อิทธิพลของขนาด อัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสี และปริมาณน้ำ ที่มีผลต่อสมบัติทางกล และทางกายภาพ ของกระเบื้องบุผนังที่ทำจากปูนซีเมนต์ขาว และหินเกล็ดสี

THE EFFECTS OF SIZES, STONE CHIPS RATIO AND WATER CONTENT ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WALL TILES FROM WHITE CEMENT AND STONE CHIPS

นายทศพล มากจุ้ย รหัส 52363264

นายวิรัตน์ วรรณะ รหัส 52363462

นายสำเริง สังข์สุทธิ์ รหัส 52363547

วันที่รับ 24 ก.ค. 2556

เลขทะเบียน 1631920

เลขเรียกหนังสือ ฝร.

มหาวิทยาลัยนเรศวร ท 238ก 2556

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2555

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน อิทธิพลของขนาด อัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสี และปริมาณน้ำที่มีผลต่อสมบัติทางกล และทางกายภาพของกระเบื้องบุผนังที่ทำจากปูนซีเมนต์ขาวและหินเกล็ดสี

ผู้ดำเนินโครงงาน

นายทศพล	มากจุ้ย	รหัส	52363264
นายวิรัตน์	วรรณะ	รหัส	52363462
นายสำเริง	สังข์สุทธิ์	รหัส	52363547

ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2555

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย)

.....กรรมการ
(อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	อิทธิพลของขนาด อัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสี และปริมาณน้ำที่มีผลต่อสมบัติทางกล และทางกายภาพของกระเบื้องบุผนังที่ทำจากปูนซีเมนต์ขาว และหินเกล็ดสี		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายทศพล	มากจุ้ย	รหัส 52363264
	นายวิรัตน์	วรรณะ	รหัส 52363462
	นายสำเริง	สังข์สุทธิ์	รหัส 52363547
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ธณิกานต์	ธงชัย	
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2555		

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของขนาดหินเกล็ดสี อัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสี และปริมาณน้ำที่มีผลต่อสมบัติทางกล และทางกายภาพของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว โดยใช้อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวที่แตกต่างกันได้แก่ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้ขนาดของหินเกล็ดสีในช่วง 6 – 12 เมช และ 12 – 20 เมช ใช้อัตราส่วนของน้ำต่อปูนร้อยละ 30, 35 และ 40 ตามลำดับ นำมาขึ้นรูปกระเบื้องเซรามิก ทำการบ่มชิ้นงานเป็นระยะเวลา 28 วัน จากนั้น นำมาหาค่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ ความแข็งแรงดัด และความสอบพบว่า ขนาดหินเกล็ดสี ปริมาณหินเกล็ดสี และปริมาณน้ำ มีอิทธิพลต่อสมบัติทางกล และทางกายภาพ โดยพบว่า ที่หินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช สามารถแทรกตัวเข้าไปยังช่องว่างในโครงสร้างของชิ้นงานได้ดีกว่าหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช ส่งผลให้มีค่าความหนาแน่น ค่าความแข็งแรงดัดสูง และค่าการดูดซึมน้ำต่ำ เมื่อพิจารณาอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว พบว่า ที่อัตราส่วน 70 : 30 ให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดสูงสุด ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำสุด นอกจากนี้ ปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ให้สมบัติทางกล และทางกายภาพที่ดีกว่าการเพิ่มปริมาณน้ำเป็นร้อยละ 35 และร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

กิตติกรรมประกาศ

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

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์ อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์ อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ และคณาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดวิชาความรู้ทางวิชาการอันสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินโครงงานได้จนสำเร็จ อีกทั้งให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงงานครั้งนี้ รวมทั้งขอบพระคุณครูช่าง ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และอบรมสั่งสอนให้ผู้จัดทำโครงงานเป็นคนดีของสังคม

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกๆ คนในครอบครัวที่สนับสนุน เป็นกำลังใจ และคอยให้ความช่วยเหลือแก่ผู้จัดทำมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความรัก คำปรึกษา และความช่วยเหลือขณะที่ศึกษาและทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
ทศพล มากจุ้ย
วิรัตน์ วรรณะ
สำเริง สังข์สุทธิ์

มีนาคม 2556

สารบัญ

หน้า

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

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 หิน 11
2.3 ปูนซีเมนต์ 24
2.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก 39
2.5 ทฤษฎีที่ใช้ในการทดลอง 43
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 47

3.1 วัตถุดิบ และอุปกรณ์ 48

3.2 วิธีการขึ้นรูป 48

3.3 การทดสอบลักษณะเฉพาะ และสมบัติ 49

3.4 วิเคราะห์ และเปรียบเทียบการทดลอง 50

3.5 สรุปผลการทดลอง และจัดทำรูปเล่มรายงาน 51

บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ 52

4.1 ศึกษาอิทธิพลของขนาดของหินเกล็ดสีที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด และค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ 52

4.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด และค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ 58

4.3 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด และค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ 66

บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ 74

5.1 สรุปผลการทดลอง 74

5.2 ข้อเสนอแนะ 75

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข 75

เอกสารอ้างอิง 77

ภาคผนวก ก 80

ภาคผนวก ข 93

ภาคผนวก ค 106

ภาคผนวก ง 119

ภาคผนวก จ 132

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน....3

2.1 แร่ประกอบหิน....11

2.2 ตัวอย่างหินอัคนี....14

2.3 องค์ประกอบของหินอัคนีชนิดต่างๆ....15

2.4 ตัวอย่างหินตะกอน....21

2.5 ตัวอย่างหินแปร....23

2.6 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์....27

2.7 สมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์....28

3.1 ส่วนผสมของอัตราส่วนระหว่างซีเมนต์ขาวตราเสือ และหินเกล็ดสี....49

4.1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด และ ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ ของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาวที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และ 12 – 20 เมช....52

4.2 ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก หินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช และขนาด 12 – 20 เมช....57

4.3 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด และ ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ70 : 30 ตามลำดับ ผสมกับอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ใช้หินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช....58

4.4 ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกของอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสี ขนาด 12 – 20 เมช....63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.5 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด และค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาวที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสี ขนาด 12 – 20 เมช ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ที่ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ 66

4.6 ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว 70 : 30 ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว ร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และหินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช 72

ก.1 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช 81

ก.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช 87

ข.1 ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช 94

ข.2 ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช 100

ค.1 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช 107

ค.2 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช 113

ง.1 ผลการทดสอบค่าร้อยละความสอบของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช 120

ง.2 ผลการทดสอบค่าร้อยละความสอบของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช 126

จ.1 ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก หินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช 133

จ.2 ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก หินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช 139

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กระเบื้องบุผนัง	6
2.2	กระเบื้องปูพื้น	6
2.3	กระเบื้องแกรนิต	7
2.4	กระเบื้องแก้ว	8
2.5	กระเบื้องแบบพิเศษ	8
2.6	กระเบื้องเซรามิกที่ใช้ในการบุผนัง	9
2.7	กระเบื้องเซรามิกที่ใช้ในการปูพื้น	10
2.8	กระเบื้องเซรามิกที่ใช้ในการประดับตกแต่งทั่วๆ ไป	11
2.9	วัฏจักรหิน	13
2.10	แหล่งกำเนิดหินอัคนี	14
2.11	ผลึกแร่ในหินแกรนิต (ควอตซ์สีเทาใส, เฟลด์สปาร์สีขาว, ฮอร์นเบลนด์สีดำ)	16
2.12	หินเกล็ด	16
2.13	ภูเขาซึ่งกำลังผุพังจากสภาพลมฟ้าอากาศ	18
2.14	การกร่อนด้วยกระแสลม	18
2.15	การคัดขนาดตะกอนด้วยการพัดพาของน้ำ	19
2.16	ขั้นตอนที่ตะกอนกลับคืนเป็นหิน	20
2.17	การแปรสภาพสัมผัส	22
2.18	การแปรสภาพบริเวณกว้าง	23
2.19	ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ	31
2.20	ปูนซีเมนต์ขาวตราช้าง	32
2.21	แสดงลักษณะความพรุนของซีเมนต์ของซีเมนต์เพสต์	37
2.22	การขึ้นรูปด้วยมือ	40
2.23	การขึ้นรูปแบบจิกเกอริ่ง	41
2.24	การขึ้นรูปโดยการรีด	41
2.25	การขึ้นรูปโดยการหล่อน้ำดิน	42
3.1	แผนภาพขั้นตอนการดำเนินโครงงาน	47
3.2	ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ	48
3.3	หินเกล็ดสีบดผ่านตะแกรงร่อน ช่วง 6 - 12 เมช และช่วง 6 - 12 เมช	48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.4 หล่อชิ้นงานลงแม่พิมพ์....49

4.1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และ 12 – 20 เมช....53

4.2 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และ 12 – 20 เมช....54

4.3 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่าง หินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และ 12 – 20 เมช....55

4.4 ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และ 12 – 20 เมช....56

4.5 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช....59

4.6 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช....60

4.7 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดของอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช....61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.8 ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบของอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสี ขนาด 12 – 20 เมช.....62

4.9 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่าง หินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว ร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ.....67

4.10 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาวที่อัตราส่วนระหว่าง หินเกล็ดต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว ร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ.....68

4.11 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสม ระหว่าง หินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้ปริมาณน้ำต่อ ปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนักตามลำดับ.....69

4.12 ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ ที่ปริมาณน้ำในอัตราส่วนต่างๆ ของกระเบื้องบุผนังปูน ซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วนผสม 70 : 30 ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว ร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ.....71

สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ

°C	=	องศาเซลเซียส
mm	=	มิลลิเมตร
C_3S	=	ไตรแคลเซียมซิลิเกต
C_2S	=	ไดแคลเซียมซิลิเกต
C_3A	=	ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต
C_4AF	=	เตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์
SiO_2	=	ซิลิกอนไดออกไซด์
SO_3	=	ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์
J/g	=	จูลต่อกรัม
ASTM	=	American Standards for Testing of Materials
m^2	=	ตารางเมตร
cm	=	เซนติเมตร
µm	=	ไมโครเมตร
g/cm^3	=	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
g	=	กรัม
cm^3	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
Pa	=	ปาสคาล
N	=	นิวตัน
m	=	เมตร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงงาน

อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจไทย เป็นอุตสาหกรรมที่ได้รับการส่งเสริมทั้งจากภาครัฐ และเอกชน เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่ผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น ถ้วย จาน ชาม สุขภัณฑ์ แก้ว กระจก นอกจากนี้กระเบื้องนับเป็นหนึ่งอุตสาหกรรมที่เสริมสร้างเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ในกลุ่มกระเบื้องเป็นที่ต้องการในการนำไปใช้ตกแต่งอาคารบ้านเรือน อีกทั้งในปัจจุบัน จะเห็นได้ว่าประชากรมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น และมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นไปอีกในแต่ละปี (คณะทำงานคาดประมาณประชากรของประเทศไทย, 2542 – 2559) ส่งผลให้ความต้องการทางด้านที่อยู่อาศัยมีเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มกระเบื้องจึงเข้ามามีบทบาท เพื่อใช้ในการตกแต่งอาคารบ้านเรือนมากขึ้น ตามลำดับ นับได้ว่าผลิตภัณฑ์ในกลุ่มกระเบื้องเป็นอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่ควรได้รับการวิจัย และพัฒนา เพื่อลดต้นทุนการผลิต และปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากกระบวนการผลิตกระเบื้องเซรามิกนั้น มีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง ทั้งในส่วนของวัตถุดิบ กระบวนการขึ้นรูป และกระบวนการเผา ซึ่งใช้อุณหภูมิที่สูงถึง 1,000 – 1,300 องศาเซลเซียส (°C) (มาโนช, 2554)

เนื่องจากปัญหาทางด้านธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม ทำให้ทั้งโลกรวมทั้งประเทศไทยตื่นตัว และให้ความสำคัญในการอนุรักษ์พลังงาน และสิ่งแวดล้อม ดังจะเห็นได้ว่ามีหลากหลายโครงการ และงานวิจัยที่มุ่งเน้นการลดการใช้พลังงาน มุ่งเน้นการนำขยะกลับมาสร้างประโยชน์ รวมทั้งการพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ เป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า โดยนำสิ่งที่มีอยู่มาเพิ่มมูลค่าให้สูงขึ้น และเป็นประโยชน์สูงสุด เช่น นำหินเกล็ดสีที่มีราคาถูกมาเป็นส่วนประกอบในการผลิตกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ลดต้นทุนค่าวัตถุดิบ และพลังงานที่ใช้ในการเผา ซึ่งการนำหินเกล็ดสีมาใช้ในการผลิตกระเบื้องนั้น นอกจากจะเป็นการเพิ่มสีสัน และเพิ่มมูลค่าให้กับกระเบื้องแล้ว ยังสามารถนำไปสู่หนทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป

งานวิจัยนี้จึงได้นำหินเกล็ดสีมาบดให้ได้ขนาดประมาณ 3.35 – 1.68 มิลลิเมตร (mm.) (6 – 12 Mesh) และ 1.68 – 0.84 มิลลิเมตร (12 – 20 Mesh) นำมาผสมกับปูนซีเมนต์ขาว เพื่อใช้ในการผลิตกระเบื้องบุผนัง เนื่องจากกระเบื้องบุผนังในปัจจุบันต้องผ่านกระบวนการเผา แต่สำหรับกระเบื้องที่ทำการผลิตนี้ มีส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ขาว และหินเกล็ดสี ไม่สามารถนำไปผ่านกระบวนการเผาได้ ส่งผลให้ลดต้นทุนในด้านเชื้อเพลิง และต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบ อีกทั้งหินเกล็ดสีสามารถเพิ่มความสวยงามให้กับผลิตภัณฑ์กระเบื้องได้อีกด้วย จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ และเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว เพื่อนำมาผลิตเป็นกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่าความแข็งแรงดัด และค่าความสอบ

1.2.2 ศึกษาขนาดของหินเกล็ดสี ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าความแข็งแรงดัด ของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว

1.2.3 ศึกษาอัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่าความแข็งแรงดัด และค่าความสอบ

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 ได้ผลิตภัณฑ์กระเบื้องบุผนัง ที่ผลิตจากหินเกล็ดสีผสมกับปูนซีเมนต์ขาว

1.3.2 ได้สมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

ปริมาณน้ำ ขนาดของหินเกล็ดสี อัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ ของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 หินเกล็ดสี

1.5.2 ใช้ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ

1.5.3 ใช้หินเกล็ดสีบดขนาด 3.35 – 1.68 มิลลิเมตร (6 – 12 Mesh) และหินเกล็ดสีบดขนาด 1.68 – 0.84 มิลลิเมตร (12 – 20 Mesh) มาผสมกับปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ ในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ

1.5.4 บ่มชิ้นงานเป็นระยะเวลา 28 วัน

1.5.5 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำ ต่อส่วนผสมของปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ และหินเกล็ดสี โดยใช้น้ำร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

1.5.6 ศึกษาขนาดของหินเกล็ดสี โดยใช้หินเกล็ดสีบดขนาด 3.35 – 1.68 มิลลิเมตร (6 – 12 Mesh) และหินเกล็ดสีบดขนาด 1.68 – 0.84 มิลลิเมตร (12 – 20 Mesh) เพื่อผลิตกระเบื้องบุผนัง

1.5.7 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม ระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ เพื่อนำมาผลิตกระเบื้องบุผนัง

1.5.8 ศึกษาสมบัติทางกล และสมบัติทางกายภาพของกระเบื้องบุผนัง ซึ่งได้แก่ ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ ความแข็งแรงดัด และการทดสอบความสอบ

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

กรกฎาคม 2555 – กุมภาพันธ์ 2556

1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงาน	พ.ศ. 2555						พ.ศ. 2556	
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1.8.1 จัดทำข้อเสนอโครงงาน	←	→						
1.8.2 ศึกษาข้อมูล	←	→	→					
1.8.3 วางแผนลำดับขั้นตอนการดำเนินงาน		←	→					
1.8.4 ช่วงเตรียมวัตถุดิบ 1.8.4.1 นำหินเกล็ดสีมาบดให้ละเอียด และคัดขนาด 1.8.4.2 ปูนซีเมนต์ขาว (White Cements) ตราเสือ 1.8.5 เตรียมแม่พิมพ์และทำชิ้นงานทดสอบโดยวิธีการหล่อ จากนั้นจึงบ่มชิ้นงานที่ได้ในอากาศเป็นเวลา 28 วัน				←	→			

ตารางที่ 1.1 (ต่อ) ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงาน	พ.ศ. 2555						พ.ศ. 2556	
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1.8.6 ทดสอบชิ้นงานโดยการทดสอบความหนาแน่น การทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำการทดสอบความแข็งแรงดัด และการทดสอบความสอบ						←	→	
1.8.7 วิเคราะห์ สรุปผลการทดลอง และจัดทำรายงาน							←	→

บทที่ 2
หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 กระเบื้อง

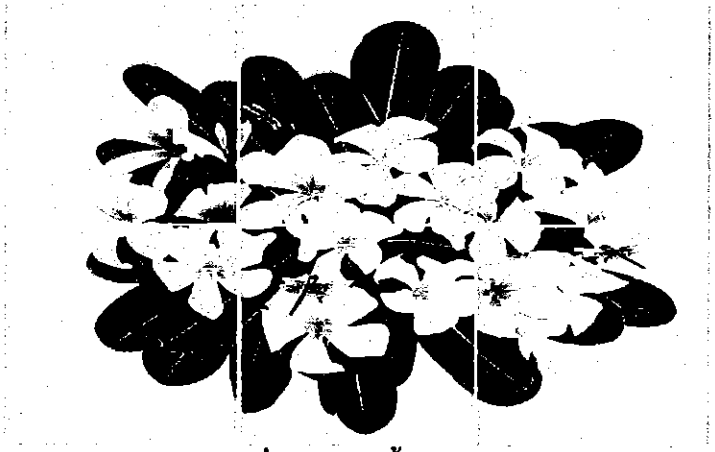
ในปัจจุบันกระเบื้องเซรามิก ถูกนำมาใช้ในการตกแต่งอาคารบ้านเรือนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากกระเบื้องเซรามิกที่มีการผลิตออกมาในปัจจุบันมีให้เลือกหลากหลายรูปแบบ หลายรูปทรง หลายขนาด และหลากหลายสีสันตามแต่ความต้องการของผู้บริโภค สามารถหาซื้อได้ง่าย ราคาไม่แพง และดูแลรักษาได้ง่าย มีความแข็งแรง คงทน เมื่อนำกระเบื้องมาใช้ในการตกแต่งอาคารบ้านเรือนแล้ว ทำให้เกิดความสวยงามเพิ่มมากขึ้น (นายช่างนิด, 2553)

2.1.1 ชนิดของกระเบื้องเซรามิกที่ใช้ในการตกแต่งอาคารบ้านเรือน

สามารถแบ่งตามสมบัติของกระเบื้องได้ 5 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.1.1.1 กระเบื้องบุผนัง คือ กระเบื้องที่ใช้ในการบุผนัง เหมาะสำหรับใช้บุผนังห้องน้ำ ห้องครัว ในปัจจุบันกระเบื้องมีการพัฒนาลวดลายสีสันให้มีความสวยงามมากยิ่งขึ้น สามารถนำไปใช้งานได้ทุกที่ ลักษณะของกระเบื้องบุผนังมีน้ำหนักเบา ความพรุนตัวสูง มีความแข็งแรงปานกลางจนถึงต่ำ เนื้อดินที่ใช้ทำกระเบื้องบุผนังมักจะเป็นเนื้อเอิร์ธเธินแวร์ (Earthen Ware) มีร้อยละการดูดซึมน้ำที่สูง (ร้อยละ 15 – 22) ส่งผลให้มีความแข็งแรงปานกลางจนถึงต่ำ ผิวของกระเบื้องบุผนังส่วนใหญ่มีลักษณะมันวาว ดังนั้น ไม่ควรนำกระเบื้องบุผนังไปใช้งานในสถานที่ที่รับน้ำหนักมาก หรือสัมผัสกับความชื้นอยู่ตลอดเวลา และไม่ควรนำกระเบื้องบุผนังไปใช้งานในพื้นที่ที่มีการขูดขีดขัดสีกับผิวของกระเบื้องอยู่ตลอดเวลา (สมชัย, 2554)

สำหรับกระเบื้องบุผนัง มีการเติมดินขาวลงไปในเนื้อดิน เพื่อทำให้อะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium Oxide : Al_2O_3) และซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon Dioxide : SiO_2) นั้น ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide : CaO) เพื่อทำให้เกิดโครงสร้างผลึกของวอลลาสโตไนท์ ($CaSiO_3$) จะช่วยสร้างความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์หลังการเผา ปัจจุบันการผลิตกระเบื้องบุผนังส่วนใหญ่จะใช้เนื้อดินที่มีสีขาวอมชมพู ซึ่งแตกต่างกับการผลิตกระเบื้องบุผนังในยุคแรกๆ สีของกระเบื้องจะมีลักษณะสีแดงเข้ม ดังนั้น ดินขาวจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อกระเบื้องบุผนัง และสิ่งสำคัญของกระเบื้องบุผนัง คือ ร้อยละการหดตัวหลังเผาที่มีการหดตัวต่ำ ดังนั้นการเติมดินขาวลงไปจะช่วยลดการหดตัวของเนื้อดินได้ดีกว่าการใช้ดินดำ หรือดินแดง (คชินท์, 2551)



รูปที่ 2.1 กระเบื้องบุผนัง

ที่มา : www.scgexperience.co.th

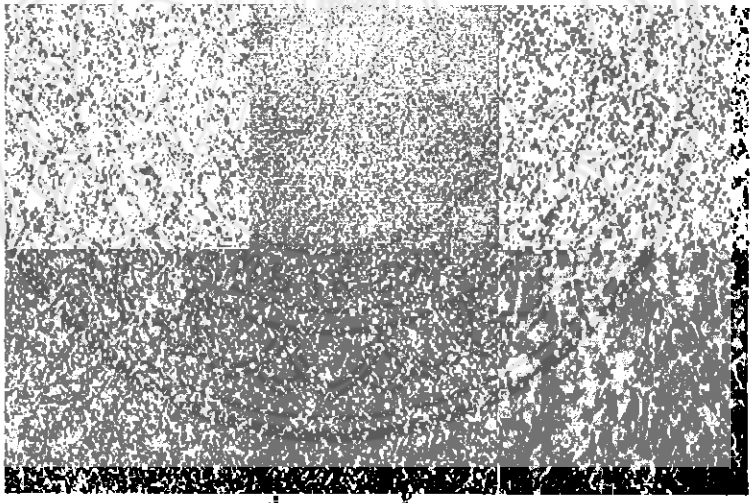
2.1.1.2 **กระเบื้องปูพื้น คือ กระเบื้องที่ใช้ในการปูพื้นเพื่อให้เกิดความสวยงาม มีความคงทน ดูแลรักษาง่าย สามารถใช้แทนวัสดุอื่นๆ ที่มีราคาสูงกว่า เช่น หินแกรนิต (Granite) หินอ่อน พื้นไม้ เนื้อกระเบื้องปูพื้น เป็นเนื้อสโตนแวร์ (Stone Ware) ซึ่งมีร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำถึงปานกลาง (ร้อยละ 3 – 6) มีความแข็งแรงปานกลาง ผิวของกระเบื้องมีทั้งผิวที่มันวาว และผิวสาก ในเนื้อดินของกระเบื้องปูพื้น มีการใช้ดินแดงเป็นส่วนประกอบหลัก เนื่องจากมีความเหนียวที่ดี และไม่มีปัญหาระหว่างการขึ้นรูป แต่มีการเติมดินขาวลงไปบางส่วน เพื่อลดร้อยละการหดตัวหลังการเผา เพื่อช่วยลดปัญหาการแตกร้าวหลังอบแห้ง เนื่องจากดินขาวช่วยลดการขยายตัวของเนื้อดินหลังขึ้นรูปที่แรงดันสูง และยังช่วยลดปัญหาการโก่งตัวของกระเบื้อง นอกจากนี้ การเติมดินขาวลงไปบางส่วนในเนื้อดินแดงของกระเบื้องปูพื้น สามารถลดร้อยละการหดตัวหลังเผา ซึ่งเป็นการควบคุมขนาดของชิ้นงานหลังทำการเผาได้ดี** (สมชัย, 2554)

รูปที่ 2.2 กระเบื้องปูพื้น

ที่มา : www.itdowkhoo.com

2.1.1.3 กระเบื้องแกรนิต เนื้อพอร์ซเลน (Porcelain) เป็นกระเบื้องที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เนื่องจากกระเบื้องแกรนิต เนื้อพอร์ซเลน มีความแข็งแกร่ง สามารถรับน้ำหนัก และทนแรงเสียดสีได้ดี เพราะผิวหน้าของกระเบื้องแกรนิตมีส่วนผสมของหินธรรมชาติ โดยนำมาเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,300 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้เนื้อของกระเบื้องมีความแข็งแกร่ง ร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องแกรนิต เนื้อพอร์ซเลน ต่ำกว่า 0.1 เหมาะสำหรับการปูพื้น และผนัง โดยใช้ได้ทั้งภายใน และภายนอกอาคาร หรือบ้านเรือน (สมชัย, 2554)

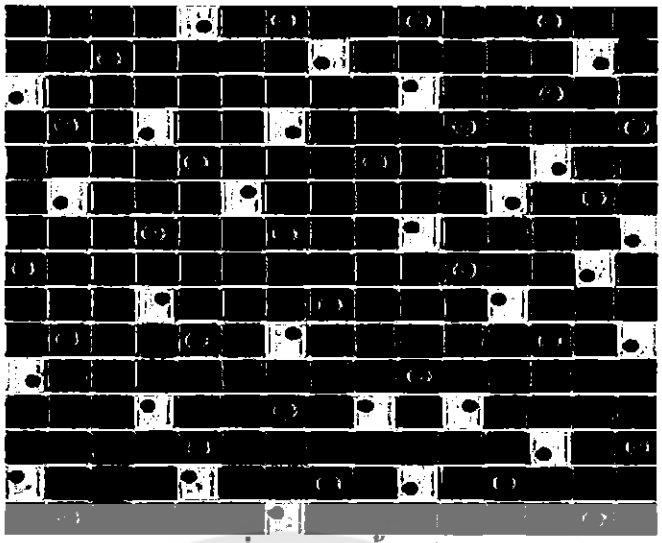
สำหรับกระเบื้องแกรนิต ความขาวของเนื้อดินเป็นสิ่งสำคัญ เพราะทำให้ลดปริมาณการใช้สีเซรามิกในเนื้อดิน (Body Stain) และสีของกระเบื้องหลังเผามีความสวยงามมากขึ้น ดังนั้น การเลือกใช้ดินขาวสำหรับการทำกระเบื้องแกรนิต ต้องเลือกแหล่งของดินขาวที่มีปริมาณเฟอร์-ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) และไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ในปริมาณที่ต่ำ และควรมีปริมาณของแอล-คาไลออกไซด์ (Alkali Oxide) เช่น โซเดียมออกไซด์ (Na_2O), โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) อยู่เพียงเล็กน้อย เพื่อช่วยในการหลอมตัว เนื่องจากกระเบื้องชนิดนี้ต้องการร้อยละการดูดซึมน้ำที่ต่ำมาก และค่าความแข็งแรงหลังการเผาที่สูง ซึ่งโดยปกติจะมีการใช้ปริมาณเฟลด์สปาร์ (Feldspar) ที่สูง แต่ถ้าในเนื้อดินมีตัวช่วยหลอมผสมอยู่ สามารถช่วยทำให้กระเบื้องมีสมบัติดีขึ้น (คชินท์, 2551)



รูปที่ 2.3 กระเบื้องแกรนิต

ที่มา : www.designlikeus.com

2.1.1.4 กระเบื้องแก้ว (Glass Tiles) คือ กระเบื้องที่ใช้วัสดุหลักในการผลิตเป็นแก้วมาผสมกับสี หรือใส่สารเคมีทำให้เกิดสีสันตามความต้องการ กระเบื้องประเภทนี้ส่วนใหญ่เป็นกระเบื้องแผ่นเล็ก เช่น คิ้ว กรุยเชิง (ลวดลายที่ใช้ตกแต่งขอบในงานศิลปะ) หรือแผงโมเสก (Mosaic) กระเบื้องแก้วมีลวดลายสีสันที่หลากหลาย สามารถใช้ได้ทั้งภายใน และภายนอกอาคารบ้านเรือน หรือสระว่ายน้ำ ส่วนใหญ่นิยมนำมาทำผนังมากกว่านำมาปูพื้น เพราะความสามารถในการทนการขูดขีดที่ต่ำ (สมชัย, 2554)



รูปที่ 2.4 กระเบื้องแก้ว

ที่มา : www.buildingmart.org

2.1.1.5 **กระเบื้องแบบพิเศษ** (Special Tiles) **เป็นกระเบื้องที่ผลิตออกมาสำหรับการใช้งานเฉพาะทาง หรือเป็นกระเบื้องต้นแบบ บางครั้งผสมวัสดุที่มีความพิเศษลงไป เช่น แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เศษไม้ ทำให้มีลวดลายที่สวยงามหลากหลาย กระเบื้องแบบพิเศษส่วนใหญ่เป็นกระเบื้องที่ใช้ในอุตสาหกรรม การใช้งานจะใช้งานได้กับบางพื้นที่เท่านั้น** (สมชัย, 2554)

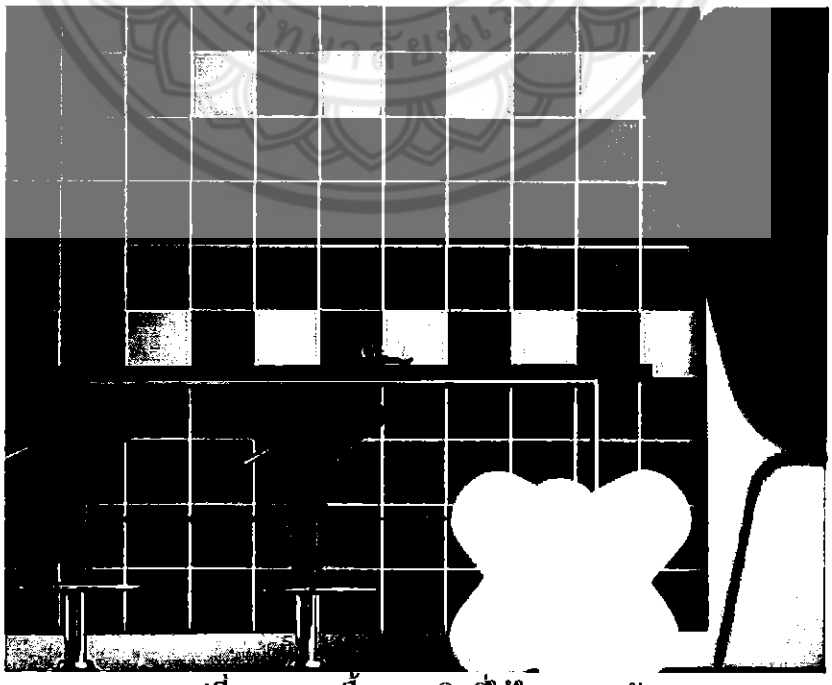
รูปที่ 2.5 กระเบื้องแบบพิเศษ

ที่มา : www.treetouch.com

2.1.2 แนวทางในการเลือกใช้กระเบื้องเซรามิก

ในปัจจุบันความต้องการของผู้บริโภคต่อกลุ่มผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีมากขึ้นทุกวัน และที่สำคัญผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันได้มีการแข่งขันกันมากขึ้น ทั้งในเรื่องของรูปทรง สีสัน และความสวยงามที่มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคอย่างแท้จริง ผลิตภัณฑ์กระเบื้องเซรามิก ถือได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจากผลิตภัณฑ์กระเบื้องเซรามิก มีลวดลาย สีสันที่สวยงาม และหลากหลาย ทำให้ผู้บริโภคสามารถเลือกสรรได้ตามต้องการ ต่อการนำไปใช้งาน ดังนั้น ผู้บริโภคควรมีความรู้ ความเข้าใจต่อการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์กระเบื้องเซรามิก เพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน เป็นการลดค่าใช้จ่ายในส่วนที่ไม่จำเป็น และเป็นการยืดอายุการใช้งานกระเบื้องเซรามิกให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น แนวทางในการเลือกใช้กระเบื้องเซรามิก แบ่งตามลักษณะการใช้งานออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

2.1.2.1 กระเบื้องเซรามิกที่ใช้ในการบุผนัง มีลักษณะที่บาง และเบา **ผิวหน้ามีลักษณะที่มันวาว เหมาะกับการนำมาใช้บุผนัง เพื่อเพิ่มความสวยงาม และสามารถดูแลรักษาได้ง่าย ขนาดของกระเบื้องเซรามิกที่ใช้บุผนังมีขนาดที่หลากหลาย เช่น** 8 x 8 **ตารางนิ้ว** (in^2), 8 x 10 **ตารางนิ้ว,** 8 x 12 **ตารางนิ้ว ส่วนใหญ่นิยมใช้กระเบื้องบุผนังขนาด** 8 x 8 **ตารางนิ้ว ส่วนขนาด** 8 x 10 **ตารางนิ้ว และ** 8 x 12 **ตารางนิ้ว เหมาะกับห้องที่มีขนาดเล็ก ซึ่งช่วยให้ห้องดูกว้างขึ้น ตัวอย่างกระเบื้องที่ใช้ในการบุผนัง เช่น กระเบื้องบุผนัง เนื้อเอิร์ธเธินแวร์ มีร้อยละการดูดซึมน้ำที่สูง (ร้อยละ** 15 – 22) **ส่งผลให้มีความแข็งแรงปานกลางจนถึงต่ำ เหมาะสำหรับการนำไปใช้บุผนังทั้งภายใน และภายนอกอาคารบ้านเรือน** (คชินท์, 2551)



รูปที่ 2.6 กระเบื้องเซรามิกที่ใช้ในการบุผนัง

ที่มา : www.duragres.blogspot.com

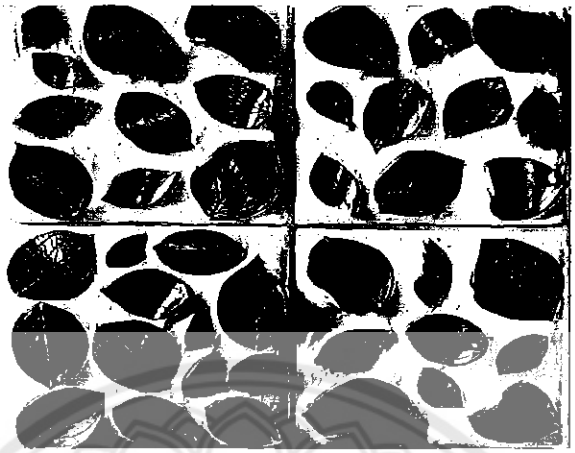
2.1.2.2 **กระเบื้องเซรามิกที่ใช้ในการปูพื้น มีลักษณะที่หนากว่ากระเบื้องบุผนัง ผิวหน้ามีลักษณะที่มันวาว และสาก สามารถนำไปใช้งานได้ทั้งปูพื้น และบุผนัง แต่ส่วนใหญ่นิยมนำไปใช้ในการปูพื้น ขนาดกระเบื้องเซรามิกที่ใช้ในการปูพื้นมีขนาดที่หลากหลาย สำหรับพื้นที่ที่ไม่เล็กมากจะใช้ขนาดกระเบื้องปูพื้น** 12 x 12 **ตารางนิ้ว ส่วนพื้นที่ที่เล็กจะใช้กระเบื้องปูพื้นขนาด** 8 x 8 **ตารางนิ้ว ส่วนห้องน้ำ หรือห้องครัวควรเลือกใช้กระเบื้องที่มีลักษณะสาก เพื่อป้องกันการลื่นไถล ตัวอย่างกระเบื้องที่ใช้ในการปูพื้น เช่น กระเบื้องปูพื้น เนื้อสโตนแวร์ มีร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำถึงปานกลาง (ร้อยละ** 3 – 6) **มีความแข็งแรงปานกลาง เหมาะกับการปูพื้น และกระเบื้องแกรนิต เนื้อพอร์ซเลน กระเบื้องชนิดนี้มีราคาที่สูงกว่ากระเบื้องปูพื้น เนื้อสโตนแวร์ เพราะผิวหน้าของกระเบื้องแกรนิตมีส่วนผสมของหินธรรมชาติ สามารถรับน้ำหนัก และทนแรงเสียดสีได้ดี ร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำ จึงเหมาะต่อการนำไปปูพื้น** (คชินท์, 2551)

รูปที่ 2.7 กระเบื้องเซรามิกที่ใช้ในการปูพื้น

ที่มา : www.bloggang.com

2.1.2.3 **กระเบื้องเซรามิกที่ใช้ในการประดับตกแต่งทั่วไป เป็นกระเบื้องที่มีการตกแต่งสีสัน และลวดลายที่หลากหลาย เหมาะกับการนำไปประดับตกแต่งตามสถานที่ต่างๆ เพื่อให้เกิดความสวยงาม การใช้งานใช้ได้ทั้งปูพื้น และบุผนัง แต่ส่วนใหญ่นิยมนำไปใช้บุผนัง ตัวอย่างกระเบื้องเซรามิกที่ใช้ในการตกแต่งทั่วไป เช่น กระเบื้องแก้ว เป็นกระเบื้องที่ใช้วัสดุหลักในการผลิตเป็นแก้วผสมกับสีหรือใส่สารเคมีทำให้เกิดสีสันตามความต้องการ และกระเบื้องแบบพิเศษ เป็นกระเบื้องที่มีลวดลายต่างจากกระเบื้องชนิดอื่นๆ เพราะลวดลายที่อยู่บนกระเบื้องชนิดนี้เกิดจากการนำวัสดุต่างๆ มาผสม**

ลงไป เพื่อให้เกิดลวดลายที่สวยงามมากขึ้น เหมาะกับการนำไปประดับตกแต่งตามสถานที่ต่างๆ (คชินท์, 2551)



รูปที่ 2.8 กระเบื้องเซรามิกที่ใช้ในการประดับตกแต่งทั่วๆ ไป

ที่มา : www.homedecorthai.com

2.2 หิน

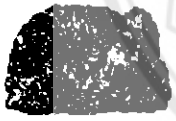
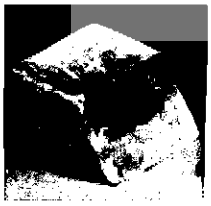
หิน คือ มวลของแข็งที่ประกอบไปด้วยแร่ชนิดเดียวกัน หรือหลายชนิดรวมตัวกันอยู่ตามธรรมชาติ เนื่องจากองค์ประกอบของเปลือกโลกส่วนใหญ่เป็นสารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ ดังนั้นเปลือกโลกส่วนใหญ่เป็นแร่ตระกูลซิลิเกต (Silicate) นอกจากนั้น ยังมีแร่ตระกูลคาร์บอเนต (Carbonate) เนื่องจากบรรยากาศโลกในอดีตส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide : CO_2) น้ำฝนได้ละลายคาร์บอนไดออกไซด์บนบรรยากาศลงมาสะสมบนพื้นดิน และมหาสมุทร สิ่งมีชีวิตอาศัยคาร์บอน (Carbon) สร้างธาตุอาหาร และร่างกาย แพลงตอนบางชนิดอาศัยซิลิกา (Silica) สร้างเปลือก เมื่อตายลงทับถมกันเป็นตะกอน หินส่วนใหญ่บนเปลือกโลกประกอบด้วยแร่ต่างๆ (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลก และดาราศาสตร์, 2549) ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แร่ประกอบหิน

ตระกูลซิลิเกต	
	เฟลด์สปาร์ (Feldspar) เป็นกลุ่มแร่ที่มีอยู่มากกว่าร้อยละ 50 ของเปลือกโลก ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของหินหลายชนิดในเปลือกโลก เฟลด์สปาร์มีองค์ประกอบหลักเป็นอะลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminum Silicate) รูปผลึกหลายชนิด เมื่อเฟลด์สปาร์ผุพังจะกลายเป็นอนุภาคดินเหนียว (Clay Minerals)

ที่มา : www.portal.edu.chula.ac.th

ตารางที่ 2.1 **(ต่อ) แร่ประกอบหิน**

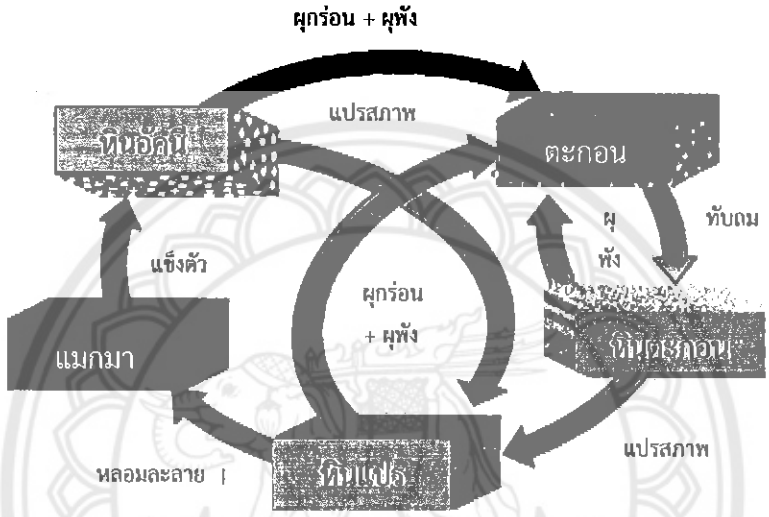
ตระกูลซิลิเกต	
	ควอตซ์ (Quartz) **เป็นซิลิกอนไดออกไซด์ที่บริสุทธิ์ ซึ่งมีรูปผลึกเป็นทรงหกเหลี่ยมยอดแหลม มีอยู่ทั่วไปในเปลือกทวีป แต่หาได้ยากในเปลือกมหาสมุทร และแมนเทิล** (Mantle) **เมื่อควอตซ์ผุพัง จะกลายเป็นอนุภาคทราย** (Sand) **ควอตซ์มีความแข็งแรงมาก สามารถขูดแก้วเป็นรอยได้**
	ไมก้า (Mica) **เป็นกลุ่มแร่ ซึ่งมีรูปผลึกเป็นแผ่นบาง มีองค์ประกอบเป็นอะลูมิเนียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์** (Aluminium Silicate Hydroxide) **มีอยู่ทั่วไปในเปลือกทวีป ไมก้ามีโครงสร้างเช่นเดียวกับแร่ดินเหนียว ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของดิน**
	แอมฟิโบล (Amphibole Group) **ลักษณะคล้ายเฟลด์สปาร์ แต่มีสีเข้ม มีองค์ประกอบเป็นอะลูมิเนียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ ที่มีแมกนีเซียม** (Magnesium : Mg) **เหล็ก** (Iron : Fe) **หรือแคลเซียม** (Calcium : Ca) **เจือปนอยู่ มีอยู่ในเปลือกทวีป ตัวอย่างของกลุ่มแอมฟิโบลที่พบเห็นทั่วไป คือ แร่ฮอร์นเบลนด์** (Hornblende) **ซึ่งอยู่ในหินแกรนิต**
	ไพร็อกซีน (Pyroxene Group) **มีสีเข้ม มีองค์ประกอบของแมกนีเซียมและเหล็กซิลิเกตอยู่มาก มีลักษณะคล้ายแอมฟิโบล มีอยู่ในเปลือกมหาสมุทร**
	**โอลิวีน** (Olivine) **มีองค์ประกอบหลักเป็นแมกนีเซียม และเหล็กซิลิเกต โอลิวีนมีอยู่น้อยมากบนเปลือกโลก กำเนิดมาจากแมนเทิลใต้เปลือกโลก**
ตระกูลคาร์บอเนต	
	**แคลไซต์** (Calcite) **เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต** (Calcium Carbonate : $CaCO_3$) **ที่เป็นส่วนประกอบหลักของหินปูน** (Limestone) **และหินอ่อนโดโลไมต์** (Dolomite) **ซึ่งจัดเป็นแร่คาร์บอเนตอีกประเภทหนึ่ง ที่มีธาตุแมงกานีส** (Manganese : Mn) **ผสมอยู่ แร่คาร์บอเนตได้ทำปฏิกิริยากับกรดเป็นฟองฟู่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา**

ที่มา : www.portal.edu.chula.ac.th

2.2.1 **วัฏจักรหิน** (Rock Cycle)

นักธรณีวิทยาแบ่งหินออกเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะการเกิด คือ หินอัคนี หินตะกอน และหินแปร เมื่อหินหนืดร้อนภายในโลก (Magma) **และหินหนืดร้อนบนพื้นผิวโลก** (Lava) **เย็นตัวลงกลายเป็น "หินอัคนี" สัมผัสอากาศ น้ำ และแสงแดด ทำให้หินผุพังสึกกร่อนเป็นตะกอน ทับถมกัน**

เป็นเวลานานหลายล้านปี แรงดัน และปฏิกิริยาเคมีทำให้เกิดการรวมตัวเป็น "หินตะกอน" หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "หินชั้น" การเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก และความร้อนจากแมนเทิลข้างล่าง ส่งผลให้เกิดการแปรสภาพเป็น "หินแปร" กระบวนการเหล่านี้จะเกิดขึ้นเป็นวงรอบเรียกว่า "วัฏจักรหิน" กระบวนการนี้ไม่จำเป็นต้องเรียงลำดับ หินอัคนี หินชั้น และหินแปร การเปลี่ยนแปลงประเภทหินอาจเกิดขึ้นย้อนกลับไปมาได้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อม (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลก และดาราศาสตร์, 2549) ตามที่แสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วัฏจักรหิน

ที่มา : www.portal.edu.chula.ac.th

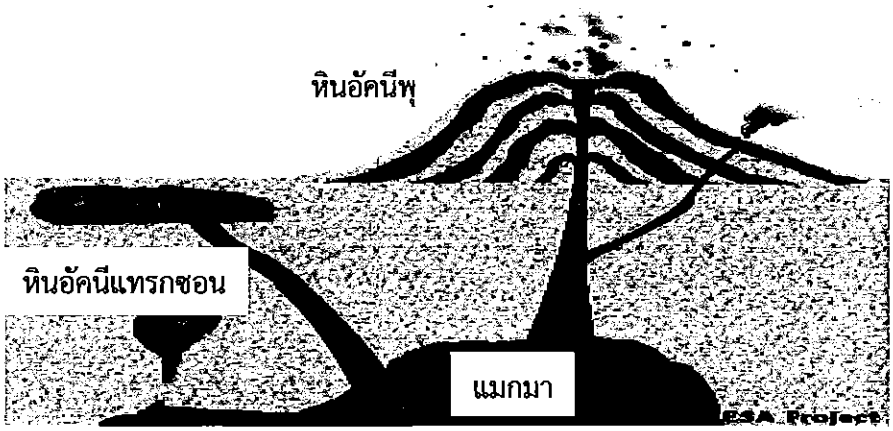
2.2.2 ประเภทหิน

2.2.2.1 **หินอัคนี** (Igneous Rocks)

หินอัคนี เป็นหินที่เกิดจากการแข็งตัวของหินหนืดจากชั้นแมนเทิลที่โผล่ขึ้นมา สามารถแบ่งหินอัคนีตามแหล่งที่มาออกเป็น 2 ประเภท คือ

ก. **หินอัคนีแทรกซอน** (Intrusive Igneous Rocks)

เป็นหินที่เกิดจากหินหนืดที่เย็นตัวลงภายในเปลือกโลกอย่างช้าๆ ทำให้ผลึกแร่มีขนาดใหญ่ และเนื้อหยาบ เช่น หินแกรนิต หินไดออไรต์ (Diorite) และหินแกบโบร (Gabbro)



รูปที่ 2.10 แหล่งกำเนิดหินอัคนี

ที่มา : www.portal.edu.chula.ac.th

ข. **หินอัคนีพุ** (Extrusive Ingneous Rocks)

บางครั้งเรียกว่า หินภูเขาไฟ เป็นหินหนืดที่เกิดจากลาวา**บนพื้นผิวโลกเย็นตัวอย่างรวดเร็ว** ทำให้ผลึกนั้นมีขนาดเล็ก และมีเนื้อละเอียด เช่น หินบะซอลต์ (Basalt) **หินไดออไรต์และหินแอนดีไซต์** (Andesite) นอกจากนั้น นักธรณีวิทยายังจำแนกหินอัคนี โดย**ใช้องค์ประกอบของแร่เป็นหิน**ชนิดกรด หินชนิดปลางกลาง หินชนิดด่าง และหินอัลตราเมฟิก (Ultramafic) **ซึ่งใช้ปริมาณของซิลิกา** เป็นเกณฑ์จากมากไปหาน้อยตามลำดับ (รายละเอียดในตารางที่ 2.2) **ซึ่งเห็นได้ว่า หินที่มีองค์ประก**อบเป็นควอตซ์ และเฟลด์สปาร์มากนั้น จะมีสีอ่อน ส่วนหินที่มีองค์ประก**อบเป็นเหล็ก และแมกนีเซีย**มมากจะมีสีเข้ม

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างหินอัคนี

ประเภทหินอัคนี	หินอัคนี			
อัคนีแทรกซอน เย็นตัวช้าผลึกใหญ่	**หินแกรนิต** (Granite)	**หินไดออไรต์** (Diorite)	**หินแกรโบร** (Gabbro)	**หินเพริโดไทต์** (Peridotite)
อัคนีพุ เย็นตัวเร็วผลึกเล็ก	**หินไรโอไลต์** (Rhyolite)	**หินแอนดีไซต์** (Andesite)	**หินบะซอลต์** (Basalt)	**หินออบซิเดียน** (Obsedian)

ที่มา : www.portal.edu.chula.ac.th

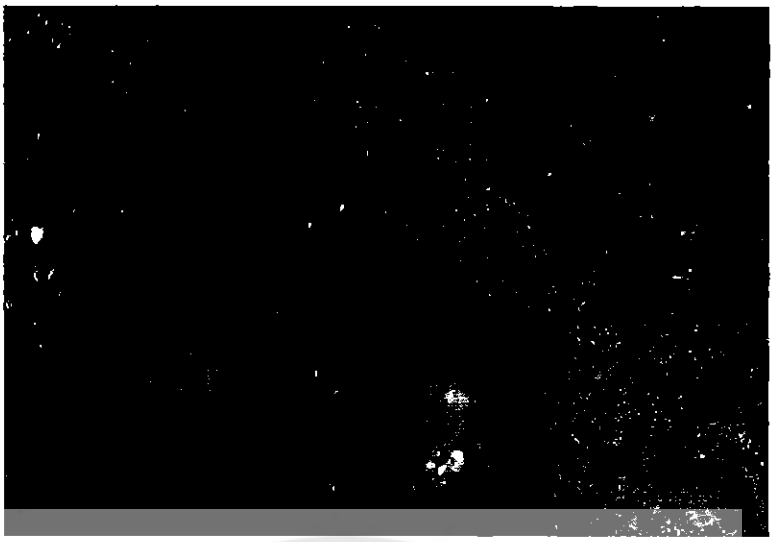
ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของหินอัคนีชนิดต่างๆ

ชนิดของหิน	องค์ประกอบ	แร่หลัก	แร่รอง	สีที่พบเห็นโดยทั่วไป
หินชนิดกรด (Felsic)	ซิลิการ้อยละ 72 อะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 14 เหล็กออกไซด์ร้อยละ 3 แมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 1 อื่นๆ ร้อยละ 10	ควอตซ์ เฟลด์สปาร์	ไมก้า แอมฟิโบล	สีอ่อน
หินชนิดปานกลาง (Intermediate)	ซิลิการ้อยละ 59 อะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 17 เหล็กออกไซด์ร้อยละ 8 แมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 3 อื่นๆ ร้อยละ 13	เฟลด์สปาร์ แอมฟิโบล	ไพร็อกซีน	เทา หรือเขียว
หินชนิดด่าง (Mafic)	ซิลิการ้อยละ 50 อะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 16 เหล็กออกไซด์ร้อยละ 11 แมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 7 อื่นๆ ร้อยละ 16	เฟลด์สปาร์ ไพร็อกซีน	โอลิวีน	เทาแก่
หินอัลตราเมฟิก (Ultramafic)	ซิลิการ้อยละ 45 อะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 4 เหล็กออกไซด์ร้อยละ 12 แมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 31 อื่นๆ ร้อยละ 8	ไพร็อกซีน โอลิวีน	เฟลด์สปาร์	เขียวเข้มหรือดำ

ที่มา : www.portal.edu.chula.ac.th

หินอัคนีที่สำคัญ ได้แก่

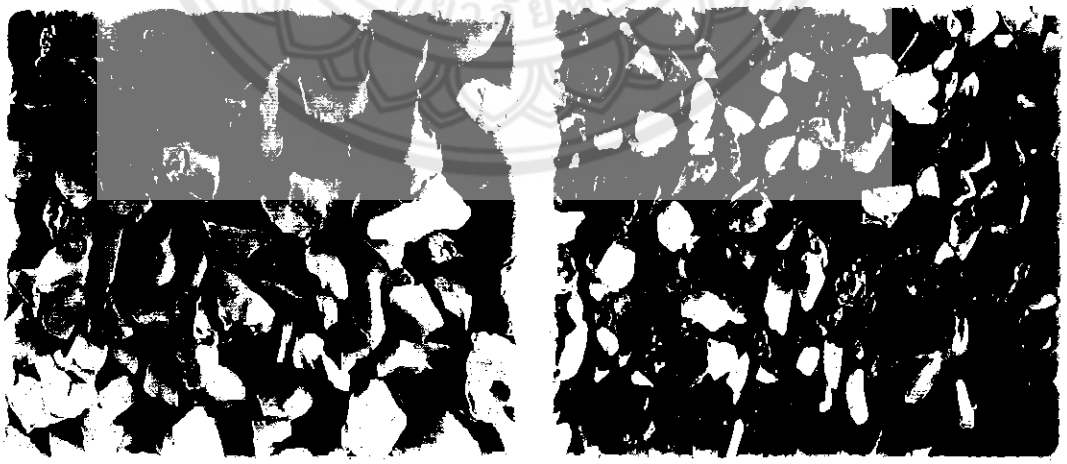
ก. หินแกรนิต เป็นหินอัคนีแทรกซอนที่เย็นตัวลงภายในเปลือกโลกอย่างช้าๆ มีเนื้อหยาบ ซึ่งประกอบด้วยผลึกขนาดใหญ่ของแร่ควอตซ์สีเทาใส แร่เฟลด์สปาร์สีขาวขุ่น และแร่ฮอร์นเบลนด์ หินแกรนิตแข็งแรงมาก ชาวบ้านใช้ทำครก เช่น ครกอ่างศิลา ภูเขาหินแกรนิตมักเตี้ยและมียอดมน เนื่องจากเปลือกโลก ซึ่งเคยอยู่ชั้นบนสึกกร่อนผุพัง เผยให้เห็นแหล่งหินแกรนิต ซึ่งอยู่เบื้องล่าง ตัวอย่างหินที่มีต้นกำเนิดมาจากหินแกรนิต เช่น



รูปที่ 2.11 ผลึกแร่ในหินแกรนิต (ควอตซ์สีเทาใส, เฟลด์สปาร์สีขาว, ฮอร์นเบลนด์สีดำ)

ที่มา : www.portal.edu.chula.ac.th

หินเกล็ด (Stone Chips) เป็นหินที่มีแหล่งกำเนิดมาจากหินแกรนิต โดยหินแกรนิตถูกกัดกร่อนด้วยวิธีธรรมชาติจนกลายมาเป็นหินเกล็ด สีตามธรรมชาติของหินเกล็ด เช่น ดำ เทา ขาว นอกจากนี้ ทางผู้ผลิตได้นิยมทำการขยายผลต่อไปอีก โดยการนำหินเกล็ดมาย้อมสีสันต่างๆ หลากหลายเฉดสี เช่น แดง เขียว ส้ม ฟ้า เป็นต้น ช่วยทำให้หินเกล็ดนั้น มีสีสันที่หลากหลายมากขึ้น โดยหินเกล็ดนี้ มีทั้งชนิดเป็นสีเดียว และคละสี หินชนิดนี้สามารถพบเห็นได้ทั่วไป เช่น ตามร้านขายอุปกรณ์เลี้ยงปลา เป็นต้น (กิตติภณ, 2551)



รูปที่ 2.12 หินเกล็ด

ที่มา : www.sudaratstone.com

ข. หินบะซอลต์ เป็นหินอัคนีพุ มีเนื้อละเอียด เกิดจากการเย็นตัวของลาวา มีสีเข้ม เนื่องจากประกอบด้วยแร่ไพร็อกซีนเป็นส่วนใหญ่ อาจมีแร่โอลิวีนปนมาด้วย เนื่องจากเกิดขึ้น

จากแมกมาใต้เปลือกโลก หินบะซอลต์หลายแห่งในประเทศไทยเป็นแหล่งกำเนิดของอัญมณี (พลอยชนิดต่างๆ) เนื่องจากแมกมาดันผลึกแร่ ซึ่งอยู่ลึกใต้เปลือกโลก ให้โผล่ขึ้นมาเหนือพื้นผิว

ค. หินไรโอไลต์ เป็นหินอัคนีพุ ซึ่งเป็นหินที่เกิดมาจากการเย็นตัวของลาวา มีเนื้อละเอียด ประกอบด้วยผลึกแร่ขนาดเล็ก มีแร่องค์ประกอบเหมือนกับหินแกรนิต แต่ผลึกเล็กมากจนไม่สามารถมองเห็นได้ ส่วนมากมีสีชมพู และสีเหลือง

ง. หินแอนดีไซต์ เป็นหินอัคนีพุ ซึ่งเป็นหินที่เกิดจากการเย็นตัวของลาวา ในลักษณะเดียวกับหินไรโอไรต์ แต่มีองค์ประกอบของแมกนีเซียม และเหล็กมากกว่า ทำให้มีสีเขียวเข้ม

จ. หินพัมมิซ (Pumice) เป็นหินแก้วภูเขาไฟชนิดหนึ่ง ซึ่งจะมีฟองก๊าซขนาดเล็ก อยู่ในเนื้อมากมายจนโพรกคล้ายฟองน้ำ มีส่วนประกอบเหมือนหินไรโอไลต์ มีน้ำหนักเบา ลอยน้ำได้ ชาวบ้านเรียกว่า หินส้ม ใช้ขัดถูภาชนะ ทำให้มีผิวขาว

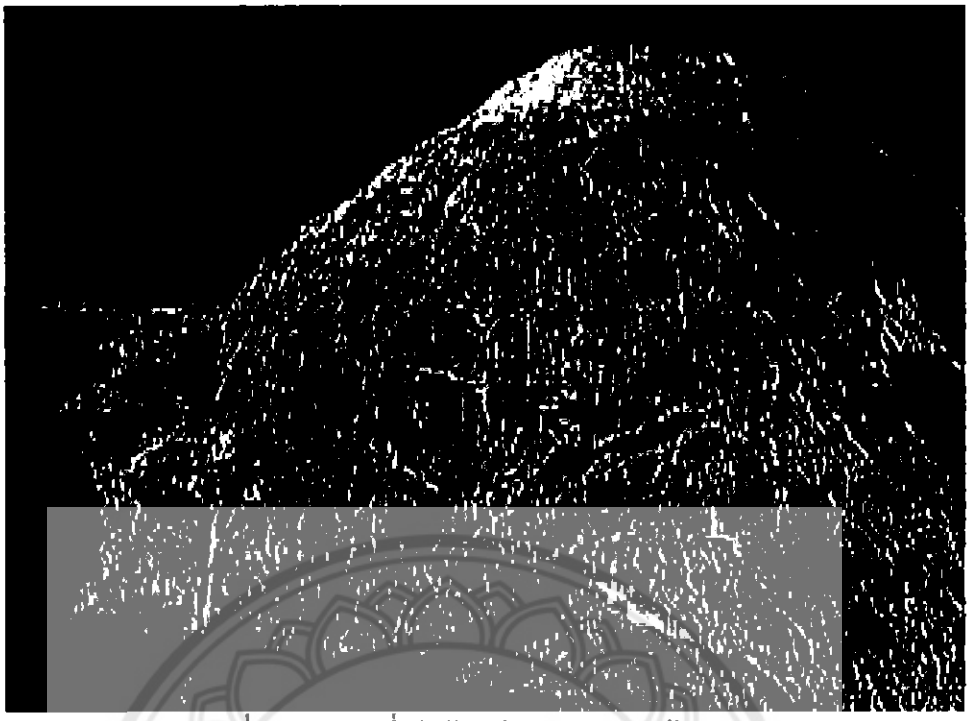
ฉ. หินออบซิเดียน เป็นหินแก้วภูเขาไฟ ซึ่งเย็นตัวเร็วมากจนผลึกมีขนาดเล็กมาก เหมือนเนื้อแก้วสีดำ

2.2.2.2 หินตะกอน (Sedimentary Rocks)

หินเป็นของแข็ง แต่ไม่สามารถดำรงอยู่ได้อย่างถาวร หิน เมื่อถูกแสงแดด ลม ฟ้าอากาศ และน้ำ หรือถูกกระแทก แตกเป็นก้อนเล็กๆ หรือผุกร่อน เสื่อมสภาพลง เศษหินที่ผุพังทั้งอนุภาคใหญ่ และเล็ก ถูกพัดพาไปสะสมอัดตัวกันเป็นชั้นๆ เกิดความกดดัน และปฏิกิริยาเคมีจนกลับกลายเป็นหินอีกครั้ง หินที่เกิดใหม่นี้เรียกว่า หินตะกอน หรือหินชั้น ปัจจัยที่ทำให้เกิดหินตะกอน หรือหินชั้น มีดังต่อไปนี้

ก. การผุพัง (Weathering)

การที่หินผุพังทำลายลง (อยู่กับที่) ด้วยกรรมวิธีต่างๆ จากลม ฟ้า อากาศ สารละลาย และรวมทั้งการกระทำของต้นไม้ แบคทีเรีย ตลอดจนการแตกตัวทางกลศาสตร์ มีการเพิ่มอุณหภูมิ และลดอุณหภูมิสลับกันเป็นต้น รูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นถึงการผุพังของหินชั้นบน ประกอบกับการดันตัวจากใต้เปลือกโลก ทำให้เกิดภูเขาขึ้นมา

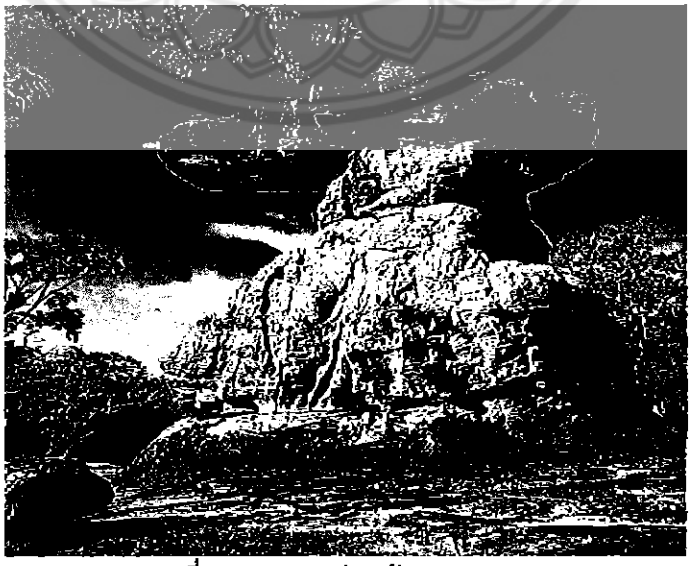


รูปที่ 2.13 ภูเขาซึ่งกำลังผุพังจากสภาพลมฟ้าอากาศ

ที่มา : www.portal.edu.chula.ac.th

ข. การกร่อน (Erosion)

กระบวนการที่ทำให้สารเปลือกโลกหลุด ละลายไป หรือกร่อนไป (โดยมีการเคลื่อนที่กระจัดกระจายไปจากที่เดิม) โดยมีสาเหตุมาจากตัวการธรรมชาติ ซึ่งได้แก่ ลมฟ้า อากาศ กระแสน้ำ ธารน้ำแข็ง การครูดถูภายใต้อิทธิพลของแรงโน้มถ่วง

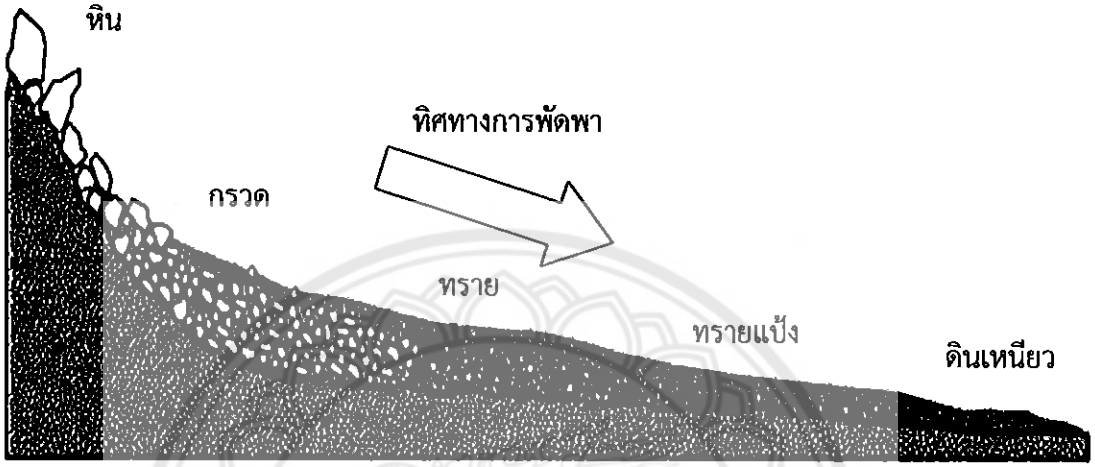


รูปที่ 2.14 การกร่อนด้วยกระแสลม

ที่มา : www.portal.edu.chula.ac.th

ค. **การพัดพา** (Transportation)

การเคลื่อนที่ของมวลหิน ดิน ทราย โดยกระแสน้ำ กระแสลม หรือธารน้ำแข็ง ภายใต้แรงดึงดูดของโลก อนุภาคขนาดเล็กจะถูกพัดพาให้เคลื่อนที่ไปได้ไกลกว่าอนุภาคขนาดใหญ่



รูปที่ 2.15 การคัดขนาดตะกอนด้วยการพัดพาของน้ำ

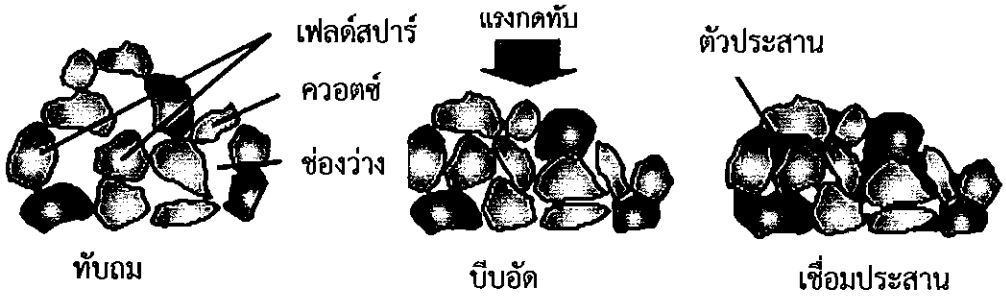
ที่มา : www.portal.edu.chula.ac.th

ง. การทับถม (Deposit)

เกิดขึ้นมาจากตัวกลาง ซึ่งทำให้เกิดการพัดพา เช่น กระแสน้ำ กระแสลม หรือธารน้ำแข็ง อ่อนกำลังลง และยุติลง ตะกอนที่ถูกพัดพาจะสะสมตัวทับถมกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิ ความกดดัน ปฏิกิริยาเคมี และเกิดการตกผลึก หินตะกอนที่อยู่ชั้นล่างมีความหนาแน่นสูง และมีเนื้อละเอียดกว่าชั้นบน เนื่องจากแรงกดดัน ซึ่งเกิดขึ้นจากน้ำหนักตัวทับถมกันเป็นชั้นๆ (หมายเหตุ : การทับถมบางครั้งเกิดจากการระเหยของสารละลาย ส่วนที่เป็นน้ำระเหยไปในอากาศทิ้งสารที่เหลือให้ตกผลึกไว้เช่นเดียวกับการทำนาเกลือ)

จ. **การกลับคืนเป็นหิน** (Lithification)

เมื่อเศษตะกอนที่ทับถมกันจะเกิดโพรงขึ้นประมาณร้อยละ 20 – 40 ของเนื้อตะกอน น้ำพาสารละลายเข้ามาแทนที่อากาศในโพรง เมื่อเกิดการทับถมกันจนมีน้ำหนักมากขึ้น เนื้อตะกอนจะถูกทำให้เรียงชิดติดกันทำให้โพรงมีขนาดเล็กลง จนน้ำที่มีอยู่ถูกขับไล่ออกไป สารที่ตกค้างอยู่ ทำหน้าที่เป็นซีเมนต์เชื่อมตะกอนเข้าด้วยกันกลับเป็นหินอีกครั้ง



รูปที่ 2.16 ขั้นตอนที่ตะกอนกลับคืนเป็นหิน

ที่มา : www.portal.edu.chula.ac.th

นักธรณีวิทยาจำแนกหินตะกอนตามลักษณะการเกิดออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

ก. หินตะกอนอนุภาค (Clastic Rocks) ได้แก่

ก.1 หินกรวดมน (Congromorate) เป็นหินตะกอน มีเนื้อหยาบ เกิดจากตะกอน ซึ่งเป็นหิน กรวด ทราย ที่ถูกกระแสน้ำพัดพามาอยู่รวมกัน สารละลายในน้ำใต้ดินทำตัวเป็นซีเมนต์ประสานให้อนุภาคใหญ่เล็กเหล่านี้ เกาะตัวกันเป็นก้อนหิน

ก.2 หินทราย (Sandstone) เป็นหินตะกอน เนื้อละเอียดปานกลาง เกิดจากการทับถมตัวของทราย มีองค์ประกอบหลักเป็นแร่ควอตซ์ คนโบราณใช้หินทรายแกะสลัก สร้างปราสาท และทำหินลับมีด

ก.3 หินดินดาน (Shale) เป็นหินตะกอน เนื้อละเอียดมาก เนื่องจากการประกอบด้วยอนุภาคทรายแป้ง และอนุภาคดินเหนียวทับถมกันเป็นชั้นบางๆ ขนานกัน เมื่อทุบหินจะแตกตัวตามรอยชั้น (ฟอสซิลมีอยู่ในหินดินดาน) ดินเหนียวที่เกิดจากดินดาน ใช้ทำเครื่องปั้นดินเผา

ข. หินตะกอนเคมี (Chemical Sedimentary Rocks) ได้แก่

ข.1 หินปูน เป็นหินตะกอนคาร์บอเนต ซึ่งเกิดจากการทับถมของตะกอนคาร์บอเนตในท้องทะเล ทั้งจากสารอนินทรีย์ และซากสิ่งมีชีวิต เช่น ปะการัง และกระดองของสัตว์ทะเล ซึ่งถับถมกันภายใต้ความกดดัน และตกผลึกใหม่เป็นแร่แคลไซต์ทำปฏิกิริยากับกรด หินปูนใช้ทำเป็นปูนซีเมนต์ และใช้ในการก่อสร้าง

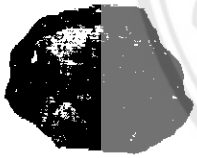
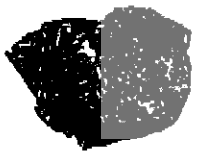
ข.2 หินเชิร์ต (Chert) เป็นหินตะกอนที่มีเนื้อแน่นแข็ง เกิดมาจากการตกผลึกใหม่ เนื่องจากน้ำพาสารละลายซิลิกาเข้าไปแล้วระเหยออก ทำให้เกิดผลึกซิลิกาแทนที่เนื้อหินเดิม หินเชิร์ตเกิดขึ้นใต้ท้องทะเล เนื่องจากแพลงตอนที่มีเปลือกเป็นซิลิกาตายลง เปลือกของแพลงตอนจมลงทับถมกันจนเป็นหินเชิร์ตประกอบอยู่ในหินปูน

ค. หินตะกอนอินทรีย์ (Organic Sedimentary Rocks) ได้แก่

ถ่านหิน (Coal) จะเกิดมาจากการทับถมของซากพืชที่ไม่เน่าเปื่อยไปหมด เนื่องจากสภาวะออกซิเจนต่ำ สภาวะเช่นนี้ เกิดตามห้วย หนอง คลอง บึง ในแถบภูมิอากาศแบบเส้นศูนย์สูตร การทับถม ทำให้เกิดแรงกดดันที่จะระเหยขับไล่น้ำ และสารละลายอื่นๆ ออกไป ยิ่งมี

ปริมาณคาร์บอนมากขึ้น ถ่านหินจะยิ่งมีสีดำ ลิกไนต์ (Lignite) เป็นถ่านหินที่มีคุณภาพปานกลาง มีอยู่มากที่เหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง แอนทราไซต์ (Anthracite) เป็นถ่านหินคุณภาพสูง ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ นอกจากนี้น้ำมัน และก๊าซเชื้อเพลิง เกิดจากการทับถมของสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ในทะเล เช่น ไดอะตอม (Diatom) และสาหร่ายเซลล์เดียว (Algae) ซึ่งเกิดตะกอนใต้มหาสมุทร ตะกอนโคลนเหล่านี้ ขาดการไหลถ่ายเทของน้ำ การเน่าเปื่อยผุพังจึงหยุดสิ้นก่อน เนื่องจากออกซิเจนหมดไป ตะกอนที่ถูกทับถมไว้ภายใต้ความกดดัน และอุณหภูมิสูง เป็นเวลานานหลายร้อยล้านปี จึงกลายเป็นน้ำมัน

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างหินตะกอน

รูป	หิน	แร่หลัก	ลักษณะ	ที่มา
	หินกรวดมน	ขึ้นอยู่กับก้อนกรวด ซึ่งประกอบกันเป็นหิน	เนื้อหยาบ เป็นกรวดมนหลายก้อน เชื่อมติดกัน	เม็ดกรวดที่ถูกพัดพาโดยกระแสน้ำ และเกาะติดกันด้วยวัสดุประสาน
	หินทราย	ควอตซ์	เนื้อหยาบ สีน้ำตาล สีแดง	ควอตซ์ในหินอัคนี ผุพังกลายเป็นเม็ดทรายทับถมกัน
	หินดินดาน	แร่ดินเหนียว	เนื้อละเอียดมาก สีเทา ผสมสีแดงเนื่องจากแร่เหล็ก	เฟลด์สปาร์ในหินอัคนีผุพังเป็นแร่ดินเหนียวทับถมกัน
	หินปูน	แคลไซต์	เนื้อละเอียดมีหลายสี	การทับถมกันของตะกอนคาร์บอเนตในท้องทะเล
	หินเชิร์ต	ซิลิกา	เนื้อละเอียด แข็ง สีอ่อน	การทับถมของซากสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ในท้องทะเล จนเกิดการตกผลึกใหม่ของซิลิกา

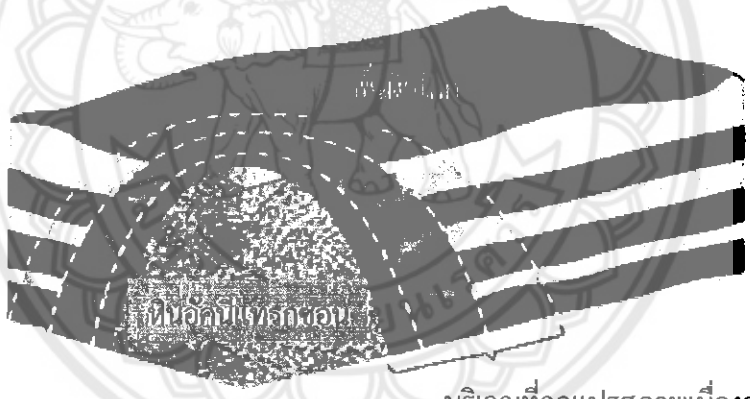
ที่มา : www.portal.edu.chula.ac.th

2.2.2.3 **หินแปร** (Metamorphic Rocks)

หินแปร คือ หินที่แปรสภาพไปจากเดิม โดยการกระทำของความร้อน แรงดัน และปฏิกิริยาเคมี หินแปรบางชนิดแสดงเค้าโครงเดิม ส่วนบางชนิดผิดแปลกไปจากเดิมมาก ซึ่งต้องอาศัยดูรายละเอียดของเนื้อใน หรือสภาพสิ่งแวดล้อมจึงทราบที่มา หินแปรชนิดหนึ่งๆ มีองค์ประกอบเดียวกันกับหินต้นกำเนิด แต่อาจมีการตกผลึกของแร่ใหม่ เช่น หินชนวนแปรมาจากหินดินดาน หินอ่อนแปรมาจากหินปูน เป็นต้น หินแปรส่วนใหญ่เกิดขึ้นในระดับลึกใต้เปลือกโลกหลายกิโลเมตร ซึ่งมีความดันสูง และอยู่ใกล้กับหินหนืดร้อนในชั้นแอสทีโนสเฟียร์ (Asthenosphere) แต่การแปรสภาพในบริเวณใกล้พื้นผิวโลก เนื่องจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบมี นักธรณีวิทยาแบ่งการแปรสภาพออกเป็น 2 ประเภท คือ

ก. การแปรสภาพสัมผัส (Contact Metamorphism)

เป็นการแปรสภาพเพราะความร้อน เกิดขึ้น ณ บริเวณที่หินหนืด หรือลาวาแทรกดันขึ้นมาสัมผัสกับหินท้องที่ ความร้อน และสารจากหินหนืด หรือลาวา ทำให้หินท้องที่ในบริเวณนั้น แปรเปลี่ยนสภาพผิดไปจากเดิม

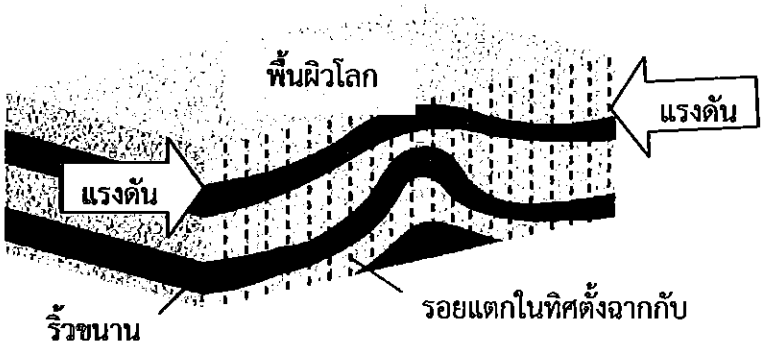


รูปที่ 2.17 การแปรสภาพสัมผัส

ที่มา : www.portal.edu.chula.ac.th

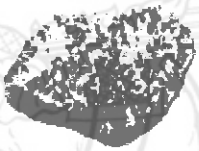
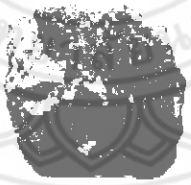
ข. การแปรสภาพบริเวณกว้าง (Regional Metamophic)

เป็นการแปรสภาพของหินซึ่งเกิดเป็นบริเวณกว้างใหญ่ เนื่องจากอุณหภูมิและความกดดัน โดยปกติการเปรสภาพแบบนี้จะไม่มีความเกี่ยวพันธ์กับมวลหินอัคนี และจะมีริ้วขนาน (Foliation) จนกลายเป็นแถบลายสลับสี บิดย้วยแบบลูกคลื่น ซึ่งจะพบในหินชีสต์ (Schist) หินไนส์ (Gneiss) ทั้งนี้เป็นผลมาจากการการตกผลึกใหม่ของแร่ในหิน ริ้วขนานอาจแยกออกได้เป็นแผ่นๆ และมีผิวหน้าเรียบเนียน เช่น หินชนวน (Slate)



รูปที่ 2.18 การแปรสภาพบริเวณกว้าง
ที่มา : www.portal.edu.chula.ac.th

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างหินแปร

หินแปร	แร่หลัก	หินต้นกำเนิด	คำอธิบาย
หินไนซ์	ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ ไมก้า	 หินแกรนิต	หินแปรเนื้อหยาบ มีริ้วขนาน หยักคด โค้งไม่สม่ำเสมอ สีเข้ม และจางสลับกัน แปรสภาพมาจากหินแกรนิต โดยการแปรสภาพบริเวณกว้าง ที่มีอุณหภูมิสูง จนแร่หลอมละลาย และตกผลึกใหม่ (Recrystallize)
หินควอตซ์ไซต์	ควอตซ์	 หินทราย	หินแปรเนื้อละเอียด เนื้อผลึกคล้ายน้ำตาลทราย มีสีเทา หรือสีน้ำตาลอ่อน โดยการแปรสภาพบริเวณกว้างที่มีอุณหภูมิสูงมาก จนแร่ควอตซ์หลอมละลาย และตกผลึกใหม่ จึงมีความแข็งแรงมาก
หินชนวน	แร่ดิน เหนียว	หินดินดาน	หินแปรเนื้อละเอียดมาก เกิดจากการแปรสภาพของหินดินดานด้วยความร้อนและความกดอัดทำให้แกร่ง และเกิดรอยแยกเป็นแผ่นๆ ขึ้นในตัว โดยรอยแยกนี้ไม่จำเป็นต้องมีระนาบเหมือนการวางชั้นหินดินดานเดิม หินชนวนสามารถแซะเป็นแผ่นใหญ่

ที่มา : www.portal.edu.chula.ac.th

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) ตัวอย่างหินแปร

หินแปร	แร่หลัก	หินต้นกำเนิด	คำอธิบาย
หินชีตส์	ไมก้า	หินชนวน	หินแปรมีเนื้อเป็นแผ่น เกิดจากการแปรสภาพบริเวณกว้างของหินชนวน แรงกดดัน และความร้อนทำให้ผลึกแร่เรียงตัวเป็นแผ่นบางๆ ขนานกัน
หินอ่อน	แคลไซต์	หินปูน	หินแปรเนื้อละเอียดถึงหยาบ แปรสภาพมาจากหินปูน โดยการแปรสัมผัสที่มีอุณหภูมิสูงจนแร่แคลไซต์หลอมละลาย และตกผลึกใหม่ ทำปฏิกิริยากับกรดทำให้เกิดฟองฟู่ หินอ่อนใช้เป็นวัสดุตกแต่งอาคาร

ที่มา : www.portal.edu.chula.ac.th

2.3 ปูนซีเมนต์

ซีเมนต์ (Cement) โดยทั่วไป หมายถึง วัสดุประสาน ซึ่งสามารถยึดวัสดุชิ้นเล็กๆ เข้าด้วยกัน นอกจากนี้ คำว่าซีเมนต์ หมายถึง สารซีเมนต์หลายประเภท แต่สำหรับงานทางด้านวิศวกรรมโยธาและสิ่งก่อสร้าง ซีเมนต์ หมายถึง วัสดุผงละเอียดสีเทาเข้ม เมื่อผสมน้ำสามารถใช้เป็นวัสดุประสานยึดวัสดุประเภท อิฐ หิน ทราย เข้าด้วยกัน

สิ่งก่อสร้างในยุคอารยธรรมแรกๆ ทำมาจากดิน และหิน สิ่งก่อสร้างจากดินทำ โดยการกระทุ้งดินให้แน่ เพื่อเพิ่มความแข็งแรง หรือใช้อิฐที่ทำจากดินที่ผ่านการตากแห้งมาก่อน โดยใช้น้ำโคลนเป็นวัสดุประสาน ซึ่งบางครั้งเพิ่มวัสดุประสานประเภทฟางข้าวผสมเข้ากับน้ำโคลนข้น เพื่อนำมาก่อเป็นกำแพงของบ้าน หรือผนังของไซโลเก็บข้าวเปลือก สิ่งก่อสร้างที่ทำจากหินอาศัยฝีมือในการเรียงหินให้ชิดกัน และเกิดความแข็งแรงโดยไม่ต้องใช้สารซีเมนต์ การใช้ซีเมนต์ในการก่อสร้างมีขึ้นในสมัยอารยธรรมที่ค่อนข้างเจริญแล้ว ประวัติ และการใช้วัสดุประเภทปูนซีเมนต์ขาว ปูนซีเมนต์ และคอนกรีตมีการบันทึกไว้ในเอกสารหลายฉบับ ในบทนี้ได้รวบรวม เพิ่มเติมประวัติของการผลิต และการใช้ปูนซีเมนต์ในประเทศไทย (ปริญญา และชัย, 2549)

2.3.1 ประวัติความเป็นมาของปูนซีเมนต์

ประวัติความเป็นมา คำว่า “ซีเมนต์” มาจากภาษาละติน ซึ่งแปลว่า “ตัด” โดยใช้เรียกหินปูนที่ตัดเป็นชิ้นๆ เพื่อนำมาเผาเป็นปูนขาว

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ในปัจจุบัน ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่ให้กำลังแก่คอนกรีต ที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) ซึ่งแบ่งออกเป็นหลายประเภท ตามความเหมาะสมกับงานที่นำไปใช้ นอกจากนี้ยังมีปูนซีเมนต์อื่นที่ได้มีการพัฒนาขึ้นมา เพื่อให้เหมาะสมกับงานที่หลากหลาย โดยเฉพาะด้านความแข็งแรง ความทนทาน ความสวยงาม และการใช้งานเฉพาะด้าน สมบัติของปูนซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่เป็นวัตถุดิบ และกรรมวิธีการผลิต การปรับส่วนประกอบของวัตถุดิบ ทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีสมบัติแตกต่างกันไป (ปริญญา และชัย, 2549)

2.3.1.1 การผลิตปูนซีเมนต์

กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ในปัจจุบันแตกต่างจากเดิมบ้าง แต่ยังคงใช้วัสดุหลักที่ใช้ในสมัยแรก ให้ความสำคัญที่คุณภาพของปูนซีเมนต์ที่ผลิต และประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต การผลิตปูนซีเมนต์มีความแพร่หลาย และได้รับความนิยมสูง เพราะวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีปริมาณมาก และหาได้ง่ายในที่ต่างๆ ทั่วโลก

ก. วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ

ก.1 วัสดุธาตุปูน (Cacareous Materials) เป็นวัสดุที่มีส่วนประกอบของออกไซด์จากธาตุแคลเซียม ได้แก่ หินปูน และหินชอล์ก (Chalk)

ก.2 วัสดุอาจิลลาเซียส (Arglilaceous Materials) เป็นออกไซด์ของธาตุซิลิกอน (Silicon) และอะลูมิเนียม (Aluminium) ได้แก่ ดินเหนียว หินเชล หรือหินดินดาน และหินชนวน ในบางครั้ง ดินที่ใช้เป็นวัตถุดิบที่มีออกไซด์ของแคลเซียม และซิลิกอน ได้แก่ ดินมาร์ล (Marl) นอกจากนี้ การผลิตปูนซีเมนต์ยังต้องการวัตถุดิบอื่น ได้แก่ ออกไซด์ของเหล็ก ซึ่งได้จากดินลูกรัง (Laterite) ออกไซด์ของอะลูมิเนียม และเหล็กช่วยให้ปฏิกิริยาในการเผาเกิดได้ง่ายขึ้น

นอกจากนี้ ต้องการยิปซัม (Gypsum) เพื่อใช้ในการหน่วงปฏิกิริยาไม่ให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็วเกินไปโดยบดรวมกับปูนเม็ด (Clinker) ในขั้นตอนสุดท้าย

ข. กรรมวิธีในการผลิต

กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็นสองแบบ คือ กระบวนการผลิตแบบเปียก (Wet Process) และกระบวนการผลิตแบบแห้ง (Dry Process) การบดให้ละเอียดทำได้ยาก จำเป็นต้องขจัดความชื้นที่มีอยู่ หรือเพิ่มน้ำให้มีปริมาณมากขึ้น ถ้าวัตถุดิบเป็นดินเหนียวจะมีความชื้นสูง ดังนั้น จึงใช้กระบวนการผลิตแบบเปียก หากวัตถุดิบเป็นหินปูน และหินเชลจะมีความชื้นค่อนข้างต่ำ ควรใช้กระบวนการผลิตแบบแห้ง ในปัจจุบันนิยมกระบวนการผลิตแบบแห้ง เพราะค่าใช้จ่ายถูกกว่ากระบวนการผลิตแบบเปียก เตาเผาของระบบแห้งมีขนาดเล็กกว่าระบบเปียก และพลังงานที่ใช้ในการเผาน้อยกว่าของระบบเปียกมาก

ในการบวนการแบบเปียก วัตถุดิบผสมน้ำตามสัดส่วนที่กำหนด โดยปกติถ้าใช้ดินเหนียว และดินชอล์กใช้ในอัตราส่วนวัตถุดิบต่อน้ำประมาณ 1 : 3 หลังจากนั้นบดส่วนผสมให้

ละเอียดในหม้อบดละเอียดเปียก (Wash Mill) น้ำโคลน (Slurry) ที่ได้นำไปผ่านตะแกรงละเอียดแล้วส่งเข้าเตาเผา วัตถุดิบที่ป้อนเข้าเต้าเผามีความชื้นประมาณร้อยละ 35 – 50

ในกระบานการผลิตแบบแห้ง วัตถุดิบที่ระเบิดมาจากเหมืองนำมาบดย่อยให้เล็กลงในเครื่องย่อยขั้นต้น (Primary Crusher) และบดด้วยเครื่องบดย่อยขั้นที่สอง (Secondary Crusher) ตามลำดับ จากนั้น นำวัตถุดิบไปบดละเอียดในหม้อบดวัตถุดิบ (Raw Mill) แล้วผสมกันตามสัดส่วนที่ต้องการในไซโลผสมวัตถุดิบ (Blending Silo) จากนั้น เพิ่มความร้อนของวัตถุดิบด้วยลมร้อนก่อนส่งเขาเตาเผา ในกรณีในกระบวนการผลิตแบบกึ่งแห้ง (Semi – Dry Process) จะนำวัตถุดิบไปทำเป็นเม็ดโดยการเติมน้ำเล็กน้อย และผ่านเข้าไปในเครื่องทำเม็ด (Granulator) วัตถุดิบจะจับเป็นก้อนกลมขนาดประมาณ 12 มิลลิเมตร ทั้งนี้ เพื่อทำให้การป้อนวัตถุดิบเข้าเตาเผาสะดวกขึ้น วัตถุดิบจะต้องมีความชื้นร้อยละ 12 ดังนั้น เตาเผาของกระบวนการผลิตแบบแห้ง และกึ่งแห้ง จึงมีขนาดเล็กกว่าเตาเผาในกรณีกระบวนการผลิตแบบเปียก (ปริญญา และชัย, 2549)

2.3.2 สมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์

องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์เป็นสิ่งสำคัญที่ควรศึกษา เพื่อให้เข้าใจถึงสมบัติต่างๆ ของปูนซีเมนต์ และเลือกใช้ปูนซีเมนต์ได้อย่างถูกต้อง และเหมาะสำหรับการใช้งาน

ตารางที่ 2.6 แสดงถึงองค์ประกอบ และสัญลักษณ์ออกไซด์หลัก (Major Oxide) ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ ซิลิกา อะลูมินา (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ ออกไซด์ทั้ง 4 นี้รวมกันได้ร้อยละกว่า 90 ของปูนซีเมนต์ ส่วนที่เหลือจะเป็นออกไซด์รอง (Minor Oxide) ซึ่งได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ออกไซด์ของแอลคาไล (Na_2O และ K_2O) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) และส่วนประกอบของออกไซด์อื่นๆ ผสมอยู่บ้าง เช่น ไทเทเนียมออกไซด์ และฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ (P_2O_5) นอกจากนี้ ยังมีสิ่งแปลกปลอม และส่วนประกอบอื่น ซึ่งจัดรวมอยู่ในรูปการสูญเสียน้ำหนัก เนื่องจากการเผา (Loss on Ignition) และกากที่ไม่ละลายในกรด และด่างนั้น (Insoluble Residue) ออกไซด์เหล่านี้จะทำปฏิกิริยา และรวมตัวอยู่ในรูปของสารประกอบ สารประกอบที่สำคัญมีอยู่ 4 อย่าง คือ

2.3.2.1 ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate) องค์ประกอบทางเคมีในธาตุนี้ คือ $3CaO.SiO_2$ และตัวย่อว่า C_3S

2.3.2.2 ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate) องค์ประกอบทางเคมีของธาตุนี้ คือ $2CaO.SiO_2$ และตัวย่อว่า C_2S

2.3.2.3 ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (Tricalcium Aluminate) องค์ประกอบทางเคมี คือ $3CaO.Al_2O_3$ และตัวย่อว่า C_3A

2.3.2.4 เตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium Aluminoferrite) ซึ่งจะมีองค์ประกอบทางเคมี คือ $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ และตัวย่อว่า C_4AF

เนื่องจากสัญลักษณ์ SiO_2 ซึ่งแทนด้วย S ไปซ้ำกับ SO_3 ดังนั้นจึงใช้ $\bar{S}$ เป็นสัญลักษณ์แทน SO_3 สำหรับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $Ca(OH)_2$ ซึ่งสามารถแยกเขียนได้เป็น $CaO.H_2O$ หรืออาจจะ

ใช้สัญลักษณ์ว่า CH (เมื่อ C ใช้แทน CaO และ H ใช้แทน H_2O) เป็นต้น หรือยิปซัม มีสูตรทางเคมี คือ $CaSO_4.2H_2O$ สามารถเขียนเป็น $CaOSO_3.2H_2O$ หรือสามารถเขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ $C\bar{S}H_2$ การใช้สัญลักษณ์เหล่านี้จะมีประโยชน์ในการศึกษาถึงปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบเคมี	สัญลักษณ์	ร้อยละโดยน้ำหนัก
CaO	C	60 – 67
SiO_2	S	17 – 25
Al_2O_3	A	3 – 8
Fe_2O_3	F	0.5 – 6
MgO	M	0.1 – 4
Na_2O	N	0.1 – 1.8

ที่มา : ปริญญา และชัย (2549)

2.3.3 สมบัติของสารประกอบหลัก

สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ คือ C_3S, C_2S, C_3A และ C_4AF เนื่องจากมีปริมาณมากถึงร้อยละ 90 จึงเป็นตัวกำหนดถึงสมบัติ และคุณภาพของปูนซีเมนต์ สมบัติได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.7

2.3.3.1 ไตรแคลเซียมซิลิเกต

C_3S มีอยู่มากที่สุดในปูนซีเมนต์ประมาณร้อยละ 45 – 55 มีรูปร่างเป็นเหลี่ยม มีสีเทาแก่ ที่อุณหภูมิในเตาเผา 1,250 องศาเซลเซียส C_3S สามารถสลายตัวได้ ซึ่งในการสลายตัวนี้จะค่อนข้างช้า และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงกว่า 700 องศาเซลเซียส C_3S จะมีเสถียรภาพ และจะไม่เปลี่ยนแปลงสภาพเมื่อผสม C_3S กับน้ำจะเกิดการก่อตัวเป็นของแข็ง และให้กำลังค่อนข้างดี โดยเฉพาะในช่วง 7 วันแรก ปฏิกิริยาระหว่าง C_3S กับน้ำ ทำให้เกิดความร้อนปานกลางประมาณ 500 จูนต่อกรัม (J / g) และความร้อนที่คายออกมานั้น เรียกว่า ความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Heat of Hydration)

2.3.3.2 ไดแคลเซียมซิลิเกต

C_2S มีอยู่ในปูนปอร์ตแลนด์ร้อยละ 15 – 35 C_2S บริสุทธิ์มีอยู่ 4 รูปแบบ คือ αC_2S ซึ่งเกิดที่อุณหภูมิ 1,450 องศาเซลเซียส และเมื่อเย็นตัวลงยังสามารถแปรสภาพไปเป็น $\alpha' C_2S$ ซึ่งเปลี่ยนเป็น βC_2S ที่อุณหภูมิต่ำลง และมีการแปรสภาพเป็น C_2S ที่อุณหภูมิปกติ แต่เนื่องจากในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ C_2S มีลักษณะเป็นเม็ดกลม และแสดงลักษณะทวินนิง (Twinning) เมื่อผสมกับน้ำ สามารถทำปฏิกิริยาเกิดความร้อน ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_2S ค่อนข้างช้า และช้ากว่า C_3S มาก คือ เริ่มให้กำลังหลังจาก 4 สัปดาห์ขึ้นไป

2.3.3.3 ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต

C_3A มีอยู่ในปูนปอร์ตแลนด์ร้อยละ 7 – 15 ลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยมมีสีเทาอ่อน ปฏิกิริยากับน้ำมีความรุนแรงมาก และทำให้เพสต์นั้น ก่อตัวทันที ความร้อน เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันมีค่าสูงมากกว่า 880 จูนต่อกรัม การพัฒนากำลังของ C_3A จะเร็วมาก คือ สามารถพัฒนาได้ภายในวันเดียว แต่กำลังประลัยที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำมาก เมื่อเทียบกับ C_3S และ C_2S

2.3.3.4 เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์

C_4AF มีอยู่ในปูนปอร์ตแลนด์ประมาณร้อยละ 5 – 10 และยังสามารถอยู่ในสภาพสารละลายของแข็ง (Solid Solution) เมื่อผสมกับน้ำจะทำปฏิกิริยาทำให้เพสต์ก่อตัวอย่างรวดเร็วความร้อน เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันนั้น มีค่าปานกลางประมาณ 420 จูนต่อกรัม โดย C_4AF พัฒนากำลังได้เร็วมาก เช่นเดียวกับ C_3A แต่กำลังประลัยที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำ และต่ำกว่า C_3A เล็กน้อย

ตารางที่ 2.7 สมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สมบัติ	สารประกอบ			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
อัตราการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน	เร็ว (ชั่วโมง)	ช้า (วัน)	ทันทีทันใด	เร็วกว่า (นาที)
การพัฒนากำลัง	เร็ว (วัน)	ช้า (สัปดาห์)	เร็วมาก (1 วัน)	เร็วมาก (1 วัน)
กำลังประลัย	สูง	สูง	ต่ำ	ต่ำ
ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน	ปานกลาง	ต่ำ	สูง	ปานกลาง

ที่มา : ปริญญา และชัย (2549)

2.3.4 ปูนประเภทอื่น

นอกจากนี้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ประกอบด้วย C_3S, C_2S, C_3A และ C_4AF ซึ่งในปริมาณที่แตกต่างกัน ยังมีปูนซีเมนต์อื่นที่ทำมาจากการผสมสารอื่นบดกับเม็ดปูน หรือโดยการเพิ่มสารประเภทอื่นระหว่างการเผา ได้แก่

2.3.4.1 ปูนซีเมนต์ผสม

ปูนซีเมนต์ผสม หรือปูนซีเมนต์ซิลิกา (Mix Cement หรือ Silica Cement) ได้จากการบดปูนเม็ดกับวัสดุเฉื่อยจำพวกทราย ซึ่งประกอบด้วยซิลิกา หรือบดรวมกับหินปูนที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาปริมาณวัสดุเฉื่อยที่ใช้ประมาณร้อยละ 20 – 30 โดยน้ำหนัก ทำให้ปูนซีเมนต์มีราคาถูกลง ระยะเวลาการก่อตัวนานขึ้น การเยิ้มน้ำต่ำ และการหดตัวหลังการแห้งน้อยลง จึงช่วยลดการแตกร้าวที่ผิว เหมาะสำหรับใช้ในงานปูนก่อ หรือปูนฉาบ เพราะจะได้มีเวลาในการทำงานมากขึ้น แต่ข้อควรระวัง

สำหรับปูนซีเมนต์ประเภทนี้ คือ มีกำลังต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอายุต้นๆ จึงไม่ควรใช้ในการก่อสร้างอาคารหลัก เช่น เสา คาน พื้น หรือฐานรากของอาคาร นอกจากนี้อายุการใช้งานของอาคารจะน้อยกว่าที่ควรเป็น เพราะมีเนื้อปูนน้อยกว่าปกติ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตในประเทศไทย ได้แก่

ก. ปูนซีเมนต์ตราเสือ คือ ปูนซีเมนต์ชนิดพิเศษ มีทรายประมาณร้อยละ 25 บดละเอียดรวมอยู่ด้วยมีคุณภาพทดสอบได้แรงตามมาตรฐานอังกฤษ (Ordinary Portland Cement BSS 12 – 1958) ปูนซีเมนต์ตราเสือใช้ในงานที่ไม่ยึดหดมาก เมื่อทำคอนกรีต และที่สำคัญ คือ ราคาถูก เนื่องด้วยราคาถูก และมีแรงดีพอ เหมาะสำหรับการใช้งานอุตสาหกรรมทำกระเบื้องมุงหลังคา ทำโอ่ง ถังส้วม ตอม่อ ฯลฯ ตลอดจนงานสร้างบ้านเอกชนขนาด 2 – 3 ชั้น หรืองานทำถนน บ้านนิยมใช้ปูนซีเมนต์นี้ นอกจากนั้น เมื่อหล่อเป็นคอนกรีตแล้ว ถึงแม้ว่าจะบ่มไม่เต็มที่ ดังเช่นที่ควรทำ ในการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา หรือปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว จะไม่ยุ่งยากในเรื่องที่มีรอยร้าวลายงา เพราะความยืดหดของปูนซีเมนต์มีน้อย

ปัจจุบันมีการผลิตปูนซีเมนต์ขาวตราเสือออกจำหน่ายโดยบริษัทปูนซีเมนต์ไทยจำกัด ปูนชนิดนี้เป็นปูนซีเมนต์ขาวคุณภาพพิเศษ ใช้สำหรับงานปูกระเบื้องพื้น และผนัง หรืองานยาแนวเซรามิก รวมทั้งใช้ในงานปูนตกแต่งทั่วไป ปูนชนิดนี้มีสมบัติ ดังนี้

ก.1 เนื้อซีเมนต์ละเอียด เหนียวนุ่ม ยึดเกาะได้ดี คุณภาพเท่าปูนซีเมนต์-เทาตราเสือ

ก.2 ระยะเวลาแข็งตัวช้า เหมาะสำหรับงานปูกระเบื้อง หรืองานตกแต่งที่ต้องใช้เวลานาน

ก.3 มีความลื่นในตัว ทำงานง่าย

ก.4 ยึด หรือหดตัวน้อย ไม่แตกลายงา ให้ผิวงานที่เรียบร้อย สวยงาม

ก.5 มีสารแอลคาไลน์ผสมน้อยมาก จึงเหมาะสำหรับการใช้ปูกระเบื้องเซรามิก ซึ่งดีกว่าปูนซีเมนต์เทา ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ 1 ถุงบรรจุซีเมนต์หนัก 20 กิโลกรัม 1 ถุง ใช้ปูกระเบื้องได้ประมาณ 5 – 6 ตารางเมตร ใช้ยาแนวกระเบื้องเซรามิกได้ประมาณ 80 ตารางเมตร

ข. ปูนซีเมนต์ตรางูเห่า เป็นปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นให้มีผลในทางประหยัด และเหมาะสำหรับใช้สร้างอาคาร ตึกแถว งานทำกระเบื้อง หล่อถัง หล่อท่อ เทพื้นคอนกรีต และอาคารคอนกรีตทั่วไป มีคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM X – 340.58 T และ Federal Specification SS – C – 208 b ถุงกระดาษที่ใช้บรรจุพิมพ์ด้วยสีน้ำเงิน

การใช้ปูนซีเมนต์ตรางูเห่านี้ มีส่วนผสมที่ทำให้เกิดความเหลว เมื่อผสมคอนกรีตแล้ว ทำให้สะดวก และง่ายในการเทลงแบบเหมาะสำหรับเป็นปูนก่อปูนถือ พร้อมกับปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีคุณภาพทำให้คอนกรีตรับน้ำหนักได้มาก และมีกำลังสูงดีที่สุดสำหรับใช้ในการก่อสร้างตึกแถว พื้นคอนกรีต งานทำโอ่ง ทำกระเบื้อง หล่อถัง และอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่

ต้องการกำลังสูงเป็นพิเศษ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้ได้โดยทั่วไป มีราคาต่ำกว่าชนิดอื่น เป็นที่นิยมในหมู่ช่างผู้รับเหมา และผู้ผลิตวัสดุก่อสร้างอย่างกว้างขวาง

ค. ปูนซีเมนต์ตรานกอินทรีย์ เป็นปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นโดยใช้วัสดุจำพวกซิลิกาบดละเอียดผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อใช้ทำคอนกรีตปูนก่อ หรือปูนฉาบ จะมีการยืดหดตัวน้อย การแข็งตัวระยะแรกช้ากว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราเพชร แต่เมื่อแข็งตัวแล้ว จะมีกำลังตามเกณฑ์ปกติเช่นเดียวกัน เหมาะสำหรับทำผลิตภัณฑ์คอนกรีตโดยทั่วไป และงานก่อสร้างที่ไม่เร่งรัด เช่น การสร้างบ้านพักอาศัย ทำถนน หรือทางคอนกรีตในบ้าน ทำกระเบื้องคอนกรีตทั่วไป ทำเสา ตอม่อ ทำท่อคอนกรีตระบายน้ำ ทำถังส้วม และทำโอ่ง เป็นต้น เมื่อใช้ปูนซีเมนต์ตรานกอินทรีย์ทำคอนกรีตแล้วแม้จะไม่ได้พิถีพิถันในเรื่องการบ่มเท่าที่ควร ไม่ค่อยมีรอยร้าวลายงาเกิดขึ้น เพราะปูนซีเมนต์ยืดตัวหดตัวน้อย นอกจากนี้ยังเกิดความร้อนน้อย จึงเหมาะสำหรับทำคอนกรีตหลา (Mass Concrete) เช่น ทำเขื่อนกั้นน้ำ เป็นต้น

2.3.4.2 ปูนซีเมนต์ขาว

สีเทาในปูนซีเมนต์เกิดจากสารออกไซด์ของเหล็ก และแมงกานีส ดังนั้น การผลิตปูนซีเมนต์ขาว (White Cement) ทำได้โดยการลดปริมาณสารดังกล่าวให้ต่ำลง ซึ่งอาจใช้ดินขาวจีน (China Clay) กับดินสอพอง หรือหินปูน ซึ่งไม่มีออกไซด์ของธาตุเหล็กเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตโดยทั่วไปแล้วจะกำหนดให้ออกไซด์ของเหล็กในปูนซีเมนต์ต่ำกว่าร้อยละ 0.5 ซึ่งทำให้ปริมาณของสารเฟอร์ไรต์ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 0.5 เท่านั้น ดังนั้น ในปูนซีเมนต์ขาว จึงมีส่วนประกอบของ C_3A สูง และแทบไม่มี C_4AF นอกจากนี้ ในการเผาจะใช้น้ำมัน เพราะถ่านหินมีออกไซด์ของธาตุเหล็ก และแมงกานีสปนอยู่สูง การใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ทำให้ต้นทุนการผลิตปูนซีเมนต์ขาวมีราคาสูงกว่าปูนซีเมนต์ธรรมดา กำลังอัดของปูนซีเมนต์ชนิดนี้ส่วนมากจะไม่สูง จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ทำโครงสร้างที่รับแรง ปูนซีเมนต์ชนิดนี้เหมาะกับงานที่ต้องการความสวยงาม หรือทางด้านสถาปัตยกรรม เพราะสามารถใช้สีผสมให้เป็นสีที่ต้องการได้ เช่น ใช้ทำหินขัด หินล้าง เป็นต้น ปูนซีเมนต์ขาวที่ผลิตในประเทศไทย ได้แก่

ก. ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ

เป็นปูนซีเมนต์ขาวผสม ที่มีสมบัติด้านการยึดเกาะที่ดี และมีระยะเวลาแห้งตัวที่เหมาะสมในการตกแต่งผลงาน เช่นเดียวกับปูนซีเมนต์เทาผสมงานฉาบ แต่เหนือกว่าด้วยเนื้อปูนสีขาวบริสุทธิ์ที่ให้ความสวยงามเป็นธรรมชาติ อีกทั้งสามารถผสมสีสัน ประยุกต์ใช้วัสดุผสม และวิธีการตกแต่งผลงาน สามารถทำอย่างหลากหลาย จึงให้อิสระในการสร้างสรรค์งานฉาบ และงานตกแต่งอื่นๆ ควบคู่ไปกับผลงานที่มีคุณภาพ และความประณีตสวยงาม สมบัติเด่น ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ เนื้อปูนเหนียวลื่น มีกำลังการยึดเกาะสูง ระยะเวลาแห้งตัวเหมาะสม ทำให้มีเวลาตกแต่งผลงานได้ประณีตสวยงาม มีการยืดหดตัวน้อย ไม่ก่อให้เกิดปัญหาหลุดล่อนแตกร้าวในภายหลัง เนื้อปูนมีสีขาวบริสุทธิ์ ด้วยความขาวร้อยละ 93 (Hunter's Method) ให้สีสันตรงความต้องการ เมื่อผสมกับสี

ฝุ่น ขนาดบรรจุ 20 กิโลกรัมต่อถุง สามารถใช้งานในพื้นที่ 2 ตารางเมตร (m^2) ต่อถุง (ที่ความหนาไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร (cm.)) (โฮมมาร์ท, 2552)

รูปที่ 2.19 ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ
ที่มา : www.homemart.co.th

ข. ปูนซีเมนต์ขาวตราช้าง

เป็นปูนเหมาะสำหรับงานที่ใช้ในการตกแต่งพื้น ผนัง บ้าน และอาคาร รวมทั้งงานสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปประเภทต่างๆ เช่น อ่างอาบน้ำ อ่างล้างหน้า เคาน์เตอร์ แผ่นปูพื้น และผนังผ่านเทคนิควิธีในการสร้างสรรค์งานที่หลากหลาย เช่น งานเทอร์ราซโซ (งานหินขัด) งานแนชเชอรัลลุค (หินล้าง กรวดล้าง ทรายล้าง) งานหล่อ งานคอนกรีตขาว เป็นต้น ซึ่งสมบัติสีขาวบริสุทธิ์ของเนื้อปูนซีเมนต์ จึงสามารถเติมแต่งสีสันต่างๆ ด้วยสีฝุ่นได้ตรงตามความต้องการ สมบัติเด่นปูนซีเมนต์ขาวตราช้าง เนื้อปูนซีเมนต์แน่น ละเอียด มีกำลังการยึดเกาะสูง และรับแรงอัดได้สูง มีระยะเวลาแห้งตัวที่เหมาะสมสำหรับการทำงาน และการตกแต่ง เนื้อปูนมีสีขาวบริสุทธิ์ ด้วยความขาวร้อยละ 93 (Hunter's Method) ให้สีสันที่ตรงตามความต้องการ เมื่อผสมกับสีฝุ่น ขนาดบรรจุ 40 กิโลกรัมต่อถุง มีพื้นที่ในการใช้งาน 4 ตารางเมตรต่อถุง (ที่ความหนาไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร) (โฮมมาร์ท, 2552)

รูปที่ 2.20 ปูนซีเมนต์ขาวตราช้าง
ที่มา : www.homemart.co.th

2.3.4.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (Portland Pozzolan Cemant) ได้จากการเผาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan Materials) วัสดุปอซโซลาน คือ วัสดุที่มีซิลิกา และอะลูมินาที่ละเอียด โดยตัวของวัสดุไม่มีสมบัติเชื่อมประสาน แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และน้ำที่อุณหภูมิปกติจะได้สารที่มีสมบัติเชื่อมประสาน วัสดุปอซโซลาน ได้แก่ ดินเหนียวเผา เถ้าถ่านหิน (Fly Ash) ซิลิกาฟูม (Silica Fume) และเถ้าแกลบที่บดละเอียด เป็นต้น ซิลิกาในวัสดุปอซโซลานต้องอยู่ในรูปอสัณฐาน (Amorphous) คือ ไม่เป็นผลึก เพราะถ้าเป็นผลึก ซิลิกาจะเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยา การผสมวัสดุปอซโซลานลงในปูซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ส่วนมากแล้ว จะทำให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลง กำลังระยะแรกลดลง เพิ่มความสามารถในการต้านทานสารละลายซัลเฟต ลดปฏิกิริยาอัลคาไลซิลิกา (Alkali – Silica Reaction) ปริมาณวัสดุปอซโซลานที่ใช้อยู่ระหว่างร้อยละ 15 – 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน การใช้วัสดุปอซโซลาน นอกจากจะเป็นการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังทำให้ปูนซีเมนต์ราคาถูกลงด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผลิตในประเทศไทยได้แก่

ก. ปูนซีเมนต์ตราช้าง คือ ปูนซีเมนต์ชนิดธรรมดา ผลิตตามมาตรฐานอังกฤษ คือ Oridinary Portland Cement : 1058 และตามมาตรฐานของอเมริกัน คือ ASTM C – 150 – 53 type I ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไปตามความนิยมของผู้ออกแบบ เพราะแรงที่เกิดขึ้น โดยปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงแรงมากขึ้น หรือน้อยลงตามส่วนของน้ำ และปูนซีเมนต์ที่ใส่ลงในคอนกรีต หรือปูนทราย ถ้าใช้คอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์ไม่น้อยกว่า 350 กิโลกรัมต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตรของคอนกรีต แรงที่เกิดขึ้นใน 14 วันที่บ่มไว้ดีจะขึ้นถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของแรงทั้งหมด เมื่ออายุ 90 วัน

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สีขาวตราช้างของบริษัทปูนซีเมนต์ไทยจำกัด มีสมบัติเทียบเท่ากับปูนซีเมนต์สีเทาตราช้างของบริษัทเดียวกัน วัตถุดิบในการผลิตมีหิน สบู่หิน และ

ทราย โดยนำวัตถุทั้งสามชนิดมารวมกันตามอัตราส่วน บดให้ละเอียดแล้ว นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,500 องศาเซลเซียส จนละลายเข้าด้วยกัน และจับเป็นเม็ดเรียกว่า ปูนเม็ด ต่อจากนั้น นำไปบดให้ละเอียดอีกครั้งหนึ่ง จนละเอียดเป็นแป้ง จะได้ปูนซีเมนต์ขาวตามต้องการ ปูนซีเมนต์ขาวใช้ในการทำหินขัด ปูกระเบื้องพื้นห้องน้ำ หรือกรุกระเบื้องฝาผนัง ยาแนวกระเบื้องห้องน้ำ เป็นต้น โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ขาวตราช้างของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด อยู่ที่อำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี มีกำลังผลิตประมาณ 50,000 ตันต่อปี

ข. ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเศียรเดียว เป็นปูนซีเมนต์ชนิดปอร์ตแลนด์ ซึ่งมีคุณภาพตามมาตรฐานของอเมริกัน คือ Federal Specification SS.C. 192 b และ ASTM C – 150 – 60 และมาตรฐานอังกฤษ B.S.12 : 1958 ถุงกระดาษที่ใช้บรรจุปูนซีเมนต์แบบนี้พิมพ์ด้วยสีเขียว

ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเศียรเดียวมีคุณภาพสูง เหมาะสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องการกำลังสูงๆ การใช้ปูนซีเมนต์ตรานี้ ทำให้ลดค่าใช้จ่ายลง เพราะทุนค่าปูนซีเมนต์น้อยกว่าใช้ปูนซีเมนต์ตราอื่นๆ ในท้องตลาด เช่น ถ้าต้องการกำลังคอนกรีต 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ตามเทศบัญญัติแล้ว จะใช้ปูนขนาดนี้เพียง 5.5 ถุง (275 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรคอนกรีต)

ค. ปูนซีเมนต์ตราเพชร เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผลิตตามกำหนดรายการมาตรฐานอเมริกัน ASTM C – 150 type I เหมาะสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องการกำลังสูง ซึ่งใช้ในการก่อสร้างทั่วไป ตลอดจนการทำผลิตภัณฑ์คอนกรีตทุกชนิด เช่น ทำกระเบื้องกระดาษ กระเบื้องคอนกรีตคุณภาพสูง เสาคอนกรีตทุกประเภท ผนัง และชิ้นส่วนอาคารสำเร็จรูป และผลิตภัณฑ์คอนกรีตอัดแรง เป็นต้น สิ่งก่อสร้าง และผลิตภัณฑ์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ชนิดนี้จะมีคุณภาพสูง เพราะการแข็งตัว และกำลังที่เกิดขึ้นเป็นไปโดยสม่ำเสมอตามมาตรฐาน

ง. ปูนซีเมนต์ตราพญานาค 7 เศียร เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เหมือน Type I แต่ในกระบวนการผลิตมีการผลิตขึ้นเป็นพิเศษ ซึ่งเกิดความร้อนขณะผสมต่ำกว่าปูนชนิดอื่น มีคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C – 130 – 60 และ B.S.1370 : 1958 ถุงกระดาษใช้บรรจุปูนซีเมนต์แบบนี้พิมพ์ด้วยสีเขียวเช่นกัน

การใช้ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ตราพญานาค 7 เศียรนี้ มีคุณภาพเหมือนกับ Type I แต่ผลิตเป็นพิเศษในเชิงเคมี เพื่อให้ปูนซีเมนต์เกิดความร้อนขึ้นช้าๆ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ เหมาะสำหรับงานที่ต้องการเทคอนกรีตคราวละมากๆ และกำแพงหนาๆ ซึ่งไม่ทำให้เกิดการแตกร้าว เช่น กำแพงคอนกรีตคราวละมากๆ และกำแพงหนา โดยไม่ทำให้เกิดการแตกร้าว เช่น กำแพงคอนกรีตกันดิน เขื่อนคอนกรีตสูงๆ เช่น เขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก ถังน้ำประปา และโรงประปาที่สามเสน ได้ใช้ปูนซีเมนต์แบบนี้

จ. ปูนซีเมนต์ตราปลาฉลาม เป็นปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้น เพื่อใช้ผสมคอนกรีตทำให้มีความแกร่งไม่สึกกร่อน หรือสลายตัว เมื่อคอนกรีตนี้ถูกต้องกับน้ำเกลือ เหมาะสำหรับใช้เทในดิน หรือในบริเวณที่มีส่วนผสมของน้ำเกลืออยู่ด้วย มีคุณภาพตามมาตรฐานของ Federal

Specification SS.C. 192 b และ ASTM C – 150 – 60 ถุงกระดาษที่ใช้บรรจุปูนซีเมนต์แบบนี้พิมพ์ด้วยสีดำ

การใช้ปูนซีเมนต์ตราปลาฉลามชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้ในงานคอนกรีตที่อยู่กับดินเค็ม เช่น ที่ชายฝั่งทะเล ใช้ผสมงานอัดฉีดน้ำปูน (Fountion Grouting) เข้าไปในฐานรากหิน งานอัดฉีดน้ำปูนเข้าไปในชั้นหิน เป็นการประสาน และทำให้รอยร้าวหายไป ช่วยเพิ่มกำลังของหินฐานราก

2.3.4.4 ปูนซีเมนต์ก่อตัว และแข็งตัวเร็ว

การเกิดสารเอททริงไกต์ (Ettringite) ในปริมาณมาก สามารถทำให้ปูนซีเมนต์ก่อตัวได้ภายในเวลา 2 – 45 นาที และมีกำลังได้ภายใน 1 – 2 ชั่วโมง ปูนซีเมนต์ก่อตัว และแข็งตัวเร็ว (Rapid Setting and Hardening Cement) จะมียิปซัม หรือแคลเซียมฟอสโฟอะลูมิเนตผสมอยู่เป็นจำนวนมาก ปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์นี้จะทำให้เกิดความร้อน และเกิดเอททริงไกต์ขึ้นจำนวนมาก ก่อนแคลเซียมซิลิเกตได้ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) จะมีกำลังได้รวดเร็ว และปฏิกิริยาแคลเซียมซิลิเกตจะเกิดขึ้นภายหลัง ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เหมาะสำหรับงานซ่อมแซมที่ต้องใช้งานอย่างเร่งด่วน ปูนซีเมนต์ก่อตัว และแข็งตัวเร็วที่ผลิตในประเทศไทยได้แก่

ก. ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณ คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดแข็งตัว และรับแรงได้เร็วผลิตตามมาตรฐานอังกฤษ คือ Rapid Hardening Portland Cement B.S. 12 : 1958 และตามมาตรฐานอเมริกัน คือ ASTM C – 150 – 63 type III

ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณนี้ เหมาะสำหรับใช้ในงานคอนกรีต หรือปูนทรายที่จะให้รับแรงได้เร็วขึ้น ทุ่นเวลาการถอดแบบรับกำลังได้มาก แต่ต้องบ่มให้ดี ใช้ในงานก่อสร้างที่ต้องการให้คอนกรีตรับแรงได้เร็ว และรับน้ำหนักได้เร็วขึ้น แทนที่จะรอให้คอนกรีตภายหลังการเท 21 วัน ดังเช่น กรณีใช้ปูนซีเมนต์ตราเสือบ่ม 14 วัน เช่น กรณีใช้ปูนซีเมนต์ตราช้างบ่ม 14 วัน แต่ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณลดเวลาเหลือเพียง 7 วันสำหรับใช้เข็ม และคานเหลือ 3 วันสำหรับถอดแบบเสาธรรมดา

ข. ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเศียรเดียว สีแดง ชนิดแข็งตัวเร็ว เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ผลิตขึ้นใช้กับคอนกรีตที่ต้องการให้แข็งตัวเร็ว และรับน้ำหนักได้เร็วกว่าปูนแบบอื่น มีคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C – 150 – 50 และ B.S. 12 : 1958 ถุงกระดาษที่ใช้บรรจุปูนซีเมนต์แบบนี้พิมพ์ด้วยสีแดง

ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเศียรเดียว สีแดง ชนิดแข็งตัวเร็ว มีส่วนประกอบในปูนซีเมนต์ ซึ่งเมื่อใช้ผสมในคอนกรีตแล้ว ทำให้แข็งตัวเร็วขึ้น และรับน้ำหนักได้เร็วกว่าใช้ปูนซีเมนต์ชนิดอื่น ปูนซีเมนต์แบบนี้เหมาะสำหรับใช้ในงานหล่อฐานรากที่มีน้ำซึม งานคอนกรีตที่เทในน้ำ งานหล่อเข็มคอนกรีต และงานหล่อเสาไฟฟ้าสูงๆ เป็นต้น เพราะถอดแบบได้เร็วกว่าใช้ปูนซีเมนต์ชนิดอื่น

ค. ปูนซีเมนต์ตราสามเพชร เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เกิดแรงสูงเร็วผลิตตามกำหนดรายการมาตรฐานอเมริกัน ASTM C – 150 type III ปูนซีเมนต์ชนิดนี้จะมีเนื้อที่ละเอียด

กว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา จึงเกิดแรงสูงเร็วกว่า เหมาะสำหรับใช้ในการก่อสร้างที่ต้องการกำลังสูง และต้องกระทำอย่างเร่งรีบ เช่น ทำเสาเข็มคอนกรีตให้ใช้ตอกลงดินได้เร็ว ใช้หล่อคาน หรือเสาให้ถอดแบบได้เร็ว และใช้ทำสิ่งก่อสร้างเพื่อให้ใช้งานได้เร็ว เป็นต้น

2.3.5 ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ

ปฏิกิริยาระหว่างปูนกับน้ำทำให้เกิดความร้อน เกิดการก่อตัว และแข็งตัวของซีเมนต์เพสต์ ปฏิกิริยาไฮเดรชันขึ้นอยู่กับสารประกอบในปูนซีเมนต์ สารประกอบเหล่านี้จะทำปฏิกิริยา และมีอิทธิพลต่อกัน และกัน ทำให้ปฏิกิริยาได้รับความผิดแผกไปบ้างจากปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบในสภาพพลาสติก และในสภาพแข็งตัวแล้ว ดังนั้น ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารประกอบกับน้ำจึงเป็นเรื่องสำคัญ และสามารถนำไปอธิบายปฏิกิริยาระหว่างปูนกับน้ำได้ดี

2.3.5.1 แคลเซียมซิลิเกต

ไตแคลเซียมซิลิเกต และไดแคลเซียมซิลิเกตเป็นสารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ เมื่อผสมกับน้ำจะทำปฏิกิริยาได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate : $3CaO.2SiO_2.3H_2O$: CSH โดยอัตราส่วนของ CaO, SiO_2 และ H_2O เป็นค่าโดยประมาณ) และได้ธาตุแคลเซียมไฮดรอกไซด์

2.3.5.2 แคลเซียมอลูมิเนต และเฟอร์ไรต์

ไตรแคลเซียมอลูมิเนต ทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างรวดเร็ว และได้แคลเซียม-อะลูมิเนตไฮเดรต (Calcium Aluminate Hydrate, CAH)

ปฏิกิริยาของ C_2AF คล้ายกับปฏิกิริยาของ C_3A แต่เกิดขึ้นช้ากว่า และมีความร้อนของปฏิกิริยาน้อยกว่า สารประกอบเหล็กออกไซด์จะทำปฏิกิริยาคล้ายกับอะลูมิเนียมออกไซด์ และสามารถแทนที่กันได้ ยิปซัมจะหน่วงปฏิกิริยาของ C_4AF มากกว่าจะหน่วงปฏิกิริยา C_3A ปฏิกิริยาระหว่าง C_4AF และเป็นยิปซัม ทำให้เกิดธาตุแคลเซียมซัลโฟอะลูมิเนียม และซัลโฟเฟอร์ไรต์ ($C_6(A, F)\bar{S}_3H_{32}$) ผลผลิตนี้ลักษณะเหมือนเข็ม ซึ่งคล้ายเอททริงไกต์ และทำนองเดียวกับเอททริงไกต์ ($C_6(A, F)\bar{S}_3H_{32}$) สามารถทำปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ที่มีซัลเฟตต่ำ จากประสบการณ์พบว่า ปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณ C_4AF และมากกว่า C_3A สามารถทนทานต่อการทำละลายของซัลเฟตได้ดี แสดงว่าการเปลี่ยนกลับเป็นเอททริงไกต์จากแคลเซียมโมโนซัลโฟอะลูมิเนตที่เกิดจาก C_4AF ไม่เกิดขึ้น

2.3.5.3 ปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์กับน้ำ

สารประกอบของปูนซีเมนต์ เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะมีอิทธิพลต่อกัน และกัน เช่น ทั้ง C_3A และ C_4AF จะแย่งอิออนของซัลเฟต ในขณะที่ C_3A ซึ่งมีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยามากกว่าจะแย่งชิงอิออนของซัลเฟตได้มากกว่า เป็นผลให้ C_4AF ไม่ถูกหน่วงการทำปฏิกิริยามากเท่ากับ C_3A นอกจากนี้ ในปูนซีเมนต์ยังมีสารประกอบอื่นปะปนอยู่ ซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาได้ เนื่องจากปูนซีเมนต์

มี C_3S ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้น ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ มีลักษณะเหมือนปฏิกิริยาระหว่าง C_3S กับน้ำ

2.3.5.4 โครงสร้างของซีเมนต์เพสต์

ส่วนประกอบของซีเมนต์เพสต์ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน พบว่า โครงสร้างระดับจุลภาคของซีเมนต์มีช่องว่าง หรือโพรงมาก พบเอททริงไกต์มีลักษณะเป็นเข็มยาวเกิดรอบเม็ดปูน และขยายเข้าไปในช่องว่างที่อายุ 28 วัน ผลิตผลไฮเดรชันประกอบด้วยแคลเซียม-ซิลิเกตไฮเดรต, แคลเซียมไฮดรอกไซด์, แคลเซียมซัลโฟอะลูมิเนต และซัลโฟเฟอร์ไรด์ และส่วนประกอบย่อยอื่นอีกไม่มาก ขยายเข้าไปในโพรง หรือช่องว่างมากขึ้นทำให้ซีเมนต์เพสต์มีความหนาแน่นมากขึ้น โดยเฉพาะที่อายุ 90 วัน ซีเมนต์เพสต์มีโครงสร้างที่แน่นยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ในตัวของซีเมนต์เพสต์ยังประกอบด้วยเม็ดซีเมนต์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา โพรงคาปิลารี (Capillary Pore) และโพรงอากาศอีกด้วย

ก. แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต มีปริมาณมากที่สุดในส่วนประกอบของซีเมนต์เพสต์ถึงร้อยละ 50 – 70 โดยปริมาตร และอยู่ในรูปอนุภาคเล็กๆ มีขนาดประมาณเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร (Micrometer : μm) และมีลักษณะเป็นผลึกที่หยาบมาก อัตราส่วนของแคลเซียมต่อซิลิ-เกตในแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตไม่คงที่ขึ้นอยู่กับอายุ อุณหภูมิ และปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยา

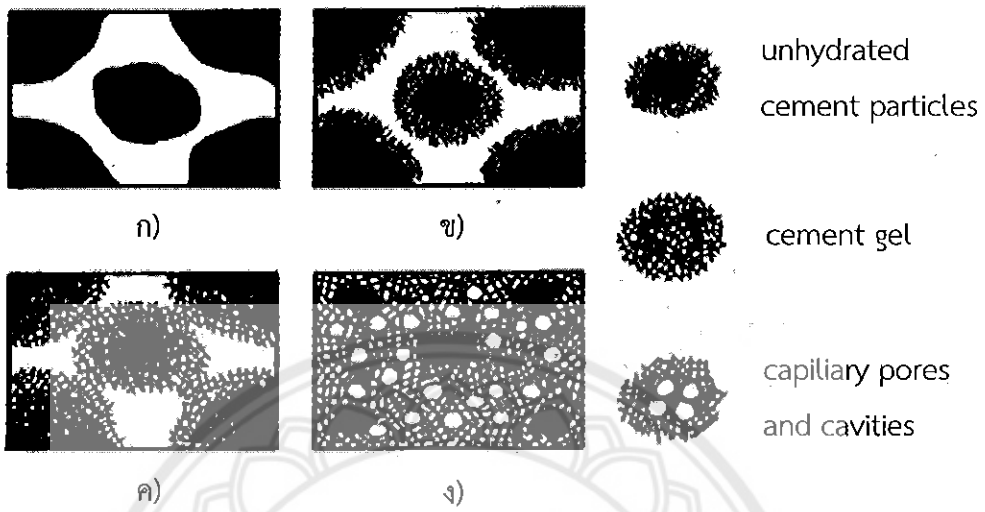
ข. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซีเมนต์เพสต์ประกอบด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณร้อยละ 20 – 25 โดยปริมาตร เป็นผลึกรูปร่างหลายแบบ มีทั้งผลึกเล็กที่มีด้านเท่า ผลึกใหญ่ที่ลักษณะเป็นแผ่น ผลึกแบบยาว แคลเซียมไฮดรอกไซด์นี้เป็นสารประกอบที่ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีความคงทนลดลง และการให้กำลังของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ยังต่ำกว่าแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) อีกด้วย

ค. แคลเซียมซัลโฟอะลูมิเนต มีอยู่ประมาณร้อยละ 10 – 15 โดยที่แคลเซียม-ซัลโฟอะลูมิเนต หรือเอททริงไกต์เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มผสม ปูนกับน้ำมีลักษณะเป็นเข็มยาวเกิดขึ้นรอบเม็ดปูน และขยายตัวเข้าในช่องว่าง เอททริงไกต์จะพยายามดันส่วนที่ล้อมรอบอยู่ออก ถ้าเกิดเอททริงไกต์ตอนที่ซีเมนต์เพสต์ยังเหลวจะไม่มีปัญหา แต่ถ้าเกิดตอนซีเมนต์เพสต์แข็งแล้วก็จะเกิดรอยร้าวได้

ง. เม็ดปูนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปแล้วเม็ดปูนจะมีขนาดตั้งแต่ 1 ถึง 50 ไมโครเมตร และเป็นส่วนน้อยที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 ไมโครเมตรขึ้นไป เม็ดปูนซีเมนต์ขนาดเล็กสามารถทำปฏิกิริยาได้ดี และทำปฏิกิริยาได้หมด ขณะที่เม็ดปูนขนาดใหญ่ต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา ถึงแม้ว่าปฏิกิริยายังคงมีต่อไป และผลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้นจะขยายเข้าสู่ช่องว่างที่เหลืออยู่ แต่เนื่องจากช่องว่างระหว่างอนุภาคมีจำกัด ดั้งนั้นเม็ดปูนที่ทำปฏิกิริยาไม่หมดยังคงมีอยู่ในซีเมนต์เพสต์

จ. ความพรุนของซีเมนต์เจล (Porosity) และประกอบด้วยโพรงเล็กๆ ตั้งแต่เล็กกว่า 0.0005 ไมโครเมตรถึง 10 ไมโครเมตรขึ้นไป และความกว้างของโพรงจะกำหนดพฤติกรรมของน้ำที่อยู่ภายในโพรง โดยทั่วไป สามารถแบ่งโพรงออกเป็น 2 ชนิด คือ โพรงของเจล (Gel Pore)

และโพรงคาปิลาริ โพรงของเจลมีขนาด 0.0005 ถึง 0.01 ไมโครเมตร ส่วนโพรงคาปิลาริมีขนาดใหญ่กว่า คือประมาณ 0.01 ถึง 10 ไมโครเมตร และเป็นส่วนของช่องว่างของน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์



รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะความพรุนของซีเมนต์ของซีเมนต์เพสต์
ก) Immediately after mixing
ข) Reaction around particles – early stiffening
ค) Formation of skeletal structure – first hardening
ง) Gel infilling – later hardening
ที่มา : www.tpipolene.co.th

2.3.5.5 การบ่ม และการป้องกันคอนกรีตที่เทในสภาพอากาศร้อน

ที่อุณหภูมิสูงปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ทำให้คอนกรีตเกิดการก่อตัว และแข็งแรงขึ้น เป็นผลให้กำลังของคอนกรีตที่อายุมากขึ้นไม่สูงเท่าที่ควร เนื่องจากโครงสร้างของปูนซีเมนต์ก่อตัวอย่างรวดเร็ว และไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ถ้าอุณหภูมิสูง และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ การระเหยของน้ำในคอนกรีตสดจะเกิดขึ้นได้ง่าย ซึ่งนำไปสู่การแตกร้าว เนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตในสภาพพลาสติก (Plastic Shinkage Crack) และการแตกลายงาได้

การเทคอนกรีตที่อุณหภูมิสูง จึงควรลดอุณหภูมิของคอนกรีตสดให้ไม่เกิน 20 ถึง 30 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิต่ำจะยิ่งดีต่อการพัฒนากำลัง นอกจากนี้ ต้องทำกำบังลม และกำบังแดด ควรที่จะพ่นละอองน้ำให้ชื้น และป้องกันการแห้งตัวของผิวหน้าคอนกรีตก่อนคอนกรีตจะแข็งตัว ควรทำการบ่มคอนกรีตให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้ การรดน้ำบนคอนกรีต นอกจากจะเป็นการบ่มแล้ว ยังสามารถลดความร้อนของคอนกรีตได้ด้วย (ปริญญา และชัย, 2549)

2.3.5.6 การแยกตัว (Seggregation) และการเยิ้มน้ำ (Bleeding)

ก. การแยกตัว

การแยกตัวของคอนกรีต หมายถึงการที่ส่วนผสมของคอนกรีตไม่สม่ำเสมอ ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากการแยกตัวของมวลรวมที่มีขนาดใหญ่ออกจากมอร์ต้าร์ (Mortar) การแยกตัวของคอนกรีต สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ แบบแรก คือ การที่มีมวลรวมขนาดใหญ่ เช่น หิน ซึ่งมีน้ำหนักมาก มีแนวโน้มที่จะแยกออกมาจากส่วนผสม เนื่องจากสามารถกลิ้งไปได้ไกลกว่าส่วนผสมอื่น ในขณะที่เทคอนกรีตลงในที่มีความลาดชัน การแยกตัวกรณีนี้เกิดได้ง่ายในคอนกรีตที่ค่อนข้างแห้ง และมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ค่อนข้างน้อย การแยกตัวแบบที่สองเกิดจากการแยกตัวของซีเมนต์เพสต์ออกจากมวลรวม เนื่องจากส่วนผสมเหลวเกินไป หรือมีการเร่งเขย่านานเกินไปจนมวลรวมจมลงสู่ก้นแบบ ขณะที่ซีเมนต์เพสต์ลอยอยู่ด้านบน (ปริญญา และชัย, 2549)

การลดการแยกตัวสามารถทำได้ โดยการเลือกขนาดคละของมวลรวมที่ดี ออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตให้มีการเกาะตัวกันสูง และมีการควบคุมการขนส่ง มีการเทเข้าแบบและการอัดแน่น หรือเร่งเขย่าที่ถูกต้อง ไม่ควรเทคอนกรีตจากระดับสูงลงในแบบหล่อโดยตรง เพราะทำให้เกิดการแยกตัวระหว่างหินออกจากน้ำปูนได้ง่าย ถ้าจำเป็นควรมีราง หรือท่อส่งไปยังแบบหล่อ การเทคอนกรีตที่มีสิ่งกีดขวาง เช่น คอนกรีตที่เหล็กเสริมหนาแน่น อาจทำให้เกิดการแยกตัวได้ เพราะหินอาจติดอยู่กับเหล็ก ทำให้เกิดปัญหาความไม่สม่ำเสมอของการกระจายตัวของคอนกรีต ไม่ควรเทคอนกรีตลงบนที่เดียว แล้วใช้เครื่องเร่งเขย่าเป็นเครื่องมือในการเกลี่ยคอนกรีตให้ไหลไปในส่วนอื่น เพราะจะทำให้น้ำปูน หรือมอร์ต้าร์ไหลไปได้ไกลกว่าหิน และในการอัดแน่นโดยเครื่องเขย่าไม่ควรใช้เวลานานเกินไป เพราะทำให้มวลรวมที่มีน้ำหนักมากจมลงสู่ก้นแบบ ขณะที่ด้านบน โดยเฉพาะที่ผิวหน้าจะเป็นชั้นของน้ำปูน และส่งผลทำให้ผิวหน้าคอนกรีตอ่อนแอ (ปริญญา และชัย, 2549)

การวัดค่าการแยกตัวของคอนกรีตเป็นสิ่งที่กระทำได้ยาก แต่สามารถสังเกตได้ง่ายด้วยตา หากคอนกรีตมีปัญหาของการแยกตัว เนื่องจากการเร่งเขย่า วิธีทดสอบที่ทำได้ง่าย คือ การนำคอนกรีตที่ต้องการใช้งานใส่แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก หรือรูปลูกบาศก์มาตรฐาน หลังจากนั้น เร่งเขย่าเป็นเวลาประมาณ 10 นาที จึงนำคอนกรีตออกจากแบบ และแยกคอนกรีตออกเป็นสองซีก เพื่อดูการกระจายตัวของหิน ว่ามีการแยกตัวมากน้อยเพียงใด

ข. การเยิ้มน้ำ

การเยิ้มน้ำของคอนกรีต จัดเป็นการแยกตัวชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นการแยกตัวของน้ำออกจากคอนกรีต น้ำเป็นส่วนผสมที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำที่สุดในคอนกรีต และน้ำบางส่วนสามารถลอยขึ้นสู่ผิวบนหน้าของคอนกรีต เนื่องจากส่วนผสมอื่นที่เป็นของแข็งไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้หมด การเยิ้มน้ำของคอนกรีตทำให้ส่วนบนของคอนกรีตมีกำลังต่ำกว่าส่วนล่าง โดยเฉพาะที่บริเวณผิวที่มีน้ำมาก ในบางครั้งน้ำจะพาเอาปูนซีเมนต์ที่มีขนาดเล็กติดมาด้วย และถ้าการเยิ้มน้ำเกิดในปริมาณมาก เมื่อคอนกรีตแห้งจะทำให้เกิดผิวที่มีรูพรุน และไม่แข็งแรง ทำให้หลุดออกเป็นฝุ่นได้ง่าย เรียกชั้นของผิวชนิดนี้ว่า ฝ้าน้ำปูน (Laitance) ซึ่งต้องทำการล้าง หรือขัดออกด้วยแปรงลวดก่อนการเท

คอนกรีตชั้นต่อไป เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาจากฝ้าน้ำปูน จึงควรทำการตกแต่งผิวหน้าคอนกรีต เพื่อขจัดน้ำที่เยิ้มบนผิวหน้าคอนกรีตออกไป ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดชั้นคอนกรีตที่ไม่แข็งแรง โดยทั่วไปจะทิ้งให้น้ำที่เยิ้มออกมาระเหยไปก่อน แล้วจึงทำการปาดหน้าตกแต่งผิวหน้าคอนกรีต แต่ถ้าการระเหยเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าการเยิ้มน้ำจะทำให้เกิดรอยแตกร้าว เนื่องจากการหดตัว เมื่ออยู่ในสภาพพลาสติก ดังนั้นการเทคอนกรีตทับอีกชั้นหนึ่ง โดยที่ไม่ได้ขจัดน้ำที่เยิ้มออกไป อาจเป็นการขังน้ำที่เยิ้มภายใต้คอนกรีตชั้นบน ทำให้ส่วนบนของคอนกรีตชั้นล่างมีรูพรุน ไม่ทนทาน และลดความแข็งแรง (ปริญญา และชัย, 2549)

นอกจากนี้ ถ้ามีสิ่งกีดขวาง การลอยขึ้นของน้ำมายังผิวด้านบน เช่น มวลรวมที่มีขนาดใหญ่ หรือเหล็กเสริม จะทำให้มีน้ำถูกขังอยู่ภายใต้สิ่งกีดขวางเหล่านี้ ทำให้เกิดช่องว่าง หรือทำให้น้ำปูนบริเวณนั้นไม่แข็งแรง และเป็นผลให้แรงยึดเหนี่ยว (Bond) ระหว่างคอนกรีต และเหล็กเสริมลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีต และเหล็กที่อยู่ด้านล่าง ซึ่งไม่มีปัญหาของการเยิ้มน้ำ

วิธีการทดสอบการเยิ้มน้ำของคอนกรีต สามารถทำตามมาตรฐาน ASTM C – 232 – 12 ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 ทดสอบตัวอย่างที่บรรจุในภาชนะ โดยทำการกระทุ้งแน่น และทำการวัดปริมาณน้ำที่เยิ้มออกมาอยู่ที่ผิวหน้าคอนกรีต โดยวัดทุก 10 นาที ในช่วง 40 นาทีแรก หลังจากนั้น ทำการวัดทุก 30 นาที

วิธีที่ 2 ทดสอบตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในภาชนะ โดยทำการเขย่าแน่น และหลังจากนั้น เขย่าเป็นช่วงๆ โดยการเปิดเครื่องสั่น หรือโต๊ะเขย่า เป็นเวลา 3 วินาที และปิดเป็นเวลา 30 นาทีสลับกันไป และทำการวัดการเยิ้มน้ำของคอนกรีตหลังจาก 1 ชั่วโมง

การทดสอบวิธีแรก เป็นการจำลองการวัดการเยิ้มน้ำของคอนกรีตที่เทเข้าแบบหล่อแล้ว และไม่ถูกเขย่าเพิ่มเติม ส่วนวิธีที่สอง เป็นการทดสอบคอนกรีตที่เทเข้าแบบหล่อแล้ว และถูกเขย่าเพิ่มเติมอีกเป็นระยะๆ

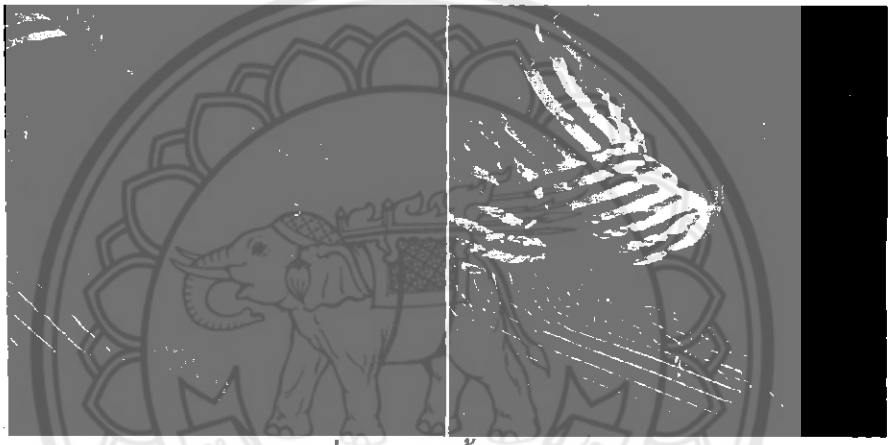
2.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก

เซรามิกเป็นผลิตภัณฑ์โดยทั่วไปที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ถ้วย จาน ชาม สุขภัณฑ์ ตลอดจนอุปกรณ์เครื่องใช้ชนิดต่างๆ ผลิตภัณฑ์เซรามิกจะมีลักษณะรูปทรงที่แตกต่างกันออกไปตามชนิดของการใช้งาน ดังนั้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์เซรามิกมีการขึ้นรูปที่แตกต่างกันออกไป เพื่อให้ได้รูปทรงตามความต้องการต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งการขึ้นรูปโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

2.4.1 **การขึ้นรูปโดยอาศัยความเหนียว** (Plastic Forming)

เนื้อดินปั้นมีการผสมดินกับวัตถุดิบอื่นๆ และทำการนวดดินให้เข้ากัน หลังจากนั้น นำไปขึ้นรูป หรืออาจผสมอยู่ในรูปของน้ำดิน แล้วนำไปกรองให้เป็นแผ่น ซึ่งการขึ้นรูปโดยอาศัยความเหนียว อาจแบ่งได้เป็นอีกหลายวิธีย่อยๆ เช่น

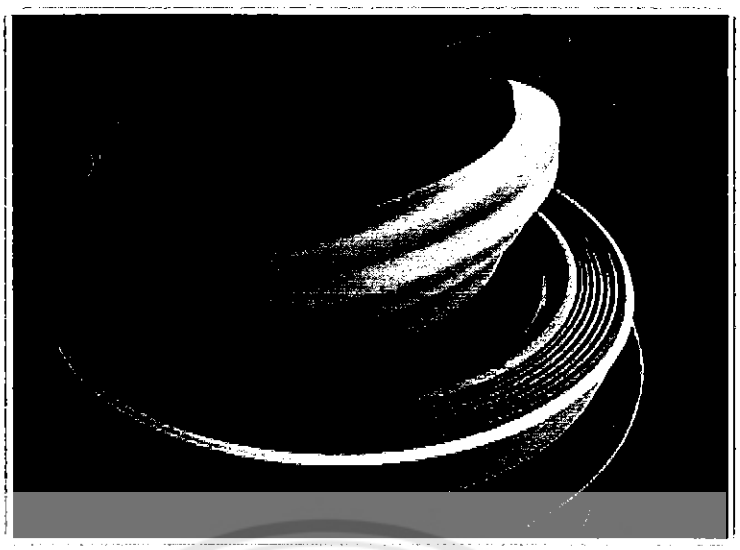
2.4.1.1 **การปั้นด้วยมือ** (Hand Forming) **เป็นวิธีขึ้นรูปอิสระที่สุด โดยผู้ปั้นมีการใช้มือและอุปกรณ์ต่างๆ เข้าช่วยในการปั้นดินให้เป็นรูปร่างตามต้องการ วิธีนี้สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ทุกรูปทรง แต่มีขนาดที่ไม่แน่นอน ต้องอาศัยเวลา และความชำนาญของผู้ปั้นเป็นอย่างมาก เช่น การดึงขึ้นรูป** (Throwing) **เป็นต้น ใช้กับงานศิลปะ หรืองานหัตถกรรมพื้นบ้านที่ไม่ต้องการกำลังการผลิตสูง** (Engineering Ceramics, 2549)



รูปที่ 2.22 การขึ้นรูปด้วยมือ

ที่มา : www.mne.eng.psu.ac.th

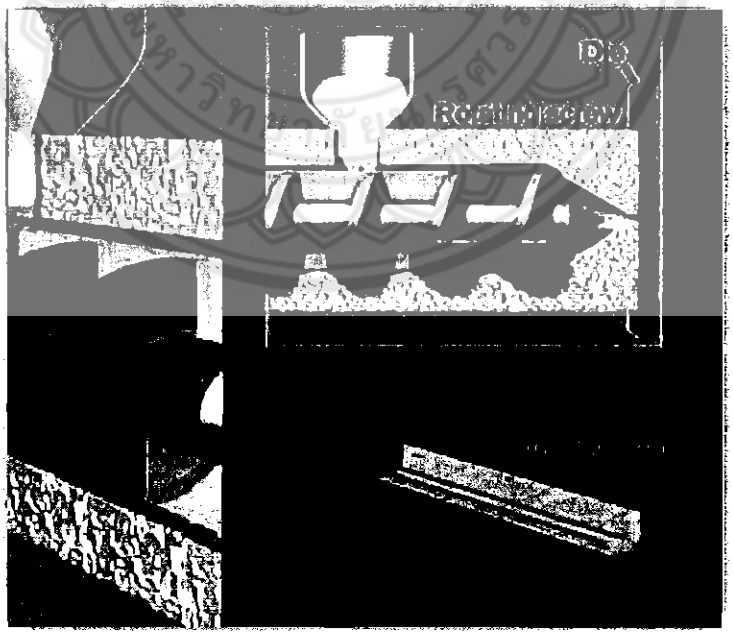
2.4.2.2 จิกเกอริ่ง (Jiggering) เป็นวิธีที่ใช้ในอุตสาหกรรม โดยนำแผ่น**เนื้อดินมาวางบนแบบปูนปลาสเตอร์** แล้วใช้ใบมีดกดรีดให้เนื้อดินได้รูปร่างตามต้องการ ใช้กับผลิตภัณ**ฑ์ที่มีรูปทรงกลมและแบน** เช่น จานชนิดต่างๆ **เป็นต้น** (Engineering Ceramics, 2549)



รูปที่ 2.23 การขึ้นรูปแบบจิกเกอริ่ง

ที่มา : www.hj-dragonchina.com

2.4.2.3 การรีด (Extrude) **วิธีนี้เป็นการนำดินมาผ่านเข้าเครื่องรีดให้ออกมาเป็นแท่งที่มีลักษณะยาว ซึ่งมีรูปหน้าตัดตามที่ออกแบบไว้ ส่วนใหญ่ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างเป็นแท่งยาวๆ เช่น ท่อ** (Tube) เป็นต้น (Engineering Ceramics, 2549)



รูปที่ 2.24 การขึ้นรูปโดยการรีด

ที่มา : www.mne.eng.psu.ac.th

2.4.2.4 การหล่อน้ำดิน (Casting) การหล่อเป็นวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ที่ไม่สามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องจิกเกอริ่ง หรือการอัดพิมพ์ การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อน้ำดินต้องอาศัยแบบพิมพ์ เหมาะสำหรับการผลิตชิ้นงานที่มีรายละเอียดมาก หรืองานที่ค่อนข้างซับซ้อน เช่น ชิ้นงานแกะสลัก ชิ้นงานที่มีรูปทรงเหลี่ยม หรือทรงอิสระต่างๆ เช่น เครื่องสุขภัณฑ์ ชิ้นงานประเภทตั้งโต๊ะที่มีรูปทรงภายในกลวง เช่น กาน้ำชา และกาแฟ แจกันต่างๆ วิธีการหล่อน้ำดิน มีกระบวนการผลิต และตกแต่งผิวให้เรียบช้ากว่าวิธีจิกเกอริ่ง ถ้าเป็นพิมพ์ขนาดใหญ่ หล่อได้วันละ 1 ชิ้นต่อพิมพ์ แต่ถ้าเป็นพิมพ์ขนาดเล็กหล่อได้วันละ 2 ชิ้นต่อพิมพ์ และที่สำคัญต้องเสียเวลาในการอบแห้งนาน ผลิตภัณฑ์มีน้ำในเนื้อดินมากจึงมีการหดตัวสูง (Engineering Ceramics, 2549)

รูปที่ 2.25 การขึ้นรูปโดยการหล่อน้ำดิน
ที่มา : www.bloggang.com

2.4.2 **การขึ้นรูปโดยไม่อาศัยความเหนียว** (Non Plastic Forming)

เป็นวิธีการที่เตรียมเนื้อดินให้อยู่ในลักษณะของผงที่มีลักษณะกลมๆ จากนั้น นำไปอัดด้วยเครื่องอัดแรงดันสูง เพื่อให้เกิดการยึดเกาะกันเป็นแผ่น วิธีนี้เป็นวิธีการขึ้นรูปที่ใช้น้ำน้อยที่สุด ทำให้ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งมีการหดตัวที่น้อยกว่าวิธีอื่นๆ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของรูปทรงที่ไม่สามารถขึ้นรูปที่ซับซ้อนได้ ส่วนใหญ่นิยมใช้ในการผลิตกระเบื้อง เช่น เครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic Press) เป็นต้น (Engineering Ceramics, 2549)

2.5 ทฤษฎีที่ใช้ในการทดลอง

2.5.1 ความหนาแน่น (Density)

เป็นการหาค่าความหนาแน่นของวัตถุ ซึ่งต้องคำนวณหามวลของวัตถุ และปริมาตรของวัตถุ เพื่อนำมาหาค่าความหนาแน่นของวัตถุ วิธีคำนวณแสดงดังสมการที่ 2.1

ความหนาแน่นของวัตถุ = มวลของวัตถุ / ปริมาตรของวัตถุ

$$D = \frac{m}{v} \qquad (2.1)$$

D = ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร, g / cm^3)

m = มวลของวัตถุ (กรัม, g)

v = ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร, cm^3)

2.5.2 ร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

2.5.2.1 เครื่องมือ

เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

2.5.2.2 วิธีทดสอบ

ทำเครื่องหมายไว้บนกระเบื้องแต่ละแผ่นแล้วอบที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ปล่อยให้เย็นในเดสิกเกเตอร์ จากนั้นนำมาแยกชั่งทีละแผ่น โดยน้ำหนักกระเบื้องที่ชั่งได้นี้ให้ถือเป็นน้ำหนักกระเบื้องแห้ง จากนั้นแช่กระเบื้องเหล่านี้จมอยู่ในน้ำกลั่นโดยให้น้ำกลั่นท่วมกระเบื้องตลอดเวลา แล้วปล่อยไว้ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง นำขึ้นซับน้ำที่เกาะติดอยู่ด้วยผ้าหมาดที่สะอาดแล้วรีบชั่งทันที โดยน้ำหนักกระเบื้องที่ชั่งให้ถือเป็นน้ำหนักหลังจากแช่น้ำ วิธีคำนวณแสดงดังสมการที่ 2.2

2.5.2.3 วิธีคำนวณ

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

W_w คือ น้ำหนักกระเบื้องหลังจากแช่น้ำ เป็นกรัม

W_d คือ น้ำหนักกระเบื้องแห้ง เป็นกรัม

2.5.3 ความแข็งแรงดัด (Bending Strength)

นำชิ้นงานไปทำการทดสอบด้วยเครื่อง Bending Strength หลังจากนั้น นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า Modulus of Rupture ซึ่งวิธีคำนวณแสดงดังสมการที่ 2.3

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

MOR = ค่าความแข็งแรงดัดของกระเบื้อง (ปาสคาล, Pa)

F = แรงที่กดทำให้แท่งทดลองหัก (นิวตัน, N)

L = ระยะห่างของแท่นรองรับชิ้นทดลอง (เมตร, m)

b = ความกว้างของชิ้นทดลอง (เมตร)

d = ความหนาของชิ้นทดลอง (เมตร)

2.5.4 ความสอบ

ความสอบ หมายถึงลักษณะด้านตรงข้ามของกระเบื้องสอบเข้าหากัน เนื่องจากความยาวของด้านตรงข้ามอีกคู่หนึ่งไม่เท่ากัน

ใช้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร วัดความยาวของด้านทั้ง 4 ของกระเบื้อง แล้วคำนวณหาความสอบแสดงดังสมการที่ 2.4

$$\text{ร้อยละความสอบ} = \frac{\text{ผลต่างของความยาวของด้านทั้งสองที่อยู่ตรงข้ามกัน} \times 100}{\text{ความยาวเฉลี่ยของด้านทั้งสองที่วัด}} \qquad (2.4)$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรรณิภา ปราณีต, นรินทร์ ขัตติวงศ์ และอรวรรยา ทิมอยู่ (2554) ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ โดยใช้น้ำร้อยละ 30, 35 และ 40 ตามลำดับ และเศษแก้วโซดาไลม์บดขนาด 3.35 – 1.68 มิลลิเมตร (6 – 12 Mesh) ผสมกับปูนซีเมนต์ขาวตราเสือในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ โดยทำการบ่มชิ้นงานเป็นระยะเวลา 14 วัน และ 28 วัน จากนั้นทำการทดสอบสมบัติทางกล และทางกายภาพ พบว่าน้ำมีอิทธิพลต่อความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงดัด การเพิ่มน้ำในปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดน้ำส่วนเกิน ซึ่งกระจายอยู่ในเนื้อชิ้นงาน จึงทำให้เกิดฟองอากาศในชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานไม่แข็งแรง การรับกำลังมีประสิทธิภาพลดลง ค่าความแข็งแรงดัดของชิ้นงานมีค่าลดลง อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 40 ส่งผลให้สมบัติทางกล และทางกายภาพ

ของชิ้นงานต่ำสุด ในขณะที่อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว ร้อยละ 30 ส่งผลให้สมบัติทางกล และทางกายภาพของชิ้นงานดีที่สุด ส่วนการเพิ่มปริมาณเศษแก้วโซดาไลม์ ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซึมน้ำเข้าไปในเนื้อชิ้นงานลดลง เนื่องจากชิ้นงานมีช่องว่างลดลง ส่งผลให้ร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงาน ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำสุด ส่งผลให้มีค่าความหนาแน่นสูงสุด ดังนั้นพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของเศษแก้วจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดัดของชิ้นงานต่ำ ส่วนระยะเวลาในการบ่มชิ้นงานนั้น ไม่มีผลต่อสมบัติทางกล และทางกายภาพของชิ้นงาน

สุชาดา คำกล่อม และชวลิต มากเมือง (2553) ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดา-ไลม์ ต่อปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ โดยใช้เศษแก้วโซดาไลม์บดขนาด 20 เมช และ 100 เมช มาผสมกับปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ ในอัตราส่วนผสม 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60 และ 50 : 50 ตามลำดับ จากนั้นนำส่วนผสมที่เตรียมไว้เทลงในแม่พิมพ์ขนาด 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร และปล่อยทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 10 – 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ แล้วทำการขัดผิวหน้าให้เรียบ จนสามารถมองเห็นผิวของเศษแก้วโซดาไลม์ ทำการบ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน ซึ่งจากการทดลองอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ที่มีผลต่อสมบัติทางกล และสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ขาว ตราเสือที่ใช้ในการผลิตกระเบื้องเซรามิก พบว่า การเพิ่มขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ มีผลต่อปูนซีเมนต์-ขาวตราเสือ นั่นคือ ขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำลดลง โดยพบว่า เศษแก้วโซดาไลม์ที่บดขนาด 100 เมช ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 50 : 50 ให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดสูงที่สุด นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาอิทธิพลอัตราส่วนผสม พบว่า การเพิ่มปริมาณเศษแก้วโซดาไลม์ในปูนซีเมนต์ขาว ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดมีค่าสูงขึ้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน (มอก. 613 – 2529) พบว่าค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบไม่เกินค่ามาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ ดังนั้น การผสมเศษแก้วโซดาไลม์กับปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ เพื่อผลิตเป็นกระเบื้องเซรามิก สามารถนำไปใช้งานได้จริง และเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของกระเบื้องเซรามิกในอนาคตต่อไป

สุกาญจน์ น้อยเจริญ (2549) ศึกษาสมบัติทางกล และทางกายภาพของแผ่นกระเบื้องปูนซีเมนต์ สมบัติของกระเบื้องที่ทำการศึกษา ได้แก่ กำลังดัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำของกระเบื้อง ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือ ปริมาณปูนซีเมนต์ ปริมาณทราย และปริมาณน้ำ ผลการศึกษา พบว่า กระเบื้องปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นมีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1.85 – 2.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Gram per Cubic Centimeter : g / cm^3) สมบัติการดูดซึมน้ำ แยกเป็นการดูดซึมน้ำในสภาพชื้น มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 7.29 – 14.17 การดูดซึมน้ำในสภาพแห้ง มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 9.98 – 16.18 และสมบัติการรับกำลังดัด มีค่าการรับกำลังดัดอยู่ระหว่าง 40.47 – 52.47 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Kilogram per Square Centimeter : ksc.) นอกจากนั้นพบว่า เมื่อปริมาณทรายในอัตราส่วนของดินเพิ่มมากขึ้นจะทำให้การดูดซึมน้ำลดลง ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น แต่กำลังดัดมี

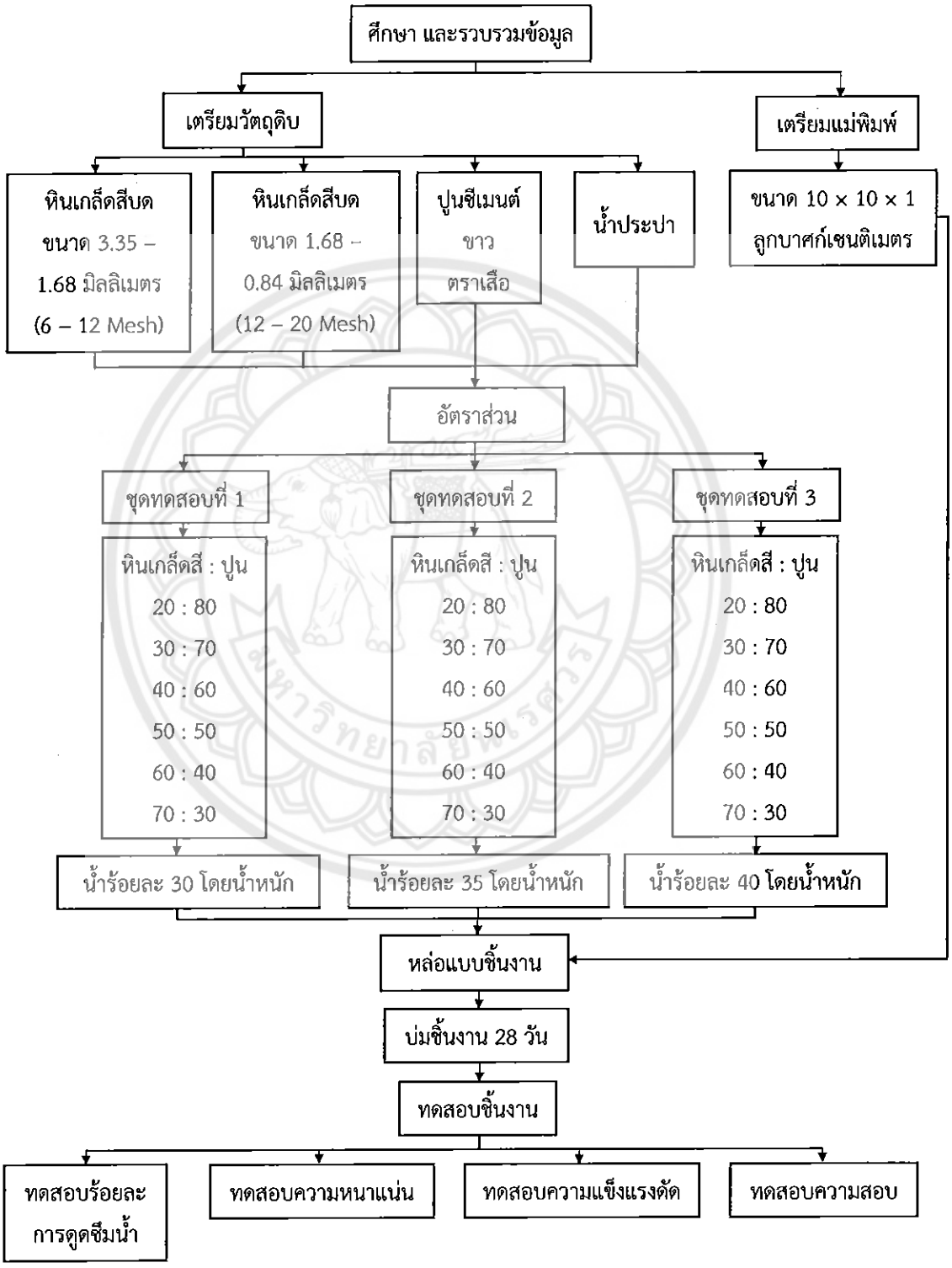
แนวโน้มลดลง เมื่อใช้ปริมาณปูนซีเมนต์มากขึ้น จะทำให้มีค่าความหนาแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ และการรับกำลังดัด ของแผ่นกระเบื้องปูนซีเมนต์มีค่ามากขึ้น

บัญชา ชื่นจิต (2542) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพของอัตราส่วนผสมของดินลูกรัง ซีเมนต์ ทราย และหินเกล็ด นำอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด มาทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์อิฐปูพื้น ส่วนผสมจะเป็นการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จากสัดส่วนของโครงสร้างมาตรฐานของคอนกรีต 1 : 3 : 5 จากนั้นมีการเพิ่มปริมาณส่วนผสมของดินลูกรังเข้าไปในสัดส่วนร้อยละ 1, 3 และ 6 ตามลำดับ และจากสัดส่วนของโครงสร้างมาตรฐานของคอนกรีต 1 : 2 : 4 ได้มีการเพิ่มปริมาณสัดส่วนของดินลูกรังเข้าไปในสัดส่วนร้อยละ 1, 3 และ 6 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองที่ออกมา สามารถนำมาผลิตอิฐปูพื้นได้ทั้งหมด แต่พบว่าสัดส่วนโครงสร้างที่เหมาะสำหรับนำมาใช้ในการผลิตอิฐปูพื้นมากที่สุด คือ 3 : 1 : 3 : 5 (ดินลูกรัง, ซีเมนต์, ทราย และหินเกล็ด) เนื่องจากมีความแข็งแรง เมื่อนำมาใช้งานโดยไม่เกิดการแตกเสียหาย ซึ่งเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมอื่นๆ แล้ว สัดส่วนโครงสร้างที่ 3 : 1 : 3 : 5 มีปริมาณการใช้ดินลูกรังมากพอสมควร ซึ่งเป็นการลดต้นทุนในการผลิตได้ทางหนึ่ง

นิวัติ อนงค์รักษ์ (2532) เป็นการศึกษาหินแกรนิตจากแผ่นหินบาง และแผ่นหินย้อมสี โดยพบว่าหินแกรนิตจากแผ่นหินบาง และแผ่นหินย้อมสี จะประกอบด้วยแร่ควอตซ์ร้อยละ 30 – 39 แอลคาไล-เฟลด์สปาร์ (Alkali Feldspars) ร้อยละ 21 – 25 แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ (Plagioclase Feldspar) ร้อยละ 9 – 39 และแร่ที่มีสีเข้มเป็นแร่ไบโอไทต์ (Biotite) สำหรับแร่เฟลด์สปาร์ และแร่สีเข้มได้มีการเปลี่ยนสภาพบางส่วนไปเป็นแร่ดินเหนียวได้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

ขั้นตอนดำเนินโครงงาน



รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

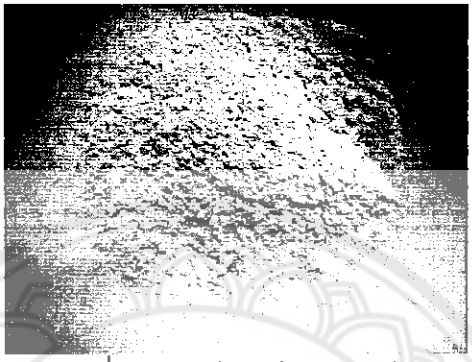
3.1 วัตถุดิบ และอุปกรณ์

3.1.1 ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ

3.1.2 หินเกล็ดสี

3.1.3 แม่พิมพ์ขนาด 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

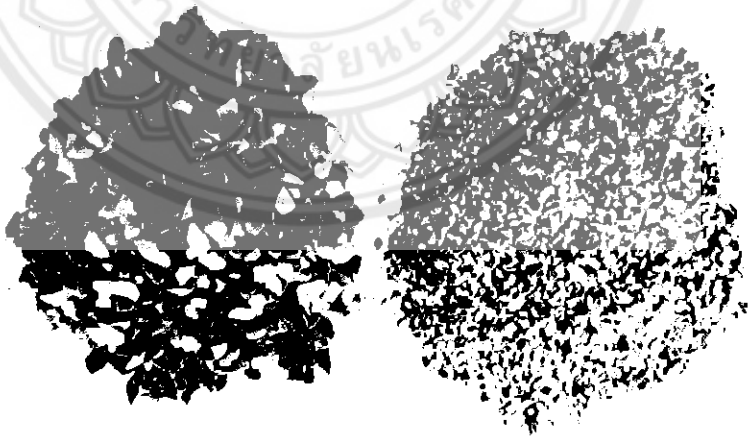
3.1.4 น้ำร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 3.2 ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ

3.2 วิธีการขึ้นรูป

3.2.1 บดหินเกล็ดสีให้เป็นเศษเล็กๆ จากนั้น นำหินเกล็ดสีบดมาผ่านตะแกรงร่อน ช่วง 6 - 12 เมช และช่วง 12 - 20 เมช



รูปที่ 3.3 หินเกล็ดสีบดผ่านตะแกรงร่อน ช่วง 6 - 12 เมช และช่วง 6 - 12 เมช

3.2.2 นำหินเกล็ดสีที่ได้จากการบด มาผสมในอัตราส่วนต่อปูนซีเมนต์ขาวตราเสือที่ต่างๆ กัน แสดงดังตารางที่ 3.1 โดยใช้น้ำร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากนั้น นำไปหล่อลง

ในแม่พิมพ์ ขนาด 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทิ้งไว้ให้แห้ง ใช้เวลา 12 ชั่วโมง แล้วแกะนำตัวผลิตภัณฑ์ออกมา

รูปที่ 3.4 หล่อชิ้นงานลงแม่พิมพ์

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของอัตราส่วนระหว่างซีเมนต์ขาวตราเสือ และหินเกล็ดสี

อัตราส่วนหินเกล็ดสีต่อปูน	
หินเกล็ดสี	ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ
20	80
30	70
40	60
50	50
60	40
70	30

3.2.3 ทำการขัดผิวของแผ่นกระเบื้องโดยใช้กระดาษทราย เพื่อให้สามารถเห็นผิวของหินเกล็ดสีที่เกาะติดกับเนื้อปูนซีเมนต์ขาว

3.2.4 นำไปบ่ม เพื่อให้ได้เนื้อปูนซีเมนต์ขาวที่แข็งแรงขึ้น โดยใช้เวลาในการบ่ม 28 วัน จากนั้นนำไปทำการทดสอบ

3.3 การทดสอบลักษณะเฉพาะ และสมบัติ

3.3.1 ความหนาแน่น

ทำการทดสอบโดยนำกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากหินเกล็ดสีผสมกับปูนซีเมนต์ขาว ที่มีขนาดของกระเบื้องเท่ากับ 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำกระเบื้องที่ได้มาชั่งด้วยเครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม จะได้มวลของวัตถุ จากนั้นทำการหาปริมาตรของวัตถุโดย

คำนวณจากสูตรปริมาตรของวัตถุ ซึ่งมีค่าเท่ากับ กว้าง × ยาว × สูง แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความหนาแน่นของวัตถุ ดังสมการที่ 2.1

3.3.2 ร้อยละการดูดซึมน้ำ

ทำการทดสอบโดยนำกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากหินเกล็ดสี ผสมกับปูนซีเมนต์-ขาว ที่มีขนาดของกระเบื้องเท่ากับ 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำกระเบื้องที่ได้มาทำการอบที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดสิกเกเตอร์ จากนั้นนำมาแยกชั่งทีละแผ่น โดยน้ำหนักกระเบื้องที่ชั่งได้นี้ให้ถือเป็นน้ำหนักกระเบื้องแห้ง จากนั้นแช่กระเบื้องเหล่านี้จมอยู่ในน้ำโดยให้น้ำท่วมกระเบื้องตลอดเวลา แล้วปล่อยทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง นำขึ้นซับน้ำที่เกาะติดอยู่ด้วยผ้าหมาดที่สะอาดแล้วรีบชั่งทันที โดยน้ำหนักกระเบื้องที่ชั่งให้ถือเป็นน้ำหนักหลังจากแช่น้ำ แล้วนำมาทำการคำนวณหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้อง ดังสมการที่ 2.2

3.3.3 ความแข็งแรงดัด

ทำการทดสอบโดยนำกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากหินเกล็ดสี ผสมกับปูนซีเมนต์-ขาว ที่มีขนาดของกระเบื้องเท่ากับ 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้น นำกระเบื้องที่ได้มาทำการตัดชิ้นงานให้มีความกว้างเท่ากับ 2.5 เซนติเมตร ความหนา 1 เซนติเมตร และความยาว 10 เซนติเมตร นำมาทำการทดสอบค่าความแข็งแรงดัด ดังสมการที่ 2.3 ใช้แรง 5 kN โดยใช้อัตราเร็วในการกดที่ 0.1 มิลลิเมตรต่อนาที และระยะ Span Length เท่ากับ 5 เซนติเมตร

3.3.4 ความสอบ

ทำการทดสอบโดยนำกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากหินเกล็ดสี ผสมกับปูนซีเมนต์-ขาว ที่มีขนาดของกระเบื้องเท่ากับ 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำกระเบื้องที่ได้มาวัดขนาดด้วยเครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร วัดความยาวของด้านทั้ง 4 ของกระเบื้อง แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความสอบ ดังสมการที่ 2.4

3.4 วิเคราะห์ และเปรียบเทียบการทดลอง

นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของขนาด อัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสี และปริมาณน้ำมาวิเคราะห์ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ ความแข็งแรงดัด และความสอบ ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกล และคุณสมบัติทางกายภาพ

3.5 สรุปผลการทดลอง และจัดทำรูปเล่มรายงาน

สรุปผลการทดลองจากการศึกษาอิทธิพลของขนาด อัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสี และปริมาณน้ำ ที่มีผลต่อสมบัติทางกล และทางกายภาพ ของกระเบื้องบุผนังที่ทำจากปูนซีเมนต์ขาว และหินเกล็ดสี และนำผลการทดลองมาจัดทำรูปเล่มรายงาน

บทที่ 4
ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

ศึกษาอิทธิพลของขนาด อัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว และปริมาณน้ำที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ ความสอบ และสมบัติทางกลด้านความแข็งแรงของกระเบื้องเซรามิก ที่มีส่วนผสมของหินเกล็ดสีกับปูนซีเมนต์ขาว

การทดลองนี้ได้นำเอาหินเกล็ดสีมาผสมกับปูนซีเมนต์ขาวเพื่อทำการศึกษาอิทธิพลของขนาด อัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว และปริมาณน้ำที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของกระเบื้องเซรามิก โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวโดยใช้ส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40, และ 70 : 30 ตามลำดับใช้ขนาดของหินเกล็ดสีในช่วง 6 – 12 เมช และ 12 – 20 เมช โดยใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากนั้นนำกระเบื้องปูนซีเมนต์ขาวไปทำการทดสอบ

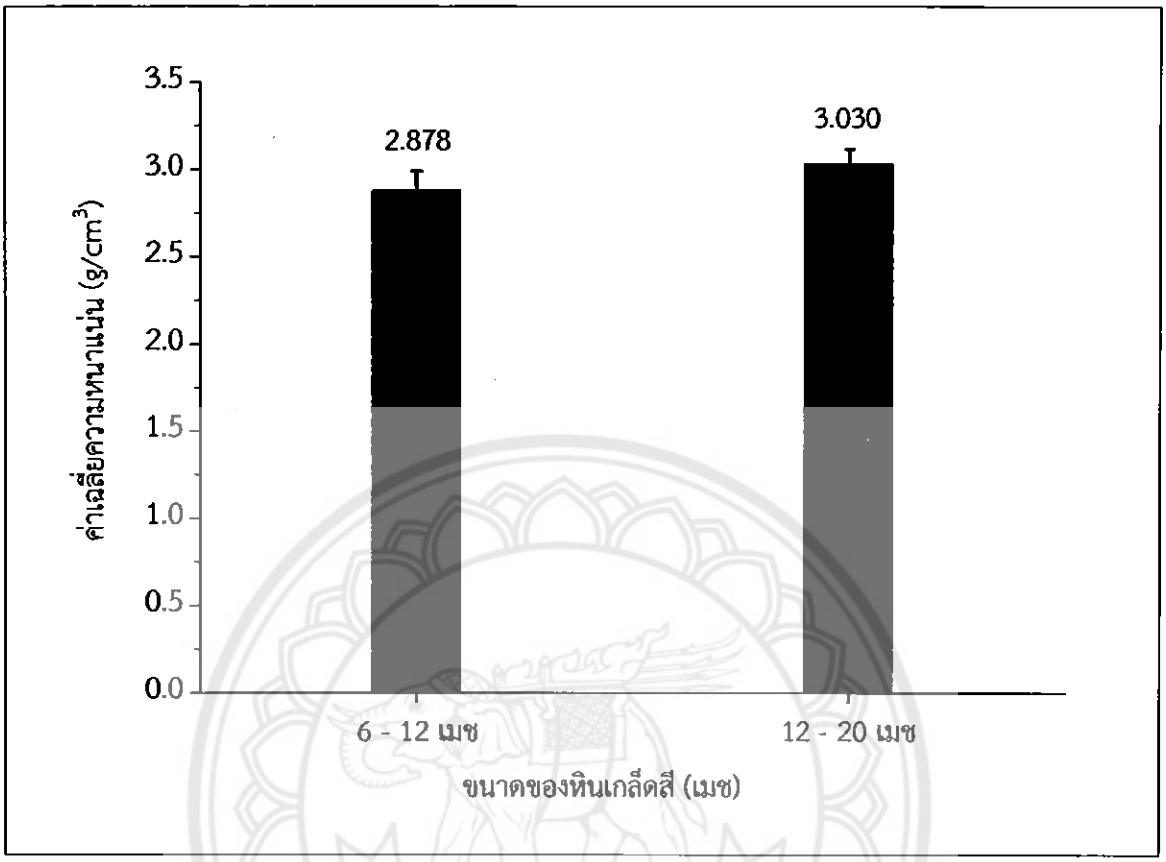
4.1 ศึกษาอิทธิพลของขนาดของหินเกล็ดสีที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด และค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ

ศึกษาอิทธิพลของขนาดของหินเกล็ดสีที่มีผลต่อ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด และค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ โดยใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และ 12 – 20 เมช

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด และค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ ของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาวที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และ 12 – 20 เมช

ขนาดของหินเกล็ดสี	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด (เมกะปาสคาล)	ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ (ร้อยละ)
6 – 12 เมช	2.878	8.287	3.537	0.245
12 – 20 เมช	3.033	7.297	5.785	0.250

4.1.1 อิทธิพลของขนาดที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น

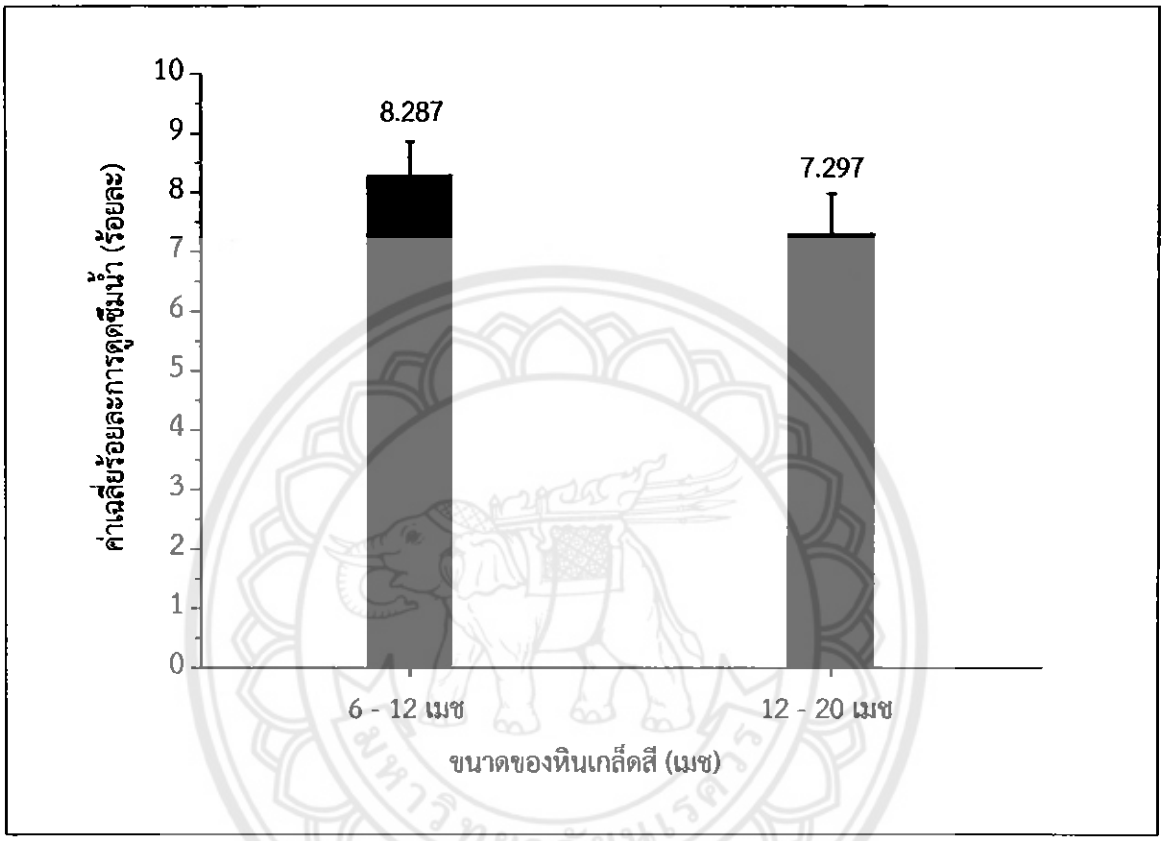


รูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และ 12 – 20 เมช

จากรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่ผลิตด้วยอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้หินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และ 12 – 20 เมช พบว่า เมื่อปูนซีเมนต์ขาวเกิดการแข็งตัวโครงสร้างภายในจะมีลักษณะการสานตัวกันเป็นรูปเข็ม และมีโพรงเกิดขึ้นภายในโครงสร้าง โพรงที่เกิดขึ้นจะเกิดจากปริมาณน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ (ปริญญา และชัย, 2549) ดังนั้น เมื่อมีการผสมหินเกล็ดสีลงไป จะทำให้หินเกล็ดสีเข้าไปแทรกตัวอยู่ภายในโพรงที่เกิดขึ้น ซึ่งหินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช จะให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นที่สูงกว่าหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช ในทุกๆ อัตราส่วน เนื่องจากหินเกล็ดสีที่มีขนาดเล็ก เมื่อทำการผสมกับปูนซีเมนต์ขาว จะสามารถแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างของโพรงได้มากกว่าหินเกล็ดสีที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้น เปรียบเสมือนหินเกล็ดสีได้เข้าไปเติมเต็มช่องว่างระหว่างปูนที่เกิดการสานตัวกันเป็นรูปเข็ม โดยยิ่งหินเกล็ดสีมีขนาดเล็ก จะสามารถเข้าไปแทรกระหว่างช่องว่างได้มากกว่า เมื่อ

ทดสอบค่าเฉลี่ยความหนาแน่น พบว่า หินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช จะช่วยเสริมความหนาแน่นของชิ้นงานมากกว่าหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช ในทุกๆ อัตราส่วน

4.1.2 อิทธิพลของขนาดที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ

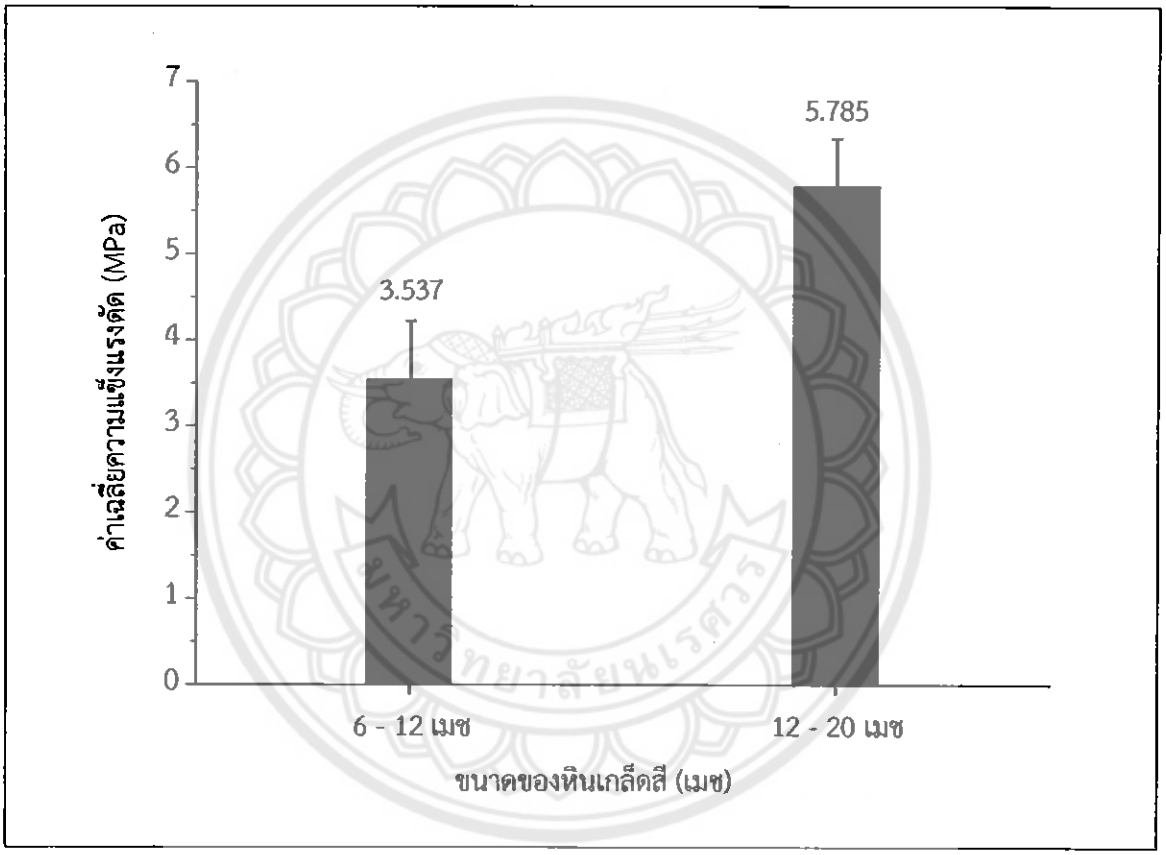


รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และ 12 – 20 เมช

จากรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่ผลิตด้วยอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และ 12 – 20 เมช พบว่า ขนาดของหินเกล็ดสีมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์-ขาว นั่นคือ หลังจากที่ปูนซีเมนต์เกิดการแข็งตัวโครงสร้างภายในจะสานตัวกันมีลักษณะเป็นรูปเข็ม และเกิดช่องว่างอยู่ภายใน (ปริญญา และชัย, 2549) และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสีลงไป ทำให้หินเกล็ดสีดังกล่าวเข้าไปเติมเต็มในช่องว่าง จะทำให้ช่องว่างที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กลง ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำจึงมีค่าลดลง โดยพบว่า หินเกล็ดสีที่มีขนาด

12 – 20 เมช จะสามารถ แทรกตัวเข้าไปยังช่องว่างระหว่างปูนได้ดีกว่า จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าต่ำกว่าชิ้นงานที่ผลิตจากหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ 4.1.1 ที่พบว่า หินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช จะช่วยเสริมความหนาแน่นของชิ้นงานมากกว่าหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช ในทุกๆ อัตราส่วน จึงส่งผลให้หินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่าหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช

4.1.3 อิทธิพลของขนาดที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด

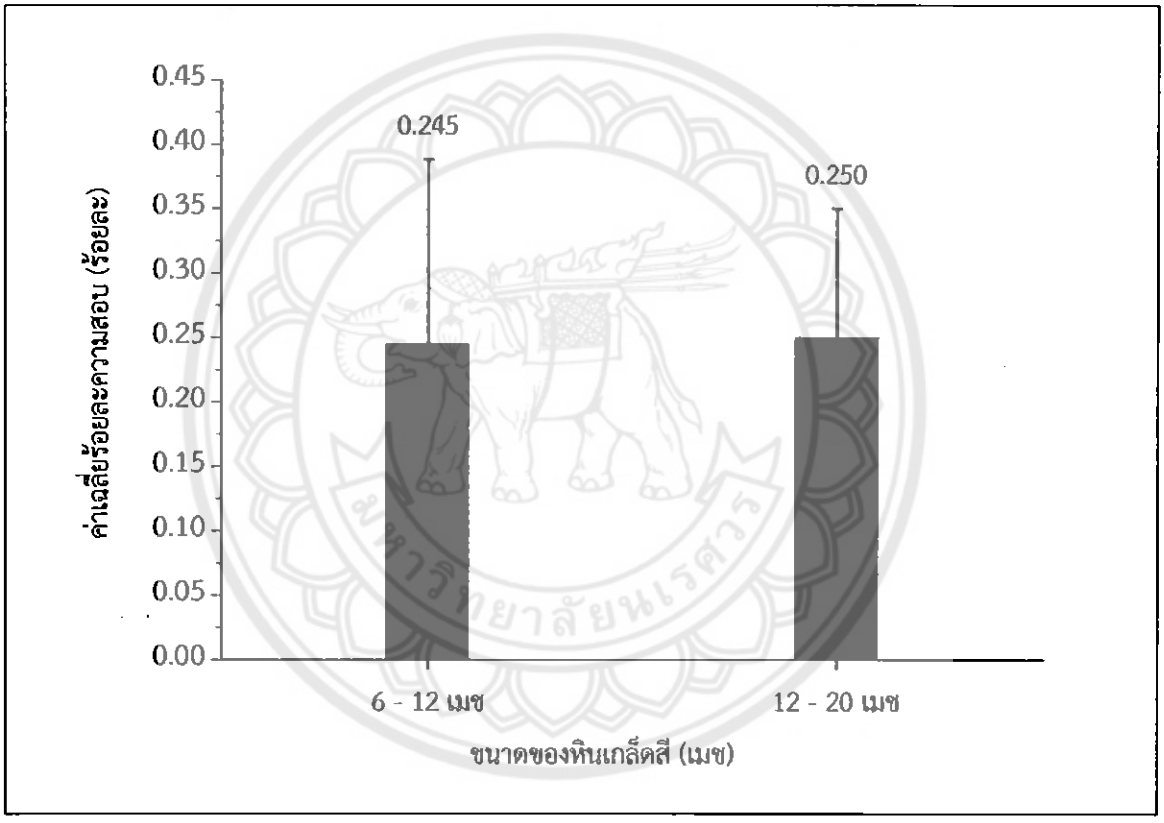


รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และ 12 – 20 เมช

จากรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.1 พิจารณาค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ชิ้นงานผลิตด้วยอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และ 12 – 20 เมช พบว่า ขนาดของหินเกล็ดสีมีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำจากปูนซีเมนต์ขาว โดยที่ขนาด 12 – 20 เมช ส่งผลทำให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดสูงกว่ากระเบื้องเซรามิกที่มี

ส่วนผสมของหินเกล็ดสี ขนาด 6 – 12 เมช เมื่อทำการผสมหินเกล็ดสีเข้าไปในปูนซีเมนต์ขาว จะทำให้ช่องว่างที่อยู่ภายในโครงสร้างของปูนลดลง ดังนั้น ยิ่งหินเกล็ดสีมีขนาดเล็ก จะสามารถแทรกตัวเข้าไปภายในช่องว่างได้มาก ส่งผลทำให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ 4.1.1 และ 4.1.2 ที่พบว่า ยิ่งหินเกล็ดสีมีขนาดเล็ก จะสามารถเข้าไปแทรกตัวในช่องว่างได้ดีกว่าหินเกล็ดสีที่มีขนาดใหญ่ จะส่งผลทำให้มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น และในทางกลับกันจะส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำที่ลดลง

4.1.4 อิทธิพลของขนาดที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ



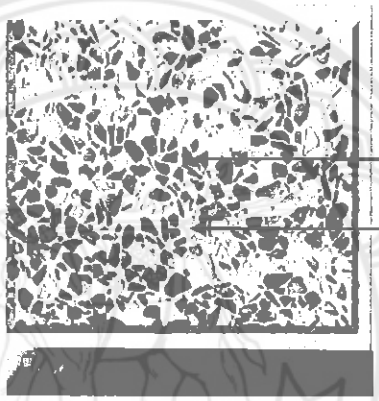
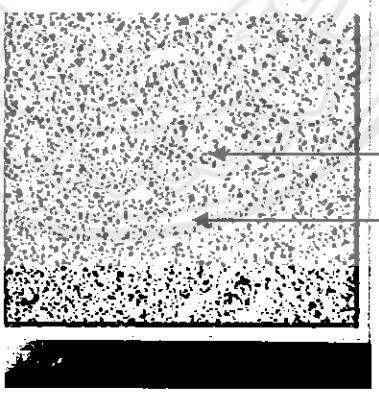
รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และ 12 – 20 เมช

จากรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่ผลิตด้วยอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และ 12 – 20 เมช พบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องมาจากกระเบื้องเซรามิกที่ทำการ

ทดสอบไม่ได้นำไปผ่านกระบวนการเผา เพราะฉะนั้น การหดตัวของชิ้นงานจึงไม่เกิดขึ้นมากนัก ดังนั้น ขนาดของหินเกล็ดสีจึงไม่มีผลกระทบต่อค่าความสอบ ในอนาคตกระเบื้องเซรามิกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมหินเกล็ดสียังสามารถใช้เป็นแนวทางในการผลิตกระเบื้องเซรามิกได้

4.1.5 ลักษณะของกระเบื้องปูนซีเมนต์ขาวที่ใช้หินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และ 12 – 20 เมช

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก หินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช และขนาด 12 – 20 เมช

ขนาดของหินเกล็ดสี	ลักษณะกระเบื้องเซรามิก
6 – 12 เมช	
12 – 20 เมช	

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ลักษณะของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาวที่อัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และขนาด 12 – 20 เมช มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน ซึ่งหินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช มีอนุภาคหินเกล็ดสีที่ใหญ่กว่าหินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช ทำให้เห็นสีของหินเกล็ดสีที่ชัดเจนกว่า ดังนั้น ขนาดของหินเกล็ดสีที่มีขนาดใหญ่ ส่งผลทำให้เห็นอนุภาคของหินเกล็ดสี และเห็นสีสันที่ชัดเจนกว่าหินเกล็ดสีที่มีขนาดเล็ก

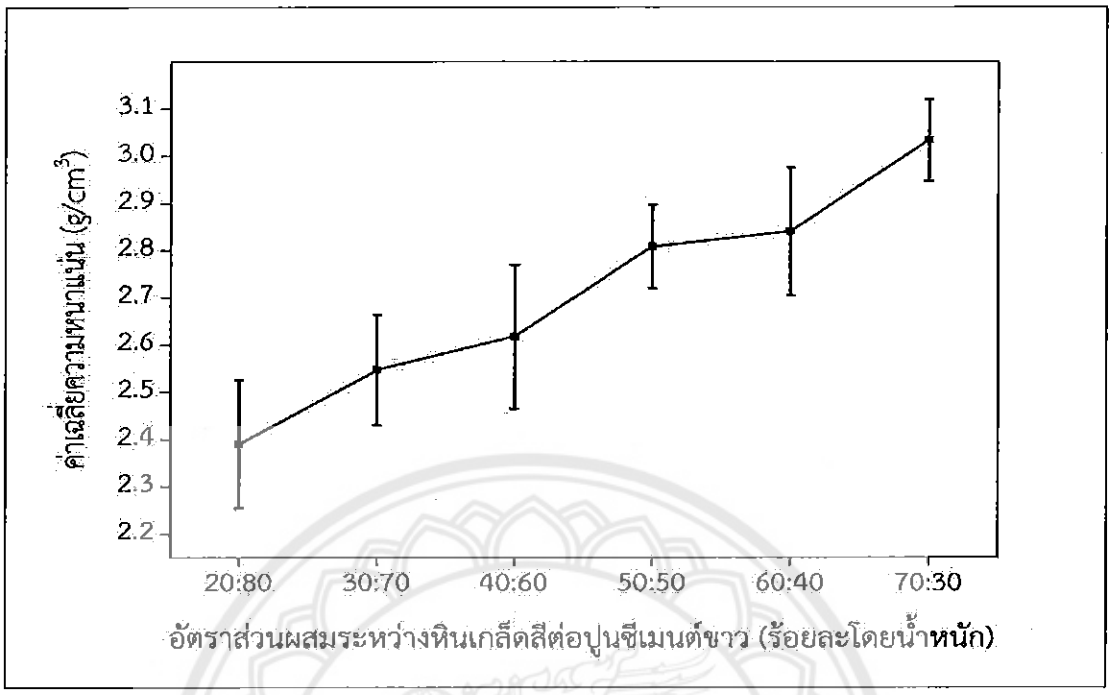
4.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด และค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ

ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด และค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ ผสมกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ใช้หินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด และค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ผสมกับอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ใช้หินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช

อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด (เมกะปาสคาล)	ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ (ร้อยละ)
20 : 80	2.390	17.361	4.379	0.210
30 : 70	2.547	15.407	5.052	0.240
40 : 60	2.617	13.581	5.612	0.283
50 : 50	2.808	11.657	5.629	0.316
60 : 40	2.840	8.915	5.769	0.271
70 : 30	3.033	7.297	5.785	0.250

4.2.1 ผลของอัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวที่มีผลต่อความหนาแน่น

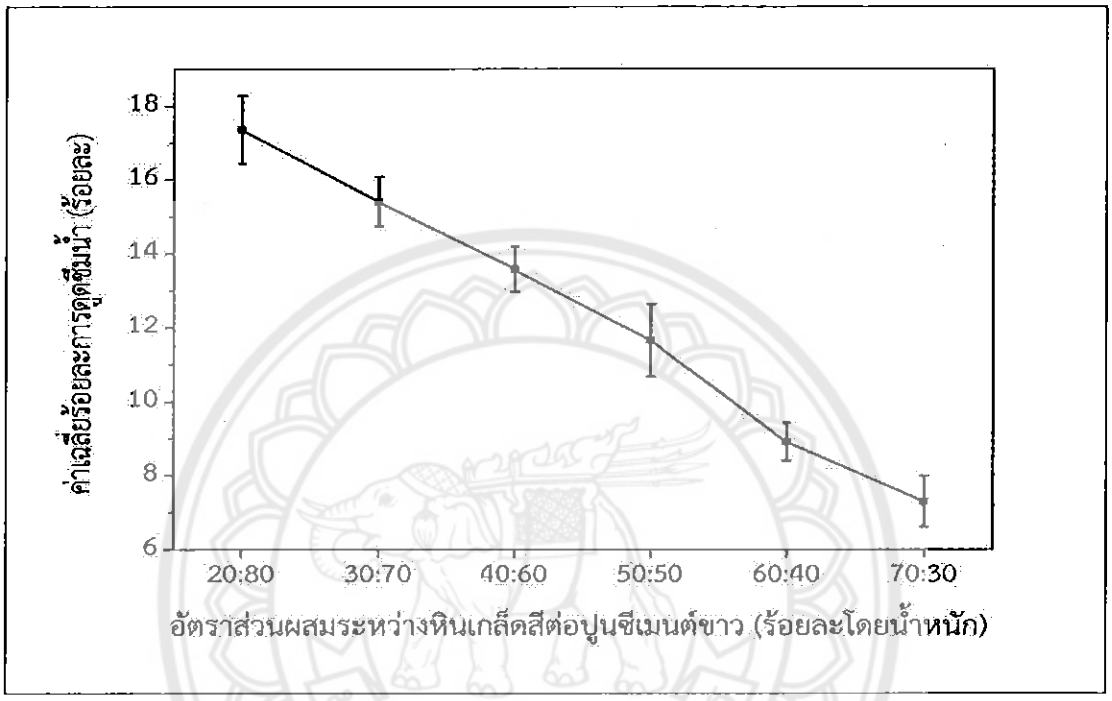


รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช

จากรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่า เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของหินเกล็ดสี จะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์ขาวกับน้ำที่เกิดขึ้นจะทำให้โครงสร้างที่ได้มีลักษณะสานตัวกันเป็นรูปเข็ม และเกิดช่องว่างภายในชิ้นงาน (ปริญญา และชัย, 2549) ดังนั้น เมื่อทำการเติมหินเกล็ดสีเข้าไปจะทำให้หินเกล็ดสีนั้นเข้าไปแทรกตัวอยู่ในช่องว่างของชิ้นงาน เมื่อช่องว่างภายในชิ้นงานลดลง ส่งผลให้มีค่าความหนาแน่นของชิ้นงานที่สูงขึ้น เพราะฉะนั้น การเพิ่มอัตราส่วนของหินเกล็ดสีลงไปในส่วนผสม เปรียบเสมือนการเติมของแข็งเข้าไปในช่องว่างที่เกิดจากการสานตัวกันเป็นรูปเข็ม ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าสูงขึ้น จากการทดลองพบว่า ชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 70 : 30 มีค่าความหนาแน่นสูงสุด และที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50 และ 60 : 40 ผสมกับปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า การใช้หิน

เกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และขนาด 12 – 20 เมช ต่างให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้น การเพิ่มอัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสี ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานที่ได้นั้นมีค่าสูงขึ้น

4.2.2 ผลของอัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ

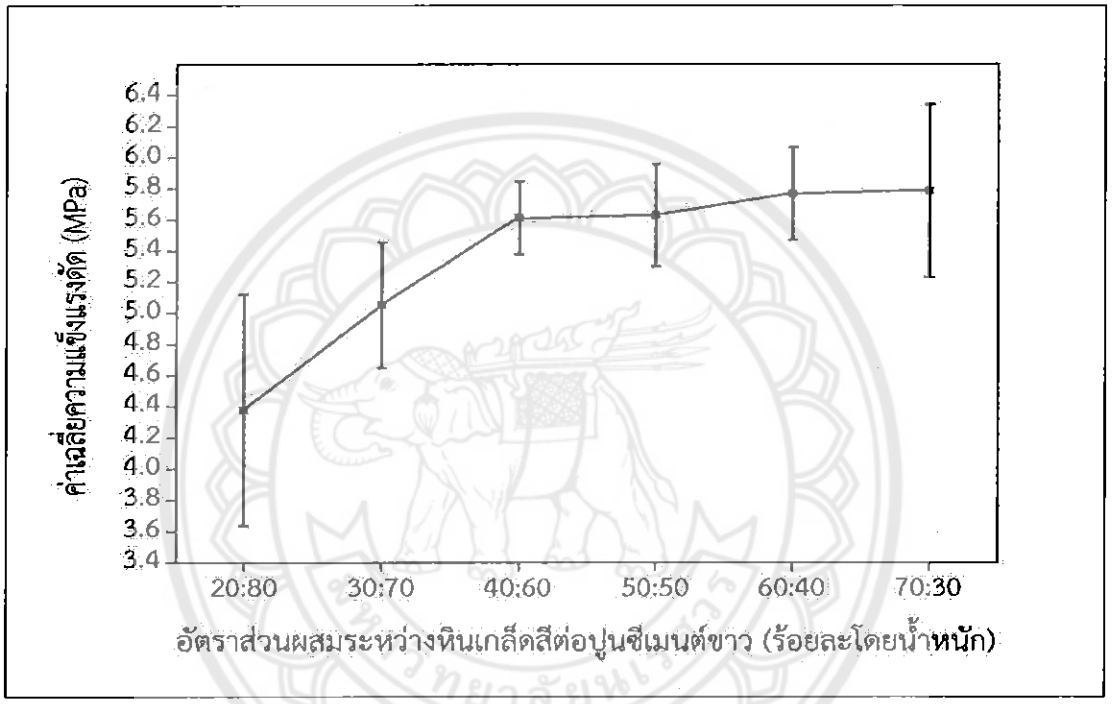


รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช

จากรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.3 พิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่า การเพิ่มปริมาณของหินเกล็ดสี ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานนั้นเพิ่มมากขึ้น เมื่อนำหินเกล็ดสีไปผสมในชิ้นงาน หินเกล็ดสีจะเข้าไปแทรกในช่องว่างระหว่างผลปฏิกิริยาไฮเดรชันที่มีลักษณะสานตัวกันเป็นรูปเข็ม (ปริญญา และชัย, 2549) ส่งผลให้ความหนาแน่นภายในชิ้นงานที่ได้มีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ 4.2.1 คือ ภายในเนื้อของชิ้นงานมีช่องว่าง หรือโพรงลดลง ชิ้นงานที่ได้จึงความหนาแน่นสูง และในทางกลับกันจะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำของชิ้นงานต่ำลง โดยพบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว อัตราส่วน 70 : 30 มีค่าต่ำสุด นอกจากนี้พบว่า ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว

ในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50 และ 60 : 40 ตามลำดับ ผสมกับปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า การใช้หินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช และขนาด 12 – 20 เมช ต่างให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้น การเพิ่มอัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสี ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานสูงขึ้น ทำให้ช่องว่าง หรือโพรงภายในชิ้นงานลดลง ส่งผลให้ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำนั้นลดต่ำลง

4.2.3 ผลของอัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด

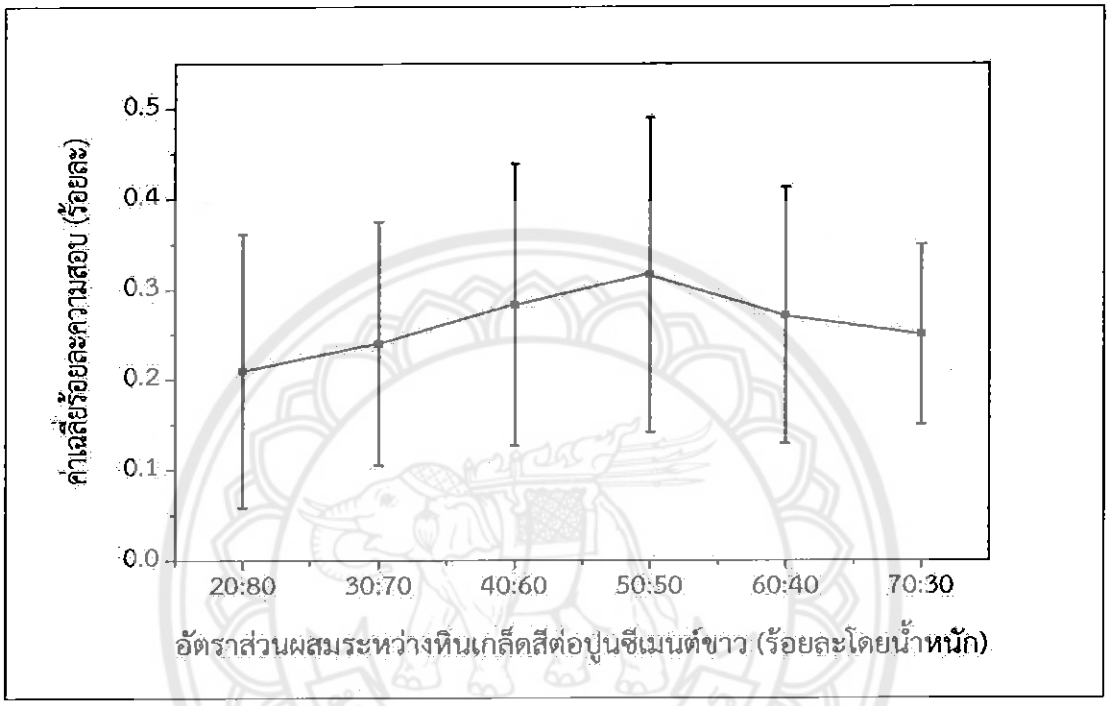


รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดของอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช

จากรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.3 พิจารณาค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาวใช้อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่า ชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว 70 : 30 มีค่าความแข็งแรงดัดสูงสุด ในทางตรงกันข้าม พบว่า อัตราส่วน 20 : 80 มีค่าความแข็งแรงดัดต่ำสุด เนื่องจากการเพิ่มปริมาณหินเกล็ดสีลงไปในปูนซีเมนต์ขาว ส่งผลให้หินเกล็ดสีเข้าไปแทรกตัวลงจนช่องว่างของปูนซีเมนต์ขาวลดน้อยลง เมื่อนำไปทำการทดสอบค่าความแข็งแรงดัด พบว่า เมื่อมีปริมาณหินเกล็ดสีมากขึ้น เปรียบเสมือนกับหินเกล็ดสีเข้าไปเติมเต็มในช่องว่าง จึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดัดมีค่ามากตาม ซึ่งไป

ในทิศทางเดียวกันกับค่าความหนาแน่น ที่พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณหินเกล็ดสีมากขึ้น จะทำให้ค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มมากขึ้น และค่าความแข็งแรงดัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามด้วยเช่นกัน ซึ่งหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์-ขาว ใช้หินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช ต่างให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน

4.2.4 ผลของอัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ

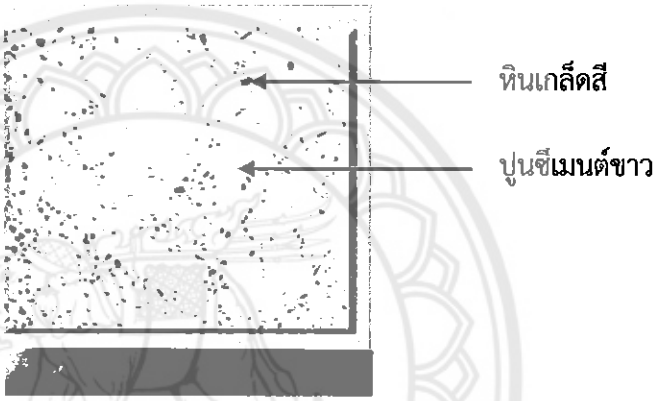
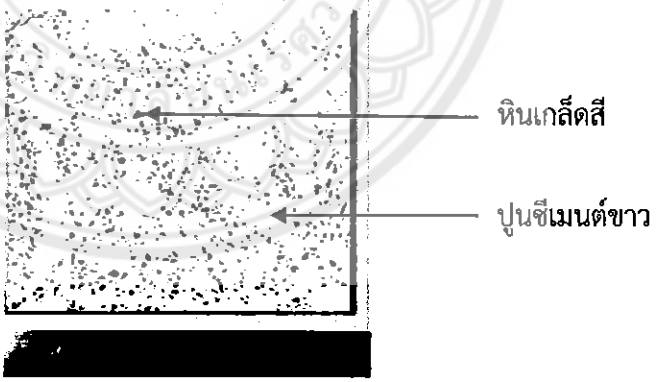


รูปที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบของอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช

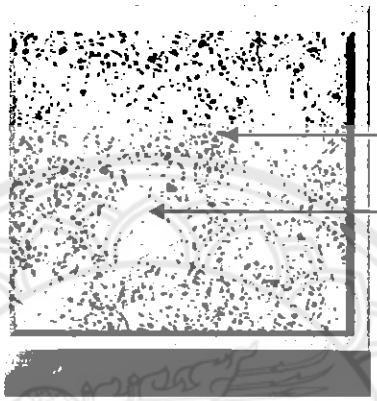
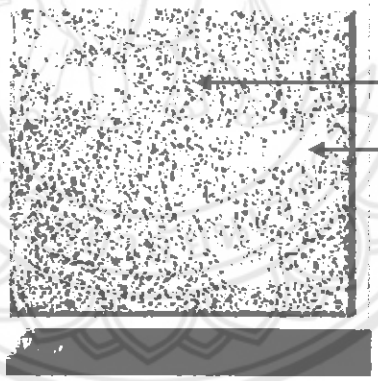
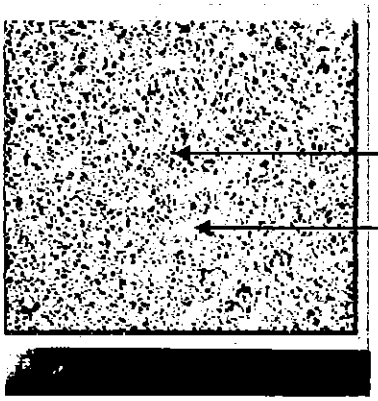
จากรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.3 พิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาวใช้อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ พบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากชิ้นงานไม่ได้นำไปผ่านกระบวนการเผา เพราะฉะนั้น จึงไม่มีการหดตัวของชิ้นงานเกิดขึ้น ดังนั้น อัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว จึงไม่ส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ และที่อัตราส่วนหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ใช้หินเกล็ดสีขนาด 6 – 12 เมช ต่างให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน

4.2.5 **ลักษณะของชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว อัตราส่วนผสมเท่ากับ** 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 **และ** 70 : 30 **ตามลำดับ**

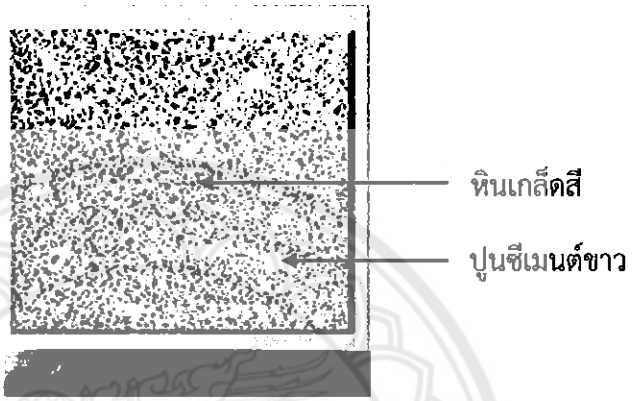
ตารางที่ 4.4 **ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกของอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนผสมเท่ากับ** 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 **และ** 70 : 30 **ตามลำดับ อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ** 30 **โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด** 12 – 20 **เมช**

อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ลักษณะกระเบื้องเซรามิก
20 : 80	
30 : 70	

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกของอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช

อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ลักษณะกระเบื้องเซรามิก
40 : 60	
50 : 50	
60 : 40	

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกของอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหินเกล็ดสี ขนาด 12 – 20 เมช

อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ลักษณะกระเบื้องเซรามิก
70 : 30	

จากตารางที่ 4.4 พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนของหินเกล็ดสี ส่งผลให้ชิ้นงานมีสีสัน และลวดลายจากหินเกล็ดสีมากขึ้น โดยชิ้นงานที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว 20 : 80 เป็นอัตราส่วนที่หินเกล็ดสีมีปริมาณน้อย ทำให้ปรากฏลวดลายสีสันจากหินเกล็ดสีบนกระเบื้องเพียงเล็กน้อย เนื่องจากหินเกล็ดสีจะจมลงพื้นของชิ้นงาน ส่งผลให้ชิ้นงานมีลวดลาย และสีสันของหินเกล็ดสีน้อยกว่าอัตราส่วนอื่นๆ ในทางตรงกันข้ามที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว 70 : 30 พบว่า ชิ้นงานที่ได้มีสีสัน และลวดลายของหินเกล็ดสีทั่วทั้งชิ้นงาน เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณหินเกล็ดสีมากกว่าปูน หินเกล็ดสีจึงปรากฏบนผิวชิ้นงานชัดเจน ส่งผลให้ชิ้นงานมีสีสันลวดลายสวยงาม ดังนั้น การเพิ่มปริมาณหินเกล็ดสี จึงเป็นการเพิ่มสีสัน และลวดลายให้กับกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว

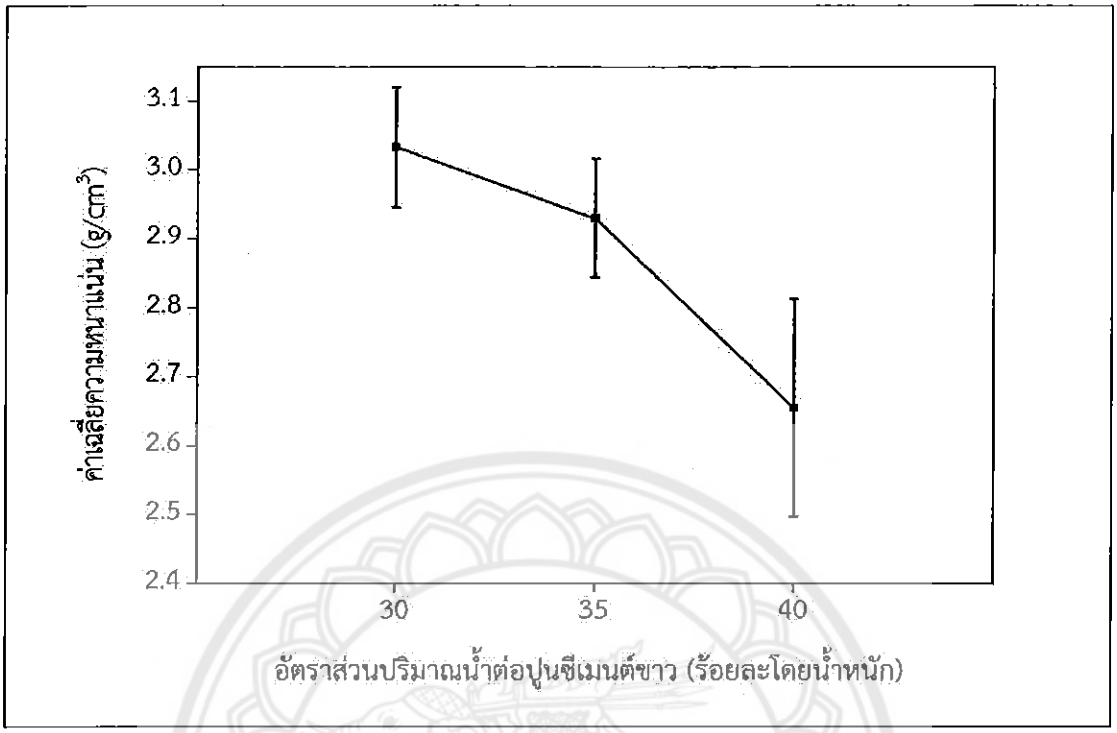
4.3 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละ การดูดซึม-น้ำ ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด และค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ

ศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว ในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ โดยใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ใช้หินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด และค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาวที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ที่ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

ปริมาณน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด (เมกะปาสคาล)	ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ (ร้อยละ)
30	3.033	7.297	5.785	0.250
35	2.930	7.396	5.488	0.275
40	2.655	9.273	4.804	0.297

4.3.1 ผลของปริมาณน้ำที่มีผลค่าเฉลี่ยความหนาแน่น

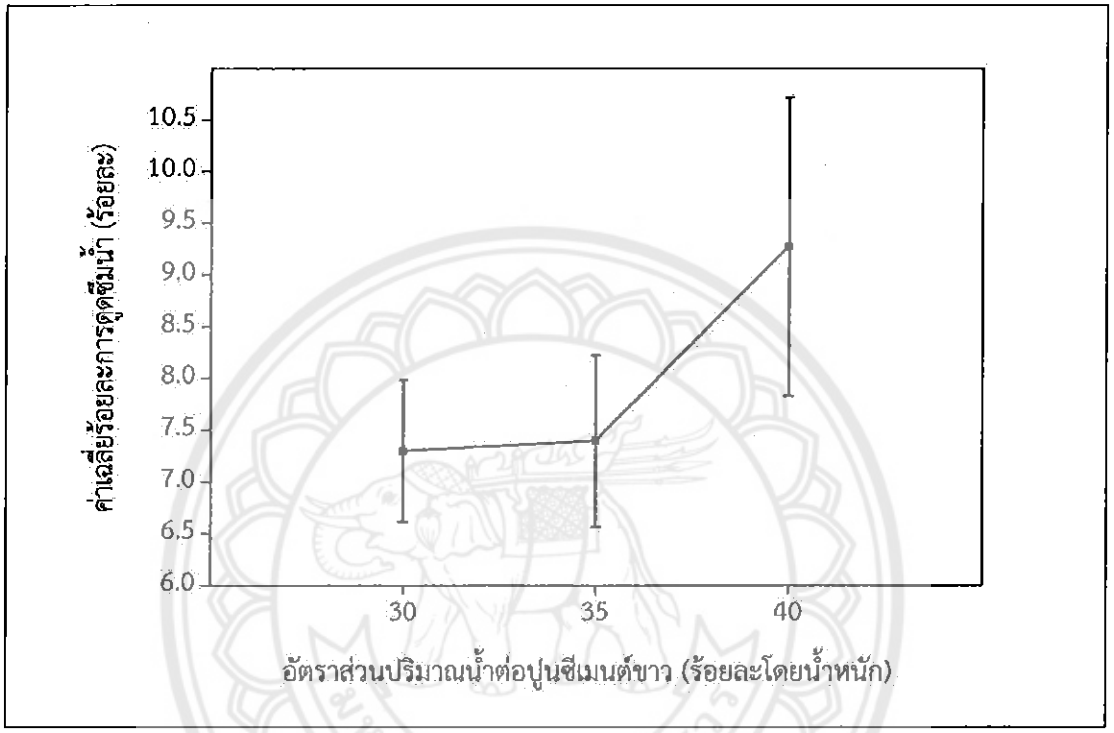


รูปที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว ร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.5 พิจารณาค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ผลิตด้วยอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่า ปริมาณน้ำมีผลต่อค่าความหนาแน่นของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว เมื่อทำการเพิ่มปริมาณน้ำจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าลดลง นั่นคือ เมื่อทำการผสมน้ำกับปูนซีเมนต์ขาวจะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารประกอบในปูนกับน้ำ เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยสารประกอบ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) ที่อยู่ในปูนซีเมนต์ขาวทำปฏิกิริยากับน้ำ ได้สารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide) และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate) ซึ่งแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสาน โดยสานตัวกันภายในโครงสร้างเป็นลักษณะเป็นรูปเข็ม ส่งผลให้เกิดลักษณะเป็นช่องว่างเล็กๆ ภายในเนื้อของกระเบื้องบุผนัง (ปริญญา และชัย, 2549) เมื่อน้ำถูกขจัดออกไปหลังจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน จะทำให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อชิ้นงานเกิดขึ้น ดังนั้น ชิ้นงานที่ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำสูง จะยิ่งทำให้เกิดช่องว่างเล็กๆ จำนวนมากกว่าชิ้นงานที่ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำต่ำกว่าทำให้ชิ้นงานมีค่าความหนาแน่นลดต่ำลง และในทางกลับกันจะพบว่า ชิ้นงาน

ที่มีอัตราส่วนของปริมาณน้ำ ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำร้อยละ 35 และ 40 ทำให้เกิดช่องว่างภายในชิ้นงานน้อยสุด ส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นมากกว่าอัตราส่วนผสมของน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

4.3.2 ผลของปริมาณน้ำที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ

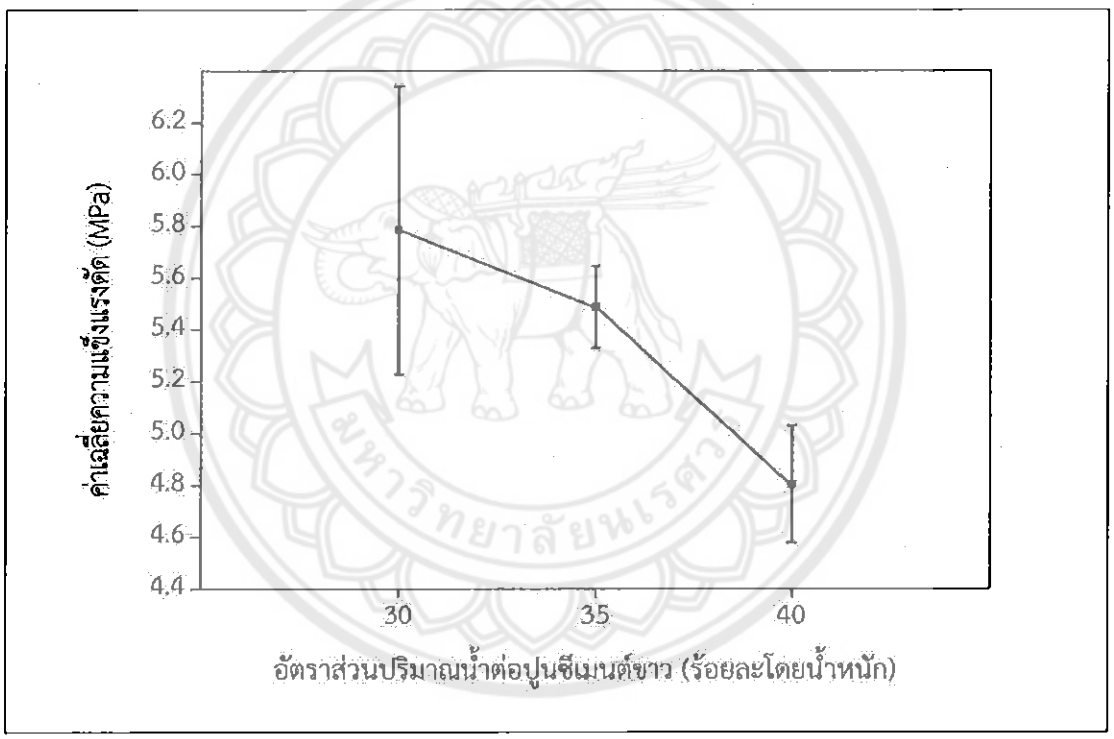


รูปที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาวที่อัตราส่วนระหว่างหินเกล็ดต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.10 และตาราง 4.5 พิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว โดยจากการทดลองทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนของปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว ที่ปริมาณน้ำร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 4.5 นั่นคือ การเพิ่มปริมาณน้ำจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง จากการทดลองชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมของน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่า อัตราส่วนผสมของน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 40 มีค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำสูงที่สุด เนื่องจากปริมาณของน้ำส่งผลทำให้มี

น้ำส่วนเกิน หรือน้ำเหลือจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน กระจายตัวในชิ้นงาน ส่งผลให้ชิ้นงานเกิดช่องว่างหรือเป็นโพรงภายในชิ้นงานมากขึ้น (ปริญญา และชัย, 2549) และเมื่อทำการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำโดยการนำชิ้นงานไปแช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ทำให้น้ำซึมเข้าชิ้นงานตามช่องว่างที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่สานตัวเป็นรูปเข็ม พบว่า ชิ้นงานจะมีความหนาแน่นต่ำ หรือมีช่องว่างในโครงสร้างมาก ทำให้มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดี ดังนั้น อัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 40 โดยน้ำหนักมีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมากที่สุด และในทางกลับกันอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวที่น้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นในชิ้นงานที่สูง จึงทำให้มีช่องว่างในชิ้นงานน้อย จึงส่งผลทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำไปด้วย

4.3.3 ผลของปริมาณน้ำที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดัด

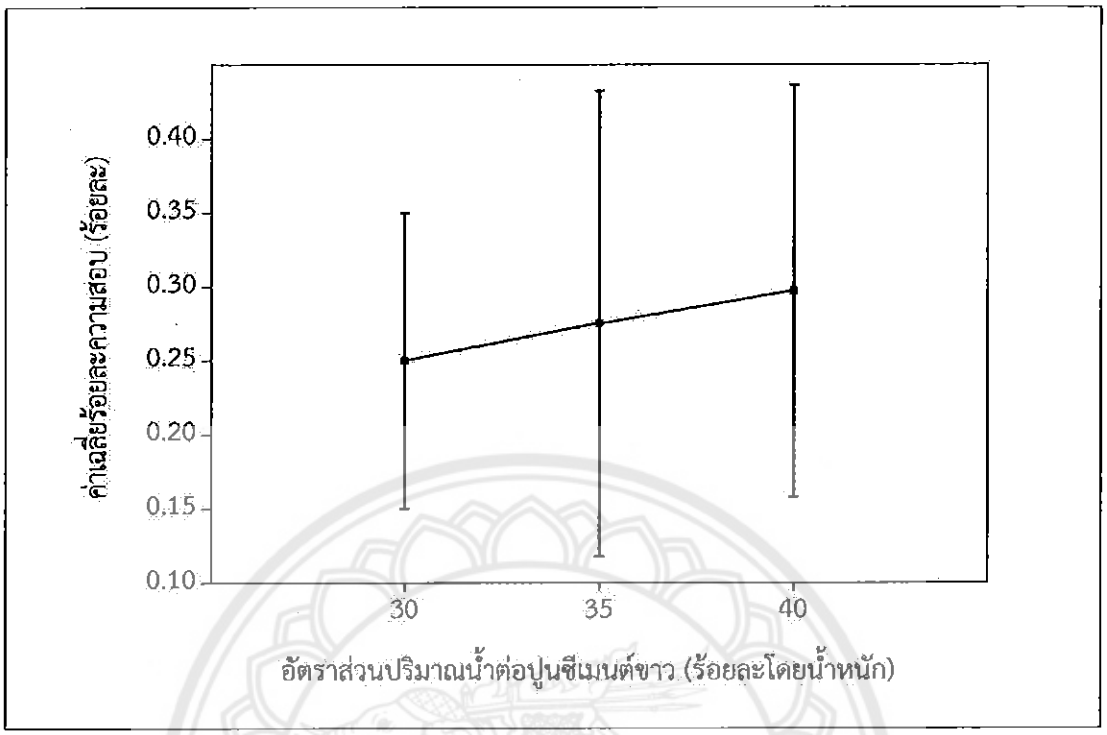


รูปที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนักตามลำดับ

จากรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีกับปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว โดยจากการทดลองที่เปรียบเทียบอัตราส่วนปริมาณน้ำต่อ

ปูนซีเมนต์ขาวที่ปริมาณน้ำร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่า ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาวมีค่าลดลง เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวที่อัตราส่วน 70 : 30 พบว่า ชิ้นงานที่ผสมน้ำร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดต่ำที่สุด เนื่องจากการเพิ่มปริมาณน้ำส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลง ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดลดลง เมื่อผสมปูนซีเมนต์ขาวกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารประกอบระหว่างปูนกับน้ำ เรียกว่าปฏิกิริยา “ไฮเดรชัน” ซึ่งเกิดการสานตัวภายในโครงสร้างลักษณะเป็นรูปเข็ม ส่งผลให้เกิดช่องว่างภายในชิ้นงาน (ปริญญา และชัย, 2549) ที่มีอัตราส่วนปริมาณน้ำมาก ดังนั้น จึงเกิดน้ำส่วนเกิน หรือน้ำที่เหลืออยู่จากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งกระจายตัวอยู่ในชิ้นงาน เมื่อมีปริมาณน้ำมาก จึงทำให้น้ำปูนเทลงแบบได้ง่าย แต่ส่งผลให้น้ำปูนมีฟองอากาศเกิดขึ้นในชิ้นงาน ซึ่งส่งผลทำให้ชิ้นงานเกิดช่องว่าง มีผิวชิ้นงานขรุขระ ทำให้มีความหนาแน่นลดลง และการเพิ่มปริมาณน้ำ ทำให้ชิ้นงานเกิดการแยกตัวของน้ำปูนกับหินเกล็ดสีได้ง่าย เนื่องจากหินเกล็ดสีที่มีลักษณะเป็นของแข็ง และมีอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าเม็ดปูน ดังนั้น หินเกล็ดสีจะจมอยู่ด้านล่าง ชิ้นงานที่มีปริมาณน้ำมาก จึงไม่มีความแข็งแรง และในทางกลับกัน พบว่า ชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมของปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความแข็งแรงดัดของชิ้นงานที่มากกว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 35 และ 40 โดยน้ำหนัก เพราะมีช่องว่างภายในชิ้นงานน้อย ดังนั้น ที่อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 30 จึงมีค่าความแข็งแรงดัดที่สูงกว่าอัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 35 และ 40 โดยน้ำหนัก

4.3.4 ผลของปริมาณน้ำที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ

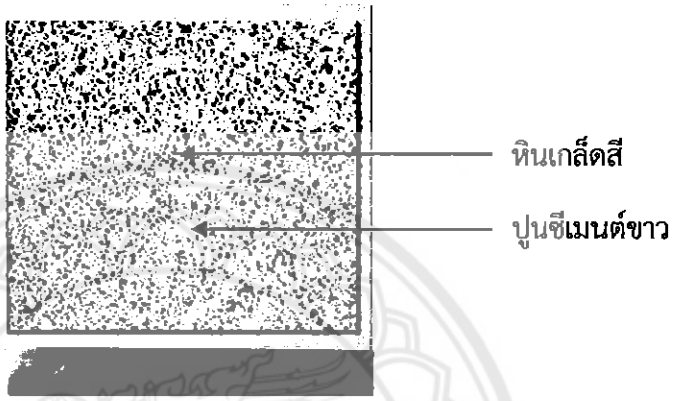
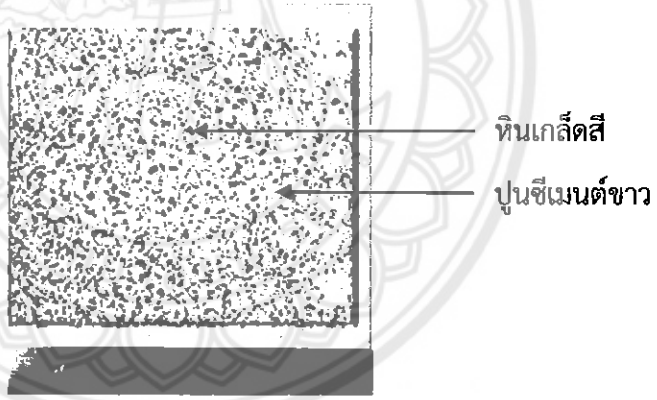
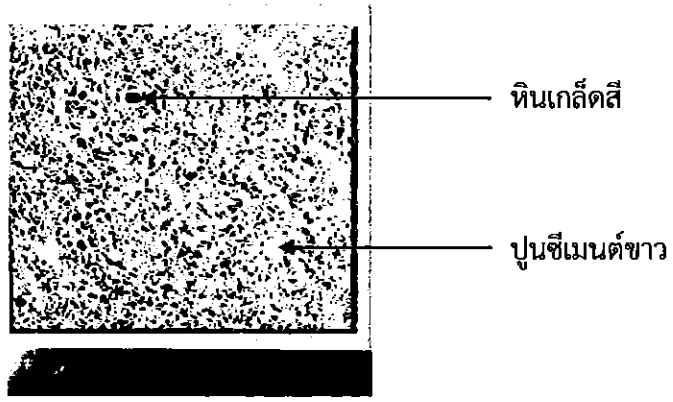


รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ ที่ปริมาณน้ำในอัตราส่วนต่างๆ ของกระเบื้องบุผนัง**ปูนซีเมนต์ขาว ที่**อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วนผสม 70 : 30 **ใช้ปริมาณน้ำต่อ**ปูนซีเมนต์ขาว ร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.5 พิจารณาค่าเฉลี่ยค่าร้อยละความสอบของกระเบื้องบุผนัง**ปูนซีเมนต์ขาว** ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีกับปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 **ใช้ปริมาณน้ำ**ร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่า ปริมาณน้ำไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ย**ร้อยละความสอบ เนื่องจากกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาวที่ทำการศึกษาไม่ได้ผ่านกระบวนการเผา จึงทำให้มีค่าการหดตัว**ของชิ้นงานแต่ละชิ้นไม่ต่างกันมาก เพราะฉะนั้น ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว จึงไม่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ย**ร้อยละความสอบ**

4.3.5 ลักษณะชิ้นงานของอัตราส่วนผสมระหว่างปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว

ตารางที่ 4.6 ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว 70 : 30 ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว ร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และหินเกล็ดสีขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ (ร้อยละ)	ลักษณะกระเบื้องเซรามิก
30	
35	
40	

จากตาราง 4.6 แสดงลักษณะของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว ที่ผลิตด้วยอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่า เมื่อมีการเพิ่มปริมาณน้ำ จะส่งผลให้เห็นหินเกล็ดสีในปริมาณที่มากขึ้น เพราะปริมาณน้ำที่มากจะทำให้หินเกล็ดสีจมลง เมื่อนำชิ้นงานไปขัดจะทำให้เห็นหินเกล็ดสีในปริมาณที่มาก และในทางกลับกันจะพบว่า เมื่อมีปริมาณน้ำน้อยจะทำให้เห็นหินเกล็ดสีในปริมาณที่น้อยลง เพราะมีหินเกล็ดสีบางส่วนที่จมลง และบางส่วนได้ลอยอยู่ตรงกลาง เมื่อนำชิ้นงานไปขัดจะทำให้เห็นปริมาณหินเกล็ดสีที่น้อยกว่าปริมาณน้ำที่มาก ดังนั้น ที่ปริมาณน้ำร้อยละ 30 จะเห็นปริมาณหินเกล็ดสีที่น้อยกว่าปริมาณน้ำร้อยละ 35 และ 40

บทที่ 5
บทสรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาอิทธิพลของขนาด อัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว และปริมาณน้ำ สามารถที่จะสรุป และวิเคราะห์ผลในเรื่องของอิทธิพลของขนาด อัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว และปริมาณน้ำ ได้ดังนี้

5.1.1 อิทธิพลของขนาด

ขนาดของหินเกล็ดสีมีอิทธิพลต่อความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ ความแข็งแรงดัด และความสอบ โดยเมื่อพิจารณาหินเกล็ดสีที่มีขนาดเล็ก (12 – 20 เมช) เปรียบเทียบกับหินเกล็ดสีที่มีขนาดใหญ่ (6 – 12 เมช) พบว่า หินเกล็ดสีขนาดเล็กจะให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นที่สูงกว่า เนื่องจากหินเกล็ดสีที่มีอนุภาคขนาดเล็ก จะสามารถแทรกตัวไปตามบริเวณช่องว่างที่มีลักษณะสานตัวกันเป็นรูปเข็มหลังจากเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนกับน้ำ เมื่อเข้าไปแทรกตัวจะทำให้ช่องว่างที่มีอยู่ลดลง จึงส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกัน เมื่อค่าความหนาแน่นมีค่าที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานมีค่าลดลง เพราะช่องว่างที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงานลดลง และหินเกล็ดสีที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะสามารถกระจายตัวภายในเนื้อปูนได้ดีกว่าหินเกล็ดสีที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ ส่งผลทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงทำให้ค่าความแข็งแรงดัดของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าเฉลี่ยความสอบที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากกระเบื้องที่ทำการผลิตไม่ได้นำไปผ่านกระบวนการเผา เพราะฉะนั้น ขนาดของหินเกล็ดสีที่เติมลงไปจึงไม่มีผลกระทบต่อค่าร้อยละความสอบ

5.1.2 อิทธิพลของอัตราส่วนผสมของหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว

การเพิ่มปริมาณของหินเกล็ดสี ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อนำหินเกล็ดสีไปทำการผสมในปูนซีเมนต์ขาว หินเกล็ดสีจะเข้าไปแทรกตัวในช่องว่างระหว่างผลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่มีลักษณะสานตัวกันเป็นรูปเข็ม ส่งผลทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ดังนั้น การเติมหินเกล็ดสีลงไปในปริมาณที่มากขึ้น จึงเปรียบเสมือนใส่หินเกล็ดสีลงไปในช่องว่างเกิดการสานตัวรูปเข็มหลังปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยพบว่า ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว 70 : 30 พบว่า มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสูงสุด จึงทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดมีค่าที่สูงขึ้นตามไปด้วย เมื่อนำชิ้นงานไปแช่ทิ้งไว้ในน้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อทำการทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ พบว่า น้ำสามารถไหลเข้าสู่เนื้อของชิ้นงานได้น้อยลง เนื่องจากชิ้นงานมีช่องว่างลดลง ดังนั้น ชิ้นงานที่มีจำนวนช่องว่างภายในชิ้นงานน้อย

ความสามารถในการดูดซึมน้ำเข้าไปในเนื้อชิ้นงานจึงลดลง ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานในอัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำสุด

5.1.3 อิทธิพลของปริมาณน้ำ

น้ำมีอิทธิพลต่อความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงดัด การเพิ่มน้ำในปริมาณมาก ส่งผลทำให้เกิดน้ำส่วนเกิน หรือน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน กระจายอยู่ภายในชิ้นงาน เมื่อนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อทำการไล่ความชื้นออก พบว่า น้ำส่วนนี้จะถูกขจัดออกไป เกิดเป็นช่องว่างของน้ำที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชันกระจายภายในชิ้นงาน ส่งผลให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อชิ้นงานจำนวนมาก ดังนั้น จึงทำให้ชิ้นงานมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลง และทำให้ชิ้นงานสามารถดูดซึมน้ำเข้าไปยังเนื้อชิ้นงานได้สูง ส่งผลให้ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานมีค่าสูง และค่าความแข็งแรงดัดของชิ้นงาน จึงมีค่าลดลง ถึงแม้ว่าการเพิ่มปริมาณน้ำจะช่วยให้ปูนซีเมนต์มีความเหลวสามารถที่จะเทลงแบบได้ง่าย แต่ในทางกลับกันจะส่งผลทำให้เกิดฟองอากาศเช่นกัน ฟองอากาศจะลอยไปอยู่บริเวณผิวของชิ้นงาน และกระจายตัวอยู่บริเวณผิวของชิ้นงาน ส่งผลให้บริเวณผิวชิ้นงานมีรูพรุน ดังนั้น อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 40 ส่งผลให้สมบัติทางกล และทางกายภาพของชิ้นงานต่ำสุด ในขณะที่อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30 ส่งผลให้สมบัติทางกล และทางกายภาพของชิ้นงานดีที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการผลิตกระเบื้องจากปูนซีเมนต์ไม่ควรที่จะผสมน้ำในอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวมากจนเกินไป เพราะจะทำให้สมบัติต่างๆ ของกระเบื้องลดลง

5.2.2 ในการทำการศึกษาเพิ่มเติม อาจจะลดขนาดหินเกล็ดสีให้มีขนาดที่เล็กลง เพื่อเพิ่มสมบัติความต้านทานต่อแรงดัดให้มากขึ้น

5.2.3 ลักษณะสีของกระเบื้องบุผนังที่ได้จะมีลักษณะสีออกขุ่นๆ ดังนั้น เพื่อเป็นการเพิ่มความสวยงามให้แก่กระเบื้องควรมีการพ่นสเปรย์เคลือบใส เพื่อให้สีของกระเบื้องที่ได้ชัดเจนขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มความเงาให้แก่กระเบื้องด้วยเช่นกัน

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข

5.3.1 ในขั้นตอนการหล่อชิ้นงานของกระเบื้องบุผนังที่ทำการผลิต มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์-ขาว และหินเกล็ดสี ดังนั้น จึงต้องมีขั้นตอนการบดหินเกล็ดสี เพื่อนำมาร่อน ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของทั้งผงปูนเอง และหินเกล็ดสี ซึ่งจะเกิดการฟุ้งกระจายในลักษณะเช่นนี้เกือบทุกๆ ขั้นตอน สิ่งที่เกิดขึ้นอาจจะส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจ ดังนั้น ในการปฏิบัติงานควรจะสวมผ้าปิดจมูก หรือหน้ากากอนามัย และแว่นตาในการปฏิบัติงาน เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

5.3.2 ในการบดหินเกล็ดสีให้ได้ขนาดตามต้องการ เมื่อเรานำไปทำการบดโดยการใช้เครื่องบดบอลมิล (Ball mill) ผลที่ได้ปรากฏว่าผงที่ได้มีความละเอียดเกินขนาดที่จะนำมาทำการทดลอง ดังนั้นจึงเปลี่ยนวิธีการบดมาเป็นวิธีการทุบแทน แต่วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ช้า และต้องใช้แรงคนในการทำงานเป็นอย่างมาก ส่งผลให้การปฏิบัติงานเกิดความล่าช้า

เอกสารอ้างอิง

กิตติภณ ร้านหิน. (2551). **เรื่องหิน**. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม 2555, จาก www.ninekaow.com/scoops/?action=view&catID=0000003&pid=0000019

คชินท์ สายอินทวงศ์. (2551). **แนวทางในการเลือกใช้งานกระเบื้องเซรามิก**. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม 2555, จาก www.thaiceramicsociety.com/pd_tile_way1.php

คณะทำงานคาดประมาณประชากรของประเทศไทย. (2542 – 2559). **การคาดประมาณประชากรของประเทศไทย**. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม 2555, จาก www.ptcn.ac.th/ebook/pdf/4220001/pdf.pdf

ดาวคู่ อิฐอ่างทอง. (2553). **อิฐ หิน ทรายปูพื้น ประดับผนัง**. สืบค้นเมื่อวันที่ 26 สิงหาคม 2555, จาก http://www.itdowkhoo.com/itdaokhoo-wall_tile.php

นายช่างนิด พี.ดี.เฮ้าส์. (2553). **ประเภทกระเบื้องเซรามิก**. สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2555, จาก http://www.pd.co.th/v5/th/knowlage_detail.php?t_id=00059

นิวัติ อนงค์รักษ์. (2532). **การกำเนิดของดินบนที่สูงที่เกิดจากหินแกรนิตในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย**. สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2555, จาก http://202.28.199.4/tdc/browse.php?option=show&browse_type=title&titleid=88015&query=%C7%D4%B7%C2%D2%C8%D2%CA%B5%C3%B4%D8%C9%AE%D5%BA%D1%B3%B1%D4%B5&s_mode=all&date_field=&date_start=&date_end=&limit_lang=off&limited_lang_code=&order=on&order_by=i.institute_name_thai,t.title&order_type=%20asc&result_id=194&maxid=166

บัญชา ชื่นจิต. (2542). **การผลิตอิฐปูพื้นจากดินลูกรัง ซีเมนต์ ทราย และหินเกล็ด**. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 สิงหาคม 2555, จาก http://dcms.thailis.or.th/tdc//browse.php?option=show&institute_code=21&bbb=285&doc_type=&TitleIndex=279

บริษัท เดอะตรีทัช เอเชียแปซิฟิก จำกัด. (2553). **กระเบื้องลายโบราณ**. สืบค้นเมื่อวันที่ 26 สิงหาคม 2555, จาก http://www.treetouch.com/Agent-tiles/กระเบื้องลายโบราณ

บริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน). (2533). **ความพรุนตัวของซีเมนต์เพสต์**. สืบค้นเมื่อวันที่ 26 สิงหาคม 2555, จาก http:// www.tpipolene.co.th

ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2549). **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต**. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง สำนักหอสมุด, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

มาโนช แต่งอัยการ. (2554). **กระเบื้องดินเผา**. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม 2555, จาก www.slideshare.net/SiwaMuanfu/terra-cotta-8457679

วรรณิภา ประณีต, นรินทร์ ขัตติวงศ์ และอรวรรยา ทิมอยู่. (2554). **อิทธิพลของปริมาณน้ำ ระยะเวลาในการบ่ม และอัตราส่วนผสมของเศษแก้วต่อสมบัติทางกล และทางกายภาพ ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว**. ปริญญานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

วัสดุก่อสร้าง. (2548). **วัสดุปูพื้น และผนัง**. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2555, จาก http://www.buildingmart.org/index.php?category_id=40&subcategory_id=1509&FormRecommended_Page=5

ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลก และดาราศาสตร์. (2549). หิน. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2555, จาก http://portal.edu.chula.ac.th/lesa_cd/assets/document/LESA212/8/rocks/properties/rocks_properties.html

สุกาญจน์ น้อยเจริญ. (2549). **การพัฒนากระเบื้องซีเมนต์**. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 สิงหาคม 2555, จาก http://dcms.thailis.or.th/tdc/browse.php?option=show&browse_type=title&titleid=531 84&display=list_subject&q=Teaching

สุชาดา คำกล่อม และชวลิต มากเมือง. (2553). **ผลกระทบของเศษแก้วที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของปูนซีเมนต์ขาวในการผลิตกระเบื้องเซรามิก**. ปริญญานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

สุดารัตน์ อุตสาหกรรมหิน. (2555). **หินจัดสวน**. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม 2555, จาก http://www.sudaratstone.com/product_pro9_v21.php

สมชัย สินจนานุรักษ์. (2554). **การแบ่งกระเบื้องเซรามิกตามสมบัติ**. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2555, จาก http://home.yellowpages.co.th/?p=1158

เอสซีจี เอ็กซพีเรียนซ์. (2554). **ลีลาวดี บูเก้**. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม 2555, จาก http://www.scgexperience.co.th/th/brochure/detail.aspx?id=45

โฮมมาร์ท. (2552). **ปูนซีเมนต์ขาว**. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2555, จาก http://www.homemart.co.th/product.asp?parentid=94

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Duragres timeless beauty. (2555). **ลายกระเบื้องห้องครัวดูราเกรส**. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2555, จาก http://duragres.blogspot.com/2012/05/duragres-kitchenroom-tile-pattern.html

Engineering Ceramics. (2549). **การปั้นด้วยมือ (Hand Forming)**. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2555, จาก http://www.mne.eng.psu.ac.th/staff/lek_files/ceramic/u6-9.htm

Homedecorthai. (2555). **กระเบื้อง 3 D**. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2555, จาก http://www.homedecorthai.com/articles/Tiling_3D-78-1456-p3.html

Hongjiang Dragon China Industrial Limited. (2550). **การจิกเกอริ่ง (Jiggering)**. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2555, จาก http://www.hj-dragonchina.com/production.htm

Teem design blog. (2547). **กระเบื้องดินเผา**. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2555, จาก http://www.bloggang.com/viewblog.php?id=teemgroup&date=07-07-2010&group=1&gblog=15

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบความหนาแน่นของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 30	6 – 12 เมช	20 : 80	2.675	2.475	0.151
			2.400		
			2.300		
			2.400		
			2.700		
			2.450		
			2.300		
			2.500		
			2.375		
			2.650		
		30 : 70	3.000	2.773	0.092
			2.750		
			2.725		
			2.825		
			2.700		
			2.700		
			2.800		
			2.725		
			2.700		
			2.800		
		40 : 60	2.775	2.776	0.093
			2.875		
			2.675		
			2.850		
			2.625		
			2.850		
			2.825		
			2.775		
			2.855		
			2.650		

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์-ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 30	6 – 12 เมช	50 : 50	2.875	2.850	0.141
			2.825		
			2.950		
			3.075		
			2.550		
			2.725		
			2.900		
			2.875		
			2.800		
			2.925		
		60 : 40	2.900	2.870	0.126
			3.175		
			2.875		
			2.775		
			2.725		
			2.925		
			2.850		
			2.775		
			2.800		
			2.900		
		70 : 30	2.725	2.878	0.112
			2.800		
			2.850		
			2.875		
			2.850		
			3.125		
			2.950		
			2.875		
			2.950		
			2.775		

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์-ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 35	6 – 12 เมช	20 : 80	2.625	2.330	0.160
			2.150		
			2.250		
			2.250		
			2.450		
			2.325		
			2.175		
			2.550		
			2.300		
			2.225		
		30 : 70	2.525	2.558	0.143
			2.725		
			2.400		
			2.450		
			2.775		
			2.625		
			2.450		
			2.500		
			2.725		
			2.400		
		40 : 60	2.650	2.683	0.053
			2.775		
			2.675		
			2.725		
			2.700		
			2.725		
			2.650		
			2.700		
			2.600		
			2.625		

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์-ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 35	6 – 12 เมช	50 : 50	2.675	2.778	0.073
			2.675		
			2.825		
			2.875		
			2.775		
			2.825		
			2.875		
			2.725		
			2.775		
			2.750		
		60 : 40	2.800	2.863	0.060
			2.975		
			2.800		
			2.900		
			2.850		
			2.825		
			2.900		
			2.850		
			2.800		
			2.925		
		70 : 30	2.825	2.868	0.083
			3.000		
			2.750		
			2.850		
			2.750		
			2.950		
			2.850		
			2.925		
			2.850		
			2.925		

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์-ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 40	6 – 12 เมช	20 : 80	2.000	2.115	0.109
			2.100		
			2.350		
			2.100		
			2.000		
			2.200		
			2.125		
			2.000		
			2.100		
			2.175		
		30 : 70	1.925	2.123	0.122
			2.150		
			2.100		
			1.950		
			2.025		
			2.275		
			2.225		
			2.150		
			2.175		
			2.250		
		40 : 60	2.150	2.153	0.067
			2.225		
			2.025		
			2.200		
			2.075		
			2.175		
			2.200		
			2.150		
			2.225		
			2.100		

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์-ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 40	6 – 12 เมช	50 : 50	2.500	2.423	0.098
			2.525		
			2.525		
			2.500		
			2.400		
			2.350		
			2.250		
			2.300		
			2.475		
			2.400		
		60 : 40	2.325	2.470	0.096
			2.425		
			2.550		
			2.325		
			2.425		
			2.500		
			2.475		
			2.575		
			2.600		
			2.500		
		70 : 30	2.475	2.478	0.122
			2.350		
			2.350		
			2.650		
			2.300		
			2.600		
			2.625		
			2.450		
			2.525		
			2.450		

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 30	12 – 20 เมช	20 : 80	2.750	2.390	0.135
			2.300		
			2.350		
			2.300		
			2.350		
			2.400		
			2.300		
			2.350		
			2.350		
			2.450		
		30 : 70	2.400	2.547	0.117
			2.500		
			2.650		
			2.650		
			2.675		
			2.350		
			2.545		
			2.600		
			2.650		
			2.450		
		40 : 60	2.650	2.617	0.152
			2.550		
			2.600		
			2.950		
			2.425		
			2.745		
			2.625		
			2.650		
			2.525		
			2.450		

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์-ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 30	12 – 20 เมช	50 : 50	3.000	2.808	0.089
			2.775		
			2.875		
			2.800		
			2.825		
			2.800		
			2.700		
			2.750		
			2.850		
			2.700		
		60 : 40	2.950	2.840	0.135
			2.700		
			3.025		
			2.875		
			2.625		
			2.850		
			2.725		
			2.900		
			3.000		
			2.750		
		70 : 30	3.200	3.033	0.087
			3.025		
			2.950		
			3.000		
			3.050		
			3.025		
			2.925		
			3.150		
			3.050		
			2.950		

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์-ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 35	12 – 20 เมช	20 : 80	2.325	2.225	0.066
			2.225		
			2.250		
			2.150		
			2.250		
			2.225		
			2.125		
			2.300		
			2.250		
			2.150		
		30 : 70	2.250	2.413	0.152
			2.200		
			2.600		
			2.450		
			2.625		
			2.500		
			2.450		
			2.300		
			2.250		
			2.500		
		40 : 60	2.600	2.460	0.073
			2.400		
			2.400		
			2.375		
			2.400		
			2.450		
			2.500		
			2.450		
			2.550		
			2.475		

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์-ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 35	12 – 20 เมช	50 : 50	2.500	2.563	0.109
			2.425		
			2.525		
			2.775		
			2.525		
			2.625		
			2.550		
			2.700		
			2.450		
			2.550		
		60 : 40	2.750	2.828	0.118
			2.750		
			2.800		
			3.125		
			2.800		
			2.725		
			2.900		
			2.750		
			2.850		
			2.825		
		70 : 30	2.925	2.930	0.086
			3.075		
			2.825		
			2.900		
			3.025		
			3.000		
			2.925		
			2.800		
			2.950		
			2.875		

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์-ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 40	12 – 20 เมช	20 : 80	2.050	1.923	0.142
			2.150		
			1.750		
			1.875		
			1.950		
			1.700		
			1.800		
			2.025		
			1.925		
			2.000		
		30 : 70	2.300	2.243	0.071
			2.325		
			2.275		
			2.300		
			2.125		
			2.225		
			2.300		
			2.150		
			2.175		
			2.250		
		40 : 60	2.300	2.380	0.176
			2.550		
			2.075		
			2.575		
			2.350		
			2.475		
			2.325		
			2.500		
			2.125		
			2.525		

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์-ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 40	12 – 20 เมช	50 : 50	2.750	2.545	0.109
			2.500		
			2.600		
			2.375		
			2.500		
			2.650		
			2.450		
			2.550		
			2.600		
			2.475		
		60 : 40	2.650	2.550	0.126
			2.550		
			2.350		
			2.625		
			2.350		
			2.450		
			2.650		
			2.700		
			2.550		
			2.625		
		70 : 30	2.625	2.655	0.158
			2.850		
			2.775		
			2.525		
			2.325		
			2.750		
			2.800		
			2.550		
			2.625		
			2.725		

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ ของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์-ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 30	6 – 12 เมช	20 : 80	17.822	16.667	0.843
			15.385		
			17.045		
			16.484		
			16.505		
			17.782		
			15.436		
			17.078		
			16.935		
			16.198		
		30 : 70	13.542	12.509	0.819
			11.538		
			13.187		
			11.828		
			12.264		
			12.348		
			11.924		
			13.452		
			11.560		
			13.448		
		40 : 60	11.765	12.331	0.364
			12.150		
			12.500		
			12.381		
			12.621		
			11.842		
			12.954		
			12.168		
			12.600		
			12.324		

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 30	6 – 12 เมช	50 : 50	10.909	10.241	1.217
			12.037		
			8.772		
			9.244		
			10.204		
			10.786		
			9.246		
			12.072		
			10.262		
			8.876		
		60 : 40	9.821	9.343	1.794
			5.645		
			9.821		
			11.340		
			9.434		
			9.852		
			6.786		
			11.254		
			9.948		
			9.528		
		70 : 30	7.477	8.287	0.568
			8.257		
			9.009		
			7.965		
			8.929		
			7.748		
			8.325		
			9.078		
			7.753		
			8.329		

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 35	6 – 12 เมช	20 : 80	17.526	16.890	1.168
			16.250		
			15.476		
			16.667		
			18.681		
			17.546		
			16.242		
			15.478		
			16.377		
			18.652		
		30 : 70	10.169	15.134	2.991
			17.757		
			14.151		
			15.455		
			18.095		
			10.243		
			17.546		
			14.248		
			15.654		
			18.025		
		40 : 60	15.094	14.829	1.191
			15.455		
			14.423		
			16.364		
			12.871		
			15.078		
			15.345		
			14.412		
			16.262		
			12.987		

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 35	6 – 12 เมช	50 : 50	14.563	13.742	0.662
			13.636		
			12.871		
			14.286		
			13.043		
			14.556		
			13.626		
			12.850		
			14.234		
			13.758		
		60 : 40	9.174	9.989	1.067
			8.696		
			10.185		
			11.712		
			10.000		
			9.725		
			8.546		
			10.248		
			11.628		
			9.978		
		70 : 30	8.491	9.032	0.381
			8.621		
			9.524		
			9.091		
			9.346		
			8.751		
			8.653		
			9.514		
			9.078		
			9.248		

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 40	6 – 12 เมช	20 : 80	29.167	25.899	3.010
			23.684		
			22.093		
			25.333		
			29.167		
			29.157		
			23.786		
			22.093		
			25.354		
			29.153		
		30 : 70	29.577	25.760	2.374
			23.750		
			25.641		
			23.288		
			26.316		
			29.578		
			23.684		
			25.662		
			23.352		
			26.748		
		40 : 60	21.519	22.171	1.733
			23.457		
			24.324		
			19.753		
			21.333		
			21.524		
			23.348		
			24.786		
			19.953		
			21.714		

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 40	6 – 12 เมช	50 : 50	17.708	16.539	1.305
			18.280		
			15.957		
			15.152		
			15.556		
			17.714		
			18.312		
			15.952		
			15.116		
			15.645		
		60 : 40	16.279	15.934	0.750
			15.385		
			14.894		
			16.279		
			16.854		
			16.782		
			15.153		
			14.989		
			16.354		
			16.373		
		70 : 30	13.158	15.838	1.656
			15.663		
			14.943		
			17.526		
			17.647		
			13.786		
			15.668		
			14.987		
			17.648		
			17.353		

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์-ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 30	12 – 20 เมช	20 : 80	16.190	17.361	0.916
			18.391		
			16.667		
			18.391		
			16.854		
			18.254		
			16.782		
			17.560		
			18.291		
			16.232		
		30 : 70	16.484	15.407	0.666
			15.625		
			14.706		
			14.851		
			15.686		
			14.719		
			15.556		
			16.378		
			14.725		
			15.342		
		40 : 60	13.725	13.581	0.614
			13.265		
			14.000		
			12.389		
			13.978		
			13.625		
			14.152		
			12.786		
			13.561		
			14.325		

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 30	12 – 20 เมช	50 : 50	11.111	11.657	0.980
			13.084		
			10.714		
			12.037		
			10.092		
			11.324		
			12.560		
			10.916		
			12.780		
			11.954		
		60 : 40	9.259	8.915	0.514
			8.411		
			9.174		
			9.016		
			8.333		
			9.452		
			8.035		
			9.154		
			8.742		
			9.578		
		70 : 30	7.895	7.297	0.686
			6.667		
			8.108		
			7.018		
			7.563		
			6.887		
			7.159		
			8.374		
			7.148		
			6.152		

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 35	12 – 20 เมช	20 : 80	20.482	19.053	1.702
			17.284		
			20.000		
			20.779		
			15.854		
			20.228		
			18.952		
			20.486		
			17.234		
			19.228		
		30 : 70	19.048	18.736	0.951
			18.750		
			17.708		
			20.225		
			17.526		
			18.956		
			17.486		
			19.953		
			18.556		
			19.154		
		40 : 60	16.092	15.621	0.679
			14.583		
			16.667		
			15.306		
			15.730		
			14.516		
			15.553		
			16.078		
			15.596		
			16.084		

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 35	12 – 20 เมช	50 : 50	12.500	12.361	1.297
			13.978		
			11.224		
			13.636		
			10.526		
			13.786		
			11.438		
			12.592		
			10.745		
			13.182		
		60 : 40	11.504	10.521	1.225
			8.654		
			12.174		
			9.091		
			9.804		
			11.786		
			9.713		
			9.990		
			11.534		
			10.962		
		70 : 30	8.871	7.396	0.829
			7.692		
			7.018		
			6.838		
			6.780		
			7.778		
			6.259		
			8.314		
			6.598		
			7.812		

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 40	12 – 20 เมช	20 : 80	20.779	24.548	2.988
			24.359		
			27.692		
			27.941		
			22.222		
			24.654		
			27.268		
			20.514		
			27.781		
			22.273		
		30 : 70	15.618	19.366	2.556
			23.256		
			17.647		
			20.000		
			18.750		
			20.223		
			19.743		
			17.846		
			23.563		
			17.016		
		40 : 60	13.265	16.316	2.522
			20.455		
			15.385		
			14.607		
			17.978		
			17.756		
			16.954		
			13.778		
			19.254		
			13.730		

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 40	12 – 20 เมช	50 : 50	13.684	13.209	1.106
			11.957		
			12.500		
			13.208		
			14.737		
			12.159		
			13.728		
			14.952		
			11.816		
			13.348		
		60 : 40	9.804	10.751	1.103
			11.224		
			12.360		
			10.000		
			9.890		
			10.216		
			11.953		
			12.354		
			9.726		
			9.987		
		70 : 30	11.111	9.273	1.443
			11.111		
			6.364		
			9.184		
			8.989		
			10.264		
			9.614		
			7.778		
			8.962		
			9.354		

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบความแข็งแรงดัด ของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความแข็งแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 30	6 – 12 เมช	20 : 80	2.849	2.310	0.297
			2.172		
			2.352		
			2.443		
			2.005		
			2.605		
			2.002		
			2.556		
			2.007		
			2.112		
		30 : 70	2.342	2.412	0.350
			2.861		
			2.409		
			2.556		
			2.098		
			3.009		
			2.645		
			2.072		
			2.112		
			2.011		
		40 : 60	2.546	2.742	0.148
			2.793		
			2.896		
			2.766		
			2.656		
			2.477		
			2.745		
			2.743		
			2.842		
			2.954		

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความแข็งแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 30	6 – 12 เมช	50 : 50	2.843	2.975	0.101
			2.914		
			2.991		
			2.988		
			3.020		
			2.986		
			3.109		
			3.146		
			2.900		
			2.854		
		60 : 40	2.858	3.133	0.533
			4.122		
			2.637		
			2.654		
			3.221		
			4.021		
			2.765		
			2.890		
			3.211		
			2.953		
		70 : 30	2.998	3.537	0.677
			4.099		
			3.989		
			3.843		
			2.899		
			2.032		
			4.087		
			3.867		
			3.675		
			3.876		

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความแข็งแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 35	6 – 12 เมช	20 : 80	1.998	2.130	0.714
			3.098		
			2.397		
			3.009		
			2.112		
			1.867		
			1.034		
			2.096		
			2.667		
			1.023		
		30 : 70	2.546	2.298	0.287
			2.172		
			2.352		
			2.566		
			2.345		
			2.322		
			2.333		
			2.678		
			1.877		
			1.785		
		40 : 60	2.662	2.738	0.233
			3.019		
			2.619		
			3.046		
			2.546		
			2.456		
			3.111		
			2.659		
			2.556		
			2.704		

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความแข็งแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 35	6 – 12 เมช	50 : 50	2.546	2.971	0.177
			3.064		
			3.158		
			2.987		
			3.044		
			3.012		
			2.786		
			2.998		
			3.065		
			3.052		
		60 : 40	2.662	3.053	0.489
			3.149		
			2.619		
			2.789		
			2.845		
			3.678		
			2.467		
			3.867		
			3.567		
			2.889		
		70 : 30	3.363	3.287	0.208
			3.366		
			3.627		
			3.024		
			3.022		
			3.456		
			3.235		
			3.028		
			3.442		
			3.311		

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความแข็งแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 40	6 – 12 เมช	20 : 80	3.996	1.317	1.403
			0.401		
			0.32		
			0.324		
			0.56		
			3.004		
			0.456		
			0.889		
			2.876		
			0.344		
		30 : 70	0.017	1.951	1.671
			3.715		
			3.548		
			0.019		
			3.655		
			3.435		
			0.112		
			2.098		
			2.677		
			0.233		
		40 : 60	2.625	2.645	0.407
			2.409		
			3.417		
			2.543		
			2.202		
			2.654		
			2.354		
			3.235		
			2.786		
			2.221		

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความแข็งแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 40	6 – 12 เมช	50 : 50	2.702	2.917	0.149
			3.064		
			3.017		
			2.901		
			3.025		
			2.887		
			2.875		
			3.112		
			2.654		
			2.932		
		60 : 40	2.451	3.018	0.476
			2.915		
			3.278		
			2.897		
			3.456		
			3.098		
			4.009		
			2.987		
			2.539		
			2.554		
		70 : 30	3.815	3.212	0.539
			3.102		
			2.397		
			3.567		
			2.988		
			3.958		
			2.654		
			2.766		
			3.098		
			3.778		

ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความแข็งแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 30	12 – 20 เมช	20 : 80	3.794	4.379	0.740
			5.857		
			4.051		
			3.815		
			4.011		
			3.905		
			3.996		
			4.010		
			4.999		
			5.351		
		30 : 70	4.961	5.052	0.404
			5.261		
			5.507		
			4.413		
			4.976		
			4.786		
			5.136		
			4.486		
			5.513		
			5.479		
		40 : 60	5.495	5.612	0.232
			5.255		
			5.979		
			5.346		
			5.674		
			5.437		
			5.765		
			5.564		
			5.847		
			5.759		

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความแข็งแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 30	12 – 20 เมช	50 : 50	6.482	5.629	0.328
			5.570		
			5.271		
			5.545		
			5.676		
			5.769		
			5.546		
			5.437		
			5.464		
			5.527		
		60 : 40	5.873	5.769	0.297
			5.019		
			6.135		
			5.676		
			5.765		
			5.913		
			5.764		
			5.769		
			5.764		
			6.011		
		70 : 30	6.162	5.785	0.556
			4.486		
			5.046		
			5.997		
			5.986		
			6.019		
			6.103		
			5.996		
			6.067		
			5.989		

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความแข็งแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 35	12 – 20 เมช	20 : 80	4.919	3.815	0.556
			4.48		
			3.046		
			3.456		
			3.435		
			3.836		
			4.076		
			3.872		
			3.547		
			3.478		
		30 : 70	3.374	4.059	0.753
			5.687		
			3.377		
			3.435		
			3.547		
			3.674		
			4.816		
			4.016		
			4.301		
			4.362		
		40 : 60	4.703	4.365	1.501
			0.753		
			6.958		
			4.327		
			4.455		
			4.564		
			4.478		
			4.89		
			4.369		
			4.148		

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความแข็งแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 35	12 – 20 เมช	50 : 50	3.717	5.039	0.944
			3.471		
			4.046		
			5.876		
			5.552		
			5.867		
			5.368		
			5.643		
			5.872		
			4.98		
		60 : 40	4.308	5.415	0.548
			4.858		
			4.928		
			5.982		
			5.769		
			5.598		
			5.678		
			5.657		
			5.389		
			5.978		
		70 : 30	5.539	5.488	0.158
			5.516		
			5.243		
			5.456		
			5.386		
			5.532		
			5.584		
			5.489		
			5.316		
			5.817		

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความแข็งแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 40	12 – 20 เมช	20 : 80	2.975	3.168	0.679
			2.924		
			5.086		
			2.915		
			3.052		
			2.847		
			2.875		
			3.104		
			2.904		
			2.994		
		30 : 70	2.948	3.375	0.309
			3.167		
			3.594		
			3.412		
			3.135		
			3.515		
			3.498		
			3.391		
			3.082		
			4.011		
		40 : 60	3.662	3.431	0.238
			3.602		
			3.037		
			3.547		
			3.583		
			3.041		
			3.549		
			3.613		
			3.428		
			3.246		

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความแข็งแรงดัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 40	12 – 20 เมช	50 : 50	4.328	4.597	0.260
			4.682		
			4.463		
			4.451		
			4.605		
			4.139		
			5.037		
			4.814		
			4.775		
			4.672		
		60 : 40	4.275	4.672	0.440
			3.933		
			3.97		
			4.819		
			4.998		
			5.011		
			4.759		
			5.000		
			4.976		
			4.98		
		70 : 30	4.924	4.804	0.226
			4.224		
			4.629		
			4.947		
			4.867		
			4.903		
			4.95		
			4.873		
			4.938		
			4.784		

ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบร้อยละความสอบ ของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว

ตารางที่ ง.1 ผลการทดสอบค่าร้อยละความสอบของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์-ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความสอบ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 30	6 – 12 เมช	20 : 80	0.050	0.251	0.188
			0.190		
			0.654		
			0.150		
			0.292		
			0.120		
			0.422		
			0.040		
			0.251		
			0.341		
		30 : 70	0.254	0.246	0.174
			0.221		
			0.040		
			0.482		
			0.322		
			0.020		
			0.223		
			0.533		
			0.070		
			0.291		
		40 : 60	0.254	0.244	0.123
			0.131		
			0.240		
			0.210		
			0.322		
			0.413		
			0.050		
			0.413		
			0.298		
			0.111		

ตารางที่ ง.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละความสอบของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความสอบ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 30	6 – 12 เมช	50 : 50	0.030	0.209	0.163
			0.361		
			0.010		
			0.140		
			0.190		
			0.340		
			0.473		
			0.361		
			0.120		
			0.060		
		60 : 40	0.512	0.340	0.129
			0.190		
			0.340		
			0.301		
			0.223		
			0.190		
			0.533		
			0.482		
			0.292		
			0.341		
		70 : 30	0.020	0.245	0.143
			0.301		
			0.254		
			0.392		
			0.221		
			0.190		
			0.473		
			0.361		
			0.060		
			0.180		

ตารางที่ ง.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละความสอบของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความสอบ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 35	6 – 12 เมช	20 : 80	0.240	0.245	0.181
			0.361		
			0.110		
			0.030		
			0.513		
			0.473		
			0.080		
			0.291		
			0.010		
			0.340		
		30 : 70	0.180	0.212	0.146
			0.170		
			0.231		
			0.050		
			0.322		
			0.392		
			0.130		
			0.482		
			0.120		
			0.040		
		40 : 60	0.131	0.273	0.159
			0.100		
			0.210		
			0.472		
			0.291		
			0.481		
			0.298		
			0.472		
			0.060		
			0.210		

ตารางที่ ง.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละความสอบของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความสอบ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 35	6 – 12 เมช	50 : 50	0.210	0.274	0.201
			0.482		
			0.050		
			0.120		
			0.513		
			0.060		
			0.481		
			0.060		
			0.260		
			0.500		
		60 : 40	0.231	0.228	0.141
			0.292		
			0.050		
			0.221		
			0.392		
			0.020		
			0.482		
			0.190		
			0.150		
			0.251		
		70 : 30	0.322	0.238	0.140
			0.291		
			0.040		
			0.301		
			0.254		
			0.292		
			0.190		
			0.070		
			0.511		
			0.111		

ตารางที่ ง.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละความสอบของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความสอบ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 40	6 – 12 เมช	20 : 80	0.340	0.186	0.138
			0.111		
			0.361		
			0.140		
			0.050		
			0.190		
			0.340		
			0.030		
			0.291		
			0.010		
		30 : 70	0.190	0.215	0.087
			0.340		
			0.180		
			0.170		
			0.120		
			0.190		
			0.223		
			0.392		
			0.130		
			0.212		
		40 : 60	0.221	0.284	0.141
			0.482		
			0.190		
			0.060		
			0.251		
			0.322		
			0.150		
			0.513		
			0.292		
			0.354		

ตารางที่ ง.1 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละความสอบของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความสอบ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 40	6 – 12 เมช	50 : 50	0.472	0.248	0.161
			0.291		
			0.298		
			0.131		
			0.010		
			0.298		
			0.481		
			0.050		
			0.150		
			0.298		
		60 : 40	0.291	0.256	0.133
			0.413		
			0.131		
			0.260		
			0.210		
			0.481		
			0.210		
			0.298		
			0.010		
			0.260		
		70 : 30	0.131	0.264	0.152
			0.221		
			0.392		
			0.190		
			0.130		
			0.060		
			0.500		
			0.316		
			0.482		
			0.221		

ตารางที่ ง.2 ผลการทดสอบค่าร้อยละความสอบของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์-ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความสอบ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 30	12 – 20 เมช	20 : 80	0.223	0.210	0.151
			0.020		
			0.190		
			0.040		
			0.190		
			0.392		
			0.221		
			0.482		
			0.050		
			0.292		
		30 : 70	0.020	0.240	0.135
			0.223		
			0.190		
			0.254		
			0.291		
			0.254		
			0.070		
			0.392		
			0.482		
			0.223		
		40 : 60	0.050	0.283	0.156
			0.500		
			0.120		
			0.354		
			0.231		
			0.512		
			0.361		
			0.190		
			0.340		
			0.170		

ตารางที่ ง.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละความสอบของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความสอบ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 30	12 – 20 เมช	50 : 50	0.361	0.316	0.174
			0.512		
			0.040		
			0.140		
			0.170		
			0.473		
			0.291		
			0.500		
			0.482		
			0.190		
		60 : 40	0.291	0.271	0.142
			0.140		
			0.060		
			0.430		
			0.361		
			0.231		
			0.190		
			0.392		
			0.130		
			0.482		
		70 : 30	0.050	0.250	0.100
			0.251		
			0.150		
			0.292		
			0.413		
			0.298		
			0.210		
			0.320		
			0.221		
			0.291		

ตารางที่ ง.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละความสอบของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความสอบ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 35	12 – 20 เมช	20 : 80	0.260	0.252	0.099
			0.413		
			0.240		
			0.120		
			0.291		
			0.322		
			0.131		
			0.120		
			0.298		
			0.320		
		30 : 70	0.472	0.209	0.172
			0.050		
			0.100		
			0.481		
			0.210		
			0.322		
			0.010		
			0.260		
			0.120		
			0.060		
		40 : 60	0.472	0.296	0.133
			0.260		
			0.481		
			0.210		
			0.291		
			0.341		
			0.223		
			0.422		
			0.070		
			0.190		

ตารางที่ ง.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละความสอบของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความสอบ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 35	12 – 20 เมช	50 : 50	0.254	0.205	0.139
			0.251		
			0.040		
			0.120		
			0.050		
			0.190		
			0.301		
			0.291		
			0.070		
			0.482		
		60 : 40	0.190	0.205	0.109
			0.322		
			0.291		
			0.254		
			0.070		
			0.130		
			0.340		
			0.291		
			0.050		
			0.111		
		70 : 30	0.010	0.275	0.157
			0.190		
			0.340		
			0.180		
			0.473		
			0.240		
			0.513		
			0.361		
			0.120		
			0.322		

ตารางที่ ง.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละความสอบของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความสอบ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 40	12 – 20 เมช	20 : 80	0.291	0.270	0.188
			0.340		
			0.040		
			0.190		
			0.340		
			0.170		
			0.322		
			0.473		
			0.298		
			0.231		
		30 : 70	0.361	0.230	0.162
			0.030		
			0.511		
			0.111		
			0.060		
			0.140		
			0.341		
			0.221		
			0.130		
			0.392		
		40 : 60	0.163	0.269	0.150
			0.482		
			0.500		
			0.360		
			0.292		
			0.231		
			0.322		
			0.170		
			0.050		
			0.120		

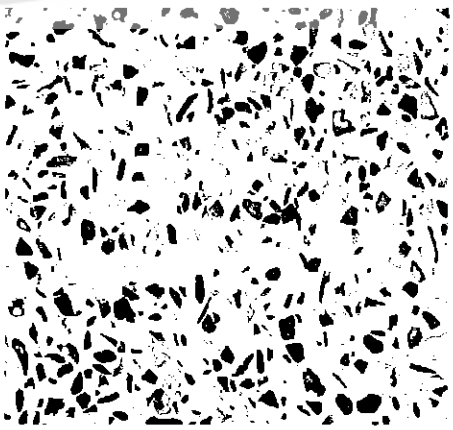
ตารางที่ ง.2 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าร้อยละความสอบของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับหินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

ปริมาณน้ำ	ขนาดของหินเกล็ดสี	อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ค่าความสอบ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยร้อยละความสอบ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ร้อยละ 40	12 – 20 เมช	50 : 50	0.150	0.246	0.138
			0.361		
			0.341		
			0.223		
			0.392		
			0.130		
			0.070		
			0.482		
			0.120		
			0.190		
		60 : 40	0.292	0.270	0.117
			0.290		
			0.221		
			0.301		
			0.291		
			0.040		
			0.190		
			0.392		
			0.472		
			0.210		
		70 : 30	0.131	0.297	0.139
			0.050		
			0.240		
			0.221		
			0.322		
			0.320		
			0.481		
			0.392		
			0.473		
			0.340		

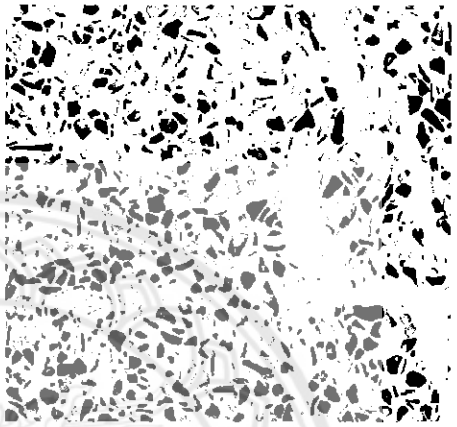
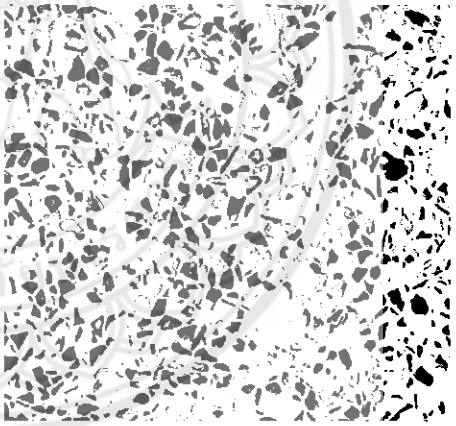
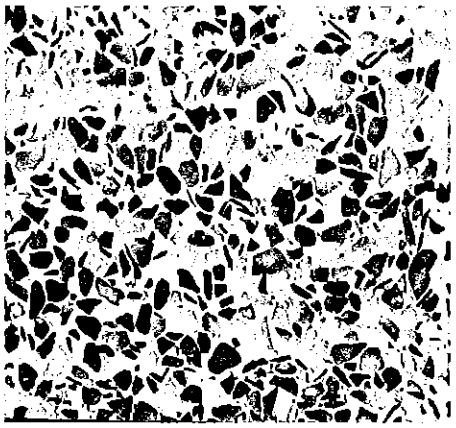
ภาคผนวก จ

ลักษณะของกระเบื้องบุผนังปูนซีเมนต์ขาว

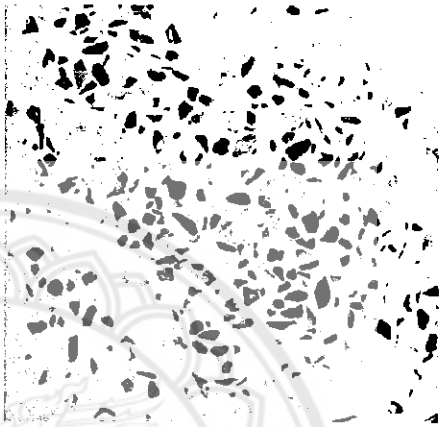
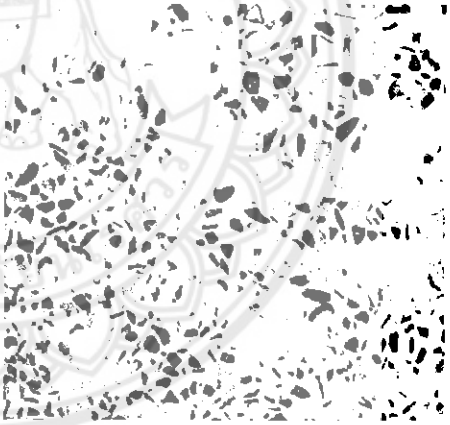
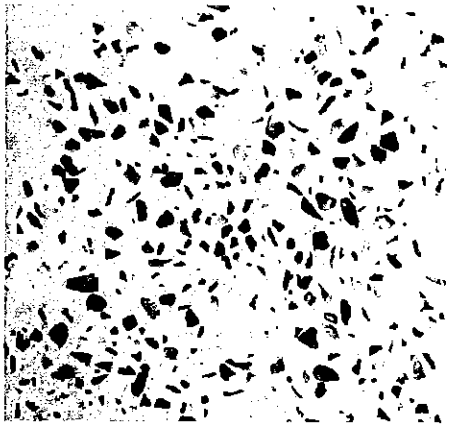
ตารางที่ จ.1 ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว เท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก หินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ลักษณะกระเบื้อง
20 : 80	
30 : 70	
40 : 60	

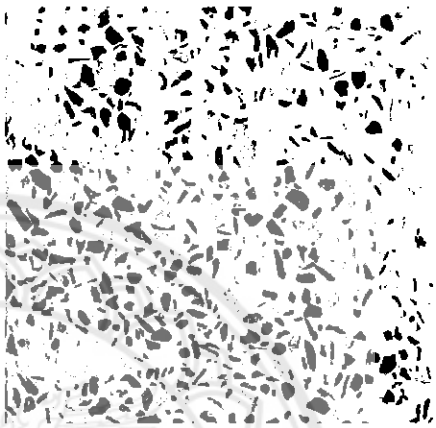
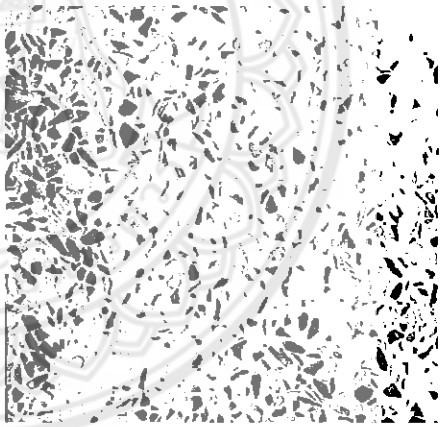
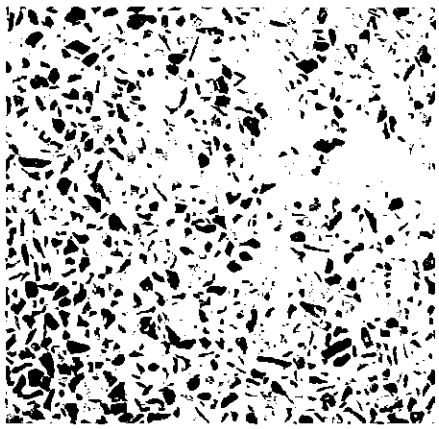
ตารางที่ จ.1 (ต่อ) ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์-ขาวเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก หินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ลักษณะกระเบื้อง
50 : 50	
60 : 40	
70 : 30	

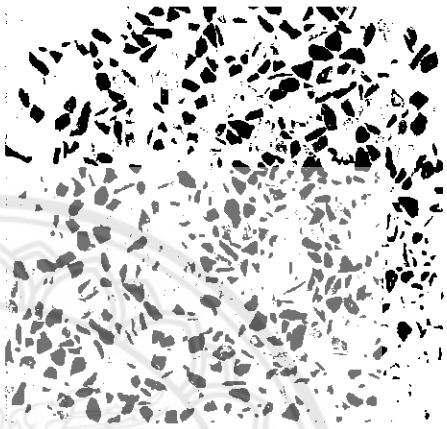
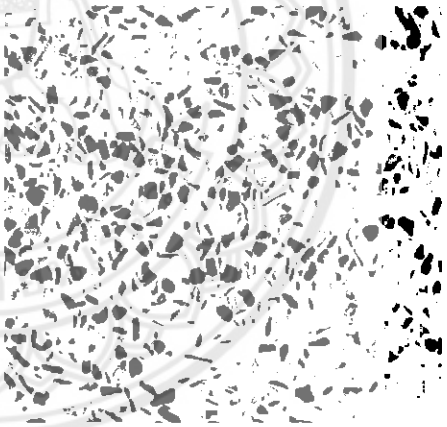
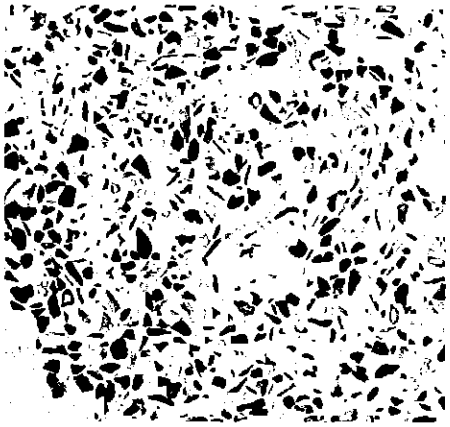
ตารางที่ จ.1 (ต่อ) ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์-ขาวเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก หินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ลักษณะกระเบื้อง
20 : 80	
30 : 70	
40 : 60	

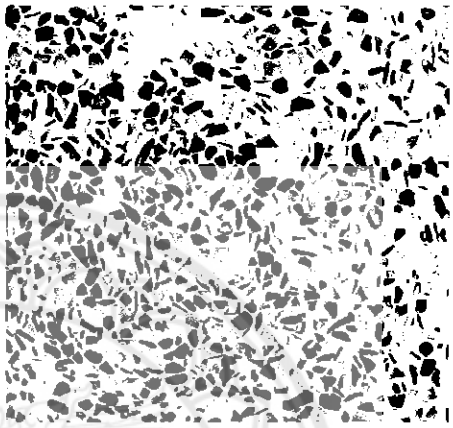
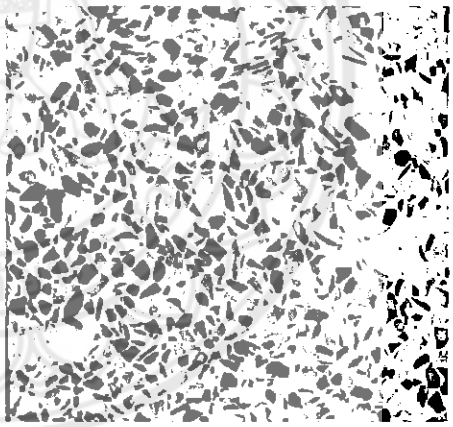
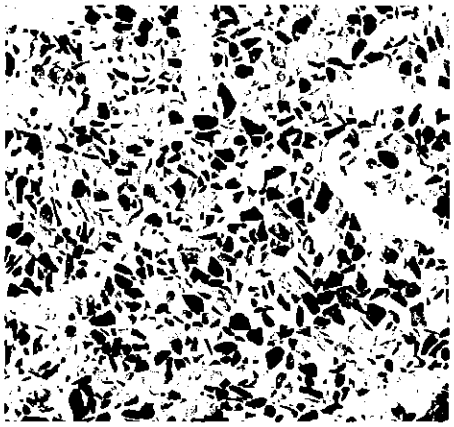
ตารางที่ จ.1 (ต่อ) ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์-ขาวเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก หินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ลักษณะกระเบื้อง
50 : 50	
60 : 40	
70 : 30	

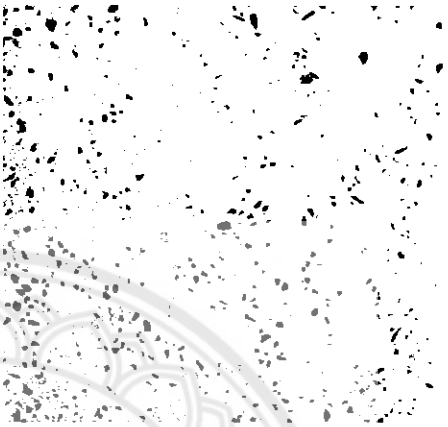
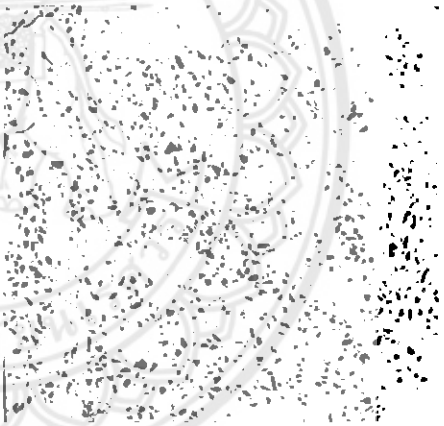
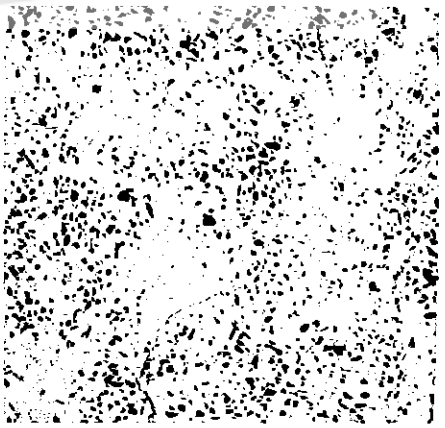
ตารางที่ จ.1 (ต่อ) ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์-ขาวเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก หินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ลักษณะกระเบื้อง
20 : 80	
30 : 70	
40 : 60	

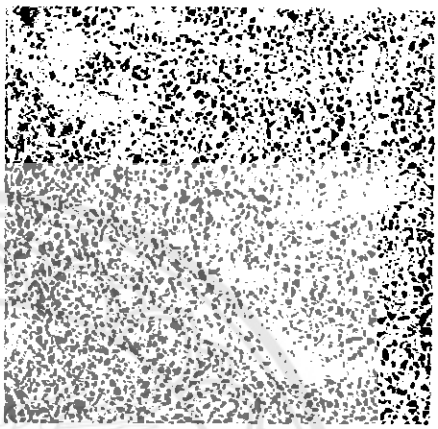
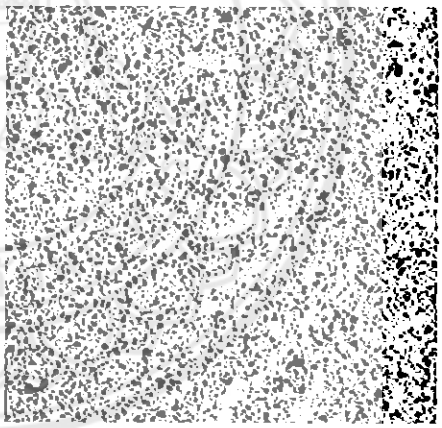
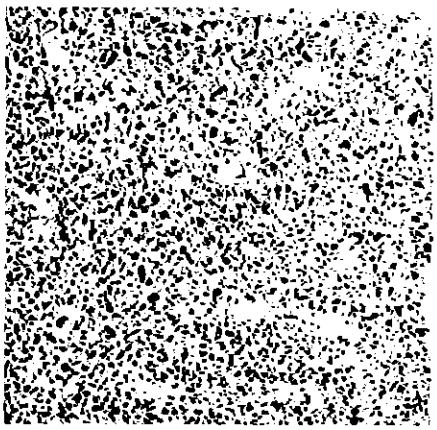
ตารางที่ จ.1 (ต่อ) ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์-ขาวเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก หินเกล็ดสีบดขนาด 6 – 12 เมช

อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ลักษณะกระเบื้อง
50 : 50	
60 : 40	
70 : 30	

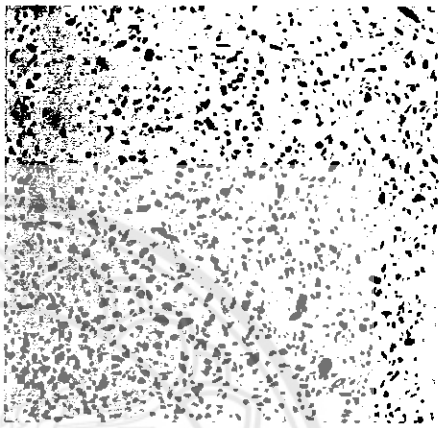
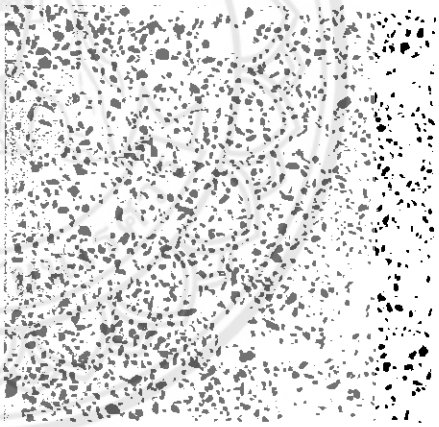
ตารางที่ จ.2 ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว เท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก หินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ลักษณะกระเบื้อง
20 : 80	
30 : 70	
40 : 60	

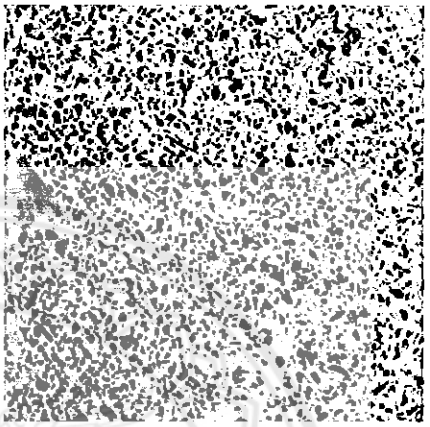
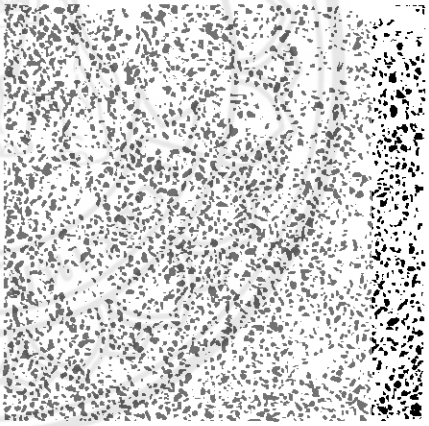
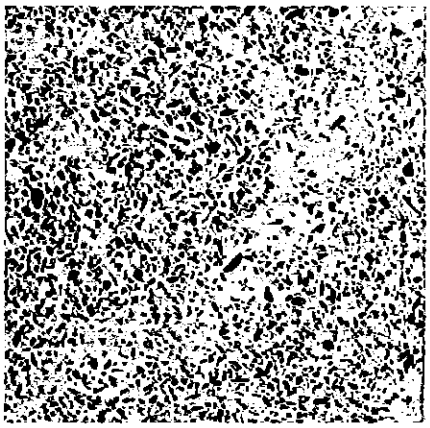
ตารางที่ จ.2 (ต่อ) ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์-ขาวเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก หินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ลักษณะกระเบื้อง
50 : 50	
60 : 40	
70 : 30	

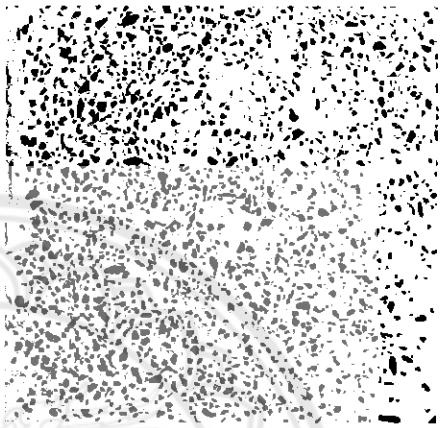
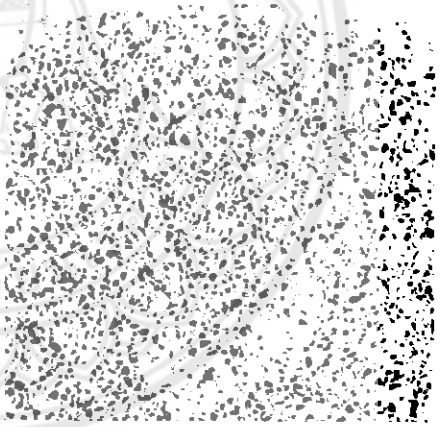
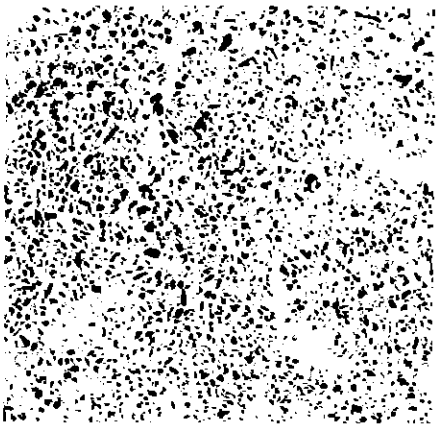
ตารางที่ จ.2 (ต่อ) ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์-ขาวเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก หินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ลักษณะกระเบื้อง
20 : 80	
30 : 70	
40 : 60	

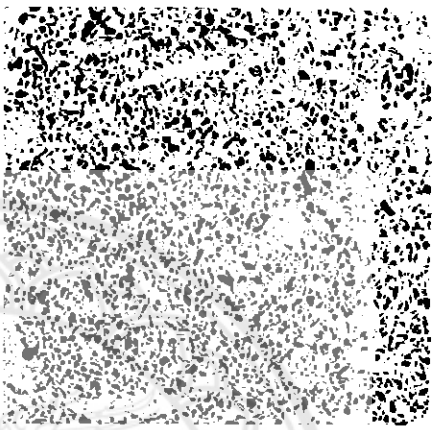
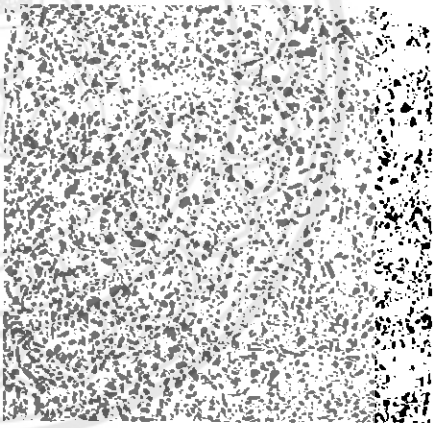
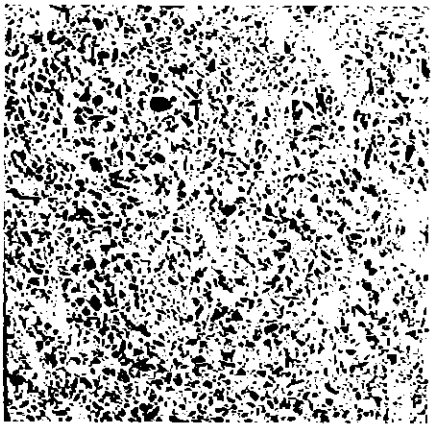
ตารางที่ จ.2 (ต่อ) ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์-ขาวเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก หินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ลักษณะกระเบื้อง
50 : 50	
60 : 40	
70 : 30	

ตารางที่ จ.2 (ต่อ) ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์-ขาวเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก หินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ลักษณะกระเบื้อง
20 : 80	
30 : 70	
40 : 60	

ตารางที่ จ.2 (ต่อ) ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์-ขาวเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก หินเกล็ดสีบดขนาด 12 – 20 เมช

อัตราส่วนผสมระหว่างหินเกล็ดสีต่อปูนซีเมนต์ขาว	ลักษณะกระเบื้อง
50 : 50	
60 : 40	
70 : 30	

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายทศพล มากจุ้ย

ภูมิลำเนา 120/1 หมู่ 1 ต.แม่ต้าน อ.ท่าสองยาง จ.ตาก 63150

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสรรพวิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: drums_fuse@hotmail.com

ชื่อ นายวิรัตน์ วรรณะ

ภูมิลำเนา 224/1 หมู่ 8 ต.วังทรายพูน อ.วังทรายพูน จ.พิจิตร 66180

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสากเหล็กวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: wiratwanna_not@hotmail.com

ชื่อ นายสำเริง สังข์สุทธิ์

ภูมิลำเนา 81/1 หมู่ 7 ต.กันจุ อ.บึงสามพัน จ.เพชรบูรณ์ 67160

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนซับบอนวิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Panitan33@hotmail.com