สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การพัฒนาและการใช้ดอกหญ้าสลาบหลวงในอุตสาหกรรมทำแผ่นใยไม้อัด

นางสาว มาลี เตชะงามสุวรรณ

นางสาว ทัษชนก นมรักษ์

ปพ.
ม511ก
2536
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

612527506

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2536

# DEVELOPEMENT AND UTILIZATION OF *Typha angustifalia* IN FIBERBOARD INDUSTRY

Miss Malee Techagnamsuwan

Miss Hataichanok Namaruck

A Special Project Submitted in Partial Fufillment of the

Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1994

หัวข้อโครงงานพิเศษ การพัฒนาและการใช้คอกหญ้าสลาบหลวงในอุตสาหกรรมทำแผ่นใยไม้อัด

นักศึกษา นางสาว มาลี เดชะงามสุวรรณ

นางสาว หทัยชนก นมรักษ์

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนิตย์ สุขสำราญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัศวรัตน์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

---

(ผศ.ดร.นงนุช เภตรานุวัฒน์) รักษาการหัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการตรวจ-สอบโครงงานพิเศษ

---

(อ.ประเสริฐ คุณค้ำชู) กรรมการ

---

(อ.ชนุรักษ์ ปิติรักษ์สกุล) กรรมการ

สิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

| | |
|---|---|
| หัวข้อโครงงานพิเศษ | การพัฒนาและการใช้ดอกหญ้าสลาบหลวงในอุตสาหกรรมทำแผ่นไยไม้อัด |
| นักศึกษา | นางสาว มาลี เตชะงามสุวรรณ |
| | นางสาว ทัศชนก นมรักษ์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนิตย์ สุขสาราญ |
| | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัศวรัตน์ |
| ภาควิชา | เคมี |
| ปีการศึกษา | 2536 |


## บทคัดย่อ


การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นไยไม้อัด โดยใช้เส้นใยจากดอกหญ้าสลาบหลวง เป็นสารตัวเติมและยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินเป็นสารยึดติด เป็นประโยชน์ในการพัฒนาและการใช้วัสดุทดแทนไม้ ในการทดลองเป็นการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของแผ่นไยไม้อัดที่ได้จากการเตรียมยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการ กับเรซินสำเร็จรูปที่ใช้ในอุตสาหกรรม จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้เรซินที่มีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เป็น 1:1.5 , 1:1.75 และ 1:2 ใช้ดอกหญ้าสลาบหลวง 10 กรัม เมื่อปริมาตรของเรซินเท่ากับ 40 มิลลิลิตร จะได้แผ่นไยไม้อัดที่มีสมบัติทางกายภาพดีที่สุด คือ ความหนาแน่น , ความชื้น , การดูดซึมน้ำ และการขยายตัวตามความหนาเป็นไปตามมาตรฐานแผ่นไยไม้อัดแข็ง แต่ค่ามอดุลัสแตกร้าวต่ำกว่ามาตรฐานแผ่นไยไม้อัดแข็งมาก ส่วนเรซินสำเร็จรูปชนิดผงแม้จะให้ค่าความหนาแน่น , ค่าการดูดซึมน้ำ และ ค่าการขยายตัวตามความหนาเป็นไปตามมาตรฐานแผ่นไยไม้อัดแข็ง แต่ค่าเหล่านี้ยังต่ำกว่าค่าที่ได้จากการเตรียมเรซินในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ค่าความชื้นและค่ามอดุลัสแตกร้าวยังต่ำกว่ามาตรฐานแผ่นไยไม้อัดแข็ง เมื่อใช้เรซินสังเคราะห์ชนิด

เหลว ให้ค่าความชื้นและค่าการขยายตัวตามความหนาเป็นไปตามมาตรฐานแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง แต่ค่าความหนาแน่นและค่ามอดุลัสต่ำกว่ามาตรฐานแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง ส่วนค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่ามาตรฐาน

เมื่อเปรียบเทียบแผ่นใยไม้อัดจากเรซินที่เตรียมกับเรซินสำเร็จรูป พบว่าแผ่นใยไม้อัดจากเรซินที่เตรียมขึ้นมีความเรียบ มันเงา และมีการจัดเรียงตัวของเส้นใยดีกว่าเรซินสำเร็จรูป ลักษณะทั่วไปของแผ่นใยไม้อัดที่ใช้อัตราส่วนของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์สูง จะให้ลักษณะดีกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ใช้อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำ และเมื่อใช้ปริมาณของเรซินมาก จะได้แผ่นใยไม้อัดที่มีลักษณะดีกว่าเมื่อใช้ปริมาณของเรซินน้อย

| | |
|---|---|
| Special Project Title | Developement and utilization of *Typha angustifalia* in fiberboard industry |
| Name | Miss Malee Techangamsuwan |
| | Miss Hataichanok Namaruck |
| Special Project Adviser | Asst.Prof.Dr.Sunit Suksamrarn |
| | Asst.Prof.Dr.Theerawat Mongkolassawarat |
| Department | Chemistry |
| Academic Year | 1993 |


## Abstract

Urea-formaldehyde is one of the most wellknown thermosetting polymers. Its applications , generally ,confine to its characteristics, i.e. non-soluble,rigidity and also house-hold applications particularly finished table surface etc.

The present study is to develope a laboratory scale of synthesized urea-formaldehyde resin which incorporated by a type of cellulose fibre from T.augustifolia. Three comparation of urea to formaldehyde were investigated in comparison to commercial resin i.e. liquid glue and powder glue which were also filled with the same amount of fibre. Later ,the test samples were prepared under the same

conditions in a hot pressed to obtain a 3 mm.thin sheet. Then,the hardness, modulus of rupture, moisture content and sample expansion were measured according to the Thai test standard (TTS). It was found that , all the properties of fulled-ureaformaldehyde prepare in the laboratory enhance those properties except modulus of rupture in comparation to fulled-compound prepared from liquid glue and powder glue. In addition,the fibreboard obtained from synthesized resin gave better appearance in smooth , shiny and in fibre arrangement than the commercial resin. Thus,it shows a possibility to employ a high quality resin which synthesized in the laboratory and also the fibre from T.angustifolia can be used in replacing material from wood.

# กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงงานพิเศษ เรื่องการพัฒนาและการใช้ตอกหยั่งสลายหลวงในอุตสาหกรรมทำแผ่นใยไม้อัด สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้เสนอได้รับคำแนะนำและความกรุณาจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้เสนอขอกราบขอบพระคุณทุกท่าน ดังมีรายนาม ดังนี้

| | |
|---|---|
| ผศ.ดร.สุนิตย์ สุขสำราญ | อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ |
| ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัศวรัตน์ | อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ |
| อาจารย์ สุภารัตน์ จำปา | กรุณาให้คำปรึกษา |
| อาจารย์ ประเสริฐ คุณค้ำชู | กรุณาเป็นคณะกรรมการโครงงานพิเศษ |
| อาจารย์ อนุรักษ์ บิดิรักษ์สกุล | กรุณาเป็นคณะกรรมการโครงงานพิเศษ |
| คุณ ไชยพร อุ่นจิตติชัย | เอื้อเฟื้อเครื่องมือทดสอบหาค่ามอดุลัส |
| ( เจ้าหน้าที่กองวิจัยผลิตภัณฑ์ไม้ กรมป่าไม้ ) | |
| บริษัท ไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด | เอื้อเฟื้อเรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว |
| คุณ ดล รัตนรักษ์ | กรุณาให้ความรู้เกี่ยวกับเครื่อง DSC |

อนึ่งนอกจากบุคคลต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือจนโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี ทางผู้เสนอขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาไทย ก

บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาอังกฤษ ข

กิตติกรรมประกาศ ค

สารบัญตาราง ง

สารบัญรูป จ

สัญญลักษณ์ ฉ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 แผ่นใยไม้อัด 1

1.2 การนำแผ่นใยไม้อัดมาใช้ประโยชน์ 4

1.3 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ 4

1.4 ขอบเขตการวิจัย 5

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 หน้าสลาบหลวง 6

2.2 คุณสมบัติของยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน 8

2.3 การเตรียมยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินในระดับอุตสาหกรรม 8

2.4 เทคนิคการสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน 12

บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุเคมีที่ใช้ 16

3.2 เครื่องมือที่ใช้ 18

3.3 ขั้นตอนการทดลอง 19

3.3.1 การเตรียมหน้าสลาบหลวง 19

3.3.2 การเตรียมยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน 20

หน้า

3.3.3 การเกิดกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน
ของยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน 22
3.3.4 การทดสอบทางกายภาพของชิ้นตัวอย่าง 23
3.3.4.1 การหาค่าความหนาแน่น 23
3.3.4.2 การหาค่าความชื้น 24
3.3.4.3 การหาค่าการดูดซึมน้ำและการขยายตัวตามความหนา 24
3.3.4.4 การหาค่ามอดุลัสแตกร้าว 26
3.3.4.5 การหาค่าความแข็ง 28
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์
4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน
4.1.1 ความหนาแน่น 29
4.1.2 ความชื้น 31
4.1.3 การดูดซึมน้ำ 33
4.1.4 การขยายตัวตามความหนา 35
4.1.5 ค่ามอดุลัสแตกร้าว 37
4.1.6 ความแข็ง 39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุป 42
5.2 ข้อเสนอแนะ 43
ภาคผนวก 44
เอกสารอ้างอิง 93

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น
โดยมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:1.5 ____ 50

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น
โดยมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:1.75 ____ 51

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น
โดยมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:2 ____ 52

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น
ของเรซินสำเร็จรูปชนิดผง ____ 53

ตารางที่ 5 แสดงผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น
ของเรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว ____ 54

ตารางที่ 6 แสดงผลการทดสอบหาค่าความชื้น
โดยมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:1.5 ____ 55

ตารางที่ 7 แสดงผลการทดสอบหาค่าความชื้น
โดยมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:1.75 ____ 56

ตารางที่ 8 แสดงผลการทดสอบหาค่าความชื้น
โดยมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:2 ____ 57

ตารางที่ 9 แสดงผลการทดสอบหาค่าความชื้น
ของเรซินสำเร็จรูปชนิดผง ____ 58

ตารางที่ 10 แสดงผลการทดสอบหาค่าความชื้น
ของเรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว ____ 59

## สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า


ตารางที่ 11 แสดงผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ
โดยมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:1.5 ____ 60

ตารางที่ 12 แสดงผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ
โดยมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:1.75 ____ 61

ตารางที่ 13 แสดงผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ
โดยมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:2 ____ 62

ตารางที่ 14 แสดงผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ
ของเรซินสำเร็จรูปชนิดผง ____ 63

ตารางที่ 15 แสดงผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ
ของเรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว ____ 64

ตารางที่ 16 แสดงผลการทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา
โดยมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:1.5 ____ 65

ตารางที่ 17 แสดงผลการทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา
โดยมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:1.75 ____ 66

ตารางที่ 18 แสดงผลการทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา
โดยมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:2 ____ 67

ตารางที่ 19 แสดงผลการทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา
ของเรซินสำเร็จรูปชนิดผง ____ 68

ตารางที่ 20 แสดงผลการทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา
ของเรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว ____ 69

ตารางที่ 21 แสดงผลการทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว
โดยมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:1.5 ____ 70

## สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า


ตารางที่ 22 แสดงผลการทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว
โดยมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:1.75 ____ 71

ตารางที่ 23 แสดงผลการทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว
โดยมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:2 ____ 72

ตารางที่ 24 แสดงผลการทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว
ของเรซินสำเร็จรูปชนิดผง ____ 73

ตารางที่ 25 แสดงผลการทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว
ของเรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว ____ 74

ตารางที่ 26 แสดงผลการทดสอบหาค่าความแข็ง
โดยมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:1.5 ____ 75

ตารางที่ 27 แสดงผลการทดสอบหาค่าความแข็ง
โดยมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:1.75 ____ 76

ตารางที่ 28 แสดงผลการทดสอบหาค่าความแข็ง
โดยมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:2 ____ 77

ตารางที่ 29 แสดงผลการทดสอบหาค่าความแข็ง
ของเรซินสำเร็จรูปชนิดผง ____ 78

ตารางที่ 30 แสดงผลการทดสอบหาค่าความแข็ง
ของเรซินสำเร็จรูปเหลว ____ 79

ตารางที่ 31 แสดงการสรุปผลการทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์
ที่ใช้อัตราส่วน ยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:1.5 ____ 80

ตารางที่ 32 แสดงการสรุปผลการทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์
ที่ใช้อัตราส่วน ยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:1.75 ____ 81

## สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 33 แสดงการสรุปผลการทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้อัตราส่วน ยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:2 ---- 82

ตารางที่ 34 แสดงการสรุปผลการทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ของเรซินสำเร็จรูปชนิดผง ---- 83

ตารางที่ 35 แสดงการสรุปผลการทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ของเรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว ---- 84

ตารางที่ 36 แสดงค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นไม้อัด ---- 85

# สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1 ลักษณะของดอกหญ้าสลาบหลวง 19

รูปที่ 3.2 การเตรียมยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน 21

รูปที่ 3.3 เครื่องอัดความร้อน 22

รูปที่ 3.4 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว ความหนา ของชิ้นทดสอบ 23

รูปที่ 3.5 การทดสอบมอดุลัสแตกร้าว 27

รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบหามอดุลัสแตกร้าว 27

รูปที่ 3.7 เครื่องวัดค่าความแข็ง 28

รูปที่ 4.1 แสดงค่าความหนาแน่นของแผ่นใยไม้อัดที่มีสภาวะการผลิตต่างๆ กัน 30

รูปที่ 4.2 แสดงค่าความชื้นของแผ่นใยไม้อัดที่มีสภาวะการผลิตต่างๆ กัน 32

รูปที่ 4.3 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นใยไม้อัดที่มีสภาวะการผลิตต่างๆ กัน 34

รูปที่ 4.4 แสดงค่าการขยายตัวตามความหนาของแผ่นใยไม้อัด
ที่มีสภาวะการผลิตต่างๆ กัน 36

รูปที่ 4.5 แสดงค่ามอดุลัสแตกร้าวของแผ่นใยไม้อัดที่มีสภาวะการผลิตต่างๆ กัน 38

รูปที่ 4.6 แสดงค่าความแข็งของแผ่นใยไม้อัดที่มีสภาวะการผลิตต่างๆ กัน 40

## สัญญลักษณ์

| | | |
|---|---|---|
| g | หมายถึง | กรัม |
| $kg/m^3$ | หมายถึง | กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร |
| lb/cu.ft. | หมายถึง | ลิตรต่อลูกบาศก์ฟุต |
| 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

เนื่องจากในปัจจุบันความต้องการใช้ไม้ เพื่อนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีเพิ่มขึ้นประกอบกับพื้นที่ป่าไม้ของประเทศได้ลดจำนวนลงอย่างรวดเร็ว จนทำให้รัฐบาลต้องประกาศปิดป่า ในปี พ.ศ.2532 นั้น จึงได้มีการพัฒนาหาวัสดุต่างๆ เพื่อนำมาใช้แทนไม้อัด แผ่นใยไม้อัด (Fiberboard) เป็นวัสดุที่สำคัญอย่างหนึ่งซึ่งกำลังมีการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรม และได้มีการนำมาใช้ทดแทนไม้อัดกันอย่างกว้างขวาง

**1.1 แผ่นใยไม้อัด** (2),(8),(18)

แผ่นใยไม้อัด (Fiberboard) คือ แผ่นวัสดุที่ทำจากเส้นใยหรือเยื่อของไม้ หรือทำจากวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของลิกนินและเซลลูโลสอื่นๆ โดยมีแรงยึดเหนี่ยวตัวภายใน ส่วนใหญ่ได้มาจากการเรียงตัวของเส้นใยและคุณสมบัติในการยึดเหนี่ยวตัวเข้าด้วยกัน ในระหว่างเส้นใยเอง อย่างไรก็ตาม ในระหว่างการผลิตอาจมีการผสมตัวประสานหรือวัสดุอื่นๆ ลงไปด้วยเพื่อให้แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตขึ้นมีความแข็งแรง ความต้านทานต่อความชื้น ต้านทานไฟ แมลงหรือการผุเพิ่มขึ้น หรือเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติอื่นๆ บางประการของแผ่นใยไม้อัดให้ดีขึ้นด้วยก็ได้

แผ่นใยไม้อัด หรือบางทีเรียกกันว่า "แผ่นกระดาษอัด" มีชื่อเรียกแตกต่างกันอยู่มาก เช่น เรียกตามลักษณะการใช้ประโยชน์ คือ Fiber building board , Wallboard , Insulation board , Insulating board หรือ เรียกตามลักษณะของแผ่นใยไม้อัด คือ Softboard , Semi-hardboard ,Medium hardboard , Hardboard , Super-hard-board นอกจากนี้ยังมีชื่อทางการค้าอีกมากมายตามแต่บริษัทผู้ผลิตจะคิดตั้งขึ้น เช่น Masonite , Celotex , Lexonite , Prespine ฯลฯ วิธีเรียกชื่อดังกล่าวนี้อาจก่อให้เกิดความสับสนหรือเข้าใจผิดได้ง่าย เพราะตามความเป็นจริงแผ่นใยไม้อัดชนิดต่างๆ นั้น มีลักษณะ คุณสมบัติการใช้ประโยชน์ ตลอดจนกรรมวิธีในการผลิตเหลื่อมล้ำกันอยู่มาก เพื่อขจัดปัญหาดังกล่าวนี้ ในทางด้านวิชาการจึงจำแนกชนิดของแผ่นใยไม้อัดโดยถือเอาความหนาแน่น หรือน้ำหนักของแผ่นใยไม้อัดเป็นเกณฑ์สำคัญ 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 - 400 | 9.50-25.0 |
| Compressed | | | |
| Intermediate or medium density fiberboard | 3/16 - 1/2 | 400 - 800 | 25 - 50 |
| Hardboard | 1/10 - 5/16 | 800 -1200 | 50 - 70 |
| Special density hardboard | 1/4 - 2 | 1200-1450 | 75 - 90 |

ชนิดของแผ่นใยไม้อัดตามที่จำแนกไว้ในตารางจำแนกได้ดังนี้

1. Non-compressed fiberboard หมายถึง แผ่นใยไม้อัดประเภทที่มิได้ผ่านการทำให้แห้งในขณะทำการอัด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งมิได้ผ่านการอัดร้อน (Hot-pressing) ในกรรมวิธีการผลิต แผ่นใยไม้อัดประเภทนี้มีความหนาแน่นตั้งแต่ 400 $kg/m^3$ (25 lb/cu.ft.) ลงมา บางทีเรียกรวมๆ 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.) มี

ลักษณะอ่อนนุ่มแต่ก็ยังรักษารูปร่างอยู่ได้ด้วยตัวเอง 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 fiberboard หมายถึง แผ่นใยไม้อัดประเภทที่ได้ผ่านการทำให้แห้งในขณะทำการอัด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ผ่านการอัดร้อนในกรรมวิธีการผลิต แผ่นใยไม้อัดประเภทนี้มีความหนาแน่นเกินกว่า 400 $kg/m^3$ (26 lb/cu.ft.) ขึ้นไป บางทีเรียกรวมๆ กันว่า "แผ่นใยไม้อัดแข็ง"

2.1 Intermediate or medium density fiberboard หรือแผ่นใยไม้อัดที่มีความหนาแน่นปานกลาง หมายถึง แผ่นใยไม้อัดที่มีความหนาแน่น 400 - 800 $kg/m^3$ (25 -50 lb/cu.ft.) สำหรับใช้ประโยชน์ในลักษณะเป็นแผ่นขนาดใหญ่ในอาคาร ในการทำเฟอร์นิเจอร์ และในงานก่อสร้างอื่นๆ ที่เหมือนกัน แผ่นใยไม้อัดชนิดนี้ยังมีชื่อเรียกกันเป็นอย่างอื่นอีก เช่น แผ่นใยไม้อัดแข็งปานกลาง (Medium hardboard) และแผ่นใยไม้อัดกึ่งแข็ง (Semi-hard board) เป็นต้น

2.2 Hardboard หรือแผ่นใยไม้อัดแข็งแท้ หมายถึง แผ่นใยไม้อัดแข็งที่มีความหนาแน่น 800 - 1200 $kg/m^3$ (50 - 70 lb/cu.ft.) แผ่นใยไม้อัดชนิดนี้ยังมีชื่อเรียกเป็นอย่างอื่นอีก เช่น Fibrous hardboard , Fibrosfelted 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

## 1.2 การนำแผ่นใยไม้อัดมาใช้ประโยชน์

เนื้อไม้ประกอบด้วยเซลลูโลสมีลิกนินซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ ทำหน้าที่เป็นตัวยึดติดในการพัฒนาวัสดุศาสตร์ประเภทแผ่นใยไม้อัด ได้มีการนำพอลิเมอร์สังเคราะห์มาทำหน้าที่แทนลิกนิน ซึ่งพอลิเมอร์สังเคราะห์นั้นจะต้องมีคุณสมบัติยึดติดกับเซลลูโลสได้ ไม่ละลายน้ำ และมีความแข็งแรงพอสมควร ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ตัวหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก โครงสร้างที่เป็นร่างแหและความใส ทำให้สมบัติในการยึดติดกับเซลลูโลสดียิ่งขึ้น โดยนำหญ้าสลาบหลวงซึ่งเป็นวัชพืชที่ไม่มีค่าทางเศรษฐกิจและพบได้ทั่วไป นำมาประยุกต์เป็นเซลลูโลส โดยนำเส้นใยที่ฝักของดอกหญ้าสลาบหลวง มาผสมกับสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณที่เหมาะสม จะได้แผ่นใยไม้อัดที่มีลักษณะสวยงาม

## 1.3 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

ปัจจุบันการตัดไม้ทำลายป่า และการขาดแคลนไม้แปรรูปเป็นปัญหาที่สำคัญของประเทศ การนำไม้มาใช้เป็นวัสดุเซลลูโลสในการทำไม้อัดประเภทต่างๆ ซึ่งต้นทุนสูง อีกทั้งเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างไม่คุ้มค่า หญ้าสลาบหลวงเป็นวัชพืชน้ำที่มีอัตราการเจริญเติบโตรวดเร็วมาก อีกทั้งยังก่อปัญหาในการกำจัด ประเทศไทยมีการนำวัชพืชชนิดนี้มาใช้ประโยชย์ค่อนข้างน้อย โดยนำไปสกัดสารบางอย่าง เพื่อใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการผลิตสี บำบัดน้ำเสีย ดูดซับโลหะหนัก เป็นต้น แต่เนื่องจากเส้นใยของดอกหญ้าสลาบหลวงมีลักษณะค่อนข้างเหนียว จึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาทำแผ่นเยื่อไม้อัด เพื่อนำไปใช้แทนไม้ โดยใช้ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินเป็นตัวยึดติดในปริมาณที่เหมาะสม และศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะใช้ทดแทนไม้ ทั้งด้านสมบัติทางกายภาพและความสวยงาม

ด้วยเหตุดังกล่าว ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จึงจัดให้มีโครงงานพิเศษขึ้นในหัวข้อ การพัฒนาและการใช้ดอกหญ้าสลาบหลวงในอุตสาหกรรมทำแผ่นใยไม้อัด เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำหญ้าสลาบหลวงมาทำเป็นวัสดุใช้แทนไม้ โดยมีการศึกษาเปรียบเทียบพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่เตรียมได้ในอัตราส่วนต่างๆ กับพอลิเมอร์สำเร็จรูปที่ใช้ในอุตสาหกรรมทำแผ่นใยไม้อัด เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา

หาอัตราส่วนของยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัดต่อไป

**1.4 ขอบเขตการวิจัย**

โครงงานพิเศษนี้จะวิจัยถึงการนำวัชพืชน้ำ คือ หญ้าสลาบหลวง มาทำเป็นแผ่นใยไม้อัด เพื่อใช้ในการทดแทนไม้ โดยใช้ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินเป็นตัวยึดติด ดังนี้

1. ศึกษาการเตรียมยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน
2. ศึกษาการเตรียมหญ้าสลาบหลวง
3. การศึกษาสมบัติของเรซิน
4. การทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัด โดยใช้เรซินในปริมาณต่างๆ และใช้หญ้าสลาบหลวงปริมาณคงที่ คือ 10 กรัม ดังนี้
   - ความหนาแน่น
   - ค่าความชื้น
   - การดูดซึมน้ำ
   - การขยายตัวตามความหนา
   - มอดุลัสแตกร้าว
   - ความแข็ง
5. เปรียบเทียบสมบัติของแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมได้จากพอลิเมอร์สังเคราะห์ กับพอลิ-เมอร์สังเคราะห์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัด

**1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงานพิเศษ**

1. ลดการสูญเสียไม้จากการนำมาทำไม้อัด
2. ลดปริมาณวัชพืช และเป็นการนำวัชพืชมาใช้ให้เกิดประโยชน์
3. เป็นการพัฒนาแผ่นใยไม้อัดเป็น เป็นวัสดุทดแทนไม้
4. เป็นการพัฒนา เพื่อหาสูตรพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่เหมาะสม กับอุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัด

# บทที่ 2
# ทฤษฎี

## 2.1 หญ้าสลาบหลวง (5)

ชื่อพฤกษศาสตร์ *Typha angustifolia* Linnaeus

ชื่อวงศ์ TYPHACEAE

ชื่อสามัญ Lesser reedmace , Narrow leaved cattail

ชื่อทั่วไป กกช้าง , หญ้าดอกฐูป , ฐูปฤาษี

หญ้าสลาบหลวงเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (monocotyledons) จัดเป็นวัชพืชชนิดหนึ่ง มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อน (tropical regions) ที่มีฝนตกชุก เช่น ประเทศไทย ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย จีน และอินเดีย เป็นพืชลำต้นอ่อนที่เจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้ดีในพื้นที่ที่มีน้ำขังตลอดเวลา (marsh herbs) ลำต้นเป็นเหง้าอยู่ติดพื้นดิน มีกาบใบห่อหุ้มไว้ ใบชูขึ้นเหนือพื้นดินประมาณ 1.5 - 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 ชนิด ได้แก่ *T.latifolia* *T.shutterworthii* พบในยุโรปและอเมริกา สำหรับในประเทศไทยพบแต่ *T.augustifolia* ซึ่งในสมัยแรกเรียกว่า *T.elethantina* เนื่องจากมีขนาดสูงใหญ่ที่สุดในบรรดาพืชวงศ์เดียวกัน นอกจากในประเทศไทยแล้วหญ้าสลาบหลวง (*T.augustifolia*) จะพบมากในประเทศจีน ฟิลิปปินส์ และอินเดีย

เนื่องจากหญ้าสลาบหลวงเป็นวัชพืชชนิดหนึ่ง ซึ่งชอบขึ้นตามทุ่งร้างที่มีน้ำขัง ไม่มีประโยชน์ทางการเกษตร จึงได้มีการวิจัยศึกษานำหญ้าสลาบหลวงและพืชวงศ์เดียวกันไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น

ปี 1983 : การศึกษาการกลั่นสลายเยื่อไม้ของหญ้าสลาบหลวง เป็นแอลกอฮอล์ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับ gasoho โดยใช้ *T. latifolia*

: สังเคราะห์ซิลิกาโดยการเผา โดยใช้ *T. augustifolia*

ปี 1984 : การนำมาเป็นพืชปรับปรุงสภาพผิวดิน โดยใช้ *T. latifolia*

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

ปี 1987 : ใช้ในบ่อบำบัดน้ำเสียโดยอากาศ โดยใช้ *T. augustifolia*

: ใช้ทำแผ่นป้าย (Particle Board) โดยมียูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารยึดติด โดยใช้ *T. latifolia*

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

: ใช้เป็นตัวทำให้น้ำที่ผ่านจากการบำบัดแล้วมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยผ่านน้ำไปตามลำธารที่ปลูกหญ้าสลาบหลวงไว้ โดยใช้ *T. latifolia*

ปี 1989 : ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการบนเปื้อนของกรด ปิโตรเลียม และโลหะคะกั่วสังกะสี โดยใช้ *T. latifolia*

: พบสารที่เป็นแอนติฮีโมราจิก (antihemorhagic) โดยใช้ *T. latifolia*

ปี 1990 : ใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้งจากเหมืองถ่านหิน โดยใช้ *T. latifolia*

ข้อมูลข้างต้นเป็นการศึกษาจากต่างประเทศทั้งสิ้น โดยส่วนใหญ่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย ส่วนในประเทศไทยมีการนำใบหญ้าสลาบหลวงมาตากแห้งแล้วทอเป็นเสื่อ แต่ปรากฏว่าเปราะและขาดง่าย ไม่เหนียวเหมือนกกจึงไม่เป็นที่นิยม

จะเห็นได้ว่าหญ้าสลาบหลวง เป็นวัชพืชที่มีประโยชน์น้อยมาก ถูกปล่อยให้ขึ้นรกร้างในทุกภูมิประเทศ จึงเกิดความคิดที่จะหาประโยชน์ด้านอื่น โดยการนำมาทำเป็นแผ่นใยไม้อัด (fiberboard) โดยใช้ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารยึดติด ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น การนำไปใช้แทนไม้บาร์เก้ หรือกระดาษอัด เป็นต้น

**2.2 คุณสมบัติของยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน** (1)

ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินเป็นเรซินที่ราคาถูก มีความเป็นพิษต่ำ ความแข็งแรงสูง สามารถใช้ได้กับวัสดุหลายชนิด จุดอ่อนของเรซินชนิดนี้คือ ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ภายนอกหรือในที่ที่มีความชื้นสูง เพราะจะทำให้ฟอร์มาลดีไฮด์ระเหยออกมาได้ง่าย เมื่อพิจารณาถึงความคงทนของพันธะเคมีในยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินที่แข็งตัว พบว่า พันธะคาร์บอน-ออกซิเจน ระหว่างเรซินกับเซลลูโลสมีค่าต่ำ และพันธะของคาร์บอน-ไนโตรเจนจะให้ความคงทนสูง

ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินที่ขายในท้องตลาด แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

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

2. กาวผง (Powder) เป็นกาวชนิด partial polymerized urea resin วิธีทำโดยใช้พ่นยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินลงในถังที่ร้อน และทำให้เป็นสูญญากาศจะได้เป็นกาวผง เวลานำมาใช้ก็ผสมกับน้ำและ catalyst ตามส่วน ตามวิธีแนะนำของแต่ละบริษัทที่ผลิต

**2.3 การเตรียมยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินในระดับอุตสาหกรรม** (3)

กระบวนการเกิดพอลิเมอร์ของยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ แบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ

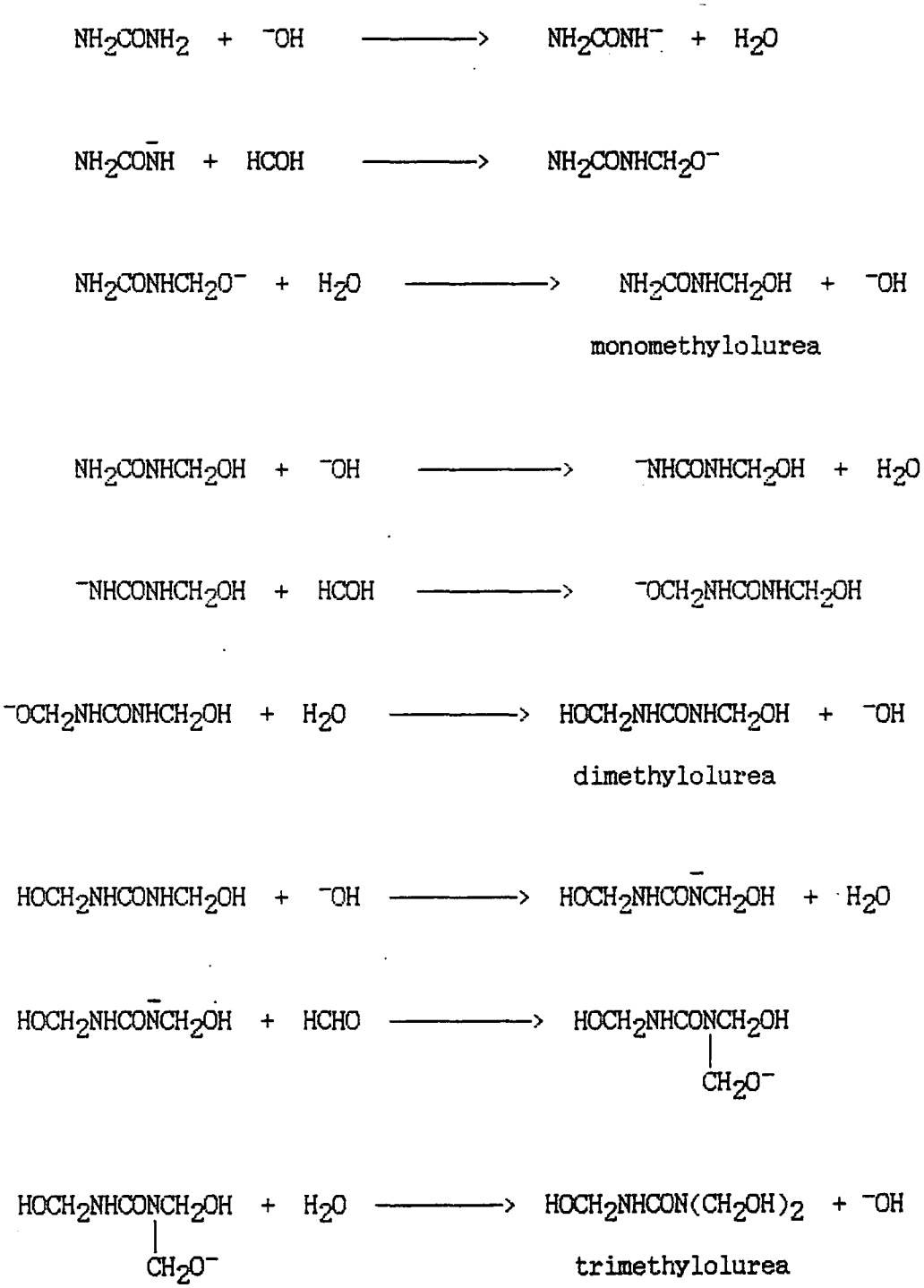
1. การเกิดพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและสามารถละลายได้

2. การเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (crosslinking) ได้พอลิเมอร์ร่างแห

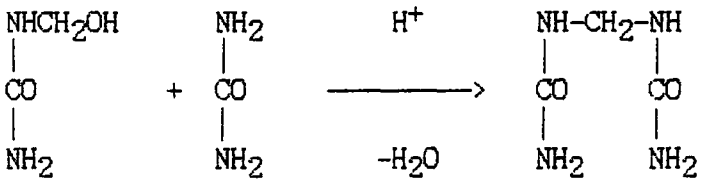
ปรับฟอร์มาลดีไฮด์ให้มีค่า pH 8 ด้วย NaOH แล้วเติมยูเรีย โดยให้มีอัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เป็น 1 : 2 นำสารละลายนี้รีฟลักซ์ประมาณ 15 นาที หลังจากนั้นปรับให้เป็นกรด (pH 5) ด้วยกรดฟอร์มิก ให้ความร้อนจนเดือด นาน 5 - 20 นาที จนมีองศาการเกิดพอลิเมอร์ตามต้องการ ปรับให้เป็นกลางด้วย NaOH แล้วนำไประเหย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

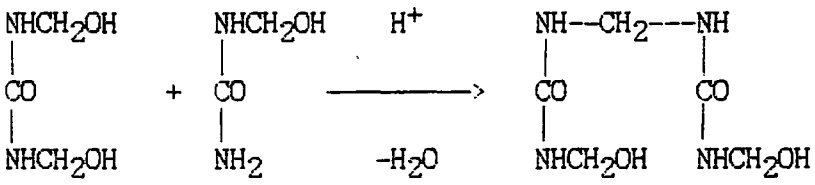
1.1 การเกิดเมทิลอลยูเรีย ในปฏิกิริยาเริ่มต้นของการเตรียม ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์

เรซิน จะได้โครงสร้างที่เป็นเส้นตรง เป็นส่วนใหญ่ ปฏิกิริยาอาจเป็น base-catalyzed reaction ปฏิกิริยาแสดงได้ดังนี้

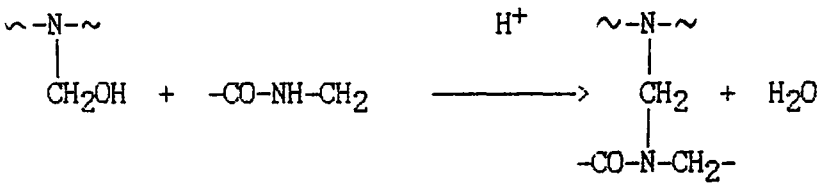


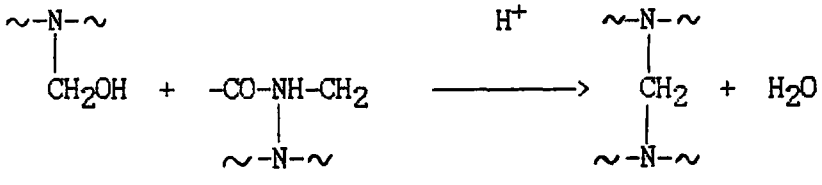
1.2 การควบแน่นของเมทิลอลยูเรีย ในขั้นที่ 2 ของปฏิกิริยาการเตรียมเรซิน ปฏิกิริยาจะดำเนินในสภาวะกรด ปฏิกิริยาการควบแน่นจะเกิดระหว่าง หมู่เมทิลอล และหมู่อะมิโน ได้ หมู่เมทิลีนเชื่อมโยง ดังนี้



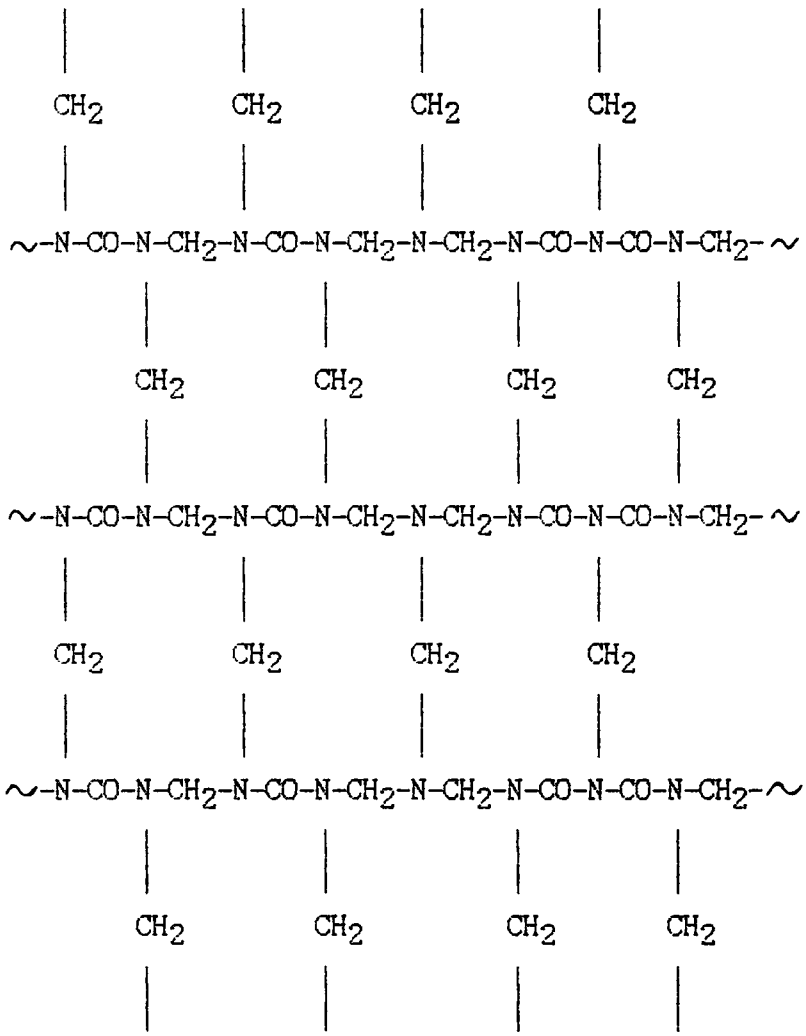


1.3 การพอลิเมอไรเซชั่นโดยมีแอมโมเนียมคลอไรด์เป็นตัวเร่ง





จากปฏิกิริยาข้างต้นจะทำให้ได้พอลิเมอร์ร่างแห ที่เกิดการเชื่อมโยงอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะไม่มีหมู่เมทิลอลเหลืออยู่เลย



สมบัติของพอลิเมอร์ที่เกิดการเชื่อมโยง

เมื่อยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินเกิดการเชื่อมโยงแล้วจะมีคุณสมบัติแข็ง ไม่ละลายและไม่หลอมเหลว การขึ้นรูปโดยการอัดด้วยแม่พิมพ์ จะมีการเติมเซลลูโลส เพื่อเพิ่มคุณสมบัติเชิงกล

**2.4 เทคนิคการสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน** (3)

ในการสังเคราะห์กาวสำหรับอุตสาหกรรมไม้ จำเป็นจะต้องสามารถควบคุมขนาดของพอลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกริยาควบแน่นให้ได้ เพราะว่าคุณสมบัติของเรซินจะขึ้นอยู่กับขนาดของพอลิเมอร์ซึ่งเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การวัดขนาดของพอลิเมอร์ทำได้โดยวัดความหนืดของสารละลาย ในระยะแรกความหนืดของสารละลายจะมีค่าต่ำและจะค่อยๆ สูงขึ้น สารละลายจะเปลี่ยนจากใสเป็นขุ่นขณะที่พอลิเมอร์เหล่านี้ยังละลายในน้ำอยู่

ขนาดของโมเลกุลจะเปลี่ยนค่าจาก 200-800 โมเลกุลในระยะแรกเป็น 2,000 - 3,000 โมเลกุลเมื่อเป็นกาวสำเร็จรูป ในแต่ละครั้งที่ทำปฏิกริยาควบแน่นจะได้น้ำออกมาจากปฏิกริยาดังกล่าว ในขณะที่พอลิเมอร์มีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีการวิเคราะห์หาปริมาณสารละลาย ความหนืด pH และความเข้มข้นเป็นต้น อย่างไรก็ตามปัจจัยที่สำคัญและมีผลต่อคุณสมบัติขั้นสุดท้ายของยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน ได้แก่ ความบริสุทธิ์ของรีเอเจนต์ , สัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ , การควบคุม pH และวิธีการสังเคราะห์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.4.1 ความบริสุทธิ์ของสารยูเรียและฟอร์มาลดีไฮด์ ความบริสุทธิ์ของสารละลายฟอร์-มาลดีไฮด์ในการสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน เป็นสิ่งที่สำคัญมากกว่าความบริสุทธิ์ของยูเรียซึ่งมีค่าสูงอยู่แล้ว โดยปกติแล้วสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้จะมีเมทานอลผสมอยู่ไม่เกิน 1 % และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ในท้องตลาดที่มีความเข้มข้น 37-41 % จะมีเมทานอลผสมอยู่ 6-12 % จะมีเมทานอลผสมอยู่ 6-12 % เพื่อทำให้สารดังกล่าวเสถียร การนำฟอร์มาลินมาใช้จำเป็นจะต้องกลั่นเมทานอลออกก่อน เพราะสารนี้จะทำให้ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินที่สังเคราะห์ขึ้นมามีคุณสมบัติในการดูดน้ำมากขึ้นตั้งแต่ 6-10 %

2.4.2 สัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ ในการสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินนิยมใช้สัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ระหว่าง 1:1.4 ถึง 1:1.6 ในสารละลายน้ำ อย่างไรก็ตามการเร่งปฏิกริยาการสร้างหมู่เมทิลอลในระยะแรกทำได้ โดยแบ่งยูเรียออกเป็น 2-3 ส่วนแล้วค่อยๆ เติมยูเรียที่แบ่งออกมาในตอนหลัง การปฏิบัติดังกล่าวเป็นผลให้มีการสร้างเมทิลอลยูเรียได้มากและเร็วขึ้นในระยะแรก เทคนิคเช่นนี้ใช้มากในการสังเคราะห์กาวยูเรีย-

ฟอร์มาลดีไฮด์ในอุตสาหกรรม

ก่อนเติมยูเรียในสารละลายในฟอร์มาลดีไฮด์ จำเป็นต้องกลั่นเอาเมทานอลออกจากสารละลายดังกล่าวให้มากที่สุด จากนั้นจะต้องทำสารละลายให้เป็นกลางจึงจะเติมยูเรียลงไป ในระยะแรก ของการทำปฏิกิริยาสัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เป็น 1:2.2 เพื่อเป็นการเร่งปฏิกิริยาการสร้างหมู่เมทิลอล การเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายจนเดือดจะช่วยเร่งปฏิกิริยาการสร้างหมู่เมทิลอลให้เร็วยิ่งขึ้นด้วย ปฏิกิริยาคายความร้อนจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 90 องศา ความร้อนจากปฏิกิริยาสามารถทำให้การเดือดของสารละลายจะดำเนินต่อไป โดยไม่ต้องใช้ความร้อนจากภายนอกมาช่วย การทำปฏิกิริยาจะอยู่ภายใต้การกลั่นไหลกลับประมาณ 10-30 นาที เพื่อสร้างหมู่เมทิลอล การเติมกรดลงไปเล็กน้อยให้มี pH 4.8-5.0 จะช่วยเร่งปฏิกิริยา เป็นผลให้เพิ่มความหนืดแก่สารละลาย เมื่อสารละลายมีความหนืดให้ลดอุณหภูมิลงเหลือ 25-30 องศา แล้วเติมยูเรียที่เหลือลงไปให้สัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เป็น 1:1.4 ถึง 1:1.7 คน สารละลายที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง แล้วปรับ pH ให้เหมาะสมเพื่อยืดอายุของกาวสังเคราะห์ได้

สัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ ยังมีผลต่อคุณสมบัติยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินแข็งตัวด้วย เช่น ถ้าใช้ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์สูงเกินไป ความทนทานของกาวต่อน้ำจะลดลง และทำให้เรซินที่สังเคราะห์แล้ว มีฟอร์มาลดีไฮด์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่ ซึ่งเป็นสิ่งรบกวนในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมไม้ และผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ตามมาอีกด้วย การใช้ฟอร์มาลดีไฮด์น้อยเกินไปจะทำให้ความหนืดของกาวต่ำ และเพิ่มเวลาเป็นเจลของกาว และยังอาจเป็นผลให้การแข็งตัวของกาวไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้สัดส่วนโมลของสารทั้งสองยังมีผลต่อความต้านทานน้ำของเรซิน ดังเช่น สัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เป็น 1:2 และ 1:1.8 ให้เรซินที่มีความทนทานต่อน้ำสูงกว่าสัดส่วนเป็น 1:1.6 และ 1:1.4 การเติมเปลือกวอลนัตป่นลงในเรซินจะทำให้เรซินจะทำให้เรซินมีคุณภาพดี

2.4.3 ในการสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องควบคุม pH ของสารละลาย สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่จำหน่ายในท้องตลาดจะมีกรดฟอร์มิกผสมอยู่อย่างต่ำ 0.5 -1.0 % ซึ่งในอุตสาหกรรมผลิตเรซินดังกล่าวยอมให้กรดนี้ไม่เกิน 0.05-0.1 % ดังนั้นจึงต้อง

ลดปริมาณกรดดังกล่าว กรดจะทำให้การควบคุมปฏิกิริยาได้ยาก เพราะกรดเป็นสารเร่งปฏิกิริยาควบแน่นให้เกิดเป็นเจลมีสีขาวในระยะแรก และเกิดการแข็งตัวติดกับภาชนะที่ใช้สังเคราะห์ในระยะสุดท้ายซึ่งจะทำปัญหาในการสังเคราะห์เรซินครั้งต่อไป

ถ้า pH ของสารละลายต่ำกว่า 4.8-5.0 จะเกิดปฏิกิริยาควบแน่นแบบคายความร้อนและไม่สามารถควบคุมได้ จนกระทั่งได้สารของแข็งสีขาวซึ่งใช้ประโยชน์ไม่ได้เลย ดังนั้นในการสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน จำเป็นจะต้องควบคุม pH ของสารละลายไม่ให้ต่ำกว่า 4.8-5.0 เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาควบแน่นมากเกินไป

2.4.4 การควบคุมปฏิกิริยา การสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินในอุตสาหกรรมมีทั้งระบบต่อเนื่องและระบบไม่ต่อเนื่อง การควบคุมปฏิกิริยาทำได้ดังนี้

1. ในระยะแรก ทำการประเมินฟอร์มาลดีไฮด์ที่ไม่ทำปฏิกิริยา อาจใช้วิธีซัลไฟต์
2. ในระยะกลาง ทำการประเมินด้วยเครื่องวัดความหนืดและควบคุมอุณหภูมิอย่างใกล้ชิด
3. ในระยะสุดท้าย จะต้องให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน คือไม่ให้ขนาดโมเลกุลใหญ่เกินไป การทดสอบทำได้โดยหยดเนื้อกาวลงในน้ำ จะเห็นเส้นขาวๆ มากกว่าการรวมตัวเป็นก้อน

การควบคุมขนาดของพอลิเมอร์ของยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน เป็นสิ่งจำเป็นมากในการนำเรซินนี้ไปใช้กับอุตสาหกรรมไม้อัด ในขณะที่ทำการอัดร้อนเพื่อให้เรซินแข็งตัว

ถ้าเรซินมีขนาดพอลิเมอร์เล็กไปจะไหลไปตามช่องว่างในเนื้อไม้ได้ง่าย ทำให้ปริมาณเรซินตรงแนวเรซินไม่พอเพียง และเป็นผลให้รอยต่อไม่แน่น และใช้เวลาทำให้เรซินแข็งตัวนานขึ้น ถ้าพอลิเมอร์ของเรซินมีขนาดใหญ่เกินไป ก็จะมีปัญหาเกี่ยวกับการไหลขณะทาเรซินและอายุของเรซินในการเก็บรักษาก็สั้นลง

2.4.5 เวลาเป็นเจลและการแข็งตัวของเรซิน เวลาเป็นเจลเป็นการวัดอายุเรซินผสมของเรซินสังเคราะห์ หรือเป็นเวลาที่เรซินมีคุณสมบัติความยืดหยุ่นสูงสุดหลังจากเติมสารเร่ง หรือเป็นระยะเวลาที่เรซินเปลี่ยนสถานะจากของไหลเป็นเจลหลังจากเติมสารเร่ง การวัดเวลาเป็นเจลส่วนใหญ่ดูจากเรซินที่เสียคุณสมบัติของความหนืดไป

การใช้เรซินอาจผสมสารเพิ่มและสารเร่งลงไปเพื่อความเหมาะสม การควบคุมให้เรซินเป็นกลางหลังจากแข็งตัวแล้วจะช่วยลดการเกิดไฮโดรไลซิสของตัวเรซินเอง ดังนั้นยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เรซินเมื่อสังเคราะห์เสร็จแล้ว ควรจะปรับให้มี pH 7-9 และควบคุมสัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ระหว่าง 1.2- 2.0 การกระทำดังกล่าวจะช่วยลดความหนืดของเรซินที่เพิ่มขึ้นขณะที่เก็บไว้ก่อนนำไปใช้งาน

# บทที่ 3
# การดำเนินการวิจัย

## 3.1 สารเคมีและวัสดุเคมีที่ใช้

- ยูเรีย

  เกรดวิเคราะห์ : บริษัท Farmitalia Carlo Erba จำกัด

- ฟอร์มาลิน (40 % w/v)

  เกรดวิเคราะห์ : บริษัท Farmitalia Carlo Erba จำกัด

- เมทิลีนคลอไรด์

  เกรดวิเคราะห์ : บริษัท Farmitalia Carlo Erba จำกัด

- โซเดียมไฮดรอกไซด์

  เกรดวิเคราะห์ : บริษัท Farmitalia Carlo Erba จำกัด

- แอมโมเนียมคลอไรด์

  เกรดวิเคราะห์ : บริษัท Fluka จำกัด

- กรดแลกติก

  เกรดห้องปฏิบัติการ : บริษัท วิทยาภัณฑ์ จำกัด

- สารป้องกันเชื้อรา Nopsoon R-280: บริษัท Giant Leo Intertrade จำกัด

- Benzonic 30 N70 : บริษัท Giant Leo Intertrade จำกัด

- กรดสเตียริก

  เกรดห้องปฏิบัติการ : บริษัท Giant Leo Intertrade จำกัด

- Paraffin Wax DNW-135P : บริษัท Dong Nam Petrochemical MFG จำกัด

- เรซินสำเร็จรูปชนิดผง

  Cascamite One Shot : บริษัท Borden Chemical(M)Son.BHD. จำกัด

- เรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว : บริษัท ไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด
- สารช่วยในการถอดแบบ (ซิลิโคน) : บริษัท ยูเนียนคาร์ไบด์ จำกัด
- หญ้าสลาบหลวง

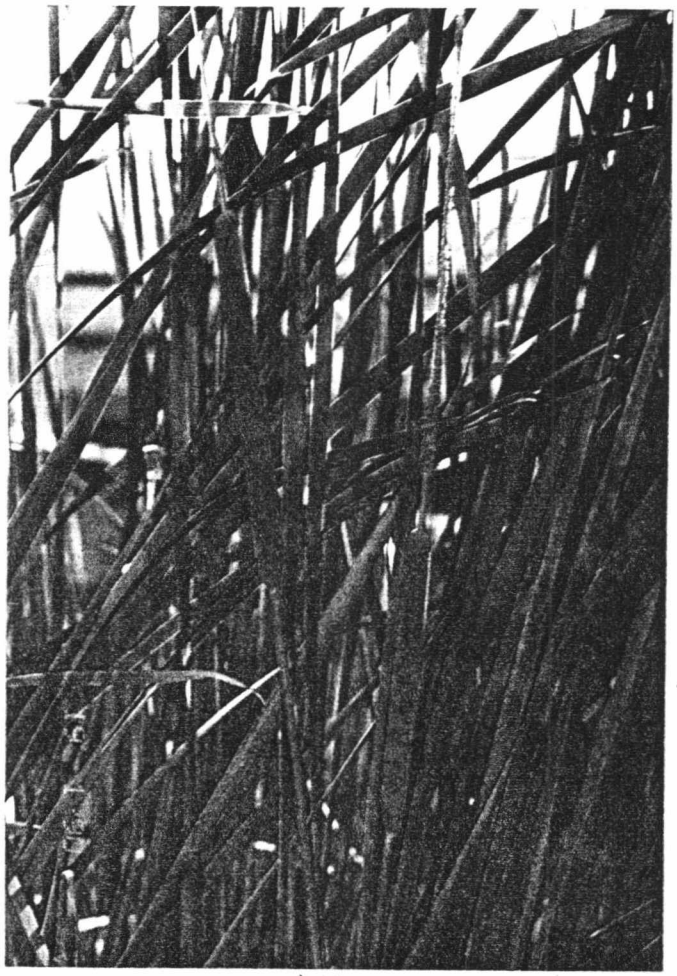
## 3.2 เครื่องมือที่ใช้

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

## 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การเตรียมหญ้าสลาบหลวง

เก็บดอกหญ้าสลาบหลวงที่แก่พอสมควร มีลักษณะผักรด สีน้ำตาลเข้ม นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วแกะเส้นใยออกจากผัก โดยระวังไม่ให้เกนก้านดอก (leteral axis) หลุดออกมา เก็บเส้นใยไว้ในภาชนะที่สามารถกันความชื้นได้



รูป 3.1 ลักษณะของดอกหญ้าสลาบหลวง

3.3.2 การเตรียมยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน

3.3.2.1 อัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ เป็น 1:1.5

ละลายยูเรีย 60 กรัม ในฟอร์มาลดีไฮด์ 40% (w/v) 112.78 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มัล ปรับ pH จนมีค่าอยู่ในช่วง 8.5 - 9.0 ด้วยเครื่องวัดค่า pH บรรจุสารละลายที่ได้ใส่ในหม้อทำปฏิกิริยาขนาด 1,000 มิลลิลิตร ทำการรีฟลักซ์ (reflux) นาน 30 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิของอ่างน้ำมันซิลิโคนเท่ากับ 190 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของสารละลายในหม้อทำปฏิกิริยาเท่ากับ 105 องศาเซลเซียส ทำการปั่นกวนด้วยเครื่องมือปั่นกวนเพื่อให้สารละลายเข้ากันดีขึ้น หลังจากนั้นทำการปรับค่า pH ของสารละลายในหม้อทำปฏิกิริยา ให้มีค่า pH อยู่ในช่วง 6.5-7.0 ด้วยกรดแลกติก แล้วทำการดักน้ำออก 16 มิลลิลิตร จะได้เรซินที่มีความหนืดและมีลักษณะใส มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 53.2 % ความหนืดอยู่ในช่วง 1400-1500 เซนติพอยส์

3.3.2.2 อัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ เป็น 1:1.75

ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.3.2.1 โดยใช้ยูเรีย 60 กรัม ฟอร์มาลดีไฮด์ 40% (w/v) 131.58 มิลลิลิตร ดักน้ำออก 25 มิลลิลิตร จะได้เรซินที่มีความหนืดและมีลักษณะใส มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 45.6 % ความหนืดอยู่ในช่วง 900-950 เซนติพอยส์

3.3.2.3 อัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ เป็น 1:2

ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.3.2.1 โดยใช้ยูเรีย 60 กรัม ฟอร์มาลดีไฮด์ 40% (w/v) 150.38 มิลลิลิตร ดักน้ำออก 50 มิลลิลิตร จะได้เรซินที่มีความหนืดและมีลักษณะใส มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 39.9 % ความหนืดอยู่ในช่วง 350-450 เซนติพอยส์

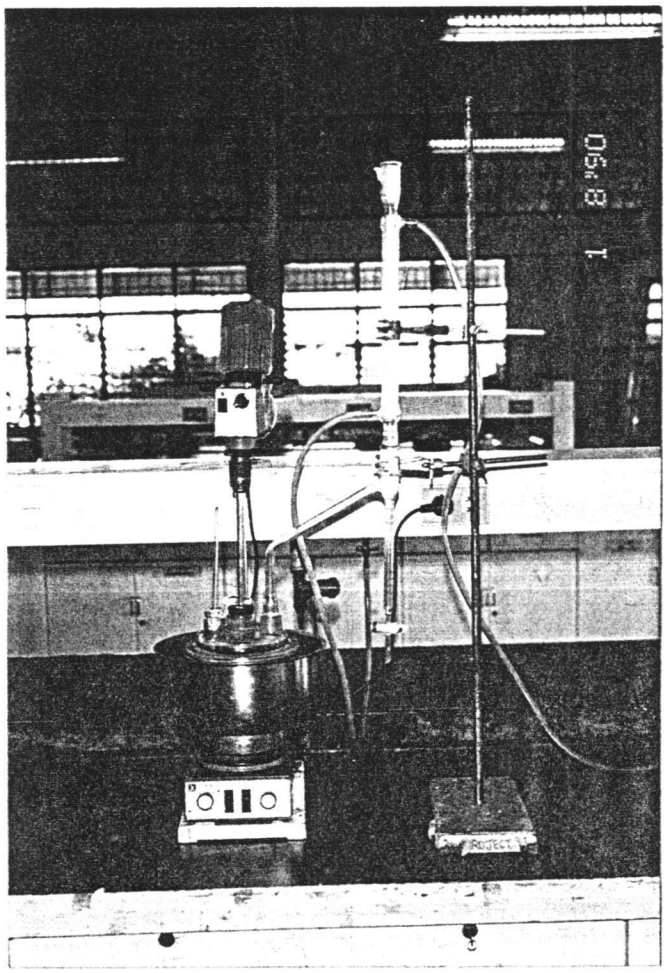
3.3.2.4 เรซินสำเร็จรูปชนิดผง

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

3.3.2.5 เรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว

เรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว ของบริษัท ไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด มีลักษณะขาวขุ่น สามารถ

นำมาใช้งานได้เลย มีความหนืดอยู่ในช่วง 800-1000 เซนติพอยส์ และมีอายุการใช้งานประมาณ 3 สัปดาห์



รูป 3.2 การเตรียมยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน

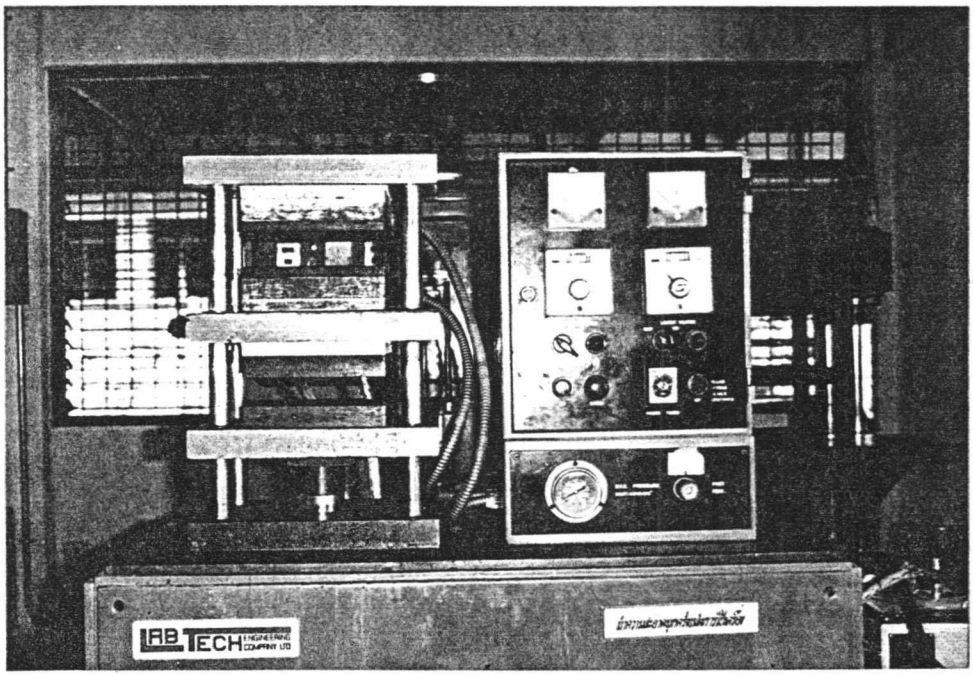
3.3.3 การเกิดกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันของยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์

3.3.3.1 ไม่มีการเติมสารเติมแต่ง

นำเส้นใยจากดอกหญ้าสลาบหลวง 10 กรัม คลุกกับแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 กรัม และเมทิลีนคลอไรด์ 15 มิลลิลิตร จนชื้นหมาดๆ เติมเรซินที่เตรียมได้ในปริมาตรที่ต้องการ (30,35,40 และ 45 มิลลิลิตร) ทำการคลุกให้ทั่ว เทลงในแบบพิมพ์แล้วอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก โดยใช้ความดัน 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จะได้แผ่นใยไม้อัดเรียบและมีความมันเงา

3.3.3.2 มีการเติมสารเติมแต่ง

นำเส้นใยจากดอกหญ้าสลาบหลวง 10 กรัม คลุกกับแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 กรัม และเมทิลีนคลอไรด์ 15 มิลลิลิตร จนชื้นหมาดๆ เติมสารป้องกันเชื้อรา 5 หยด แวกซ์อิมัลชัน (wax emulsion) 2 กรัม และเรซินที่เตรียมได้ในปริมาตรที่ต้องการ (30,35,40 และ 45 มิลลิลิตร) ทำการคลุกให้ทั่ว เทลงในแบบพิมพ์แล้วอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก โดยใช้ความดัน 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที จะได้แผ่นใยไม้อัดเรียบ มีแวกซ์อิมัลชันสีขาวเคลือบอยู่ที่ผิวหน้าของแผ่นใยไม้อัด




รูป 3.3 เครื่องอัดความร้อน

3.3.4 การทดสอบทางกายภาพของชิ้นตัวอย่าง (ความหนา 3 มิลลิเมตร)

3.3.4.1 การหาค่าความหนาแน่น

ใช้ชิ้นทดสอบขนาด 100 * 100 มิลลิเมตร 3 ชิ้น

เครื่องมือ

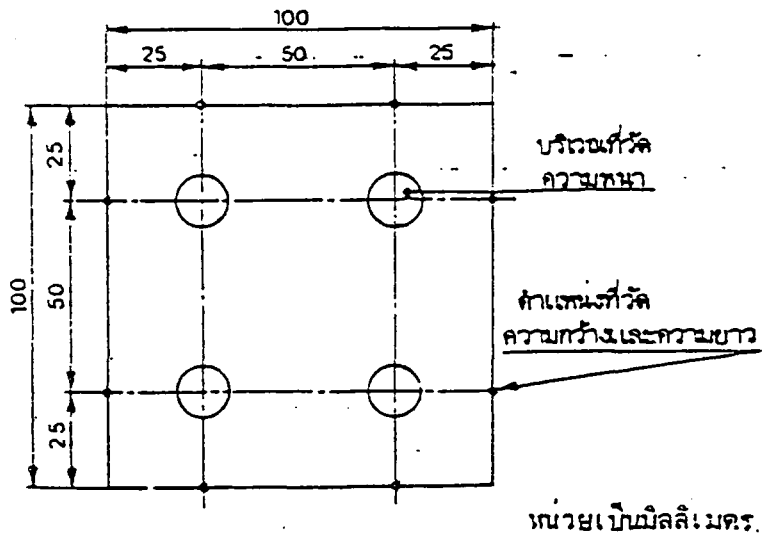
1. เครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง
2. ไมโครมิเตอร์ วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร

วิธีทดสอบ

1. ชั่งชิ้นทดสอบทราบมวลแน่นอนถึง 0.1 กรัม
2. วัดความกว้างและความยาวตามรูป
3. วัดความหนาตามรูป 3.4

คำนวณ

ความหนาแน่น ($kg/m^3$) = ( มวล(g) / ปริมาตร($mm^3$) ) * $10^6$




รูป 3.4 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว ความหนา ของชิ้นทดสอบ

3.3.4.2 การหาค่าความชื้น

ใช้ชิ้นทดสอบขนาด 100 * 100 มิลลิเมตร 3 ชิ้น

เครื่องมือ

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

วิธีทดสอบ

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

คำนวณ

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

3.3.4.3 การหาค่าการดูดซึมน้ำและการขยายตัวตามความหนา

ใช้ชิ้นทดสอบขนาด 100 * 100 มิลลิเมตร 3 ชิ้น

เครื่องมือ

1. ไมโครมิเตอร์วัดได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร
2. เครื่องชั่งละเอียดถึง 0.01 กรัม
3. ภาชนะควบคุมอุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส
4. กระดาษซับกว้างไม่น้อยกว่า 120 มิลลิเมตร
5. แผ่นน้ำหนักรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส กว้าง 120 มิลลิเมตร หนัก 3 กิโลกรัม

วิธีทดสอบ

1. ชั่งชิ้นทดสอบได้ค่าเป็นมวลก่อนแช่น้ำ
2. วัดความหนาตามรูป 3.4 ได้ค่าเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ
3. แช่ชิ้นทดสอบในภาชนะที่บรรจุน้ำสะอาด pH 6 ± 1 อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส ตั้งชิ้นทดสอบให้ตั้งฉากกับผิวน้ำ ขอบบนอยู่ใต้ผิวน้ำประมาณ 20 มิลลิเมตร นาน 24 ชั่วโมง
4. ครบ 24 ชั่วโมง นำมาวางบนกระดาษซับ วางทับด้วยแผ่นน้ำหนักทิ้งไว้ 30 วินาที จึงนำชิ้นทดสอบออกจากกระดาษซับ
5. ชั่งชิ้นทดสอบได้ค่าเป็นมวลหลังแช่น้ำ
6. วัดความหนาได้ค่าเป็นความหนาหลังแช่น้ำ

คำนวณ

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

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

3.3.4.4 การหาค่ามอดุลัสแตกร้าว

ใช้ชิ้นทดสอบขนาด 50 * 120 มิลลิเมตร 3 ชิ้น

เครื่องมือ

เครื่องกด มีรัศมีไม่น้อยกว่า 4.5 มิลลิเมตร

วิธีทดสอบ

1. วางชิ้นทดสอบบนแท่นรองรับ ซึ่งอยู่ห่างกัน 72 มิลลิเมตร ให้ปลายยื่นออกไปข้างละ 24 มิลลิเมตร (รูป 3.5 )
2. ให้แรงกดบนจุดกึ่งกลางชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นกดจนชิ้นทดสอบหัก ต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที

คำนวณ

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

R = มอดุลัสแตกร้าว (เมกะพาสคัล)

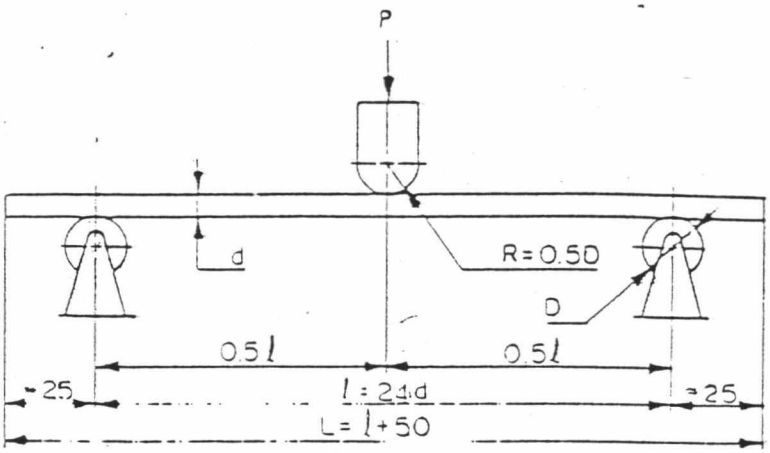
P = แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ (นิวตัน)

l = ระยะห่างของแท่นรองรับ (มิลลิเมตร)

b = ความกว้างของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

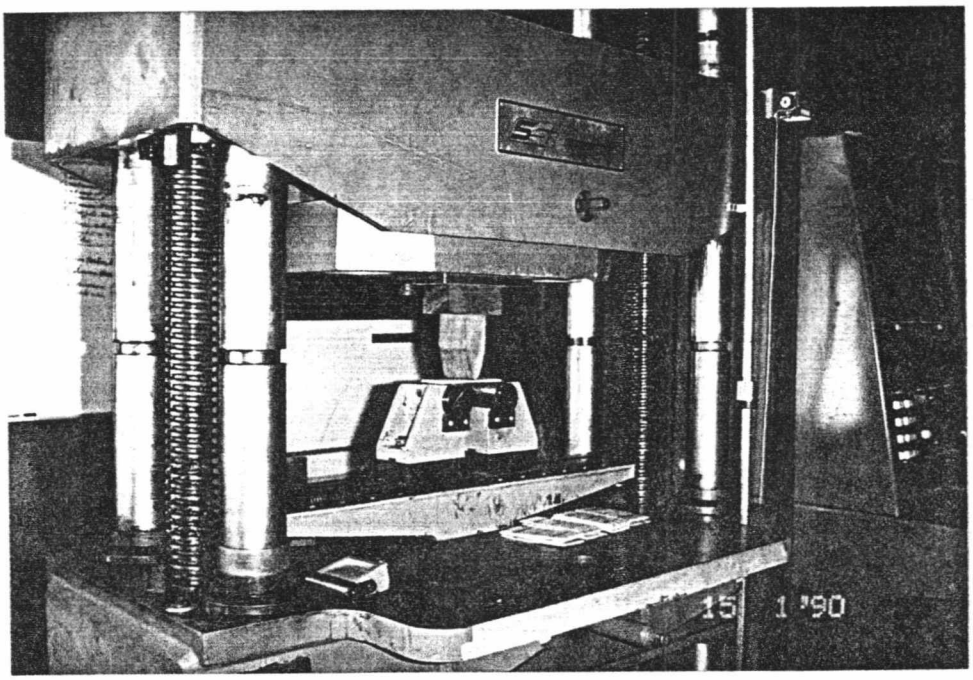
d = ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

* ต้องวัดขนาดตาม มอก. (รูป 3.4 )




หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูป 3.5 การทดสอบมอดุลัสแตกร้าว




รูป 3.6 เครื่องทดสอบหามอดุลัสแตกร้าว

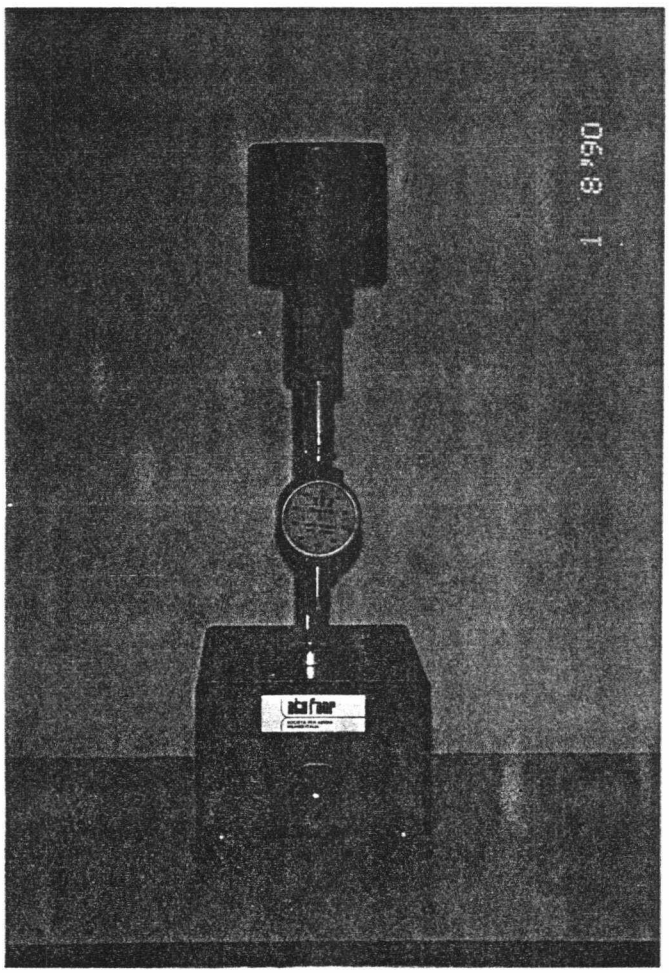
3.3.4.5 การหาค่าความแข็ง

เครื่องมือ

ดูโรมิเตอร์ ชอร์ดี

วิธีทดสอบ

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



รูป 3.7 เครื่องวัดค่าความแข็ง

# บทที่ 4
# ผลการวิจัยและวิจารณ์

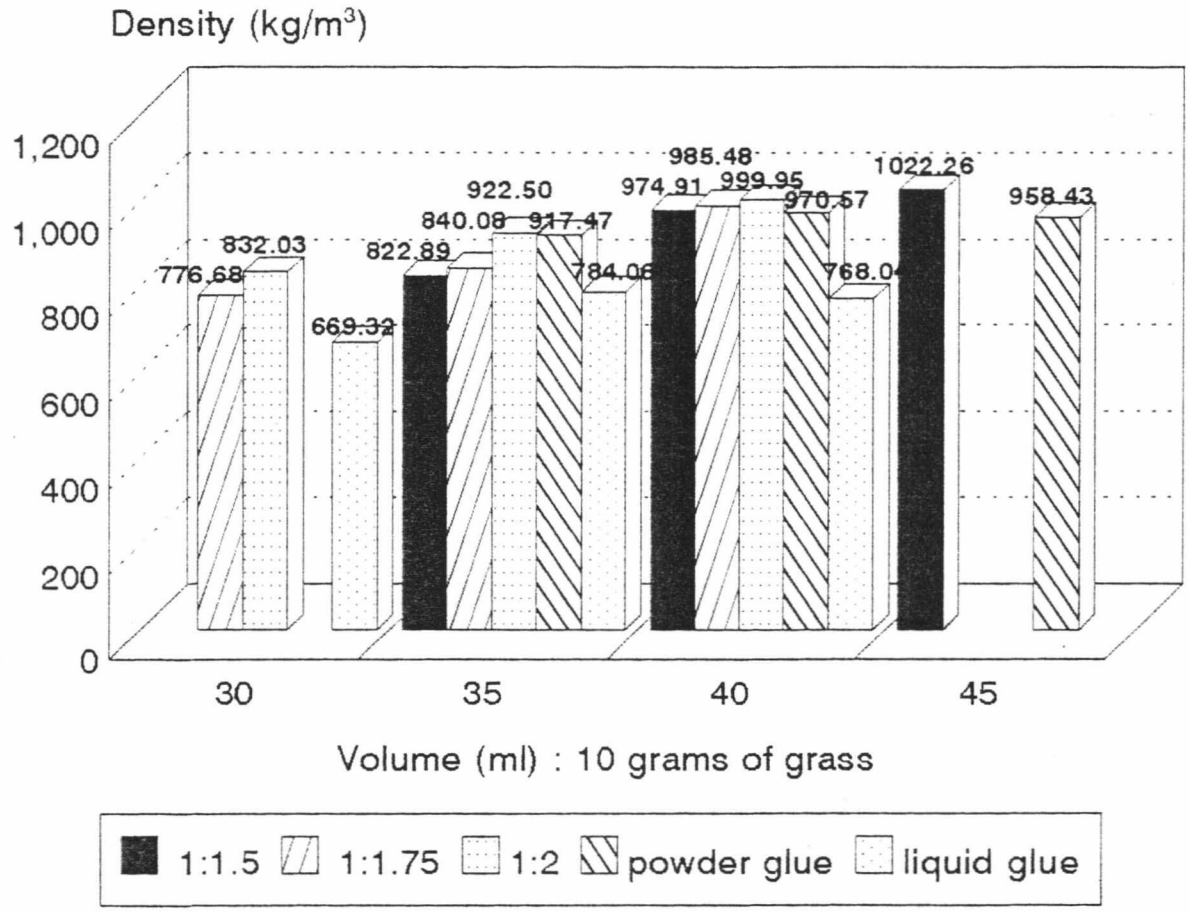
**ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัด**

4.1 ความหนาแน่น

จากรูปที่ 4.1 และตารางที่ 1 - 5 (ภาคผนวก ข) เมื่อเพิ่มปริมาตรของยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน พบว่าค่าความหนาแน่นของชิ้นงานจะสูงขึ้น โดยแผ่นใยไม้อัดที่ใช้อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:1.5 ,1:1.75 ,1:2 และเรซินสำเร็จชนิดผง มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 800 - 1200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จึงจัดอยู่ในประเภทแผ่นใยไม้อัดแข็ง (ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของแผ่นใยไม้อัดแข็ง)

เมื่ออัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้น ค่าความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาตรของเรซินเท่ากัน โดยแผ่นใยไม้อัดที่มีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากับ 1:2 จะมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าแผ่นใยไม้อัดที่มีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:1.75 และ1:1.5 ตามลำดับ เนื่องจากยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินอัตราส่วน 1:2 มีจำนวนโมลของฟอร์มาลดีไฮด์มากกว่า เมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจึงเกิดการเชื่อมโยง (crosslinked)ได้มาก จึงได้พอลิเมอร์ร่างแหที่มีโครงสร้างแข็งแรงกว่า

ส่วนแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว มีค่าหนาแน่นอยู่ในอยู่ในช่วง 600 - 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จัดอยู่ในประเภทแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง) เนื่องจากมีอัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากับ 1:1.2 จึงเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงได้โครงสร้างที่แข็งแรงน้อยกว่าเรซินอัตราส่วน 1:1.5 ,1:1.75 และ 1:2




รูปที่ 4.1 แสดงค่าความหนาแน่นของแผ่นใยไม้อัดที่มีสภาวะการผลิตต่างๆ

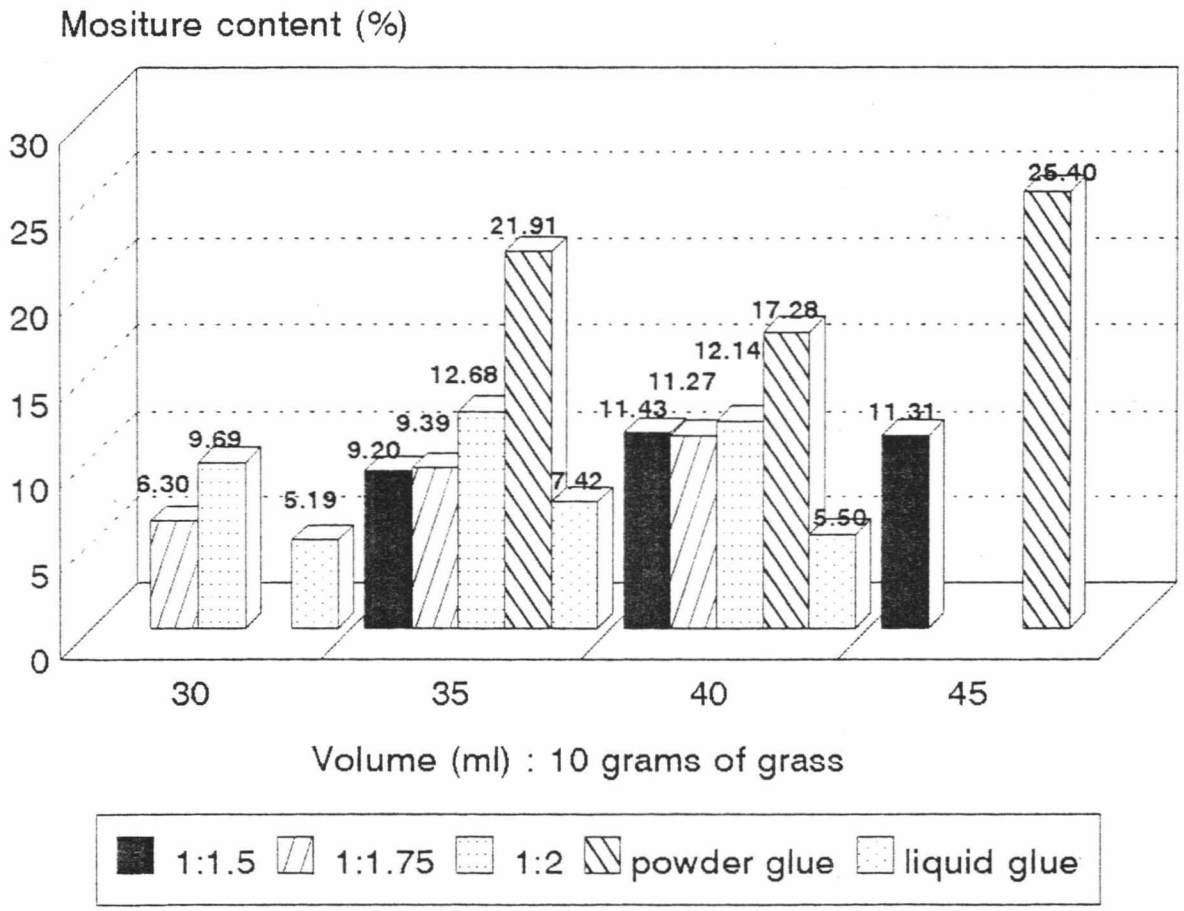
4.2 ความชื้น

จากรูปที่ 4.2 และตารางที่ 6 - 10 (ภาคผนวก ข) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาตรของเรซินที่ใช้ ค่าความชื้นของแผ่นไยไม้อัดมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อควบคุมเวลาในการอัดร้อนและอุณหภูมิของการอัดร้อนให้เท่ากัน น้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาการควบแน่นควรจะระเหยออกไปในปริมาตรที่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อใช้ปริมาตรของเรซินเพิ่มขึ้น น้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาการควบแน่นจะเพิ่มขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าความชื้นแปรโดยตรงกับปริมาตรของเรซินที่ใช้

แผ่นไยไม้อัดที่มีอัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากับ 1:2 มีค่าความชื้นสูงกว่าแผ่นไยไม้อัดที่มีอัตราส่วนของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:1.75 และ 1:1.5 ตามลำดับ เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์สูง ย่อมมีจำนวนโมลของฟอร์มาลดีไฮด์มาก การเกิดปฏิกิริยาการควบแน่นจึงมีน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาเพิ่ม ดังนั้นค่าชื้นจึงเพิ่มขึ้น ค่าความชื้นเหล่านี้อยู่ในช่วง 6 - 13 % ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของแผ่นไยไม้อัดแข็ง ( 5 - 13 %)

ส่วนแผ่นไยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสำเร็จรูปชนิดผง มีค่าความชื้นที่สูงเกินกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นไยไม้อัดแข็ง คือมีค่าอยู่ในช่วง 17 - 26 % อาจมีสาเหตุมาจากเรซินสำเร็จรูปชนิดผงมีความเข้มข้นของเนื้อสารสูง เมื่อเกิดปฏิกิริยาการควบแน่น จึงเกิดน้ำในปริมาณมาก ดังนั้นควรลดความเข้มข้นของเรซินลง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการควบแน่นลดลง ค่าความชื้นจึงลดลง

สำหรับแผ่นไยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว มีค่าความชื้นต่ำที่สุด เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตได้มีการเติมสารป้องกันความชื้น หรือ wax emulsion ซึ่งจะเคลือบผิวชิ้นงาน ทำให้ไม่เกิดการดูดซึมความชื้นจากอากาศ ดังนั้นจึงมีค่าความชื้นต่ำที่สุด อยู่ในช่วง 5-7 % ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของแผ่นไยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (4-10 %)




รูปที่ 4.2 แสดงค่าความชื้นของแผ่นใยไม้อัดที่มีสภาวะการผลิตต่างๆ

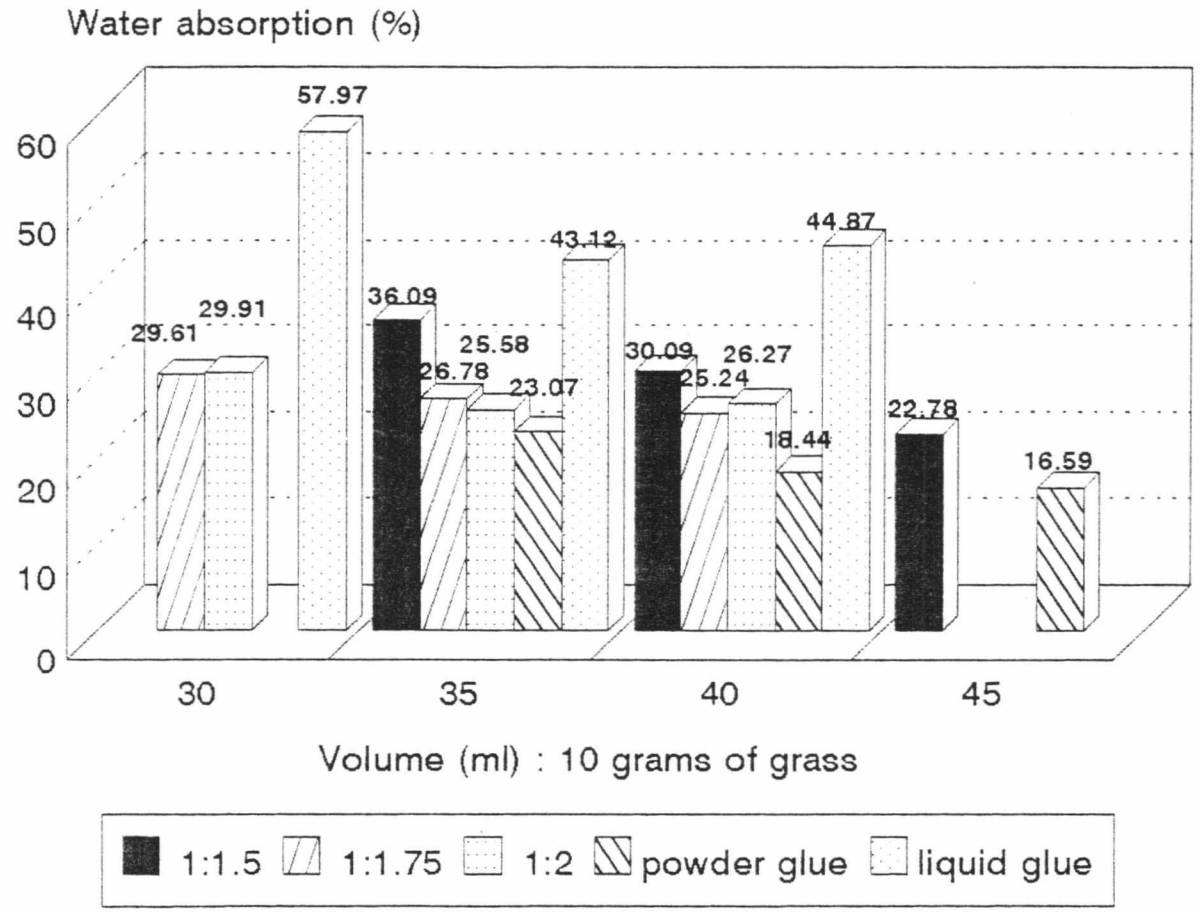
4.3 ค่าการดูดซึมน้ำ

จากรูปที่ 4.3 และตารางที่ 11 - 15 (ภาคผนวก ข) พบว่าเมื่ออัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มขึ้น แผ่นไยไม้อัดมีค่าการดูดซึมน้ำลดลง โดยชิ้นงานที่ใช้อัตราส่วน 1:2 มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่าชิ้นงานที่ใช้อัตราส่วน 1:1.75 และ 1:1.5 ตามลำดับ เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์สูง เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงมาก ทำให้เกิดโครงสร้างแบบร่างแหที่แข็งแรงและมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยง (crosslink density) สูง น้ำจึงแทรกเข้าไปได้ยาก จึงมีค่าการดูดซึมน้ำลดลง ค่าการดูดซึมน้ำเหล่านี้อยู่ในช่วง 22-37 % ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของแผ่นไยไม้อัดแข็ง (ไม่เกิน 40%)

เมื่อเพิ่มปริมาตรของเรซินที่ใช้ ค่าการดูดซึมน้ำจะลดลง เนื่องจากเมื่อปริมาตรของเรซินเพิ่ม เรซินสามารถแทรกผสมกับเส้นใยของดอกหญ้าได้มากขึ้น ชิ้นงานจึงมีความเรียบและมันเงา ทำให้การดูดซึมน้ำลดลง

แผ่นไยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสำเร็จรูปชนิดผง มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด คือ อยู่ในช่วง 16 - 24 % เนื่องจากเรซินสำเร็จรูปชนิดผงมีความเข้มข้นสูงของเนื้อสารสูง จึงเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงมากและมีโครงสร้างที่แข็งแรง ทำให้น้ำแทรกเข้าไปในพันธะโมเลกุลได้น้อยมาก ดังนั้นค่าการดูดซึมน้ำจึงต่ำที่สุด

ส่วนแผ่นไยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสำเร็จรูปชนิดเหลวมีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด อยู่ในช่วง 43 - 58 % ซึ่งเกินมาตรฐานอุตสาหกรรมของแผ่นไยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางมาก (ไม่เกิน 20 %) เนื่องจากเรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว มีอัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากับ 1:1.2 ซึ่งมีจำนวนโมลของฟอร์มาลดีไฮด์ค่อนข้างต่ำ จึงเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงได้โครงสร้างที่ไม่แข็งแรงมากนัก ดังนั้นน้ำสามารถแทรกตัวเข้าไปได้สูง ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าสูง



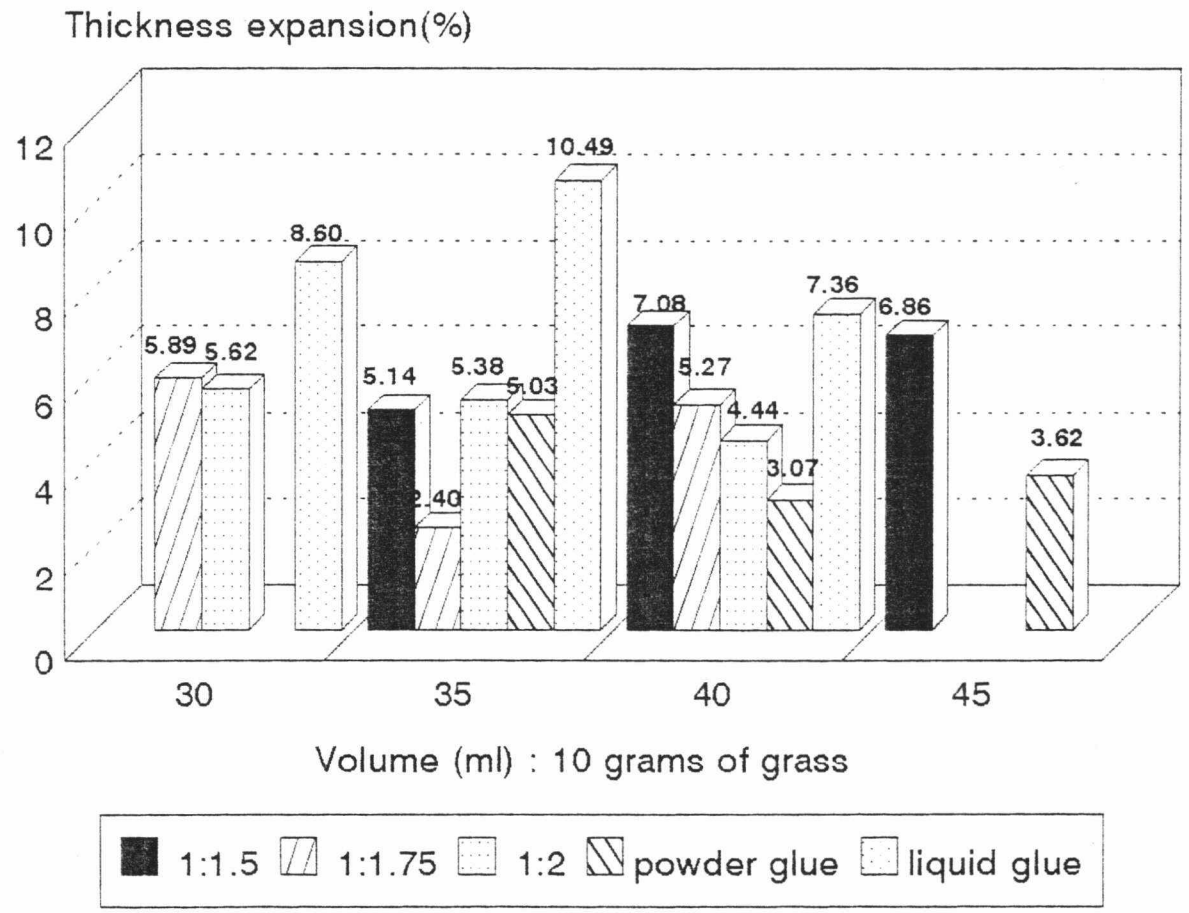

รูปที่ 4.3 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นใยไม้อัดที่มีสภาวะการผลิตต่างๆ

4.4 ค่าการขยายตัวตามความหนา

จากรูป 4.4 และตารางที่ 16 - 20 (ภาคผนวก ข) พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโมลยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ แผ่นใยไม้อัดมีค่าการขยายตัวตามความหนาลดลง โดยชิ้นงานที่มีอัตราส่วนของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:2 มีค่าการขยายตัวตามความหนาน้อยกว่าชิ้นงานที่ใช้อัตราส่วน 1:1.75 และ 1:1.5 ตามลำดับ เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์สูง เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงและมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยง (cross link density) สูงกว่าเมื่อใช้อัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำ ทำให้น้ำซึมผ่านเข้าไปได้ยาก การขยายตัวตามความหนาจึงมีค่าน้อย ค่าการขยายตัวตามความหนาเหล่านี้จะอยู่ในช่วง 2 - 8 % ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของแผ่นใยไม้อัดแข็ง (ไม่เกิน 30 %)

ส่วนแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสำเร็จรูปชนิดผงมีค่าการขยายตัวตามความหนาต่ำที่สุด เมื่อใช้ปริมาตรของเรซินเท่ากัน คือมีค่า 3 - 5 % เพราะเรซินสำเร็จรูปชนิดผงมีความเข้มข้นของเนื้อสารสูงมาก จึงเกิดการขยายตัวตามความหนาน้อยมาก

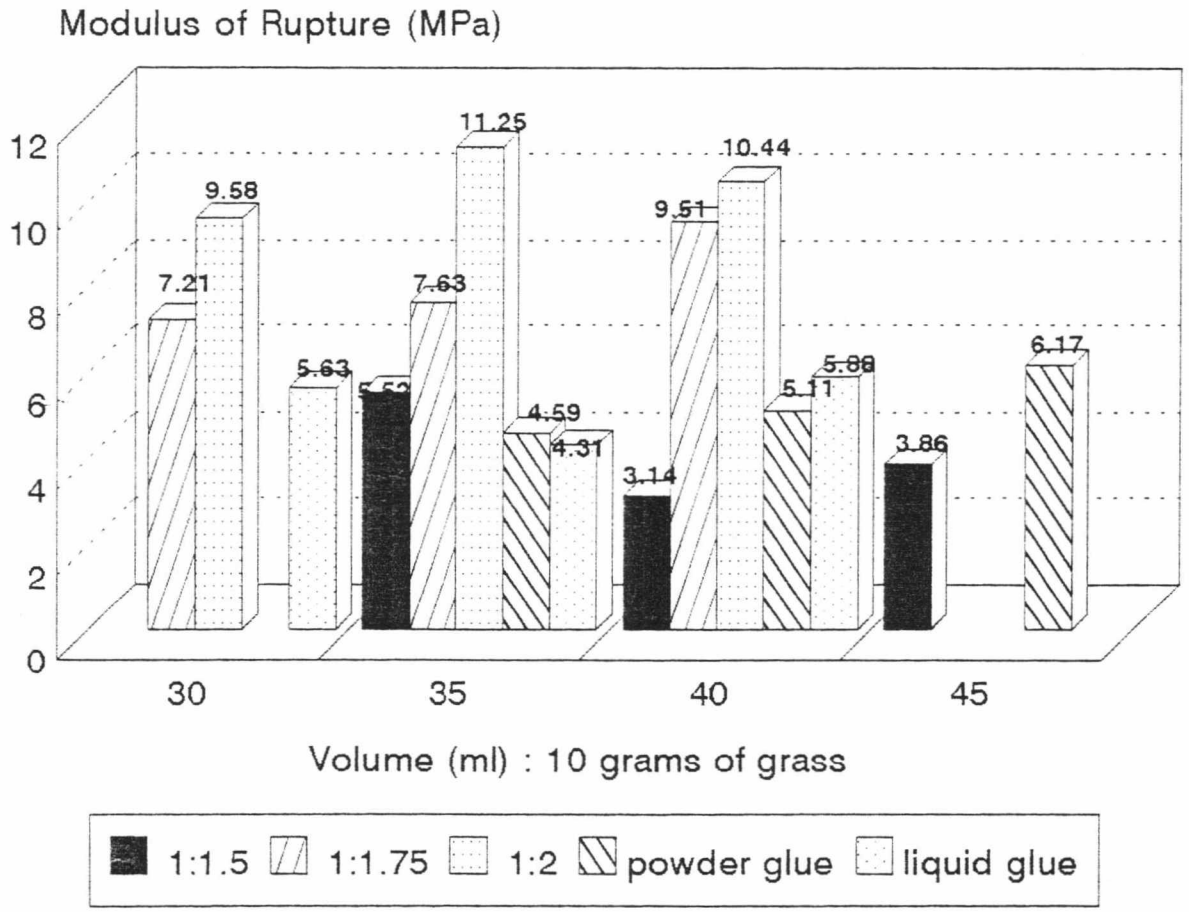
แผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว มีค่าการขยายตัวตามความหนามากที่สุด คือ มีค่าอยู่ในช่วง 7 - 11 % ซึ่งเกินมาตรฐานอุตสาหกรรมของแผ่นใยไม้อัดความหนาปานกลาง (ไม่เกิน 8 %) เนื่องจากเรซินสำเร็จรูปชนิดเหลวมีอัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากับ 1:1.2 จึงทำให้ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงเกิดเป็นโครงสร้างที่ไม่แข็งแรงมากนัก น้ำสามารถแทรกตัวเข้าไปได้ง่าย ดังนั้นจึงเกิดการขยายตัวตามความหนามากที่สุด




รูปที่ 4.4 แสดงค่าการขยายตัวตามความหนาของแผ่นใยไม้อัดที่มีสภาวะการผลิตต่างๆ

4.5 ค่ามอดุลัสแตกร้าว

จากรูปที่ 4.5 และตารางที่ 21 - 25 (ภาคผนวก ข) พบว่าเมื่ออัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าสูง ค่ามอดุลัสแตกร้าวจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยแผ่นไยไม้อัดที่ใช้อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:2 มีค่ามอดุลัสแตกร้าวสูงกว่าแผ่นไยไม้อัดที่ใช้อัตราส่วน 1:1.75 และ 1:1.5 ตามลำดับ เนื่องจากชิ้นงานที่เตรียมจากอัตราส่วน 1:2 เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงมากกว่า จึงมีค่ามอดุลัสแตกร้าวสูง และเมื่อเพิ่มปริมาตรของเรซิน พบว่าค่ามอดุลัสแตกร้าวก็จะมีแนวโน้มที่สูงขึ้นด้วย คือ มีค่าอยู่ในช่วง 3 -12 เมกะพาสคาล แต่เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานแผ่นไยไม้อัดแข็ง (มากกว่า 38 เมกะพาสคาล) พบว่ามีค่าต่ำกว่ามาตรฐานมาก สำหรับแผ่นไยไม้อัดจากเรซินสำเร็จรูปทั้งชนิดผงและเหลวมีค่ามอดุลัสแตกร้าวต่ำกว่ามาตรฐานเช่นกัน ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องจากสารตัวเติม คือ เส้นใยของดอกหญ้าสลาบหลวงยังมีคุณภาพต่ำ จึงควรมีการเติมสารตัวเติมชนิดอื่นๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรง เช่น ขี้เลื่อย, ผงไม้ เป็นต้น



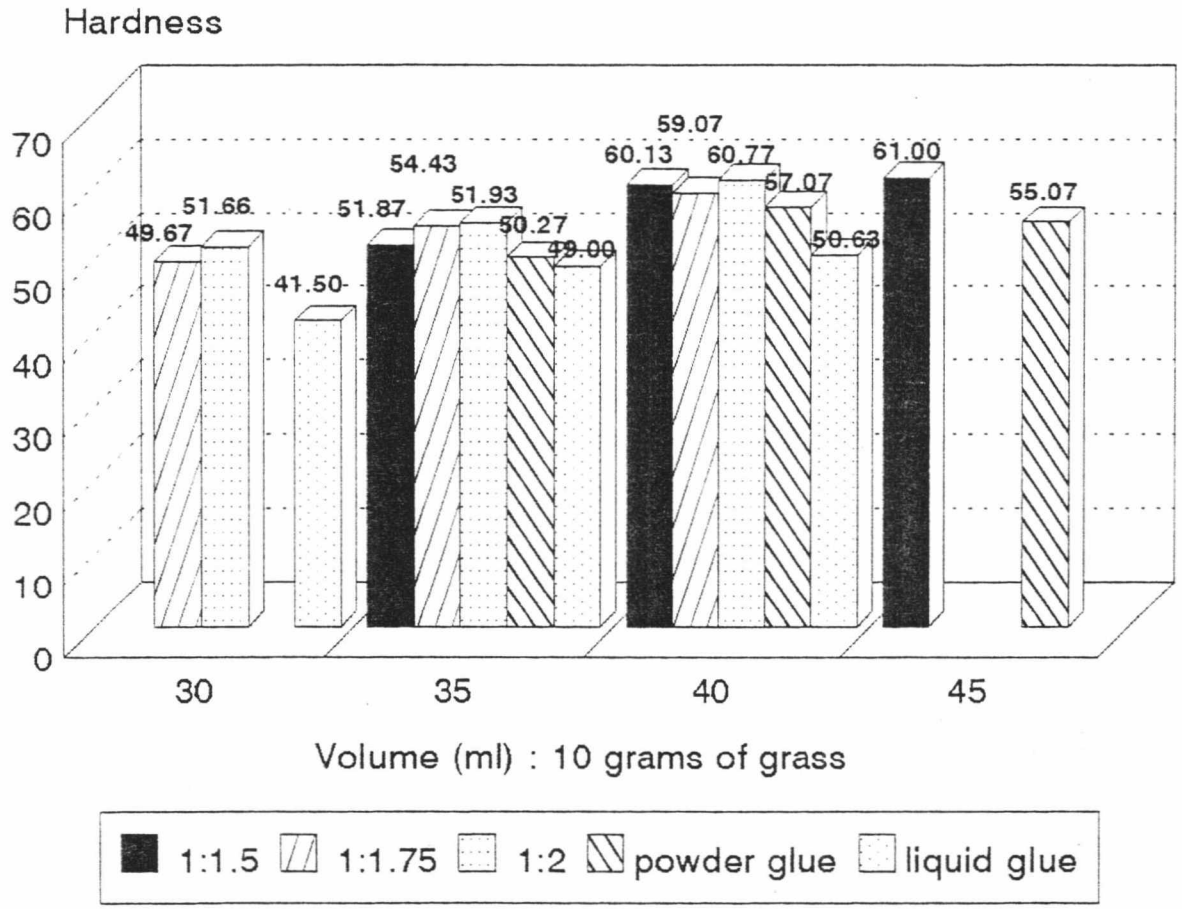

รูปที่ 4.5 แสดงค่ามอดุลัสแตกร้าวของแผ่นใยไม้อัดที่มีสภาวะการผลิตต่างๆ

4.6 ค่าความแข็ง

จากรูปที่ 4.6 และตารางที่ 26 - 30 (ภาคผนวก ข) พบว่าที่ปริมาตรเดียวกัน ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มขึ้น คือแผ่นไม้อัดที่เตรียมจากยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินที่มีอัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากับ 1:2 มีค่าความแข็งสูงกว่าชิ้นงานที่มีอัตราส่วน 1:1.75 และ 1:1.5 ตามลำดับ และแผ่นไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสำเร็จรูปชนิดเหลวมีค่าความแข็งต่ำที่สุด เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าสูง เกิดโครงสร้างที่มีความแข็งแรงมากกว่า จึงมีค่าความแข็งสูง

เมื่อเพิ่มปริมาตรของเรซิน มีผลทำให้ค่าความแข็งสูงขึ้นด้วย เนื่องจากมีปริมาณของสารที่ใช้ในการยึดติดเส้นใยเพิ่มขึ้น จึงได้แผ่นไม้อัดที่มีความแข็งแรงมากกว่า

**หมายเหตุ** : การที่ไม่สามารถใช้เรซินอัตราส่วน 1:1.5 และเรซินสำเร็จรูปชนิดผง ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ผสมกับหญ้า 10 กรัมได้ เนื่องจากสารมีความหนืดสูง จึงทำให้การผสมเรซินกับหญ้าไม่ดีเท่าที่ควร ส่วนเรซินอัตราส่วน 1:1.75 และ 1:2 รวมทั้งเรซินสำเร็จรูปชนิดเหลวมีความหนืดไม่สูงมากนัก เมื่อทดลองผสมกับหญ้า 10 กรัม โดยใช้เรซิน 45 มิลลิลิตร แล้วนำไปอัดร้อน จะมีเรซินส่วนเกินไหลล้นออกมาจากแม่พิมพ์ ทำให้ปริมาตรที่ใช้ผิดพลาด ดังนั้นจึงไม่ทำการทดลอง เนื่องจากสาเหตุดังกล่าว




รูปที่ 4.6 แสดงค่าความแข็งของแผ่นใยไม้อัดที่มีสภาวะการผลิตต่างๆ

จากการที่แผ่นใยไม้อัดที่ได้จาก เรซินสำเร็จรูปทั้งชนิดผงและชนิดเหลว มีค่าการทดสอบสมบัติทางกายภาพไม่ตรงตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของแผ่นใยไม้อัด คือ เรซินสำเร็จรูปชนิดผงให้แผ่นใยไม้อัดที่มีค่าความชื้นสูงกว่ามาตรฐาน และค่ามอดุลัสแตกร้าวต่ำกว่ามาตรฐาน เรซินสำเร็จรูปชนิดเหลวให้แผ่นใยไม้อัดที่มีค่าการดูดซึมน้ำ และค่าการขยายตัวตามความหนาสูงกว่ามาตรฐาน แต่ค่ามอดุลัสแตกร้าวต่ำกว่ามาตรฐานมากนั้น นอกจากสาเหตุที่ได้กล่าวมาแล้ว อาจมีสาเหตุอื่นอีก คือ ขั้นตอนในการเตรียมแผ่นใยไม้อัดที่ได้ยังแตกต่างจากกรรมวิธีทางอุตสาหกรรม ซึ่งอาจมีการใช้สารตัวเติม หรือ สารเติมแต่งอื่นๆ เพื่อเพิ่มสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน จึงทำให้สมบัติทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมโดยเรซินสังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีค่าคลาดเคลื่อนจากที่ควรจะเป็น

# บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุป

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นไยไม้อัดที่เตรียมจากยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน อัตราส่วน 1:1.5,1:1.75 และ 1:2 พบว่า

1. เมื่อใช้ปริมาณของเรซินเท่ากัน แผ่นไยไม้อัดมีค่าความหนาแน่นแปรผันโดยตรงกับอัตราส่วนของยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน

2. เมื่อใช้ปริมาณของเรซินเท่ากัน แผ่นไยไม้อัดมีค่าความชื้นแปรผันโดยตรงกับอัตราส่วนของยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน

3. เมื่อใช้ปริมาณของเรซินเท่ากัน แผ่นไยไม้อัดมีค่าการดูดซึมน้ำ แปรผกผันกับอัตราส่วนของยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน

4. เมื่อใช้ปริมาณของเรซินเท่ากัน แผ่นไยไม้อัดมีค่าการขยายตัวตามความหนา แปรผกผันกับอัตราส่วนของยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน

5. เมื่อใช้ปริมาณของเรซินเท่ากัน แผ่นไยไม้อัดมีค่ามอดุลัสแตกร้าว แปรผันโดยตรงกับอัตราส่วนของยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน

6. เมื่อใช้ปริมาณของเรซินเท่ากัน แผ่นไยไม้อัดมีค่าความแข็ง แปรผันโดยตรงกับอัตราส่วนของยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน

ซึ่งสมบัติทางกายภาพเหล่านี้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นไยไม้อัดแข็ง ยกเว้นค่ามอดุลัสที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

แผ่นไยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว มีอัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากับ 1:1.2 จัดเป็นแผ่นไยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง โดยมีสมบัติทางกายภาพไม่เข้าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม คือ ค่าการดูดซึมน้ำ และค่าการขยายตัวตามความหนาสูงกว่ามาตรฐาน ส่วนค่ามอดุลัสต่ำกว่ามาตรฐานมาก

แผ่นไยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสำเร็จรูปชนิดผง จัดเป็นแผ่นไยไม้อัดแข็ง มีสมบัติทาง

กายภาพไม่เข้ามาตรฐานอุตสาหกรรม คือ ค่าความชื้นสูงกว่ามาตรฐาน และค่ามอดุลัสแตกร้าวต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งอัตราส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ที่แท้จริงของเรซินสำเร็จรูปชนิดผงเป็นข้อมูลทางการค้าของบริษัทผู้ผลิต

แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตขึ้นโดยใช้ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินอัตราส่วนโมลเท่ากับ 1:1.5 , 1:1.75 และ 1:2 มีสมบัติทางกายภาพดีกว่าแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเรซินสำเร็จรูปในเชิงการค้า เมื่อดำเนินการภายใต้สภาวะการทดลอง ดังนั้นหากมีการพัฒนาหาสารตัวเติมที่เหมาะสมจะได้แผ่นใยไม้อัดที่มีลักษณะในการใช้งานที่ดี ซึ่งสามารถนำไปทำการผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาถึงการใช้สารตัวเติมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นใยไม้อัด เช่น ขี้เลื่อย หรือ เศษไม้ เป็นต้น

2. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตแผ่นใยไม้อัดโดยใช้กระบวนการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Extruder

3. ควรมีการศึกษาถึงการผลิตแผ่นใยไม้อัดที่มีชั้นของวัตถุดิบแตกต่างกันหลายชั้น หรือ Multi-layer fiberboard

4. ควรศึกษากรรมวิธีการผลิตแผ่นใยไม้อัดในระดับอุตสาหกรรม ที่ใช้เรซินสำเร็จรูปทั้งชนิดของแข็งและของเหลว

# ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก.** วิธีการคำนวณความเข้มข้นของ เรซิน

**ภาคผนวก ข.** ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

**ภาคผนวก ค.** กรรมวิธีและ เครื่องจักรกลที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นไยไม้อัด

## ภาคผนวก ก.

วิธีการคำนวณความเข้มข้นของ เรซิน

1. อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ เป็น 1 : 1.5

ยูเรีย 20 กรัม = 60/60 = 1 โมล

(มวลโมเลกุลของยูเรีย เท่ากับ 60)

ดังนั้นต้องใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ = 1*1.5 = 1.5 โมล

ฟอร์มาลดีไฮด์ 40 % (w/v) หมายความว่า ในฟอร์มาลิน 100 มิลลิเมตร มีสาร ฟอร์มาลดีไฮด์ 40 กรัม คิดเป็น 40/30 = 1.33 โมล

(มวลโมเลกุลของฟอร์มาลดีไฮด์ เท่ากับ 30)

ฟอร์มาลดีไฮด์ 1.33 โมล จากฟอร์มาลิน 100 มิลลิลิตร

ฟอร์มาลดีไฮด์ 1.5 โมล จากฟอร์มาลิน = (100 * 1.5)/1.33

= 112.78 มิลลิลิตร

และจะมีจำนวนโมลของน้ำเกิดจากปฏิกิริยาควบแน่น เท่ากับจำนวนของฟอร์มาลดีไฮด์ที่เข้าทำปฏิกิริยา โดยสมมุติให้ฟอร์มาลดีไฮด์เข้าทำปฏิกิริยาทั้งหมด ดังนั้น

มีน้ำเกิดจากปฏิกิริยาเท่ากับ 1.5 โมล = 1.5*18 = 27 กรัม = 27 มิลลิลิตร

เนื่องจากฟอร์มาลินมีความหนาแน่น = 1.089 กรัมต่อมิลลิลิตร

เพราะฉะนั้น ฟอร์มาลดีไฮด์ 1.089 กรัม มีปริมาตร 1 มิลลิลิตร

ฟอร์มาลดีไฮด์ 40 กรัม มีปริมาตร = (1*40)/1.089

= 36.73 มิลลิลิตร

ในฟอร์มาลิน 40 % (w/v) จะมีฟอร์มาลดีไฮด์ = 40 กรัม = 36.73 มิลลิลิตร

เพราะฉะนั้น มีน้ำอยู่ = 100 - 36.73 = 63.27 มิลลิลิตร

ในฟอร์มาลิน 100 มิลลิลิตร มีน้ำ 63.27 มิลลิลิตร

ในฟอร์มาลิน 112.78 มิลลิลิตร มีน้ำ = (63.27 * 112.78)/100

= 71.36 มิลลิลิตร

ดังนั้นจะมีน้ำทั้งหมดในปฏิกิริยา = น้ำจากฟอร์มาลิน + น้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาการควบแน่น

= 71.36 + 27 = 98.36 มิลลิลิตร

น้ำในปฏิกิริยา 98.36 มิลลิลิตร คิดเป็น 100 %

จากการวิจัย น้ำออกจากปฏิกิริยา 16 มิลลิลิตร คิดเป็น = (100 * 16)/98.36

= 16.27 %

เพราะฉะนั้นเรซินมีความเข้มข้น 16.27 %

2. อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ เป็น 1 : 1.75

ยูเรีย 20 กรัม = 60/60 = 1 โมล

(มวลโมเลกุลของยูเรีย เท่ากับ 60)

ดังนั้นต้องใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ = 1*1.75 = 1.75 โมล

ฟอร์มาลดีไฮด์ 40 % (w/v) หมายความว่า ในฟอร์มาลิน 100 มิลลิเมตร มีสาร ฟอร์มาลดีไฮด์ 40 กรัม คิดเป็น 40/30 = 1.33 โมล

(มวลโมเลกุลของฟอร์มาลดีไฮด์ เท่ากับ 30)

ฟอร์มาลดีไฮด์ 1.33 โมล จากฟอร์มาลิน 100 มิลลิลิตร

ฟอร์มาลดีไฮด์ 1.75 โมล จากฟอร์มาลิน = (100 * 1.75)/1.33

= 131.58 มิลลิลิตร

และจะมีจำนวนโมลของน้ำเกิดจากปฏิกิริยาควบแน่น เท่ากับจำนวนของฟอร์มาลดีไฮด์ที่เข้าทำปฏิกิริยา โดยสมมุติให้ฟอร์มาลดีไฮด์เข้าทำปฏิกิริยาทั้งหมด ดังนั้น

มีน้ำเกิดจากปฏิกิริยาเท่ากับ 1.33 โมล = 1.33*18 = 23.94 กรัม = 23.94 มิลลิลิตร

เนื่องจากฟอร์มาลินมีความหนาแน่น = 1.089 กรัมต่อมิลลิลิตร

เพราะฉะนั้น ฟอร์มาลดีไฮด์ 1.089 กรัม มีปริมาตร 1 มิลลิลิตร

ฟอร์มาลดีไฮด์ 40 กรัม มีปริมาตร = (1*40)/1.089

= 36.73 มิลลิลิตร

ในฟอร์มาลิน 40 % (w/v) จะมีฟอร์มาลดีไฮด์ = 40 กรัม = 36.73 มิลลิลิตร

เพราะฉะนั้น มีน้ำอยู่ = 100 - 36.73 = 63.27 มิลลิลิตร

ในฟอร์มาลิน 100 มิลลิลิตร มีน้ำ 63.27 มิลลิลิตร

ในฟอร์มาลิน 131.58 มิลลิลิตร มีน้ำ = (63.27 * 131.58)/100

= 83.25 มิลลิลิตร

ดังนั้นจะมีน้ำทั้งหมดในปฏิกิริยา = น้ำจากฟอร์มาลิน + น้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาการควบแน่น

= 83.25 + 23.94 = 107.19 มิลลิลิตร

น้ำในปฏิกิริยา 107.19 มิลลิลิตร คิดเป็น 100 %

จากการวิจัย น้ำออกจากปฏิกิริยา 25 มิลลิลิตร คิดเป็น = (100 * 25)/107.19

= 23.32 %

เพราะฉะนั้นเรซินมีความเข้มข้น 23.32 %

3. อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ เป็น 1 : 2

ยูเรีย 20 กรัม = 60/60 = 1 โมล

(มวลโมเลกุลของยูเรีย เท่ากับ 60)

ดังนั้นต้องใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ = 1*2 = 2 โมล

ฟอร์มาลดีไฮด์ 40 % (w/v) หมายความว่า ในฟอร์มาลิน 100 มิลลิเมตร มีสาร

ฟอร์มาลดีไฮด์ 40 กรัม คิดเป็น 40/30 = 1.33 โมล

(มวลโมเลกุลของฟอร์มาลดีไฮด์ เท่ากับ 30)

ฟอร์มาลดีไฮด์ 1.33 โมล จากฟอร์มาลิน 100 มิลลิลิตร

ฟอร์มาลดีไฮด์ 2 โมล จากฟอร์มาลิน = (100 * 2)/1.33

= 150.38 มิลลิลิตร

และจะมีจำนวนโมลของน้ำเกิดจากปฏิกิริยาควบแน่น เท่ากับจำนวนของฟอร์มาลดีไฮด์ที่เข้าทำ

ปฏิกิริยา โดยสมมุติให้ฟอร์มาลดีไฮด์เข้าทำปฏิกิริยาทั้งหมด ดังนั้น

มีน้ำเกิดจากปฏิกิริยาเท่ากับ 2 โมล = 2*18 = 36 กรัม = 36 มิลลิลิตร

เนื่องจากฟอร์มาลินมีความหนาแน่น = 1.089 กรัมต่อมิลลิลิตร

เพราะฉะนั้น ฟอร์มาลดีไฮด์ 1.089 กรัม มีปริมาตร 1 มิลลิลิตร

ฟอร์มาลดีไฮด์ 40 กรัม มีปริมาตร = (1*40)/1.089

= 36.73 มิลลิลิตร

ในฟอร์มาลิน 40 % (w/v) จะมีฟอร์มาลดีไฮด์ = 40 กรัม = 36.73 มิลลิลิตร

เพราะฉะนั้น มีน้ำอยู่ = 100 - 36.73 = 63.27 มิลลิลิตร

ในฟอร์มาลิน 100 มิลลิลิตร มีน้ำ 63.27 มิลลิลิตร

ในฟอร์มาลิน 150.38 มิลลิลิตร มีน้ำ = (63.27 * 150.38)/100

= 95.15 มิลลิลิตร

ดังนั้นจะมีน้ำทั้งหมดในปฏิกิริยา = น้ำจากฟอร์มาลิน + น้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาการควบแน่น

= 95.15 + 36 = 131.15 มิลลิลิตร

น้ำในปฏิกิริยา 131.15 มิลลิลิตร คิดเป็น 100 %

จากการวิจัย น้ำออกจากปฏิกิริยา 50 มิลลิลิตร คิดเป็น = (100 * 50)/131.15

= 38.12 %

เพราะฉะนั้นเรซินมีความเข้มข้น 38.12 %

วิธีวัดความหนืด

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

ผลการทดสอบหาค่าความหนืดของเรซิน

- อัตราส่วน 1 : 1.5

  หัว LV 1 speed 12 rpm. factor 25

  ค่าที่อ่านได้ = 59.5

  Brookfield Viscosity = 59.5 * 25 = 1487.5 cps.

- อัตราส่วน 1 : 1.75

  หัว LV 2 speed 30 rpm. factor 10

  ค่าที่อ่านได้ = 91.5

  Brookfield Viscosity = 91.5 * 10 = 915 cps.

- อัตราส่วน 1 : 2

  หัว LV 2 speed 60 rpm. factor 5

  ค่าที่อ่านได้ = 78

  Brookfield Viscosity = 78 * 5 = 390 cps.

- เรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว

  หัว LV 1 speed 1.5 rpm. factor 40

  ค่าที่อ่านได้ = 23

  Brookfield Viscosity = 23 * 40 = 920 cps.

- เรซินสำเร็จรูปชนิดผง

  หัว LV 1 speed 0.6 rpm. factor 100

  ค่าที่อ่านได้ = 48

  Brookfield Viscosity = 28.8 * 100 = 2880 cps.

การเตรียม wax emulsion

ต้มน้ำกลั่นปริมาตร 190 มิลลิลิตร จนเดือด ใส่พาราฟินแวกซ์ (Paraffin Wax) 50 กรัม และกรดสเตียริก 12 กรัม คนจนพาราฟินแวกซ์ละลาย เติมสารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) เบนโซนิก (Bensonic 30 N70) 5 กรัม จะได้สารละลายอิมัลชัน

## ภาคผนวก ข.

**ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของชิ้นทดสอบ**

ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น

ตาราง 1 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1 : 1.5

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ค่าความหนาแน่น ($kg/m^3$) |
|---|---|---|
| 35 | 1 | 869.28 |
| | 2 | 771.93 |
| | 3 | 827.46 |
| | เฉลี่ย | 822.89 |
| 40 | 1 | 1001.26 |
| | 2 | 939.37 |
| | 3 | 994.21 |
| | เฉลี่ย | 974.91 |
| 45 | 1 | 877.13 |
| | 2 | 1060.67 |
| | 3 | 1129.49 |
| | เฉลี่ย | 1022.26 |

ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น

ตาราง 2 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1 : 1.75

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ค่าความหนาแน่น ($kg/m^3$) |
|---|---|---|
| 30 | 1 | 753.60 |
| | 2 | 759.02 |
| | 3 | 817.43 |
| | เฉลี่ย | 776.68 |
| 35 | 1 | 831.67 |
| | 2 | 902.51 |
| | 3 | 786.05 |
| | เฉลี่ย | 840.08 |
| 40 | 1 | 1021.78 |
| | 2 | 951.32 |
| | 3 | 983.33 |
| | เฉลี่ย | 985.48 |

ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น

ตาราง 3 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1 : 2

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ค่าความหนาแน่น ($kg/m^3$) |
|---|---|---|
| 30 | 1 | 889.80 |
| | 2 | 782.50 |
| | 3 | 823.80 |
| | เฉลี่ย | 832.03 |
| 35 | 1 | 944.60 |
| | 2 | 954.20 |
| | 3 | 868.70 |
| | เฉลี่ย | 922.50 |
| 40 | 1 | 924.40 |
| | 2 | 974.29 |
| | 3 | 1101.06 |
| | เฉลี่ย | 999.95 |

ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น

ตาราง 4 เรซินสำเร็จรูปชนิดผง Cascamite One Shot

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ค่าความหนาแน่น ($kg/m^3$) |
|---|---|---|
| 35 | 1 | 936.02 |
| | 2 | 900.59 |
| | 3 | 915.81 |
| | เฉลี่ย | 917.47 |
| 40 | 1 | 963.74 |
| | 2 | 924.46 |
| | 3 | 1023.50 |
| | เฉลี่ย | 970.57 |
| 45 | 1 | 893.77 |
| | 2 | 1012.78 |
| | 3 | 968.89 |
| | เฉลี่ย | 958.43 |

ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น

ตาราง 5 เรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว

| ปริมาตร prepolymer ที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ค่าความหนาแน่น ($kg/m^3$) |
|---|---|---|
| 30 | 1 | 704.26 |
| | 2 | 669.99 |
| | 3 | 633.70 |
| | เฉลี่ย | 669.32 |
| 35 | 1 | 856.44 |
| | 2 | 759.42 |
| | 3 | 736.31 |
| | เฉลี่ย | 784.06 |
| 40 | 1 | 623.27 |
| | 2 | 762.39 |
| | 3 | 918.48 |
| | เฉลี่ย | 768.04 |

ผลการทดสอบหาค่าความชื้น

ตาราง 6 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1:1.5

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | น้ำหนัก (g) | | ค่าความชื้น (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|
| | | ก่อนอบ | หลังอบ | |
| 35 | 1 | 22.35 | 20.72 | 7.87 |
| | 2 | 23.88 | 21.89 | 9.09 |
| | 3 | 23.18 | 20.95 | 10.64 |
| | | | | 9.20 |
| 40 | 1 | 29.09 | 25.92 | 12.23 |
| | 2 | 26.70 | 23.95 | 11.48 |
| | 3 | 28.09 | 25.40 | 10.59 |
| | | | | 11.43 |
| 45 | 1 | 24.53 | 22.48 | 9.12 |
| | 2 | 30.30 | 26.51 | 14.29 |
| | 3 | 30.28 | 27.40 | 10.51 |
| | | | | 11.31 |

ผลการทดสอบหาค่าความชื้น

ตาราง 7 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1:1.75

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | น้ำหนัก (g) | | ค่าความชื้น (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|
| | | ก่อนอบ | หลังอบ | |
| 30 | 1 | 22.35 | 21.08 | 6.02 |
| | 2 | 22.78 | 21.38 | 6.55 |
| | 3 | 23.98 | 22.55 | 6.34 |
| | | | | 6.30 |
| 35 | 1 | 19.86 | 18.20 | 9.12 |
| | 2 | 19.15 | 17.67 | 8.38 |
| | 3 | 23.14 | 20.91 | 10.66 |
| | | | | 9.39 |
| 40 | 1 | 24.77 | 22.38 | 10.68 |
| | 2 | 26.70 | 23.90 | 11.71 |
| | 3 | 27.42 | 24.61 | 11.42 |
| | | | | 11.27 |

ผลการทดสอบหาค่าความชื้น

ตาราง 8 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1:2

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | น้ำหนัก (g) | | ค่าความชื้น (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|
| | | ก่อนอบ | หลังอบ | |
| 30 | 1 | 25.55 | 22.61 | 13.00 |
| | 2 | 24.41 | 22.42 | 8.88 |
| | 3 | 25.24 | 23.55 | 7.18 |
| | | | | 9.69 |
| 35 | 1 | 28.48 | 24.79 | 14.89 |
| | 2 | 28.63 | 25.12 | 13.97 |
| | 3 | 26.28 | 24.07 | 9.18 |
| | | | | 12.68 |
| 40 | 1 | 26.95 | 24.12 | 11.73 |
| | 2 | 25.58 | 22.55 | 13.44 |
| | 3 | 25.70 | 23.10 | 11.26 |
| | | | | 12.14 |

ผลการทดสอบหาค่าความชื้น

ตาราง 9 เรซินสำเร็จรูปชนิดผง Cascamite One Shot

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | น้ำหนัก (g) | | ค่าความชื้น (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|
| | | ก่อนอบ | หลังอบ | |
| 35 | 1 | 25.82 | 21.01 | 22.84 |
| | 2 | 25.84 | 21.40 | 20.90 |
| | 3 | 26.03 | 21.34 | 21.98 |
| | | | | 21.91 |
| 40 | 1 | 26.72 | 22.46 | 18.97 |
| | 2 | 26.82 | 24.26 | 10.55 |
| | 3 | 30.09 | 24.60 | 22.32 |
| | | | | 17.28 |
| 45 | 1 | 27.23 | 21.63 | 25.89 |
| | 2 | 30.75 | 24.59 | 25.05 |
| | 3 | 29.85 | 23.83 | 25.26 |
| | | | | 25.40 |

ผลการทดสอบหาค่าความชื้น

ตาราง 10 เรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | น้ำหนัก (g) | | ค่าความชื้น (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|
| | | ก่อนอบ | หลังอบ | |
| 30 | 1 | 19.51 | 18.53 | 5.29 |
| | 2 | 20.53 | 19.48 | 5.39 |
| | 3 | 19.00 | 18.11 | 4.91 |
| | | | | 5.19 |
| 35 | 1 | 23.51 | 21.61 | 8.79 |
| | 2 | 20.98 | 19.57 | 7.20 |
| | 3 | 20.66 | 19.44 | 6.28 |
| | | | | 7.42 |
| 40 | 1 | 20.31 | 19.28 | 5.34 |
| | 2 | 22.85 | 21.68 | 5.40 |
| | 3 | 25.48 | 24.09 | 5.77 |
| | | | | 5.50 |

ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ

ตาราง 11 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1:1.5

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | น้ำหนัก (g) | | ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|
| | | ก่อนแช่น้ำ | หลังแช่น้ำ | |
| 35 | 1 | 22.48 | 30.18 | 34.25 |
| | 2 | 23.43 | 32.07 | 36.88 |
| | 3 | 22.45 | 30.79 | 37.15 |
| | | | | 36.15 |
| 40 | 1 | 27.70 | 35.13 | 26.82 |
| | 2 | 25.55 | 33.85 | 32.49 |
| | 3 | 26.09 | 34.17 | 30.97 |
| | | | | 30.09 |
| 45 | 1 | 24.01 | 29.70 | 23.70 |
| | 2 | 28.32 | 34.86 | 23.09 |
| | 3 | 29.17 | 35.46 | 21.56 |
| | | | | 22.78 |

ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ

ตาราง 12 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1:1.75

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | น้ำหนัก (g) | | ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|
| | | ก่อนแช่น้ำ | หลังแช่น้ำ | |
| 30 | 1 | 21.87 | 28.15 | 28.72 |
| | 2 | 22.30 | 19.50 | 32.29 |
| | 3 | 23.47 | 30.00 | 27.82 |
| | | | | 29.61 |
| 35 | 1 | 23.53 | 28.95 | 23.03 |
| | 2 | 21.92 | 27.50 | 25.46 |
| | 3 | 21.66 | 28.56 | 31.86 |
| | | | | 26.78 |
| 40 | 1 | 23.22 | 29.40 | 26.61 |
| | 2 | 24.66 | 31.45 | 27.53 |
| | 3 | 25.29 | 30.72 | 21.59 |
| | | | | 25.24 |

ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ

ตาราง 13 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1:2

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | น้ำหนัก (g) | | ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|
| | | ก่อนแช่น้ำ | หลังแช่น้ำ | |
| 30 | 1 | 23.52 | 31.23 | 32.78 |
| | 2 | 23.28 | 30.41 | 30.63 |
| | 3 | 24.40 | 30.82 | 26.31 |
| | | | | 29.91 |
| 35 | 1 | 25.87 | 33.48 | 29.42 |
| | 2 | 26.20 | 33.23 | 26.83 |
| | 3 | 25.10 | 30.24 | 20.48 |
| | | | | 25.58 |
| 40 | 1 | 25.93 | 32.88 | 26.80 |
| | 2 | 24.45 | 30.68 | 25.48 |
| | 3 | 24.05 | 30.43 | 26.53 |
| | | | | 26.27 |

ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ

ตาราง 14 เรซินสำเร็จรูปชนิดผง Cascamite One Shot

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | น้ำหนัก (g) | | ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|
| | | ก่อนแช่น้ำ | หลังแช่น้ำ | |
| 35 | 1 | 23.05 | 28.29 | 22.73 |
| | 2 | 23.41 | 28.49 | 21.70 |
| | 3 | 23.33 | 29.11 | 24.77 |
| | | | | 23.07 |
| 40 | 1 | 24.27 | 29.11 | 20.56 |
| | 2 | 25.97 | 29.50 | 13.59 |
| | 3 | 26.42 | 32.01 | 21.16 |
| | | | | 18.44 |
| 45 | 1 | 24.06 | 28.75 | 19.49 |
| | 2 | 27.01 | 30.34 | 12.33 |
| | 3 | 26.22 | 30.93 | 17.96 |
| | | | | 16.59 |

ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ

ตาราง 15 เรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | น้ำหนัก (g) | | ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|
| | | ก่อนแช่น้ำ | หลังแช่น้ำ | |
| 30 | 1 | 19.09 | 30.35 | 58.98 |
| | 2 | 20.03 | 32.49 | 62.21 |
| | 3 | 18.57 | 28.36 | 52.72 |
| | | | | 57.97 |
| 35 | 1 | 22.20 | 31.71 | 42.84 |
| | 2 | 20.13 | 29.04 | 44.26 |
| | 3 | 19.92 | 28.34 | 42.27 |
| | | | | 43.12 |
| 40 | 1 | 19.78 | 28.99 | 46.56 |
| | 2 | 22.14 | 34.32 | 55.01 |
| | 3 | 24.66 | 32.81 | 33.05 |
| | | | | 44.87 |

ผลการทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา

ตาราง 16 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1:1.5

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ความหนา (mm) | | ค่าการขยายตัวตามความหนา (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|
| | | ก่อนแช่น้ำ | หลังแช่น้ำ | |
| 35 | 1 | 2.91 | 3.11 | 6.87 |
| | 2 | 3.17 | 3.19 | 0.63 |
| | 3 | 3.03 | 3.27 | 7.92 |
| | | | | 5.14 |
| 40 | 1 | 2.98 | 3.11 | 4.36 |
| | 2 | 2.94 | 3.22 | 9.52 |
| | 3 | 2.85 | 3.06 | 7.37 |
| | | | | 7.08 |
| 45 | 1 | 2.77 | 2.88 | 3.97 |
| | 2 | 2.89 | 2.03 | 4.85 |
| | 3 | 2.64 | 2.95 | 11.76 |
| | | | | 6.86 |

ผลการทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา

ตาราง 17 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1:1.75

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ความหนา (mm) | | ค่าการขยายตัวตามความหนา (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|
| | | ก่อนแช่น้ำ | หลังแช่น้ำ | |
| 30 | 1 | 2.78 | 2.99 | 7.73 |
| | 2 | 2.71 | 2.89 | 6.64 |
| | 3 | 2.77 | 2.82 | 1.44 |
| | | | | 5.27 |
| 35 | 1 | 2.91 | 2.98 | 2.23 |
| | 2 | 3.12 | 3.12 | 1.12 |
| | 3 | 2.85 | 2.96 | 3.86 |
| | | | | 2.40 |
| 40 | 1 | 2.96 | 3.30 | 11.49 |
| | 2 | 3.01 | 3.16 | 5.16 |
| | 3 | 2.93 | 2.96 | 1.02 |
| | | | | 5.89 |

ผลการทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา

ตาราง 18 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1:2

| บริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ความหนา (mm) | | ค่าการขยายตัวตามความหนา (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|
| | | ก่อนแช่น้ำ | หลังแช่น้ำ | |
| 30 | 1 | 2.71 | 2.87 | 5.90 |
| | 2 | 3.02 | 3.14 | 3.97 |
| | 3 | 2.93 | 3.14 | 6.99 |
| | | | | 5.62 |
| 35 | 1 | 2.84 | 3.02 | 6.34 |
| | 2 | 2.89 | 2.97 | 2.77 |
| | 3 | 2.85 | 3.05 | 7.02 |
| | | | | 5.38 |
| 40 | 1 | 2.81 | 2.93 | 4.27 |
| | 2 | 2.75 | 2.86 | 4.00 |
| | 3 | 2.78 | 2.92 | 5.04 |
| | | | | 4.44 |

ผลการทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา

ตาราง 19 เรซินสำเร็จรูปชนิดผง Cascamite One Shot

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ความหนา (mm) | | ค่าการขยายตัวตามความหนา (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|
| | | ก่อนแช่น้ำ | หลังแช่น้ำ | |
| 35 | 1 | 2.87 | 3.12 | 8.71 |
| | 2 | 2.92 | 3.00 | 2.74 |
| | 3 | 2.89 | 3.00 | 3.63 |
| | | | | 5.03 |
| 40 | 1 | 2.87 | 3.02 | 5.23 |
| | 2 | 2.96 | 3.01 | 1.86 |
| | 3 | 3.05 | 3.12 | 2.13 |
| | | | | 3.07 |
| 45 | 1 | 3.04 | 3.18 | 4.60 |
| | 2 | 3.02 | 3.18 | 5.30 |
| | 3 | 3.11 | 3.14 | 0.96 |
| | | | | 3.62 |

ผลการทดสอบหาค่าการขยายตัวตามความหนา

ตาราง 20 เรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ความหนา (mm) | | ค่าการขยายตัวตามความหนา (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|
| | | ก่อนแช่น้ำ | หลังแช่น้ำ | |
| 30 | 1 | 2.75 | 3.02 | 9.82 |
| | 2 | 3.04 | 3.29 | 8.22 |
| | 3 | 3.03 | 3.26 | 7.77 |
| | | | | 8.60 |
| 35 | 1 | 2.66 | 2.83 | 8.27 |
| | 2 | 2.65 | 2.97 | 12.08 |
| | 3 | 2.74 | 3.05 | 11.13 |
| | | | | 10.49 |
| 40 | 1 | 3.03 | 3.25 | 7.26 |
| | 2 | 2.89 | 3.16 | 9.34 |
| | 3 | 2.73 | 2.88 | 5.49 |
| | | | | 7.36 |

ผลการทดสอบค่ามอดุลัสแตกร้าว

ตาราง 21 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1:1.5

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | กว้าง (mm) | หนา (mm) | แรงกดสูงสุด (N) | ค่ามอดุลัสแตกร้าว (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| 35 | 1 | 50.02 | 2.79 | 22 | 6.12 |
| | 2 | 49.98 | 2.82 | 15 | 4.08 |
| | 3 | 50.02 | 2.79 | 23 | 6.37 |
| | | | | | 5.52 |
| 40 | 1 | 50.02 | 2.78 | 9 | 2.51 |
| | 2 | 50.02 | 2.80 | 11 | 3.04 |
| | 3 | 50.03 | 2.80 | 14 | 3.78 |
| | | | | | 3.14 |
| 45 | 1 | 50.01 | 2.80 | 57 | 15.76 |
| | 2 | 49.90 | 2.79 | 46 | 13.06 |
| | 3 | 50.01 | 2.79 | 46 | 12.75 |
| | | | | | 13.86 |

ผลการทดสอบค่ามอดุลัสแตกร้าว

ตาราง 22 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1:1.75

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | กว้าง (mm) | หนา (mm) | แรงกดสูงสุด (N) | ค่ามอดุลัสแตกร้าว (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 1 | 50.03 | 2.78 | 25 | 6.98 |
| | 2 | 50.02 | 2.80 | 23 | 6.36 |
| | 3 | 50.01 | 2.80 | 30 | 8.28 |
| | | | | | 7.21 |
| 35 | 1 | 50.02 | 2.78 | 27 | 7.57 |
| | 2 | 50.02 | 2.79 | 22 | 6.11 |
| | 3 | 50.02 | 2.78 | 33 | 9.22 |
| | | | | | 7.63 |
| 40 | 1 | 50.02 | 2.79 | 31 | 8.57 |
| | 2 | 50.02 | 2.80 | 33 | 9.11 |
| | 3 | 50.02 | 2.79 | 38 | 10.86 |
| | | | | | 9.51 |

ผลการทดสอบค่ามอดุลัสแตกร้าว

ตาราง 23 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1:2

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | กว้าง (mm) | หนา (mm) | แรงกดสูงสุด (N) | ค่ามอดุลัสแตกร้าว (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 1 | 50.02 | 2.79 | 34 | 9.43 |
| | 2 | 50.02 | 2.79 | 42 | 11.65 |
| | 3 | 50.02 | 2.81 | 28 | 7.66 |
| | | | | | 9.58 |
| 35 | 1 | 50.03 | 2.80 | 36 | 9.91 |
| | 2 | 50.02 | 2.79 | 45 | 12.48 |
| | 3 | 50.02 | 2.79 | 41 | 11.37 |
| | | | | | 11.25 |
| 40 | 1 | 50.01 | 2.81 | 38 | 10.43 |
| | 2 | 49.99 | 2.79 | 42 | 11.70 |
| | 3 | 49.80 | 2.79 | 33 | 9.19 |
| | | | | | 10.44 |

ผลการทดสอบค่ามอดุลัสแตกร้าว

ตาราง 24 เรซินสำเร็จรูปชนิดผง Cascamite One Shot

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | กว้าง (mm) | หนา (mm) | แรงกดสูงสุด (N) | ค่ามอดุลัสแตกร้าว (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| 35 | 1 | 50.02 | 2.81 | 15 | 4.12 |
| | 2 | 50.02 | 2.81 | 14 | 3.84 |
| | 3 | 50.02 | 2.80 | 21 | 5.80 |
| | | | | | 4.59 |
| 40 | 1 | 50.01 | 2.95 | 24 | 5.96 |
| | 2 | 50.02 | 3.12 | 20 | 4.44 |
| | 3 | 50.02 | 3.03 | 21 | 4.94 |
| | | | | | 5.11 |
| 45 | 1 | 50.01 | 3.34 | 35 | 6.68 |
| | 2 | 50.02 | 3.34 | 27 | 5.24 |
| | 3 | 50.02 | 3.34 | 34 | 6.59 |
| | | | | | 6.17 |

ผลการทดสอบค่ามอดุลัสแตกร้าว

ตาราง 25 เรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | กว้าง (mm) | หนา (mm) | แรงกดสูงสุด (N) | ค่ามอดุลัสแตกร้าว (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 1 | 50.02 | 2.78 | 18 | 5.03 |
| | 2 | 50.03 | 2.78 | 25 | 6.93 |
| | 3 | 50.02 | 3.31 | 25 | 4.93 |
| | | | | | 5.63 |
| 35 | 1 | 50.03 | 3.32 | 22 | 4.32 |
| | 2 | 50.03 | 3.33 | 23 | 4.49 |
| | 3 | 50.02 | 2.81 | 15 | 4.12 |
| | | | | | 4.31 |
| 40 | 1 | 50.03 | 2.80 | 21 | 5.80 |
| | 2 | 50.02 | 2.79 | 25 | 6.93 |
| | 3 | 50.02 | 3.32 | 25 | 4.91 |
| | | | | | 5.88 |

ผลการทดสอบหาค่าความแข็ง

ตาราง 26 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1:1.5

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ความแข็ง (shore D) | | | | | เฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 | ครั้งที่ 5 | |
| 35 | 1 | 57 | 49 | 51 | 61 | 47 | 53.0 |
| | 2 | 42 | 55 | 46 | 50 | 44 | 47.4 |
| | 3 | 58 | 60 | 48 | 56 | 54 | 55.2 |
| | | | | | | | 51.87 |
| 40 | 1 | 58 | 68 | 57 | 66 | 45 | 58.8 |
| | 2 | 48 | 64 | 60 | 61 | 55 | 57.6 |
| | 3 | 70 | 68 | 68 | 51 | 63 | 64.0 |
| | | | | | | | 60.13 |
| 45 | 1 | 52 | 54 | 54 | 51 | 52 | 52.6 |
| | 2 | 65 | 67 | 66 | 66 | 57 | 64.2 |
| | 3 | 68 | 61 | 67 | 67 | 68 | 66.2 |
| | | | | | | | 61.0 |

ผลการทดสอบหาค่าความแข็ง

ตาราง 27 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1:1.75

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ความแข็ง (shore D) | | | | | เฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 | ครั้งที่ 5 | |
| 30 | 1 | 44 | 48.5 | 56 | 49 | 40 | 47.5 |
| | 2 | 52 | 55 | 49 | 49.5 | 50 | 51.5 |
| | 3 | 44 | 56 | 46 | 55.5 | 50.5 | 50.4 |
| | | | | | | | 49.67 |
| 35 | 1 | 55 | 52 | 55 | 49 | 48 | 51.8 |
| | 2 | 60 | 57 | 53 | 56 | 54 | 56.0 |
| | 3 | 53 | 57 | 66 | 55 | 46.5 | 55.5 |
| | | | | | | | 54.43 |
| 40 | 1 | 51 | 56 | 56 | 55 | 53 | 54.2 |
| | 2 | 64 | 57 | 65 | 55 | 58 | 59.8 |
| | 3 | 70 | 65 | 61 | 59 | 61 | 63.2 |
| | | | | | | | 59.07 |

ผลการทดสอบหาค่าความแข็ง

ตาราง 28 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1:2

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ความแข็ง (shore D) | | | | | เฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 | ครั้งที่ 5 | |
| 30 | 1 | 48.5 | 55 | 55 | 57 | 60 | 55.1 |
| | 2 | 49 | 54.5 | 46 | 40 | 50 | 47.9 |
| | 3 | 49 | 61 | 48 | 55 | 47 | 52 |
| | | | | | | | 51.66 |
| 35 | 1 | 53 | 51 | 52 | 60 | 56 | 54.4 |
| | 2 | 57 | 60 | 60 | 59 | 56 | 58.4 |
| | 3 | 60 | 50 | 51 | 52 | 47 | 52 |
| | | | | | | | 54.93 |
| 40 | 1 | 62.5 | 59 | 54 | 63 | 60 | 59.7 |
| | 2 | 67 | 64 | 60 | 59 | 62 | 62.4 |
| | 3 | 60 | 65 | 57 | 56 | 63 | 60.2 |
| | | | | | | | 60.77 |

ผลการทดสอบหาค่าความแข็ง

ตาราง 29 เรซินสำเร็จรูปชนิดผง Cascamite One Shot

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ความแข็ง (shore D) | | | | | เฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 | ครั้งที่ 5 | |
| 35 | 1 | 49 | 45 | 41 | 44 | 49 | 45.6 |
| | 2 | 61 | 54 | 44 | 54 | 57 | 54.0 |
| | 3 | 49 | 56 | 51 | 55 | 45 | 51.2 |
| | | | | | | | 50.27 |
| 40 | 1 | 56 | 56 | 49 | 55 | 51 | 53.4 |
| | 2 | 60 | 57 | 61 | 64 | 57 | 59.8 |
| | 3 | 53 | 59 | 54 | 63 | 61 | 58.0 |
| | | | | | | | 57.07 |
| 45 | 1 | 57 | 58 | 51 | 62 | 50 | 55.6 |
| | 2 | 54 | 48 | 50 | 65 | 53 | 53.8 |
| | 3 | 52 | 54 | 58 | 56 | 59 | 55.8 |
| | | | | | | | 55.07 |

ผลการทดสอบหาค่าความแข็ง

ตาราง 30 เรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ความแข็ง (shore D) | | | | | เฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 | ครั้งที่ 5 | |
| 30 | 1 | 43 | 42.5 | 44 | 42 | 43 | 42.9 |
| | 2 | 38 | 38 | 44 | 44 | 40.5 | 40.9 |
| | 3 | 37 | 46 | 40.5 | 37 | 43 | 40.7 |
| | | | | | | | 41.5 |
| 35 | 1 | 49 | 49 | 52 | 46.5 | 47 | 48.5 |
| | 2 | 47 | 58 | 50 | 51 | 51.5 | 51.5 |
| | 3 | 47 | 50 | 46 | 44 | 47 | 46.8 |
| | | | | | | | 49.0 |
| 40 | 1 | 48 | 47 | 55 | 41.5 | 54 | 49.1 |
| | 2 | 41 | 47.5 | 44 | 49 | 48.5 | 46.0 |
| | 3 | 55 | 57 | 59 | 54 | 59 | 56.8 |
| | | | | | | | 50.63 |

ตารางสรุปผล

ตาราง 31 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1:1.5

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ความหนาแน่น ($kg/m^3$) | ความชื้น (%) | การดูดซึมน้ำ (%) | การขยายตัวตามความหนา (%) | มอดุลัสแตกร้าว (MPa) | ความแข็ง shore D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 35 | 1 | 869.28 | 7.87 | 34.25 | 6.87 | 6.12 | 53.0 |
| | 2 | 771.93 | 9.09 | 36.88 | 0.63 | 4.08 | 47.4 |
| | 3 | 827.46 | 10.64 | 37.15 | 7.92 | 6.37 | 55.2 |
| เฉลี่ย | | 822.89 | 9.20 | 36.09 | 5.14 | 5.52 | 51.87 |
| SD | | 39.87 | 1.13 | 1.31 | 3.22 | 1.03 | 3.28 |
| 40 | 1 | 1001.26 | 12.23 | 26.82 | 4.36 | 2.51 | 58.8 |
| | 2 | 939.37 | 11.48 | 32.49 | 9.52 | 3.04 | 57.6 |
| | 3 | 994.21 | 10.59 | 30.97 | 7.37 | 3.87 | 64.0 |
| เฉลี่ย | | 974.91 | 11.43 | 30.09 | 7.08 | 3.14 | 60.13 |
| SD | | 28.73 | 0.67 | 2.39 | 2.12 | 0.52 | 2.78 |
| 45 | 1 | 877.13 | 9.12 | 23.70 | 3.97 | 15.76 | 52.6 |
| | 2 | 1060.17 | 14.29 | 23.09 | 4.85 | 13.06 | 64.2 |
| | 3 | 1129.49 | 10.51 | 21.56 | 11.76 | 12.75 | 66.2 |
| เฉลี่ย | | 1022.26 | 11.31 | 22.78 | 6.87 | 13.86 | 61.0 |
| SD | | 106.51 | 2.18 | 0.90 | 3.48 | 1.35 | 5.99 |

ตารางสรุปผล

ตาราง 32 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1:1.75

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ความหนาแน่น ($kg/m^3$) | ความชื้น (%) | การดูดซึมน้ำ (%) | การขยายตัวตามความหนา (%) | มอดุลัสแตกร้าว (MPa) | ความแข็ง shore D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 1 | 753.60 | 6.02 | 28.72 | 11.49 | 6.98 | 47.5 |
| | 2 | 759.02 | 6.55 | 32.29 | 5.16 | 6.36 | 51.1 |
| | 3 | 817.43 | 6.34 | 27.82 | 1.02 | 8.28 | 50.4 |
| เฉลี่ย | | 776.68 | 6.30 | 29.61 | 5.89 | 7.21 | 49.67 |
| SD | | 28.90 | 0.08 | 1.94 | 2.74 | 0.80 | 1.88 |
| 35 | 1 | 813.67 | 9.12 | 23.03 | 2.23 | 7.57 | 51.8 |
| | 2 | 902.51 | 8.38 | 25.46 | 1.12 | 6.11 | 56.0 |
| | 3 | 786.05 | 10.66 | 31.86 | 3.86 | 9.22 | 55.5 |
| เฉลี่ย | | 840.08 | 9.39 | 26.78 | 2.40 | 7.63 | 54.43 |
| SD | | 47.78 | 0.95 | 3.72 | 1.13 | 1.27 | 1.87 |
| 40 | 1 | 1021.78 | 10.68 | 26.61 | 7.73 | 8.57 | 54.2 |
| | 2 | 951.32 | 11.90 | 27.53 | 6.64 | 9.11 | 59.8 |
| | 3 | 983.33 | 11.42 | 21.59 | 1.44 | 10.86 | 63.2 |
| เฉลี่ย | | 985.48 | 11.27 | 25.24 | 5.27 | 9.51 | 59.07 |
| SD | | 28.81 | 0.43 | 2.61 | 4.31 | 0.98 | 3.71 |

ตารางสรุปผล

ตาราง 33 อัตราส่วนยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ = 1:2

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ความหนาแน่น ($kg/m^3$) | ความชื้น (%) | การดูดซึมน้ำ (%) | การขยายตัวตามความหนา (%) | มอดุลัสแตกร้าว (MPa) | ความแข็ง shore D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 1 | 889.8 | 13.00 | 32.78 | 5.90 | 9.43 | 55.1 |
| | 2 | 782.5 | 8.88 | 30.63 | 3.97 | 11.65 | 47.9 |
| | 3 | 823.8 | 7.18 | 26.31 | 6.99 | 7.66 | 52.0 |
| เฉลี่ย | | 823.03 | 9.69 | 29.91 | 5.62 | 9.58 | 51.66 |
| SD | | 44.19 | 2.44 | 2.69 | 1.25 | 1.63 | 2.95 |
| 45 | 1 | 944.6 | 14.89 | 29.42 | 6.34 | 9.91 | 54.4 |
| | 2 | 954.2 | 13.97 | 26.83 | 2.77 | 12.48 | 58.4 |
| | 3 | 868.7 | 9.18 | 20.48 | 7.02 | 11.37 | 52.0 |
| เฉลี่ย | | 922.5 | 12.68 | 25.58 | 5.38 | 11.25 | 54.93 |
| SD | | 38.24 | 2.50 | 3.76 | 1.86 | 1.05 | 2.64 |
| 40 | 1 | 924.4 | 11.73 | 26.80 | 4.27 | 10.43 | 59.7 |
| | 2 | 974.4 | 13.44 | 25.48 | 4.00 | 11.70 | 62.4 |
| | 3 | 1101.1 | 11.26 | 26.53 | 5.04 | 9.19 | 60.2 |
| เฉลี่ย | | 999.95 | 12.14 | 26.27 | 4.44 | 10.44 | 60.77 |
| SD | | 74.36 | 0.94 | 0.57 | 0.44 | 1.02 | 1.17 |

ตารางสรุปผล

ตาราง 34 เรซินสำเร็จรูปชนิดผง Cascamite One Shot

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ความหนาแน่น ($kg/m^3$) | ความชื้น (%) | การดูดซึมน้ำ (%) | การขยายตัวตามความหนา (%) | มอดุลัสแตกร้าว (MPa) | ความแข็ง shore D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 35 | 1 | 936.02 | 22.84 | 22.73 | 8.71 | 4.12 | 45.6 |
| | 2 | 900.59 | 20.90 | 21.70 | 2.74 | 3.84 | 54.0 |
| | 3 | 915.81 | 21.98 | 24.77 | 3.63 | 5.80 | 51.2 |
| เฉลี่ย | | 917.47 | 21.91 | 23.07 | 5.03 | 4.59 | 50.27 |
| SD | | 14.51 | 0.79 | 1.28 | 2.63 | 0.87 | 3.49 |
| 40 | 1 | 963.74 | 18.97 | 20.56 | 5.23 | 5.96 | 53.4 |
| | 2 | 924.46 | 10.55 | 13.59 | 1.86 | 4.44 | 59.8 |
| | 3 | 1023.5 | 22.32 | 21.16 | 2.13 | 4.94 | 58.0 |
| เฉลี่ย | | 970.57 | 17.28 | 18.44 | 3.07 | 5.11 | 57.07 |
| SD | | 40.72 | 4.95 | 3.44 | 1.53 | 0.63 | 2.69 |
| 45 | 1 | 893.77 | 25.89 | 19.49 | 4.60 | 6.68 | 55.6 |
| | 2 | 1012.78 | 25.05 | 12.33 | 5.30 | 5.24 | 53.8 |
| | 3 | 968.89 | 25.06 | 17.96 | 0.96 | 6.59 | 55.8 |
| เฉลี่ย | | 958.43 | 25.40 | 16.59 | 3.62 | 6.17 | 55.07 |
| SD | | 85.11 | 0.36 | 3.08 | 1.90 | 0.66 | 0.90 |

ตารางสรุปผล

ตาราง 35 เรซินสำเร็จรูปชนิดเหลว

| ปริมาตรเรซินที่ใช้ (ml) | ชิ้นที่ | ความหนาแน่น ($kg/m^3$) | ความชื้น (%) | การดูดซึมน้ำ (%) | การขยายตัวตามความหนา (%) | มอดุลัสแตกร้าว (MPa) | ความแข็ง shore D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 1 | 704.26 | 5.29 | 58.98 | 9.82 | 5.03 | 42.9 |
| | 2 | 669.99 | 5.39 | 62.21 | 8.22 | 6.93 | 40.9 |
| | 3 | 633.70 | 4.91 | 52.72 | 7.77 | 4.93 | 40.7 |
| เฉลี่ย | | 669.32 | 5.19 | 57.97 | 8.60 | 5.63 | 41.5 |
| SD | | 28.81 | 0.21 | 3.94 | 0.88 | 0.92 | 0.99 |
| 35 | 1 | 856.44 | 8.79 | 42.84 | 8.27 | 4.32 | 48.7 |
| | 2 | 759.42 | 7.20 | 44.26 | 12.08 | 4.49 | 51.5 |
| | 3 | 736.31 | 6.28 | 42.27 | 11.13 | 4.12 | 46.8 |
| เฉลี่ย | | 784.06 | 7.42 | 43.12 | 10.49 | 4.31 | 49.0 |
| SD | | 52.05 | 1.04 | 0.84 | 1.62 | 0.15 | 3.19 |
| 40 | 1 | 623.27 | 5.34 | 46.56 | 7.26 | 5.80 | 49.1 |
| | 2 | 762.39 | 5.40 | 55.01 | 9.34 | 6.93 | 46.0 |
| | 3 | 918.47 | 5.77 | 33.05 | 5.49 | 4.91 | 56.8 |
| เฉลี่ย | | 768.04 | 5.50 | 44.87 | 7.36 | 5.88 | 50.63 |
| SD | | 120.59 | 0.19 | 9.04 | 1.57 | 0.83 | 4.54 |

ตารางที่ 36 แสดงค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นใยไม้อัด

| คุณสมบัติทางกายภาพ | แผ่นใยไม้อัดชนิด | |
|---|---|---|
| | แข็ง | ความหนาแน่นปานกลาง |
| 1.ความหนาแน่น ($kg/m^3$) | 800 - 1200 | 500 - 800 |
| 2.ความชื้น (%) | 5 - 13 | 4 - 10 |
| 3.การดูดซึมน้ำ (%) | ≤ 40 | ≤ 20 |
| 4.การขยายตัวตามความหนา (%) | ≤ 30 | ≤ 8 |
| 5.มอดุลัสแตกร้าว (MPa) | ≥ 38 | ≥ 20 |

## ภาคผนวก ค.

**กรรมวิธีและเครื่องจักรกลที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นใยไม้อัด** (2)

กรรมวิธีในการผลิตแผ่นใยไม้อัดมีแตกต่างอยู่หลายกรรมวิธี ดังนี้

1. การเตรียมวัตถุดิบ (Raw material preparation)

1.1 ในกรณีที่ใช้ไม้เป็นวัตถุดิบ

1.1.1 การปอกหรือลอกเปลือกไม้ (Debarking) ถ้าวัตถุดิบที่ใช้เป็นไม้ท่อนที่มีเปลือกติดอยู่ด้วย ต้องทำการปอกหรือลอกเปลือกไม้ออกด้วยเครื่องปอกหรือลอกเปลือกไม้เสียก่อน และถ้าไม้นั้นสกปรก คือ มีดิน โคลน หรือกรวดทรายติดอยู่มาก ก็ต้องทำความสะอาดด้วยน้ำ (Washing) เสียก่อนด้วย

1.1.2 การตัดไม้เป็นชิ้นเล็กๆ (Chipping) นำไม้ที่ปอกหรือลอกเปลือกทำความสะอาดแล้วมาตัดให้เป็นท่อนสั้นๆ พอเหมาะแล้วป้อนเข้าเครื่องตัดไม้เป็นชิ้นเล็กๆ ชิ้นไม้เล็กๆ ที่ตัดได้เรียกว่า 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 ยังอาจใช้พืชหรือเศษพืชกสิกรรมบางชนิดเป็นวัตถุดิบได้อีกด้วย เช่น ชานอ้อย หรือกากอ้อย (Bagasse) ฟางข้าว (Straw) ใยกาบมะพร้าว (Coconut fibers) และปอ (Jute & Kenaf) เป็นต้น ในกรณีที่ใช้พืชหรือเศษพืชกสิกรรมเป็นวัตถุดิบ การเตรียมวัตถุดิบก็ย่อมต้องใช้วิธีการและเครื่องจักรแตกต่างกันออกไปด้วย

2. การเตรียมเยื่อ (Pulp preparation) การเตรียมเยื่อหรือแยกเยื่อ นับว่าเป็นขั้นสำคัญที่สุดในการผลิตแผ่นใยไม้อัด การแยกเยื่อในการผลิตอาจแบ่งออกได้เป็น 4 วิธีใหญ่ๆ คือ

2.1 การแยกเยื่อโดยวิธีใช้พลังงานกล (Mechanical pulping) วิธีนี้ใช้ไม้ท่อนที่เตรียมไว้ป้อนเข้าเครื่องขัดหรือหินขัด (Grind stone) ซึ่งหมุนอยู่ในน้ำ แรงขัดสีจะแยกท่อนไม้ออกเป็นเยื่อ (Mechanical or groundwood pulp) เครื่องแยกเยื่อโดยใช้แรงขัดสีที่ใช้กันมากเรียกว่า Pocket grinder เยื่อไม้ที่ได้ต้องนำไปคัดขนาด (Screening) และทำความสะอาด (Washing) เสียก่อน

2.2 การแยกเยื่อโดยวิธีใช้พลังงานความร้อนร่วมกับพลังงานกล (Thermal plus mechanical pulping) วิธีนี้ก่อนที่จะทำการแยกเยื่อต้องนำชิ้นไม้หรือชิ้นพืชมาทำ pretreatment เสียก่อน เช่น นำชิ้นไม้หรือพืชมาแช่น้ำ หรืออบด้วยไอน้ำร้อน ภายใต้ความดันหรือต้มกับสารเคมีบางชนิด โดยใช้ไอน้ำร้อนภายใต้ความดัน เป็นต้น ทั้งนี้ย่อมแล้วแต่ชนิดของไม้หรือพืชที่ใช้ และชนิดของแผ่นใยไม้อัดที่ต้องการผลิต การทำ pretreatment ส่วนมากทำในหม้อต้ม (Steam cooker) หรือเครื่อง Digester

เมื่อ pretreatment แล้ว นำชิ้นไม้หรือพืชทำการแยกเยื่อ (Defibering) ในเครื่องแยกเยื่อไม้ที่เรียกว่า Attrition mill (Disc refiner) แล้วทำการล้างเยื่อไม้ ในบางกรณีอาจจำเป็นต้องทำการย่อยเยื่อไม้ให้ละเอียดลงไปอีกด้วยเครื่อง Rollofiners , Jordan หรือ Disc refiner อื่นๆ แล้วจึงผสมน้ำลงในเยื่อเพื่อทำ pulp suspension ขณะเดียวกันก็ผสมด้วยาหรือสารเคมีบางอย่าง (Sizing agents & additives) ลงไปด้วย เพื่อปรับปรุงคุณภาพของแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตขึ้น ต่อจากนั้น จึงส่ง pulp suspension ไปเข้าเครื่องทำแผ่น (Wet sheet - forming machine) ต่อไป

3. การแยกเยื่อไม้โดยกรรมวิธีทางเคมีร่วมกับพลังงานกล (Chemical plus mechanical process) วิธีนี้จะนำชิ้นไม้หรือพืชเข้าอบด้วยไอน้ำที่มีความร้อนและความดันสูงๆ ในหม้อนึ่งพิเศษที่เรียกว่า "Gun" หรือ High pressure vessel ชั่วขณะหนึ่ง จากนั้นเปิดวาล์วที่หม้อนึ่งเพื่อระบายความดันออกในทันที ชิ้นไม้หรือพืชในหม้อนึ่งจะระเบิดตัวออกเป็นเยื่อไม้นอกหม้อนึ่งด้วยแรงขยายตัวของไอน้ำ และร่วงลงผสมกับน้ำ ใน Stock chest จากนั้นถูกสูบผ่านเครื่องล้างเยื่อ (Washer) ไปเข้าเครื่องแยกหรือบดเยื่อ (Disc refiner) ให้ละเอียดอีกทีหนึ่ง แล้วจึงผ่านไปเข้าเครื่องคัดขนาด (Screen)

สำหรับการผลิตแผ่นใยไม้อัดชนิด Insulation board มักใช้เยื่อไม้ที่เตรียมโดยวิธีใช้พลังงานกลที่เรียกว่า Mechanical or groundwood pulp ล้วนๆ หรือใช้เยื่อที่เตรียมโดยวิธีอื่นๆ มาผสมบ้าง นอกจากนี้อาจจำเป็นต้องบดเยื่อนี้ให้ละเอียดลงไปอีกด้วยเครื่อง Disc refiner จากนี้ทำการคัดขนาดเยื่อและผสมด้วยยาปรับคุณภาพพืช (Sizing) แล้วจึงส่งเยื่อไปเข้าเครื่องทำแผ่น (Mat or sheet-forming machine)

1. การผสมด้วยาเพื่อปรับปรุงคุณภาพ (Sizing)

การผสมด้วยาหรือสารเคมี (Sizing agents & additives) กับเยื่อก็เพื่อทำให้แผ่น Insulation board ที่ผลิตมีความต้านทานต่อการดูดน้ำและมีความแข็งแรงดีขึ้น ด้วยาหรือสารเคมีที่ใช้กันมากก็คือ Rosin , Paraffin และ Cumaron resine การผสมด้วยากับเยื่อไม้นั้นทำใน Mixing chest ก่อนที่เยื่อไม้จะผ่านไปเข้าเครื่องทำแผ่น

2. การทำแผ่น (Mat or sheet formation)

เยื่อที่ปนกับน้ำ (Pulp suspension) และมีด้วยาปรับปรุงคุณภาพผสมอยู่ด้วยในปริมาณที่เหมาะสม จะถูกส่งไปทำแผ่นในน้ำ (Wet felting) ด้วยเครื่องทำแผ่น เครื่องทำแผ่นในน้ำที่ใช้กันมากมี 3 ชนิด คือ Deckel boxes , Fourdrinier-type formers และ Vacuum cylinder formers แผ่นเยื่อไม้ที่ออกจากเครื่องทำแผ่นจะถูกส่งไปเข้าเครื่องอัดเย็น 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 แผ่นใยไม้อัดที่ออกจากเครื่องอบแห้งเมื่อนำไปตัดริมให้เรียบร้อยและได้ขนาดมาตรฐานที่กำหนด ก็นับว่าเป็นแผ่นใยไม้อัดชนิด Insulation board ที่สมบูรณ์ สำหรับนำไปใช้ประโยชน์โดยทั่วๆ ไป (General purpose board)

4. กรรมวิธีเพิ่มเติม (Addition Manufacturing Operations)

กรรมวิธีเพิ่มเติมในการผลิตแผ่น Insulation board มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตแผ่น Insulation board สำหรับใช้ประโยชน์เฉพาะอย่าง (Special purpose board) โดยแผ่น Insulation board ที่ออกจากเครื่องอบแห้งจะถูกนำมาผ่านกรรมวิธีเพิ่มเติมอีกบางประการ เช่น ลงวัตถุรองพื้น เคลือบสี เคลือบแลคเกอร์ อาบด้วยแอสฟัลท์ ทำร่องลิ้นหรือบากครึ่ง ทำร่องที่ผิวหน้า ทำเป็นแผ่นเล็กๆ สำหรับใช้บุผนังในอาคารหรือห้องที่ต้องการเก็บเสียงหรือเก็บความร้อน ทนาว (Acoustical tiles) นอกจากนี้ในขณะผลิตอาจผสมสารเคมีพิเศษบางชนิดลงในเยื่อเพื่อทำแผ่น Insulation board ชนิดพิเศษที่มีความต้านทานต่อการทำลายของแมลงและรา หรือที่มีความทนไฟ เป็นต้น

สำหรับการผลิตแผ่นใยไม้อัดชนิด Hardboard โดยทั่วไปทำการแยกและบดเยื่อด้วยวิธีใช้ความร้อนร่วมกับพลังงานกล หรือใช้กรรมวิธีเคมีร่วมกับพลังงานกล หรือวิธีระเบิดเยื่อไม้ด้วยไอน้ำร้อน วิธีใดวิธีหนึ่งตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

1. การผสมด้วยาเพื่อปรับปรุงคุณภาพ (Sizing)

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

2. การทำแผ่น (Mat or sheet forming)

การทำแผ่นในการผลิต Hardboard มี 2 วิธี คือ

2.1 การทำแผ่นในน้ำ (Wet felting)

วิธีนี้ใช้ในกรผลิต Hardboard โดยกรรมวิธีเปียก (Wet Process) การทำแผ่นในน้ำเป็นวิธีดั่งเดิมซึ่งใช้กันมาก มีวิธีการและใช้เครื่องจักรเช่นเดียวกับการทำแผ่นในน้ำในการผลิต Insulation board วิธีนี้มีข้อเสียอยู่บ้างเพราะต้องใช้น้ำจืดเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังอาจเกิดปัญหาในเรื่องการกำจัดน้ำเสียหรือน้ำเน่า (Water pollution) อีกด้วย

2.2 การทำแผ่นในอากาศ (Air felting)

วิธีนี้เป็นวิธีใหม่ และใช้ในการผลิต Hardboard ด้วยกรรมวิธีกึ่งแห้ง (Semi-dry procrss) หรือกรรมวิธีแห้ง (Dry procrss) กล่าวคือ เยื่อที่ใช้ทำแผ่นนั้นแทนที่จะอยู่ในสภาพที่ผสมกับน้ำ (Pulp suspension) ก็จะต้องผ่านการอบให้แห้งพอสมควร คือ เหลือความชื้นอยู่ประมาณ 30 เปอร์เซนต์ ลงมาเสียก่อน แล้วจึงผ่านมาเข้าเครื่องทำแผ่นในอากาศ (Air-felting unit or machine) ซึ่งจะโรยเยื่อไม้ที่แห้งนี้ลงบนแผ่นโลหะ (Metal cauls) ตามปริมาณที่กำหนดให้โดยสม่ำเสมอ แผ่นเยื่อที่ออกจากเครื่องทำแผ่นในอากาศในขั้นแรกจะถูกส่งไปอัดด้วยเครื่องอัดเย็น (Single-opening cold press หรือ Roll press) เพื่อให้บางลงก่อนที่จะถูกส่งไปเข้าเครื่องอัดร้อนต่อไป วิธีทำแผ่นในอากาศนี้มีข้อดีคือ ช่วยลดปริมาณการใช้น้ำจืดลงและช่วยแก้ปัญหาการกำจัดน้ำเสียหรือน้ำเน่าได้ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอัดร้อน คือ ทำให้อัดแผ่นไม้ได้เร็วขึ้นอีกด้วย อย่างไรก็ตามวิธีทำแผ่นในอากาศไม่ปรากฏว่ามีผู้นำไปใช้ในการผลิตแผ่น Insulating board

3. การอัดร้อน (Hot pressing)

การอัดร้อนมี 2 วิธี คือ

3.1 วิธีอัดแผ่นเยื่อที่มีความชื้นสูง (Wet pressing) รองใต้แผ่นเยื่อไม้เพื่อให้ไอน้ำสามารถระบายจากแผ่นเยื่อไม้ในขณะทำการอัดได้ และโดยเหตุที่เยื่อไม้มีความชื้นมาก การอัดแผ่นเยื่อไม้แต่ละ cycle จึงต้องใช้เวลานานกว่าวิธีอัดแผ่นเยื่อไม้ที่แห้ง (Dry pressing) แผ่น Hardboard ที่อัดโดยวิธีนี้จะมีรอยพิมพ์ของแผ่นลวดตาข่ายปรากฏอยู่ที่ผิวหน้าด้านหนึ่ง (Screen-back board) เสมอ

3.2 วิธีอัดแผ่นเยื่อแห้ง (Dry pressing)

โดยเหตุที่เยื่อไม้มีความชื้นค่อนข้างต่ำ จึงสามารถอัดแผ่นเยื่อไม้ในระหว่างแผ่นโลหะ (Metal cauls) 2 แผ่นได้ โดยไม่ต้องใช้แผ่นลวดตาข่ายรอง และสามารถอัดแผ่นเยื่อไม้แต่ละ cycle ได้เร็วกว่าวิธีแรกด้วย แผ่น Hardboard ที่อัดโดยวิธีนี้มีผิวเรียบทั้ง 1 หน้า (S-2-S board)

การอัดร้อนทั้ง 2 วิธีนี้ใช้เครื่องอัดร้อนชนิดที่อัดได้ครั้งละหลายๆ แผ่น (Multi

opening hydraulic hot press) ซึ่งให้ความร้อนด้วยไอน้ำ น้ำร้อน หรือไฟฟ้า

แผ่น Hardboard ที่ออกจากเครื่องอัดร้อน เมื่อนำไปตัดริมให้เรียบและได้ขนาดสม่ำเสมอกันตามที่กำหนดแล้ว ถือว่าเป็นแผ่นเยื่อไม้อัดแข็งมาตรฐาน (Standard Hardboard)

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 แยกเยื่อไม้อัดแข็งชนิดอบความร้อน (Healt-treated Hardboard)

4.2 การอาบน้ำมัน (Oil tempering)

การปรับปรุงคุณภาพแผ่น Hardboard โดยวิธีนี้นอกจากเพิ่มความแข็งแรงและความต้านทานต่อความชื้นแล้ว ยังทำให้แผ่นมีความทนทานต่อภาวะเปลี่ยนแปลงของดินฟ้าอากาศ (Weathering) และภาวะสึกกร่อน (Abrasion) ในการใช้งานได้ดีขึ้นอีกด้วย มีวิธีการโดยย่อคือ นำแผ่น Hardboard ที่ออกจากเครื่องอัดร้อนลงจุ่มในน้ำมันชักแห้ง (Drying oils) ที่ร้อน แล้วนำเข้าอบในเครื่องอบโดยใช้อุณหภูมิสูงๆ เป็นเวลาหลายชั่วโมง แผ่น Hardboard ที่ได้เรียกว่า แผ่นไม้อัดแข็งชนิดอาบน้ำมัน (Oil-tempered Hardboard)

5. การให้ความชื้นหรือการปรับสภาวะความชื้น (Humidification or conditioning)

แผ่นเยื่อไม้อัดแข็งทั้งชนิดมาตรฐาน ชนิดอบความร้อนและชนิดอาบน้ำมันนั้น เมื่อผลิตออกมาใหม่ๆ จะมีความชื้นต่ำมาก หากนำไปใช้นานๆ เข้าก็จะดูดความชื้นจากอากาศเข้าไปทำให้มีขนาดเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ทั้งอาจบิดงอได้อีกด้วย ด้วยเหตุนี้ จึงจำเป็นต้องนำแผ่นเยื่อ

ไม้อัดแข็งนี้มาผ่านกรรมวิธีให้ความชื้นในเครื่องให้ความชื้น(Humiditfiers) ซึ่งสามารถควบคุมสภาพของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) และการหมุนเวียนของอากาศภายในได้ตามต้องการ เพื่อให้แผ่นใยไม้อัดแข็ง มีความชื้นประมาณ 8-12 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนำออกสู่ตลาด วิธีนี้จะทำให้เยื่อไม้อัดมีความคงตัวหรืออยู่ตัว (Dimensional stability) ไม่เกิดการยืดหดหรือบิดงอเมื่อนำไปใช้ ตัวอย่างการให้ความชื้น เช่น นำแผ่นเยื่อไม้อัดเข้าอบในเครื่องให้ความชื้นโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 38-50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง เป็นต้น

6. กรรมวิธีเพิ่มเติม (Additional Manufacturing Operations).

กรรมวิธีเพิ่มเติมในการผลิตแผ่นใยไม้อัดแข็ง เพื่อใช้ประโยชน์เฉพาะอย่างมีวัตถุประสงค์เช่นเดียวกับการผลิตแผ่น Insulation board และอาจกระทำในขณะผลิตหรือจะกระทำเพิ่มเติมในภายหลังก็แล้วแต่กรณี ตัวอย่าง เช่น การเคลือบสี การทำแผ่นใยไม้อัดแข็งชนิดมีผิวหน้าลวดลายต่างๆ (Textured surface) การปะผิวหน้าด้วยกระดาษพิมพ์เป็นลายต่างๆ (Paper overlaying) การทำแผ่นใยไม้อัดแข็งชนิดพรุน (Perfarated hardboard) การทำแผ่นใยไม้อัดแข็งชนิดผิวเป็นร่อง (Grooved surface) การทำแผ่นใยไม้อัดแข็งชนิดมีความทนทานต่อการทำลายของแมลงและเห็ดรา (Insect and fungus resistant hardboard) และชนิดทนไฟ (Fire resistant hardboard) เป็นต้น

# เอกสารอ้างอิง


1. โชติ รักติประกร, ไม้อัดและไม้ประกับ, พิมพ์ครั้งที่ 2, หน้า 38-49, คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,2505.
2. ดุสิต พานิชพัฒน์,"อุตสาหกรรมผลิตแผ่นไม้ประกอบในประเทศไทย" ใน จดหมายเหตุและสารคดี, บริษัท ศรีมหาราชา จำกัด,2510.
3. ปรีชา เกียรติกระจาย,กาวและการยึดติดไม้,ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,2531.
4. ปรีชา พหลเทพ,โพลีเมอร์,หน้า 383-386,ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง,2530.
5. สุชาดา ศรีเพ็ญ,พรรณไม้น้ำ,ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,2530.
6. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม,มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัดแข็ง, มอก. 180-2532 ,กระทรวงอุตสาหกรรม,2532.
7. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม,มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง,มอก.966-2533,กระทรวงอุตสาหกรรม,2533.
8. ศูนย์ข้อมูลเศรษฐกิจ,"Particle Board" ผู้จัดการรายวัน (11 ตุลาคม 2536) : 17.
9. A.A.Moslemi,Particleboard,vol.1,Southern Illinois University Press, 1976.
10. A.A.Moslemi,Particleboard,vol.2,Southern Illinois University Press, 1974.
11. Charles J.Pouchert,The Aldrich Library of Infrared Spectra,Aldrich Chemical CO.,Inc,1970.
12. Dieter O.Hummel,Infrared Analysis of Polymers,Resins and Additives An Atlas,vol.1,Wiley-Interscience,New York,1969.

13. D.O.Hummel,Polymer Spectroscopy,Verlag Chemie,1974.

14. FAO., "Fiberboard and Particle Board" Report of an International Consultation on Insulation Board,Hardboard and Particle Board,1958.

15. FAO.,Plywood and other Wood-Based Panels,vol.5,Rome,1965.

16. F.W.Billmeyer,Textbook of Polymer Science,3 rd.ed.,Chong Moh offset Printing Ptc.Ltd.

17. J.C.Henniker,IR Spectroscopy of Industrial Polymers,AP,London,1967.

18. L.E.Akers,Particle Board and Hardboard,1 st.ed.,vol.4,Great Britain, 1966.

19. M.Howard,Particle Board Manufacture, pp.291-294, Park Ridge Noges Data corp.,1977.

20. M.Thomas,Modern Particle Board and Dry Process Fiberboard Manufacturing,Sanfrancisco,1977.

21. M.W. Kelly, " Review of Particleboard Manufacture and Processing " ACS Symposium Series 43, pp.220-234, Americna Chemical Society, Washington,D.C.,1977.

22. Richard A. Nyquist, Dow Infrared spectra of Plastics and Resins , 2 nd.ed.,The Dow chemical company,Michigan,1961.

23. R.P. Brown, Handbook of Plastic Test Methods, 2 nd.ed.,pp.158-163, The Pitman Press,Bath,1981.

24. Thomas M. Maloney,"Particle board" Proceeding of Tenth Washington state University Symposium,Washington state Unversity,1976.

25. W.A. Chugg, The Theory and practice of the Manufacture of Glued Laminated Timber Structures in GLULAM,1 st.ed.,pp.172-176, Earnest Benn Limited,London,1964.

26. W.H.Brown,Particleboard in Building,Timber Research and Development Association,London,1971.