือกซื้อกระเบื้องเซรามิก

2.1.1.1 ราคาเหมาะสม หาซื้อได้สะดวก

2.1.1.2 ง่ายต่อการบำรุงรักษา

2.1.1.3 ทนต่อสภาพแวดล้อม และการใช้งาน

2.1.1.4 มีลวดลาย และสีสันให้เลือกมากมาย

2.1.1.5 มีอายุการใช้งานนาน

2.1.2 วิธีการดูแลรักษา และทำความสะอาดกระเบื้องเซรามิก

2.1.2.1 ใช้ฟองน้ำ หรือผ้าสะอาดชุบน้ำแล้วเช็ดลงไปที่กระเบื้อง

2.1.2.2 ในกรณีที่พื้นกระเบื้องมีความสกปรกมาก ควรใช้น้ำผสมน้ำยาทำความสะอาดด้วย

2.1.2.3 ใช้น้ำส้มสายชูทาที่กระเบื้องเพื่อป้องกันการเกิดรอยขนแมว

2.1.2.4 ถ้ากระเบื้องเกิดรอยร้าวมีลักษณะเป็นรอยให้ใช้ขี้ผึ้ง (Wax) ทาบริเวณดังกล่าว (บริษัท โสสุโก้ เซรามิก จำกัด, 2543)

2.1.3 แนวทางในการเลือกใช้งานกระเบื้องเซรามิก

ตลาดในปัจจุบันนี้ถือได้ว่าเป็นตลาดของผู้บริโภคโดยแท้จริง ผู้ผลิตสินค้าไม่ว่าจะเป็นสินค้าชนิดใดต่างก็พัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ออกมาเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าในแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์กระเบื้องเซรามิกก็เช่นกัน ได้มีการพัฒนาลวดลายสีสันใหม่ๆ โดยเป็นไปตามแนวโน้มของตลาด ในขณะนั้น อาจกล่าวได้ว่าสินค้ากระเบื้องเซรามิกถือว่าเป็นสินค้าแฟชั่นอย่างหนึ่งก็คงไม่เกินเลยไปนัก นอกเหนือจากลวดลายสีสันใหม่ๆ ที่ทางผู้ผลิตกระเบื้องต่างพัฒนาสินค้าออกมามากมายจนทำให้ผู้บริโภคสามารถเลือกสรรได้อย่างไม่มีขีดจำกัด ในด้านประเภทต่างๆ ของกระเบื้อง, คุณสมบัติจำเพาะบางประการที่ทางผู้ผลิตได้พัฒนาสินค้าขึ้นเพื่อให้สอดสอดคล้องกับความต้องการสำหรับการใช้งานในพื้นที่ต่างๆ ที่มีจุดประสงค์การใช้งานที่แตกต่างกันไปนั้นก็ได้มีการพัฒนาสินค้าขึ้นมาอย่างหลากหลาย

กระเบื้องเซรามิกอาจแบ่งประเภทตามการใช้งานของกระเบื้อง ซึ่งมักเป็นวิธีการจำแนกประเภทตามแนวทางของลูกค้า เราสามารถแบ่งได้เป็น

- กระเบื้องบุผนัง
- กระเบื้องปูพื้น
- กระเบื้องสำหรับตกแต่ง (ซึ่งอาจจะตกแต่งทั้งพื้น และผนัง)

ถ้าแบ่งตามประเภทของกระเบื้อง, ของเนื้อดิน, ตามกระบวนการผลิต และคุณภาพตามที่มาตรฐานสากลยอมรับซึ่งเป็นการจำแนกประเภทตามแนวทางของผู้ผลิต เราสามารถแบ่งประเภทของกระเบื้องได้เป็น

- กระเบื้องบุผนัง (เนื้อ Earthen Ware)
- กระเบื้องปูพื้น (เนื้อ Stone Ware)
- กระเบื้องโมเสค (เนื้อ Porcelain)
- กระเบื้องแกรนิต (เนื้อ Porcelain)
- กระเบื้องเคลือบเนื้อแกรนิต (Glaze Porcelain)
- กระเบื้อง Third Firing
- กระเบื้องที่ผลิตจากกระบวนการรีด (Spilt Tile ซึ่งเป็นเนื้อ Stone Ware หรือ Porcelain)
- กระเบื้องเนื้อแดงไม่เคลือบ (Terra Cotta) ซึ่งมักเป็นเนื้อ Earthen Ware
- กระเบื้องที่มีรูปร่างพิเศษ (Special Shape)
- กระเบื้องทำมือ (Hand Made)

รายละเอียดของกระเบื้องในแต่ละชนิดนั้นมีดังนี้

2.1.3.1 กระเบื้องบุผนัง

คือ กระเบื้องที่ใช้สำหรับบุผนังของบ้าน หรืออาคาร ในอดีตนั้นกระเบื้องบุผนังมักจะถูกจำกัดการใช้งานอยู่เพียงในห้องน้ำเท่านั้น แต่ในปัจจุบันผู้ผลิตกระเบื้องได้มีการพัฒนาสีสันลวดลายให้มีความสวยงามจนสามารถนำมาใช้งานได้ในทุกพื้นที่ของบ้าน หรืออาคาร ซึ่งข้อดีของการใช้กระเบื้องบุผนังทดแทนการทาสี หรือการใช้วอลล์เปเปอร์ เพื่อตกแต่งให้ห้องมีความสวยงามมากขึ้นก็คือ กระเบื้องจะมีความทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ทำความสะอาดง่ายกว่าวัสดุอื่นๆ และในปัจจุบันผู้ผลิตก็ได้ออกแบบลูกเล่นต่างๆ ในการตกแต่งตามความคิดของเจ้าของบ้านเอง

เนื้อกระเบื้องสำหรับบุผนังนั้นจะต้องมีน้ำหนักเบา ดังนั้น จึงต้องมีความพรุนตัวสูง มีความแข็งแรงปานกลางจนถึงต่ำ ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีความแข็งแรงมากเท่ากับกระเบื้องสำหรับปูพื้น ขนาดของกระเบื้องต้องมีความเที่ยงตรงมากในแต่ละแผ่นเพื่อที่เวลาปูกระเบื้องแล้วจะทำให้ได้แนวของกระเบื้องที่สวยงาม ดังนั้นการหดตัวของกระเบื้องชนิดนี้จะต้องต่ำมาก หรือเรียกได้ว่าไม่เกิดการหดตัวเลย ต้องไม่เกิดการรานตัว หรือการแตกร้าวของผิวเคลือบเมื่อใช้งานไปในระยะเวลาหนึ่ง (เกิดDelay Crazing) อันเกิดเนื่องมาจากการขยายตัวเนื่องจากความชื้น สีเคลือบต้องมีความทนทานต่อกรด และเบส เนื่องจากบางครั้งผู้ใช้งานอาจทำความสะอาดพื้นกระเบื้องด้วยน้ำยาล้างห้องน้ำซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด หรือเบสได้

เนื้อดินของกระเบื้องบุผนังนั้นจะเป็นเนื้อดินชนิด Earthen Ware มีอัตราการดูดซึมน้ำสูง (ร้อยละ 15 – 22) และความแข็งแรงไม่สูงมากนัก สีเคลือบส่วนใหญ่มักจะเป็นผิวมัน ดังนั้นจึงไม่ควรนำเอากระเบื้องบุผนังไปใช้งานที่ต้องรับน้ำหนักมาก หรือต้องสัมผัสกับน้ำอยู่ตลอดเวลา หรือใช้ในพื้นที่ที่มีการขูดขีดขัดสีอยู่ตลอดเวลา เช่น พื้นที่สาธารณะ หรือพื้นบ้าน เพราะจะทำให้เกิดความเสียหายต่อผิวของกระเบื้อง ซึ่งจะทำให้ความสวยงามหมดลงไปได้ในที่สุด นอกจากนี้อาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งานได้ถ้านำกระเบื้องบุผนังซึ่งมีผิวมันมากเป็นพิเศษไปใช้ปูพื้น

2.1.3.2 กระเบื้องปูพื้น

จุดประสงค์หลักของกระเบื้องชนิดนี้ก็คือใช้สำหรับปูพื้นเพื่อให้เกิดความสวยงาม มีความคงทน ทำความสะอาดง่าย สามารถใช้ทดแทนวัสดุประเภทอื่นที่มีราคาสูงกว่า เช่น หินแกรนิต หินอ่อน พื้นไม้

เนื้อกระเบื้องเป็นเนื้อ Stone Ware มีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำไปจนถึงปานกลาง (ประมาณร้อยละ 3 – 6) ความแข็งแรงปานกลาง ผิวเคลือบมีทั้งแบบผิวมัน และผิวด้าน รวมทั้งลวดลายและสีสันที่มีให้เลือกมากมาย ขึ้นกับความต้องการของผู้ใช้งาน และขึ้นกับการใช้งานของพื้นที่ที่จะปูกระเบื้อง

สมบัติที่สำคัญที่ผู้ใช้งานควรคำนึงถึงสำหรับกระเบื้องปูพื้นแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เราเห็น หรือสัมผัสได้ เช่น สีสัน ลวดลาย ลักษณะของผิวเคลือบ ขนาด คุณภาพของผิวหน้า ความโค้ง-แอ่นของกระเบื้อง กับส่วนที่เป็นสมบัติทางกายภาพ ที่ผู้ใช้งานไม่สามารถวัดค่าออกมาเป็นตัวเลขได้แต่ทางผู้ผลิตได้มีการควบคุมคุณภาพตามมาตรฐานที่ได้มีการกำหนดเอาไว้เพื่อไม่ให้ลูกค้านำไปใช้งานแล้วเกิดปัญหาได้ในภายหลัง สมบัติเหล่านี้ได้แก่

ก. ความแข็งแรงของเนื้อกระเบื้อง ซึ่งถ้ามีค่าต่ำเกินกว่ามาตรฐานอาจจะทำให้กระเบื้องแตก หรือร้าวได้ เมื่อใช้งานในพื้นที่ที่ต้องรับแรงกดมาก

ข. การดูดซึมน้ำ ถ้าการดูดซึมน้ำสูงเกินไปจะทำให้เฉดสีของกระเบื้องเปลี่ยนไป อันเนื่องมาจากความชื้นที่สะสมอยู่ในเนื้อกระเบื้อง อาจพบปัญหาน้ำเหนียวซึ่งมีลักษณะคล้ายเจล ทำความสะอาดยาก ทำให้พื้นผิวของกระเบื้องลดความสวยงามลง ซึ่งปัญหานี้จะพบร่วมกันกับปัญหาน้ำใต้ดินในพื้นที่ที่ใช้งาน และคุณภาพของปูนซีเมนต์ที่นำมาใช้งานไม่ได้ตามคุณภาพ และถ้าความชื้นมากเกินไปประกอบกับการดูดซึมน้ำของกระเบื้องสูง อาจพบปัญหาที่รุนแรงถึงขั้นกระเบื้องร่อนออกจากพื้นซีเมนต์ได้

ค. ความทนทานต่อการขูดขีด ซึ่งจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับคุณภาพของผิวเคลือบ โดยส่วนใหญ่แล้วผิวเคลือบที่เป็นผิวมันจะมีความทนทานต่อการขูดขีดต่ำกว่าผิวเคลือบด้าน จึงทำให้เกิดเป็นรอยได้ง่ายกว่า ดังนั้นจึงควรระมัดระวังในการใช้งานของกระเบื้องผิวมัน ที่ควรหลีกเลี่ยงการขูดขีดที่จะเกิดขึ้น

ง. ความต้านทานต่อการขัดสี การใช้งานกระเบื้องปูพื้นนั้นคงไม่อาจหลีกเลี่ยงการเสียดสี ขัดสีระหว่างผิวกระเบื้องกับฝุ่นละออง ทราย กรวด ฯลฯ ซึ่งเป็นวัสดุที่ทำอันตรายต่อผิวกระเบื้องเป็นอย่างมาก การทดสอบความทนทานต่อการขัดสีนั้นจะทำโดยการนำเอาผงขัดมาเข้าเครื่องขัดผิวหน้าของกระเบื้องโดยใช้จำนวนรอบในการขัดที่แตกต่างกัน และดูผลที่เกิดขึ้นกับผิวเคลือบภายหลังการขัดผิวหน้าของกระเบื้อง โดยมีการจัดระดับชั้นของกระเบื้องตามมาตรฐานของ PEI (Porcelain Enamel Institution) ค่าของแต่ละระดับชั้นเรียกว่าค่า PEI (Porcelain Enamel Institution)

ตารางที่ 2.1 การแบ่งระดับชั้นของการขัดสี PEI (Porcelain Enamel Institution)

จำนวนรอบของการขัดสีที่สามารถมองเห็นรอยขัด	ชั้นที่
100	0
150	1
600	2
750, 1,500	3
2,100, 6,000, 12,000	4
> 12,000 และผ่าน ISO 10545-14 สำหรับความต้านทานต่อคราบสี	5

ที่มา: คชินท์ (2537)

ในปัจจุบันมีผู้ผลิตกระเบื้องสำหรับปูพื้นหลายราย ได้มีการระบุค่า PEI (Porcelain Enamel Institution) ไว้ที่ข้างกล่องด้วย เพื่อให้ลูกค้ามีความชัดเจน และสามารถตัดสินใจได้ว่าพื้นที่ที่จะใช้งานนั้นควรใช้กระเบื้องที่มีค่า PEI เท่าใด

การจำแนกพื้นที่การใช้งานนั้นสามารถจำแนกได้ตามลำดับขั้นของค่า PEI (Porcelain Enamel Institution) ดังนี้

ขั้นที่ 0 กระเบื้องเคลือบสีในชั้นนี้ไม่แนะนำให้ใช้สำหรับปูพื้น

ขั้นที่ 1 ใช้ในพื้นที่ที่มีการสัญจรโดยสวมรองเท้าพื้นนิ่ม หรือเท้าเปล่า โดยไม่มีฝุ่นละออง เช่น ในห้องนอน ห้องน้ำ

ขั้นที่ 2 ใช้ในพื้นที่ซึ่งมีการสัญจรโดยสวมรองเท้าพื้นนิ่ม หรือรองเท้าปกติ และมีฝุ่นผงบ้างในจำนวนน้อย เช่น ห้องต่างๆ ภายในบ้าน

ขั้นที่ 3 ใช้ในพื้นที่ซึ่งมีการสัญจรไปมาบ่อยครั้ง ด้วยรองเท้าปกติ และมีฝุ่นผงไม่มากนัก เช่น ห้องครัว ภายในบ้าน ระเบียงทางเดิน ลานบ้าน

ขั้นที่ 4 ใช้ในพื้นที่ที่มีการสัญจรเป็นปกติ ซึ่งมีฝุ่นละอองมาก ทำให้มีสภาพที่ค่อนข้างรุนแรงกว่าขั้นที่ 3 เช่น ร้านอาหาร โรงแรม ห้องแสดงนิทรรศการ

ขั้นที่ 5 ใช้ในพื้นที่ที่มีการสัญจรพลุกพล่านเป็นเวลาต่อเนื่องยาวนานโดยมีปริมาณฝุ่นผงขัดสี เช่น ทราย, กรวด จำนวนมากเป็นสภาพการใช้งานที่รุนแรงที่สุด ซึ่งกระเบื้องปูพื้นชนิดเคลือบสีจะรองรับได้ เช่น ศูนย์การค้า โรงภาพยนตร์ ทางเดินสาธารณะ สถานีรถไฟฟ้า สถานีรถประจำทาง

ดังนั้นผู้ใช้งานควรรู้ก่อนว่าเราจะใช้กระเบื้องสำหรับพื้นที่ใด แล้วจึงเลือกกระเบื้องตามค่า PEI ที่ระบุไว้ให้เหมาะสมกับการใช้งาน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่จะเกิดขึ้น เช่น การสูญเสียพื้นผิวที่สวยงามไปในระยะเวลาอันสั้น

จ. ความต้านทานต่อสารเคมี เนื่องจากว่าการทำความสะอาดพื้นกระเบื้องเซรามิกนั้น ผู้บริโภคส่วนใหญ่มักใช้น้ำยาทำความสะอาดที่มีฤทธิ์เป็นกรด หรือเบส น้ำยาทำความสะอาดบางยี่ห้อมีฤทธิ์ที่จะกัดคราบสกปรกได้รุนแรงมาก ซึ่งถ้าผิวเคลือบของกระเบื้องไม่สามารถทนทานต่อการกัดกร่อนเหล่านั้นได้ก็จะทำให้ความสวยงามของพื้นกระเบื้องลดลง และสูญเสียความมันวาวไปในที่สุด ดังนั้นกระเบื้องปูพื้นเซรามิกที่ดีควรผ่านการทดสอบสารเคมี และรับประกันกับลูกค้าได้ว่าจะไม่เกิดปัญหาในการใช้งานแต่อย่างใด

2.1.3.3 กระเบื้องโมเสค (Mosaic)

เป็นกระเบื้องที่มีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำ มีความแข็งแรงสูง เนื้อกระเบื้องจัดอยู่ในประเภทพวก Porcelain มักเป็นกระเบื้องที่มีขนาดเล็ก (ต่ำกว่า 4 นิ้วลงไป) ผู้ผลิตจะทำการนำโมเสคเหล่านี้ไปติดบนแผ่น (Sheet) ซึ่งทำมาจากไนลอน เวลาปูก็ทำการปูไปทั้งแผ่น จำนวนชิ้นของโมเสคในแต่ละแผ่นนั้นขึ้นกับขนาดของโมเสคที่นำมาติดกับแผ่น

สีของตัวกระเบื้องโมเสคจะมีความเข้มอ่อนแตกต่างกันได้ โดยมาจากสภาพความแตกต่างของอุณหภูมิเตาในแต่ละตำแหน่งของเตา โดยผู้ผลิตจะนำกระเบื้องโมเสคเหล่านี้มาจัดเรียงเฉดสีให้กลมกลืนกันภายใน 1 Sheet เรียกว่าการ Mix Pattern ซึ่งการที่เกิดความเข้มอ่อนของสีในแต่ละแผ่นนั้น ถือว่าเป็นเสน่ห์ หรือเป็นเอกลักษณ์ของกระเบื้องโมเสคทีเดียว ซึ่งลูกค้าที่เลือกใช้กระเบื้องประเภทนี้จึงมักจะชอบที่ความต่างของเฉดสีของกระเบื้องชนิดนี้ นอกจากนี้ในปัจจุบันผู้ผลิตยังได้นำเทคโนโลยีสำหรับการตกแต่งลวดลายที่ใช้กับกระเบื้องปูพื้น หรือบุผนังมาใช้กับการผลิตกระเบื้องโมเสคด้วยทำให้กระเบื้องชนิดนี้มีลูกเล่นมากขึ้นกว่าในอดีตที่มีเอกลักษณ์อยู่เพียงการผสมกันของเฉดสีของแต่ละแผ่น

กระเบื้องโมเสคสามารถใช้ได้ทั้งการปูพื้น และบุผนัง นอกจากนี้ยังสามารถใช้ปูผนังด้านนอกของอาคารซึ่งมักนิยมกันมากในประเทศญี่ปุ่น เราเรียกกระเบื้องโมเสคที่ใช้ปูนอกอาคารว่า Facing Tile ตัวฐานราก (Footing) ของ Facing Tile นี้จะมีความลึกมากกว่ากระเบื้องโมเสคปกติเพื่อความสามารถในการยึดติดได้ดีขึ้น การปู Facing Tile มักจะใช้วิธีปูไปบนแผ่นคอนกรีตสำเร็จก่อน เมื่อเรียบร้อยแล้วจึงสามารถยกขึ้นไปติดตั้งพร้อมกับการก่อสร้างอาคารได้เลย ข้อดีของกระเบื้อง Facing Tile คือ สีจะสามารถคงทนอยู่ได้ดีกว่าสีทาอาคาร และยังสามารถทำความสะอาดได้ง่ายกว่า ไม่สกปรก หรือขึ้นราได้ง่ายเนื่องจากอัตราการดูดซึมน้ำต่ำมาก การเลือกใช้กระเบื้องโมเสคสำหรับปูพื้นนั้นควรเลือกประเภทของเคลือบที่มีผิวไม่มันมากนักเพื่อจะได้ไม่มีอันตรายเวลาพื้นลื่น นอกจากนี้ความสามารถในการทนทานต่อสารเคมีนั้นกระเบื้องโมเสคจะมีความทนทานได้ดีกว่ากระเบื้องปูพื้นหรือบุผนังเนื่องจากกระเบื้องโมเสคใช้อุณหภูมิในการเผาที่สูงกว่า ดังนั้นจึงสามารถใช้วัตถุดิบที่ทนทานต่อสารเคมีได้ดีกว่ากระเบื้อง 2 ชนิดที่ได้กล่าวมาแล้ว

ข้อเสียของกระเบื้องชนิดนี้จะอยู่ที่ปัญหาการทำความสะอาด เนื่องจากกระเบื้องนี้มีขนาดเล็กทำให้มีรอยต่อระหว่างแผ่น (Joint) มากซึ่งบริเวณดังกล่าวเวลาทำการปูจะต้องใช้ปูนซีเมนต์ขาวในการยาแนว ซึ่งบริเวณนี้จะมีโอกาสที่จะเกิดคราบความสกปรก และตะไคร่สีเขียวได้ง่าย ถ้าไม่ดูแลรักษาดีพอก็อาจจะทำให้เกิดสิ่งสกปรกขึ้นมาได้

2.1.3.4 กระเบื้องแกรนิต

เป็นกระเบื้องที่มีอัตราการดูดซึมน้ำที่ต่ำมาก (มีผู้ผลิตบางราย สามารถพูดได้ว่าไม่ดูดซึมน้ำเลย) มีความแข็งแรงสูง เนื้อผลิตภัณฑ์เป็น Porcelain มีคำเรียกกระเบื้องชนิดนี้อยู่หลายคำอาทิเช่น Homogeneous Tile, Granite Tile, Granito Tile, Porcelain Tile ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นคำเรียกกระเบื้องที่มีการผลิตเลียนแบบหินธรรมชาติ โดยการนำเอาสีเซรามิกเข้าไปผสมกับเนื้อดินเพื่อให้เกิดสีขึ้นในเนื้อดิน เทคโนโลยีเริ่มต้นเมื่อประมาณสิบกว่าปีก่อนเริ่มจากการพยายามผลิตกระเบื้องให้มีลักษณ์ และสีสันใกล้เคียงหินแกรนิตธรรมชาติ มีทั้งแบบไม่ขัดผิวหน้า และขัดพื้นผิวให้มีความมันเหมือนในการขัดหินแกรนิต ต่อมาได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตอย่างต่อเนื่องทั้งในส่วนของเครื่องจักร ส่วนของเทคนิคการผลิต การตกแต่งลวดลาย ทำให้สามารถผลิตกระเบื้องที่เลียนแบบหินธรรมชาติได้แทบทุกชนิดทั้งสีสัน และลวดลาย จนบางครั้งเราแทบไม่อาจจะแยกได้ว่าแผ่นไหนเป็นกระเบื้องที่มนุษย์ผลิต หรือแผ่นไหนเป็นหินที่ธรรมชาติได้รังสรรค์ขึ้นมา

เนื่องจากกระเบื้องแกรนิตได้มีการนำสีเซรามิกใส่ผสมลงไปกับเนื้อดินเลยทำให้กระเบื้องทั้งแผ่นมีสีเหมือนกันดังนั้นเมื่อใช้กระเบื้องไปนานๆ จนเกิดการขัดสี หรือการกร่อนของผิวหน้ากระเบื้องก็ยังจะไม่เกิดปัญหาเหมือนกับกระเบื้องที่ใช้การเคลือบผิว เพราะเมื่อผิวหน้าด้านบนสึกไปพื้นด้านล่างก็ยังคงมีสีเช่นเดียวกันกับพื้นด้านบน แต่สำหรับกระเบื้องแกรนิตที่ผ่านการขัดผิวจนมันเงาแล้วอาจจะพบปัญหาผิวหน้าหมอง และด้านขึ้นเมื่อใช้ไปนานๆ ได้

สมบัติที่สำคัญของกระเบื้องแกรนิต

ก. อัตราการดูดซึมน้ำจะต่ำมาก เนื่องมาจากวัตถุประสงค์ของกระเบื้องชนิดนี้ต้องการให้ผู้ใช้งานสามารถใช้ได้ในทุกพื้นที่ ไม่ว่าจะเป็นด้านในอาคาร ด้านนอกอาคาร ที่จอดรถ สถานที่สาธารณะที่มีผู้คนพลุกพล่านโดยเฉพาะกระเบื้องที่ผ่านการขัดผิวมาแล้ว ซึ่งการขัดผิวก็เหมือนกับการเปิดรูพรุนที่ผิวหน้าของกระเบื้องซึ่งจะมีโอกาสทำให้ฝุ่นละออง, สิ่งสกปรก, คราบน้ำมัน เข้าไปแทรกอยู่ภายในรูพรุนเหล่านั้นได้ ถ้าเราสามารถผลิตกระเบื้องที่มีรูพรุนน้อยที่สุด หรือปราศจากรูพรุนเลยก็จะช่วยลดปัญหาดังกล่าวไปได้

ข. ความแข็งแรงสูง เนื่องจากวัตถุประสงค์ที่ต้องการให้ผู้ใช้งานสามารถใช้เป็นทางเลือกในการนำไปปูพื้นที่จอดรถ พื้นทางเดิน ทางเข้าบ้าน ซึ่งจะต้องรับแรงกดมากกว่าปกติ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีความแข็งแรงที่สูงเพียงพอ

ค. ความมันของผิวหน้ากระเบื้องที่ขัดแล้ว ซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดความเงาของผิวหน้า (Glossy Meter) ซึ่งความมันของผิวนี้จะเป็นตัวบอกความสวยงาม และคุณภาพของผู้ผลิตได้เป็นอย่างดี

ง. ขนาดของกระเบื้องที่ผ่านการตัดขอบ และผ่านการขัดแล้ว จะต้องมีขนาดใกล้เคียงกันมาก ซึ่งจะช่วยให้การปูกระเบื้องปูได้ชิดกันจนแทบมองไม่เห็นรอยยาแนวเลย ซึ่งจะทำให้เกิดความสวยงาม และดูเหมือนการปูหินธรรมชาติมาก

ข้อดีของกระเบื้องแกรนิตเมื่อเปรียบเทียบกับหินธรรมชาติ (เช่น หินอ่อน หรือหินแกรนิต)

ก. มีความแข็งแรงมากกว่า โดยเฉพาะการรับแรงกดของกระเบื้องจะมีค่าสูงกว่าหินธรรมชาติ

ข. สามารถควบคุมเฉดสีได้ดีกว่า ซึ่งจะทำให้มีสีที่กลมกลืนมากกว่าหินธรรมชาติ มีสีสัน และลวดลายให้เลือกมากมายตามที่ลูกค้าต้องการ

ค. น้ำหนักต่อแผ่นจะเบากว่า เนื่องจากสามารถทำให้มีความหนาน้อยกว่าหินธรรมชาติ

ง. ราคาถูกกว่าหินธรรมชาติ โดยเฉพาะสีพิเศษบางสี เช่น สีดำ สีแดงเลือดนก ซึ่งแหล่งหินธรรมชาติในเมืองไทยไม่มีหินสีเหล่านี้ จำเป็นต้องสั่งซื้อมาจากต่างประเทศดังนั้นราคาจึงสูงขึ้นอีกมาก

จ. ช่างปูกระเบื้องสามารถปูได้ง่ายกว่าการปูหินธรรมชาติ การตัดสามารถใช้เครื่องมือปกติที่ใช้ตัดกระเบื้องทั่วๆ ไปได้

2.1.3.5 กระเบื้องเคลือบเนื้อแกรนิต

มีสมบัติใกล้เคียงกับกระเบื้องแกรนิต ทั้งในเรื่องอัตราการดูดซึมน้ำ, ความแข็งแรง แต่ที่ผิวหน้าจะมีการเคลือบสี และตกแต่งลวดลายเพื่อให้เกิดความสวยงามรวมทั้งช่วยปรับปรุงสมบัติด้านการขัดสี, การขูดขีด ให้มีความทนทานด้วย เคลือบที่ใช้กับกระเบื้องแกรนิตนั้นมักจะเป็นเคลือบที่มีความทนทานทั้งกับสารเคมี และการขัดสีจึงสามารถใช้กระเบื้องชนิดนี้ได้ในทุกพื้นที่รวมทั้งภายนอกอาคารและสถานที่สาธารณะต่างๆ ที่มีผู้คนสัญจรไปมาเป็นจำนวนมาก

กระเบื้องชนิดนี้เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในประเทศแถบยุโรป และอเมริกาที่มีอากาศหนาวเย็น ที่อุณหภูมิในช่วงฤดูหนาวจะต่ำกว่าจุดเยือกแข็งจนทำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็ง ซึ่งถ้ากระเบื้องมีอัตราการดูดซึมน้ำสูงก็จะพบปัญหาน้ำที่อยู่ตามรูพรุนกลายเป็นน้ำแข็ง และถ้ามีปริมาณมากอาจทำให้กระเบื้องแตกได้เนื่องจากการขยายตัวของน้ำแข็ง เราเรียกสมบัติที่สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่อุณหภูมิต่ำมากนี้ว่า Frost Resistance

2.1.3.6 กระเบื้อง Third Firing

เป็นกระเบื้องตกแต่งที่มีการเผาหลายครั้ง และหลายอุณหภูมิเพื่อให้เกิดความสวยงาม ได้จากการนำกระเบื้องปูพื้น, บุผนัง หรืออื่นๆ ที่ผ่านการเผาแล้วมาทำการตกแต่งลวดลายเพิ่มเติมแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ผลิตกระเบื้องดังกล่าว อุณหภูมิที่ใช้เผานั้นขึ้นอยู่กับสีที่นำมาตกแต่ง อาจมีการเผามากกว่าหนึ่งครั้งก็ได้ขึ้นกับชนิดของสีที่นำมาตกแต่ง กระเบื้องชนิดนี้จะใช้ตกแต่งควบคู่ไปกับกระเบื้องชนิดต่างๆ ที่นำมาเป็นพื้นเพื่อให้เกิดความสวยงามขึ้น ซึ่งลวดลายนั้นมีทั้งลายดอกไม้ ลายกราฟิก รูปการ์ตูน ภาพธรรมชาติ หรือแม้แต่ภาพอิมเพรสชั่นนิส ก็ยังสามารถนำมาใช้กับกระเบื้องได้ การใช้งานมีได้ทั้งเป็นกระเบื้องตัดขอบ (Border) หรือเป็นกระเบื้องที่มีลวดลายแซมอยู่ทั่วไปของพื้นที่ (Spot Tile) ข้อควรระวังของกระเบื้องชนิดนี้คือความทนทานของสีที่นำมาตกแต่งต่อการขูดขีดและต่อสารเคมีจะต่ำถึงแม้ว่าจะผ่านการเผามาแล้วก็ตาม

2.1.3.7 กระเบื้องที่ได้จากกระบวนการรีด (Extrude Tile or Spilt Tile)

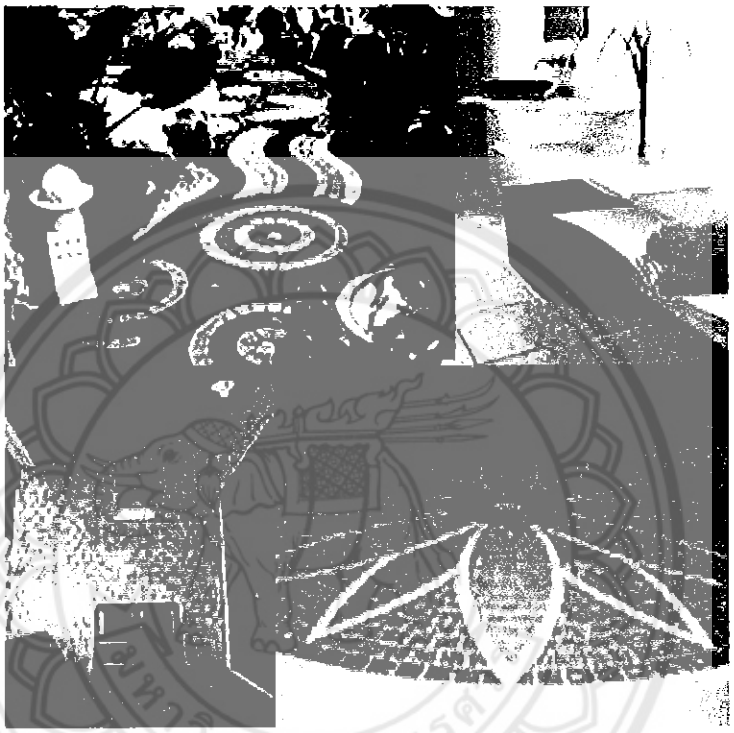
ความแตกต่างของกระเบื้องชนิดนี้กับกระเบื้องที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นอยู่ที่กระบวนการผลิต โดยกระเบื้องชนิดนี้จะขึ้นรูปโดยการนำดินที่มีความชื้นสูงมาเข้าเครื่องรีดผ่านหัวแบบ (Die) ให้ได้รูปร่างตามแบบ แล้วจึงตัดตามขนาดที่ต้องการ คุณสมบัติต่างๆ ของกระเบื้องหลังเผาแล้วก็จะใกล้เคียงกับกระเบื้องปูพื้นทั้งในเรื่องอัตราการดูดซึมน้ำ, ความแข็งแรง, ความทนทานต่อสารเคมี แต่สิ่งที่กระเบื้องชนิดนี้ทำได้ยากก็คือความหลากหลายของขนาดกระเบื้องโดยเฉพาะกระเบื้องที่มีขนาดใหญ่ สำหรับลวดลาย และสีสันนั้นได้มีการพัฒนาให้ลวดลายหลากหลายขึ้นจากเดิมที่มีเพียงการเคลือบสีเพียงอย่างเดียว ซึ่งตามท้องตลาดเราจะเริ่มเห็น Spilt Tile ที่มีลวดลายสวยงามเพิ่มขึ้น

การใช้งานสามารถใช้ได้ทั้งภายใน และภายนอกอาคาร มีผู้ผลิตบางรายผลิตกระเบื้องที่มีรูปทรงพิเศษใช้สำหรับเป็นจมูกบันได ทำให้การปูกระเบื้องตามขั้นบันไดมีความสวยงามเพิ่มขึ้น และช่วยลดความคมของรอยต่อกระเบื้องตรงขอบบันไดได้

2.1.3.8 กระเบื้องเนื้อแดงไม่เคลือบ (Terra Cotta)

ผลิตมาจากดินแดง หรือดินที่มีจำนวนเหล็กออกไซด์สูง มีทั้งการขึ้นรูปแบบ Pressing, Extruding และการขึ้นรูปด้วยมือ มีอัตราการดูดซึมน้ำสูง ความแข็งแรงไม่สูงมากนัก เหมาะใช้สำหรับตกแต่งบ้านให้สวยงามมากกว่าคำนึงถึงประโยชน์ใช้สอยที่แท้จริง มีราคาถูกกว่ากระเบื้องชนิดอื่นๆ ปัญหาที่พบได้มากในการใช้งานกระเบื้องประเภทนี้คือเรื่องความสกปรกบนผิวหน้าจะเกิดขึ้นได้ง่ายแต่กำจัดออกไปได้ยาก รวมทั้งการเกิดตะไคร่น้ำซึ่งจะทำให้ลื่นง่ายจะเกิดอันตรายกับผู้ใช้งานได้ จึงไม่เหมาะที่จะใช้งานในพื้นที่ภายนอกอาคารที่ถูกน้ำ ในพื้นที่ที่เปียกชื้นเสมอๆ พื้นที่ที่ต้องรับแรงมาก

ทั้งหมดนี้คือรายละเอียดของกระเบื้องในแต่ละประเภท และความเหมาะสมในการใช้งานที่ผู้ผลิตมีความตั้งใจผลิตขึ้นมาเพื่อสนองความต้องการให้กับลูกค้าให้มากที่สุด ซึ่งถ้าผู้ใช้งานใช้ได้ถูกต้องตามที่ผู้ผลิตออกแบบมาให้แล้วก็จะเกิดปัญหาได้น้อยที่สุด หรือแม้ว่าเกิดปัญหาขึ้นได้ก็ยังสามารถร้องเรียนไปยังหน่วยงานบริการหลังการขายเพื่อให้มาตรวจสอบ และแก้ไขให้ได้ ซึ่งมีทั้งการซ่อมแซม หรือชดเชย (คชินท์, 2537)



รูปที่ 2.2 การนำกระเบื้องเซรามิกมาใช้งาน

ที่มา: คชินท์ (2537)

2.1.4 คุณสมบัติของกระเบื้อง

2.1.4.1 การกันลื่น

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วัดสภาพกันลื่น คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Coefficient of Friction : COF) ถ้าค่า Coefficient of Friction (COF) สูงกระเบื้องจะกันลื่นได้ดียิ่งขึ้น กระเบื้องชนิดไม่เคลือบ กระเบื้องโมเสค (ซึ่งมีรอยแนวยาปูนมาก) และกระเบื้องที่มีพื้นผิวหยาบจะมีความลื่นน้อยกว่า เมื่อเทียบกับกระเบื้องชนิดเคลือบผิวเรียบ และมันวาว เราขอแนะนำให้ใช้กระเบื้องที่กันลื่นได้มากกว่าในพื้นโรงงาน ห้องครัว ห้องน้ำ และบริเวณสระว่ายน้ำ

2.1.4.2 ความต้านทานต่อการขัดสีของผิว

คุณสมบัตินี้แสดงถึงความต้านทานของสารเคลือบต่อการหลุดลอก อันเนื่องจากการสัมผัสกับวัสดุต่างๆ ทั้งโดยตั้งใจ หรือไม่ตั้งใจก็ตาม กระเบื้องพอร์ซเลนจะมีความต้านทานต่อการขัดสีของผิวได้มากกว่า และมีความทนทานสูงกว่า

2.1.4.3 ขนาดของกระเบื้อง

กระเบื้องเซรามิกผ่านขั้นตอนการเผาในเตาเผา ดังนั้นจะมีการหดตัวลงในระดับหนึ่ง ซึ่งจะทำให้กระเบื้องแต่ละแผ่นมีขนาดแตกต่างกันเล็กน้อย ระดับการหดตัวจะมีความแตกต่างกันไปตามประเภทของกระเบื้อง และชุดการผลิต

2.1.4.4 เฉด และโทนสี

คุณสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบธรรมชาติที่ใช้ และขั้นตอนในการเผานั้นทำให้กระเบื้องมีเฉดสีแตกต่างกันเล็กน้อย ทั้งในกระเบื้องชุดเดียวกัน และต่างชุดกัน อันเป็นคุณสมบัติปกติของกระเบื้องเซรามิก

2.1.4.5 การดูดซึมน้ำ

กระเบื้องที่สามารถดูดซึมน้ำได้ต่ำจะมีความแข็งแกร่งสูงกว่า การเผากระเบื้องที่อุณหภูมิที่สูงจะทำให้กระเบื้องมีรูพรุนน้อยทำให้ดูดซึมน้ำได้น้อย

2.1.4.6 ความแข็งแกร่ง

ความแข็งแกร่ง Mordulus of Rupture (MOR) เป็นตัวชี้วัดความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิก และค่าแรงกดดันสูงสุดที่กระเบื้องสามารถรับได้โดยที่ไม่แตกหัก ยิ่ง Mordulus of Rupture (MOR) สูง โครงสร้างกระเบื้องก็จะยิ่งหนาแน่นมากขึ้น ดังนั้นความแข็งแกร่งของกระเบื้องเซรามิกประเภทต่างๆ จะช่วยให้คุณเลือกกระเบื้องได้เหมาะสมตามการใช้งาน

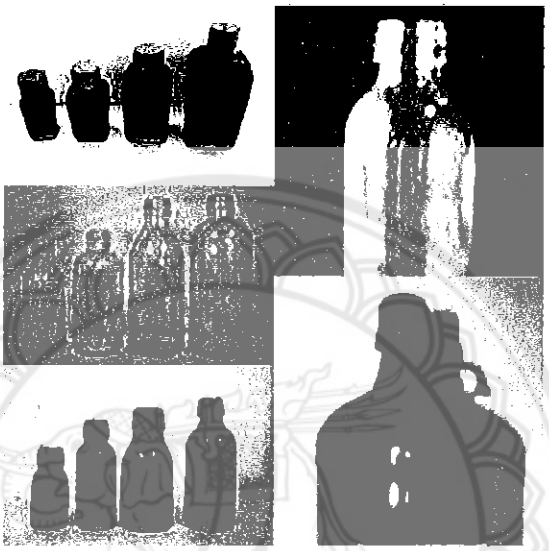
2.1.4.7 ความทนต่อรอยด่าง และสารเคมี

กระเบื้องที่มีความทนต่อรอยด่างจะสะอาด และทำความสะอาดได้ง่าย กระเบื้องเซรามิกแบบเคลือบมีความทนต่อรอยด่างเนื่องจากมีพื้นผิวที่เคลือบไว้ ส่วนกระเบื้องพอร์ซเลนนั้นมีความทนต่อรอยด่าง เนื่องจากมีเนื้อแน่น หรือมีคุณสมบัติการดูดซึมน้ำต่ำ (White Horse Ceramic, 2546)

2.2 แก้ว

"แก้ว" มาจากภาษาอังกฤษว่า "Glass" เป็นวัตถุโปร่งใส เนื้อใสสะอาด มีความเป็นมัน แวววาวสุกใส แก้วเป็นสารประกอบของซิลิกากับสารโลหะออกไซด์ มีลักษณะโปร่งตา และมีความเปราะในตัวเอง ตาม ASTM กล่าวว่า แก้ว คือ วัสดุที่เป็นสารอนินทรีย์ต่างๆ มาเผาให้ถึงจุดละลายที่อุณหภูมิสูง และเมื่อเวลาเย็นตัวลงมาจะกลายเป็นของแข็งโดยไม่ตกผลึก

แก้ว หมายถึง วัสดุแข็งที่มีรูปลักษณะอยู่ตัว และเป็นเนื้อเดียว โดยปกติแล้วเกิดจากการเย็นตัวลงอย่างฉับพลันของวัสดุหลอมหนืด ซึ่งทำให้การแข็งตัวนั้นไม่ก่อผลึก ตัวอย่างเช่น น้ำตาล ซึ่งหลอมละลายและถูกทำให้แข็งตัวอย่างรวดเร็ว อาจด้วยการหยดลงบนผิวเย็น น้ำตาลที่แข็งตัวนี้ จะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียว ไม่แสดงให้เห็นถึงลักษณะที่เป็นผลึก ซึ่งสามารถสังเกตได้จากรอยแตกหักซึ่งมีลักษณะละเอียด (Conchoidal Fracture)



รูปที่ 2.3 ขวดแก้วสีใส และขวดแก้วสีชา
ที่มา: บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว (2539)

จากคำนิยามดังกล่าวจะเห็นว่าแก้วมีลักษณะที่เหมือนกับเซรามิก คือ

- แก้วประกอบขึ้นจากสารอนินทรีย์เหมือนกัน
- แก้วต้องผ่านการใช้อุณหภูมิสูงจึงทำให้เรามักจะพูดกันว่าแก้วเป็นวัสดุในกลุ่มเดียวกับเซรามิก

แต่สิ่งที่ต่างกันระหว่างแก้วกับเซรามิกก็มีเหมือนกัน นั่นคือ

- แก้วต้องมีการหลอมตัวก่อนที่จะขึ้นรูปในขณะที่เซรามิกต้องขึ้นรูปก่อน
- แก้วจะแข็งตัวโดยไม่มีการตกผลึก

แก้วสามารถที่จะเกิดได้หลากหลายวิธี โดยการที่จะเลือกวัตถุดิบในการผลิต จะต้องมีการคำนวณเพื่อหาปริมาณสารที่ต้องการใช้ในแต่ละชุด (Batch) เนื่องจากสารที่ต้องการใช้ในแต่ละชุด จะได้มาจากปฏิกิริยาของวัตถุดิบ โดยในระหว่างการหลอมวัตถุดิบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และทางโครงสร้าง โดยจะทำให้เกิดฟองอากาศที่ต้องกำจัดออกไป โดยในผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่ต้องการการขึ้นรูปทรงที่เฉพาะ จะทำโดยมีการใช้กระบวนการทางความร้อนเข้าช่วย เพื่อกำจัด Stress ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว และการปรับปรุงให้แก้วมีความแข็งแกร่งขึ้นโดยการอบเทมเปอร์ (Temper)

แก้วโดยทั่วไปนั้น ทำจากซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2 - Silicon Dioxide) ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของสารประกอบทางเคมี ในแร่ควอตซ์ (Quartz) หรือในรูป Polycrystalline ของทรายซิลิกาบริสุทธิ์ มีจุดหลอมเหลวที่ 2,000 องศาเซลเซียส (3,632 องศาฟาเรนไฮต์) เพื่อความสะดวกในกระบวนการผลิตจะมีการผสมสาร 2 ชนิดลงไปด้วยชนิดแรก คือ โซดาแอช (Soda Ash) ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate - Na_2CO_3) หรือสารประกอบโปตัสเซียม เช่น โปตัสเซียมคาร์บอเนต เพื่อช่วยให้อุณหภูมิในการหลอมเหลวนั้นต่ำลงอยู่ที่ประมาณ 1,000 – 1,500 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามสารนี้จะส่งผลข้างเคียงทำให้แก้วนั้นละลายน้ำได้ จึงต้องมีการเติมสารอีกชนิด คือ หินปูน ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate - $CaCO_3$) (เมื่ออยู่ในเนื้อแก้วจะกลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide - CaO)) เพื่อทำให้แก้วนั้นไม่ละลายน้ำ

องค์ประกอบของแก้วที่ใช้ทำภาชนะใช้งานโดยทั่วไป เช่น แก้วน้ำ หรือกระจกใส จะมีองค์ประกอบแต่ละตัวโดยประมาณดังนี้

SiO_2 ร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก

Na_2O ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

CaO ร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

และองค์ประกอบอื่น ๆ อีกเล็กน้อย เช่น MgO, Al_2O_3, K_2O เป็นต้น

อาจมีแก้วพิเศษชนิดอื่น ซึ่งเกิดจากการเติมวัตถุดิบอื่นๆ ลงไป เพื่อช่วยปรับคุณสมบัติของแก้ว เช่น

- เติมตะกั่ว (จากวัตถุดิบเช่น ลิธาจ; Litharge) และกลายเป็น PbO ในเนื้อแก้วเพื่อให้แก้วหนักขึ้น เนื้อแก้วหยุ่นเหนียว และแวววาว ซึ่งเรียกโดยทั่วไปว่าแก้วคริสตัล
- เติมแบเรียม และสังกะสี (BaO, ZnO) เพื่อช่วยทำให้แก้วมีลักษณะคล้ายแก้วคริสตัลโดยไม่ใช้ตะกั่ว เป็นต้น

2.2.1 ชนิดของแก้ว

การแบ่งประเภทของแก้ว สามารถแบ่งได้หลายแบบ เช่น แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต แบ่งองค์ประกอบทางเคมี หรือแบ่งตามการใช้งาน แต่โดยส่วนใหญ่เรามักจะบอกประเภทของแก้วตามองค์ประกอบได้ดังนี้

2.2.1.1 แก้วโซดาไลม์ (Soda-Lime Glass)

ผลิตจากวัตถุดิบหลัก คือ ทราย โซดาแอช หินปูน เป็นแก้วที่พบเห็นได้โดยทั่วไป ได้แก่ แก้วที่เป็นขวด แก้วน้ำ กระจก เป็นต้น สามารถทำให้เกิดสีต่างๆ ได้โดยการเติมออกไซด์ที่มีสีลงไป

รูปที่ 2.4 ขวดแก้วโซดาไลม์

ที่มา: บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว (2539)

2.2.1.2 แก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate Glass) หรือ Pyrex

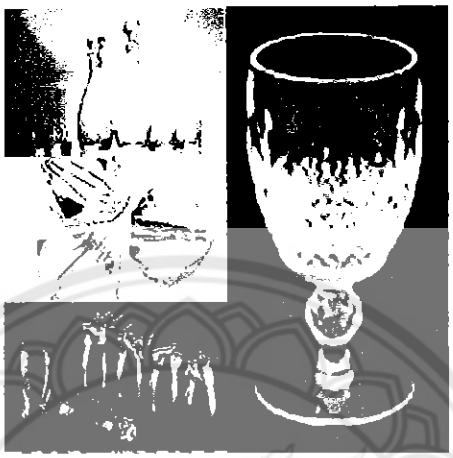
เป็นแก้วที่มีการเติมบอริคออกไซด์ลงไป ส่งผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ และทนต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อน แก้วที่ได้สามารถนำไปใช้ทำเครื่องแก้วทางวิทยาศาสตร์ ทำภาชนะแก้วสำหรับใช้ในเตาไมโครเวฟ เป็นต้น

รูปที่ 2.5 แก้วบอโรซิลิเกต

ที่มา: บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว (2539)

2.2.1.3 แก้วตะกั่ว (Lead Glass) หรือแก้วคริสตัล

เป็นแก้วที่มีสารผสมของตะกั่วออกไซด์อยู่มากกว่าร้อยละ 24 โดยน้ำหนัก จะเป็นแก้วที่มีดัชนีหักเหสูงมากกว่าแก้วชนิดอื่น ทำให้มีประกายแวววาวสวยงาม และแกะสลักเป็นลวดลายต่างๆ ได้ ใช้ทำเครื่องแก้วที่มีราคาแพง

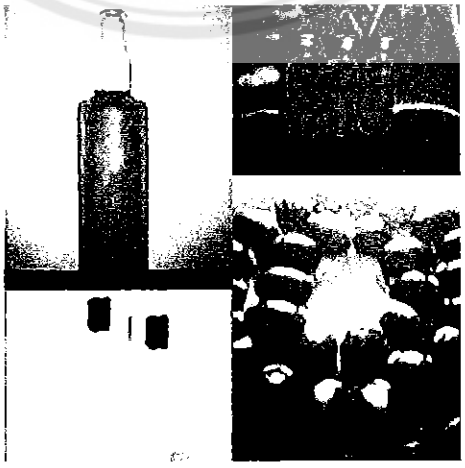


รูปที่ 2.6 แก้วตะกั่ว

ที่มา: บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว (2539)

2.2.1.4 แก้วโอปอล (Opal Glass)

เป็นแก้วที่มีการเติมสารบางตัว เช่น โซเดียมฟลูออไรด์ หรือแคลเซียมฟลูออไรด์ ทำให้มีการตกผลึก หรือการแยกเฟสขึ้นในเนื้อแก้ว ทำให้แก้วชนิดนี้มีความขุ่น หรือโปร่งแสง เนื่องจากสามารถหลอม และขึ้นรูปได้ง่ายจึงมีต้นทุนการผลิตต่ำ และสามารถทำให้มีความแข็งแรงทนทานมากขึ้น เมื่อนำไปผ่านขบวนการอบ (Tempering) หรือการเคลือบ (Laminating)

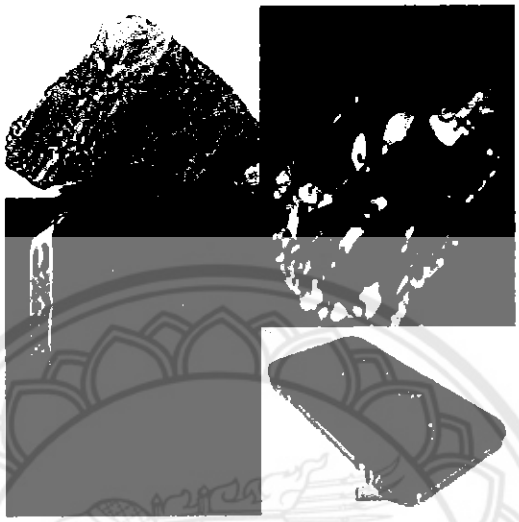


รูปที่ 2.7 แก้วโอปอล

ที่มา: บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว (2539)

2.2.2.5 แก้วอลูมิโนซิลิเกต (Alumino Silicate Glass)

มีอลูมินา และซิลิกาเป็นส่วนผสมหลัก มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ และมีจุดอ่อนตัวของแก้ว (Softening Point) สูง พอที่จะป้องกันการเสียรูปทรงเมื่อทำการอบเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.8 แก้วอลูมิโนซิลิเกต

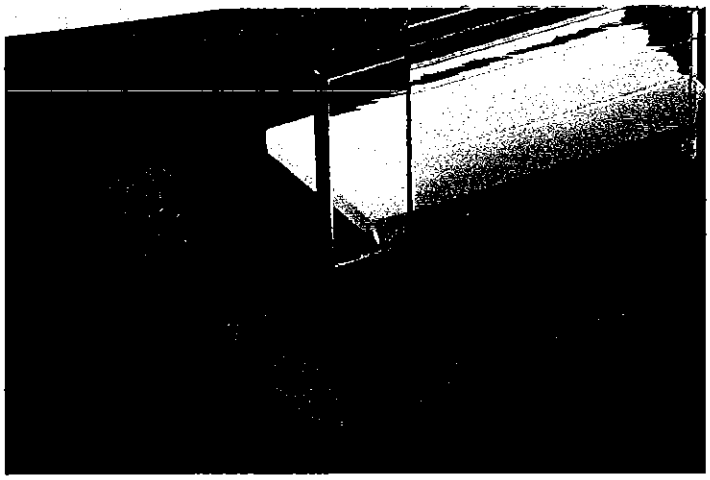
ที่มา: บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว (2539)

2.2.1.6 แก้วอัลคาไลน์-เอิร์ท อลูมิโนซิลิเกต (Alkaline-Earth Alumino Silicate)

มีส่วนผสมของแคลเซียมออกไซด์ หรือแบเรียมออกไซด์ทำให้มีค่าดัชนีหักเหใกล้เคียงกับแก้วตะกั่ว แต่ผลิตง่ายกว่า และมีความทนทานต่อกรด และด่างมากกว่าแก้วตะกั่วเล็กน้อย

2.2.1.7 กลาส-เซรามิก (Glass-Ceramics)

เป็นแก้วประเภทลิเธียมอลูมิโนซิลิเกตที่มี TiO_2 หรือ ZrO_2 ผสมอยู่เล็กน้อยซึ่งจะทำให้เกิดผลึกในเนื้อแก้ว ซึ่งอาจทำให้แก้วมีความทึบแสง หรือโปร่งใสขึ้นกับชนิดของผลึก กลาส-เซรามิกจะทนทาน และมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำมาก สามารถนำไปใช้เป็นภาชนะหุงต้มหรือเป็นแผ่นบนเตาหุงต้มได้



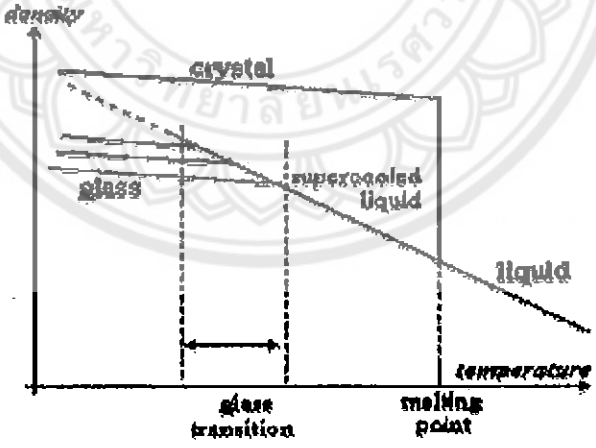
รูปที่ 2.9 กลาส-เซรามิก

ที่มา: บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว (2539)

นอกจากนี้อาจมีแก้วประเภทอื่นๆ อีกหลายประเภทขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่แตกต่างกันออกไป แต่เนื่องจากอาจไม่มีการใช้ที่แพร่หลายนัก จึงไม่นำมากล่าวในที่นี้

2.2.2 สมบัติของวัสดุแก้ว

สมบัติพื้นฐานของวัสดุอสัณฐาน หรือแก้ว คือ Glass Transition Temperature หรือ T_g จึงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอันหนึ่งที่จะบอกว่าวัสดุนั้นเป็นวัสดุอสัณฐาน หรือแก้วหรือไม่



รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เปรียบเทียบกันระหว่างวัสดุแก้วกับผลึก

ที่มา: บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว (2539)

จากกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เปรียบเทียบกันระหว่างวัสดุแก้วกับผลึก สำหรับผลึกนั้นเมื่อเราทำการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของมันอย่างรวดเร็ว นั่นคือเกิดการหลอมละลายกลายเป็นของเหลวที่จุดหลอมเหลว หรือ T_m แต่สำหรับแก้วแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นเพียงเล็กน้อยที่ Glass Transition Temperature หรือ T_g กลายเป็นของเหลวที่มีความหนืดสูงมาก เรียกว่า Supercooled Liquid ก่อนที่จะหลอมเหลวเป็นของเหลวต่อไป เนื่องจากแก้วเกิดจากของเหลวที่ถูกทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วโดยไม่มีการตกผลึก แก้วจึงมีพฤติกรรมเหมือนของเหลวที่หนืดมากสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปตามแรงกระทำจากภายนอกได้ แต่ในความเป็นจริงการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย และจะเกิดขึ้นช้ามากจนไม่อาจสังเกตได้ สมบัติของวัสดุแก้วนั้นมักจะขึ้นอยู่กับสารชนิดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบในแก้ว ทำให้ลักษณะพันธะในแก้วเปลี่ยนแปลงไปซึ่งจะส่งผลไปยังลักษณะทางเคมี และกายภาพของแก้วนั้น

2.2.2.1 สมบัติทางกลของวัสดุแก้ว

ก. Elasticity

แก้วเป็น Elastic Material ที่สมบูรณ์แบบ คือมันจะไม่เปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร แต่มันมีความเปราะซึ่งหมายถึงมันจะแตกเมื่อได้รับความเค้น (Stress) เพิ่มขึ้น

- Young's Modulus, E

เป็นค่าที่แสดงถึงแรงดึงตามทฤษฎีที่ใช้ในการทำให้แก้วยืดออกให้ยาวขึ้นเท่ากับความยาวเดิมของมัน หน่วยของมันจะมีค่าเป็นแรงต่อพื้นที่ สำหรับแก้วตามมาตรฐานยุโรปจะมีค่ายังโมดุลัสเท่ากับ 70 จิกะปาสคาล

- Poisson's Ratio: m (Lateral Contraction Coefficient)

เมื่อวัสดุถูกดึงด้วยแรง ขนาดตามขวางของวัสดุจะมีค่าลดลง ค่า m คือความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยที่ลดลงตามทิศทางที่ตั้งฉากกับแรง กับหน่วยของความเครียด (Strain) ตามทิศทางของแรง สำหรับแก้วในงานก่อสร้างค่า m = 0.22

ข. Compressive Strength

แก้วมีค่า Compressive Strength สูงมาก คือ 1,000 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร หรือ 1,000 เมกะปาสคาล นั่นหมายถึง ในการทำให้แก้วขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร แตกละเอียดลงได้ต้องให้น้ำหนักถึง 10 ตัน

ค. Tensile Strength

แก้วตามปกติจะมี Tensile Strength ประมาณ 40 เมกะปาสคาล และอาจทำให้เพิ่มสูงขึ้นถึง 120 - 200 เมกะปาสคาล เมื่อผ่านกระบวนการเพิ่มความแข็งแรงต่างๆ

2.2.2.2 สมบัติทางกายภาพอื่นๆของวัสดุแก้ว

Density

ความหนาแน่นของแก้วธรรมดาประมาณ 2.5 ซึ่งทำให้กระจกที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร และขนาด 1 ตารางมิลลิเมตร มีน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม

ตารางที่ 2.2 ความหนาแน่นของแก้วชนิดต่างๆ

ชนิดของแก้ว	ความหนาแน่น (g/cm^3)
Lead Silicate	2.85-3.12
Soda-Lime	2.48-2.60
Aluminosilicate	2.47-2.65
Borosilicate	2.24-2.41
Silica ร้อยละ 96 โดยน้ำหนัก (Vycor)	2.20

ที่มา: บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว (2539)

2.2.3 การใช้งานในวัสดุแก้ว

วัสดุศาสตร์จะแบ่งชนิดของแก้วตามประเภทของการใช้งานดังต่อไปนี้

2.2.3.1 แก้วที่ใช้ในงานก่อสร้าง (Constructions) เช่น กระจกแผ่น กระจกลาย อิฐแก้ว (Glass Brock) เป็นต้น ต้องมีความแข็งแรง ความโปร่งใสสูง สามารถผลิตในปริมาณมากเพื่อให้คุ้มกับการลงทุน

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

2.2.3.3 แก้วที่ผ่านการแปรรูป (Specialty Glass) เช่น กระจกนิรภัยชนิดต่างๆ กระจกฉนวน กระจกเสริมลวด เป็นการนำกระจกแผ่นแบบ Float มาอบ ดัด ตัดแต่ง ซึ่งจะทำให้ได้กระจกที่มีรูปร่างตามที่ต้องการ มีความทนทานมากขึ้น กระจกนิรภัยจะช่วยป้องกันอันตรายที่เกิดจากการแตกได้

2.2.3.4 แก้วเครื่องประดับตกแต่ง (Ornaments & Figurines) เช่น แก้วคริสตัล ของชำร่วยต่างๆ แก้วสลัก เจียระไน มักเป็นแก้วพวก Borosilicate ซึ่งสามารถนำมาเป่าขึ้นรูปได้ง่าย หรือแก้วผสมตะกั่ว ซึ่งจะทำให้แกะสลัก และเจียระไนได้ง่าย

2.2.3.5 แก้วในอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics & Electrical Glass) เช่น Cathode - Ray Tubes, Capacitors, Resistors, Computer Components และ Print Circuits เป็นต้น แก้วที่ใช้จะต้องมีค่า Dielectric ที่ดี มีการสูญเสียทางไฟฟ้าน้อยในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกันสูง หน้าจอทีวี แก้วสำหรับการป้องกันการแผ่รังสีก็ควรมีปริมาณตะกั่วที่สูง

2.2.3.6 แก้วในงานทางแสง (Optical Glass) เช่น หลอดไฟ ต้องมีทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ส่วนเลนส์ใยแก้วนำแสงต้องใช้วัตถุดิบที่มีความบริสุทธิ์สูง

2.2.3.7 แก้วในงานอื่นๆ (Other Glass) เช่น ใยแก้ว โฟมแก้ว วัสดุคอมโพสิท ต้องสามารถใช้ในงานที่ต้องการความแข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อน ทนความร้อน และมีความต้านทานไฟฟ้าที่ดี ขึ้นอยู่กับประเภทของงานที่จะนำไปใช้ (บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว, 2539)

2.3 ปูนซีเมนต์ขาว

ปูนซีเมนต์มิได้เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นมาเองตามธรรมชาติ แต่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มนุษย์ประดิษฐ์คิดค้นขึ้นจากการดิ้นรนเพื่อสร้างที่อยู่ ที่อาศัยจึงมีการพัฒนาอุปกรณ์ และวิธีการในการสร้างความสุขความสบายให้กับตนเอง และหมู่คณะขึ้น ในอดีตมีผู้คิดค้นผลิตปูนซีเมนต์มากมายหลายคน แต่ไม่ได้ทำการจดทะเบียนไว้เป็นหลักฐานจนกระทั่งในปี ค.ศ.1824 นายโจเซฟ แอสปดิน ชาวอังกฤษ เป็นผู้คิดค้นการผลิตปูนซีเมนต์ขึ้นจนเป็นผลสำเร็จ และทำการจดทะเบียนการผลิตปูนซีเมนต์อย่างถูกต้อง ส่วนผสมของการผลิตปูนซีเมนต์ในครั้งนั้น คือการนำเอาหินปูน และดินเหนียวมาเผาให้สุกได้ที่ ทิ้งเอาไว้จนเย็นนำมาบดให้ละเอียดจะได้เนื้อปูนซีเมนต์ที่มีสีเหลือง-เทา ซึ่งมีสีคล้ายกับหินในเกาะของเมืองปอร์ตแลนด์ประเทศอังกฤษ เมื่อสีของปูนซีเมนต์ออกมาเป็นเช่นนั้น นายโจเซฟ แอสปดิน จึงตั้งชื่อของปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นว่า " ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ " การผลิตปูนซีเมนต์ในครั้งนั้นยังคงได้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพต่ำ อันเนื่องมาจากการใช้ส่วนผสม และความร้อนยังไม่ถูกต้องไม่สัมพันธ์กัน ทำให้การรวมตัวกันยังไม่ดีพอ กล่าวโดยสรุปคือ ปูนซีเมนต์เป็นผลของผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกอันเกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ เช่น ปูนขาว ซิลิก้า เหล็กออกไซด์ และอลูมิน่า จนรวมตัวกันเป็นก้อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว เผาให้ส่วนผสมดังกล่าวสุก จากนั้นก็ทำให้เย็นลงตามกรรมวิธีการผลิตนำไปบดให้ละเอียดตามมาตรฐาน ก็จะได้ปูนซีเมนต์เพื่อที่จะนำไปใช้ในงานก่อสร้างศาสนสถาน อาคาร บ้านเรือนทั่วๆ ไป ถนน ท่อระบายน้ำ สะพาน เขื่อน สนามบิน และงานก่อสร้างอื่นๆ โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือ สามารถแข็งตัวได้ทั้งในน้ำ และในอากาศ

ในปัจจุบันการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีการพัฒนาให้เจริญก้าวหน้ามากขึ้นกว่าแต่ก่อนมาก มีการใช้วัตถุดิบหลายอย่างเพิ่มเติมลงไปในส่วนผสมรวมกับวัตถุดิบ เช่น ประเภทที่ให้ธาตุคัลเซียม อาทิ หินปูน ดินสอพอง ดินปูนขาว ประเภทที่ให้ธาตุซิลิกอน และอลูมิเนียม ได้แก่ หินเชล ดินเหนียว หินชนวน นอกจากนี้แล้วยังมีวัตถุดิบอย่างอื่นอีก เช่น แร่เหล็ก ใส่เพิ่มเติมลงไปในส่วนผสมดังกล่าว ในกรณีที่

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปริมาณของเหล็กในส่วนผสมต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด ซึ่งแร่เหล็กดังกล่าวปกติจะมีอยู่ในหินเชลดินเหนียวเป็นสำคัญ ทั้งนี้เพื่อช่วยให้คุณภาพที่ได้ตรงตามความต้องการใช้งานในแต่ละประเภท ซึ่งการเติมสินแร่เหล่านี้ต้องมีการวิจัยค้นคว้าเป็นกรณีพิเศษตามลักษณะงาน และมีสูตรลับเฉพาะของแต่ละบริษัทผู้ผลิตสินค้าชนิดนั้นๆ สำหรับในกรณีที่ต้องการเร่ง หรือหน่วงการก่อตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ก็จะนำเอายิบซัมมาผสมลงในส่วนผสมของการผลิตปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ยังรวมไปถึงเครื่องมือ เทคนิคกรรมวิธีต่างๆ ในการผลิตที่แตกต่างกันออกไปตามที่มีการพัฒนาให้มีศักยภาพที่สูงขึ้น และมีมาตรฐานมากขึ้น จึงได้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีคุณภาพดีสามารถที่จะแข็งตัวได้ตามที่ต้องการทั้งในน้ำ และในอากาศ ซึ่งในการผลิตปูนซีเมนต์จะมีการผลิตอยู่ 2 แบบด้วยกัน คือ ถ้าวัตถุดิบมีน้ำผสมอยู่มากก็จะใช้การผลิตแบบผสมเปียก แต่ถ้าวัตถุดิบมีน้ำอยู่น้อย หรือไม่มีน้ำผสมอยู่เลยจะใช้การผลิตแบบผสมแห้ง ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้ จะได้คุณภาพของปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพเท่าเทียมกันจากที่กล่าวมาข้างต้นคงพอมองเห็นแล้วว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นปูนซีเมนต์มาตรฐาน ใช้เป็นส่วนผสมในการทำคอนกรีต เมื่อนำมาผสมกับหิน กรวด ทราย และน้ำ ด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้เป็นคอนกรีตสด ซึ่งก็คือคอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ๆ ยังไม่ได้เทลงแบบหล่อ เมื่อนำไปเทลงในแบบหล่อแล้วทำการกระทุ้งให้แน่น เพื่อไล่ฟองอากาศออกทิ้งเอาไว้ให้เกิดการแข็งตัว และสามารถรับน้ำหนักได้ จะมีความทนทานแข็งแรงคล้ายหินตัวอย่างสิ่งก่อสร้างคอนกรีตเหล่านี้ ได้แก่ ฐานรากของอาคารทุกชนิด เสาตอม่อ เขื่อนขนาดเล็ก และใหญ่ กำแพงกั้นดิน ถนน สะพาน ท่อระบายน้ำ ถังเก็บน้ำ เมื่อเสริมด้วยเหล็กเส้น และเหล็กรูปพรรณก็จะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน

สีเทาในปูนซีเมนต์ เกิดจากสารออกไซด์ของเหล็ก และแมงกานีส ดังนั้น การผลิตปูนซีเมนต์ขาว (White Cement) จึงทำได้โดยการลดปริมาณสารดังกล่าวให้ต่ำลง ซึ่งอาจใช้ดินขาวจีน (China Clay) กับดินสอพอง หรือหินปูนที่ไม่มีออกไซด์ของธาตุเหล็กเป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยทั่วไปแล้วจะกำหนดให้ออกไซด์ของเหล็กในปูนซีเมนต์ขาวต่ำกว่าร้อยละ 0.5 ซึ่งทำให้มีปริมาณของสารเฟอร์ไรต์ในปูนซีเมนต์ประมาณร้อยละ 0.5 เท่านั้น ดังนั้นปูนซีเมนต์ขาวจึงมีส่วนประกอบของ C_3A สูง และแทบจะไม่มี C_4AF นอกจากนี้ในการเผาจะใช้น้ำมันเพราะถ่านหินจะมีออกไซด์ของธาตุเหล็ก และแมงกานีสปนอยู่สูง การใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงจะทำให้ต้นทุนการผลิตปูนซีเมนต์ขาวมีราคาที่สูงกว่าปูนซีเมนต์ธรรมดา กำลังอัดของปูนซีเมนต์นี้ส่วนมากจะไม่สูงนักจึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ทำโครงสร้างที่รับแรง ปูนซีเมนต์ชนิดนี้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความสวยงาม หรือทางด้านสถาปัตยกรรม เพราะสามารถใช้สีผสมให้เป็นสีที่ต้องการ เช่น ใช้ทำหินขัด หินล้าง เป็นต้น ปูนซีเมนต์ขาวที่ผลิตในประเทศไทย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ขาวตราช้างเผือก และปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ (ศาสตราจารย์ปริญญา และศาสตราจารย์ชัย, 2553)

I590484
มร.
ว281ค
2553

2.3.1 ชนิด และสมบัติของปูนซีเมนต์

ซีเมนต์ตามความหมายทางวิศวกรรมโยธาแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ บิทูมินัส (Bituminous) และนันบิทูมินัส (Non Bituminous) บิทูมินัสซีเมนต์ ได้แก่ ยางมะตอย (Asphalts) และน้ำมันดิน (Tars) เราใช้บิทูมินัสซีเมนต์มาทำการผสมกับ หิน ทราย ราดทำผิวถนน และเรียกส่วนผสมนี้ว่า แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete)

นันบิทูมินัสซีเมนต์ ได้แก่ อะลูมินาซีเมนต์ (Alumina Cement) และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) มีลักษณะเป็นผงสีเทาอ่อนต้องผสมน้ำในปริมาณมากพอสมควร แล้วทิ้งไว้ให้แห้งจึงจะแข็งตัว เรามักจะนิยมเรียกซีเมนต์ชนิดนี้ว่า ไฮดรอลิกซีเมนต์ (Hydraulic Cement) ทั้งนี้เพราะต้องใช้น้ำผสม และแข็งตัวในน้ำได้ ดังนั้นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จึงเป็นที่นิยมใช้ในการก่อสร้างมากที่สุด ในที่นี้จะกล่าวถึงชนิด และสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แบ่งเป็น 5 ประเภท ดังนี้

2.3.1.1 ปูนซีเมนต์ประเภทที่หนึ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Normal Portland Cement)

เป็นปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมทำคอนกรีตในงานโครงสร้างทั่วๆ ไป ซึ่งอยู่ในสภาวะของภูมิอากาศ และภูมิประเทศที่เป็นปกติไม่ร้อนจัด ไม่หนาวจัด ไม่มีอันตรายจากซัลเฟตซึ่งได้แก่ ความเปรี้ยว ความเค็มของน้ำ และดิน เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วๆ ไป ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ใช้ทำคอนกรีตในส่วนของโครงสร้างอาคารตั้งแต่ฐานราก เสาตอม่อ คานคอดิน พื้น กันสาด เสาเอ็น เสาของอาคารแต่ละชั้น ถนนรถยนต์ สะพาน ท่อระบายน้ำ ถังเก็บน้ำชนิดที่เป็นถังสูง และถังที่อยู่เสมอดินรวมไปถึงอาคารที่มีห้องใต้ดิน ทำกำแพงกันดินกันน้ำซึม เป็นต้น สำหรับงานที่ไม่ควรนำปูนชนิดนี้มาใช้ก็คือ งานก่ออิฐ งานฉาบปูน งานปั้น งานฉาบปูนทำบัว ทำลวดลายต่างๆ ของอาคาร หรือศาสนสถาน เพราะจะทำให้เกิดการแตกร้าวอันเนื่องมาจากการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ที่ค่อนข้างเร็ว ทำให้ช่างอาจจะตกแต่งไม่ทันปูก็แข็งตัวแล้ว ฉะนั้นจึงไม่ควรนำมาใช้กับงานประณีตที่ต้องใช้ระยะเวลาของการตกแต่งเป็นเวลานาน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีอยู่ด้วยกันหลายตรา เช่น ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียว ตราเพชรเม็ดเดียว และตราพีทีไอสีแดง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดธรรมดานี้จะมีอยู่ 4 ตรา ถ้าตราหนึ่งตราใดไม่มีจำหน่ายก็สามารถใช้ ตราใดตราหนึ่งแทนได้เช่นกัน

2.3.1.2 ปูนซีเมนต์ประเภทสองปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement)

เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีสมบัติเหนือกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาใช้สำหรับผสมทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกิดความร้อน และทนซัลเฟตได้ปานกลาง กล่าวคือในบริเวณการก่อสร้างมีความเค็ม ความเปรี้ยวของน้ำ และดินไม่มากนัก สามารถใช้ปูนประเภทสองนี้ได้ ตัวอย่างงานคอนกรีตที่ใช้ปูนประเภทนี้ ได้แก่ งานก่อสร้างเขื่อน คอนกรีต กำแพงกันดินหนาๆ หล่อท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ เสาตอม่อ สะพาน ฐานราก ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลงนี้จะมีจำหน่ายใน

ท้องตลาดเพียงตราเดียวเท่านั้นคือ ตราพญานาคเจ็ดเศียร ซึ่งตามปกติค่อนข้างจะหาซื้อได้ยาก เนื่องจากมีผู้ใช้น้อยอาจจะต้องมีการสั่งพิเศษเฉพาะงานเท่านั้น

2.3.1.3 ปูนซีเมนต์ประเภทสามปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็ว (High-Early Strength Portland Cement)

เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผลิตให้มีคุณภาพพิเศษไปกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ด้วยการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของวัตถุดิบ และเติมสารบางอย่างลงไป รวมทั้งเผาให้เม็ดปูนสุกระอุมากกว่าเดิม เมื่อนำมาบดให้เป็นผงละเอียดจะบดให้มีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีสมบัติพิเศษคือ สามารถแข็งตัวได้เร็วกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาถึงร้อยละ 50 ตามปกติโดยทั่วไปปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาจะแข็งตัว และสามารถรับน้ำหนักได้เต็มที่เมื่อคอนกรีตมีอายุได้ 14 วัน ภายหลังจากการเทคอนกรีตเข้าไปในแบบหล่อแล้ว แต่สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็วจะแข็งตัว และสามารถรับน้ำหนักได้เต็มที่เมื่อคอนกรีตมีอายุได้เพียง 7 วัน หลังจากการเทคอนกรีตเข้าไปในแบบหล่อแล้ว ปูนซีเมนต์ประเภทสามนี้เหมาะสำหรับที่จะนำไปใช้ในการหล่อคอนกรีตที่ต้องการใช้งานเร็วถอดแบบได้เร็วเพราะงานบางงาน มีความจำเป็นต้องทำให้เสร็จโดยเร็วเพื่อหลีกเหลี่ยงภัยธรรมชาติที่อาจจะเกิดขึ้น เช่น น้ำป่า น้ำท่วม ฝนตกหนักติดต่อกันหลายวันทำให้งานล่าช้ากว่าปกติ ฯลฯ งานดังกล่าวสามารถที่จะแก้ไขได้ด้วยการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็ว เพื่อให้งานนั้นสำเร็จทันต่อความต้องการใช้งานงานที่นิยมใช้ปูนประเภทสามกันมาก คือ การหล่อเสาเข็มคอนกรีต ถนน พื้น คานที่ต้องการถอดแบบเร็ว สนามบินงานคอนกรีตที่ต้องการถอดแบบเร็ว งานคอนกรีตที่ต้องการนำไปใช้งานเร็ว เพื่อให้ทันต่อความต้องการของตลาด ในขณะที่สินค้าดังกล่าวขายดิบขายดีจนทำให้มีการขาดตลาด เช่น เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง พื้นสำเร็จรูป คานสำเร็จรูป เสารั้วสำเร็จรูป เป็นต้น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็วมีจำหน่ายในท้องตลาด 3 ตรา คือ ตราเอราวัณ ตราเพชร 3 เม็ด ตราพญานาคสีแดง ซึ่งทั้ง 3 ตรานี้สามารถใช้ทดแทนกันได้ในกรณีที่ตราหนึ่งตราใดไม่มีจำหน่าย หรือขาดตลาด การนำเอาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็วมาใช้กับงานจะต้องมีความประณีตเป็นพิเศษ เพราะเมื่อผสมทำเป็นคอนกรีตสดซึ่งเป็นคอนกรีตที่ผสมเสร็จมาใหม่ๆ ยังไม่ได้เทลงบนแบบหล่อ จะเกิดความร้อนมาก ซึ่งความร้อนดังกล่าวเกิดขึ้นจากการที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็วเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ ฉะนั้นเมื่อเทคอนกรีตสดลงแบบแล้วกระทุ้งให้แน่น แต่ง และปาดผิวหน้าเรียบร้อยแล้ว น้ำในคอนกรีตจะระเหยไปเร็ว เมื่อคอนกรีตแข็งตัวในวันรุ่งขึ้นจะต้องเอาน้ำมาราดเพื่อเป็นการบ่มคอนกรีต และแทนการระเหยของน้ำดังกล่าวโดยเร็วที่สุด เพราะถ้าไม่ทำเช่นนี้ คอนกรีตดังกล่าวจะเกิดการแตกร้าว ไม่สามารถรับน้ำหนักได้ตามที่ได้ออกแบบเอาไว้ ด้วยเหตุนี้จึงนิยมใช้ปูนชนิดนี้ในการหล่อคอนกรีตสำเร็จรูปตามโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานหล่อเสาเข็ม โรงงานหล่อเสารั้ว โรงงานหล่อ-พื้นสำเร็จรูป เพราะตามโรงงานดังกล่าวสามารถเตรียมน้ำไว้ล่วงหน้าได้ นอกจากนี้บางแห่งอาจใช้การอบ ไอน้ำซึ่งเป็นการบ่มคอนกรีตที่ได้ผลดีมากอีกวิธีหนึ่งแทน

2.3.1.4 ปูนซีเมนต์ประเภทที่สี่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low-Heat Portland Cement)

เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำสุดเหมาะในการสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ซึ่งต้องใช้คอนกรีตที่มีปริมาณมากๆ หรือที่เรียกกันว่าคอนกรีตหลานั่นเอง เนื่องจากการที่เขื่อนคอนกรีตมีขนาดใหญ่มากต้องใช้ปริมาณของคอนกรีตเป็นจำนวนมาก หากใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาจะมีความร้อนเกิดขึ้นขณะบ่มปูนความร้อนดังกล่าว จะเผาให้น้ำในเนื้อของคอนกรีตระเหยออกไปเนื่องจากคอนกรีตมีความหนามากทำให้การระเหยของน้ำภายในบริเวณตรงกลางของเขื่อนไม่สามารถที่จะระเหยออกมาได้ทันเวลา เป็นผลให้เกิดการเบ่งตัวของไอน้ำที่ระเหย อาจจะทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้ ทั้งนี้เนื่องจากการสะสมของไอน้ำ และอาจก่อให้เกิดโพรงขึ้นในเนื้อของคอนกรีต ฉะนั้นเพื่อป้องกันมิให้ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้น จึงมีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว แต่เนื่องจากการก่อสร้างเขื่อนขนาดใหญ่เป็นงานเฉพาะกิจที่นานๆ ปีจึงจะมีการก่อสร้าง จึงไม่มีการผลิตปูนซีเมนต์ประเภทนี้ออกมาจำหน่ายในท้องตลาดเหมือนกับปูนซีเมนต์ประเภทอื่นๆ ต้องมีการสั่งเป็นคราวๆ ไปเท่านั้น

2.3.1.5 ปูนซีเมนต์ประเภทห้าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ในพื้นที่ที่มีน้ำทะเลท่วมถึง (Sulfate-Resistant Portland Cement)

เป็นปูนซีเมนต์ที่มีการใช้งานอยู่ในทะเล หรือในที่ที่พื้นดินมีความเปรี้ยวมาก ทั้งนี้เพราะความเค็ม และความเปรี้ยวจะทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิม ผุกร่อนง่าย จึงมีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตสูงขึ้นมาใช้ผสมกับหิน ทราย และน้ำจืด เป็นคอนกรีตสด เทลงไปในแบบหล่อซึ่งมีเหล็กเส้นเสริมอยู่ โดยให้คอนกรีตหุ้มเหล็กหนากว่าปกติถึง สองเท่า กล่าวคือ ตามปกติทั่วไปคอนกรีตหุ้มเหล็กหนา 1 นิ้ว ก็เพิ่มเป็น 2 นิ้ว เพื่อป้องกันการผุกร่อนของเหล็กนั่นเอง เมื่อคอนกรีตแข็งตัวสามารถที่จะป้องกันการซึมของน้ำเค็มไม่ให้ทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมได้ คอนกรีตเสริมเหล็กดังกล่าวก็จะคงสภาพอยู่ได้นาน ปูนซีเมนต์ประเภทห้าสามารถใช้ในการสร้างฐานราก เสาตอม่อของสะพาน อาคารที่อยู่ติดทะเล ท่าเทียบเรือ เขื่อนริมทะเล ประภาคาร บ่อกักเก็บกากในทางอุตสาหกรรม บ่อบำบัดน้ำเสียที่มีสารเคมีปะปนมากับน้ำ ฯลฯ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทห้ามีการผลิตเพียงตรงเดียวในประเทศไทยเท่านั้น คือ ตราปลาฉลาม

นอกจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แล้ว ยังมีปูนซีเมนต์ชนิดอื่นที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

- ปูนซีเมนต์ผสม (Mixed Cement) ได้จากการบดปูนเม็ดกับยิปซัม และวัสดุเฉื่อย ซึ่งไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์ เช่น หินปูนหรือทราย เป็นต้น ปูนซีเมนต์ผสมเหมาะกับงานก่อ โบก ฉาบ หรืองานก่อสร้างทั่วไปที่ไม่ต้องการรับน้ำหนักมาก

- ปูนซีเมนต์ขาว (White Portland Cement) วัตถุดิบหลักคือ หินปูน และวัตถุดิบอื่นที่มีปริมาณของแร่เหล็กน้อยกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ลักษณะของปูนซีเมนต์ที่ได้เป็นสีขาว ปูนซีเมนต์ขาวเป็นที่นิยมใช้ในงานตกแต่งอาคารเพื่อความสวยงาม หรือนำไปผสมเม็ดสี (Pigment) เพื่อผลิตเป็นปูนซีเมนต์สี (Colour Cement) (Crystal Design Center, 2547)

2.3.2 การเก็บบรรจุ และการขนส่งปูนซีเมนต์

เนื่องจากปูนซีเมนต์มีลักษณะเป็นผงละเอียดจึงมักจะดูดความชื้นจากอากาศ และวัตถุอื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียงได้ดี ทำให้จับตัวเป็นก้อนแข็ง และใช้งานไม่ได้ ดังนั้น จึงต้องให้ความสำคัญต่อการเก็บปูนซีเมนต์เป็นอย่างมาก การเก็บปูนซีเมนต์ไว้ในยุ้ง หรือถังเก็บจะต้องมีการตรวจยุ้ง หรือถังเก็บเพื่อไม่ให้น้ำ หรือความชื้นเข้าไปได้

การขนส่งปูนซีเมนต์ไปยังผู้บริโภคสามารถทำในรูปของปูนซีเมนต์บรรจุถุง และปูนซีเมนต์ผงซึ่งบรรจุในภาชนะขนาดใหญ่ที่ออกแบบพิเศษพาหนะที่ใช้ในการขนส่งปูนซีเมนต์ คือ รถบรรทุก รถไฟ หรือเรือ ขึ้นอยู่กับค่าขนส่ง และสถานที่ตั้งของโรงงานเป็นปัจจัยสำคัญ

ปูนซีเมนต์ที่บรรจุถุงควรเก็บไว้ในโรงเรือน หรืออาคารที่ปิดมิดชิด เพื่อหลีกเลี่ยงการเปียกน้ำ ถุงปูนซีเมนต์ก็ควรจะวางให้ชิดกันมากที่สุดเพื่อมิให้อากาศผ่านได้ สำหรับพื้นก็ควรทำเป็นพื้นคอนกรีต หรือพื้นไม้ยกระดับ โดยให้สูงจากพื้นดินเล็กน้อยเพื่อป้องกันมิให้ปูนซีเมนต์ดูดความชื้นจากพื้นดิน หรือป้องกันมิให้น้ำไหลผ่าน

ตารางที่ 2.3 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อของสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต	$3CaO.\ SiO_2$	C_3S
ไดแคลเซียมซิลิเกต	$2CaO.\ SiO_2$	C_2S
ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต	$3CaO.\ Al_2O_3$	C_3A
เตตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอไรต์	$4CaO.\ Al_2O_3.\ Fe_2O_3$	C_4AF

ที่มา: บุญธรรม (2549)

C_3S ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงได้เร็วภายใน 14 วัน

C_2S ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงได้ช้า ความร้อนเกิดขึ้นบ่อย

C_3A ทำให้ปูนซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาเริ่มแข็งตัวเกิดความร้อนสูง มีกำลังรับแรงเร็ว

C_4AF มีผลน้อย ให้ความแข็งแรงเล็กน้อยเติมเข้าไปเพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้น

2.3.3 ขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ขาวมีดังนี้

2.3.3.1 บดย่อยหินปูน เกาลินไนต์ และยิปซัมซึ่งมีขนาดใหญ่ จะถูกลำเลียงแยกส่วนส่งเข้าเครื่องบดย่อยให้มีขนาดเล็กลงเหมาะแก่การลำเลียงเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตขั้นต่อไป

2.3.3.2 การปรับสัดส่วน กระบวนการจัดอัตราส่วนของหินปูน เกาลินไนต์ และทรายให้ได้สัดส่วนผสมที่เหมาะสม

2.3.3.3 การบดให้ละเอียด กระบวนการบดผสมให้ได้วัตถุดิบผง

2.3.3.4 การผสมเป็นเนื้อเดียวกัน วัตถุดิบผงที่ได้จะถูกส่งเข้าสู่ระบบหมุนเวียนผสมเพื่อให้ได้ส่วนผสมที่คงที่สม่ำเสมอ

2.3.3.5 การเผาวัตถุดิบผงที่ผสมกันจนเป็นเนื้อเดียว จะถูกลำเลียงเข้าสู่เตาเผาที่มีอุณหภูมิประมาณ 1,500 องศาเซลเซียส ผลที่ได้ออกมาเป็นปูนเม็ด

2.3.3.6 การลดอุณหภูมิและทำให้แห้ง ปูนเม็ดที่ได้ที่อุณหภูมิสูง และร้อนจัดจะถูกส่งเข้ากระบวนการลดอุณหภูมิ และกระบวนการอบไล่ความชื้น

2.3.3.7 การปรับสัดส่วน กระบวนการจัดอัตราส่วนของปูนเม็ด และยิปซัมให้ได้สัดส่วนที่ถูกต้อง

2.3.3.8 การบดละเอียดขั้นสุดท้าย และการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนผสมของปูนเม็ดและยิปซัมจะถูกลำเลียงเข้าสู่กระบวนการบดละเอียด และกระบวนการหมุนเวียนผสมเพื่อให้ได้ปูนซีเมนต์ขาวที่มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ

2.3.3.9 การบรรจุ เป็นการบรรจุปูนซีเมนต์ขาวใส่ถุงกระดาษขนาด 50 กิโลกรัม

(บุญธรรม, 2549)

2.3.4 ชนิดของปูนซีเมนต์ขาวที่ผลิตในประเทศไทย

2.3.4.1 ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ

เป็นปูนซีเมนต์ขาวผสม (White Cement) ที่มีคุณสมบัติด้านการยึดเกาะที่ดี และมีระยะเวลาแห้งตัวที่เหมาะสมในการตกแต่งผลงาน เช่นเดียวกับปูนซีเมนต์เทาผสมงานฉาบ แต่เหนือกว่าด้วยเนื้อปูนสีขาวบริสุทธิ์ที่ให้ความสวยงามเป็นธรรมชาติ อีกทั้งสามารถผสมสีสัน ประยุกต์ใช้วัสดุผสมและวิธีการตกแต่งผลงานก็ยังสามารถทำอย่างหลากหลาย จึงให้อิสระในการสร้างสรรค์งานฉาบ และงานตกแต่งอื่นๆ ควบคู่ไปกับผลงานที่มีคุณภาพ และความประณีตสวยงาม

คุณสมบัติเด่น ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ

ก. เนื้อปูนเหนียวลื่น มีกำลังการยึดเกาะสูง

ข. ระยะเวลาแห้งตัวเหมาะสม ทำให้มีเวลาตกแต่งผลงานได้ประณีตสวยงาม

ค. มีการยืดหดตัวน้อย ไม่ก่อให้เกิดปัญหาหลุดล่อน แตกร้าวในภายหลัง

ง. เนื้อปูนมีสีขาวบริสุทธิ์ ด้วยความขาวร้อยละ 93 (Hunter's Method) ให้สีสันตรงความต้องการเมื่อผสมกับสีฝุ่น

จ. ขนาดบรรจุ 20 กิโลกรัมต่อถุง

ฉ. พื้นที่ใช้งาน 2 ตารางเมตรต่อถุง (ที่ความหนาไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร)

รูปที่ 2.11 ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ

ที่มา: บริษัท สยามปูนซีเมนต์ขาว จำกัด (2535)

2.3.4.2 ปูนซีเมนต์ขาวตราช้าง

เหมาะสำหรับงานตกแต่งพื้น ผนัง บ้าน และอาคาร รวมทั้งสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูปประเภทต่างๆ เช่น อ่างอาบน้ำ อ่างล้างหน้า เคาน์เตอร์ แผ่นปูพื้น และผนัง ผ่านเทคนิควิธีในการสร้างสรรค์งานที่หลากหลาย เช่น งานเทอร์ราซโซ (งานหินขัด) งานแนชเชอรัล-ลุค (หินล้าง กรวดล้าง ทรายล้าง) งานหล่อ งานคอนกรีตขาว เป็นต้น ด้วยคุณสมบัติสีขาวบริสุทธิ์ของเนื้อปูนซีเมนต์ จึงสามารถเติมแต่งสีสันต่างๆ ด้วยสีฝุ่นได้ตรงตามความต้องการ

คุณสมบัติเด่น ปูนซีเมนต์ขาวตราช้าง

ก. เนื้อปูนซีเมนต์แน่น ละเอียด

ข. มีกำลังการยึดเกาะสูง และรับแรงอัดได้สูง

ค. มีระยะเวลาแห้งตัวที่เหมาะสมสำหรับการทำงาน และการตกแต่ง

ง. เนื้อปูนมีสีขาวบริสุทธิ์ ด้วยความขาวร้อยละ 93 (Hunter's Method) ให้สีสันที่ตรงตามต้องการเมื่อผสมกับสีฝุ่น

จ. ขนาดบรรจุ 40 กิโลกรัมต่อถุง

ฉ. พื้นที่ใช้งาน 4 ตารางเมตรต่อถุง (ที่ความหนาไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร)

(บริษัท สยามปูนซีเมนต์ขาว จำกัด, 2535)

รูปที่ 2.12 ปูนซีเมนต์ขาวตราช้าง
ที่มา: บริษัท สยามปูนซีเมนต์ขาว จำกัด (2535)

2.3.5 ปฏิกิริยาการแข็งตัวของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ มีลักษณะเป็นเนื้อละเอียด สามารถเกิดการก่อตัวและแข็งตัวได้โดยการทำปฏิกิริยากับน้ำ เรียกว่า "ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น" (Hydration Reaction) ทำให้มีคุณสมบัติในการรับแรงได้

ปูนซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำ จะก่อให้เกิดซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในสภาพเหลวและสามารถลื่นไถลได้ช่วงเวลาหนึ่ง โดยจะเรียกช่วงเวลาที่คุณสมบัติ ของซีเมนต์เพสต์ยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลงนี้ เรียกว่า "Domant Period" หลังจากนั้นซีเมนต์เพสต์จะเริ่มจับตัว (Stiff) ถึงแม้ว่าจะนิ่มอยู่ แต่ก็ไม่สามารถไหลตัวได้อีกแล้ว (Unworkable) จุดนี้จะเป็นจุดที่ เรียกว่า "จุดแข็งตัวเริ่มต้น (Initial Set)" และระยะเวลาตั้งแต่ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำจนถึงจุดนี้ เรียกว่า "เวลาก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time)" การก่อตัวของซีเมนต์เพสต์จะยังคงดำเนินต่อไปเรื่อยๆ จนถึงจุดที่เป็นของแข็งคงสภาพ (Rigid Solid) ซึ่งจะเรียกว่าจุดแข็งตัวสุดท้าย (Final Set) และเวลาที่ใช้ถึงจุดดังกล่าวเรียกว่า เวลาการก่อตัวสุดท้าย (Final Setting Time) ซีเมนต์เพสต์จะยังคงแข็งตัวต่อไปจนกระทั่งสามารถรับน้ำหนักได้

การก่อตัวและการแข็งตัว (Setting and Hardening) การก่อตัวและการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ เกิดจาก ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ขององค์ประกอบของปูนซีเมนต์โดยปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นใน 2 ลักษณะคือ

1. อาศัยสารละลาย ปูนซีมนต์จะละลายในน้ำ ก่อให้เกิด ions ในสารละลาย ions นี้จะผสมกันทำให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้น

2. การเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของของแข็งโดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลายปฏิกิริยาประเภทนี้ เรียกว่า (Solid State Reaction)

2.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก

เซรามิกเป็นผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่งที่เราสามารถพบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่น ถ้วยชาม กระเบื้อง สุขภัณฑ์ หรือแม้กระทั่งชิ้นส่วนของอุปกรณ์เครื่องใช้ชนิดต่างๆ ซึ่งผลิตภัณฑ์เซรามิกเหล่านี้มีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการขึ้นรูป

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกมีอยู่หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อแตกต่างกัน ทั้งในการเตรียมเนื้อดินปั้นและอุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องใช้ รวมถึงรูปลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สามารถขึ้นรูปได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

2.4.1 การขึ้นรูปโดยอาศัยความเหนียว (Plastic Forming)

เป็นวิธีการขึ้นรูปที่เก่าแก่ที่สุด ในการเตรียมเนื้อดินปั้นจะกระทำโดยการผสมดินกับวัตถุดิบอื่นๆ และนวดให้เข้ากันดี หรืออาจผสมให้อยู่ในรูปของน้ำดินแล้วนำไปกรองให้เป็นแผ่น จากนั้นจึงนำไปขึ้นรูป ซึ่งอาจแบ่งได้เป็นอีกหลายวิธีย่อยๆ เช่น

2.4.1.1 การปั้นด้วยมือ (Hand Forming) เป็นวิธีขึ้นรูปที่อิสระที่สุด ผู้ปั้นจะใช้มือ และอุปกรณ์ต่างๆ เข้าช่วยในการปั้นดินให้เป็นรูปร่างตามต้องการ วิธีนี้สามารถปั้นผลิตภัณฑ์ได้ทุกรูปร่าง แต่มีขนาดไม่แน่นอน ต้องอาศัยเวลา และความชำนาญของผู้ปั้นมาก จึงมักใช้กับงานศิลปะ หรืองานหัตถกรรมพื้นบ้าน ที่ไม่ต้องการกำลังผลิตสูงนัก

2.4.1.2 จิกเกอริ่ง (Jiggering) เป็นวิธีที่ใช้ในอุตสาหกรรม โดยนำแผ่นเนื้อดินมาวางบนแบบปูนปลาสเตอร์ แล้วใช้ใบมีดกดรีดให้เนื้อดินได้รูปร่างตามต้องการ ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างกลมและแบน เช่น จานชนิดต่างๆ เป็นต้น

2.4.1.3 การรีด (Extrude) วิธีนี้จะนำดินมาผ่านเข้าเครื่องรีดให้ออกมาเป็นแท่งยาวๆ ซึ่งมีรูปหน้าตัดตามที่ออกแบบไว้ มักใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปเป็นแท่งยาวๆ เช่น ท่อ (Tube) เป็นต้น

2.4.2 การเทแบบ (Casting)

วิธีนี้จะเตรียมเนื้อดินปั้นให้อยู่ในรูปน้ำดินข้นๆ (Slip) ที่ไหลตัวได้ดี จากนั้นจึงเทลงในแบบปูนปลาสเตอร์ ปูนจะดูดน้ำ และทำให้เนื้อดินเกาะติดกับผนังแบบ ได้เป็นผลิตภัณฑ์ตามต้องการ วิธีนี้สามารถทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายรูปทรง แต่ต้องใช้น้ำในการขึ้นรูปมาก ทำให้การหดตัวหลังอบแห้งสูง ซึ่งอาจเกิดการแตก หรือบิดเบี้ยวได้ง่าย ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ ได้แก่ สุขภัณฑ์ ถ้วยชาม ของที่ระลึกประเภทต่างๆ เป็นต้น

2.4.3 การอัด (Pressing)

วิธีนี้จะเตรียมเนื้อดินปั้นให้อยู่ในรูปของผงกลมๆ ที่สามารถไหลตัวได้ดี จากนั้นจึงนำไปอัดด้วยเครื่องอัดแรงดันสูงเพื่อให้เกาะติดกันเป็นแผ่น วิธีนี้จะใช้น้ำในการขึ้นรูปน้อยที่สุด ทำให้ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง มีการหดตัวน้อยกว่าวิธีอื่นๆ แต่รูปทรงผลิตภัณฑ์ที่สามารถขึ้นรูปได้จำกัดกว่า ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ ได้แก่ กระเบื้องชนิดต่างๆ เป็นต้น (ปรีดา, 2532)

2.5 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน

2.5.1 ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดชั้นคุณภาพ ขนาด และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน คุณลักษณะที่ต้องการการบรรจุ เครื่องหมาย และฉลาก การชักตัวอย่าง และเกณฑ์ตัดสินและการทดสอบ กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนัง และกระเบื้องเสริมประกอบ (Fittings) ที่ใช้บุผนังภายในอาคารส่วนที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำ และการรักษาความสะอาดเพื่อให้ถูกสุขลักษณะ เช่น ห้องน้ำ ห้องครัว โรงพยาบาล ฯลฯ

2.5.2 บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.5.2.1 กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายในซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “กระเบื้อง” หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอัด (Pressing) ดิน และส่วนผสมอื่นๆ เช่น หิน ทราย สี เป็นต้น แล้วเผาที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 1,000 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมมุมฉากแต่ละแผ่นมีพื้นที่ไม่น้อยกว่า 90 ตารางเซนติเมตร และมีการเคลือบบนผิวหน้ากระเบื้องให้มีสีใดๆ ก็ได้ ทั้งนี้รวมถึงกระเบื้องเสริมประกอบด้วย

2.5.2.2 การล่อนตัว (Peeling) หมายถึง การแยกตัวระหว่างเคลือบกับเนื้อกระเบื้อง

2.5.2.3 การราน (Crazing) หมายถึง การเกิดรอยร้าวบนผิวเคลือบ แสดงดังรูปที่ 2.13

2.5.2.4 รอยร้าว (Crack) หมายถึง รอยแตกที่ลึกถึงเนื้อกระเบื้อง

2.5.2.5 รูเข็ม (Pinhole) หมายถึง รูเล็ก ๆ ที่ปรากฏบนผิวเคลือบ แสดงดังรูปที่ 2.14

2.5.2.6 รอยพอง (Blister) หมายถึง รอยนูนที่ผิวเคลือบซึ่งเกิดจากการขยายตัวของก๊าซหรือฟองอากาศที่อยู่ภายใน แสดงดังรูปที่ 2.15 เมื่อกะเทาะแตกจะเกิดเป็นโพรงขึ้นที่ผิวเคลือบนั้น

2.5.2.7 หลุม (Pitting) หมายถึง การเกิดหลุมเล็กๆ ที่ผิวหน้ากระเบื้องซึ่งมีความลึกเท่ากับหรือน้อยกว่าความกว้าง แสดงดังรูปที่ 2.16

2.5.2.8 รอยบิ่น (Chip) หมายถึง รอยตามแนวขอบ หรือตามมุมของกระเบื้องซึ่งเกิดจากเนื้อกระเบื้องแตกหลุดออกไป แสดงดังรูปที่ 2.17

2.5.2.9 การหดตัวของเคลือบ (Glaze Crawling) หมายถึง การที่เคลือบหดตัวจนเนื้อของกระเบื้องบางส่วนไม่มีเคลือบฉาบอยู่ แสดงดังรูปที่ 2.18

2.5.2.10 ความบิดเบี้ยว (Warpage) หมายถึง ความบิดเบี้ยวจากรูปร่างของกระเบื้องตามที่กำหนดเนื่องจากกรรมวิธีผลิต

2.5.2.11 โค้งออก หมายถึง ความบิดเบี้ยวในลักษณะที่ส่วนกลางของขอบกระเบื้องโค้งออก แสดงดังรูปที่ 2.19

2.5.2.12 เว้าเข้า หมายถึง ความบิดเบี้ยวในลักษณะที่ส่วนกลางของขอบกระเบื้องเว้าเข้า แสดงดังรูปที่ 2.19

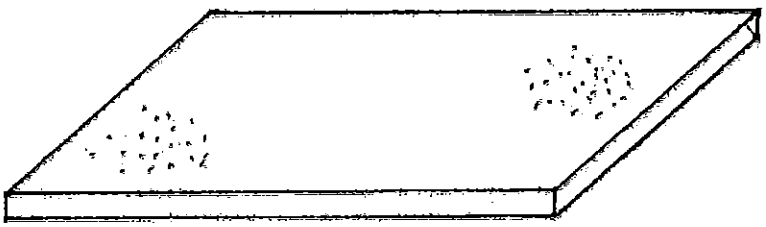
2.5.2.13 นูนขึ้น (Convex) หมายถึง ความบิดเบี้ยวไปจากแนวระนาบของผิวหน้ากระเบื้อง เนื่องจากส่วนกลางตามแนวเส้นทแยงมุม หรือส่วนกลางตามแนวขอบของกระเบื้องสูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.20

2.5.2.14 แอ่นลง (Concave) หมายถึง ความบิดเบี้ยวออกไปจากแนวระนาบ ของผิวหน้ากระเบื้อง เนื่องจากส่วนกลางตามแนวเส้นทแยงมุม หรือส่วนกลางตามแนวขอบของกระเบื้องต่ำลง แสดงดังรูปที่ 2.21

2.5.2.15 ความสอบ (Wedging) หมายถึง ลักษณะของด้านตรงข้ามของกระเบื้องสอบเข้าหากัน เนื่องจากความยาวของด้านตรงข้ามอีกคู่หนึ่งไม่เท่ากัน

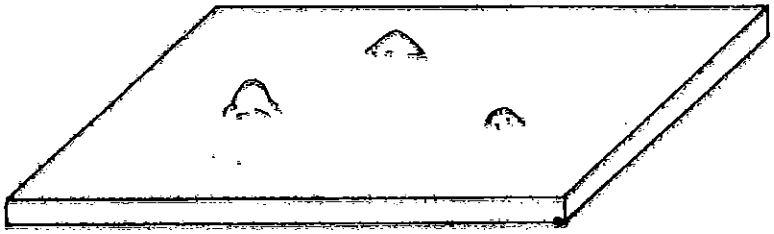
รูปที่ 2.13 การราน

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)



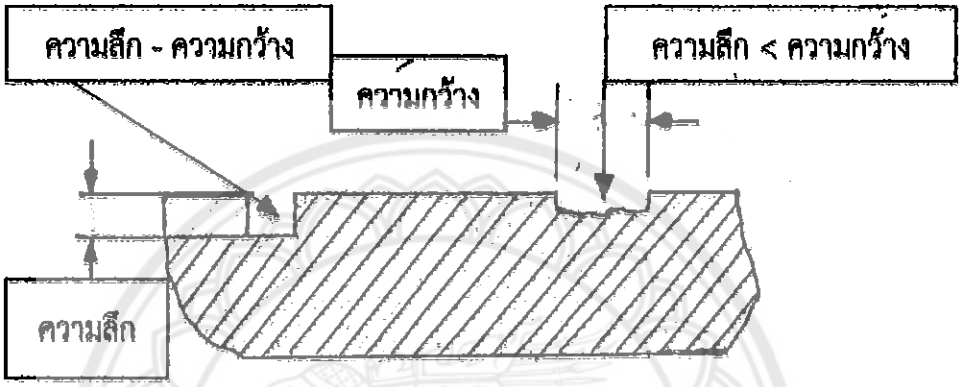
รูปที่ 2.14 รูเข็ม

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)



รูปที่ 2.15 รอยพอง

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

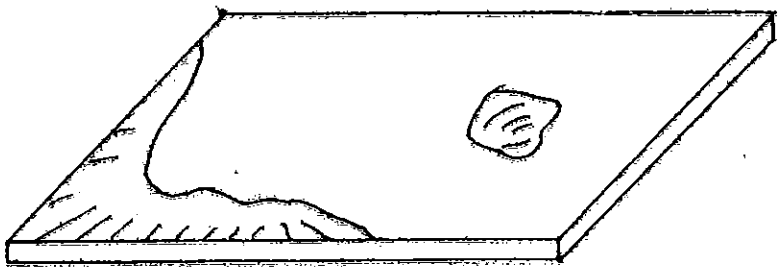


รูปที่ 2.16 หลุม

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

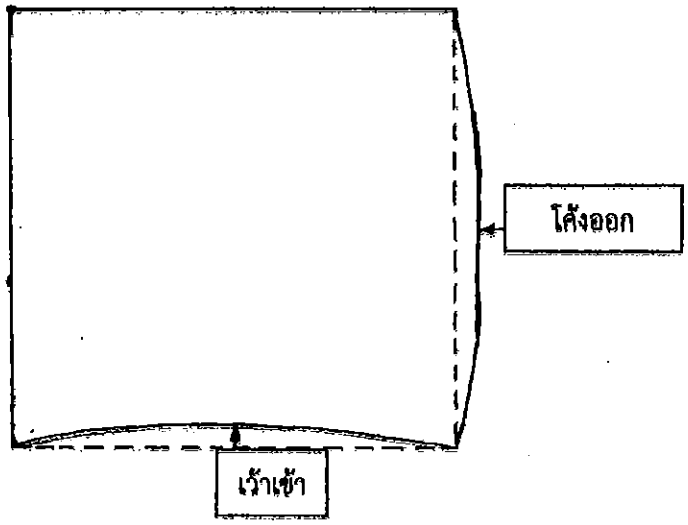
รูปที่ 2.17 รอยบิ่น

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)



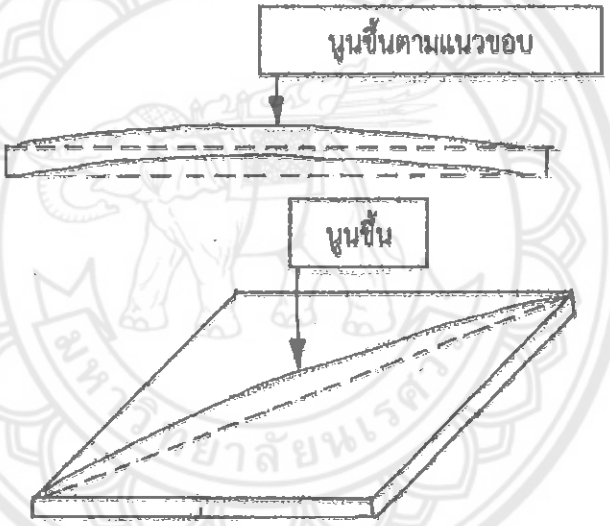
รูปที่ 2.18 การหดตัวของเคลือบ

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)



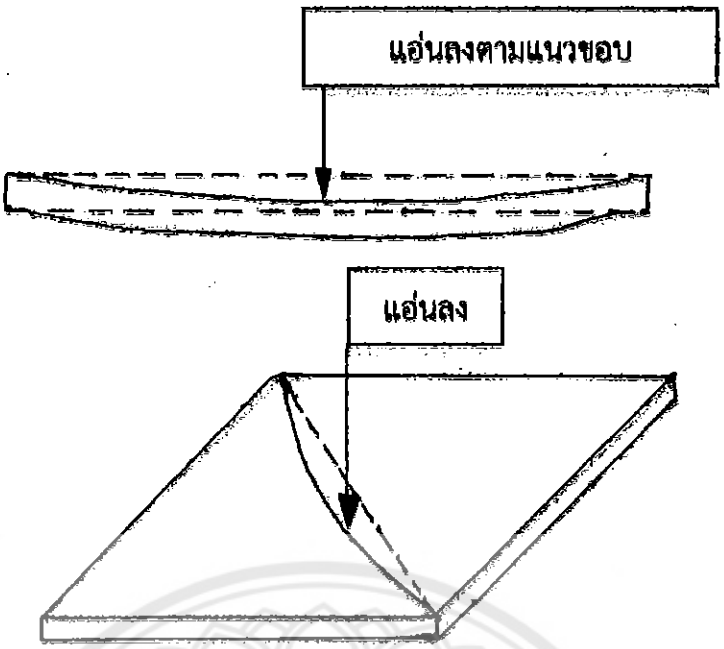
รูปที่ 2.19 โค้งงอและเว้าเข้า

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)



รูปที่ 2.20 บูนขึ้น

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)



รูปที่ 2.21 แอ่นลง

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

2.5.3 ชั้นคุณภาพ

กระเบื้องแบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ

ก. ชั้นคุณภาพที่ 1 คือ กระเบื้องต้องไม่เกิดการล่อนตัว การราน และการแตกหัก เมื่อตรวจสอบแล้วต้องไม่มีรอยพอง รอยบิ่น การหดตัวของเคลือบและตำหนิอื่นๆ

ข. ชั้นคุณภาพที่ 2 คือ ให้เป็นไปตามที่กำหนดในข้อ ก โดยจะมีจุดด่าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ได้ไม่เกิน 3 จุด ความบกพร่องของผิวเคลือบต่างๆ รวมกันได้ไม่เกิน 5 ตารางเซนติเมตร พื้นที่ของรอยบิ่นที่มุม หรือขอบ เมื่อทดสอบต้องได้ไม่เกินที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.5 แต่ทั้งนี้ในกระเบื้องแผ่นเดียวกันจะมีรอยบิ่นที่มุม และที่ขอบรวมกันได้ไม่เกิน 3 จุด

2.5.4 ขนาด และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ให้เป็นไปตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ขนาด และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

มิติ	ขนาด	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
ความกว้าง และความยาว	เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก	ไม่เกิน ± ร้อยละ 0.6 ของค่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก
ความหนา	เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก แต่ต้องไม่น้อยกว่า 4 มิลลิเมตร	ไม่เกิน ± ร้อยละ 10 ของค่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

2.5.5 คุณลักษณะที่ต้องการ

2.5.5.1 ลักษณะทั่วไป

ก. ชั้นคุณภาพที่ 1

กระเบื้องต้องไม่มีการล่อนตัว การแยกชั้นในเนื้อกระเบื้อง การราน และการแตกหัก และเมื่อตรวจสอบแล้ว ต้องไม่เห็นรอยร้าว รูเข็ม รอยพอง หลุม รอยบิ่น การหดตัวของเคลือบ และตำหนิอื่นๆ เช่น สีไม่สม่ำเสมอ หรือจุดด่าง เป็นต้น

ข. ชั้นคุณภาพที่ 2

ให้เป็นไปตามที่กำหนดในข้อ ก โดยจะมี

- จุดด่าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ได้ไม่เกิน 3 จุด
- ความบกพร่องของผิวเคลือบต่างๆ รวมกันได้ไม่เกิน 5 ตารางเซนติเมตร
- พื้นที่ของรอยบิ่นที่มุม หรือขอบ เมื่อทดสอบต้องได้ไม่เกินที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.5 แต่ทั้งนี้ในกระเบื้องแผ่นเดียวกันจะมีรอยบิ่นที่มุม และที่ขอบรวมกันได้ไม่เกิน 3 จุด

2.5.5.2 ความบิดเบี้ยว

ก. ความบิดเบี้ยวตามแนวขอบ และตามแนวเส้นทแยงมุมไม่เกินที่กำหนดในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 พื้นที่ของรอยบิ่นต่อ 1 จุด

มิติ (mm)	บิ่นที่มุมหรือขอบ ไม่เกิน (mm^2)
ไม่เกิน 100	2
เกิน 100 ถึง 200	3
เกิน 200 ถึง 300	4
เกิน 300	5

หมายเหตุ: ในกรณีที่บิ่นตรงมุมพอดี ให้ถือมิติด้านที่สั้นกว่าเป็นเกณฑ์

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

ตารางที่ 2.6 ความบิดเบี้ยวตามแนวขอบ และตามแนวเส้นทแยงมุม

มิติ มิลลิเมตร	ความบิดเบี้ยวตามแนวขอบ (ร้อยละ)				ความบิดเบี้ยวตามแนวเส้นทแยงมุม (ร้อยละ)	
	โค้งออก	เว้าเข้า	นูนขึ้น	แอ่นลง	นูนขึ้น	แอ่นลง
ไม่เกิน 100	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2
เกิน 100 ถึง 200	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2
เกิน 200 ถึง 300	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4
เกิน 300	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

ข. ความเบี่ยงเบนจากความได้ฉาก

เมื่อทดสอบแล้ว ต้องไม่เกินร้อยละ 0.5 ของความยาวของกระเบื้องด้านที่วัด

ค. ความสอบ

เมื่อทดสอบแล้ว ต้องไม่เกินร้อยละ 0.5

2.5.5.3 การดูดซึมน้ำ

เมื่อทดสอบแล้ว การดูดซึมน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 18

2.5.5.4 ความทนสารเคมี

เมื่อทดสอบแล้ว กระเบื้องต้องไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสารเคมี

2.5.5.5 ความทนการราน

เมื่อทดสอบแล้ว ผิวเคลือบของกระเบื้องต้องไม่ราน

2.5.5.6 **ความต้านการกระแทก**

เมื่อทดสอบแล้ว กระเบื้องต้องมีสภาพไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

2.5.6 **การบรรจุ**

ให้บรรจุกระเบื้องในกล่องกระดาษ หรือภาชนะบรรจุอื่นให้เรียบร้อย และแข็งแรง

2.5.7 **เครื่องหมาย และฉลาก**

2.5.7.1 ที่กระเบื้องทุกแผ่นอย่างน้อยต้องมีเลขอักษร หรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดดังต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน และถาวร

ก. ชั้นคุณภาพ (โดยใช้สีดำขีดเป็นเส้นด้านหลังกระเบื้องสำหรับชั้นคุณภาพที่ 2)

ข. ชื่อผู้ทำ หรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้า หรือชื่อผู้จัดจำหน่าย

2.5.7.2 ที่กล่อง หรือภาชนะบรรจุกระเบื้องทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

ก. คำว่า "กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน"

ข. ชั้นคุณภาพ

ค. สีหรือลวดลาย (ระบุเฉพาะเมื่อบรรจุในกล่อง หรือภาชนะที่มิดชิด)

ง. ขนาด เป็นมิลลิเมตร และจำนวนแผ่น

จ. วัน เดือน ปี ที่ทำ

ฉ. ชื่อผู้ทำ หรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้า หรือชื่อผู้จัดจำหน่ายพร้อมสถานที่ตั้ง

ช. ประเทศที่ทำ

2.5.7.3 ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทย ที่กำหนดไว้ข้างต้น

2.5.7.4 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม นั้นได้ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

2.5.8 **การชักตัวอย่าง และเกณฑ์ตัดสิน**

2.5.8.1 รุ่นในที่นี้ หมายถึง กระเบื้องชั้น คุณภาพ ขนาด รูปร่าง และสีเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกันที่ทำ หรือส่งมอบ หรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

2.5.8.2 การชักตัวอย่าง และการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างตามที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

ก. การชักตัวอย่าง และการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด และคุณลักษณะที่ต้องการ

- ให้ชักตัวอย่างกระเบื้องโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 25 แผ่น แล้วนำไปทดสอบตามรายการในตารางที่ 2.7 รายการที่ 1 ถึง 5 ก่อน แล้วจึงใช้ตัวอย่างจากชุดเดียวกันนี้ไปทดสอบตามรายการที่ 6 ถึง 9

- จำนวนตัวอย่างกระเบื้องที่ไม่เป็นไปตามข้อ 4. และข้อ 5. ในแต่ละรายการต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับในตารางที่ 2.7 จึงจะถือว่ากระเบื้องรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

2.5.8.3 ตัวอย่างกระเบื้องต้องเป็นไปตามข้อ 2.5.8.2 จึงจะถือว่ากระเบื้องรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

(สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2529)

ตารางที่ 2.7 รายการทดสอบ และแผนการชักตัวอย่าง

รายการทดสอบ	ขนาดตัวอย่าง แผ่น	เลขจำนวนที่ยอมรับ แผ่น
1. ลักษณะทั่วไป	25	2
2. ขนาด	10	0
3. ความบิดเบี้ยวตามแนวขอบ และตามแนวเส้นทแยงมุม	10	0
4. ความเบี่ยงเบนจากความได้ฉาก	10	0
5. ความสอบ	10	0
6. การดูดซึมน้ำ	5	0
7. ความทนสารเคมี	10	0
8. ความทนการราน	5	0
9. ความต้านการกระแทก	5	0

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2529)

2.6 ทฤษฎีที่ใช้ในการทดลอง

2.6.1 ความสอบ

ความสอบ หมายถึง ลักษณะของด้านตรงข้ามของกระเบื้องสอบเข้าหากัน เนื่องจากความยาวของด้านตรงข้ามอีกคู่หนึ่งไม่เท่ากัน

ใช้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร วัดความยาวของด้านทั้ง 4 ของกระเบื้อง แล้วคำนวณหาความสอบจากสูตร

$$\text{ร้อยละความสอบ} = \frac{\text{ผลต่างของความยาวของด้านทั้งสองที่อยู่ตรงข้ามกัน}}{\text{ความยาวเฉลี่ยของด้านทั้งสองที่วัดนั้น}} \times 100 \quad (2.4)$$

(สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2529)

2.6.2 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของวัตถุ = มวลของวัตถุ / ปริมาตรของวัตถุ

$$\text{หรือ } D = \frac{m}{v} \quad (2.1)$$

D = ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

m = มวลของวัตถุ (กรัม)

v = ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

(สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี, 2545)

2.6.3 การดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

2.6.3.1 เครื่องมือ

เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

2.6.3.2 วิธีทดสอบ

ทำเครื่องหมายไว้บนกระเบื้องแต่ละแผ่นแล้วอบที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ปล่อยให้เย็นในเดสิกเกเตอร์ จากนั้นนำมาแยกชั่งทีละแผ่น โดยน้ำหนักกระเบื้องที่ชั่งได้นี้ให้ถือเป็นน้ำหนักกระเบื้องแห้ง จากนั้นแช่กระเบื้องเหล่านี้จมอยู่ในน้ำกลั่นโดยให้น้ำกลั่นท่วมกระเบื้องตลอดเวลา แล้วปล่อยไว้ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง นำขึ้นซับน้ำที่เกาะติดอยู่ด้วยผ้าหมาดที่สะอาดแล้วรีบชั่งทันที โดยน้ำหนักกระเบื้องที่ชั่งให้ถือเป็นน้ำหนักหลังจากแช่น้ำ

2.6.3.3 วิธีคำนวณ

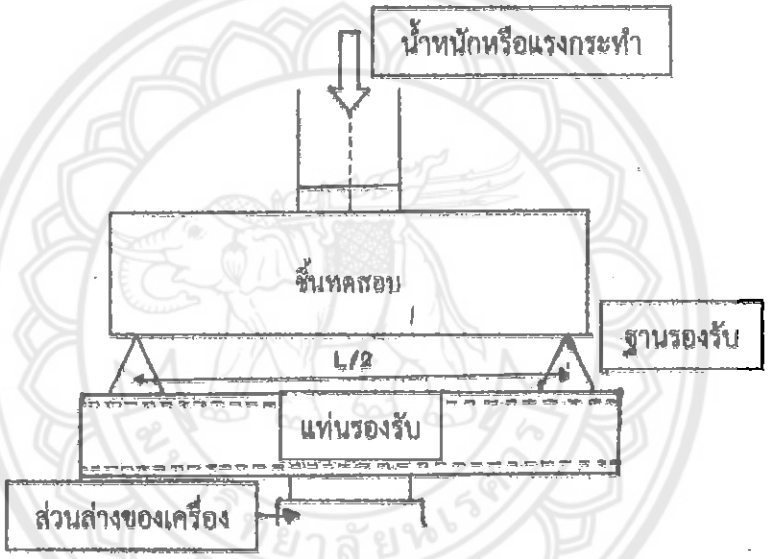
$$\text{การดูดซึมน้ำ ร้อยละ} = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100 \qquad (2.2)$$

เมื่อ W_w คือ น้ำหนักกระเบื้องหลังจากแช่น้ำ เป็นกรัม

W_d คือ น้ำหนักกระเบื้องแห้ง เป็นกรัม

(สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2529)

2.6.4 ความแข็งแรงต่อแรงดัด (Bending Strength)



รูปที่ 2.22 การวัดค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด

ที่มา: มณฑล (2531)

$$\text{Modulus of Rupture (MOR)} = \frac{3FL}{2bd^2} \qquad (2.3)$$

ให้ MOR = ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้อง (กรัมต่อตารางเซนติเมตร)

F = แรงที่กดทำให้แท่งทดลองหัก (กิโลกรัม)

L = ระยะห่างของแท่นรองรับชิ้นทดลอง (เซนติเมตร)

b = ความกว้างของชิ้นทดลอง (เซนติเมตร)

d = ความหนาของชิ้นทดลอง (เซนติเมตร)

(มณฑล, 2531)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปาร์ย อรรถพิสาล (2548) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาคุณภาพของกระเบื้องเซรามิกที่มีการใช้ของเสียที่เป็นแก้วสีชามาทดแทนเฟลด์สปาร์ซึ่งเป็นตัวหลอมละลายในกระบวนการผลิตกระเบื้องเซรามิกโดยนำซิลิกาอะลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ร่วมกับของเสียที่เป็นแก้วสีชา เพื่อให้เกิดองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกับเฟลด์สปาร์มากขึ้น ผลการศึกษาพบว่า ทุกอัตราส่วนของการทดแทนที่เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ให้ค่าการทดสอบเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) นอกจากนี้พบว่า กระเบื้องที่ผ่านการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราส่วนการทดแทนเฟลด์สปาร์ด้วยของเสียที่เป็นแก้วสีชาต่อซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเท่ากับ 80 : 20 ซึ่งมีสมบัติในด้านกำลังรับแรงดัดเท่ากับ 27.46 เมกะปาสคาล ค่าการหดตัวเท่ากับร้อยละ 4.89 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 1.93 มีความสามารถการทนสารเคมีและความทนการรานได้ ผลการวิเคราะห์เฟสด้วยวิธีเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชัน พบว่าเกิดเฟสของควอตซ์ และคริสโตบัลไลท์ ซึ่งเป็นเฟสเบื้องต้นของการเกิดเฟสมัลไลท์ซึ่งเป็นเฟสที่ทำให้เกิดความแข็งแรงในกระเบื้องเซรามิก

มาหามะสูไฮมี มะแซ (2550) ได้ทำการศึกษาการนำเถ้าใยปาล์มน้ำมัน เถ้าไม้ยางพารา และเศษหินแกรนิต นำมาทำเป็นวัตถุดิบผสมในการผลิตเนื้อกระเบื้องเซรามิก เศษหินแกรนิตที่นำมาผลิตมาจากสองแหล่งคือ เหมืองหินทุ่งวัง และเหมืองหินวังไผ่ วัตถุดิบทั้งหมดผ่านตะแกรง 200 เมช (ขนาด 75 ไมครอน) ซึ่งทั้งเถ้าใยปาล์มน้ำมัน และเถ้าไม้ยางพาราต่างก็แทนที่เศษหินแกรนิตตั้งแต่ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ภายใต้ความชื้นที่เหมาะสมในแต่ละอัตราส่วน ซึ่งหาจากการบดอัดแบบมาตรฐาน วัตถุดิบผสมทั้งหมดได้อัดขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องขนาด 10.5 × 10.5 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยแรงกด 100 บาร์ กระเบื้องทุกสูตรผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ก่อนนำเข้าในเตาเผาไฟฟ้า โดยผลการศึกษาพบว่ากระเบื้องเศษหินแกรนิตผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันร้อยละ 30 สามารถจัดอยู่ในเกณฑ์ลักษณะกระเบื้องบุผนัง และกระเบื้องปูพื้น ส่วนกระเบื้องเศษหินแกรนิตผสมเถ้าไม้ยางพารา้อยละ 30 จัดอยู่ในกระเบื้องชนิดมุงหลังคา อีกทั้งยังสามารถระบุได้ว่าเศษหินแกรนิต เถ้าใยปาล์มน้ำมัน และเถ้าไม้ยางพาราสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบทางเลือกในการผลิตกระเบื้องเซรามิกได้อย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

วรรณา ต.แสงจันทร์ (2551) ได้ทำการศึกษาการทำอิฐมวลเบาจากเศษแก้ว เพื่อใช้เป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคารบ้านเรือน โดยนำเศษแก้วสีชาบดให้ละเอียด ผสมสารก่อฟอง (Foaming Agent) ชนิดหินปูน หรือโดโลไมต์ในปริมาณ 0.5 - 2.0 ส่วน ต่อเศษแก้ว 100 ส่วน ขึ้นรูปเป็นก้อนอิฐ เผาที่อุณหภูมิ 800 และ 850 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างไปทดสอบหาค่าความหนาแน่น ความต้านแรงอัด และค่าการนำความร้อน ศึกษาผลของปริมาณสารก่อฟอง และอุณหภูมิเผาต่อสมบัติ ความหนาแน่น และความต้านทานแรงอัด ผลจากการศึกษาพบว่าเศษแก้วสามารถนำมาทำเป็นอิฐมวลเบาได้ โดยผสมสารก่อฟองชนิดหินปูน 1 ส่วน หรือโดโลไมต์ 1.5 ส่วนต่อเศษแก้วบดละเอียด 100 ส่วน และใช้โซเดียมซิลิเกต

เป็นสารเชื่อมประสาน เพื่อช่วยในการขึ้นรูปให้เป็นก้อนอิฐเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะได้อิฐมวลเบาที่มีค่าความหนาแน่น 0.30 - 0.32 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่าความต้านแรงอัด 5.4 - 5.6 เมกะปาสคาล และค่าการนำความร้อน 0.60 - 0.65 วัตต์/เมตร.เคลวิน สามารถนำมาตัดให้มีขนาดต่างๆ ตามที่ต้องการได้

อนุชา วรรณก้อน และสมัญญา สงวนพรรค (2549) ได้พัฒนาต้นแบบกระเบื้องจากเศษแก้วขนาด 10 x 10 เซนติเมตร ที่มีความแข็งแรงในรูปความต้านทานแรงดัด (Bending Strength) เท่ากับ 8.32 - 12.21 เมกะปาสคาล ทนทานต่อแรงกระแทก น้ำหนักเบา และมีการปรับปรุงคุณภาพด้านความสวยงาม โดยการเติมผงสี และการเติมสารเคมีเพื่อลดค่าการดูดซึมน้ำ รวมถึงเพิ่มความเงาให้พื้นผิวโดยการเคลือบผิวด้วยอะคลิริก คุณสมบัติที่ได้เพียงพอต่อการนำไปใช้งานเป็นวัสดุบุผนังภายใน และเมื่อมีการปรับปรุงคุณภาพด้านความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำให้ดีขึ้นกว่าเดิม ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นกระเบื้องบุผนังตกแต่งภายในได้

ผลงานจากโครงการช่วยลดปริมาณขยะเศษแก้ว ประหยัดทรัพยากรธรรมชาติที่จะนำมาใช้ในการผลิต และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษแก้วที่เป็นวัสดุเหลือใช้ ซึ่งมีมูลค่าการตลาดโดยประมาณจากโรงงานรับซื้อเศษแก้วว่าสามารถเพิ่มมูลค่าขยะเศษแก้วได้ถึง 10 เท่า นอกจากนี้การใช้กระบวนการผลิตที่นำกระเบื้องอัดขึ้นรูปและให้ความร้อนด้วยไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวดใน Autoclave ซึ่งแตกต่างจากการผลิตกระเบื้องทั่วไปที่ต้องใช้อุณหภูมิในการเผาสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส สามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิต ประหยัดพลังงาน และลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตที่ไม่ใช้วิธีการเผา

อนุรักษ์ จินตนานันท์ (2551) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของกระเบื้องดินซีเมนต์ที่ใช้ดินตะกอนประปาจังหวัดขอนแก่น และเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลระหว่างกระเบื้องดินซีเมนต์ตะกอนประปาจังหวัดขอนแก่น จังหวัดหนองคาย จังหวัดอุดรธานี และกระเบื้องดินซีเมนต์ดินจอมปลวกจังหวัดหนองคาย โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือ ปริมาณปูนซีเมนต์ทราย และน้ำ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่ใช้ทำกระเบื้องดินซีเมนต์ตะกอนประปาจังหวัดขอนแก่นอยู่ระหว่างร้อยละ 10 - 15 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ดินตะกอนประปา และทรายที่เหมาะสมที่ใช้ทำกระเบื้องดินซีเมนต์ตะกอนประปาจังหวัดขอนแก่น คือ 1.0 : 0.8 : 1.2 จากการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลพบว่า กระเบื้องดินซีเมนต์ ดินจอมปลวกจังหวัดหนองคาย มีสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลดีที่สุด รองลงมาคือ กระเบื้องดินซีเมนต์ตะกอนประปาจังหวัดหนองคาย กระเบื้องดินซีเมนต์ตะกอนประปาจังหวัดขอนแก่น และกระเบื้องดินซีเมนต์ตะกอนประปาจังหวัดอุดรธานี ตามลำดับ

N. F. Youssef และ M. F. Abadi and M. A. 0. Shater (1998) ได้ทำการศึกษาการนำเศษแก้ว Soda Glass มาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยนำมาเป็นส่วนผสมกับ Feldspar, Quartz, Grog และดินขาว 3 ชนิด ที่ได้จากสถานที่ที่แตกต่างกัน วัตถุดิบที่ใช้ทั้งหมดจะมีค่าความถ่วงจำเพาะ, ส่วนประกอบทางเคมี, ค่าการดูดกลืนความร้อน และ Mineralogically ที่แตกต่างกัน โดยทำการศึกษาผลกระทบในเรื่องของ

สมบัติทางกายภาพของตัวอย่าง (ดูการดูดซึมน้ำ, ความหนาแน่น และความพรุน) โดยกลุ่มตัวอย่างจะใช้ภายใต้ Mould 20.7 เมกะปาสคาล และอุณหภูมิตั้งแต่ 950 – 1,100 องศาเซลเซียส เริ่มต้นการเผาที่ 3 ชั่วโมง ลดลงเป็น 2 และ 1 ชั่วโมง และมีการทดสอบโดยใช้เครื่อง XRD และ Microscopic Investigations จากการศึกษาพบว่า การใช้แก้วโซดาเป็นองค์ประกอบรวมกับวัตถุดิบต่างๆ จะเป็นการช่วยประหยัดวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสม และให้ความร้อนที่ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะทำให้ชิ้นงานสามารถรับแรง ทางกลได้ดีที่สุด

N. Su และ J.S. Chen (2002) ได้ทำการศึกษาการนำเศษแก้วมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตยางมะตอย ที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในทางเท้า ซึ่งการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าการนำเศษแก้วมาผสมคอนกรีตยางมะตอยช่วยทำให้การซึมผ่านของน้ำต่ำลง และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงขึ้นเป็นประโยชน์ต่อความปลอดภัยทางถนน และเป็นการจัดการขยะประเภทแก้วที่มีเป็นจำนวนมากในอุตสาหกรรมทั่วโลก

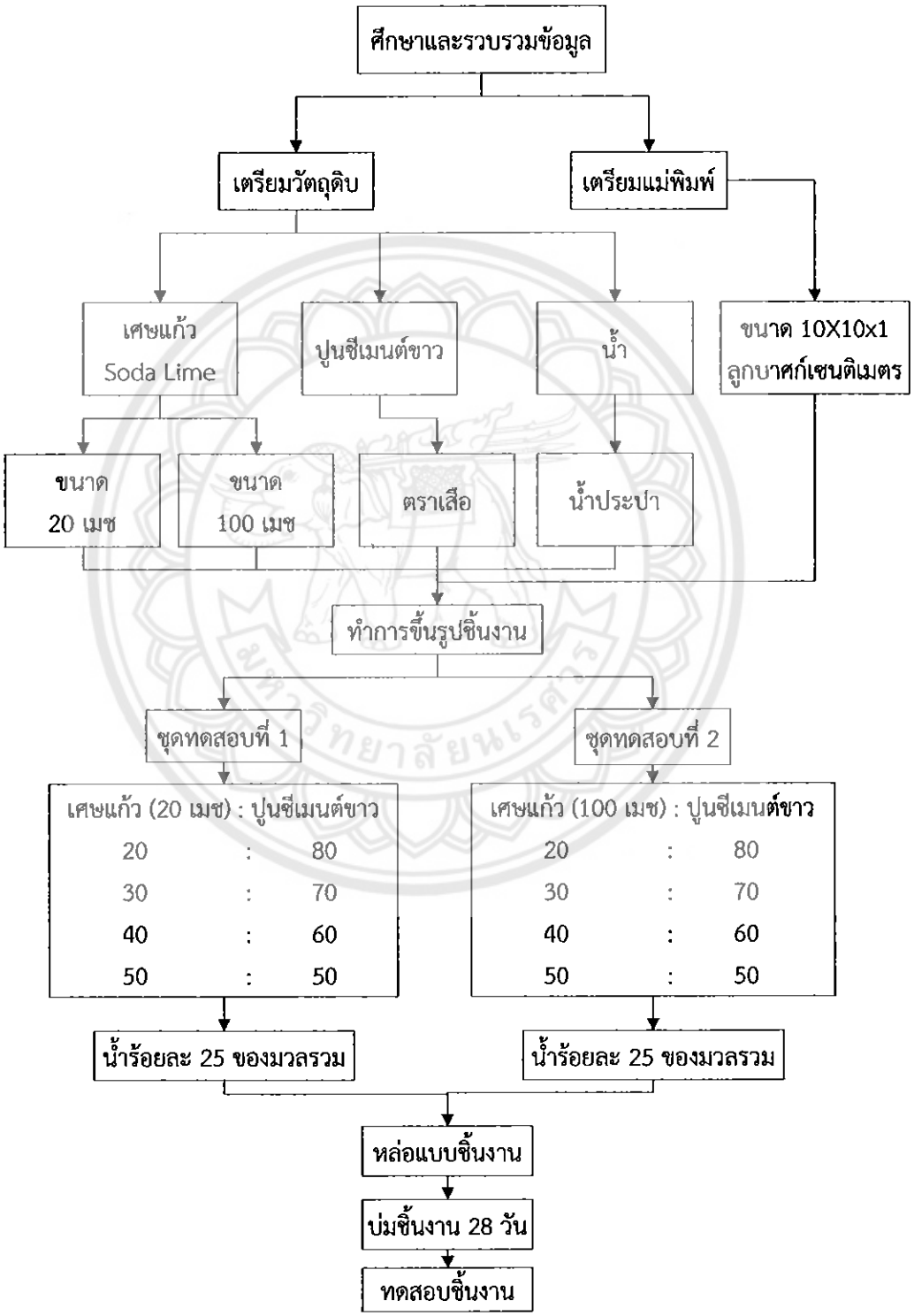
A. Shayan และ A. Xu (2003) ได้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะนำเศษแก้วมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในคอนกรีตในหลายๆ รูปแบบ โดยใช้ผงแก้วทั้งแบบละเอียด และแบบหยาบในการนำมาทำคอนกรีต ซึ่งจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ และเป็นการลดต้นทุนในการผลิตซึ่งจะนำมาใช้แทนวัตถุดิบที่มีราคาแพง เช่น Fly Ash และซีเมนต์ จากผลการศึกษาพบว่าในการใช้ผงแก้วเป็นส่วนผสมของคอนกรีต จะช่วยในการขัดขวางการขยายตัวของ Alkali – Silica Reaction (ASR) และค่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นของการนำผงแก้วมาผสมกับปูนขาว หรือซีเมนต์ และคอนกรีตเป็นที่น่าพอใจ จากการตรวจสอบโครงสร้างภายในนั้นจะแสดงว่าผงแก้วนั้นสร้างความหนาแน่นให้กับเนื้อพื้น มีผลทำให้คุณสมบัติทางด้านความทนทานของคอนกรีตดีขึ้น

A.P. Luz และ S. Ribeiro (2006) ได้ทำการศึกษากระเบื้องพอร์ซเลนที่มีลักษณะทนต่อแรงดัด, ทนต่อสารเคมี, ความแข็งผิว ฯลฯ โดยทำการวิจัยนำวัสดุใหม่ๆ ที่เป็นของเสีย และไม่เป็นอันตรายมาแทนที่วัสดุเดิมโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต โดยศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้ผงแก้วผสมลงในเซรามิก โดยมีส่วนผสมของ ดิน, เศษแก้ว, Feldspar และ Quartz ที่ปริมาณต่างๆ กัน แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ 1,000 – 1,250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้ผงแก้วมาเป็นส่วนผสมในกระเบื้องมีคุณสมบัติต่างๆ ที่น่าเชื่อถือได้ของผลิตภัณฑ์ จึงทำให้สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมของกระเบื้องได้

Caijun Shi และ Keren Zheng (2007) ได้ทำการศึกษาการนำเศษแก้วมารีไซเคิลใน Portland Cement เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตอีกทั้งยังเป็นการช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม โดยจากผลการศึกษา เศษแก้วที่ทำการผสมลงไปกับซีเมนต์ช่วยทำให้ได้คุณสมบัติที่ดีกับตัวคอนกรีต ช่วยลดการขยายตัวของรอยแตก และการ Cracking ให้ลดน้อยลง โดยจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงแนวทางในการใช้งานของเศษแก้วในการนำมาเป็นส่วนผสมของ Portland Cement

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ และอุปกรณ์

3.1.1 ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ

3.1.2 เศษแก้วโซดาไลม์

3.1.3 ตะแกรงขนาด 20 และ 100 เมช

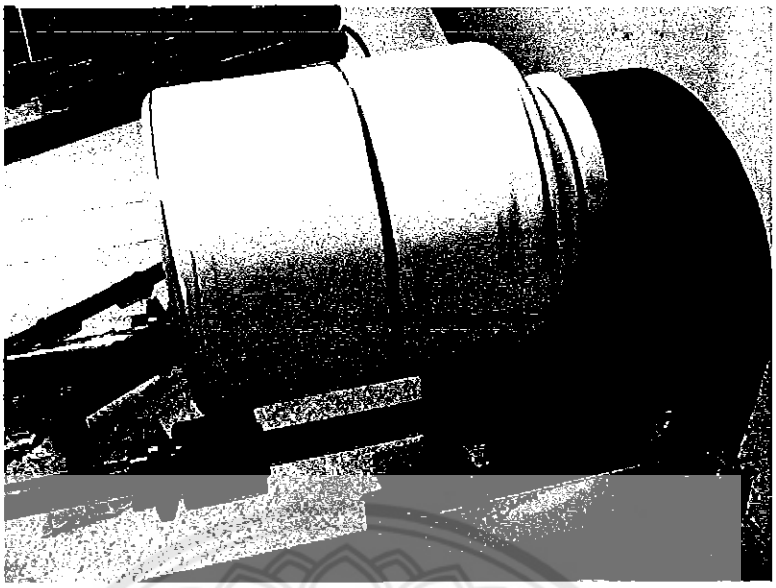
3.1.4 แม่พิมพ์ขนาด 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.1.5 น้ำร้อยละ 25 ของมวลรวม

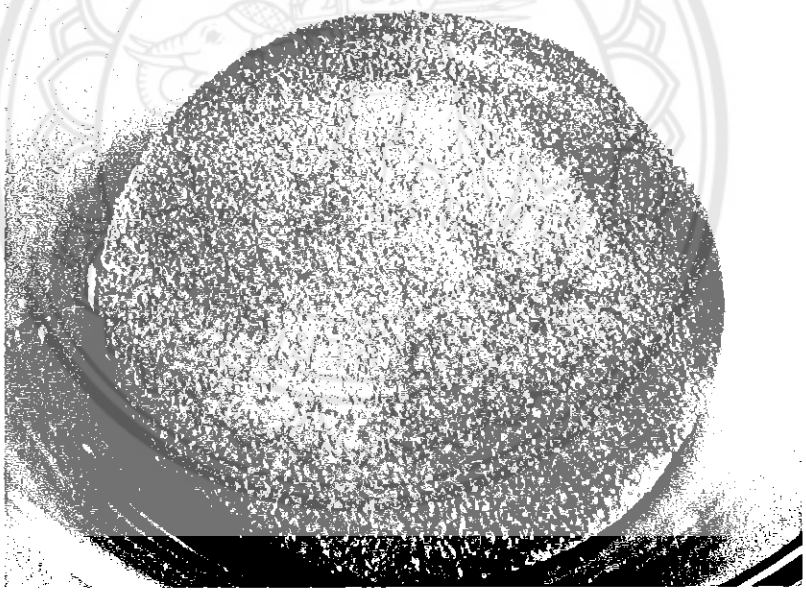
รูปที่ 3.2 ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ

3.2 วิธีการขึ้นรูป

3.2.1 บดขวดแก้วซนิดโซดาไลม์ ให้เป็นเศษเล็กๆ แล้วทำการวัดขนาด โดยผ่านตะแกรงขนาด 20 และ100 เมช



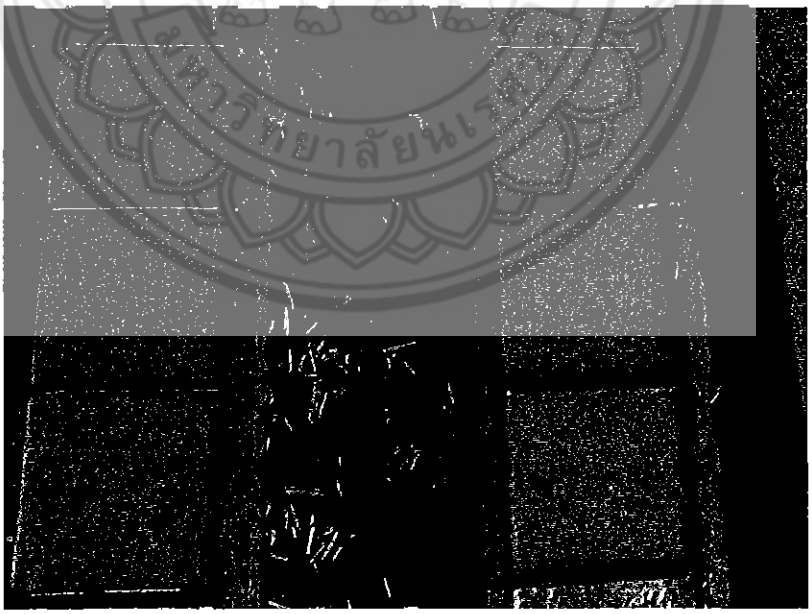
รูปที่ 3.3 บดเศษแก้วด้วยเครื่องบด (Ball Mill)



รูปที่ 3.4 เศษแก้วขนาด 20 เมช

รูปที่ 3.5 เศษแก้วขนาด 100 เมช

3.2.2 นำเศษแก้วโซดาไลม์ที่ได้มาผสมในอัตราส่วนต่อปูนซีเมนต์ขาวตราเสือที่ต่างๆ กัน (ดังตารางที่ 3.1) นำไปหล่อลงในแม่พิมพ์ ขนาด 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลา 10 - 12 ชั่วโมง แล้วแกะนำตัวผลิตภัณฑ์ออกมา

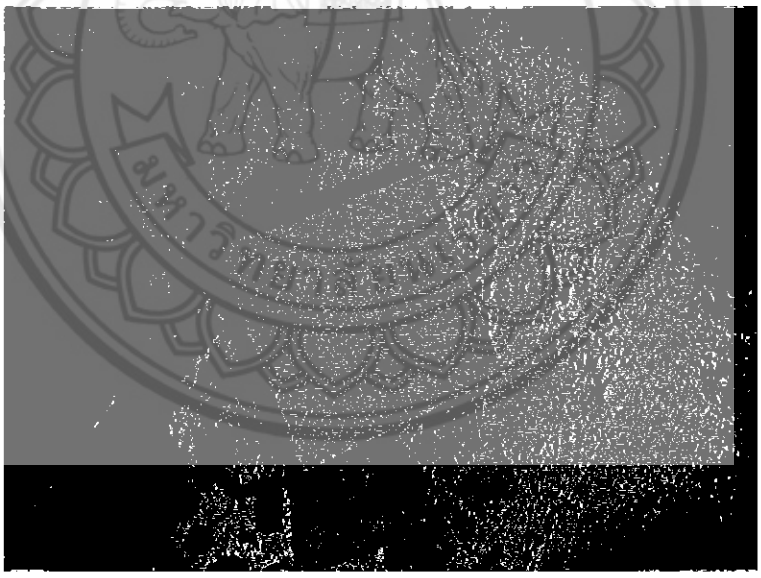


รูปที่ 3.6 หล่อชิ้นงานลงแม่พิมพ์

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของอัตราส่วนระหว่างซีเมนต์ขาวตราเสือ และเศษแก้วโซดาไลม์

กลุ่มที่	ขนาดเศษแก้วโซดาไลม์ (เมช)	อัตราส่วน	
		เศษแก้วโซดาไลม์	ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ
1	20	20	80
		30	70
		40	60
		50	50
2	100	20	80
		30	70
		40	60
		50	50

3.2.3 ทำการขัดผิวแผ่นกระเบื้องเพื่อให้เห็นถึงผิวของเศษแก้วโซดาไลม์ ที่เกาะติดกับเนื้อปูนซีเมนต์ขาว



รูปที่ 3.7 ขัดผิวกระเบื้อง

3.2.4 นำไปบ่มเพื่อให้ได้เนื้อปูนซีเมนต์ขาวที่แข็งแกร่งขึ้น โดยใช้เวลาประมาณ 28 วัน

3.3 การทดสอบลักษณะเฉพาะ และสมบัติ

3.3.1 ความสอบ

ความสอบ หมายถึง ลักษณะของด้านตรงข้ามของกระเบื้องสอบเข้าหากัน เนื่องจากความยาวของด้านตรงข้ามอีกคู่หนึ่งไม่เท่ากัน

ซึ่งทำการทดสอบโดยนำกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากเศษแก้วโซดาไลม์ ผสมกับปูนซีเมนต์ขาว ที่มีขนาดของกระเบื้องเท่ากับ 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วมาทำการวัดขนาดโดยใช้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร วัดความยาวของด้านทั้ง 4 ของกระเบื้อง แล้วคำนวณหาความสอบ ดังสมการที่ 2.4

3.3.2 ความหนาแน่น

ทำการทดสอบโดยนำกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากเศษแก้วโซดาไลม์ ผสมกับปูนซีเมนต์ขาว ที่มีขนาดของกระเบื้องเท่ากับ 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร มาชั่งด้วยเครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม จะได้มวลของวัตถุ จากนั้นทำการหาปริมาตรของวัตถุโดยคำนวณจากสูตรปริมาตรของวัตถุมีค่าเท่ากับ กว้าง × ยาว × สูง แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความหนาแน่นของวัตถุ ดังสมการที่ 2.1

3.3.3 การดูดซึมน้ำ

ทำการทดสอบโดยนำกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากเศษแก้วโซดาไลม์ ผสมกับปูนซีเมนต์ขาว ที่มีขนาดของกระเบื้องเท่ากับ 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร มาทำการอบที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดสิกเกเตอร์ จากนั้นนำมาแยกชั่งทีละแผ่น โดยน้ำหนักกระเบื้องที่ชั่งได้นี้ให้ถือเป็นน้ำหนักกระเบื้องแห้ง จากนั้นแช่กระเบื้องเหล่านี้จมอยู่ในน้ำโดยให้น้ำท่วมกระเบื้องตลอดเวลา แล้วปล่อยทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง นำขึ้นซับน้ำที่เกาะติดอยู่ด้วยผ้าหมาดที่สะอาดแล้วรีบชั่งทันที โดยน้ำหนักกระเบื้องที่ชั่งให้ถือเป็นน้ำหนักหลังจากแช่น้ำ แล้วนำมาทำการคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำของกระเบื้อง ดังสมการที่ 2.2

3.3.4 ความแข็งแรงต่อแรงดัด

ทำการทดสอบโดยนำกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากเศษแก้วโซดาไลม์ ผสมกับปูนซีเมนต์ขาว ที่มีขนาดของกระเบื้องเท่ากับ 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นทำการตัดชิ้นงานให้มีความกว้างเท่ากับ 2.5 เซนติเมตร ความหนา 1 เซนติเมตร และความยาว 10 เซนติเมตร แล้วนำมาทำการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด ดังสมการที่ 2.3 โดยใช้อัตราเร็วในการกดที่เท่ากับ 0.1 มิลลิเมตรต่อนาที และระยะ Span Length เท่ากับ 5 เซนติเมตร

3.4 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

3.4.1 วิเคราะห์ความสอบ

3.4.2 วิเคราะห์ความหนาแน่น (Density)

3.4.3 วิเคราะห์การดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

3.4.4 วิเคราะห์ความแข็งแรงต่อแรงดัด (Bending Strength)

3.4.5 สรุปผลการทดลองจากการศึกษาส่วนผสมของเศษแก้วที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของปูนซีเมนต์ขาวในการผลิตกระเบื้องเซรามิก

3.5 จัดทำรูปเล่มรายงาน

นำข้อมูลทั้งหมด และผลการทดลองมาจัดทำรูปเล่มรายงาน

บทที่ 4
ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

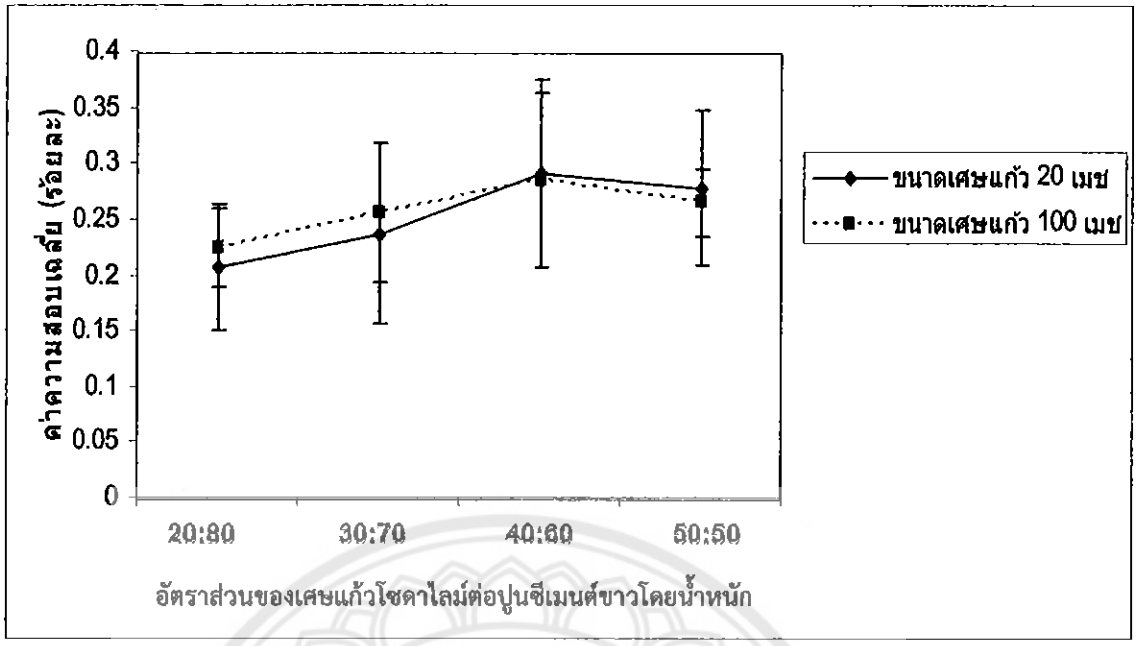
ศึกษาผลของขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ และอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความสอบ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์กับปูนซีเมนต์ขาว

การทดลองนี้ได้นำเอาเศษแก้วโซดาไลม์มาผสมกับปูนซีเมนต์ขาวเพื่อทำการศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของกระเบื้องเซรามิกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์ โดยใช้ขนาดของเศษแก้วที่ต่างกันคือ 20 และ 100 เมช โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว โดยใช้อัตราส่วนผสมที่เท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60 และ 50 : 50 แล้วพิจารณาค่าที่เหมาะสมจากผลการทดสอบ เพื่อนำมาเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน (มอก.613 – 2529) ได้แก่ ความสอบ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อแรงดัด

4.1 การทดสอบความสอบ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความสอบของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนต่างๆ

ขนาดเศษแก้วโซดาไลม์ (เมช)	อัตราส่วน		มอก. 613 – 2529 กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน	ค่าความสอบเฉลี่ย (ร้อยละ)
	เศษแก้วโซดาไลม์	ปูนซีเมนต์ขาว		
20	20	80	ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.207
	30	70	ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.237
	40	60	ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.291
	50	50	ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.278
100	20	80	ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.224
	30	70	ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.256
	40	60	ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.285
	50	50	ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.265



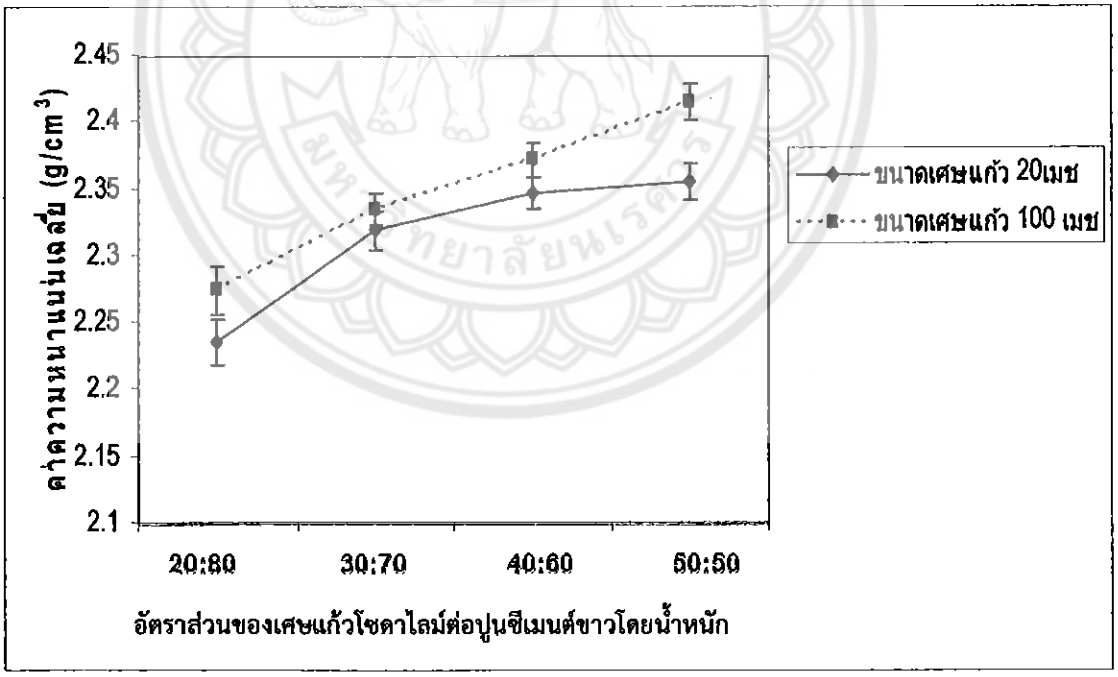
รูปที่ 4.1 ค่าความสอบเฉลี่ย (ร้อยละ) ของกระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์กับปูนซีเมนต์ขาว

อิทธิพลของอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว และขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ ที่มีผลต่อค่าความสอบเฉลี่ยของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 นั่นคือ ค่าความสอบเฉลี่ยมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องมาจาก กระเบื้องเซรามิกที่ทำการศึกษาทำการบ่มชิ้นงานไว้ 28 วัน และไม่ได้นำไปผ่านกระบวนการเผา เพราะฉะนั้นการหดตัวของชิ้นงานจึงไม่เกิดขึ้นมากนัก ดังนั้น ปริมาณของเศษแก้วโซดาไลม์ และขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ จึงไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความสอบ และเมื่อนำค่าที่ได้มาทำการเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน (มอก.613 – 2529) พบว่ามีค่าที่ไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนด ดังนั้นกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์ที่ได้จึงสามารถนำมาเป็นแนวทางในการผลิตกระเบื้องเซรามิก

4.2 การทดสอบความหนาแน่น

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนต่างๆ

ขนาดเศษแก้วโซดาไลม์ (เมช)	อัตราส่วน		มอก. 613 – 2529 กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน	ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย (g/cm^3)
	เศษแก้วโซดาไลม์	ปูนซีเมนต์ขาว		
20	20	80	ไม่ระบุ	2.235
	30	70	ไม่ระบุ	2.318
	40	60	ไม่ระบุ	2.346
	50	50	ไม่ระบุ	2.354
100	20	80	ไม่ระบุ	2.274
	30	70	ไม่ระบุ	2.334
	40	60	ไม่ระบุ	2.371
	50	50	ไม่ระบุ	2.414



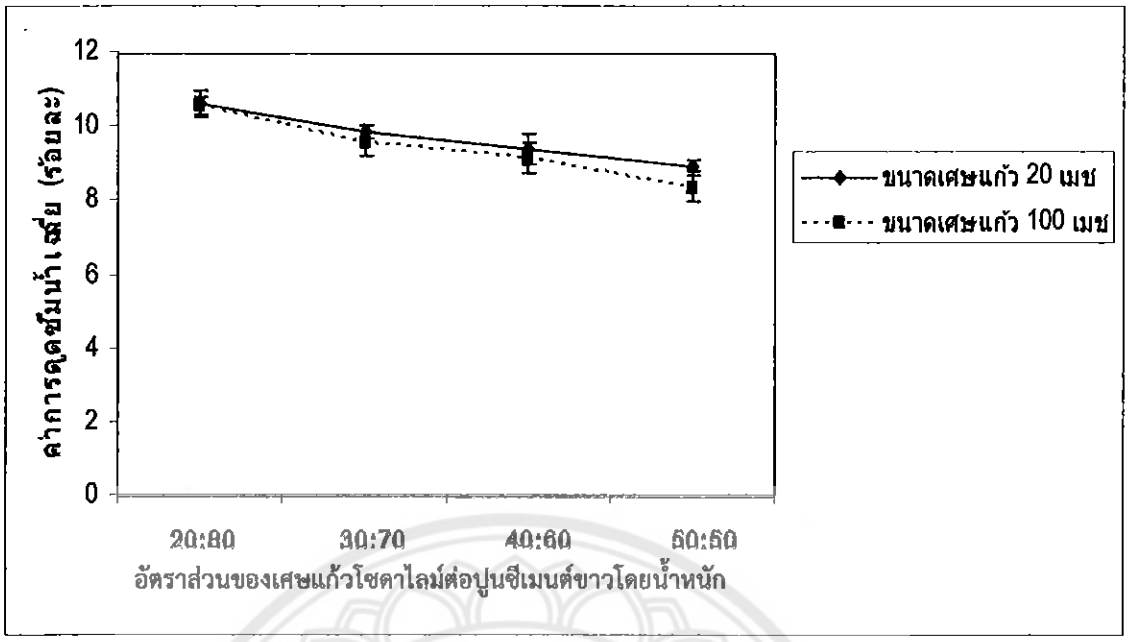
รูปที่ 4.2 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ของกระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์กับปูนซีเมนต์ขาว

อิทธิพลของอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว และขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ ที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 นั่นคือ การเพิ่มปริมาณของเศษแก้วส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องมาจาก เศษแก้วไปแทรกตัวอยู่ในช่องว่างภายในปูนซีเมนต์ ซึ่งช่องว่างนี้เกิดจากโครงสร้างของปูนซีเมนต์หลังจากแข็งตัวจะมีลักษณะเหมือนเข็มสานตัวกัน และมีโพรงเกิดขึ้นภายในชิ้นงาน (ไพโรจน์ และเอกชัย, 2547) นอกจากนี้พบว่า กระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ ขนาด 100 เมช จะให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยที่สูงกว่ากระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ ขนาด 20 เมช ในทุกๆ อัตราส่วน เนื่องมาจาก ปูนซีเมนต์จะเกิดโพรงขึ้นในเนื้อของชิ้นงาน ซึ่งโพรงนี้เป็นส่วนของช่องว่างของน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ ดังนั้นเมื่อทำการผสมเศษแก้วโซดาไลม์ลงไป จะทำให้เศษแก้วเข้าไปแทรกอยู่ในโพรงที่เกิดขึ้น และยิ่งเศษแก้วมีขนาดเล็ก ก็จะสามารถจัดเรียงตัวอยู่ภายในช่องว่างได้มากกว่าเศษแก้วที่มีขนาดใหญ่

4.3 การดูดซึมน้ำ

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนต่างๆ

ขนาดเศษแก้วโซดาไลม์ (เมช)	อัตราส่วน		มอก. 613 – 2529 กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน	ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย (ร้อยละ)
	เศษแก้วโซดาไลม์	ปูนซีเมนต์ขาว		
20	20	80	ไม่เกินร้อยละ 18	10.623
	30	70	ไม่เกินร้อยละ 18	9.834
	40	60	ไม่เกินร้อยละ 18	9.373
	50	50	ไม่เกินร้อยละ 18	8.922
100	20	80	ไม่เกินร้อยละ 18	10.511
	30	70	ไม่เกินร้อยละ 18	9.514
	40	60	ไม่เกินร้อยละ 18	9.136
	50	50	ไม่เกินร้อยละ 18	8.302



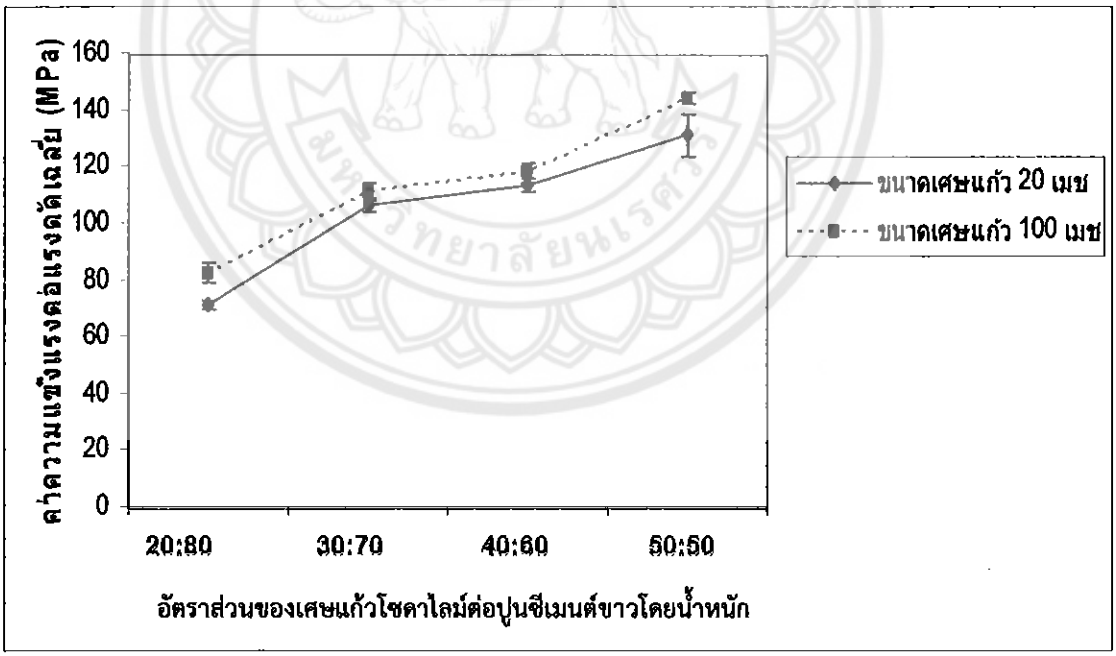
รูปที่ 4.3 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของกระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์กับปูนซีเมนต์ขาว

อิทธิพลของอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว และขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ ที่มีผลต่อค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 นั่นคือ การเพิ่มปริมาณของเศษแก้วโซดาไลม์ ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยมีค่าลดลง เนื่องมาจากโครงสร้างของปูนซีเมนต์หลังจากแข็งตัวจะมีลักษณะเหมือนเข็มสานตัวกัน และมีโพรงเกิดขึ้นภายในชิ้นงาน (ไพโรจน์ และเอกชัย, 2547) ดังนั้นเมื่อทำการผสมเศษแก้วโซดาไลม์ลงไป จะทำให้โพรงที่เกิดขึ้นมีเศษแก้วเข้าไปแทรกอยู่ภายใน และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ ในอัตราส่วนที่มากขึ้น จะทำให้ช่องว่างที่เกิดขึ้นมีขนาดที่เล็กลง ส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มขึ้น การดูดซึมน้ำจึงลดลง สอดคล้องกับการทดสอบค่าความหนาแน่นเฉลี่ยในหัวข้อ 4.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนของเศษแก้วโซดาไลม์ ที่ผสมลงไปในปูนซีเมนต์ จะทำให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของชิ้นงานมีค่าเพิ่มมากขึ้น ชิ้นงานก็จะเกิดการดูดซึมน้ำได้น้อยลง นอกจากนี้กระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ ขนาด 100 เมช จะให้ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ ขนาด 20 เมช ในทุกๆ อัตราส่วน เนื่องมาจาก เศษแก้วที่มีขนาดเล็ก เมื่อทำการผสมกับปูนซีเมนต์ขาว จะสามารถแทรกเข้าไปในช่องว่างได้มากกว่าเศษแก้วที่มีขนาดใหญ่ และเมื่อทำการนำค่าการดูดซึมน้ำที่ทดสอบได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน (มอก.613 – 2529) พบว่ามีค่าที่ไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนด ดังนั้นกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์ สามารถนำมาเป็นแนวทางในการผลิตกระเบื้องเซรามิก

4.4 ความแข็งแรงต่อแรงดัด

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนต่างๆ

ขนาดเศษแก้วโซดาไลม์ (เมช)	อัตราส่วน		มอก. 613 – 2529 กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน	ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดเฉลี่ย (MPa)
	เศษแก้วโซดาไลม์	ปูนซีเมนต์ขาว		
20	20	80	ไม่ระบุ	71.003
	30	70	ไม่ระบุ	106.216
	40	60	ไม่ระบุ	113.149
	50	50	ไม่ระบุ	130.775
100	20	80	ไม่ระบุ	82.332
	30	70	ไม่ระบุ	110.942
	40	60	ไม่ระบุ	117.478
	50	50	ไม่ระบุ	143.870



รูปที่ 4.4 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดเฉลี่ย (MPa) ของกระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์กับปูนซีเมนต์ขาว

อิทธิพลของอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว และขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดเฉลี่ยของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 นั่นคือ การเพิ่มขึ้นของปริมาณเศษแก้วโซดาไลม์ ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องมาจาก เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ ลงไปในปูนซีเมนต์ขาวส่งผลให้โครงสร้างของปูนซีเมนต์ที่มีช่องว่างถูกเศษแก้วเข้าไปแทรกอยู่จนช่องว่างลดน้อยลง ยิ่งเมื่อขนาดเศษแก้วมีขนาดเล็ก และผสมลงไปในปริมาณมากก็จะไปแทรกอยู่จนเต็มช่องว่างนั้น ดังนั้นเมื่อเรานำกระเบื้องที่มีอัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วนที่ต่างๆ กันไปทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดเฉลี่ย จะพบว่า เมื่อมีปริมาณเศษแก้วมากขึ้น ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดเฉลี่ยจะมีค่ามากตาม ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบค่าความหนาแน่นในหัวข้อ 4.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณเศษแก้วมากขึ้นก็จะส่งผลให้ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และกระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ ขนาด 100 เมช จะให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดเฉลี่ยที่ สูงกว่ากระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ ขนาด 20 เมช ในทุกๆ อัตราส่วน เนื่องมาจาก เมื่อทำการผสมเศษแก้วโซดาไลม์เข้าไปจะทำให้ช่องว่างภายในโครงสร้างของปูนลดลง ดังนั้นยิ่งเศษแก้วมีขนาดเล็ก ก็จะสามารถเข้าไปแทรกตัวอยู่ภายในช่องว่างได้มาก ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น

บทที่ 5
บทสรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทำการทดลองศึกษาส่วนผสมของเศษแก้วที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของปูนซีเมนต์ขาวในการผลิตกระเบื้องเซรามิก สามารถสรุปและวิเคราะห์ผลในเรื่องของความสอบ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อแรงดัด ได้ดังนี้

5.1.1 ความสอบ

การเพิ่มขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ และอัตราส่วนของเศษแก้วโซดาไลม์ ที่ผสมในปูนซีเมนต์ขาว เพื่อผลิตกระเบื้องเซรามิกมีผลให้ค่าเฉลี่ยความสอบที่ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องมาจากกระเบื้องที่ทำการผลิตไม่ได้นำไปผ่านกระบวนการเผา เพราะฉะนั้นขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ที่เติมลงไปจึงไม่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความสอบ

5.1.2 ความหนาแน่น

การเพิ่มขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ ที่ผสมในปูนซีเมนต์ขาว เพื่อผลิตกระเบื้องเซรามิกมีผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ ที่ให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นที่สูงที่สุดคือขนาด 100 เมช และอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ที่ให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสูงที่สุดคือ 50 : 50

5.1.3 การดูดซึมน้ำ

การเพิ่มขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ ที่ผสมในปูนซีเมนต์ขาว เพื่อผลิตกระเบื้องเซรามิกมีผลให้ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำลดลง โดยขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ ที่ให้ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำที่ต่ำสุดคือขนาด 100 เมช และอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ที่ให้ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำที่ต่ำสุดคือ 50 : 50

5.1.4 ความแข็งแรงต่อแรงดัด

การเพิ่มขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ ที่ผสมในปูนซีเมนต์ขาว เพื่อผลิตกระเบื้องเซรามิกมีผลให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัดเพิ่มขึ้น โดยขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ ที่ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัดสูงที่สุดคือขนาด 100 เมช และอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ที่ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัดสูงที่สุดคือ 50 : 50

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งหมดเมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน (มอก.613 – 2529) พบว่ามีค่าที่ไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนด ฉะนั้นการผสมเศษแก้วโซดาไลม์กับปูนซีเมนต์ขาวเพื่อผลิตเป็นกระเบื้องเซรามิกสามารถนำมาใช้งานจริงได้ และเป็นการลดปริมาณขยะที่เกิดจากเศษแก้ว อีกทั้งการนำเศษแก้วทำเป็นกระเบื้องบุผนังภายในนั้นสามารถเป็นอีกหนึ่งองค์ความรู้ที่จะช่วยลดต้นทุนในด้านของวัตถุดิบรวมทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ และยังเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาเพิ่มเติมโดยการนำไปทำการตกแต่งผิวของชิ้นงานให้มีความสวยงามมากยิ่งขึ้น

5.2.2 กระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์กับปูนซีเมนต์ขาวที่ทำการผลิต สามารถนำไปเป็นแนวทางในการผลิตกระเบื้องบุผนังภายในได้ ซึ่งก็เป็นการนำเศษแก้วที่เหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์

5.2.3 เนื่องจากในโครงงานนี้มีการทดลองที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์กับปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ ในอัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวที่เท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60 และ 50 : 50 ตามลำดับ ดังนั้นอาจมีการทำการศึกษาเพิ่มเติมในอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์กับปูนซีเมนต์ขาวที่เพิ่มขึ้น โดยทำการเพิ่มปริมาณของเศษแก้วโซดาไลม์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ทางอุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน (มอก. 613-2529)

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข

5.3.1 ในการทำการร่อนเศษแก้วผ่านตะแกรงร่อนที่ขนาด 20 เมช และ 100 เมช อาจเกิดการฟุ้งกระจายของเศษแก้ว เนื่องมาจากเศษแก้วที่ใช้มีขนาดเล็ก เมื่อหายใจเข้าไปจะทำให้เกิดผลเสียต่อระบบทางเดินหายใจ ดังนั้น จึงควรสวมผ้าปิดจมูก และระวังไม่ให้เศษแก้วเข้าตา

5.3.2 การหล่อชิ้นงานลงแบบหล่อ ควรเลือกวัสดุที่นำมาทำแบบหล่อให้เหมาะสม สามารถถอดชิ้นงานออกจากแบบหล่อได้ง่าย และพื้นผิวต้องเรียบเพื่อความสวยงามของชิ้นงานที่ทำการผลิต

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงอุตสาหกรรม. (2541). **การวิเคราะห์ต้นทุนและประโยชน์ของการนำเศษแก้วกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมขวดแก้ว.**

คชินท์ สายอินทวงศ์. (2537). **แนวทางในการเลือกใช้งานกระเบื้องเซรามิก.** สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2553, จาก http://www.thaiceramicsociety.com/pd_tile_way2.php.

บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว. (2539). **สมบัติของวัสดุแก้ว.** สืบค้นเมื่อ 12 พฤศจิกายน 2553, จาก http://www2.mtac.or.th/research/GSAT/Glassweb/define.html.

บริษัท สยามปูนซีเมนต์ขาว จำกัด. (2535). **ปูนซีเมนต์ขาวตราช้างเผือก, ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ.** สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2554, จากhttp://www.siamwhitecement.com/thai/products_f/Tiger-apply.html.

บริษัท โสสุโก้ เซรามิค จำกัด. (2543). **เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับกระเบื้องเซรามิก.** สืบค้นเมื่อ 27 พฤศจิกายน 2553, จาก http://www.aplusadesign.com/content/view/70/65/.

บุญธรรม ภัทราจารุกุล. (2549). **ปูนซีเมนต์ขาว.** สืบค้นเมื่อ 13 ตุลาคม 2553, จาก http://www.electron.rmotphysics.com/physics-glossary/index.php?option=com_content&tesk=view&id=4695&Itemid=75.

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2532). **เซรามิก.** สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปาร์ย อรรถพิสาล. (2548). **การพัฒนาคุณภาพของกระเบื้องเซรามิกที่ผลิตจากของเสียที่เป็นแก้ว.** หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไพโรจน์ หนูกุล และนายเอกชัย หีตแก้ว. (2547). **ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ.** สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม 2554, จาก http://www.ce.eng.psu.ac.th/civil/lec-Doc/Lec-Sitichaj.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

มณฑล ฉายอรุณ. (2531). **การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ** STRENGTH OF MATERIAL TESTING, หน้า 9-15. กรุงเทพ: ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ.

มาหามะสูไฮมี มะแซ. (2550). **การพัฒนาเนื้อกระเบื้องด้วยเศษหินแกรนิต เถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาซิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมวัสดุ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วรรณา ต.แสงจันทร์. (2551). **อิฐมวลเบาจากเศษแก้ว**. สาขาเซรามิก, วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 57, 179, 46-52.

ศาสตราจารย์ปริญญา จินดาประเสริฐและศาสตราจารย์ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2553). Cement,Pozzolan And Concrete. หน้า 22. กรุงเทพฯ : สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (สคท.).

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2545). การทดสอบความหนา**แน่นของกระเบื้อง.** กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2529). **กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน**. สืบค้นเมื่อ 14 ตุลาคม 2553, จาก http://itc.excisc.go.th/tisi/Fulltext/TIS613-2529.pdf.

อนุชา วรรณก้อน และสมัญญา สงวนพรรค. (2549). การผลิตและปรับปรุงคุณสมบัติ**ต้นแบบกระเบื้องมวลเบาจากเศษแก้ว**. สาขาเทคโนโลยีเซรามิก, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.).

อนุรักษ์ จินตนานันท์. (2551). **การพัฒนากระเบื้องดินซีเมนต์ที่ใช้ดินตะกอนประปาจังหวัดขอนแก่น**. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

A.Shayan, A. Xu. (2003). **Value-added utilisation of waste glass in concrete**. ARRB Transport Research Ltd.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

A.P. Luz, S. Ribeiro. (2006). **Use of glass waste as a raw material in porcelain stoneware tile mixtures**. Faculty of Chemical Engineering of Lorena (FAENQUIL), Department of Materials Engineering (DEMAR), Polo Urbo Industrial.

C. Shi , K. Zheng. (2007). **A review on the use of waste glasses in the production of cement and concrete**. College of Civil Engineering and Architecture, Central South University.

Crystal Design Center. (2547). **ปูนซีเมนต์**. สืบค้นเมื่อ 17 ตุลาคม 2553, จาก http://www.novabizz.com/CDC/Materials/101-Cement.htm.

N. Su, J.S. Chen. (2002). **Engineering properties of asphalt concrete made with recycled glass**. Department of Construction Engineering, National Yunlin University of Science and Technology.

N. F. Youssef, M. F. Abadi and M. A. 0. Shater . (1998). **Utilization of Soda Glass (Cullet) in the Manufacture of Wall and Floor Tiles**. Housing and Building Research Center (HBRC),Chemical Engineering,Cairo University and Housing and Building Research Center (HBRC).

White Horse Ceramic. (2546). **คุณสมบัติของกระเบื้อง**. สืบค้นเมื่อ 12 มกราคม 2554, http://www.whitehorse.com.tw/my/thai/characteristic.php.

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล ของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์ ได้แก่ ความสอบความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อแรงดัด

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบค่าความสอบของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์

ขนาดเศษแก้วโซดาไลม์ (เมช)	อัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว	มอก. 613 – 2529 กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน	ค่าความสอบ (ร้อยละ)	เฉลี่ย
20	20 : 80	ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.361	0.207
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.110	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.030	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.111	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.240	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.060	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.513	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.473	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.050	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.120	
	30 : 70	ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.291	0.237
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.511	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.080	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.512	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.040	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.140	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.030	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.713	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.010	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.040	
	40 : 60	ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.060	0.291
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.551	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.010	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.190	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.572	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.040	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.800	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.340	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.180	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.170	

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความสอบของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์

ขนาดเศษแก้วโซดาไลม์ (เมช)	อัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว	มอก. 613 – 2529 กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน	ค่าความสอบ (ร้อยละ)	เฉลี่ย
20	50 : 50	ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.050	0.278
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.190	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.654	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.150	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.292	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.120	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.422	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.251	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.613	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.040	
100	20 : 80	ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.341	0.224
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.020	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.322	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.231	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.040	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.221	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.301	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.291	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.223	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.254	
	30 : 70	ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.070	0.256
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.190	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.040	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.392	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.130	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.533	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.020	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.221	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.482	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.482	

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความสอบของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์

ขนาดเศษแก้วโซดาไลม์ (เมช)	อัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว	มอก. 613 – 2529 กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน	ค่าความสอบ (ร้อยละ)	เฉลี่ย
100	40 : 60	ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.131	0.285
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.632	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.010	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.050	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.413	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.060	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.100	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.472	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.663	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.322	
	50 : 50	ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.240	0.265
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.320	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.210	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.120	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.260	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.221	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.291	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.481	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.210	
		ไม่เกินร้อยละ 0.5	0.298	

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์

ขนาดเศษแก้วโซดาไลม์ (เมช)	อัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว	มอก. 613 – 2529 กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	เฉลี่ย
20	20 : 80	ไม่ระบุ	2.235	2.235
		ไม่ระบุ	2.304	
		ไม่ระบุ	2.269	
		ไม่ระบุ	2.241	
		ไม่ระบุ	2.281	
		ไม่ระบุ	2.120	
		ไม่ระบุ	2.190	
		ไม่ระบุ	2.270	
		ไม่ระบุ	2.255	
		ไม่ระบุ	2.183	
	30 : 70	ไม่ระบุ	2.383	2.318
		ไม่ระบุ	2.312	
		ไม่ระบุ	2.248	
		ไม่ระบุ	2.357	
		ไม่ระบุ	2.305	
		ไม่ระบุ	2.344	
		ไม่ระบุ	2.254	
		ไม่ระบุ	2.285	
		ไม่ระบุ	2.324	
		ไม่ระบุ	2.369	
	40 : 60	ไม่ระบุ	2.272	2.346
		ไม่ระบุ	2.378	
		ไม่ระบุ	2.372	
		ไม่ระบุ	2.355	
		ไม่ระบุ	2.373	
		ไม่ระบุ	2.317	
		ไม่ระบุ	2.317	
		ไม่ระบุ	2.389	
		ไม่ระบุ	2.356	
		ไม่ระบุ	2.328	

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์

ขนาดเศษแก้วโซดาไลม์ (เมช)	อัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว	มอก. 613 – 2529 กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	เฉลี่ย
20	50 : 50	ไม่ระบุ	2.263	2.354
		ไม่ระบุ	2.384	
		ไม่ระบุ	2.376	
		ไม่ระบุ	2.401	
		ไม่ระบุ	2.304	
		ไม่ระบุ	2.383	
		ไม่ระบุ	2.369	
		ไม่ระบุ	2.350	
		ไม่ระบุ	2.386	
		ไม่ระบุ	2.322	
100	20 : 80	ไม่ระบุ	2.269	2.274
		ไม่ระบุ	2.335	
		ไม่ระบุ	2.273	
		ไม่ระบุ	2.269	
		ไม่ระบุ	2.156	
		ไม่ระบุ	2.225	
		ไม่ระบุ	2.327	
		ไม่ระบุ	2.244	
		ไม่ระบุ	2.336	
		ไม่ระบุ	2.304	
	30 : 70	ไม่ระบุ	2.344	2.334
		ไม่ระบุ	2.336	
		ไม่ระบุ	2.359	
		ไม่ระบุ	2.351	
		ไม่ระบุ	2.327	
		ไม่ระบุ	2.351	
		ไม่ระบุ	2.231	
		ไม่ระบุ	2.342	
		ไม่ระบุ	2.332	
		ไม่ระบุ	2.367	

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์

ขนาดเศษแก้วโซดาไลม์ (เมช)	อัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว	มอก. 613 – 2529 กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	เฉลี่ย
100	40 : 60	ไม่ระบุ	2.395	2.371
		ไม่ระบุ	2.415	
		ไม่ระบุ	2.359	
		ไม่ระบุ	2.329	
		ไม่ระบุ	2.392	
		ไม่ระบุ	2.303	
		ไม่ระบุ	2.436	
		ไม่ระบุ	2.374	
		ไม่ระบุ	2.348	
		ไม่ระบุ	2.359	
	50 : 50	ไม่ระบุ	2.383	2.414
		ไม่ระบุ	2.484	
		ไม่ระบุ	2.376	
		ไม่ระบุ	2.417	
		ไม่ระบุ	2.458	
		ไม่ระบุ	2.383	
		ไม่ระบุ	2.469	
		ไม่ระบุ	2.359	
		ไม่ระบุ	2.386	
		ไม่ระบุ	2.422	

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์

ขนาดเศษแก้ว S โซดาไลม์ (เมช)	อัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว	มอก. 613 – 2529 กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	เฉลี่ย
20	20 : 80	ไม่เกินร้อยละ 18	11.459	10.623
		ไม่เกินร้อยละ 18	10.236	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.810	
		ไม่เกินร้อยละ 18	8.493	
		ไม่เกินร้อยละ 18	11.219	
		ไม่เกินร้อยละ 18	10.970	
		ไม่เกินร้อยละ 18	11.040	
		ไม่เกินร้อยละ 18	10.642	
		ไม่เกินร้อยละ 18	11.860	
		ไม่เกินร้อยละ 18	10.501	
	30 : 70	ไม่เกินร้อยละ 18	9.792	9.834
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.800	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.540	
		ไม่เกินร้อยละ 18	10.103	
		ไม่เกินร้อยละ 18	10.285	
		ไม่เกินร้อยละ 18	11.082	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.637	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.639	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.224	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.236	
	40 : 60	ไม่เกินร้อยละ 18	9.332	9.373
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.131	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.404	
		ไม่เกินร้อยละ 18	10.226	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.603	
		ไม่เกินร้อยละ 18	6.565	
		ไม่เกินร้อยละ 18	10.369	
		ไม่เกินร้อยละ 18	11.537	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.493	
		ไม่เกินร้อยละ 18	8.072	

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์

ขนาดเศษแก้วโซดาไลม์ (เมช)	อัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว	มอก. 613 – 2529 กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	เฉลี่ย
20	50 : 50	ไม่เกินร้อยละ 18	8.221	8.922
		ไม่เกินร้อยละ 18	8.615	
		ไม่เกินร้อยละ 18	8.297	
		ไม่เกินร้อยละ 18	8.854	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.553	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.142	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.613	
		ไม่เกินร้อยละ 18	8.821	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.302	
		ไม่เกินร้อยละ 18	8.804	
100	20 : 80	ไม่เกินร้อยละ 18	10.962	10.511
		ไม่เกินร้อยละ 18	11.801	
		ไม่เกินร้อยละ 18	10.313	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.373	
		ไม่เกินร้อยละ 18	11.251	
		ไม่เกินร้อยละ 18	10.726	
		ไม่เกินร้อยละ 18	10.544	
		ไม่เกินร้อยละ 18	10.223	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.245	
		ไม่เกินร้อยละ 18	10.851	
	30 : 70	ไม่เกินร้อยละ 18	10.032	9.514
		ไม่เกินร้อยละ 18	11.196	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.267	
		ไม่เกินร้อยละ 18	8.109	
		ไม่เกินร้อยละ 18	10.673	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.948	
		ไม่เกินร้อยละ 18	10.272	
		ไม่เกินร้อยละ 18	8.274	
		ไม่เกินร้อยละ 18	8.893	
		ไม่เกินร้อยละ 18	8.501	

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์

ขนาดเศษแก้วโซดาไลม์ (เมช)	อัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว	มอก. 613 – 2529 กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	เฉลี่ย
100	40 : 60	ไม่เกินร้อยละ 18	10.165	9.136
		ไม่เกินร้อยละ 18	10.892	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.732	
		ไม่เกินร้อยละ 18	8.096	
		ไม่เกินร้อยละ 18	10.369	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.427	
		ไม่เกินร้อยละ 18	7.481	
		ไม่เกินร้อยละ 18	8.986	
		ไม่เกินร้อยละ 18	7.152	
		ไม่เกินร้อยละ 18	9.073	
	50 : 50	ไม่เกินร้อยละ 18	9.326	8.302
		ไม่เกินร้อยละ 18	8.182	
		ไม่เกินร้อยละ 18	7.092	
		ไม่เกินร้อยละ 18	7.837	
		ไม่เกินร้อยละ 18	7.144	
		ไม่เกินร้อยละ 18	8.138	
		ไม่เกินร้อยละ 18	10.671	
		ไม่เกินร้อยละ 18	8.155	
		ไม่เกินร้อยละ 18	7.486	
		ไม่เกินร้อยละ 18	8.942	

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์

ขนาดเศษแก้วโซดาไลม์ (เมช)	อัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว	มอก. 613 – 2529 กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน	ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa)	เฉลี่ย
20	20 : 80	ไม่ระบุ	68.071	71.003
		ไม่ระบุ	77.781	
		ไม่ระบุ	64.443	
		ไม่ระบุ	72.960	
		ไม่ระบุ	66.775	
		ไม่ระบุ	70.654	
		ไม่ระบุ	68.932	
		ไม่ระบุ	67.998	
		ไม่ระบุ	73.679	
		ไม่ระบุ	78.734	
	30 : 70	ไม่ระบุ	99.658	106.216
		ไม่ระบุ	119.568	
		ไม่ระบุ	98.258	
		ไม่ระบุ	112.455	
		ไม่ระบุ	115.404	
		ไม่ระบุ	102.987	
		ไม่ระบุ	96.652	
		ไม่ระบุ	105.786	
		ไม่ระบุ	99.637	
		ไม่ระบุ	109.751	
	40 : 60	ไม่ระบุ	105.732	113.149
		ไม่ระบุ	108.978	
		ไม่ระบุ	106.658	
		ไม่ระบุ	126.174	
		ไม่ระบุ	112.568	
		ไม่ระบุ	116.587	
		ไม่ระบุ	120.624	
		ไม่ระบุ	123.287	
		ไม่ระบุ	101.231	
		ไม่ระบุ	109.654	

ตารางที่ ก.4 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์

ขนาดเศษแก้วโซดาไลม์ (เมช)	อัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว	มอก. 613 – 2529 กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน	ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa)	เฉลี่ย
20	50 : 50	ไม่ระบุ	176.938	130.775
		ไม่ระบุ	151.597	
		ไม่ระบุ	103.575	
		ไม่ระบุ	105.249	
		ไม่ระบุ	135.938	
		ไม่ระบุ	143.524	
		ไม่ระบุ	101.738	
		ไม่ระบุ	121.533	
		ไม่ระบุ	137.671	
		ไม่ระบุ	129.983	
100	20 : 80	ไม่ระบุ	60.469	82.332
		ไม่ระบุ	93.387	
		ไม่ระบุ	81.541	
		ไม่ระบุ	68.410	
		ไม่ระบุ	81.121	
		ไม่ระบุ	88.654	
		ไม่ระบุ	91.472	
		ไม่ระบุ	76.560	
		ไม่ระบุ	89.192	
		ไม่ระบุ	90.563	
	30 : 70	ไม่ระบุ	119.642	110.942
		ไม่ระบุ	105.348	
		ไม่ระบุ	125.452	
		ไม่ระบุ	98.326	
		ไม่ระบุ	116.458	
		ไม่ระบุ	105.217	
		ไม่ระบุ	112.239	
		ไม่ระบุ	98.672	
		ไม่ระบุ	120.359	
		ไม่ระบุ	107.652	

ตารางที่ ก.4 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์

ขนาดเศษแก้วโซดาไลม์ (เมช)	อัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว	มอก. 613 – 2529 กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน	ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa)	เฉลี่ย
100	40 : 60	ไม่ระบุ	119.645	117.478
		ไม่ระบุ	108.245	
		ไม่ระบุ	102.467	
		ไม่ระบุ	129.367	
		ไม่ระบุ	129.564	
		ไม่ระบุ	100.528	
		ไม่ระบุ	112.237	
		ไม่ระบุ	130.654	
		ไม่ระบุ	124.521	
		ไม่ระบุ	117.553	
	50 : 50	ไม่ระบุ	143.856	143.870
		ไม่ระบุ	151.634	
		ไม่ระบุ	139.099	
		ไม่ระบุ	144.376	
		ไม่ระบุ	149.741	
		ไม่ระบุ	135.927	
		ไม่ระบุ	142.658	
		ไม่ระบุ	152.617	
		ไม่ระบุ	144.359	
		ไม่ระบุ	134.432	

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายชวลิต มากเมือง

ภูมิลำเนา 76/1 หมู่ 3 ต.หนองแขม อ.พรหมพิราม
จ.พิษณุโลก 65150

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิษณุโลก-พิทยาคม จ.พิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมวัสดุ
  คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: maximumman@hotmail.com

ชื่อ นางสาวสุชาดา คำกล่อม

ภูมิลำเนา 444 หมู่ 5 ต.สลกบาตร อ.ขาณุวรลักษบุรี
จ.กำแพงเพชร 62140

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสตรีนครสวรรค์ จ.นครสวรรค์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมวัสดุ
  คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: nong_happyrowling@hotmail.com