สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (TMP)

T107753

นายฐาปกรณ์ เขม้นเขตร์การณ์
นางสาวพรพรรณ กาญจนะวรนันท์
นายเสริมศิลป์ ไชยศิลปสังข์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....107753
วัน,เดือน,ปี.....10 พ.ค. 2553

b.....12210626
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of Wood-Cement Board Prepared From Eucalyptus Thermomechanical Pulp (TMP)

Mr. Thapakorn Kamenketkarn

Miss Pornphan Kanchanaworanant

Mr. Sermsil Chaisillapasung

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King mongkut's Insitute of Technology Lardkrabung

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษ	การปรับปรุงแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยจากเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (TMP)
นักศึกษา	นายฐาปกรณ์ เขม้นเขตร์การณ์
	นางสาวพรพรรณ กาญจนะวรนันท์
	นายเสริมศิลป์ ไชยศิลปสังข์
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2548
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.บุณณมา ศิริพันธ์โนน
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด
	คุณวรธรรม อุ่นจิตติชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้ โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ.ดร.ภัทธาวุธ มนต์วิเศษ	.....
กรรมการ	ผศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม	.....
กรรมการ	รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด	.....

.....

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การปรับปรุงแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (TMP)

นักศึกษา นายฐาปกรณ์ เขม้นเขตร์การณ์ รหัสนักศึกษา 45050093
นางสาวพรพรรณ กาญจนะวรนันท์ รหัสนักศึกษา 45050124
นายเสริมศิลป์ ไชยศิลปสังข์ รหัสนักศึกษา 45050166

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2548

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด
คุณวรธรรม อุ่นจิตติชัย

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการปรับปรุงแผ่นไม้อัดซีเมนต์ (Wood-cement board; WCB) จากเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp,TMP) เพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ในการก่อสร้าง โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อแผ่นไม้อัดซีเมนต์ ได้แก่ ปริมาณของเส้นใย (10% และ 15% โดยน้ำหนักมวลรวม) ประเภทของปูนซีเมนต์ (ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 3) การใส่สารเติมแต่ง (ซิลิกาชนิดละอองและแวกซ์) และปริมาณสารเติมแต่ง (1% 2% และ 3% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์) โดยกำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อน้ำเป็น 1:0.8 และ 1:1.2 (เส้นใย 10% และ 15% ตามลำดับ) ในขั้นแรกทำการแช่เส้นใยในสารละลายโซเดียมซิลิเกตเป็นเวลา 1 วัน นำเส้นใยที่ได้มาผสมกับน้ำและปูนซีเมนต์แล้วนำไปอัดขึ้นรูปเป็นแผ่น นำไปบ่มภายใต้ความชื้นสูงเป็นเวลา 3 วัน และอบที่ 100 °C เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความชื้นและค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำเพิ่มขึ้น แต่ค่าความหนาแน่น ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอลดลง ประเภทของปูนซีเมนต์ที่ใช้ไม่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ แต่มีผลต่อสมบัติเชิงกล คือ ความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ โดยปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3 จะมีสมบัติเชิงกลดีกว่า การใส่สารเติมแต่งจะทำให้ค่าความชื้นและการพองตัวลดลงเล็กน้อย ความแข็งแรงโค้งงอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมอดุลัสโค้งงอเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อความหนาแน่น และปริมาณสารเติมแต่งที่เหมาะสมคือ 2% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special project title	Development of Wood-Cement Board Prepared From Eucalytus Thermomechanical Pulp (TMP)	
Student	Mr. Thapakorn Kamenketkarn	ID 45050093
	Miss Pornphan Kanchanaworanant	ID 45050124
	Mr. Sermsil Chaisillapasung	ID 45050166
Special project advisors	Asst.Prof.Dr. Punnama Siriphannon	
	Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchud	
	Mr. Woratham Oonjittichai	
Department	Chemistry	
Academic Year	2005	

Abstract

This research was focused on Wood-Cement Board (WCB) of Eucalyptus fibers prepared from Thermomechanical Pulp (TMP) as artificial wood for construction applications. Factors affecting WCB properties were studied, such as, fiber loading (10 and 15% by weight), type of cement (Type 1 and Type 3), additive (Fume silica vs. Wax) and its %loading (1% 2% and 3% by weight of cement). Ratios of cement to water used in this work were 1:0.8 and 1:1.12. The mixtures were shaped by compression molding technique, cured for 3 days in saturated relative humidity (RH) condition, and oven dried at 100 °C for 1 day. The WCB were tested for properties, i.e., density, moisture, swelling in water, flexural strength and flexural modulus.When amount of fibers was increased, the moisture absorption and swelling of WCB were increased, while the density, flexural strength and flexural modulus were decreased. Type of the cement had no effect on physical properties but effects on mechanical properties. WCB made from type 3 cement showed better mechanical properties than those made from type 1 cement. By adding the additives, slightly decrease in moisture and swelling was observed, whereas flexural strength and flexural modulus were increased. An appropriate amount of additive was 2% by weight of cement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานพิเศษนี้ จะสำเร็จลุล่วงมิได้ถ้าหากขาดความช่วยเหลือ ความร่วมมือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่คณะผู้จัดทำจากบุคคลและองค์กรต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน และ รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษเป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และความช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณวรธรรม อุ่นจิตติชัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา และให้ความอนุเคราะห์เส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภัทธารุธ มนต์วิเศษ และ ผศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม ที่กรุณาเป็นกรรมการตรวจสอบ ตลอดจนให้คำแนะนำและตรวจทานแก้ไขโครงงานพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิประสาทวิชาความรู้ ให้คำปรึกษาและคอยช่วยเหลือตลอดระยะเวลา 4 ปี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ประจำอาคารฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์เทคโนโลยี เจ้าหน้าที่ธุรการ และแม่บ้าน ที่ให้ความช่วยเหลือและความสะดวกในการดำเนินงานโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ เคมีอุตสาหกรรม ปี 4 ทุกคนที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา และครอบครัว ที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้จัดทำจนประสบความสำเร็จในด้านการศึกษา

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากมาย ที่มิได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ฐาปกรณ์ เขม้นเขตร์การณ์
พรพรรณ กาญจนะวรนันท์
เสริมศิลป์ ไชยศิลปะสังข์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ซ
สารบัญตาราง	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการดำเนินงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 คอนกรีตคืออะไร	4
2.2 องค์ประกอบของคอนกรีต	4
2.3 หน้าที่และสมบัติของส่วนผสม	5
2.3.1 ซีเมนต์เพสท์	5
2.3.2 มวลรวม	5
2.2.3 น้ำ	5
2.3.4 น้ำยาผสมคอนกรีต	6
2.4 ปูนซีเมนต์	6
2.4.1 วัตถุดิบ	6
2.4.2 กรรมวิธีในการผลิต	6
2.4.3 สารประกอบหลัก	8
2.4.4 สารประกอบรอง	9
2.5 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน	10
2.5.1 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของแคลเซียมซิลิเกต	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5.2 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอลูมิเนต	11
2.5.3 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์	12
2.6 องค์ประกอบของเพสท์	13
2.7 กระบวนการแข็งตัว	15
2.8 การบ่ม	16
2.9 การหดตัวและพองตัว	17
2.10 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber)	18
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	30
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	30
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	30
3.3 แผนการดำเนินงานวิจัย	31
3.4 ขั้นตอนการวิจัย	34
3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ	34
3.4.2 การเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์	34
3.4.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ	41
3.4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล	42
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	44
4.1 ลักษณะทางกายภาพ	44
4.1.1 การศึกษาผลของสารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง	44
4.1.2 การศึกษาการใช้สารเติมแต่งแวกซ์ Super shine C®	47
4.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ	49
4.2.1 ความหนาแน่น	49
4.2.2 ความชื้น	51
4.2.3 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล	54
4.3.1 ความแข็งแรงโค้งงอ	54
4.3.2 มอดุลัสโค้งงอ	57
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	59
5.1 สรุปผลการทดลอง	59
- ผลของชนิดของปูนซีเมนต์	59
- ผลของปริมาณเส้นใย	59
- ผลของชนิดสารเติมแต่ง	59
- ผลของปริมาณสารเติมแต่ง	60
5.2 ข้อเสนอแนะ	60
บรรณานุกรม	61
ภาคผนวก ก ผลของการทดสอบสมบัติทางกายภาพ	63
ภาคผนวก ข ผลของการทดสอบสมบัติเชิงกล	71
ภาคผนวก ค ค่ามาตรฐานแผ่นไม้อัดซีเมนต์เกรดการค้า	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 ตัวอย่างแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ใช้ในงานก่อสร้าง 2

รูปที่ 2.1 แผนภูมิการเรียกชื่อองค์ประกอบต่างๆ ของคอนกรีต 4

รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงปฏิกิริยาของแคลเซียมซิลิเกต 11

รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของเพสท์ 13

รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด การร่วซึมสัมพัทธ์ของน้ำของคอนกรีต ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างๆกัน 14

รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์กำลังอัดและระยะเวลาการบ่มคอนกรีต 15

รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของกำลังอัด อุณหภูมิการบ่ม อายุคอนกรีต ขณะทดสอบ 16

รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และปริมาณน้ำในคอนกรีต 18

รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส 19

รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส 20

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของลิกนิน 20

รูปที่ 2.11 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้ 21

รูปที่ 2.12 ลักษณะของต้นยูคาลิปตัส 21

รูปที่ 3.1 แม่พิมพ์โลหะสำหรับแผ่นไม้อัดซีเมนต์ ขนาด 15 x 15 x 1 cm^3 31

รูปที่ 3.2 แผนผังการดำเนินงาน 33

รูปที่ 3.3 (ก) แม่แบบโลหะที่รองด้วยแผ่นใสและที่ขอบแม่แบบโลหะมีดินน้ำมันกั้นไว้ (ข) เทของผสมที่เตรียมได้ลงในแม่แบบโลหะ 35

รูปที่ 3.4 การกดอัดแผ่นไม้อัดซีเมนต์ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (ก) ก่อนกด (ข) หลังกด 35

รูปที่ 3.5 การยึดแม่แบบโลหะให้คงรูป 36

รูปที่ 3.6 การบ่มที่ความชื้นสูง 36

รูปที่ 3.7 การตัดชิ้นงานเพื่อนำไปทดสอบ (A) ความหนาแน่น และความชื้น (B) ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดูลัสโค้งงอ 37

รูปที่ 3.8 การตัดชิ้นงานเพื่อนำมาทดสอบ (C) การพองตัวเมื่อแช่น้ำ 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกด (N) กับการแอ่นตัว 43

รูปที่ 4.1 ลักษณะส่วนผสมต่างๆ ของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกา ชนิดละออง 2%โดยน้ำหนักเทียบกับปูน 45

รูปที่ 4.2 ลักษณะการกระจายตัวของเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล ในชิ้นงานที่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง 2% โดยน้ำหนักเทียบกับปูน (ก) ปริมาณเส้นใย 10% (ข) ปริมาณเส้นใย 15% 45

รูปที่ 4.3 ลักษณะส่วนผสมต่างๆของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ไม่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกา ชนิดละออง 2%โดยน้ำหนักเทียบกับปูน 46

รูปที่ 4.4 ลักษณะการกระจายตัวของเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล ในชิ้นงานที่ไม่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง 2%โดยน้ำหนักเทียบกับปูน (ก) ปริมาณเส้นใย 10% (ข) ปริมาณเส้นใย 15% 46

รูปที่ 4.5 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล ที่ไม่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง 47

รูปที่ 4.6 ภาพ SEMแสดงสัณฐานวิทยาของเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล ที่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง 2% โดยน้ำหนักเทียบกับปูน 47

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณเส้นใยของแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัสขนาดน้อยกว่า 80 mesh ปริมาณเส้นใย 10% และ 15% โดยน้ำหนัก โดยใช้ปูนประเภทที่ 1 และ 3 ที่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง 2% โดยน้ำหนักเทียบกับปูน 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นกับปริมาณเส้นใยของแผ่นไม้อัดซีเมนต์จาก
เส้นใยยูคาลิปตัสขนาดน้อยกว่า 80 mesh ปริมาณเส้นใย 10% และ 15%
โดยน้ำหนัก โดยใช้ปูนประเภทที่ 1 และ 3 ที่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง
2% โดยน้ำหนักเทียบกับปูน 51

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัวเมื่อแช่น้ำกับปริมาณเส้นใยของแผ่นไม้อัดซีเมนต์
จากเส้นใยยูคาลิปตัสขนาดน้อยกว่า 80 mesh ปริมาณเส้นใย 10% และ 15%
โดยน้ำหนัก โดยใช้ปูนประเภทที่ 1 และ 3 ที่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง
2% โดยน้ำหนักเทียบกับปูน 53

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงโค้งงอกับปริมาณเส้นใยของแผ่นไม้อัดซีเมนต์
จากเส้นใยยูคาลิปตัสขนาดน้อยกว่า 80 mesh ปริมาณเส้นใย 10% และ
15%โดยน้ำหนัก โดยใช้ปูนประเภทที่ 1 และ 3 ที่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง
2% โดยน้ำหนักเทียบกับปูน 56

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงโค้งงอกับปริมาณสารเติมแต่งของแผ่นไม้
อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัสขนาดน้อยกว่า 80 mesh ปริมาณเส้นใย 10%
โดยใช้ปูนประเภทที่ 3 56

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสโค้งงอกับปริมาณเส้นใยของแผ่นไม้อัดซีเมนต์จาก
เส้นใยยูคาลิปตัสขนาดน้อยกว่า 80 mesh ปริมาณเส้นใย 10% และ 15%
โดยน้ำหนัก โดยใช้ปูนประเภทที่ 1 และ 3 ที่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง
2% โดยน้ำหนักเทียบกับปูน 58

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสโค้งงอกับปริมาณสารเติมแต่งของแผ่นไม้
อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัสขนาดน้อยกว่า 80 mesh ที่มีปริมาณเส้นใย 10%
โดยใช้ปูนประเภทที่ 3 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 7

ตารางที่ 2.2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 8

ตารางที่ 2.3 สมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 9

ตารางที่ 2.4 กระบวนการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอะลูมิเนต 13

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ ยูคาลิปตัส คาลาดูเลนซีส 22

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยไม้ TMP และ CP 24

ตารางที่ 3.1 ขนาดของอนุภาคของปูนซีเมนต์ และเส้นใยยูคาลิปตัสที่เลือกใช้ 34

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์ 39

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความหนาแน่น ความชื้น (%) และการพองตัวเมื่อแช่น้ำ (%) 49

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ 54

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบมอดุลัสโค้งงอ 57

ตาราง ก-1 น้ำหนักและปริมาตรของแผ่นคอนกรีตตัวอย่าง 64

ตาราง ก-2 น้ำหนักก่อนอบแห้งและหลังอบแห้ง 65

ตาราง ก-3 ความหนาก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำ 67

ตาราง ข-1 แสดงค่าการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ของแผ่นไม้อัดซีเมนต์
แบบใช้เส้นใยที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมซิลิเกต 72

ตาราง ค-1 สมบัติของแผ่นไม้อัดซีเมนต์เกรดการค้า(Viva board) 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

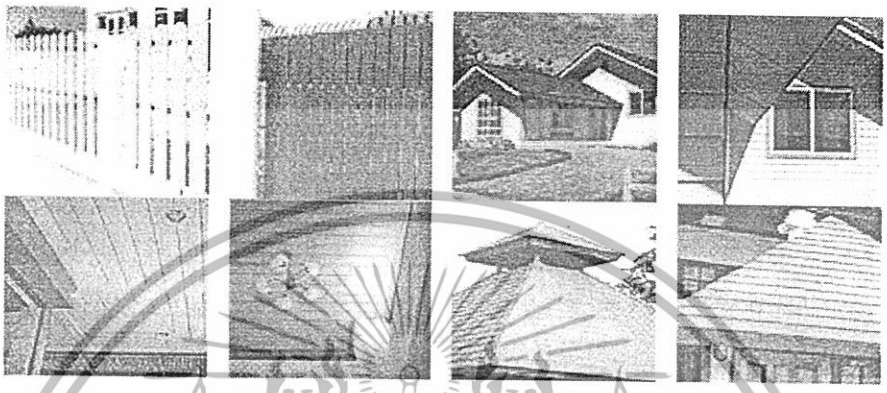
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ไม้ (Wood) ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน นอกจากการนำไปใช้เป็นโครงสร้างหลักของอาคาร และสิ่งก่อสร้าง ยังมีการใช้ไม้ผลิตสิ่งของเครื่องใช้ และเฟอร์นิเจอร์ในหลายลักษณะเพื่อการตกแต่ง เนื่องจากไม้มีความสวยงาม คงทน และมีสมบัติที่ดีหลายประการ อีกทั้งไม้ยังเป็นวัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และสามารถปลูกทดแทนใหม่ได้ จากความนิยมในการใช้ไม้เพื่องานประเภทต่างๆ เป็นผลให้ปริมาณไม้ที่ผลิตจากการปลูกป่าเชิงพาณิชย์ภายในประเทศไม่เพียงพอกับความต้องการใช้งาน จำเป็นต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งไม้นำเข้ามีราคาสูง และมีปริมาณจำกัด ส่งผลให้เกิดปัญหาการลักลอบตัดไม้ทำลายป่า ป่าไม้ถูกทำลายเพิ่มขึ้นทุกปี จนปัจจุบันแทบไม่มีป่าสมบูรณ์เหลืออยู่ในประเทศไทย ทำให้เกิดปัญหาธรรมชาติขาดความสมดุล เกิดปัญหาอื่นๆ ตามมา เช่น ฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล ปรากฏการณ์โลกร้อน เป็นต้น นอกจากนี้ไม้ยังมีข้อเสียอีกหลายประการ เช่น ต้องการการดูแลรักษาทุกๆ 2-3 ปี เพื่อรักษาเนื้อไม้ไม่ให้บิดงอ และแตกหัก เกิดการผุกร่อน ดูดน้ำมาก เกิดการบวมตัวสูง และถูกทำลายโดยแมลงต่างๆ เช่น ปลวก มอด ได้ง่าย จากข้อเสียดังกล่าว ทำให้มีการพัฒนาวัสดุอื่นมาใช้แทนไม้ เรียกว่า วัสดุทดแทนไม้

แผ่นไม้อัดซีเมนต์ (Wood – cement board; WCB) [1] เป็นหนึ่งในวัสดุทดแทนไม้ ถูกพัฒนาขึ้นโดยการนำไม้ปลูกโตเร็วมาบดย่อย และผสมกับซีเมนต์แล้วกดอัดด้วยแรงสูง เป็นการนำสมบัติเด่นของส่วนผสมสองชนิดมารวมไว้ด้วยกัน จึงแข็งแกร่งทนทาน ทนแดด ทนฝน ทนไฟ ทนต่อความชื้น ไม่ผุกร่อน ไม่ยืดหรือหดตัวมาก ทนต่อปลวก มอด เชื้อรา และแมลงกินไม้ต่างๆ เหมือนซีเมนต์ แต่มีน้ำหนักเบา ยืดหยุ่น ใช้งานง่าย ป้องกันความร้อน มีความสวยงามจึงเป็นวัสดุก่อสร้างที่ทันสมัย ใช้งานสะดวก ง่ายต่อการขนส่ง และมีสมบัติเด่นเหนือวัสดุอื่นๆ โดยสามารถใช้งานได้ทั้งภายในและภายนอกสิ่งปลูกสร้าง และการใช้งานเฉพาะด้านต่างๆ ในปัจจุบันแผ่นไม้อัดซีเมนต์ (Wood – Cement Board) เป็นที่นิยมในงานก่อสร้างอย่างแพร่หลาย แผ่นไม้อัดที่เตรียมจากซีเมนต์กับไม้ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติดีกว่าไม้อัดธรรมดา และยังไม่มีปัญหาเรื่องการเกิดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ [2] จึงนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างโดยเฉพาะบริเวณเส้นศูนย์สูตร (หรือบริเวณที่ฝนตกชุก) นอกจากนี้แผ่นไม้อัดซีเมนต์ดังกล่าวยังมีความเป็นฉนวนทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความสามารถในการดูดกลืนเสียง มีน้ำหนักเบา ทำให้เสาและคานไม่ต้องรับน้ำหนักมาก ลดต้นทุนในงานก่อสร้าง และลดปริมาณการใช้ไม้ลงได้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น รั้ว หลังคา ผนัง เพดาน เป็นต้น



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ใช้ในงานก่อสร้าง [3]

ในโครงงานพิเศษนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องของโครงงานพิเศษสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2547 เรื่อง การศึกษาเบื้องต้นแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมจากเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp; TMP) [4] โดยทำการปรับปรุงวิธีการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์ และปริมาณเส้นใยที่ใช้ โดยเลือกใช้เส้นใยจากไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบ เนื่องจากเป็นไม้ที่มีอยู่มาก เป็นที่นิยมปลูกเพื่อการค้า เพราะมีอัตราการเจริญเติบโตสูง ปลูกง่าย โตเร็ว ให้เนื้อไม้มาก เนื้อไม้สวย ราคาถูก และสามารถปลูกทดแทนได้ในระยะเวลาสั้น อีกทั้งการนำสมบัติเด่นของเส้นใยที่ช่วยกระจายแรงได้ดี มาปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตให้มีความสามารถในการรับแรงและมีน้ำหนักเบา นอกจากนี้ยังเป็นการนำเส้นใยธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากคอนกรีตผสมเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp; TMP)
2. เพื่อศึกษาขั้นตอนการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เหมาะสม
3. เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 **ขอบเขตงานวิจัย**

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และเตรียมเส้นใย

2. ศึกษาอัตราส่วนของวัตถุดิบ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ น้ำ และเส้นใย ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้อัดซีเมนต์

3. ศึกษาสมบัติของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ ได้แก่

- สมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่น ความชื้น และการพองตัวเมื่อแช่น้ำ
- สมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus)

4. ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ ได้แก่

- ปริมาณเส้นใย
- ชนิดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
- สารเติมแต่ง
- ปริมาณสารเติมแต่ง

1.4 **ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. สามารถผลิตแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีน้ำหนักเบา และมีสมบัติเชิงกลที่ดี
2. สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง และมีความเป็นไปได้ในการใช้งานในเชิงพาณิชย์
3. สามารถนำความรู้ที่ได้เป็นพื้นฐานในการศึกษาวัสดุคอนกรีตผสมเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่นๆ
4. เป็นการนำเอาเส้นใยธรรมชาติที่มีมูลค่าต่ำมาทำให้เกิดประโยชน์
5. สามารถผลิตวัสดุทดแทนไม้ เพื่อลดปริมาณการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 **คอนกรีตคืออะไร** [5]

คอนกรีต คือ วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจวบจนปัจจุบันเพราะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งทางด้านราคาและคุณสมบัติต่างๆ คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วนคือ วัสดุประสาน อันได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ผสมกับวัสดุผสมอันได้แก่ ทราย หิน กรวด เมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวได้อยู่ช่วงเวลาหนึ่ง พอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการ หลังจากนั้นจะแปรสภาพเป็นของแข็งที่มีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น

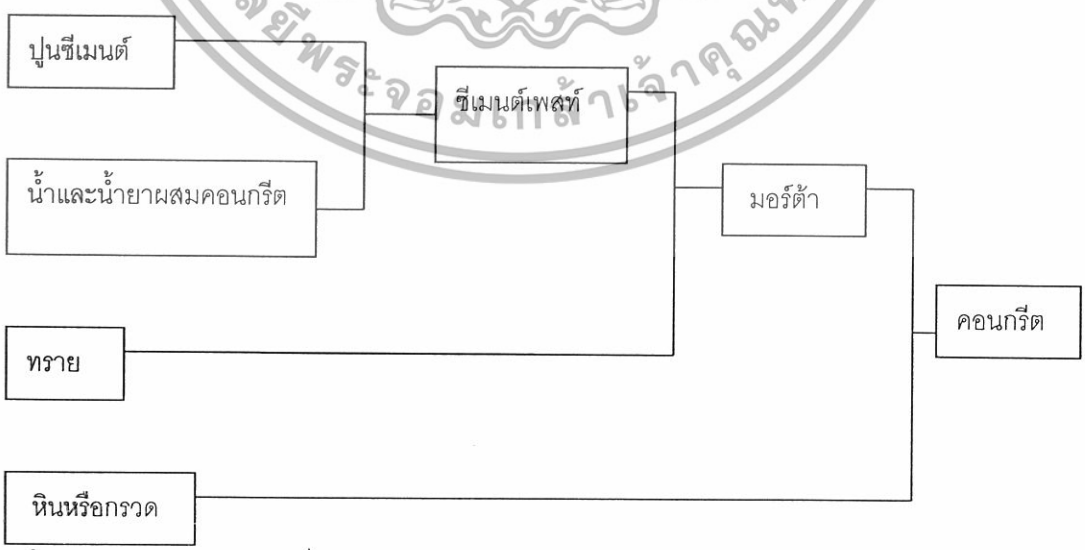
2.2 **องค์ประกอบของคอนกรีต** [5]

คอนกรีตประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต โดยเมื่อนำส่วนผสมต่างๆเหล่านี้มาผสมกันจะมีชื่อเรียกเฉพาะดังนี้

ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต เรียกว่า ซีเมนต์เพสท์ (Cement paste)

ซีเมนต์เพสท์ผสมกับทราย เรียกว่า มอร์ต้า (Morta)

มอร์ต้าผสมกับหินหรือกรวด เรียกว่า คอนกรีต (Concrete)



รูปที่ 2.1 แผนภูมิการเรียกชื่อองค์ประกอบต่างๆ ของคอนกรีต [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หน้าที่และคุณสมบัติของส่วนผสม [5]

2.3.1 ซีเมนต์เพสท์

หน้าที่ของซีเมนต์เพสท์มีดังนี้

- เสริมช่องว่างระหว่างมวลรวม
- หล่อลื่นคอนกรีตสดขณะเทหล่อ
- ให้กำลังแก่คอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัว รวมทั้งป้องกันการซึมผ่านของน้ำ

สมบัติของซีเมนต์เพสท์ขึ้นอยู่กับ

- สมบัติของปูนซีเมนต์
- อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์
- ความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์หรือ ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration)

2.3.2 มวลรวม

หน้าที่ของมวลรวมมีดังนี้

- เป็นตัวแทรกประสานราคาถูกที่กระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสท์
- ช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก

สมบัติของมวลรวมที่สำคัญ

- มีความแข็งแรง
- การเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่ำ
- คงทนต่อปฏิกิริยาเคมี
- ความต้านทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสี

2.3.3 น้ำ

หน้าที่หลักของน้ำสำหรับงานคอนกรีตมี 3 ประการ

- ใช้ล้างวัสดุมวลรวมต่างๆ
- ใช้ผสมทำคอนกรีต
- ใช้บ่มคอนกรีต

หน้าที่หลักของน้ำในฐานะที่ใช้ผสมทำคอนกรีตยังแบ่งได้อีก 3 ประการ

- ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันกับปูนซีเมนต์
- ทำหน้าที่หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถไหลเทได้
- เคลือบ หิน ทรายให้เปียกเพื่อให้ซีเมนต์เพสท์จะสามารถเข้าเกาะได้โดยรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 น้ำยาผสมคอนกรีต

หน้าที่สำคัญของน้ำยาผสมคอนกรีต คือ ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตที่เหลวและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วในด้านต่างๆ เช่น เวลาการก่อตัว ความสามารถเทได้กำลังอัด และความทนทาน เป็นต้น

2.4 ปูนซีเมนต์ [6]

ปูนซีเมนต์เป็นผงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ (หิน ปูน กับดินเหนียว หรือ ดินดาน) จนรวมตัวผสมกันสุกพอดี มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ แคลเซียมและอะลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ที่กล่าวนี้จะหมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic cement) ที่เมื่อผสมกับน้ำตามอัตราส่วนแล้วสามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้ เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ การทำปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) อัตราการแข็งตัวตลอดจนปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นอยู่กับความละเอียดและส่วนประกอบของผงปูน ความแข็งแรงและทนทาน เมื่อแข็งตัวแล้วขึ้นอยู่กับสัดส่วนการผสมและการให้ความชื้นขณะเริ่มแข็งตัว

2.4.1 วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่สำคัญซึ่งใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์อาจจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ

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

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

2.4.2 กรรมวิธีในการผลิต

เมื่อนำวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์มาเผาในถังปฏิกรณ์ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้นเป็นขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1) น้ำจะระเหยออกจากส่วนผสมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะถูกขับออกจากหินปูนและดินสอพองเหลือไว้เพียง CaO

ขั้นตอนที่ 3) เกิดการหลอมตัวของออกไซด์ระหว่างหินปูนและดินสอพอง ซิลิกา อะลูมินาและเหล็กออกไซด์ จากดินดำ

ขั้นตอนที่ 4) เกิดการรวมตัวทางเคมีของออกไซด์ต่างๆ 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 และยิปซั่ม ปริมาณออกไซด์ต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ [6]

ออกไซด์	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
<u>ออกไซด์หลัก</u>	
CaO	60 - 67
SiO_2	17 - 25
Al_2O_3	3 - 8
Fe_2O_3	0.5 - 6
<u>ออกไซด์รอง</u>	
MaO	0.1 - 5.5
$Na_2O + K_2O$	0.5 - 1.3
TiO_2	0.1 - 0.4
P_2O_5	0.1 - 0.2
SO_3	1 - 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกไซด์หลักจะรวมตัวในระหว่างการเกิดปูนเม็ด (Clinker) เกิดเป็นสารประกอบที่สำคัญ 4 อย่าง แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ [6]

ชื่อสารประกอบ	สารประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium silicate)	$3CaO.SiO_2$	C_3S
ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate)	$2CaO.SiO_2$	C_2S
ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (Tricalcium aluminate)	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
เตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium aluminoferrite)	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

2.4.3 **สารประกอบหลัก**

1) **ไตรแคลเซียมซิลิเกต** (C_3S)

C_3S เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นผลึกหกเหลี่ยม มีสีเทาเข้ม สมบัติของ C_3S เหมือนกับสมบัติของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ เมื่อผสมกับน้ำจะแข็งตัวภายใน 2 – 3 ชั่วโมง และจะมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงสัปดาห์แรก การเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิดความร้อน 500 J/g กำลังอัดของ C_3S ถูกกระทบโดยปริมาณยิปซั่ม ปริมาณ C_3S ในปอร์ตแลนด์ซีเมนต์จะมีประมาณ 35 – 55 %

2) **ไดแคลเซียมซิลิเกต** (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 สีเทาอ่อน C_3A จะทำปฏิกิริยากับน้ำทันทีก่อให้เกิด Flash set และเกิดความร้อนจำนวนมากประมาณ 850 J/g การป้องกัน Flash set

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำได้โดยการเติมยิปซั่มลงระหว่างการบดซีเมนต์กำลังอัดของ 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

ตารางที่ 2.3 สมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ [6]

สมบัติ	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
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	สมบัติเหมือนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์	-	ไม่คงตัวในน้ำและถูกซัลเฟตทำลายได้ง่าย	ทำให้ปูนซีเมนต์มีสีเทา

2.4.4 สารประกอบรอง

1) ยิปซั่ม ($CaSO_4.2H_2O$)

ยิปซั่มถูกใส่เข้าไปในระหว่างบดปูนเม็ด เพื่อทำหน้าที่ควบคุมเวลาการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ ปริมาณยิปซั่มที่ใส่ต้องเหมาะสมเพื่อให้ซีเมนต์เพสท์เกิดกำลังอัดสูงที่สุดและเกิดการหดตัวน้อยที่สุด ปริมาณยิปซั่มที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับ

1.) อัลคาไลน์ออกไซด์ ได้แก่ Na_2O และ K_2O

2.) ปริมาณ C_3A

3.) ความละเอียดของปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Free lime (CaO)

เกิดขึ้นได้ 2 กรณีคือ

1.) เมื่อวัตถุดิบมี Lime มากเกินไปทำให้ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับ SiO_2 Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ได้หมด

2.) ปริมาณ Lime มีไม่มากแต่จะทำปฏิกิริยากับออกไซด์ต่างๆ ไม่สมบูรณ์ Free lime นี้จะทำปฏิกิริยาอย่างช้าๆ หลังจากที่ซีเมนต์แข็งตัวแล้ว ซึ่งอาจก่อให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวเสียหายได้ หรือที่เรียกว่า ซีเมนต์ไม่อยู่ตัว เนื่องจาก Lime

3) **แมกนีเซียมออกไซด์** (MgO)

วัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์ส่วนใหญ่ จะมี $MgCO_3$ ซึ่งเมื่อเผาแล้วจะเกิดการแยกตัวให้ MgO และ CO_2 แมกนีเซียมออกไซด์บางส่วนจะหลอมเป็นปูนเม็ด ที่เหลืออยู่ในรูปของ MgO และเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเหมือนกับ CaO คือปริมาตรจะเพิ่มขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดการไม่อยู่ตัว การขยายตัวจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับ

1.) ปริมาณของ MgO ในปูนซีเมนต์

2.) ขนาดของ MgO ถ้าขนาดเล็กมากๆ จะทำปฏิกิริยาไฮเดรชันได้เร็ว โดยจะไม่ก่อให้เกิดการขยายตัวของซีเมนต์ที่แข็งตัว

4) **อัลคาไลน์ออกไซด์** (Na_2O และ K_2O)

อัลคาไลน์ออกไซด์ที่อยู่ในปูนซีเมนต์นี้จะสงผลเสีย ในกรณีที่ใช้มวลรวมบางประเภทที่ทำปฏิกิริยากับอัลคาไลน์มาผสมเป็นคอนกรีต ผลจากปฏิกิริยาจะก่อให้เกิดการขยายตัวดันให้คอนกรีตแตกร้าวเสียหายยากต่อการแก้ไข ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้มวลรวมที่ทำปฏิกิริยากับอัลคาไลน์ ควรเลือกใช้ปูนซีเมนต์ที่มีอัลคาไลน์ต่ำ

2.5 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน [6]

การก่อตัวและแข็งตัวของซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันขององค์ประกอบของซีเมนต์ โดยปฏิกิริยานี้เกิดเป็น 2 ลักษณะคือ

1) อาศัยสารละลายซีเมนต์จะละลายในน้ำ ก่อให้เกิดไอออนในสารละลาย และไอออนนี้จะผสมทำให้เกิดสารประกอบใหม่

2) การเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของแข็ง โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลายปฏิกิริยาประเภทนี้เรียกว่า "ปฏิกิริยาสภาวะของแข็ง" (Solid state reaction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์จะเกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะ โดยในช่วงแรกจะอาศัยสารละลายและในช่วงต่อไปจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง

ซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจเกิดปฏิกิริยาต่อไป ทำให้มันแตกต่างจากปฏิกิริยาที่ได้ครั้งแรก ดังนั้นในที่นี้เราจะแยกพิจารณาปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักของซีเมนต์แต่ละประเภท

2.5.1 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของแคลเซียมซิลิเกต

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

$$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

หรือ

$$2C_3S + 6H_2O \longrightarrow C_3S_2H_3 + 3Ca(OH)_2$$

$$2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \longrightarrow 3CaO.SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$$

หรือ

$$2C_2S + 4H_2O \longrightarrow C_3S_2H_3 + Ca(OH)_2$$

รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงปฏิกิริยาของแคลเซียมซิลิเกต [6]

จากปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้จะเกิดเจล ซึ่งเมื่อแข็งตัวจะมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการคือ โครงสร้างที่ไม่สม่ำเสมอและมีรูพรุน องค์ประกอบทางเคมีของ CSH นี้ ขึ้นอยู่กับเวลา อุณหภูมิ และอัตราการสูญเสียน้ำต่อซีเมนต์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้ซีเมนต์เพสท์มีสมบัติเป็นด่างอย่างมาก คือมี pH ประมาณ 12.5 ซึ่งช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมแรงได้อย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอะลูมิเนต

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (C_3A) จะเกิดขึ้นทันทีทันใด และก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของซีเมนต์เพสท์ ดังสมการ

$$3CaO.Al_2O_3 + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O$$

หรือ

$$C_3A + 6H_2O \longrightarrow 3C_3AH_6$$

เพื่อหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้อย่างรวดเร็ว จึงมีการใส่ยิปซั่ม ($CaSO_4.2H_2O$) เข้าไปในระหว่างกระบวนการบดซีเมนต์ ยิปซั่มจะทำปฏิกิริยากับไตรแคลเซียมอะลูมิเนตก่อให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวของอนุภาคไตรแคลเซียมอะลูมิเนต ดังสมการ

$$C_3A + CaSO_4.2H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.31H_2O(Ettringite)$$

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

2.5.3 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ (C_4AF) นี้จะเกิดในช่วงต้น โดย C_4AF จะทำปฏิกิริยากับยิปซั่มและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ก่อให้เกิดอนุภาคมีรูปร่างเหมือนเข็มของซัลโฟอะลูมิเนตและซัลโฟเฟอร์ไรต์ ดังสมการ

$$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3 + CaSO_4.2H_2O \longrightarrow 3CaO(Al_2O_3.Fe_2O_3).3CaSO_4$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันขององค์ประกอบหลักในปูนซีเมนต์จนเสร็จสิ้นประมาณ 80% จะมีค่าแสดงดังตารางที่ 2.4

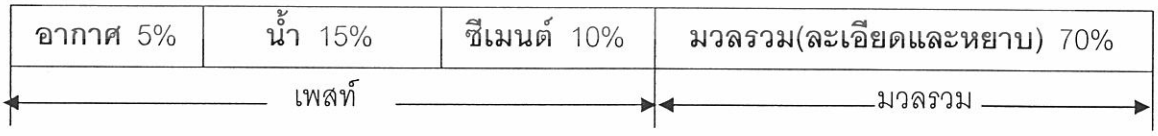
ตารางที่ 2.4 กระบวนการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอะลูมิเนต [6]

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

2.6 **องค์ประกอบของเพสท์** [7]

คอนกรีตที่ผสมใหม่ๆและยังเหลวพอเทได้อยู่นั้น ส่วนที่เป็นของแข็งทั้งหมดรวมทั้งซีเมนต์จะลอยตัวอยู่ในน้ำชั่วคราว อนุภาคเล็กๆแต่ละเม็ดจะถูกคั่นด้วยชั้นบางๆ การแยกตัวของอนุภาคนี้และผลของการหล่อลื่นของชั้นน้ำรวมทั้งแรงยึดระหว่างอนุภาคที่ละเอียดที่สุด ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะเหลวพอเทได้ดี

คอนกรีตอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ เพสท์และมวลรวมที่เป็นแร่ธาตุ อนุภาคของมวลรวมจะฝังตัวและถูกหุ้มด้วยเพสท์ ปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดเท่ากับปริมาตรของเพสท์บวกกับปริมาตรของมวลรวม และปริมาตรของอากาศที่อยู่ในช่องว่าง แสดงดังรูป 2.4



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของเพสท์ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเพสท์เป็นตัวหุ้มและกันอนุภาคของมวลรวมให้ออกห่างจากกัน กำลังของคอนกรีตจึงขึ้นอยู่กับกำลังของเพสท์นั่นเอง สารประกอบบางอย่างในเพสท์ที่แข็งตัวอาจจะลายน้ำได้ และอัตราการละลายน้ำส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเพสท์ ถ้าเพสท์ยิ่งแน่นอัตราการละลายก็ยิ่งช้าลง ฉะนั้นเพสท์จะต้องแข็งแรงและแน่น โดยเฉพาะในงานคอนกรีตที่ต้องแช่น้ำอยู่ตลอดเวลา

กำลังและความหนาแน่นของเพสท์ส่วนใหญ่ ขึ้นอยู่กับปริมาณแรกเริ่มของน้ำซึ่งบรรจุอยู่ในช่องว่างรอบซีเมนต์แสดงดังรูป 2.4 และขึ้นอยู่กับขนาดของปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ ปริมาณน้ำซึ่งบรรจุในช่องว่างนี้ปกติระบุอยู่ในรูปของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และต้องกำหนดให้มีการบ่มเพื่อให้ปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำเกิดได้ตามต้องการ

อัตราส่วนซีเมนต์ต่อน้ำนี้ เดิมมักระบุเป็นปริมาตรของน้ำเป็นลิตรต่อซีเมนต์หนึ่งถุง แต่ปัจจุบันใช้วิธีที่ดีกว่าคือระบุเป็นน้ำหนัก คือ กิโลกรัมของน้ำต่อซีเมนต์หนึ่งกิโลกรัม

รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด การรั่วซึมสัมพัทธ์ของน้ำของคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างๆกัน [5]

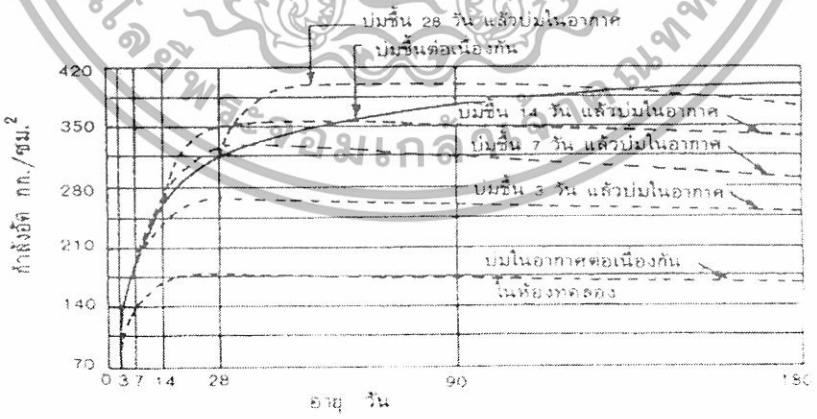
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 **กระบวนการแข็งตัว** [7]

เวลาที่ต้องการสำหรับการทำปฏิกิริยาของซีเมนต์กับน้ำอย่างสมบูรณ์นั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสม ชนิดของซีเมนต์และอุณหภูมิโดยรอบบริเวณ สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำกว่า 0.25 โดยน้ำหนักจะขึ้นกับการให้น้ำจากภายนอกด้วย ถ้าบ่มคอนกรีตที่ใช้กันตามธรรมดาเป็นเวลาหนึ่งเดือนโดยให้อยู่ในสภาวะมาตรฐานของห้องทดลอง พบว่าซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำกว่า 80% อย่างไรก็ดี ตามสภาพในสนามคอนกรีตจะแห้งภายในไม่กี่วัน หลังจากนั้นซีเมนต์ยังคงทำปฏิกิริยากับน้ำต่อไปโดยอาศัยน้ำที่ซึมมาจากใต้ดิน หรือจากความชื้นในขณะที่ฝนตกหรือขณะที่ความชื้นในอากาศสูง ดังนั้นภายใต้สภาวะแวดล้อมธรรมดาการทำปฏิกิริยาของซีเมนต์กับน้ำจะยังคงมีต่อไปอีกหลายปี

อัตราการเพิ่มกำลังแตกต่างกับอัตราการทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิปกติปฏิกิริยาขั้นแรกจะทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงขึ้นเล็กน้อย กำลังคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการทำปฏิกิริยาของซีเมนต์ ดังนั้นถ้าคอนกรีตแห้งลงปฏิกิริยาของซีเมนต์ตลอดจนการเพิ่มกำลังจะหยุดทันทีแสดงดังรูปที่ 2.5

ถ้าอุณหภูมิโดยรอบสูงขึ้นอัตราการทำปฏิกิริยาก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ที่อุณหภูมิธรรมดาผลที่ได้จากปฏิกิริยาของซีเมนต์จะเป็นในรูปของสารคล้ายเจลเป็นส่วนใหญ่ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะกลายเป็นผลึกขนาดเล็กจำนวนมาก อุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นเท่าไร ปริมาณ "เจล" ต่อหน่วยซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยาแล้วจะน้อยลงเท่านั้น



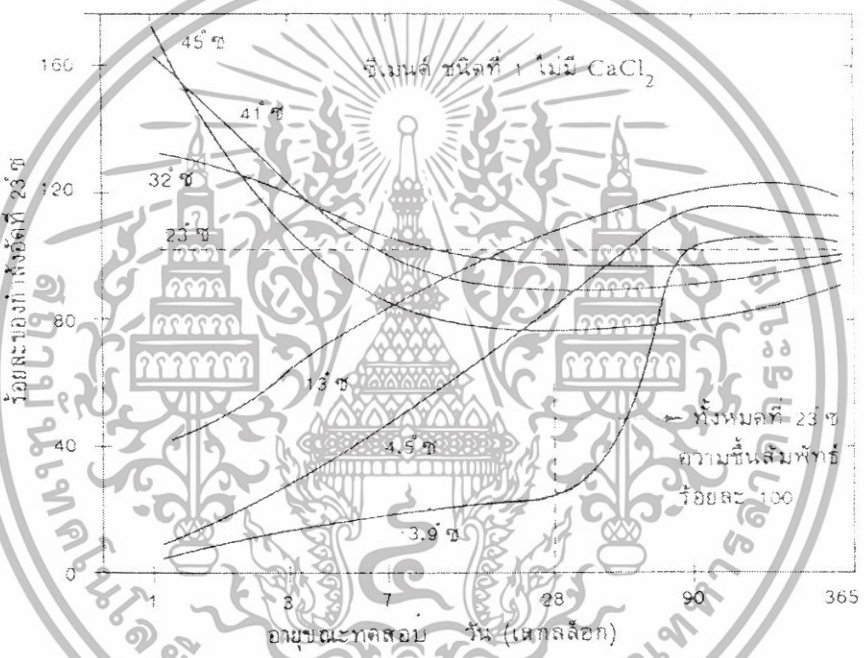
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์กำลังอัดและระยะเวลาการบ่มคอนกรีต [7]

การเปลี่ยนแปลงของเจลที่เกิดจากอุณหภูมิสูง จะทำให้แรงอัดสูงสุดของคอนกรีตต่ำลง นอกจากนั้นยังลดการหดตัวอันเนื่องมาจากการแห้งของคอนกรีตอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 **การบ่ม** [7]

การบ่มเป็นการทำเพื่อป้องกันรอยร้าวที่ผิวคอนกรีต เนื่องจากการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็ว ในขณะที่คอนกรีตมีลักษณะเหลวพอเทได้อยู่และเป็นการทำให้ได้กำลังตามต้องการ และเนื่องจากซีเมนต์ในคาน เสาและแผ่นพื้นที่ไม่อยู่ติดกับดินชื้นอาจจะหยุดทำปฏิกิริยากับน้ำทันทีหลังจากหยุดบ่ม ปฏิกิริยาจะดำเนินต่อไปได้ก็ต่อเมื่อมีความชื้นสูงกว่า 80% เท่านั้น ในทางตรงกันข้ามถ้าอยู่ในที่ชื้นปฏิกิริยาจะดำเนินไปด้วยดีโดยไม่ต้องมีการบ่ม จุดประสงค์ของการบ่มก็คือ ป้องกันการเสียน้ำเร็วเกินไปเพื่อให้ได้ความแข็งแรงในระยะแรกตามที่ต้องการ



รูปที่2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของกำลังอัด อุณหภูมิการบ่ม อายุคอนกรีตขณะทดสอบ[7]

เพสท์ของซีเมนต์ควรอยู่ในสภาพอิ่มตัวที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้อัตราการทำปฏิกิริยาสูงสุดในอุณหภูมิหนึ่ง ดังนั้นควรให้น้ำเพื่อชดเชยส่วนที่ระเหยไปจากผิว และเพื่อเติมน้ำที่หายไปจากรูพรุนอันเนื่องมาจากกระบวนการทางเคมี ที่เรียกว่า การแห้งด้วยตัวเอง (Self desiccation) สำหรับส่วนผสมธรรมดาปริมาณน้ำสำหรับเติมส่วนที่ขาดไป เนื่องจากการแห้งในตัวเองนี้มีประมาณ 2 ลิตร ต่อซีเมนต์ 1 ถุง (50 kg.) ระหว่างสัปดาห์แรก

ถ้าต้องการจะทำผิวคอนกรีตสดให้ผนึกแน่น จะต้องให้ผลของการแห้งในตัวเองหยุดปฏิกิริยาของเพสท์ซึ่งมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำกว่า 20 ลิตรต่อซีเมนต์ 1 ถุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

(0.4% โดยน้ำหนัก) ถ้าเพสท์มีปริมาณน้ำในตอนแรกสูง การแห้งในตัวเองจะไม่ถึงกับทำให้ปฏิกิริยาหยุดเพียงแต่ทำให้ช้าลงเท่านั้น

การใช้สารผนึกในการบ่มจะมีข้อจำกัดเมื่อใช้กับส่วนผสมที่มีซีเมนต์มากๆ ยิ่งกว่านั้นสารเหล่านี้เพียงแต่ทำให้น้ำซึมช้าเท่านั้น แต่ไม่ใช่ผนึกแน่นอย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้กับส่วนผสมที่มีอัตราส่วนธรรมดา อาจทำให้น้ำระเหยช้าลงพอที่จะทำให้คอนกรีตได้กำลังตามต้องการภายในเวลาที่กำหนด

2.9 **การหดตัวและพองตัว** [7]

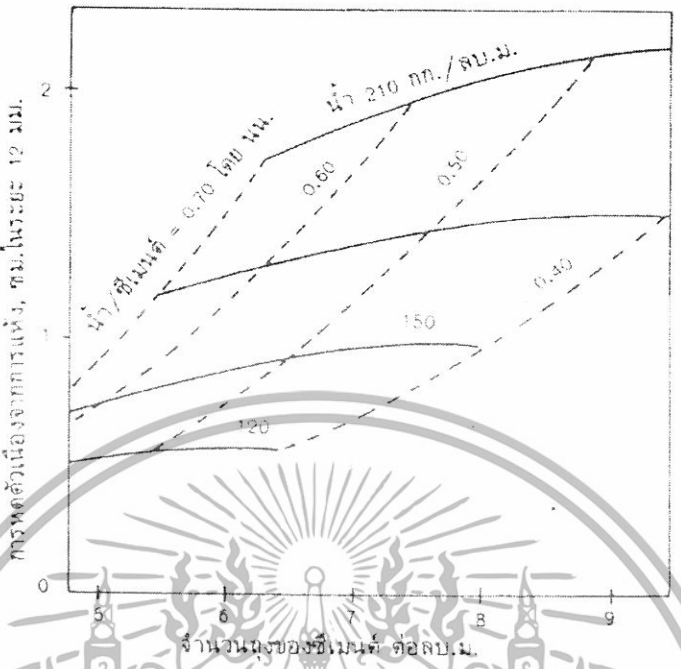
ถ้ารักษาคอนกรีตให้มีความชื้นอย่างสม่ำเสมอคอนกรีตจะขยายตัวอย่างช้าๆ เป็นเวลาหลายปี แต่ทั้งปริมาณและอัตราการขยายตัวนี้ปกติน้อยมาก จนถือได้ว่าปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงภายใต้สภาพบรรยากาศอย่างหนึ่งแล้ว ถ้าความชื้นในอากาศลดลงคอนกรีตก็จะเสียน้ำไปบ้าง หรือถ้าความชื้นสูงขึ้นคอนกรีตก็จะได้น้ำเพิ่มขึ้น เพสท์ที่แข็งตัวแล้วนั้นสามารถที่จะดูดน้ำได้ดี ฉะนั้นเพสท์และคอนกรีตจะเป็นส่วนที่หดตัวหรือพองตัวเมื่อปริมาณน้ำเปลี่ยนแปลง

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

ปริมาณการหดตัวของคอนกรีตภายใต้สภาวะการทำให้แห้งที่กำหนดให้ขึ้นอยู่กับหลายสิ่งด้วยกัน เพสท์ที่แข็งตัวยิ่งพรุนมากเท่าไรก็ยิ่งหดตัวมาขึ้นเท่านั้น ถ้าใช้เพสท์ชนิดเดียวกับคอนกรีตยิ่งมีปริมาณเพสท์มากก็จะหดตัวมาก การเติมส่วนผสมที่ละเอียดเป็นผงในคอนกรีตปกติจะทำให้เกิดการหดตัวมากขึ้น คอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ชนิดต่างๆ กันจะหดตัวต่างกัน แสดงดังรูปที่ 2.7 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมดของคอนกรีตสด และการหดตัวของคอนกรีตซึ่งแข็งตัวแล้ว สำหรับส่วนผสมต่างๆ กันแต่ใช้วัสดุชนิดเดียวกัน จะเห็นว่าปริมาณน้ำมีผลต่อการหดตัว

107753

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และปริมาณน้ำในคอนกรีต [7]

2.10 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers)

เส้นใยธรรมชาติเป็นอินทรีย์วัสดุที่สำคัญ หาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้เรื่อยๆ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้เส้นใยธรรมชาติจึงนิยมใช้เป็นสารช่วยกระจายตัวในพลาสติก โดยอาจเป็นทั้งสารตัวเติมและสารเสริมแรงเพื่อเป็นการลดต้นทุน เพิ่มปริมาณการผลิต และเสริมแรงแก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเส้นใยที่นำมาใช้

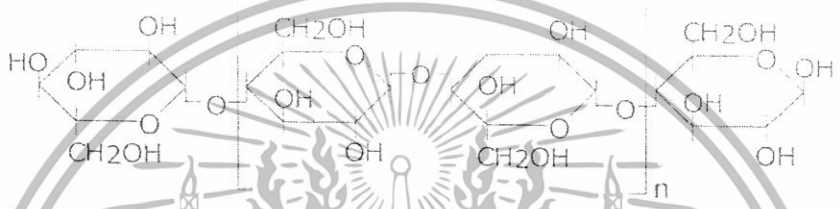
โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยธรรมชาติประกอบไปด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เป็นส่วนใหญ่ องค์ประกอบที่เหลือเป็นเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่นๆ

2.10.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccarides) เชิงเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กัน มีสูตรโมเลกุลทั่วไปคือ $(C_6H_{12}O_6)$ เป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืช โดยพบรวมกับลิกนิน เพนโตแซน กัม แทนนิน ไขมัน สารที่ทำให้เกิดสี เป็นต้น เซลลูโลสจะมีหน่วยโมเลกุลยาวและแข็ง โดยเซลลูโลสจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมี แสดงดังรูป 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส [8]

สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

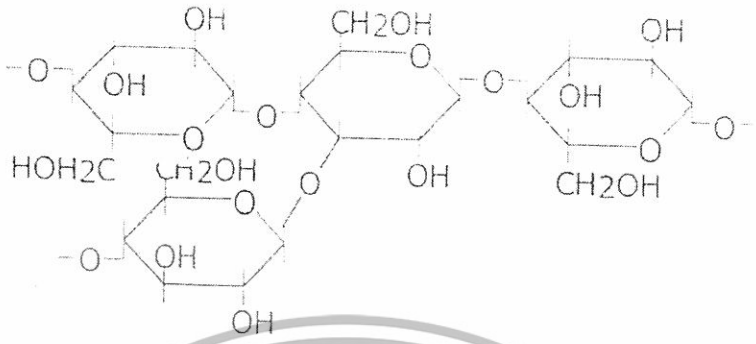
ความหนาแน่นของเซลลูโลสประมาณ 1.5 g/cm^3 ความหนาแน่นของเส้นใยเดี่ยวมีค่าไม่แน่นอน ซึ่งแปรตามแหล่งที่มาและการปรับปรุงทางเคมี เซลลูโลสเป็นของแข็งไม่มีสี มีการดูดและคายไอน้ำและของเหลวอื่นๆ ที่อยู่ในบรรยากาศรอบๆ จนกระทั่งถึงสมดุล ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อสมบัติบางอย่าง เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เซลลูโลสไม่ละลายน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะละลายในกรดแร่เข้มข้น เช่น 72% ของกรดซัลฟิวริก 40% ของกรดไฮโดรคลอริก และ 78% ของกรดฟอสฟอริก เซลลูโลสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็ว ในสารละลายกรดแร่ที่อุณหภูมิห้อง และปฏิกิริยาจะหยุดที่อุณหภูมิต่ำๆ และสารละลายเกลือเข้มข้นบางชนิด เช่น 72% ของซิงค์ออกไซด์ จะทำให้เซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆละลายได้

2.10.2 **เฮมิเซลลูโลส** (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซคคาไรด์ชนิดหนึ่ง ซึ่งคล้ายเซลลูโลสแต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโทส แมนโนส ไซโลส อะราบิโนส รวมทั้งกรดกลูคูโรนิกและกาแลกทูโรนิก เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่นๆ เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ พบมากในแกลบ ซังข้าวโพด เฮโซแซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

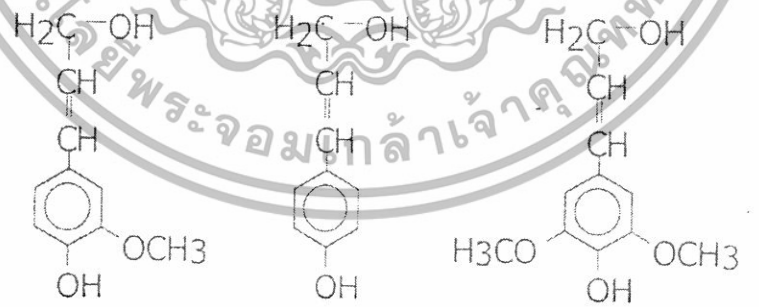
สูตรทางเคมีคือ $(C_6H_{12}O_5)_{2n}$ โครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส [8]

2.10.3 **ลิกนิน** (Lignin)

ลิกนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) รวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิดซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา ตัวอย่างโครงสร้างของลิกนินแสดงดังรูปที่ 2.10

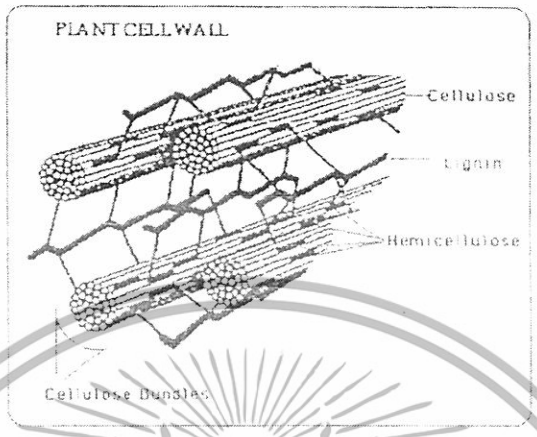


รูปที่ 2.10 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของลิกนิน [8]

ไม้แต่ละชนิดมีอัตราส่วนระหว่าง เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของไม้ โดยไม้ที่มีลิกนินมาก จะมีความแข็งแรงสูง และในไม้ชนิดเดียวกัน ไม้ที่มีอายุมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีลิกนินมากเช่นกัน โดยการจัดเรียงตัวของ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนินในไม้ จะเป็นไปดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การจัดเรียงตัวของ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้ [8]

2.10.4 **ยูคาลิปตัส** (Eucalyptus)

ไม้ยูคาลิปตัสเป็นไม้ที่สำคัญมากในปัจจุบัน โดยต้นยูคาลิปตัสจะมีลักษณะสูง โตง่าย ปลูกได้ในทุกๆ สภาพดิน มีความทนทาน เมื่อปลูกแล้วสามารถตัดได้ 2-3 ครั้ง โดยไม่ต้องปลูกใหม่ ด้วยเหตุผลดังกล่าว ไม้ยูคาลิปตัสจึงเป็นที่นิยมปลูกและใช้งาน โดยลักษณะของต้นยูคาลิปตัสแสดงดังรูปที่ 2.12

รูปที่ 2.12 ลักษณะของต้นยูคาลิปตัส [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นยูคาลิปตัส คามาดูเลนซีส (*Eucalyptus camaldulensis*) เป็นต้นยูคาลิปตัสที่ปลูกได้ดีในประเทศไทย โดยลักษณะของไม้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนนอกสุดเป็นเปลือกจะมีสีซีดหรือครีม และจะมีเขตของเนื้อไม้ที่มีสีต่างออกไปมาก คือส่วนที่เรียกว่า แก่น (Heartwood) เป็นส่วนที่มีสีน้ำตาลเข้ม และนอกแก่นจะมีสีขาวกว่า เรียกว่า กระพี้ (Sapwood) ส่วนนี้จะมีความหนาขึ้นตามอายุไม้ ส่วนของกระพี้สามารถถูกทำลายได้ง่ายโดยแมลงหรือเห็ด รา ต่างๆ ได้มากกว่าแก่น ถึงแม้ว่าส่วนประกอบของเซลล์และโครงสร้างของกระพี้และแก่นเหมือนกัน แต่การสะสมของสารเคมีกระพี้จะถูกดูดซึมเข้าไปได้ง่ายกว่าแก่น และกระพี้จะมีสภาวะที่จะถูกซึมซาบโดยสารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อได้เป็นอย่างดีจึงเป็นประโยชน์ในอุตสาหกรรมทำกระดาษได้ดี

องค์ประกอบทางเคมีของไม้ยูคาลิปตัส แสดงดังตารางที่ 2.5 ซึ่งแสดงว่าเมื่อนำไม้ยูคาลิปตัสคามาดูเลนซีสที่มีอายุ 3 10 และ 15 ปีมาเปรียบเทียบกัน จะพบว่าไม้ยูคาลิปตัสที่มีอายุ 3 ปี จะมีปริมาณลิกนินและประมาณน้ำตาลมากกว่าไม้ที่มีอายุ 10 และ 15 ปี เมื่อพิจารณาปริมาณเซลลูโลสพบว่า 53.43 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าไม้ที่มีอายุ 10 และ 15 ปี จากเหตุผลนี้จึงพอสรุปได้ว่า ไม้ยูคาลิปตัสคามาดูเลนซีสที่มีอายุน้อยสามารถนำไปใช้ในประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมต่างๆได้

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ ยูคาลิปตัส คาลาดูเลนซีส [8]

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
ขี้เถ้า	0.44	0.33	0.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมเยื่อไม้

เยื่อไม้ยูคาลิปตัสสามารถเตรียมได้จาก 2 กระบวนการ คือ กระบวนการความร้อนเชิงกลและกระบวนการทางเคมี ซึ่งสามารถเตรียมได้ดังนี้

1) <u>เยื่อไม้ยูคาลิปตัสที่เตรียมได้จากกระบวนการความร้อนเชิงกล (Thermomachanical pulp:TMP)</u> เป็นการแยกเยื่อโดยวิธีความร้อนเชิงกล (Thermomachanical pulping) ซึ่งเป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีการผลิตเยื่อทางกลโดยการบด (Refined machanical pulping) เริ่มจากการนำชิ้นไม้หรือวัตถุดิบเข้านึ่งไอน้ำภายใต้ความดันไอ จนอุณหภูมิไอน้ำสูงกว่า 140 °C ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้ลิกนินอ่อนตัว เรียกว่า จุดเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (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) <u>เยื่อไม้ยูคาลิปตัสที่ได้จากกระบวนการทางเคมี (Chemical pulp : CP)</u>

เป็นการแยกเยื่อโดยวิธีทางเคมี (Chemical pulp) ที่ทำการแยกเยื่อในถังปฏิกรณ์ (Reactor) ภายในอุณหภูมิและความดันสูงประมาณ 125-180 °C ซึ่งไม่มีกระบวนการเชิงกลในการแยก แต่ใช้สารประกอบเคมีที่มีสภาวะเป็นด่าง เรียกว่า Alkaline process หรือ สารประกอบเคมีที่มีสภาวะเป็นกรด เรียกว่า Acidic (Sulfite) process เข้าทำปฏิกิริยาละลายลิกนินที่อ่อนตัวแล้ว (Delignification) ออกจากไม้หรือชิ้นวัตถุดิบจนได้เป็นเส้นใย กระบวนการนี้จะทำให้ผลผลิตต่ำเพียง 40-60 % ระยะเวลาในการแยกเยื่อก็จะมากกว่า 1-5 ชั่วโมง ต้นทุนสูงแต่เยื่อที่ได้จะมีความบริสุทธิ์มากกว่า เนื่องจากลิกนินและเซลลูโลสจะถูกแยกออกเกือบหมด ลักษณะเส้นใยจะยุบและอ่อนตัวจากเดิมที่มีความแข็งกระด้างและรูปร่างทรงกลม กลายเป็นลักษณะคล้ายโบว์ริบบิ้นที่มีพื้นที่ผิวมากขึ้นเพื่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจน (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 [8]

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. ความสามารถในการละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1% (1% NaOH solubility)	24.54	5.39	% โดยน้ำหนักอบแห้ง
3. โฮโลเซลลูโลส (Holocellulose)	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.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

L.K.Aggarwal [9] นำชานอ้อย (Bagasse) ซึ่งมีอยู่อย่างแพร่หลาย เพราะเป็นกากของเสียที่ได้จากการผลิตน้ำตาลมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด โดยนำมาเป็นส่วนผสมในซีเมนต์ และศึกษาผลของปริมาณเส้นใยชานอ้อย ความดันที่ใช้เทลงแม่แบบ ระยะเวลาที่แกะชิ้นงานออกจากแบบและวิธีการผลิตที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของก้อนคอนกรีต โดยจะทำการผสมเส้นใยในปริมาณที่แตกต่างกันเข้ากับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปรับเปลี่ยนความดันที่ใช้ในการเทคอนกรีตและระยะเวลาในการแกะชิ้นงานออกจากแม่แบบ แม่แบบที่ใช้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 300 x 300 mm^2 ทำจากโลหะ ก่อนจะนำเส้นใยมาใช้ทำการตีเส้นใยก่อนแล้วจุ่มในสารละลายเคมีเป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อให้ชานอ้อยดูดซึมน้ำแล้วเทเส้นใยที่ลอยอยู่ด้านบนทิ้งไป จากนั้นนำมาผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 ใช้เหล็กกระทุ้งที่ควบคุมด้วยระบบไฮโดรลิก (Hydraulic) ทดสอบหาเวลาที่เหมาะสมที่ทำให้วัสดุแข็งแรง จากนั้นจึงแกะแม่แบบออกแล้วเก็บชิ้นงานไว้ในที่ชื้นเป็นเวลา 10 วัน นำก้อนคอนกรีตที่ได้ไปหาค่าความหนาแน่นและค่าการดูดซึมน้ำ โดยเตรียมชิ้นงานตัวอย่างขนาด 100 x 100 mm^2 นำไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ค่าความแข็งแรงโค้งงอทดสอบโดยใช้ระบบการใช้แรง 3 จุด (Three point bending) ใช้ชิ้นงานขนาด 300 x 50 mm^2 ทดสอบหาค่าความแข็งแรงของพันธะภายในก้อนคอนกรีตและความแข็งแรงดึงด้วยชิ้นงานขนาด 50 x 50 mm^2 โดยใช้อัตราเร็วในการดึง 1 mm/min โดยแต่ละการทดสอบจะใช้จำนวนชิ้นงานอย่างน้อย 6 ชิ้น ค่าที่ได้จะนำมาหาค่าเฉลี่ย

ผลการทดสอบพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยชานอ้อยมากขึ้น ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของก้อนคอนกรีตเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ความหนาแน่นและความแข็งแรงของพันธะ (Bond strength) ลดลง โดยค่าการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อใส่เส้นใยลงไป 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่วนค่าความแข็งแรงโค้งงอจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าสูงที่สุดที่ปริมาณเส้นใยเป็น 16 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นค่าแข็งแรงโค้งงอจะลดลงเรื่อยๆ และถ้าเพิ่มความดันในการหล่อแบบจะทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นสูงขึ้น แต่ค่าการดูดซึมน้ำลดลง ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่เส้นใยมีผลต่อการดูดซึมน้ำของคอนกรีต กล่าวคือเมื่อเพิ่มระยะเวลาของการแช่เส้นใยให้นานขึ้นในช่วง 200 วัน คอนกรีตจะมีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ปริมาณชานอ้อยที่ทำให้ซีเมนต์ที่มีคุณภาพดีที่สุด คือ 12-16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความดันในการเท 2-3 N/mm^2 และระยะเวลาที่ทิ้งไว้ในแม่แบบเท่ากับ 6 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tsai-Yung chen และคณะ [10] งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมแผ่นไม้อัดจากซีเมนต์กับไม้ (Cement-bonded wood particleboard) ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติดีกว่าไม้อัดธรรมดา เพราะทนต่อดินฟ้าอากาศ ทนไฟ ทนต่อแมลง ไม่ขึ้นรา และมีเสถียรภาพของรูปร่างที่ดีกว่า นอกจากนี้ยังไม่เกิดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ จึงนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง แต่แผ่นไม้อัดซีเมนต์มีข้อด้อยคือมีสารเคมีที่ละลายน้ำได้หลุดออกมาทำให้คอนกรีตใช้เวลาในการเซ็ตตัวนาน จึงได้ศึกษาผลที่มีต่อเวลาการเซ็ตตัวของวัสดุดังกล่าว โดยศึกษาเปรียบเทียบเวลาการเซ็ตตัวของวัสดุแผ่นที่เตรียมจากเส้นใยของไม้เนื้อแข็งที่ผ่านการบำบัดด้วยการต้มในน้ำร้อน และเส้นใยที่บำบัดด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ สาเหตุที่ต้องนำเส้นใยมาผ่านการบำบัด เพราะเส้นใยจากไม้เนื้อแข็งที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดจะทำให้การเซ็ตตัวเป็นไปได้ช้า ผลการทดลองพบว่าวัสดุแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่บำบัดด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ทำให้เกิดการเซ็ตตัวได้เร็วกว่าการบำบัดด้วยน้ำร้อน

Philip D. Evans [11] ได้ทำการศึกษาการเตรียมสารประกอบของซีเมนต์และไม้ (Wood cement composites) จากวิธีการต่างๆ 3 วิธีได้แก่

1) Wood wool cement board (WWCB) คือการนำไม้มาตัดเป็นชิ้น กว้าง 3 mm. ยาว 40-50 cm. หนา 0.5 cm. มาผสมกับซีเมนต์ในอัตราส่วน 2:1 ถึง 1:1 โดยน้ำหนัก แช่เส้นใยในน้ำเพื่อให้น้ำตาลโมเลกุลต่ำที่ละลายน้ำได้ถูกกำจัดออกมา เพื่อไม่ให้ขัดขวางปฏิกิริยาไฮเดรชันและมีการเติมแคลเซียมคลอไรด์เพื่อเร่งการเซ็ตตัวของซีเมนต์

2) Cement-boded particleboard (CBP) คือ การใช้ไม้แผ่นบางๆ ยาว 10-30 mm. หนา 0.2-0.3 mm. ปริมาณ 20% มาผสมกับซีเมนต์ 60% และน้ำ 20% โดยน้ำหนัก เติมแคลเซียมคลอไรด์เพื่อเร่งการเซ็ตตัวของซีเมนต์

3) Wood-fiber reinforced cement composites คือ การใส่ทรายลงไปผสมกับซีเมนต์และเส้นใยธรรมชาติชนิดเยื่อเคมีจากไม้เนื้ออ่อน โดยใส่ทรายที่บดละเอียด 60% เส้นใยไม้ 7-8.5% และซีเมนต์ 30% โดยน้ำหนัก เติมอะลูมิเนียมไตรไฮเดรต (3-4 %โดยน้ำหนัก) ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน ขึ้นรูปเป็นแผ่นและทำให้แห้งด้วยสูญญากาศ และอบภายใต้ความชื้นและความดันสูงเป็นเวลา 6-8 ชั่งโมง ที่อุณหภูมิ 200 °C เพื่อเร่งการเซ็ตตัวของซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ling Fei ma และคณะ [12] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นอัดซีเมนต์ (CCBs) ด้วยวิธีที่รวดเร็วขึ้น โดยจะวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ที่เป็นผลมาจากการเติมสารช่วยกระจายตัว ได้แก่ $MgCl_2$ Na_2CO_3 $NaHCO_3$ $CaCl_2$ และ Na_2SiO_3 เตรียมชิ้นงานโดยใช้อัตราส่วนซีเมนต์ : น้ำ ประมาณ 0.5-0.6 ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน แล้วเทลงในแม่แบบแผ่นที่มีขนาด 300x300x9 mm^3 แล้วทำการกดอัด โดยการกดอัดแผ่นไม้อัดซีเมนต์แบ่งเป็น 2 สภาวะ คือ

1) กดอัดแบบเย็น โดยใช้อุณหภูมิ 20 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้ซีเมนต์เซ็ตตัวเป็นเวลา 14 วัน

2) กดอัดแบบร้อน โดยใช้อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 11 นาที แล้วทำการบ่มบัดที่ 100 °C อีก 24 ชั่วโมง

จากนั้นนำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมได้จากทั้ง 2 แบบ มาทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐาน JIS ซึ่งได้แก่ การทำ Three-point bending ได้หาค่า MOR และ MOE การทดสอบโดยใช้ XRD และการวัดอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 50 ชั่วโมง

ผลการทดสอบด้วย TG-DTA และ XRD พบว่าองศาการเกิดไฮเดรชันแปรผันตามปริมาณ $Ca(OH)_2$ ที่เกิดขึ้น แต่เมื่อใช้ Na_2SiO_3 เป็นสารช่วยกระจายตัวจะทำให้การประมาณค่าองศาการเกิด ไฮเดรชันไม่แม่นยำนัก เนื่องจาก $Ca(OH)_2$ ที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดไฮเดรชัน จะทำปฏิกิริยากับ SiO_2 ที่มาจาก Na_2SiO_3

จากกราฟไฮเดรชันที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา พบว่า

1) ความเข้ากันได้ (C_A- factor) เป็นดัชนีที่วัดการเกิดพันธะระหว่าง Lignocellulose ในไม้กับซีเมนต์ เป็นค่าอัตราส่วนการเกิดไฮเดรชันของ CCBs เทียบกับพื้นที่ใต้กราฟของซีเมนต์ ค่า C_A- factor นี้สามารถใช้คาดคะเนดังสมการ

$$MOR = 1.13\ C_A - 14.80 \qquad (r = 0.73)$$

$$MOR = 2.32T_{MAX} - 80.54 \qquad (r = 0.93)$$

2) การเติม $CaCl_2$ จะให้กราฟไฮเดรชัน ที่มีลักษณะคล้ายกับการเติม Na_2SiO_3 แต่จะช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ดีกว่า

3) การเติมสารช่วยกระจายตัวในปริมาณมากเกินพอ ไม่ได้ทำให้การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด เพียงแต่จะช่วยให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันรวดเร็วขึ้นเท่านั้น

สรุปได้ว่า การทำนายสมบัติเชิงกลจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน เป็นวิธีการที่ง่ายและรวดเร็วเหมาะแก่การใช้เพื่อทดสอบสมบัติของสูตรใหม่ๆ รวมไปถึงการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบ อย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงผลของขนาดและปริมาณของเส้นใยด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kate E. Semple และคณะ [13] ศึกษาไม้ยูคาลิปตัสทั้ง 8 ชนิด เพื่อทดสอบการเข้ากันได้กับซีเมนต์ที่เหมาะสม ในการผลิตแผ่นไม้ซีเมนต์ โดยขั้นตอนแรกได้เลือกไม้ยูคาลิปตัสชนิดที่เหมาะสม โดยทดสอบว่า ไม้ชนิดใดไม่กีดขวางปฏิกิริยาไฮเดรชันจึงนำมาใช้ในการทดลองนี้ และนำไปศึกษาปริมาณส่วนที่นิ่มของไม้ และผลของการกำจัดสารที่ละลายออกไป

การเตรียมตัวอย่างจะนำไม้แผ่นบางๆ มาเก็บที่อุณหภูมิ 20±1 °C และความชื้น 65±5% เป็นเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นนำส่วนแรกมาทดสอบไฮเดรชัน ส่วนที่เหลือนำไปกำจัดสารที่ละลายน้ำได้ออกไป แล้วค่อยนำไปทดสอบการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน

การทดสอบไฮเดรชันจะทำการเทียบกันระหว่าง ตัวอย่างซีเมนต์ผสมแผ่นไม้และซีเมนต์ธรรมดา เมื่อผสมตัวอย่างแล้วปิดด้วยถุง PE จากนั้นนำเทปปิดใส่ถุง PS ที่มีการต่อเครื่องวัดอุณหภูมิและใส่ในขวดสูญญากาศ 1 ลิตร บันทึกผลทุก15นาที อ่านค่าอุณหภูมิสูงสุดและเวลาที่ใช้ เมื่อได้กราฟไฮเดรชันก็นำไปคำนวณค่า C_A- factor และ Hydration rate (R) = $(T_{MAX} - T_{MIN})$/Time โดยค่าอุณหภูมิต่ำสุดอ่านได้เมื่อเวลาไฮเดรชันอยู่ในช่วง 5 ชั่วโมงแรก

จากการทดลองพบว่า

1) ยูคาลิปตัสแต่ละชนิดมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันต่างกันขึ้นกับสารที่หลุดออกมาได้ เช่น พอลิแซคคาไรด์ และฟีนอลิกที่มาจากส่วนที่นิ่มของไม้และแก่นไม้ ไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน

2) เมื่อศึกษาผลการกำจัดสารที่ละลายน้ำได้ออกไป จะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้มากกว่า

3) ถ้ามีส่วนที่นิ่มของไม้มาก และมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ลดลง เพราะส่วนที่นิ่มของไม้นั้นจะมีพอลิแซคคาไรด์ขัดขวางปฏิกิริยาไฮเดรชัน.

4) การกำจัดฟีนอลิกและเฮมิเซลลูโลส ไม่สามารถกำจัดได้ด้วยน้ำเย็น แต่สารทั้ง 2 ชนิดนี้มีผลน้อยมากในการขัดขวางปฏิกิริยาไฮเดรชัน

5)ไม้ยูคาลิปตัสชนิด *E.badgensis* เข้ากับซีเมนต์ได้ดีที่สุด

Romido D.Tolêdo Filho และคณะ [14] งานวิจัยนี้เสนอวิธีแก้ปัญหาการลดลงของความเหนียวของก้อนคอนกรีตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากพืช เนื่องจากเส้นใยที่ผสมลงไปทำให้เกิดจุดอ่อนภายในก้อนคอนกรีตซึ่งทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration)ของน้ำกับซีเมนต์เกิดไม่ดี โดยการนำเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยจากต้นปอ (Sisal) มาบำบัดภายใต้สภาวะของ CO_2และบำบัดด้วยการแช่เส้นใยลงในสารแขวนลอยของซิลิกาชนิดละออง ก่อนนำผสมกับซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปอร์ตแลนด์และกากโลหะ (Slag) และน้ำในอัตราส่วนต่างๆ ชนิดของเส้นใยที่ใช้มีทั้งแบบเส้นใยสั้นและเส้นใยยาว จากนั้นนำส่วนผสมเทใส่แม่แบบไม้ขนาด 400 x 100 x 15 mm^3 แต่ละสูตรทำชิ้นงานตัวอย่าง 7 ชิ้น และขณะเทจะใช้เครื่องสั่นเพื่อให้เส้นใยกระจายตัวแบบสุ่ม เมื่อเทจนเต็มแม่แบบแล้วจึงหุ้มก้อนคอนกรีตด้วยแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนเป็นเวลา 1 วัน หลังจากนั้นแกะก้อนคอนกรีตออกจากแผ่นฟิล์มแล้วนำไปบ่มที่ 18 °C 97% RH ภายใต้สภาวะของ CO_2 เป็นเวลา 28 วัน จากนั้นนำก้อนคอนกรีตไปเก็บที่ 3 สภาวะ คือ สภาวะแรกแช่ไว้ในน้ำที่อุณหภูมิ 18 °C สภาวะที่สองทดสอบแบบ วัฏจักรแห้ง เปียก และสภาวะที่สามคือเก็บไว้ในสภาวะอากาศทั่วไป เป็นระยะเวลา 6 เดือน จากนั้นนำมาทดสอบสมบัติความโค้งงอ (Bending test) ใช้ Load cell ขนาด 2500 KN เพื่อหาความสามารถในการรับแรงอัดหลังจากชิ้นงานเสียสภาพแล้ว นำมาทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อหาการกระจายตัวและการจัดเรียงตัวของเส้นใยในก้อนคอนกรีต สภาวะที่มี CO_2 มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์กับน้ำ เพราะ CO_2 จะทำปฏิกิริยากับ $Ca(OH)_2$ ทำให้น้ำในคอนกรีตเป็นเบสลดลง น้ำจึงระเหยไปได้ช้าทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้อย่างสมบูรณ์ ในทำนองเดียวกันกับสารแขวนลอยของซิลิกาชนิดละอองและกากโลหะ ผลการทดลองพบว่า ความเปราะของเส้นใยลดลงเมื่อนำเส้นใยไปแช่ในสานแขวนลอยซิลิกาชนิดละออง

Pascale Coatanlem และคณะ [15] 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 40 x 40 x 160 mm^3 และทำการกดอัดแรงสูง เพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้อัดซีเมนต์ จากนั้นจึงแกะแม่แบบออกแล้วนำชิ้นงานไปบ่ม (เก็บไว้ในที่ที่มีความชื้น) เป็นเวลา 7 วัน แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ได้จะมีน้ำหนักเบากว่าเมื่อเทียบกับแผ่นไม้อัดธรรมดาทั่วไป มีสมบัติเป็นฉนวนทางความร้อน และทางเสียง มีความทนทาน ทนไฟ ทนต่อแมลง และไม่ขึ้นรา เหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เกรดการค้า ตราเสือ บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด

2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 เกรดการค้า ตราช้าง บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด

3. เส้นใยยูคาลิปตัส (Eucalyptus) ชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp;TMP)

4. สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate) เข้มข้น 40%โดยน้ำหนัก เกรดวิเคราะห์ Lab system Co.Ltd

5. โพแทชอะลัม (Potash alum) เกรดการค้า ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์ องค์การคุรุสภา

6. ซิลิกาชนิดละออง

7. แวกซ์ Supershine C® บริษัท ไบโอเซฟเฟอร์

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ตะแกรงมาตรฐานขนาด 100 230 mesh บริษัท RETSCH รุ่น 5657 HAAN W.GERMANY

2. เครื่องร่อนตะแกรง บริษัท RETSCH รุ่น VIBRO

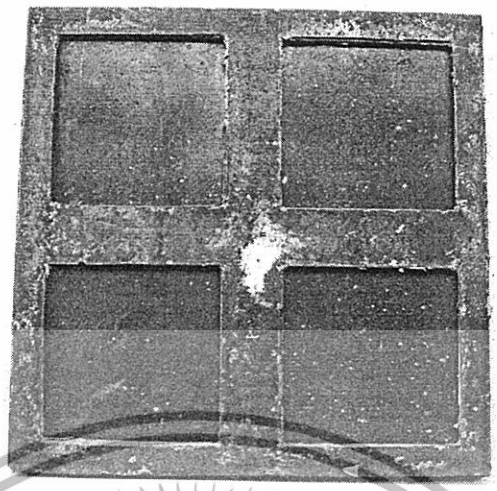
3. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง บริษัท Denver Instrument Company รุ่น TC 254

4. ตู้อบ บริษัท WBT binder รุ่น 7200 Tuttlingen/GERMANY

5. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope,SEM)

6. แม่พิมพ์โลหะสำหรับแผ่นไม้อัดซีเมนต์ ขนาด 15 x 15 x1 cm^3 แสดงดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แม่พิมพ์โลหะสำหรับแผ่นไม้อัดซีเมนต์ ขนาด 15 x 15 x 1 cm^3

7. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) บริษัท LAB TECH ENGINEERING รุ่น LP20

8. ที่ยึดแม่แบบโลหะ

9. ลังโฟม

10. ดินน้ำมัน

11. แผ่นใส

12. เดซิกเคเตอร์

3.3 แผนการดำเนินงานวิจัย

เริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นทำการเตรียมวัตถุดิบ ได้แก่ ปูนซีเมนต์และเส้นใย แล้วทำการศึกษาหาวิธีการผสมวัตถุดิบต่างๆ ที่เหมาะสมเพื่อเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์ตามปัจจัยศึกษากำหนด และนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ

ปัจจัยศึกษาและการทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ของแผ่นไม้อัดซีเมนต์

1.การเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์

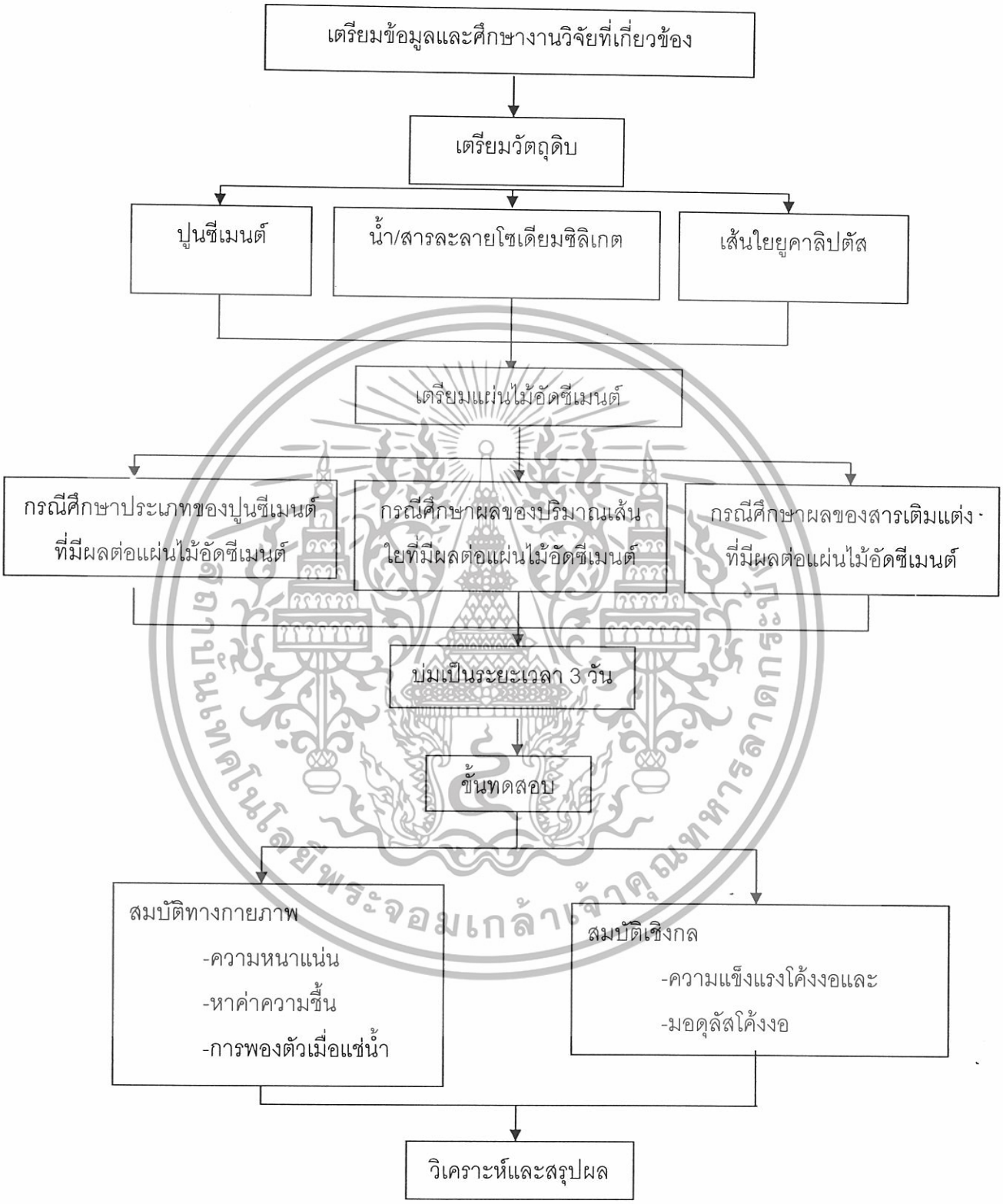
- ศึกษาผลของประเภทปูนซีเมนต์
- ศึกษาผลของปริมาณเส้นใย
- ศึกษาผลของสารเติมแต่งที่มีผลต่อแผ่นไม้อัดซีเมนต์
- ศึกษาผลของปริมาณสารเติมแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 การเตรียมวัตถุดิบ

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

2) **เส้นใยยูคาลิปตัส** นำเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกลมาร่อนคัดขนาดน้อยกว่า 80 mesh จากนั้นนำเส้นใยที่ผ่านการร่อนมาแช่ในสารละลายโซเดียมซิลิเกต เป็นเวลา 1 วัน ก่อนนำไปใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ขนาดของอนุภาคของปูนซีเมนต์ และเส้นใยยูคาลิปตัสที่เลือกใช้

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

3.4.2 การเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์

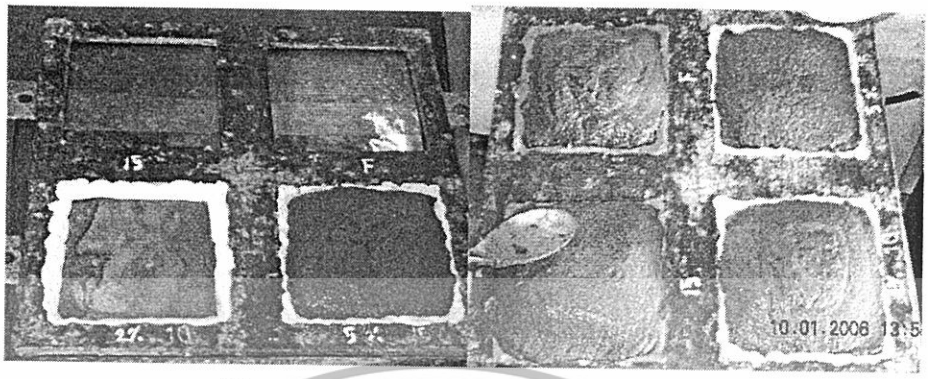
1) กำหนดให้มวลรวมของแผ่นไม้อัดซีเมนต์เป็น 300 g.
(มวลรวม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ และเส้นใยยูคาลิปตัส)
- อัตราส่วนน้ำ : ซีเมนต์ (ขึ้นอยู่กับปริมาณเส้นใย)
- ชั่งเส้นใยในปริมาณที่ต้องการ (10% หรือ 15% โดยน้ำหนักมวลรวม)
- น้ำหนักมวลรวมที่เหลือเป็นน้ำหนักของปูนซีเมนต์
- ชั่งสารละลายโซเดียมซิลิเกตในปริมาณ 2% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์
- ชั่งโพแทชอะลัมในปริมาณ 1% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

2) ผสมเส้นใยกับน้ำและสารละลายโซเดียมซิลิเกตตามอัตราส่วนที่กำหนด คลุกเคล้าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน

3) ผสมปูนซีเมนต์กับโพแทชอะลัมให้เข้ากัน จากนั้นจึงนำไปผสมกับเส้นใยที่เตรียมไว้

4) เทของผสมที่เตรียมได้ลงในแม่แบบโลหะขนาด 15 x 15 x 1 cm^3 ที่รองด้วยแผ่นใสและที่ขอบแม่แบบมีดินน้ำมันกั้นไว้ แสดงดังรูปที่ 3.3 จากนั้นนำปูนซีเมนต์มาโรยบางๆที่บริเวณผิวหน้าเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความเรียบสม่ำเสมอและนำแผ่นโลหะมาปิดทับ

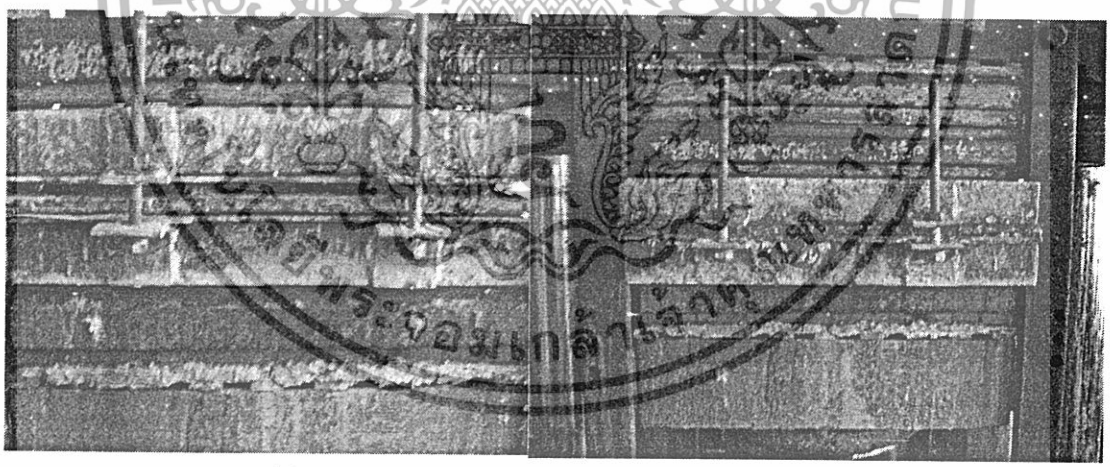
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่ 3.3 (ก) แม่แบบโลหะที่รองด้วยแผ่นใสและที่ขอบแม่แบบโลหะมีดินน้ำมันกั้นไว้
(ข) เทของผสมที่เตรียมได้ลงในแม่แบบโลหะ

5) นำแม่แบบโลหะไปกดอัดด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิห้องและความดัน 180 MPa เป็นเวลา 30 นาที แสดงดังรูปที่ 3.4

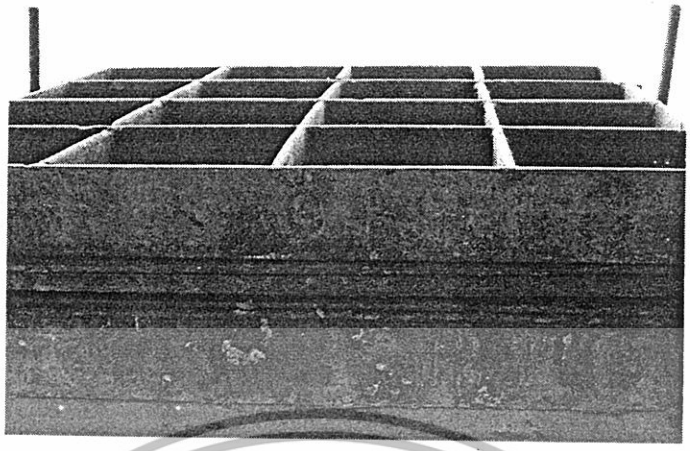


(ก) (ข)

รูปที่ 3.4 การกดอัดแผ่นไม้อัดซีเมนต์ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (ก) ก่อนกด (ข) หลังกด

6) ทำการยึดแม่แบบโลหะให้คงรูป แล้วนำแม่แบบโลหะออกจากเครื่องอัดขึ้นรูป ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน เพื่อให้แผ่นไม้อัดซีเมนต์เซ็ตตัว แสดงดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การยึดแม่แบบโลหะให้คงรูป

7) แกะแผ่นไม้อัดซีเมนต์ออกจากแม่แบบโลหะ แล้วนำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ไปบ่มที่ความชื้นสูง โดยใส่ลงในภาชนะปิดที่บรรจุน้ำ เป็นเวลา 3 วัน แสดงดังรูปที่ 3.6

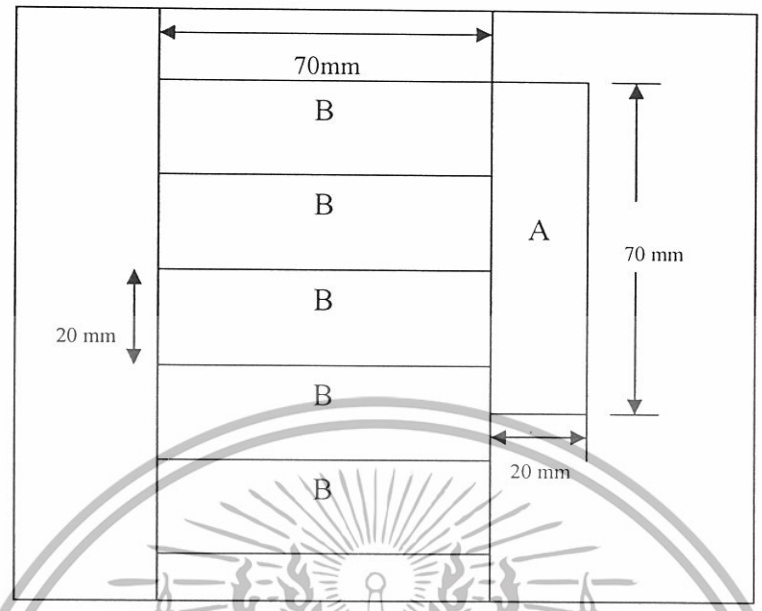
รูปที่ 3.6 การบ่มที่ความชื้นสูง

8) นำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100±3 °C เป็นเวลา 1 วัน

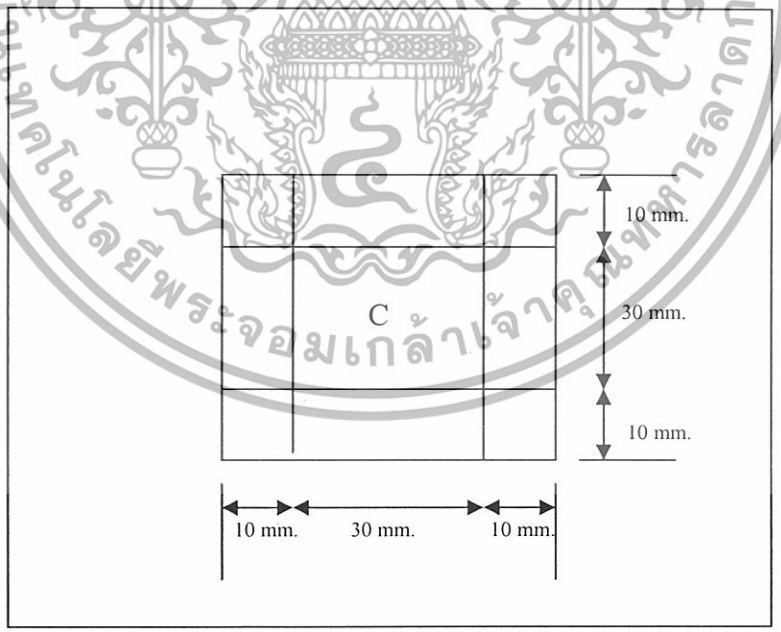
9) เมื่อครบกำหนดแล้วนำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ตั้งทิ้งไว้ เพื่อให้แผ่นไม้อัดซีเมนต์มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

10) วัดขนาดและตัดชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 3.7 และ 3.8 เพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 การตัดชิ้นงานเพื่อนำไปทดสอบ (A) ความหนาแน่น และความชื้น (B) ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดูลัสโค้งงอ



รูปที่ 3.8 การตัดชิ้นงานเพื่อนำมาทดสอบ (C) การพองตัวเมื่อแช่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.1 กรณีศึกษาผลของประเภทของปูนซีเมนต์

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เกรดการค้า

ทำการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์เหมือน 3.4.2 ทุกขั้นตอน โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เกรดการค้า

2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 เกรดการค้า

ทำการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์เหมือน 3.4.2 ทุกขั้นตอน โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 เกรดการค้า

3.4.2.2 กรณีศึกษาผลของปริมาณเส้นใย

1. **ปริมาณเส้นใย** 10%

ทำการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์เหมือน 3.4.2 ทุกขั้นตอน โดยชั่งเส้นใยในปริมาณ 10% โดยน้ำหนักมวลรวม และ อัตราส่วนน้ำ : ซีเมนต์ = 0.8

2. **ปริมาณเส้นใย** 15%

ทำการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์เหมือน 3.4.2 ทุกขั้นตอน โดยชั่งเส้นใยในปริมาณ 15% โดยน้ำหนักมวลรวม และ อัตราส่วนน้ำ : ซีเมนต์ = 1.2

3.4.2.3 กรณีศึกษาผลของสารเติมแต่ง

1. **ซิลิกาชนิดละออง**

- ใส่ซิลิกาชนิดละออง 1% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ลงในเส้นใยที่ผ่านการผสมกับน้ำและสารละลายโซเดียมซิลิเกต แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นทำขั้นตอนที่เหลือเหมือน 3.4.2 ทุกขั้นตอน

- ปรับปริมาณซิลิกาชนิดละอองที่ใช้จาก 1% เป็น 2% และ 3%

2.แวกซ์ Supershine C®

- ใส่แวกซ์ 2% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ลงในเส้นใยที่ผ่านการผสมกับน้ำและสารละลายโซเดียมซิลิเกต แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นทำขั้นตอนที่เหลือเหมือน 3.4.2 ทุกขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์

ชื่อชิ้นงาน	ปริมาณเส้นใย (%โดยน้ำหนักมวลรวม)	สูตรปูน	น้ำหนักเส้นใย (กรัม)	น้ำหนักปูน (กรัม)	ปริมาณน้ำ (กรัม)	ปริมาณสารละลายโซเดียมซิลิเกต (กรัม)	ปริมาณโพแทชอะลัม (กรัม)	ปริมาณซิลิกาชนิดละออง (กรัม)	ปริมาณแวกซ์ (กรัม)
10/1	10	1	30	270	216	5.4	2.7	-	-
10F/1								2.7	
								5.4	
								8.1	
10/3	10	3	30	270	216	5.4	2.7	-	-
10F/3								2.7	
								5.4	
								8.1	
10W/3								-	5.4

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

ชื่อชิ้นงาน	ปริมาณเส้นใย (%โดยน้ำหนักมวลรวม)	สูตรปูน	น้ำหนักเส้นใย (กรัม)	น้ำหนักปูน (กรัม)	ปริมาณน้ำ (กรัม)	ปริมาณสารละลายโซเดียมซิลิเกต (กรัม)	ปริมาณโพแทชอะลัม (กรัม)	ปริมาณซิลิกาชนิดละออง (กรัม)	ปริมาณแวกซ์ (กรัม)
15/1	15	1	45	255	306	5.1	2.55	-	-
15F/1								5.1	
15/3	15	3	45	255	306	5.1	2.55	-	-
15F/3								5.1	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
บัตรนักศึกษาของท่านเป็นเครื่องยืนยันว่าท่านเป็นนักศึกษาที่ได้รับสิทธิ์ในการใช้ทรัพยากรต่างๆ ของมหาวิทยาลัย

3.4.3 การทดสอบทางกายภาพ

3.4.3.1 การหาค่าความหนาแน่น (Density)

นำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ได้หลังจากที่ผ่านการบ่มและอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100±3 °C เป็นระยะเวลา 1 วัน มาตัดให้ได้ขนาดเท่ากับชิ้นทดสอบ A ขนาด 2 x 7 cm^3 จากนั้นนำมาชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน 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) ชั่งชิ้นทดสอบ A ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.01 g เป็นน้ำหนักก่อนอบ

2) อบชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 103±2 °C จนมีน้ำหนักคงที่ คือน้ำหนักชิ้นทดสอบที่ชั่ง 3 ครั้ง ห่างกันอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.1

3) นำชิ้นงานทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์

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 x 5 cm^2

2) ทำเครื่องหมายตามตำแหน่งที่วัดความหนาดังรูปที่ 3.8 วัดความหนาของชิ้นทดสอบทั้ง 4 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ

3) แช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง โดยชิ้นทดสอบต้องตั้งได้ฉากกับผิวน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) แช่ชิ้นทดสอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาดแล้วปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง

5) นำชิ้นทดสอบมาวัดความหนาที่ตำแหน่งเดิม แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาหลังแช่น้ำ นำมาคำนวณหาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำจากสูตร

$$\text{ร้อยละการพองตัวเมื่อแช่น้ำ} = \frac{\text{ความหนาหลังแช่น้ำ (mm.)} - \text{ความหนาก่อนแช่น้ำ (mm.)}}{\text{ความหนาก่อนแช่น้ำ (mm.)}} \times 100$$

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 2 x 7 cm^2

2) วัดความกว้างและความหนาของชิ้นทดสอบ แล้วหาค่าเฉลี่ย

3) นำมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal tester) ขนาด 5 KN ที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ แล้วทำการบันทึกแรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรง ระยะแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรง แล้วนำไปคำนวณค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอจากสูตร

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

เมื่อ f คือ ความแข็งแรงโค้งงอ (MPa)

W คือ แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ (N)

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ (mm.)

b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ (mm.)

d คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ (mm.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ E คือ มอดุลัสโค้งงอ (MPa)

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ (mm.)

ΔW คือ แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรง (N) แสดงดังรูปที่ 3.8

ΔS คือ ระยะแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรง (mm.) แสดงดังรูปที่ 3.8

b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ (mm.)

d คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ (mm)

รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกด (N) กับการแอ่นตัว [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ ได้นำเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp;TMP) มาทำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ โดยมาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Cement Portland) ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 3 เส้นใยที่ใช้มีขนาดน้อยกว่า 80 mesh โดยปรับเปลี่ยนปริมาณเส้นใยเป็น 10% และ 15% โดยน้ำหนัก และใช้ปูนซีเมนต์ต่อน้ำในอัตราส่วนโดยมวลเป็น 1:0.8 และ 1:1.2 ตามลำดับ จากนั้นนำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมได้มาทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) มอดุลัสโค้งงอ(Flexural modulus) และลักษณะทางกายภาพ ซึ่งแสดงผลการทดลองดังนี้

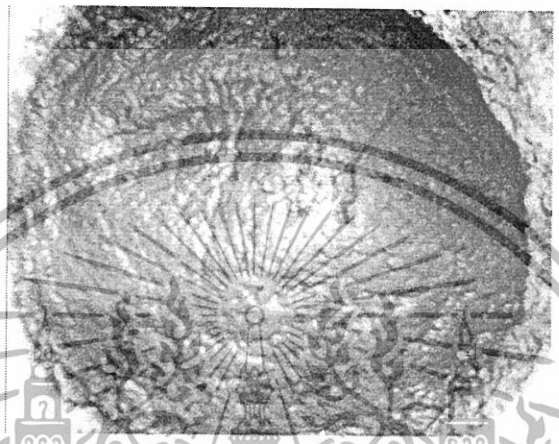
4.1 ลักษณะทางกายภาพ

4.1.1 การศึกษาผลของสารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง

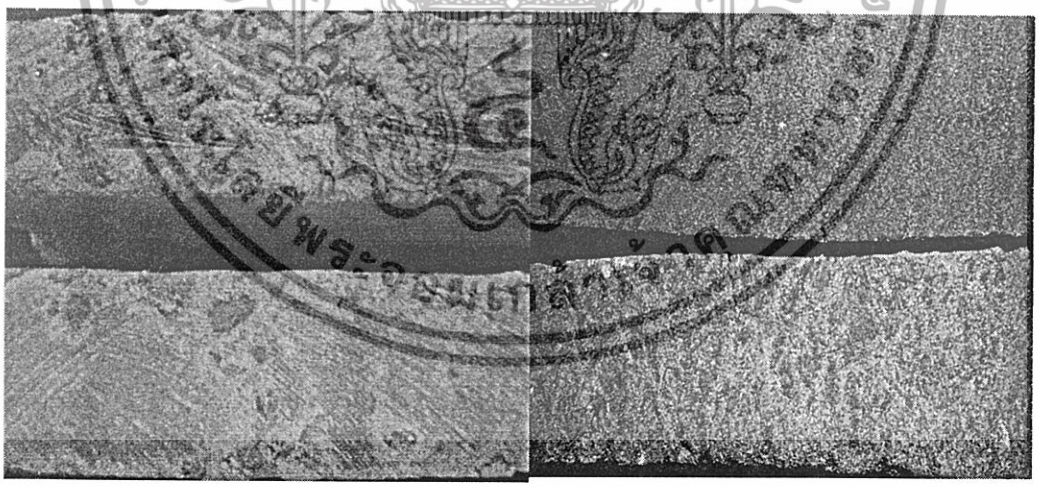
จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมจากปูนซีเมนต์ผสมกับเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp;TMP) ที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกต โดยใช้ปริมาณเส้นใย 10% และ 15% โดยน้ำหนัก พบว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีการใช้ซิลิกาชนิดละอองผสมกับเส้นใยยูคาลิปตัส ภายหลังการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกตในขั้นตอนการผสมเส้นใยกับปูนซีเมนต์และส่วนผสมต่างๆสามารถผสมกันได้ง่าย แสดงดังรูปที่ 4.1 เมื่อนำของผสมไปขึ้นรูป สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ชิ้นงานที่ได้แข็งคงรูป อย่างไรก็ตามเส้นใยมีการเกาะกลุ่มรวมกันเป็นก้อนและกระจายไม่สม่ำเสมอทั่วชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 4.2 (ก) และ (ข) แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่มีการใช้ซิลิกาชนิดละออง พบว่าในขั้นตอนการผสมเส้นใยกับปูนซีเมนต์ และส่วนผสมต่างๆสามารถผสมกันได้ยากกว่าส่วนผสมที่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง แสดงดังรูปที่ 4.3 และเมื่อนำของผสมไปขึ้นรูปพบว่าสามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานได้พบว่าเส้นใยมีการกระจายตัวในแผ่นซีเมนต์ที่ดีกว่า แสดงดังรูปที่ 4.4 (ก) และ (ข) และผลการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล ที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกต ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงดังรูปที่ 4.5 พบว่า เส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (TMP) มีอนุภาคของสารโซเดียมซิลิเกตเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิวของเส้นใย [4] และเมื่อเปรียบเทียบกับสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่ใช้สารเติมแต่งซิลิกาซนิดละออง แสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่าเส้นใยมีการกระจุกกันเป็นก้อน มีสารรูปร่างทรงกลมล้อมรอบเส้นใย มีขนาดประมาณ 50 - 200 μm ซึ่งสารดังกล่าว คือ ซิลิกาซนิดละออง ลักษณะดังกล่าว เป็นผลให้เส้นใยไม่กระจายตัวในเนื้อปูน ดังแสดงดังรูปที่ 4.2



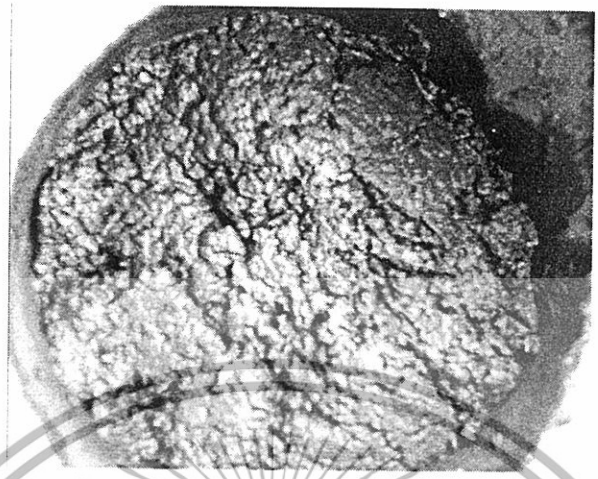
รูปที่ 4.1 ลักษณะส่วนผสมต่างๆ ของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาซนิดละออง 2%โดยน้ำหนักเทียบกับปูน



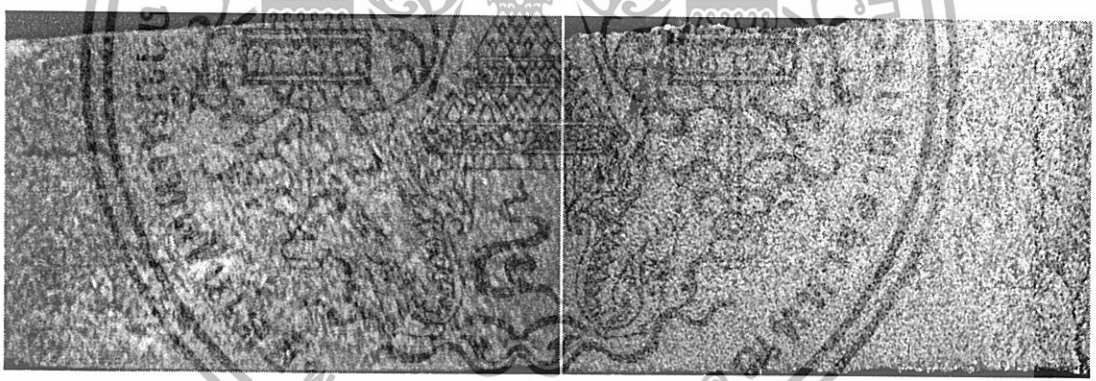
(ก) (ข)

รูปที่ 4.2 ลักษณะการกระจายตัวของเส้นใยยูคาลิปตัสซนิดเยื่อความร้อนเชิงกล ในชิ้นงานที่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาซนิดละออง 2% โดยน้ำหนักเทียบกับปูน (ก) ปริมาณเส้นใย 10% (ข) ปริมาณเส้นใย 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



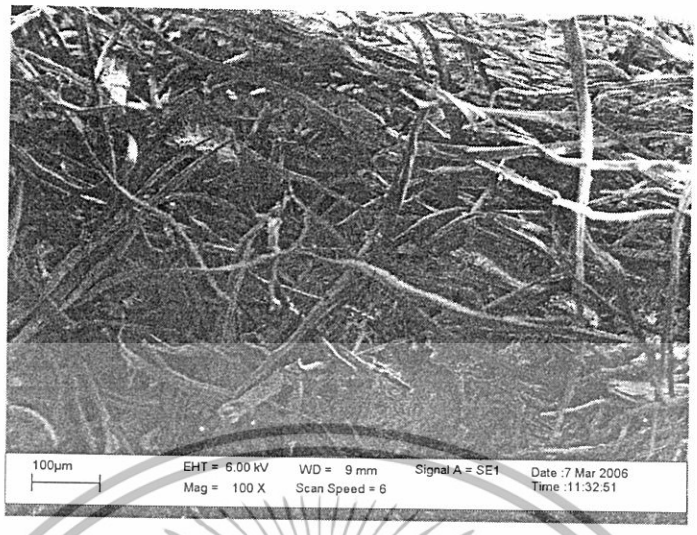
รูปที่ 4.3 ลักษณะส่วนผสมต่างๆของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ไม่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกา ชนิดละออง 2%โดยน้ำหนักเทียบกับปูน



(ก) (ข)

รูปที่ 4.4 ลักษณะการกระจายตัวของเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล ในชิ้นงานที่ไม่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง 2%โดยน้ำหนักเทียบกับปูน
(ก) ปริมาณเส้นใย 10% (ข) ปริมาณเส้นใย 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล ที่ไม่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง

รูปที่ 4.6 ภาพ SEMแสดงสัณฐานวิทยาของเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล ที่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง 2%โดยน้ำหนักเทียบกับปูน

4.1.2 การศึกษาการใช้สารเติมแต่งแวกซ์ Super shine C®

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีการใช้สารช่วยกระจายตัวแวกซ์แทนซิลิกาชนิดละออง ในการผสมเส้นใยที่มีการเติมแวกซ์กับซีเมนต์ และส่วนผสมต่างๆ พบว่าของผสมมีลักษณะร่วนซุย ผสมเข้ากันได้ง่าย แต่เมื่อนำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าไม่เกิดการแข็งตัวของชิ้นงาน จึงไม่สามารถนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลได้ ผลดังกล่าวสันนิษฐานว่า เนื่องจากแวกซ์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีทั้งส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้วในโมเลกุลเดียวกัน มีพลังงานยึดติดที่พื้นผิว (Surface energy) ต่ำ ความสามารถในการยึดติดต่ำ และแวกซ์ไปเคลือบบริเวณผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยกับปูนซีเมนต์ ส่งผลให้การยึดติดระหว่างปูนกับเส้นใยเกิดไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

4.2.1 ความหนาแน่น

เมื่อนำแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมจากปูนซีเมนต์ผสมกับเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (TMP) ที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกตโดยใช้ปริมาณเส้นใย 10 และ 15 % โดยน้ำหนัก ไปทดสอบหาค่าความหนาแน่น ได้ค่าความหนาแน่นดังแสดงในตารางที่ 4.1 (ภาคผนวก ก-1) จากผลการทดลองพบว่า แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมได้มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1.1-1.3 g/cm^3 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแผ่นไม้อัดซีเมนต์เกรดการค้า (ประมาณ 1.1-1.3 g/cm^3, ภาคผนวก ค)

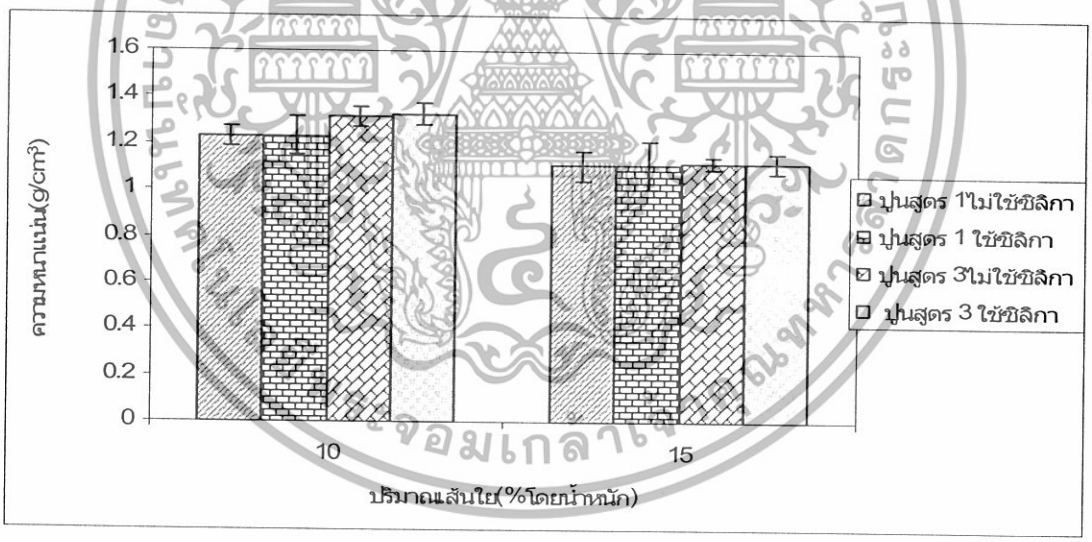
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความหนาแน่น ความชื้น(%) และการพองตัวเมื่อแช่น้ำ(%)

ชื่อตัวอย่าง	สูตรปูน	ปริมาณเส้นใย (%โดยน้ำหนัก)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ความชื้น (%)	การพองตัวเมื่อแช่น้ำ(%)
10/1	1	10	1.23±0.04	2.06±0.15	1.17±0.17
10F2/1		10F*	1.23±0.08	1.98±0.06	1.03±0.07
10/3	3	10	1.32±0.05	2.05±0.13	1.17±0.09
10F2/3		10F*	1.33±0.04	1.95±0.11	1.09±0.07
15/1	1	15	1.11±0.06	2.33±0.08	1.98±0.13
15F2/1		15F*	1.11±0.11	2.39±0.05	2.01±0.21
15/3	3	15	1.12±0.03	2.35±0.02	2.00±0.05
15F2/3		15F*	1.12±0.04	2.34±0.05	1.88±0.09

F* คือ มีการใช้ซิลิกาชนิดละออง โดยปริมาณที่ใช้เป็น 2% เทียบกับน้ำหนักปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีปริมาณเส้นใยแตกต่างกัน พบว่า เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเส้นใยมีความหนาแน่นน้อยกว่าปูนซีเมนต์ ดังนั้นเมื่อสัดส่วนของเส้นใยเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง เนื่องจากมวลรวมคงที่ ทำให้ความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์มีค่าลดลงตามกฎของของผสม (Rule of mixture) เมื่อเปรียบเทียบผลของประเภทปูน (ประเภทที่ 1 และ 3) และการใช้สารเติมแต่ง คือ ซิลิกาชนิดละออง (Fume silica) กับไม่ใช้สารเติมแต่ง พบว่าความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นเป็นสมบัติเชิงกลที่ขึ้นกับมวลรวม ในขณะที่ปูนซีเมนต์ทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันที่องค์ประกอบภายในปูนคือ $3CaO.Al_2O_3$ ซึ่งไม่มีผลต่อค่าความหนาแน่น และเนื่องจากสารเติมแต่งที่ใส่ลงไปเพื่อทำหน้าที่เพียงช่วยให้การผสมง่ายขึ้นเท่านั้นประกอบกับปริมาณที่เติมลงไปมีค่าน้อยมาก (2% โดยน้ำหนักของปูน) ดังนั้นเมื่อใช้ปริมาณเส้นใยเท่ากัน ค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ได้จึงใกล้เคียงกัน แสดงดังรูปที่ 4.7

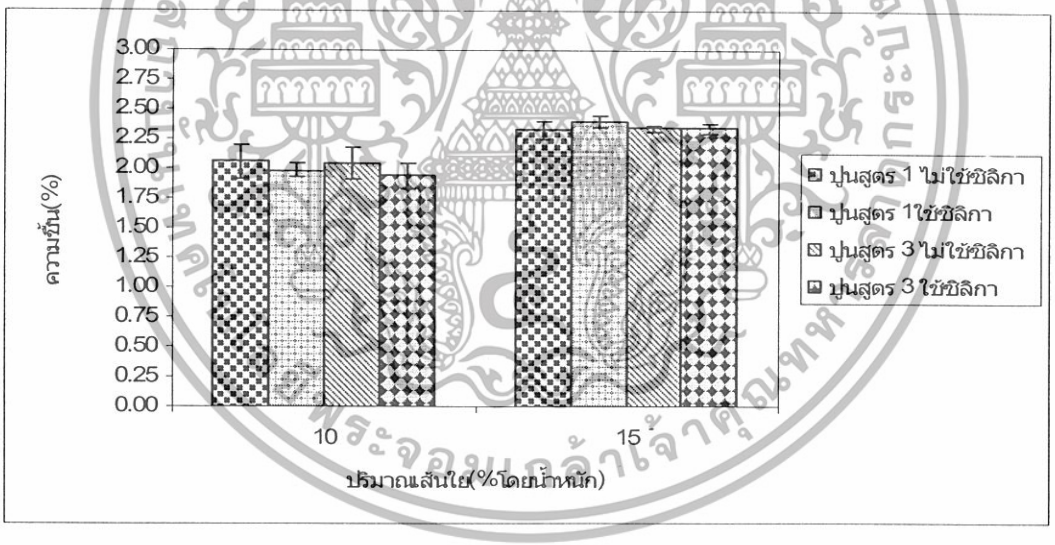


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณเส้นใยของแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัสขนาดน้อยกว่า 80 mesh ปริมาณเส้นใย 10% และ 15% โดยน้ำหนัก โดยใช้ปูนประเภทที่ 1 และ 3 ที่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง 2% โดยน้ำหนักเทียบกับปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ความชื้น

ผลการทดสอบค่าการดูดความชื้นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีปริมาณเส้นใยที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.8 (ภาคผนวก ก-2) พบว่าความชื้นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์มีค่าอยู่ในช่วง 1.9 – 2.4 % ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์เกรดการค้าที่เตรียมจากชิ้นไม้ซึ่งมีปริมาณความชื้นถึง 12±3% เนื่องจากว่าเกรดการค้าใช้ชิ้นไม้ในปริมาณมากกว่า (อัตราส่วนโดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ : ชิ้นไม้ เป็น 1.78) จะเห็นได้ว่าความชื้นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซีที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยทำให้มีหมู่ไฮดรอกซีมากขึ้น เกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบผลของประเภทของปูนและผลของสารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง พบว่าความชื้นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมได้มีค่าใกล้เคียงกัน เพราะปูนซีเมนต์ทั้งสองประเภทมีความแตกต่างที่องค์ประกอบอนินทรีย์ และสารเติมแต่งใส่เพื่อช่วยในการผสมง่ายขึ้น ซึ่งไม่มีผลต่อความชื้น



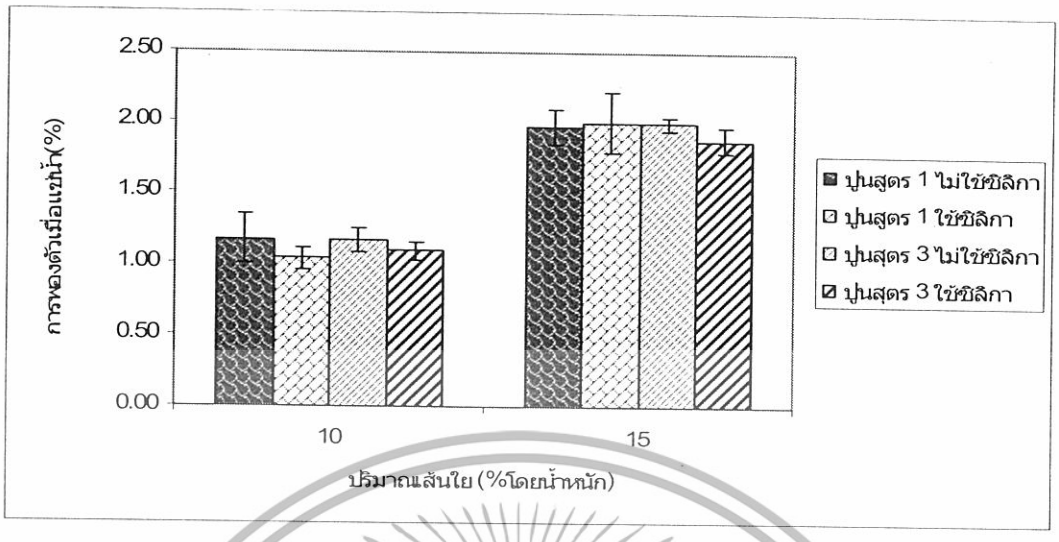
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง%ความชื้นกับปริมาณเส้นใยของแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัสขนาดน้อยกว่า 80 mesh ปริมาณเส้นใย 10% และ 15% โดยน้ำหนัก โดยใช้ปูนประเภทที่ 1 และ 3 ที่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง 2% โดยน้ำหนักเทียบกับปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ

การทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.878-2537) ทำได้โดยการนำแผ่นไม้อัดซีเมนต์มาวัดความหนา 4 จุดด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ แล้วนำแผ่นไม้อัดซีแมนต์ดังกล่าวไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาวัดความหนาใน 4 จุดเดิม นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละการพองตัวเมื่อแช่น้ำ แสดงดังตารางที่ 4.1 (ภาคผนวก ก-3) เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณเส้นใย มีผลให้ค่าการพองตัวของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีปริมาณเส้นใย 15% (15/1 และ 15/3) มีค่าการพองตัวสูงกว่า เนื่องจากมีปริมาณเส้นใยมากกว่าจึงมีหมู่ไฮดรอกซีที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้มากกว่า นอกจากนี้การที่มีปริมาณเส้นใยมากขึ้นส่งผลให้เกิดรอยต่อระหว่างวัฏภาคระหว่างปูนซีเมนต์กับเส้นใยมากขึ้น ซึ่งเป็นตำแหน่งที่โมเลกุลของน้ำแทรกตัวเข้าไปได้ง่าย จึงทำให้แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีปริมาณเส้นใย 15% มีค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำมากกว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีปริมาณเส้นใย 10% (10/1 และ 10/3) เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีการใส่สารเติมแต่ง คือ Fume silica กับ ไม่ใส่สารเติมแต่งพบว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีการใส่สารเติมแต่ง 2%โดยน้ำหนักเทียบกับปูน มีค่าการพองตัวต่ำกว่าเล็กน้อย เนื่องจากการกระจายตัวของเส้นใยไม่ค่อยดีมีการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน ส่งผลให้มีรอยต่อระหว่างวัฏภาคระหว่างปูนซีเมนต์กับเส้นใยลดลง ทำให้โมเลกุลของน้ำแทรกตัวเข้าไปได้ลดลง ในขณะที่แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ไม่ใส่สารเติมแต่งจะมีการกระจายตัวของเส้นใยที่ดีกว่า มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นทำให้มีรอยต่อระหว่างวัฏภาคมากกว่า โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกเข้าไปได้มากกว่า ทำให้แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ไม่ใส่สารช่วยการกระจายตัวมีค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำมากกว่า ดังนั้น ดังนั้นการใส่สารเติมแต่งลงไปมีผลให้ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำลดลงเนื่องจากการใส่สารเติมแต่งลงไปทำให้การกระจายตัวของเส้นใยภายในแผ่นไม้อัดซีเมนต์ไม่ดีเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน เกิดรอยต่อระหว่างวัฏภาคลดลง โมเลกุลของน้ำแทรกเข้าไปได้น้อยลง ค่าการพองตัวจึงลดลง แสดงดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัวเมื่อแช่น้ำกับปริมาณเส้นใยของแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัสขนาดน้อยกว่า 80 mesh ปริมาณเส้นใย 10% และ 15% โดยน้ำหนัก โดยใช้ปูนประเภทที่ 1 และ 3 ที่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง 2%โดยน้ำหนักเทียบกับปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3การทดสอบสมบัติเชิงกล

4.3.1 ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength)

ผลการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal tester) โดยใช้ Load cell ขนาด 5 kN แล้วคำนวณค่าความแข็งแรงโค้งงอ แสดงดังตารางที่ 4.2 (ภาคผนวก ข-1)

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ

ชื่อชิ้นงาน	สูตรปูน	ปริมาณเส้นใย (%โดยน้ำหนัก)	ความแข็งแรงโค้งงอ (MPa)
10/1	1	10	5.04±0.56
10F2/1		10F*(2%)	5.79±0.29
10/3	3	10	7.56±0.26
10F1/3		10F*(1%)	6.32±0.81
10F2/3		10F*(2%)	9.05±0.28
10F3/3		10F*(3%)	7.85±0.77
15/1	1	15	0.27±0.01
15F2/1		15F*(2%)	0.45±0.02
15/3	3	15	0.70±0.05
15F/3		15F*(2%)	0.84±0.07

F* คือ มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง โดยปริมาณที่ใช้เป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับปูน

จากการทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรงโค้งงอของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมโดยใช้เส้นใยที่ผ่านการบำบัดด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกตมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (TMP) ในงานวิจัยนี้เป็นสารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรง (Non-reinforcing fillers) ไม่สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุได้ ประกอบกับปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความแข็งหรือมอดุลัสสูงมีปริมาณลดลง นอกจากนี้เส้นใยที่ใช้มีความยาวค่อนข้างสั้น (ประมาณ 150-850 μm) มีการถ่ายเทแรงที่ได้รับไม่ดี จึงทำให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอของแผ่นไม้อัดซีเมนต์มีค่าลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการศึกษาประเภทของปูนซีเมนต์ พบว่าค่าความแข็งแรงโค้งงอของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมจากปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3 มีค่าความแข็งแรงโค้งงอสูงกว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมได้จากปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 เนื่องจากปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3 มีการเพิ่มองค์ประกอบบางตัวลงไป ซึ่งทำให้มีการพัฒนากำลังอัดอย่างรวดเร็วในระยะแรก โดยองค์ประกอบดังกล่าวคือ $3CaO.Al_2O_3$ ซึ่งในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ไม่มีองค์ประกอบดังกล่าว ดังนั้น ค่าความแข็งแรงโค้งงอของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมได้จากปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3 จึงมีค่าสูงกว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมได้จากปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1

ผลของการศึกษาสารเติมแต่ง พบว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีการใส่สารเติมแต่งมีค่าความแข็งแรงโค้งงอสูงกว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ไม่ใส่สารเติมแต่ง เนื่องจากการใส่สารเติมแต่งลงไปจะทำให้เส้นใยมีการกระจายตัวไม่ดี เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ส่งผลให้ส่วนที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่องคือปูนซีเมนต์มีความต่อเนื่องมากยิ่งขึ้นจึงสามารถรับแรงได้มากขึ้น ในขณะที่แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ไม่ใส่สารเติมแต่งจะมีการกระจายตัวของเส้นใยที่ดี มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ทำให้ส่วนที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่องซึ่งเป็นส่วนที่มีความแข็งแรงมีความต่อเนื่องลดลง จึงทำให้ความแข็งแรงของวัสดุลดลง แสดงดังรูปที่ 4.10 สำหรับผลของปริมาณสารเติมแต่งเมื่อทำการทดลองใส่สารเติมแต่งในปริมาณ 1% 2% และ 3% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ตามลำดับ พบว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ใส่สารเติมแต่งปริมาณ 2% มีค่าความแข็งแรงโค้งงอสูงที่สุด เนื่องจากถ้าใส่มากเกินไปเส้นใยจะมีการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ ซึ่งกลุ่มก้อนเหล่านี้จะกลายเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงานไม่สามารถถ่ายเทแรงที่ได้รับต่อไปได้ทำให้มีค่าความแข็งแรงโค้งงอลดลง แต่ถ้าใส่น้อยเกินไปเส้นใยจะมีการกระจายดี ส่งผลให้ส่วนที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่องที่มีความแข็งแรงสูงมีความต่อเนื่องลดลงจึงรับแรงได้น้อยลง แสดงดังรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงโค้งงอกับปริมาณเส้นใยของแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัสขนาดน้อยกว่า 80 mesh ปริมาณเส้นใย 10% และ 15%โดยน้ำหนัก โดยใช้ปูนประเภทที่ 1 และ 3 ที่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง 2%โดยน้ำหนักเทียบกับปูน

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงโค้งงอกับปริมาณสารเติมแต่งของแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัสขนาดน้อยกว่า 80 mesh ปริมาณเส้นใย 10% โดยใช้ปูนประเภทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 **มอดุลัสโค้งงอ** (Flexural Modulus)

ผลการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal tester) โดยใช้ Load cell ขนาด 5 kN แล้วคำนวณค่ามอดุลัสโค้งงอ แสดงดังตารางที่ 4.3 (ภาคผนวก ข-2)

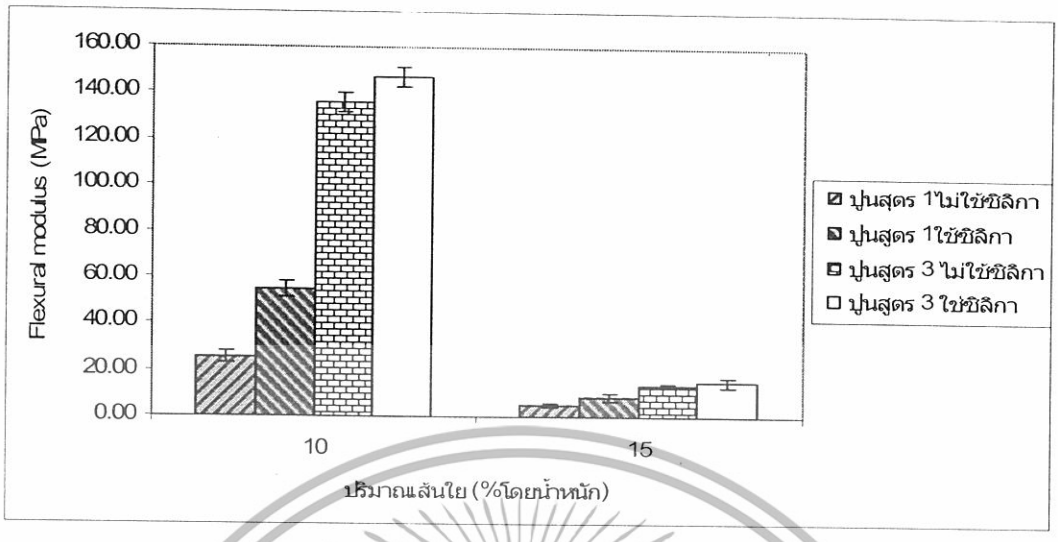
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบมอดุลัสโค้งงอ

ชื่อชิ้นงาน	สูตรปูน	ปริมาณเส้นใย (%โดยน้ำหนัก)	Flexural modulus (MPa)
10/1	1	10	25.62±2.91
10F/1		10F*(2%)	54.71±3.10
10/3	3	10	136.08±4.51
10F1/3		10F*(1%)	135.86±5.34
10F2/3		10F*(2%)	147.40±4.30
10F3/3		10F*(3%)	144.42±9.54
15/1	1	15	5.17±0.59
15F/1		15F*(2%)	8.32±1.89
15/3	3	15	13.74±0.96
15F/3		15F*(2%)	15.03±1.87

F* คือมีการเติมสารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง โดยปริมาณที่ใช้เป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับปูน

จากการศึกษาพบว่า ค่ามอดุลัสโค้งงอของเส้นใยที่ผ่านการบำบัดด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกตมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น เนื่องจากสัดส่วนของเส้นใยเพิ่มขึ้นและปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง ทำให้แผ่นไม้อัดซีเมนต์มีความแข็งลดลงตามกฎของการผสม (Rule of mixer) ส่วนผลของประเภทปูนซีเมนต์ การใส่สารเติมแต่ง และปริมาณสารเติมแต่ง มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับกรณีของค่าความแข็งแรงโค้งงอ แสดงดังรูปที่ 4.12 และ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสโค้งงอกับปริมาณเส้นใยของแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัสขนาดน้อยกว่า 80 mesh ปริมาณเส้นใย 10% และ 15% โดยน้ำหนัก โดยใช้ปูนประเภทที่ 1 และ 3 ที่มีการใช้สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง 2%โดยน้ำหนักเทียบกับปูน

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสโค้งงอกับปริมาณสารเติมแต่งของแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยยูคาลิปตัสขนาดน้อยกว่า 80 mesh ที่มีปริมาณเส้นใย 10% โดยใช้ปูนประเภทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงงานพิเศษนี้สามารถเตรียมแผ่นไม้อัดซีเมนต์จากปูนซีเมนต์ผสมเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล (TMP) ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปได้ โดยแบ่งปัจจัยศึกษาออกเป็น 4 ปัจจัย ได้แก่ ศึกษาผลของประเภทของปูนซีเมนต์ ปริมาณเส้นใย การใช้สารเติมแต่ง และปริมาณสารเติมแต่ง ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองในแต่ละปัจจัยศึกษาได้ดังนี้

- **ผลของประเภทของปูนซีเมนต์**

ประเภทของปูนซีเมนต์ที่ใช้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เกรดการค้าประเภทที่ 1 และ 3 พบว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมได้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เกรดการค้าประเภทที่ 3 มีค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอสูงกว่าแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมได้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เกรดการค้าประเภทที่ 1 แต่ไม่มีผลต่อค่าความหนาแน่น ความชื้น และค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ

- **ผลของปริมาณเส้นใย**

เมื่อปริมาณเส้นใยในแผ่นไม้อัดซีเมนต์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความชื้นและการพองตัวเมื่อแช่น้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซีของเซลลูโลสจากเส้นใยเพิ่มขึ้น และเนื่องจากเส้นใยมีความหนาแน่นต่ำกว่าปูนซีเมนต์ เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย จึงทำให้ความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ลดลง เช่นเดียวกับค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอที่มีค่าลดลง เนื่องจากเส้นใยที่ใช้เป็นสารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรง (Non-reinforcing fillers) ประกอบกับปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงมีปริมาณลดลง นอกจากนี้เส้นใยที่ใช้เป็นเส้นใยสั้น มีการเกี่ยวพันของเส้นใยต่ำ จึงมีการถ่ายเทแรงที่ได้รับไม่ดี เป็นผลให้ค่ามอดุลัสโค้งงอของแผ่นไม้อัดซีเมนต์มีค่าลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น

- **ผลของสารเติมแต่ง**

- **สารเติมแต่งซิลิกาชนิดละออง**

มีผลต่อการกระจายตัวของเส้นใย โดยแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่มีการใส่สารเติมแต่งลงไปจะมีการกระจายตัวของเส้นใยไม่ดี เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ส่งผลต่อสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการกระจายตัวที่ไม่ดีของเส้นใยทำให้ปูนซีเมนต์ที่มีความแข็งแรงและเป็นวัฏภาคต่อเนื่องมีความต่อเนื่องมากขึ้น ทำให้สมบัติเชิงกลของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ดีขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่ใช้สารเติมแต่งแวกซ์ลงไป ทำให้ของผสมร่วนซุย ผสมเข้ากันได้ง่าย แต่ไม่เกิดการแข็งตัวของชิ้นงาน ไม่สามารถนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลได้

• ผลของปริมาณสารเติมแต่ง

เมื่อทำการใส่สารเติมแต่งลงไปในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่า ถ้าใส่สารเติมแต่ง 1%โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ จะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอลดต่ำลง เนื่องจากการกระจายตัวของเส้นใยดี ทำให้ส่วนที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่องที่มีความแข็งแรงมีความต่อเนื่องลดลง วัสดุจึงรับแรงได้น้อยลง แต่ถ้าใส่สารเติมแต่งในปริมาณ 3%โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ จะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอลดต่ำลงเช่นกัน เนื่องจากการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ของเส้นใย ทำให้เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน ดังนั้น ปริมาณสารเติมแต่งที่เหมาะสม ทำให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอดีที่สุด คือ 2%โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

- เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีการกระจายตัวของเส้นใยที่สม่ำเสมอ ควรใช้เทคนิคการผสมให้เป็นมาตรฐานเดียวกันทุกครั้ง โดยใช้อุปกรณ์ช่วยในการผสมที่มีประสิทธิภาพ
- แม่แบบโลหะที่ใช้อยู่ทำให้ชิ้นงานแกะออกได้ยาก และชิ้นงานบริเวณขอบได้รับความเสียหายในขั้นตอนการแกะชิ้นงาน จึงควรปรับปรุงแม่แบบโลหะใหม่
- แม่แบบโลหะที่ใช้อยู่จะเกิดการบิดเบี้ยว ทำให้ผิวหน้าชิ้นงานไม่เรียบ รูปทรงที่ได้ในแต่ละครั้งไม่แน่นอน จึงควรปรับปรุงแม่แบบโลหะ
- เนื่องจากเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกลเป็นเส้นใยสั้น ดูดน้ำมาก ทำให้ผสมเข้ากันยาก ไม่เสริมแรง จึงควรใช้ชิ้นไม้แทนเส้นใยหรือใช้เส้นใยแบบที่อัดเป็นแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] บริษัท วิบูลย์วัฒนอุตสาหกรรม. 2546. **แผ่นไม้อัดซีเมนต์อเนกประสงค์** (Wood Cement Board). [online]. Avaliable: http://www.viva.co.th

[2] Chen T.Y.and Hwang S.R. **Effect of Wood Species on the properties of Cement-Bonded Wood Particleboard.** Department of Forestry National Chung University Taichuang,Taiwan 40227 ROC, 554-564.

[3] บริษัท โอลิมปิก กระเบื้องไทย จำกัด. **แผ่นซีเมนต์ใยไม้เชอร่าเฟล็กซี่บอร์ด**.[online]. Avaliable: http://www.shera.co.th

[4] จุรีพร นันทรักษ์ ชูขวัญ ปันแจ่ม และปรัตถกร ทรัพย์ประภา. 2547. **การศึกษาเบื้องต้นแผ่นไม้อัดซีเมนต์ที่เตรียมจากเส้นใยยูคาลิปตัสชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล**. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[5] ชัชวาล เศรษฐบุตร. 2536. **คอนกรีตเทคโนโลยี**, หน้า 1-257.

[6] พิศุทธิ์ พิชัยสวัสดิ์ และสิทธิชัย กิมกิติกุลวิไล. 2546. **การศึกษาเบื้องต้นในการเตรียมคอนกรีตมวลเบา**. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[7] อรุณ ชัยเสรี. 1967. **คู่มือการตรวจสอบคอนกรีตของสมาคมคอนกรีตอเมริกัน**. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์: 14-26. อ้างจาก A. C. I. MANUAL OF CONCRETE INSPECTION, American Concrete Institute.

[8] สมภพ เลิศลักขณากุล. 2544. **ไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติจากพอลิไวนิลคลอไรด์(พีวีซี) และเส้นใยยูคาลิปตัส**.ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[9] Aggarwal L.K. 1995. **Bagasse-Reinforced Cement Composites.** In:Cement and Concrete Composites17, 107-112.

[10] Evans P.D. **An Introduction of Wood-Cement Composites.** Centre for Advanced Wood Processing University of British Columbia,7-10.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] Ma L.F., Yamauchi H., Pulido O.R.,Tamaru Y., Sasaki H., and Kawai S. **Manufacture of Cement-bonded Boards from Wood and other Lignocellulosic Materials: Relationshipsbetween Cement Hydration and Mechanical Properties of Cement-bonded Boards,** 13-23.

[12] Semple K.E., Cunningham R.S. and Evans P.D. **Compatibility of Eight Temperate Australian Eucalyptus Species with Portland Cement,** 40-45.

[13] Toledo Filho RD., Ghavami K., England GL. And Scivener K. 2003. **Development of** vegetable fibre-mortar composites of composites of improved durability. In Cement and Concrete Composites25, 185-196.

[14] Coatanlem P.,Jauberthie R. and Rendell F. Light wood chipping concrete durability. Construction and Building Materials: 2005.

[15] มาตนฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2532. **แผ่นชิ้นงานไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง (มอก.878-2532).**กรุงเทพฯ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ผลของการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-1 น้ำหนักและปริมาตรของแผ่นคอนกรีตตัวอย่าง

สูตรปูน	ปริมาณเส้นใย (%)	สารเติมแต่ง (%โดยน้ำหนักปูน)	น้ำหนัก (g)	ปริมาตร (cm^3)
1	10	-	16.3839	14.2000
			14.8042	13.8000
			17.5088	15.3000
			17.9273	14.0000
			14.6963	13.0000
		มี	16.6216	15.1000
			18.1937	14.4000
			17.8734	13.9000
			17.7440	8.4000
			16.1960	9.0000
	15	-	15.9997	15.0000
			12.1222	13.0000
			12.6681	11.7000
			13.7514	14.0000
			14.5229	14.0000
		มี	15.3911	17.0000
			13.7855	16.0000
			13.3958	15.7000
			13.3590	14.8000
			13.4259	14.1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-2 น้ำหนักก่อนอบแห้งและหลังอบแห้ง

สูตรปูน	ปริมาณเส้นใย (%)	สารเติมแต่ง (%โดยน้ำหนักปูน)	น้ำหนักก่อนอบแห้ง (g)	น้ำหนักหลังอบแห้ง (g)			ร้อยละความชื้น
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	10	-	16.7070	16.3850	16.3824	16.3842	1.9341
			15.1319	14.8012	14.8085	14.8030	2.1654
			17.9023	17.5110	17.5114	17.5040	2.1980
			14.6966	14.4087	14.3946	14.4313	1.9397
			14.0983	13.7899	13.7881	13.7869	2.1990
		2	15.7357	15.4167	15.4160	15.4240	2.0133
			16.9566	16.6215	16.6228	16.6206	1.9754
			19.6303	19.2332	19.2358	19.2356	2.0144
			18.5656	18.1901	18.1990	18.1920	2.0032
			18.2434	17.8700	17.8711	17.8792	2.0279
	15	-	14.0641	15.1304	15.0636	15.1299	2.3963
			14.0641	16.0190	15.9548	16.0253	2.4036
			10.7919	10.5554	10.5163	10.5954	2.2377
			14.0641	13.7490	13.7054	13.7999	2.2737
			14.8717	14.5416	14.4779	14.5493	2.4015
		2	15.7612	15.3918	15.3848	15.3968	2.4044
			14.1159	13.7845	13.7848	13.7873	2.3965
			13.7145	13.3946	13.3949	13.3980	2.3788
			13.6748	13.3590	13.3590	13.3590	2.3639
			13.7314	13.4267	13.4225	13.4284	2.2757

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-2 (ต่อ)

สูตรปูน	ปริมาณเส้นใย (%)	สารช่วยผสม (%โดยน้ำหนักปูน)	น้ำหนักก่อนอบแห้ง (g)	น้ำหนักหลังอบแห้ง (g)			ร้อยละความชื้น
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
3	10	-	17.9461	17.5838	17.5632	17.5923	2.0838
			18.1485	17.8042	17.7785	17.8135	1.9652
			19.5254	19.1091	19.0802	19.1095	2.2294
			19.5117	19.1303	19.1255	19.1684	1.9346
		1	14.5548	14.2592	14.2599	14.2587	2.0726
			13.8525	13.5702	13.5700	13.5698	2.0818
			17.3475	16.9877	16.9878	16.9890	2.1152
			15.6403	15.3093	15.3099	15.3090	2.1614
		2	18.9004	18.5405	18.5400	18.5420	1.9024
			19.6204	19.2051	19.2620	19.2150	2.0032
			17.7690	17.4418	17.4464	17.4459	1.8251
			21.1868	20.7666	20.7533	20.7459	2.0368
		3	14.4108	14.1199	14.2256	14.1638	2.0602
			12.8228	12.5632	12.5834	12.4898	2.0664
			18.8002	18.4234	18.3825	18.4956	2.0452
			16.5136	16.1812	16.2595	16.1128	2.0542
	15	-	13.2071	12.9063	12.9071	12.9056	2.3305
			14.2258	13.8996	13.8999	13.8986	2.3485
			14.5666	14.2352	14.2345	14.2366	2.3264
			12.4937	12.2047	12.2032	12.2089	2.3604
		2	12.6942	12.5321	12.5433	12.5873	1.1149
			13.7310	13.5150	13.5141	13.5523	1.5071
			15.0581	14.8686	14.8630	14.8998	1.2164
			17.0375	16.8327	16.8304	16.8654	1.1558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-3 ความหนาก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำ

สูตรปูน	ปริมาณเส้นใย(%)	สารเติมแต่ง (%โดยน้ำหนักปูน)	ความหนาก่อนแช่น้ำ (cm)					ความหนาหลังแช่น้ำ (cm)				
			1	2	3	4	เฉลี่ย	1	2	3	4	เฉลี่ย
1	10	-	9.50	10.10	10.20	9.60	9.85	9.70	10.25	10.25	9.75	9.99
			10.20	10.20	9.80	9.90	10.025	10.25	10.25	10.10	10.05	10.16
			10.10	10.20	10.20	10.10	10.15	10.25	10.25	10.30	10.25	10.26
			10.10	10.10	10.30	10.00	10.125	10.25	10.20	10.35	10.15	10.24
			10.00	10.30	10.20	10.00	10.125	10.12	10.34	10.25	10.20	10.23
			10.00	9.50	9.50	9.90	9.725	10.00	9.60	9.60	10.10	9.83
		2	10.10	10.00	10.00	10.10	10.05	10.15	10.10	10.15	10.20	10.15
			9.80	10.20	10.10	9.90	10.00	10.00	10.20	10.15	10.10	10.11
			9.90	10.00	10.10	9.90	9.975	10.00	10.10	10.15	10.10	10.09
			10.10	10.20	10.10	10.00	10.10	10.15	10.25	10.20	10.20	10.20
			10.00	10.10	10.10	10.20	10.10	10.10	10.10	10.30	10.30	10.20
			10.20	10.25	10.20	10.10	10.187	10.30	10.30	10.30	10.250	10.29

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ขอสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น การนำไปใช้ในรูปแบบอื่นๆ ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ เท่านั้น

ตาราง ก-3 (ต่อ)

สูตรปูน	ปริมาณเส้นใย (%)	สารเติมแต่ง (%โดยน้ำหนักปูน)	ความหนาแน่นก่อนแช่น้ำ (cm)					ความหนาหลังแช่น้ำ (cm)				
			1	2	3	4	เฉลี่ย	1	2	3	4	เฉลี่ย
1	15	-	10.00	10.00	9.80	9.80	9.90	10.30	10.20	9.90	10.00	10.10
			9.80	10.10	10.10	9.80	9.95	10.15	10.30	10.25	9.90	10.15
			9.80	9.90	10.20	10.10	10.00	10.00	10.10	10.40	10.30	10.20
			10.14	10.20	9.80	9.90	10.01	10.25	10.40	10.10	10.10	10.21
			10.20	10.20	10.10	9.90	10.10	10.40	10.45	10.30	10.10	10.31
			10.10	10.10	10.40	10.15	10.18	10.30	10.30	10.60	10.30	10.38
		2	10.50	10.30	10.00	10.30	10.27	10.65	10.55	10.25	10.50	10.49
			10.20	10.30	10.10	9.80	10.10	10.35	10.40	10.30	10.20	10.31
			10.10	10.00	10.20	10.10	10.10	10.25	10.20	10.25	10.30	10.25
			9.90	10.10	9.98	10.10	10.02	10.26	10.30	10.10	10.27	10.23
			10.00	10.10	10.30	10.20	10.15	10.27	10.27	10.50	10.35	10.35
			9.97	9.80	10.00	10.00	9.94	10.20	10.00	10.25	10.20	10.16

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ก-3 (ต่อ)

สูตรปูน	ปริมาณเส้นใย (%)	สารเติมแต่ง (%โดยน้ำหนักปูน)	ความหนาแน่นก่อนแช่น้ำ (cm)					ความหนาหลังแช่น้ำ (cm)				
			1	2	3	4	เฉลี่ย	1	2	3	4	เฉลี่ย
3	10	-	10.10	10.20	10.20	10.10	10.15	10.20	10.35	10.30	10.20	10.26
			10.10	10.10	10.30	10.00	10.13	10.20	10.20	10.40	10.14	10.24
			10.00	10.30	10.20	10.00	10.13	10.10	10.40	10.34	10.10	10.24
			10.00	9.50	9.50	9.90	9..73	10.10	9.60	9.67	10.00	9.84
			10.20	10.40	10.50	10.60	10.43	10.30	10.50	10.65	10.75	10.55
			10.10	10.00	10.20	10.10	10.10	10.24	10.12	10.28	10.29	10.23
		2	10.10	10.20	10.20	10.10	10.15	10.20	10.35	10.30	10.20	10.26
			10.10	10.10	10.30	10.00	10.13	10.20	10.20	10.40	10.14	10.24
			10.00	10.30	10.20	10.00	10.13	10.10	10.40	10.34	10.10	10.24
			10.00	9.50	9.50	9.90	9.73	10.10	9.60	9.67	10.00	9.84
			10.20	10.40	10.50	10.60	10.43	10.30	10.50	10.65	10.75	10.55

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ขอสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น การอ้างอิงหรือเผยแพร่เนื้อหาส่วนใดส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ในรูปแบบอื่นๆ ก่อนได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ถือว่าเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์

ตาราง ก-3 (ต่อ)

สูตรปูน	ปริมาณเส้นใย (%)	สารเติมแต่ง (%โดยน้ำหนักปูน)	ความหนาแน่นก่อนแช่น้ำ (cm)					ความหนาหลังแช่น้ำ (cm)				
			1	2	3	4	เฉลี่ย	1	2	3	4	เฉลี่ย
3	15	-	10.00	9.90	9.90	10.10	9.98	10.20	10.10	10.20	10.20	10.18
			10.20	10.40	10.50	10.60	10.43	10.35	10.65	10.75	10.75	10.63
			10.10	10.00	10.20	10.10	10.10	10.25	10.25	10.46	10.46	10.30
			9.90	10.10	9.98	10.10	10.02	10.25	10.43	10.10	10.10	10.22
			10.00	10.10	10.30	10.20	10.15	10.24	10.35	10.55	10.55	10.35
			9.97	9.80	10.00	10.10	9.94	10.09	10.19	10.17	10.17	10.15
		2	10.10	10.20	10.20	10.10	10.15	10.30	10.45	10.30	10.38	10.36
			10.10	10.10	10.30	10.00	10.13	10.23	10.27	10.45	10.28	10.31
			10.00	10.30	10.20	10.00	10.13	10.28	10.40	10.39	10.20	10.32
			10.10	10.00	10.20	10.10	10.10	10.28	10.26	10.34	10.30	10.28
			10.10	10.00	10.00	10.10	10.05	10.28	10.20	10.10	10.37	10.24

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ขอสงวนลิขสิทธิ์ในเอกสารนี้ทั้งหมด ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือเผยแพร่ในรูปแบบใดๆ ก่อนได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เท่านั้น
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข
ผลของการทดสอบสมบัติเชิงกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-1 แสดงค่าการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ของแผ่นไม้อัดซีเมนต์แบบใช้เส้นใยที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมซิลิเกต

สูตรปูน	ปริมาณเส้นใย (%)	สารเติมแต่ง (%โดยน้ำหนักปูน)	Sample	Fm (N)	Def.@Max Load (mm)	w1 0.1 (N)	w2 0.15 (N)	w2 - w1	Sample Width (mm)	Sample Thick (mm)
1	10	-	1	233.5	0.532	25.91	46.21	20.30	18.87	11.23
			2	154.3	0.278	30.31	36.97	6.66	18.40	9.50
			3	157.59	0.2304	30.54	44.47	13.93	17.57	10.87
			4	157.9	0.4124	35.57	51.48	15.91	20.23	10.10
			5	166.94	0.331	31.14	42.37	11.226	18.73	10.40
			mean	174.04	0.3568	30.69	44.30	13.6052	18.7593	10.42
		มี	1	180.80	0.2779	23.83	33.92	10.09	17.83	10.26
			2	189.82	0.3228	23.06	34.89	11.83	17.00	10.50
			3	176.90	0.207	15.97	28.13	12.16	20.20	9.43
			4	163.50	0.2633	8.18	21.95	13.77	17.70	9.73
			5	189.87	0.1681	15.97	31.51	15.54	20.37	9.77
			mean	180.17	0.2478	17.40	30.08	12.678	18.62	9.94
	15	-	1	11.130	0.1578	8.65	9.926	1.276	21.70	10.32
			2	9.553	0.1918	4.923	6.206	1.283	18.23	10.71
			3	8.965	0.1494	4.874	5.663	0.789	17.00	10.50
			4	8.829	0.1887	5.716	7.16	1.444	21.50	10.15
			5	8.21	0.3739	4.42	6.661	2.241	20.43	9.47
			mean	9.337	0.2123	5.716	7.123	1.4066	19.772	10.23
		มี	1	11.994	0.1365	4.197	5.036	0.839	19.30	9.23
			2	15.274	0.3279	5.688	7.118	1.43	18.97	10.60
			3	14.01	0.0492	3.353	3.356	0.003	17.90	10.03
			4	14.479	0.069	3.271	3.572	0.301	19.23	10.23
			5	13.31	0.2765	5.797	6.400	0.603	17.50	9.63
			mean	13.813	0.17182	4.461	5.096	0.6352	18.579	9.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-1 (ต่อ)

สูตรปูน	ปริมาณเส้นใย (%)	สารเติมแต่ง (%โดยน้ำหนักปูน)	Sample	Fm (N)	Def.@Max Load (mm)	w1 0.1 (N)	w 2 0.15 (N)	w2 - w1	Sample Width (mm)	Sample Thick (mm)
3	10	-	1	255.80	0.2977	31.88	49.30	17.42	19.30	10.53
			2	245.70	0.2716	30.12	52.04	21.92	19.93	10.00
			3	233.60	0.2383	31.73	61.00	29.27	19.66	9.49
			4	243.40	0.1879	39.78	71.07	31.29	19.16	10.00
			5	256.91	0.1456	41.68	60.47	18.79	19.46	10.36
			mean	247.08	0.22822	35.03	58.77	23.73	19.50	10.07
		มี	1	250.20	0.3698	41.93	62.54	20.61	17.30	9.80
			2	255.10	0.3091	33.35	51.07	17.72	20.17	9.33
			3	275.10	0.3909	31.77	54.88	23.11	19.20	9.76
			4	291.70	0.5804	29.11	43.04	13.93	20.05	9.83
			5	310.70	0.2634	53.31	57.89	4.58	18.10	10.76
			mean	276.56	0.3827	37.89	53.88	15.99	18.96	9.89
	15	-	1	21.42	0.315	1.455	6.337	4.882	17.87	10.20
			2	22.97	0.2955	2.467	8.418	5.951	17.43	10.80
			3	21.40	0.1716	1.01	3.955	2.945	18.00	10.23
			4	21.42	0.197	5.777	9.26	3.483	19.40	10.07
			5	22.86	0.221	1.455	5.030	3.575	17.86	10.10
			mean	22.01	0.2400	2.432	6.60	4.167	18.11	10.28
		มี	1	30.36	0.4249	11.02	16.95	5.934	17.10	9.43
			2	34.97	0.2836	11.91	16.89	4.98	18.22	9.55
			3	33.16	0.2676	10.10	15.53	5.43	19.45	9.61
			mean	32.83	0.3254	11.01	16.45	5.448	18.25	9.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ค่ามาตรฐานแผ่นไม้อัดซีเมนต์เกรดการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-1 สมบัติของแผ่นไม้อัดซีเมนต์เกรดการค้า (Viva board)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้