สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาอิทธิพลของดินเหนียวต่อการพัฒนาใช้ดอกหญ้าสลาบหลวง ในยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน

ปพ.
ร199ก
2537

นาย ฐานปนพงษ์ บุญเพ็ชร
นางสาว หนึ่งฤทัย ศิริวารีเวส

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

b12532496

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2538/37

EFFECT OF CLAY ON THE DEVELOPMENT OF USING *Typha angustifolia* FOR UREA - FORMALDEHYDE RESIN

Mr. Thanpanapong Boonpetch

Miss Noungrutai Sirivareeves

A Special Project Submitted in Partial Fufillment of the

Requirment for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1995

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาอิทธิพลของดินเหนียวต่อการพัฒนาใช้ดอกหญ้าสลาบหลวงในยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน

นักศึกษา นาย ฐานปนพงษ์ บุญเพ็ชร
นางสาว หนึ่งฤทัย ศิริวารีเวส
ภาควิชา เคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ประเสริฐ คุณค้ำชู
ผศ.ดร.ศักดา ไตรศักดิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

(ผศ.ดร.เผชิญชัย ไชยสิทธิ์) หัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการตรวจ-สอบโครงงานพิเศษ

(ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัศวรัตน์) ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร.สุนิตย์ สุขสำราญ) กรรมการ

(อ.ปัทมา ลีฬหวงศ์) กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาอิทธิพลของดินเหนียวต่อการพัฒนาใช้ดอกหญ้าสลาบหลวงในยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน
นักศึกษา	นาย ฐานปนพงษ์ บุญเพ็ชร
	นางสาว หนึ่งฤทัย ศิริวารีเวส
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ประเสริฐ คุณค้ำชู
	ผศ.ดร.ศักดา ไตรศักดิ์
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2537

บทคัดย่อ

การพัฒนาใช้เส้นใยดอกหญ้าสลาบหลวงเป็นสารตัวเติมในยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินซึ่งทำหน้าที่เป็นสารยึดติด ได้มีการดำเนินงานมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อสามารถนำมาประยุกต์ใช้แทนไม้อัด อย่างไรก็ดีการผสมและการกระจายตัวของหญ้าในเรซินยังต้องมีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มสมบัติต่าง ๆ ให้ดียิ่งขึ้น ในการทดลองเป็นการศึกษาอิทธิพลของดินเหนียวที่จะช่วยปรับแต่งทั้งความสามารถในการผสมของหญ้าและเรซิน และสมบัติทางกายภาพของแผ่นไม้อัด ทั้งนี้อัตราส่วนระหว่างยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ที่เลือกใช้เป็น 1:2 โดยปรับเปลี่ยนสัดส่วนของดินเหนียวและหญ้า เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า ดินเหนียวช่วยเพิ่มสมบัติทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัด คือ ความแข็งเพิ่มขึ้น 13.38% ค่ามอดูลัสแตกร้าวเพิ่มขึ้น 57.51% ความชื้นลดลง 6.71% การดูดซึมน้ำลดลง 3.15% และการขยายตัวตามความหนาลดลง 21.44% ในขณะที่ดินเหนียวจะช่วยเพิ่มสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ข้างต้นของแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสำเร็จรูปดังนี้ 21.73% 18.48% 14.42% 1.87% และ 12.61% ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อสัดส่วนของดินเหนียวเป็น 15% จะได้แผ่นใยไม้อัดที่มีสมบัติทางกายภาพโดยรวมดีที่สุด ส่วนแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสำเร็จรูปชนิดผงมีสมบัติทางกายภาพต่ำกว่าแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสังเคราะห์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมา

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นใยไม้อัดที่มีดินเหนียวกับแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีดินเหนียวเป็นส่วนผสม พบว่าแผ่นใยไม้อัดที่มีดินเหนียวเป็นส่วนผสมมีความเรียบ และมีการจัดเรียงตัวของเส้นใยดีกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีดินเหนียว ลักษณะทั่วไปของแผ่นใยไม้อัดที่มีดินเหนียวจะมีสีขาวนวลเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้น ความมันเงาเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเรซินเพิ่มขึ้น

Special Project Title	Effect of clay on the development of using *Typha angustifolia* for urea-formaldehyde resin
Name	Mr. Thanpanapong Boonpetch
	Miss Noungrutai Sirivareeves
Special Project Adviser	Dr.Prasert Khunkamchoo
	Asst.Prof.Dr.Sakda Trisak
Department	Chemistry
Academic Year	1994

Abstract

Development and utilization of *Typha angustifolia* as additive in urea-formaldehyde resin have been previously studied for application in fiberboard processing. It has been indicated that the used of urea to formaldehyde in synthetic resin at the ratio of 1:2 is optimum and selected to compare with commercial resin to improve the physical properties of fiberboard. The current research project is to develop the mixing and dispersion by using clay as an additive at various compositions, i.e. 0 5 10 15 and 20% by weight with variation of resin and fiber. It has been found that both synthetic and commercial resins which include clay enhance better physical properties and appearance. That is, it increases hardness and modulus of rupture by 13.38% and 57.51% respectively but decreases moisture content, water absorption and thickness expansion by 6.71% 3.15% and 21.44% respectively. Similarly, the physical properties of commercial resin was found to be increased in the same proportion but slightly lower than the synthetic resin. It is obviously indicated from this study that with 15% of clay is an optimum composition to fabricate the fibreboard.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงงานพิเศษ เรื่องการศึกษาอิทธิพลของดินเหนียวต่อการพัฒนาใช้ดอกหญ้าสลาบหลวงในยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้เสนอได้รับคำแนะนำและความกรุณาจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้เสนอขอกราบขอบพระคุณทุกท่าน ดังมีรายนามดังนี้

ดร.ประเสริฐ คุณค้ำชู	อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ
ผศ.ดร.ศักดา ไตรศักดิ์	อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ
ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัศวรัตน์	กรุณาเป็นคณะกรรมการโครงงานพิเศษ
ผศ.ดร.สุนิตย์ สุขสำราญ	กรุณาเป็นคณะกรรมการโครงงานพิเศษ
อาจารย์ ปัทมา ลีพหวงศ์	กรุณาเป็นคณะกรรมการโครงงานพิเศษ
คุณ วรธรรม อุ่นจิตติชัย (นักวิชาการป่าไม้)	เอื้อเฟื้อเครื่องมือทดสอบหาค่ามอดุลัส
คุณ ชำนาญ ตันกูล	เอื้อเฟื้อดินขาว (แหล่งโดกไม้ลาย)
คุณ สมศักดิ์ จำปาทิว	กรุณาช่วยเก็บดอกหญ้าสลาบหลวง

อนึ่งนอกจากบุคคลต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือจนโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทางผู้เสนอขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ. โอกาสนี้

นาย ฐานปนพงษ์ บุญเพ็ชร
นางสาว หนึ่งฤทัย ศิริวารีเวส

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาไทย_____ ก
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาอังกฤษ_____ ข
กิตติกรรมประกาศ_____ ค
สารบัญตาราง _____ ง
สารบัญรูป _____ จ
สัญลักษณ์_____ ฉ
บทที่ 1 บทนำ
บทที่ 2 ทฤษฎี
2.1 หญ้าสลาบหลวง _____ 2
2.2 แผ่นใยไม้อัด_____ 3
2.3 แผ่นชิ้นไม้อัด _____ 5
2.4 คุณสมบัติของยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน_____ 8
2.5 การเตรียมยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินในระดับอุตสาหกรรม_____ 8
2.6 เทคนิคการสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน_____11
2.7 ดินเหนียว _____13
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย
3.1 สารเคมีและวัสดุเคมีที่ใช้ _____16
3.2 เครื่องมือที่ใช้._____17
3.3 ขั้นตอนการทดลอง _____18
3.3.1 การเตรียมหญ้าสลาบหลวง_____18
3.3.2 การเตรียมยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน._____19
3.3.3 การเตรียมยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินสำเร็จรูปชนิดผง _____20
3.3.4 การเกิดกระบวนการโพลิเมอไรเซชันของยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน____20
3.3.5 การทดสอบทางกายภาพของชิ้นตัวอย่าง._____23
3.3.5.1 การหาค่าความหนาแน่น _____23
3.3.5.2 การหาค่ามอดุลัสแตกร้าว._____25
3.3.5.3 การหาค่าความแข็ง_____26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.5.4 การหาค่าความชื้น_____27
3.3.5.5 การหาค่าการดูดซึมน้ำและการขยายตัวตามความหนา_____28
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์
4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน
4.1.1 ความหนาแน่น_____29
4.1.2 ค่ามอดุลัส_____31
4.1.3 ความแข็ง_____ 33
4.1.4 ความชื้น_____35
4.1.5 การขยายตัวตามความหนา_____ 37
4.1.6 การดูดซึมน้ำ_____39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุป_____42
5.2 ข้อเสนอแนะ_____ 43
ภาคผนวก._____44
เอกสารอ้างอิง_____93

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงผลทดสอบหาค่าความหนาแน่น
ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)_____47
ตารางที่ 2 แสดงผลทดสอบหาค่าความหนาแน่น
ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)_____48
ตารางที่ 3 แสดงผลทดสอบหาค่าความหนาแน่น
ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)_____49
ตารางที่ 4 แสดงผลทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว
เรซินสังเคราะห์ สูตร 60% (โดยน้ำหนัก) _____50
ตารางที่ 5 แสดงผลทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว
เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)_____51
ตารางที่ 6 แสดงผลทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว
เรซินสังเคราะห์ สูตร 70% (โดยน้ำหนัก) _____52
ตารางที่ 7 แสดงผลทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว
เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)_____53
ตารางที่ 8 แสดงผลทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว
เรซินสังเคราะห์ สูตร 80% (โดยน้ำหนัก) _____54
ตารางที่ 9 แสดงผลทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว
เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)_____55
ตารางที่ 10 แสดงผลทดสอบหาค่าความแข็ง
เรซินสังเคราะห์ สูตร 60% (โดยน้ำหนัก) _____56
ตารางที่ 11 แสดงผลทดสอบหาค่าความแข็ง
เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)_____57
ตารางที่ 12 แสดงผลทดสอบหาค่าความแข็ง
เรซินสังเคราะห์ สูตร 70% (โดยน้ำหนัก) _____58
ตารางที่ 13 แสดงผลทดสอบหาค่าความแข็ง
เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)_____59

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 14 แสดงผลทดสอบหาค่าความแข็ง
เรซินสังเคราะห์ สูตร 80% (โดยน้ำหนัก) _____60
ตารางที่ 15 แสดงผลทดสอบหาค่าความแข็ง
เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)_____61
ตารางที่ 16 แสดงผลทดสอบหาค่าความชื้น
เรซินสังเคราะห์ สูตร 60% (โดยน้ำหนัก) _____62
ตารางที่ 17 แสดงผลทดสอบหาค่าความชื้น
เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)_____63
ตารางที่ 18 แสดงผลทดสอบหาค่าความชื้น
เรซินสังเคราะห์ สูตร 70% (โดยน้ำหนัก) _____64
ตารางที่ 19 แสดงผลทดสอบหาค่าความชื้น
เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)_____65
ตารางที่ 20 แสดงผลทดสอบหาค่าความชื้น
เรซินสังเคราะห์ สูตร 80% (โดยน้ำหนัก) _____66
ตารางที่ 21 แสดงผลทดสอบหาค่าความชื้น
เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)_____67
ตารางที่ 22 แสดงผลทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา
เรซินสังเคราะห์ สูตร 60% (โดยน้ำหนัก) _____68
ตารางที่ 23 แสดงผลทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา
เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)_____69
ตารางที่ 24 แสดงผลทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา
เรซินสังเคราะห์ สูตร 70% (โดยน้ำหนัก) _____70
ตารางที่ 25 แสดงผลทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา
เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)_____71
ตารางที่ 26 แสดงผลทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา
เรซินสังเคราะห์ สูตร 80% (โดยน้ำหนัก) _____72

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 27 แสดงผลทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา
เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)_____73
ตารางที่ 28 แสดงผลทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ
เรซินสังเคราะห์ สูตร 60% (โดยน้ำหนัก) _____74
ตารางที่ 29 แสดงผลทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ
เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)_____75
ตารางที่ 30 แสดงผลทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ
เรซินสังเคราะห์ สูตร 70% (โดยน้ำหนัก) _____76
ตารางที่ 31 แสดงผลทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ
เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)_____77
ตารางที่ 32 แสดงผลทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ
เรซินสังเคราะห์ สูตร 80% (โดยน้ำหนัก) _____78
ตารางที่ 33 แสดงผลทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ
เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)_____79
ตารางที่ 34 แสดงการสรุปผลการทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์
เรซินสังเคราะห์ สูตร 60% (โดยน้ำหนัก) _____80
ตารางที่ 35 แสดงการสรุปผลการทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์
เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)_____81
ตารางที่ 36 แสดงการสรุปผลการทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์
เรซินสังเคราะห์ สูตร 70% (โดยน้ำหนัก) _____82
ตารางที่ 37 แสดงการสรุปผลการทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์
เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)_____83
ตารางที่ 38 แสดงการสรุปผลการทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์
เรซินสังเคราะห์ สูตร 80% (โดยน้ำหนัก) _____84
ตารางที่ 39 แสดงการสรุปผลการทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์
เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)_____85

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 40 แสดงค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นใยไม้อัด_____86

ตารางที่ 41 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ของเรซินสังเคราะห์และเรซินสำเร็จรูปกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ _____86

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1 ลักษณะของดอกหญ้าสลาบหลวง_____ 18
รูปที่ 3.2 การเตรียมยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน_____19
รูปที่ 3.3 เครื่องอัดความร้อน_____ 20
รูปที่ 3.4 แม่แบบที่ใช้เตรียมชิ้นทดสอบขนาด 120*50*10 มิลลิเมตร_____22
รูปที่ 3.5 ชิ้นทดสอบที่ได้จากแม่แบบขนาด 120*50*10 มิลลิเมตร_____22
รูปที่ 3.6 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว ความหนา ของชิ้นทดสอบ_____23
รูปที่ 3.7 การทดสอบมอดูลัสแตกร้าว_____25
รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบหามอดูลัสแตกร้าว_____ 25
รูปที่ 3.9 เครื่องวัดความแข็ง_____26
รูปที่ 3.10 การทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำและการขยายตัวตามความหนา_____ 27
รูปที่ 4.1 แสดงค่าความหนาแน่นของแผ่นใยไม้อัดที่มีอัตราส่วนต่างๆ กัน_____ 30
รูปที่ 4.2 แสดงค่ามอดูลัสแตกร้าวของแผ่นใยไม้อัดที่มีอัตราส่วนต่างๆ กัน _____32
รูปที่ 4.3 แสดงค่าความแข็งของแผ่นใยไม้อัดที่มีอัตราส่วนต่างๆ กัน_____34
รูปที่ 4.4 แสดงค่าความชื้นของแผ่นใยไม้อัดที่มีอัตราส่วนต่างๆ กัน_____ 36
รูปที่ 4.5 แสดงค่าการขยายตัวตามความกว้างแผ่นใยไม้อัดที่มีอัตราส่วนต่างๆ กัน_____ 38
รูปที่ 4.6 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นใยไม้อัดที่มีอัตราส่วนต่างๆ กัน_____ 40

สัญลักษณ์

mm	หมายถึง	มิลลิเมตร
g	หมายถึง	กรัม
g/cc.	หมายถึง	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
kg/m^3	หมายถึง	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
lb/cu.ft.	หมายถึง	ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต
ml	หมายถึง	มิลลิลิตร
MPa	หมายถึง	เมกะพาสคัล
N	หมายถึง	นิวตัน
rpm	หมายถึง	รอบต่อนาที
SD	หมายถึง	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
cps	หมายถึง	เซนติพอยส์ เท่ากับ g/cm.s

บทที่ 1
บทนำ

อุตสาหกรรมไม้อัดเป็นอุตสาหกรรมที่ทำให้เกิดความสูญเสียเนื้อไม้มากประเภทหนึ่ง อันเนื่องมาจากกระบวนการคัดเลือกไม้และกระบวนการผลิต(2) ซึ่งทำให้เกิดความสูญเสียไม้ที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ถึง60% ปัจจุบันความต้องการไม้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆเพิ่มมากขึ้น แต่พื้นที่ป่าไม้ในประเทศไทยกลับลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาหาวัสดุอื่นๆเพื่อใช้ทดแทนไม้อัด แผ่นใยไม้อัด(fiber board) เป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ทดแทนไม้อัดกันอย่างกว้างขวาง และมีกำลังการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมสูง วัตถุดิบที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัด ได้แก่ ฟางข้าว ปอ ชานอ้อย ไม้ยูคาลิปตัส และปลายไม้ชนิดต่างๆ เป็นต้น หญ้าสลาบหลวงเป็นวัชพืชน้ำชนิดหนึ่งที่มีอัตราการเจริญเติบโตรวดเร็วมากจนก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำใช้ ในประเทศไทยนำวัชพืชนี้มาใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย (8) โดยนำไปสกัดสารบางอย่างเพื่อใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการผลิตสี บำบัดน้ำเสีย ดูดซับโลหะหนัก เป็นต้น และจากลักษณะทางกายภาพของดอกหญ้าสลาบหลวงที่มีลักษณะเส้นใยค่อนข้างเหนียว จึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาทำแผ่นใยไม้อัด

งานวิจัยก่อนหน้านี้ (6) ได้นำเส้นใยดอกหญ้าสลาบหลวงมาเป็นวัตถุดิบในการพัฒนาวัสดุประเภทแผ่นใยไม้อัด โดยใช้โพลิเมอร์สังเคราะห์ คือยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินทำหน้าที่แทนลิกนิน เนื่องจากยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินมีสมบัติไม่ละลายน้ำ โครงสร้างเป็นร่างแห จึงมีความแข็งแรงและสามารถยึดติดกับเซลลูโลสได้ดี ดังนั้นเมื่อนำแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมได้มาศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้ทดแทนไม้ทั้งด้านสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และความสวยงาม พบว่าอัตราส่วนของยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหมาะสมคือ 1:2 แต่สมบัติทางกายภาพ เช่น มอดูลัสแตกร้าวมีค่าต่ำ เนื่องจากความเบาของเส้นใยดอกหญ้าสลาบหลวง จึงลอยตัวอยู่เหนือ prepolymer solution ทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอ ในการกระจายตัวของดอกหญ้าสลาบหลวงในเรซิน ดังนั้นเพื่อปรับปรุงการไหลตัวของดอกหญ้าสลาบหลวงในเรซิน ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวโดยใช้ดินเหนียว (clays) อาศัยหลักการที่ว่าดินเหนียวเมื่อดูดซับน้ำบางส่วนจะทำให้เกิดความอ่อนนุ่มและไหลตัวดีขึ้น ซึ่งจะช่วยผสมเรซินกับหญ้าสลาบหลวงให้กระจายตัวดียิ่งขึ้น ในขณะเดียวกันดินเหนียวยังช่วยเพิ่มสมบัติบางอย่างให้กับผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เช่น ความแข็งแรง และความทนทานต่อการเสียรูปร่างของวัสดุ ทั้งนี้ขึ้นกับอัตราส่วนและปริมาณของดินเหนียวที่ใช้เป็นส่วนผสมด้วย และเพื่อพัฒนาเข้าสู่อุตสาหกรรมการผลิตแผ่นใยไม้อัด จึงได้มีการเปรียบเทียบแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินอัตราส่วน 1:2 และยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินสำเร็จรูปชนิดผง ในสมบัติด้านต่างๆ คือ ความหนาแน่น มอดูลัสแตกร้าว ความแข็ง ความชื้น การดูดซึมน้ำและการขยายตัวตามความหนา

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 หญ้าสลาบหลวง (8)

ชื่อพฤกศาสตร์ *Typha angustifolia Linnaeus*

ชื่อวงศ์ TYPHACEAE

ชื่อสามัญ Lesser reedmace, Narrow leaved cattail

ชื่อทั่วไป กกช้าง , หญ้าดอกธูป , ธูปฤาษี

หญ้าสลาบหลวงเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (monocotyledons) จัดเป็นวัชพืชชนิดหนึ่งมีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อน (tropical regions) ที่มีฝนตกชุก เช่น ประเทศไทย ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย จีนและอินเดีย เป็นพืชลำต้นอ่อนที่เจริญเติบโต และขยายพันธุ์ได้ดีในพื้นที่ที่มีน้ำขังตลอดเวลา (marsh herbs) ลำต้นเป็นเหง้าอยู่ติดพื้นดิน มีกาบใบห่อหุ้มไว้ ใบชูขึ้นเหนือพื้นดินประมาณ 1.5 ถึง 2.5 เมตร ใบจะตีเกลียวเล็กน้อยประมาณ 2-3 รอบ ปลายใบเรียวแหลมช่วงกว้างที่สุดประมาณ 10-12 มิลลิเมตร ขอบใบคมมาก แต่กลางใบนูนเล็กน้อย ภายในจะมีเส้นใยกั้นเป็นช่องๆ คล้ายก้านกล้วย มีก้านดอกชูขึ้นจากกลางลำต้นสูงประมาณ 75-125 เซนติเมตร ดอกเกสรตัวผู้จะอยู่ด้านบนของเกสรตัวเมียห่างกันประมาณ 2 เซนติเมตร เมื่อผสมพันธุ์แล้วดอกเกสรตัวผู้จะโรยไป ส่วนดอกเกสรตัวเมียจะกลายเป็นผล

พืชในวงศ์เดียวกันกับหญ้าสลาบหลวง (*Typha Linn.* /TYPHACEAE) มีอีกประมาณ 10 ชนิดได้แก่ *T.latifolia T.shutterworthii* พบในยุโรปและอเมริกา สำหรับในประเทศไทยพบแต่ *T.angustifolia* ซึ่งในสมัยแรกเรียกว่า *T.elethantina* เนื่องจากมีขนาดสูงใหญ่ที่สุดในบรรดาพืชวงศ์เดียวกัน นอกจากในประเทศไทยแล้วหญ้าสลาบหลวง (*T. angustifolia*) จะพบมากในประเทศจีน ฟิลิปปินส์ และอินเดีย

เนื่องจากหญ้าสลาบหลวงเป็นวัชพืชชนิดหนึ่ง ซึ่งชอบขึ้นตามทุ่งร้างที่มีน้ำขัง ไม่มีประโยชน์ทางการเกษตร จึงได้มีการวิจัยศึกษานำหญ้าสลาบหลวงและพืชวงศ์เดียวกันไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น

ปี 1983 : การศึกษาการกลั่นสลายเยื่อไม้ของหญ้าสลาบหลวงเป็นแอลกอฮอล์ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับ gasoho โดยใช้ *T.latifolia*

: สังเคราะห์ซิลิกาโดยการเผา โดยใช้ *T.angustifolia*

ปี 1984 : การนำมาเป็นพืชปรับปรุงสภาพผิวดิน โดยใช้ *T.latifolia*

ปี 1986 : ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียของ sewage sludge โดยใช้ *T.latifolia*

ปี 1987 : ใช้ในบ่อบำบัดน้ำเสียโดยอากาศ โดยใช้ *T.angustifolia*

: ใช้ทำแผ่นป้าย (Particle Board) โดยมียูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารยึดติดโดยใช้ *T.latifolia*

ปี 1988 : ใช้เป็นตัวดูดซับโลหะหนัก เช่น เหล็ก แมงกานีส ในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ *T.latifolia*

: ใช้เป็นตัวทำให้น้ำที่ผ่านจากการบำบัดแล้ว มีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยผ่านน้ำไปตามลำธารที่ปลูกหญ้าสลาบหลวงไว้ โดยใช้ *T.latifolia*

ปี 1989 : ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย ที่มีการปนเปื้อนของกรด ปิโตรเลียม และ โลหะตะกั่ว สังกะสี โดยใช้ *T.latifolia*

: พบสารที่เป็นแอนติฮีโมราจิก (antihemorhagic) โดยใช้ *T.latifolia*

ปี 1990 : ใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้งจากเหมืองถ่านหิน โดยใช้ *T.latifolia*

ข้อมูลข้างต้นเป็นการศึกษาจากต่างประเทศทั้งสิ้น โดยส่วนใหญ่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย ส่วนในประเทศไทยมีการนำใบหญ้าสลาบหลวงมาตากแห้งแล้วทอเป็นเสื่อ แต่ปรากฏว่าเปราะและขาดง่าย ไม่เหนียวเหมือนกกจึงไม่เป็นที่นิยม

จะเห็นได้ว่าหญ้าสลาบหลวง เป็นวัชพืชที่มีประโยชน์น้อยมาก ถูกปล่อยให้ขึ้นรกร้างในทุกภูมิประเทศ จึงเกิดความคิดที่จะหาประโยชน์ด้านอื่น โดยการนำมาทำเป็นแผ่นใยไม้อัด (fiber board) โดยใช้ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารยึดติด ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น การนำไปใช้แทนไม้ปาร์เก้ หรือกระดาษอัด เป็นต้น

2.2 แผ่นใยไม้อัด (3), (15)

แผ่นใยไม้อัด (Fiber Board) คือ แผ่นวัสดุที่ทำจากเส้นใยหรือเยื่อของไม้ หรือทำจากวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของลิกนินและเซลลูโลสอื่นๆ โดยมีแรงยึดเหนี่ยวตัวภายใน ส่วนใหญ่ได้มาจากการเรียงตัวของเส้นใยและคุณสมบัติในการยึดเหนี่ยวตัวเข้าด้วยกัน ในระหว่างเส้นใยเอง อย่างไรก็ตามในระหว่างการผลิตอาจมีการผสมตัวประสานหรือวัสดุอื่นๆ ลงไปด้วยเพื่อให้แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตขึ้นมีความแข็งแรง ความต้านทานต่อความชื้น ต้านทานไฟ แมลงหรือการผุเพิ่มขึ้น หรือเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติอื่นๆ บางประการของแผ่นใยไม้อัดให้ดีขึ้นด้วยก็ได้

แผ่นใยไม้อัด หรือบางทีเรียกกันว่า "แผ่นกระดาษอัด" มีชื่อเรียกแตกต่างกันอยู่มากเช่น เรียกตามลักษณะการใช้ประโยชน์คือ Fiber building board, Wallboard, Insulation board, Insulating board หรือเรียกตามลักษณะของแผ่นใยไม้อัด คือ Soft board, Semi-hardboard, Medium hardboard, Hardboard, Super hardboard นอกจากนี้ยังมีชื่อทางการค้าอีกมากมายตามแต่บริษัทผู้ผลิตจะคิดตั้งขึ้น เช่น Masonite, Celotex, Prespine ฯลฯ วิธีเรียกชื่อดังกล่าวนี้อาจก่อให้เกิดความสับสนหรือเข้าใจผิดได้ง่าย เพราะตามความเป็นจริงแผ่นใยไม้อัดชนิดต่างๆ นั้นมีลักษณะคุณสมบัติการใช้ประโยชน์ ตลอดจนกรรมวิธีในการผลิตเหลื่อมล้ำกันอยู่มาก เพื่อขจัดปัญหาดังกล่าวนี้ ในทางด้านวิชาการจึงจำแนกชนิดของแผ่นใยไม้อัดโดยถือเอาความหนาแน่นหรือน้ำหนักของแผ่นใยไม้อัดเป็นเกณฑ์สำคัญ ดังแสดงไว้ในตารางต่อไปนี้

ตารางแสดงการจำแนกชนิดของแผ่นใยไม้อัด

Fiberboard	Thicknesses generally available (inch)	Density	
		kg/m^3	lb/cu.ft
Non-compressed			
Semi-rigid insulation board	1/2 - 1 1/2	20 - 150	1.25-9.5
Rigid insulation board	3/8 - 1	150 - 140	9.5-25.0
Compressed			
Intermediate or medium density fiberboard	3/16 - 1/2	400 - 800	25 - 50
Hardness	1/10 - 5/16	800 - 1200	50 - 70
Special density hardboard	1/4 - 2	1200 - 1450	75 - 90

ชนิดของแผ่นใยไม้อัดตามที่จำแนกไว้ในตารางจำแนกได้ดังนี้

1. Non-compressed fiberboard

หมายถึงแผ่นใยไม้อัดประเภทที่มิได้ผ่านการทำให้แห้งในขณะทำการอัด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งมิได้ผ่านการอัดร้อน (Hot-pressing) ในกรรมวิธีการผลิต แผ่นใยไม้อัดประเภทนี้มีความหนาแน่นตั้งแต่ 400 kg/m^3 (25 lb/cu.ft.) ลงมาบางทีเรียกรวม ๆ กันว่า "แผ่นใยไม้อัดฉนวน" (Insulation board) แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

1.1 Semi-rigid insulation board หรือแผ่นใยไม้อัดฉนวนชนิดกึ่งกระด้าง หมายถึงแผ่นใยไม้อัดฉนวนที่มีความหนาแน่น 20-150 kg/m^3 (1.25-9.5 lb/cu.ft.) มีลักษณะอ่อนนุ่มแต่ก็ยังรักษารูปร่างอยู่ได้ด้วยตัวเอง ใช้เป็นฉนวนสำหรับกันความร้อนและเก็บเสียงโดยเฉพาะ

1.2 Rigid insulation board หรือแผ่นใยไม้อัดฉนวนชนิดกระด้าง หรือ "แผ่นใยไม้อัดอ่อน" (Softboard) หมายถึง แผ่นใยไม้อัดฉนวนที่มีความหนาแน่น 150-400 kg/m^3 (9.5-25 lb/cu.ft.) สำหรับใช้ประโยชน์ในอาคารและงานก่อสร้างอื่นๆ ที่ต้องการคุณสมบัติในด้านเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา เป็นฉนวนกันความร้อน และเก็บเสียงได้ มีความแข็งแรงพอควร และมีราคาไม่แพง แผ่นใยไม้อัดชนิดนี้ยังมีชื่อเรียกกันอย่างอื่นอีก เช่น Structural insulation board และ Porous board เป็นต้น

2. Compressed fiber board

หมายถึงแผ่นใยไม้อัดประเภทที่ได้ผ่านการทำให้แห้งในขณะทำการอัด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ผ่านการอัดร้อนในกรรมวิธีการผลิต แผ่นใยไม้อัดประเภทนี้มีความหนาแน่นเกินกว่า 400 kg/m^3 (25 lb/cu.ft.) บางทีเรียกรวมกันว่า "แผ่นใยไม้อัดแข็ง"

2.1 Intermediate or Medium Density Fiber Board หรือแผ่นใยไม้อัดที่มีความหนาแน่นปานกลาง หมายถึง แผ่นใยไม้อัดที่มีความหนาแน่น 400-800 kg/m^3 (25-50 lb/cu.ft.) สำหรับใช้ประโยชน์ในลักษณะเป็นแผ่นขนาดใหญ่ในอาคาร ในการทำเฟอร์นิเจอร์และในงานก่อสร้างอื่นๆ ที่เหมือนกัน แผ่นใยไม้อัดชนิดนี้ยังมีชื่อเรียกกันเป็นอย่างอื่นอีก เช่นแผ่นใยไม้อัดแข็งปานกลาง (Medium Hardbard) และ แผ่นใยไม้อัดกึ่งแข็ง (Semi-hardboard) เป็นต้น

2.2 Hardboard หรือแผ่นใยไม้อัดแข็งแท้ หมายถึง แผ่นใยไม้อัดแข็งที่มีความหนาแน่น 800-1200 kg/m^3 (50-70 lb/cu.ft.) แผ่นใยไม้อัดชนิดนี้ยังมีชื่อเรียกเป็นอย่างอื่นอีก เช่น Fibrous hardboard, Fibrousfelted hardboard และ Hardpressed fiberboard เป็นต้น

2.3 Special Densitied Hardboard หรือแผ่นใยไม้อัดแข็งพิเศษ หมายถึงแผ่นใยไม้อัดแข็งที่มีความหนาแน่น 1200-1450 kg/m^3 (75-90 lb/cu.ft.) สำหรับใช้ประโยชน์เป็นกรณีพิเศษ เช่น ใช้ทำแผงเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น

2.3 แผ่นชิ้นไม้อัด (Particle Board) (3)

แผ่นชิ้นไม้อัด คือ แผ่นวัสดุที่ทำจากไม้หรือวัสดุอันเป็นส่วนประกอบของลิกนินและเซลลูโลสอื่นๆ ในลักษณะที่ถูกตัดเป็นชิ้นเล็กๆ นำมารวมกันเป็นแผ่นโดยใช้ตัวประสานอินทรีย์ (Organic binder) ร่วมกับสิ่งต่างๆต่อไปนี้เพียงอย่างเดียวหรือหลายอย่างคือ ความร้อน แรงอัด ความชื้นและตัวเร่ง ฯลฯ

ชนิดของแผ่นชิ้นไม้อัด

แผ่นชิ้นไม้อัดเท่าที่มีการผลิตอยู่ในประเทศต่างๆ นั้นความจริงมีอยู่มากมายหลายชนิด และมีชื่อเรียกแตกต่างกันมากมาย การแบ่งชนิดและการเรียกชื่อแผ่นชิ้นไม้อัดออกจะสับสนกันอยู่มาก ทั้งนี้เพราะถือหลักในการแบ่งชนิดและเรียกชื่อแตกต่างกัน คือ

2.3.1 แบ่งตามลักษณะของชิ้นไม้

คือเอาลักษณะของชิ้นไม้ที่ใช้ในการผลิตเป็นหลักในการเรียกชื่อแผ่นชิ้นไม้อัด เช่น

1. ชิป (Chip) หมายถึงชิ้นไม้ขนาดสม่ำเสมอกัน ซึ่งได้จากการตัดด้วยอาการคล้ายสับด้วยขวานในเครื่องตัดชิ้นไม้ที่เรียกว่า Chipper

2. เฟลค (Flake) หมายถึงชิ้นไม้ที่ผลิตขึ้นเป็นพิเศษ ซึ่งมีลักษณะบาง เรียบและมีเส้นลายไม้ขนานกับผิวหน้าของชิ้นไม้ ชิ้นไม้ชนิดนี้ได้จากการตัดของใบมีดในทิศทางที่ขนานกับเส้นลายไม้แต่เป็นมุมกับแกนของเส้นใยไม้

3. ขี้กบหรือเชฟวิง (Shaving) หมายถึงชิ้นไม้ที่บางซึ่งได้จากการตัดด้วยใบมีด เครื่องไสไม้หรือเครื่องตัดไม้ชนิดอื่นๆ โดยใบมีดตัดไปตามความยาวที่มีความยาวของแกนของเส้นใยไม้ ดังเช่น ขี้กบที่ได้จากการไสผิวของไม้ เป็นต้น

4. สแตรนด์ (Strand) หมายถึงเชฟวิงที่มีความยาวมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความหนาและความกว้าง

5. สไลเวอร์หรือสพลินเตอร์ (Sliver or Splinter) คือชิ้นไม้ที่มีด้านหน้าตัดเป็นหรือเกือบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีความยาวขนานกับเส้นลายเนื้อไม้อย่างน้อย 4 เท่าของความหนาของชิ้นไม้

6. เม็ดหรือแกรนูน (Granule) คือชิ้นไม้ที่มีความยาว ความกว้าง และความหนาเท่ากันหรือเกือบเท่ากัน เช่น ขี้เลื่อย เป็นต้น

2.3.2 แบ่งตามวิธีการอัด

1. แผ่นชิ้นไม้อัดที่ได้จากวิธีการอัดในทิศทางตั้งฉากกับแผ่น (Flat - Platen pressed particle board) หมายถึงแผ่นชิ้นไม้อัดที่ได้จากการอัดในเครื่องอัดที่มีแผ่นโลหะสำหรับอัดขนานกัน ซึ่งมักเป็นเครื่องอัดที่มีแผ่นโลหะสำหรับอัดหลายแผ่น เรียกว่า Multi-platen hydraulic hot press ข้อสำคัญทิศทางของแรงอัดที่ใช้ต้องตั้งได้ฉากกับพื้นราบของแผ่นชิ้นไม้อัดนั้น

2. แผ่นชิ้นไม้อัดที่ได้จากวิธีการอัดในทิศทางขนานกับพื้นของแผ่น (Extruded particle board) หมายถึงแผ่นชิ้นไม้อัดที่ใช้กาวเป็นตัวประสานซึ่งผลิตโดยวิธีทำให้กาวในชิ้นไม้แข็งตัวใน

ขณะทำการอัดชิ้นไม้ผ่านแบบ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ แผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตขึ้นโดยวิธีการอัดในทิศทางขนานกับพื้นราบของแผ่นและเป็นทิศทางตามความยาวของแผ่นชิ้นไม้อัดนั้น เครื่องอัดที่ใช้ในการอัดแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดนี้เรียกว่า Extrusion press

2.3.3 แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์

1. แผ่นชิ้นไม้อัดสำหรับใช้ทำไส้ (Particle board core stock) หมายถึงแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดที่ต้องใช้ไม้บาง กระดาษ พลาสติคหรือวัตถุอื่นทากาวปะหน้าเสียก่อนที่จะนำไปใช้

2. แผ่นชิ้นไม้อัดที่ไม่ต้องใช้วัตถุอื่นปะหน้าก่อนนำไปใช้ (Particle board panel stock) หมายถึงแผ่นชิ้นไม้อัดที่ทำขึ้นสำเร็จรูปสามารถเอาไปใช้ประโยชน์ได้ทันที โดยไม่ต้องใช้วัตถุอื่นปะหน้าเสียก่อน แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดนี้มักมีผิวหน้าด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้านทำด้วยชิ้นไม้พิเศษหรือชิ้นไม้ที่สวยงาม เช่น เฟลกบอร์ด (Flake board)

3. แผ่นชิ้นไม้อัดสำหรับใช้ปูรองพื้น (Particle board floor underlayment) หมายถึงแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตหรือที่นำไปขัดจนมีความหนาสม่ำเสมอกัน สำหรับใช้เป็นวัตถุรองพื้นเพื่อให้สามารถใช้วัตถุอื่นปูพื้นได้ระดับ และเรียบสม่ำเสมอกัน

4. แผ่นชิ้นไม้อัดที่ตบแต่งจากโรงงาน (Prefinished particle board) หมายถึงแผ่นชิ้นไม้อัดที่ได้รับการเคลือบด้วยสีเคลือบหรือวัตถุอื่นๆ ที่คล้ายกันจากโรงงาน ตลอดจนการเคลือบด้วยกาวสังเคราะห์ เช่น เมลามีน (Melamine) และพิมพ์ลายไม้หรือลวดลายอย่างอื่นทับลงไป

5. แผ่นชิ้นไม้อัดสำหรับใช้เก็บเสียง (Acoustical particle board) หมายถึงแผ่นชิ้นไม้อัดประเภทใช้ภายในอาคาร ซึ่งได้ทำการปรุรูหรือเซาะร่องเป็นแบบต่างๆ สำหรับใช้กรุเพดานและผนัง เพื่อลดการสะท้อนเสียงในห้องลง

2.3.4 แบ่งตามเกณฑ์ทางวิชาการ

เป็นการยึดเอาความหนาแน่นเป็นเกณฑ์

ตารางแสดงการจำแนกชนิดของแผ่นชิ้นไม้อัด

Particle Board	Density	
	g./cc.	lb./cu.ft.
Low Density (Insulating type)	0.25-0.40	15-25
Medium Density	0.40-0.80	25-50
High Density (Hardboard type)	0.80-1.20	50-75

2.4 คุณสมบัติของยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (2)

ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินเป็นเรซินที่ราคาถูก มีความเป็นพิษต่ำ ความแข็งแรงสูงสามารถใช้ได้กับวัสดุหลายชนิด จุดอ่อนของเรซินชนิดนี้คือ ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ภายนอกหรือในที่ที่มีความชื้นสูง เพราะจะทำให้ฟอร์มัลดีไฮด์ระเหยออกมาได้ง่าย เมื่อพิจารณาถึงความคงทนของพันธะเคมีในยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินที่แข็งตัว พบว่า พันธะคาร์บอน-ออกซิเจน ระหว่างเรซินกับเซลลูโลสมีค่าต่ำ และพันธะของคาร์บอน-ไนโตรเจนจะให้ความคงทนสูง

ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินที่ขายในท้องตลาด แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. กาวน้ำ (Liquid Syrup) สำหรับนำไปใช้ได้เลย มีเนื้อกาวประมาณ 60-70 %

2. กาวผง (Powder) เป็นกาวชนิด partial polymerized urea resin วิธีทำโดยใช้พ่นยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินลงในถังที่ร้อน และทำให้เป็นสูญญากาศจะได้เป็นกาวผง เวลานำมาใช้ก็ผสมกับน้ำและตัวเร่ง ตามส่วน ตามวิธีแนะนำของแต่ละบริษัทที่ผลิต

2.5 การเตรียมยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินในระดับอุตสาหกรรม (5)

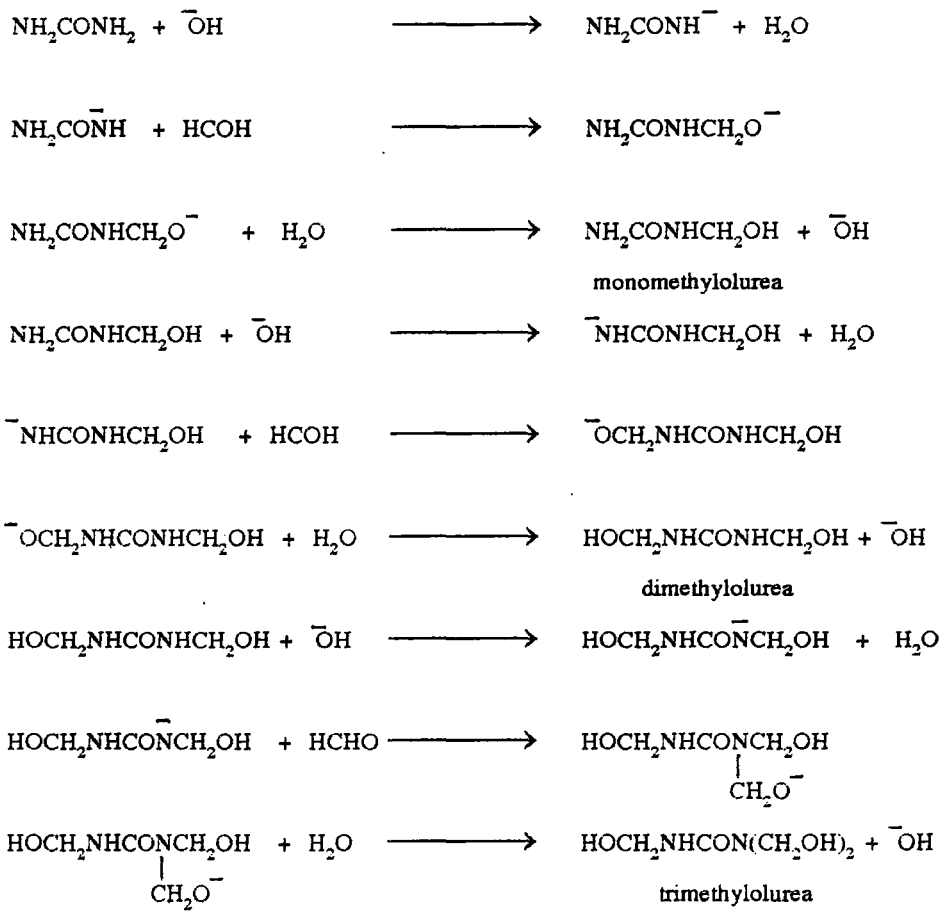
กระบวนการเกิดพอลิเมอร์ของยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ แบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. การเกิดพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและสามารถละลายได้

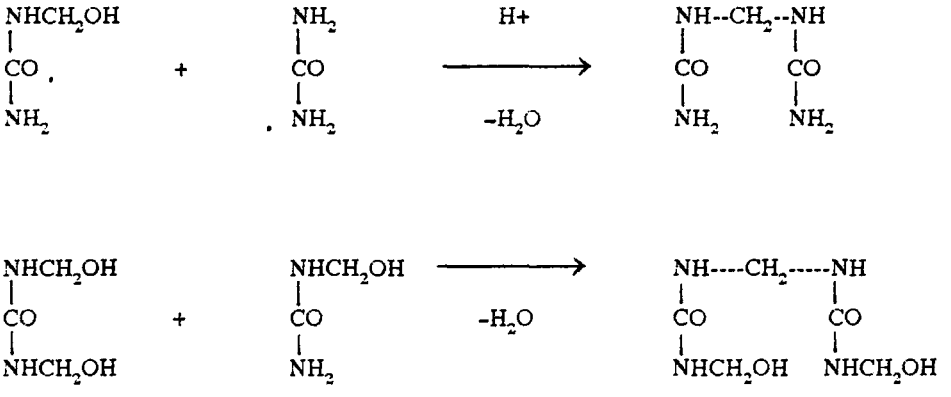
2. การเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (crosslinking) ได้พอลิเมอร์ร่างแห

ปรับฟอร์มัลดีไฮด์ให้มีค่า pH 8 ด้วย NaOH แล้วเติมยูเรีย โดยให้มีอัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มัลดีไฮด์เป็น 1 : 2 นำสารละลายนี้รีฟลักซ์ประมาณ 15 นาที หลังจากนั้นปรับให้เป็นกรด (pH 5) ด้วยกรดฟอร์มิก ให้ความร้อนจนเดือด นาน 5-20 นาที จนมีองศาการเกิดพอลิเมอร์ตามต้องการ ปรับให้เป็นกลางด้วย NaOH แล้วนำไประเหย โดยการลดความดันจนมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content) ตามที่ต้องการ (70% สำหรับสารยึดติดที่เป็นของเหลว) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

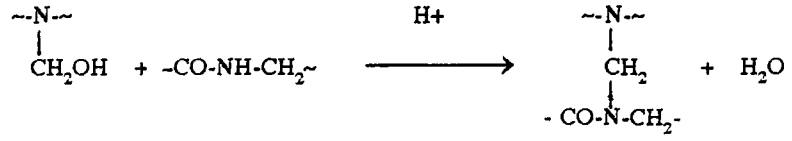
1.1 การเกิดเมทิลอลยูเรีย ในปฏิกิริยาเริ่มต้นของการเตรียมยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน จะได้โครงสร้างที่เป็นเส้นตรงเป็นส่วนใหญ่ ปฏิกิริยาอาจเป็น base-catalyzed reaction ปฏิกิริยาแสดงได้ดังนี้

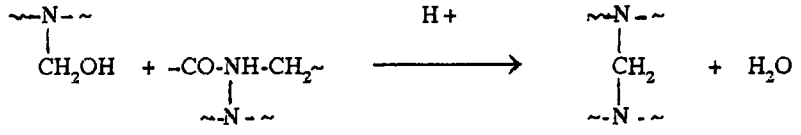


1.2 การควบแน่นของเมทิลอลยูเรีย ในขั้นที่ 2 ของปฏิกิริยาการเตรียมเรซินปฏิกิริยาจะดำเนินในสภาวะกรด ปฏิกิริยาการควบแน่นจะเกิดระหว่าง หมู่เมทิลอล และหมู่อะมิโนได้หมู่เมทิลีนเชื่อมโยง ดังนี้

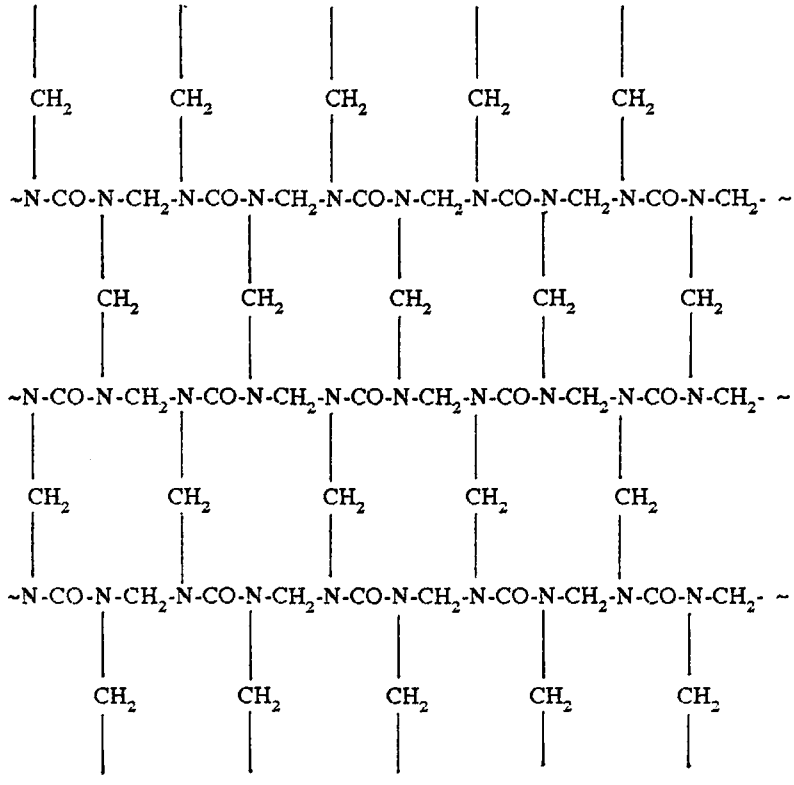


1.3 การพอลิเมอไรเซชั่นโดยมีแอมโมเนียมคลอไรด์เป็นตัวเร่ง





จากปฏิกิริยาข้างต้นจะทำให้ได้พอลิเมอร์ร่างแห ที่เกิดการเชื่อมโยงอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะไม่มีหมู่เมทิลอลเหลืออยู่เลย



สมบัติของพอลิเมอร์ที่เกิดการเชื่อมโยง

เมื่อยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินเกิดการเชื่อมโยงแล้วจะมีคุณสมบัติแข็ง ไม่ละลายและไม่หลอมเหลว การขึ้นรูปโดยการอัดด้วยแม่พิมพ์ จะมีการเติมเซลลูโลส เพื่อเพิ่มคุณสมบัติเชิงกล

2.6 เทคนิคการสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (4)

ในการสังเคราะห์กาวสำหรับอุตสาหกรรมไม้ จำเป็นจะต้องสามารถควบคุมขนาดของพอลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาควบแน่นให้ได้ เพราะว่าคุณสมบัติของเรซินจะขึ้นอยู่กับขนาดของพอลิเมอร์ซึ่งเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การวัดขนาดของพอลิเมอร์ทำได้โดยวัดความหนืดของสารละลาย ในระยะแรกความหนืดของสารละลายจะมีค่าต่ำและจะค่อยๆ สูงขึ้น สารละลายจะเปลี่ยนจากใสเป็นขุ่นขณะที่พอลิเมอร์เหล่านี้ยังละลายในน้ำอยู่

ขนาดโมเลกุลจะเปลี่ยนค่าจาก 200-800 โมเลกุลในระยะแรกเป็น 2000-3000 โมเลกุลเมื่อเป็นกาวสำเร็จรูป ในแต่ละครั้งที่ทำปฏิกิริยาควบแน่นจะได้น้ำออกจากปฏิกิริยาดังกล่าว ในขณะที่พอลิเมอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น จะมีการวิเคราะห์หาปริมาณการละลาย ความหนืด pH และความเข้มข้นเป็นต้น อย่างไรก็ตาม ปัจจัยที่สำคัญและมีผลต่อคุณสมบัติขั้นสุดท้ายของยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน ได้แก่ ความบริสุทธิ์ของรีเอเจนต์ สัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มัลดีไฮด์ การควบคุม pH และวิธีการสังเคราะห์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.6.1 <u>ความบริสุทธิ์ของสารยูเรียและฟอร์มัลดีไฮด์</u> ความบริสุทธิ์ของสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ในการสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน เป็นสิ่งที่สำคัญมากกว่าความบริสุทธิ์ของยูเรียซึ่งมีค่าสูงอยู่แล้ว โดยปกติแล้วสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ที่จะใช้ จะมีเมทานอลผสมอยู่ไม่เกิน 1% และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ในท้องตลาด ที่มีความเข้มข้น 37-41% จะมีเมทานอลผสมอยู่ 6-12% เพื่อทำให้สารดังกล่าวเสถียร การนำฟอร์มาลินมาใช้จำเป็นจะต้องกลั่นเมทานอลออกก่อน เพราะว่าสารนี้จะทำให้ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินที่สังเคราะห์ขึ้นมามีคุณสมบัติในการดูดน้ำมากขึ้นตั้งแต่ 6 -10 %

2.6.2 <u>สัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มัลดีไฮด์</u> ในการสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินนิยมใช้สัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มัลดีไฮด์ระหว่าง 1:1.4 ถึง 1:1.6 ในสารละลายน้ำ อย่างไรก็ตาม การเร่งปฏิกิริยาการสร้างหมู่เมทิลอลในระยะแรกทำได้ โดยแบ่งยูเรียออกเป็น 2-3 ส่วนแล้วค่อยๆเติมยูเรียที่แบ่งออกมาในตอนหลัง การปฏิบัติดังกล่าวเป็นผลให้มีการสร้างเมทิลอลยูเรียได้มากและเร็วขึ้นในระยะแรก เทคนิคเช่นนี้ใช้มากในการสังเคราะห์กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ในอุตสาหกรรม

ก่อนเติมยูเรียในสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ จำเป็นต้องกลั่นเอาเมทานอล ออกจากสารละลายดังกล่าวให้มากที่สุด จากนั้นจะต้องทำสารละลายให้เป็นกลางจึงเติมยูเรียลงไป ในระยะแรกของการทำปฏิกิริยาสัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มัลดีไฮด์เป็น 1:2.2 เพื่อเป็นการเร่งปฏิกิริยาการสร้างหมู่เมทิลอล การเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายจนเดือด จะช่วยเร่งปฏิกิริยาการสร้างหมู่เมทิลอลให้เร็วยิ่งขึ้นด้วย ปฏิกิริยาคายความร้อนจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 90 องศาเซลเซียส ความร้อนจากปฏิกิริยา สามารถทำให้การเดือดของสารละลายดำเนินต่อไป โดยไม่ต้องใช้ความร้อนจากภายนอกมาช่วย การทำปฏิกิริยาจะอยู่ภายใต้การกลั่นไหลกลับประมาณ 10-30 นาที เพื่อสร้างหมู่เมทิลอล การเติมกรดลงไปเล็กน้อยให้มี pH 4.8-5.0 จะช่วยเร่งปฏิกิริยา เป็นผลให้เพิ่มความหนืดแก่สารละลาย เมื่อสารละลายมีความหนืดให้ลดอุณหภูมิลงเหลือ 25-30 องศาเซลเซียส แล้วเติมยูเรียที่เหลือลงไปในสัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มัลดีไฮด์เป็น 1:1.4 ถึง 1:1.7 คนสารละลายที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง แล้วปรับ pH ให้เหมาะสม เพื่อยืดอายุของกาวสังเคราะห์

สัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มัลดีไฮด์ ยังมีผลต่อคุณสมบัติยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินแข็งตัวด้วย เช่น ถ้าใช้ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์สูงเกินไป ความทนทานของกาวต่อน้ำจะลดลงและทำให้เรซินที่สังเคราะห์แล้ว มีฟอร์มัลดีไฮด์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่ ซึ่งเป็นสิ่งรบกวนในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมไม้ และผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ตามมาอีกด้วย การใช้ฟอร์มัลดีไฮด์น้อยเกินไปจะทำให้ความหนืดของกาวต่ำและเพิ่มเวลาเป็นเจลของกาว และยังอาจเป็นผลให้การแข็งตัวของกาวไม่สมบูรณ์

2.6.3 ในการสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องควบคุม pH ของสารละลาย สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ที่จำหน่ายในท้องตลาด จะมีกรดฟอร์มิกผสมอยู่อย่างต่ำ 0.5-1.0 % ซึ่งในอุตสาหกรรมผลิตเรซินดังกล่าว ยอมให้กรดนี้ไม่เกิน 0.05-0.1% ดังนั้นจึงต้องลดปริมาณกรดดังกล่าว กรดจะทำให้การควบคุมปฏิกิริยาได้ยาก เพราะกรดเป็นสารเร่งปฏิกิริยาควบแน่นให้เกิดเป็นเจลมีสีขาวในระยะแรก และเกิดการแข็งตัวติดกับภาชนะที่ใช้สังเคราะห์ในระยะสุดท้ายซึ่งจะทำปัญหาในการสังเคราะห์เรซินครั้งต่อไป

ถ้า pH ของสารละลายต่ำกว่า 4.8-5.0 จะเกิดปฏิกิริยาควบแน่นแบบคายความร้อนและไม่สามารถควบคุมได้ จนกระทั่งได้สารของแข็งสีขาวซึ่งใช้ประโยชน์ไม่ได้เลย ดังนั้นในการสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน จำเป็นจะต้องควบคุม pH ของสารละลายไม่ให้ค่าต่ำกว่า 4.8-5.0 เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาควบแน่นมากเกินไป

2.6.4 การควบคุมปฏิกิริยา การสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินในอุตสาหกรรมมีทั้งระบบต่อเนื่องและระบบไม่ต่อเนื่อง การควบคุมปฏิกิริยาทำได้ดังนี้

1. ในระยะแรก ทำการประเมินฟอร์มัลดีไฮด์ที่ไม่ทำปฏิกิริยา อาจใช้วิธีซัลไฟต์

2. ในระยะกลาง ทำการประเมินด้วยเครื่องวัดความหนืดและควบคุมอุณหภูมิอย่างใกล้ชิด

3. ในระยะสุดท้าย จะต้องให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน คือ ไม่ให้ขนาดโมเลกุลใหญ่เกินไป การทดสอบทำได้โดยหยดเนื้อกาวลงในน้ำ จะเป็นเส้นขาวๆ มากกว่าการรวมตัวเป็นก้อน

การควบคุมขนาดของพอลิเมอร์ของยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน เป็นสิ่งจำเป็นมากในการนำเรซินนี้ไปใช้ในอุตสาหกรรมไม้อัด ในขณะที่ทำการอัดร้อนเพื่อให้เรซินแข็งตัว

ถ้าเรซินมีขนาดพอลิเมอร์เล็กไปจะไหลไปตามช่องว่างในเนื้อไม้ได้ง่าย ทำให้ปริมาณเรซินตรงแนวเรซินไม่พอเพียง และเป็นผลให้รอยต่อไม่แน่น และใช้เวลาทำให้เรซินแข็งตัวนานขึ้น ถ้าพอลิเมอร์ของเรซินมีขนาดใหญ่เกินไป ก็จะมีปัญหาเกี่ยวกับการไหลขณะทำเรซิน และอายุของเรซินในการเก็บรักษาก็สั้นลง

2.6.5 เวลาเป็นเจลและการแข็งตัวของเรซิน เวลาเป็นเจลเป็นการวัดอายุเรซินผสมของเรซินสังเคราะห์ หรือเป็นเวลาที่เรซินมีคุณสมบัติความยืดหยุ่นสูงสุดหลังจากเติมสารเร่ง หรือเป็นระยะเวลาที่เรซินเปลี่ยนสถานะจากของไหลเป็นเจลหลังจากเติมสารเร่ง การวัดเวลาเป็นเจลส่วนใหญ่ดูจากเรซินที่เสียคุณสมบัติของความหนืดไป

การใช้เรซินอาจผสมสารเพิ่มและสารเร่งลงไป เพื่อความเหมาะสมการควบคุมให้เรซินเป็นกลางหลังจากแข็งตัวแล้ว จะช่วยลดการเกิดไฮโดรไลซิสของตัวเรซินเอง ดังนั้นยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินเมื่อสังเคราะห์เสร็จแล้ว ควรจะปรับให้มี pH 7-9 และควบคุมสัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มัลดีไฮด์ระหว่าง 1.2-2.0 การกระทำดังกล่าว จะช่วยลดความหนืดของเรซินที่เพิ่มขึ้นขณะที่เก็บไว้ก่อนนำไปใช้งาน

2.7 ดินเหนียว (Clay) (1)

ในการเลือกใช้ดินเหนียวมาปรับปรุงสมบัติการไหลของเรซิน และหญ้าสลาบหลวงเนื่องจากเมื่อดินดูดซึมน้ำหรือของเหลว จะมีความอ่อนนุ่มและสามารถไหลตัวได้ดี จึงช่วยพยุงและกระจายตัวเรซินและหญ้าสลาบหลวงได้ดีขึ้น โดยโครงงานนี้ได้เลือกใช้ดินเหนียว คือ ดินขาว เกรดสี N9 จากแหล่งโคกไม้ลาย จังหวัดปราจีนบุรี

1. ธรณีวิทยาแหล่งแร่

ชั้นเปลือกดินหนาประมาณ 20-30 ซม. สีเทา ถัดไปเป็นชั้นดินสีน้ำตาลอ่อน หรือแก่ หนาประมาณ 1 เมตร แล้วเป็นชั้นดินขาว ซึ่งหนากว่า 3 เมตร คือดินขาวสี N9

2. คุณภาพของดิน

มีความเหนียวพอประมาณ จัดอยู่ในประเภทดินเหนียว Semi Ball Clay ได้ ซึ่งใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้น เพื่อเป็นตัวขึ้นรูป ดินขาวมีความเหนียวต่ำกว่าดินเหลือง และดินดำ แต่มีความทนไฟสูงกว่า ใช้ทำกระเบื้องปูพื้น และปูผนัง ทำเครื่องฉนวนไฟฟ้าได้

3. ผลการวิเคราะห์

ทางเอกซเรย์

ดินขาวประกอบด้วย เคโอลิไนต์ และควอร์ตซ์

ทางเคมี

ดินขาวประกอบด้วย

SiO_2	46.1 %
Al_2O_3	33.6
Fe_2O_3	1.7
CaO	3.2
MgO	2.1
$K_2O + Na_2O$	0.6
น้ำหนักที่หายไปจากการเผา	12.7

ทางกายภาพ

1. การเผาณ.อุณหภูมิต่าง ๆเพื่อดูสีของเนื้อดินหาเปอร์เซนต์การหดตัว และการดูดซึมน้ำของดินที่เผาแล้ว

อุณหภูมิการเผา (^oC)	สีของดิน	ความหดตัว (%)	ความดูดซึมน้ำ (%)
800	ขาว	11.0	32.0
900	ขาว	11.2	31.4
1000	ขาว	11.6	29.4
1100	ขาว-เหลือง	11.8	28.6
1200	ขาว-เหลือง	18.4	10.3
1300	ขาว-เหลือง	23.2	12.6

2. ความละเอียดหยาบของเม็ดดิน

เล็กกว่า 5	ไมครอน	59.1	%
	5-10	6.1	
	10-20	15.3	
	20-30	3.0	
ใหญ่กว่า	30	16.5	

3. ความทนไฟ 1760 องศาเซลเซียส

4. แรงกดที่ทำให้แท่งตัวอย่างดินหัก 115 psi.

5. ความพรุน

อุณหภูมิ	1000 ^{o}C	56.2	%
	1100 ^{o}C	55.4	
	1200 ^{o}C	23.4	
	1300 ^{o}C	5.9	

6. สัมประสิทธิ์การขยายตัว 5.45×10^{-6} cm/cm/^{o}C (30-470 ^{o}C)

7. pH 7.9

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุเคมีที่ใช้

- ยูเรีย
  เกรดวิเคราะห์ : บริษัท Farmitalia Carlo Erba จำกัด
- ฟอร์มาลิน (40 % w/v)
  เกรดวิเคราะห์ : บริษัท Farmitalia Carlo Erba จำกัด
- โซเดียมไฮดรอกไซด์
  เกรดวิเคราะห์ : บริษัท Farmitalia Carlo Erba จำกัด
- กรดแลกติก
  เกรดห้องปฏิบัติ : บริษัท Fluka จำกัด
- เรซินสำเร็จรูปชนิดผง
  Cascamite One Shot : บริษัท Borden Chemical(M)Son.BHD. จำกัด
- สารช่วยถอดแบบ (ซิลิโคน) : บริษัท ยูเนียนคาร์ไบท์ จำกัด
- หญ้าสลาบหลวง
- ดินเหนียว (clay) : เกรดดินขาว สี N9/ แหล่งโคกไม้ลาย จ.ปราจีนบุรี

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.2 เครื่องมือที่ใช้

- เครื่องอัดความร้อน : Lab Tech Co. ,Ltd.
- เครื่องทดสอบมอดุลัสแตกร้าว : บริษัท Losenhausenwerk จำกัด
- pH meter รุ่น pHep waterproof : บริษัท Hanna Instrument จำกัด
- อ่างน้ำมันซิลิโคน
- เครื่องวัดความแข็งดูโรมิเตอร์ ชอร์ดี
  รุ่น 10.25101 : บริษัท Alfraar จำกัด
- ชุดปั่นกวนพร้อมใบพัด
- อุปกรณ์ดักน้ำ (Dean-Stark Apparatus)
- เครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer
- เทอร์โมมิเตอร์
- ไมโครมิเตอร์
- เวอร์เนียร์
- ตู้อบ
- เดซิเคเตอร์
- เครื่องชั่งละเอียด 3 ตำแหน่ง
- แม่แบบขนาด 120 * 50 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร
- ชุด Reflux
- เครื่องปั่นผสมแบบแห้ง

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

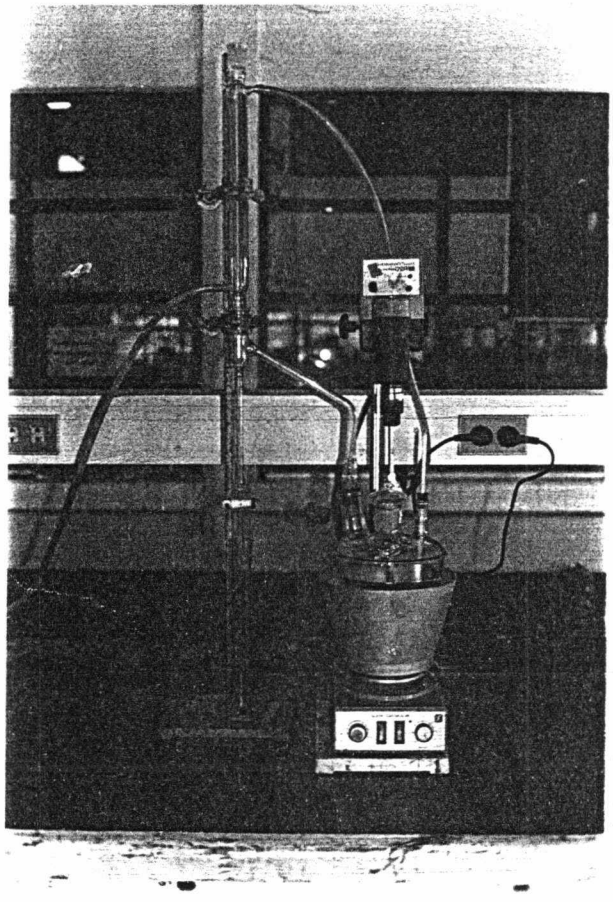
3.3.1 การเตรียมหญ้าสลาบหลวง

เก็บดอกหญ้าสลาบหลวงที่แก่พอสมควร มีลักษณะผักโต สีน้ำตาลเข้ม นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วแกะเส้นใยออกจากฝัก โดยระวังไม่ให้แกนก้านดอก (leteral axis) หลุดออกมา เก็บเส้นใยไว้ในภาชนะที่สามารถกันความชื้นได้ หลังจากนั้น นำเส้นใยที่เก็บไว้มาทำการบดด้วยเครื่องปั่นผสมแบบแห้ง เพื่อปรับขนาดเส้นใยให้มีความยาวสม่ำเสมอก่อนนำไปผสมต่อไป

รูป 3.1 ลักษณะดอกหญ้าสลาบหลวง

3.3.2 <u>การเตรียมยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินอัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มัลดีไฮด์ เป็น 1:2</u>

ละลายยูเรีย 120 กรัมในฟอร์มัลดีไฮด์ 40% (w/v) 300.76 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มัล ปรับ pH จนมีค่าอยู่ในช่วง 8.5-9.0 ด้วยเครื่องวัดค่า pH บรรจุสารละลายที่ได้ใส่ในหม้อปฏิกิริยาขนาด 1000 มิลลิลิตร ทำการรีฟลักซ์นาน 30 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิของอ่างน้ำมันซิลิโคนเท่ากับ 190 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของสารละลายในหม้อทำปฏิกิริยาเท่ากับ 105 องศาเซลเซียส ทำการปั่นกวนด้วยเครื่องมือปั่นกวนเพื่อให้สารละลายเข้ากันดีขึ้น หลังจากนั้นทำการปรับค่า pH ของสารละลายในหม้อปฏิกิริยาให้มีค่า 6.5-7.0 ด้วยกรดแลคติก แล้วทำการดักน้ำออก 80 มิลลิลิตร จะได้เรซินที่มีความหนืดและมีลักษณะใส ความหนืดอยู่ในช่วง 350-450 เซนติพอยส์ ความเข้มข้น 30.5 %



รูป 3.2 การเตรียมยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน

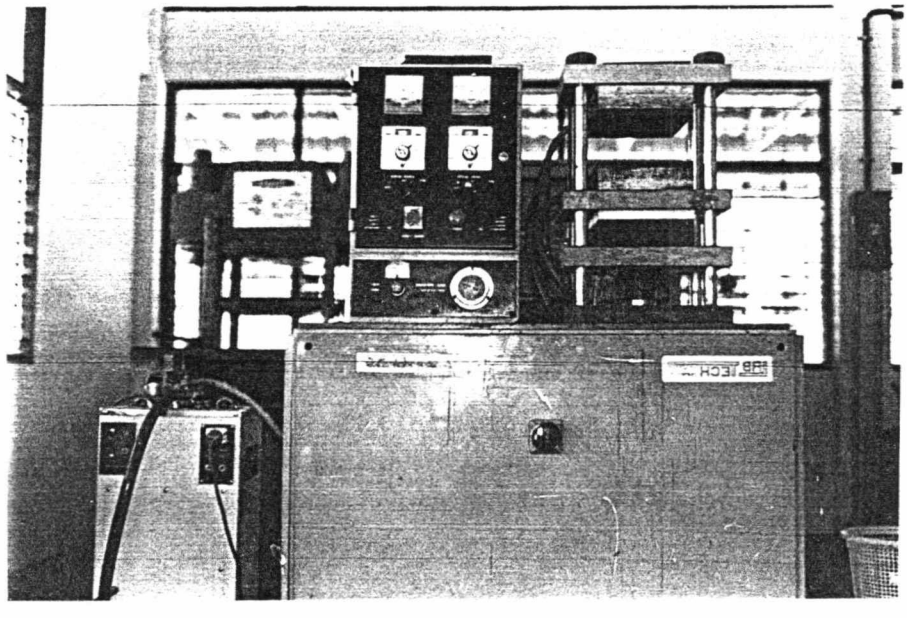
3.3.3 การเตรียมยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินสำเร็จรูปชนิดผง

ผสมเรซินสำเร็จรูปชนิดผง 100 กรัม ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นกวน เป็นเวลาประมาณ 5 นาที จะได้เรซินสีขาวขุ่น ความหนืดอยู่ในช่วง 2750-3250 เซนติพอยส์ มีอายุการใช้งานประมาณ 45 นาที

3.3.4 การเกิดกระบวนการโพลิเมอไรเซชันของยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์

3.3.4.1 เรซินสังเคราะห์

นำเส้นใยดอกหญ้าสลาบหลวงที่ผ่านการบดและอบแห้งปริมาณตามอัตราส่วน (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 กรัม) ผสมกับดินเหนียวปริมาณตามอัตราส่วน (0, 5, 10, 15 และ 20 กรัม) จากนั้นเติมยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินอัตราส่วน 1:2 ที่เตรียมไว้ปริมาณตามอัตราส่วน (60, 70 และ 80 กรัม) ทำการผสมให้ทั่วเป็นเนื้อเดียวกัน ชั่งของผสมนี้มา 85 กรัม บรรจุลงแม่พิมพ์แล้วอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิคโดยใช้ความดัน 40 kg/cm^2 และอุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที จะได้ชิ้นงานแผ่นใยไม้อัดเรียบ นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์



รูป 3.3 เครื่องอัดความร้อน

3.3.4.2 เรซินผงสำเร็จรูป

นำเส้นใยดอกหญ้าสลาบหลวงที่ผ่านการบดและอบแห้งปริมาณตามต้องการ (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 กรัม) ผสมกับดินเหนียวปริมาณตามต้องการ (0, 5, 10, 15 และ 20 กรัม) จากนั้นเติมเรซินสำเร็จรูปที่เตรียมไว้ปริมาณตามต้องการ (60, 70 และ 80 กรัม) ทำการผสมให้ทั่วเป็นเนื้อเดียวกัน ชั่งของผสมนี้มา 85 กรัม บรรจุลงแม่พิมพ์แล้วอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิคโดยใช้ความดัน 40 kg/cm^2 และอุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที จะได้ชิ้นงานแผ่นใยไม้อัดเรียบ นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์

<u>หมายเหตุ</u>

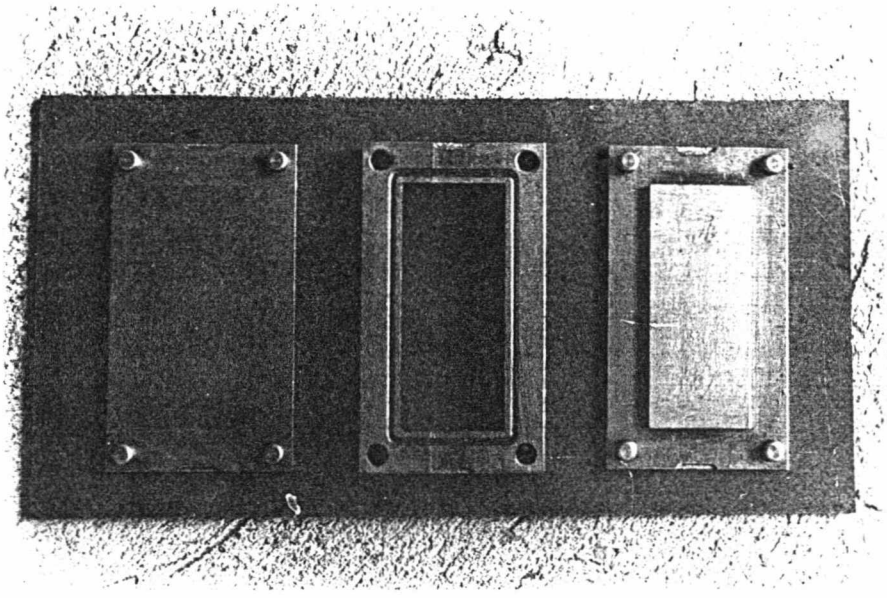
1. อัตราส่วนในการผสม หญ้า:ดิน:เรซิน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

สูตรเรซิน	อัตราส่วน (%) เรซิน:ดิน:หญ้า
60 %	60 : 0 : 40 *
	60 : 5 : 35 *
	60 : 10 : 30
	60 : 15 : 25
	60 : 20 : 20
70 %	70 : 0 : 30
	70 : 5 : 25
	70 : 10 : 20
	70 : 15 : 15
	70 : 20 : 10

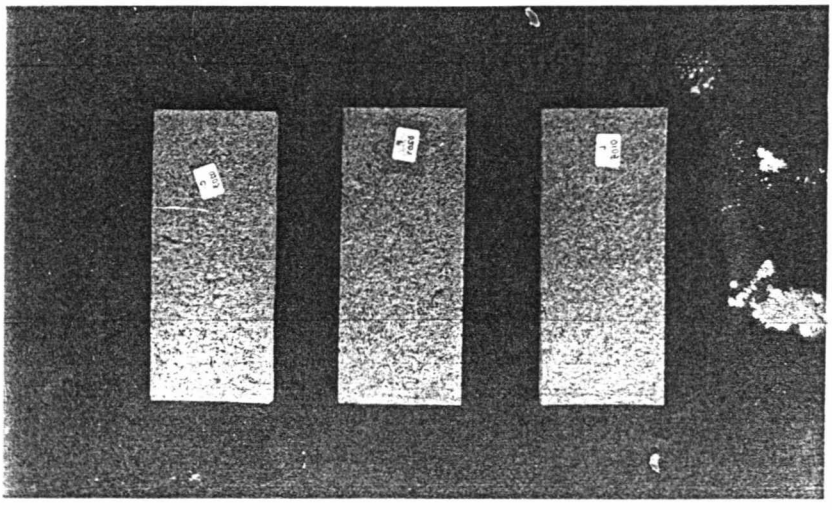
สูตรเรซิน	อัตราส่วน (%) เรซิน:ดิน:หญ้า
80 %	80 : 0 : 20
	80 : 5 : 15
	80 : 10 : 10
	80 : 15 : 5 *

* ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้

2. ในช่วง 5 นาทีแรกของการอัดร้อน ให้ไล่ก๊าซที่เกิดขึ้นภายในแม่พิมพ์ แล้วอัดต่อจนครบ 25 นาที



รูป 3.4 แม่แบบที่ใช้เตรียมชิ้นทดสอบขนาด 120*50*10 มิลลิเมตร



รูป 3.5 ชิ้นทดสอบที่ได้จากแม่แบบขนาด 120*50*10 มิลลิเมตร

3.3.5 การทดสอบทางกายภาพของชิ้นตัวอย่าง (ความหนา 10 มิลลิเมตร)

3.3.5.1 การหาค่าความหนาแน่น

ใช้ชิ้นทดสอบขนาด 120 * 50 มิลลิเมตร 3 ชิ้น

เครื่องมือ

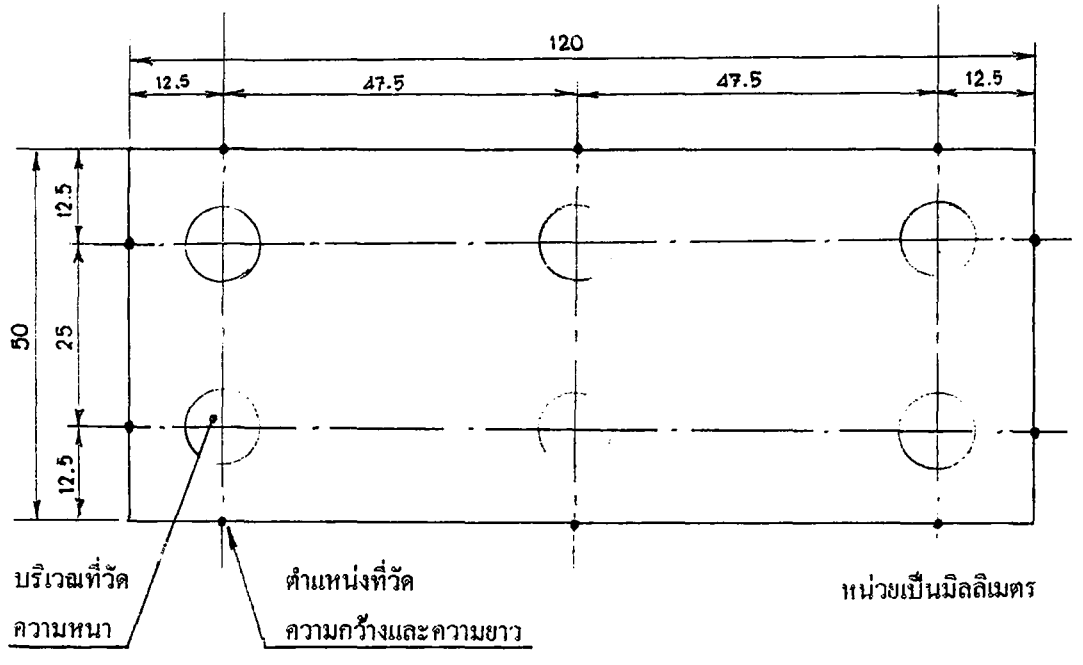
1. เครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง
2. ไมโครมิเตอร์ วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร

วิธีทดสอบ

1. ชั่งชิ้นทดสอบทราบมวลแน่นอนถึง 0.1 กรัม
2. วัดความกว้างและความยาวตามรูป
3. วัดความหนาตามรูป

คำนวณ

$$\text{ความหนาแน่น } (kg/m^3) = [\text{ มวล}(g) / \text{ปริมาตร } (mm^3)] * 10^6$$



รูป 3.6 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว ความหนา ของชิ้นทดสอบ

3.3.5.2 การหาค่ามอดูลัสแตกร้าว

ใช้ชิ้นทดสอบขนาด 120 * 50 มิลลิเมตร 3 ชิ้น

เครื่องมือ

เครื่องกด มีรัศมีไม่น้อยกว่า 4.5 มิลลิเมตร

วิธีทดสอบ

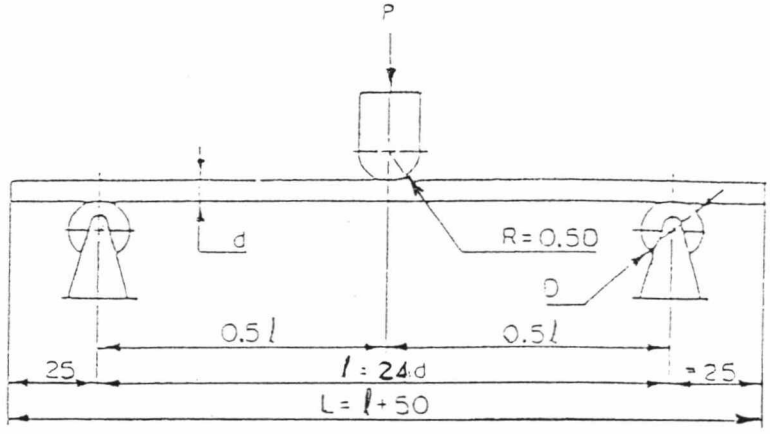
1. วางชิ้นทดสอบบนแท่นรองรับ ซึ่งอยู่ห่างกัน 100 มิลลิเมตร ให้ปลายยื่นออกไปข้างละ 10 มิลลิเมตร (รูป 3.7)
2. ให้แรงกดบนจุดกึ่งกลางชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่ต้นกดจนชิ้นทดสอบหัก ต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที

คำนวณ

$$R = 3Pl / 2bd^2$$

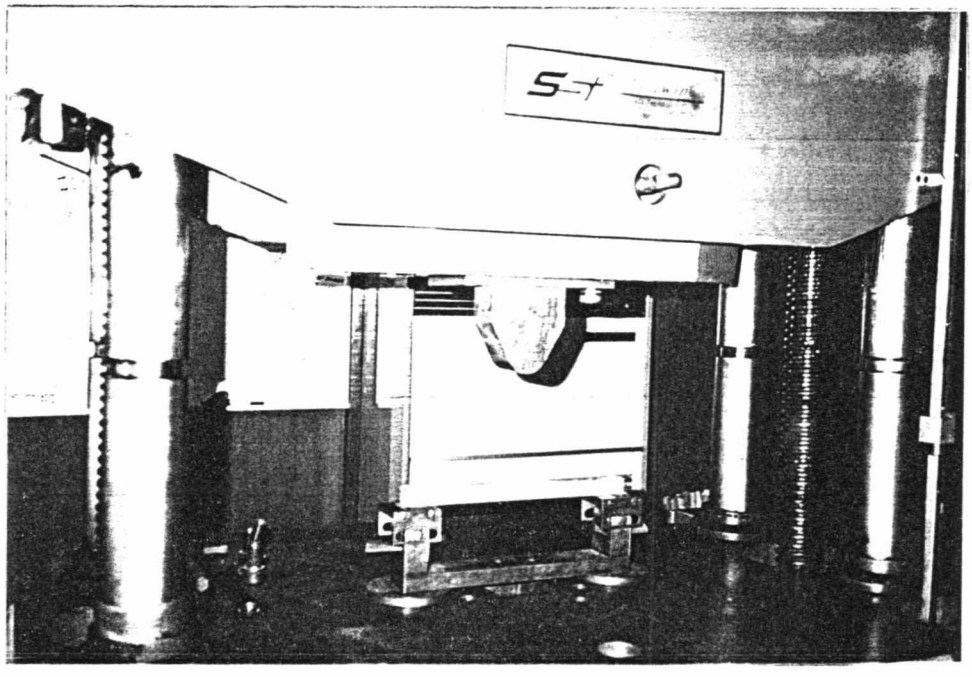
R	=	มอดูลัสแตกร้าว (เมกะพาสคัล)
P	=	แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ (นิวตัน)
l	=	ระยะห่างของแท่นรองรับ (มิลลิเมตร)
b	=	ความกว้างของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)
d	=	ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

* ต้องวัดขนาดตาม มอก.



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูป 3.7 การทดสอบมอดูลัสแตกร้าว



รูป 3.8 เครื่องทดสอบหามอดูลัสแตกร้าว

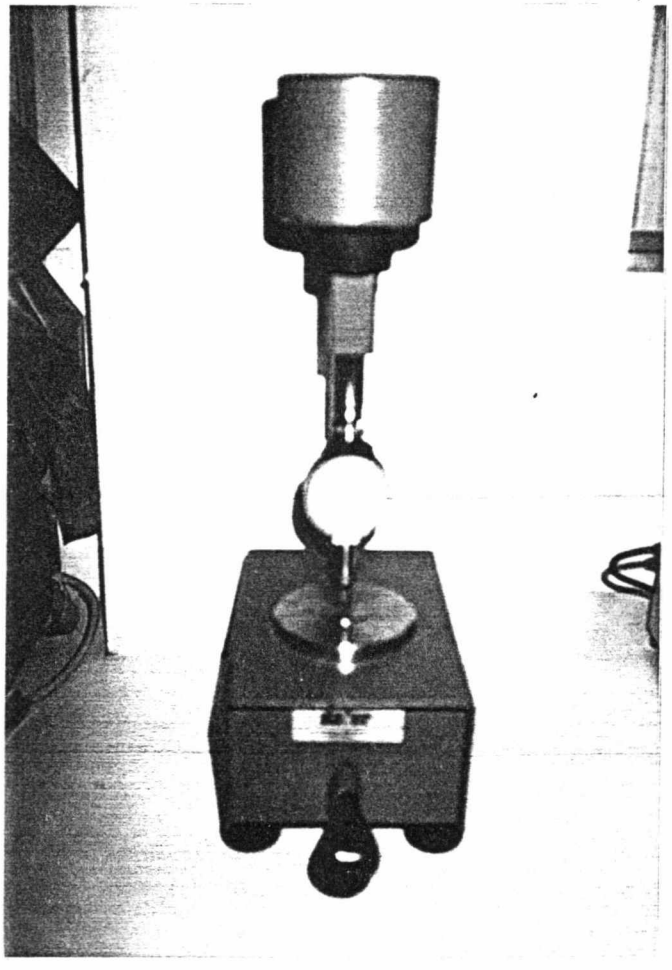
3.3.5.3 การหาค่าความแข็ง

เครื่องมือ

ดูโรมิเตอร์ ชอร์ดี

วิธีทดสอบ

1. ปรับแท่นให้อยู่ในแนวระดับ ปรับระยะระหว่างเข็มที่ใช้วัดกับแท่นวางชิ้นทดสอบ ให้มี ระยะห่างเท่ากับตลับโลหะ ซึ่งเป็นระยะห่างมาตรฐานของเครื่องมือ
2. นำชิ้นทดสอบวางลงบนแท่นวาง กดคันโยกให้แท่นโลหะยกชิ้นทดสอบขึ้นไปสัมผัสกับเข็มวัด
3. กดค้างไว้ 15 วินาที
4. วัดซ้ำอีก **5** ค่า แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย



รูป 3.9 เครื่องวัดความแข็ง

3.3.5.4 การหาค่าความชื้น

ใช้ชิ้นทดสอบขนาด 120 * 50 มิลลิเมตร 3 ชิ้น

เครื่องมือ

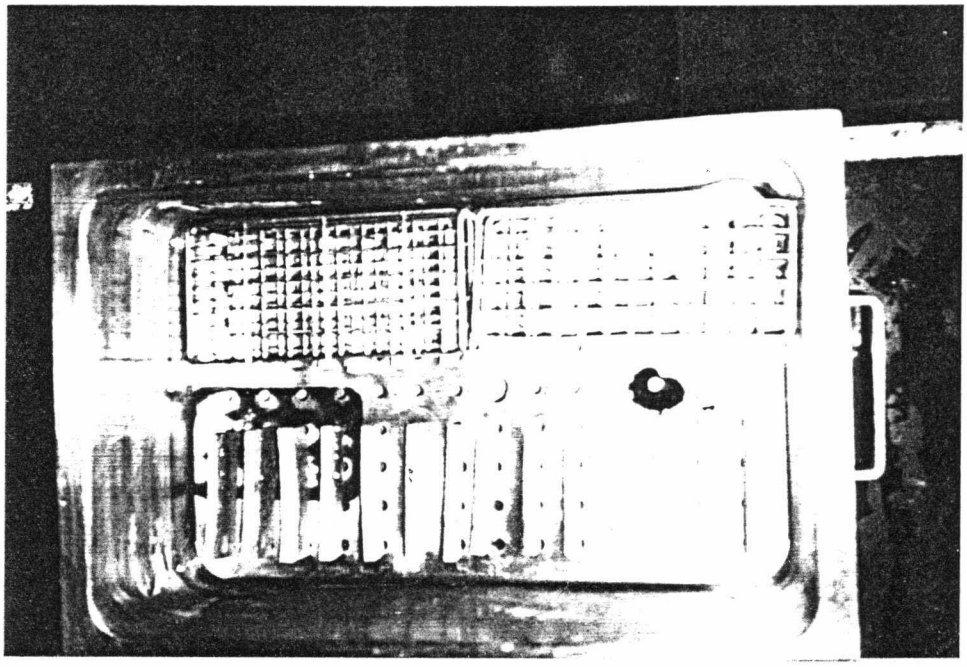
1. เครื่องชั่งละเอียดถึง 0.01 กรัม
2. เตาอบควบคุมอุณหภูมิที่ 103 ± 2 องศาเซลเซียส
3. เดสซิเคเตอร์

วิธีทดสอบ

1. ชั่งชิ้นทดสอบได้ค่าเป็นมวลก่อนอบ
2. อบที่อุณภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่
3. ใส่ในเดซิเคเตอร์จนเย็น
4. ชั่งเป็นมวลหลังอบ

คำนวณ

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{[\text{มวลก่อนอบ (g)} - \text{มวลหลังอบ (g)}] * 100}{\text{มวลหลังอบ (g)}}$$



รูป 3.10 การทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำและการขยายตัวตามความหนา

3.3.5.5 การหาค่าการดูดซึมน้ำและการขยายตัวตามความหนา

ใช้ชิ้นทดสอบขนาด 120 * 50 มิลลิเมตร 3 ชิ้น

เครื่องมือ

1. ไมโครมิเตอร์วัดได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร
2. เครื่องชั่งละเอียดถึง 0.01 กรัม
3. ภาชนะควบคุมอุณหภูมิกว้างไม่น้อยกว่า 120 มิลลิเมตร
4. กระดาษซับกว้างไม่น้อยกว่า 120 มิลลิเมตร
5. แผ่นน้ำหนักรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส กว้าง 120 มิลลิเมตร หนัก 3 กิโลกรัม

วิธีทดสอบ

1. ชั่งชิ้นทดสอบได้ค่าเป็นมวลก่อนแช่น้ำ
2. วัดความหนาตามรูป 3.6 ได้ค่าเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ
3. แช่ชิ้นทดสอบในภาชนะที่บรรจุน้ำสะอาด pH 6 ± 1 อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส ตั้งชิ้นทดสอบให้ตั้งฉากกับผิวน้ำ ขอบบนอยู่ใต้ผิวน้ำประมาณ 20 มิลลิเมตร นาน 24 ชั่วโมง
4. ครบ 24 ชั่วโมง นำมาวางบนกระดาษซับ วางทับด้วยแผ่นน้ำหนัก ทิ้งไว้ 30 วินาที จึงนำชิ้นทดสอบออกจากกระดาษซับ
5. ชั่งชิ้นทดสอบได้ค่าเป็นมวลหลังแช่น้ำ
6. วัดความหนาได้ค่าเป็นความหนาหลังแช่น้ำ

คำนวณ

$$\text{การดูดซึมน้ำ(ร้อยละ)} = \frac{[\text{มวลหลังแช่น้ำ (g)} - \text{มวลก่อนแช่น้ำ (g)}] * 100}{\text{มวลก่อนแช่น้ำ (g)}}$$

$$\text{การขยายตัวตามความหนา (ร้อยละ)} = \frac{[\text{ความหนาหลังแช่น้ำ (mm)} - \text{ความหนาก่อนแช่น้ำ (mm)}] * 100}{\text{ความหนาก่อนแช่น้ำ (mm)}}$$

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัด

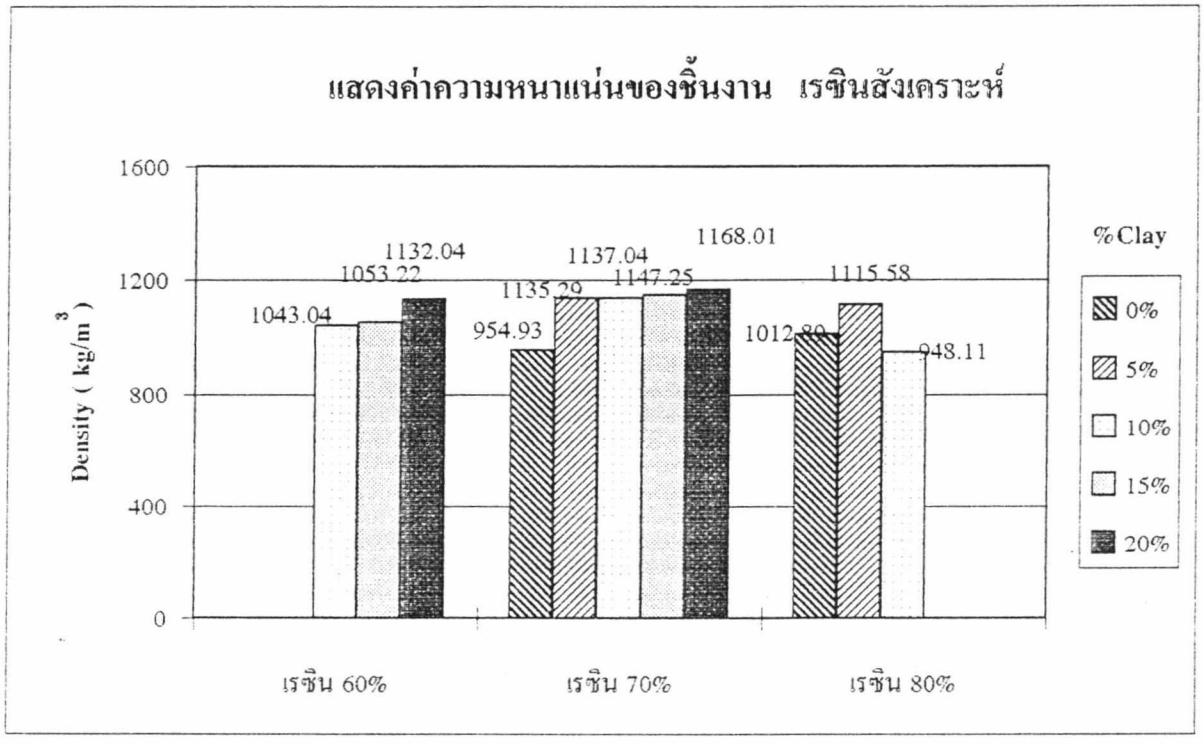
4.1 ความหนาแน่น

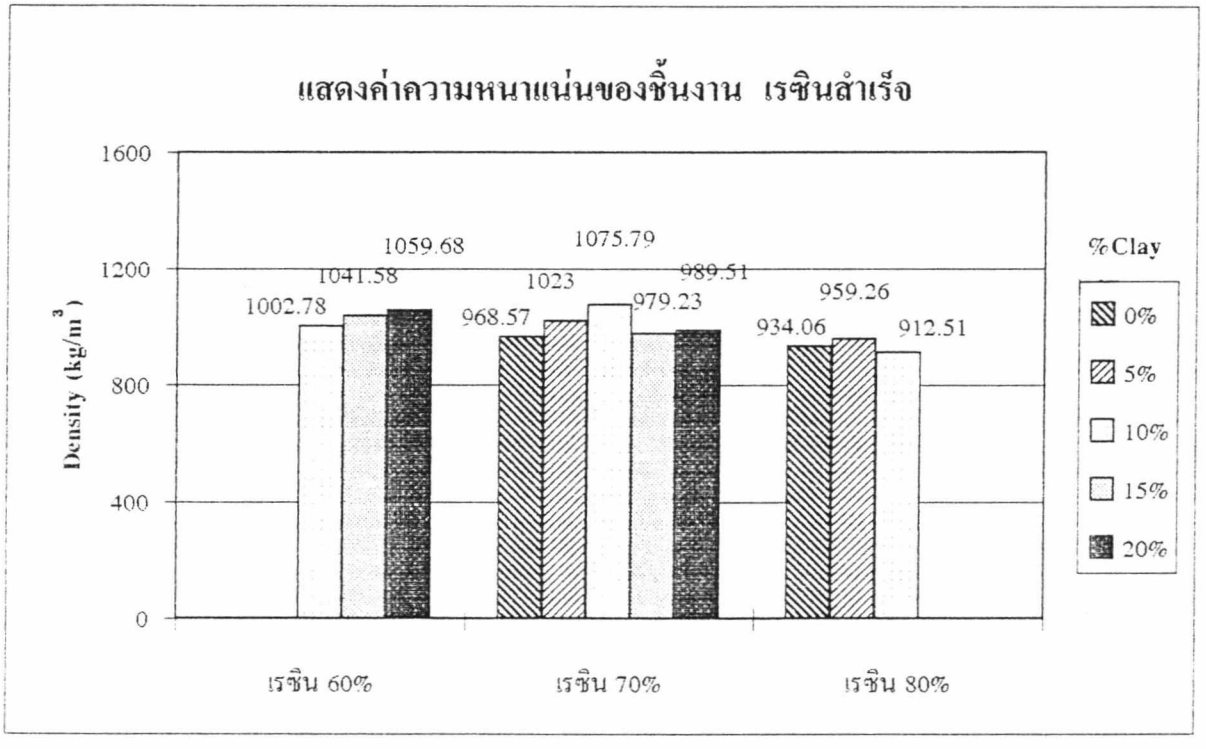
จากรูปที่ 4.1 และตาราง 1 - 3 (ภาคผนวก ข) เมื่อเพิ่มปริมาณของดิน พบว่าค่าความหนาแน่นของชิ้นงานมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสังเคราะห์และแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสำเร็จรูปชนิดผง มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 800 - 1200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จึงจัดอยู่ในประเภทแผ่นใยไม้อัดแข็ง (ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของแผ่นใยไม้อัดแข็ง)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเรซินสังเคราะห์และเรซินสำเร็จรูปชนิดผง พบว่าแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสังเคราะห์จะมีค่าสูงกว่าแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสำเร็จรูปชนิดผง เนื่องจากเรซินสำเร็จรูปชนิดผงมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากับ 1 : 1.4 ถึง 1 : 1.6 จึงเกิดการเชื่อมโยง (crosslinked) น้อยกว่าเรซินสังเคราะห์อัตราส่วน 1 : 2 ได้พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแข็งแรงน้อยกว่า

หมายเหตุ

การที่ไม่สามารถทำการขึ้นรูปชิ้นงานอัตราส่วน (เรซิน : ดิน : หญ้า) 60 : 0 : 40 และ 60 : 5: 35 ได้เนื่องจากปริมาณเรซินน้อยเกินทำให้การผสมไม่ดีเท่าที่ควร และเมื่อทำการทดลองขึ้นรูปอัตราส่วน 80 : 15 : 5 พบว่ามีเรซินส่วนเกินไหลล้นออกจากแม่พิมพ์ทำให้อัตราส่วนผิดพลาด ดังนั้นจึงไม่ทำการทดลองเนื่องจากสาเหตุดังกล่าว

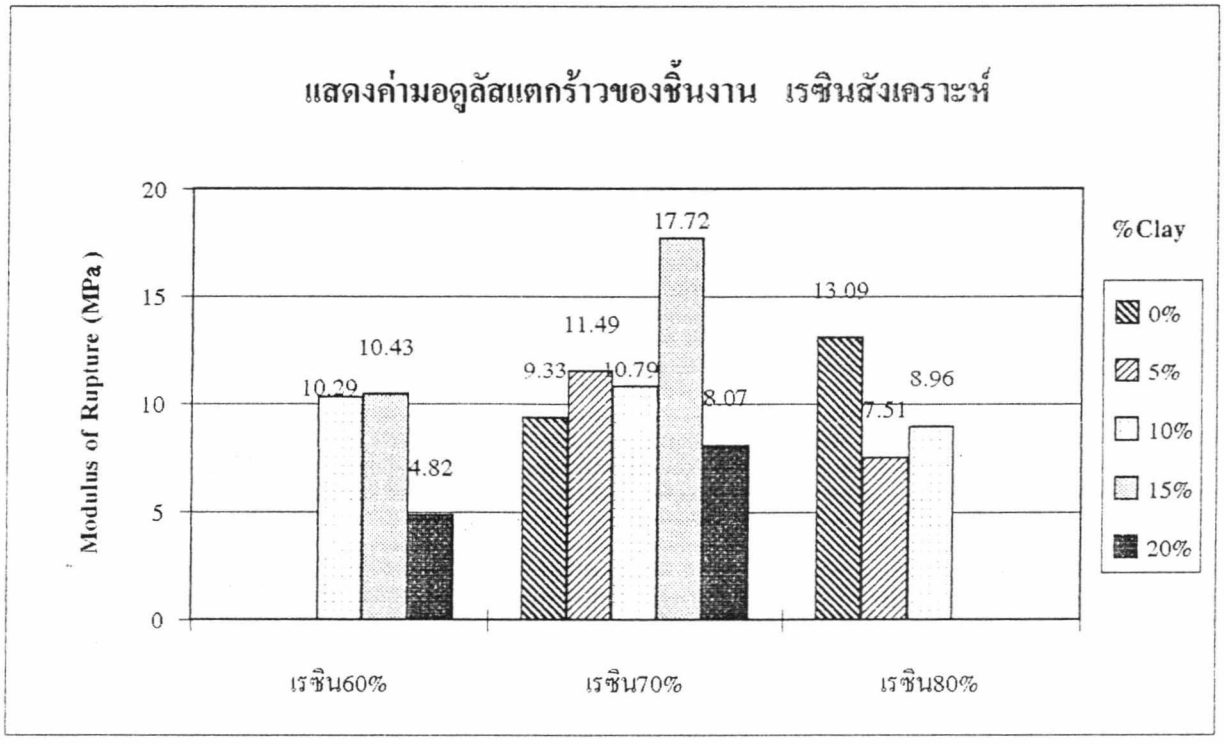


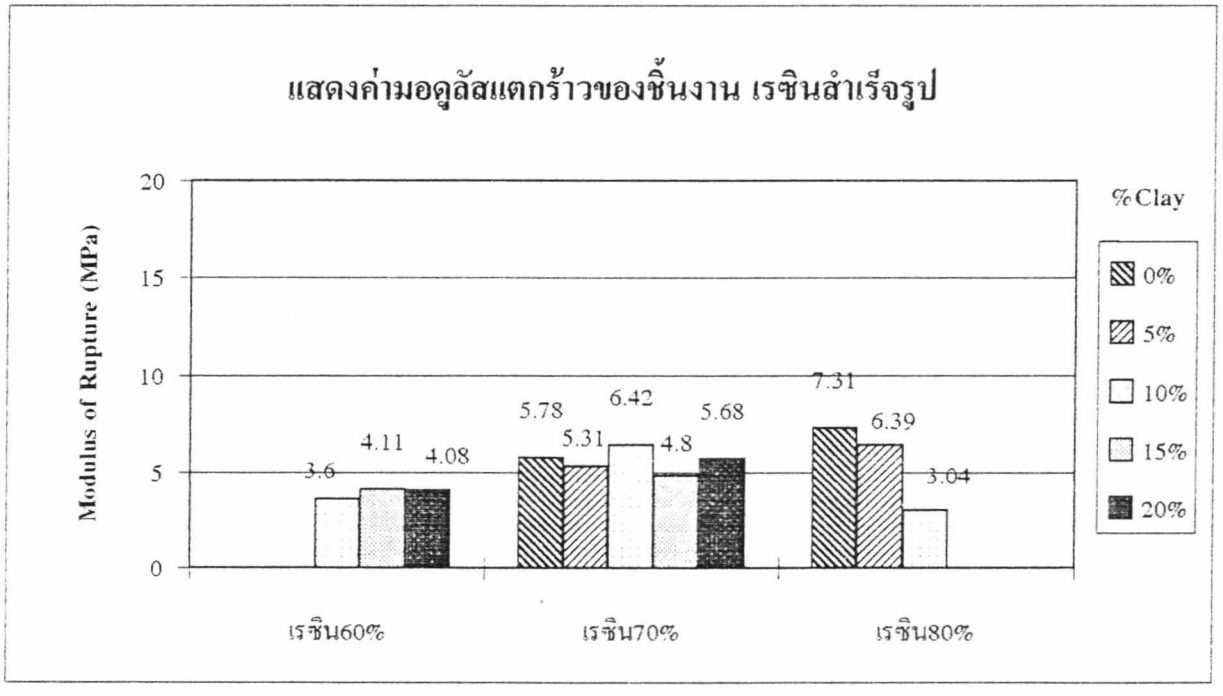


รูปที่ 4.1 แสดงค่าความหนาแน่นของแผ่นใยไม้อัดที่มีอัตราส่วนต่างๆ กัน

4.2 ค่ามอดูลัสแตกร้าว

จากรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4 - 9 (ภาคผนวก ข) พบว่าเมื่อปริมาณดินเพิ่มขึ้นค่ามอดูลัสแตกร้าวจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากดินช่วยให้การกระจายตัวของหญ้าในเรซินดีขึ้น แต่ถ้าปริมาณดินที่เพิ่มมากเกินไป ค่ามอดูลัสจะลดลง เนื่องจากมีปริมาณดินส่วนเกินที่ทำให้เกิดการแบ่งชั้นภายในชิ้นงาน ดังนั้นปริมาณดินที่เหมะสมจะช่วยให้การกระจายตัวของหญ้าเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ชิ้นงานมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน และมีความสามารถในการกระจายแรงดี ค่ามอดูลัสจึงสูง โดยอัตราส่วนของ เรซินสังเคราะห์ : ดิน : หญ้า ที่ให้ค่ามอดูลัสสูงสุดคือ 70:15:15 มีค่ามอดูลัสแตกร้าวเท่ากับ 17.72 เมกะปาสคาล แต่เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานแผ่นใยไม้อัดแข็ง (มากกว่า 35 เมกะพาสคาล) พบว่ามียังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากเส้นใยของดอกหญ้าสลาบหลางยังมีคุณภาพต่ำ จึงควรมีการนำใบและลำต้นของหญ้าสลาบหลาง มาผ่านกระบวนการแยกเยื่อ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบร่วมด้วย



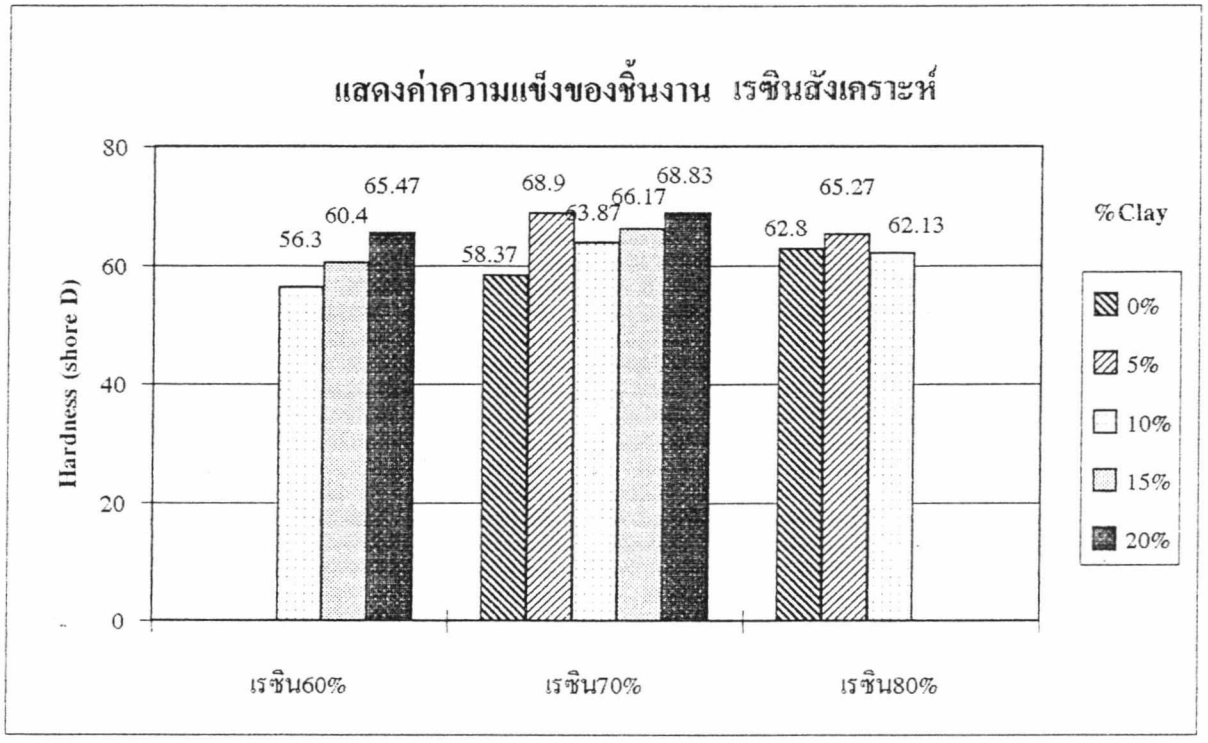


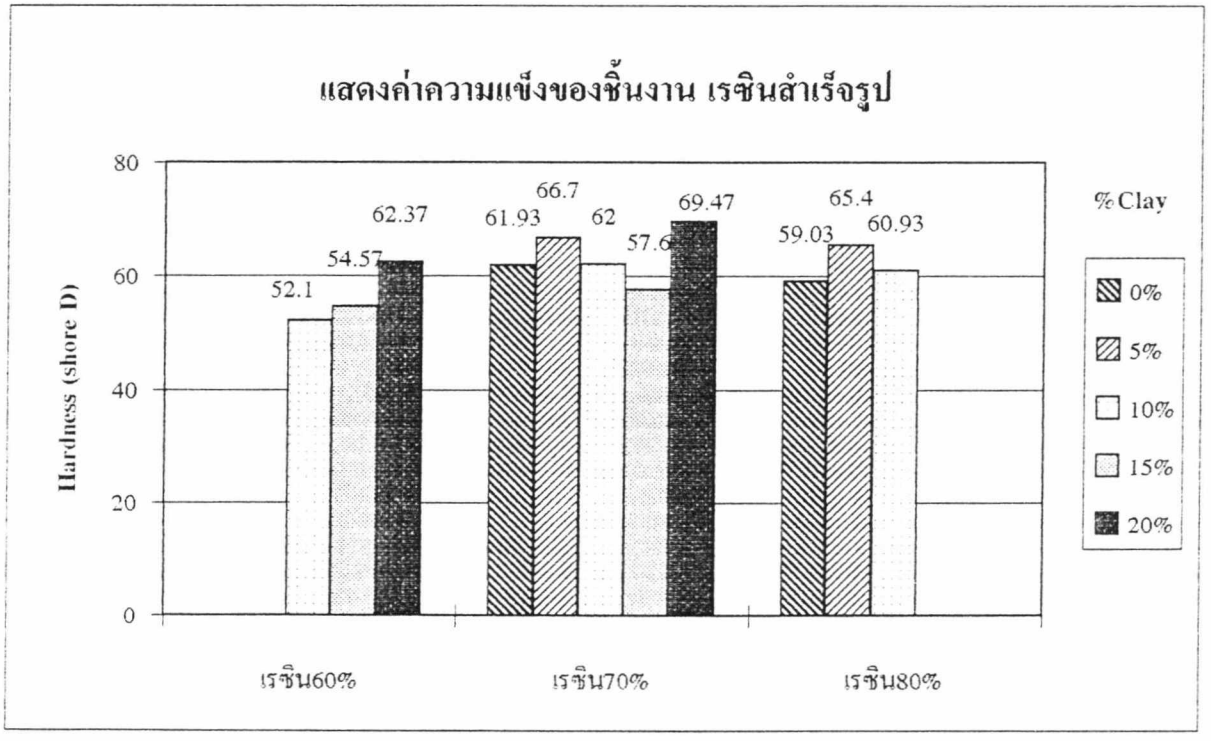
รูปที่ 4.2 แสดงค่ามอดูลัสแตกร้าวของแผ่นใยไม้อัดที่มีอัตราส่วนต่างๆ กัน

4.3 ค่าความแข็ง

จากรูป 4.3 และตารางที่ 10 - 15 (ภาคผนวก ข) พบว่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากดินช่วยในการกระจายตัวและผสมเส้นใยของดอกหญ้าสลาบหลวงในเรซินได้ดี ทำให้การจัดเรียงตัวขององค์ประกอบต่าง ๆ ใกล้ชิดและสม่ำเสมอความแข็งแรงจึงเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบเรซินสังเคราะห์และเรซินสำเร็จรูปชนิดผง พบว่าแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสังเคราะห์มีค่าสูงกว่าแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสำเร็จรูปชนิดผง เนื่องจากเรซินสังเคราะห์มีโครงสร้างการเชื่อมโยงที่แข็งแรงกว่า จึงได้แผ่นใยไม้อัดที่มีความแข็งแรงมากกว่า

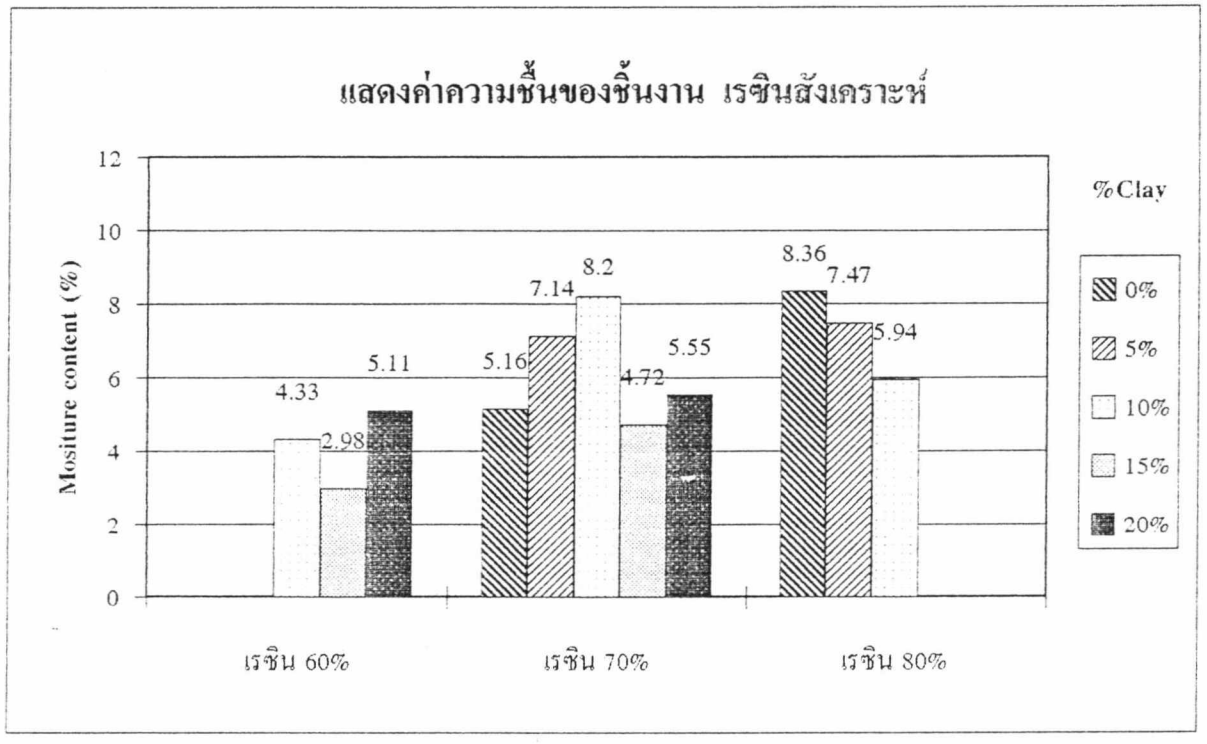


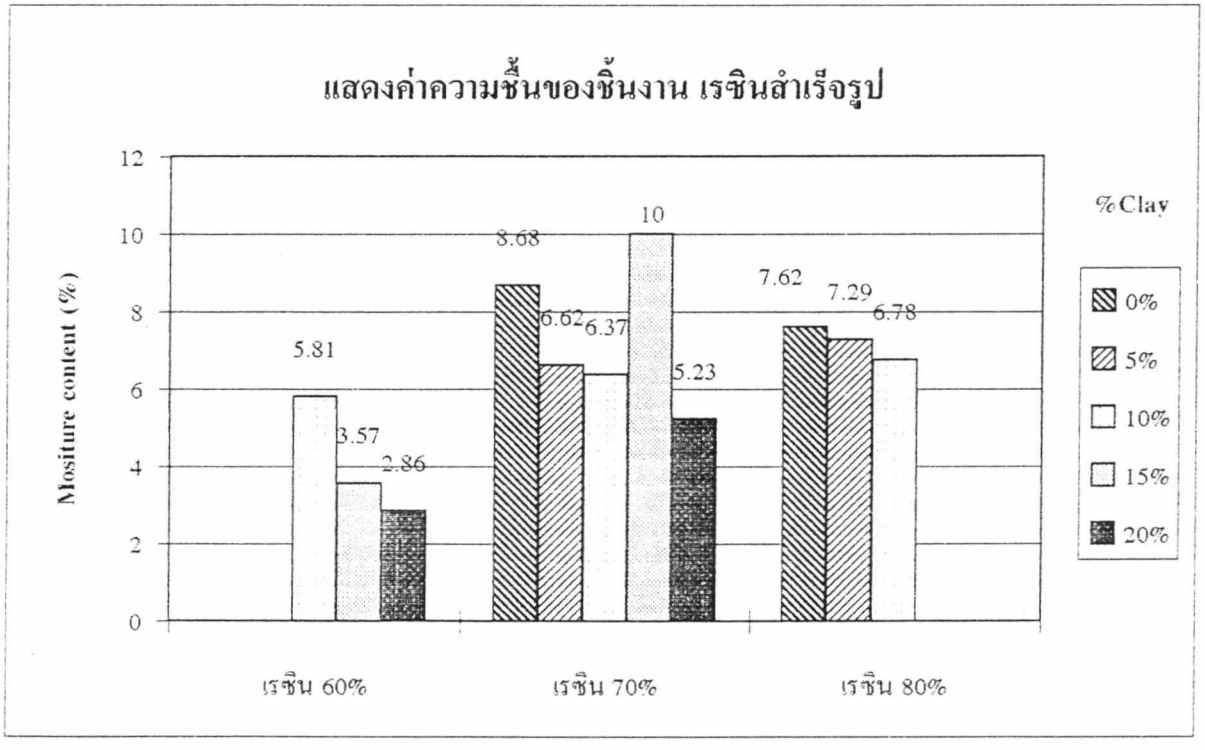


รูปที่ 4.3 แสดงค่าความแข็งของแผ่นใยไม้อัดที่มีอัตราส่วนต่างๆ กัน

4.4 ค่าความชื้น

จากรูป 4.4 และตารางที่ 16 - 21 (ภาคผนวก ข) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณดินค่าความชื้นจะลดลง เนื่องจากโครงสร้างของดินเหนียวมีลักษณะเป็นชั้นและมีรูพรุน ทำให้สามารถระบายความชื้นได้ดี ซึ่งยังเป็นการช่วยลดปัญหาแผ่นใยไม้อัดเกิดเชื้อราได้ โดยค่าความชื้นของแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสังเคราะห์และเรซินสำเร็จรูปชนิดผง อยู่ในช่วง 3-8 % และ 3-10 % ตามลำดับ โดยเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัดแข็ง (5-13 %)



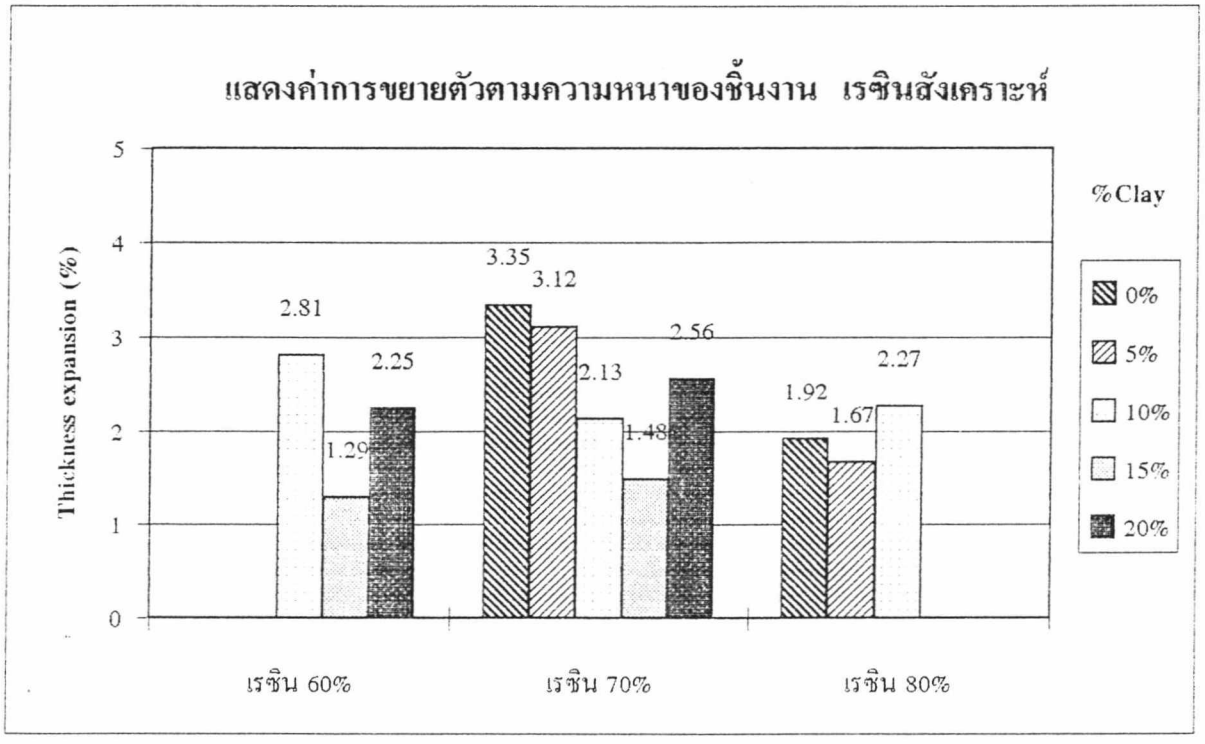


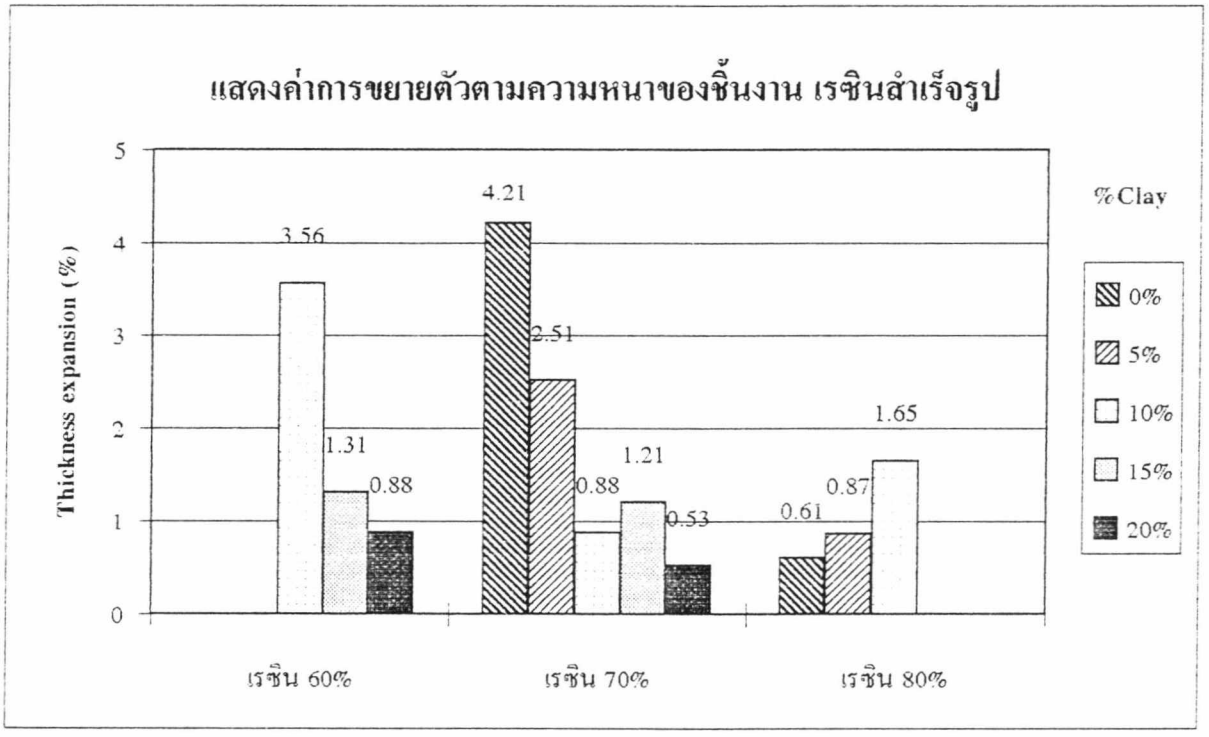
รูปที่ 4.4 แสดงค่าความชื้นของแผ่นใยไม้อัดที่มีอัตราส่วนต่างๆ กัน

4.5 ค่าขยายตัวตามความหนา

จากรูป 4.5 และตารางที่ 22 - 27 (ภาคผนวก ข) พบว่าเมื่อปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้น ค่าการขยายตัวตามความหนาจะลดลง เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของดินเหนียวมีโพรงเป็นชั้น ๆ ทำให้ยูเรียและฟอร์มาลดีไฮด์สามารถแทรกตัวเข้าไปและเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงภายใน ได้โครงสร้างที่แข็งแรงยิ่งขึ้น

การขยายตัวตามความหนาของแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสังเคราะห์และเรซินสำเร็จรูปชนิดผงอยู่ในช่วง 1-4 % และ 1-5 % ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัดแข็ง (ไม่เกิน 20%)





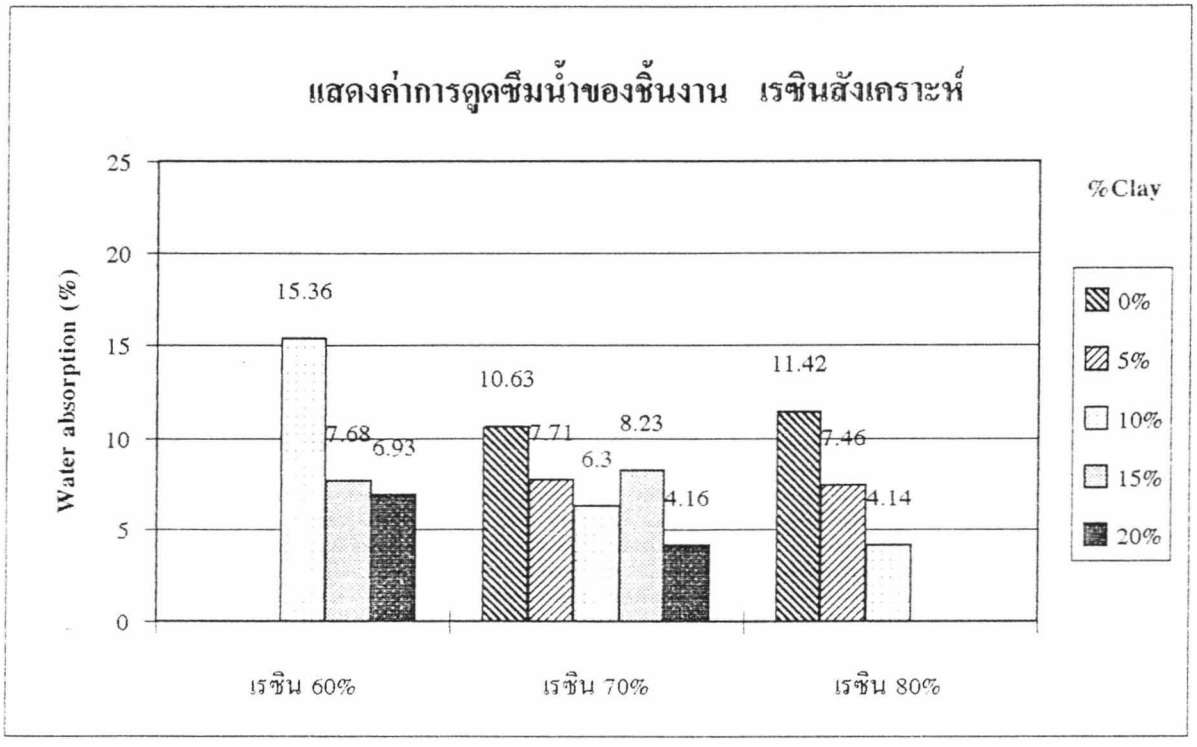
รูปที่ 4.5 แสดงค่าการขยายตัวตามความกว้างแผ่นใยไม้อัดที่มีอัตราส่วนต่างๆ กัน

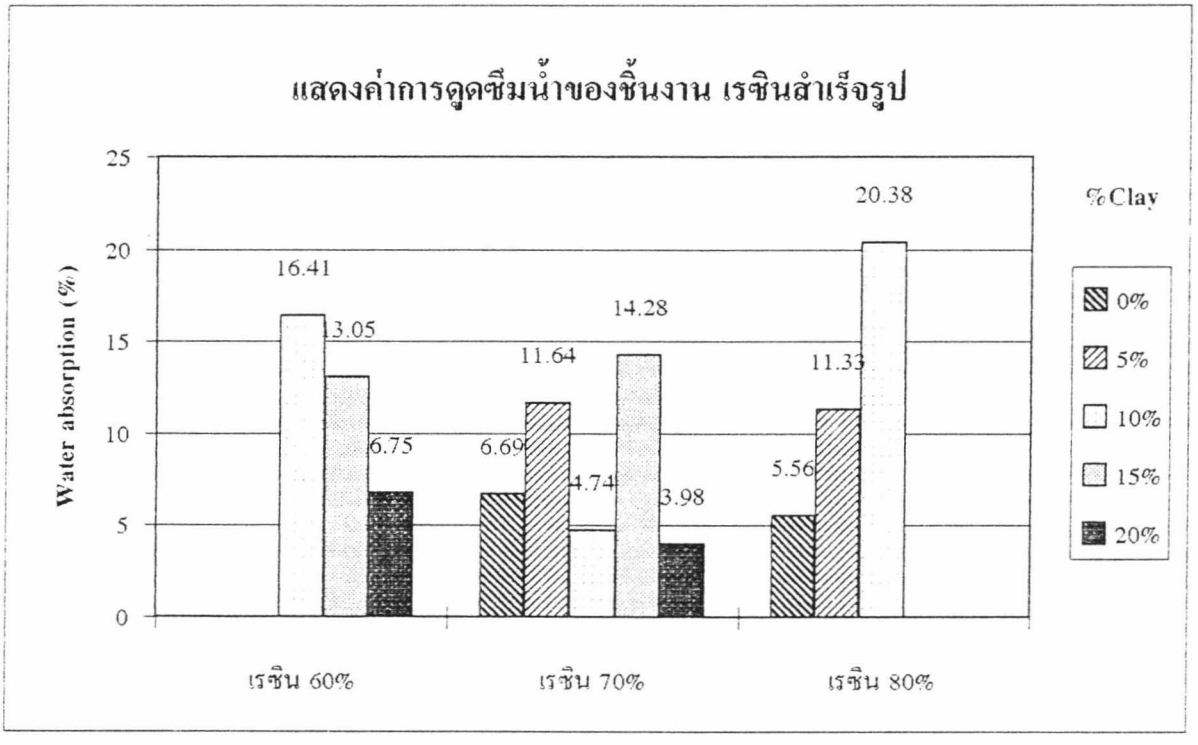
4.6 ค่าการดูดซึมน้ำ

จากรูป 4.6 และตารางที่ 28 - 33 (ภาคผนวก ข) พบว่าเมื่อปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของยูเรียและฟอร์มาลดีไฮด์สามารถเกิดขึ้นได้ภายในชั้นรูพรุนของดินเหนียว เป็นผลให้น้ำสามารถแทรกตัวผ่านเข้าไปได้ยาก โดยค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสังเคราะห์และเรซินสำเร็จรูปชนิดผง มีค่าอยู่ในช่วง 4-16 % และ 3-21 % ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัดแข็ง (ไม่เกิน30%)

หมายเหตุ

การที่ไม่สามารถทำการขึ้นรูปชิ้นงานอัตราส่วน (เรซิน : ดิน : หญ้า) 60 : 0 : 40 และ 60 : 5 : 35 ได้เนื่องจากปริมาณเรซินน้อยเกินไป ทำให้การผสมไม่ดีเท่าที่ควร และเมื่อทำการทดลองขึ้นรูปอัตราส่วน 80 : 15 : 5 พบว่ามีเรซินส่วนเกินไหลล้นออกจากแม่พิมพ์ทำให้อัตราส่วนผิดพลาด ดังนั้นจึงไม่ทำการทดลองเนื่องจากสาเหตุดังกล่าว





รูปที่ 4.6 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นใยไม้อัดที่มีอัตราส่วนต่างๆ กัน

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะภายนอกของแผ่นใยไม้อัดที่มีดินเหนียวและไม่มีดินเหนียวเป็นส่วนผสม พบว่าแผ่นใยไม้อัดที่มีดินเหนียวมีความเรียบ และมีการจัดเรียงตัวของเส้นใยดีกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีดินเหนียว แผ่นใยไม้อัดจะมีสีขาวนวลเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้น และความมันเงาเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของเรซิน

จากการที่แผ่นใยไม้อัดที่ได้จากเรซินสำเร็จรูปชนิดผงซึ่งใช้ในอุตสาหกรรม มีค่ามอดูลัสแตกร้าวต่ำกว่ามาตรฐานมากนั้น อาจมีสาเหตุจากขั้นตอนในการเตรียมแผ่นใยไม้อัดที่แตกต่างจากกรรมวิธีทางอุตสาหกรรมทั้งขั้นตอนการเตรียมเยื่อ การผสม และการขึ้นรูป

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน อัตราส่วน 1 : 2 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณดิน ค่าความหนาแน่นและความแข็งของแผ่นใยไม้อัดจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความชื้น การดูดซึมน้ำและการขยายตัวตามความหนามีค่าลดลง โดยเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัดแข็งทั้งหมด

สำหรับค่ามอดูลัสแตกร้าวต่ำกว่ามาตรฐานอุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัดแข็ง (มากกว่า 35 เมกะปาสคาล) โดยมีความสัมพันธ์แปรผันโดยตรงกับปริมาณดิน แต่มีค่าสูงสุดที่สัดส่วนดินเหมาะสมค่าหนึ่ง คือร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นค่ามอดูลัสแตกร้าวจะมีความสัมพันธ์แปรผกผันกับปริมาณดิน แต่อย่างไรก็ตามแผ่นใยไม้อัดที่มีดินเป็นส่วนผสม จะมีค่าสมบัติเหล่านี้ดีกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีดินเป็นส่วนผสม เนื่องจากดินช่วยในการกระจายตัวของเส้นใยดอกหญ้าสลาบหลวงในเรซินได้ดี ทำให้แผ่นใยไม้อัดมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันจึงมีความแข็งแรง และความสามารถในการกระจายแรงดีขึ้น นอกจากนี้ลักษณะโครงสร้างของดินที่เป็นโพรง ยังช่วยให้การระบายความชื้นดีขึ้น และปฏิกิริยาเชื่อมโยงสามารถเกิดในโพรงให้โครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น

เมื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสำเร็จรูปชนิดผง พบว่าเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัดทั้งหมด ยกเว้นค่ามอดูลัสแตกร้าวที่ต่ำกว่ามาตรฐาน และเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสังเคราะห์ จะมีสมบัติทางกายภาพต่ำกว่า เนื่องจากเรซินสำเร็จรูปชนิดผงมีการเติมสารเติมแต่งอื่น ๆ เพื่อลดต้นทุนการผลิตนอกจากนี้อัตราส่วนยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ของเรซินสำเร็จรูปชนิดผงมีค่าอยู่ในช่วง 1:1.4 - 1:1.6 ซึ่งต่ำกว่าอัตราส่วนยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ของเรซินสังเคราะห์คือ 1 : 2 ทำให้ความแข็งแรงของแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสำเร็จรูปชนิดผงมีค่าต่ำกว่า เนื่องจากแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากอัตราส่วน 1 : 2 เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงมากกว่า

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ดำเนินการก่อนหน้านี้พบว่าดินเหนียวช่วยเพิ่มสมบัติทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัดให้ดีขึ้น ดังนี้ ความแข็งเพิ่มขึ้น 13.38% ค่ามอดูลัสแตกร้าวเพิ่มขึ้น 57.51% ความชื้นลดลง 6.71% การดูดซึมน้ำลดลง 3.15% และการขยายตัวตามความหนาลดลง 21.44% ในขณะที่ดินเหนียวจะช่วยเพิ่มสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ข้างต้นของแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซิน

สำเร็จรูปดังนี้ ความแข็งเพิ่มขึ้น 21.73 ค่ามอดูลัสแตกร้าวเพิ่มขึ้น 18.481% ความชื้นลดลง 14.42% การดูดซึมน้ำลดลง 1.87% และการขยายตัวตามความหนาลดลง 12.61% นอกจากนี้เมื่อสัดส่วนของดินเหนียวเป็น 15% จะได้แผ่นใยไม้อัดที่มีสมบัติทางกายภาพโดยรวมดีที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับปรุงประสิทธิภาพในการผสมเข้าสู่อุตสาหกรรม โดยใช้กระบวนการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Extruder ชนิด twin screw

2. ควรมีการศึกษาในการนำเส้นใยส่วนใบ และลำต้นของหญ้าสลาบหลวงมาพัฒนาเป็นวัตถุดิบในการเตรียมแผ่นใยไม้อัด

3. ควรมีการศึกษากรรมวิธีการผลิตแผ่นใยไม้อัดในระดับอุตสาหกรรม ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยโดยการแยกเยื่อ การผสมเรซินโดยการ spray และการขึ้นรูป

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. วิธีการคำนวณความเข้มข้นของเรซิน

ภาคผนวก ข. ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

ภาคผนวก ค. กรรมวิธีและเครื่องจักรกลที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นใยไม้อัด

ภาคผนวก ก.

วิธีการคำนวณความเข้มข้นของเรซิน

<u>อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1 : 2</u>

ยูเรีย 120 กรัม = 120/60 = 2 โมล

(มวลโมเลกุลของยูเรีย เท่ากับ 60)

ดังนั้นต้องใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ = 2 * 2 = 4 โมล

ฟอร์มัลดีไฮด์ 40% (w/v) คือ ในฟอร์มัลดีไฮด์ 100 มิลลิลิตร มีสาร

ฟอร์มัลดีไฮด์ 40 กรัม คิดเป็น 40/30 = 1.33 โมล

(มวลโมเลกุลของฟอร์มัลดีไฮด์ เท่ากับ 30)

ฟอร์มัลดีไฮด์ 1.33 โมล จากฟอร์มัลดีไฮด์ 100 มิลลิลิตร

ฟอร์มัลดีไฮด์ 4 โมล จากฟอร์มัลดีไฮด์ = (100 * 4) / 1.33 มิลลิลิตร

= 300.76 มิลลิลิตร

และจะมีจำนวนโมลของน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาควบแน่น เท่ากับจำนวนของฟอร์มัลดีไฮด์ที่เข้าทำปฏิกิริยา โดยกำหนดให้ฟอร์มัลดีไฮด์เข้าทำปฏิกิริยาทั้งหมด ดังนั้น

มีน้ำเกิดจากปฏิกิริยาเท่ากับ 4 โมล = 4*18 = 72 กรัม = 72 มิลลิลิตร

เนื่องจากฟอร์มัลดีไฮด์มีความหนาแน่น = 1.089 กรัมต่อ มิลลิลิตร

เพราะฉะนั้น ฟอร์มัลดีไฮด์ 1.089 กรัม มีปริมาตร 1 มิลลิลิตร

ฟอร์มัลดีไฮด์ 40 กรัม มีปริมาตร = (1*40)/1.089 มิลลิลิตร

= 36.73 มิลลิลิตร

ในฟอร์มัลดีไฮด์ 40% (w/v) จะมีฟอร์มัลดีไฮด์ = 40 กรัม = 36.73 มิลลิลิตร

เพราะฉะนั้น มีน้ำอยู่ = 100-36.73 = 63.27 มิลลิลิตร

ในฟอร์มัลดีไฮด์ 100 มิลลิลิตร มีน้ำ 63.27 มิลลิลิตร

ในฟอร์มัลดีไฮด์ 300.76 มิลลิลิตร มีน้ำ = (63.27 * 300.76) / 100

= 190.30 มิลลิลิตร

ดังนั้นจะมีน้ำทั้งหมดในปฏิกิริยา = น้ำจากฟอร์มัลดีไฮด์ + น้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาการควบแน่น

= 190.30 + 72 = 262.30 มิลลิลิตร

น้ำในปฏิกิริยา 262.30 มิลลิลิตร คิดเป็น 100 %

จากการวิจัย น้ำออกจากปฏิกิริยา 80 มิลลิลิตร คิดเป็น = (100*80) / 262.30

= 30.50 %

เพราะฉะนั้นเรซินมีความเข้มข้น 30.50 %

วิธีวัดความหนืดเรซิน

ปรับอุณภูมิของเรซินให้ได้ประมาณ 31-32 องศาเซลเซียส นำมาวัดความหนืดด้วยเครื่องบรูคฟิลด์ (Brookfield Viscometer) โดยเลือกใช้แกนหมุนและความเร็วรอบที่เหมาะสมกับความหนืดของเรซิน อ่านค่าที่ได้จากหน้าปัทม์ คำนวณค่าความหนืดของเรซินที่ได้

<u>ผลการทดสอบหาค่าความหนืดของเรซิน</u>

1. อัตราส่วน 1 : 2

   หัว LV 2 speed 30 rpm. factor 5

   ค่าที่อ่านได้ = 83.5

   Brookfield Viscosity = 83.5 * 5 = <u>417.5</u> cps.

2. อัตราส่วน 1 : 1.75

   หัว LV 2 speed 30 rpm. factor 10

   ค่าที่อ่านได้ = 90.5

   Brookfield Viscosity = 90.5 * 10 = <u>905</u> cps.

3. อัตราส่วน 1 : 1.5

   หัว LV 1 speed 12 rpm. factor 25

   ค่าที่อ่านได้ = 61.5

   Brookfield Viscosity = 61.5 * 25 = <u>1537.5</u> cps.

4. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง

   หัว LV 1 speed 0.6 rpm. factor 100

   ค่าที่อ่านได้ = 28.5

   Brookfield Viscosity = 28.5 * 100 = <u>2850</u> cps.

ปฏิกิริยาข้างเคียง

ปฏิกิริยา <u>Cannizzaro</u> พบในสารประกอบอัลดีไฮด์ที่ไม่มี α-hydrogen เช่น ฟอร์มาลดีไฮด์ในสารละลายเบส

$$HCHO \xrightarrow{NaoH} HCH_2OH + HCO_2Na$$

ภาคผนวก ข.

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของชิ้นทดสอบ

ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น

ตาราง 1. ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	ความหนาแน่น (kg/m^3)	
		เรซินเตรียม	เรซินสำเร็จ
60 : 10 : 30	1	1045.18	992.67
	2	1029.04	1002.53
	3	1054.90	1013.14
	เฉลี่ย	1043.04	1002.78
60 : 15 : 25	1	1037.87	1110.63
	2	1061.77	1009.21
	3	1060.01	1004.91
	เฉลี่ย	1053.22	1041.58
60 : 20 : 20	1	1114.48	1035.96
	2	1138.12	1112.36
	3	1143.52	1030.71
	เฉลี่ย	1132.04	1059.68

ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น

ตาราง 2. ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	ความหนาแน่น (kg/m^3)	
		เรซินเตรียม	เรซินสำเร็จ
70 : 0 : 30	1	904.91	972.19
	2	969.92	937.05
	3	989.97	996.47
	เฉลี่ย	954.93	968.57
70 : 5 : 25	1	1052.29	1000.55
	2	1153.06	1042.95
	3	1200.53	1025.50
	เฉลี่ย	1135.29	1023.00
70 : 10 : 20	1	1146.90	1109.96
	2	1110.62	1057.96
	3	1153.59	1059.44
	เฉลี่ย	1137.04	1075.79
70 : 15 : 15	1	1158.12	972.89
	2	1140.08	993.61
	3	1143.56	971.18
	เฉลี่ย	1147.25	979.23
70 : 20 : 10	1	1167.72	982.59
	2	1175.88	998.29
	3	1160.43	987.64
	เฉลี่ย	1168.01	989.51

ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น

ตาราง 3. ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	ความหนาแน่น (kg/m^3)	
		เรซินเตรียม	เรซินสำเร็จ
80 : 0 : 20	1	945.36	926.35
	2	1027.79	973.51
	3	1065.53	902.33
	เฉลี่ย	1012.89	934.06
80 : 5 : 15	1	1191.56	953.98
	2	1139.60	962.63
	3	1015.58	961.16
	เฉลี่ย	1115.58	959.26
80 : 10 : 10	1	940.74	959.17
	2	924.40	894.27
	3	979.19	884.08
	เฉลี่ย	948.11	912.51

ผลการทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว

ตาราง 4. เรซินสังเคราะห์ สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	กว้าง (mm)	หนา (mm)	แรงกดสูงสุด (N)	ค่ามอดุลัสแตกร้าว (MPa)
60 : 10 : 30	1	48.8	9.9	274.4	8.61
	2	49	9.7	328.3	10.68
	3	48.9	9.8	362.6	11.58
	เฉลี่ย				10.29
60 : 15 : 25	1	48.8	9.8	318.5	10.19
	2	48.6	9.5	298.9	10.22
	3	48.9	9.7	333.2	10.86
	เฉลี่ย				10.43
60 : 20 : 20	1	48.2	9.7	122.5	4.05
	2	48.3	9.7	168.6	5.56
	3	48.4	9.7	147.0	4.48
	เฉลี่ย				4.82

ผลการทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว

ตาราง 5. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	กว้าง (mm)	หนา (mm)	แรงกดสูงสุด (N)	ค่ามอดุลัสแตกร้าว (MPa)
60 : 10 : 30	1	49.3	10.6	99.96	2.71
	2	49.4	10.1	154.84	4.61
	3	49.6	10.8	134.26	3.48
	เฉลี่ย				3.60
60 : 15 : 25	1	49.6	9.9	127.4	3.93
	2	49.7	10.7	147.0	3.88
	3	49.7	10.8	174.4	4.51
	เฉลี่ย				4.11
60 : 20 : 20	1	49.1	10.2	147.1	4.17
	2	49.3	10.1	159.7	4.76
	3	49.7	10.6	122.5	3.29
	เฉลี่ย				4.08

ผลการทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว

ตาราง 6. เรซินสังเคราะห์ สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	กว้าง (mm)	หนา (mm)	แรงกดสูงสุด (N)	ค่ามอดุลัสแตกร้าว (MPa)
70 : 0 : 30	1	49.7	9.7	279.3	8.96
	2	48.8	9.5	298.9	10.24
	3	48.8	9.8	274.7	8.78
	เฉลี่ย				9.33
70 : 5 : 25	1	49	10.1	392.0	11.76
	2	49.2	9.6	377.3	12.48
	3	49.1	9.6	308.7	10.23
	เฉลี่ย				11.49
70 : 10 : 20	1	49.6	9.4	294.0	10.06
	2	49.6	9.5	343.0	11.49
	3	49.6	9.3	309.7	10.83
	เฉลี่ย				10.79
70 : 15 : 15	1	48.8	9.5	544.9	18.56
	2	49.5	9.4	520.4	17.85
	3	48.4	9.5	488.0	13.76
	เฉลี่ย				17.72
70 : 20 : 10	1	49.7	9.3	191.1	6.67
	2	48.5	9.2	247.9	9.06
	3	48.4	9.1	226.4	8.47
	เฉลี่ย				8.07

ผลการทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว

ตาราง 7. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	กว้าง (mm)	หนา (mm)	แรงกดสูงสุด (N)	ค่ามอดุลัสแตกร้าว (MPa)
70 : 0 : 30	1	49.5	10.6	247.9	6.69
	2	49.3	10.3	225.4	6.46
	3	49.7	10.3	147.0	4.18
	เฉลี่ย				5.78
70 : 5 : 25	1	49.6	10.4	220.5	6.17
	2	49.4	10.1	147.0	4.38
	3	49.5	10.4	192.1	5.38
	เฉลี่ย				5.31
70 : 10 : 20	1	49.6	10.0	250.0	7.59
	2	49.1	10.0	161.7	4.94
	3	49.7	10.3	237.2	6.75
	เฉลี่ย				6.42
70 : 15 : 15	1	49.5	10.2	179.3	5.22
	2	48.9	10.3	152.9	4.42
	3	49.5	10.2	163.7	4.72
	เฉลี่ย				4.80
70 : 20 : 10	1	49.6	10.7	250.6	6.63
	2	48.5	10.3	159.7	4.62
	3	49.7	10.2	199.9	5.80
	เฉลี่ย				5.68

ผลการทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว

ตาราง 8. เรซินสังเคราะห์ สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	กว้าง (mm)	หนา (mm)	แรงกดสูงสุด (N)	ค่ามอดุลัสแตกร้าว (MPa)
80 : 0 : 20	1	48.8	9.7	407.7	13.32
	2	48.6	9.8	421.4	13.54
	3	49.1	9.8	390.0	12.41
	เฉลี่ย				13.09
80 : 5 : 15	1	48	9.2	191.1	7.06
	2	48.2	9.3	211.7	7.62
	3	49.2	9.4	227.4	7.85
	เฉลี่ย				7.51
80 : 10 : 10	1	48.8	9.7	289.1	9.44
	2	48.1	9.9	303.8	9.67
	3	48.3	9.8	240.1	7.76
	เฉลี่ย				8.96

ผลการทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว

ตาราง 9. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	กว้าง (mm)	หนา (mm)	แรงกดสูงสุด (N)	ค่ามอดุลัสแตกร้าว (MPa)
80 : 0 : 20	1	49.5	10.3	147.0	4.20
	2	49.3	9.7	289.1	9.35
	3	48.9	10.0	273.4	8.39
	เฉลี่ย				7.31
80 : 5 : 15	1	49.6	10.6	192.1	5.17
	2	49.7	10.7	236.2	6.23
	3	49.6	10.4	278.3	7.78
	เฉลี่ย				6.39
80 : 10 : 10	1	49.9	10.3	135.2	3.83
	2	48.4	10.7	83.3	2.25
	3	49.8	10.5	110.7	3.03
	เฉลี่ย				3.04

ผลการทดสอบหาค่าความแข็ง

ตาราง 10. เรซินสังเคราะห์ สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	ความแข็ง (Shore D)					เฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
60 : 10 : 30	1	51	52	53	53.5	56.5	53.2
	2	57	60	57	54	59	57.4
	3	58	59.5	59	51.5	63.5	58.3
							56.30
60 : 15 : 25	1	61	61.5	58.5	57.5	62.5	60.2
	2	67.5	57	65	61.5	58.5	61.9
	3	56	60.5	60	60.5	58.5	59.1
							60.40
60 : 20 : 20	1	67	56	80.5	67	75	69.1
	2	59	61.5	70.5	60	64	63.0
	3	66	66.5	63.5	65	60.5	64.3
							65.47

ผลการทดสอบหาค่าความแข็ง

ตาราง 11. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	ความแข็ง (Shore D)					เฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
60 : 10 : 30	1	52	49	54.5	50	52.5	51.6
	2	55	44	46	58	49.5	50.5
	3	58	61	52	45.5	55	54.3
							52.10
60 : 15 : 25	1	60.5	64	42.5	47	52.5	53.5
	2	45.5	53	62	57	61.5	55.8
	3	55.5	60.5	55.5	53.5	48	54.6
							54.57
60 : 20 : 20	1	65.5	64.5	69	59	64	64.4
	2	56	61.5	57.5	63	69	61.4
	3	65	69	58.5	62	52	61.3
							62.37

ผลการทดสอบหาค่าความแข็ง

ตาราง 12. เรซินสังเคราะห์ สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	ความแข็ง (Shore D)					เฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
70 : 0 : 30	1	57	56.5	60	55.5	65	58.8
	2	60.5	56.5	57	64	65	60.6
	3	54.5	60	59	51	54	55.7
							58.37
70 : 5 : 25	1	72.5	74.5	68	64.5	65	68.9
	2	74	69.5	65.5	75.5	69.5	70.8
	3	67.5	67	62.5	67	71	67.0
							68.90
70 : 10 : 20	1	63.5	61	61	59.5	61	61.2
	2	63.5	63	67	60	71	64.9
	3	67	62.5	62.5	65.5	70	65.6
							63.87
70 : 15 : 15	1	57.5	61	51.5	60.5	70	60.1
	2	61.5	62	71.5	62.5	65	64.5
	3	77	76.5	75	73.5	67.5	73.9
							66.17
70 : 20 : 10	1	80	71	69	69	66.5	71.1
	2	76	66.5	70	66	67	69.1
	3	74.5	61	60.5	67	68.5	66.3
							68.83

ผลการทดสอบหาค่าความแข็ง

ตาราง 13. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	ความแข็ง (Shore D)					เฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
70 : 0 : 30	1	60.5	62	66	64	64.5	63.4
	2	66	65.5	63.5	59.5	60	62.9
	3	59	71	58	54.5	55	59.5
							61.93
70 : 5 : 25	1	66	61	68	75	65	67
	2	60	73.5	67	71	75	69.3
	3	60.5	67	63	66.5	62	63.8
							66.70
70 : 10 : 20	1	58.5	69	53.5	62	56.5	59.9
	2	64	72	68.5	69.5	65.5	67.9
	3	55.5	61.5	58.5	56.5	59	58.2
							62.00
70 : 15 : 15	1	72.5	56	55	72	66.5	64.4
	2	51.5	57	53	58	54	54.7
	3	52	52.5	51	52	61	53.7
							57.60
70 : 20 : 10	1	73.5	66.5	62.5	74	61	67.5
	2	70.5	65	64.5	68.5	68	67.3
	3	68.5	79.5	73	78	69	73.6
							69.47

ผลการทดสอบหาค่าความแข็ง

ตาราง 14. เรซินสังเคราะห์ สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	ความแข็ง (Shore D)					เฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
80 : 0 : 20	1	63	62	65.5	64.5	63	63.6
	2	66	63	63.5	69	58.5	64.0
	3	59	57	64	61	63	60.8
							62.80
80 : 5 : 15	1	68	60	70.5	66	62	65.3
	2	62	64	68	63	70.5	65.5
	3	67	64	65	60	69	65.0
							65.27
80 : 10 : 10	1	65	59	59	65.5	57	61.1
	2	62	52.5	65.5	66.5	54.5	60.2
	3	71	61	67.5	56	70	65.1
							62.13

ผลการทดสอบหาค่าความแข็ง

ตาราง 15. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	ความแข็ง (Shore D)					เฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
80 : 0 : 20	1	63.5	67.5	57	56	60.5	60.9
	2	52.5	67.5	52	57	60	57.8
	3	65	50	62.5	59.5	55	58.4
							59.03
80 : 5 : 15	1	67.5	60	72.5	64	63	65.4
	2	68	69.5	71.5	62	66	67.4
	3	58	57	63	75	64	63.4
							65.4
80 : 10 : 10	1	69.5	51	51	67.5	69.5	61.7
	2	56	57.5	58	56.5	60	57.6
	3	69	64.5	54	57	73	63.5
							60.97

ผลการทดสอบหาค่าความชื้น

ตาราง 16. เรซินสังเคราะห์ สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	น้ำหนัก (g)		ค่าความชื้น (ร้อยละ)
		ก่อนอบ	หลังอบ	
60 : 10 : 30	1	59.53	56.59	5.20
	2	58.97	56.72	3.97
	3	55.07	53.04	3.83
	เฉลี่ย			4.33
60 : 15 : 25	1	58.23	56.35	3.34
	2	59.18	57.16	3.53
	3	57.55	56.38	2.08
	เฉลี่ย			2.98
60 : 20 : 20	1	61.70	57.60	7.12
	2	64.20	61.41	4.54
	3	62.05	59.86	3.66
	เฉลี่ย			5.11

ผลการทดสอบหาค่าความชื้น

ตาราง 17. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	น้ำหนัก (g)		ค่าความชื้น (ร้อยละ)
		ก่อนอบ	หลังอบ	
60 : 10 : 30	1	68.68	65.14	5.44
	2	66.81	63.02	6.02
	3	68.84	64.96	5.98
	เฉลี่ย			5.81
60 : 15 : 25	1	65.15	62.37	4.46
	2	64.06	61.98	3.36
	3	63.83	62.04	2.89
	เฉลี่ย			3.57
60 : 20 : 20	1	62.26	60.48	2.94
	2	60.49	58.73	2.99
	3	61.12	59.55	2.64
	เฉลี่ย			2.86

ผลการทดสอบหาค่าความชื้น

ตาราง 18. เรซินสังเคราะห์ สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	น้ำหนัก (g)		ค่าความชื้น (ร้อยละ)
		ก่อนอบ	หลังอบ	
70 : 0 : 30	1	53.17	50.69	4.89
	2	53.00	49.95	6.11
	3	54.77	52.42	4.48
	เฉลี่ย			5.16
70 : 5 : 25	1	66.41	60.95	8.96
	2	60.22	56.83	5.97
	3	63.33	59.47	6.49
	เฉลี่ย			7.14
70 : 10 : 20	1	64.02	59.09	8.34
	2	62.01	57.44	7.96
	3	61.50	56.79	8.29
	เฉลี่ย			8.20
70 : 15 : 15	1	61.60	58.15	5.93
	2	57.39	55.05	4.25
	3	55.79	53.66	3.97
	เฉลี่ย			4.72
70 : 20 : 10	1	59.25	55.72	6.34
	2	60.51	57.06	6.05
	3	57.95	55.59	4.25
	เฉลี่ย			5.55

ผลการทดสอบหาค่าความชื้น

ตาราง 19. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	น้ำหนัก (g)		ค่าความชื้น (ร้อยละ)
		ก่อนอบ	หลังอบ	
70 : 0 : 30	1	61.33	56.62	8.32
	2	59.95	55.07	8.86
	3	61.06	56.65	8.86
	เฉลี่ย			8.68
70 : 5 : 25	1	62.38	58.21	7.16
	2	61.45	57.69	6.52
	3	63.46	59.76	6.19
	เฉลี่ย			6.62
70 : 10 : 20	1	63.82	59.88	6.58
	2	62.32	58.57	6.40
	3	62.20	58.60	6.14
	เฉลี่ย			6.37
70 : 15 : 15	1	59.33	53.14	11.65
	2	58.22	53.34	9.15
	3	59.66	54.63	9.21
	เฉลี่ย			10.00
70 : 20 : 10	1	60.56	57.93	4.54
	2	61.90	58.74	5.38
	3	64.16	60.66	5.77
	เฉลี่ย			5.23

ผลการทดสอบหาค่าความชื้น

ตาราง 20. เรซินสังเคราะห์ สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	น้ำหนัก (g)		ค่าความชื้น (ร้อยละ)
		ก่อนอบ	หลังอบ	
80 : 0 : 20	1	60.05	54.71	9.76
	2	56.38	52.24	7.93
	3	52.70	49.07	7.40
	เฉลี่ย			8.36
80 : 5 : 15	1	55.22	51.36	7.52
	2	57.88	53.42	8.34
	3	55.53	52.11	6.56
	เฉลี่ย			7.47
80 : 10 : 10	1	51.41	48.81	5.33
	2	51.15	47.97	6.63
	3	51.95	49.08	5.85
	เฉลี่ย			5.94

ผลการทดสอบหาค่าความชื้น

ตาราง 21. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	น้ำหนัก (g)		ค่าความชื้น (ร้อยละ)
		ก่อนอบ	หลังอบ	
80 : 0 : 20	1	56.69	51.35	10.40
	2	55.04	51.45	6.98
	3	54.18	51.36	5.49
	เฉลี่ย			7.62
80 : 5 : 15	1	51.60	48.77	5.80
	2	57.14	52.96	7.89
	3	57.30	52.97	8.17
	เฉลี่ย			7.29
80 : 10 : 10	1	57.86	54.39	6.38
	2	56.96	53.37	6.73
	3	56.42	52.62	7.22
	เฉลี่ย			6.78

ผลการทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา

ตาราง 22. เรซินสังเคราะห์ สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	ความหนา (mm)		การขยายตัวตามความหนา (%)
		ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	
60 : 10 : 30	1	9.05	9.36	3.43
	2	9.75	10.00	2.56
	3	9.46	9.69	2.43
	เฉลี่ย			2.81
60 : 15 : 25	1	9.18	9.37	2.07
	2	8.90	9.01	1.24
	3	9.14	9.19	0.55
	เฉลี่ย			1.29
60 : 20 : 20	1	8.92	9.06	1.57
	2	9.25	9.43	1.95
	3	9.32	9.62	3.22
	เฉลี่ย			2.25

ผลการทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา

ตาราง 23. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	ความหนา (mm)		การขยายตัวตามความหนา (%)
		ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	
60 : 10 : 30	1	10.16	10.51	3.42
	2	9.94	10.36	4.26
	3	10.24	10.55	2.99
	เฉลี่ย			3.56
60 : 15 : 25	1	10.08	11.15	0.63
	2	10.86	11.05	1.75
	3	10.92	11.09	1.56
	เฉลี่ย			1.31
60 : 20 : 20	1	10.06	10.16	0.99
	2	10.60	10.68	0.75
	3	10.09	10.18	0.89
	เฉลี่ย			0.88

ผลการทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา

ตาราง 24. เรซินสังเคราะห์ สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	ความหนา (mm)		การขยายตัวตามความหนา (%)
		ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	
70 : 0 : 30	1	8.82	9.13	3.51
	2	9.06	9.37	3.42
	3	9.26	9.55	3.13
	เฉลี่ย			3.35
70 : 5 : 25	1	9.23	9.47	2.60
	2	8.90	9.09	2.13
	3	8.83	9.24	4.64
	เฉลี่ย			3.12
70 : 10 : 20	1	9.37	9.57	2.13
	2	9.71	9.91	2.06
	3	9.55	9.76	2.20
	เฉลี่ย			2.13
70 : 15 : 15	1	9.11	9.32	2.31
	2	9.47	9.57	1.06
	3	9.36	9.52	1.07
	เฉลี่ย			1.48
70 : 20 : 10	1	8.82	9.18	4.08
	2	9.27	9.52	2.70
	3	8.92	9.00	0.90
	เฉลี่ย			2.56

ผลการทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา

ตาราง 25. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	ความหนา (mm)		การขยายตัวตามความหนา (%)
		ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	
70 : 0 : 30	1	10.27	10.57	2.92
	2	9.85	9.97	1.22
	3	9.90	10.74	8.48
	เฉลี่ย			4.21
70 : 5 : 25	1	10.03	10.15	1.20
	2	11.05	11.40	3.17
	3	11.08	11.13	3.16
	เฉลี่ย			2.51
70 : 10 : 20	1	10.80	10.85	0.46
	2	9.89	10.02	1.31
	3	10.28	10.37	0.88
	เฉลี่ย			0.88
70 : 15 : 15	1	10.48	10.60	1.15
	2	10.95	11.08	1.19
	3	10.75	10.89	1.30
	เฉลี่ย			1.21
70 : 20 : 10	1	10.73	10.77	0.37
	2	10.03	10.06	0.30
	3	9.93	10.02	0.91
	เฉลี่ย			0.53

ผลการทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา

ตาราง 26. เรซินสังเคราะห์ สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	ความหนา (mm)		การขยายตัวตามความหนา (%)
		ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	
80 : 0 : 20	1	9.37	9.77	4.27
	2	9.42	9.50	0.85
	3	9.32	9.38	0.64
	เฉลี่ย			1.92
80 : 5 : 15	1	8.96	9.21	2.79
	2	9.11	9.17	0.66
	3	8.95	9.09	1.56
	เฉลี่ย			1.67
80 : 10 : 10	1	9.17	8.92	2.29
	2	8.78	9.38	2.39
	3	8.92	8.86	2.13
	เฉลี่ย			2.27

ผลการทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา

ตาราง 27. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	ความหนา (mm)		การขยายตัวตามความหนา (%)
		ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	
80 : 0 : 20	1	10.17	10.23	0.59
	2	10.33	10.38	0.48
	3	10.42	10.50	0.77
	เฉลี่ย			0.61
80 : 5 : 15	1	10.23	10.32	0.91
	2	10.47	10.54	0.65
	3	10.11	10.22	1.05
	เฉลี่ย			0.87
80 : 10 : 10	1	10.20	10.42	2.16
	2	10.61	10.75	1.32
	3	10.89	11.05	1.47
	เฉลี่ย			1.65

ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ

ตาราง 28. เรซินสังเคราะห์ สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	น้ำหนัก (g)		ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
		ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	
60 : 10 : 30	1	53.04	62.27	17.40
	2	57.63	66.63	15.61
	3	54.91	62.09	13.08
	เฉลี่ย			15.36
60 : 15 : 25	1	57.16	61.32	7.28
	2	59.24	64.03	8.09
	3	60.02	64.03	7.66
	เฉลี่ย			7.68
60 : 20 : 20	1	61.41	65.33	6.38
	2	58.37	62.17	6.51
	3	60.36	65.20	8.02
	เฉลี่ย			6.97

ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ

ตาราง 29. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	น้ำหนัก (g)		ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
		ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	
60 : 10 : 30	1	64.32	75.86	17.94
	2	62.01	71.51	15.32
	3	62.98	73.04	15.98
	เฉลี่ย			16.41
60 : 15 : 25	1	62.37	70.57	13.15
	2	60.32	66.97	11.02
	3	64.38	74.02	14.97
	เฉลี่ย			13.05
60 : 20 : 20	1	60.48	64.31	6.33
	2	59.24	63.88	7.84
	3	63.21	67.06	6.09
	เฉลี่ย			6.75

ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ

ตาราง 30. เรซินสังเคราะห์ สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	น้ำหนัก (g)		ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
		ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	
70 : 0 : 30	1	49.95	54.97	10.05
	2	52.11	56.89	9.18
	3	52.18	58.79	12.66
	เฉลี่ย			10.63
70 : 5 : 25	1	56.83	61.03	7.39
	2	50.09	54.14	8.09
	3	55.23	59.46	7.66
	เฉลี่ย			7.71
70 : 10 : 20	1	56.79	60.59	6.69
	2	57.36	61.39	7.03
	3	54.32	57.13	5.18
	เฉลี่ย			6.30
70 : 15 : 15	1	58.15	62.16	6.90
	2	60.18	65.50	8.84
	3	62.91	68.53	8.94
	เฉลี่ย			8.23
70 : 20 : 10	1	55.59	57.74	3.87
	2	57.60	59.90	4.00
	3	53.14	55.59	4.61
	เฉลี่ย			4.16

ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ

ตาราง 31. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	น้ำหนัก (g)		ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
		ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	
70 : 0 : 30	1	56.62	60.60	7.03
	2	58.32	63.00	8.02
	3	59.01	61.97	5.01
	เฉลี่ย			6.69
70 : 5 : 25	1	58.21	64.84	11.39
	2	56.32	62.62	11.54
	3	60.14	67.36	12.00
	เฉลี่ย			11.64
70 : 10 : 20	1	58.57	61.38	4.80
	2	59.68	62.72	5.09
	3	61.14	63.78	4.32
	เฉลี่ย			4.74
70 : 15 : 15	1	53.14	61.54	15.81
	2	55.32	61.47	11.11
	3	57.18	66.28	15.92
	เฉลี่ย			14.28
70 : 20 : 10	1	60.66	62.90	3.69
	2	60.01	62.89	4.80
	3	64.32	66.53	3.44
	เฉลี่ย			3.98

ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ

ตาราง 32. เรซินสังเคราะห์ สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	น้ำหนัก (g)		ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
		ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	
80 : 0 : 20	1	49.07	54.00	10.05
	2	51.08	56.74	11.09
	3	53.91	60.98	13.12
	เฉลี่ย			11.42
80 : 5 : 15	1	51.36	55.45	7.96
	2	54.44	58.86	8.11
	3	50.91	54.13	6.32
	เฉลี่ย			7.46
80 : 10 : 10	1	47.97	50.67	5.63
	2	50.02	51.69	3.34
	3	54.06	55.93	3.45
	เฉลี่ย			4.14

ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ

ตาราง 33. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน : ดิน : หญ้า	ชิ้นที่	น้ำหนัก (g)		ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
		ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	
80 : 0 : 20	1	51.36	53.94	5.02
	2	50.08	52.85	5.54
	3	49.02	52.02	6.12
	เฉลี่ย			5.56
80 : 5 : 15	1	52.97	58.28	10.02
	2	54.18	60.86	12.33
	3	55.76	62.25	11.64
	เฉลี่ย			11.33
80 : 10 : 10	1	52.62	65.40	24.29
	2	55.02	65.58	19.20
	3	50..98	59.98	17.66
	เฉลี่ย			20.38

ตารางสรุปผล

ตาราง 34. เรซินสังเคราะห์ สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน:ดิน:หญ้า	ชิ้นที่	ความหนาแน่น(kg/m^3)	มอดุลัสแตกร้าว (MPa)	ความแข็ง shore D	ความชื้น (%)	การขยายตัว (%)	การดูดซึมน้ำ (%)
60 : 10 : 30	1	1045.18	8.61	53.2	5.20	3.43	17.40
	2	1029.04	10.68	57.4	3.97	2.56	15.61
	3	1054.90	11.58	58.3	3.83	2.43	13.08
เฉลี่ย		1043.04	10.29	56.30	4.33	2.81	15.36
SD		10.67	1.24	2.22	0.62	0.44	1.77
60 : 15 : 25	1	1037.87	10.19	60.2	3.34	2.07	7.28
	2	1061.77	10.22	61.9	3.53	1.24	8.09
	3	1060.01	10.86	59.1	2.08	0.55	7.66
เฉลี่ย		1053.22	10.43	60.40	2.98	1.29	7.68
SD		10.88	0.31	1.15	0.64	0.62	0.33
60 : 20 : 20	1	1114.48	4.05	69.1	7.12	1.57	6.38
	2	1138.12	5.56	63	4.54	1.95	6.51
	3	1143.52	4.84	64.3	3.66	3.22	8.02
เฉลี่ย		1132.04	4.82	65.47	5.11	2.25	6.97
SD		12.61	0.62	2.62	1.47	0.71	0.74

ตารางสรุปผล

ตาราง 35. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 60% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน:ดิน:หญ้า	ชิ้นที่	ความหนาแน่น(kg/m^3)	มอดุลัสแตกร้าว (MPa)	ความแข็ง shore D	ความชื้น (%)	การขยายตัว (%)	การดูดซึมน้ำ (%)
60 : 10 : 30	1	992.67	2.71	51.6	5.44	3.42	17.94
	2	1002.53	4.61	50.5	6.02	4.26	15.32
	3	1013.14	3.48	54.3	5.98	2.99	15.98
เฉลี่ย		1002.78	3.60	52.10	5.81	3.56	16.41
SD		8.36	0.78	1.56	0.26	0.53	1.11
60 : 15 : 25	1	1110.63	3.93	53.5	4.46	0.63	13.15
	2	1009.21	3.88	55.8	3.36	1.75	11.02
	3	1004.91	4.51	54.6	2.89	1.56	14.97
เฉลี่ย		1041.58	4.11	54.57	3.57	1.31	13.05
SD		48.85	0.29	1.02	0.66	0.49	1.61
60 : 20 : 20	1	1035.96	4.17	64.4	2.94	0.99	6.33
	2	1112.36	4.76	61.4	2.99	0.75	7.84
	3	1030.71	3.29	61.3	2.64	0.89	6.09
เฉลี่ย		1059.68	4.08	62.37	2.86	0.88	6.75
SD		37.31	0.60	1.44	0.15	0.10	0.77

ตารางสรุปผล

ตาราง 36. เรซินสังเคราะห์ สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน:ดิน:หญ้า	ชิ้นที่	ความหนาแน่น(kg/m^3)	มอดุลัสแตกร้าว (MPa)	ความแข็ง shore D	ความชื้น (%)	การขยายตัว (%)	การดูดซึมน้ำ (%)
70 : 0 : 30	1	904.91	8.96	58.8	4.89	3.51	10.05
	2	969.92	10.24	60.6	6.11	3.42	9.18
	3	989.97	8.78	55.7	4.48	3.13	12.66
เฉลี่ย		954.93	9.33	58.37	5.16	3.35	10.63
SD		36.31	0.65	2.02	0.69	0.16	1.48
70 : 5 : 25	1	1052.29	11.76	68.9	8.96	2.60	7.39
	2	1153.06	12.48	70.8	5.97	2.13	8.09
	3	1200.53	10.23	67.0	6.49	4.64	7.66
เฉลี่ย		1135.29	11.49	68.90	7.14	3.12	7.71
SD		61.81	0.94	1.55	1.30	1.09	0.29
70 : 10 : 20	1	1146.90	10.06	61.2	8.34	2.13	6.69
	2	1110.62	11.49	64.9	7.96	2.06	7.03
	3	1153.59	10.83	65.5	8.29	2.20	5.18
เฉลี่ย		1137.04	10.79	63.87	8.20	2.13	6.30
SD		18.88	0.58	1.90	0.17	0.06	0.80
70 : 15 : 15	1	1158.12	18.56	60.1	5.93	2.31	6.90
	2	1140.08	17.85	64.5	4.25	1.06	8.84
	3	1143.56	16.76	73.9	3.97	1.07	8.94
เฉลี่ย		1147.25	17.72	66.17	4.72	1.48	8.23
SD		7.81	0.74	5.76	0.87	0.59	0.94
70 : 20 : 10	1	1167.72	6.67	71.1	6.34	4.08	3.87
	2	1175.88	9.06	69.1	6.05	2.70	4.00
	3	1160.43	8.47	66.3	4.25	0.90	4.61
เฉลี่ย		1168.01	8.07	68.83	5.55	2.56	4.16
SD		6.31	1.02	1.97	0.92	1.30	0.32

ตารางสรุปผล

ตาราง 37. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 70% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน:ดิน:หญ้า	ชิ้นที่	ความหนาแน่น(kg/m^3)	มอดุลัสแตกร้าว (MPa)	ความแข็ง shore D	ความชื้น (%)	การขยายตัว (%)	การดูดซึมน้ำ (%)
70 : 0 : 30	1	972.19	6.69	63.4	8.32	2.92	7.03
	2	937.05	6.46	62.9	8.86	1.22	8.02
	3	996.47	4.18	59.5	8.86	8.48	5.01
เฉลี่ย		968.57	5.78	61.93	8.68	4.21	6.69
SD		24.39	1.13	1.73	0.25	3.10	1.25
70 : 5 : 25	1	1000.55	6.17	67	7.16	1.20	11.39
	2	1042.95	4.38	69.3	6.52	3.17	11.54
	3	1025.50	5.38	63.8	6.19	3.16	12.00
เฉลี่ย		1023.00	5.31	66.70	6.62	2.51	11.64
SD		17.40	0.73	2.26	0.40	0.93	0.26
70 : 10 : 20	1	1109.96	7.59	59.9	6.58	0.46	4.80
	2	1057.96	4.94	67.9	6.40	1.31	5.09
	3	1059.44	6.75	58.2	6.14	0.88	4.32
เฉลี่ย		1075.79	6.42	62	6.37	0.88	4.74
SD		24.17	1.11	4.23	0.18	0.35	15.81
70 : 15 : 15	1	972.89	5.22	64.4	11.65	1.15	15.81
	2	993.61	4.42	54.7	9.15	1.19	11.11
	3	971.18	4.72	53.7	9.21	1.30	15.92
เฉลี่ย		979.23	4.80	57.60	10.00	1.21	14.28
SD		10.19	0.33	4.83	1.16	0.06	2.24
70 : 20 : 10	1	982.59	6.63	67.5	4.54	0.37	3.69
	2	998.29	4.62	67.3	5.38	0.30	4.80
	3	987.64	5.80	73.6	5.77	0.91	3.44
เฉลี่ย		989.51	5.68	69.47	5.23	0.53	3.98
SD		6.54	0.82	2.92	0.51	0.27	0.59

ตารางสรุปผล

ตาราง 38. เรซินสังเคราะห์ สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน:ดิน:หญ้า	ชิ้นที่	ความหนาแน่น(kg/m^3)	มอดุลัสแตกร้าว (MPa)	ความแข็ง shore D	ความชื้น (%)	การขยายตัว (%)	การดูดซึมน้ำ (%)
80 : 0 : 20	1	945.36	13.32	63.6	9.76	4.27	10.05
	2	1027.79	13.54	64	7.93	0.85	11.09
	3	1065.53	12.41	60.8	7.40	0.64	13.12
เฉลี่ย		1012.89	13.09	62.80	8.36	1.92	11.42
SD		50.18	0.49	1.42	1.01	1.66	1.27
80 : 5 : 15	1	1191.56	7.06	65.3	7.52	2.79	7.96
	2	1139.60	7.62	65.5	8.34	0.66	8.11
	3	1015.58	7.85	65	6.56	1.56	6.32
เฉลี่ย		1115.58	7.51	65.27	7.47	1.67	7.46
SD		73.82	0.33	0.24	0.73	0.87	0.81
80 : 10 : 10	1	940.74	9.44	61.1	5.33	2.29	5.63
	2	924.40	9.67	60.2	6.63	2.39	3.34
	3	979 19	7.76	65.1	5.85	2.13	3.45
เฉลี่ย		948.11	8.96	62.13	5.94	2.27	4.14
SD		22.97	0.85	2.13	0.53	0.11	1.05

ตารางสรุปผล

ตาราง 39. เรซินสำเร็จรูปชนิดผง สูตร 80% (โดยน้ำหนัก)

อัตราส่วน (%) เรซิน:ดิน:หญ้า	ชิ้นที่	ความหนาแน่น(kg/m^3)	มอดุลัสแตกร้าว (MPa)	ความแข็ง shore D	ความชื้น (%)	การขยายตัว (%)	การดูดซึมน้ำ (%)
80 : 0 : 20	1	926.35	4.20	60.9	10.40	0.59	5.02
	2	973.51	9.35	57.8	6.98	0.48	5.54
	3	902.33	8.39	58.4	5.49	0.77	6.12
เฉลี่ย		934.06	7.31	59.03	7.62	0.61	5.56
SD		29.57	2.24	1.34	2.06	0.12	0.45
80 : 5 : 15	1	953.98	5.17	65.4	5.80	0.91	10.02
	2	962.63	6.23	67.4	7.89	0.65	10.33
	3	961.16	7.78	63.4	8.17	1.05	11.64
เฉลี่ย		959.26	6.39	65.4	7.29	0.87	11.33
SD		3.78	1.07	1.63	1.06	0.17	0.97
80 : 10 : 10	1	959.17	3.83	61.7	6.38	2.16	24.29
	2	894.27	2.25	57.6	6.73	1.32	19.20
	3	884.08	3.03	63.5	7.22	1.47	17.66
เฉลี่ย		912.51	3.04	60.93	6.78	1.65	20.38
SD		33.26	0.65	2.47	0.34	0.37	2.85

ตาราง 40 แสดงค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นใยไม้อัด (ความหนา 4-10 มม.)

คุณสมบัติทางกายภาพ	แผ่นใยไม้อัดชนิด	
	แข็ง	ความหนาแน่นปานกลาง
1. ความหนาแน่น (kg/m^3)	800 - 1200	500 - 800
2. ความชื้น (%)	5 - 13	4 - 10
3. การดูดซึมน้ำ (%)	≤ 30	≤ 20
4. การขยายตัวตามความหนา (%)	≤ 20	≤ 8
5. มอดูลัสแตกร้าว (MPa)	≥ 35	≥ 20

ตาราง 41 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ของเรซินสังเคราะห์และเรซินสำเร็จรูปกับงานวิจัยก่อนหน้านี้

คุณสมบัติทางกายภาพ	เรซินสังเคราห์			เรซิน สำเร็จรูปชนิดผง		
	Previous	Present	%increase	Previous	Present	%increase
1. มอดูลัสแตกร้าว (MPa)	11.25	17.72	57.51	6.17	7.31	18.48
2. ความแข็ง (shore D)	60.77	68.90	13.38	57.07	69.47	21.73
3. ความชื้น (%)	9.69	2.98	-6.71	17.28	2.86	-14.42
4. การขยายตัวตามความหนา(%)	4.44	1.29	-3.15	2.40	0.53	-1.87
5. การดูดซึมน้ำ (%)	25.58	4.14	-21.44	16.59	3.98	-12.61

ภาคผนวก ค.

กรรมวิธีและเครื่องจักรกลที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นใยไม้อัด (3)

กรรมวิธีในการผลิตแผ่นใยไม้อัดมีแตกต่างอยู่หลายกรรมวิธี ดังนี้

1. การเตรียมวัตถุดิบ (Raw material preparation)

1.1 ในกรณีที่ใช้ไม้เป็นวัตถุดิบ

1.1.1 การปอกหรือลอกเปลือกไม้ (Debarking) ถ้าวัตถุดิบที่ใช้เป็นไม้ท่อนที่มีเปลือกติดอยู่ด้วยต้องทำการปอกหรือลอกเปลือกไม้ออกด้วยเครื่องปอกหรือลอกเปลือกไม้เสียก่อน และถ้าไม้นั้นสกปรก คือ มีดินโคลนหรือกรวดทรายติดอยู่มาก ก็ต้องทำความสะอาดด้วยน้ำ (Washing) เสียก่อนด้วย

1.1.2 การตัดไม้เป็นชิ้นเล็ก ๆ (Chipping) นำไม้ที่ปอกหรือลอกเปลือกทำความสะอาดแล้วมาตัดให้เป็นท่อนสั้นๆ พอเหมาะ แล้วป้อนเข้าเครื่องตัดไม้เป็นชิ้นเล็กๆ ชิ้นไม้เล็กๆที่ตัดได้เรียกว่า Chips

1.1.3 ถ้าวัตถุดิบที่ใช้เป็นเศษไม้บาง (Veneer waste) หรือเศษไม้จากโรงเลื่อย เช่น พวกปีกไม้ ริมไม้ ปลายไม้ และไม้เสียคลองหรือไม้ตัดทิ้ง (slabs, edgings, trimmings and cullpieces) จะต้องนำมาตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ด้วยเครื่องตัดไม้เป็นชิ้นที่เรียกว่า Hammermill หรือ Hog เสียก่อน

1.2 ในกรณีที่ไม่ใช้ไม้เป็นวัตถุดิบ

ในการผลิตแผ่นใยไม้อัดนั้น นอกจากจะใช้ไม้เป็นวัตถุดิบแล้ว ยังอาจใช้พืช หรือเศษพืชกสิกรรมบางชนิดเป็นวัตถุดิบได้อีกด้วย เช่น ชานอ้อย หรือ กากอ้อย (Bagasse) ฟางข้าว (Straw) ใยกาบมะพร้าว (Coconut fibers) และ ปอ (Jute& Kenaf) เป็นต้น ในกรณีที่ใช้พืช หรือเศษพืชกสิกรรมเป็นวัตถุดิบ การเตรียมวัตถุดิบก็ย่อมต้องใช้วิธีการและเครื่องจักรแตกต่างกันออกไปด้วย

2. การเตรียมเยื่อ (Pulp preparation)

การเตรียมเยื่อหรือแยกเยื่อนับว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการผลิตแผ่นใยไม้อัด การแยกเยื่อในการผลิตอาจแบ่งออกได้เป็น 4 วิธีใหญ่ๆ คือ

2.1 การแยกเยื่อโดยวิธีใช้พลังงานกล (Mechanical pulping)

วิธีนี้ใช้ไม้ท่อนที่เตรียมไว้ป้อนเข้าเครื่องขัดหรือหินขัด (Grind stone) ซึ่งหมุนอยู่ในน้ำ แรงขัดสีจะแยกท่อนไม้ออกเป็นเยื่อ (Mechanical or groundwood pulp) เครื่องแยกเยื่อโดยใช้แรงขัดสีที่ใช้กันมากเรียกว่า Pocket grinder เยื่อไม้ที่ได้ต้องนำไปคัดขนาด และทำความสะอาดเสียก่อน

2.2 การแยกเยื่อโดยวิธีใช้พลังงานความร้อนร่วมกับพลังงานกล (Thermalplus mechanical pulpin pulping) วิธีนี้ก่อนที่จะทำการแยกเยื่อต้องนำชิ้นไม้หรือชิ้นพืชมาทำ pretreatment เสียก่อน เช่น นำชิ้นไม้หรือพืชมาแช่น้ำ หรืออบด้วยไอน้ำร้อน ภายใต้ความดันหรือต้มกับสารเคมีบางชนิด โดยใช้ไอน้ำร้อนภายใต้ความดัน เป็นต้น ทั้งนี้ย่อมแล้วแต่ชนิดของไม้หรือพืชที่ใช้ และชนิดของแผ่นใยไม้อัดที่ต้องการผลิต การทำ Pretreatment ส่วนมากทำในหม้อต้ม (Steam Cooker) หรือเครื่อง Digester

เมื่อ Pretreatment เสร็จแล้ว นำชิ้นไม้หรือพืชทำการแยกเยื่อ (Defibering) ในเครื่องแยกเยื่อไม้ที่เรียกว่า Attrition mill (Disc refiner) แล้วทำการล้างเยื่อไม้ ในบางกรณีอาจจำเป็นต้องทำการย่อยเยื่อไม้ให้ละเอียดลงไปอีกด้วยเครื่อง Rollofiners, Jordan หรือ Disc refiner อื่นๆ แล้วจึงผสมน้ำลงในเยื่อเพื่อทำ Pulp suspension ขณะเดียวกันก็ผสมตัวยาหรือสารเคมีบางอย่าง (Sizing agents & additives) ลงไปด้วยเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตขึ้น ต่อจากนั้นจึงส่ง Pulp suspension ไปเข้าเครื่องทำแผ่น (Wet sheet - forming machine) ต่อไป

2.3 การแยกเยื่อไม้โดยกรรมวิธีทางเคมีร่วมกับพลังงานกล (Chemical plus mechanical process) วิธีนี้จะนำชิ้นไม้หรือพืชเข้าอบด้วยไอน้ำ ที่มีความร้อนและความดันสูงๆ ในหม้อนึ่งพิเศษ ที่เรียกว่า "Gun" หรือ High pressure vessel ชั่วขณะหนึ่ง จากนั้นเปิดวาล์วที่หม้อนึ่งเพื่อระบายความดันออกในทันที ชิ้นไม้หรือพืชในหม้อนึ่งจะระเบิดตัวออกเป็นเยื่อไม้นอกหม้อนึ่งด้วยแรงขยายตัวของไอน้ำ และร่วงลงผสมกับน้ำใน Stock chest จากนั้นถูกสูบผ่านเครื่องล้างเยื่อ (Washer) ไปเข้าเครื่องแยกหรือบดเยื่อ (Disc refiner) ให้ละเอียดอีกทีหนึ่งแล้วจึงผ่านไปเข้าเครื่องคัดขนาด (Screen)

สำหรับการผลิตแผ่นใยไม้อัดชนิด **Insulation board** มักใช้เยื่อไม้ที่เตรียมโดยวิธีใช้พลังงานกลที่เรียกว่า Mechanical or groundwood pulp ล้วนๆ หรือใช้เยื่อที่เตรียมโดยวิธีอื่นๆ มาผสมบ้าง นอกจากนี้อาจจำเป็นต้องบดเยื่อนี้ให้ละเอียดลงไปอีกด้วยเครื่อง Disc refiner จากนี้

ทำการคัดขนาดเยื่อ และผสมตัวยาปรับคุณภาพพืช (Sizing) แล้วจึงส่งเยื่อไปเข้าเครื่องทำแผ่น (Mat or sheet machine)

1. การผสมตัวยาเพื่อปรับปรุงคุณภาพ (Sizing)

การผสมตัวยาหรือสารเคมี (Sizing agents & additives) กับเยื่อก็เพื่อทำให้แผ่น Insulation board ที่ผลิตมีความต้านทานต่อการดูดน้ำและมีความแข็งแรงดีขึ้น ตัวยาหรือสารเคมีที่ใช้กันมากก็คือ Rosin, Paraffin และ Cumaron resin การผสมตัวยากับเยื่อไม้นั้นทำใน Mixing chest ก่อนที่เยื่อไม้จะผ่านไปเข้าเครื่องทำแผ่น

2. การทำแผ่น (Mat or sheet formation)

เยื่อที่ปนกับน้ำ (Pulp suspension) และมีตัวยาปรับปรุงคุณภาพผสมอยู่ด้วยในบริมาณที่เหมาะสม จะถูกส่งไปทำแผ่นในน้ำ (Wet felting) ด้วยเครื่องทำแผ่น เครื่องทำแผ่นในน้ำที่ใช้กันมากมี 3 ชนิด คือ Deckel boxes, Fourdrinier-type formers และ Vacuum cylinder formers แผ่นเยื่อไม้ที่ออกจากเครื่องทำแผ่นจะถูกส่ง เข้าเครื่องอัดเย็น เช่น Single - opening cold press หรือ Roll press เพื่อบีบหรือรีดเอาน้ำออกจนเหลือความชื้นประมาณ 50-60 เปอร์เซนต์ แล้วจึงส่งเข้าเครื่องอบแห้ง (Drier) ต่อไป

3. การอบแห้ง (Drying)

แผ่นเยื่อไม้ที่บีบเอาน้ำออกแล้วจะถูกส่งไปอบแห้งในเครื่องอบ โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 120-190 องศาเซลเซียส จนเหลือความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซนต์ ซึ่งใช้เวลาอบประมาณ 2-4 ชั่วโมง เครื่องอบแห้งที่ใช้กันมากมี 3 ชนิด คือ Tunnel kilns, Steam-platen driers และ Continuous roller driers แผ่นใยไม้อัดที่ออกจากเครื่องอบแห้ง เมื่อนำไปตัดริมให้เรียบร้อยและได้ขนาดมาตรฐานที่กำหนด ก็นับว่าเป็นแผ่นใยไม้อัดชนิด Insulation board ที่สมบูรณ์ สำหรับนำไปใช้ประโยชน์โดยทั่วๆ ไป (General purpose board)

4. กรรมวิธีเพิ่มเติม (Addition manufacturing operations)

กรรมวิธีเพิ่มเติมในการผลิตแผ่น Insulation board มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตแผ่น Insulation board สำหรับใช้ประโยชน์เฉพาะอย่าง โดยแผ่น Insulation board ที่ออกจากเครื่องอบแห้งจะถูกนำมาผ่านกรรมวิธีเพิ่มเติมอีกบางประการ เช่น ลงวัตถุรองพื้น เคลือบ สีเคลือบแลคเกอร์ อาบด้วยแอสฟัลท์ ทำร่องลิ้นหรือบากครึ่ง ทำร่องที่ผิวหน้า ทำเป็นแผ่นเล็ก ๆ สำหรับใช้บุผนังในอาคารหรือห้องที่ต้องการเก็บเสียงหรือเก็บความร้อน หนาว (Acoustical tiles) นอกจากนี้ในขณะที่ผลิตอาจผสมสารเคมีพิเศษบางชนิดลงในเยื่อเพื่อทำแผ่น Insulation board ชนิดพิเศษที่มีความต้านทานต่อการทำลายของแมลงและรา หรือที่มีความทนไฟ เป็นต้น

สำหรับการผลิตแผ่นใยไม้อัดชนิด Hardboard โดยทั่วไปทำการแยกและบดเยื่อด้วยวิธีใช้ความร้อนร่วมกับพลังงานกล หรือใช้กรรมวิธีเคมีร่วมกับพลังงานกล หรือวิธีระเบิดเยื่อไม้ด้วย ไอน้ำร้อน วิธีใดวิธีหนึ่งตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

1. การผสมตัวยาเพื่อปรับปรุงคุณภาพ (Sizing)

ในการผลิตแผ่น Hardboard ก็มีการใช้ตัวยาหรือสารเคมี เพื่อปรับปรุงคุณภาพ (Sizing agents &Additives) ผสมกับเยื่อเหมือนกัน ที่ใช้กันมากคือ Paraffin wax และ Phenolic resin นอกจากนี้ก็มีพวกน้ำมันชักแห้ง (Drying oil) ซึ่งใช้ในการผลิตแผ่น Hardboard โดยวิธีอัดแห้ง (Dry pressing)

2. การทำแผ่น (Mat or sheet forming)

การทำแผ่นในการผลิต Hardboard มี 2 วิธี คือ

2.1 การทำแผ่นในน้ำ (Wet felting)

วิธีนี้ใช้ในการผลิต Hardboard โดยกรรมวิธีเปียก (Wet process) การทำแผ่นในน้ำแป็นวิธีดั้งเดิมซึ่งใช้กันมาก มีวิธีการและใช้เครื่องจักรเช่นเดียวกับการทำแผ่นในน้ำ ในการผลิต Insulation board วิธีนี้มีข้อเสียอยู่บ้างเพราะต้องใช้น้ำจืดเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังอาจเกิดปัญหาในเรื่องการกำจัดน้ำเสียหรือน้ำเน่า (Water pollution) อีกด้วย

2.2 การทำแผ่นในอากาศ (Air felting)

วิธีนี้เป็นวิธีใหม่ และใช้ในการผลิต Hardboard ด้วยกรรมวิธีกึ่งแห้ง (Semi-dry process) หรือกรรมวิธีแห้ง (Dry process) กล่าวคือเยื่อที่ใช้ทำแผ่นนั้นแทนที่จะอยู่ในสภาพที่ผสมกับน้ำ (Pulp suspension) ก็จะต้องผ่านการอบให้แห้งพอสมควร คือ เหลือความชื้นอยู่ประมาณ 30% ลงมาเสียก่อน แล้วจึงผ่านมาเข้าเครื่องทำแผ่นในอากาศ (Air-felting unit or machine) ซึ่งจะโรยเยื่อไม้ที่แห้งนี้ลงบนแผ่นโลหะ (Metal cauls) ตามปริมาณที่กำหนดให้โดยสม่ำเสมอ แผ่นเยื่อที่ออกจากเครื่องทำแผ่นในอากาศในขั้นแรก จะถูกส่งไปอัดด้วยเครื่องอัดเย็น (Single-open cold press หรือ Roll press) เพื่อให้บางลงก่อนที่จะถูกส่งไปเข้าเครื่องอัดร้อนต่อไป วิธีทำแผ่นในอากาศนี้มีข้อดี คือ ช่วยลดปริมาณการใช้น้ำจืดลง และช่วยแก้ปัญหาการกำจัดน้ำเสียหรือน้ำเน่าได้ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอัดร้อน คือ ทำให้อัดแผ่นไม้ได้เร็วขึ้นอีกด้วย อย่างไรก็ตามวิธีทำแผ่นในอากาศไม่ปรากฏว่ามีผู้นำไปใช้ใน การผลิตแผ่น Insulating board

3. การอัดร้อน (Hot pressing)

การอัดร้อนมี 2 วิธีคือ

3.1 วิธีอัดแผ่นเยื่อที่มีความชื้นสูง (Wet pressing)

รองใต้แผ่นเยื่อไม้เพื่อให้ไอน้ำสามารถระบายจากแผ่นเยื่อไม้ ในขณะทำการอัด และโดยเหตุที่เยื่อไม้มีความชื้นมาก การอัดแผ่นเยื่อไม้แต่ละรอบการผลิตจึงต้องใช้เวลานานกว่าวิธีอัดแผ่นเยื่อไม้ที่แห้ง (Dry pressing) แผ่น Hardboard ที่อัดโดยวิธีนี้จะมีรอยพิมพ์ของแผ่นลวดตาข่ายปรากฏอยู่ที่ผิวหน้าด้านหนึ่ง (Screen- back board) เสมอ

3.2 วิธีอัดแผ่นเยื่อแห้ง (Dry pressing)

โดยเหตุที่เยื่อไม้มีความชื้นค่อนข้างต่ำ จึงสามารถอัดแผ่นเยื่อไม้ในระหว่างแผ่นโลหะ (Metal cauls) 2 แผ่นได้ โดยไม่ต้องใช้แผ่นลวดตาข่ายรอง และสามารถอัดแผ่นเยื่อไม้แต่ละรอบการผลิตได้เร็วกว่าวิธีแรก ด้วยแผ่น Hardboard ที่อัดโดยวิธีนี้มีผิวเรียบทั้ง 2 หน้า (S-2-S board)

การอัดร้อนทั้ง 2 วิธีนี้ใช้เครื่องอัดร้อนชนิดที่อัดได้ครั้งละหลายๆ แผ่น (Multi opening hydraulic hot press) ซึ่งให้ความร้อนด้วยไอน้ำ น้ำร้อน หรือไฟฟ้า

แผ่น Hardboard ที่ออกจากเครื่องอัดร้อน เมื่อนำไปตัดริมให้เรียบและได้ขนาดสม่ำเสมอกันตามที่กำหนดแล้ว ถือว่าเป็นแผ่นเยื่อไม้อัดแข็งมาตรฐาน (Standard hard board)

4. การปรับปรุงคุณภาพ (Quality improvements)

แผ่น Hardboard ที่ออกจากเครื่องอัดร้อน อาจนำไปผ่านกรรมวิธีปรับปรุงคุณภาพบางประการให้ดียิ่งขึ้นเป็นพิเศษได้ 2 วิธี คือ

4.1 การอบความร้อน (Heat treatment)

วิธีนี้เป็นการปรับปรุงคุณภาพในด้านเพิ่มความต้านทานต่อความชื้น และเพิ่มความแข็งแรงแก่แผ่น Hardboard มีวิธีการ คือ นำแผ่น Hardboard เข้าอบด้วยความร้อนในเครื่องอบ (Kiln or drier) โดยใช้อุณหภูมิสูงๆ เป็นเวลาหลายชั่วโมง เช่น ใช้อุณหภูมิ 155-160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เป็นต้น แผ่น Hardboard ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีนี้เรียกว่า แผ่นเยื่อไม้อัดแข็งชนิดอบความร้อน (Heat-treated hardboard)

4.2 การอาบน้ำมัน (Oil tempering)

การปรับปรุงคุณภาพแผ่น Hardboard โดยวิธีนี้นอกจากเพิ่มความแข็งแรงและความต้านทานต่อความชื้นแล้ว ยังทำให้แผ่นไม้มีความทนทานต่อภาวะเปลี่ยนแปลงของดินฟ้าอากาศ (Weathering) และภาวะสึกกร่อน (Abrasion) ในการใช้งานได้ดีขึ้นอีกด้วย มีวิธีการโดยย่อ คือนำแผ่น Hardboard ที่ออกจากเครื่องอัดร้อนลงจุ่มในน้ำมันชักแห้ง (Drying oil) ที่ร้อน แล้วนำเข้าอบในเครื่องอบโดยใช้อุณหภูมิสูง ๆ เป็นเวลาหลายชั่วโมง แผ่น Hardboard ที่ได้เรียกว่า แผ่นไม้อัดแข็งชนิดอาบน้ำมัน (Oil-tempered hardboard)

5. การให้ความชื้นหรือการปรับสภาวะความชื้น (Humidification or conditioning)

แผ่นเยื่อไม้อัดแข็งทั้งชนิดมาตรฐาน ชนิดอบความร้อนและชนิดอาบน้ำมันนั้น เมื่อผลิตออกมาใหม่ๆ จะมีความชื้นต่ำมาก หากนำไปใช้นานๆ เข้าก็จะดูดความชื้นจากอากาศเข้าไปทำให้มีขนาดเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ทั้งอาจบิดงอได้อีกด้วย ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องนำแผ่นเยื่อไม้อัดแข็งนี้มาผ่านกรรมวิธีให้ความชื้นในเครื่องให้ความชื้น (Humidifier) ซึ่งสามารถควบคุมสภาพของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) และการหมุนเวียนของอากาศภายในได้ตามต้องการ เพื่อให้แผ่นใยไม้อัดแข็งมีความชื้นประมาณ 8-12 เปอร์เซนต์ ก่อนนำออกสู่ตลาด วิธีนี้จะทำให้เยื่อไม้อัดมีความคงตัวหรืออยู่ตัว (Dimensional stability) ไม่เกิดการยืดหดหรือบิดงอเมื่อนำไปใช้ ตัวอย่างการให้ความชื้น เช่น นำแผ่นเยื่อไม้อัดเข้าอบในเครื่องให้ความชื้น โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 38-50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80-85 เปอร์เซนต์ เป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง เป็นต้น

6. กรรมวิธีเพิ่มเติม (Additional manufacturing operations)

กรรมวิธีเพิ่มเติมในการผลิตแผ่นใยไม้อัดแข็ง เพื่อใช้ประโยชน์เฉพาะอย่างมีวัตถุประสงค์เช่นเดียวกับการผลิตแผ่น Insulation board และอาจจะกระทำในขณะผลิตหรือจะกระทำเพิ่มเติมในภายหลังก็แล้วแต่กรณี ตัวอย่างเช่น การเคลือบสี การทำแผ่นใยไม้อัดแข็งชนิดมีผิวหน้าลวดลายต่างๆ (Textured surface) การปะผิวหน้าด้วยกระดาษพิมพ์เป็นลายต่าง ๆ (Paper overlaying) การทำแผ่นใยไม้อัดแข็งชนิดพรุน (Perfarated hardboard) การทำแผ่นใยไม้อัดแข็งชนิดผิวเป็นร่อง (Grooved surface) การทำแผ่นใยไม้อัดแข็งชนิดมีความทนทานต่อการทำลายของแมลงและเห็ดรา (Insect and fungus resistant hardboard) และชนิดทนไฟ (Fire resistant hardboard) เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

1. จุมพล คืนตัก, "ดิน"ใน เอกสารเศรษฐธรณีวิทยา เล่ม 19, กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี, 2531.
2. โชติ รักติประกรม, ไม้อัดและไม้ประดับ, พิมพ์ครั้งที่ 2, หน้า 38-49, คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, 2505.
3. ดุสิต พาณิชพัฒน์, "อุตสาหกรรมผลิตแผ่นไม้ประกอบในประเทศไทย" ใน จดหมายเหตุและสารคดี, บริษัท ศรีมหาราชา จำกัด, 2510.
4. ปรีชา เกียรติกระจาย, กาวและการยึดติดไม้, ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2531.
5. ปรีชา พหลเทพ, โพลีเมอร์, หน้า383-386, ภาควิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย รามคำแหง, 2530.
6. มาลี เตชะงามสุวรรณ, หทัยชนก นมรักษ์, การพัฒนาและการใช้คอกหญ้าสลาบหลวงในอุตสาหกรรมทำแผ่นใยไม้อัด, โครงงานพิเศษ ภาควิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์ สจล., 2537.
7. วราภรณ์ เอี่ยมลำน้ำ, ศุภชัย เทวะโรดม, การพัฒนาและการใช้คอกหญ้าสลาบหลวงในอุตสาหกรรมทำแผ่นใยไม้อัด, โครงงานพิเศษ ภาควิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์ สจล., 2536.
8. สุชาดา ศรีเพ็ญ, ไม้พรรณน้ำ, ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตร-ศาสตร์, 2530.
9. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัดแข็ง, มอก. 180-2532, กระทรวงอุตสาหกรรม, 2532.
10. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง, มอก. 966-2533, กระทรวงอุตสาหกรรม, 2533.
11. A.A.Moslemi, Particleboard, vol.1,Southen Illinois University Press,1976.
12. FAO.,Plywood and other Wood-Based Panels, vol. 5, Rome, 1965.
13. F.W.Billmeyer, Textbook of Polymer Science,3 rd.ed.,Chong Moh offset Printing Ptc.Ltd.
14. L.E. Akers, Particle Board and Hardboard, 1 st.ed.,vol.4,Great Britain, 1966.

15. M.Thomus, Modern particle Board and Dry Process Fiberboard Manufacturing, Sacfrancisco, 1977.

16. W.H.Browm,Particleboard in Building, Timber Research and Development Association, London, 1971.