

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยุคาลิปตัสชนิดเยื่อ

ความร้อนเชิงกล (TMP) : ผลของวิธีการผสมและซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์

9 1221
15พ



T107799



นาย ชวสร อินทรประสิทธิ์

นาย ศิวารุช ชวณะศักดิ์

นาย สิทธิพงษ์ พลประสิทธิ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....107799
วัน,เดือน,ปี 14 พ.ค. 2553

b.....12212325
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Wood-Cement Board from Eucalyptus Thermomechanical
Pulp (TMP) : Effects of Mixing Methods and Superplasticizer**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Bachelor of Science
Major Industrial Chemistry
Department of Chemistry
Faculty of Science
King mongkut's Insitute of Technology Lardkrabung
2006**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ แผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อน
นักศึกษา นายชวสร อินทรประสิทธิ์ รหัสนักศึกษา 46050061
 นายศิวาวุธ ชวนะศักดิ์ รหัสนักศึกษา 46050094
 นายสิทธิพงษ์ พลประสิทธิ์ รหัสนักศึกษา 46050099
ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2549
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ปยุตธมา ศิริพันธ์โนน
 รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด
 นายวรธรรม อุ่นจิตติชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ.ดร.สุภรัตน์ รัชชสิทธิ์	
กรรมการ	ผศ.ดร.ชลลดา ฤทธิวิทย์	
กรรมการ	รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด	



 (ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)
 หัวหน้าภาควิชาเคมี

**ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	แผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (TMP) : ผลของวิธีการผสมและซูเปอร์พลาสติไซเซอร์	
นักศึกษา	นายชวสร อินทรประสิทธิ์	รหัสนักศึกษา 46050061
	นายศิวาวุธ ชวนะศักดิ์	รหัสนักศึกษา 46050094
	นายสิทธิพงษ์ พลประสิทธิ์	รหัสนักศึกษา 46050099
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2549	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ปยุตธมา ศิริพันธ์โนน	

รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด
นายวรธรรม อุ๋นจิตติชัย

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการปรับปรุงกระบวนการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์ (Wood-cement board ; WCB) จากเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp , TMP) โดยใช้การผสม 3 วิธี ได้แก่ Wet , Dry-mix และ Pretreat นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาผลของปริมาณเส้นใย (5% และ 10%) และการใช้ซูเปอร์พลาสติไซเซอร์ (Rheobuild[®]) ที่มีผลต่อสมบัติของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ สูตรการผสมกำหนดให้ปริมาณน้ำที่ใช้เป็น 65% ของน้ำหนักมวลรวม โพแทชอะลัม 1% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ซูเปอร์พลาสติไซเซอร์ 1.5% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ส่วนผลมถูกนำไปขึ้นรูปให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป บ่มภายใต้ความชื้นสูงเป็นเวลา 7 วัน และอบแห้งที่ 100 °C เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ พบว่า แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมด้วยวิธีการผสมแบบ Pretreat ให้สมบัติทางด้านกายภาพและสมบัติเชิงกลดีกว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมด้วยวิธีการผสมแบบ Wet และ Dry-mix ตามลำดับ โดยมีค่าความแข็งแรงโค้งงออยู่ในช่วง 5.9-6.1 MPa และมีค่ามอดุลัสโค้งงออยู่ในช่วง 775–861 MPa เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความชื้นและค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำเพิ่มขึ้น แต่ค่าความหนาแน่น ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอลดลง เมื่อเติม Rheobuild[®] ช่วยเพิ่มความสามารถในการไหลของซีเมนต์ทำให้การผสมง่ายขึ้น แต่พบว่าค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการผสมใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณน้ำที่ไม่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์ จึงทำให้ผลของ Rheobuild® ต่ำกว่าที่
คาดไว้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special project title	Wood-Cement Board from Eucalytus Thermomechanical Pulp (TMP) : Effects of Mixing Method and Superplasticizer	
Student	Mr. Chawasorn Intaraprasit	ID 46050061
	Mr. Siwawoot Chawanasak	ID 46050094
	Mr. Sittipong Ponprasit	ID 46050099
Special project advisors	Asst.Prof.Dr. Punnama Siriphannon Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchud Mr. Woratham Oonjittichai	
Department	Chemistry	
Academic Year	2006	

Abstract

This research was focused on Wood-Cement Board (WCB) of eucalyptus fibers prepared from Thermomechanical Pulp (TMP). Three preparation methods were studied, i.e. wet, dry-mix and pretreat methods. Effects of fiber loading (5% and 10% by weight) and superplasticizer (Rheobuild[®]) on WCB properties were also studied. The mixtures consisted of 65% water content by total weight, 1% potash alum by cement weight and 1.5% superplasticizer (Rheobuild[®]) by cement weight. The mixtures were shaped by compression molding technique, cured for 7 days in saturated relative humidity (RH), and oven dried at 100 °C for 1 day. The properties of WCB were evaluated, i.e. density, moisture, swelling in water, flexural strength and flexural modulus. It was found that the physical and mechanical properties of WCB prepared by pretreat method were higher than those of the WCB prepared by wet and dry-mix methods. Their flexural strengths were in the range of 5.9–6.1 MPa and flexural moduli were in the range of 775–861 MPa. When amount of fibers was increased, the moisture absorption and swelling of WCB increased, while the density, flexural strength and flexural modulus decreased. Addition of the Rheobuild[®] increased flowability of cement facilitating in mixing. It was, however,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

found that the flexural strength and flexural modulus of WCBs were decreased because the amount of water content used in the WCB with the superplasticizer might be unsuitable in this experiment.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษนี้ จะสำเร็จลุล่วงมิได้ถ้าหากขาดความช่วยเหลือ ความร่วมมือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่คณะผู้จัดทำจากบุคคลและองค์กรต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน และรศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษเป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณวรวรรณ อุณจิตติชัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา และให้ความอนุเคราะห์เส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนแข็งกล

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และ ผศ.ดร.สุภาวรัตน์ รักชลธี ที่กรุณาเป็นกรรมการตรวจสอบ ตลอดจนให้คำแนะนำ และตรวจทานแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บริษัท BASF Construction Chemicals (Thailand) Ltd. ที่ให้ความอนุเคราะห์ Rheobuild[®]

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้คำปรึกษา และคอยช่วยเหลือตลอดระยะเวลา 4 ปี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ประจำอาคารฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์เทคโนโลยี เจ้าหน้าที่ธุรการ และแม่บ้าน ที่ให้ความช่วยเหลือ และความสะดวกในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆเคมีอุตสาหกรรม ปี 4 ทุกคนที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา และครอบครัว ที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้จัดทำจนประสบความสำเร็จในด้านการศึกษา

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากมาย ที่มีได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ชวสร อินทรประสิทธิ์

ศิวารุณ ชวนะศักดิ์

สิทธิพงษ์ พลประสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญรูป	ณ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการดำเนินงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 คอนกรีตคืออะไร	5
2.2 องค์ประกอบของคอนกรีต	5
2.3 หน้าที่และสมบัติของส่วนผสม	6
2.3.1 ซีเมนต์เพสต์ (Cement paste)	6
2.3.2 มวลรวม (Aggregates)	6
2.3.3 น้ำ	8
2.3.4 สารผสมเพิ่ม (Admixture)	9
2.4 ปูนซีเมนต์	9
2.4.1 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และประโยชน์ในการใช้งาน	9
2.4.2 วัตถุประสงค์	13
2.4.3 กรรมวิธีในการผลิต	14
2.4.4 สารประกอบหลัก	16
2.4.5 สารประกอบรอง	17
2.4.6 "ความชื้น" ปัญหาในการจัดเก็บปูนซีเมนต์	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ปฏิกริยาไฮเดรชัน	19
2.5.1 ปฏิกริยาไฮเดรชันของแคลเซียมซิลิเกต	19
2.5.2 ปฏิกริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอลูมิเนต	20
2.5.3 ปฏิกริยาไฮเดรชันของเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์	21
2.6 แคลเซียมไฮดรอกไซด์และปฏิกริยา Pozzolanic	21
2.7 องค์ประกอบของเพสต์	23
2.8 กระบวนการแข็งตัว	24
2.9 การบ่ม	25
2.10 การหดตัวและพองตัว	27
2.11 กลไกการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันในมวลคอนกรีต	28
2.12 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber)	29
2.12.1 เซลลูโลส (Cellulose)	29
2.12.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	30
2.12.3 ลิกนิน (Lignin)	31
2.12.4 ยูคาลิปตัส (Eucalyptus)	32
2.13 ชูเปอร์พลาสติไซเซอร์ (Rheobuild®)	36
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	38
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	41
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	41
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	41
3.3 แผนการดำเนินงานวิจัย	42
3.4 ขั้นตอนการวิจัย	45
3.4.1 การเตรียมวัสดุดิบ	45
3.4.2 การเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์	45
3.4.2.1 การเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์แบบ Wet	46
3.4.2.2 การเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์แบบ Dry-mix	49
3.4.2.3 การเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์แบบ Pretreat	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.3 การทดสอบทางกายภาพ	52
3.4.3.1 การหาค่าความหนาแน่น (Density)	52
3.4.3.2 การหาค่าความชื้น	52
3.4.3.3 การหาค่าการพองตัวของเนื้อน้ำ	52
3.4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล	53
3.4.4.1 การหาค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus)	53
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	56
4.1 ลักษณะทางกายภาพ	56
4.1.1 ผลของการใช้วิธีการผสมที่ต่างกัน	56
4.1.2 ผลของปริมาณเส้นใย	56
4.1.3 ผลของการใช้ Rheobuild [®]	58
4.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ	58
4.2.1 ความหนาแน่น	58
4.2.2 ความชื้น	60
4.2.3 การพองตัวของเนื้อน้ำ	61
4.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล	63
4.3.1 ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength)	63
4.3.2 มอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus)	65
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	67
5.1 สรุปผลการทดลอง	67
5.2 ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก ก ผลของการทดสอบสมบัติเชิงกล	72
ภาคผนวก ข ค่ามาตรฐานแผ่นไม้อัดซีเมนต์เกรดการค้า	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ตัวอย่างแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ใช้ในงานก่อสร้าง	2
รูปที่ 2.1 แผนภูมิการเรียกชื่อองค์ประกอบต่างๆของคอนกรีต	6
รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงปฏิกิริยาของแคลเซียมซิลิเกต	20
รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของเพสต์	23
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด การรั่วซึมสัมพัทธ์ของน้ำของคอนกรีต ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างๆกัน	24
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและระยะเวลาการบ่มคอนกรีต	25
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของกำลังอัด คุณสมบัติการบ่ม อายุคอนกรีตขณะทดสอบ	26
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ อัตราส่วนน้ำ ต่อซีเมนต์และปริมาณน้ำในคอนกรีต	27
รูปที่ 2.8 กลไกการแตกร้าวเนื่องจากคุณสมบัติที่ต่างกันในมวลคอนกรีต	28
รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส	29
รูปที่ 2.10 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส	30
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของลิกนิน	31
รูปที่ 2.12 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้	32
รูปที่ 2.13 ลักษณะของต้นยูคาลิปตัส	32
รูปที่ 2.14 กลไกการทำงานของซูเปอร์พลาสติไซเซอร์ (Rheobuild®)	36
รูปที่ 2.15 องค์ประกอบของ Sulfonated naphthalene-formaldehyde condensates (SNFC)	37
รูปที่ 3.1 แม่พิมพ์โลหะสำหรับแผ่นไม้อัดซีเมนต์ ขนาด 20x20x1 cm ³	42
รูปที่ 3.2 แผนผังการดำเนินงาน	44
รูปที่ 3.3 (ก) เส้นใยที่เตรียมจากวิธี Wet และวิธี Dry-mix (ข) เส้นใยที่เตรียมจากวิธี Pretreat	45
รูปที่ 3.4 เครื่องปั่นกวนเชิงกลสำหรับเตรียมของผสม	46
รูปที่ 3.5 การกดอัดแผ่นไม้อัดซีเมนต์ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (ก) ก่อนกด (ข) หลังกด	47
รูปที่ 3.6 การยัดแม่แบบโลหะให้คงรูป	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.7 แผ่นไม้อัดซีเมนต์	48
รูปที่ 3.8 การตัดชิ้นงานเพื่อนำไปทดสอบ (A) ความหนาแน่น และความชื้น (B) ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ	48
รูปที่ 3.9 การตัดชิ้นงานเพื่อนำมาทดสอบ (C) การพองตัวเมื่อแช่น้ำ	49
รูปที่ 3.10 แผนผังการวิจัย	50
รูปที่ 3.11 ตำแหน่งที่วัดความหนาขึ้นงานในการทดสอบค่าการพองตัว	53
รูปที่ 3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกด (N) กับการแอ่นตัว	55
รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายภาพตัดขวางขึ้นตัวอย่างแผ่นไม้อัดซีเมนต์ แสดงการกระจายตัวของเส้นใยในแผ่นไม้อัดซีเมนต์โดยวิธีการผสมแบบ Dry-mix (ก) 5% Dry-mix (ข) 10% Dry-mix	57
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายภาพตัดขวางขึ้นตัวอย่างแผ่นไม้อัดซีเมนต์ แสดงการกระจายตัวของเส้นใยในแผ่นไม้อัดซีเมนต์โดยวิธีการผสมแบบ Wet (ก) 5% Wet (ข) 10% Wet	57
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายภาพตัดขวางขึ้นตัวอย่างแผ่นไม้อัดซีเมนต์ แสดงการกระจายตัวของเส้นใยในแผ่นไม้อัดซีเมนต์โดยวิธีการผสมแบบ Pretreat (ก) 5% Pretreat (ข) 10% Pretreat	58
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับวิธีการผสมของแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัส ปริมาณเส้นใย 5% และ 10% โดยน้ำหนัก ที่มีการใส่และไม่ใส่ Rheobuild®	60
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (%) กับวิธีการผสมของแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัส ปริมาณเส้นใย 5% และ 10% โดยน้ำหนัก ที่มีการใส่และไม่ใส่ Rheobuild®	61
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัว (%) กับวิธีการผสมของแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัส ปริมาณเส้นใย 5% และ 10% โดยน้ำหนัก ที่มีการใส่และไม่ใส่ Rheobuild®	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงโค้งงอ (MPa) กับวิธีการผสมของ แผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัส ปริมาณเส้นใย 5% และ 10% โดยน้ำหนัก ที่มีการใส่และไม่ใส่ Rheobuild®	64
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสโค้งงอ (MPa) กับวิธีการผสมของ แผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัส ปริมาณเส้นใย 5% และ 10% โดยน้ำหนัก ที่มีการใส่และไม่ใส่ Rheobuild®	66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	15
ตารางที่ 2.2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	15
ตารางที่ 2.3 สมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	17
ตารางที่ 2.4 กระบวนการห่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอะลูมิเนต	21
ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ยูคาลิปตัสคาลาดูเลนซีส	33
ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยไม้ TMP และ CP	35
ตารางที่ 3.1 ขนาดของอนุภาคของปูนซีเมนต์ และเส้นใยยูคาลิปตัสที่เลือกใช้	45
ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์	51
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความหนาแน่น ความชื้น(%) และการพองตัวเมื่อแช่น้ำ (%)	59
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ	63
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบมอดุลัสโค้งงอ	65
ตาราง ก-1 แสดงค่าการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ แบบใช้เส้นใยที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลไฟด์	73
ตาราง ข-1 สมบัติของแผ่นไม้อัดซีเมนต์เกรดการค้า (Viva board)	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

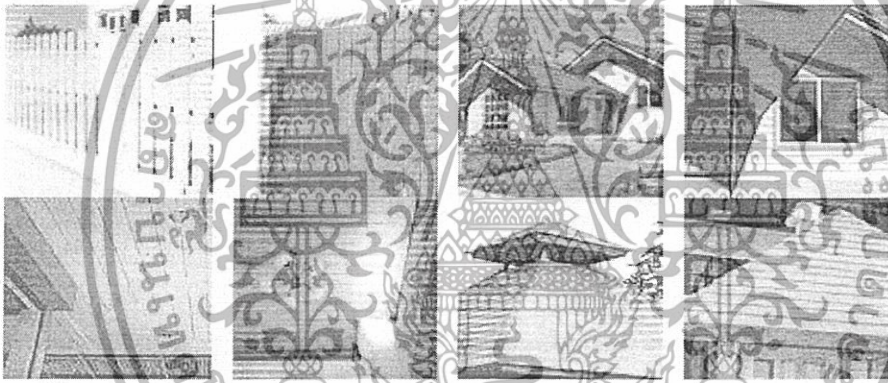
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปูนซีเมนต์หรือซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ บางครั้งเรียกสั้นๆว่า ซีเมนต์ (Cement) โดยทั่วไปหมายถึงวัสดุประสานซึ่งสามารถยึดวัตถุชิ้นเล็กๆเข้าด้วยกัน คำว่าซีเมนต์นี้ยังครอบคลุมถึงสารซีเมนต์หลายประเภท แต่สำหรับงานด้านวิศวกรรมโยธาและการก่อสร้าง คำว่า “ซีเมนต์” หมายถึงวัสดุผงละเอียดสีเทาหรือเทาเข้ม เมื่อผสมน้ำจะสามารถใช้เป็นวัสดุประสานยึดวัสดุประเภท อิฐ หิน และทรายเข้าด้วยกัน ซีเมนต์ประกอบด้วยวัตถุดิบพื้นฐานดังนี้ คือแคลเซียม-ออกไซด์ ซิลิกา อะลูมินา และเหล็กออกไซด์ ด้วยสัดส่วนที่ต่างกันขององค์ประกอบในซีเมนต์ทำให้ได้ซีเมนต์ชนิดต่างๆขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการใช้งาน [1] ในกระบวนการผลิตซีเมนต์นั้น วัตถุดิบจะถูกบดและผสมตามสัดส่วนที่ต้องการ จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1400 ถึง 1600 °C หลังการเผาของผสมดังกล่าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยกระบวนการทางเคมีทำให้ได้เป็นก้อนซีเมนต์ และเมื่อก้อนซีเมนต์เย็นตัวลง กระบวนการขั้นต่อไปก็คือการบดให้เป็นผงและมีการเติมยิปซัมลงไปเล็กน้อย เพื่อใช้เป็นสารควบคุมเวลาในการแข็งตัวของซีเมนต์ [2]

ไม้ (Wood) ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากไม่มีความสวยงาม คงทน และมีสมบัติที่ดีหลายประการ อีกทั้งไม้ยังเป็นวัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และสามารถปลูกทดแทนใหม่ได้ โดยมีการนำไปใช้เป็นโครงสร้างหลักของอาคารและสิ่งก่อสร้าง มีการใช้ไม้ผลิตเป็นสิ่งของเครื่องใช้และเฟอร์นิเจอร์ในหลายลักษณะเพื่อการตกแต่ง จากความนิยมในการใช้ไม้เพื่องานประเภทต่างๆ เป็นผลให้ปริมาณไม้ที่ผลิตจากการปลูกป่าเชิงพาณิชย์ภายในประเทศไม่เพียงพอกับความต้องการใช้งาน จึงจำเป็นต้องมีการนำเข้าไม้จากต่างประเทศ ซึ่งไม้นำเข้ามีราคาสูง และมีปริมาณจำกัด ส่งผลให้เกิดปัญหาการลักลอบตัดไม้ทำลายป่า ทำให้ป่าไม้ถูกทำลายเพิ่มขึ้นทุกปีจนปัจจุบันแทบไม่มีป่าสมบูรณ์เหลืออยู่ในประเทศไทย ทำให้เกิดปัญหาธรรมชาติขาดความสมดุล เกิดปัญหาอื่นๆตามมา เช่น ฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล ปრაการณโลกร้อน เป็นต้น นอกจากนี้ไม้ยังมีข้อเสียอีกหลายประการ เช่น ต้องการการดูแลรักษาทุกๆ 2-3 ปี เพื่อรักษาเนื้อไม้ไม่ให้บิดงอ แตกหัก เกิดการผุกร่อน ดูดน้ำมาก เกิดการบวมตัวสูง และถูกทำลายโดยแมลงต่างๆ เช่น ปลวก มอด ได้ง่าย จากข้อเสียดังกล่าว ทำให้มีการพัฒนาวัสดุอื่นมาใช้แทนไม้ เรียกว่า วัสดุทดแทนไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นไม้อัดซีเมนต์ (Wood-cement board ; WCB) [3] เป็นหนึ่งในวัสดุทดแทนไม้ ถูกพัฒนาขึ้นโดยการนำไม้โตเร็วมาบดย่อยและผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมน้ำยาเคมี แล้วอัดด้วยแรงกดสูง ซึ่งเป็นการนำสมบัติโดดเด่นของส่วนผสมสองชนิดมารวมไว้ด้วยกัน จึงแข็งแรง ทนทาน คงทนต่อสภาวะอากาศ ปลอดภัยจากมอด ปลวก เชื้อรา แมลงกินไม้ต่างๆ และทนไฟ เหมือนซีเมนต์ แต่น้ำหนักเบา ยืดหยุ่นใช้งานง่าย และป้องกันความร้อนเหมือนไม้ ส่วนผสมที่เป็นไม้ไม่ผุกร่อนไปตามสภาวะอากาศที่แปรปรวน เนื่องจากการปรับสภาพด้วยสารเคมี มีสมบัติการนำความร้อนต่ำ (ค่า K ต่ำว่า 0.25 W/mC) มีความหนาแน่นสูง จึงทำหน้าที่เป็นฉนวนกันเสียง ใช้งานง่าย สามารถเลื่อย ตัด เจาะ ตอกตะปู ไม่มีแร่ใยหิน (Asbestos) และสารยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ติดตั้งง่าย ประหยัดฐานราก น้ำหนักเบา สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น รั้ว หลังคา ผนัง เพดาน เป็นต้น



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ใช้ในงานก่อสร้าง [4]

ในโครงการพิเศษนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องของโครงการพิเศษภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2547 และ 2548 เรื่อง การศึกษาเบื้องต้นแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมจากเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp ; TMP) [5] และการปรับปรุงแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล ตามลำดับ เนื่องจาก งานวิจัยที่ผ่านมาแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมได้ยังมีสมบัติบางประการที่ยังต้องการการปรับปรุง เช่น การกระจายเส้นใยไม้ในซีเมนต์ต่ำ เส้นใยกระจุกตัว ทำให้เกิดรอยตำหนิในชิ้นงาน สมบัติบางประการของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ยังต้องการการปรับปรุง เช่น ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) โมดูลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ความหนาแน่น เปรอร์เซ็นต์ความชื้น และการพองตัวเมื่อแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเสนอการปรับปรุง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นไม้อัดซีเมนต์จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ผสมเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล โดยทำการเปลี่ยนแปลงลำดับการผสม ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยที่มีต่อชิ้นงาน และศึกษาผลของซูเปอร์พลาสติไซเซอร์ (Rheobuild®) ที่มีต่อชิ้นงาน งานวิจัยนี้เลือกใช้เส้นใยจากไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบ เนื่องจาก เป็นไม้ที่มีอยู่มาก เป็นที่นิยมปลูกเพื่อการค้า เพราะมีอัตราการเจริญเติบโตสูง ปลูกง่าย โตเร็ว ให้เนื้อไม้มาก เนื้อไม้สวย ราคาถูก และสามารถปลูกทดแทนได้ในระยะเวลาสั้น อีกทั้งเป็นการนำสมบัติเด่นของเส้นใยที่ช่วยกระจายแรงได้ดีมาปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตให้มีสมบัติหลากหลายยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการดำเนินงานวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงกระบวนการขึ้นรูปแผ่นไม้อัดซีเมนต์ด้วยเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกลในแผ่นไม้อัดซีเมนต์
2. เพื่อศึกษาผลของการเติมซูเปอร์พลาสติไซเซอร์ (Rheobuild®) ที่มีต่อสมบัติของแผ่นไม้อัดซีเมนต์

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาลำดับการผสมเพื่อเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์
3. ศึกษาผลของซูเปอร์พลาสติไซเซอร์ (Rheobuild®) ปริมาณ 1.5% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ที่มีผลต่อการกระจายตัวของเส้นใยในการขึ้นรูปแผ่นไม้อัดซีเมนต์
4. ศึกษาผลของเส้นใยปริมาณ 5% และ 10% โดยน้ำหนักของมวลรวม ที่มีผลต่อสมบัติของแผ่นไม้อัดซีเมนต์
5. ศึกษาสมบัติของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ ได้แก่
 - สมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่น เปอร์เซ็นต์ความชื้น และการพองตัวเมื่อแช่น้ำ 24 ชั่วโมง
 - สมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ดีได้
2. สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง และมีความเป็นไปได้ในการผลิตในเชิงพาณิชย์
3. สามารถนำความรู้ที่ได้เป็นพื้นฐานในการศึกษาวัสดุคอนกรีตผสมเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่นๆ
4. เป็นการนำเอาเส้นใยธรรมชาติที่มีมูลค่าต่ำมาทำให้เกิดประโยชน์
5. สามารถผลิตวัสดุทดแทนไม้ เพื่อลดปริมาณการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 คอนกรีตคืออะไร [6]

คอนกรีต คือ วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจวบจนปัจจุบัน เพราะ เป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งทางด้านราคาและสมบัติต่างๆ คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วน คือ วัสดุประสาน อันได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำ และสารผสมเพิ่ม ผสมกับวัสดุมวลรวม ได้แก่ ทราย หิน กรวด เมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวได้อยู่ช่วงเวลาหนึ่งพอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการ หลังจากนั้นจะแปรสภาพเป็นของแข็งที่มีความแข็งแรง และสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น

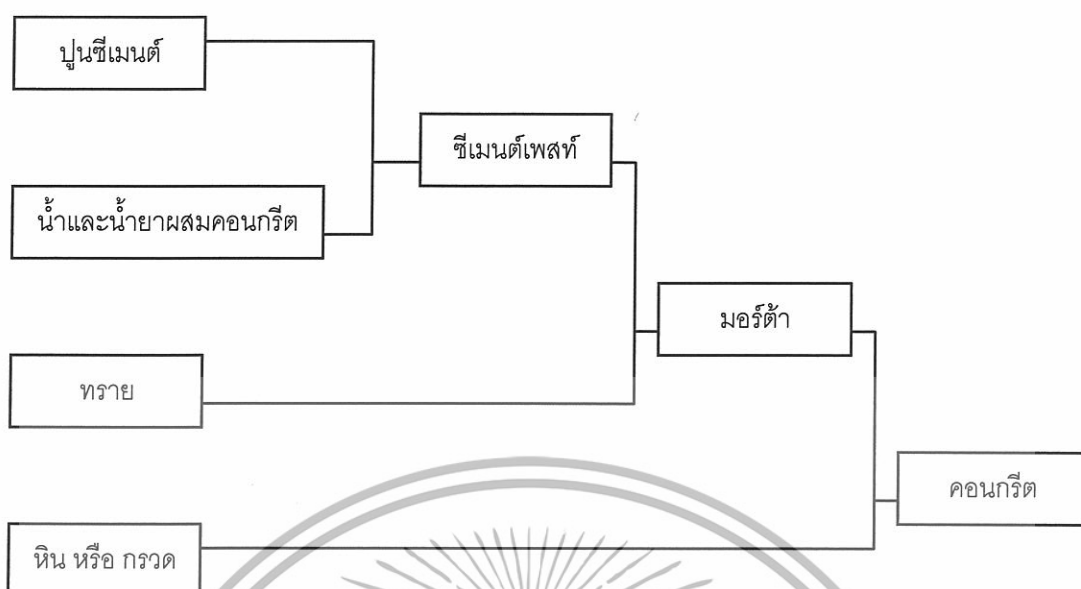
ปัจจุบันคอนกรีตทั่วไปได้รับการดัดแปลงส่วนผสม เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน เช่น คอนกรีตไหล (Flow concrete) คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready mixed concrete) คอนกรีตสมรรถนะสูง (High performance concrete) คอนกรีตสูบส่ง (Pumped concrete) คอนกรีตแข็งตัวเร็ว (High early strength concrete) เป็นต้น คอนกรีตเหล่านี้มักจะเป็นคอนกรีตที่มีสมบัติพิเศษเพิ่มขึ้นจากสมบัติของคอนกรีตทั่วไป โดยมีการใส่สารผสมต่างๆเพิ่มลงไป เช่น สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical admixtures) สารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม (Mineral admixtures) เป็นต้น โดยที่สัดส่วนผสมที่เลือกใช้จะต้องมีการศึกษารายละเอียด และทดสอบให้สอดคล้องกับความต้องการของการใช้งานที่กำหนด เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดในการใช้งาน

2.2 องค์ประกอบของคอนกรีต [6]

คอนกรีตประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่ม โดยเมื่อนำส่วนผสมต่างๆ เหล่านี้มาผสมกันจะมีชื่อเรียกเฉพาะ ดังนี้

- ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำและสารผสมเพิ่ม เรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Cement paste)
- ซีเมนต์เพสต์ผสมกับทราย เรียกว่า มอร์ต้า (Morta)
- มอร์ต้าผสมกับหินหรือกรวด เรียกว่า คอนกรีต (Concrete)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แผนภูมิการเรียกชื่อองค์ประกอบต่างๆของคอนกรีต [6]

2.3 หน้าที่และสมบัติของส่วนผสม [6,7]

2.3.1 ซีเมนต์เพสต์ (Cement paste)

หน้าที่ของซีเมนต์เพสต์มีดังนี้

- เสริมช่องว่างระหว่างมวลรวม
- หล่อลื่นคอนกรีตสดขณะเทหล่อ
- ให้กำลังแก่คอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัว รวมทั้งป้องกันการซึมผ่านของน้ำ

สมบัติของซีเมนต์เพสต์ขึ้นอยู่กับ

- สมบัติของปูนซีเมนต์
- อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์
- ความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ หรือปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration)

2.3.2 มวลรวม

มวลรวม (Aggregates) จัดว่าเป็นวัสดุสำคัญในงานก่อสร้าง เพราะ เป็นส่วนผสมส่วนใหญ่ของคอนกรีตโดยมีประมาณร้อยละ 75 โดยปริมาตร โดยทั่วไปมวลรวมที่นิยมใช้ ได้แก่ หิน ย่อย กรวด และทราย การผสมคอนกรีตโดยทั่วไปจะนำปูนซีเมนต์มาผสมกับมวลรวม ได้แก่ หิน และทรายหยาบ ในอัตราส่วนต่างๆกันขึ้นกับลักษณะของงานก่อสร้างที่ต้องการ เช่น งานก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั่วไป นิยมใช้อัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่ได้จากอัตราส่วนผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อ หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร หรือประมาณ 1 : 2 : 3 โดยน้ำหนัก เป็นต้น นอกจากนี้จะนำมา ผสมกับปูนซีเมนต์ เพื่อให้มีขนาด รูปร่าง ความแข็งแรงตามต้องการแล้ว ยังทำให้คอนกรีตมีราคา ถูกลงอีกด้วย

รายละเอียดของมวลรวมโดยสังเขปมีดังนี้

1. มวลรวมละเอียด

มวลรวมละเอียด (Fine aggregate) คือ วัสดุผสมคอนกรีตที่สามารถร่อนผ่านตะแกรง มาตรฐานเบอร์ 4 ได้ (ช่องเปิดขนาด 4.75 มิลลิเมตร) ได้แก่ ทรายธรรมชาติ และทรายสังเคราะห์ ทรายธรรมชาตินิยมทรายน้ำจืด ก่อนนำมาใช้งานต้องทำความสะอาดไม่ให้มีเศษวัชพืชเจือปนอยู่ เพราะ จะทำให้คอนกรีตมีคุณภาพต่ำ ทรายที่เหมาะสมต้องมีความแข็ง เหลี่ยมคม และขนาดคละ กันดี ที่นิยมในงานคอนกรีตจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 2.0-4.5 มิลลิเมตร

2. มวลรวมหยาบ

มวลรวมหยาบ (Coarse aggregate) คือ วัสดุผสมคอนกรีตที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อนำไป ร่อนผ่านตะแกรงร่อนจะค้างอยู่บนตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 วัสดุดังกล่าว ได้แก่ หินย่อย หรือ หินกรวด หินที่เหมาะสมจะนำมาผสมคอนกรีตควรมีลักษณะเป็นเหลี่ยม คม แข็งแกร่ง ผิวขรุขระ ยึด- หดตัวต่ำ ทนทานต่อการสึกหรอ เวลานำมาใช้ต้องมีขนาดคละกัน โดยทั่วไปใช้ขนาด 3/16 นิ้ว - 3 นิ้ว ขึ้นอยู่กับขนาดของคอนกรีตที่จะเทลงแบบ มวลรวมหยาบส่วนมากได้มาจากการระเบิดภูเขา หินปูนแล้วมาย่อยด้วยเครื่องย่อยหิน แหล่งผลิตหินย่อยที่สำคัญของประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ใน เขตจังหวัดสระบุรี ลพบุรี และราชบุรี

หน้าที่ของมวลรวมมีดังนี้

- เป็นตัวแทรกประสานราคาถูกที่กระจายอยู่ที่ซีเมนต์เพสต์
- ช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก

สมบัติของมวลรวมที่สำคัญ

- มีความแข็งแรง
- การเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่ำ
- คงทนต่อปฏิกิริยาเคมี
- ความต้านทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 น้ำ

น้ำ เป็นปัจจัยสำคัญยิ่งในการผสมคอนกรีต เพราะ นอกจากมีผลต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีตสด และมีผลต่อกำลังตลอดจนความทนทานของคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้ว น้ำอาจมีผลกระทบต่อสีผิวของคอนกรีต และการเป็นสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีต ซึ่งหากแบ่งประเภทของน้ำตามสภาพการใช้งาน สามารถแบ่งได้ดังนี้

- ก. น้ำสำหรับผสมคอนกรีตให้มีความชื้นเหลวทำงานง่าย
- ข. น้ำสำหรับบ่มคอนกรีตให้แข็งตัวและมีกำลังรับแรงตามต้องการ
- ค. น้ำสำหรับล้างวัสดุผสมให้สะอาดก่อนใช้ผสมทำคอนกรีต

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตมีความสำคัญมาก น้ำต้องสะอาด มีความขุ่นไม่เกิน 2000 ppm (ส่วนในล้านส่วน) ปราศจากกรด ต่าง น้ำมันและสารอินทรีย์อื่นๆในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อคอนกรีตและเหล็กเสริม โดยปกติน้ำประปาและน้ำจืดตามธรรมชาติส่วนใหญ่ ซึ่งไม่มีส่วนผสมของน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน หรือจากโรงงานอุตสาหกรรม จัดว่ามีคุณภาพดีเพียงพอสำหรับใช้ในการผสมคอนกรีต ในกรณีที่ไม่แน่ใจว่าน้ำที่ใช้มีความสะอาดเพียงพอหรือไม่ ให้ทำการทดสอบโดยทำก้อนมอร์ต้าลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 ซม.³ ซึ่งผสมด้วยน้ำที่ต้องการทดสอบและเปรียบเทียบกำลังอัด ที่อายุ 7 และ 28 วันของก้อนลูกบาศก์มอร์ต้าขนาดเท่ากันที่ทำจากน้ำที่มีคุณภาพดี หากก้อนมอร์ต้าที่ใช้น้ำที่ต้องการทดสอบให้กำลังอย่างน้อยร้อยละ 90 จะถือว่าน้ำนั้นไม่มีปัญหาด้านคุณภาพ และใช้ผสมคอนกรีตได้

หน้าที่หลักของน้ำสำหรับงานคอนกรีตมี 3 ประการ

- ใช้ล้างวัสดุมวลรวมต่างๆ
- ใช้ผสมทำคอนกรีต
- ใช้บ่มคอนกรีต

หน้าที่หลักของน้ำในฐานะที่ใช้ผสมทำคอนกรีตยังแบ่งได้อีก 3 ประการ

- ทำหน้าที่ผสมเข้ากับปูนซีเมนต์และทำปฏิกิริยาเคมีแล้วเกิดความร้อน ที่เรียกว่า Heat of hydration ทำให้ผงปูนนั้นเป็นวุ้น และเป็นซีเมนต์เหนียว ซึ่งเป็นตัวประสานผิวระหว่างเม็ดของวัสดุผสม เกาะยึดกันแน่นเมื่อแข็งตัว
- ทำหน้าที่หล่อลื่นให้วัสดุทั้งหมดเกิดความเหลว สามารถเทและกระทุ้ง หรือเขย่าเข้าแบบหล่อให้เป็นรูปร่างต่างๆได้
- ทำหน้าที่เคลือบหินและทรายให้เปียก เพื่อให้ปูนซีเมนต์เข้าเกาะโดยรอบ และแข็งตัวยึดเกาะกันแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 สารผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่ม (Admixture) ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในวงการก่อสร้าง โดยมีการนำสารผสมเพิ่มมาใช้เติมลงไปในส่วนผสมของคอนกรีต นอกเหนือจากส่วนผสมปกติ คือ ปูนซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ เพื่อปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีต เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการทำงานตามที่ต้องการ เช่น ปรับปรุงความสามารถทำงานได้ การหน่วงหรือเร่งเวลาการก่อตัว ควบคุมการพัฒนากำลังอัดตามการออกแบบ หรือปรับปรุงสมบัติด้านความคงทนต่อสภาวะต่างๆ เป็นต้น

สารผสมเพิ่มสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทหลัก คือ

ก. สารกระจายกักฟองอากาศ (Air entraining agent) นิยมใช้ในการเพิ่มความคงทนของคอนกรีตต่อสภาพอากาศที่หนาวเย็น ซึ่งสารตัวนี้จะไม่นิยมใช้ในประเทศไทยซึ่งมีอากาศร้อน

ข. สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical admixture) สารประกอบทางเคมีที่ละลายในน้ำ นิยมใช้สำหรับหน่วงหรือเร่งเวลาการก่อตัว หรือลดความต้องการน้ำในการผสมคอนกรีต

ค. สารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม (Mineral admixture) โดยส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นผงละเอียดนิยมใช้แทนที่หรือผสมเพิ่มปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต หรือใช้สำหรับทำให้ความสามารถทำงานได้ และความคงทนของคอนกรีตดีขึ้น

2.4 ปูนซีเมนต์ [8,9]

ปูนซีเมนต์เป็นผลผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ (หิน ปูน กับดินเหนียว หรือ ดินดาน) จนรวมตัวผสมกันสุกพอดี มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ แคลเซียมและอะลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ที่กล่าวนี้จะหมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic cement) ที่เมื่อผสมกับน้ำตามอัตราส่วนแล้วสามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้ เนื่องจาก ปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ การทำปฏิกิริยาดังกล่าว เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน อัตราการแข็งตัวตลอดจนปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นอยู่กับความละเอียด และส่วนประกอบของผงปูน ความแข็งแรงและทนทานเมื่อแข็งตัวแล้วขึ้นอยู่กับสัดส่วนการผสม และการให้ความชื้นขณะเริ่มแข็งตัว

2.4.1 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และประโยชน์ในการใช้งาน

2.4.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยทั่วไปเป็นปูนซีเมนต์ที่นิยมใช้งานกันมากที่สุด สามารถจำแนกตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.15 ได้ 5 ประเภทด้วยกัน คือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง (Type I normal portland cement)

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมทำคอนกรีตในงานโครงสร้างทั่วไป ซึ่งอยู่ในสภาวะของภูมิอากาศ และภูมิประเทศที่เป็นปกติ ไม่ร้อนจัด ไม่หนาวจัด ไม่มีอันตรายจากซัลเฟต ซึ่งได้แก่ ความเปรี้ยว ความเค็มของน้ำและดิน เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ใช้ทำคอนกรีตในส่วนของโครงสร้างอาคารตั้งแต่ฐานราก เสาตอม่อ คานคอดิน พื้น กันสาด เสาเอ็น เสาของอาคารแต่ละชั้น ถนนรถยนต์ สะพาน ท่อระบายน้ำ ถังเก็บน้ำชนิดที่เป็นถังสูง และถังที่อยู่เสมอดินรวมไปถึงอาคารที่มีห้องใต้ดิน ทำกำแพงกันดินกันน้ำซึม เป็นต้น งานที่ไม่ควรนำปูนชนิดนี้มาใช้ก็คือ งานก่ออิฐ งานฉาบปูน งานปั้น งานฉาบปูนทำบัว ทำลวดลายต่างๆของอาคารหรือศาสนสถาน เพราะ จะทำให้เกิดการแตกร้าวอันเนื่องมาจากการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ที่ค่อนข้างเร็ว ทำให้ช่างอาจจะตกแต่งไม่ทันปูนก็แข็งตัวแล้ว ฉะนั้นจึงไม่ควรนำมาใช้กับงานประณีตที่ต้องใช้ระยะเวลาของการตกแต่งเป็นเวลานาน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีอยู่ด้วยกันหลายตรา เช่น ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียว ตราเพชรเม็ดเดียว และตราพีทีไอสีแดง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดธรรมดาจะมีอยู่ 4 ตรา ถ้าตราหนึ่งตราใดไม่มีจำหน่ายก็สามารถใช้ตราใดตราหนึ่งแทนได้เช่นกัน

2.4.1.1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่สอง (Type II modified portland cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีคุณสมบัติเหนือกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาใช้สำหรับผสมทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกิดความร้อน และทนซัลเฟตได้ปานกลาง กล่าวคือ ในบริเวณการก่อสร้างมีความเค็ม ความเปรี้ยวของน้ำและดินไม่มากนัก สามารถใช้ปูนประเภทสองนี้ได้ ตัวอย่างงานคอนกรีตที่ใช้ปูนประเภทนี้ ได้แก่ งานก่อสร้างเขื่อน คอนกรีต กำแพงกันดิน หนาๆ หล่อท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ เสาตอม่อ สะพาน ฐานรากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลงนี้จะมีจำหน่ายในท้องตลาดเพียงตราเดียวเท่านั้น คือ ตราพญานาคเจ็ดเศียร ซึ่งตามปกติค่อนข้างจะหาซื้อได้ยาก เนื่องจากมีผู้ใช้น้อยอาจจะต้องมีการสั่งพิเศษเฉพาะงานเท่านั้น

2.4.1.1.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่สาม (Type III high-early strength portland cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผลิตให้มีคุณภาพพิเศษไปกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ด้วยการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของวัตถุดิบ และเติมสารบางอย่างลงไป รวมทั้งเผาให้เม็ดปูนสุกระอุมากกว่าเดิม เมื่อนำมาบดให้เป็นผงละเอียดจะบดให้มีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถแข็งตัวได้เร็วกว่าปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปอร์ตแลนด์ธรรมดาถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ตามปกติโดยทั่วไป ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาจะแข็งตัว และสามารถรับน้ำหนักได้เต็มที่เมื่อคอนกรีตมีอายุได้ 14 วันภายหลังจากการเทคอนกรีตเข้าไปในแบบหล่อแล้ว แต่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว จะแข็งตัวและสามารถรับน้ำหนักได้เต็มที่เมื่อคอนกรีตมีอายุได้เพียง 7 วันหลังจากการเทคอนกรีตเข้าไปในแบบหล่อแล้ว ปูนซีเมนต์ประเภทสามนี้เหมาะที่จะนำไปใช้ในการหล่อคอนกรีตที่ต้องการใช้งานเร็วถอดแบบได้เร็ว เพราะ งานบางงานมีความจำเป็นต้องทำให้เสร็จโดยเร็วเพื่อหลีกเลี่ยงภัยธรรมชาติที่อาจจะเกิดขึ้น เช่น น้ำป่า น้ำท่วม ฝนตกหนักติดต่อกันหลายวันทำให้งานล่าช้ากว่าปกติ ฯลฯ งานดังกล่าวสามารถที่จะแก้ไขได้ด้วยการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็ว เพื่อให้งานนั้นสำเร็จทันต่อความต้องการใช้งาน งานที่นิยมใช้ปูนประเภทสามกันมาก คือ การหล่อเสาเข็มคอนกรีต ถนน พื้น คานที่ต้องการถอดแบบเร็ว สนามบิน งานคอนกรีตที่ต้องการถอดแบบเร็ว งานคอนกรีตที่ต้องการนำไปใช้งานเร็วเพื่อให้ทันต่อความต้องการของตลาด เช่น เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง พื้นสำเร็จรูป คานสำเร็จรูป เสารั้วสำเร็จรูป เป็นต้น

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็ว มีจำหน่ายในท้องตลาด 3 ตรา คือ ตราเอราวัณ ตราเพชร 3 เม็ด ตราพญานาคสีแดง ซึ่งทั้ง 3 ตรา นี้ สามารถใช้ทดแทนกันได้ในกรณีที่ตราหนึ่งตราใดไม่มีจำหน่ายหรือขาดตลาด การนำเอาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็วมาใช้กับงานจะต้องมีความประณีตเป็นพิเศษ เพราะ เมื่อผสมทำเป็นคอนกรีตสด ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ผสมเสร็จมาใหม่ๆ ที่ยังไม่ได้เทลงบนแบบหล่อ จะเกิดความร้อนมาก ความร้อนดังกล่าวเกิดขึ้นจากการที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็วเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ ฉะนั้นเมื่อเทคอนกรีตสดลงแบบแล้วจะระเหิดในแนบแต่่งและปาดผิวหน้าเรียบร้อยแล้ว น้ำในคอนกรีตจะระเหยไปเร็ว เมื่อคอนกรีตแข็งตัวในวันรุ่งขึ้นจะต้องเอาน้ำมาราดเพื่อเป็นการบ่มคอนกรีต และแทนการระเหยของน้ำดังกล่าวโดยเร็วที่สุด เพราะถ้าไม่ทำเช่นนี้ คอนกรีตดังกล่าวจะเกิดการแตกร้าว ไม่สามารถรับน้ำหนักได้ตามที่ได้ออกแบบเอาไว้ ด้วยเหตุนี้จึงนิยมใช้ปูนชนิดนี้ในการหล่อคอนกรีตสำเร็จรูปตามโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานหล่อเสาเข็ม โรงงานหล่อเสารั้ว โรงงานหล่อพื้นสำเร็จรูป เพราะ ตามโรงงานดังกล่าวสามารถเตรียมน้ำไว้ล่วงหน้าได้ นอกจากนี้บางแห่งอาจใช้การอบไอน้ำ ซึ่งเป็นการบ่มคอนกรีตที่ได้ผลดีมากอีกวิธีหนึ่งแทน

2.4.1.1.4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่สี่ (Type IV low-heat portland cement)

ปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำสุดเหมาะในการสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ ซึ่งต้องใช้คอนกรีตที่มีปริมาณมากๆ หรือที่เรียกกันว่าคอนกรีตหลานั่นเอง เนื่องจากกรที่เขื่อนคอนกรีตมีขนาดใหญ่มาก ต้องใช้ปริมาณของคอนกรีตเป็นจำนวนมาก หากใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาจะมีความร้อนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้น ขณะปั๊มปูนความร้อนดังกล่าวจะเผาให้น้ำในเนื้อของคอนกรีตระเหยออกไป เนื่องจากคอนกรีตมีความหนาแน่นมากทำให้การระเหยของน้ำภายในบริเวณตรงกลางของเขื่อนไม่สามารถที่จะระเหยออกมาได้ทันเวลา เป็นผลให้เกิดการบ่งตัวของไอน้ำที่ระเหย อาจจะทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้ ทั้งนี้เนื่องจากการสะสมของไอน้ำ และอาจก่อให้เกิดโพรงขึ้นในเนื้อของคอนกรีต ฉะนั้นเพื่อป้องกันมิให้ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้น จึงมีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว แต่เนื่องจากการก่อสร้างเขื่อนขนาดใหญ่เป็นงานเฉพาะกิจที่นานๆจึงจะมีการก่อสร้างจึงไม่มีการผลิตปูนซีเมนต์ประเภทนี้ออกมาจำหน่ายในท้องตลาดเหมือนกับปูนซีเมนต์ประเภทอื่นๆ ต้องมีการสั่งเป็นคราวๆไปเท่านั้น

2.4.1.1.5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้านทานซัลเฟตได้สูง หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ห้า (Type V sulphate-resistance portland cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ในพื้นที่ที่มีน้ำทะเลท่วมถึง หรืออยู่ในทะเล หรือในที่ที่พื้นดินมีความเปรี้ยวมาก ทั้งนี้เพราะความเค็มและความเปรี้ยวจะทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิม ผุกร่อนง่าย จึงมีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตสูงขึ้นมา ใช้ผสมกับหิน ททราย และน้ำจืด เป็นคอนกรีตสดเทลงไปในแบบหล่อซึ่งมีเหล็กเส้นเสริมอยู่ โดยให้คอนกรีตหุ้มเหล็กหนากว่าปกติถึงสองเท่า กล่าวคือ ตามปกติทั่วไปคอนกรีตหุ้มเหล็กหนา 1 นิ้ว ก็เพิ่มเป็น 2 นิ้ว เพื่อป้องกันการผุกร่อนของเหล็กนั่นเอง เมื่อคอนกรีตแข็งตัวสามารถที่จะป้องกันการซึมของน้ำเค็มไม่ให้ทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมได้ คอนกรีตเสริมเหล็กดังกล่าวก็จะคงสภาพอยู่ได้นาน ปูนซีเมนต์ประเภทห้าสามารถใช้ในการสร้างฐานราก เสาตอมของสะพาน อาคารที่อยู่ติดทะเล ท่าเทียบเรือ เขื่อนริมทะเล ประภาคาร บ่อกักเก็บกากในทางอุตสาหกรรม บ่อบำบัดน้ำเสียที่มีสารเคมีปะปนมากับน้ำ ฯลฯ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทห้ามีการผลิตเพียงตราเดียวในประเทศไทยเท่านั้น คือ ตราปลาฉลาม

2.4.1.2 ปูนซีเมนต์ผสม (Mixed cement)

นอกจากนี้ยังมีปูนซีเมนต์อีกหลายตราที่ผลิตออกจำหน่ายในท้องตลาด เช่น ปูนซีเมนต์ตราเสือ ตราภูเขา ตรานกอินทรี ตราดอกบัว และตราพีทีไอ เป็นต้น ปูนซีเมนต์เหล่านี้ผลิตจากการนำเอาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมกับทรายที่บดละเอียด 25-30 เปอร์เซ็นต์ แล้วบรรจุลงถุงกระดาษออกจำหน่ายตามท้องตลาด การผสมกับทรายบดละเอียดเพื่อให้คุณภาพของปูนซีเมนต์มีความแข็งตัวช้ากว่าปกติ เกิดความร้อนน้อยหรือไม่เกิดความร้อนเลย เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความประณีต เพราะ ทรายบดละเอียดจะเป็นตัวยืดเวลาการก่อตัวและการแข็งตัวออกไปอีก ทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถตกแต่งชิ้นงานได้อย่างเหมาะสม ไม่ต้องรีบร้อน เช่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานปั้น และสลักต่างๆ รูปหล่อที่ต้องการความประณีตในทางศิลปะ งานก่ออิฐ งานฉาบปูน งานทำบัว งานทำซุ้มประตูหน้าบ้านโบสถ์ งานแต่งผิวหน้าของผนังฉาบปูน งานทำปูน สลักเม็ด ปูนตะแคง งานปั้นปูนเป็นเกล็ดปลา เป็นต้น ปูนซีเมนต์ดังกล่าวมีชื่อเรียกทางวิชาการว่า ซีลีกาซีเมนต์หรือซีเมนต์ผสม ทั้งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และปูนซีเมนต์ผสมจะบรรจุในถุงกระดาษซึ่งมีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม นอกจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และปูนซีเมนต์ผสมแล้วยังมี ปูนซีเมนต์ขาวที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ในงานหินล้าง หินขัด งานตกแต่งปูกระเบื้องห้องน้ำ ห้องส้วม ห้องครัว ลานซักล้าง ระเบียง หน้าบ้าน ผนังของอาคาร งานยาแนวของเครื่องสุขภัณฑ์ ปูนซีเมนต์ขาวจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ตรา คือ ตราช้างเผือก ตรากิเลน และตราเสือ ปูนซีเมนต์ขาวจะบรรจุอยู่ในถุงกระดาษสีขาว

2.4.1.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์พิเศษอื่นๆที่มีการใช้งานอยู่ทั่วไป ได้แก่

2.4.1.3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (Portland pozzolan cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ ผลิตจากการนำเอาวัสดุปอซโซลาน เช่น ถ้ำลอยจากถ่านหิน บดผสมกับปูนซีเมนต์ประเภทที่หนึ่ง ส่วนใหญ่ใช้กับงานโครงสร้างใต้น้ำ ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม เช่น งานสะพาน เขื่อน ท่าเทียบเรือ เนื่องจากมีสมบัติทนซัลเฟตได้ดี

2.4.1.3.2 ปูนซีเมนต์ขาว (White portland cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีออกไซด์ของเหล็ก และแมงกานีสอยู่ในปริมาณที่ต่ำจึงทำให้มีสีขาวจึงสามารถผสมกับสีฝุ่นต่างๆ เพื่อทำให้ปูนซีเมนต์มีสีเขียว แดง เหลือง ฯลฯ ได้ตามต้องการ ดังนั้นจึงนิยมใช้ในงานตกแต่งต่างๆ เช่น งานหินขัด งานปูกระเบื้อง และงานสถาปัตยกรรมอื่นๆ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตในประเทศไทย ได้แก่ ตราช้างเผือก ตราเสือเผือก และตรามังกร เป็นต้น

2.4.1.3.3 ปูนซีเมนต์บ่อน้ำมัน (Oil well cement)

ปูนซีเมนต์ไฮโดรลิกชนิดหนึ่ง ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟตได้สูงผสมกับสารหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งสมบัติจะแตกต่างไปจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบธรรมดาตรงที่ปูนซีเมนต์บ่อน้ำมันจะสามารถก่อตัวได้ในที่อุณหภูมิสูง นิยมใช้งานก่อสร้างขุดเจาะบ่อน้ำมันลึกๆ

2.4.2 วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่สำคัญซึ่งใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์อาจจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) ประเภทที่ให้ธาตุแคลเซียมเป็นส่วนใหญ่ (Calcareous materials) ซึ่งอยู่ในรูปของ CaCO_3 ได้แก่ หินปูน (Limestone) ดินสอพองหรือชอล์ค (Chalk) ดินปูนขาว (Marl)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ประเภทที่ให้ออกไซด์ของธาตุซิลิกอน (SiO_2) และอะลูมิเนียม (Al_2O_3) เป็นส่วนใหญ่ (Argillaceous materials) ได้แก่ ดินดานหรือหินเชล (Shale) ดินดำหรือดินเหนียว (Clay) หินชนวน (Slate)

2.4.3 กรรมวิธีในการผลิต

เมื่อนำวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์มาเผาในถังปฏิกรณ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้นเป็นขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1) น้ำจะระเหยออกจากส่วนผสมทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะถูกขับออกจากหินปูน และดินสอพอง เหลือไว้เพียง CaO

ขั้นตอนที่ 3) เกิดการหลอมตัวของออกไซด์ระหว่างหินปูนและดินสอพอง ซิลิกา อะลูมินา และเหล็กออกไซด์จากดินดำ

ขั้นตอนที่ 4) เกิดการรวมตัวของเคมีของออกไซด์ต่างๆ และตามด้วยกระบวนการการตกผลึกเมื่อทำให้เย็นตัวลง

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ได้จะประกอบด้วยออกไซด์ 2 กลุ่มใหญ่ คือ

- ออกไซด์หลัก ได้แก่ CaO SiO_2 Al_2O_3 Fe_2O_3 ซึ่งรวมกันประมาณ 90% โดยน้ำหนักของซีเมนต์

- ออกไซด์รอง ได้แก่ MgO Na_2O TiO_2 P_2O_5 และยิปซัม ปริมาณออกไซด์ต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แสดงดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ [9]

ออกไซด์	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ออกไซด์หลัก	
CaO	60 - 67
SiO ₂	17 - 25
Al ₂ O ₃	3 - 8
Fe ₂ O ₃	0.5 - 6
ออกไซด์รอง	
MgO	0.1 - 5.5
Na ₂ O + K ₂ O	0.5 - 1.3
TiO ₂	0.1 - 0.4
P ₂ O ₅	0.1 - 0.2
SO ₃	1 - 3

ออกไซด์หลักจะรวมตัวในระหว่างการเกิดปูนเม็ด (Clinker) เกิดเป็นสารประกอบที่สำคัญ 4 อย่าง แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ [9]

ชื่อสารประกอบ	สารประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium silicate)	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate)	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (Tricalcium aluminate)	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
เตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium aluminoferrite)	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 สารประกอบหลัก

1) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S)

C_3S เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นผลึกหกเหลี่ยม มีสีเทาเข้ม สมบัติของ C_3S เหมือนกับสมบัติของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อผสมกับน้ำจะแข็งตัวภายใน 2-3 ชั่วโมง และจะมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงสัปดาห์แรก การเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิดความร้อน 500 J/g กำลังอัดของ C_3S ถูกกระทบโดยปริมาณยิปซัม ปริมาณ C_3S ในปอร์ตแลนด์ซีเมนต์จะมีประมาณ 35-55 %

2) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_2S)

C_2S เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างกลม โดย C_2S มีอยู่หลายรูปแบบ มีเพียง βC_2S เท่านั้นที่อยู่ตัว ณ อุณหภูมิทั่วไป βC_2S มีสมบัติยึดเกาะ เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยปล่อยความร้อน 250 J/g เมื่อแข็งตัวจะพัฒนากำลังอัดอย่างช้าๆ แต่ในระยะยาวจะได้กำลังอัดใกล้เคียงกับ C_3S ปริมาณ C_2S ในปอร์ตแลนด์ซีเมนต์จะมีประมาณ 15-35 %

3) ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (C_3A)

C_3A เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม มีสีเทาอ่อน C_3A จะทำปฏิกิริยากับน้ำทันที ก่อให้เกิด Flash set และเกิดความร้อนจำนวนมากประมาณ 850 J/g การป้องกัน Flash set ทำได้โดยการเติมยิปซัมลงไประหว่างการบดซีเมนต์ กำลังอัดของ C_3A จะพัฒนาขึ้นภายใน 1-2 วัน แต่กำลังอัดค่อนข้างต่ำ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์จะมี C_3A อยู่ในปริมาณ 7-15 %

4) เตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF)

C_4AF ทำปฏิกิริยากับน้ำรวดเร็วมาก และก่อตัวภายในไม่กี่นาที ความร้อนที่เกิดขึ้นประมาณ 420 J/g กำลังอัดของ C_4AF ค่อนข้างต่ำ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_4AF อยู่ในปริมาณ 5-10 % สมบัติที่สำคัญของสารประกอบหลักทั้ง 4 ชนิด สรุปได้ดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2.3 สมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ [9]

สมบัติ	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน	เร็ว(ชม.)	ช้า(วัน)	ทันทีทันใด	เร็วมาก(นาที)
2. การพัฒนากำลังอัด	เร็ว(วัน)	ช้า(อาทิตย์)	เร็วมาก (วันเดียว)	เร็วมาก (วันเดียว)
3. กำลังอัด	สูง	ค่อนข้างสูง	ต่ำ	ต่ำ
4. ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน	ปานกลาง (500 J/g)	น้อย (250 J/g)	สูงมาก (850 J/g)	ปานกลาง (420 J/g)
5. สมบัติอื่นๆ	สมบัติเหมือน ปอร์ตแลนด์ ซีเมนต์	-	ไม่คงตัวในน้ำ และถูกซัลเฟต ทำลายได้ง่าย	ทำให้ ปูนซีเมนต์มี สีเทา

2.4.5 สารประกอบรอง

2.4.5.1 ยิปซัม (CaSO₄·2H₂O)

ยิปซัมถูกใส่เข้าไปในระหว่างบดปูนเม็ด เพื่อทำหน้าที่ควบคุมเวลาการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ ปริมาณยิปซัมที่ใส่ต้องเหมาะสมเพื่อให้ซีเมนต์เฟลท์เกิดกำลังอัดสูงที่สุดและเกิดการหดตัวน้อยที่สุด ปริมาณยิปซัมที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับ

- 1) อัลคาไลน์ออกไซด์ ได้แก่ Na₂O และ K₂O
- 2) ปริมาณ C₃A
- 3) ความละเอียดของปูนซีเมนต์

2.4.5.2 Free lime (CaO)

เกิดขึ้นได้ 2 กรณีคือ

- 1) เมื่อวัตถุดิบมี Lime มากเกินไปทำให้ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับ SiO₂, Al₂O₃ และ Fe₂O₃ ได้หมด
- 2) ปริมาณ Lime มีไม่มากแต่จะทำปฏิกิริยากับออกไซด์ต่างๆไม่สมบูรณ์ Free lime นี้จะทำปฏิกิริยาอย่างช้าๆหลังจากที่ซีเมนต์แข็งตัวแล้ว ซึ่งอาจก่อให้เกิดการแตกร้าวเสียหายได้ หรือที่เรียกว่า ซีเมนต์ไม่อยู่ตัวเนื่องจาก Lime

2.4.5.3 แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)

วัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์ส่วนใหญ่จะมี $MgCO_3$ ซึ่งเมื่อเผาแล้วจะเกิดการแยกตัวให้ MgO และ CO_2 แมกนีเซียมออกไซด์บางส่วนจะหลอมเป็นปูนเม็ด ที่เหลือจะอยู่ในรูปของ MgO และเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเหมือนกับ CaO คือ ปริมาตรจะเพิ่มขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดการไม่อยู่ตัว การขยายตัวจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับ

1) ปริมาณของ MgO ในปูนซีเมนต์

2) ขนาดของ MgO ถ้าขนาดเล็กมาก ๆ จะทำปฏิกิริยาไฮเดรชันได้เร็ว โดยจะไม่ก่อให้เกิดการขยายตัวของซีเมนต์ที่แข็งตัว

2.4.5.4 อัลคาไลน์ออกไซด์ (Na_2O และ K_2O)

อัลคาไลน์ออกไซด์ที่อยู่ในปูนซีเมนต์นี้จะส่งผลเสียในกรณีที่ใช้มวลรวมบางประเภทที่ทำให้ปฏิกิริยากับอัลคาไลน์มาผสมเป็นคอนกรีต ผลจากปฏิกิริยาจะก่อให้เกิดการขยายตัวดันให้คอนกรีตแตกร้าวเสียหายยากต่อการแก้ไข ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้มวลรวมที่ทำปฏิกิริยากับอัลคาไลน์ ควรเลือกใช้ปูนซีเมนต์ที่มีอัลคาไลน์ต่ำ

2.4.6 "ความชื้น" ปัญหาในการจัดเก็บปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการใช้งานที่จำกัด ฉะนั้นการเก็บรักษาจำเป็นต้องกระทำเป็นพิเศษขึ้นเพื่อป้องกันความชื้นที่อาจทำให้ปูนซีเมนต์เกิดการแข็งตัว และเสื่อมคุณภาพไม่สามารถนำมาใช้งานได้ การกองปูนซีเมนต์ควรกองไว้เป็นกองวางอยู่บนไม้กระดานที่ทำเป็นพื้นยกให้สูงจากพื้นดินไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร เพื่อป้องกันความชื้น และน้ำฝนที่จะไหลมาจากที่อื่น มีหลังคาคลุมกันน้ำ ครอบงน้ำ มีฝาผนังทั้ง 4 ด้าน เพื่อป้องกันความชื้นจากอากาศมาทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดการแข็งตัวได้ การกองปูนซีเมนต์ควรกองซ้อนกัน 5 ชั้น แล้ววางสลับแบบขวางอีก 5 ชั้น ควรกองปูนซีเมนต์เป็นพวงๆ ไม่ให้ปะปนกัน กองใดมาก่อนก็นำไปใช้ก่อน กองใดมาทีหลังก็นำไปใช้ทีหลัง ไม่ควรกองปูนซีเมนต์ติดกับฝาผนังเพื่อป้องกันการขึ้น ควรกองให้ห่างจากฝาผนังประมาณ 80-100 เซนติเมตร กรณีที่ต้องการใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณมากๆ ควรสั่งซื้อปูนซีเมนต์มาใส่ลงในถังใหญ่หรือไซโล ถังใหญ่มักกล่าวว่าจะเป็นคอนกรีตหรือไม้ก็ได้ และควรป้องกันความชื้นที่จะมาทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดการแข็งตัวได้ เพราะ ปกติปูนซีเมนต์จะสามารถแข็งตัวได้ในน้ำ และในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน [9]

การก่อตัวและแข็งตัวของซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันขององค์ประกอบของซีเมนต์ โดยปฏิกิริยานี้เกิดเป็น 2 ลักษณะ คือ

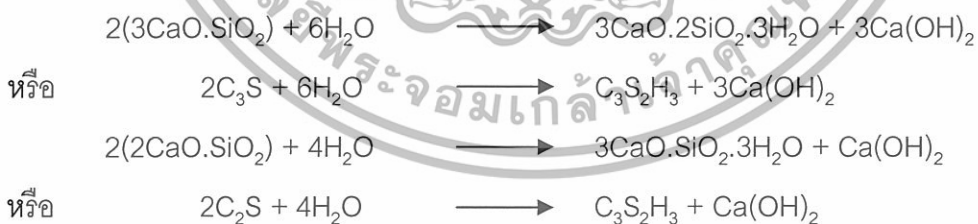
- 1) อาศัยสารละลายซีเมนต์จะละลายในน้ำ ก่อให้เกิดไอออนในสารละลาย และไอออนนี้จะผสมทำให้เกิดสารประกอบใหม่
- 2) การเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของแข็งโดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลาย ปฏิกิริยาประเภทนี้เรียกว่า “ปฏิกิริยาสถานะของแข็ง” (Solid state reaction)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์จะเกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะ โดยในช่วงแรกจะอาศัยสารละลาย และในช่วงต่อไปจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง

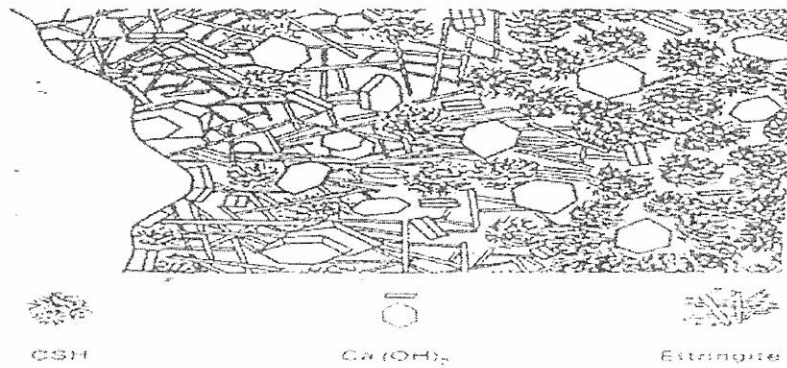
ซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจเกิดปฏิกิริยาต่อไป ทำให้มันแตกต่างจากปฏิกิริยาที่ได้ครั้งแรก ดังนั้นในที่นี้จะแยกพิจารณาปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักของซีเมนต์แต่ละประเภท

2.5.1 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของแคลเซียมซิลิเกต

แคลเซียมซิลิเกต (C_3S และ C_2S) จะทำปฏิกิริยากับน้ำก่อให้เกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium silicate hydrate : CSH) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน โดยมีสมการของการเกิดปฏิกิริยาดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

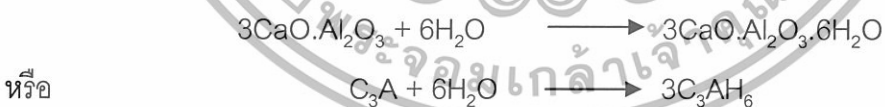


รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงปฏิกิริยาของแคลเซียมซิลิเกต [9]

จากปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้จะเกิดเจล ซึ่งเมื่อแข็งตัวจะมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการ คือ โครงสร้างที่ไม่สม่ำเสมอและมีรูพรุน องค์ประกอบทางเคมีของ CSH นี้ขึ้นอยู่กับเวลา อุณหภูมิ และอัตราการสูญเสียน้ำต่อซีเมนต์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันทำให้ซีเมนต์-เพสต์ที่มีสมบัติเป็นต่างอย่างมาก คือ มี pH ประมาณ 12.5 ซึ่งช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมแรงได้อย่างดี

2.5.2 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอะลูมิเนต

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (C_3A) จะเกิดขึ้นทันทีทันใด และก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของซีเมนต์เพสต์ ดังสมการ



เพื่อหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้อย่างรวดเร็ว จึงมีการใส่ยิปซัม ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) เข้าไปในระหว่างกระบวนการบดซีเมนต์ ยิปซัมจะทำปฏิกิริยากับไตรแคลเซียมอะลูมิเนตก่อให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวของอนุภาคไตรแคลเซียมอะลูมิเนต ดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นของ Ettringite ก่อให้เกิดการหน่วงตัวของ C_3A และทำให้การก่อตัวในช่วงแรกนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3S และ C_2S เป็นส่วนใหญ่ แต่ชั้นของ Ettringite ไม่ได้หยุดการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A กล่าวคือ เมื่อเกิด Ettringite จะเกิดแรงดันที่มากจากการเพิ่มปริมาตรของของแข็ง แรงดันนี้จะทำให้ชั้นของ Ettringite แตกออก และเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A แต่เมื่อเกิดการแตกตัวจะเกิด Ettringite ใหม่เข้าไปแทนที่เป็นการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันอีกครั้งหนึ่ง ชั้นตอนจะเป็นอย่างนี้ไปจนกระทั่งซัลเฟตไอออนมีปริมาณไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิด Ettringite ไปเป็นโมโนซัลเฟต

2.5.3 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตระแคลเซียมอะลูมิเนียมเฟอไรต์

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตระแคลเซียมอะลูมิเนียมเฟอไรต์ (C_4AF) นี้จะเกิดในช่วงต้น โดย C_4AF จะทำปฏิกิริยากับบิซซิมและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ก่อให้เกิดอนุภาคมีรูปร่างเหมือนเข็มของซัลโฟอะลูมินेटและซัลโฟเฟอไรต์ ดังสมการ



เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันขององค์ประกอบหลักในปูนซีเมนต์จนเสร็จสิ้นประมาณ 80% จะมีค่าแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 กระบวนการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตระแคลเซียมอะลูมินेट [9]

สารประกอบหลัก	เวลา (วัน)
C_3S	10
C_2S	100
C_3A	3
C_4AF	50

2.6 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และปฏิกิริยา Pozzolanic [9,10]

ในซีเมนต์เพสต์ประกอบด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ มีปริมาณร้อยละ 20 ถึง 25 โดยปริมาตร มีประโยชน์ในการเป็นฟิล์มเคลือบผิวเหล็กในคอนกรีตเสริมเหล็กทำให้เหล็กเป็นสนิมช้าลง แต่โดยส่วนใหญ่แล้วแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีประโยชน์ต่อคอนกรีตค่อนข้างน้อย นอกจากนี้ยังเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อให้เกิดผลเสียกับคอนกรีตดังนี้

1. แคลเซียมไฮดรอกไซด์จะตกตะกอนเป็นผลึกแทรกตัวอยู่ภายในคอนกรีต เมื่อสัมผัสกับน้ำจะถูกชะล้างออกไปก่อให้เกิดช่องว่าง (Void) ภายในคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีการซึมผ่านของน้ำหรือก๊าซต่างๆ ที่สูงขึ้น
2. แคลเซียมไฮดรอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในบรรยากาศที่ซึมผ่านคอนกรีตเข้าไปทำให้เกิดแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) ดังสมการ

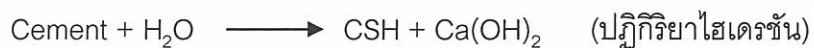


ก่อให้เกิดพฤติกรรมที่เรียกว่า คาร์โบเนชัน (Carbonation) ส่งผลเสียในการเปลี่ยนขนาดและปริมาตรของคอนกรีต เรียกว่า Carbonation shrinkage นอกจากนี้คาร์โบเนชันยังทำลายฟิล์มที่เคลือบเหล็กเสริมทำให้เหล็กเป็นสนิมง่ายขึ้น

3. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดการกัดกร่อนจากปฏิกิริยาซัลเฟต
4. แคลเซียมไฮดรอกไซด์มีผลต่อแรงยึดเหนี่ยว (Bond strength) ระหว่างซีเมนต์กับมวลรวม กล่าวคือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มที่จะตกตะกอนเป็นผลึกในบริเวณผิวระหว่างซีเมนต์กับมวลรวมหยาบทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดลดลงได้

ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าว จึงต้องลดปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อให้คอนกรีตมีความทนทานขึ้น

สารที่มีสมบัติเป็นสาร Pozzolan เช่น เถ้าลอยลิกไนต์แม่เกาะ มีส่วนประกอบหลักที่สามารถทำปฏิกิริยาเคมีได้ อยู่ในรูปสารประกอบของ ซิลิกาและอะลูมินา เมื่อผสมกับปูนซีเมนต์ในสภาพที่มีความชื้น ในระยะแรก น้ำกับปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดเป็นสารเชื่อมประสานที่แข็งตัว เช่น Calcium silicate hydrate, Calcium aluminate hydrate และเป็นสารละลาย Ca(OH)₂ อีสารอยู่ในโพรงของเนื้อคอนกรีต (Pore solution) ซึ่งสามารถถูกชะล้างออกไปได้ ในช่วงต่อมาสาร Pozzolan จะเข้าทำปฏิกิริยาปอซโซลานิก (Pozzolanic) กับสาร Ca(OH)₂ ส่วนนี้ เกิดเป็นสารเชื่อมประสานชนิดเดียวกันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คอนกรีตเหลือปริมาณ Ca(OH)₂ น้อยลง มีความแข็งแรงในระยะยาวเพิ่มขึ้น และมีความคงทนเพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 องค์ประกอบของเพสต์ [11]

คอนกรีตที่ผสมใหม่ๆ และยังไม่เหลวพอเทได้อยู่นั้น ส่วนที่เป็นของแข็งทั้งหมดรวมทั้งซีเมนต์ จะลอยตัวอยู่ในน้ำชั่วคราว อนุภาคเล็กๆ แต่ละเอียดจะถูกคั่นด้วยชั้นบางๆ การแยกตัวของอนุภาคนี้ และผลของการหล่อลื่นของชั้นน้ำรวมทั้งแรงยึดระหว่างอนุภาคที่ละเอียดที่สุด ทำให้ส่วนผสมมี ลักษณะเหลวพอเทได้ดี

คอนกรีตอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ เพสต์และมวลรวมที่เป็นแร่ธาตุ อนุภาค ของมวลรวมจะฝังตัวและถูกหุ้มด้วยเพสต์ ปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดเท่ากับปริมาตรของเพสต์ บวกกับปริมาตรของมวลรวม และปริมาตรของอากาศที่อยู่ในช่องว่าง แสดงดังรูป 2.3

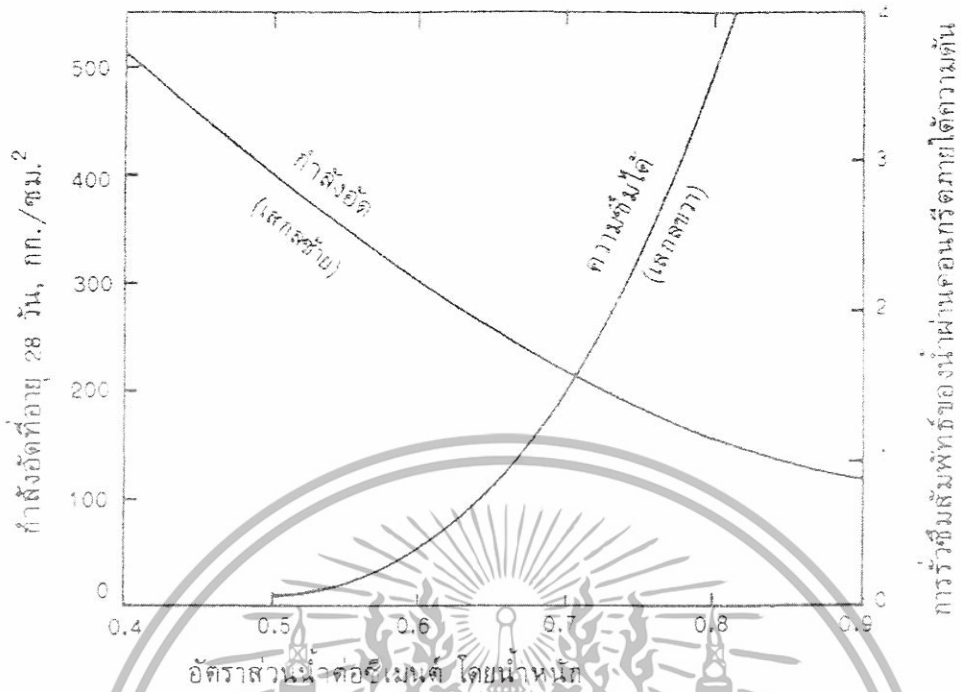


รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของเพสต์ [11]

เนื่องจากเพสต์เป็นตัวหุ้มและกั้นอนุภาคของมวลรวมให้ออกห่างจากกัน กำลังของ คอนกรีตจึงขึ้นอยู่กับกำลังของเพสต์นั่นเอง สารประกอบบางอย่างในเพสต์ที่แข็งตัวอาจจะละลาย น้ำได้ และอัตราการละลายน้ำส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเพสต์ ถ้าเพสต์ที่ยังแน่น อัตรา การละลายก็ยิ่งช้าลง ฉะนั้นเพสต์จะต้องแข็งแรงและแน่น โดยเฉพาะในงานคอนกรีตที่ต้องแช่น้ำ อยู่ตลอดเวลา

กำลังและความหนาแน่นของเพสต์ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับปริมาณแรกเริ่มของน้ำซึ่งบรรจุอยู่ใน ช่องว่างรอบซีเมนต์ แสดงดังรูป 2.4 และขึ้นอยู่กับขนาดของปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ ปริมาณน้ำซึ่งบรรจุในช่องว่างนี้ปกติจะอยู่ในรูปของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และต้องกำหนดให้มีการบ่มเพื่อให้ปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำเกิดได้ตามต้องการ

อัตราส่วนซีเมนต์ต่อน้ำนี้เดิมมักจะเป็นปริมาตรของน้ำเป็นลิตรต่อซีเมนต์หนึ่งถุง แต่ ปัจจุบันใช้วิธีที่ดีกว่า คือ ระบุเป็นน้ำหนัก คือ กิโลกรัมของน้ำต่อซีเมนต์หนึ่งกิโลกรัม



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด การร้าวซึมสัมพัทธ์ของน้ำของคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างๆกัน [6]

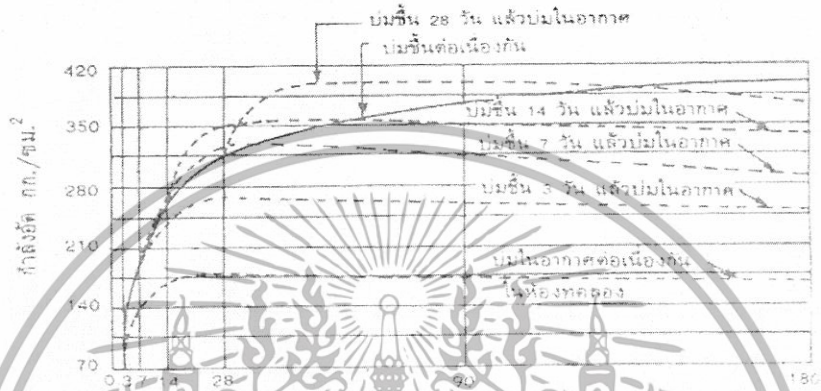
2.8 กระบวนการแข็งตัว [11]

เวลาที่ต้องการสำหรับการทำปฏิกิริยาของซีเมนต์กับน้ำอย่างสมบูรณ์นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสม ชนิดของซีเมนต์และอุณหภูมิโดยรอบบริเวณ สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำกว่า 0.25 โดยน้ำหนักจะขึ้นกับการให้น้ำจากภายนอกด้วย ถ้าบ่มคอนกรีตที่ใช้กันตามธรรมดาเป็นเวลาหนึ่งเดือนโดยให้อยู่ในสภาวะมาตรฐานของห้องทดลอง พบว่าซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำกว่า 80% อย่างไรก็ตามสภาพในสนามคอนกรีตจะแห้งภายในไม่กี่วัน หลังจากนั้นซีเมนต์ยังคงทำปฏิกิริยากับน้ำต่อไปโดยอาศัยน้ำที่ซึมมาจากใต้ดิน หรือจากความชื้นในขณะที่ฝนตกหรือขณะที่ความชื้นในอากาศสูง ดังนั้นภายใต้สภาวะแวดล้อมธรรมดาการทำปฏิกิริยาของซีเมนต์กับน้ำจะยังคงมีต่อไปอีกหลายปี

อัตราการเพิ่มกำลังแตกต่างกับอัตราการทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิปกติปฏิกิริยาขั้นแรกจะทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงขึ้นเล็กน้อย กำลังคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการทำปฏิกิริยาของซีเมนต์ ดังนั้นถ้าคอนกรีตแห้งลงปฏิกิริยาของซีเมนต์ตลอดจนการเพิ่มกำลังจะหยุดทันที แสดงดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าอุณหภูมิโดยรอบสูงขึ้นอัตราการทำปฏิกิริยาก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ที่อุณหภูมิธรรมดาผลที่ได้จากปฏิกิริยาของซีเมนต์จะเป็นในรูปของสารคล้ายเจลเป็นส่วนใหญ่ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะกลายเป็นผลึกขนาดเล็กจำนวนมาก อุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นเท่าไร ปริมาณ “เจล” ต่อหน่วยซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยาแล้วจะน้อยลงเท่านั้น



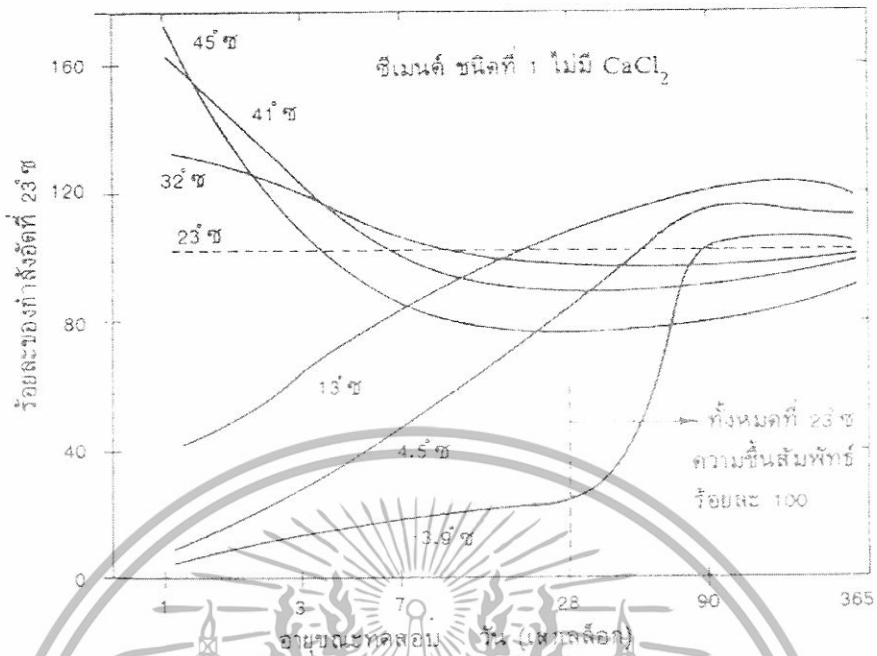
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและระยะเวลาการบ่มคอนกรีต [11]

การเปลี่ยนแปลงของเจลที่เกิดจากอุณหภูมิสูง จะทำให้แรงอัดสูงสุดของคอนกรีตต่ำลง นอกจากนี้ยังลดการหดตัวอันเนื่องมาจากการแห้งของคอนกรีตอีกด้วย

2.9 การบ่ม [11]

การบ่มเป็นการทำเพื่อป้องกันรอยร้าวที่ผิวคอนกรีต เนื่องจากการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็ว ในขณะที่คอนกรีตมีลักษณะเหลวพอเทได้อยู่และเป็นการทำให้ได้กำลังตามต้องการ และเนื่องจากซีเมนต์ในคาน เสา และแผ่นพื้นที่ไม่อยู่ติดกับดินขึ้นอาจจะหยุดทำปฏิกิริยากับน้ำทันทีหลังจากหยุดบ่ม ปฏิกิริยาจะดำเนินต่อไปได้ก็ต่อเมื่อมีความชื้นสูงกว่า 80% เท่านั้น ในทางตรงกันข้ามถ้าอยู่ในที่ชื้นปฏิกิริยาจะดำเนินไปด้วยดีโดยไม่ต้องมีการบ่ม จุดประสงค์ของการบ่มก็คือ ป้องกันการเสียน้ำเร็วเกินไปเพื่อให้ได้ความแข็งแรงในระยะแรกตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของกำลังอัด อุณหภูมิการบ่ม อายุคอนกรีตขณะทดสอบ [11]

เพสท์ของซีเมนต์ควรอยู่ในสภาพอิ่มตัวที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้อัตราการทำปฏิกิริยาสูงสุดในอุณหภูมิหนึ่ง ดังนั้นควรให้น้ำเพื่อชดเชยส่วนที่ระเหยไปจากผิว และเพื่อเติมน้ำที่หายไปจากรูพรุนอื่นเนื่องมาจากกระบวนการทางเคมี ที่เรียกว่า การแห้งด้วยตัวเอง (Self desiccation) สำหรับส่วนผสมธรรมดาปริมาณน้ำสำหรับเติมส่วนที่ขาดไปเนื่องจากการแห้งในตัวเองนี้มีประมาณ 2 ลิตรต่อซีเมนต์ 1 ถุง (50 kg) ระหว่างสัปดาห์แรก

ถ้าต้องการจะทำผิวคอนกรีตให้มันเงา จะต้องให้ผลของการแห้งในตัวเองหยุด ปฏิกิริยาของเพสท์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำกว่า 20 ลิตรต่อซีเมนต์ 1 ถุง (0.4% โดยน้ำหนัก) ถ้าเพสท์มีปริมาณน้ำในตอนแรกสูง การแห้งในตัวเองจะไม่ถึงกับทำให้ปฏิกิริยาหยุดเพียงแต่ทำให้ช้าลงเท่านั้น

การใช้สารผนึกในการบ่มจะมีข้อจำกัดเมื่อใช้กับส่วนผสมที่มีซีเมนต์มากๆ ยิ่งกว่านั้นสารเหล่านี้เพียงแต่ทำให้น้ำซึมเข้าเท่านั้น แต่ไม่ใช่ผนึกแน่นอย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้กับส่วนผสมที่มีอัตราส่วนธรรมดา อาจทำให้น้ำระเหยช้าลงพอที่จะทำให้คอนกรีตได้กำลังตามต้องการภายในเวลาที่กำหนด

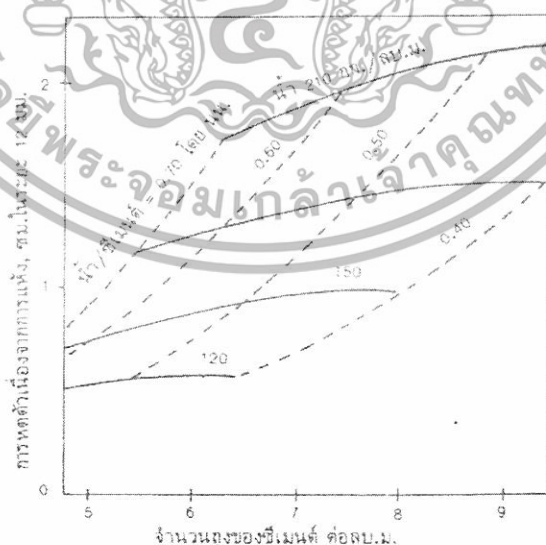
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 การหดตัวและพองตัว [11]

ถ้ารักษาคอนกรีตให้มีความชื้นอย่างสม่ำเสมอคอนกรีตจะขยายตัวอย่างช้าๆเป็นเวลาหลายปี แต่ทั้งปริมาณและอัตราการขยายตัวนี้ปกติน้อยมากจนถือได้ว่าปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง ภายใต้สภาพบรรยากาศอย่างหนึ่งแล้ว ถ้าความชื้นในอากาศลดลงคอนกรีตก็จะเสียน้ำไปบ้างหรือถ้าความชื้นสูงขึ้นคอนกรีตก็จะได้น้ำเพิ่มขึ้น เพลสท์ที่แข็งตัวแล้วนั้นสามารถที่จะดูดน้ำได้ดี ฉะนั้นเพลสท์และคอนกรีตจะเป็นส่วนที่หดตัวหรือพองตัวเมื่อปริมาณน้ำเปลี่ยนแปลง

ในการเปลี่ยนแปลงจากสถานะอิ่มตัวไปเป็นสถานะแห้ง (ความชื้นสัมพัทธ์ 50%) คอนกรีตทั่วไปจะหดตัวประมาณ 0.6 mm/m หรือ 0.06% ซึ่งเทียบเท่ากับการหดตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง 37.8 °C

ปริมาณการหดตัวของคอนกรีตภายใต้สภาวะการทำให้แห้งที่กำหนดให้ขึ้นอยู่กับหลายสิ่งด้วยกัน เพลสท์ที่แข็งตัวยิ่งพรุนมากเท่าไรก็ยิ่งหดตัวมากขึ้นเท่านั้น ถ้าใช้เพลสท์ชนิดเดียวกับคอนกรีตยังมีปริมาณเพลสท์มากก็จะหดตัวมาก การเติมส่วนผสมที่ละเอียดเป็นผงในคอนกรีตปกติจะทำให้เกิดการหดตัวมากขึ้น คอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ชนิดต่างๆกันจะหดตัวต่างกัน แสดงดังรูปที่ 2.7 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมดของคอนกรีตสด และการหดตัวของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว สำหรับส่วนผสมต่างๆกันแต่ใช้วัสดุชนิดเดียวกัน จะเห็นว่าปริมาณน้ำมีผลต่อการหดตัว

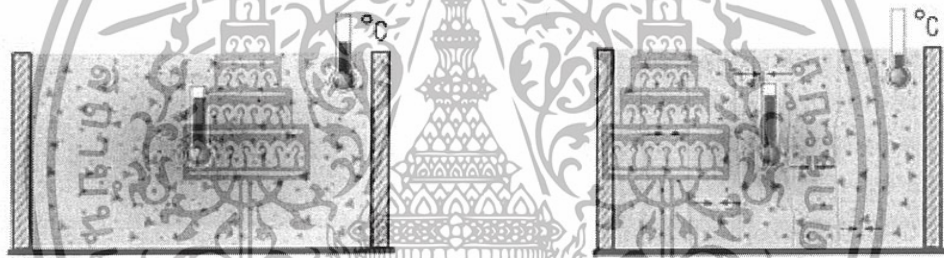


รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และปริมาณน้ำในคอนกรีต [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 กลไกการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันในมวลคอนกรีต [12]

คอนกรีตในขณะที่เริ่มแข็งตัวใหม่ๆจะมีสมบัติในการถ่ายเทความร้อนได้ดีต่ำ ดังนั้น เมื่อเทคอนกรีตลงในโครงสร้างที่มีความหนามาก ความร้อน (ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์) ภายในมวลจะถ่ายเทออกไปสู่ภายนอกได้ช้ากว่าส่วนที่อยู่ใกล้กับผิวของคอนกรีต และจะสะสมขึ้นไปเรื่อยๆ และในขณะนั้นความต้านทานต่อความยืดหยุ่นของคอนกรีตยังมีน้อย เมื่อเกิดการหดตัวที่ต่างกันภายในเนื้อคอนกรีตระหว่างส่วนที่มีอุณหภูมิต่างกันมากหรือเกิดจากคอนกรีตบางส่วนถูกยึดรั้งจากภายนอก (เช่น จากผิวคอนกรีตส่วนที่อยู่ติดกันแต่แข็งตัวไปก่อนแล้ว) เนื้อคอนกรีตอาจเกิดการแตกร้าวขึ้นได้ตั้งแต่มิแข็งตัวเต็มที่ ทั้งนี้ บริเวณที่มักเกิดการแตกร้าวสูงจะอยู่ในส่วนที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อระยะทาง (Temperature gradient) สูงกว่าส่วนอื่น แต่โดยทั่วไปถ้าความแตกต่างกันของอุณหภูมิระหว่างส่วนที่อยู่ภายในมวลคอนกรีตกับส่วนที่ใกล้ผิวนอกไม่เกิน 30°C มักไม่เกิดปัญหาการแตกร้าวตามมาภายหลัง



บริเวณผิวภายนอกคอนกรีตสามารถถ่ายเทความร้อนได้เร็วกว่าภายใน การเย็นตัวของคอนกรีตที่ไม่เท่ากัน ก่อให้เกิดการยัดรั้ง และแตกร้าวในที่สุด

รูปที่ 2.8 กลไกการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันในมวลคอนกรีต [12]

การแตกร้าวนี้ หากเกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงต้นของอายุคอนกรีต จะมีผลให้คุณสมบัติของคอนกรีตในระยะยาว เช่น กำลังรับแรง และความทึบน้ำลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ความคงทนของคอนกรีตในระยะยาวลดลงด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากโครงสร้างคอนกรีตนั้นต้องเผชิญกับสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง เช่น ต้องสัมผัสกับน้ำเสีย น้ำทะเล น้ำกร่อย หรือสภาพอากาศที่มีก๊าซ CO_2 สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 เส้นใยธรรมชาติ

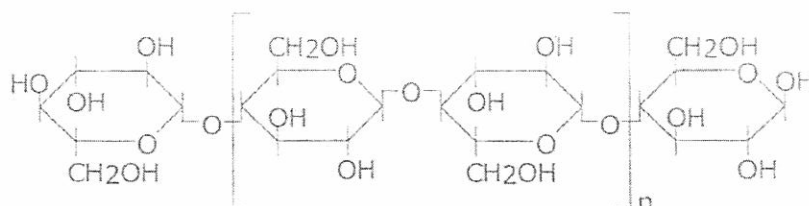
เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) เป็นอินทรีย์วัสดุที่สำคัญ หาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้เรื่อยๆ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้เส้นใยธรรมชาติจึงนิยมใช้เป็นสารช่วยกระจายตัวในพลาสติก โดยอาจเป็นทั้งสารตัวเติมและสารเสริมแรงเพื่อเป็นการลดต้นทุน เพิ่มปริมาณการผลิต และเสริมแรงแก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเส้นใยที่นำมาใช้

โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยธรรมชาติประกอบไปด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เป็นส่วนใหญ่ องค์ประกอบที่เหลือเป็นเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่นๆ

2.12.1 เซลลูโลส

เซลลูโลส (Cellulose) เป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) เชิงเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆกัน มีสูตรโมเลกุลทั่วไปคือ $(C_6H_{12}O_6)_n$ เป็นโครงสร้างโมโนเอื่อพีซ โดยพบร่วมกับลิกนิน เพนโตแซน กัม แทนนิน ไขมัน สารที่ทำให้เกิดสี เป็นต้น เซลลูโลสจะมีหน่วยโมเลกุลยาวและแข็ง โดยเซลลูโลสจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมี แสดงดังรูป 2.9

เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมาก และโครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสยังจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมาก อุณหภูมิในการหลอมตัวจึงสูงมาก มักจะเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว และมีความสามารถในการละลายต่ำ เซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี ในทางอุตสาหกรรมจะหาน้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณได้โดยการวัดหาความหนืด



รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

ความหนาแน่นของเซลลูโลสประมาณ 1.5 g/cm^3 ความหนาแน่นของเส้นใยเดี่ยวมีค่าไม่แน่นอน ซึ่งแปรตามแหล่งที่มาและการปรับปรุงทางเคมี เซลลูโลสเป็นของแข็งไม่มีสี มีการดูดและคายไอน้ำและของเหลวอื่นๆที่อยู่ในบรรยากาศรอบๆจนกระทั่งถึงสมดุล ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อสมบัติบางอย่าง เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เซลลูโลสไม่ละลายน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะละลายในกรดแร่เข้มข้น เช่น 72% ของกรดซัลฟิวริก 40% ของกรดไฮโดรคลอริก และ 78% ของกรดฟอสฟอริก เซลลูโลสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็วในสารละลายกรดแร่ที่อุณหภูมิห้อง และปฏิกิริยาจะหยุดที่อุณหภูมิต่ำๆ และสารละลายเกลือเข้มข้นบางชนิด เช่น 72% ของซิงค์ออกไซด์ จะทำให้เซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆละลายได้

2.12.2 เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่ง ซึ่งคล้ายเซลลูโลสแต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กัลลุโคส กาแล็กโทส แมนโนสไซโลส อะราบิโนส รวมทั้งกรดกลูคูโรนิกและกาแล็กทูโรนิก เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่นๆ เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ พบมากในแกลบ ช้างข้าวโพด เฮไซเซน เฮมิเซลลูโลสมีสูตรทางเคมีคือ $(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5)_n$ โครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 2.10

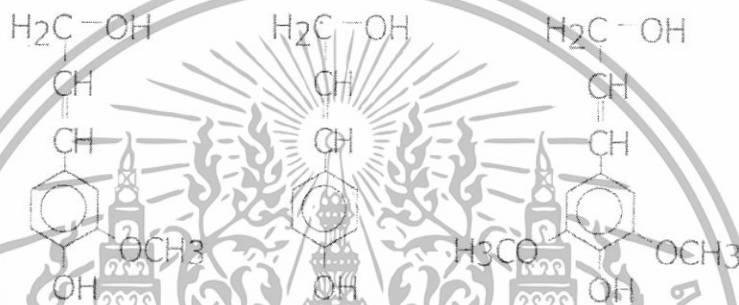


รูปที่ 2.10 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

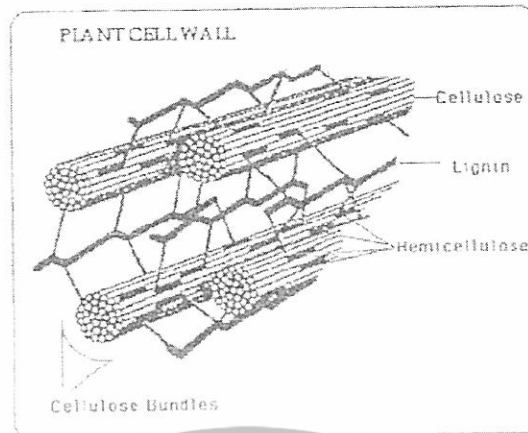
2.12.3 ลิกนิน

ลิกนิน (Lignin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) รวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิดซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา ตัวอย่างโครงสร้างของลิกนินแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของลิกนิน [13]

ไม้แต่ละชนิดมีอัตราส่วนระหว่าง เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของไม้ โดยไม้ที่มีลิกนินมากจะมีความแข็งแรงสูงและในไม้ชนิดเดียวกัน ไม้ที่มีอายุน้อยจะมีลิกนินมากกว่า โดยการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้ จะเป็นไปดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้ [13]

2.12.4 ยูคาลิปตัส

ไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus) เป็นไม้ที่สำคัญมากในปัจจุบัน โดยต้นยูคาลิปตัสจะมีลักษณะสูง โตง่าย ปลูกได้ในทุกสภาพดิน มีความทนทาน เมื่อปลูกแล้วสามารถตัดได้ 2-3 ครั้ง โดยไม่ต้องปลูกใหม่ ด้วยเหตุผลดังกล่าว ไม้ยูคาลิปตัสจึงเป็นที่นิยมปลูกและใช้งาน โดยลักษณะของต้นยูคาลิปตัส แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ลักษณะของต้นยูคาลิปตัส [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นยูคาลิปตัส คามาดูเลนซิส (*Eucalyptus camaldulensis*) เป็นต้นยูคาลิปตัสที่ปลูกได้ดีในประเทศไทย โดยลักษณะของไม้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนนอกสุดเป็นเปลือกจะมีสีซีดหรือครีม และจะมีเขตของเนื้อไม้ที่มีสีต่างออกไปมาก คือส่วนที่เรียกว่า แก่น (Heartwood) เป็นส่วนที่มีสีน้ำตาลเข้ม และนอกแก่นจะมีสีขาวกว่า เรียกว่า กระจี้ (Sapwood) ส่วนนี้จะมีความหนาขึ้นตามอายุไม้ ส่วนของกระจี้สามารถถูกทำลายได้ง่ายโดยแมลงหรือเห็ด รา ต่างๆได้มากกว่าแก่น ถึงแม้ว่าส่วนประกอบของเซลล์และโครงสร้างของกระจี้และแก่นเหมือนกัน แต่การสะสมของสารเคมีกระจี้จะถูกดูดซึมเข้าไปได้ง่ายกว่าแก่น และกระจี้จะมีสภาวะที่จะถูกซึมซับโดยสารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อได้เป็นอย่างดีจึงเป็นประโยชน์ในอุตสาหกรรมทำกระดาษได้ดี

องค์ประกอบทางเคมีของไม้ยูคาลิปตัส แสดงดังตารางที่ 2.5 ซึ่งแสดงว่าเมื่อนำไม้ยูคาลิปตัสคามาดูเลนซิสที่มีอายุ 3-10 และ 15 ปีมาเปรียบเทียบกัน จะพบว่าไม้ยูคาลิปตัสที่มีอายุ 3 ปีจะมีปริมาณลิกนินและปริมาณน้ำตาลมากกว่าไม้ที่มีอายุ 10 และ 15 ปี เมื่อพิจารณาปริมาณเซลลูโลสพบว่า 53.43 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าไม้ที่มีอายุ 10 และ 15 ปี จากเหตุผลนี้จึงพอสรุปได้ว่า ไม้ยูคาลิปตัสคามาดูเลนซิสที่มีอายุน้อยสามารถนำไปใช้ในประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมต่างๆได้

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ยูคาลิปตัสคามาดูเลนซิส [13]

องค์ประกอบ	ไม้อายุ 3 ปี	ไม้อายุ 10 ปี	ไม้อายุ 15 ปี
ลิกนิน	29.90	27.75	26.60
เซลลูโลส	53.43	58.36	58.18
เฮมิเซลลูโลส	78.50	73.66	73.73
เพนโตซาน	19.45	17.01	17.15
ซีเถ้า	0.44	0.33	0.43

การเตรียมเยื่อไม้

เยื่อไม้ยูคาลิปตัสสามารถเตรียมได้จาก 2 กระบวนการ คือ กระบวนการความร้อนเชิงกล และกระบวนการทางเคมี ซึ่งสามารถเตรียมได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) เยื่อไม้ยูคาลิปตัสที่เตรียมได้จากกระบวนการความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp ; TMP)

วิธีความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulping) เป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีการผลิตเยื่อทางกลโดยการบด (Refined mechanical pulping) เริ่มจากการนำชิ้นไม้หรือวัตถุดิบเข้าในถังไอน้ำภายใต้ความดันไอ จนอุณหภูมิไอน้ำสูงกว่า 140 °C ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้ลิกนินอ่อนตัว เรียกว่าจุดเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition point) หรือจุดนิ่มตัว (Softening point) แล้วจึงทำการบดชิ้นไม้ให้แยกออกจากกันภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง เป็นเส้นใยหรือกลุ่มของเส้นใย การบดใช้วิธีการเสียดสี (Attrition action) ของเครื่อง Defibrators หรือ Attrition mills ซึ่งประกอบด้วยจานบดที่มีผิวหยาบเป็นร่อง 2 จาน หมุนสวนทางเสียดสีกันให้ชิ้นไม้ที่อยู่ระหว่างจานทั้งสองแตกแยกออกเป็นกลุ่มเยื่อ ผลผลิตของเยื่อที่ได้ประมาณ 90-95% ขึ้นอยู่กับสภาวะในการแยกเยื่อ ได้แก่ อุณหภูมิหรือความดันไอน้ำ เวลาในการนึ่งชิ้นไม้และเวลาในการบดเยื่อ จะมีความผันแปรไปขึ้นอยู่กับชนิดไม้หรือวัตถุดิบ ความหนาแน่นของไม้หรือวัตถุดิบ ความชื้น และรูปทรงเรขาคณิตของชิ้นไม้

2) เยื่อไม้ยูคาลิปตัสที่ได้จากกระบวนการทางเคมี (Chemical pulp ; CP)

วิธีทางเคมี (Chemical pulp) จะทำการแยกเยื่อในถังปฏิกรณ์ (Reactor) ภายในอุณหภูมิและความดันสูงประมาณ 125-180 °C ซึ่งไม่มีกระบวนการเชิงกลในการแยก แต่ใช้สารประกอบเคมีที่มีสภาวะเป็นด่าง เรียกว่า Alkaline process หรือสารประกอบเคมีที่มีสภาวะเป็นกรด เรียกว่า Acidic (Sulfite) process เข้าทำปฏิกิริยาละลายลิกนินที่อ่อนตัวแล้ว (Delignification) ออกจากไม้หรือชิ้นวัตถุดิบจนได้เป็นเส้นใย กระบวนการนี้จะทำให้ผลผลิตต่ำเพียง 40-60 % ระยะเวลาในการแยกเยื่อก็จะมากกว่า 1-5 ชั่วโมง ต้นทุนสูงแต่เยื่อที่ได้จะมีความบริสุทธิ์มากกว่า เนื่องจากลิกนินและเซลลูโลสจะถูกแยกออกเกือบหมด ลักษณะเส้นใยจะยุบและอ่อนตัวจากเดิมที่มีความแข็งกระด้างและรูปร่างทรงกลม กลายเป็นลักษณะคล้ายโบว์บิน ที่มีพื้นที่ผิวมากขึ้น เพื่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) ซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการของกระบวนการทำกระดาษหลังจากเตรียมเส้นใยเสร็จแล้ว นำเส้นใยที่บดแล้วไปล้างด้วยน้ำ หลังจากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 วัน โดยก่อนการทดลองต้องทำการคัดแยกขนาดอนุภาคเส้นใยไม้ โดยใช้เครื่องร่อนแยกขนาด ได้เส้นใยที่พร้อมใช้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยไม้ TMP และ CP [13]

องค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition)	เส้นใยไม้		หน่วย (Unit)
	TMP	CP	
1. สารแทรก			
- ความสามารถในการละลายแอลกอฮอล์- เบนซีน (Alcohol-benzene solubility)	2.47	0.26	% โดยน้ำหนักอบแห้ง
- ความสามารถในการละลายแอลกอฮอล์ (Alcohol solubility)	0.07	0.08	% โดยน้ำหนักอบแห้ง
- ความสามารถในการละลายน้ำร้อน (Hot water solubility)	6.72	3.58	% โดยน้ำหนักอบแห้ง
2. ความสามารถในการละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ 1% (1% NaOH solubility)	24.54	5.39	% โดยน้ำหนักอบแห้ง
3. ไฮโดรเซลลูโลส (Hemicellulose)	62.59	94.99	% โดยน้ำหนักอบแห้ง
4. ลิกนิน (Lignin)	28.05	1.08	% โดยน้ำหนักอบแห้ง
5. เพนโตแซน (Pentosan)	13.32	13.46	% โดยน้ำหนักอบแห้ง
6. แอลฟาเซลลูโลส (α - Cellulose)	60.49	86.32	% โดยน้ำหนักอบแห้ง

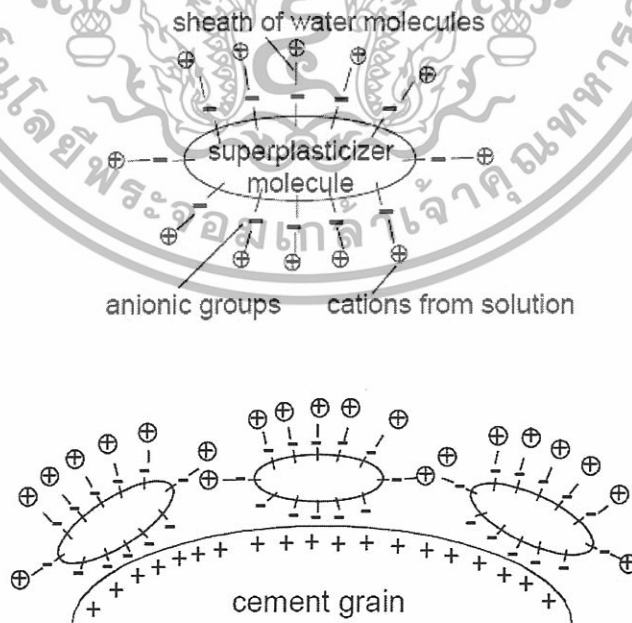
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 ซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์ (Rheobuild®) [14]

ซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์ (Rheobuild®) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีคอนกรีต เนื่องจากปัจจุบันในหลายๆการใช้งานต้องการให้คอนกรีตมีการไหลที่ดี สามารถดูดน้ำได้ โดยการเพิ่มความสามารถในการไหล (Flowability) ซึ่งสามารถทำให้เพิ่มขึ้นได้ โดยการเพิ่มปริมาณน้ำลงไป แต่อย่างไรก็ดี เนื่องจากน้ำส่วนเกินจะไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีกับซีเมนต์ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ของเม็ดปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดมีน้ำแทรกอยู่ในโครงสร้างเป็นผลให้เกิดช่องว่างภายในวัสดุขึ้นซึ่งทำให้ค่าความแข็งแรงกดอัดลดลง

การใส่ซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์ 1% w/w (เมื่อเทียบกับปริมาณซีเมนต์) จะมีผลเท่ากับการใส่น้ำลงไป 20% โดยจะไม่ทำให้เกิดรูพรุนภายในคอนกรีต ดังนั้นจึงทำให้ค่าความแข็งแรงกดอัดเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์ลงไป

ผลของซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์ คือ ช่วยให้การกระจายของเม็ดซีเมนต์มากขึ้น ประจุลบในโมเลกุลของซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์จะไปดูดติดบนผิวของเม็ดซีเมนต์ และเนื่องจากซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์ถูกผสมลงไปกับสารละลายจึงทำให้ประจุบวกจากสารละลายเข้ามาจับกับประจุลบของซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์ จึงทำให้บริเวณผิวด้านนอกเป็นประจุบวก แสดงดังรูปที่ 2.14 ดังนั้นเมื่อเม็ดซีเมนต์ที่ถูกล้อมรอบด้วยซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์แล้วจะเกิดการผลักกันจึงทำให้สมบัติการไหลของเม็ดซีเมนต์ดีขึ้น เพราะเม็ดซีเมนต์ไม่จับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน



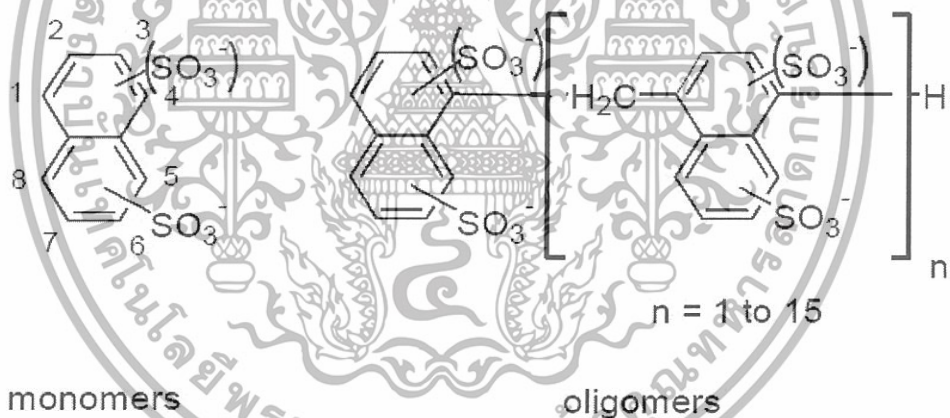
รูปที่ 2.14 กลไกการทำงานของซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์ (Rheobuild®) [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซูเปอร์พลาสติกไฮเซออร์เป็นสารจำพวกสารควบแน่นระหว่างซัลโฟเนตแนฟทาลีน กับ ฟอรัมาลดีไฮด์ (Sulfonated naphthalene-formaldehyde condensates (SNFC)), สารควบแน่นระหว่างซัลโฟเนตเมลามีนกับฟอรัมาลดีไฮด์ (Sulfonated melamine-formaldehyde condensates) และลิกโนซัลโฟเนต (Lignosulfonates) แต่ซูเปอร์พลาสติกไฮเซออร์ชนิดใหม่เป็นสารจำพวกพอลิคาร์บอกซีเลต (Polycarboxylates)

SNFC ที่สังเคราะห์จากปฏิกิริยาการควบแน่นของซัลโฟเนตแนฟทาลีน (Sulfonated naphthalene) กับฟอรัมาลดีไฮด์ โดยจากผลการทดสอบพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยโอลิโกเมอร์ (Oligomer) จะให้สมบัติดีกว่าการใช้โมโนซัลโฟเนต (Monosulfonated) และไดซัลโฟเนตโมโนเมอร์ (Disulfonated monomer) ที่ยังไม่ผ่านการควบแน่น

ผลิตภัณฑ์ SNFC ที่ใช้เป็นซูเปอร์พลาสติกไฮเซออร์จะใช้ในรูปของสารละลายที่ประกอบด้วย SNFC ประมาณ 15% โมโนซัลโฟเนตโมโนเมอร์ (Monosulfonated monomer) 10% ไดซัลโฟเนตโมโนเมอร์ (Disulfonated monomer) 25% และโอลิโกเมอร์ (Oligomer) ที่เป็นสายโซ่ยาวต่อกันมากกว่า 15 หน่วย 65%



รูปที่ 2.15 องค์ประกอบของ Sulfonated naphthalene-formaldehyde condensates (SNFC)

[14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.14.1 ผลการวิจัยปี 2548 [15]

จากโครงการพิเศษปี 2548 เรื่องการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากปูนซีเมนต์ผสมเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (TMP) มีผลดังนี้

• ผลของประเภทของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เกรดการค้าประเภทที่ 3 มีค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอสูงกว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมได้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เกรดการค้าประเภทที่ 1 แต่ไม่มีผลต่อค่าความหนาแน่น ความชื้น และค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ จึงนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เกรดการค้าประเภทที่ 3 มาใช้ในการศึกษาต่อเพื่อให้ได้สมบัติที่ดีขึ้น

• ผลของปริมาณเส้นใย

จากโครงการพิเศษปี 2548 พบว่าปริมาณเส้นใยที่ 15% มีค่าความชื้นและการพองตัวเมื่อแช่น้ำเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ลดลง และค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเส้นใย 10% จึงทดลองหาปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สมบัติที่ดีขึ้น โดยทดสอบปริมาณเส้นใยที่ 5% และ 10%

นอกจากนี้จะศึกษาถึงวิธีการผสม (ผสมแบบ Wet ผสมแบบ Dry-mix และผสมแบบ Pretreat) ผลของปริมาณเส้นใย และผลของการเติมซูเปอร์พลาสติไซเซอร์ (Rheobuild®)

2.14.2 ผลของการเคลือบเยื่อไม้ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมเยื่อไม้-ซีเมนต์ [16]

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลของปริมาณสารเคลือบ Sodium (N) silicate, Potassium (K) silicate และ Silane (Si) ที่เคลือบบนกระดาษหนังสือพิมพ์และเยื่อไม้จากกล่องกระดาษที่ไม่ได้ฟอกสี เพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมเยื่อไม้-ซีเมนต์ให้ดีขึ้น โดยเทียบกับวัสดุผสมที่ไม่ได้เคลือบ เยื่อไม้ทั้งสองชนิดถูกเคลือบด้วยสารละลายเข้มข้นและนำไปผสมกับน้ำและซีเมนต์ สมบัติการโค้งงอและสมบัติเชิงกลของตัวอย่างทำการทดสอบหลังจาก 28 วันของการไฮเดรชัน ผลของการศึกษานี้ทำให้รู้ได้ว่าสารละลายเคมีที่ไปเคลือบบนเยื่อไม้เพิ่มสมบัติบางประการของวัสดุผสมเมื่อเทียบกับวัสดุผสมที่ไม่ได้เคลือบ โดยการเพิ่มขึ้นของสมบัติจะขึ้นกับชนิดของสารเคมี และชนิดของเยื่อไม้ โดยสารเคลือบทั้ง 3 ชนิดที่เคลือบบนเยื่อกระดาษหนังสือพิมพ์จะทำให้ค่าความแข็งแรง (Normalized toughness) ของวัสดุผสมเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุผสมกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ไม่ได้เคลือบ ปริมาณ N silicate ที่มากที่สุดที่เคลือบบนเยื่อกระดาษหนังสือพิมพ์จะทำให้ความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Bending modulus) ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุผสมเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุผสมกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ไม่ได้เคลือบ ส่วนเยื่อจากกล่องกระดาษที่เคลือบด้วยสารทั้ง 3 ชนิดนี้จะทำให้ความแข็งแรงกดอัด ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ ของวัสดุผสมเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุผสมเยื่อกล่องกระดาษที่ไม่ได้เคลือบ และมีเพียงเยื่อจากกล่องกระดาษที่เคลือบด้วย Silane เท่านั้นที่ทำให้ค่าความแข็งแรงของวัสดุผสมเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุผสมจากเยื่อกล่องกระดาษที่เคลือบด้วยสารชนิดอื่น

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลทำให้ทราบว่าผลที่ได้จากการเคลือบด้วยสารเคมีจะมีการตอบสนองกับเยื่อไม้ต่างชนิดกันต่างกัน

2.14.3 ผลของโซเดียมซิลิเกตที่มีต่อเวลาที่ใช้ในการแข็งตัวและการคายความร้อนของสารประกอบเชิงซ้อนที่ประกอบด้วย High-aluminate cement, Liquid glass และ Metallurgical slag [17]

โดยจะศึกษาถึงปริมาณโซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate) ว่ามีผลต่อ Setting time และการคายความร้อนของสารประกอบเชิงซ้อน (Complex binder, CB) อย่างไร โดยสารประกอบเชิงซ้อนจะประกอบด้วย High-aluminate cement (HAC), Liquid glass และกากโลหะ

ค่าสูงสุด 2 ค่าที่สังเกตเห็นบนกราฟการคายความร้อน (Exothermal cure) ระหว่างที่เกิดกระบวนการไฮเดรชันของสารประกอบเชิงซ้อนในตัวอย่างที่ใช้โซเดียมซิลิเกตมากกว่า 4% ซึ่งค่าอุณหภูมิสูงสุดค่าแรกของการคายความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมซิลิเกตกับกากโลหะ และค่าอุณหภูมิสูงสุดค่าที่ 2 ของการคายความร้อนสังเกตได้หลังจากการคงรูปแข็งตัวแล้วของสารประกอบเชิงซ้อนและเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ HAC โดยระดับของการคายความร้อนจะขึ้นอยู่กับปริมาณโซเดียมซิลิเกตในสารประกอบเชิงซ้อน

2.14.4 ความทนทานของชิ้นไม้ผสมคอนกรีต [18]

งานวิจัยนี้เป็นการนำเศษไม้ที่เหลือใช้มารีไซเคิล (Recycle) เพื่อนำมาผลิตเป็นปูนซีเมนต์ใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง โดยการนำเศษไม้ขนาดระหว่าง 0.5-10 mm ไปแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน หลังจากการแช่น้ำ ให้นำไปแช่ในสารละลายโซเดียมซิลิเกต 100 g/l เป็นเวลาอีก 1 วัน เพื่อปรับปรุงสมบัติและพันธะระหว่างเศษไม้กับซีเมนต์ (Wood chippings and Cement paste) จากนั้นนำมาผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยมีอัตราส่วนของเศษไม้ต่อซีเมนต์เป็น 3.6 และปริมาณน้ำต่อซีเมนต์เป็น 0.75 นำไปบ่มเป็นเวลา 1 สัปดาห์ และนำไปเทลงแม่แบบขนาด 40x40x160 mm และทำการกดอัดแรงสูง เพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้อัดซีเมนต์ จากนั้นจึงแกะแม่แบบออกแล้วนำชิ้นงานไปบ่ม (เก็บไว้ในที่ที่มีความชื้น) เป็นเวลา 7 วัน แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ได้จะมีน้ำหนักเบากว่าเดิมเมื่อเทียบกับแผ่นไม้อัดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมชาติทั่วไป มีสมบัติเป็นฉนวนทางความร้อน และทางเสียง มีความทนทาน ทนไฟ ทนต่อแมลง และไม่ขึ้นรา เหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง

2.14.5 ผลของอุณหภูมิและความชื้นที่มีต่อไม้ผสมปูนซีเมนต์ [19]

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและความชื้นที่มีผลต่อสมบัติของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ โดยเส้นใยที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด คือ เส้นใยสั้น (Hardwood fiber) และเส้นใยาว (Softwood fiber) โดยเส้นใยแต่ละชนิดจะถูกบำบัดด้วยสารละลาย Alkylalkoxyline และ สารละลายอะคลิลิกอิมัลชัน จากผลการทดลองพบว่า กรณีที่ 1 เส้นใยที่ผ่านการบำบัดจะมีความคงรูป (Dimensional stability) และมีความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) สูงกว่าเส้นใยที่ไม่ได้บำบัด กรณีที่ 2 เส้นใยที่บำบัดด้วยสารละลาย Alkylalkoxyline จะมีความคงรูป และมีความแข็งแรงกดอัด สูงกว่าเส้นใยที่บำบัดด้วยสารละลายอะคลิลิกอิมัลชัน กรณีที่ 3 เส้นใยสั้นที่ผ่านการบำบัดจะมีความคงรูป และมีความแข็งแรงกดอัดสูงกว่าเส้นใยาว ผลของความชื้นทดสอบได้โดยนำชิ้นงานมาบ่มที่สภาวะเปียก (Wet condition) เป็นระยะเวลา 7 วัน (อุณหภูมิ น้ำ 25 °C) จากนั้นนำมาบ่มที่สภาวะแห้ง (Dry condition) เป็นระยะเวลา 7 วัน (อุณหภูมิ น้ำ 40°C ความชื้น 29-34% Relative humidity , RH) ทำหมุนวนอย่างนี้ไปเรื่อยๆ โดยที่นำชิ้นงานมาดูความคงรูปทุกๆ 7 วัน จนชิ้นงานเกิดการแตกหักเนื่องจากการขยายตัวและหดตัว ผลของอุณหภูมิตดสอบได้โดยนำชิ้นงานแช่น้ำใสใน Chamber ที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจาก 1 °C ไปยัง -1 °C และกลับไปที่ 1 °C อีกครั้งโดยใช้เวลา 5 ชั่วโมงต่อ 1 รอบ การทดสอบการกดอัดจะเลือกชิ้นงานที่ผ่านการให้ความร้อนและให้ความเย็นในช่วง 36-252 รอบ โดยจะเลือกชิ้นงาน 3 ชิ้นจากการบำบัดที่ต่างกันในช่วงที่เหมาะสมมาทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 109

2.14.6 สมบัติของแกลบผสมปูนซีเมนต์ [20]

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการบ่มชิ้นงานที่เตรียมจากการผสมข้าวเปลือกกับมอร์ต้าที่ความชื้นต่างกัน คือ ที่ความชื้น 50% RH (Relative humidity) กับ 95% RH เป็นเวลา 1 ปี จากผลการทดลอง ชิ้นงานที่บ่มที่ความชื้น 95% RH จะมีค่าความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) สูงกว่าชิ้นงานที่บ่มที่ความชื้น 50% RH แต่จะมีค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) ต่ำกว่า ชิ้นงานที่บ่มที่ความชื้น 95% RH จะมีค่าความแข็งแรงกดอัดสูงกว่า เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา Pozzolanic ดีกว่าที่ความชื้นต่ำ แต่ในทางกลับกันที่ความชื้นสูงๆจะลดการเสริมแรงของเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

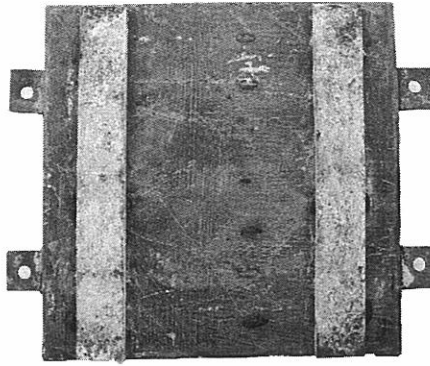
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 เกรดการค้า ตราช้าง บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด
2. เส้นใยยูคาลิปตัส (Eucalyptus) ชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp ; TMP)
3. สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate) เข้มข้น 40% โดยน้ำหนัก เกรดวิเคราะห์ Lab system Co.Ltd
4. โพแทชอะลูม (Potash alum) เกรดการค้า ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์ องค์การอุตสาหกรรม
5. ชูเปอร์พลาสติไซเซอร์ (Rheobuild[®]) บริษัท BASF Co.,Ltd.

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ตะแกรงมาตรฐานขนาด 100 และ 230 mesh บริษัท RETSCH รุ่น 5657 HAAN W.GERMANY
2. เครื่องร่อนตะแกรง บริษัท RETSCH รุ่น VIBRO
3. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง บริษัท Denver Instrument Company รุ่น TC 254
4. ตู้อบ บริษัท WBT binder รุ่น 7200 Tuttlingen / GERMANY
5. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope , SEM) บริษัท LEO รุ่น 1455VP
6. แม่พิมพ์โลหะสำหรับแผ่นไม้อัดซีเมนต์ ขนาด 20x20x1 cm และ Spacer (แผ่นเหล็กขนาด 38x5x1 cm) แสดงดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แม่พิมพ์โลหะสำหรับแผ่นไม้อัดซีเมนต์ ขนาด 20x20x1 cm

7. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) บริษัท LAB TECH ENGINEERING
รุ่น LP20
8. ลังไฟม
9. แผ่นใส
10. เดซิกเคเตอร์
11. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) รุ่น LR 5K บริษัท LLOYD
INSTRUMENTS
12. เครื่องปั่นกวนเชิงกล (Mechanical stirrer)
13. ถังผสม
14. ที่ยึดแม่แบบโลหะ
15. เครื่องบดเส้นใย

3.3 แผนการดำเนินงานวิจัย

เริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นทำการเตรียมวัตถุดิบ ได้แก่ ปูนซีเมนต์และเส้นใย แล้วทำการศึกษาวิธีการผสมวัตถุดิบต่างๆที่เหมาะสม เพื่อเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์ตามปัจจัยศึกษากำหนด และนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยศึกษาและการทดสอบสมบัติด้านต่างๆของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ในงานวิจัยนี้ มีดังนี้

1. การเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์

- ศึกษาวิธีการเตรียมเส้นใยให้เหมาะสมในการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์
- ศึกษาผลของซูเปอร์พลาสติไซเซอร์ (Rheobuild[®]) ที่มีผลต่อแผ่นไม้อัดซีเมนต์
- ศึกษาปริมาณของเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติของแผ่นไม้อัดซีเมนต์

2. การทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ

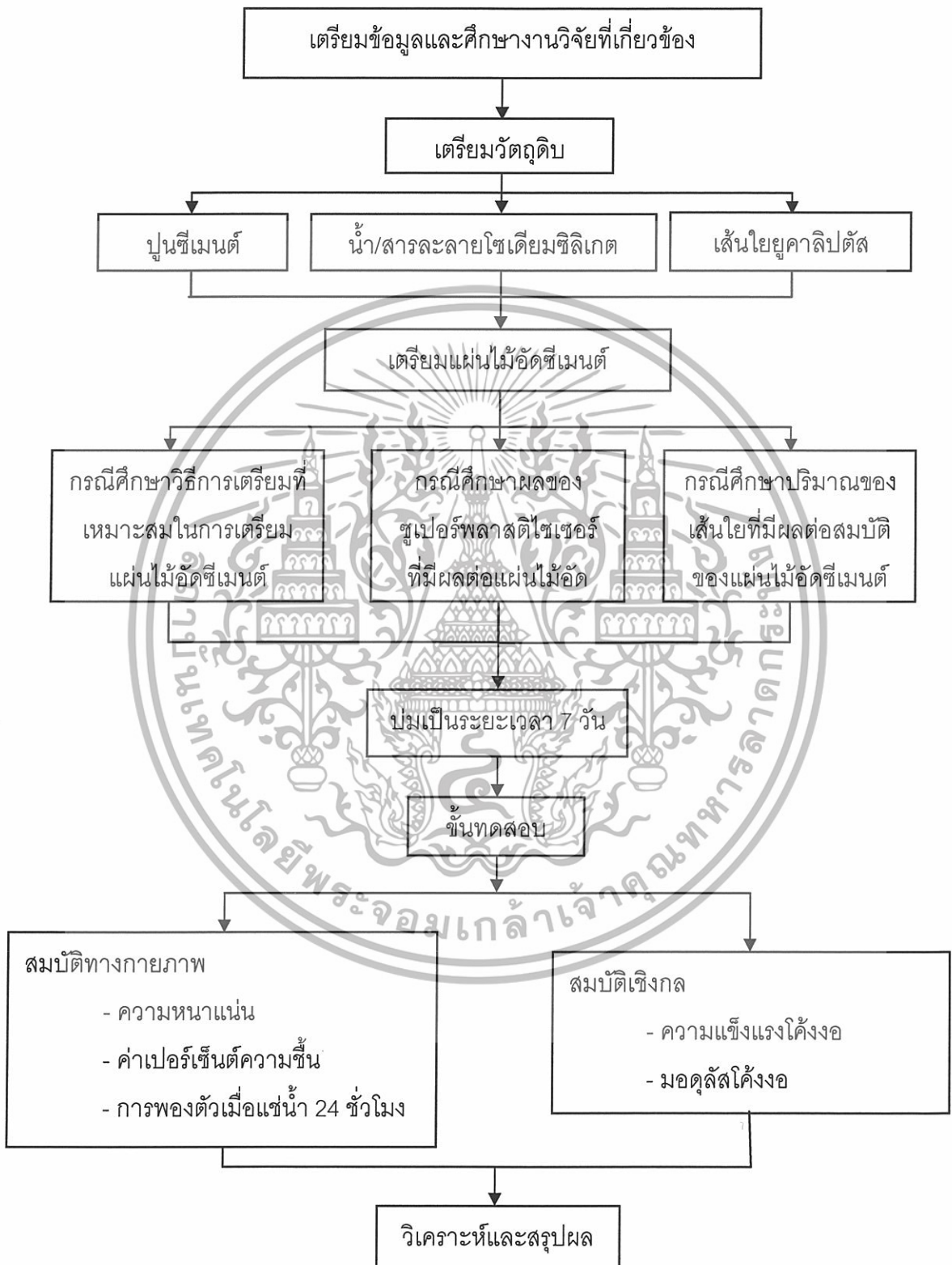
(มอก.878-2537)

3. การทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ (มอก.878-2537)

สำหรับแผนการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปเป็นแผนผัง แสดงดังรูปที่ 3.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนผังการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนการวิจัย

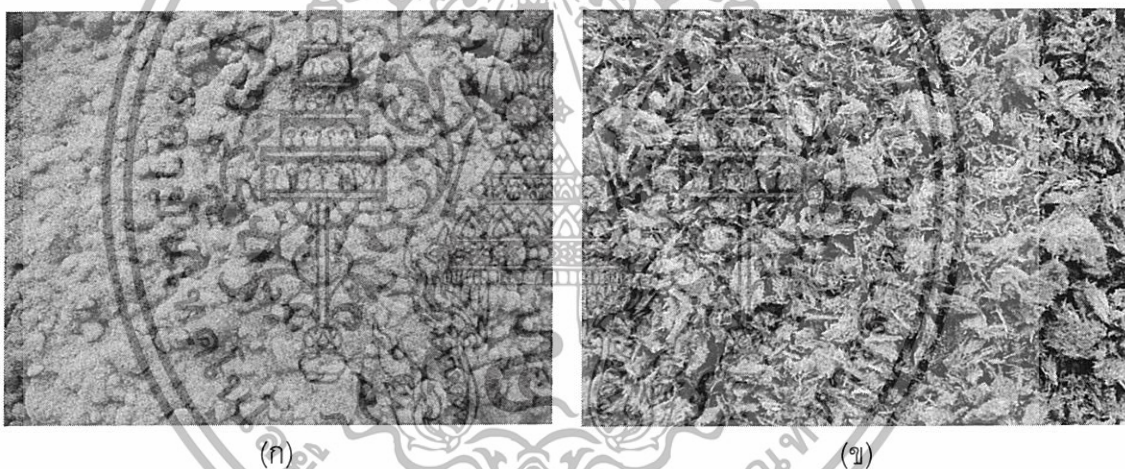
3.4.1 การเตรียมวัสดุดิบ

1) **ปูนซีเมนต์** โดยนำปูนซีเมนต์มาร่อนคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐานขนาด 100-230 mesh แสดงดังตารางที่ 3.1

2) **เส้นใยยูคาลิปตัส** นำเส้นใยยูคาลิปตัสมาร่อนให้มีขนาดเล็กกว่า 80 mesh

สำหรับเส้นใยที่ใช้ในการทดลองแบ่งการเตรียมออกเป็น 2 วิธี

- แบบ Wet และแบบ Dry-mix นำเส้นใยที่ผ่านการร่อนมาอบให้แห้งและทิ้งให้เย็นตัวในเดซิคเคเตอร์
- แบบ Pretreat นำเส้นใยที่ผ่านการร่อนมาแช่ในสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ปริมาณ 2% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบให้แห้งและบดให้มีขนาดเล็ก นำมาอบให้แห้ง และทิ้งให้เย็นตัวในเดซิคเคเตอร์



รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายเส้นใยที่เตรียมจากวิธีต่างๆ

(ก) เส้นใยที่เตรียมจากวิธี Wet และวิธี Dry-mix

(ข) เส้นใยที่เตรียมจากวิธี Pretreat

ตารางที่ 3.1 ขนาดของอนุภาคของปูนซีเมนต์ และเส้นใยยูคาลิปตัสที่เลือกใช้

วัสดุดิบ	ขนาดของอนุภาคที่ใช้ (mesh)
ปูนซีเมนต์	100 - 230
เส้นใยยูคาลิปตัส	น้อยกว่า 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์

3.4.2.1 การเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์แบบ Wet

1) กำหนดให้มวลรวมของแผ่นไม้อัดซีเมนต์เป็น 520 กรัม

(มวลรวม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ และเส้นใยยูคาลิปตัส)

- ชั่งเส้นใยในปริมาณที่ต้องการ (5% หรือ 10% โดยน้ำหนักมวลรวม)
- น้ำหนักมวลรวมที่เหลือเป็นน้ำหนักของปูนซีเมนต์
- ปริมาณน้ำที่ใช้คิดเป็น 65% โดยน้ำหนักของมวลรวม
- ชั่งโพแทชอะลัมในปริมาณ 1% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์
- ปริมาณซูเปอร์พลาสติกไฮเซออร์ (Rheobuild[®]) ที่ใช้คิดเป็น 1.5% โดยน้ำหนัก

ปูนซีเมนต์

- ชั่งสารละลายโซเดียมซิลิเกตในปริมาณ 2% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

2) ผสมปูนซีเมนต์ โพแทชอะลัม เส้นใยแบบ Wet โดยใช้เครื่องปั่นกวนเชิงกล แสดงดังรูป

ที่ 3.4 เติมซูเปอร์พลาสติกไฮเซออร์ (Rheobuild[®]) และน้ำ ผสมให้เข้ากัน



รูปที่ 3.4 เครื่องปั่นกวนเชิงกลสำหรับเตรียมของผสม

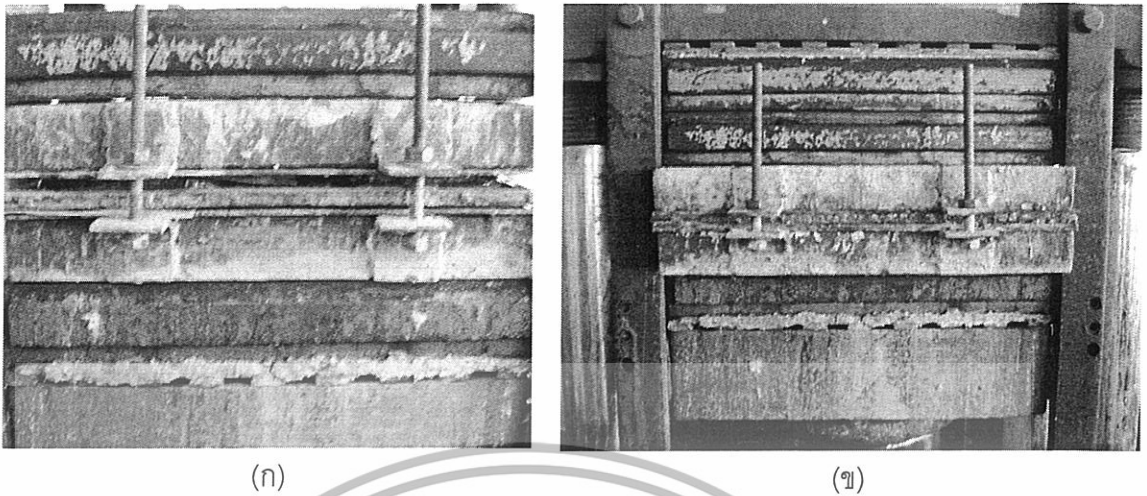
3) เทของผสมที่เตรียมได้ลงในแม่แบบโลหะขนาด 20x20x1 cm ที่รองด้วยแผ่นใส

4) ปิดด้วยแผ่นใสและนำแม่แบบโลหะขนาด 20x20x1 cm มาปิดทับ

5) นำแม่แบบโลหะไปกดอัดด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิห้องและความดัน 180 MPa

เป็นเวลา 30 นาที แสดงดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การกดอัดแผ่นไม้อัดซีเมนต์ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (ก) ก่อนกด (ข) หลังกด

6) ทำการยัดแม่แบบโลหะให้คงรูป แล้วนำแม่แบบโลหะออกจากเครื่องอัดขึ้นรูป ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน เพื่อให้แผ่นไม้อัดซีเมนต์เซ็ดตัว แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การยัดแม่แบบโลหะให้คงรูป

7) แกะแผ่นไม้อัดซีเมนต์ออกจากแม่แบบโลหะ แล้วนำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ไปบ่มที่ความชื้นสูง โดยใส่ลงในภาชนะปิดที่บรรจุน้ำ เป็นเวลา 7 วัน

8) นำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100 ± 3 °C เป็นเวลา 1 วัน

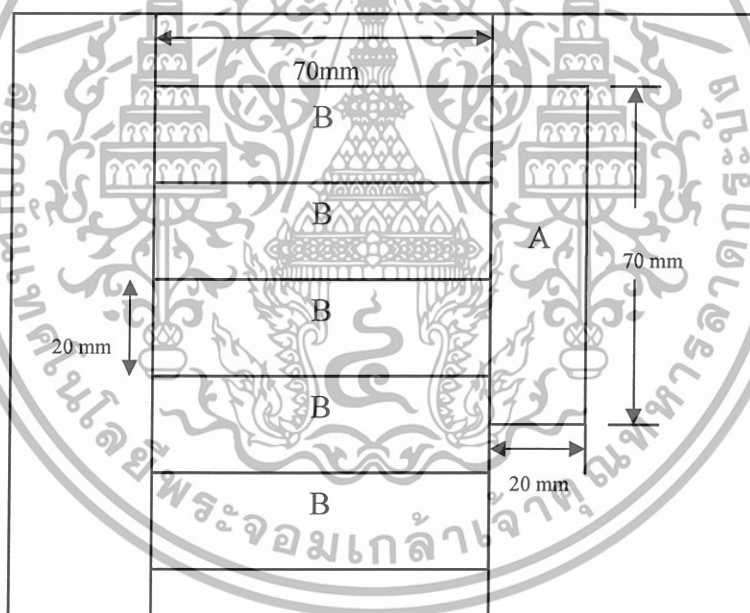
9) เมื่อครบกำหนดแล้วนำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ตั้งทิ้งไว้ เพื่อให้แผ่นไม้อัดซีเมนต์มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง จะได้แผ่นไม้อัดซีเมนต์ดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



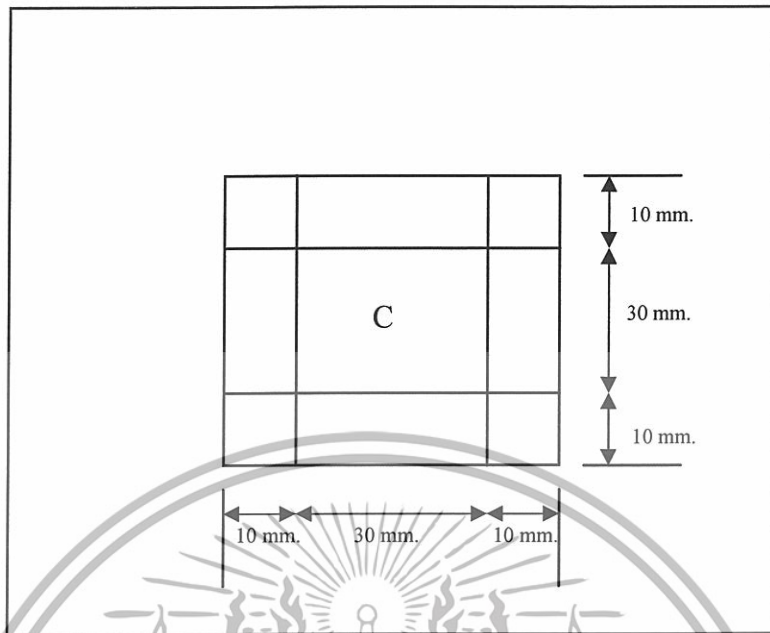
รูปที่ 3.7 แผ่นไม้อัดซีเมนต์

10) วัดขนาดและตัดชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 3.8 และ 3.9 เพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ



รูปที่ 3.8 การตัดชิ้นงานเพื่อนำไปทดสอบ (A) ความหนาแน่น และความชื้น
(B) ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 การตัดชิ้นงานเพื่อนำมาทดสอบ (C) การพองตัวของเนื้อน้ำ

3.4.2.2 การเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์แบบ Dry-mix

- 1) เตรียมส่วนผสมเหมือนวิธีการผสมแบบ Wet
- 2) ผสมปูนซีเมนต์ โฟแทชอะลัม และเส้นใยแบบ Dry-mix ให้เข้ากันโดยใช้เครื่องปั่นกวนเชิงกล แสดงดังรูปที่ 3.4
- 3) เทของผสมที่เตรียมได้ลงในแม่แบบโลหะขนาด 20x20x1 cm ที่รองด้วยแผ่นใส
- 4) สเปรย์ของผสมที่ประกอบด้วยไซเดียมซัลเฟต น้ำ และซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์ (Rheobuild[®]) ลงบนของผสมที่เตรียมได้ข้างต้น
- 5) นำแม่แบบโลหะไปกดอัดด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิห้องและความดัน 180 MPa เป็นเวลา 30 นาที แสดงดังรูปที่ 3.5
- 6) ขั้นตอนที่เหลือทำเหมือนวิธีการผสมแบบ Wet

3.4.2.3 การเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์แบบ Pretreat

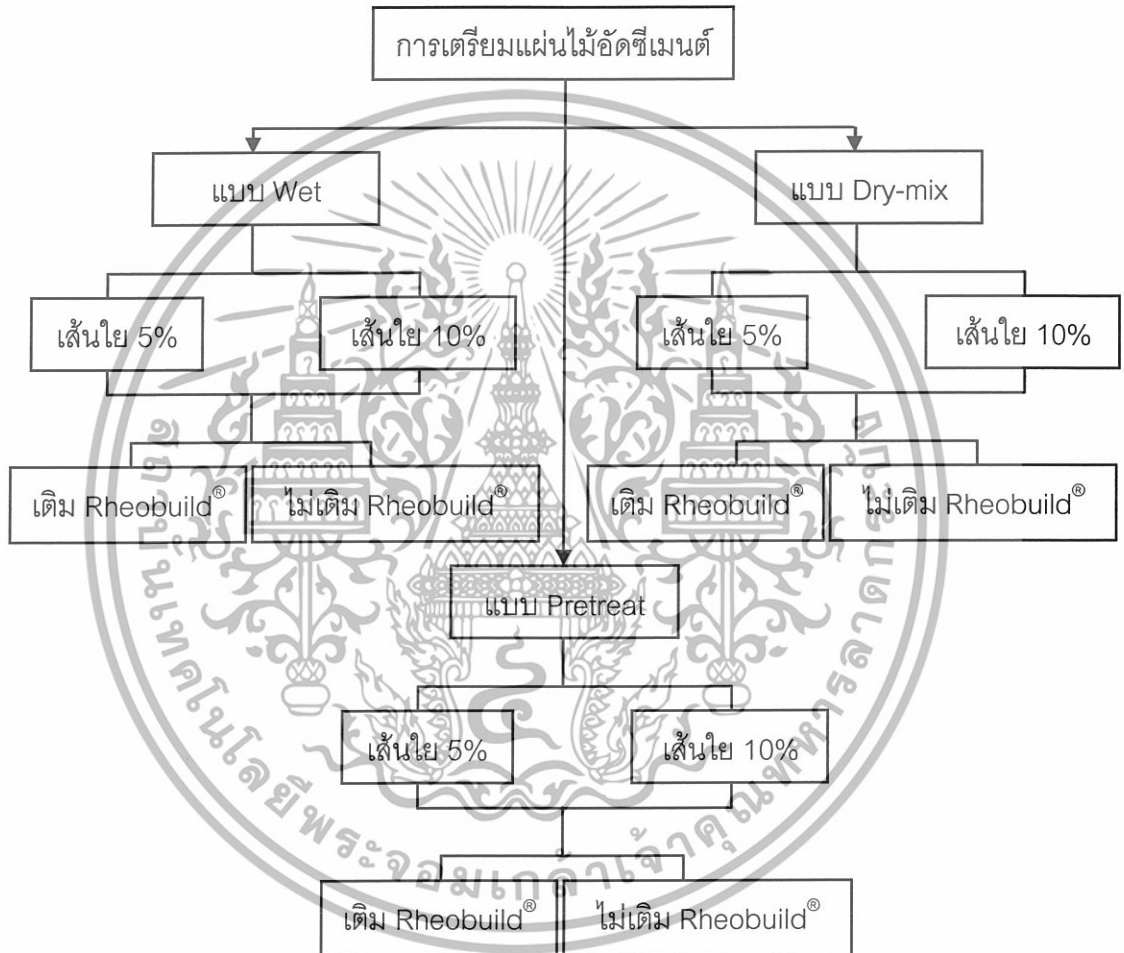
- 1) เตรียมส่วนผสมเหมือนวิธีการผสมแบบ Wet แต่ไม่ใช้สารละลายไซเดียมซัลเฟต
- 2) ผสมปูนซีเมนต์ โฟแทชอะลัม เส้นใยแบบ Pretreat โดยใช้เครื่องปั่นกวนเชิงกล แสดงดังรูปที่ 3.4 เติมซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์ (Rheobuild[®]) และน้ำ ผสมให้เข้ากัน
- 3) เทของผสมที่เตรียมได้ลงในแม่แบบโลหะขนาด 20x20x1 cm ที่รองด้วยแผ่นใส
- 4) ปิดด้วยแผ่นใสและนำแม่แบบโลหะขนาด 20x20x1 cm มาปิดทับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) นำแม่แบบโลหะไปกดอัดด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิห้องและความดัน 180 MPa เป็นเวลา 30 นาที แสดงดังรูปที่ 3.5

6) ขั้นตอนที่เหลือทำเหมือนวิธีการผสมแบบ Wet

แผนผังการวิจัย แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผนผังการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์

ชื่อชิ้นงาน	ปริมาณ Plasticizer (กรัม)	น้ำหนักเส้นใย (กรัม)	น้ำหนักปูน (กรัม)	ปริมาณน้ำ (กรัม)	ปริมาณสารละลาย ไซเตียมซิลิเกต 40% w/w (กรัม)	ปริมาณ โพแทชอะลัม (กรัม)
5% Wet	-	26.00	494.00	338.00	24.70	4.94
5% Wet+Rheo	7.41	26.00	494.00	338.00	24.70	4.94
10% Wet	-	52.00	468.00	338.00	23.40	4.68
10% Wet+Rheo	7.02	52.00	468.00	338.00	23.40	4.68
5% Dry-mix	-	26.00	494.00	338.00	24.70	4.94
5% Dry-mix+Rheo	7.41	26.00	494.00	338.00	24.70	4.94
10% Dry-mix	-	52.00	468.00	338.00	23.40	4.68
10% Dry-mix+Rheo	7.02	52.00	468.00	338.00	23.40	4.68
5% Pretreat	-	26.00	494.00	338.00	24.70	4.94
5% Pretreat+Rheo	7.41	26.00	494.00	215.00	24.70	4.94
10% Pretreat	-	52.00	468.00	338.00	23.40	4.68
10% Pretreat+Rheo	7.02	52.00	468.00	305.00	23.40	4.68

หมายเหตุ ปริมาณเส้นใยที่ใช้ในวิธี Pretreat จะเท่ากับ น้ำหนักเส้นใย+น้ำหนักของสารละลายไซเตียมซิลิเกตจริง ดังนั้น 5% Pretreat จะต้องชั่งเส้นใยที่เตรียมได้มา $26+(0.40 \times 24.7) = 35.88$ กรัม และ 10% Pretreat จะต้องชั่งเส้นใยที่เตรียมได้มา $52+(0.40 \times 23.4) = 61.36$ กรัม

3.4.3 การทดสอบทางกายภาพ

3.4.3.1 การหาค่าความหนาแน่น (Density)

นำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ได้หลังจากที่ผ่านการบ่มและอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 ± 3 °C เป็นระยะเวลา 1 วัน มาตัดให้ได้ขนาดเท่ากับชิ้นทดสอบ A ขนาด 2×7 cm จำนวน 5 ชิ้น จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน นำฟิล์มยืดมาห่อแผ่นไม้อัดซีเมนต์ทั้งหมด 2 ชั้น เพื่อป้องกันการซึมผ่านของน้ำแล้วนำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ไปแทนที่น้ำ ผลการทดลองที่ได้นำมาคำนวณโดยใช้สูตร

$$D = M/V$$

เมื่อ D = ความหนาแน่น (g/cm^3)
 M = มวลรวมของก้อนคอนกรีต (g)
 V = ปริมาตรของน้ำที่ถูกแทนที่ (cm^3)

3.4.3.2 การหาค่าความชื้น

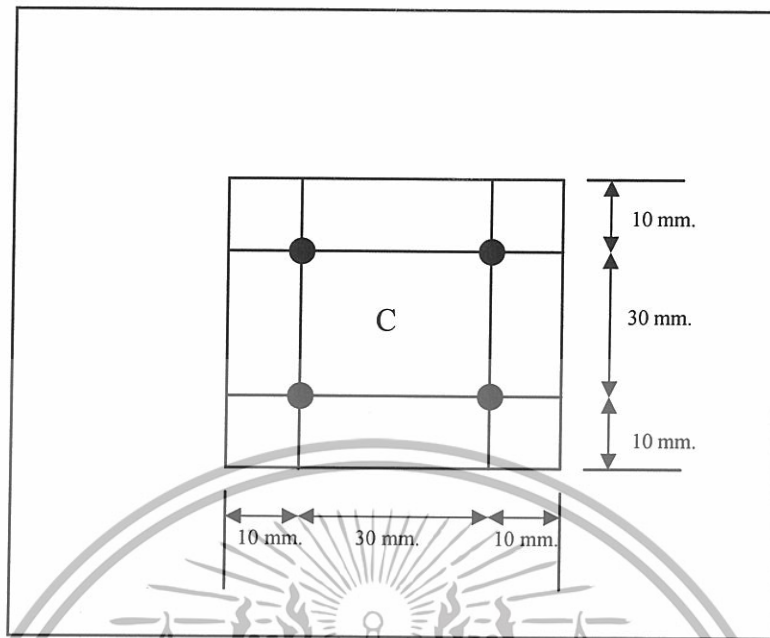
- 1) ชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบ A ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.01 g จำนวน 5 ชิ้น เป็นน้ำหนักก่อนอบ
- 2) อบชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 °C จนมีน้ำหนักคงที่ คือน้ำหนักชิ้นทดสอบที่ชั่ง 3 ครั้ง ห่างกันอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.1
- 3) นำชิ้นงานทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- 4) ชั่งชิ้นทดสอบเป็นน้ำหนักอบแห้ง แล้วนำมาคำนวณค่าความชื้นจากสูตร

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ (g)} - \text{น้ำหนักอบแห้ง (g)}}{\text{น้ำหนักอบแห้ง (g)}} \times 100$$

3.4.3.3 การหาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ

- 1) นำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ได้จากการบ่มมาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 °C เป็นระยะเวลา 1 วัน หลังจากนั้นนำมาตัดขนาดชิ้นทดสอบ C ขนาด 5×5 cm จำนวน 3 ชิ้น
- 2) ทำเครื่องหมายตามตำแหน่งที่วัดความหนาดังรูปที่ 3.10 วัดความหนาของชิ้นทดสอบทั้ง 4 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ตำแหน่งที่วัดความหนาขึ้นงานในการทดสอบค่าการพองตัว

- 3) แช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง โดยชิ้นทดสอบต้องตั้งได้ฉากกับผิวน้ำ
- 4) แช่ชิ้นทดสอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาดแล้วปล่อยให้ที่อุณหภูมิห้อง
- 5) นำชิ้นทดสอบมาวัดความหนาที่ตำแหน่งเดิม แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาหลังแช่น้ำ นำมาคำนวณหาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำจากสูตร

$$\text{ร้อยละการพองตัวเมื่อแช่น้ำ} = \frac{\text{ความหนาหลังแช่น้ำ (mm)} - \text{ความหนา ก่อนแช่น้ำ (mm)}}{\text{ความหนา ก่อนแช่น้ำ (mm)}} \times 100$$

3.4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

3.4.4.1 การหาค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus)

- 1) นำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ได้จากการบ่มมาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 °C เป็นระยะเวลา 1 วัน จากนั้นนำมาตัดขนาดเท่าชิ้นทดสอบ B ขนาด 2x7 cm
- 2) วัดความกว้างและความหนาของชิ้นทดสอบ แล้วหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) นำมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal tester) ขนาด 5 KN ใช้หัวจับเป็น Three-point bend ความเร็วทดสอบ 0.1 mm/min ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ 40 mm ทดสอบที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ แล้วทำการบันทึกแรงกดสูงสุดที่ขึ้นทดสอบรับได้ แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรง ระยะแอนตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรง แล้วนำไปคำนวณค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอจากสูตร

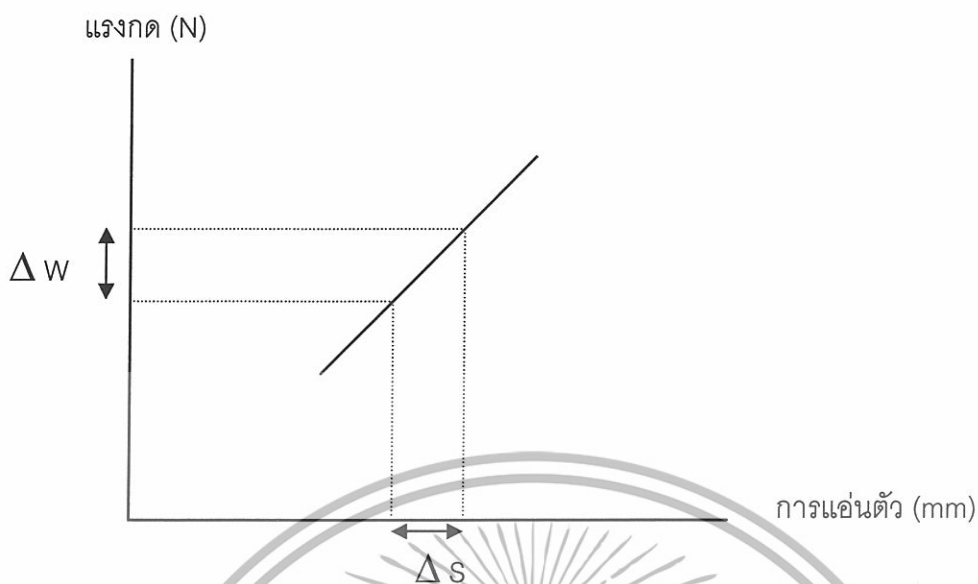
$$f = \frac{3WL}{2bd^2}$$

- เมื่อ f คือ ความแข็งแรงโค้งงอ (MPa)
 W คือ แรงกดสูงสุดที่ขึ้นทดสอบรับได้ (N)
 L คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ (40 mm)
 b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ (mm)
 d คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ (mm)

$$E = \frac{L^3 \Delta W}{4bd^3 \Delta S}$$

- เมื่อ E คือ มอดุลัสโค้งงอ (MPa)
 L คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ (40 mm)
 ΔW คือ แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรง (N) แสดงดังรูปที่ 3.11
 ΔS คือ ระยะแอนตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรง (mm)
 แสดงดังรูปที่ 3.11
 b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ (mm)
 d คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกด (N) กับการแ่นตัว [11]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ได้นำเส้นใยคาลิปต์สชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp ; TMP) มาทำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ โดยมาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 (Portland cement type 3) เส้นใยที่ใช้มีขนาดน้อยกว่า 80 mesh โดยปรับเปลี่ยนปริมาณเส้นใยเป็น 5% และ 10% โดยน้ำหนัก โดยมีวิธีการผสมที่ต่างกัน คือ การผสมแบบ Wet (นำเส้นใย ปูนซีเมนต์ และส่วนผสมอื่นๆมาผสมให้เข้ากันแล้วนำไปขึ้นรูป) แบบ Dry-mix (นำเส้นใย ปูนซีเมนต์ และโพแทชอะลัมมาผสมให้เข้ากัน จากนั้นสเปรย์ของผสมที่ประกอบด้วยโซเดียมซิลิเกต น้ำ และ Rheobuild® ลงบนของผสมแล้วนำไปขึ้นรูป) และแบบ Pretreat (นำเส้นใยมาเคลือบด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกต นำเส้นใยมาอบแห้ง และบดย่อย จากนั้นนำเส้นใยที่ได้มาผสมให้เข้ากันกับส่วนผสมอื่นๆแล้วนำไปขึ้นรูป) จากนั้นนำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมได้มาทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) โมดูลัสโค้งงอ (Flexural modulus) และลักษณะทางกายภาพ นอกจากนี้ยังศึกษาผลของการใส่สารช่วยกระบวนการผลิต (Rheobuild®) ว่ามีผลต่อสมบัติต่างๆของแผ่นไม้อัดซีเมนต์อย่างไร ซึ่งแสดงผลการทดลองดังนี้

4.1 ลักษณะทางกายภาพ

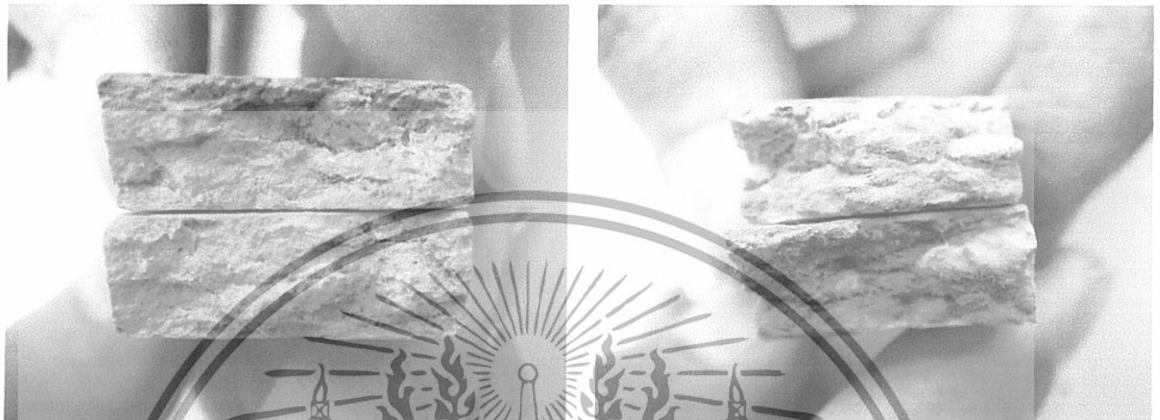
4.1.1 ผลของการใช้วิธีการผสมที่ต่างกัน

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีวิธีการผสมที่ต่างกัน พบว่าชิ้นงานที่ได้จากวิธี Dry-mix จะได้ชิ้นงานที่มีรอยตำหนิที่ผิวของชิ้นงานมากกว่าวิธี Wet และวิธี Pretreat สัณนิษฐาน เนื่องจากวิธี Dry-mix น้ำจะแทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างของผสมได้ไม่ดี เมื่อเกิดการหดตัวขึ้นรูปจะทำให้เกิดการไหลของของผสมที่ไม่ดี เนื่องจากแรงเสียดทานภายในชิ้นงาน จึงทำให้ชิ้นงานที่ได้มีผิวหน้าที่ไม่เรียบและเกิดรอยตำหนิในชิ้นงานมากกว่าวิธี Wet และวิธี Pretreat ซึ่งเป็นของผสมที่เหลว และไหลได้ง่ายกว่า

4.1.2 ผลของปริมาณเส้นใย

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีการใช้ปริมาณเส้นใย 10% โดยน้ำหนัก พบว่า ชิ้นงานมีการกระจายตัวของเส้นใยในเนื้อปูนซีเมนต์น้อยกว่าชิ้นงานที่มีการใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณเส้นใย 5% เนื่องจากมวลรวมของชิ้นงานเท่ากัน แต่มีการใส่ปริมาณเส้นใยที่ต่างกัน ปริมาณเส้นใยที่มากจะกระจายตัวทั่วทั้งชิ้นงานได้ยาก มีการเกี่ยวพันกันเองของเส้นใยมาก มีการกระจุกตัวของเส้นใยเป็นก้อน จึงทำให้เส้นใยมีการกระจายตัวไม่ดี แสดงดังรูปที่ 4.1-4.3



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายภาพตัดขวางชิ้นตัวอย่างแผ่นไม้อัดซีเมนต์ แสดงการกระจายตัวของเส้นใยในแผ่นไม้อัดซีเมนต์โดยวิธีการผสมแบบ Dry-mix

(ก) 5% Dry-mix

(ข) 10% Dry-mix



(ก)

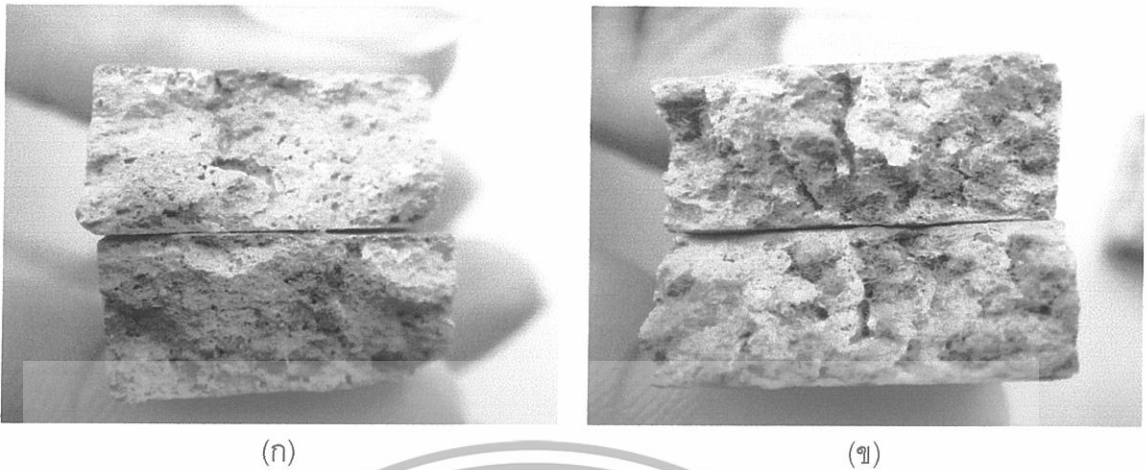
(ข)

รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายภาพตัดขวางชิ้นตัวอย่างแผ่นไม้อัดซีเมนต์ แสดงการกระจายตัวของเส้นใยในแผ่นไม้อัดซีเมนต์โดยวิธีการผสมแบบ Wet

(ก) 5% Wet

(ข) 10% Wet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายภาพตัดขวางชิ้นตัวอย่างแผ่นไม้อัดซีเมนต์ แสดงการกระจายตัวของเส้นใยในแผ่นไม้อัดซีเมนต์โดยวิธีการผสมแบบ Pretreat
(ก) 5% Pretreat (ข) 10% Pretreat

4.1.3 ผลของการใช้ Rheobuild®

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมจากปูนซีเมนต์ผสมกับเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (TMP) โดยใช้ปริมาณเส้นใย 5% และ 10% โดยน้ำหนัก พบว่า แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีการเติม Rheobuild® ปริมาณ 1.5% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ในขั้นตอนการผสมเส้นใย ปูนซีเมนต์ และส่วนผสมต่างๆ พบว่า สามารถผสมกันได้ง่ายของผสมที่ได้มีลักษณะเหลวไหลได้ง่ายแม้จะใช้ปริมาณน้ำที่เป็นส่วนผสมน้อย เมื่อนำของผสมไปขึ้นรูปสามารถขึ้นรูปได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่มีการใช้ Rheobuild® พบว่าในขั้นตอนการผสมเส้นใย ปูนซีเมนต์และส่วนผสมต่างๆ สามารถผสมกันได้ง่ายกว่าส่วนผสมที่มีการใส่ Rheobuild®

4.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

4.2.1 ความหนาแน่น

เมื่อนำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมจากปูนซีเมนต์ผสมกับเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (TMP) ที่มีการปรับเปลี่ยนการใช้ปริมาณเส้นใยเป็น 5% และ 10% โดยน้ำหนัก โดยมีวิธีการผสมที่ต่างกัน คือ การผสมแบบ Wet แบบ Dry-mix และแบบ Pretreat ไปทดสอบหาค่าความหนาแน่น ได้ค่าความหนาแน่นดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากผลการทดลองพบว่าแผ่นไม้อัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

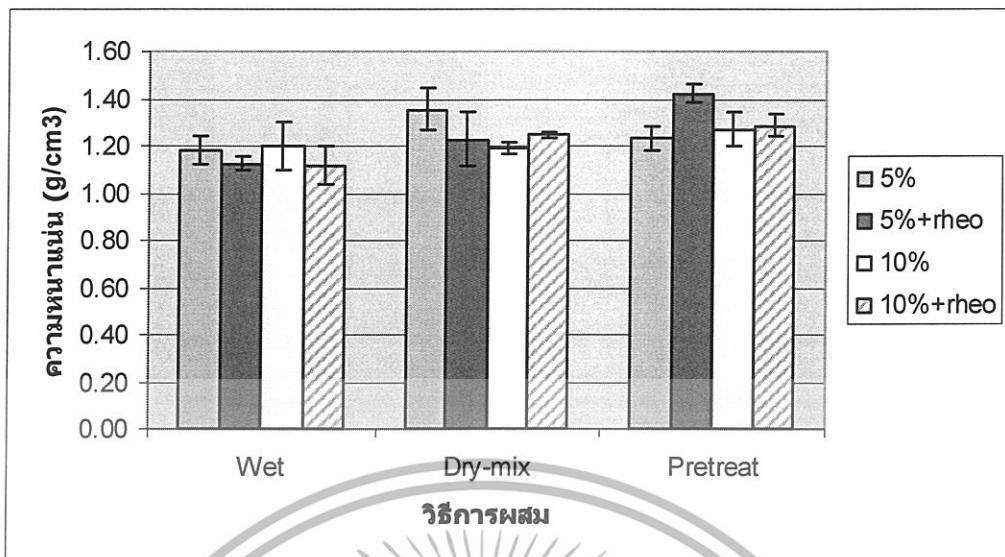
ซีเมนต์ที่เตรียมได้มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1.1-1.4 g/cm³ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแผ่นไม้อัดซีเมนต์เกรดการค้า (ประมาณ 1.1-1.3 g/cm³ , ภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความหนาแน่น ความชื้น (%) และการพองตัวของเนื้อซีเมนต์ (%)

วิธีการผสม	ปริมาณเส้นใย (% w/w)	Rheobuild® (% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ความชื้น (%)	การพองตัวของเนื้อซีเมนต์ (%)
Wet	5%	-	1.18 ± 0.09	1.15 ± 0.02	1.30 ± 0.08
		1.50	1.13 ± 0.12	0.71 ± 0.03	1.40 ± 0.03
	10%	-	1.20 ± 0.03	1.17 ± 0.05	0.57 ± 0.14
		1.50	1.12 ± 0.01	1.07 ± 0.02	0.96 ± 0.13
Dry-mix	5%	-	1.36 ± 0.05	1.16 ± 0.03	1.31 ± 0.15
		1.50	1.23 ± 0.04	1.41 ± 0.07	0.94 ± 0.14
	10%	-	1.19 ± 0.07	1.32 ± 0.12	1.32 ± 0.13
		1.50	1.25 ± 0.05	1.11 ± 0.03	1.70 ± 0.08
Pretreat	5%	-	1.23 ± 0.06	1.73 ± 0.04	1.20 ± 0.17
		1.50	1.43 ± 0.03	1.17 ± 0.03	0.28 ± 0.01
	10%	-	1.27 ± 0.10	1.73 ± 0.05	0.60 ± 0.01
		1.50	1.29 ± 0.08	1.31 ± 0.04	1.30 ± 0.05

เมื่อเปรียบเทียบแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ได้จากวิธีการผสมที่ต่างกัน พบว่า ความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจาก ส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์ของแต่ละวิธีเหมือนกัน ค่าความหนาแน่นแสดงดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับวิธีการผสมของแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัส ปริมาณเส้นใย 5% และ 10% โดยน้ำหนัก ที่มีกาไรและไมไธ Rheobuild®

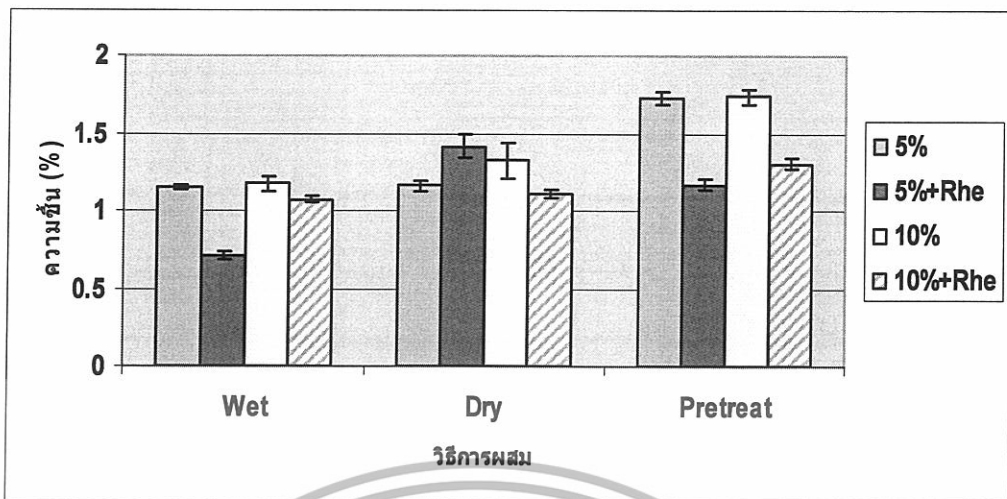
เมื่อเปรียบเทียบแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีปริมาณเส้นใยแตกต่างกัน พบว่า เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเส้นใยมีความหนาแน่นน้อยกว่าปูนซีเมนต์ ดังนั้นเมื่อสัดส่วนของเส้นใยเพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนของปูนซีเมนต์ลดลง จึงทำให้ความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์มีค่าลดลงตามกฎของผสม (Rule of mixture)

เมื่อเปรียบเทียบผลของการเติม Rheobuild® พบว่า ความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมจากวิธีเดียวกันที่เติมและไม่เติม Rheobuild® มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น Rheobuild® ไม่มีผลต่อค่าความหนาแน่นของชิ้นงาน

4.2.2 ความชื้น

เมื่อเปรียบเทียบผลของวิธีการผสม พบว่า วิธีการผสมแบบ Wet และแบบ Dry-mix มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นใกล้เคียงกัน เนื่องจากชนิดของเส้นใยที่ใช้เป็นแบบเดียวกัน จึงทำให้ความสามารถในการดูดความชื้น และกักเก็บความชื้นของเส้นใยเหมือนกัน แต่วิธีการผสมแบบ Pretreat มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมากที่สุด เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมเส้นใย หลังจากที่เส้นใยเคลือบด้วยสารละลายไฮเดียมซัลเฟตแล้ว เส้นใยจะกระจุกเป็นก้อน ซึ่งแต่ละกลุ่มก้อนของเส้นใยนี้จะมีช่องว่างระหว่างเส้นใยที่เป็นบริเวณกักเก็บความชื้นได้ปริมาณมาก จึงทำให้มีความชื้นในชิ้นงานมาก ค่าการดูดความชื้น แสดงดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (%) กับวิธีการผสมของแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัส ปริมาณเส้นใย 5% และ 10% โดยน้ำหนัก ที่มีกรใส่และไม่ใส่ Rheobuild®

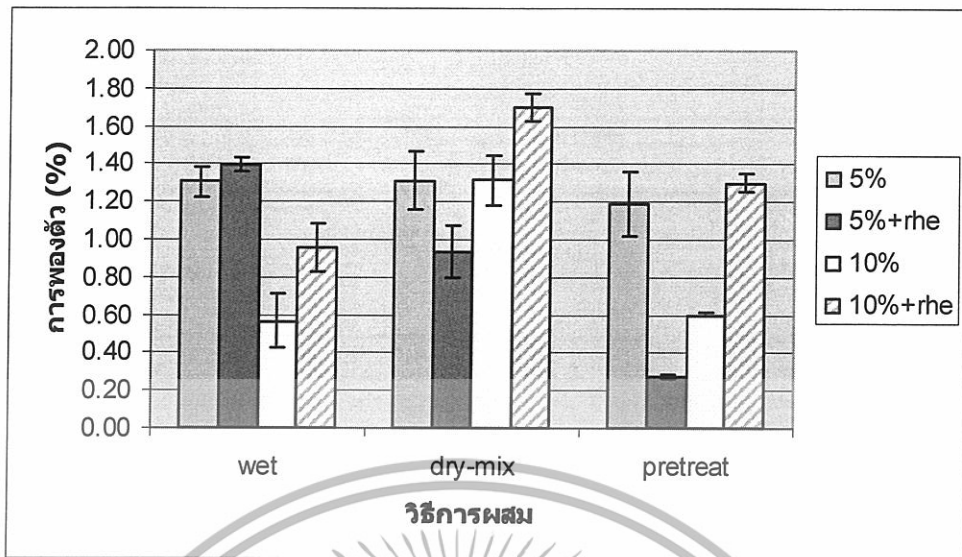
ผลการทดสอบค่าการดูดความชื้นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีปริมาณเส้นใยที่แตกต่างกัน พบว่า ค่าความชื้นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น เนื่องจาก เส้นใยมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซีที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยทำให้มีหมู่ไฮดรอกซีมากขึ้น สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้นด้วย

เมื่อเปรียบเทียบผลของการใช้ Rheobuild® เป็นส่วนผสม พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมได้จากวิธีเดียวกันที่เติมและไม่เติม Rheobuild® มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น Rheobuild® ไม่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

4.2.3 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ

การทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.878-2537) ทำได้โดยการนำแผ่นไม้อัดซีเมนต์มาวัดความหนา 4 จุด ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์แล้วนำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ดังกล่าวไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาวัดความหนาใน 4 จุดเดิม นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละการพองตัวเมื่อแช่น้ำ แสดงดังตารางที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบผลของวิธีการผสม พบว่า วิธีการผสมแบบ Pretreat มีค่าการพองตัวที่ต่ำกว่าวิธีอื่นๆ เพราะ วิธีนี้เส้นใยยูคาลิปตัสเคลือบด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกต ทำให้เส้นใยมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำได้น้อย เส้นใยจึงดูดน้ำได้น้อย จึงทำให้ค่าการพองตัวมีค่าน้อย แสดงดังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัว (%) กับวิธีการผสมของแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัส ปริมาณเส้นใย 5% และ 10% โดยน้ำหนัก ที่มีการใส่และไม่ใส่ Rheobuild®

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเส้นใย พบว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีปริมาณเส้นใยมาก มีค่าการพองตัวมากกว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีปริมาณเส้นใยน้อย เนื่องจาก การพองตัวจะเกิดในส่วนของเส้นใย แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีปริมาณเส้นใยมาก จะมีสัดส่วนของเส้นใยมากกว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีปริมาณเส้นใยน้อย ดังนั้น แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีปริมาณเส้นใย 10% โดยน้ำหนัก จะเกิดการพองตัวมากกว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีปริมาณเส้นใย 5% โดยน้ำหนัก แต่จากการทดสอบ ค่าที่ได้อาจจะไม่เป็นไปตามทฤษฎี เนื่องจาก การเตรียมแต่ละครั้งไม่เป็นไปตามมาตรฐานเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบผลของการเติม Rheobuild® พบว่า แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีการเติม Rheobuild® จะมีแนวโน้มค่าการพองตัวที่สูงกว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ไม่มีการเติม Rheobuild® เล็กน้อย เนื่องจาก ในการเตรียมชิ้นงานที่ได้ Rheobuild® ไม่ได้ลดปริมาณน้ำที่ใช้ ทำให้ปูนเหลวและไหลออกข้างๆได้มาก ทำให้สัดส่วนของเส้นใยในชิ้นงาน ซึ่งเป็นส่วนที่เกิดการพองตัวมีมากขึ้น จึงทำให้ค่าการพองตัวของชิ้นงานที่เติม Rheobuild® มากกว่าชิ้นงานที่ไม่เติม Rheobuild®

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล

4.3.1 ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength)

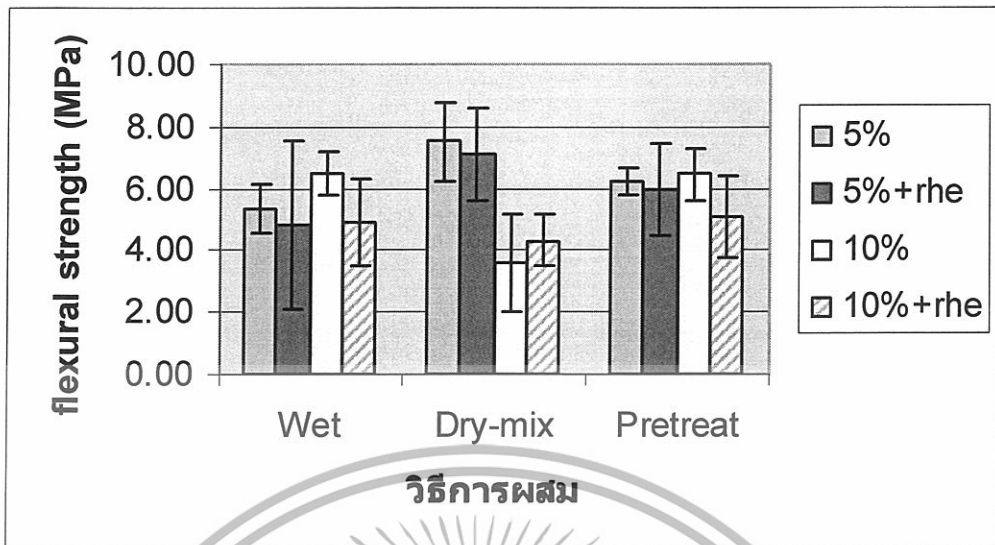
ผลการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ด้วยเครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal tester) โดยใช้ Load cell ขนาด 5 kN แล้วคำนวณค่าความแข็งแรงโค้งงอ แสดงดังตารางที่ 4.2 (ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ

วิธีการผสม	ปริมาณเส้นใย (%โดยน้ำหนัก)	Rheobuild® (% โดยน้ำหนัก ปูนซีเมนต์)	ความแข็งแรงโค้งงอ (MPa)
Wet	5%	-	5.37 ± 0.78
		1.50	4.83 ± 2.68
	10%	-	6.50 ± 0.72
		1.50	4.92 ± 1.37
Dry-mix	5%	-	7.51 ± 1.25
		1.50	7.14 ± 1.50
	10%	-	3.60 ± 1.58
		1.50	4.32 ± 0.86
Pretreat	5%	-	6.23 ± 0.45
		1.50	6.00 ± 1.49
	10%	-	6.46 ± 0.82
		1.50	5.10 ± 1.30

เมื่อเปรียบเทียบผลของวิธีการผสมของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมจากเส้นใย 5% โดยน้ำหนัก พบว่า แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมจากวิธี Wet วิธี Dry-mix และวิธี Pretreat มีความแข็งแรงโค้งงอใกล้เคียงกัน แสดงดังรูปที่ 4.7 เนื่องจาก แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมได้มีการกระจายตัวของเส้นใยไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงดังรูปที่ 4.1(ก) 4.2(ก) และ 4.3(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงโค้งงอ (MPa) กับวิธีการผสมของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ ปริมาณเส้นใย 5% และ 10% โดยน้ำหนัก ที่มีการใส่และไม่ใส่ Rheobuild®

แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมจากเส้นใย 10% โดยน้ำหนัก จะมีการกระจายตัวของเส้นใยได้ยาก เนื่องจาก มีปริมาณเส้นใยมาก ซึ่งจากการศึกษาพบว่า แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมจากวิธี Wet และวิธี Pretreat มีค่าความแข็งแรงโค้งงอใกล้เคียงกัน แสดงดังรูปที่ 4.7 เนื่องจาก แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมได้มีการกระจายตัวของเส้นใยใกล้เคียงกัน ส่วนแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมจากวิธี Dry-mix มีความแข็งแรงโค้งงอน้อยที่สุด เนื่องจากเส้นใยมีปริมาณมากทำให้เกิดการกระจายตัวของเส้นใยไม่ดี มีการกระจุกตัวเป็นกลุ่มก้อนทั่วทั้งชิ้นงาน จึงทำให้ความแข็งแรงโค้งงอของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ลดลง แสดงดังรูปที่ 4.1(ข) 4.2(ข) และ 4.3(ข)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเส้นใยที่ใช้ พบว่า เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงโค้งงอมีค่าลดลง เนื่องจาก ปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงหรือมอดุลัสสูง มีสัดส่วนลดลง และเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น การกระจายตัวของเส้นใยยากขึ้น มีการกระจุกตัวเป็นกลุ่มก้อน จึงทำให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอของแผ่นไม้อัดซีเมนต์มีค่าลดลง

เมื่อเปรียบเทียบผลของการเติม Rheobuild® พบว่า ความแข็งแรงโค้งงอของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เติม Rheobuild® จะมีค่าน้อยกว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ไม่เติม Rheobuild® เนื่องจาก การผสมใช้ปริมาณน้ำที่ไม่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์ จึงทำให้ผลของ Rheobuild® ต่ำกว่าที่คาดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 มอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus)

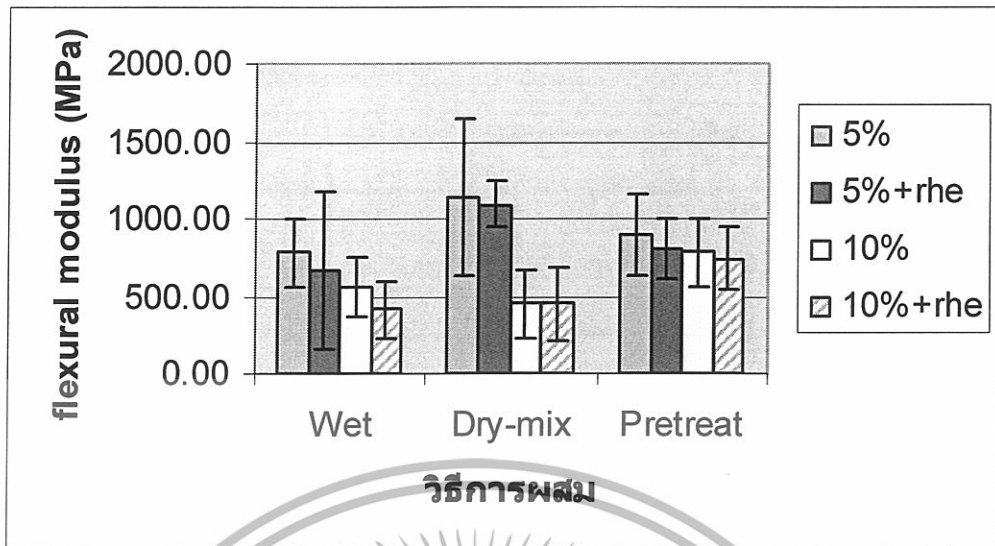
ผลการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ด้วยเครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal tester) โดยใช้ Load cell ขนาด 5 kN แล้วคำนวณค่ามอดุลัสโค้งงอ แสดงดังตารางที่ 4.3 (ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบมอดุลัสโค้งงอ

วิธีการผสม	ปริมาณเส้นใย (% โดยน้ำหนัก)	Rheobuild® (% โดยน้ำหนัก ปูนซีเมนต์)	มอดุลัสแรงโค้งงอ (MPa)
Wet	5%	-	783.10 ± 221.18
		1.50	663.22 ± 513.36
	10%	-	561.43 ± 198.69
		1.50	415.41 ± 189.43
Dry-mix	5%	-	1141.43 ± 509.07
		1.50	1095.21 ± 142.77
	10%	-	434.96 ± 220.27
		1.50	450.31 ± 231.46
Pretreat	5%	-	896.79 ± 262.06
		1.50	808.27 ± 186.55
	10%	-	786.27 ± 221.68
		1.50	743.69 ± 197.93

จากผลของวิธีการผสม ผลของปริมาณเส้นใย และผลของการเติม Rheobuild® พบว่า ค่ามอดุลัสโค้งงอ กับ ค่าความแข็งแรงโค้งงอ มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับค่าความแข็งแรงโค้งงอ แสดงดังรูปที่ 4.7 และ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสโค้งงอ (MPa) กับวิธีการผสมของแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัส ปริมาณเส้นใย 5% และ 10% โดยน้ำหนัก ที่มีกรไลและไมไล่ Rheobuild®

การเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 (Portland Cement type 3) เส้นใยที่ใช้มีปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก น้ำที่ใช้มีปริมาณ 65% โดยน้ำหนักของมวลรวม และโพแทชอะลัมที่ใช้มีปริมาณ 1% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ จากโรงงานพิเศษปีนี้ พบว่า แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมจากวิธีการผสมแบบ Wet แบบ Dry-mix และแบบ Pretreat มีค่ามอดุลัสโค้งงอ เท่ากับ 661.5 ± 167.4 , 568.4 ± 109.3 และ 860.9 ± 274.8 MPa ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับจากโรงงานพิเศษปี 2548 ของ สุวปกรณณ์ เขม้นเขตรังการณณ์ และคณะ [15] แผ่นไม้อัดซีเมนต์มีมอดุลัสโค้งงอเท่ากับ 136.08 ± 4.51 MPa เห็นได้ชัดเลยว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมจากวิธีการผสมแบบ Wet แบบ Dry-mix และแบบ Pretreat มีค่ามอดุลัสโค้งงอมากกว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมได้จากโรงงานพิเศษปี 2548 น่าจะเป็นผลมาจาก การกระจายตัวของเส้นใยดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้สามารถเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากปูนซีเมนต์ผสมเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (TMP) ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป โดยแบ่งปัจจัยศึกษาออกเป็น 3 ปัจจัย ได้แก่ ลำดับการผสม ปริมาณเส้นใย และการใช้ซูเปอร์พลาสติกไฮเซออร์ (Rheobuild®) ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองในแต่ละปัจจัยศึกษาได้ดังนี้

- ผลของวิธีการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์

1. การผสมแบบ Wet พบว่า เส้นใยกระจายตัวในแผ่นไม้อัดซีเมนต์ดี ปูนและน้ำผสมเข้ากันได้ดี จึงเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ดี

2. การผสมแบบ Dry-mix พบว่า เส้นใยกระจายตัวในแผ่นไม้อัดซีเมนต์ดี แต่ปริมาณน้ำอาจกระจายไม่ทั่วถึงทั้งชิ้นงาน เนื่องจากการสเปรย์น้ำจะสเปรย์ลงเฉพาะที่ผิวหน้าถึงแม้จะมีการกดอัดภายหลังก็ตาม น้ำก็ยังกระจายลงสู่ด้านล่างได้ไม่เต็มที่ เพราะฉะนั้นการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ของปูนจะไม่ดีเท่าการผสมแบบ Wet การผสมแบบ Dry-mix จะทำให้เกิดการกระจายตัวของเส้นใยในแผ่นไม้อัดซีเมนต์ได้ยากเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น จึงทำให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอลดลงมากเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น

3. การผสมแบบ Pretreat พบว่า เส้นใยเป็นก้อนและมีขนาดเล็ก เนื่องจากหลังการเคลือบเส้นใยด้วยไซเดียมซัลไฟด์ เส้นใยแข็งและรวมตัวกัน จึงต้องนำเข้าเครื่องบดเพื่อให้เส้นใยมีขนาดเล็กพอที่จะใช้งานได้ ฉะนั้นหลังการขึ้นรูปเส้นใยจึงเป็นก้อนๆกระจายได้ดีทั่วทั้งชิ้นงาน และในการผสมกันระหว่างปูนและน้ำจะเข้ากันได้ดี จึงเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ดี แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ได้มีค่าความชื้นสูง และค่าการพองตัวต่ำ

ดังนั้น แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมด้วยวิธีการผสมแบบ Pretreat ให้สมบัติทางด้านกายภาพและสมบัติเชิงกลดีกว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมด้วยวิธีการผสมแบบ Wet และแบบ Dry-mix ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลของปริมาณเส้นใย

เมื่อปริมาณเส้นใยในแผ่นไม้อัดซีเมนต์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความชื้นและการพองตัวของเนื้อไม้เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสจากเส้นใยเพิ่มขึ้น และเนื่องจากเส้นใยมีความหนาแน่นต่ำกว่าปูนซีเมนต์ เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย จึงทำให้ความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ลดลง เช่นเดียวกับค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอที่มีค่าลดลง เนื่องจากเส้นใยที่ใช้เป็นสารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรง (Non-reinforcing fillers) ประกอบกับปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงมีปริมาณลดลง นอกจากนี้ เส้นใยที่ใช้เป็นเส้นใยสั้น มีการก่อกวนของเส้นใยต่ำ จึงมีการถ่ายเทแรงที่ได้รับไม่ดี เป็นผลให้ค่ามอดุลัสโค้งงอของแผ่นไม้อัดซีเมนต์มีค่าลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น

- ผลของสารเติมแต่งซูเปอร์พลาสติไซเซอร์ (Rheobuild[®])

Rheobuild[®] ทำให้ปูนซีเมนต์มีสมบัติการไหลที่ดีขึ้น ค่าการพองตัวมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการผสมใช้ปริมาณน้ำที่ไม่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์ จึงทำให้ผลของ Rheobuild[®] ต่ำกว่าที่คาดไว้

5.2 ข้อเสนอนแนะ

- แม่แบบโลหะที่ใช้เป็นแบบเบนเรียบ และมีขอบเหล็กกันสองด้านเท่านั้น ทำให้ปูนสามารถไหลออกทางด้านข้างได้ จึงส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์
- เนื่องจากเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนแข็งกลเป็นเส้นใยสั้น และดูดน้ำมาก ทำให้ผสมแล้วกระจายตัวได้ยาก และไม่เสริมแรง ดังนั้นจึงควรใช้ชิ้นไม้หรือเส้นใยชนิดอื่นที่มีแรงดึงดูระหว่างพื้นผิวน้อยมาใช้แทน
- เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีการกระจายตัวของเส้นใยที่สม่ำเสมอ ควรใช้อุปกรณ์ช่วยในการผสมที่มีประสิทธิภาพ
- การนำ Rheobuild[®] มาใช้งาน ควรปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำที่ใช้ให้เหมาะสม
- การเตรียมชิ้นงาน ควรเตรียมให้มีมาตรฐานเดียวกันทุกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัย จาตุรพิทักษ์กุล ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. เรื่องของปูนซีเมนต์. 2006. [online]. Available : <http://digital.lib.kmutt.ac.th/magazine/issue5/articles/article4.html>
- [2] สุพิณ ต่างวิวัฒน์. ปูนซีเมนต์. 2006. [online]. Available : <http://www.material.chula.ac.th/RADIO44/may/radio5-7.htm>
- [3] Viva board. แผ่นไม้อัดซีเมนต์. 2006 . [online]. Available : <http://www1.cementaionline.com/CRC/Product/vivaboard.asp>
- [4] บริษัท โอลิมปิก กระเบื้องไทย จำกัด. แผ่นซีเมนต์ใยไม้เซอราเฟลิกซีบอร์ด. 2006. [online]. Available : <http://www.shera.co.th>
- [5] จุรีพร นันทักษ์ ชูขวัญ ปั้นแจ่ม และปรีตถกร ทวีทรัพย์ประภา. 2547. การศึกษาเบื้องต้นแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมจากเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล. โครงการพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [6] ชัชวาล เศรษฐบุตร. คอนกรีตเทคโนโลยี. หน้า 1-257. ปี 2536. กรุงเทพมหานคร. เดอะพรีนท์-อินเตอร์เนชันแนล.
- [7] เทคโนโลยีวัสดุก่อสร้างงานคอนกรีตสมัยใหม่ : การใช้เถ้าลอยจากถ่านหิน [Coal Fly Ash Usage]. บทที่ 1 คอนกรีตทั่วไปในงานก่อสร้าง. 2006. [online]. Available : <http://www.learn.in.th/sample/flyash/index.html>
- [8] ดำเนิน คงพาลา. การเลือกใช้ปูนซีเมนต์ให้เหมาะสมกับงานก่อสร้างแต่ละประเภท. 2006. [online]. Available : <http://202.28.17.1/article/atc41/atc00204.html#000>
- [9] ชัชวาล เศรษฐบุตร. คอนกรีตเทคโนโลยี. 2006. [online]. Available : <http://www.cpac.co.th/techo/conbook/ch1.html>
- [10] เทคโนโลยีวัสดุก่อสร้างงานคอนกรีตสมัยใหม่ : การใช้เถ้าลอยจากถ่านหิน [Coal Fly Ash Usage]. บทที่ 4 การนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้เป็นวัสดุผสมทดแทนปูนซีเมนต์ในงานคอนกรีต. 2006. [online]. Available : <http://www.learn.in.th/sample/flyash/chapter04.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] อรุณ ชัยเสรี. คู่มือการตรวจสอบคอนกรีตของสมาคมคอนกรีตอเมริกัน. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ : 14-26. 1967. อ้างจาก A.C.I. MANUAL OF CONCRETE INSPECTION, American Concrete Institute.
- [12] เทคโนโลยีวัสดุก่อสร้างงานคอนกรีตสมัยใหม่ : การใช้เถ้าลอยจากถ่านหิน [Coal Fly Ash Usage]. บทที่ 7 การใช้เถ้าลอยลิกไนต์ในงานคอนกรีตความร้อนต่ำ. 2006. [online]. Available : <http://www.learn.in.th/sample/flyash/chapter07.htm>
- [13] สมภพ เลิศลักษณ์กุล. 2544. ไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติจากพอลิไวนิล-คลอไรด์ (พีวีซี) และเส้นใยยูคาลิปตัส. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [14] Walter Giger and co-examiner. Environmental Exposure Assessment of Sulfonated Naphthalene Formaldehyde Condensates and Sulfonated Naphthalenes Applied as Concrete Superplasticizers. 2006. [online]. Available : <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/ecol-pool/diss/fulltext/eth14477.pdf>
- [15] สุภาพรณ วัฒนเขตรัการณ พรพรรณ กาญจนะวรนนท์ และเสริมศิลป์ ไทยศิลป์สังข์. 2548 . การปรับปรุงแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนแห้ง (TMP). ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [16] J. L. Pehanich P. R. Blenkehorn and M. R. Silsbee. Wood fiber surface treatment level effects on selected mechanical properties of wood fiber-cement composites. Cement and Concrete Research 34 (2004), 59-65.
- [17] S. Goberis and V. Antonovich. Influence of sodium silicate amount on the setting time and EXO temperature of a complex binder consisting of high-aluminate cement, liquid glass and metallurgical slag. Cement and Concrete Research 34 (2004), 1934-1941
- [18] P. Coatanlem R. Jauberthie and F. Rendell. Lightweight wood chipping concrete durability. Construction and Building Materials 20 (2006), 776-781
- [19] P. R. Blankenhorn M. R. Silsbee and B. D. Blankenhorn. Temperature and moisture effects on selected properties of wood fiber-cement composites. Cement and Concrete Research 29 (1999), 737-741

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[20] R. Jauberthie F. Rendell S. Tamba and I. K. Cisse. Properties of cement-rice husk mixture. Contruction and Buiding Materials17 (2003), 239-243



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-1 ค่าการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ของแผ่นไม้อัดซีเมนต์แบบใช้เส้นใยที่ผ่านการแช่

ในสารละลายโซเดียมซัลไฟด์

สูตรปูน	Rheobuild (% w/w cement)	Sample	Fm (N)	Def.@Max Load (mm)	w1 0.3 (N)	w2 0.35 (N)	w2 - w1	Sample Width (mm)	Sample Thick (mm)	Flexural Strength (MPa)	Flexural modulus (MPa)
5% Wet	-	1	112.80	0.46	16.97	48.62	31.65	22.20	7.50	5.42	1081.40
		2	111.30	0.39	46.00	85.27	39.27	20.00	9.00	4.12	861.89
		3	169.20	0.41	69.38	107.90	38.52	19.70	9.05	6.29	844.16
		4	141.80	0.49	32.15	54.13	21.98	22.20	8.35	5.50	544.21
		5	117.30	0.57	3.99	21.14	17.15	23.20	7.40	5.54	583.86
		mean	130.48	0.46	33.70	63.41	29.71	21.46	8.26	5.37	783.10
5% Wet	1.5	1	156.50	0.52	36.35	64.28	27.93	23.00	8.50	5.65	632.76
		2	130.80	0.47	13.08	43.11	30.03	21.70	11.20	2.88	315.20
		3	131.80	0.45	41.13	71.12	29.99	22.30	10.80	3.04	341.63
		4	157.90	0.38	76.12	121.30	45.18	23.60	10.90	3.38	473.05
		5	195.40	0.47	28.02	74.51	46.49	22.70	7.50	9.18	1553.46
		mean	154.48	0.46	38.94	74.86	35.92	22.66	9.78	4.83	663.22
10% Wet	-	1	235.90	0.46	72.92	117.50	44.58	22.10	10.70	5.59	526.92
		2	267.20	0.47	72.26	121.20	48.94	22.10	10.00	7.25	708.63
		3	176.00	0.61	4.14	19.49	15.35	20.00	9.40	5.98	295.70
		4	229.50	0.58	9.89	40.38	30.49	21.80	9.80	6.58	475.57
		5	245.00	0.45	66.52	118.70	52.18	20.25	10.10	7.12	800.32
		mean	230.72	0.51	45.15	83.45	38.31	21.25	10.00	6.50	561.43
10% Wet	1.5	1	131.10	0.43	64.03	86.44	22.41	20.80	10.30	3.56	315.51
		2	165.60	0.60	3.53	19.19	15.66	23.10	10.80	3.69	172.19
		3	121.00	0.58	56.73	73.56	16.83	20.50	8.40	5.02	443.24
		4	156.80	0.49	47.61	69.93	22.32	21.85	8.90	5.44	463.68
		5	176.40	0.52	21.89	48.41	26.52	23.40	8.10	6.89	682.42
		mean	150.18	0.52	38.76	59.51	20.75	21.93	9.30	4.92	415.41
5% Dry-mix	-	1	218.30	0.48	92.76	114.50	21.74	21.10	8.30	9.01	576.62
		2	175.70	0.36	104.10	161.40	57.30	20.85	8.60	6.84	1382.62
		3	152.30	0.45	46.96	81.73	34.77	21.00	8.00	6.80	1034.82
		4	143.20	0.45	45.17	74.10	28.93	21.00	8.10	6.24	829.51
		5	194.00	0.36	113.10	175.80	62.70	21.20	7.95	8.69	1883.56
		mean	176.70	0.42	80.42	121.51	41.09	21.03	8.19	7.51	1141.43
5% Dry-mix	1.5	1	98.28	0.42	35.09	58.32	23.23	21.30	6.70	6.17	1160.37
		2	120.93	0.26	31.78	60.13	28.35	21.00	7.20	6.67	1157.41
		3	175.90	0.40	82.43	117.60	35.17	21.00	7.65	8.59	1197.07
		4	142.80	0.39	73.91	109.80	35.89	21.00	8.65	5.45	845.00
		5	323.30	0.33	213.10	292.50	79.40	21.45	10.20	8.83	1116.20
		mean	173.24	0.36	87.26	127.67	40.41	21.15	8.08	7.14	1095.21
10% Dry-mix	-	1	116.50	0.35	93.14	113.70	20.56	21.70	8.50	4.46	493.69
		2	54.56	0.68	4.38	9.95	5.58	21.25	9.45	1.73	99.55
		3	146.90	0.30	56.21	85.34	29.13	21.00	9.50	4.65	517.73
		4	129.80	0.45	44.57	73.12	28.55	20.70	8.60	5.09	693.89
		5	61.51	0.58	6.92	26.64	19.73	19.90	9.50	2.05	369.95
		mean	101.85	0.47	41.04	61.75	20.71	20.91	9.11	3.60	434.96
10% Dry-mix	1.5	1	144.50	0.54	14.15	39.50	25.35	23.30	9.30	4.30	432.84
		2	105.30	0.37	75.64	99.15	23.51	22.30	9.10	3.42	447.69
		3	120.70	0.16	14.48	37.80	23.32	22.70	9.50	3.53	383.43
		4	188.30	0.68	2.80	15.15	12.35	20.90	10.30	5.10	173.09
		5	165.00	0.38	83.25	126.30	43.05	23.20	9.00	5.27	814.53
		mean	144.76	0.43	38.06	63.58	25.52	22.48	9.44	4.32	450.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-1 ค่าการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ของแผ่นไม้อัดซีเมนต์แบบใช้เส้นใยที่ผ่านการแช่
ในสารละลายโซเดียมซัลไฟเกต (ต่อ)

สูตรปูน	Rheobuild	Sample	Fm (N)	Def.@Max Load (mm)	w1 0.3 (N)	w2 0.35 (N)	w2 - w1	Sample Width (mm)	Sample Thick (mm)	Flexural Strength (MPa)	Flexural modulus (MPa)
5% Pretreat	-	1	163.10	0.36	93.28	138.80	45.52	19.40	9.10	6.09	996.38
		2	170.10	0.46	31.10	69.43	38.33	21.00	9.00	6.00	801.20
		3	236.10	0.53	21.69	59.83	38.14	21.80	10.20	6.25	527.56
		4	168.90	0.35	120.00	166.90	46.90	19.70	9.40	5.82	917.22
		5	188.00	0.37	102.90	158.70	55.80	20.40	8.90	6.98	1241.61
		mean	185.24	0.42	73.79	118.73	44.94	20.46	9.32	6.23	896.79
5% Pretreat	1.5	1	241.40	0.39	101.90	160.70	58.80	20.70	9.40	7.92	1094.39
		2	188.50	0.39	98.48	148.30	49.82	21.00	9.90	5.50	782.40
		3	180.10	0.92	62.72	102.70	39.98	21.30	9.20	5.99	771.35
		4	102.30	0.56	45.23	69.62	24.39	21.40	8.60	3.88	573.39
		5	193.10	1.02	96.13	136.48	40.35	20.90	9.10	6.69	819.83
		mean	181.08	0.65	80.89	123.56	42.67	21.06	9.24	6.00	808.27
10% Pretreat	-	1	120.10	0.45	32.34	68.88	36.54	21.50	7.80	5.51	1146.03
		2	195.10	0.43	72.32	99.67	27.35	21.80	8.60	7.26	631.18
		3	138.40	0.29	92.13	123.50	31.37	21.70	8.20	5.69	839.00
		4	189.50	0.37	56.93	88.54	31.61	20.00	8.90	7.18	717.42
		5	136.40	0.43	7.12	24.48	17.36	21.60	7.55	6.65	597.70
		mean	155.90	0.39	52.17	81.01	28.85	21.32	8.21	6.46	786.27
10% Pretreat	1.5	1	135.90	0.52	20.13	44.73	24.60	21.10	9.70	4.11	408.78
		2	206.40	0.36	137.90	194.60	56.70	21.50	10.20	5.54	795.23
		3	193.30	0.45	43.80	83.68	39.88	21.30	8.70	7.19	909.85
		4	123.00	0.39	71.08	104.80	33.72	22.10	8.70	4.41	741.46
		5	125.20	0.44	18.04	60.71	42.67	21.70	9.00	4.27	863.15
		mean	156.76	0.43	58.19	97.70	39.51	21.54	9.26	5.10	743.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-1 สมบัติของแผ่นไม้อัดซีเมนต์เกรดการค้า (Viva board)

สมบัติวัสดุ	แผ่นไม้อัดซีเมนต์เกรดการค้า
1.ความหนาแน่น (g/cm^3)	1.1 - 1.3
2.ปริมาณความชื้นในแผ่นไม้อัดซีเมนต์ (%)	12 ± 3
3.การพองตัวเมื่อแช่น้ำ (ตามความหนา) 24 ชั่วโมง	< 2%
4.ความแข็งแรงโค้งงอ (MPa)	9 - 12
5.มอดุลัสโค้งงอ (MPa)	3000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้