การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางกลของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว

THE STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COCONUT FIBER FOR CEMENT

นางสาวเบ็ญจมาภรณ์ หงษ์เวียงจันทร์ รหัส 50365437

นายศุภวิชญ์ เทวฤทธิ์เรืองศรี รหัส 50365574

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 25 / เม.ย. / 57
เลขทะเบียน 16550113
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ว784ก 2553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางกลของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว

ผู้ดำเนินโครงงาน นางสาวเบ็ญจมาภรณ์ หงษ์เวียงจันทร์ รหัส 50365437
นายศุภวิชญ์ เทวฤทธิ์เรืองศรี รหัส 50365574

ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2553

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย)

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์มานะ วีรวิกรม)

.....กรรมการ
(อาจารย์ชุลีพรย์ ป่าไร่)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	**การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางกลของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว**	
ผู้ดำเนินโครงงาน	**นางสาวเบ็ญจมาภรณ์**	**หงษ์เวียงจันทร์ รหัส 50365437**
	นายศุภวิชญ์	**เทวฤทธิ์เรืองศรี รหัส 50365574**
ที่ปรึกษาโครงงาน	**อาจารย์ธณิกานต์**	**ธงชัย**
สาขาวิชา	**วิศวกรรมวัสดุ**	
ภาควิชา	**วิศวกรรมอุตสาหการ**	
ปีการศึกษา	2553	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ที่ขนาดตัวอย่างชิ้นงานทดสอบเท่ากับ 10 × 10 × 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยสมบัติทางกายภาพได้แก่ ค่าความหนาแน่น และค่าการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว สมบัติทางกลได้แก่ ค่ากำลังอัดของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว กำหนดความยาวของเส้นใยมะพร้าวเท่ากับ 10 เซนติเมตร ปริมาณเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก และกำหนดอัตราส่วนปริมาณปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1 : 1 พบว่า ซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ที่มีปริมาณเส้นใยมะพร้าวลดลง จะส่งผลให้มีค่าการดูดซึมน้ำลดลง ค่าความหนาแน่น และค่ากำลังอัดสูงขึ้น อิทธิพลของปริมาณปูนซีเมนต์ และปริมาณทราย ที่มีผลต่อซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว จากการทดสอบพบว่า ปริมาณปูนซีเมนต์ที่มากกว่าปริมาณทราย จะส่งผลให้ ค่าการดูดซึมน้ำลดลง ค่าความหนาแน่น และกำลังอัดสูงขึ้น เมื่อนำผลกำลังอัดของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2530) พบว่า ค่ากำลังอัดของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานกำหนด ดังนั้นซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวสามารถนำไปเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยและประยุกต์ใช้ในอนาคตได้ต่อไป นอกจากนี้การนำเส้นใยมะพร้าวมาเสริมแรงในวัสดุซีเมนต์ ทำให้ซีเมนต์มีน้ำหนักเบา และเป็นการเพิ่มผลิตภัณฑ์จากเส้นใยมะพร้าวให้หลากหลายมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานผู้ซึ่งให้ความรู้ ให้คำปรึกษา รวมทั้งข้อแนะนำเกี่ยวกับการค้นหาข้อมูล และแนวทางการปฏิบัติการดำเนินโครงงาน การวิเคราะห์ต่างๆ ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดีเยี่ยม และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์ อาจารย์มานะ วีรวิกรม อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์ อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ และอาจารย์ชุลีพรย์ ป่าไร่ ที่เสียสละเวลา ประสิทธิ์ประสาทวิชา และความรู้อันสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินโครงงานได้จนสำเร็จ อีกทั้งให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงงานครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณ ครูช่าง ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และครูช่าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้กำลังใจ และคอยให้ความช่วยเหลือ ทำให้โครงงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

ผู้ดำเนินโครงงาน
เบ็ญจมาภรณ์ หงษ์เวียงจันทร์
ศุภวิชญ์ เทวฤทธิ์เรืองศรี

เมษายน 2554

สารบัญ

หน้า

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

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....2
1.5 ขอบเขตของโครงงาน.....2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน.....2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน.....3
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน.....3

บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น.....4
2.1 ซีเมนต์.....4
2.2 มะพร้าว.....25
2.3 การทดสอบชิ้นงาน.....28
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....29

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน.....37
3.1 อุปกรณ์เครื่องมือ.....38
3.2 วิธีการดำเนินโครงงาน.....38

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ 45

4.1 ศึกษาอิทธิพลอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูนซีเมนต์ : ทราย ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล ของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว โดยกำหนดให้ปูนซีเมนต์คงที่ (ปูนซีเมนต์ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก) 45

4.2 ศึกษาอิทธิพลอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูนซีเมนต์ : ทราย ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล ของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว โดยกำหนดให้ทรายคงที่ (ปริมาณทรายร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก) 50

4.3 ศึกษาอิทธิพลของปูนซีเมนต์ และทราย ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว กำหนดอัตราส่วน ปริมาณของเส้นใยมะพร้าวที่ยาว 10 เซนติเมตร 54

บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ 59

5.1 สรุปผลการทดลอง 59

5.2 ข้อเสนอแนะ และแนวทางพัฒนา 60

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข 60

เอกสารอ้างอิง 62

ภาคผนวก ก 65

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 68

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน....3
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์....7
2.2 สมบัติหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์....9
2.3 การเปรียบเทียบกำลังอัดของปูนซีเมนต์ 5 ประเภท....21
2.4 สมบัติทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ปอรต์แลนด์....22
2.5 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดมาตราฐานของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก....24
3.1 แสดงการเตรียมชิ้นงานทดสอบสำหรับเส้นใยมะพร้าวความยาว 10 เซนติเมตร อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ (1 : 1) โดยให้อัตราส่วนของปูนซีเมนต์คงที่....41
3.2 แสดงการเตรียมชิ้นงานทดสอบสำหรับเส้นใยมะพร้าวความยาว 10 เซนติเมตร อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ (1 : 1) โดยให้อัตราส่วนของทรายคงที่....41
4.1 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดปูนซีเมนต์คงที่....45
4.2 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของเส้นใยมะพร้าวซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดปูนซีเมนต์คงที่....47
4.3 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดของเส้นใยมะพร้าวซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดปูนซีเมนต์คงที่....48
4.4 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวอัตราปริมาณส่วนเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดทรายคงที่....49
4.5 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของเส้นใยมะพร้าวซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนปริมาณส่วนเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดทรายคงที่....51
4.6 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดของเส้นใยมะพร้าวซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดทรายคงที่....52
4.7 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร กำหนดให้ปูนซีเมนต์คงที่ และทรายคงที่....54

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.8 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร กำหนดให้ปูนซีเมนต์คงที่ และทรายคงที่ 55

4.9 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดของอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร กำหนดให้ปูนซีเมนต์คงที่ และทรายคงที่ 57

ก.1 ปริมาณอัตราส่วนผสมของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว 66

ก.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของซีเมนต์ผสมเส้นใยมะพร้าว 66

ก.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของซีเมนต์ผสมเส้นใยมะพร้าว 67

ก.4 ผลการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์ผสมเส้นใยมะพร้าว 67

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	จำนวนสารประกอบหลักที่มีผลต่อค่ากำลังของซีเมนต์เทียบกับเวลา	8
2.2	ปูนขาว	11
2.3	การผลิตซีเมนต์	14
2.4	ต้นมะพร้าว	25
2.5	เส้นใยมะพร้าว	26
2.6	ที่นอนทำด้วยเส้นใยมะพร้าว	26
2.7	ไม้กวาดทำด้วยเส้นใยมะพร้าว	27
2.8	ขุยมะพร้าวที่ใช้ปลูกต้นไม้	28
3.1	แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	37
3.2	เส้นใยมะพร้าวพร้อมใช้งาน	39
3.3	การคลุกเคล้าซีเมนต์กับเส้นใยมะพร้าว	40
3.4	การหล่อซีเมนต์ลงแบบหล่อ	40
3.5	ชิ้นงานซีเมนต์สำเร็จรูป	40
3.6	การนำซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวไปแช่น้ำ	42
3.7	อบซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว	42
3.8	ทำการชั่งน้ำหนักซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว	43
3.9	ทำการวัดขนาดซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว	43
3.10	ทำการทดสอบกำลังอัดซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว	44
4.1	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดปูนซีเมนต์คงที่	46
4.2	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดปูนซีเมนต์คงที่	47
4.3	ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดปูนซีเมนต์คงที่	48
4.4	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดทรายคงที่	50
4.5	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดทรายคงที่	51

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.6	ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราปริมาณส่วนเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดทรายคงที่	52
4.7	ผลการเปรียบเทียบการทดสอบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าว ยาว 10 เซนติเมตร ที่กำหนดให้ปูนซีเมนต์คงที่ และทรายคงที่	54
4.8	ผลการเปรียบเทียบการทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร ที่กำหนดให้ปูนซีเมนต์คงที่ และกำหนดให้ทรายคงที่	56
4.9	ผลการเปรียบเทียบการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดของอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร ที่กำหนดให้ปูนซีเมนต์คงที่ และทรายคงที่	57

สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ

ASTM	=	American Society for Testing and Materials
atm	=	ความดันบรรยากาศ
BS	=	British Standard
SS.C	=	Soldering & Smell Collector
psi	=	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
cm	=	เซนติเมตร
N	=	นิวตัน
cm^3	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
g/cm^3	=	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
mm	=	มิลลิเมตร
kg/mm^2	=	กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร
MPa	=	เมกะปาสคาล
°C	=	องศาเซลเซียส
m	=	เมตร
kg/m^3	=	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
kg/cm^3	=	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
kN/min	=	กิโลนิวตันต่อนาที
ksc	=	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ เพื่อที่จะใช้ตอบสนองต่อความต้องการในการดำรงชีวิตมากขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ขึ้นมา เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์ที่หลากหลายนั้น

วัสดุประกอบ หรือที่เรียกกันว่า Composite Materials นั้นกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เพราะวัสดุประกอบเป็นการนำวัสดุที่มีสมบัติเด่นมารวมเข้าด้วยกันเพื่อประกอบ หรือผลิตขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ตัวใหม่ๆ ที่มีสมบัติการใช้งานที่ดียิ่งขึ้น แต่วัสดุที่มีสมบัติที่ดีมีราคาที่ค่อนข้างแพง บางชนิดหาซื้อได้ยากในประเทศ อาจจะต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง และราคาของผลิตภัณฑ์นั้นสูงตามไปด้วย

ซีเมนต์เป็นวัสดุประกอบประเภทหนึ่ง ที่มีความสามารถในการรับกำลังอัดได้สูงมาก แต่จะรับกำลังดึงได้ต่ำ จึงต้องการวัสดุที่จะมาเสริมแรง เพื่อให้มีสมบัติที่ดีขึ้น ส่วนมากจะใช้เส้นใยหินในการทำเป็นส่วนเสริมแรงแต่ว่าเส้นใยหินเป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่มีราคาแพง ดังนั้นจึงได้มีความสนใจในการประยุกต์ใช้เส้นใยธรรมชาติ มาใช้ประโยชน์เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุซีเมนต์ เนื่องจากประเทศไทยมีเส้นใยธรรมชาติมากมาย บางชนิดเป็นเศษเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม

นอกจากนี้ เส้นใยธรรมชาติยังมีข้อดีหลายประการ คือ เป็นเส้นใยที่หาได้ง่าย เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีใช้ไม่หมดสิ้น และมีให้เลือกมากมายหลายชนิด เส้นใยบางชนิดเป็นของเหลือทิ้ง หรือเป็นวัชพืช มีราคาถูก ทำให้สามารถใช้ลดต้นทุนการผลิต นอกจากนี้เส้นใยยังมีสมบัติทางกลที่ดี บางชนิดมีความแข็งแรง และมอดูลัสสูง ความหนาแน่นต่ำ ทำให้มีน้ำหนักเบา สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ไม่เป็นปัญหาในการกำจัด และช่วยลดกากของเสียจากเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม เช่น เส้นใยอ้อยจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล เส้นใยมะพร้าวจากอุตสาหกรรมกะทิ ขี้เลื่อยจากอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ นอกจากนี้ก็ยังมีอุตสาหกรรมอื่นๆ อีกมากมายที่เกี่ยวกับไม้ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมการเกษตร ซึ่งเป็นการนำของที่เหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอ เกี่ยวกับการศึกษาสมบัติทางกล (Mechanical Properties) และสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) โดยทำเป็นซีเมนต์ ที่มีส่วนผสมของเส้นใยมะพร้าว เนื่องจากเส้นใยมะพร้าวมีราคาถูกสามารถหาได้ง่าย มีอยู่โดยทั่วไป มีลักษณะเป็นเส้นตรง เบา เรียวยาว เหนียว และมีความยืดหยุ่น ดังนั้นการนำเส้นใยมะพร้าวมาเสริมแรงให้ซีเมนต์ จะทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง เส้นใยมะพร้าวกับซีเมนต์ได้ดี จึงถือได้ว่าเป็นการเพิ่มผลิตภัณฑ์ให้กับเส้นใยมะพร้าวอีกทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

ศึกษาอัตราส่วน ของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ด้านค่าความหนาแน่น ด้านการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล (Mechanical Properties) ด้านกำลังอัดของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว โดยกำหนดความยาวเส้นใยมะพร้าว 10 เซนติเมตร และปริมาณของเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายคือ 1 : 1

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

ได้ซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

ได้อัตราส่วนของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล ของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ได้แก่ ค่าความหนาแน่นข ค่าการดูดซึมน้ำ และ ค่ารับกำลังอัด ของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว

1.5 ขอบเขตของโครงงาน

1.5.1 เส้นใยมะพร้าวที่ใช้ศึกษาเป็นเส้นใยมะพร้าวที่ได้จาก หมู่บ้านหนองโสน ตำบลหนองโสน อำเภอสามง่าม จังหวัดพิจิตร ที่ขนาดความยาวของเส้นใยมะพร้าว 10 เซนติเมตร

1.5.2 ซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนประเภท 1 ตราช้าง

1.5.3 ศึกษาอัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวต่อปูนซีเมนต์ตราช้าง เพื่อผลิตซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวโดยใช้เส้นใยมะพร้าวขนาดความยาว 10 เซนติเมตร ผสมกับปูนซีเมนต์ตราช้าง ในอัตราส่วนดังนี้

1.5.3.1 เส้นใยมะพร้าว : ปูนซีเมนต์ : ทราย เท่ากับ 0 : 50 : 50, 5 : 50 : 45, 10 : 50 : 40 และ 15 : 50 : 35 โดยน้ำหนัก กำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์คงที่ (ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก)

1.5.3.2 เส้นใยมะพร้าว : ปูนซีเมนต์ : ทราย เท่ากับ 0 : 50: 50, 5 : 45 : 50, 10 : 40 : 50 และ 15 : 35 : 50 โดยน้ำหนัก กำหนดอัตราทรายคงที่ (ปริมาณทรายร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก)

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2553 ถึง เดือน เมษายน พ.ศ. 2554 เป็นเวลา 7 เดือน

1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	2553			2554			
		ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1	วางแผน-ศึกษารวบรวมข้อมูลโครงงานวิศวกรรม	←	—	→				
2	ทำการปฏิบัติการทดลอง-รวบรวมผลการทดลอง				←	—	→	
3	วิเคราะห์-สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่ม						←	— →

บทที่ 2
หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ซีเมนต์

2.1.1 ประวัติซีเมนต์

สารซีเมนต์ที่ใช้ในยุคแรกๆ เป็นซีเมนต์ที่ ไม่แข็งตัวในน้ำ ได้มาจากปูนปลาสเตอร์ยิปซัม หรือปูนขาว ชาวอียิปต์โบราณใช้มอร์ต้าร์ (สารซีเมนต์ ผสมกับทราย และน้ำ) ซึ่งทำจากยิปซัม (ใช้เป็นสารซีเมนต์) ที่ผ่านการเผา เพื่อที่จะใช้ก่อสร้างสิ่งต่างๆ หลายอย่าง รวมทั้งใช้เป็นวัสดุประสานระหว่างหินในการสร้างปิรามิดแห่งเคอปส์ (Pyramid of Cheops) เมื่อประมาณ 3,000 ปีก่อนคริสตศักราช ซึ่งยังคงอยู่จนถึงปัจจุบัน

การใช้ปูนขาวในยุคแรกนั้นได้เริ่มในกรีก ชาวโรมันเรียนรู้การใช้ปูนขาวจากชาวกรีก และชาวอียิปต์ได้เริ่มใช้ปูนขาวในสมัยเดียวกันกับชาวโรมัน การแข็งตัวของปูนขาวนั้น เกิดจากการรวมตัวกับน้ำ และการทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ดังนั้นการแข็งตัวของเพสต์ (สารซีเมนต์ผสมกับน้ำ) หรือมอร์ต้าร์ที่ทำนั้นจะมาจากปูนขาว ซึ่งเกิดจากผิวภายนอกเข้าสู่ภายใน และเนื่องจากปูนขาวต้องการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อที่จะใช้ทำปฏิกิริยา ดังนั้นปูนขาวจึงไม่สามารถแข็งตัวในน้ำได้ ชาวโรมันโบราณจึงใช้วิธีการผสมปูนขาวเพื่อให้เข้ากันอย่างดี และทำการกระทุ้งให้แน่น เพื่อให้สิ่งก่อสร้างเกิดความแข็งแรง และเกิดความคงทน ซึ่งสิ่งก่อสร้างในยุคนั้นก็ยังมีให้เห็นอยู่อีกมากที่มีชื่อเสียง ได้แก่ โคลีเซียม (Coliseum) ในกรุงโรม ประเทศอิตาลี เนื่องจากมอร์ต้าร์ที่ทำจากปูนขาวไม่สามารถแข็งตัวได้ในน้ำซึ่งเกิดเป็นข้อเสียอย่างมากของการใช้มอร์ต้าร์ที่ทำจากปูนขาว ดังนั้นชาวกรีก และชาวโรมันโบราณจึงใช้เถ้าภูเขาไฟ (Volcanic Ash) ที่ทำการบดให้ละเอียดผสมกับปูนขาว และทรายทำเป็นมอร์ต้าร์ที่มีความแข็งแรงขึ้น และสามารถทนทานต่อการละลายของน้ำได้ดี ในเถ้าภูเขาไฟนั้นมีธาตุซิลิกา และอลูมินาที่พร้อมจะทำปฏิกิริยากับปูนขาวทันที ปฏิกิริยานี้มีชื่อเรียกว่า ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) เนื่องจากเถ้าภูเขาไฟที่ดีที่สุดมาจากหมู่บ้านปอซซูโอลิ (Pozzuoli) ใกล้กับภูเขาไฟวิซูเวียส (Vesuvius) ซึ่งเคยระเบิดพ่นลาวา (Lava) และเถ้าถ่านออกมาอย่างมากมายในอดีต ดังนั้น คำว่า "ปอซโซลาน" จึงใช้ต่อกันมา และหมายถึงวัสดุที่ละเอียดคล้ายกับเถ้าภูเขาไฟ เมื่อใช้ผสมกับปูนขาว และน้ำ ทำให้ได้สารซีเมนต์ ซึ่งมีสมบัติในการยึดประสานที่ดี เป็นวิวัฒนาการของปูนซีเมนต์สมัยใหม่ ที่นับได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาความรู้ของปูนซีเมนต์อย่างกว้างขวางได้เริ่มเมื่อปี พ.ศ. 2299 โดยชาวอังกฤษที่ชื่อ จอห์น สมีตัน (John Smeaton) เมื่อเขาได้สร้างประภาคารขึ้นใหม่ชื่อเอ็ดดีสโตน (Eddystone Lighthouse) ที่นอกฝั่งคอร์นิช (Cornish) หลังจากที่ประภาคารหลังเดิมถูกไฟไหม้ เขาได้ศึกษามอร์ต้าร์ ที่ทำจากปูนขาว และวัสดุปอซโซลานหลายชนิด และในที่สุดจึงได้พบว่ามอร์ต้าร์ที่ดีที่สุดนั้นได้มาจาก

การผสมวัสดุปอซโซลานกับปูนขาว ที่เผาจากหินปูนที่มีส่วนประกอบของดินเหนียวผสมอยู่ จึงถือได้ว่า จอห์น สมีตัน เป็นบุคคลแรกที่เข้าใจถึงสมบัติทางเคมีของปูนขาวที่แข็งตัวได้ในน้ำ (Hydraulic Lime) แม้ว่าการทดลองของ จอห์น สมีตัน จะประสบความสำเร็จเป็นอย่างมาก แต่ความก้าวหน้าของปูนขาวที่แข็งตัวได้ในน้ำเป็นไปอย่างช้ามาก ปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวได้ในน้ำ (Hydraulic Cement) ได้พัฒนาขึ้นโดย เจมส์ ปาร์คเกอร์ (James Parker) ซึ่งได้จดสิทธิบัตร ปูนซีเมนต์ของเขาในปี พ.ศ.2339 โดยนำเอาหินปูนก้อนเล็กๆ ที่มีส่วนประกอบของซิลิกา และอลูมินามาเผาทำเป็นปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์นี้จึงได้รับการขนานนามว่า ปูนซีเมนต์โรมัน (Roman Cement) ซึ่งเป็นการเรียกที่ผิดความหมายอย่างมาก เพราะปูนซีเมนต์ที่พัฒนาขึ้นนี้ ไม่ได้มีส่วนคล้ายคลึงเหมือนกับซีเมนต์ในสมัยโรมันเลย ปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีการแข็งตัวเร็ว ใช้ได้ดีในบริเวณที่มีน้ำ อย่างไรก็ตามปูนซีเมนต์ชนิดนี้ค่อยๆ หมดความนิยมลงภายหลังจาก พ.ศ. 2393 เมื่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เริ่มเข้ามาแทนที่ กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ที่นับได้ว่าเป็นต้นแบบสำหรับการผลิตปูนซีเมนต์ได้คิดค้นขึ้นโดย แอล เจ ไวแคต (L.J. Vicat) ในปี พ.ศ.2356 โดยการเผาส่วนผสมของหินชอล์ก (Chalk) และดินเหนียวที่ผ่านการบดละเอียดต่อมา โจเซฟ แอสพดิน (Joseph Aspdin) ช่างก่อสร้าง ชาวเมืองลีดส์ (Leeds) ก็ได้ทำการจดสิทธิบัตรการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) ขึ้นเมื่อในวันที่ 21 ตุลาคม พ.ศ.2367 กระบวนการผลิตของเขานั้นจะประกอบด้วยการใช้หินปูนที่ใช้ซ่อมถนนนำมาทุบให้แตก เพื่อคลุกผสมร่วมกับปูนขาว และดินเหนียว บดให้ละเอียดในน้ำจนกลายเป็นน้ำโคลนข้น จากนั้นจึงนำก้อนปูนที่ได้ผสมดินเหนียวขนาดย่อม ส่งเข้าไปเผาในเตา จนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นระเหยไปหมดได้เป็นเม็ดปูนซีเมนต์ เม็ดปูนซีเมนต์ที่ได้จะนำไปบดละเอียดเพื่อนำไปใช้งานต่อไป โจเซฟ แอสพดิน ได้เรียกปูนซีเมนต์ของเขาว่า "ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์" เนื่องจากสีของปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้วนั้นจะคล้ายกับสีของหินที่ได้มาจาก เหมืองหินที่ดอร์เซต (Dorset) เมืองปอร์ตแลนด์ อย่างไรก็ตามคุณภาพของปูนซีเมนต์ที่ผลิตตามวิธีของโจเซฟ แอสพดิน ยังไม่ดีนัก เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเผายังต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้สำหรับเผาปูนซีเมนต์ในกระบวนการผลิตในปัจจุบัน ใน พ.ศ.2388 ไอแซค ชาลส์ จอห์นสัน (Isaac Charles Johnson) ได้สังเกตว่าปูนเม็ดที่เผาด้วยอุณหภูมิสูงเกินกว่าอุณหภูมิปกติที่พบในเตาเผาปูนสมัยนั้น เมื่อนำมาทำการบดให้มีความละเอียด จะมีการแข็งตัวที่ค่อนข้างช้าแต่มีคุณภาพที่ดีกว่า ดังนั้นเขาจึงได้พัฒนาต้นแบบ ของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ในปัจจุบันขึ้น โดยการใช้อุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง เผาส่วนผสมของหินชอล์ก และดินเหนียวจนถึงจุดที่เกิดปฏิกิริยาจนวัสดุที่เผารวมตัวกันเป็นปูนเม็ด (Clinker) ซึ่งเมื่อนำไปบดให้ละเอียดและผสมกับน้ำจะได้วัสดุประสานที่แข็งแรง

การใช้ปูนขาว และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในประเทศไทย โดยส่วนมากจะใช้ปูนขาวในงานทางด้านสถาปัตยกรรม และประติมากรรมของคนไทยมีให้เห็นตั้งแต่สมัยทวารวดี ช่วงพุทธศตวรรษที่ 11-12 สมัยอู่ทอง ในช่วงราวพุทธศตวรรษที่ 16–17 และพุทธศตวรรษที่ 18-19 ในสมัยสุโขทัย อยุธยา

มาจนถึงสมัยกรุงรัตนโกสินทร์ อย่างไรก็ตามการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพิ่งมีขึ้นในสมัยกรุงรัตนโกสินทร์นี้เอง การผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในประเทศไทยของเรานั้น ได้มีจุดเริ่มต้นมาจากพระราชจินตนาการ ของพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 6 จากการที่ได้เสด็จไปทรงศึกษาต่างประเทศ และทอดพระเนตรเห็นการพัฒนาการก่อสร้างอาคาร และสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ๆ จึงได้มีพระราชดำริที่จะสร้างโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ขึ้นเองในประเทศ และได้ทรงพิจารณาในรายละเอียดว่าด้วยการตั้งบริษัทปูนซีเมนต์ขึ้น ดังที่ได้ปรากฏในร่างพระราชหัตถเลขาในปี พ.ศ.2456 โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แห่งแรกจึงได้ตั้งขึ้นที่บางซื่อ กรุงเทพมหานครฯ และเริ่มผลิตในปี พ.ศ.2458 โดยมีกำลังการผลิต ในขณะนั้นปีละ 20,000 ตัน ซึ่งสามารถทดแทน การนำเข้าปูนซีเมนต์จากต่างประเทศ การผลิต และการใช้ปูนซีเมนต์ในประเทศไทยได้เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ประเทศไทยนั้นได้เร่งพัฒนาการก่อสร้างอาคารบ้านเรือน และสิ่งสาธารณูปโภคพื้นฐาน เช่น การก่อสร้างเขื่อนภูมิพลขึ้นที่จังหวัดตาก ซึ่งเป็นเขื่อนอเนกประสงค์เขื่อนแรกที่ต้องการใช้ปูนซีเมนต์ทั้งสิ้น 300,000 กว่าตัน และเพื่อไม่ให้เกิดการขาดแคลนปูนซีเมนต์ขึ้นภายในประเทศ รัฐบาลจึงได้มอบหมายให้กรมชลประทานซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบในการก่อสร้างดำเนินการก่อตั้งบริษัทชลประทานซีเมนต์จำกัดขึ้นในปี พ.ศ.2499 และในปี พ.ศ.2501 โรงงานผลิตปูนซีเมนต์แห่งแรกของบริษัทชลประทานซีเมนต์ ที่อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์ ได้เริ่มผลิตปูนซีเมนต์โดยมีกำลังผลิตในขณะนั้นปีละ 100,000 กว่าตัน เนื่องจากความต้องการปูนซีเมนต์มีมากขึ้นมาโดยตลอด บริษัทปูนซีเมนต์ไทย และชลประทานซีเมนต์ได้ดำเนินการปรับปรุงขยายโรงงาน และขยายกำลังการผลิตอย่างต่อเนื่องแต่ก็ยังไม่พอเพียงต่อความต้องการ จึงมีการก่อตั้งบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด ขึ้นเมื่อ พ.ศ.2512 และในปี พ.ศ.2515 ได้เริ่มทำการผลิตปูนซีเมนต์ที่โรงงานแห่งแรก ที่อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ในปี พ.ศ.2544 มีผู้ผลิตปูนซีเมนต์รายใหญ่ในประเทศไทยอยู่ 7 บริษัท คือ ปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรมจำกัด ชลประทานซีเมนต์จำกัด (มหาชน) ปูนซีเมนต์นครหลวงจำกัด (มหาชน) ทีพีไอโพลีนจำกัด (มหาชน) ปูนซีเมนต์เอเชียจำกัด (มหาชน) สระบุรีซีเมนต์จำกัด และสามัคคีซีเมนต์จำกัด ซึ่งมีกำลังการผลิตรวมประมาณ 40 ล้านตันต่อปี (รศ. ปริญญา, 2547)

2.1.2 สารประกอบพื้นฐานของซีเมนต์

ซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบพื้นฐานที่สำคัญ 4 ชนิด คือ

2.1.2.1 ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate) $3CaO.SiO_2$ (C_3S) จะทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงได้เร็วภายใน 14 วัน

2.1.2.2 ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate) $2CaO.SiO_2$ (C_2S) จะทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงได้ช้า ความร้อนเกิดขึ้นบ่อย

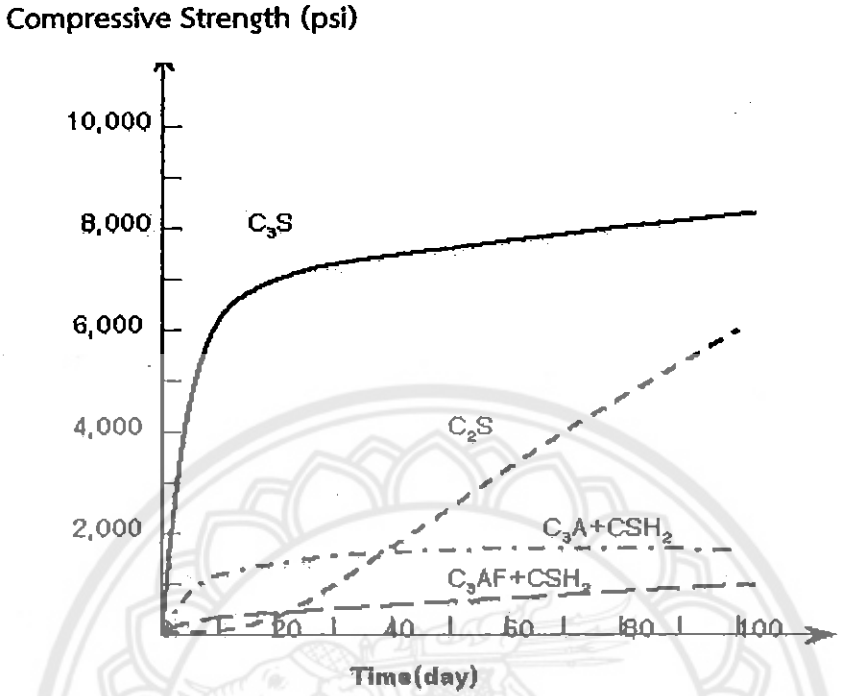
2.1.2.3 ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium Aluminate) $3CaO.Al_2O_3$ (C_3A) จะทำให้ปูนซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาเริ่มแข็งตัวเกิดความร้อนสูง มีกำลังรับแรงเร็ว

2.1.2.4 เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium Aluminoferrite) $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ (C_4AF) มีผลน้อย ให้ความแข็งแรงเล็กน้อยเติมเข้าไปเพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบทางเคมี	องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์	
	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย
CaO	60 - 67	64.4
SiO_2	17 - 25	20.0
Al_2O_3	3 - 8	5.8
Fe_2O_3	0.5 - 6.0	3.2
MgO	0.1 - 4.0	0.5
Na_2O	0.1 - 1.3	0.5
K_2O	0.1 - 1.3	0.5
SO_3	0.5 - 3	2.6
สารประกอบอื่น	1 – 3	1.0
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา	0.1 – 3.0	1.0
กากที่ไม่ละลายในกรด และด่าง	0.2 – 0.8	0.5

ที่มา: เถ้าแกลบในงานคอนกรีต (2552)



รูปที่ 2.1 จำนวนสารประกอบหลักที่มีผลต่อค่ากำลังของซีเมนต์เทียบกับเวลา

ที่มา: บุญธรรม (2543)

จำนวนสารประกอบที่อยู่ในปูนซีเมนต์ ทำให้สมบัติของปูนซีเมนต์เปลี่ยนไป เช่น ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงเร็ว หรือช้า ระยะเวลาการก่อตัว และแข็งตัวอาจเร็วขึ้น หรือช้าลง ความร้อนที่ได้จากการปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์อาจสูง หรือต่ำ เป็นต้น

เมื่อ C_3S, C_2S, C_3A และ C_4AF มีปริมาณมากกว่าถึงร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก จึงเป็นตัวกำหนดสมบัติของปูนซีเมนต์ สมบัติที่สำคัญได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.2 C_3S มีอยู่มากที่สุดประมาณร้อยละ 45 – 55 ของน้ำหนักมีรูปร่างเหลี่ยมสีเทาแก่ เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน และเกิดความร้อนเรียกว่า ความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Heat of Hydration) และเกิดการก่อตัว และแข็งตัว C_3S ให้กำลังคอนกรีตดีโดยเฉพาะในช่วง 7 วันแรก

C_2S มีอยู่ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 – 35 C_2S ที่บริสุทธิ์มีอยู่ 4 รูปแบบคือ αC_2S เกิดที่อุณหภูมิ 1,450 องศาเซลเซียส และเมื่อเย็นตัวลง จะแปลงสภาพเป็น $\alpha' C_2S$ ซึ่งเปลี่ยนเป็น βC_2S ที่อุณหภูมิต่ำลง และเป็น C_2S ที่อุณหภูมิปกติ แต่เนื่องจาก C_2S ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไม่บริสุทธิ์มีสารแปลกปลอมอื่นผสมทำให้การแปลงสภาพจาก βC_2S เป็น C_2S ไม่เกิดขึ้น ดังนั้น βC_2S จะมีเสถียรภาพที่อุณหภูมิปกติ C_2S มีลักษณะเป็นเม็ดกลม เมื่อผสมกับน้ำจะทำปฏิกิริยา เช่นกัน ความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชันจะไม่สูง การพัฒนากำลังของ C_2S ช้ากว่า C_3S มาก คือเริ่มให้กำลังหลังจาก 4 สัปดาห์

C_3A มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 7 – 15 โดยน้ำหนัก ลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยม มีสีเทาอ่อน ทำปฏิกิริยากับน้ำได้เร็ว และทำให้เพสต์ก่อตัวทันที ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน มีค่าสูงมาก การพัฒนากำลังของ C_3A จะเร็วมากคือ สามารถพัฒนาได้ภายในวันเดียว แต่กำลังประลัยที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำ

C_4AF มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 5 – 10 โดยน้ำหนัก อยู่ในสภาพของสารละลายแข็ง (Solid Solution) เมื่อผสมกับน้ำจะทำปฏิกิริยา และทำให้ซีเมนต์เพสต์ก่อตัวอย่างรวดเร็ว ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันมีค่าปานกลาง โดย C_4AF พัฒนากำลังได้เร็วมากเช่นเดียวกับ C_3A แต่กำลังประลัยที่ได้มีค่าต่ำ

ตารางที่ 2.2 สมบัติหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สมบัติ	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
ปริมาณ, ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)	45 - 55	15 - 35	7 - 15	5 – 10
อัตราการทำปฏิกิริยา	เร็ว (ชม.)	ช้า (วัน)	ทันทีทันใด	เร็วมาก (นาที)
การพัฒนากำลังอัด	เร็ว (วัน)	ช้า (สัปดาห์)	เร็วมาก (1 วัน)	เร็วมาก (1 วัน)
กำลังประลัย	สูง	สูง	ต่ำ	ต่ำ
ความร้อนจากปฏิกิริยา	สูง	ต่ำ	สูงมาก	ปานกลาง

ที่มา: เถ้าแกลบในงานคอนกรีต (2552)

2.1.3 สมบัติของสารประกอบรอง

สารประกอบรองมีอยู่ในจำนวนที่น้อย แต่จะมีผลกระทบต่อซีเมนต์เพสต์ และคอนกรีตทั้งขณะที่ยังไม่แข็งตัว และที่แข็งตัวแล้ว

2.1.3.1 ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ เมื่อมีอยู่มากเกินไปจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้วเกิดการขยายตัว และแตกร้าวได้ ทั้งนี้เนื่องจากการทำปฏิกิริยากับ C_3A เกิดการเอททริงไกต์ (Ettringite) ซึ่งมีปริมาตรเพิ่มขึ้น มาตรฐานกำหนดปริมาณ SO_3 ในปูนซีเมนต์ไม่ให้เกินร้อยละ 3

2.1.3.2 ปูนขาวอิสระ ปกติมีอยู่ประมาณร้อยละ 0.5 – 1.0 สามารถรวมตัวกับน้ำได้อย่างช้าๆ ทำให้เกิดสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีปริมาตรมาก ถ้าปูนขาวอิสระมีมากเกินจะทำให้ซีเมนต์

เพสต์ที่ก่อตัวแล้วขยายตัว และทำให้เกิดการแตกร้าวขึ้น พฤติกรรมนี้เรียกกันว่า ความไม่คงตัว (Unsoundness)

2.1.3.3 แมกนีเซียมออกไซด์ บางส่วนจะอยู่ในรูปผลึกอิสระ และจะรวมตัวกับน้ำได้ช้ามากกินเวลานับปี ทำให้เกิดความไม่คงตัวได้ การทดสอบโดยใช้วิธีออโตเครฟ (Autoclave Test) ซึ่งวัดผลรวมของความไม่คงตัวที่เกิดจาก MgO และ CaO

2.1.3.4 ออกไซด์ของอัลคาไล มีอยู่ร้อยละ 0.5 – 1.3 มีบทบาทสำคัญในกรณีที่มวลรวมเป็นซิลิกา ที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา และจะเข้าทำปฏิกิริยากับอัลคาไล ปฏิกิริยานี้เรียกว่า "ปฏิกิริยาอัลคาไลมวลรวม" (Alkali-Aggregate Reaction) ได้อัลคาไลซิลิกาเจล และเกิดการขยายตัวทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้

2.1.3.5 ฟอสฟอรัสเพนตะอออกไซด์ จะมีอยู่ไม่เกินร้อยละ 0.1 – 0.2 ทำให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวช้าเนื่องจาก P_2O_5 ทำให้ C_3S สลายตัวเป็น C_2S กับ CaO นอกจากนี้ถ้ามี P_2O_5 มากพออาจทำให้เกิดความไม่คงตัว เพราะมีปูนขาวอิสระเกิดเพิ่มมากขึ้น

2.1.4 องค์ประกอบของซีเมนต์

โดยทั่วไป ซีเมนต์ประกอบด้วยส่วนผสมพื้นฐาน 2 ส่วนคือ

2.1.4.1 ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) คือ ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ

2.1.4.2 มวลรวม (Aggregates) ได้แก่มวลรวมที่ละเอียด หรือทราย และมวลรวมหยาบ หรือหิน และกรวด เมื่อนำส่วนผสมต่างๆ เหล่านี้มาผสมกัน จะได้ซีเมนต์ที่คงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง พอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อ ที่มีรูปร่างตามแบบต้องการได้ เรียกซีเมนต์ในสภาพนี้ว่า "ซีเมนต์สด" หลังจากนั้นซีเมนต์จะเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งในเวลาต่อมา โดยจะมีกำลัง หรือความแข็งแรงมากขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น และเมื่อมีสมบัติผ่านตามข้อกำหนดงานซีเมนต์ที่ออกแบบไว้จึงจะสามารถเปิดใช้งานรับน้ำหนักได้ต่อไป เรียกซีเมนต์ภายหลังจากเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งแล้วนี้ว่า "คอนกรีตแข็งตัวแล้ว"

ก. หน้าที่ และสมบัติของซีเมนต์เพสต์คือ ช่วยเสริมช่องว่างระหว่างมวลรวม ช่วยในการหล่อลื่นคอนกรีตสดขณะที่เทลงแบบหล่อ หล่อให้กำลังแก่คอนกรีตเมื่อแข็งตัว ช่วยในเรื่องการทำให้เกิดความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า "ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น" และยังช่วยป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ดีมาก ซึ่งสมบัติเหล่านี้เป็นสมบัติของปูนซีเมนต์

ข. หน้าที่ และสมบัติของมวลรวมคือ เป็นตัวแทรกประสานที่กระจายอยู่ทั่วซีเมนต์ และมีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์มาก ซึ่งช่วยให้ซีเมนต์มีความคงทน ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก ทนต่อปฏิกิริยาทางเคมี และต้านทานต่อแรงกระแทก และการเสียดสี

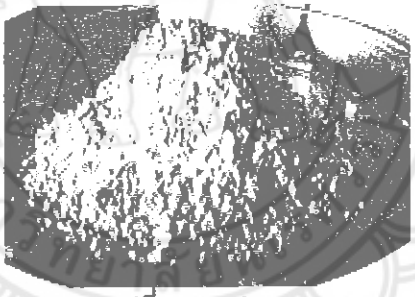
ค. หน้าที่ และสมบัติของน้ำ คือ ใช้ล้างวัสดุมวลรวมต่างๆ เป็นตัวช่วยในการผสมทำซีเมนต์ บ่มซีเมนต์ เพื่อก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับปูนซีเมนต์ ช่วยในการหล่อลื่นเพื่อให้ซีเมนต์อยู่ในสภาพเหลวสามารถที่จะเทลงแบบได้ และช่วยเคลือบมวลรวม (หิน กรวด ทราย) ให้เปียก เพื่อให้ยึดเกาะซีเมนต์ได้ดี

ง. หน้าที่ และสมบัติของสารผสมเพิ่มคือ ช่วยปรับปรุงสมบัติของซีเมนต์สดหรือซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้วในด้านต่างๆ เช่น เวลาการก่อตัว ความสามารถในการไหลตัวในการเท กำลังอัด การดูดซึมน้ำ และความคงทน เป็นต้น

2.1.5 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์

2.1.5.1 วัตถุดิบที่มีส่วนประกอบของปูนขาว (Lime Component)

เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate, $CaCO_3$) ซึ่งมีความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 85 - 95 โดยน้ำหนัก ตัวอย่างวัตถุเหล่านี้ตามธรรมชาติ ได้แก่ หินปูน (Limestone) ชอล์ก (Chalk) และดินขาว (Marl)



รูปที่ 2.2 ปูนขาว
ที่มา: ธีรวัฒน์ (2535)

2.1.5.2 วัตถุดิบที่มีส่วนประกอบของดินดำ (Clay)

เป็นวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบทางเคมี ของซิลิคอนไดออกไซด์ (Silicon Dioxide, SiO_2) อะลูมินัมออกไซด์ (Aluminum Oxide, Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Ferric Oxide, Fe_2O_3) ตัวอย่างวัตถุเหล่านี้ตามธรรมชาติ ได้แก่ ดินดำ (Clay) และดินดาน (Shale)

2.1.5.3 วัตถุดิบปรับแต่งสมบัติ (Correetive Materials)

เป็นวัตถุดิบที่ใช้สำหรับเพิ่มเติมสารประกอบบางตัวซึ่งมีไม่เพียงพอในดินดำหรือดินดาน วัตถุดิบเหล่านี้ได้แก่ ทราย (ในกรณีที่ต้องการซิลิคอนไดออกไซด์) แร่เหล็กหรือดินลูกรัง (ในกรณีที่ต้องการเฟอร์ริกออกไซด์) และดินอลูมินา (ในกรณีที่ต้องการอะลูมินัมออกไซด์) เป็นต้น

2.1.6 กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์

กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ (Cement Manufacturing Process) จำแนกตามลักษณะของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตเป็น 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่ กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process) และกรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง (Dry Process)

2.1.6.1 กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process) คือ กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูง เช่น ดินขาว (Marl) และดินเหนียว (Clay) มาบดผสมกันในสภาพที่เปียก และเติมน้ำเพิ่มลงในอัตราส่วนที่พอเหมาะ เพื่อช่วยในการบดผสม วัตถุดิบที่เตรียมเสร็จจะมีน้ำเป็นส่วนผสมประมาณร้อยละ 30 – 40 มีลักษณะเหลว และไหลได้เรียกว่า Slurry หลังจากนั้นนำไปป้อนเข้าหม้อเผาในสภาพที่มีความชื้นสูง หม้อเผาในกรรมวิธีแบบเปียก จะต้องใช้ปริมาณความร้อนสูงกว่าหม้อเผาในกรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง เนื่องจากต้องใช้ความร้อนไล่ความชื้น Slurry ออกให้หมดก่อนที่จะเผาต่อเพื่อให้ได้ปูนเม็ดออกมา

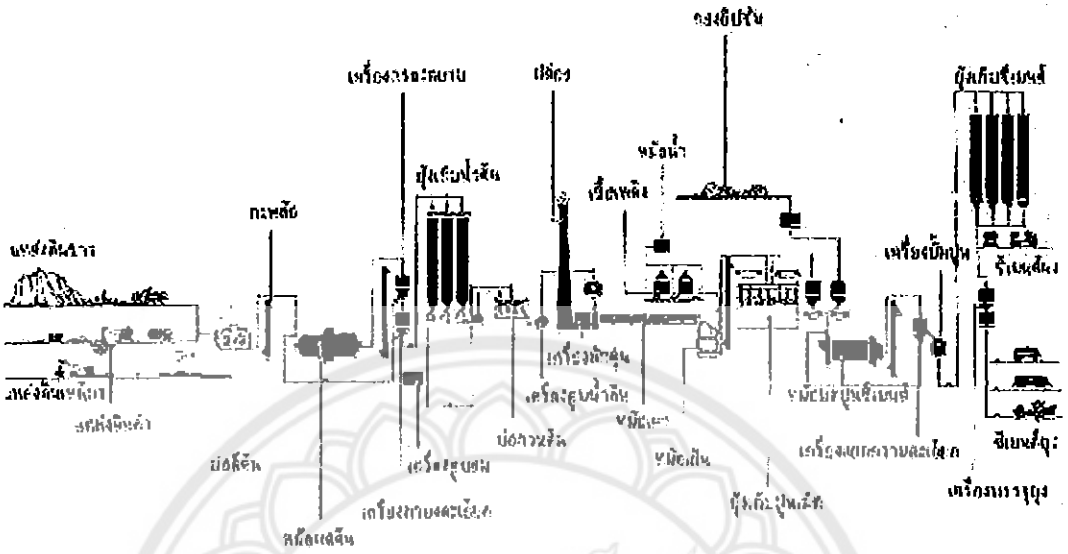
2.1.6.2 กรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง (Dry Process) คือ กรรมวิธีการที่ผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นปกติ คือ นำวัตถุดิบที่มีธาตุอลูมินา และธาตุซิลิกาซึ่งมีอยู่มากในดินดำ กับเหล็กซึ่งมีอยู่มากในศิลาแลง มาผสมกันตามสัดส่วน บดให้ละเอียด และนำมาตีกับน้ำจะเป็นน้ำดินแล้วนำไปเผาในหม้อเผา (Cement Kiln) จนกระทั่งเกิดปฏิกิริยาทางเคมีจับกันเป็นเม็ดเล็กๆ ที่เรียกว่า ปูนเม็ด (Clinker) เมื่อนำปูนเม็ดไปบดรวมกับยิปซัมก็จะได้ปูนซีเมนต์ตามที่ต้องการ

ในการเตรียมวัตถุดิบตามวิธีนี้จะต้องนำวัตถุดิบที่จะใช้การผลิตปูนซีเมนต์ ได้แก่ ดินขาว ดินดำ และศิลาแลง มาวิเคราะห์หาส่วนประกอบ เพื่อคำนวณหามาตราส่วนที่จะใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ผสมวัตถุดิบดังกล่าวแล้ว นำไปตีรวมกันกับน้ำในบ่อเตรียมดิน (Wash Mill) ให้ละเอียดจนเป็นน้ำดิน (Slurry) วัตถุประสงค์ของกรรมวิธีขั้นนี้ ก็เพื่อที่จะย่อยดินขาวส่วนที่แข็งมากให้แหลกลงแล้วกรองผลิตผลที่ดีแล้ว เพื่อกันเอาส่วนละเอียดไปใช้ และควบคุมปริมาณของน้ำไม่ให้มีมากจนเกินไป เพราะจะทำให้หมดเปลืองเชื้อเพลิงโดยเปล่าประโยชน์ ส่วนกากของดินนั้น จะนำไปบดให้ละเอียดใหม่ในหม้อบดดิน (Tube Mill) แล้วนำมากรองใหม่อีกครั้งหนึ่งอย่างไรก็ตาม ในการเตรียมวัตถุดิบดังกล่าวมาแล้วนี้ ส่วนผสมของวัตถุดิบก็อาจจะคลาดเคลื่อนไปได้บ้าง เพราะความชื้นในดินตลอดจน ความเปลี่ยนแปลงในส่วนผสมของดินอีกเล็กน้อย จึงต้องกวนน้ำดินที่ได้บรรจุไว้ในถัง (Slurry Silo) โดยวิธีอัดลมลงไปเป่าให้

เดือดเป็นเวลา 1 คืน แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ทางเคมีเป็นครั้งที่สอง จากนั้นทำการผสมน้ำดินนี้ให้ถูกส่วนตามที่ต้องการต่อไป แล้วสูบน้ำดินนี้ไปลงถังพัก (Slurry Agit Tank) ซึ่งมีพาย และลมสำหรับกวน และเป่าน้ำดิน เพื่อป้องกันไม่ให้ตกตะกอน และเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอในส่วนผสมให้มากที่สุดที่จะทำได้

ขั้นต่อมาให้เตรียมดินผง โดยเอาหินปูนแห้งมาทำการบดกับดินดำแห้งให้ละเอียด และมีส่วนผสมทางเคมีกวนเข้ากับน้ำดิน เอาน้ำดิน และดินผงผสมกันแล้วมาปั้นเม็ดแบบขนมบัดลอย เม็ดดินนี้จะมีความชื้นประมาณร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ถ้าผลิตโดยกรรมวิธีเผาเปียก (Wet Process) น้ำดินจะต้องมีความชื้นถึงร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ก่อนที่จะป้อนเข้าหม้อเผา ด้วยความชื้นต่ำของน้ำดิน และโดยการเพิ่มตระกรันเผาเม็ดดินเข้าอีกชุดหนึ่ง การใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงจะเป็นไปในอัตราที่ต่ำ และมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบเผาเปียก เพราะทำให้เชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าไปในหม้อเผา ปริมาณเดียวกัน สามารถเผาปูนเม็ดได้เพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก หรือถ้าจะกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าวิธีเผาเปียกใช้ ความร้อนประมาณ 1,500 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม เมื่อใช้วิธีเผาแห้งใช้ความร้อนลดลงเหลือประมาณ 1,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม สูบน้ำดังกล่าวไปเผาในหม้อเผา (Cement Rotary Kiln) ซึ่งวางนอนอยู่บนแท่นคอนกรีต และหมุนรอบตัวเองอยู่บนลูกกลิ้งประมาณนาทีละ 1 รอบ และน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงภายในหม้อเผาจะมีอิฐทนไฟ (Refractory Lining Bricks) เพื่อเก็บความร้อนไว้ภายใน และมีโซ่เป็นชุดๆ แขวนไว้ทำหน้าที่ต่างๆ กัน เช่น ชุบน้ำดินที่ไหลผ่านมา แล้วให้ปะทะกับลมร้อนที่จะผ่านออกทางปล่อง ทำให้น้ำระเหยออกจากน้ำดิน ปั้นดินที่น้ำระเหยออกไปบ้างแล้วให้เป็นเม็ดกลมๆ มีขนาดเท่าปลายนิ้วมือหรือใกล้เคียงกัน เม็ดดินที่ผ่านโซ่เป็นชุดๆ มานั้นจะถูกเผาให้ร้อนขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อความร้อนถึง 800 – 1,000 องศาเซลเซียส เม็ดดินก็จะเริ่มคายคาร์บอนไดออกไซด์ออก เมื่อเม็ดดินนี้ร้อนถึงประมาณ 1,450 องศาเซลเซียส ก็จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีคือ เม็ดดินเปลี่ยนเป็นปูนเม็ด โดยฉับพลันปูนเม็ดซึ่งร้อนถึง 1,450 องศาเซลเซียส จะถูกปล่อยลงไปในยุ้งลดความเย็น (Cooler) อันเป็นทำเลที่จะพ่นลมเข้าไปในปูนเม็ดเย็นตัวลง เพื่อให้เกิดไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) มากที่สุดในขณะที่ปูนเม็ดเริ่มแข็งตัวแล้วจึงเก็บปูนเม็ดนี้ไว้ในยุ้ง (Storage)

ต่อไปก็นำปูนเม็ดนี้ ไปทำการบดให้เป็นปูนซีเมนต์ผง ในหม้อบดปูนซีเมนต์ (Cement Mill) โดยใส่ยิปซัมผสมลงไปด้วย หม้อบดนี้จะมีเครื่องที่สามารถตั้งให้จำนวนปูนเม็ดที่บดเป็นปูนซีเมนต์แล้วมีความละเอียด และมีความแข็งตัวตามที่ต้องการด้วยในทุกๆ ชั่วโมง ซึ่งจะนำตัวอย่างปูนซีเมนต์ที่บดนี้ ไปทดลองหาเวลาแข็งตัว และความละเอียดตลอดจนเก็บไว้ส่วนหนึ่งเพื่อรวมกันประกอบเป็นตัวอย่างสำหรับทดลองกำลังการยึดตัว และส่วนผสมทางเคมีของปูนซีเมนต์ที่บดแต่ละตัวด้วยปูนซีเมนต์ที่บดแล้วนี้นำไปเก็บไว้ในยุ้งเก็บปูนซีเมนต์ (Cement Silo) โดยอาศัยกำลังลมอัดไป แล้วจะนำมาบรรจุถุงจำหน่ายได้ต่อไป



รูปที่ 2.3 การผลิตซีเมนต์

ที่มา: ธีรวัฒน์ (2535)

2.1.7 การบ่มซีเมนต์

การบ่มซีเมนต์ (Curing) คือ วิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ของปูนซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะส่งผลทำให้การพัฒนากำลังของซีเมนต์เป็นไปอย่างต่อเนื่อง วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการบ่มซีเมนต์ คือ

2.1.7.1 เพื่อให้ซีเมนต์มีการพัฒนาสมบัติด้านกำลัง และความคงทน

2.1.7.2 เพื่อป้องกันการแตกร้าวของซีเมนต์ โดยเฉพาะในช่วงอายุเริ่มแรกโดยการรักษาระดับอุณหภูมิให้เหมาะสม และลดการระเหยของน้ำให้น้อยที่สุด

การบ่มอาจหมายถึง การควบคุมอุณหภูมิของซีเมนต์ด้วย ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่สูงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ให้เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ทำให้คุณภาพของซีเมนต์นั้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก อย่างไรก็ตามการเร่งนี้ อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสมบัติของซีเมนต์ในระยะยาว

ซีเมนต์จำเป็นต้องได้รับการบ่มทันที หลังจากเสร็จสิ้นการแต่งผิวหน้า และซีเมนต์เริ่มแข็งตัวแล้ว และควรบ่มซีเมนต์ต่อไปจนกระทั่งซีเมนต์มีกำลังตามต้องการ หลักการทั่วไปของการบ่มที่ดีจะต้องสามารถป้องกันซีเมนต์ไม่ให้เกิดการสูญเสียความชื้น ไม่ว่าจะด้วยความร้อน หรือลม ไม่ให้ซีเมนต์ร้อน หรือเย็นมากเกินไป ไม่ให้สัมผัสกับสารเคมีที่จะเป็นอันตรายต่อซีเมนต์ และไม่ถูกชะล้างด้วยน้ำฝนหลังจากเทซีเมนต์เสร็จใหม่ๆ

2.1.8 การบ่มที่อุณหภูมิปกติ

สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ การบ่มซีเมนต์โดยการเพิ่มน้ำ และการบ่มซีเมนต์โดยการป้องกันการสูญเสียความชื้น

2.1.8.1 การบ่มซีเมนต์โดยการเพิ่มน้ำ

เป็นการเพิ่มน้ำ หรือความชื้นบริเวณผิวหน้าซีเมนต์โดยตรง ในระยะแรกที่ซีเมนต์เริ่มแข็งตัวอย่างต่อเนื่อง ตามระยะเวลาการบ่มซีเมนต์ที่กำหนด ควรคำนึงถึงความสามารถในการจัดหาน้ำ และวัสดุที่ใช้บ่ม น้ำที่ใช้บ่มควรมีคุณภาพสอดคล้องตามมาตรฐาน ไม่มีสารเจือปนที่เป็นอันตรายต่อซีเมนต์ หรือทำให้ผิวซีเมนต์เปลี่ยนสี และหลีกเลี่ยงการใช้น้ำบ่มที่อุณหภูมิต่ำกว่าซีเมนต์เกิน 10 องศาเซลเซียส เพราะอาจจะทำให้ผิวซีเมนต์เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างทันที และเกิดการแตกร้าวได้ (Thermal Shock) วิธีนี้นอกจากจะเป็นวิธีการบ่มที่ดี แล้วยังสามารถช่วยลดอุณหภูมิ ที่ผิวของซีเมนต์ลงด้วย จึงเหมาะกับงานซีเมนต์ในอากาศร้อน

2.1.8.2 การบ่มซีเมนต์โดยการป้องกันการสูญเสียความชื้น

เป็นการป้องกันความชื้นจากผิวซีเมนต์ มิให้เล็ดลอดออกสู่ภายนอก โดยการใช้วัสดุปิดทับ ทำหน้าที่เป็นแผ่นคลุม หรือเป็นแผ่นฟิล์มเคลือบ เช่น การใช้สารเหลว หรือน้ำยาบ่มซีเมนต์

น้ำยาบ่มซีเมนต์ ควรมีคุณภาพตามข้อกำหนด มอก. 841 หรือ ASTM C 309 เป็นสารที่เคลือบบนผิวซีเมนต์ ซึ่งเมื่อแห้งแล้วจะเป็นแผ่นบาง (Membrane - Forming) สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำระหว่างการแข็งตัวของซีเมนต์ในช่วงแรกได้

2.1.9 การบ่มที่อุณหภูมิสูง

การบ่มที่อุณหภูมิสูง หรือการบ่มแบบเร่งกำลัง สามารถเร่งอัตราการเพิ่มกำลังอัดได้อย่างรวดเร็ว จึงนิยมใช้ในการผลิตซีเมนต์ ทำคอนกรีตสำเร็จรูป เช่น ท่อ คาน และแผ่นพื้น เป็นต้น

การบ่มแบบนี้ ควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น ระยะเวลาที่จะเริ่มบ่ม อัตราการเร่งอุณหภูมิ อุณหภูมิสูงสุดของการบ่ม ระยะเวลาการคงอุณหภูมิสูงสุดไว้ และอัตราการลดอุณหภูมิเป็นต้น ปัจจัย

เหล่านี้ ควรได้มาจากผลการทดสอบจริง หรือประสบการณ์จริง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลเสียต่อซีเมนต์ที่บ่ม

2.1.10 การบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันต่ำ (Low Pressure Steam Curing)

อุณหภูมิที่ใช้อยู่ระหว่าง 40 – 100 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิที่ให้ผลดีที่สุด จะอยู่ระหว่าง 65 – 80 องศาเซลเซียส การเลือกอุณหภูมิที่ใช้ ขึ้นอยู่กับอัตราการเพิ่มกำลังอัด และกำลังอัดสูงสุดที่ต้องการ อุณหภูมิสูงจะทำให้กำลังอัดสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่กำลังอัดประลัยสูงสุดจะมีค่าต่ำ อุณหภูมิที่ต่ำจะให้กำลังอัดประลัยสูงสุด แต่ด้วยอัตราการเพิ่มกำลังอัดที่ต่ำ

การควบคุมอุณหภูมิ ควรทิ้งซีเมนต์ไว้ประมาณ 2-6 ชั่งโมง หลังการหล่อ ก่อนที่จะสัมผัสกับไอน้ำ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเบื้องต้นก่อน อัตราการเพิ่มอุณหภูมิไม่ควรเกิน 30 องศาเซลเซียสต่อชั่งโมง

2.1.11 การบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันสูง (High Pressure Steam Curing)

หากต้องการบ่มซีเมนต์ด้วยอุณหภูมิสูงเกิน 100 องศาเซลเซียส ต้องให้ความกดดันสูงขึ้น และต้องบ่มซีเมนต์ในภาชนะที่ปิดสนิท ซึ่งมีชื่อว่า Autoclave อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 160 – 210 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 6 – 20 atm มีข้อดี คือ สามารถใช้ได้ภายใน 24 ชั่งโมง เพราะซีเมนต์มีกำลังสูงทัดเทียมการบ่มปกติเป็นเวลา 28 วัน มีการหดตัว และการล้าลดลงมาก ทนเกลือซัลเฟตได้ดี และมีความชื้นต่ำภายหลังการบ่ม ในทางปฏิบัติ การบ่มแบบนี้เสียค่าใช้จ่ายสูง และใช้ได้กับคอนกรีตกำลังสูงเท่านั้น

2.1.12 การถอดแบบหล่อซีเมนต์

แบบหล่อซีเมนต์ (Formwork) คือ แบบที่ทำจากวัสดุต่างๆ เช่น ไม้ เหล็ก ไฟเบอร์กลาส พลาสติก หรือคอนกรีต เป็นต้น เพื่อใช้หล่อซีเมนต์ให้มีขนาด และรูปร่างตามต้องการ โดยต้องออกแบบและก่อสร้างแบบหล่อให้มีความแข็งแรงเพียงพอ ที่จะสามารถต้านทานต่อแรง อันเนื่องมาจากการเทซีเมนต์ และการอัดแน่นของซีเมนต์ การทำการอัดแน่นซีเมนต์ยังต้องคำนึงถึงลักษณะผิวของซีเมนต์ที่ปรากฏหลังการถอดแบบ

การจำแนกชนิดแบบหล่อ อาจแบ่งตามลักษณะของการรับแรงดัน และน้ำหนักของซีเมนต์ ได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ชิ้นส่วนที่รับแรงด้านข้าง และชิ้นส่วนที่รับน้ำหนักในแนวดิ่ง หรืออาจแบ่งตามชนิดของโครงสร้าง เช่น แบบหล่อซีเมนต์ทั่วไป และแบบหล่อซีเมนต์สำเร็จรูป แบบหล่อที่ดีจะให้ความประณีต ความสวยงาม และความแข็งแรงแก่โครงสร้างซีเมนต์

เนื่องจากเวลาถอดแบบหล่อซีเมนต์นั้น ขึ้นอยู่กับส่วนผสมทางซีเมนต์ และการบ่มซีเมนต์เป็นสำคัญ ดังนั้นการถอดแบบได้เร็ว เพื่อให้สามารถนำแบบเหล่านั้นไปใช้ซ้ำหลายๆ ครั้ง นั้นจำเป็นต้องควบคุมคุณภาพซีเมนต์ ให้มีกำลังในระยะเริ่มแรกสูงเพียงพอ และในขณะเดียวกันก็ต้องควบคุมให้มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ตามต้องการด้วย

จะถอดแบบหล่อได้ ก็ต่อเมื่อซีเมนต์มีกำลังอัดเพียงพอ ที่จะสามารถรับน้ำหนักอื่นๆ ที่จะเกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง ระยะเวลาในการถอดแบบหล่อขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น สมบัติของปูนซีเมนต์ ส่วนผสมซีเมนต์ ความสำคัญของโครงสร้าง ชนิด และขนาดของโครงสร้าง น้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้าง และอุณหภูมิ เป็นต้น

2.1.13 กำลังอัดของซีเมนต์

สมบัติของซีเมนต์สดนั้นก็จะมีความสำคัญเพียงเฉพาะที่ขณะเวลาก่อสร้างเท่านั้นในขณะที่สมบัติของซีเมนต์แข็งตัวแล้ว จะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งาน ของโครงสร้างซีเมนต์นั้น

2.1.14 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของซีเมนต์

2.1.14.1 สมบัติของวัสดุผสมซีเมนต์

ก. ปูนซีเมนต์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลที่สำคัญมาก ทั้งนี้เนื่องจากว่าปูนซีเมนต์แต่ละประเภท จะก่อให้เกิดกำลังอัดของซีเมนต์ที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ แม้ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์ประเภทเดียวกัน แต่มีความละเอียดต่างกัน แล้วอัตราการเพิ่มกำลังของซีเมนต์ก็จะแตกต่างไปด้วย กล่าวคือถ้าปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากก็จะให้กำลังสูง โดยเฉพาะหลังจากที่แข็งตัวไปแล้วไม่นาน

ข. มวลรวม มีผลต่อกำลังของซีเมนต์เพียงเล็กน้อย เพราะว่ามวลรวมที่ใช้กันทั่วไป มักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์เพสต์ ยกเว้นกรณีซีเมนต์กำลังสูง ซึ่งมีกำลังของซีเมนต์เพสต์สูงกว่าซีเมนต์ทั่วไป มวลรวมจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกำลังของซีเมนต์ โดยมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อย ซึ่งมีรูปร่างเหลี่ยม หรือผิวหยาบ จะทำให้ซีเมนต์มีกำลังอัดสูงกว่ากรวด ซึ่งมีผิวเรียบ ขนาดของมวลรวม ก็มีผลต่อกำลังของซีเมนต์เช่นกัน เพราะซีเมนต์ที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดใหญ่ จะต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็ก เพื่อให้ซีเมนต์มีความสามารถในการเทได้เท่ากัน ดังนั้นซีเมนต์โดยทั่วไปที่ใช้ขนาดใหญ่จึงมักให้กำลังดีกว่า

ค. น้ำ มีผลต่อค่ากำลังของซีเมนต์ ตามปริมาณความใส และปริมาณของสารเคมี หรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำขุ่น หรือน้ำที่มีสารแขวนลอยปนอยู่ จะทำให้กำลังของซีเมนต์ต่ำลง ซึ่งอาจจะมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณ และชนิดของสารแขวนลอยนั้น

ง. สารเพิ่มผสม ชนิด และปริมาณของสารผสมเพิ่มประเภทสสารลดน้ำพิเศษ มีผลต่อการลดน้ำในส่วนผสมซีเมนต์ เมื่อควบคุมให้มีค่าการยุบตัวเท่ากัน สารผสมเพิ่มประเภทนี้จะช่วยลดปริมาณน้ำ ในส่วนผสมทำให้ซีเมนต์ มีกำลังสูงกว่าซีเมนต์ทั่วไป ที่ไม่ใส่น้ำยา นอกจากนี้การใช้แร่ผสมเพิ่ม และสารผสมเพิ่มชนิดอื่นๆ ก็มีผลกระทบต่อกำลังของซีเมนต์แตกต่างกัน ตามชนิดและปริมาณของสารผสมเพิ่มนั้นๆ เช่น ซิลิกาฟูม จะช่วยให้ซีเมนต์มีการพัฒนากำลังในระยะต้นสูงขึ้น จึงนิยมใช้ในการทำซีเมนต์กำลังสูงเป็นต้น

2.1.14.2 วิธีการขึ้นรูปซีเมนต์

มีผลต่อกำลังอัดของซีเมนต์โดยตรง โดยเฉพาะอัตราส่วนของน้ำ ต่อปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกำลังของซีเมนต์อย่างมาก ถ้าใช้ส่วนผสมซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำกว่า จะทำให้ได้ซีเมนต์ที่มีกำลังอัดสูงกว่า

ก. การทำคอนกรีต

ก.1 การชั่งตวงวัสดุผสมซีเมนต์หากใช้การตวงโดยปริมาตรจะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่าการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งหากชั่งตวงวัสดุผสมซีเมนต์ผิดไป จะทำให้สมบัติของซีเมนต์เปลี่ยนแปลงได้

ก.2 การผสมซีเมนต์ จะต้องผสมวัสดุทำซีเมนต์ให้เป็นเนื้อเดียวกันให้ได้มากที่สุด เพื่อให้น้ำได้มีโอกาสทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึง และเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์กระจายตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมได้เต็มที่ ดังนั้นการผสมซีเมนต์หากกระทำอย่างไม่ทั่วถึง จะมีผลทำให้กำลังของซีเมนต์มีค่าไม่คงที่

ก.3 การลำเลียง การเท และการอัดแน่นของซีเมนต์ จะมีอิทธิพลต่อกำลังอัดของซีเมนต์ เพราะหากคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะลำเลียง หรือในขณะที่เทจะทำให้กำลังของซีเมนต์มีค่าไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ การทำให้ซีเมนต์แน่นตัว หากทำได้ไม่เต็มที่ก็จะทำให้เกิดรูโพรงขึ้นในเนื้อซีเมนต์ มีผลให้กำลังของซีเมนต์มีค่าลดลง

ข. การบ่มซีเมนต์

ข.1 ความชื้น จะมีอิทธิพลอย่างมากต่อกำลังอัดของซีเมนต์ เพราะเมื่อปูนซีเมนต์เริ่มผสมกัน น้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอย่างค่อยเป็นค่อยไป และซีเมนต์เพสต์จะมีกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตราบใดที่ยังมีความชื้นอยู่ ถ้าซีเมนต์เพสต์ในซีเมนต์ไม่มีความชื้นอยู่ ซีเมนต์จะไม่มีการเพิ่ม

กำลังอีกต่อไป ดังนั้นเมื่อซีเมนต์แข็งตัว จึงควรทำการบ่มด้วยความชื้นทันที การบ่มในห้องปฏิบัติการมักจะบ่มจนถึงอายุ 28 วัน

ข.2 อุณหภูมิ ถ้าหากอุณหภูมิสูงในขณะบ่ม จะทำให้ซีเมนต์มีการพัฒนากำลังเร็วกว่าซีเมนต์ที่ได้รับการบ่มในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

ข.3 เวลาที่ใช้ในการบ่มซีเมนต์ หากสามารถบ่มซีเมนต์ให้ชื้นอยู่ตลอด เวลาได้ยิ่งนานเท่าใด ก็จะยิ่งได้กำลังของซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

2.1.15 ประเภทของปูนซีเมนต์

ส่วนใหญ่จะผลิตตามมาตรฐานของ อเมริกา (ASTM C 150) และของอังกฤษ (British Standard ; BS) ซึ่งตามมาตรฐาน มอก. 15 ของไทย ได้แบ่งปูนซีเมนต์ออกเป็น 5 ประเภทดังนี้

2.1.15.1 ประเภท 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Normal Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมทำคอนกรีตในงานโครงสร้างทั่วๆ ไป ซึ่งอยู่ในสภาวะของภูมิอากาศและภูมิประเทศที่เป็นปกติ ไม่ร้อนจัด ไม่หนาวจัด ไม่มีอันตรายจากซัลเฟต ซึ่งได้แก่ ความเปรี้ยว หรือความเค็มของน้ำ และดิน เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้กันอยู่โดยทั่วๆ ไปที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ใช้ทำคอนกรีตในส่วนของโครงสร้างอาคาร ตั้งแต่ ฐานราก เสาตอม่อ คานคอดิน พื้น กันสาด เสาเอ็น เสาของอาคารแต่ละชั้น ถนนรถยนต์ สะพาน ท่อระบายน้ำ ถังเก็บน้ำชนิดที่เป็นเสาสูง และถังที่อยู่เสมอดิน รวมไปถึงอาคารที่มีห้องใต้ดิน ทำกำแพงกั้นดิน กั้นน้ำซึม เป็นต้น งานที่ไม่ควรนำปูนชนิดนี้มาใช้ คืองานก่ออิฐ งานฉาบปูน งานปั้น งานฉาบปูนทำลวดลายต่างๆ ของอาคาร หรือศาสนสถาน เพราะจะทำให้เกิดการแตกร้าว อันเนื่องมาจากการแข็งตัวเองของปูนซีเมนต์ที่ค่อนข้างเร็ว ทำให้ช่างอาจทำการตกแต่งไม่ทันเวลา ฉะนั้นจึงไม่ควรที่จะนำมาใช้กับงานประณีตที่ต้องใช้ระยะเวลาของการตกแต่งเป็นเวลานาน

2.1.15.2 ประเภท 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) ที่มีสมบัติเหนือกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ใช้สำหรับทำการผสมทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกิดความร้อน และสามารถที่จะทนซัลเฟตได้ปานกลาง กล่าวคือในบริเวณการก่อสร้างมีความเค็ม ความเปรี้ยวของน้ำ และดินไม่มากนักสามารถใช้ปูนประเภทสองนี้ได้ ตัวอย่างงานคอนกรีตที่ใช้ปูนประเภทนี้ได้ คือ งานก่อสร้างเขื่อน คอนกรีต กำแพงกั้นดินหนาๆ หล่อท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ เสาตอม่อ สะพาน และฐานราก

2.1.15.3 ประเภท 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็ว (High-Early Strength Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผลิตให้มีคุณภาพ ที่มีความพิเศษกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ต-แลนด์ธรรมดา ด้วยการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของวัตถุดิบ และเติมสารบางอย่างลงไป รวมทั้งเผาให้เม็ดปูนสุกระอุมากกว่าเดิม เมื่อนำมาบดให้เป็นผงละเอียด จะบดให้มีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ต-

แลนด์ธรรมดา ทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีสมบัติพิเศษคือ สามารถแข็งตัวได้เร็วกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาถึงร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ตามปกติโดยทั่วไปปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาจะแข็งตัว และสามารถรับน้ำหนักได้เต็มที่ เมื่อคอนกรีตมีอายุได้ 14 วัน ภายหลังจากการเทคอนกรีตเข้าไปในแบบหล่อแล้ว แต่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็ว จะแข็งตัว และสามารถรับน้ำหนักได้เต็มที่ เมื่อคอนกรีตมีอายุได้เพียง 7 วัน หลังจากการเทคอนกรีตเข้าไปในแบบหล่อแล้ว ปูนซีเมนต์ประเภทสามนี้ เหมาะที่จะนำไปใช้ในการหล่อคอนกรีต ที่ต้องการใช้งานเร็วสามารถถอดแบบได้เร็ว เพราะงานบางงานมีความจำเป็นต้องทำให้เสร็จโดยเร็ว เพื่อหลีกเหลี่ยงภัยธรรมชาติ ที่อาจจะเกิดขึ้น เช่น น้ำป่า น้ำท่วม ฝนตกหนักติดต่อกันหลายวันทำให้งานล่าช้ากว่าปกติ ฯลฯ งานดังกล่าว สามารถที่จะแก้ไขได้ด้วยการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ต-แลนด์แข็งเร็ว เพื่อให้งานนั้น สำเร็จทันต่อความต้องการใช้งาน งานที่นิยมใช้ปูนประเภทสามกันมาก คือ การหล่อเสาเข็มคอนกรีต ถนน พื้น คานที่ต้องการถอดแบบเร็ว สนามบิน งานคอนกรีตที่ต้องการถอดแบบเร็ว งานคอนกรีตที่ต้องการนำไปใช้งานเร็ว เพื่อให้ทันต่อความต้องการของตลาด ในขณะที่สินค้าดังกล่าวขายดิบขายดีจนขาดตลาด เช่น เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง พื้นสำเร็จรูป คานสำเร็จรูป เสารั้วสำเร็จรูป เป็นต้น การนำเอาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็ว มาใช้กับงานนั้น จะต้องมีความประณีตเป็นพิเศษ เพราะเมื่อผสมทำเป็นคอนกรีตสด ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ผสมเสร็จมาใหม่ๆ ยังไม่ได้เทลงบนแบบหล่อจะเกิดความร้อนที่มาก ความร้อนดังกล่าว เกิดขึ้นจากการที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ ฉะนั้นเมื่อเทคอนกรีตสดลงแบบแล้ว ควรจะกระทุ้งในแน่น แต่ง และปาดผิวหน้าเรียบร้อยแล้ว น้ำในคอนกรีตก็จะระเหยไปเร็ว เมื่อคอนกรีตแข็งตัวในวันรุ่งขึ้น จะต้องเอาน้ำมาราด เพื่อเป็นการบ่มคอนกรีต และแทนการระเหยของน้ำดังกล่าวโดยเร็วที่สุด เพราะถ้าไม่ทำเช่นนี้ คอนกรีตดังกล่าว จะเกิดการแตกร้าว ไม่สามารถรับน้ำหนักได้ตามที่ได้ออกแบบเอาไว้ ด้วยเหตุนี้จึงนิยมใช้ปูนชนิดนี้ในการหล่อคอนกรีตสำเร็จรูปตามโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานหล่อเสาเข็ม โรงงานหล่อเสารั้ว โรงงานหล่อพื้นสำเร็จรูป เพราะตามโรงงานดังกล่าว สามารถเตรียมน้ำไว้ล่วงหน้าได้ นอกจากนี้บางแห่งอาจใช้การอบไอน้ำ ซึ่งเป็นการบ่มคอนกรีตที่ได้ผลดีมากอีกวิธีหนึ่งแทน เขื่อนขนาดใหญ่ ซึ่งต้องใช้คอนกรีต ที่มีปริมาณมากๆ หรือที่เรียกกันว่าคอนกรีตหลานั่นเอง เนื่องจากการที่เขื่อนคอนกรีต มีขนาดใหญ่มาก ต้องใช้ปริมาณของคอนกรีต เป็นจำนวนมาก หากใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา จะมีความร้อนเกิดขึ้น ขณะบ่มปูน ความร้อนดังกล่าว จะทำให้น้ำในเนื้อของคอนกรีตระเหยออกไป เนื่องจากที่คอนกรีตมีความหนามาก ทำให้การระเหยของน้ำภายในบริเวณตรงกลางของเขื่อน ไม่สามารถที่จะระเหยออกมาได้ทันเวลา เป็นผลให้เกิดการเบ่งตัวของไอน้ำที่ระเหย อาจจะทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้ ทั้งนี้เนื่องจากการสะสมของไอน้ำ และอาจก่อให้เกิดโพรงขึ้นในเนื้อของคอนกรีต ฉะนั้นเพื่อป้องกันมิให้ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นอีก จึงมีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว แต่เนื่องจากการก่อสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ เป็นงานเฉพาะกิจที่นานๆ ปีจึงจะมีการก่อสร้าง จึงไม่มีการผลิตปูนซีเมนต์

ประเภทนี้ออกมาจำหน่ายในท้องตลาดเหมือนกับปูนซีเมนต์ประเภทอื่นๆ ต้องมีการสั่งเป็นคราวๆ ไปเท่านั้น

2.1.15.4 ประเภท 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดพิเศษที่มีอัตราความร้อนต่ำ (Low-Heat Portland Cement) กำลังของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งส่งผลดี ทำให้การขยายตัวน้อยช่วยลดการแตกร้าว เหมาะกับงานสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตจำหน่าย

2.1.15.5 ประเภท 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ทนต่อเกลือซัลเฟตได้สูง (Sulfate-Resistant Portland Cement) เหมาะกับงานก่อสร้างที่เป็นบริเวณใกล้ดินเค็ม หรือใกล้กับทะเล ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบกำลังอัดของปูนซีเมนต์ 5 ประเภท

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	กำลังอัดเป็นเปอร์เซ็นเมื่อเทียบกับประเภท 1			
	1 วัน	7 วัน	28 วัน	90 วัน
ประเภท 1	100	100	100	100
ประเภท 2	75	85	90	100
ประเภท 3	190	120	110	100
ประเภท 4	55	55	75	100
ประเภท 5	65	75	85	100

ที่มา: รศ.ปริญญา (2547)

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สมบัติ	ประเภทของปูนซีเมนต์				
	1	2	3	4	5
1.ปริมาณในอากาศในมอร์ต้าร์ (Air content of motra). สูงสุด, (ร้อยละโดยปริมาตร)	12	12	12	12	12
2. ความละเอียด (Fineness), พื้นผิวจำเพาะ (Speccific Surface) (ให้เลือกวิธีทดสอบได้), ตร.ซม/กรัม					
2.1 ทดสอบด้วยวากเนอร์เทอร์บิดิมิเตอร์ (Wagner turbidimeter)	2,800	2,800	.....	2,800	2,800
2.2 ทดสอบเบลนแอร์บีอะบิลิตี (Blaine air Permeability)	1,600	1,600	.....	1,600	1,600
3.ความอยู่ตัว (Soundness), การขยายตัวด้วยวิธีออโตเคลฟ (Autoclave Expansion), สูงสุด,ร้อยละ	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
4. แรงอัด (Compressive strength) ของก้อนลูกบาศก์มอร์ตาร์ (Mortar Cube) ซึ่งประกอบด้วยปูนซีเมนต์1ส่วน และทรายมาตรฐานที่ร่อนได้ตามขนาด (Graded Standard Sand) 2.75 ส่วน โดยน้ำหนักเตรียมและทดสอบมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 12 ต่ำสุด, กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร					
4.1 อายุ 1 วัน	.....	.....	120	.....	.....
4.2 อายุ 3 วัน	120	100	240	.....	80
4.3 อายุ 7 วัน	190	70	.....	70	150
4.4 อายุ 28 วัน	.....	.....	.....	170	210

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) สมบัติทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์

สมบัติ	ประเภทของปูนซีเมนต์				
	1	2	3	4	5
5. ระยะเวลาการก่อตัว (Time of Setting),(ให้เลือกวิธีการทดสอบเองได้)					
5.1 ทดสอบแบบกิลโมร์ (Gillmore Test)					
- การก่อตัวระยะต้น (Initial Set) , ต่ำสุด, นาที	60	60	60	60	60
- การก่อตัวระยะปลาย (Final Set) , สูงสุด, ชั่วโมง	10	10	10	10	10
5.2 การทดสอบแบบไวแคต (Vicat Test)					
- การก่อตัวระยะต้น (Intial Set) , ต่ำสุด, นาที	45	45	45	45	45
- การก่อตัวระยะปลาย (Final Set) สูงสุด, นาที	375	375	375	375	375
6. การก่อตัวผิดปกติ (False Set), ต่ำสุด,ร้อยละ	50	50	50	50	50
7. ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (Heat of Hydration), สูงสุด,แคลอรี่ต่อกรัม					
7.1 อายุ 7 วัน	.....	70	.....	60	.....
7.2 อายุ 28 วัน	.....	.....	.....	70	.....
8. แรงอัด (Compressive Strength) , ต่ำสุด, กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร					
8.1 อายุ 28 วัน	280	280	.....	.....	.....

ที่มา: ปูนซีเมนต์ปอร์แลนต์ มอก.15 เล่ม 1 (2547)

2.1.16 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2530)

2.1.16.1 ขอบข่ายมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กำหนดดังนี้ ประเภทวัสดุ และการทดสอบคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

2.1.16.2 บทนิยามของคอนกรีตบล็อก (Hollw Concrete Block or Hollow Concrete Masonry Unit) หมายถึง ก้อนคอนกรีต ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุที่เหมาะสมชนิดต่างๆ และจะมีสารอื่นผสมอยู่ด้วย หรือไม่ก็ได้ สำหรับก่อผนัง และกำแพง

2.1.16.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่นำมาใช้ในกรรมวิธีการผลิต ควรจะเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอรต์แลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดคุณภาพมาตรฐาน เลขที่ มอก. 15 เล่ม 1

2.1.16.4 คุณลักษณะของคอนกรีตบล็อกที่ต้องการ คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักทุกก้อนต้องแข็งแรง ปราศจากรอยแตกร้าว หรือส่วนเสียอื่นใด อันเป็นอุปสรรคต่อการก่อคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอย่างถูกต้อง หรือทำให้สิ่งก่อสร้างเสียกำลัง หรือความคงทนถาวร รอยร้าวเล็กน้อยที่มักเกิดขึ้นในกรรมวิธีการผลิตปกติ หรือรอยปริเล็กน้อย เนื่องจากวิธีการเคลื่อนย้าย หรือขนส่งอย่างธรรมดา จะไม่เป็นสาเหตุอ้างในการไม่ยอมรับ

2.1.16.5 ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดและค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักทุกก้อนต้องเป็นไปตาม ตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับแรง

ความต้านแรงอัดต่ำสุด (MPa) เฉลี่ยจากพื้นที่รวม	
เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อกไม่รับแรง	คอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน
2.5	2.0

ที่มา: มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรมอิฐบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2530)

2.2 มะพร้าว

มะพร้าวเป็นพืชยืนต้นขนาดกลางชนิดหนึ่งในตระกูลปาล์ม เพาะปลูกได้ดีบริเวณดินทราย หรือชายทะเล ลำต้นขนาด 20-40 เซนติเมตร สูงเฉลี่ย 7-10 เมตร แต่บางต้นสูงได้ถึง 25 เมตร ลำต้นตั้งตรงหรือโค้ง ไม่แตกกิ่ง ใบประกอบแบบขนนก เรียงสลับ ใบย่อยรูปขอบขนาน กว้าง 2-5 เซนติเมตร ยาว 60-100 เซนติเมตร ปลายใบเรียวแหลมอ่อนลู่ลง โคนใบรูปลิ่ม แผ่นใบสีเขียวอมเหลือง และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อแก่จัด ผลสดแบบมีเนื้อเมล็ดเดียว ติดผลจำนวนมาก ทรงไข่แกมกลม หรือรูปไข่กลับ ขนาด 20-25 เซนติเมตร สีเขียวหรือ เขียวแกมเหลือง ผลแก่สีน้ำตาล เนื้อในเมล็ดสีขาว ผลประกอบด้วยเปลือกนอก ถัดไปข้างในจะเป็นใยมะพร้าว ถัดไปข้างในเป็นส่วนกะลามะพร้าว ซึ่งจะมีรูสีคล้ำอยู่ 3 รู สำหรับงอก ถัดจากส่วนกะลามะพร้าวเข้าไป จะเป็นส่วนเนื้อมะพร้าว ภายในมะพร้าวจะมีน้ำ ทุกส่วนในมะพร้าว 1 ต้นสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย ตั้งแต่ รากจนถึงปลายยอด

รูปที่ 2.4 ต้นมะพร้าว
ที่มา: อุรคินทร์ (2547)

ซึ่งเส้นใยแข็งที่ได้มาจากกาบมะพร้าว จะเรียกว่า "ใยมะพร้าว" ด้วยเส้นใย ที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง เบา เรียวยาว และมีขนาดเล็กแตกต่างกันออกไป ทำให้สามารถตัดแบ่งความยาวได้ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยกับซีเมนต์ดี และมีลักษณะเฉพาะทางธรรมชาติ เป็นเส้นใย ที่หยุ่นเหนียว เมื่อนำมาอัดรวมกันเป็นแผ่น จะมีความเหนียว แข็งแรงมาก แตกหักได้ยากมาก และทำให้เส้นใยไม่ขาดขณะผสม ข้อดีอีกอย่างคือ โครงสร้างภายในของเส้นใยมะพร้าว จะมีลักษณะ เป็นเส้นเล็กๆ เรียว ยาว จัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่น แต่ไม่เป็นระเบียบ ทำให้ภายในโครงสร้างเส้นใยมะพร้าวมีช่องว่างมาก และโครงสร้างหลักของเส้นใยพืชนั้นเป็นเซลลูโลส ซึ่งมีความทนทานต่อด่าง ที่จะเกิดขึ้นในวัสดุซีเมนต์เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เส้นใยมะพร้าวยังให้ความทนทาน มีอายุใช้งานที่ยาวนาน เส้นใยมะพร้าวจะมี

ลักษณะค่อนข้างแห้ง และมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้มาก สามารถหาได้ง่ายราคาถูก และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ จึงสามารถทำลายได้ง่าย ดังนั้นใยมะพร้าวจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม รวมทั้งเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ทั้งยังเป็นการส่งเสริมการนำวัสดุธรรมชาติมาใช้ปรับปรุงคุณภาพ และลดต้นทุน ให้กับวัสดุผสมซีเมนต์

รูปที่ 2.5 เส้นใยมะพร้าว
ที่มา: อุรคินทร์ (2547)

2.2.1 ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในสินค้าประเภทที่นอน เพื่อสุขภาพ และเตียงนอนของโรงพยาบาล เนื่องจากมีสมบัติของการหมุนเวียนอากาศสูง

รูปที่ 2.6 ที่นอนทำด้วยเส้นใยมะพร้าว
ที่มา: อุรคินทร์ (2547)

2.2.2 ใช้เป็นฉนวนในการ ที่จะดูดซับเสียง สำหรับห้องบันทึกเสียง และระบบเสียงในลำโพง

2.2.3 ใช้ผลิตเป็นวัสดุป้องกันการกระเทือน เหมาะสำหรับสินค้าประเภทเฟอร์นิเจอร์ เช่น เป็นวัสดุภายในที่นั่งโดยสารบนเครื่องบินโดยสาร และเบาะนั่งในรถยนต์ชั้นหนึ่ง

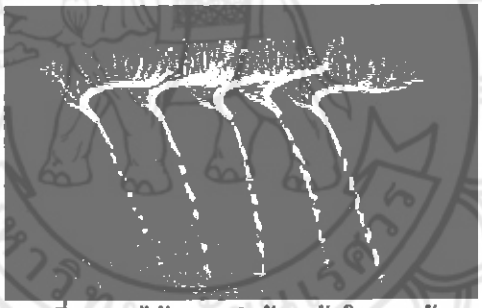
2.2.4 ใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น การใช้เป็นฐานรอง เพื่อการยึดเกาะของต้นกล้า และต้นกล้วยไม้ หรือใช้แทนหญ้า และฟางคลุมพื้นดินรอบๆ ต้นไม้เพื่อรักษาความชื้น

2.2.5 ใช้ปกคลุมที่โล่ง และแท่นที-ออฟ ของสนามกอล์ฟเพื่อเก็บกักความชื้น และรักษาพื้นหญ้าให้เขียวชอุ่ม

2.2.6 ในต่างประเทศ ม้วนใยมะพร้าวสามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันการพังทลายของดินริมตลิ่ง หรือเป็นเขื่อนป้องกันการชัดของคลื่นริมแม่น้ำ

2.2.7 ใช้ผลิตเชือกเกลียว ที่มีความเหนียว แข็งแรง ทนทาน มีสมบัติใกล้เคียงกับเชือกปอ

2.2.8 ใช้ผลิตแปรง ไม้กวาด และพรมเก็บดักฝุ่นภายนอกอาคาร ซึ่งพรมใยมะพร้าว จะมีอายุการใช้งานยาวนาน



รูปที่ 2.7 ไม้กวาดทำด้วยเส้นใยมะพร้าว

ที่มา: อุรคินทร์ (2547)

2.2.9 ใช้ผลิตเป็นแผ่นกรองหยาบ เช่น ฝุ่นเหนียว สีฝุ่น เรซิน กาว และยางมะตอย

2.2.10 ใช้ผลิตเป็นส่วนประกอบของอิฐมวลเบา

2.1.11 เศษเหลือจากการผลิตใยมะพร้าวเรียกว่า “ขุยมะพร้าว” มีลักษณะเป็นเศษใยมะพร้าวเส้นสั้นๆ เศษขุย และเศษผงจากกาบมะพร้าว ซึ่งขุยมะพร้าวนี้ สามารถนำไปเป็นส่วนประกอบในการทำปุ๋ยและเชื้อเพลิงชีวมวลได้เป็นอย่างดี

รูปที่ 2.8 ขุยมะพร้าวที่ใช้ปลูกต้นไม้

ที่มา: อุรคินทร์ (2547)

จากสมบัติของเส้นใยมะพร้าวข้างต้น ทำให้เราได้เลือกนำเส้นใยมะพร้าว มาประยุกต์ผสมใส่ซีเมนต์เพื่อเสริมแรง ช่วยในการรับแรงของซีเมนต์ แต่การนำไปใช้งานควรต้องผ่าน การทดสอบตามมาตรฐานของซีเมนต์ ดังนี้

2.3 การทดสอบชิ้นงาน

2.3.1 การทดสอบซีเมนต์

2.3.1.1 กำลังอัด (Compressive) ในการทดสอบกำลังอัด เพื่อที่หาค่ากำลังอัดของซีเมนต์จะใช้ค่ากำลังอัดของ ซีเมนต์มอร์ต้าร์มาตรฐาน ASTM C109/M-99 Standard Test Method of Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortra สามารถคำนวณได้ จากการหารแรงอัดสูงสุดหรือแรงอัดประลัย ที่ทำให้ตัวอย่างเกิดการวิบัติ ด้วยพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง สมการคำนวณกำลังอัด

$$\sigma c = \frac{P_{max}}{A} \qquad (2.1)$$

σc = กำลังอัดซีเมนต์มอร์ต้าร์ หน่วย กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

P_{max} = แรงอัดประลัย หน่วย กิโลกรัม

A = พื้นที่หน้าตัดตัวอย่าง หน่วย ตารางเซนติเมตร

2.3.1.2 ความหนาแน่น (Density) ความหนาแน่นของสารใดๆ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวล (Mass) ต่อปริมาตร (Volume) ของสารนั้น สมการคำนวณความหนาแน่น

$$D = \frac{m}{v} \quad (2.2)$$

D = ความหนาแน่น หน่วย กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

M = มวลของวัตถุ หน่วย กรัม

V = ปริมาตร หน่วย ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.3.1.3 ค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) การคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำ ของตัวอย่างทดสอบ โดยการเปรียบเทียบน้ำหนักของแผ่นซีเมนต์ตัวอย่างที่แช่ในน้ำ 24 ชั่วโมง กับน้ำหนักของแผ่นซีเมนต์ ตัวอย่าง ที่อบในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ระยะเวลาเท่ากัน

สมการคำนวณการดูดซึมน้ำ (สมการที่ 2.3)

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100 \quad (2.3)$$

W_w = น้ำหนักของซีเมนต์หลังจากแช่น้ำ หน่วย กรัม

W_d = น้ำหนักของซีเมนต์หลังจากอบในเตา หน่วย กรัม

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรกฎ กิจราช (2551) ทำการศึกษาสมบัติทางกล และทางกายภาพของวัสดุผสมซีเมนต์มอร์ต้าร์เสริมเส้นใยมะพร้าว โดยเชิงกล จะพิจารณาด้านกำลังอัด และกำลังดัด ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคือ 8 × 30 × 1.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนเชิงกายภาพ จะพิจารณาค่าการดูดซึมน้ำ และค่าความหนาแน่นโดยใช้ความยาวของเส้นใย เท่ากับ 2.5, 5.0, 7.5 และ 10 เซนติเมตร ในปริมาณของเส้นใยร้อยละ 0, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อทราย 1 : 1 และ 1 : 2.75 โดยแบ่งวิธีการบ่มโดยบ่มในอากาศ 28 วัน บ่มในน้ำ 28 วัน บ่มในเตาอบ อุณหภูมิ 100 - 110 องศาเซลเซียส ทดสอบหากำลังอัดด้วยเครื่องทดสอบ พบว่าปริมาณ และความยาวของเส้นใยมะพร้าวที่มาก ทำให้กำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์เสริมเส้นใยมะพร้าวลดลง เนื่องจากเส้นใยเกิดการเกาะตัวเป็นก้อนในวัสดุประสาน การทดสอบกำลังดัด โดยใช้เครื่องทดสอบ พบว่าปริมาณ และความยาวของเส้นใยมะพร้าวมาก ทำให้ค่าความเค้นดัดลดลง แต่หลังจากค่าความเค้นดัดสูงสุดลดลง ตัวอย่างที่มีปริมาณเส้นใยมากสามารถรับค่าความเค้นดัดเทียบเท่าได้สูงขึ้น ทำให้ค่ามอดูลัสการแตกร้าวลดลง ทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ พบว่าปริมาณ ความยาวของเส้นใยมะพร้าวที่มาก และปริมาณโซเดียมซิลิเกตที่มาก จะให้ค่าการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่บ่มในเตาอบมีค่าการดูดซึมน้ำสูงที่สุด และอัตราส่วนปูนต่อทราย 1 : 1 ให้ค่าสมบัติ

ทางกล และทางกายภาพที่ดีกว่า อัตราส่วน ปูนต่อทราย 1 : 2.75 เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นสูง เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ที่มาก

จันทรารักษ์ บวรวัฒนานุกิจ (2549) ได้ศึกษา "กระเบื้องมุงหลังคาจากเส้นใยธรรมชาติ" โดยนำเส้นใยมะพร้าว ผักตบชวา และเส้นใยป่านศรนารายณ์มาเป็นส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องตามสูตร ต่างๆ ดังนี้ สูตรที่ 1 ปูนซีเมนต์ 7 ถ้วย ขี้เถ้าแกลบ 3 ถ้วย ทราย 10 ถ้วย น้ำ 6 ถ้วย เส้นใยมะพร้าว 1 ถ้วย สูตรที่ 2 ปูนซีเมนต์ 7 ถ้วย ขี้เถ้าแกลบ 3 ถ้วย ทราย 10 ถ้วย น้ำ 6 ถ้วย เส้นใยผักตบชวา 1 ถ้วย สูตรที่ 3 ปูนซีเมนต์ 7 ถ้วย ขี้เถ้าแกลบ 3 ถ้วย ทราย 10 ถ้วย น้ำ 6 ถ้วย เส้นใยป่านศรนารายณ์ 1 ถ้วย โดยผสมแต่ละสูตรในอ่างผสมปูนคนให้เข้ากันนาน 10 นาที เทลงในแบบหล่อขนาด 20 x 20 ตาราง เซนติเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งพอหมาดๆ ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วถอดออกจากแบบ นำไปผึ่งลมเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จึงนำไปทดสอบความแข็งแรง จากการทดลองพบว่า กระเบื้องที่ผลิตจากเส้นใยมะพร้าว มีความแข็งแรงที่สุด รองลงมาคือกระเบื้องจากเส้นใยป่านศรนารายณ์ และเส้นใยผักตบชวามีความแข็งแรงน้อยที่สุด แต่เมื่อพิจารณาความเรียบของเนื้อกระเบื้อง พบว่าเส้นใยป่านศรนารายณ์ดีที่สุด รองลงมาคือเส้นใยมะพร้าว และผักตบชวา ตามลำดับ

ณาตยา สุวรรณาภรณ์ (2550) ทำการศึกษากระเบื้องมุงหลังคาซีเมนต์ผสมโฟม และใยมะพร้าว เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของเส้นใยมะพร้าว ที่จะนำมาเป็นวัสดุผสม ในการทำกระเบื้องมุงหลังคาซีเมนต์ และหาอัตราส่วนที่เหมาะสม มาทำการทดสอบสมบัติทางกลศาสตร์ ให้เป็นไปตาม มอก. 535-2527 ซึ่งมีโฟม และใยมะพร้าวเป็นวัสดุผสมเพิ่มใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ : ทราย เท่ากับ 1 : 3 โดยใช้โฟม และใยมะพร้าวที่ร้อยละ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 ตัวอย่างขนาด 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร บ่มตัวอย่างที่ 3, 7, 14 และ 28 วัน จากนั้นคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมไปหล่อเป็นกระเบื้องมุงหลังคาซีเมนต์ผสมโฟม และใยมะพร้าวขนาด 22 x 24.5 x 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในการหล่อเป็นแผ่นกระเบื้อง จะควบคุมค่าหน่วยน้ำหนัก ของแผ่นกระเบื้องให้มีค่าเท่ากับหน่วยน้ำหนักของตัวอย่าง จากการวิจัยนั้น พบว่าที่ปริมาณโฟม และใยมะพร้าวร้อยละ 5 เทียบโดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 อายุบ่มที่ 28 วัน เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปหล่อเป็นแผ่นกระเบื้องซีเมนต์มุงหลังคา โดยตัวอย่างให้ค่ากำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 32.28 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 21.4 และหน่วยน้ำหนักแห้งที่ใช้ในการหล่อแผ่นกระเบื้องเท่ากับ 1,412 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อนำไปหล่อเป็นแผ่นกระเบื้อง ให้ค่าความต้านทานแรงกดตามขวางเท่ากับ 267.17 นิวตัน ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นกระเบื้องเท่ากับร้อยละ 39.12 ค่าที่ได้จากการทดสอบความต้านทานแรงกดตามขวาง และค่าการดูดซึมน้ำ เป็นค่าที่ไม่ผ่านมาตรฐาน ในการผลิตแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาซีเมนต์ 535-2527 และไม่พบหยดน้ำใต้แผ่นกระเบื้อง

ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน นอกจากนั้นยังมีน้ำหนักเบา และหน่วยน้ำหนักของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของคอนกรีตมวลเบาโดยทั่วไป

ชัยรัตน์ สุวพัฒน์ (2550) ได้ทำการศึกษาวิจัย แผ่นซีเมนต์ผสมใยพืช โดยใช้เส้นใยมะพร้าว ใยผักตบชวา หญ้าคา และฟางข้าว ผสมกับซีเมนต์ประเภท 1 เป็นตัวยึดประสาน ส่วนใยพืชใช้เป็นวัสดุเพื่อเสริมกำลัง ให้มีความเหนียวรับแรงได้มากขึ้น และมีน้ำหนักเบา โดยทำการศึกษาสมบัติในการรับแรงอัด (Compression) การดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ซึ่งตัวแปรหลักที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ อัตราส่วนของใยพืชต่อซีเมนต์ พบว่าการผสมใยมะพร้าวลงไปในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะทำให้มีน้ำหนักเบา ส่วนใยผักตบชวาจะใส่ลงไปปริมาณน้อยมาก ถ้ามีปริมาณมากไปผลที่ออกมาจะไม่มีสมบัติทางกลเลย เนื่องจากการยึดเกาะไม่ดีเท่าที่ควร ส่วนหญ้าคา และฟางข้าวแทบจะไม่มีสมบัติยึดเกาะกับซีเมนต์เลย

เทอดศักดิ์ แก้วศรี (2543) ศึกษาสมบัติของซีเมนต์ผสมเส้นใย โดยศึกษาอิทธิพลของเส้นใยชนิดต่างๆ คือ เส้นใยหิน เส้นใยโพลีโพรพีลีน (ฟิบริลเลท) เส้นใยโพลีโพรพีลีน (โมโนฟิลาเมนต์) เส้นใยด้าย เส้นใยป่านศรนารายณ์ เส้นใยปอแก้ว เส้นใยไม้ ที่ได้จากเยื่อกระดาษลัง เส้นใยไม้ ที่ได้จากเยื่อกระดาษหนังสือพิมพ์ และเส้นใยไม้ ที่ได้จากเยื่อกระดาษถ่ายเอกสาร ที่มีผลต่อสมบัติของซีเมนต์ผสมเส้นใยอัน ได้แก่ กำลังรับแรงดัด โมดูลัสความยืดหยุ่น ความสามารถต้านทานต่อแรงกระแทก ความหนาแน่น กำลังรับแรงดึงโดยตรง การหดตัวเนื่องจากการดูดซึมน้ำ เปรียบเทียบสมบัติ และราคาต้นทุนของซีเมนต์ผสมเส้นใยต่างๆ เพื่อนำเสนอแนวทางเลือกใหม่ สำหรับการนำเส้นใยมาผสมเพิ่มในซีเมนต์ หาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับซีเมนต์ผสมเส้นใยต่างๆ กรณีเป็นเส้นใยหิน เส้นใยโพลีโพรพีลีน เส้นใยด้าย เส้นใยไม้ ที่ได้จากเยื่อกระดาษ มีส่วนผสมคือ ปูนซีเมนต์ น้ำ และเส้นใย แปรเปลี่ยนด้วยปริมาณเส้นใย ส่วนเส้นใยป่านศรนารายณ์ และเส้นใยปอแก้ว ใช้ส่วนผสมคือ ปูนซีเมนต์ ขี้เถ้าแกลบ น้ำ และเส้นใย โดยใช้ปูนซีเมนต์ 0.7 ขี้เถ้าแกลบ 0.3 ส่วน แปรเปลี่ยนด้วยปริมาณเส้นใย จากการทดสอบกำลังดัด และความต้านทานต่อแรงกระแทก พบว่าซีเมนต์ผสมเส้นใยทุกชนิด มีกำลังดัด และความต้านทานต่อแรงกระแทกสูงขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่มากขึ้น โดยมีกำลังดัดสูงสุดร้อยละ 23 ถึง 217 จากนั้นจะค่อยๆ ลดลง เมื่อพิจารณารวมกับราคาต้นทุนการผลิตของแต่ละเส้นใย จะได้ปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับร้อยละ เส้นใยหิน 10.00 เส้นใยโพลีโพรพีลีน (ฟิบริลเลท) 0.10 เส้นใยโพลีโพรพีลีน (โมโนฟิลา-เมนต์) 0.10 เส้นใยด้าย 4.50 เส้นใยป่านศรนารายณ์ 1.00 เส้นใยปอแก้ว 1.00 เส้นใยไม้ ที่ได้จากเยื่อกระดาษลัง 3.00 เส้นใยไม้ ที่ได้จากเยื่อกระดาษหนังสือพิมพ์ 3.00 และเส้นใยไม้ ที่ได้จากเยื่อกระดาษถ่ายเอกสาร 6.00 โดยปริมาตร ความหนาแน่นจะมีค่าลดลงประมาณร้อยละ 6 ถึง 16 โมดูลัสความยืดหยุ่นจะมีค่าลดลงประมาณร้อยละ 6 ถึง 53 การหดตัว เนื่องจากการสูญเสียน้ำมีค่าลดลงร้อยละ 12 ถึง 44 แต่กำลังรับ

แรงดึงสูงขึ้นประมาณร้อยละ 26 ถึง 50 โดยน้ำหนัก ค่าปริมาณความชื้นกับค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 6 ถึง 53 โดยน้ำหนัก

ธวัชชัย พรหมพินิจ (2549) ได้ศึกษาวิจัยหาสมบัติทางกลศาสตร์ของซีเมนต์ปอร์ตแลนประเภทที่ 1 ทราย และเส้นใยปอ โดยให้ซีเมนต์ผสมกับทรายเป็นตัวยึดประสาน เส้นใยปอเป็นวัสดุผสม เพื่อเสริมกำลังให้รับแรงได้มากขึ้น เพื่อที่จะนำไปใช้ เป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น แผ่นผนัง หรือวัสดุแผ่นที่รับน้ำหนักได้ไม่มากนัก การศึกษาที่เกี่ยวกับสมบัติทางกล ได้แก่ การรับแรงอัด (Compression) แรงดัด (Flexure) การกันเสียง (Sound Acoustics) การกันความร้อน (Heat Insulation) และสมบัติในการดูดซึมน้ำ พบว่าเราสามารถนำเส้นใยปอมาใช้เป็นวัสดุเสริมกำลังให้กับแผ่นผนัง ให้มีความแข็งแรงมีราคาถูก เมื่อเทียบกับวัสดุแผ่นสำเร็จรูปที่มีขายตามท้องตลาด ระยะห่างของเส้นใยปอ 3 เซนติเมตร ความหนา 1 เซนติเมตร จะรับน้ำหนักได้ ดีที่สุด และมีกรรมวิธีที่ไม่ยุ่งยาก

บุรฉัตร ฉัตรวีระ (2544) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าฟางข้าว ที่ได้จากการเผาเถ้าฟางข้าวในเตาเผาเฟอร์โรซีเมนต์ โดยทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าฟางข้าว สมบัติทางกลของซีเมนต์เพสต์ได้แก่ ความข้นเหลวปกติ ระยะการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้าย กำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก การขยายตัวในน้ำ และการหดตัวแบบแห้ง โดยทำการควบคุมปริมาณน้ำต่อวัสดุผง (ปูนซีเมนต์ และเถ้าฟางข้าว) โดยน้ำหนักเท่ากับ 0.4 (W/(C+RSA) = 0.4) ตัวแปรหลักที่ใช้คือ อัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าฟางข้าวในปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักที่ร้อยละ 0, 20, 40, 60 และ 80 ตามลำดับ จากผลการทดสอบ พบว่าการพัฒนากำลังรับแรงของซีเมนต์เพสต์ในช่วง 28 วัน จะเพิ่มขึ้น เมื่อร้อยละการแทนที่เถ้าฟางข้าวในปูนซีเมนต์จนถึงร้อยละ 40 ส่วนการดูดซับน้ำ ความข้นเหลวปกติ ระยะเวลาการก่อตัวสุดท้าย การขยายตัวในน้ำ และการหดตัวแบบแห้งจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อเพิ่มร้อยละการแทนที่ของเถ้าฟางข้าว ในขณะที่ระยะการก่อตัวเริ่มต้น และค่าร้อยละกำลังอัด เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ธรรมดาจะมีค่าลดลง

ประชุม คำพุฒ (2549) การศึกษาเส้นใยธรรมชาติมาเป็นวัสดุเสริมแรงในแผ่นยิปซัมบอร์ดได้นำเส้นใยอ้อย และเส้นใยมะพร้าวจากพื้นที่ภาคกลางตอนบน มาใช้เป็นวัสดุทดสอบ โดยนำเส้นใยทั้ง 2 ชนิด มาทำการทดสอบการดูดซึมน้ำเฉลี่ยได้เท่ากับร้อยละ 170.40 และ 135 ตามลำดับ และได้ค่าการยืดตัวเท่ากับร้อยละ 5.13 และ 30.28 ตามลำดับ ทำการทดสอบผงยิปซัม ที่ใช้ในการทดลองได้ค่าความถ่วงจำเพาะของยิปซัมโดยเฉลี่ย เท่ากับ 2.77 ซึ่งมีค่าสูงกว่าตามข้อกำหนดที่ให้ไว้เท่ากับ 2.28-2.33 อยู่ประมาณร้อยละ 20 นำมา กำหนดอัตราส่วนผสมปริมาณน้ำต่อผงยิปซัมเท่ากับร้อยละ 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 โดยน้ำหนัก นำไปทดสอบค่ากำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 50 x 50 x 50 มิลลิเมตร ได้ค่ากำลังอัดมากที่สุดที่อายุการบ่ม 28 วัน เท่ากับ 0.713 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร ที่ปริมาณน้ำร้อยละ 50 ทำการเลือกปริมาณน้ำที่เหมาะสมร้อยละ 70 ในการหล่อแผ่นยิปซัมขนาด 60 x 60 x 0.90 ลูกบาศก์

เซนติเมตร โดยใส่เส้นใยธรรมชาติในปริมาณ 20, 30, 40, 50, 60, 70, และ 80 กรัมต่อแผ่น สามารถรับแรงกดประลัย และโมดูลัสการแตกร้าว ได้สูงสุดที่อัตราส่วนผสมเส้นใย 60 กรัมต่อแผ่น ทั้ง 2 ชนิดของเส้นใยธรรมชาติ โดยแผ่นยิปซัมเสริมเส้นใยอ้อยสามารถรับแรงกดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 88.68 นิวตัน มีค่ามอดูลัสแตกร้าวเฉลี่ยเท่ากับ 1.239 เมกะปาสคาล และแผ่นยิปซัมเสริมเส้นใยมะพร้าวสามารถรับแรงกดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 152.54 นิวตัน มีค่าโมดูลัสแตกร้าวเฉลี่ยเท่ากับ 2.194 เมกะปาสคาล เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยิปซัม พบว่าแผ่นยิปซัมเสริมเส้นใยทั้ง 2 ชนิด มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานพอสมควร ยกเว้นค่าความสามารถในการรับแรงกดประลัยเฉลี่ยของแผ่นยิปซัมเสริมใยมะพร้าว เท่านั้นที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐานอยู่ 1.16 เท่า โดยประมาณ และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างแผ่นยิปซัมเสริมเส้นใยธรรมชาติทั้ง 2 ชนิดนี้ ได้ว่าแผ่นยิปซัมเสริมเส้นใยมะพร้าวมีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อใช้งานได้จริงมากกว่าแผ่นยิปซัมเสริมเส้นใยอ้อย

ประวิทย์ อรุณวัฒนโชค (2549) วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำเอาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีอยู่ปริมาณมากในประเทศไทย และพอลิสไตรีนโฟมที่ใช้แล้วมาแปรรูปให้เป็นแผ่นชิ้นไม้อัด โดยทำการศึกษาการเตรียมแผ่นชิ้นไม้อัดชานอ้อย ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยมะพร้าว ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ขนาดเส้นใยมะพร้าว อัตราส่วนของชานอ้อย เส้นใยมะพร้าว และพอลิสไตรีนโฟม ศึกษาชนิดและปริมาณของสารต้านทานการลามไฟโดยทำการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดที่ความหนาแน่น 0.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยเครื่องกดอัดร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ และกาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารยึดติดที่ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 โดยน้ำหนักวัตถุดิบทั้งหมด แล้วจึงนำแผ่นชิ้นไม้อัดไปทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ สมบัติการพองตัวทางความหนา สมบัติเชิงกล และสมบัติการกั้นเสียง จากการทดลองพบว่าเส้นใยมะพร้าวขนาด 21-50 เมช เหมาะสมในการผลิตเป็นแผ่นชิ้นไม้อัดใช้กั้นเสียง โดยแผ่นชิ้นไม้อัดกั้นเสียงที่มีปริมาณเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น และมีการผสมพอลิสไตรีนโฟม ให้ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าการพองตัวทางความหนา ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น และค่าการกันเสียงลดลง แต่มีค่ามอดูลัสแตกร้าวสูงขึ้น ขณะที่การหน่วงการติดไฟของแผ่นชิ้นไม้อัด ขึ้นอยู่กับชนิดของสารต้านทานการลามไฟ และกาวที่ใช้ ซึ่งภายใต้การทดลองนี้ H_3BO_3 มีประสิทธิภาพการหน่วงการติดไฟได้ที่ค่อนข้างดีกว่า $Mg(OH)_3$ โดยเฉพาะเมื่อใช้กับกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ เมื่อได้เปรียบเทียบระหว่างกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์กับกาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ พบว่ากาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ ให้แผ่นชิ้นไม้อัดกั้นเสียงที่มีสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติการกั้นเสียงดีกว่ากาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์

พิทยา แจ่มสว่าง (2550) ได้ทำการวิจัยนำขี้กบมาผสมคอนกรีต ให้มีน้ำหนักเบาโดย ทำการศึกษาความสัมพันธ์ ระหว่างหน่วยแรงอัด หน่วยแรงดึง หน่วยแรงดัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ ปริมาณขี้กบที่ใช้ร้อยละ 15, 17.5, 20 และ 22.5 เทียบกับน้ำหนักหิน โดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดาที่อัตราส่วนผสม 1 : 2 : 3 ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.5 จากการศึกษา พบว่าค่าหน่วยแรงอัด หน่วยแรง-

ดึง หน่วยแรงดัด และความหนาแน่นลดลงเมื่อปริมาณขี้กบมากขึ้น ในขณะที่การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ตามปริมาณขี้กบ ที่ร้อยละ 15 ได้หน่วยแรงอัด 284.35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หน่วยแรงดึง 41.85 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หน่วยแรงดัด 40.12 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความหนาแน่น 2,432 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และการดูดซึมน้ำร้อยละ 8.88 จากการศึกษางานการนำขี้กบมาผสมในคอนกรีต ยังไม่แพร่หลาย และยังไม่เป็นการประหยัดพอ ในด้านการใช้ปูนซีเมนต์ เพราะมีการใช้ในอัตราส่วนผสมที่ต่ำ จึงได้เพิ่มแนวทางในการทำโครงงานคือ เพิ่มอัตราส่วนผสมให้มากขึ้น เพราะมุ่งเน้นการนำไปใช้งานด้านผนังโดยเฉพาะ

รุจพงศ์ เพ็งจันทร์ (2547) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ และการดัดของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์เสริมด้วยลวดตะแกรงเหล็ก และเส้นใยมะพร้าวขนาดตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบการดัดมีขนาด 10 x 1.5 x 1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยทดสอบการดัดแบบ 4 จุด ที่ความยาวช่วงทดสอบเท่ากับ 30 เซนติเมตร สมบัติเชิงกายภาพที่พิจารณาคือ ค่าการดูดซึมน้ำ และค่าความหนาแน่น ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ (1) อัตราส่วนผสมปูนต่อทรายเท่า กับ 1 : 1 และ 1 : 2.75 (2) ปริมาณการผสมเส้นใยมะพร้าว เท่ากับร้อยละ 0, 0.5 และ 1.0 (3) รูปทรง ของช่องเปิดของลวดตะแกรงเหล็กคือ 4 เหลี่ยม และ 6 เหลี่ยม (4) ขนาดของช่องเปิดของลวดตะแกรง เหล็กเท่ากับ 0.5 นิ้ว และ 0.75 นิ้ว (5) จำนวนชั้นของลวดตะแกรงเหล็กคือ 1 ชั้น และ 2 ชั้น ผลการวิจัย พบว่าที่อัตราส่วนผสมปูนต่อทราย 1 : 2.75 สามารถรับความเค้นดัดเทียบเท่าได้สูงกว่าอัตรา ส่วนผสมปูนต่อทราย 1 : 1 การเพิ่มปริมาณของเส้นใยมะพร้าว จะส่งผลทำให้ค่าความเค้นดัดเทียบเท่าที่การแตกหักแรกของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์เสริมใยมะพร้าวลดลง อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณของเส้นใยช่วยให้ความเค้นดัดเทียบเท่าหลังการแตกร้าว และพลังงานสะสมที่ระยะการโก่งตัวใดๆ และค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้น สำหรับอิทธิพลของรูปทรง ขนาด และจำนวนของลวดตะแกรงเหล็ก พบว่า รูปทรง 4 เหลี่ยมที่มีขนาดช่องเปิดขนาดเล็ก และจำนวนชั้นที่มากกว่าคือ 2 ชั้นมีแนวโน้มทำให้ค่าความเค้นดัด เทียบเท่าที่การแตกหักแรกของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวสูงขึ้น

ศักดิ์สิทธิ์ ศรีแสง (2550) การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเส้นใยมะพร้าว ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุสำหรับคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเส้นใยมะพร้าว มีอัตราส่วนที่พอเหมาะจะใช้ในการทดสอบคือ การนำเส้นใยมะพร้าวมาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และทราย เพื่อมาผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักในอัตราส่วนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 3 ของน้ำหนักทราย มีสูตรในการทดลองจำนวน 12 สูตร แต่ละสูตร จะทำการผลิตคอนกรีตบล็อกขนาด 7 x 19 x 39 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวนสูตรละ 25 ก้อน รวม 300 ก้อน แล้วนำไปเทียบเคียงสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 58 – 2533 และสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนผลการ

ทดสอบพบว่า อัตราส่วนที่ดีที่สุด ได้แก่ สูตรที่ 8 คือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 25 ของมวลรวม ทรายร้อยละ 52.50 ของมวลรวม เส้นใยมะพร้าวร้อยละ 22.50 ของมวลรวม และใช้น้ำร้อยละ 15 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยมีสมบัติทางกายภาพด้านความต้านทานแรงอัดสูตร 8 มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงที่สุดคือ ความต้านทานแรงอัดก้อนที่ 1 – 5 มีค่า 2.86, 2.91, 2.88, 2.89, 2.90 เมกะปาสคาล ตามลำดับ และค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย 5 ก้อน มีค่า 2.65 เมกะปาสคาล ซึ่งเป็นสูตรที่มีความเหมาะสมที่สุดในการที่จะนำมาใช้ ซึ่งมีอัตราส่วนของวัตถุดิบคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 25 ทรายร้อยละ 52.50 และเส้นใยมะพร้าว ร้อยละ 22.50 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงอัดกับส่วนผสมของทรายหยาบ มีความสัมพันธ์แบบตามกันคือ เมื่อความต้านทานแรงอัดมีค่าสูง อัตราส่วนของทรายจะสูงด้วย เพราะเส้นใยมะพร้าวมีขนาดคละกัน ดังนั้นถ้าอัตราส่วนผสมมีทรายมาก จะช่วยให้เส้นใยมะพร้าวมีการจัดเรียงกันได้แน่น มีช่องว่างน้อยมีผลให้ความต้านทานแรงอัดมีค่าสูง ค่าการดูดซึมของคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเส้นใยมะพร้าวมีความสัมพันธ์ตามกันคือ ค่าการดูดซึมเพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวที่เพิ่มขึ้น และค่าการดูดซึมลดลงเมื่ออัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวลดลง การเป็นฉนวนกันความร้อน เนื่องมากจากคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมเส้นใยมะพร้าว ทำให้เกิดช่องว่างมากกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป ทำให้ปริมาณความร้อนทั้งหมด จึงถูกส่งผ่านคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมเส้นใยมะพร้าว ทำได้ดีกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป ผลการทดสอบปรากฏว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป มีค่าการไหลผ่านความร้อน น้อยกว่าของคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับที่มีส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเส้นใยมะพร้าว

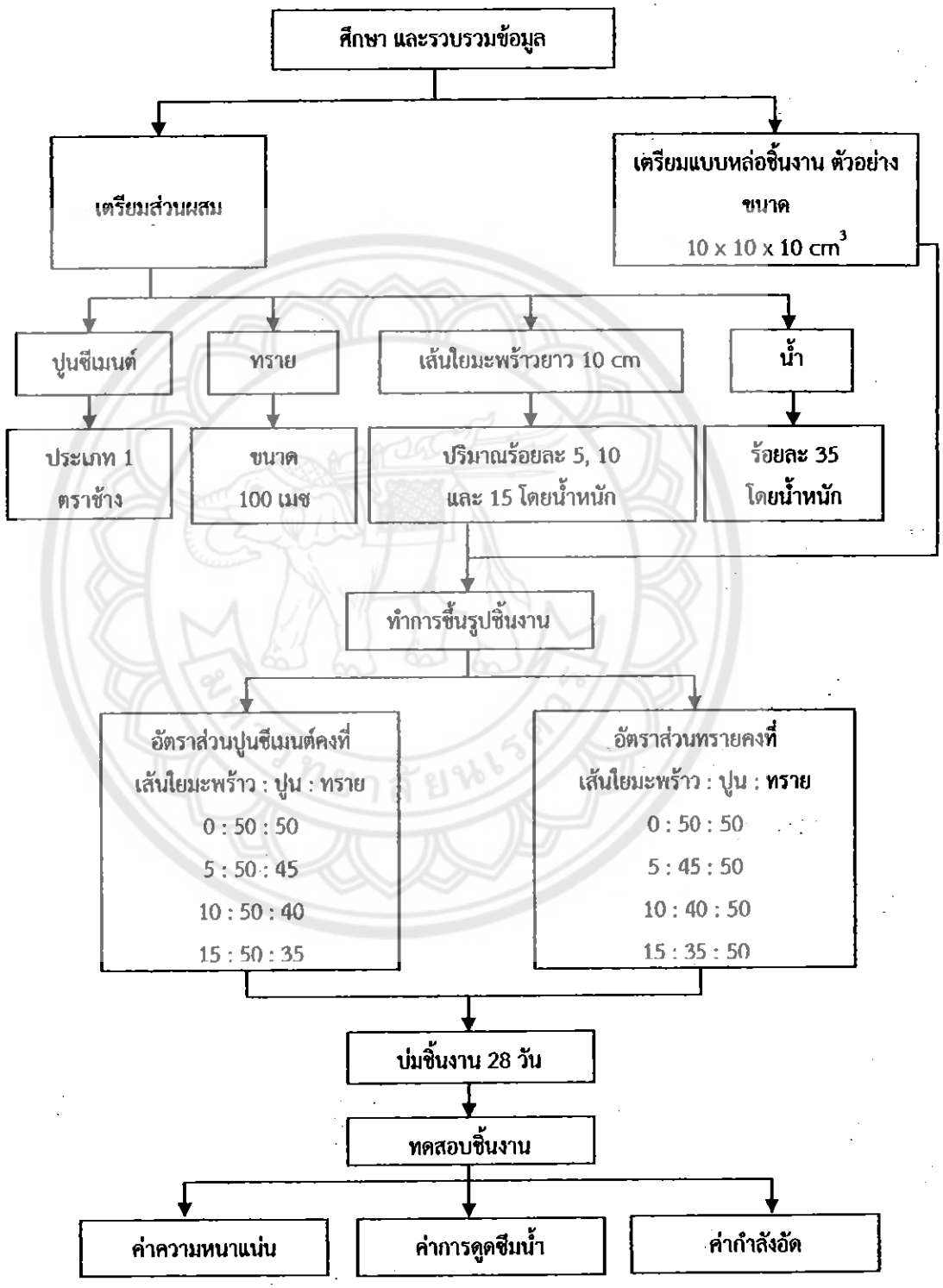
สโรชา เจริญวัย (2549) การพัฒนาต้นแบบแผ่นไม้อัดจากเปลือกผลไม้เขตร้อน ที่มีค่าการนำความร้อนต่ำเป็นส่วนประกอบภายในอาคาร เพื่อการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร เป็นจุดมุ่งหมายหลักของการศึกษานี้ โดยใช้เปลือกทุเรียน และใยมะพร้าวเป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นไม้อัด โดยศึกษาพารามิเตอร์ 2 พารามิเตอร์หลัก; ชนิดของกาว (ยูเรียฟอร์ดีไฮด์ร้อยละ 12, ฟีนอล์ฟอร์มาดีไฮด์ร้อยละ 6 และไอโอไซยาเนต) และความหนาแน่นของแผ่นไม้อัด จากการทดลองชี้ว่า สมบัติทางกลของแผ่นชิ้นไม่อัด เช่น มอดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture; MOR), มอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity; MOE) และแรงต้านภายใน (Internal Bond) เพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น แต่ความคงสภาพ (Dimensional Stability) ในเทอมของการพองตัว เมื่อแช่น้ำ และการดูดซับน้ำ รวมถึงค่าการนำความร้อน มีค่าลดลงเมื่อความหนาแน่นของแผ่นเพิ่มขึ้น วัตถุจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร จำพวกเปลือกผลไม้สามารถนำมาผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด เป็นการเพิ่มมูลค่าทำให้เกิดราคาขึ้น ทำให้เกิดผลดีในแง่เศรษฐศาสตร์ และรักษาสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้แผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตได้มีค่าการนำความร้อนต่ำ สามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบภายในอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน เช่น ฝากั้นห้อง ฝ้า และที่รองกระเบื้องหลังคา และเฟอร์นิเจอร์เป็นต้น

Asasutjarit C. (2551) การพัฒนาซีเมนต์บอร์ดเสริมเส้นใยมะพร้าวน้ำหนักเบา รายงานนี้เป็นการนำเสนองาน ที่พัฒนาของซีเมนต์บอร์ดเสริมเส้นใยมะพร้าวบอร์ดเหล่านี้ ทำขึ้นมาจากเส้นใยธรรมชาติ เพื่อจุดประสงค์ในการสร้างงานนี้ขึ้นมา เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน สมบัติเชิงกล ทางกายภาพ และอุณหภูมิของชิ้นงานตัวอย่าง จะสามารถตรวจสอบได้หลังจากบ่มมา 28 วันผลลัพธ์ของการศึกษานี้บ่งชี้ว่า การปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าว โดยต้มแล้วล้าง จะช่วยเพิ่มสมบัติของเส้นใยได้ และความยาวที่เหมาะสมของเส้นใยมะพร้าวคือ 1-6 เซนติเมตร และอัตราส่วนของส่วนผสม ซีเมนต์ : เส้นใย : น้ำ คือ 2 : 1 : 2 และนอกจากนี้ ในการตรวจสอบสมบัติความร้อนของตัวอย่างพบว่า ซีเมนต์บอร์ดที่เสริมเส้นใยมะพร้าวมีความร้อนต่ำ จึงมีการแนะนำให้ใช้ซีเมนต์บอร์ดนี้ เป็นวัสดุในอาคาร เพราะช่วยในเรื่องการประหยัดพลังงาน

Romildo D. (2548) ความทนทานต่อความไวของด่างในซีเมนต์มอร์ต้าผสมเยื่อไม้ และเส้นใยมะพร้าว งานวิจัยนี้เสนอผลการทดลองที่ออกแบบมา เพื่อประเมินความทนทานของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยมะพร้าว ที่สัมผัสต่อโซลูชั่นด่างของโซเดียม และโซดาไฟ นอกจากความทนทาน แล้วยังศึกษาโครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยมะพร้าวบ่มในน้ำ โดยวิธีแบบเปียก และแบบแห้งปล่อยให้สัมผัสกับอากาศ จากความเป็นไปได้ทางชีวภาพเส้นใยมะพร้าวที่บ่มในน้ำ 420 วัน พบว่าเยื่อไม้ และเส้นใยมะพร้าวไวต่อสารสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีค่า pH12 ความแข็งแรง และความยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้นหลังจากค่าความแข็งแรงเดิมร้อยละ 83.3 และร้อยละ 77.2 ตามลำดับ วัสดุประกอบซีเมนต์มอร์ต้า ผสมเส้นใยมะพร้าวโดยเป็นเส้นใยสั้น มีปูนซีเมนต์พอร์ตแลนเป็นเมทริกซ์ วัสดุประกอบซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยมะพร้าว เมื่อปล่อยให้สัมผัสกับอากาศ หลังจากหกเดือนไปแล้ว ค่าความเหนียวก็จะลดลงเนื่องจากวัสดุซีเมนต์ผสมเส้นใยมะพร้าวทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และจากการกระทำของจุลินทรีย์ จึงไม่เหมาะที่จะทำเป็นผลิตภัณฑ์ ที่สัมผัสกับสภาพอากาศ ดังนั้นจึงเหมาะมากกว่าที่จะทำเป็นผลิตภัณฑ์ประเภท กระเบื้องบุผนังภายในบ้าน

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ

3.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนประเภท 1 (ปูนซีเมนต์ ตราช้าง)

3.1.2 น้ำ

3.1.3 เส้นใยมะพร้าว

3.1.4 ทราย

3.1.5 เครื่องชั่ง

3.1.6 กระบอกตวง

3.1.7 เตาอบ

3.1.8 แบบหล่อชิ้นงานตัวอย่างขนาด 10×10×10 cm^3

3.1.9 อ่างผสมซีเมนต์

3.1.10 ตะแกรงร่อน เบอร์ 100 mesh

3.1.11 เวอเนียร์คาลิปเปอร์

3.1.12 เครื่องอัดซีเมนต์ (Compression)

3.2 วิธีการดำเนินโครงงาน

วิธีการดำเนินโครงงาน สามารถลำดับขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้

3.2.1 การเตรียมเส้นใยมะพร้าว

3.2.1.1 ทำการลอกเส้นใยมะพร้าว และแยกเส้นใยมะพร้าวออกจากกาบ และขุยมะพร้าว

3.2.1.2 จากนั้นนำเส้นใยมะพร้าวไปตากแดดให้แห้ง และนำเส้นใยไปอบที่อุณหภูมิ 100-105 ℃

3.2.1.3 ตัดเส้นใยมะพร้าวให้ได้ขนาดยาว 10 cm

3.2.1.4 ตรวจสอบคุณภาพของเส้นใยมะพร้าวที่เตรียมได้ ให้ใกล้เคียงกันในทุกชิ้นงานที่ทดสอบโดยดู จากลักษณะภายนอกทั่วไป เช่น สี และสภาพผิวของเส้นใยมะพร้าว

3.2.1.5 แบ่งอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่อปริมาณของส่วนผสมทั้งหมด ออกเป็นร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

รูปที่ 3.2 เส้นใยมะพร้าวพร้อมใช้งาน

3.2.2 การขึ้นรูปซีเมนต์

3.2.2.1 ทำการชั่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนประเภท 1

3.2.2.2 ทำการชั่งทราย และนำไปร่อนด้วยตะแกรงร่อน เบอร์ 100 เมช และนำทรายที่ผ่านการร่อน มาทำการผสมกับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 1 : 1

3.2.2.3 ตวงน้ำด้วยกระบอกตวงร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก

3.2.2.4 เทปูนซีเมนต์ที่ผสมทราย และเส้นใยมะพร้าวขนาด 10 เซนติเมตร ลงในแบบหล่อชิ้นงานตัวอย่างขนาด 10 × 10 × 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร

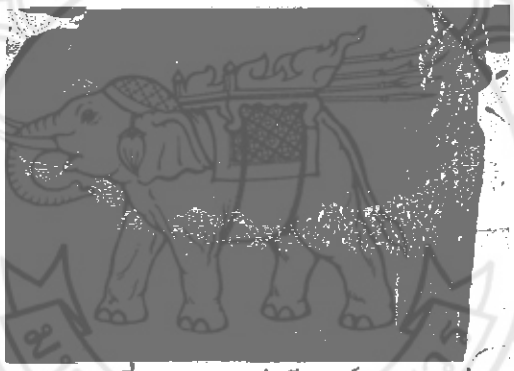
3.2.2.5 ค่อยๆ เทน้ำที่เตรียมไว้ลงในอ่างผสม และปล่อยทิ้งไว้ 30 วินาที เพื่อให้ปูนซีเมนต์ดูดน้ำ

3.2.2.6 คลุกเคล้าส่วนผสมต่างๆ กับน้ำให้เข้ากัน

หมายเหตุ : จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก กำหนดปริมาณน้ำไว้เท่ากับ ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก แต่ซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่ศึกษาไม่สามารถใส่น้ำ ร้อยละ 25 โดยน้ำหนักได้ เนื่องจากน้ำในปริมาณดังกล่าว ทำให้ส่วนผสมซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว มีการไหลตัวได้ไม่ดี ดังนั้นจึงทำการเพิ่มปริมาณน้ำเป็น ร้อยละ 35 โดยน้ำหนักทั้งหมด เพื่อที่จะสามารถทำการขึ้นรูปซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวได้

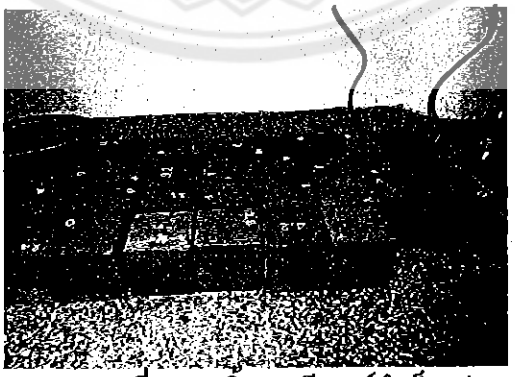
รูปที่ 3.3 การคลุกเคล้าซีเมนต์กับเส้นใยมะพร้าว

3.2.2.7 ทำการขึ้นรูปซีเมนต์



รูปที่ 3.4 การหล่อซีเมนต์ลงแบบหล่อ

3.2.2.8 ทำการถอดชิ้นงานออกจากแบบ



รูปที่ 3.5 ชิ้นงานซีเมนต์สำเร็จรูป

3.2.2.9 นำชิ้นงานที่ได้ไปบ่ม โดยบ่มในอากาศ 28 วัน

ตารางที่ 3.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบสำหรับเส้นใยมะพร้าวความยาว 10 เซนติเมตร อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ (1 : 1) โดยให้อัตราส่วนของปูนซีเมนต์คงที่

อัตราส่วนผสมของซีเมนต์ผสมเส้นใยมะพร้าว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
เส้นใยมะพร้าว	ปูนซีเมนต์	ทราย
0	50	50
5	50	45
10	50	40
15	50	35

ตารางที่ 3.2 แสดงการเตรียมชิ้นงานทดสอบสำหรับเส้นใยมะพร้าวความยาว 10 เซนติเมตร อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ (1 : 1) โดยให้อัตราส่วนของทรายคงที่

อัตราส่วนผสมของซีเมนต์ผสมเส้นใยมะพร้าว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
เส้นใยมะพร้าว	ปูนซีเมนต์	ทราย
0	50	50
5	45	50
10	40	50
15	35	50

3.2.6 ทดสอบหาค่าความหนาแน่นของซีเมนต์ (Density)

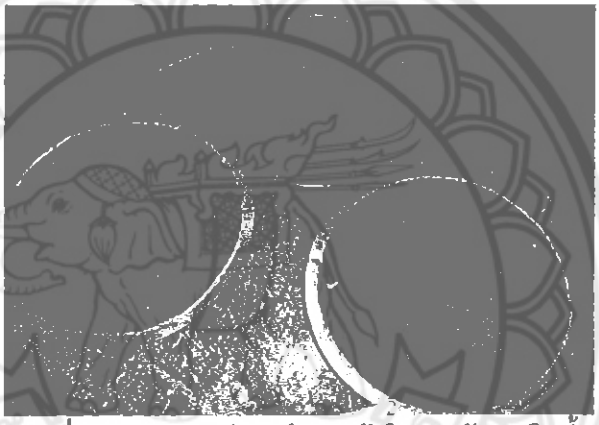
3.2.6.1 นำชิ้นงานซีเมนต์ทดสอบที่บ่มในอากาศ เป็นเวลา 28 วัน มาชั่งน้ำหนัก และวัดปริมาตรแล้วบันทึกค่า

3.2.6.2 นำไปคำนวณหาค่าความหนาแน่น คำนวณได้จากสมการที่ 2.2

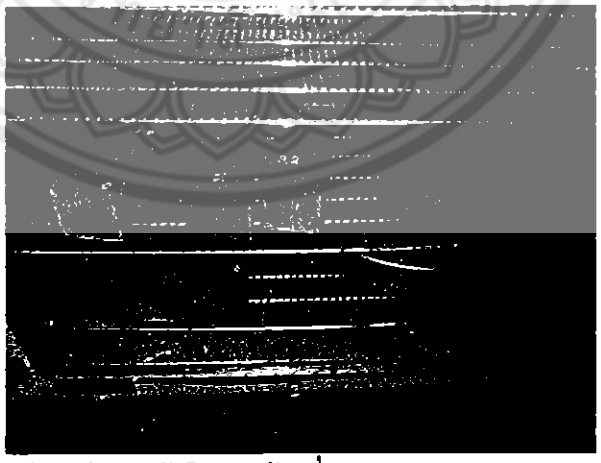
3.2.7 ทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของซีเมนต์ (Water Absorption)

3.2.7.1 นำชิ้นงานตัวอย่างที่บ่มในอากาศ ไปแช่ในน้ำ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกค่า

3.2.7.2 นำชิ้นงานตัวอย่างที่บ่มในอากาศไปอบในเตาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 - 105 องศาเซลเซียส และชั่งน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกค่าอัตราส่วนความแตกต่างของน้ำหนัก ระหว่างน้ำหนักของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวหลังแช่น้ำ กับน้ำหนักของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวหลังอบ คือค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว แสดงค่าเป็น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ คำนวณได้จากสมการที่ 2.1



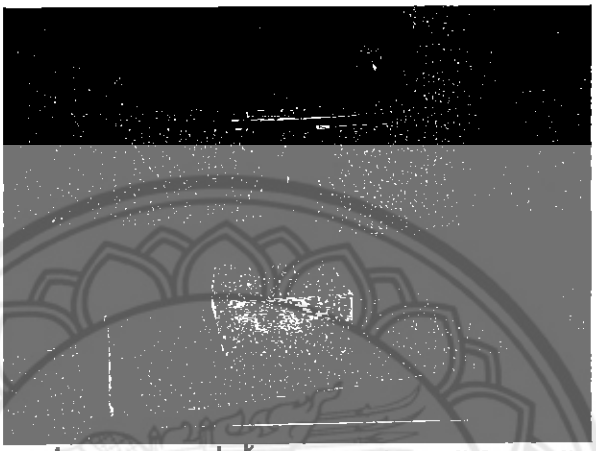
รูปที่ 3.6 การนำซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวแช่ในน้ำ



รูปที่ 3.7 อบซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อุณหภูมิ 100 – 105 องศาเซลเซียส

3.2.3 ทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์ (Compressive)

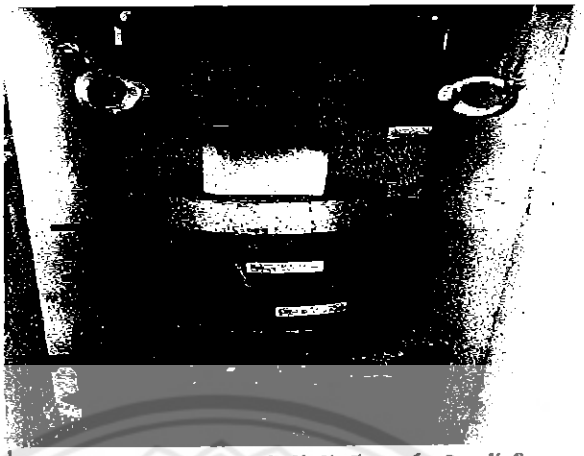
3.2.3.1 ชั่งน้ำหนักของซีเมนต์ด้วยเครื่องชั่ง และวัดขนาดของซีเมนต์ด้วย Vernier Caliper และบันทึกค่าไว้



รูปที่ 3.8 ทำการชั่งน้ำหนักซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว

รูปที่ 3.9 ทำการวัดขนาดซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว

3.2.8.2 วางก้อนตัวอย่างชิ้นงานซีเมนต์ที่บ่มในอากาศลงบนเครื่องทดสอบ โดยให้เส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่าง และของเครื่องทดสอบตรงกัน



รูปที่ 3.10 ทำการทดสอบกำลังอัดซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว

3.2.8.3 ทำการกดซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด

3.2.8.4 กดจนกระทั่งตัวอย่างพัง บันทึกค่ากำลังอัดสูงสุดที่ได้

บทที่ 4
ผลการทดลอง และวิเคราะห์

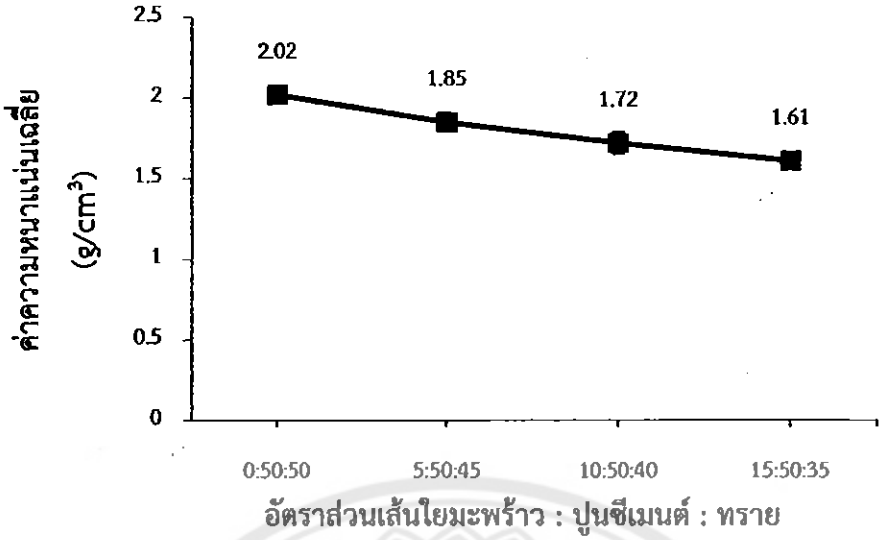
ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ได้แก่ การดูดซึมน้ำ (Water - Absorption) ค่าความหนาแน่น (Density) และสมบัติทางกลของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ได้แก่ ค่ากำลังอัด (Compressive) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2530) โดยกำหนดความยาวเส้นใยมะพร้าว 10 เซนติเมตร และปริมาณของเส้นใยมะพร้าว ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายคือ 1 : 1

4.1 ศึกษาอิทธิพลอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูนซีเมนต์ : ทราย ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว โดยกำหนดให้ปูนซีเมนต์คงที่ (ปูนซีเมนต์ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก)

4.1.1 ศึกษาค่าความหนาแน่นของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว (Density)

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดปูนซีเมนต์คงที่

ลำดับ	อัตราส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก) เส้นใยมะพร้าว : ปูนซีเมนต์ : ทราย	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (g/cm^3)
1	0 : 50 : 50	2.02
2	5 : 50 : 45	1.85
3	10 : 50 : 40	1.75
4	15 : 50 : 35	1.61



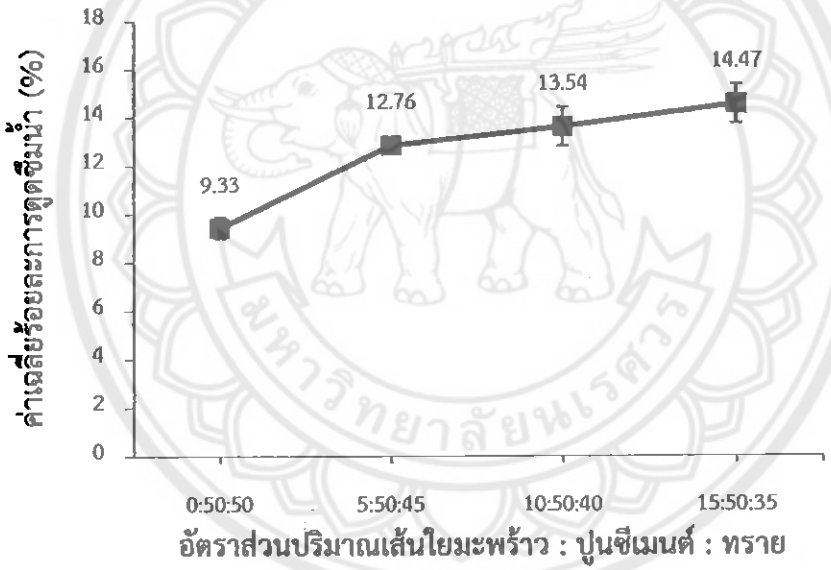
รูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าว ยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดปูนซีเมนต์คงที่

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อทำการทดสอบค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว โดยเปรียบเทียบที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่างกัน กำหนดอัตราส่วนปริมาณปูนซีเมนต์คงที่ พบว่าค่าเฉลี่ยความหนาแน่นต่ำลง เมื่อปริมาณทรายลดลง และปริมาณเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น เนื่องจากปูนซีเมนต์ที่รวมตัวกับน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เกิดโครงสร้างลักษณะรูปเข็มสานตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้เกิดช่องว่างภายในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว เมื่อเติมทราย และเส้นใยมะพร้าวลงไปในส่วนผสมซีเมนต์เสริมเส้นใย ทรายซึ่งมีลักษณะเล็ก และกลม จะเข้าไปแทรกตัวอยู่ในช่องว่างปูนซีเมนต์ หลังเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เสริมให้โครงสร้างมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ในขณะที่เส้นใยมะพร้าวมีขนาดยาว และไม่สามารถแทรกตัวลงไปในโครงสร้างของช่องว่างภายในปูนซีเมนต์ได้ ส่งผลให้เส้นใยมะพร้าวไม่รวมตัวกับปูนซีเมนต์ และทรายเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นเมื่อปริมาณทรายลดลง จึงมีทรายที่สามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวได้น้อย จึงเกิดช่องว่างภายในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวมากขึ้น อีกทั้งปริมาณเส้นใยมะพร้าวกับปูนซีเมนต์ และทราย ที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน จะทำให้เกิดช่องว่างในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ เทิดศักดิ์ แก้วศรี (2543) และ กรกฎ กิจราช (2551) ที่ทำการศึกษาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว พบว่าการลดปริมาณทราย และเพิ่มปริมาณเส้นใยมะพร้าว ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลง

4.1.2 ศึกษาค่าการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว (Water Absorption)

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดปูนซีเมนต์คงที่

ลำดับ	อัตราส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก) เส้นใยมะพร้าว : ปูนซีเมนต์ : ทราย	ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
1	0 : 50 : 50	9.33
2	5 : 50 : 45	12.76
3	10 : 50 : 40	13.54
4	15 : 50 : 35	14.47



รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดปูนซีเมนต์คงที่

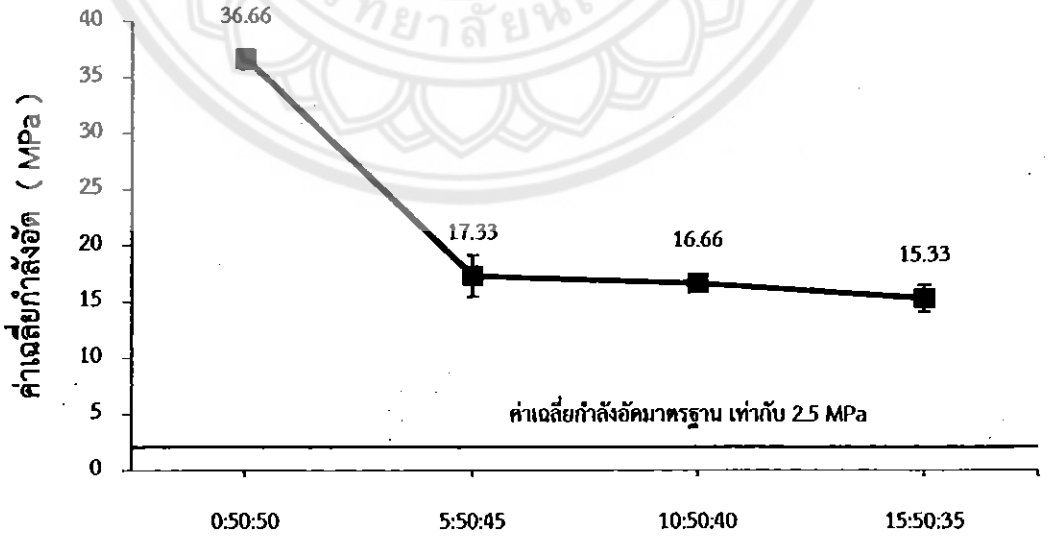
จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อทำการทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ขนาดความยาวเส้นใยมะพร้าว 10 เซนติเมตร โดยใช้อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวที่ต่างกัน กำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์คงที่ พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณทรายลดลง และปริมาณเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เกิดโครงสร้างลักษณะรูปเข็มสานตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้เกิดช่องว่างภายในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ทรายที่เติมลงไปจะเข้าไปแทรกตัวในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ในขณะที่เส้นใยมะพร้าว จะไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน กับ

ปูนซีเมนต์ และทราย ดังนั้นเมื่อปริมาณทรายลดลง จึงมีทรายที่สามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวได้น้อย จึงเกิดช่องว่างภายในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวมากขึ้น และปริมาณเส้นใยมะพร้าวกับปูนซีเมนต์ และทราย ที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ก็ทำให้เกิดช่องว่างเพิ่มขึ้น ทำให้ซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวดูดซับน้ำได้มาก จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลอง 4.1.1 ที่พบว่าการลดลงของปริมาณทราย และการเพิ่มขึ้นของเส้นใยมะพร้าวส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลง เนื่องจากเกิดช่องว่างภายในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น

4.1.3 ศึกษาค่ากำลังอัดของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว (Compressive)

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดปูนซีเมนต์คงที่

ลำดับ	อัตราส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก) เส้นใยมะพร้าว : ปูนซีเมนต์ : ทราย	ค่าเฉลี่ยกำลังอัด (MPa)
1	0 : 50 : 50	36.66
2	5 : 50 : 45	17.33
3	10 : 50 : 40	16.66
4	15 : 50 : 35	15.33



รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของเส้นใยมะพร้าวซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดปูนซีเมนต์คงที่

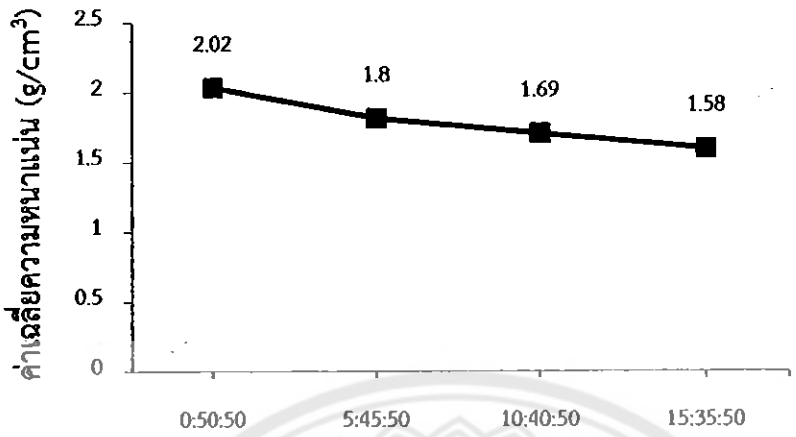
จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อทำการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ที่ขนาดความยาวเส้นใยมะพร้าว 10 เซนติเมตร โดยใช้อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวที่ต่างกัน กำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์คงที่ พบว่าค่าเฉลี่ยกำลังอัดลดลง เมื่อปริมาณทรายลดลง และปริมาณเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เกิดโครงสร้างลักษณะรูปเข็มสานตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้เกิดช่องว่างภายในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว เมื่อเติมทราย และเส้นใยมะพร้าวลงไป ทรายจะเข้าไปแทรกตัวในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ในขณะที่เส้นใยมะพร้าวจะไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับปูนซีเมนต์ และทราย ดังนั้นเมื่อปริมาณทรายลดลง จึงมีทรายที่สามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวได้น้อย จึงเกิดช่องว่างภายในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวมากขึ้น และปริมาณเส้นใยมะพร้าว กับปูนซีเมนต์ และทราย ที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ก็ทำให้เกิดช่องว่างเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดลดลง สอดคล้องกับการทดลอง 4.1.1 และ 4.1.2 ที่พบว่าการลดปริมาณทราย และเพิ่มปริมาณเส้นใยมะพร้าวทำให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลง และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้จากการทดลอง พบว่าค่าเฉลี่ยกำลังอัดของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่ปริมาณเส้นใยมะพร้าวขนาดความยาว 10 เซนติเมตร : ปูนซีเมนต์ : ทราย ที่กำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์คงที่ ผ่านมาตรฐานทุกค่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูนซีเมนต์ : ทราย ที่กำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์คงที่ สามารถนำไปเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยและประยุกต์ใช้ในอนาคตได้ต่อไป

4.2 ศึกษาอิทธิพลอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูนซีเมนต์ : ทราย ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล ของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว โดยกำหนดให้ทรายคงที่ (ปริมาณทรายร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก)

4.2.1 ศึกษาค่าความหนาแน่นของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว (Density)

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดทรายคงที่

ลำดับ	อัตราส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก) เส้นใยมะพร้าว : ปูนซีเมนต์ : ทราย	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (g/cm^3)
1	0 : 50 : 50	2.02
2	5 : 45 : 50	1.80
3	10 : 40 : 50	1.69
4	15 : 35 : 50	1.58



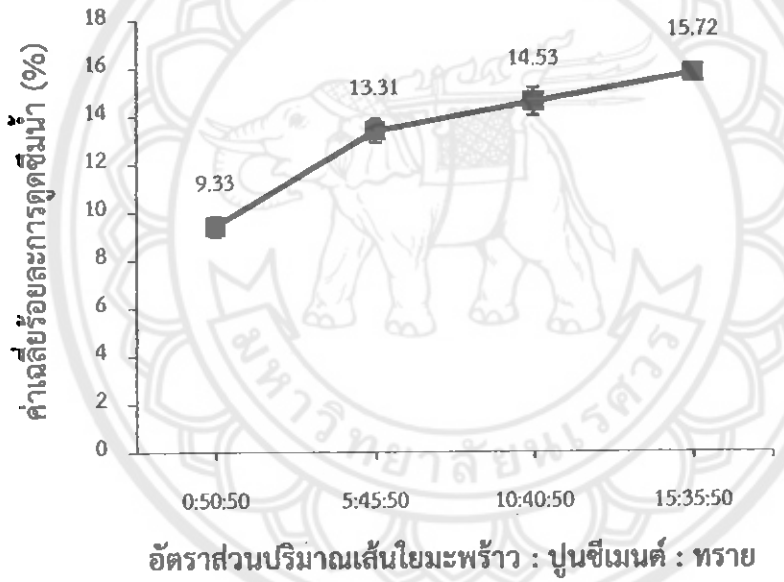
รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนปริมาณ**เส้นใยมะพร้าว** ยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดทรายคงที่

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อทำการทดสอบค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่ขนาดความยาวเส้นใยมะพร้าว 10 เซนติเมตร โดยใช้อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวที่ต่างกัน กำหนดอัตราส่วนทรายคงที่ พบว่าค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลง เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง และปริมาณเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปูนซีเมนต์รวมตัวกับน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เกิดโครงสร้างลักษณะรูปเข็มสานตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้เกิดช่องว่างภายในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ดังนั้นเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง การรวมตัวกับน้ำ จะทำให้เกิดโครงสร้างลักษณะรูปเข็มสานตัวกันไม่สมบูรณ์ การยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยมะพร้าว และทรายนั้น จึงเป็นไปแบบหลวมๆ เกิดช่องว่างภายในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เทิดศักดิ์ แก้วศรี (2543) และกรกฎ กิจราช (2551) ที่ทำการศึกษาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว พบว่าการลดปริมาณปูนซีเมนต์ และเพิ่มปริมาณเส้นใยมะพร้าว ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลง

4.2.2 ศึกษาค่าการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว (Water Absorption)

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดทรายคงที่

ลำดับ	อัตราส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก) เส้นใยมะพร้าว : ปูนซีเมนต์ : ทราย	ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
1	0 : 50 : 50	9.33
2	5 : 45 : 50	13.31
3	10 : 40 : 50	14.53
4	15 : 35 : 50	15.72



รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดทรายคงที่

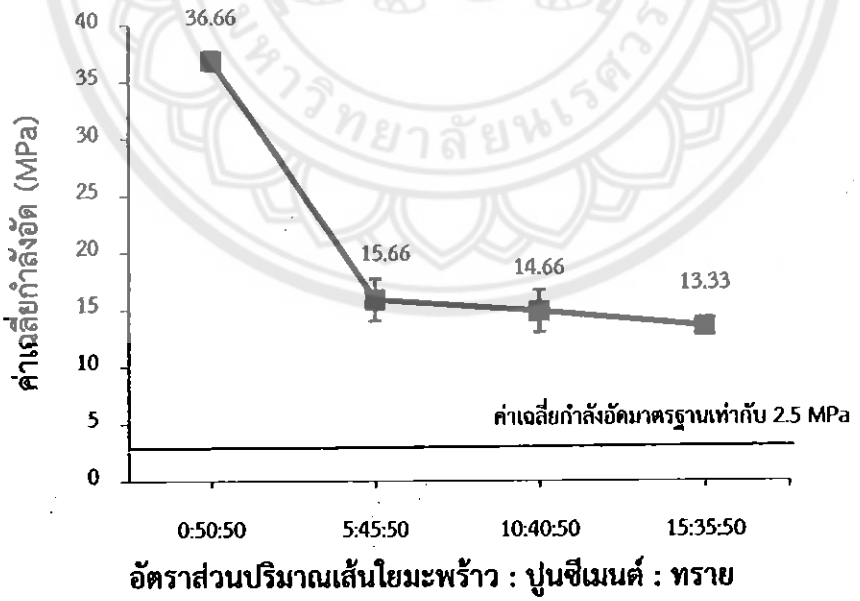
จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อทำการทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ขนาดความยาวเส้นใยมะพร้าว 10 เซนติเมตร โดยใช้อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวที่ต่างกัน กำหนดอัตราส่วนทรายคงที่ พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง แต่ปริมาณเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปูนซีเมนต์รวมตัวกับน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เกิดโครงสร้างลักษณะรูปเข็มสานตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้เกิดช่องว่างภายในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ดังนั้นเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง การรวมตัวกับน้ำ จะทำให้เกิดโครงสร้างลักษณะรูปเข็มสานตัวกันไม่สมบูรณ์ เกิดการยึดเกาะกันระหว่าง

เส้นใยมะพร้าว และทราย เป็นไปแบบหลวมๆ ทำให้วัสดุซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน เกิดช่องว่างภายในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวมาก ทำให้ซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวดูดซับน้ำได้สูง ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลอง 4.2.1 ที่ทำการศึกษาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว พบว่าการลดปริมาณปูนซีเมนต์และเพิ่มปริมาณเส้นใยมะพร้าวจะส่งผลให้ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลง

4.2.3 ศึกษาค่ากำลังอัดของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว (Compressive)

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดทรายคงที่

ลำดับ	อัตราส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก) เส้นใยมะพร้าว : ปูนซีเมนต์ : ทราย	ค่าเฉลี่ยกำลังอัด (MPa)
1	0 : 50 : 50	36.66
2	5 : 45 : 50	15.66
3	10 : 40 : 50	14.66
4	15 : 35 : 50	13.33



รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูน : ทราย กำหนดทรายคงที่

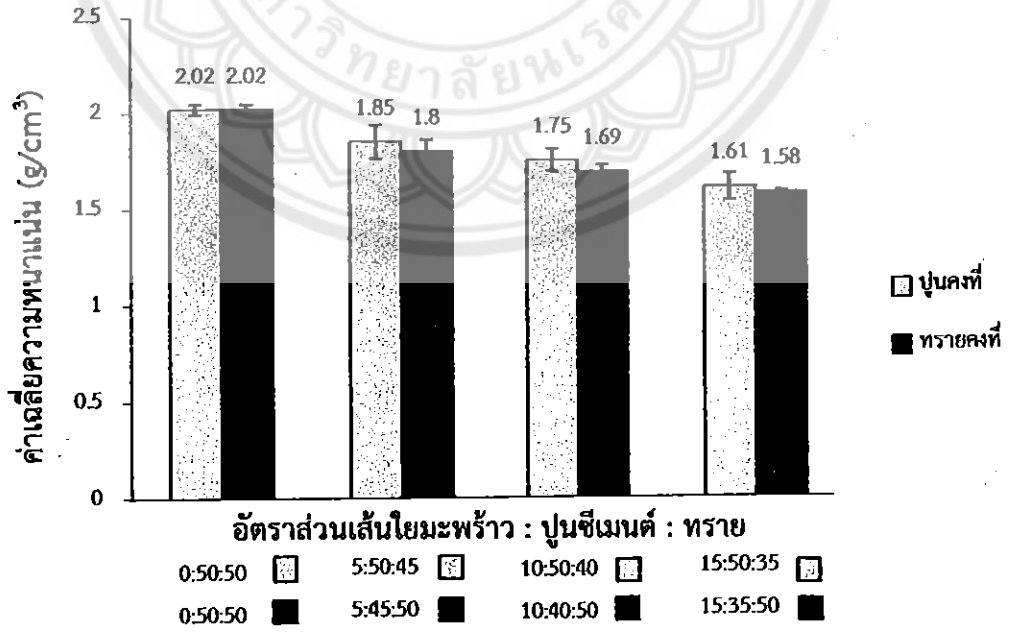
จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อทำการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวขนาดความยาวเส้นใยมะพร้าว 10 เซนติเมตร โดยใช้อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวที่ต่างกัน กำหนดอัตราส่วนทรายคงที่ พบว่าค่าเฉลี่ยกำลังอัดลดลง เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง แต่ปริมาณเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากเมื่อปูนซีเมนต์รวมตัวกันกับน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เกิดโครงสร้างลักษณะรูปเข็มสานตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้เกิดช่องว่างภายในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ดังนั้นเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง การรวมตัวกับน้ำ จะทำให้เกิดโครงสร้างลักษณะรูปเข็มสานตัวกันไม่สมบูรณ์ เกิดการยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยมะพร้าว และทราย เป็นไปแบบหลวมๆ จึงทำให้วัสดุซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน เกิดช่องว่างภายในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวมาก ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดลดลง สอดคล้องกับการทดลอง 4.2.1 และ 4.2.2 ที่พบว่าการลดปริมาณปูนซีเมนต์ และเพิ่มปริมาณเส้นใยมะพร้าวทำให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลง และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้จากการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยกำลังอัดของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ที่ปริมาณเส้นใยมะพร้าวขนาดความยาว 10 เซนติเมตร : ปูนซีเมนต์ : ทราย ที่กำหนดอัตราส่วนทรายคงที่ ผ่านค่ามาตรฐานทุกค่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูนซีเมนต์ : ทราย ที่กำหนดอัตราส่วนทรายคงที่ สามารถนำไปเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัย และการประยุกต์ใช้ในอนาคตได้ต่อไป

4.3 ศึกษาอิทธิพลของปูนซีเมนต์ และทราย ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว กำหนดอัตราส่วนปริมาณของเส้นใยมะพร้าวที่ยาว 10 เซนติเมตร

4.3.1 ศึกษาอิทธิพลของปูนซีเมนต์ และทราย ที่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว (Density)

ตารางที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร กำหนดให้ปูนซีเมนต์คงที่ และทรายคงที่

ลำดับ	อัตราส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (g/cm^3)	
	เส้นใยมะพร้าว : ปูน : ทราย		ปูนคงที่	ทรายคงที่
	ปูนคงที่	ทรายคงที่		
A	0 : 50 : 50	0:50:50	2.02	2.02
B	5 : 50 : 45	5:45:50	1.85	1.80
C	10 : 50 : 40	10:40:50	1.75	1.69
D	15 : 50 : 35	15:35:50	1.61	1.58



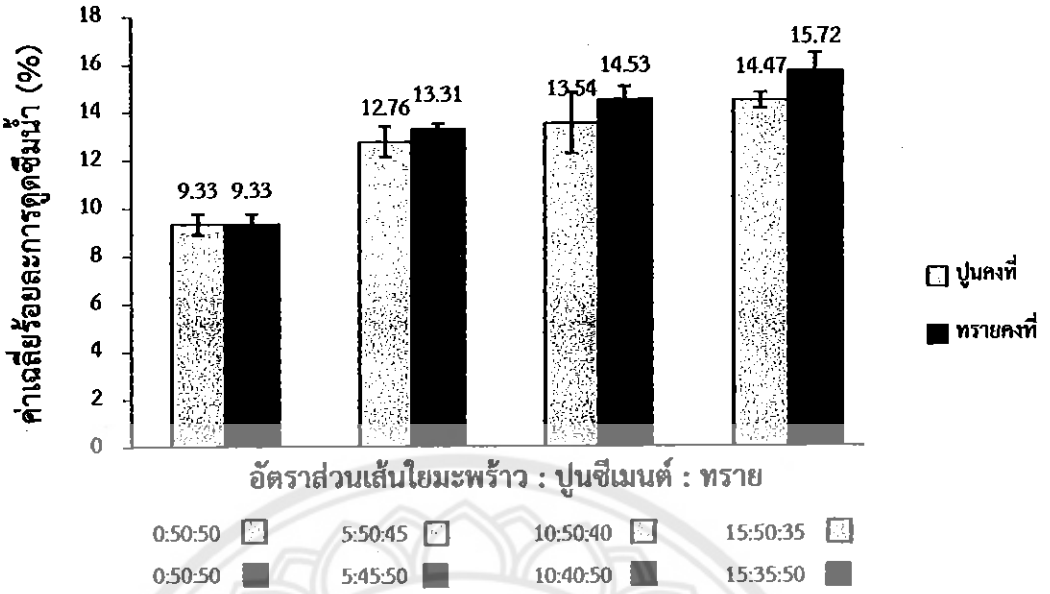
รูปที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร ที่กำหนดให้ปูนซีเมนต์คงที่ และทรายคงที่

จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร ในอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่างกัน โดยเปรียบเทียบที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์คงที่ และทรายคงที่ พบว่าทุกอัตราส่วนของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ที่ปูนซีเมนต์คงที่ มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสูงกว่าในทุกๆ อัตราส่วนของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ที่ทรายคงที่ ดังนั้นค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น และมีปริมาณทรายในอัตราส่วนของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวลดลง เนื่องจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่มากกว่าปริมาณทรายจะมีปริมาณปูนซีเมนต์เข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำ เกิดปฏิกริยาไฮเดรชั่นได้มาก ทำให้เกิดการสานตัวกันภายในโครงสร้างของปูนซีเมนต์ เกิดการจัดเรียงตัวกันได้อย่างหนาแน่น และยึดเกาะกันได้ดีกว่า ที่ปริมาณอัตราส่วนทรายคงที่ ส่วนทราย เป็นส่วนเสริมแรง ซึ่งมีลักษณะเล็ก และกลม จะเข้าไปแทรกตัวอยู่ในช่องว่างปูนซีเมนต์ หลังเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เสริมให้โครงสร้างมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ เทิดศักดิ์ แก้วศรี (2543) และกรกฎ กิจราช (2551) ที่ทำการศึกษาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว พบว่าปริมาณปูนซีเมนต์ที่มากกว่าทราย ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

4.3.2 ศึกษาอิทธิพลของปูนซีเมนต์ และทราย ที่ส่งผลต่อค่าการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว (Water Absorption)

ตารางที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร กำหนดให้ปูนซีเมนต์คงที่ และทรายคงที่

ลำดับ	อัตราส่วนผสม (ร้อยละ)		ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	
	เส้นใยมะพร้าว : ปูน : ทราย		ปูนคงที่	ทรายคงที่
	ปูนคงที่	ทรายคงที่		
A	0 : 50 : 50	0 : 50 : 50	9.33	9.33
B	5 : 50 : 45	5 : 45 : 50	12.76	13.31
C	10 : 50 : 40	10 : 40 : 50	13.54	14.53
D	15 : 50 : 35	15 : 35 : 50	14.47	15.72



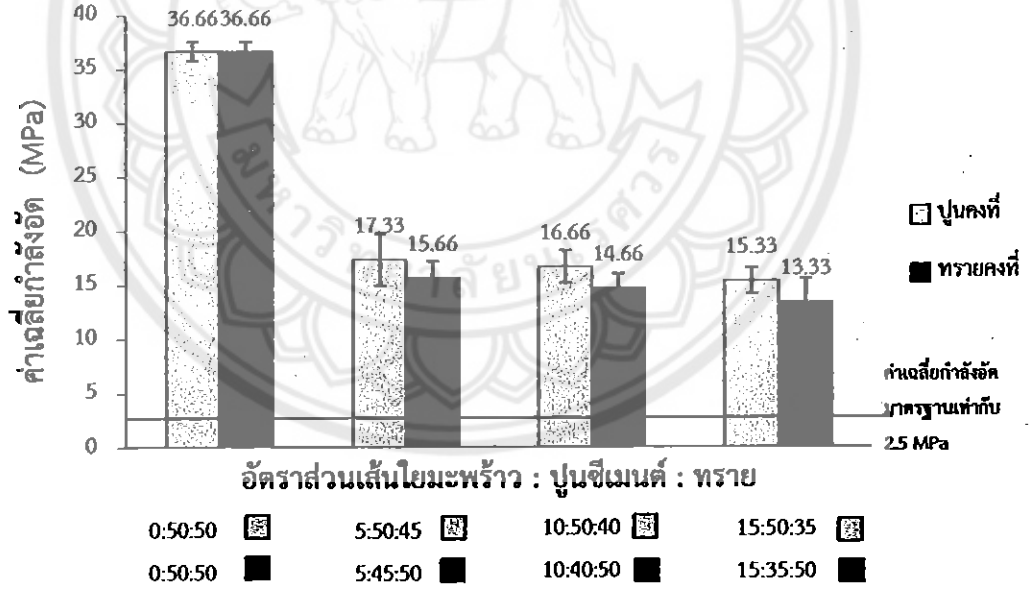
รูปที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร ที่กำหนดให้ปูนซีเมนต์คงที่ และทรายคงที่

จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ที่ปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร ในอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่างกัน โดยเปรียบเทียบที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์คงที่ และทรายคงที่ พบว่าทุกอัตราส่วนของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ที่ทรายคงที่ มีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ สูงกว่าในทุกๆ อัตราส่วนของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ที่ปูนซีเมนต์คงที่ ดังนั้นค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวลดลง และปริมาณทรายในอัตราส่วนของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์นั้นลดลง การรวมตัวกับน้ำ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้เร็วขึ้น แต่การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เร็ว จะทำให้เกิดโครงสร้างลักษณะรูปเข็มสานตัวกันไม่สมบูรณ์ การจัดเรียงโครงสร้างของปูนซีเมนต์จึงไม่หนาแน่น การยึดเกาะกันของโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวไม่ดีเท่าอัตราส่วนที่กำหนดปูนซีเมนต์คงที่ ทำให้เกิดช่องว่างภายในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวมากขึ้น และทรายซึ่งเป็นส่วนเสริมแรงถูกเติมลงไปในส่วนผสมของปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มาก ทรายจะแทรกตัวผ่านช่องว่างของโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ทำให้ซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวมีการดูดซับน้ำได้มาก ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลอง 4.3.1 ที่ทำการศึกษาอิทธิพลปริมาณปูนซีเมนต์และปริมาณทรายที่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว พบว่าปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

4.3.3 ศึกษาอิทธิพลของปูนซีเมนต์ และทราย ที่ส่งผลต่อค่ากำลังอัดซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว (Compressive)

ตารางที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดของอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร ที่กำหนดให้ปูนซีเมนต์คงที่ และทรายคงที่

ลำดับ	อัตราส่วนผสม (ร้อยละ)		ค่าเฉลี่ยกำลังอัด (MPa)	
	เส้นใยมะพร้าว : ปูน : ทราย		ปูนคงที่	ทรายคงที่
	ปูนคงที่	ทรายคงที่		
A	0 : 50 : 50	0 : 50 : 50	36.66	36.66
B	5 : 50 : 45	5 : 45 : 50	17.33	15.66
C	10 : 50 : 40	10 : 40 : 50	16.66	14.66
D	15 : 50 : 35	15 : 35 : 50	15.33	13.33



รูปที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดของอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร ที่กำหนดให้ปูนซีเมนต์คงที่ และกำหนดให้ทรายคงที่

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ที่ปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร ในอัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่างกัน โดยเปรียบเทียบที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์คงที่ และทรายคงที่ พบว่าทุกอัตราส่วนของ

ซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ที่ปูนซีเมนต์คงที่ มีค่าเฉลี่ยกำลังอัด สูงกว่าในทุกๆ อัตราส่วนของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ที่ทรายคงที่ ดังนั้นค่าเฉลี่ยกำลังอัดเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น และปริมาณทรายในอัตราส่วนของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวลดลง เนื่องจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่มากกว่าปริมาณทราย จะมีปริมาณปูนซีเมนต์เข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำ เกิดปฏิกริยาไฮเดรชั่นได้มาก ทำให้การสานตัวของโครงสร้างภายในปูนซีเมนต์ เกิดการจัดเรียงตัวกันได้อย่างหนาแน่น เกิดการยึดเกาะกันได้ดีกว่าอัตราส่วนที่กำหนดปริมาณทรายคงที่ และทรายเป็นส่วนเสริมแรง ซึ่งมีลักษณะเล็ก และกลม จะเข้าไปแทรกตัวอยู่ในช่องว่างปูนซีเมนต์ หลังเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เสริมให้โครงสร้างมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลอง 4.3.1 และ 4.3.2 ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ ทำให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง แต่ทั้งนี้จากการทดลองพบว่า ทุกอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว : ปูนซีเมนต์ : ทราย ที่ปูนซีเมนต์คงที่ และ อัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว : ปูนซีเมนต์ : ทราย ที่ทรายคงที่ ผ่านค่ามาตรฐานทุกค่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร : ปูนซีเมนต์ : ทราย ที่ปูนซีเมนต์คงที่ และทรายคงที่ สามารถนำไปเป็นแนวทางการประยุกต์ใช้ในอนาคตได้ต่อไป

บทที่ 5
บทสรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาปริมาณอัตราส่วนของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวที่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น (Density) ค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) และสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังอัด (Compressive) ที่แปรตาม ปริมาณของปูนซีเมนต์ต่อทราย สามารถสรุป และวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

5.1.1 ค่าความหนาแน่น (Density)

5.1.1.1 ปริมาณอัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าว

เมื่อปริมาณอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าวลดลง จะสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว และรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับวัสดุผสมซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวได้ดี ที่อัตราส่วนผสมของเส้นใยมะพร้าว ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความหนาแน่นดีที่สุด

5.1.1.2 ปริมาณอัตราส่วนปูนซีเมนต์ และทราย

เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ที่มากกว่าปริมาณทราย จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำได้ดี ทำให้วัสดุผสมภายในโครงสร้างของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้มาก จึงช่วยลดช่องว่างภายในโครงสร้างของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ : ทราย เท่ากับ 50 : 45 จะให้ค่าความหนาแน่นดีที่สุด

5.1.2 ค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

5.1.2.1 ปริมาณอัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าว

เมื่อปริมาณอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น จะทำให้ซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวดูดซึมน้ำได้สูงขึ้น และปริมาณอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 15 จะมีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำสูงที่สุด

5.1.2.2 ปริมาณอัตราส่วนปูนซีเมนต์และทราย

เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำได้ดี ทำให้วัสดุผสมภายในโครงสร้างของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ช่องว่างภายในโครงสร้างของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวลดลง ซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวจึงดูดซึมน้ำต่ำ และที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ : ทราย เท่ากับ 50 : 45 จึงให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด

5.1.3 ค่ากำลังอัด (Compressive)

5.1.3.1 ปริมาณอัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าว

เมื่อปริมาณอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าวลดลง จะสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว และรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับวัสดุผสมซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวได้ดี ลดช่องว่างภายในโครงสร้างซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว และปริมาณอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 5 จึงมีค่ากำลังอัดดีที่สุด

5.1.3.2 ปริมาณอัตราส่วนปูนซีเมนต์ และทราย

เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์มากกว่าปริมาณทราย จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำได้ดี ทำให้วัสดุผสมภายในโครงสร้างของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว รวมเป็นเนื้อเดียวกันได้มาก จึงช่วยลดช่องว่างภายในโครงสร้างของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ : ทราย เท่ากับ 50 : 45 จึงให้ค่ากำลังอัดดีที่สุด

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่ากำลังอัดเมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับแรง (มอก.58 – 2530) พบว่ามีค่าเฉลี่ยกำลังอัดสูงกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนด ดังนั้นซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวจึงสามารถนำไปเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคตได้ต่อไป อีกทั้งการนำเส้นใยมะพร้าวมาเสริมในวัสดุซีเมนต์ ทำให้ซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวมีน้ำหนักเบา และเป็นการเพิ่มผลิตภัณฑ์ให้เส้นใยมะพร้าวช่วยลดกากของเสียของเส้นใยมะพร้าว จากอุตสาหกรรมกะทิ และยังเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ในอนาคตต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ และแนวทางพัฒนา

5.2.1 เนื่องจากในโครงงานนี้มีการทดลองที่อัตราส่วนปริมาณเส้นใยมะพร้าวยาว 10 เซนติเมตร กับปูนซีเมนต์ ตราช้าง และทรายขนาด 100 เมช ในอัตราส่วน 5 : 50 : 45, 10 : 50 : 40, 15 : 50 : 35, 5 : 45 : 50, 10 : 40 : 50 และ 15 : 35 : 50 ตามลำดับ ดังนั้นอาจมีการทำการศึกษาเพิ่มเติมในปริมาณอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว กับปูนซีเมนต์ และทราย ที่เพิ่มขึ้น โดยทำการลดปริมาณของเส้นใยมะพร้าว แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2530)

5.2.2 ซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวนี้ เหมาะที่จะนำไปเป็นแนวทางการประยุกต์ใช้ทำเป็นคอนกรีตบล็อกประเภทไม่รับน้ำหนัก เนื่องจากให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่าค่ามาตรฐานกำหนด

5.3.2 การลอกเส้นใยมะพร้าว และการร่อนทราย จะมีฝุ่นละอองของเส้นใยมะพร้าว และทรายปลิวเข้าจมูก และตา ดังนั้นจึงต้องใส่ผ้าปิดจมูก และแว่นตาขณะปฏิบัติงาน เพื่อความปลอดภัยของสุขภาพ

5.3.3 การนำน้ำมาเป็นส่วนผสมซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐบล็อกไม่รับแรง (มอก.58 – 2530) กำหนดปริมาณน้ำไว้ เท่ากับ ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก แต่ปริมาณน้ำดังกล่าว วัสดุซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ ดังนั้น จึงเพิ่มปริมาณน้ำ เท่ากับ ร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก เพื่อให้ วัสดุผสมซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าวรวมเป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารอ้างอิง

กรกฎ กิจราช. (2551). **ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุผสมซีเมนต์มอร์ต้าร์เสริมเส้นใยมะพร้าว**. ปริญญาครุศาสตรอุตสาหกรรมบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.จังหวัดกรุงเทพมหานครฯลฯ.

จันทรารักษ์ บวรวัฒนานุกิจ . (2549). **กระเบื้องมุงหลังคาจากเส้นใยธรรมชาติ**. สืบค้นเมื่อ 11 พฤศจิกายน 2553, จาก http://wicharn081.blogspot.com/.

ชัยรัตน์ สุวพัฒน์. (2550). **ได้ศึกษาวิจัยแผ่นซีเมนต์ผสมใยพืช**. สืบค้นเมื่อ 13 พฤศจิกายน 2553, จาก http://wicharn081.blogspot.com/.

ณาตยา สุวรรณาภรณ์, เรวัตร ขาวเกตุ, ศิริพรรณ อร่ามรส. (2550). กระเบื้องมุงหลัง**คาซีเมนต์ผสมโฟม และใยมะพร้าว**. สืบค้นเมื่อ 2 พฤศจิกายน 2553, จาก http://library.kmutnb.ac.th/projects/ind/CVET/cvet0038t.html.

เทอดศักดิ์ แก้วศรี. (2543). ศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์ผสมเส้นใย. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. จังหวัดกรุงเทพมหานครฯลฯ.

ธวัชชัย พรหมพินิจ. (2549). คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของซีเมนต์ปอร์ตแลนประเภท**ที่ 1 ทราย**และเส้นใยปอ. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี**พระจอมเกล้า**ธนบุรี.จังหวัดกรุงเทพมหานคร ฯลฯ.

ธีรวัฒน์ เสนา. (2535). **การผลิตซีเมนต์**. สืบค้นเมื่อ12 ตุลาคม 2553, จาก http://aboutcement.blogspot.com.

บุญธรรม ภัทราจารุกุล.(2542). **ซีเมนต์และคอนกรีต**. สืบค้นเมื่อ 21 ตุลาคม 2553, จาก http://mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/cementweb/process.htm.

บุรฉัตร ฉัตรวีระ. (2544). **ศึกษาคุณสมบัติทางกลของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าฟางข้าว.** ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัญฑิต. มหาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิตร.จังหวัดกรุงเทพมหานครฯลฯ.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ประชุม คำพุฒ. (2549). **การศึกษาเส้นใยธรรมชาติมาเป็นวัสดุเสริมแรงในแผ่นยิปซัมบอร์ด.** ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี.จังหวัดนครนายก.

ประวิทย์ อรุณวัฒนโชค. (2549). **การศึกษาสมบัติการกั้นเสียงและต้านทานการลามไฟของแผ่นชิ้นไม้อัดที่ทำจากชานอ้อย เส้นใยมะพร้าวและพอลิสไตรีนโฟม.** ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. จังหวัดกรุงเทพมหานคร ฯลฯ.

พิทยา แจ่มสว่าง. (2550). ได้ทำการวิจัยนำขี้กบมาผสมคอนกรีต. สืบค้นเมื่อ 13 พฤศจิกายน 2553, จาก http://wicharn081.blogspot.com/.

มาตรฐาน ASTM C109/M99 คอนกรีตและเหล็กเสริม. สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2553, จาก http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:dudLI_W4y0gJ:www.eng. ubu.ac.th/~nASTM+C109/M-99&hl=th&gl=th.

รศ. ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2541). ปูนซีเมนต์ปอซโซลานและคอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ. สมาคมคอนกรีตไทย.

รุจพงศ์ เพ็งจันทร์. (2547). **ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและการดัดของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์เสริมด้วยลวดตะแกรงเหล็ก.** ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาลัยธรรมศาสตร์. จังหวัดกรุงเทพมหานครฯลฯ.

วินิจ ซ่อวิเชียร. (2539). **คอนกรีตเทคโนโลยี** พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพ ฯลฯ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศักดิ์สิทธิ์ ศรีแสง. (2550). **การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเส้นใยมะพร้าว .** วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา. 1 (มกราคม2550) : หน้า 77-87.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

สโรชา เจริญวัย. (2549). **การพัฒนาต้นแบบแผ่นไม้อัดจากเปลือกผลไม้เขตร้อน.** ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. จังหวัดกรุงเทพมหานครฯลฯ.

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2547. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก 15 เล่ม1. http://pdfcache.com/download/การทดสอบปูนซีเมนต์-7.html.

สำเริง รักช้อน. (2551). **ทฤษฎีและการทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยี.** สืบค้นเมื่อ 3 ตุลาคม 2553, พิมพ์ครั้งที่1.กรุงเทพ ฯลฯ โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
สืบค้นเมื่อ 18 ตุลาคม 2553, จาก http://sciencedirect /.

อุรคินทร์ วิริยะบูรณะ. (2547). **มะพร้าว.** สืบค้นเมื่อ 21 ตุลาคม 2553, จาก http://library.kmutnb.ac.th/projects/ind/CVET/cvet0038t.html.

Asasutjarit C. (2551). **การพัฒนาซีเมนต์บอร์ดเสริมเส้นใยมะพร้าวน้ำหนักเบา.** สืบค้นเมื่อ 21 ตุลาคม 2553, จาก http:// sciencedirect/.

Romildo D. (2548). **ความทนทานต่อความไวของด่างในซีเมนต์มอร์ต้าผสมเยื่อไม้และเส้นใย** มะพร้าว. สืบค้นเมื่อ 18 ตุลาคม 2553, จาก http:// sciencedirect/.

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของซีเมนต์เสริม
เส้นใยมะพร้าว
ที่ทำการผลิตจากเส้นใยมะพร้าวผสมปูนซีเมนต์ และทราย ได้แก่
ค่าความหนาแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ และค่ากำลังอัด

ตารางที่ ก.1 ปริมาณอัตราส่วนผสมของซีเมนต์เสริมเส้นใยมะพร้าว

สูตร	ความยาวเส้นใยมะพร้าว	ปริมาณส่วนผสม ร้อยละต่อน้ำหนัก		
		เส้นใยมะพร้าว	ปูน	ทราย
1	10	0	50	50
2	10	5	50	45
3	10	10	50	40
4	10	15	50	35
5	10	5	45	50
6	10	10	40	50
7	10	15	35	50

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของซีเมนต์ผสมเส้นใยมะพร้าว

ลำดับ	ความยาวเส้นใยมะพร้าว	ส่วนผสม	ชิ้นงานทดสอบ			ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย (g/cm^3)
		เส้นใยมะพร้าว : ปูน : ทราย	1	2	3	
1	10	0 : 50 : 50	2055	2040	1965	2.02
8	10	5 : 50 : 45	1810.5	1882	1857.5	1.85
9	10	10 : 50 : 40	1853.5	1666	1640.5	1.72
10	10	15 : 50 : 35	1648	1602	1580	1.61
11	10	5 : 45 : 50	1744	1841	1815	1.80
12	10	10 : 40 : 50	1711.5	1688	1670.5	1.69
13	10	15 : 35 : 50	1559	1610	1571	1.58

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของซีเมนต์ผสมเส้นใยมะพร้าว

ลำดับ	ความยาวเส้นใยมะพร้าว	ส่วนผสม	ชิ้นงานทดสอบ			ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย (ร้อยละ)
		เส้นใยมะพร้าว : ปูน : ทราย	1	2	3	
1	10	0 : 50 : 50	8.46	9.76	9.77	9.33
8	10	5 : 50 : 45	13.27	12.38	12.63	12.76
9	10	10 : 50 : 40	13.91	11.98	14.73	13.54
10	10	15 : 50 : 35	14.82	15.67	12.92	14.47
11	10	5 : 45 : 50	12.97	14.13	12.38	13.31
12	10	10 : 40 : 50	13.42	14.73	15.44	14.53
13	10	15 : 35 : 50	15.73	15.5	15.93	15.72

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์ผสมเส้นใยมะพร้าว

ลำดับ	ความยาวเส้นใยมะพร้าว	ส่วนผสม	ชิ้นงานทดสอบ			ค่ากำลังอัดเฉลี่ย (MPa)
		เส้นใยมะพร้าว : ปูน : ทราย	1	2	3	
1	10	0 : 50 : 50	38	35	37	36.66
2	10	5 : 50 : 45	21	15	16	17.33
3	10	10 : 50 : 40	17	17	16	16.66
4	10	15 : 50 : 35	17	16	13	15.33
5	10	5 : 45 : 50	17	15	15	15.66
6	10	10 : 40 : 50	11	16	17	14.66
7	10	15 : 35 : 50	12	11	17	13.33

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาวเบ็ญจมาภรณ์ หงษ์เวียงจันทร์

ภูมิลำเนา 3/1 หมู่ 2 ตำบลหนองโสน อำเภอสามง่าม จังหวัดพิจิตร 66140

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิจิตรพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: may_coffyseven@hotmail.com

ชื่อ นายศุภวิชญ์ เทวฤทธิ์เรืองศรี

ภูมิลำเนา 6/384 ถนนราชมรรคาใน ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองฯ จังหวัดนครปฐม 73000

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยศิลปากร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: biggibna@hotmail.com