การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบคล้ายไม้จากพอลิไวนิลคลอไรด์กับผงหนังและเยื่อชานอ้อย

SYNTHESIS OF WOOD-LIKE PVC COMPOSITE FROM LEATHER DUST AND BAGASSE

เดือนพร บุญศิริคำชัย

DUANPORN BOONSIRIKAMCHAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-2767-5

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบคล้ายไม้จากพอลิไวนิลคลอไรด์กับผงหนังและเยื่อชานอ้อย

SYNTHESIS OF WOOD-LIKE PVC COMPOSITE FROM LEATHER DUST AND BAGASSE

เดือนพร บุญศิริคำชัย

DUANPORN BOONSIRIKAMCHAI

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 65471
วัน,เดือน,ปี 11 ต.ค. 2549

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2767-5

SYNTHESIS OF WOOD-LIKE PVC COMPOSITE FROM LEATHER DUST AND BAGASSE

DUANPORN BOONSIRIKAMCHAI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN

CHEMICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

ISBN 974-15-2767-5

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบคล้ายไม้จากพอลิไวนิลคลอไรด์กับผงหนังและเยื่อชานอ้อย

SYNTHESIS OF WOOD-LIKE PVC COMPOSITE FROM LEATHER DUST AND BAGASSE

นักศึกษา นางสาวเดือนพร บุญศิริคำชัย

รหัสประจำตัว 45061190

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.สุรัตน์	อารีรัตน์	
ดร.นริศรา	ทองบุญชู	
ดร.อภินันท์	นัมคณิสรณ์	
ดร.สุธาสินี	เนรมิตตกพงศ์	
รศ.ดร.ไพศาล	นาคพิพัฒน์	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 28 กรกฎาคม 2549 เวลา 11.30-13.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-403)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....๒๗.....**เดือน**.....กรกฎาคม.....**พ.ศ.**.....๒๕๔๙.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์เรื่อง	การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบคล้ายไม้จากพอลิไวนิลคลอไรด์กับผงหนังและเยื่อชานอ้อย
นักศึกษา	นางสาว เดือนพร บุญศิริคำชัย
รหัสประจำตัว	45061190
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรรมเคมี
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบใหม่ๆ เพื่อใช้ทดแทนไม้ทำเฟอร์นิเจอร์ โดยใช้พีวีซีเป็นวัสดุโครงสร้าง (Matrix) และใช้ผงหนังหรือเยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรง (Reinforcement) โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างพีวีซีและวัสดุเสริมแรง นอกจากนี้ยังได้ทดลองปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยเพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะของเนื้อวัสดุด้วยด้วย 3-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลนที่ปริมาณ 1-5 % (โดยน้ำหนัก) และการเติมสารเสริมสภาพพลาสติก ชนิดไดออกทิลพาทาเลต (Di-octyl phthalate; DOP) ที่ 10-30 phr การดำเนินการเริ่มจากการผสมวัสดุด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง แล้วขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 8 นาที จากนั้นทดสอบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ผงหนังขนาด 8 ถึง 20mesh ปริมาณ 60 phr มีค่าความแข็งสูงสุดที่ 77 shore D ความทนแรงกระแทกที่ 4.3 kJ/m^{2}ความต้านแรงดัด 57 MPa จึงใช้อัตราส่วนนี้ในการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยพบว่าส่งผลต่อความต้านแรงดัดให้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และการใช้ DOP ที่ปริมาณ 10 phr ทำให้ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มลดลง ส่วนการใช้เยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรงที่ปริมาณ 40 phr ทนแรงกระแทกดีกว่าผงหนังโดยมีค่าเป็น 4.8 kJ/m^2 จากการทดลองข้างต้นจึงได้อัตราส่วนระหว่างผงหนังและเยื่อชานอ้อยที่ดีที่สุดเป็น 3:2 หรือที่ปริมาณวัสดุเสริมแรง 50 phr และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ผงหนังหรือเยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรงกับไม้ทำเฟอร์นิเจอร์พบว่า วัสดุเชิงประกอบให้คุณสมบัติบางประการดีกว่าไม้โดยมีความทนแรงกระแทกอยู่ในช่วง 3.9-4.3 kJ/m^2 ซึ่งมากกว่าค่าที่วัดจากไม้ คือ1.5-3.0 kJ/m^2

Thesis Title	Synthesis of Wood- like PVC Composite from Leather Dust and Bagasse
Student	Miss Duanporn Boonsirikamchai
Student ID.	45061190
Degree	Master of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Paisal Nakpipat

ABSTRACT

This research is the technology development of the composite material synthesis to replace wood in furniture industries. The composites materials consisted of PVC as the matrix and the leather dust combining with the bagasse fiber as the reinforcements. The optimum ratio between PVC and the reinforcements was investigated. Surface modification of reinforce fiber was done to increase the interfacial interaction of materials by using 1-5 % (by weight) of 3-aminopropyltriethoxysilane as a coupling agent. To improve plasticization of composite, DOP 10-30 phr was applied as well known plasticizer. Hence, the materials were blended in a two-roll mill. Subsequently, the compounds were molded by thermal compression molding at 190°C for 8 minutes. Based on the experimental data, it was found that at 60 phr of 8-20 mesh leather dust, hardness was the highest at 77 (Shore D), impact strength was 4.3 kJ/m^2 and flexural strength was 57 MPa. It was reasonable to use this amount to modify surface of fiber to increase the flexural strength of the composite. Adding DOP at 10 phr results in a decrease of hardness of the composite material. At 40 phr of 8-20 mesh bagasse fiber, impact strength was higher than leather dust at 4.8 kJ/m^2. It was found that the optimum ratio between the leather dust and the bagasse fiber was 3:2 (or the amount of reinforcements was 50 phr). These results showed that impact strength of composites materials range from 3.9-4.3 kJ/m^2, which is higher than 1.5-3.0 kJ/m^2 for wood, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ คำแนะนำ และคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย จากบุคคลและองค์กรหลายฝ่าย ดังนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และความช่วยเหลือในการแก้ปัญหาต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ ศูนย์ปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุเคราะห์เครื่อง Two roll mill, Compression molding, Impact tester Flexural tester และ Hardness tester

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุเคราะห์เครื่อง IR และ SEM

ขอบพระคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่ธุรการประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่เป็นธุระในการประสานงานต่างๆ ให้สำเร็จลุล่วง

ขอบพระคุณ บิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน พี่น้องและเพื่อนๆนักศึกษาลาดกระบัง ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือ ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ขอขอบคุณบุคคลท่านอื่นๆ ที่ให้ความกรุณา ความช่วยเหลือ ซึ่งมิได้กล่าวถึง ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เดือนพร บุญศิริคำชัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญรูป.....IX

สารบัญภาคผนวก.....XI

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....2

1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 วัสดุเชิงประกอบ.....4

2.1.1 องค์ประกอบหลัก.....4

2.1.2 ส่วนเสริมแรง.....4

2.2 การแบ่งชนิดของวัสดุเชิงประกอบ.....4

2.2.1 วัสดุเชิงประกอบแบบแผ่น.....4

2.2.2 วัสดุเชิงประกอบแบบเส้นใย.....4

2.2.3 วัสดุเชิงประกอบแบบอนุภาค.....5

2.3 วัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์.....5

2.3.1 พอลิไวนิลคลอไรด์.....5

2.3.2 พีวีซีคอมเพานด์.....6

2.4 วัสดุเสริมแรง.....7

2.4.1 เส้นใยโปรตีน.....8

2.4.2 เส้นใยเซลลูโลส.....9

2.5 การปรับสภาพผิวเส้นใย.....10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ 11
2.6.1 การขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้มือ.....12
2.6.2 การขึ้นรูปด้วยเทคนิคการสเปรย์ 12
2.6.3 การขึ้นรูปด้วยเทคนิคการหมุนหล่อ.....13
2.6.4 การขึ้นรูปด้วยเทคนิคการม้วนพัน 14
2.6.5 การขึ้นรูปด้วยเทคนิคการการดึงรีด 15
2.6.6 การขึ้นรูปด้วยเทคนิคการฉีดขึ้น.....16
2.6.7 การขึ้นรูปด้วยเทคนิคการถ่ายเทเรซิน 17
2.6.8 การขึ้นรูปด้วยเทคนิคการอัดแบบขึ้นรูป 18
2.7 ทฤษฎีการยึดเกาะ 19
2.7.1 การดูดซับและการเปียก 19
2.7.2 การแพร่เข้าหากัน 19
2.7.3 แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิตย์ 19
2.7.4 พันธะคมี 20
2.7.5 การยึดเกาะเชิงกล 20
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....25
3.1 ศึกษาผลของการใช้ผงหนังเป็นวัสดุเสริมแรงที่มีต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ 25
3.1.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปรอัตราส่วนและขนาดของผงหนัง.....25
3.1.2 ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบพีวีซี-ผงหนัง ด้วยสารประสานคู่ควบและสารเสริมสภาพพลาสติก.....27
3.2 ศึกษาผลจากการใช้เยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรงที่มีต่อสมบัติ ของวัสดุเชิงประกอบ..... 28
3.2,1 ศึกษาการแปรเปลี่ยนปริมาณและขนาดเยื่อชานอ้อย 28
3.2.2 ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบพีวีซี-เยื่อชานอ้อย ด้วยสารประสานคู่ควบและสารเสริมสภาพพลาสติก 29
3.3 ศึกษาผลจากการใช้วัสดุผสมผงหนังและเยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรง.....31
3.3.1 การใช้ผงหนังผสมเยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรง (ไม่มีสารเติมแต่ง).....31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.2 การใช้สารประสานคู่ควบเพื่อปรับปรุงสมบัติของ
วัสดุเสริมแรงผงหนัง-เยื่อชานอ้อย 31
3.3.3 การใช้สารเสริมสภาพพลาสติกชนิด DOP
ปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ 32
3.4 การทดสอบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ.....32

บทที่ 4 ผลการวิจัย.....33
4.1 การศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบ.....33
4.2 ผลของการเปลี่ยนแปรปริมาณและขนาดวัสดุเสริมแรง
ที่มีต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ..... 36
4.2.1 ความแข็ง 36
4.2.2 ความทนแรงกระแทก.....37
4.2.3 ความต้านแรงดัดและมอดุลัสแรงดัด 38
4.2.4 การดูดซับน้ำ 39
4.3 การปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบด้วยสารประสานคู่ควบ.....40
4.3.1 ความแข็ง 44
4.3.2 ความทนแรงกระแทก.....44
4.3.3 ความต้านแรงดัดและมอดุลัสแรงดัด 45
4.3.4 การดูดซับน้ำ 46
4.4 ผลการปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบโดยใช้สารเสริมสภาพพลาสติก.....46
4.4.1 ความแข็ง 46
4.4.2 ความทนแรงกระแทก.....47
4.4.3 ความต้านแรงดัดและมอดุลัสแรงดัด 48
4.4.4 การดูดซับน้ำ 49
4.5 ผลจากการใช้วัสดุผสมผงหนังและเยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรงและการใช้
สารประสานคู่ควบเพื่อปรับปรุงสมบัติของวัสดุเสริมแรงผสม.....49
4.5.1 ความแข็ง 49
4.5.2 ความทนแรงกระแทก.....50
4.5.3 ความต้านแรงดัดและมอดุลัสแรงดัด 51

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5.4 การดูดซับน้ำ 52
4.6 ผลการเปรียบเทียบสมบัติของไม้กับวัสดุเชิงประกอบ.....53

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....54
5.1 สรุปผลการทดลอง.....54
5.1.1 การศึกษาผลกระทบจากการแปรเปลี่ยนปริมาณ
และขนาดของวัสดุเสริมแรง.....54
5.1.2 ผลของการใช้สารประสานคู่ควบ.....55
5.1.3 ผลของการใช้สารเสริมสภาพพลาสติก 55
5.1.4 ผลของการใช้ผงหนังผสมเยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรง 55
5.2 ข้อเสนอแนะ 56

บรรณานุกรม 57

ภาคผนวก.....60

ประวัติผู้เขียน.....66

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3. 1 อัตราส่วนของพีวีซีคอมเพานด์ และผงหนัง ที่ใช้สังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบ.....27
3.2 ปริมาณของสารประสานคู่ควบที่ใช้ทดลองผลที่มีต่อสมบัติของ
วัสดุเชิงประกอบเมื่อใช้ผงหนัง 28
3.3 ปริมาณส่วนผสมของ DOP ที่ใช้ทดลองผลที่มีต่อสมบัติของ
วัสดุเชิงประกอบเมื่อใช้ผงหนัง..... 28
3.4 อัตราส่วนของพีวีซีคอมเพานด์ และเยื่อชานอ้อย ที่ใช้สังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบ.....29
3.5 ปริมาณของสารประสานคู่ควบที่ใช้ทดลองผลที่มีต่อสมบัติของ
วัสดุเชิงประกอบเมื่อใช้เยื่อชานอ้อย.....30
3.6 ปริมาณส่วนผสมของ DOP ที่ใช้ทดลองผลที่มีต่อสมบัติของ
วัสดุเชิงประกอบเมื่อใช้เยื่อชานอ้อย.....31
3.7 ปริมาณวัสดุเสริมแรงผสมที่ใช้สังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบ.....31
3.8 ปริมาณวัสดุเสริมแรงผสมที่ใช้สังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบเมื่อใช้อะมิโนไซเลน 31
3.9 ปริมาณวัสดุเสริมแรงผสมที่ใช้สังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบเมื่อใช้
สารเสริมสภาพพลาสติก.....32
3.10 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM.....32
4.1 การเปรียบเทียบสมบัติของไม้ที่ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์กับวัสดุเชิงประกอบ.....53

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลคลอไรด์.....5
2.2 โครงสร้างและพันธะต่างๆ ทีเกิดขึ้นในเส้นใยโปรตีน.....8
2.3 ผงหนังที่ได้จากกระบวนการฟอกหนัง.....8
2.4 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส.....9
2.5 เยื่อชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล.....10
2.6 การยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใยเสริมแรงด้วยสารประสานคู่ควบ.....10
2.7 ลักษณะการยึดเกาะระหว่างเม็ดแก้วและพอลิเมอร์เมทริกซ์ในวัสดุเชิงประกอบไนลอน6.....11
2.8 การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบแบบใช้สเปรย์.....13
2.9 เทคนิคการขึ้นรูปแบบหมุนหล่อ.....14
2.10 การขึ้นรูปแบบการม้วนพัน.....15
2.11 เทคนิคการขึ้นรูปแบบดึงรีด.....15
2.12 องค์ประกอบต่างๆ ของเครื่องขึ้นรูปแบบดึงรีด.....16
2.13 เครื่องฉีดขึ้นรูป.....17
2.14 เทคนิคการขึ้นรูปแบบถ่ายเรซินขึ้นรูป.....17
2.15 เครื่องอัดแบบขึ้นรูป.....18
2.16 กลไกการยึดเกาะชนิดต่างๆ.....21
4.1วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ผงหนังขนาด 8-20 mesh 60 phr.....33
4.2 วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เยื่อชานอ้อยขนาด 8-20 mesh 40 phr.....34
4.3 วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ผงหนังผสมเยื่อชานอ้อยขนาด 8-20 mesh 50 phr.....35
4.4 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณวัสดุเสริมแรง 20-80 phr
ขนาด > 8, 8-20 mesh และไม่คัดขนาด.....37
4.5 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณวัสดุเสริมแรง 20-80 phr
ขนาด > 8, 8-20 mesh และไม่คัดขนาด.....38
4.6 ความต้านแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณวัสดุเสริมแรง 20-80 phr
ขนาด > 8, 8-20 mesh และไม่คัดขนาด.....39
4.7 มอดุลัสแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณวัสดุเสริมแรง 20-80 phr
ขนาด > 8, 8-20 mesh และไม่คัดขนาด.....39
4.8 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณวัสดุเสริมแรง 20-80 phr
ขนาด > 8, 8-20 mesh และไม่คัดขนาด.....40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.9 สเปกตรัม FT-IR ของผงหนัง 41
4.10 สเปกตรัม FT-IR ของเยื่อชานอ้อย..... 41
4.11 การเกิดพันธะไซลอกเซนกับเยื่อชานอ้อย 42
4.12 สัณฐานวิทยาของผงหนัง 43
4.13 สัณฐานวิทยาของเยื่อชานอ้อย.....43
4.14 ค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบเมื่อปรับปรุงวัสดุเสริมแรงด้วยไซเลน 1-5%.....44
4.15 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบเมื่อปรับปรุงวัสดุเสริมแรง
ด้วยไซเลน1-5% 44
4.16 ความต้านแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบเมื่อปรับปรุงวัสดุเสริมแรงด้วย
ไซเลน 1-5%.....45
4.17 มอดุลัสแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบเมื่อปรับปรุงวัสดุเสริมแรงด้วยไซเลน 1-5%..... 45
4.18 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบเมื่อปรับปรุงด้วยไซเลน 1-5 wt% 46
4.19 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบเมื่อใช้ผงหนังและเติมสาร DOP 47
4.20 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบเมื่อใช้ DOP 47
4.21 ความต้านแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ผงหนังและเติมสาร DOP 48
4.22 มอดุลัสแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบและเติมสาร DOP 48
4.23 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบเมื่อเติมสาร DOP 49
4.24 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่มีผงหนังผสมเยื่อชานอ้อย 50
4.25 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่มีผงหนังผสมเยื่อชานอ้อย 50
4.26 ความต้านแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบที่มีผงหนังผสมเยื่อชานอ้อย 51
4.27 มอดุลัสแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบที่มีผงหนังผสมเยื่อชานอ้อย.....51
4.28 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่มีผงหนังผสมเยื่อชานอ้อย.....52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ก.1 การทดสอบแบบไอซอด.....57
ก.2 หน่วยสำหรับพลังงานกระแทก.....57
ก.3 ลักษณะของชิ้นงานทดสอบแบบไอซอด 58
ก.4 หลักการของเทคนิคการทดสอบความทนแรงกระแทกแบบค้อนเหวี่ยง 58
ก.5 เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทกแบบค้อนเหวี่ยง.....59
ก.6 เครื่องวัดความแข็ง (Shore D) 59
ก.7 หลักการทำงานของเครื่องวัดความแข็ง (Shore D)..... 60
ก.8 หัวกดของเครื่องวัดความแข็ง (Shore D) 60
ก.9 แรงที่เกิดขึ้นในการทดสอบความทนแรงโค้งงอ 61

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยใช้ไม้และผลิตภัณฑ์ไม้แปรรูปสำหรับงานก่อสร้างและการผลิตเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ เป็นจำนวนมาก ปริมาณไม้ที่ต้องการภายในประเทศไม่น้อยกว่า 3 ล้านลูกบาศก์เมตร [1] รวมทั้งมีการชดเชยโดยการนำเข้าไม้จากต่างประเทศอีกส่วนหนึ่ง ความต้องการใช้ไม้ในการก่อสร้างและกิจการอื่นๆ ภายในประเทศมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเร่งรัดพัฒนาบ้านเมืองตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ และการเพิ่มจำนวนประชากร จึงเห็นได้ว่าความต้องการใช้ไม้ภายในประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ แต่ปริมาณไม้ที่ผลิตได้กลับลดลง วัสดุที่ทำจากไม้นั้นหายากและมีราคาแพง ทั้งการตัดไม้ออกจากป่าเป็นการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ แม้ปัจจุบันมีการรณรงค์ไม่ให้มีการตัดไม้ทำลายป่าก็ตาม

ปัญหาการขาดแคลนไม้ในปัจจุบันทำให้ไม้แปรรูปมีคุณภาพต่ำลง มีตำหนิ แตกร้าว หรือบิดงอ รวมทั้งมีการหดตัวทำให้เกิดความเสียหายในสิ่งก่อสร้าง ครัวเรือนเครื่องใช้ไม้สอย วัสดุที่ทำจากไม้ เมื่อใช้ไประยะเวลานาน มีโอกาสที่ผุพังง่าย เมื่อโดนน้ำไม้จะบวม และมีน้ำหนักมาก ซึ่งเป็นอีกปัญหาหนึ่งสำหรับการนำไม้มาใช้งาน ตลอดจนการเคลื่อนย้ายทำได้ลำบาก สมบัติของไม้นั้นแปรเปลี่ยนตามระยะเวลาและสภาพแวดล้อมทั่วไป ด้วยปัญหาดังกล่าวจึงต้องปรับปรุงคุณภาพไม้ให้ไม้มีคุณภาพที่สูงขึ้น และมีการคิดค้นทำวัสดุคล้ายไม้แต่มีคุณสมบัติที่ดีกว่าไม้ เช่น น้ำหนักเบา ไม่เกิดการผุพังได้ง่าย ทนต่อสภาวะต่างๆ ได้ดี อีกทั้งไม่เป็นการทำลายธรรมชาติ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์สังเคราะห์คล้ายไม้เพื่อใช้ทดแทนไม้ เป็นแนวทางที่ช่วยลดการใช้ไม้จากธรรมชาติวิธีหนึ่ง วัสดุดังกล่าวได้แก่ "วัสดุเชิงประกอบหรือพอลิเมอร์คอมโพสิต" (Polymer Composite) ด้วยเหตุนี้จึงมีผู้ทำการศึกษาและทดลองสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบที่มีลักษณะคล้ายไม้ โดยใช้พอลิเมอร์เป็นองค์ประกอบหลัก (Polymer matrix) และใช้เส้นใยสังเคราะห์หรือเส้นใยธรรมชาติ เป็นวัสดุเสริมแรง (Reinforcements)

ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้เส้นใยธรรมชาติ ทั้งเส้นใยเซลลูโลสจากพืชและเส้นใยโปรตีนจากสัตว์มาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ เป็นการทดแทนเส้นใยสังเคราะห์ที่มีราคาแพง ทำให้วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรงมีราคาถูกลง ซึ่งมีข้อดีและข้อเสีย สามารถจำแนกเป็นดังต่อไปนี้

ข้อดีของเส้นใยธรรมชาติ

- สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ
- ความหนาแน่นต่ำ เป็นผลให้วัสดุเชิงประกอบมีน้ำหนักเบา

- มีราคาถูก
- ลดของเสียจากอุตสาหกรรม

ข้อเสียของเส้นใยธรรมชาติ

- เส้นใยธรรมชาติดูดซับน้ำมากกว่าเส้นใยสังเคราะห์
- ขาดความสม่ำเสมอของเส้นใย
- การยึดเกาะกับพอลิเมอร์ต่ำ

โดยในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบจากพอลิไวนิลคลอไรด์เศษผงหนังและเยื่อชานอ้อย เพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ (ไม้เทียม) สำหรับผลิตเฟอร์นิเจอร์และใช้ตกแต่งภายในเป็นสำคัญ รวมทั้งการทดลองหาส่วนประกอบที่เหมาะสมของวัสดุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบหลัก ตลอดจนศึกษาการใช้สารประสานคู่ควบ (Coupling agent) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์และวัสดุเสริมแรง และการใช้สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) เพื่อให้วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติที่ดี สามารถนำไปใช้งานทดแทนไม้ได้ตามวัตถุประสงค์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบ พีวีซีคอมพาวด์กับผงหนังและ เยื่อชานอ้อย เช่น ขนาดและปริมาณของวัสดุเสริมแรง

1.2.2 ปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ ด้วยสารประสานคู่ควบและสารเสริมสภาพพลาสติกให้ใกล้เคียงหรือสูงกว่าไม้ธรรมชาติ

1.2.3 วิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของวัสดุเชิงประกอบที่สังเคราะห์ขึ้น เช่น สัณฐานวิทยา (Morphology) ความแข็ง (Hardness) ความต้านแรงกระแทก (Impact strength) ความต้านแรงดัด (Flexural strength) มอดุลัสแรงดัด (Flexural modulus) และการดูดซับน้ำ (Water absorption) เป็นต้น

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 วัสดุเชิงประกอบที่สังเคราะห์ขึ้น เมื่อใช้ผงหนัง และ/หรือเยื่อชานอ้อยที่มีขนาดอนุภาคพอเหมาะ จะมีสมบัติกายภาพดี เช่น ความแข็ง การต้านแรงกระแทก และการดูดซับน้ำ

1.3.2 การเพิ่มปริมาณผงหนัง และ/หรือเยื่อชานอ้อยทำให้คุณสมบัติทางกายภาพดีขึ้น

1.3.3 การใช้สารปรับปรุงคุณภาพของผงหนังและเยื่อชานอ้อยได้แก่ สารประสานคู่ควบและสารเสริมสภาพพลาสติก ทำให้สมบัติทางกายภาพบางอย่างดีขึ้น

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 สังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบคล้ายไม้ จากพีวีซีกับเศษผงหนังและเยื่อชานอ้อย

1.4.2 ปรับอัตราส่วนของพีวีซีคอมปาวด์ เศษผงหนัง และเยื่อชานอ้อย ให้เหมาะสมเพื่อให้ได้วัสดุประกอบคล้ายไม้ ที่มีสมบัติที่ดี

1.4.3 ทดสอบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ เช่น ความแข็ง ความต้านแรงกระแทก ความต้านแรงดัด มอดุลัสแรงดัด และการดูดซับน้ำ

1.4.4 ปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบด้วยสารประสานคู่ควบและสารเสริมสภาพพลาสติก เพื่อให้ได้วัสดุเชิงประกอบที่มีคุณภาพ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบคล้ายไม้ เพื่อทดแทนไม้จากธรรมชาติได้

1.5.2 เพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้ เช่น เศษหนังสัตว์ และเยื่อชานอ้อยจากอุตสาหกรรม

1.5.3 เป็นการคิดค้นนวัตกรรมวัสดุวิศวกรรมใหม่

1.5.4 เป็นแนวทางใหม่สู่การผลิตวัสดุเชิงพาณิชย์

1.5.5 ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้และประสบการณ์ด้านวัสดุเชิงประกอบ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุเชิงประกอบ (Composites)

วัสดุเชิงประกอบเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยวัสดุอย่างน้อย 2 ชนิด คือวัสดุที่ทำหน้าที่ยึดเกาะเป็นโครงสร้างหลัก เรียกว่า เมทริกซ์ (Matrix) และอีกส่วนหนึ่งทำหน้าที่เสริมความแข็งแรง เรียกว่า วัสดุเสริมแรง (Reinforcement) ซึ่งเมื่อนำทั้งสองส่วนผสมกันจะได้วัสดุที่มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น โดยทั่วไปนิยมทำเพื่อปรับปรุงความแข็งแรง ลดความหนาแน่นเพื่อให้มีน้ำหนักเบา มีความเสถียรในรูปร่าง โดยองค์ประกอบสองส่วนหลักของวัสดุเชิงประกอบ คือ

2.1.1 องค์ประกอบหลักหรือเมทริกซ์ (Matrix)

เป็นวัสดุที่ทำหน้าที่ยึดส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกัน อาจเป็นโลหะ เซรามิกส์ หรือพอลิเมอร์ โดยทั่วไปวัสดุที่เป็นเมทริกซ์จะมีความหนาแน่น ความแข็งแรง และมอดุลัสน้อยกว่าส่วนเสริมแรง เมทริกซ์เป็นองค์ประกอบที่มีความต่อเนื่อง [2] โดยทำหน้าที่กระจายแรงและส่งถ่ายแรงที่ได้รับจากภายนอกไปสู่ส่วนเสริมแรง ทำให้วัสดุสามารถทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่อง จากสิ่งแวดล้อม เช่น ความชื้น อุณหภูมิสูง แรงกด ฯลฯ อีกทั้งยังช่วยในการกระจายตัวของส่วนเสริมแรงไม่ให้มารวมกัน

2.1.2 ส่วนเสริมแรง (Reinforcement)

เป็นวัสดุที่สอดแทรกอยู่ในโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงแก่วัสดุเชิงประกอบ โดยมีความแข็งแรงและมอดุลัสสูง อาจมีหลายลักษณะ เช่น เป็นเส้นใย แผ่น หรือผงอนุภาคเล็กๆ ที่นิยมมากคือแบบเป็นเส้นใย อาจเป็นเส้นใยยาวหรือเส้นใยสั้น

2.2 การแบ่งชนิดของวัสดุเชิงประกอบ

วัสดุเชิงประกอบสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดตามลักษณะของส่วนเสริมแรง ดังนี้

2.2.1 วัสดุเชิงประกอบแบบแผ่น (Laminar composite)

ลักษณะสำคัญประกอบด้วยชั้นหรือแผ่นของวัสดุเสริมแรงยึดติดกันด้วยตัวเชื่อมเมทริกซ์ ในลักษณะคล้ายแซนวิช

2.2.2 วัสดุเชิงประกอบแบบเส้นใย (Fibrous composite)

เป็นวัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใย อาจเป็นเส้นใยสั้นหรือเส้นใยยาว ซึ่งมักเป็นเส้นใยขนาดเล็กแต่มีความแข็งแรง เช่น เส้นใยคาร์บอน เส้นใยแก้ว หรือเส้นใยธรรมชาติ

2.2.3 วัสดุเชิงประกอบแบบอนุภาค (Particulate composite)

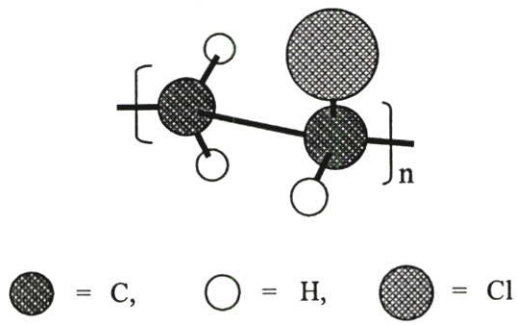
เป็นวัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนเสริมแรงเป็นอนุภาค หรือผงขนาดเล็ก (มักมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน)

2.3 วัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ (Polymer Composite)

วัสดุเชิงประกอบที่มีเมทริกซ์เป็นพอลิเมอร์ มักเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า วัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ วัสดุเชิงประกอบประเภทนี้เป็นที่นิยมแพร่หลาย ทั้งนี้เนื่องจากสามารถเลือกทั้งเมทริกซ์และวัสดุเสริมแรงได้มากมายหลายชนิด จะได้พอลิเมอร์เชิงประกอบที่มีสมบัติที่ดี เหมาะสมสำหรับนำไป ใช้ได้ตามวัตถุประสงค์ สำหรับพอลิเมอร์เมทริกซ์ สามารถเลือกได้ทั้งเทอร์โมพลาสติก เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรไพลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ และเทอร์โมเซท เช่น พอลิเอสเทอร์ อีพอกซี เป็นต้น พอลิเมอร์เมทริกซ์ที่นิยมแพร่หลายชนิดหนึ่ง คือ พอลิไวนิลคลอไรด์ ทั้งนี้เนื่องจากมีสมบัติที่ดี อุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ และมีราคาไม่สูงนัก

2.3.1 พอลิไวนิลคลอไรด์

พอลิไวนิลคลอไรด์ หรือ พีวีซี เป็นเทอร์โมพลาสติก ที่เตรียมจากกกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอนุมูลอิสระ [3] โดยหน่วยซ้ำของพีวีซี คือไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ มีลักษณะดังรูปที่ 2.1 อะตอมที่มีขนาดใหญ่ที่สุดคืออะตอมของ คลอรีน ส่วนอะตอมที่มีขนาดกลางคือ อะตอมของคาร์บอน และอะตอมที่เล็กที่สุด คือ อะตอมของไฮโดรเจน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลคลอไรด์

การผลิตพีวีซีในอุตสาหกรรม สามารถแบ่งได้ตามปฏิกิริยาเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบแขวนลอย (Suspension polymerization) เป็นกระบวนการที่นิยมใช้กัน มอนอเมอร์จะทำปฏิกิริยาเกิดเป็นอนุภาคพอลิไวนิลคลอไรด์แขวนลอย

อยู่ในตัวกลางที่มักนิยมใช้น้ำ พีวีซีเรซินที่ได้มีลักษณะใส ผิวมีรูพรุนทำให้สามารถดูดซับสารหล่อลื่นและสารปรับสภาพพลาสติกได้ง่าย

- ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอีมัลชัน (Emulsion Polymerization) เป็นกระบวนการที่ใช้ตัวกระทำอิมัลชัน (Emulsifiers) ทำให้มอนอเมอร์สามารถแพร่กระจายอยู่ในตัวกลางได้ดีและเกิดปฏิกิริยาอย่างสม่ำเสมอทั่วกัน พีวีซีเรซินที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นผงฟุ่นทึบ
- ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบก้อน (Bulk Polymerization) กระบวนการนี้จะไม่ต้องใช้น้ำเป็นตัวกลาง วิธีนี้มักมีปัญหาจากความข้นหนืดของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้น พีวีซีเรซินที่ได้มีลักษณะใส มีความหนาแน่น แต่ดูดซับสารเติมแต่งได้น้อย

ผลิตภัณฑ์จากพีวีซีมีลักษณะทั้งที่เป็นของแข็งคงรูป และอ่อนนุ่มเหนียว ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ได้แก่ หนังเทียมที่ใช้บุเก้าอี้ กระเป๋าถือสตรี กระเป๋าเดินทาง รองเท้า ท่อน้ำ อ่างน้ำ ประตู หน้าต่าง เนื่องจากมีการนำพีวีซีไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมายจึงต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติของพีวีซีเพื่อให้มีสมบัติเหมาะสมกับการใช้งาน ด้วยการผสมสารเติมแต่ง (Additives) พีวีซีที่เติมสารเติมแต่งแล้ว เรียกว่า "พีวีซีคอมเพานด์" ซึ่งจะกล่าวในส่วนถัดไป

2.3.2 พีวีซีคอมเพานด์ (PVC Compound)

พีวีซีคอมเพานด์เป็นการผสมพีวีซีเรซิน (PVC resin) กับสารเติมแต่ง ชนิดต่างๆเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงเคมี ให้เหมาะกับการประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ มากขึ้น สารเติมแต่งที่ผสมลงไปจะทำหน้าที่เพิ่มคุณภาพและปกป้องพอลิเมอร์จากการเสื่อมสภาพเนื่องจากปัจจัยด้านต่างๆ เช่น ปรับปรุงความแข็ง เพิ่มความเหนียว ต้านทานการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนและแสงอุลตราไวโอเลต ลดการขยายตัวเนื่องจากความร้อน ต้านการติดไฟ มีสีคงทน และหล่อลื่นทำให้ขึ้นรูปได้ง่าย สารเติมแต่งที่สำคัญ ได้แก่

- สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizers)

เป็นสารเติมแต่งใช้ผสมกับพอลิเมอร์ ช่วยทำให้การไหลของพอลิเมอร์ดีขึ้น ทำให้พอลิเมอร์มีความยืดหยุ่นมากขึ้น ลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลหรือสายโซ่พอลิเมอร์และเพิ่มปริมาตรอิสระ (Free volume) ช่วยให้สายโซ่เคลื่อนตัวได้ง่ายขึ้น ทำให้มีผลต่อคุณสมบัติบางประการเช่น เพิ่มความยืดหยุ่น ยืดตัวได้มากขึ้น และเพิ่มความทนแรงกระแทก แต่ทำให้ความแข็งลดลง สารเสริมสภาพพลาสติกมีหลายชนิด ที่นิยมใช้กันมากชนิดหนึ่ง คือ DOP (Di-octyl phthalate)

- สารตัวเติม (Fillers)

เป็นสารเสริมที่อยู่ในรูปของแข็ง ซึ่งมีโครงสร้างต่างจากพลาสติก นิยมเติมลงในพอลิเมอร์เพื่อลดต้นทุน โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ สารเพิ่มเนื้อชนิดไม่เสริมแรง (Non- reinforcing fillers) และสารเพิ่มเนื้อเสริมแรง (Reinforcing fillers) การเติมสารเพิ่มเนื้อเสริมแรงทำให้คุณสมบัติ

ทางกลหรือทางกายภาพดีขึ้น เช่น ช่วยเพิ่มการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) และแรงต้านการโค้งงอ (Flexural strength)

- สารเพิ่มความเสถียร (Stabilizers)

เมื่อพีวีซีได้รับความร้อน หรือรังสีที่มีพลังงานสูง เช่น แสงอุลตราไวโอเลตจากแสงแดด จะทำให้เสียเสถียรภาพได้ การเติมสารเพิ่มความเสถียรจะช่วยให้พีวีซีมีสมบัติคงตัว มีความคงทน อายุใช้งานยาวนาน หน้าที่สารเพิ่มความเสถียรที่ใช้กับ พีวีซีคือป้องกัน ก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์แยกตัวออกมา โดยสเตบิไลเซอร์ที่นิยมใช้ ได้แก่ เกลือของตะกั่ว แบเรียม/แคดเมียมสเตบิไลเซอร์ ฯลฯ

- สารหล่อลื่น (Lubricants)

ทำหน้าที่ลดการเสียดสีทั้งภายในและภายนอกของพลาสติก โดยการหล่อลื่นภายในมีหน้าที่ทำให้โซ่โมเลกุลเสียดสีกันน้อยลง ซึ่งทำให้ความหนืดของพลาสติกเหลวลดลง ส่วนการหล่อลื่นภายนอกจะไม่รวมตัวกับพลาสติก และเมื่อที่อุณหภูมสูงจะเป็นฟิล์มหล่อลื่นระหว่างพลาสติกเหลวกับผนังเครื่องจักร สารหล่อลื่นภายนอกส่วนใหญ่จะเป็นขี้ผึ้ง และกรดไขมัน

- สารดัดแปร (Modifiers)

เป็นสารที่เติมเพื่อเปลี่ยนเปลงสมบัติของพีวีซีให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น เพิ่มความใส ป้องกันการแตกราน เป็นต้น

- สีและสารให้สี (Dyes and pigments)

เป็นสารเติมแต่งในพลาสติกเพื่อทำให้เกิดสีสันสวยงามช่วยดึงดูดความสนใจ และช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องมาจากแสง

- สารปรับแต่งในกระบวนการผลิต (Processing aids)

ในกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกหลายวิธี จำเป็นต้องเติมสารปรับแต่งช่วยเพิ่มการไหลของพีวีซีหลอมเหลวทำให้ผสมเข้ากันได้ดี เพิ่มความมันเงาและลดความไม่สมบูรณ์ของพื้นผิว

- สารให้ฟอง (Blowing agents)

การใส่สารให้ฟองรวมกับพลาสติกทำให้เกิดการกระจายตัว เกิดโครงสร้างคล้ายโฟมขึ้น

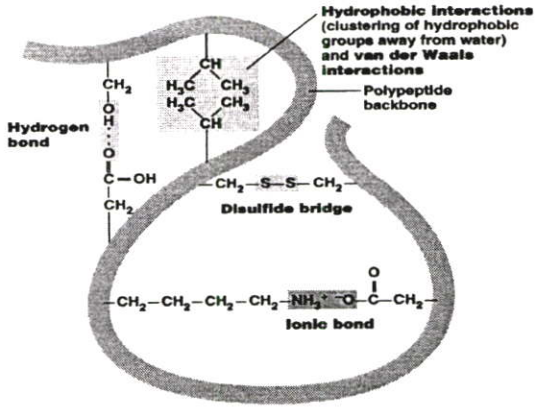
2.4 วัสดุเสริมแรง (Reinforcement)

ดังได้กล่าวข้างต้นวัสดุเสริมแรงเป็นส่วนที่ให้ความแข็งแรงแก่วัสดุเชิงประกอบ โดยทั่วไปวัสดุนี้ได้แก่เส้นใยชนิดต่างๆ อาจเป็นเส้นใยสังเคราะห์ ได้แก่ เส้นใยแก้ว (Glass fibers) เส้นใยคาร์บอน (Carbon fibers) เส้นใยเคฟลาร์ (Kevlar fibers) ฯลฯ ซึ่งข้อดีของเส้นใยสังเคราะห์ คือ ทนความร้อนสูง เส้นใยมีความแข็งแรงและมอดุลัสสูง ข้อเสีย คือ มีราคาแพง ส่วนเส้นใยอีกชนิดหนึ่งคือ เส้นใยที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ เส้นใยจากสัตว์ซึ่งเป็นเส้นใย “โปรตีน” เช่น ใยไหม

ขนสัตว์ และหนังสัตว์ และเส้นใยจากพืชซึ่งเป็นเส้นใย "เซลลูโลส" เช่น ใยฝ้าย ป่าน ปอ ขี้เลื่อย และเยื่อชานอ้อย ซึ่งรายละเอียดของเส้นใยโปรตีนและเซลลูโลสแสดงดังในส่วนถัดไป

2.4.1 เส้นใยโปรตีน

เส้นใยโปรตีนธรรมชาติ เป็นเส้นใยที่ได้จากสัตว์ ได้แก่ ขนสัตว์ ใยไหม หนังสัตว์ เป็นต้น สำหรับหนังสัตว์ เมื่อนำมาฟอกแล้วจะมีความคงทนเหมาะสำหรับนำมาทำผลิตภัณฑ์เครื่องหนัง หุ้มเบาะ เก้าอี้ หนังสัตว์ประกอบด้วยเส้นสายพอลิเปปไทด์ยาวหลายสายมารวมกันพันเป็นเกลียว หรือเรียงเป็นแผ่นซ้อนๆ กัน โดยอาศัยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสาย เช่น ไดซัลไฟด์ (-S-S-) และพันธะไฮโดรเจนจำนวนมากทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้ความแข็งแรงและมีความยืดหยุ่น [3] ดังรูปที่ 2.2



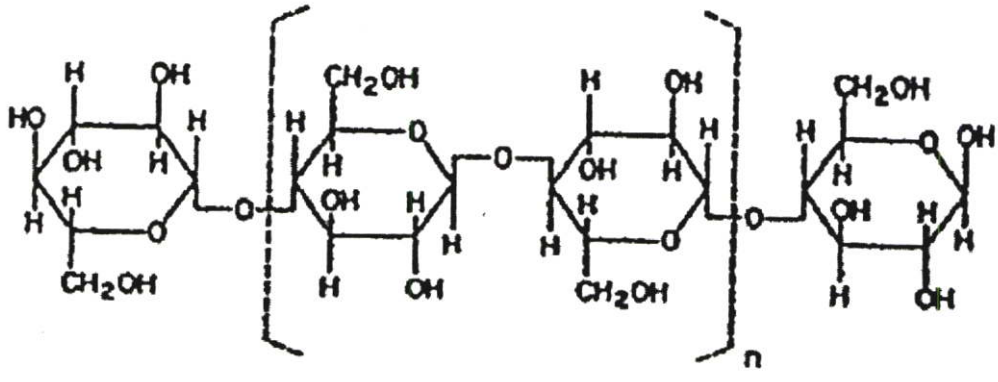
รูปที่ 2.2 โครงสร้างและพันธะต่างๆ ทีเกิดขึ้นในเส้นใยโปรตีน [4]

ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง มักมีเศษหนังที่เกิดจากกระบวนการขัด ตัดแต่งผืนหนังจำนวนมาก เศษหนังนี้จัดเป็นกากของเสียที่ย่อยสลายยากและเป็นอันตราย ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ใดๆ ได้อีก นอกจากนำไปฝังกลบ งานวิจัยนี้จึงได้นำผงหนังที่ได้มาจากขั้นตอนการตัดเฉือน (Shear) ดังรูปที่ 2.3 มาเป็นวัสดุเสริมแรงในงานวิจัย ลักษณะของผงหนัง จะมีความนิ่ม ยืดหยุ่นได้ดี

รูปที่ 2.3 ผงหนังที่ได้จากกระบวนการฟอกหนัง

2.4.2 เส้นใยเซลลูโลส

เซลลูโลส (Cellulose) เป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides) มีโครงสร้างโมเลกุลเชิงเส้นที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กันของ $C_6H_{12}O_6$ ซึ่งเป็นโครงสร้างของเนื้อเยื่อทั่วไปในพืช เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมาก นอกจากนี้โครงสร้างของเซลลูโลสยังมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมาก อุณหภูมิการหลอมตัวจึงสูงมาก เซลลูโลสมีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส [5]

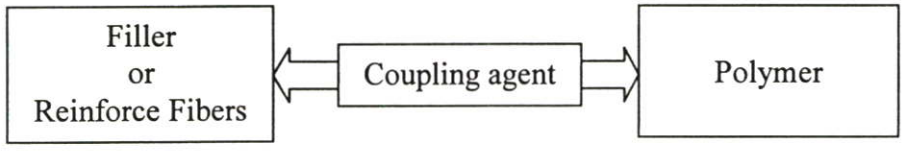
สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส คือ ไม่ละลายในน้ำ แต่จะละลายในกรดเข้มข้น เช่น กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid) เป็นต้น โดยเซลลูโลสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็วในสารละลายกรดที่อุณหภูมิห้อง การดูดซับความชื้น เซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีการดูดซับหรือการคายไอน้ำหรือของเหลวอื่นๆ ในบรรยากาศรอบตัวจนกระทั่งถึงจุดสมดุล โดยปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ เช่น เมื่อความชื้นสูงขึ้น ความทนแรงดึง (Tensile strength) จะมีค่าเพิ่มขึ้น และเซลลูโลสที่เป็นเส้นใยเดี่ยวจะมีความหนาแน่นที่ไม่แน่นอน ความหนาแน่นจะแปรเปลี่ยนไปตามแหล่งที่มา

ในอุตสาหกรรม นิยมนำเส้นใยเซลลูโลสมาทำผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น กระดาษ ภาชนะบรรจุภัณฑ์ ส่วนประกอบในเครื่องสำอางค์ เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้ ได้นำเยื่อชานอ้อย (รูปที่ 2.5) จากอุตสาหกรรมน้ำตาล มาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับวัสดุเชิงประกอบ เพื่อเปรียบเทียบกับผงหนัง

รูปที่ 2.5 เยื่อชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล

2.5 การปรับสภาพผิวเส้นใย

การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์โดยการใส่เส้นใยเสริมแรง ทำให้วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติดีขึ้น เช่น มีความแข็งแรง คงรูป มีความเหนียว เป็นต้น แต่สมบัตินี้จะเพิ่มมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพการยึดเกาะกับพอลิเมอร์และการกระจายตัวที่ดี การใช้สารประสานคู่ควบ (Coupling agents) เคลือบหรือปรับแต่งพื้นผิวของเส้นใยเสริมแรง เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยให้เส้นใยเสริมแรงยึดกันได้ดีกับพอลิเมอร์ สารประสานคู่ควบนี้ ทำหน้าที่เป็นสะพานหรือตัวกลางเชื่อมระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใยเสริมแรงโดยการสร้างพันธะที่แข็งแรงระหว่างเฟสทั้งสอง ทำให้การยึดเกาะระหว่างเฟสดีขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.6

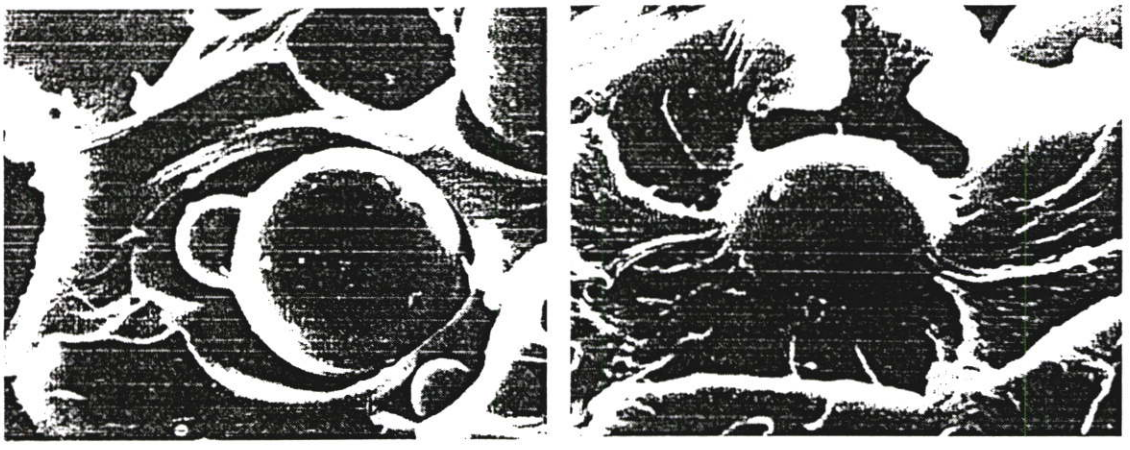


รูปที่ 2.6 การยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใยเสริมแรงด้วยสารประสานคู่ควบ

การใช้สารประสานคู่ควบมี 2 วิธีคือ การเคลือบหรือปรับแต่งที่พื้นผิวของเส้นใยเสริมแรงแล้วจึงนำไปผสมกับพอลิเมอร์และการผสมกับพอลิเมอร์โดยตรงระหว่างกระบวนการคอมพาวด์ดิง ซึ่งสารประสานคู่ควบที่ใช้โดยทั่วไปมีดังนี้ คือ

- สารประกอบเชิงซ้อนโครเมียม (Chromium complexes)
- ไซเลน (Silanes)
- ไททาเนต (Titanates)
- เซอร์โคเนียมอะลูมิเนต (Zirconium aluminate)

ปัจจุบัน นิยมใช้ไซเลนเป็นสารประสานคู่ควบกับผลิตภัณฑ์เทอร์โมพลาสติกและใยแก้วกันมากที่สุด ด้วยการเคลือบใยแก้วด้วยไซเลน ซึ่งมีสูตรทั่วไปคือ $YR\text{-}Si(OR)_3$ โดยหมู่ OR ได้แก่ $-OCH_3$, $-OC_2H_5$ จะเข้าทำปฏิกิริยาเกิดพันธะกับใยแก้ว ขณะที่หมู่ Y เช่น หมู่ไวนิล หมู่อะมิโน หมู่อีพอกซี จะเข้าทำปฏิกริยากับพอลิเมอร์ ซึ่งมีผลทำให้ใยแก้วยึดเกาะกับพอลิเมอร์ได้ดี ดังรูปที่ 2.7



ก ข

รูปที่ 2.7 ลักษณะการยึดเกาะระหว่างเม็ดแก้วและพอลิเมอร์เมทริกซ์ในวัสดุเชิงประกอบไนลอน 6 (ก) ไม่ได้ใช้สารประสานคู่ควบ (ข) เมื่อใช้อะมิโนไซเลน [6]

2.6 การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ [7]

การนำองค์ประกอบหลักและวัสดุเสริมแรงมาประกอบกัน หรือขึ้นรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์ มีรูปร่างต่างๆ สามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งมีปัจจัยหลายประการที่ต้องพิจารณาเพื่อเลือกวิธีการขึ้นรูปให้เหมาะสม ได้แก่

- ชนิด และสมบัติของ องค์ประกอบหลัก
- ชนิด ความยาว และสมบัติของวัสดุเสริมแรง
- รูปร่าง ขนาด และปริมาณของผลิตภัณฑ์
- เครื่องมือหรือเครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูป
- ต้นทุนการผลิต

เนื่องจากการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบแต่ละวิธี มีข้อจำกัดของลักษณะองค์ประกอบหลักและวัสดุเสริมแรงที่ใช้ผลิต อีกทั้งข้อจำกัดของรูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้ จึงจำเป็นต้องพิจารณาเทคนิคการขึ้นรูปในแต่ละวิธี โดยเฉพาะข้อได้เปรียบและข้อจำกัด เพื่อนำมาใช้ประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้วิธีการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ ซึ่งการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบด้วยวิธีต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.6.1 การขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้มือ (Hand Lay-up Technique)[7]

การขึ้นรูปแบบใช้มือเป็นการขึ้นรูปที่ง่าย ต้นทุนต่ำ สะดวกและนิยมมากที่สุด โดยเฉพาะการขึ้นรูปจำนวนน้อยชิ้น ซึ่งการขึ้นรูปแบบใช้มือมีลำดับขั้นตอนที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

- การออกแบบและผลิตแม่แบบ เพื่อเป็นแบบในการขึ้นรูป วัสดุที่ใช้ทำเป็นแม่แบบอาจเป็น ไม้ โลหะ กระเบื้องเซรามิกส์ ฯลฯ ถ้าชิ้นงานมีรูปร่างซับซ้อนนิยมทำแม่แบบให้มีความหนาอย่างน้อยสองเท่าของผลิตภัณฑ์
- การเตรียมแม่แบบทำโดยการทาสารกันติด เช่น ขี้ผึ้ง พีวีเอหรือพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์หลุดออกจากแม่แบบได้ง่าย
- การทาเจลเคลือบจะต้องทาก่อนวัสดุอื่น เพราะผิวนอกของผลิตภัณฑ์สัมผัสกับผิวแม่แบบ เจลเคลือบที่นิยมใช้ได้แก่ พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyester)
- การเตรียมเรซินเมตริกซ์และเส้นใยเสริมแรง ทำโดยการชั่งน้ำหนักเรซินและเส้นใยให้เป็นไปตามอัตราส่วนที่ต้องการ
- การประกอบให้เป็นวัสดุเชิงประกอบ สามารถทำได้โดยการใช้มือจับแปรง ลูกกลิ้ง หรือมีดปาด เพื่อทาเรซินบนเส้นใยให้เปียกติดกับเรซิน เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดเพราะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้
- การเชื่อมโยง หลังจากประกอบชิ้นงานเป็นวัสดุเชิงประกอบแล้ว จะต้องใช้เวลาเพื่อให้การเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ โดยเวลาที่ใช้จะขึ้นกับอุณหภูมิ ชนิดปริมาณและขนาดของชิ้นงาน
- การเอาวัสดุเชิงประกอบออกจากแม่แบบ หลังจากที่มีการเชื่อมโยงสมบูรณ์แล้วจะนำชิ้นงานออกจากแม่แบบ อาจต้องทำการแยกชิ้นส่วนแม่แบบสำหรับชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน
- การตบแต่งชิ้นงาน เช่น การตัดขอบ การซ่อมผิวที่มีตำหนิ

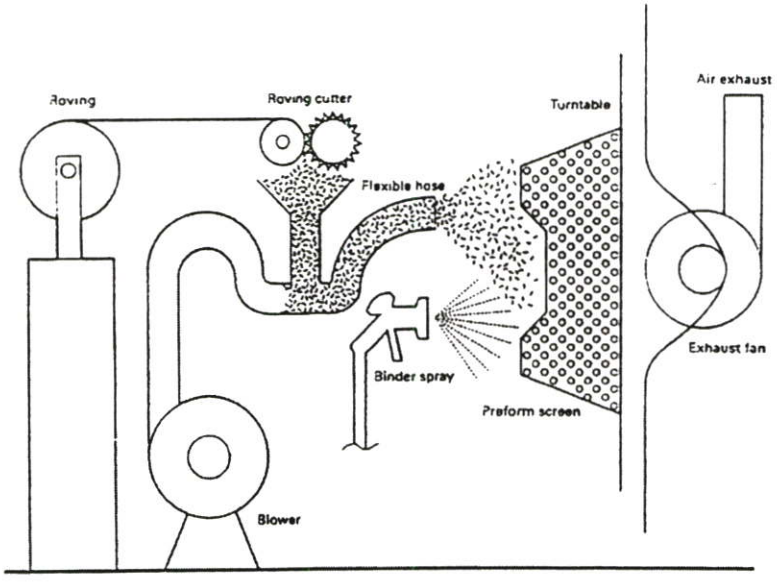
การขึ้นรูปด้วยวิธีการใช้มือไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากสะดวกและต้นทุนต่ำ แต่มีข้อจำกัดบางประการ คือ

- ใช้แรงงานสูง
- คุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับฝีมือและประสบการณ์ของผู้ผลิตอย่างมาก
- ชิ้นงานที่ได้ขาดความสม่ำเสมอของลักษณะและคุณภาพ
- พื้นผิวมีความสวยงามด้านเดียว
- อัตราเร็วในการผลิตต่ำ

2.6.2 การขึ้นรูปด้วยเทคนิคการสเปรย์ (Spray-up technique)[7]

เป็นเทคนิคที่คล้ายกับแบบใช้มือ แต่ต่างกันที่เทคนิคนี้ใช้เครื่องพ่น ให้เรซินผสมเส้นใย (สั้น) บนผิวหน้าแม่แบบ ดังรูปที่ 2.8 ในขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมแม่แบบโดยการทาสาร

กันติดและทาเจลเคลือบที่เป็นผิวนอกของวัสดุเชิงประกอบ จากนั้นใช้เครื่องพ่นดูดเรซินและสารเชื่อมโยงซึ่งอาจแยกกันอยู่คนละถัง ควบคุมอุณหภูมิเพื่อควบคุมความหนืดให้ผสมกันที่ปืนพ่นและพ่นออกมาพร้อมกับเส้นใย ความดันของปืนพ่นจะช่วยทำให้เส้นใยและเรซินยึดเกาะกันดีขึ้น อาจมีการใช้แปรงหรือลูกกลิ้งรีดทับเพื่อเป็นการกำจัดฟองอากาศและช่วยให้เกิดการยึดเกาะที่ดี

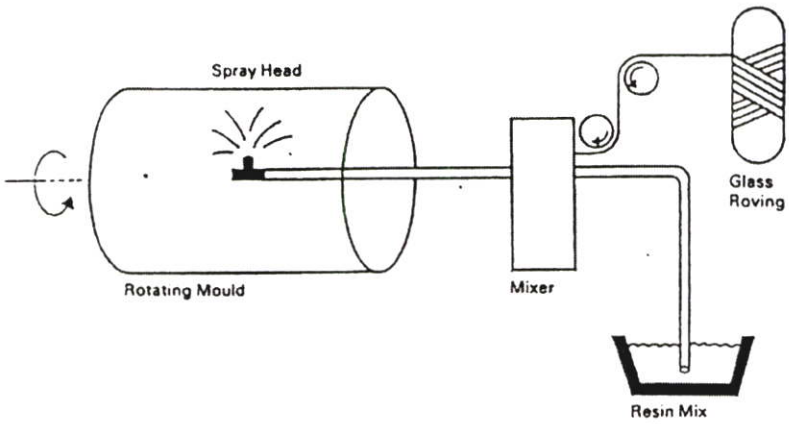


รูปที่ 2.8 การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบแบบใช้สเปรย์ (Spray-up) [7]

เทคนิคการขึ้นรูปนี้ เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ มีพื้นผิวกว้างและมีรูปร่างแตกต่างกัน เช่น ท่อขนาดใหญ่ หรือ ถังเก็บสาร เป็นต้น เนื่องจากเทคนิคนี้สามารถทำงานได้รวดเร็ว ได้พื้นที่จำนวนมากแต่ข้อเสียของเทคนิคนี้ คือ มีพื้นผิวที่เรียบเพียงด้านเดียว

2.6.3 การขึ้นรูปด้วยเทคนิคการหมุนหล่อ (Centrifugal Casting)[7]

เทคนิคนี้เป็นเทคนิคชิ้นงานที่ได้จะมีลักษณะกลวงเป็นทรงกระบอกกลวง และมีผิวนอกเรียบด้านเดียว เช่น ท่อ ถัง ฯลฯ เทคนิคนี้มีลักษณะการผลิตคล้ายกับเทคนิคการหมุนหล่อการขึ้นรูปพลาสติก (Rotational molding) เป็นการฉีดของผสมเรซิน สารเชื่อมโยงพร้อมกับเส้นใย (Chopped fiber) เข้าไปด้านในของถังแม่แบบที่หมุน ดังรูปที่ 2.9 โดยเทคนิคนี้คล้ายกับเทคนิคการใช้สเปรย์หรือเครื่องพ่น โดยจะพ่นเจลเคลือบขั้นสุดท้ายเพื่อเคลือบเรซินเป็นผิวในของชิ้นงาน จากนั้นทำการเป่าอากาศร้อน เข้าไปในแม่แบบเพื่อทำให้เกิดการเชื่อมโยงที่สมบูรณ์

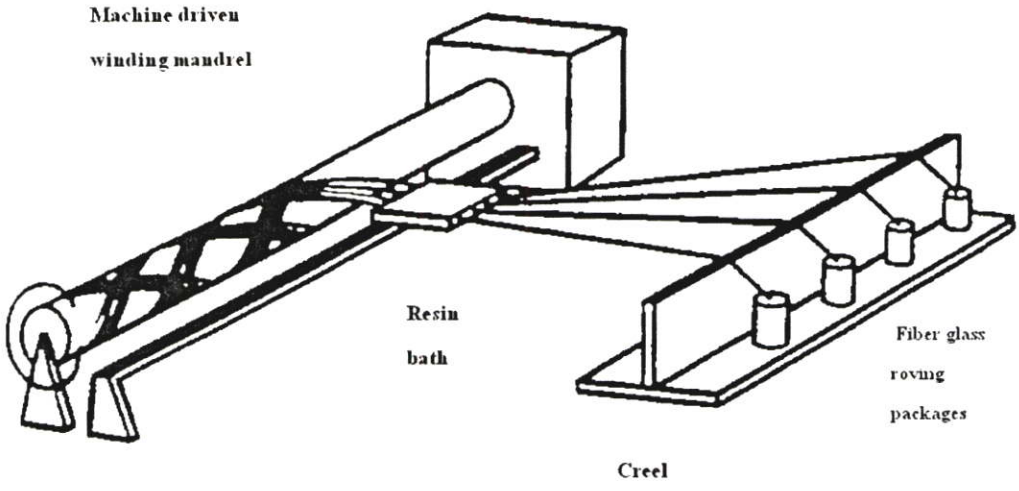


รูปที่ 2.9 เทคนิคการขึ้นรูปแบบหมุนหล่อ (Centrifugal casting) [7]

2.6.4 การขึ้นรูปด้วยเทคนิคการม้วนพัน (Filament Winding)[7]

เทคนิคการขึ้นรูปแบบการม้วนพันนี้เป็นเทคนิคที่สำคัญที่สุดเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการผลิตที่ใช้เส้นใยยาวต่อเนื่อง กลวง ลักษณะของชิ้นงานที่ได้จะเป็นชั้นลามิเนตรูปทรงกระบอก ผิวด้านในเรียบด้านเดียว เช่น ท่อ ถังความดันสูง ฯลฯ

การขึ้นรูปด้วยเทคนิคการม้วนพันนี้ ประกอบด้วยม้วนของเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Continuous fiber roving) นิยมใช้เส้นใยแก้ว (Glass fibers) โดยจะถูกส่งผ่าน ถาดหรือภาชนะบรรจุเรซินที่ผสมสารเชื่อมโยง โดยเส้นใยที่เปียกชุ่มด้วยเรซินและสารเชื่อมโยงจะผ่านส่วนนำเส้นใย (Filament guides) ต่อไปยังม้วนพันแม่แบบหรือเมนเดรล (Mandrel) ซึ่งมีลักษณะคล้ายทรงกระบอกคล้ายท่อที่หมุนรอบ ซึ่งความหนาของชิ้นงานควบคุมได้จากจำนวนรอบที่ม้วนพัน ส่วนทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใยควบคุมได้จากมุมของเมนเดรล ดังรูปที่ 2.10 โดยมีการควบคุมความตึง (Tension) และมุมการพัน (Winding angle) ของเส้นใยเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่แข็งแรงและมีคุณภาพ

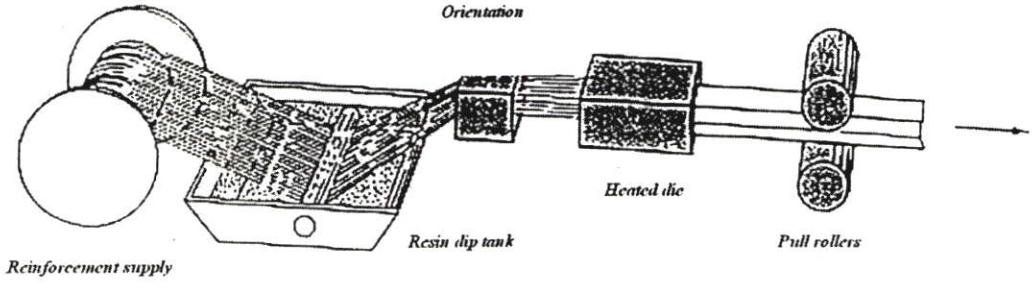


รูปที่ 2.10 การขึ้นรูปแบบการม้วนพัน (Filamemt winding) [7]

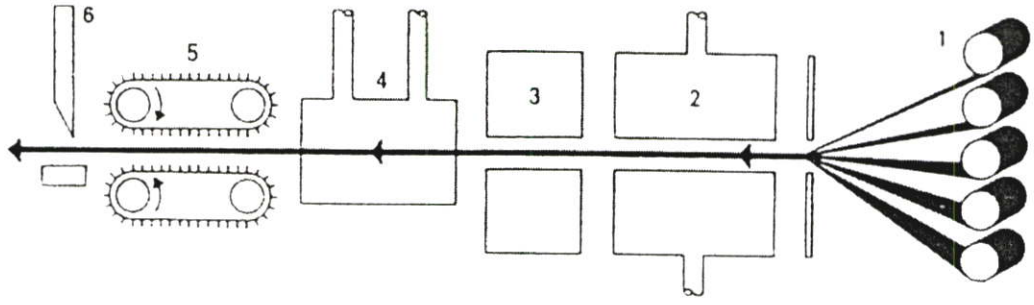
2.6.5 การขึ้นรูปด้วยเทคนิคการการดึงรีด (Pultrusion)[7]

การขึ้นรูปด้วยเทคนิคการดึงรีดนิยมใช้ผลิตชิ้นงานที่มีความยาวต่อเนื่องและมีพื้นที่หน้าตัดเหมือนกัน เช่น ท่อกลวง ท่อตัน หรือรูปหน้าตัดอื่นๆ เนื่องจากเทคนิคนี้เป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง ดังนั้นจึงมีอัตราเร็วการผลิตสูง และได้จำนวนชิ้นงานมากอย่างรวดเร็ว จึงมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจแต่ต้องลงทุนสูงเนื่องจากเครื่องมือและอุปกรณ์มีราคาแพง

การขึ้นรูปด้วยเทคนิคนี้คล้ายกับการขึ้นรูปพลาสติกแบบการอัดรีด แต่ต่างกันที่เทคนิคนี้ใช้ "แรงดึง" โดยใช้เส้นใยยาวต่อเนื่องหลายๆเส้นผ่านถาดหรือภาชนะที่บรรจุเรซินผสมสารเชื่อมโยง เส้นใยที่เปียกด้วยเรซินจะถูกนำให้ผ่านแม่แบบที่ร้อนให้มีรูปร่างต่างๆตามที่ต้องการ จากนั้นจะถูกดึง ผ่านตู้อบความร้อนเพื่อทำการเชื่อมโยงให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ แล้วจึงผ่านเครื่องตัดให้ทีความยาวตามต้องการ ขั้นตอนการขึ้นรูปแบบการดึงรีดดังรูปที่ 2.11 และ 2.12



รูปที่ 2.11 เทคนิคการขึ้นรูปแบบดึงรีด (Pultrusion)[7]



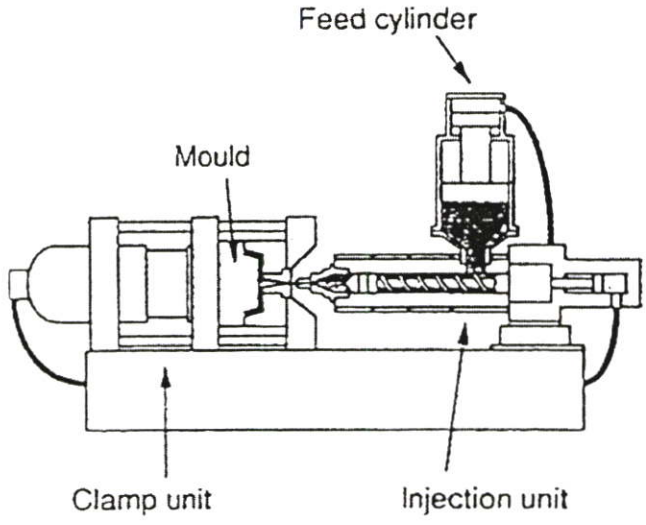
รูปที่ 2.12 องค์ประกอบต่างๆ ของเครื่องขึ้นรูปแบบดึงรีด (1) พรีเพรกของเส้นใยกับเรซิน (2) แม่แบบร้อน (3) เครื่องตรวจสอบคุณภาพ (4) ตู้อบ (5) ระบบดึง (6) เลื่อยตัด [7]

2.6.6 การขึ้นรูปด้วยเทคนิคการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding)[7]

เทคนิคการฉีดขึ้นรูป ใช้ผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนโดยเส้นใยที่ใช้เป็นเส้นใยสั้นและนิยมใช้กับเมตริกซ์ที่เป็นเทอร์โมพลาสติกมากกว่าเทอร์โมเซต เทคนิคนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์ที่ใช้การขึ้นด้วยเทคนิคนี้ได้แก่ ชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า ฯลฯ

ขั้นตอนการผลิตเริ่มด้วยการผสมวัสดุเมตริกซ์ที่เป็นพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติกในรูปเม็ดหรือผงกับเส้นใยและส่งเข้าเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine) ที่กรวยหรือฮอปเปอร์ และไหลผ่านเข้าไปยังบาร์เรล ที่ร้อน ซึ่งเป็นบริเวณที่พอลิเมอร์นิ่มตัวและกลายเป็นพอลิเมอร์ที่หลอมไหลได้ พอลิเมอร์และเส้นใยจะถูกส่งไปสะสมที่ส่วนหน้าของเครื่องโดยการหมุนของสกรูหรือเกลียวหนอน ในจังหวะที่ทำการฉีดนั้นตัวสกรูจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าทำให้เกิดความดันสูงผลักดันให้พอลิเมอร์หลอมเหลวผสมกับเส้นใยสั้น และไหลเข้าช่องแคบเล็กๆเข้าไปยังแม่แบบจนเต็ม จากนั้นรอให้เย็นตัวลงจนกลายเป็นของแข็ง แล้วระบบดีดตัว จะทำให้ชิ้นงานหลุดออกจากแม่แบบ จากนั้นแม่แบบจะปิดแล้วระบบการฉีดจะทำงานซ้ำใหม่ ลักษณะของเครื่องฉีดขึ้นรูปดังรูปที่ 2.13

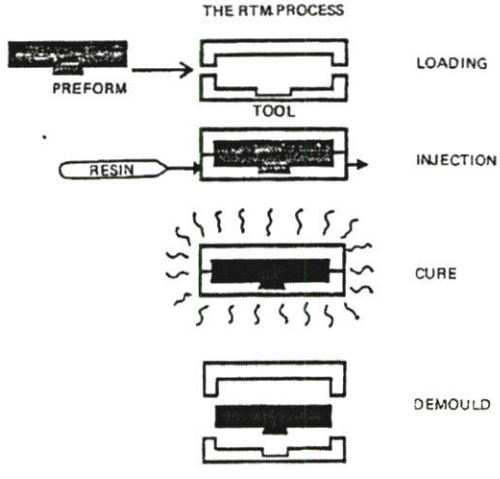
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.13 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding) [7]

2.6.7 การขึ้นรูปด้วยเทคนิคการถ่ายเทเรซิน (Resin Transfer Molding, RTM)[7]

เทคนิคการถ่ายเรซินขึ้นรูปหรืออาร์ทีเอ็ม ใช้งานกับส่วนเสริมแรงที่เป็นแผ่น ผืน หรือถักทอเป็นรูปร่างต่างตามแม่แบบที่เรียกว่า "พรีฟอร์ม" (Preform) ทำการขึ้นรูปโดยการเตรียมพรีฟอร์มหรือแผ่นเสริมแรง (Mat) ก่อน จากนั้นนำมาจัดวางภายในแม่แบบ ดังรูปที่ 2.14 แล้วจึงทำการปั๊มหรือถ่ายเทเรซินผสมสารเชื่อมโยงเข้าไปในแม่แบบจนเต็มแล้วให้ความร้อนทำการเชื่อมโยงเรซินให้สมบูรณ์ ก่อนนำออกจากแม่แบบและตัดขอบตกแต่งชิ้นงานให้สวยงาม

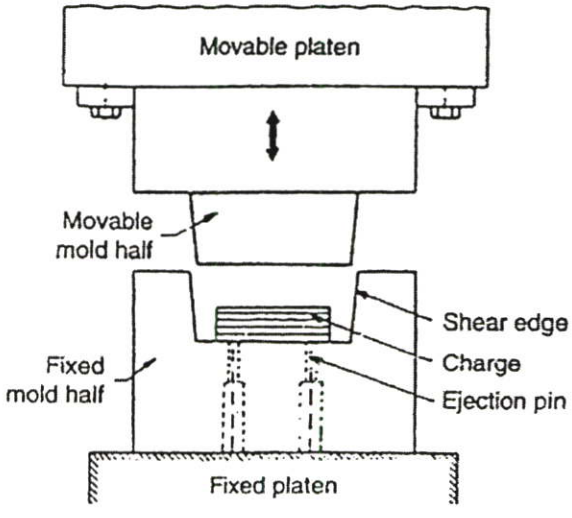


รูปที่ 2.14 เทคนิคการขึ้นรูปแบบถ่ายเรซินขึ้นรูป (Resin transfer molding, RTM) [7]

65471

2.6.8 การขึ้นรูปด้วยเทคนิคการอัดแบบขึ้นรูป (Compression Molding)[7]

การอัดแบบขึ้นรูป เป็นเทคนิคการขึ้นรูปพอลิเมอร์ที่เก่าแก่ที่สุดเทคนิคหนึ่ง สามารถใช้กับการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบได้ด้วย ข้อดีของเทคนิคนี้คือ เครื่องมือราคาไม่สูง ไม่มีเศษเหลือจากขบวนการผลิตมากเหมือนการฉีดขึ้นรูป สามารถใช้เส้นใยขนาดยาวกว่าและมีปริมาณมากกว่าเมื่อเทียบกับการฉีดขึ้นรูปดังนั้นชิ้นงานที่ได้จากการอัดแบบขึ้นรูปจะมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าจากการฉีดขึ้นรูป เนื่องจากแรงกดอัด ของเครื่องอัดแบบขึ้นรูปต่ำกว่าเครื่องอัดแบบฉีดขึ้นรูปโดยขั้นตอนการขึ้นรูปเริ่มโดยการเตรียมวัสดุที่เป็นองค์ประกอบหลัก สารเชื่อมโยงและส่วนเสริมแรงที่เป็นเส้นใยใส่ลงในแม่แบบ จากนั้นทำการปิดแม่แบบด้วยแรงกดซึ่งจะทำให้อากาศภายในแม่แบบเคลื่อนออกด้านข้างรอยต่อของแม่แบบ อุณหภูมิของแม่แบบที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนืดของวัสดุน้อยลงและไหลเต็มแม่แบบ หลังจากช่องว่างภายในแม่แบบถูกเติมเต็ม แม่แบบจะปิดตามเวลาที่กำหนด เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงที่สมบูรณ์เกิดเป็นของแข็ง โดยเวลาที่ใช้ในการเชื่อมโยงขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดและปริมาณของสารเชื่อมโยง อุณหภูมิที่ใช้ และความหนาของชิ้นงาน ฯลฯ เมื่อครบเวลาที่กำหนดแม่แบบจะทำการเปิดออก นำชิ้นงานออกและรอให้ชิ้นงานเย็นตัวลง ขณะที่เย็นอาจมีการเชื่อมโยงกันต่อและมีการหดตัว การออกแบบรูปร่างผลิตภัณฑ์ที่ดีจะช่วยให้มีการกระจายตัวของอุณหภูมิสม่ำเสมอ ทำให้ชิ้นงานไม่เกิดความเค้นตกค้าง (Residual stresses) ทำให้ชิ้นงานบิดเบี้ยว ลักษณะของเครื่องอัดขึ้นรูปเป็นดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 เครื่องอัดแบบขึ้นรูป (Compression molding) [7]

2.7 ทฤษฎีการยึดเกาะ (Theories of Adhesion) [7]

ในวัสดุเชิงประกอบ เมตริกซ์สามารถยึดเกาะกับเส้นใยระหว่างผิวสัมผัสได้หลายวิธี กลไกการยึดเกาะหลัก ที่อินเตอร์เฟสของวัสดุเชิงประกอบมี 5 กลไก ซึ่งอาจเกิดอย่างใดอย่างหนึ่งหรือเกิดร่วมกันดังนี้

2.7.1 การดูดซับและการเปียก (Adsorption and Wetting)

เมื่อพื้นผิวสองพื้นผิวที่ไม่มีประจุไฟฟ้าอยู่ใกล้กันมากพอ จะเกิด "แรงดึงดูดเชิงกล" เช่น การเปียก (Wetting) ของของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง ในกรณีของของแข็ง 2 ชนิดอยู่ใกล้กันมากถึงระดับจุลภาค (ไมครอน) หรือระดับอะตอม ความขรุขระ ของพื้นผิวจะเป็นสิ่งขัดขวางไม่ให้เกิดการยึดเกาะหรือสัมผัส จะมีเพียงบางตำแหน่งเท่านั้นที่สามารถสัมผัสกัน

ตามทฤษฎีแรงยึดเกาะนี้มีความแข็งแรงสูงแต่ในทางปฏิบัติจะมีแรงเชิงกลนี้ต่ำเนื่องจาก

- พื้นผิวเส้นใยมีความสกปรก เกิดเป็นชั้นของสิ่งสกปรกที่มีค่าพลังงานพื้นผิวอิสระหรือแรงตึงผิวต่ำ
- ในขั้นตอนการขึ้นรูปคอมโพสิตเกิดฟองอากาศของฟองก๊าซถูกขังอยู่บนพื้นผิวเส้นใย ทำให้พื้นผิวสัมผัสน้อยลง
- เกิดการหดตัวของเรซินเมตริกซ์หลังการเชื่อมโยง ทำให้เกิดแรงเค้นและเกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์

2.7.2 การแพร่เข้าหากัน (Interdiffusion)

การยึดเกาะของพื้นผิวพอลิเมอร์สองชนิดสามารถเกิดได้ ถ้าโมเลกุลพอลิเมอร์ที่บริเวณพื้นผิวสัมผัสทั้งสองชนิดมีการแพร่ เข้าหาซึ่งกันและกัน ดังรูปที่ 2.16 (a) ความแข็งแรงของการยึดเกาะชนิดนี้จะขึ้นกับปริมาณการพันกันของสายโซ่โมเลกุล (Molecular entanglement) ว่ามีมากหรือน้อย อีกทั้งขึ้นอยู่กับชนิดและจำนวนสายโซ่โมเลกุลที่เกิดการพันกัน เนื่องจากความสามารถในการแพร่และการพันกันของสายโซ่ขึ้นอยู่กับความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารโซ่โมเลกุล ดังนั้นการยึดเกาะแบบนี้สามารถเพิ่มได้โดยการใช้ตัวทำละลาย ทาที่พื้นผิว หรือการใช้สารเติมแต่งจำพวกพลาสติไซเซอร์ ทำให้สารโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์สามารถเคลื่อนที่ได้ง่าย กลไกการยึดเกาะแบบนี้สามารถเกิดกับเส้นใยที่มีการเคลือบพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงพื้นผิวก่อนการผสมกับเมตริกซ์ แต่ไม่เกิดในคอมโพสิตที่มีพื้นผิวเส้นใยแข็ง ไม่มีการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุล เช่น เส้นใยคาร์บอน เส้นใยแก้ว ฯลฯ

2.7.3 แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Attraction)

แรงดึงดูดจะเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวสองชนิดที่มีประจุต่างกันมาอยู่ใกล้กัน นั่นคือถ้าพื้นผิวหนึ่งมีประจุรวมเป็นบวก (Net positive charge) และอีกพื้นผิวหนึ่งมีประจุรวมเป็นลบ (Net negative

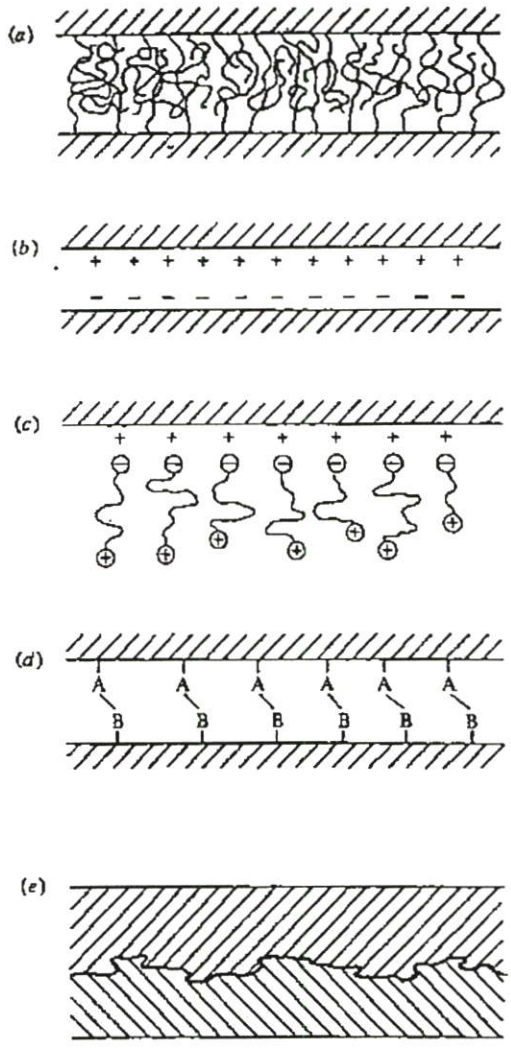
charge) ตัวอย่างเช่น อันตรกิริยาระหว่างกรด-เบส (Acid-base interactions) และพันธะไอออนิก (Ionic bonding) แสดงดังรูปที่ 2.16 (b) และ (c) ความแข็งแรงของกลไกการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นกับความหนาแน่นประจุ แรงดึงดูดระหว่างประจุหรือไฟฟ้าสถิตย์จะไม่ใช่แรงยึดเกาะหลักระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ในวัสดุเชิงประกอบ แต่แรงดึงดูดชนิดนี้มีส่วนร่วมกับกลไกการยึดเกาะชนิดอื่น ช่วยให้เกิดการยึดเกาะในวัสดุเชิงประกอบได้ดีขึ้น เช่นการยึดเกาะของสารประสานคู่ควบประเภทไซเลน ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นประจุบวก มีการยึดติดที่ดีกับเส้นใยแก้วที่มีประจุลบของหมู่ไฮดรอกซี (-OH) บนพื้นผิว เป็นต้น

2.7.4 พันธะเคมี (Chemical Bonding)

เป็นกลไกการยึดเกาะที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่ง ดังรูปที่ 2.16 (d) เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยมีหมู่ฟังก์ชันเคมี บนพื้นผิวและเมตริกซ์มีหมู่ฟังก์ชันเคมีที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมี เกิดเป็นพันธะเคมี ได้แก่ พันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ ซึ่งเป็นการยึดเกาะที่แข็งแรง ความแข็งแรงของกลไกการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นกับจำนวนและชนิดของพันธะที่เกิดขึ้น การเสียสภาพของคอมโพสิตที่อินเตอร์เฟสจะเกี่ยวข้องกับการแตกหักของพันธะเคมีนี้ ตัวอย่างการยึดเกาะด้วยพันธะเคมี ได้แก่ การเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างสารประสานคู่ควบ กับหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวเส้นใย และเมตริกซ์ เป็นต้น

2.7.5 การยึดเกาะเชิงกล (Mechanical Adhesion หรือ Mechanical Interlocking)

การยึดเกาะเชิงกลเกิดเมื่อในขบวนการขึ้นรูปคอมโพสิต เรซินเมตริกซ์เปียกบนพื้นผิวเส้นใยในขณะเป็นของไหลสามารถที่จะแทรกตัวไปตามพื้นผิวที่ขรุขระของเส้นใย รวมทั้งซอกร่องรูและช่องว่างอื่นๆ บนพื้นผิว เมื่อทำการเชื่อมโยงทำให้เกิดการแข็งตัวของเมตริกซ์ เป็นเหตุให้เมตริกซ์ถูกล็อคแข็งติดอยู่กับพื้นผิวของเส้นใย แสดงดังรูปที่ 2.6 (e) ความแข็งแรงของการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความขรุขระ ของพื้นผิวเส้นใยที่ทำให้เกิดการแทรกตัวของเรซิน รวมทั้งปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความสามารถของเรซินในการเปียกและแทรกตัวในพื้นผิวเส้นใย เช่นความหนืดของเรซิน พื้นผิวเส้นใยที่เรียบจะเกิดการยึดเกาะเชิงกลน้อยหรือไม่เกิดเลย



รูปที่ 2.16 กลไกการยึดเกาะชนิดต่างๆ (a) อินเตอร์ดิฟฟิวชัน (Interduffusion) (b) แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ (c) แรงดึงดูดระหว่างประจุของโมเลกุลที่มีประจุลบกับพื้นผิวที่มีประจุบวก (d) พันธะเคมีเกิดระหว่างหมู่ A บนพื้นผิวหนึ่งกับหมู่ B บนอีกพื้นผิวหนึ่ง และ (e) การยึดเกาะเชิงกล (Mechanical interlocking) [7]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทำการวิจัยโดยใช้ผงหนังซึ่งเป็นเส้นใยโปรตีนและเยื่อชานอ้อยที่เป็นเส้นใยเซลลูโลสมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรง จึงได้ศึกษาถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องถึงการใช้เส้นใยธรรมชาติต่างๆ ที่ใช้เป็นวัสดุเสริมแรง ได้แก่

สมภพ เลิศลักขณากุล [8] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นไม้เทียม สามารถเตรียมได้จากพอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly (vinyl choride); PVC) กับเส้นใยยูคาลิปตัส (Eucalyptus fibers) จากนั้นนำไปศึกษาสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา

นวภรณ์ อนันตธนวนิชย์ และ นุชรี ปัญจะผลินกุล [9] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมพอสิตเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นไม้เทียม สามารถเตรียมได้จากพอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly (vinyl choride); PVC) กับ ผงหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีการทางเคมี (Vetiver chemical pulp; VCP) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกจะทำให้สมบัติบางอย่างของคอมโพสิตดีขึ้น เช่น ค่าความแข็งแรงและมอดุลัสเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงกระแทก และเปอร์เซ็นการคืนยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง ค่าการดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น

Georgopoulos และคณะ [10] ศึกษาผลจากการเติมเส้นใยลิกนินในเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ พอลิเมอร์ที่ใช้ คือ LDPE และ PVC plastisol โดยการเตรียมชิ้นงานที่มีเส้นใย 10-50 phr แล้วนำไปศึกษาสมบัติเชิงกล ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณของเส้นใยเพิ่มขึ้นความทนแรงดึงลดลง จาก LDPE ที่ไม่ผสมเส้นใย แต่ค่ายังมอดุลัสเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเหนียวของเส้นใยสูง

จากการศึกษาถึงงานวิจัยอีกประเภทหนึ่งที่นำวัสดุเสริมแรงที่เป็นเส้นใยมาปรับปรุงคุณสมบัติโดยการใช้สารประสานคู่ควบ ได้แก่

นิรัญชนา เกษมสุข [11] ศึกษาการนำเส้นใยเซลลูโลสมาใช้เป็นตัวเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบเพื่อทดแทนการใช้เส้นใยแก้ว ปอแก้วเป็นเส้นใยเซลลูโลสชนิดหนึ่งที่ถูกเลือกมาใช้เพื่อเป็นตัวเสริมแรงในพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว ได้ทำการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยให้เหมาะสมก่อนนำไปเสริมแรง โดยทำการปรับปรุงผิวของเส้นใยปอด้วยการยึดเกาะไซเลน โดยใช้สารยึดเกาะไซเลนซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันต่างกันสองชนิดและทำการศึกษาผลของการปรับปรุงผิวต่อสมบัติเชิงกลและการดูดซึมน้ำของวัสดุประกอบ

Laurent M. [12] ศึกษาสมบัติที่ผิวหน้าของวัสดุประกอบของเส้นใยเซลลูโลสและพีวีซี โดยปรับสภาพผิวของเส้นใยเซลลูโลสด้วยสารประสานอะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน (γ-aminopropyltriethoxysilane) พบว่าไซเลนจะเข้าไปแทรกตามรูพรุนของเส้นใยทำให้ความแข็งแรงและการยึดติดดีขึ้น ส่วนโมดูลัส และการยืดดึง ณ จุดขาด การปรับสภาพผิวด้วยไซเลนไม่มีผล

Chaube และคณะ [13] ศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของอัลคอกซีไซเลน 3 ชนิด ได้แก่ 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPS) 3-aminopropyltriethoxysilane (APS) และ 3-diethylenetriaminopropyltrimethoxysilane (TAS) ในสารละลายสารละลายเอทานอล/น้ำ (80/20) พบว่าการควบแน่นของหมู่ไซลานอลได้โครงสร้างของโอลิโกเมอริก APS และ MPS เมื่อถูกไฮโดรไลซ์กับสารละลายเอทานอล/น้ำ (80/20) จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารละลาย แต่ TAS จะไม่ละลาย คือได้ตะกอนออกมา เมื่อถูกไฮโดรไลซ์แล้วดูดซับบนเส้นใยเซลลูโลส หลังจากนั้นจะนำไปอบที่อุณหภูมิ 110-120^{o}C เพื่อปรับสภาพผิวของเส้นใยให้เกิดพันธะของไซเลนบนผิวหน้า

Tian. และคณะ [14] ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ของ IR และ NMR ศึกษาผลของไซเลนที่ใช้ในการปรับสภาพผิวของเส้นใยแก้ว(FS) ของ วัสดุประกอบ (FS/rubber) และอธิบายได้ว่าหมู่อัลคอกซีของไซเลนทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซีบนผิวหน้าของ FS ทำให้เกิดพันธะไซโลเซน และหมู่ฟังก์ชันอินทรีย์ของไซเลนจะทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์

Wang. L. และ Sheng. J. [15] เตรียมวัสดุประกอบของ PP/org-attapulgite (ATP) โดย melt blending ในเครื่องผสม และปรับสภาพผิว ATP ด้วยไซเลน และทำปฏิกิริยา graft polymerization กับ butyl acrylate ศึกษาอัสณฐาน และการกระจายตัวของวัสดุประกอบด้วย SEM และ TEM ตามลำดับ ศึกษาโครงสร้างผลึกของวัสดุประกอบด้วย XRD ศึกษาสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง และ ศึกษาสมบัติต่ออุณหภูมิด้วย DSC และ DMA

Demir.H. และคณะ [16] ศึกษาผลของการปรับสภาพผิวของเส้นใยต่อสมบัติความทนแรงดึง และสมบัติการดูดซับน้ำ ของวัสดุประกอบ PP/luffer fiber(LF) โดยใช้สารประสานคู่ควบเปรียบเทียบกัน 3 ชนิด ได้แก่ (3-amiopropyl)-triethoxysilane(AS) 3-(trimethoxysilyl)-1-propanethiol(MS) และ anhydride grafted polypropylene (MAPP) วัสดุประกอบประกอบด้วย 2-15% โดยน้ำหนักของ LF พบว่าความทนแรงดึงของวัสดุประกอบที่ปรับสภาพผิวเพิ่มขึ้น แต่การดูดซับน้ำลดลง เนื่องจากการยึดติดที่ดีขึ้นระหว่างผิวของ PP และ LF การศึกษาการยึดติดระหว่าง PP และ LF พบว่า MS ให้การยึดติดที่ดีกว่า AS และ MAPP ตามลำดับ

Devi และคณะ [17] ศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบจากเส้นใยจากใบสัปปะรดและโพลีเอสเทอร์ โดยวิเคราะห์ความยาวของเส้นใย น้ำหนักของเส้นใย และชนิดของสานประสานที่มีผลต่อความทนแรงดึง จากการทดลองพบว่าวัสดุประกอบมีความทนแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ vinyltri (2-ethoxy methoxy) silane ปรับสภาพผิวของเส้นใย และวัสดุประกอบที่ใช้เส้นใย 30% wt ความยาว 30 mm ให้ความทนแรงดึงสูงที่สุด

สุวิทย์ อลงกรณ์โชติกุล [18] ศึกษาความเข้มข้นของสารประสานคู่ควบ ปริมาณของใยแก้ว และอัตราส่วนของพีวีซี/เอสเอเอ็น ต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ พีวีซี/เอสเอเอ็น เสริมแรงด้วยใยแก้ว จึงมีการปรับปรุงใยแก้วด้วยสารประสานคู่ควบอะมิโนไซเลน และเมอร์แคพโทไซเลน

ก่อนการผสมกับพีวีซี/เอสเอเอ็น พบว่าการปรับปรุงผิวหน้าด้วยสารประสานคู่ควบเมอร์แคพโทไซเลนพบว่าให้คุณสมบัติความทนแรงดึงและความต้านทานแรงโค้งงอที่ดี

อรอุษา ศิริคุตต์ [19] สังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบคล้ายหนัง (หนังกึ่งสังเคราะห์) จากพีวีซีและผงหนัง เพื่อให้มีสมบัติใกล้เคียงกับหนังแท้ (หนังฟอก) และปรับสภาพผิวของผงหนังด้วยอะมิโนไซเลนเปรียบเทียบกับ ไวนิลไซเลน ที่ 1%, 3% และ 5% ในสารละลายน้ำ พบว่าที่ความเข้มข้นของอะมิโนไซเลน 5% ในสารละลายน้ำมีค่าความทนแรงดึงมากที่สุด และมากกว่า ไวนิลไซเลนที่ความเข้มข้นเดียวกัน

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของส่วนประกอบที่ใช้สังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบเพื่อใช้ทดแทนไม้สำหรับผลิตเฟอร์นิเจอร์ และศึกษาผลกระทบจากขนาดของผงหนังและเยื่อชานอ้อยที่ใช้เป็นวัสดุเสริมแรง รวมทั้งการปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบด้วยสารเติมแต่งที่เหมาะสม โดยแบ่งเป็นการทดลองย่อย ดังต่อไปนี้

- การใช้ผงหนังเป็นวัสดุเสริมแรง
- การใช้เยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรง
- การใช้ผงหนังและเยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรงร่วมกัน

โดยในแต่ละการทดลองมีการใช้สารประสานคู่ควบอะมิโนไซเลนและสารเสริมสภาพพลาสติก DOP เพื่อปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบให้ดีขึ้น

3.1 ศึกษาผลของการใช้ผงหนังเป็นวัสดุเสริมแรงที่มีต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

3.1.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปรอัตราส่วนและขนาดของผงหนัง

การทดลองใช้เป็นวัสดุเสริมแรง เพื่อศึกษาอัตราส่วนและขนาดของผงหนังที่เหมาะสมเพื่อให้ได้วัสดุเชิงประกอบที่มีสมบัติต่างๆที่ดี ซึ่งวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังต่อไปนี้

วัสดุและสารเคมีที่ใช้

- เศษผงหนังจากโรงงานฟอกหนังที่ผ่านการบดและคัดขนาดแล้ว
- พีวีซีคอมเพานด์ (PVC compound) จากบริษัท ไทยพลาสติก จำกัด (มหาชน)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

- เครื่องตัดย่อยพลาสติก
- เครื่องบดผงหนัง (Crushing mill) ช่องฟันตัดประมาณ 3 มิลลิเมตร
- เครื่องคัดขนาด (Sieving Tester) ขนาด 8 mesh และ 20 mesh
- เครื่องผสมแบบลูกกลิ้งสองลูก (Two-roll mill)
- เครื่องขึ้นรูปแบบอัดด้วยแม่พิมพ์ความร้อน (Thermal Compression Molding)
- เครื่องอัดและแม่พิมพ์สำหรับตัดชิ้นงาน
- เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทก (YASUDA 199311)
- เครื่องทดสอบความแข็ง (Durometer, Shore D)
- เครื่องทดสอบความทนแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ

- เครื่องชั่ง
- ตู้อบ

เตรียมผงหนังและคัดขนาดผงหนังสำหรับขึ้นรูป

- ผงหนังก่อนใช้ในการทดลอง มีค่าความชื้น 16 % [20]
- บดผงหนังด้วยเครื่องบดได้ผงหนังที่มีขนาดไม่เกิน 3 มิลลิเมตร
- คัดขนาดผงหนังด้วยตระแกรงร่อนคัดขนาด 8 mesh และ 20 mesh ซึ่งมีการกระจายของผงหนัง ดังนี้

  ผงหนังขนาดใหญ่กว่า 8 mesh มีปริมาณร้อยละ 57 โดยน้ำหนัก

  ผงหนังขนาด 8-20 mesh มีปริมาณร้อยละ 39โดยน้ำหนัก

  ผงหนังขนาดเล็กกว่า 20 mesh มีปริมาณร้อยละ 4โดยน้ำหนัก
- อบผงหนังทุกขนาดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- เก็บในเดซิเคเตอร์เพื่อป้องกันการดูดความชื้น

วิธีการทดลอง

- ชั่งวัสดุตามอัตราส่วนผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.1
- ผสมพีวีซีคอมเพาวด์กับวัสดุเสริมแรงตัวอย่างละ 600 กรัม ด้วยเครื่องผสมแบบลูกกลิ้ง 2 ลูก โดยใช้อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส จนเข้ากันดี
- พลาสติกจากเครื่องผสม เมื่อเย็นลงแล้วจะมีลักษณะเป็นแผ่นแข็ง นำไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติกให้เป็นเม็ดเล็กๆ
- ชั่งเม็ดพลาสติกที่บดได้ปริมาณ 60 กรัม เพื่อนำไปอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 8 นาทีและใช้เวลาหล่อเย็นประมาณ 6 นาที หลังจากนั้นนำออกจากแม่พิมพ์
- นำวัสดุเชิงประกอบที่สังเคราะห์ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของพีวีซีคอมเพานด์ และผงหนัง ที่ใช้สังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบ

พีวีซี (phr)	ผงหนัง	
	ขนาด	ปริมาณ (phr)
100	8-20 mesh	20
		40
		60
		80
	> 8 mesh	20
		40
		60
		80
	ไม่คัดขนาด	20
		40
		60
		80

3.1.2 ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบพีวีซี-ผงหนังด้วยสารประสานคู่ควบและสารเสริมสภาพพลาสติก

ทดลองใช้สารคู่ควบเพื่อเสริมการยึดเกาะระหว่างผิวเส้นใยหนังและพลาสติก และการทดลองเติมสารเสริมสภาพพลาสติก เช่น DOP เพื่อให้พลาสติกสามารถรับสารตัวเติมได้มากขึ้น

วัสดุและสารเคมีที่ใช้

เช่นเดียวกันกับ 3.1.1

- สารประสานคู่ควบ ชนิด อะมิโนไซเลน (3-aminopropyl-tri-ethoxy silane) จากบริษัท นีโอไลท์
- สารเสริมสภาพพลาสติก ชนิดไดออกทิลพาทาเลต (Di-octyl phthalate; DOP)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

เช่นเดียวกันกับ 3.1.1

วิธีการทดลอง (ส่วนที่ 1 การเติมสารประสานคู่ควบอะมิโนไซเลน)

จากการทดลองใน 3.1 พบว่า เมื่อใช้พีวีซีกับผงหนังขนาด 8-20 mesh ปริมาณ 60 phr จะได้วัสดุเชิงประกอบที่มีสมบัติดีที่สุด จึงได้นำอัตราส่วนดังกล่าวมาใช้ในการทดลองปรับปรุงคุณภาพด้วยสารประสานคู่ควบไซเลน ชนิด 3-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน

การปรับปรุงผงหนังด้วยสารประสานคู่ควบ โดยนำผงหนังที่บดและคัดขนาดแล้วในช่วง 8-20 mesh จำนวน 1,000 กรัม แช่ในสารละลายอะมิโนไซเลนที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายที่ความเข้มข้น 1 ถึง 5 % (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ ในปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ในแต่ละตัวอย่าง รวม 5 ตัวอย่าง นำไปอบระเหยน้ำออกที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้ผงหนังแห้งสนิท จากนั้นชั่งวัสดุตามอัตราส่วนผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.2 แล้วทำตามวิธีใน 3.1.4

ตารางที่ 3.2 ปริมาณของสารประสานคู่ควบที่ใช้ทดลองผลที่มีต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

พีวีซี (phr)	วัสดุเสริมแรง	
	ผงหนังขนาด 20 mesh (phr)	3-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน (%)
100	60	1
		2
		3
		4
		5

วิธีการทดลอง (ส่วนที่ 2 การเติมสารเสริมสภาพพลาสติก DOP)

จากการทดลองใน 3.1 พบว่า เมื่อใช้พีวีซีกับผงหนังขนาด 8-20 mesh ในปริมาณ 60 phr จะได้วัสดุเชิงประกอบที่มีสมบัติดีที่สุด จึงได้นำอัตราส่วนดังกล่าวมาใช้ในการทดลองปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเสริมสภาพพลาสติกดังตารางที่ 3.3 หลังจากนั้น ทำตามวิธีการทดลองใน 3.1.4

ตารางที่ 3.3 ปริมาณส่วนผสมของ DOP ที่ใช้ทดลองผลที่มีต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

พีวีซี (phr)	วัสดุเสริมแรง	
	ผงหนังขนาด 8-20 mesh (phr)	DOP (phr)
100	60	10
		20
		30

3.2 ศึกษาผลจากการใช้เยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรงที่มีต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

3.2.1 ศึกษาการแปรเปลี่ยนปริมาณและขนาดเยื่อชานอ้อย

เมื่อใช้เยื่อชานอ้อยที่ผ่านการบดและคัดขนาดเช่นเดียวกันกับ 3.1

วัสดุและสารเคมีที่ใช้

- เยื่อชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลที่ผ่านการบดและคัดขนาดแล้ว
- พีวีซีคอมเพานด์

อุปกรณ์และเครื่องมือ

เช่นเดียวกันกับ 3.1.1

เตรียมเยื่อชานอ้อยและคัดขนาดเยื่อสำหรับขึ้นรูป

เช่นเดียวกันกับ 3.1.1 และเยื่อชานอ้อยก่อนใช้ในการทดลอง มีค่าความชื้น 3 % [21]

จากการคัดขนาดเยื่อชานอ้อยด้วยตระแกรงร่อนมีการกระจายของเยื่อ ดังนี้

เยื่อขนาดใหญ่กว่า 8 mesh มีปริมาณร้อยละ 58 โดยน้ำหนัก

เยื่อขนาด 8-20 mesh มีปริมาณร้อยละ 32 โดยน้ำหนัก

เยื่อขนาดเล็กกว่า 20 mesh มีปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

วิธีการทดลอง

- ชั่งวัสดุตามอัตราส่วนผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.4
- ผสมพีวีซีคอมเพาวด์กับวัสดุเสริมแรงด้วยเครื่องผสมแบบลูกกลิ้ง 2 ลูก โดยใช้อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส จนเข้ากันดี
- พลาสติกจากเครื่องผสม เมื่อเย็นลงแล้วจะมีลักษณะเป็นแผ่นแข็ง นำไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติกให้เป็นเม็ดเล็กๆ
- ชั่งเม็ดพลาสติกที่บดได้ปริมาณ 60 กรัม เพื่อนำไปอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 8 นาทีและใช้เวลาหล่อเย็นประมาณ 6 นาที หลังจากนั้นนำออกจากแม่พิมพ์
- นำวัสดุเชิงประกอบที่สังเคราะห์ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนของพีวีซีคอมเพานด์ และเยื่อชานอ้อย ที่ใช้สังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบ

พีวีซี (phr)	เยื่อชานอ้อย	
	ขนาด	ปริมาณ (phr)
100	8-20 mesh	20
		40
		60
		80
	> 8 mesh	20
		40
		60
		80
	ไม่คัดขนาด	20
		40
		60
		80

3.2.2 ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบพีวีซี-เยื่อชานอ้อยด้วยสารประสานคู่ควบและสารเสริมสภาพพลาสติก

จากการทดลองใน 3.2.1 เมื่อใช้เยื่อชานอ้อยขนาด 8-20 mesh ในปริมาณ 40 phr เป็นสารเสริมแรง จะได้วัสดุเชิงประกอบที่มีสมบัติดีที่สุด จึงได้นำอัตราส่วนดังกล่าวมาใช้ในการทดลองปรับปรุงคุณภาพโดยใช้สารประสานคู่ควบไซเลน และสารเสริมสภาพพลาสติก DOP

วัสดุและสารเคมีที่ใช้

เช่นเดียวกันกับ 3.2.1

- สารประสานคู่ควบ ชนิด อะมิโนไซเลน (3-aminopropyl-triethoxy silane) จากบริษัท นีโอไลท์

- สารเสริมสภาพพลาสติก ชนิดไดออกทิลพาทาเลต (Di-octyl phthalate; DOP)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

เช่นเดียวกันกับ 3.1.2

เตรียมเยื่อชานอ้อยและคัดขนาดสำหรับขึ้นรูป

เช่นเดียวกันกับ 3.1.2

วิธีการทดลอง (ส่วนที่ 1 การเติมสารประสานคู่ควบอะมิโนไซเลน)

จากการทดลองใน 3.3 พบว่าเมื่อใช้พีวีซีกับเยื่อชานอ้อยขนาด 8-20 mesh ในปริมาณ 40 phr จะได้วัสดุเชิงประกอบที่มีสมบัติดีที่สุด จึงได้นำอัตราส่วนดังกล่าวมาใช้ในการทดลองปรับปรุงคุณภาพด้วยสารประสานคู่ควบไซเลน ชนิด 3-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน

การปรับปรุงเยื่อชานอ้อยด้วยสารประสานคู่ควบโดยนำเยื่อชานอ้อยที่บดและคัดขนาดแล้วในช่วง 8-20 mesh จำนวน 1,000 กรัม แช่ในสารละลายอะมิโนไซเลนที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายที่ความเข้มข้น 1 ถึง 5 % (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ ในปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร แต่ละตัวอย่าง รวม 5 ตัวอย่าง นำไปอบระเหยน้ำออกที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้เยื่อชานอ้อยแห้งสนิท จากนั้นชั่งวัสดุตามอัตราส่วนผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.5 แล้วทำตามวิธีใน 3.1.4

ตารางที่ 3.5 ปริมาณของสารประสานคู่ควบที่ใช้ทดลองผลที่มีต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

พีวีซี (phr)	**วัสดุเสริมแรง**	
	เยื่อชานอ้อยขนาด 20 mesh (phr)	**3-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน (%)**
100	40	1
		2
		3
		4
		5

วิธีการทดลอง (ส่วนที่ 2 การเติมสารเสริมสภาพพลาสติก DOP)

เช่นเดียวกัน จากการทดลองใน 3.3 พบว่า เมื่อใช้พีวีซีกับเยื่อชานอ้อยขนาด 8-20 mesh ในปริมาณ 40 phr จะได้วัสดุเชิงประกอบที่มีสมบัติดีที่สุด จึงได้นำอัตราส่วนดังกล่าวมาใช้ในการทดลองปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเสริมสภาพพลาสติกดังตารางที่ 3.6 แล้วทำตามวิธีการใน 3.1.4

ตารางที่ 3.6 ปริมาณส่วนผสมของ DOP ที่ใช้ทดลองผลที่มีต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

พีวีซี (phr)	วัสดุเสริมแรง	
	เยื่อชานอ้อยขนาด 20 mesh (phr)	DOP (phr)
100	40	10
		20
		30

3.3 ศึกษาผลจากการใช้วัสดุผสมผงหนังและเยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรง

3.3.1 การใช้ผงหนังผสมเยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรง (ไม่มีสารเติมแต่ง)

จากการทดลองที่ 3.1 และ 3.3 เมื่อใช้ผงหนังในปริมาณ 60 phr เยื่อชานอ้อยในปริมาณ 40 phr ขนาด 8-20 mesh จะได้วัสดุเชิงประกอบที่มีสมบัติต่างๆ ดีที่สุด จึงเลือกข้อมูลนี้มาใช้ศึกษาผลของการใช้วัสดุเสริมแรงผสมในวัสดุเชิงประกอบ ในอัตราส่วน 3:2 โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 3.7 แล้วทำตามวิธีการทดลองใน 3.1.4

ตารางที่ 3.7 ปริมาณวัสดุเสริมแรงผสมที่ใช้สังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบ

พีวีซี (phr)	วัสดุเสริมแรง	
	ผงหนัง : เยื่อชานอ้อย	ปริมาณ (phr)
100	3 : 2	30
		40
		50
		60
		70

3.3.2 การใช้สารประสานคู่ควบเพื่อปรับปรุงสมบัติของวัสดุเสริมแรงผงหนัง-เยื่อชานอ้อย

ปรับปรุงคุณภาพของผงหนังและเยื่อชานอ้อย ด้วยสารประสานคู่ควบ 5% ของน้ำหนักวัสดุผสม ดังตารางที่ 3.8 แล้วทำตามวิธีการทดลองใน 3.1.4

ตารางที่ 3.8 ปริมาณวัสดุเสริมแรงผสมที่ใช้สังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบ

พีวีซี (phr)	วัสดุเสริมแรง	
	ผงหนัง : เยื่อชานอ้อย	ปริมาณ (phr)
100	3 : 2 ปรับสภาพผิวด้วยไซเลน 5%	30
		40
		50
		60
		70

3.3.3 การใช้สารเสริมสภาพพลาสติกชนิด DOP ปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

การใช้สารเสริมสภาพพลาสติก ปรับปรุงคุณภาพของวัสดุเชิงประกอบ ในปริมาณ 10 phr ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 การเปลี่ยนแปรปริมาณผงหนังผสมเยื่อชานอ้อยในวัสดุเชิงประกอบที่มีสารเสริมสภาพพลาสติก

พีวีซี (phr)	วัสดุเสริมแรง	
	ผงหนัง : เยื่อชานอ้อย	ปริมาณ (phr)
100	3:2 สารเสริมสภาพพลาสติก 10 phr	30
		40
		50
		60
		70

3.4 การทดสอบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ [22]

ทดสอบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบที่สังเคราะห์ขึ้น ตามมาตรฐาน ASTM ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยรายงานผล
ความแข็ง (Hardness)	ASTM D 785	Shore D
ความทนแรงกระแทก (Impact strength)	ASTM D 256	kJ/m^2
ความทนแรงดัดโค้ง (Flexural strength)	ASTM D 790	MPa
มอดุลัสของการดัดโค้ง (Flexural modulus)	ASTM D 790	MPa
เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ	ASTM D 570	%

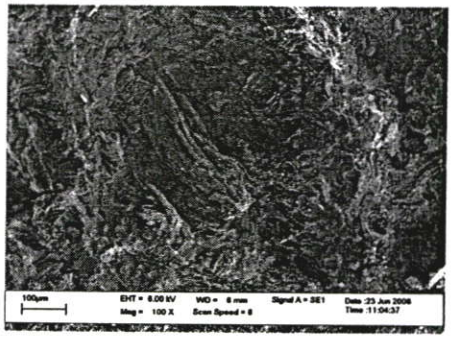
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

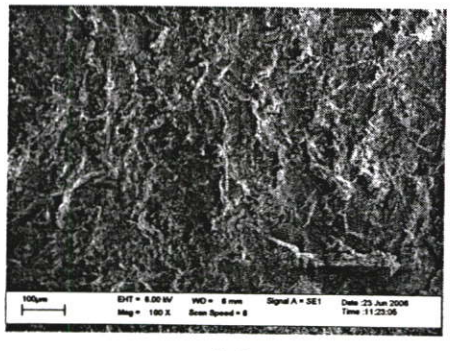
จากการศึกษาการใช้ผงหนัง หรือเยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบ เมื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ทั้งสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยา และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกันได้ผลดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบ

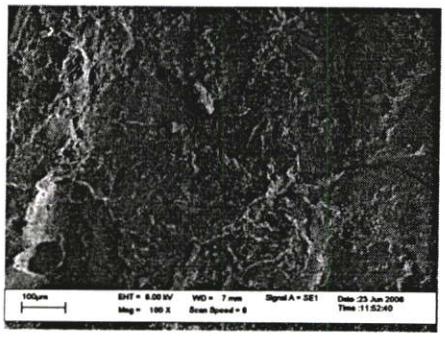
จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของวัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์กับผงหนังขนาด 8-20 เมช พบว่ามีการกระจายตัวของวัสดุเสริมแรงและเกิดการยึดเกาะกับพีวีซี โดยการจัดเรียงตัวของวัสดุเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบเป็นแบบสุ่ม จากรูป 4.1 (ผงหนัง) และ 4.2 (เยื่อชานอ้อย) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูป ก ไม่มีการเติมสารเติมแต่งในวัสดุเชิงประกอบ กับรูป ข และ ค ซึ่งทำการปรับปรุงวัสดุเสริมแรงด้วยอะมิโนไซเลนและสาร DOP พบว่า เกิดการยึดเกาะกันระหว่างพีวีซีกับวัสดุเสริมแรงได้ดีขึ้นทำให้ช่องว่างในเนื้อวัสดุเชิงประกอบมีน้อยลง



(ก)



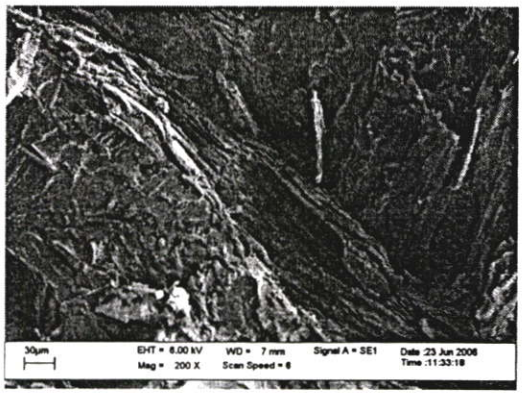
(ข)



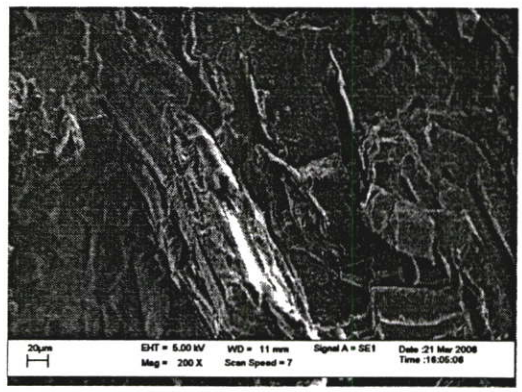
(ค)

(ค)

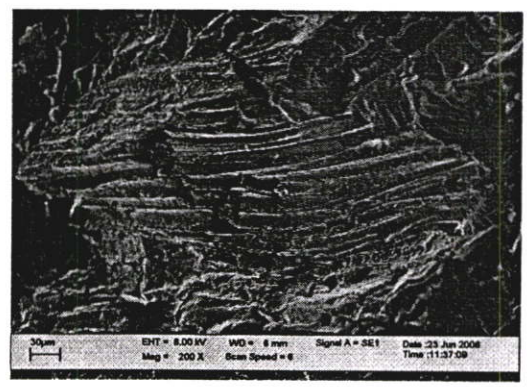
รูปที่ 4.1 วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ผงหนังขนาด 8-20 mesh 60 phr (ก) ไม่ใส่สารเติมแต่ง (ข) อะมิโนไซเลน 5% (ค) สาร DOP 10 phr (กำลังขยาย 100 เท่า)



(ก)



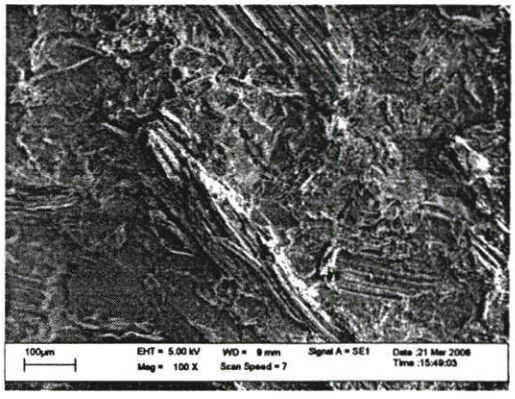
(ข)



(ค)

รูปที่ 4.2 วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เยื่อชานอ้อยขนาด 8-20 mesh 40 phr (ก) ไม่ใส่สารเติมแต่ง (ข) อะมิโนไซเลน 5% (ค) สาร DOP 10 phr (กำลังขยาย 200 เท่า)

และรูปที่ 4.3 แสดงผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์กับผงหนังผสมเยื่อชานอ้อย ขนาด 8-20 เมช ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าผงหนังและเยื่อชานอ้อยมีการกระจายยึดเกาะกับพอลิไวนิลคลอไรด์ได้ดีไม่มีช่องว่างในเนื้อวัสดุเชิงประกอบ โดยลักษณะการจัดเรียงตัวของผงหนังและเยื่อชานอ้อยในวัสดุเชิงประกอบเป็นการจัดเรียงตัวแบบสุ่ม



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.3 วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ผงหนังผสมเยื่อชานอ้อยขนาด 8-20 mesh 50 phr (ก) กำลังขยาย 100 เท่า (ข) กำลังขยาย 200 เท่า

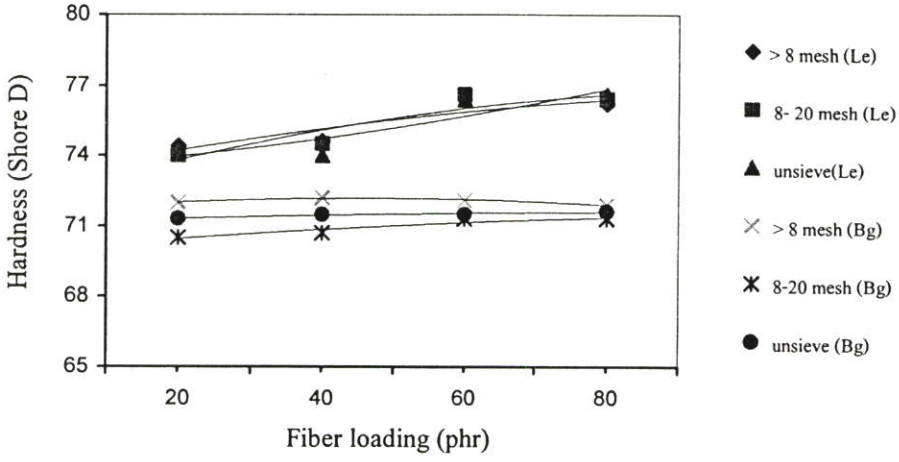
4.2 ผลของการเปลี่ยนแปรปริมาณและขนาดวัสดุเสริมแรงที่มีต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

การศึกษาสมบัติของวัสดุเชิงประกอบพีวีซีกับผงหนัง และวัสดุเชิงประกอบพีวีซีกับเยื่อชานอ้อย โดยไม่ใช้สารเติมแต่ง มีผลการทดลอง ดังนี้

4.2.1 ความแข็ง

จากการทดลอง เมื่อเพิ่มปริมาณผงหนังทำให้ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณผงหนังจนถึง 60 phr วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งมากที่สุด แต่เมื่อเพิ่มไปจนถึง 80 phr ความแข็งเริ่มมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากความแข็งนั้นขึ้นกับส่วนประกอบของวัสดุ คือ ระหว่างส่วนที่เป็นโครงสร้างหลักกับวัสดุเสริมแรง ดังนั้นถ้าปริมาณผงหนังมากเกินทำให้ส่วนที่เป็นเมทริกซ์ ซึ่งในที่นี้คือ พีวีซี ไม่สามารถห่อหุ้ม ผงหนังได้หมด จึงทำให้ความแข็งของวัสดุมีค่าลดลง และเมื่อใช้เยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรง การเพิ่มปริมาณของเยื่อชานอ้อยไม่มีผลต่อความแข็ง แต่เมื่อพิจารณาที่ปริมาณเดียวกันระหว่างการใช้ผงหนังกับเยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรงพบว่า ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ผงหนังให้ค่าที่สูงกว่าการใช้เยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรง ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของผงหนังมีความหนาแน่นน้อยกว่าเยื่อชานอ้อย ทำให้พีวีซีสามารถแทรกซึมเข้าไปอยู่ในส่วนของผงหนังได้ดีกว่าเยื่อชานอ้อย ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยที่หนาแน่นกว่า และ มีการจัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้พีวีซีแทรกตัวเข้าไปได้ยากกว่า ดังกราฟรูปที่ 4.4

เมื่อเปรียบเทียบขนาดของเส้นใยวัสดุเสริมแรง พบว่าทั้งผงหนังและเยื่อชานอ้อย ขนาด > 8 mesh ให้ผลที่ดีกว่าเส้นใยขนาดเล็ก ทั้งนี้เพราะเส้นใยขนาดใหญ่มีความยาวมากกว่าสามารถรับและกระจายแรงได้ดีกว่าเส้นใยขนาดเล็ก

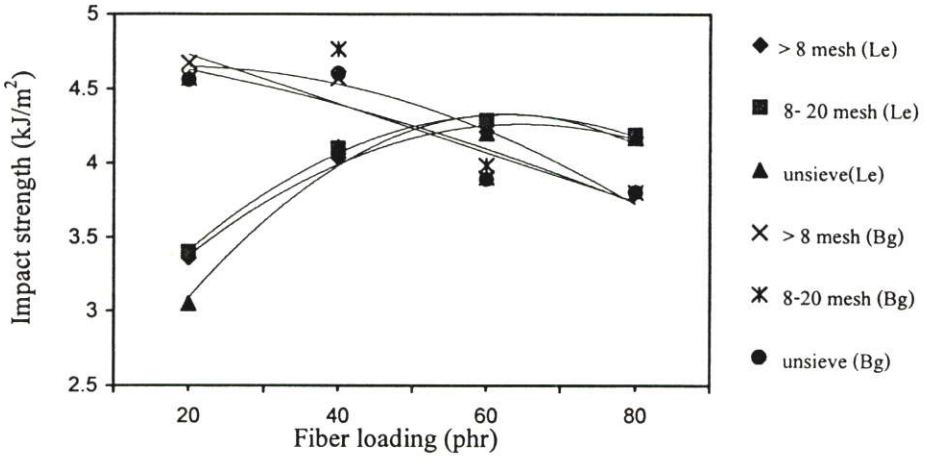


* Le = ผงหนัง Bg = เยื่อชานอ้อย

รูปที่ 4.4 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณวัสดุเสริมแรง 20-80 phr ขนาด > 8, 8-20 mesh และไม่คัดขนาด

4.2.2 ความทนแรงกระแทก

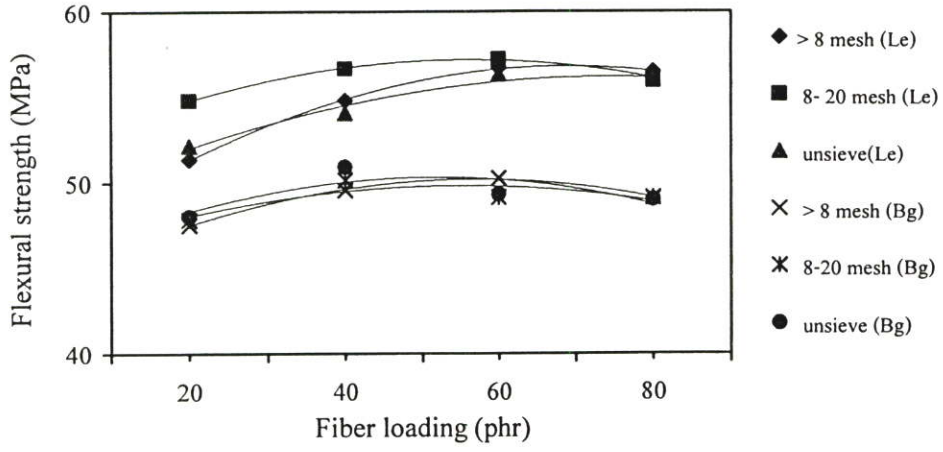
จากการทดลอง จะเห็นว่าความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงหนังจนถึง 60 phr หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะเมื่อใช้ผงหนังในปริมาณ 60 phr นั้นจะทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความสมดุลระหว่างเมทริกซ์และวัสดุเสริมแรง และเมื่อใช้เยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรงแทนการใช้ผงหนังพบว่าเมื่อใช้เยื่อชานอ้อยในปริมาณ 40 phr จะทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความทนแรงกระแทกมากที่สุด หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง เนื่องจากผงหนังและเยื่อชานอ้อยในปริมาณดังกล่าว ทำให้เกิดการยึดเกาะกันระหว่างพีวีซีกับวัสดุเสริมแรงหนาแน่นที่สุด เมื่อพิจารณาวัสดุเสริมแรงในปริมาณ 20-50 phr วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เยื่อชานอ้อยจะมีความทนแรงกระแทกมากกว่าผงหนัง ทั้งนี้เพราะลักษณะทางกายภาพของเยื่อชานอ้อยมีความแข็งมากกว่าผงหนัง แต่เมื่อใช้เยื่อชานอ้อยในปริมาณที่มากเกินพอ (50-80 phr) จะทำให้การแทรกตัวของพีวีซีในเยื่อชานอ้อยไม่ทั่วถึงและสม่ำเสมอเหมือนใช้ผงหนัง จึงทำให้วัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณเยื่อชานอ้อยมากขึ้นมีความทนแรงกระแทกน้อยกว่าของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ผงหนัง เมื่อพิจารณาขนาดของเส้นใย เส้นใยที่ที่มีขนาด 8-20 mesh ทำให้ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบดีที่สุด เนื่องจากเส้นใยมีขนาดเล็ก มีการกระจายตัวในพีวีซีได้ดีกว่าขนาด > 8 mesh และเส้นใยขนาดใหญ่ทำให้เกิดช่องว่างในวัสดุเชิงประกอบมากกว่า จึงรับแรงกระแทกได้น้อยกว่า ดังกราฟรูปที่ 4.5



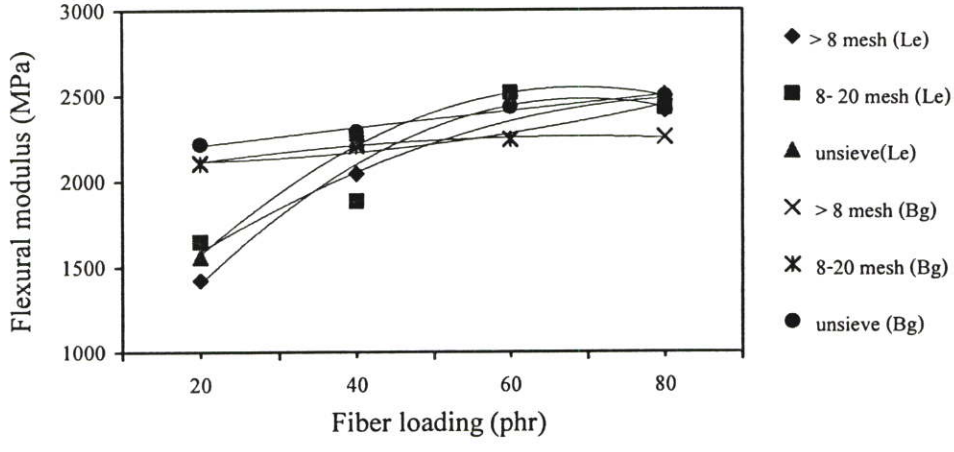
รูปที่ 4.5 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณวัสดุเสริมแรง 20-80 phr ขนาด > 8, 8-20 mesh และไม่คัดขนาด

4.2.3 ความต้านแรงดัดและมอดุลัสแรงดัด

ผลการทดลองความต้านแรงดัดและมอดุลัสแรงดัด จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุเสริมแรงจะทำให้ความต้านแรงดัดมีค่าเพิ่มขึ้น การใช้ผงหนังในปริมาณ 60 phr และใช้เยื่อชานอ้อย 40 phr จะทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความสมดุลระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์และเส้นใยเสริมแรง เกิดการยึดเกาะกันได้ดีที่สุด เนื่องจากผงหนังและเยื่อชานอ้อยที่ใช้เป็นสารตัวเติม สามารถรับแรงได้ในระดับหนึ่งดังนั้นเมื่อนำมาผสมกันกับพอลิเมอร์ โดยเข้าไปกระจายตัวและเกิดการเกี่ยวพันกับสายโซ่ของพอลิเมอร์ในลักษณะเชิงกล จึงช่วยเสริมแรงให้กับวัสดุเชิงประกอบ เมื่อพิจารณาที่ปริมาณเดียวกัน พบว่าการใช้ผงหนังจะดีกว่าเยื่อชานอ้อย ทั้งนี้เนื่องมากจากผงหนังมีความยืดหยุ่นมากกว่าสามารถรับแรงได้ดีกว่าเยื่อชานอ้อย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุเสริมแรงมากเกินไป ความต้านแรงดัดมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการกระจายตัวของเส้นใยไม่ดี เกิดการกระจุกตัวของเส้นใยทำให้เส้นใยส่วนนั้นไม่เกิดการเกี่ยวพันกับสายโซ่พอลิเมอร์ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกหักของชิ้นงานได้ และเมื่อพิจารณาขนาดของวัสดุเสริมแรง พบว่าขนาด 8-20 mesh ทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความต้านแรงดัดสูง เนื่องจากมีขนาดเล็กจึงเกิดการยึดเกาะกับพอลิเมอร์ได้ดี ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7



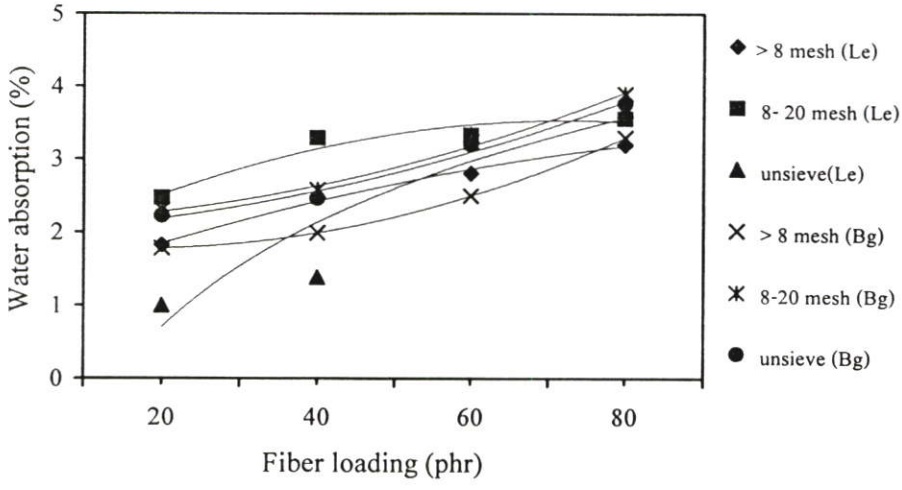
รูปที่ 4.6 ความต้านแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณวัสดุเสริมแรง 20-80 phr ขนาด > 8, 8-20 mesh และไม่คัดขนาด



รูปที่ 4.7 มอดุลัสแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณวัสดุเสริมแรง 20-80 phr ขนาด > 8, 8-20 mesh และไม่คัดขนาด

4.2.4 การดูดซับน้ำ

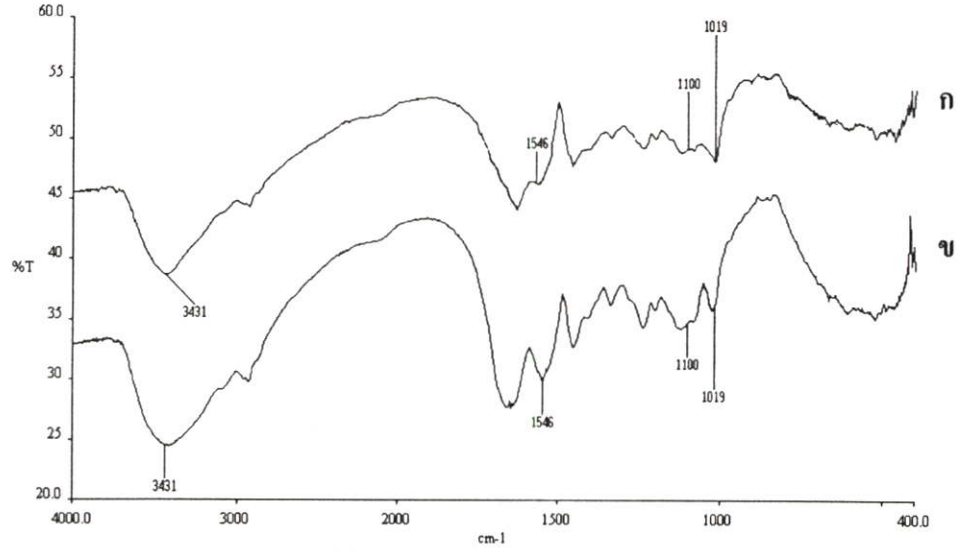
การทดลองหาค่าการดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบ เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณของวัสดุเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบมากขึ้น การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 4.8 เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติสามารถดูดซับน้ำได้ดี และเมื่อใช้ขนาด 20 mesh ซึ่งเป็นเส้นใยขนาดเล็ก จะทำให้วัสดุเชิงประกอบดูดซับน้ำได้มากขึ้น ทั้งนี้เพราะเส้นใยขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวมากทำให้มีช่องทางซึมซับน้ำมากขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงชนิดของวัสดุเสริมแรงพบว่าการใช้ผงหนังเป็นวัสดุเสริมแรงให้ค่าการดูดน้ำที่มากกว่าการใช้เยื่อชานอ้อย เนื่องจากผงหนังมีรูพรุนมากกว่าจึงมีการดูดซับน้ำได้มากกว่า



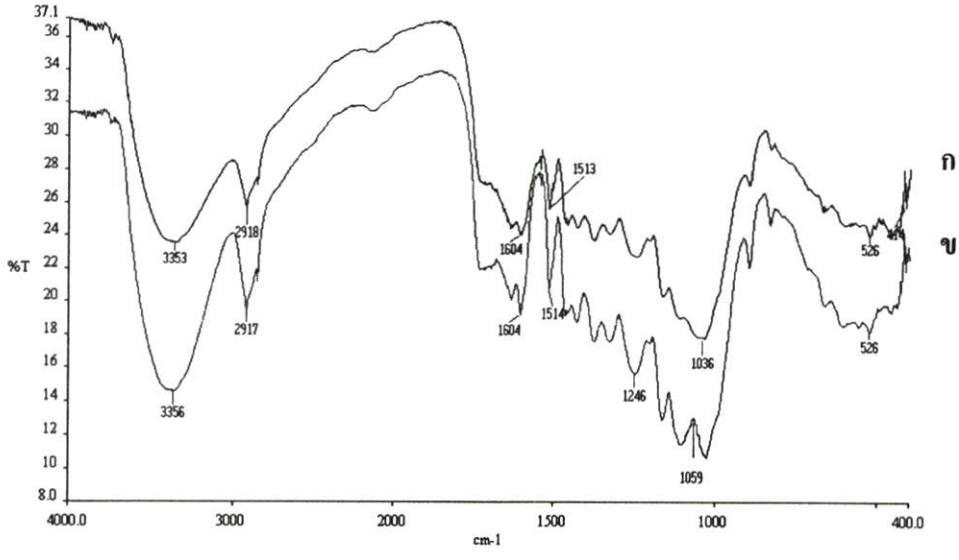
รูปที่ 4.8 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณวัสดุเสริมแรง 20-80 phr ขนาด > 8, 8-20 mesh และไม่คัดขนาด

4.3 การปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบด้วยสารประสานคู่ควบ

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.2 พบว่าการใช้ผงหนังในปริมาณ 60 phr และการใช้เยื่อชานอ้อยที่ 40 phr ทำให้สมบัติโดยรวมของวัสดุเชิงประกอบดีที่สุด จึงเลือกใช้ปริมาณดังกล่าว สำหรับศึกษาผลของการใช้สารเติมแต่งเพื่อเพิ่มคุณภาพให้กับวัสดุเชิงประกอบ การทดลองนี้เลือกใช้เส้นใยขนาด 8-20 mesh มาปรับปรุงพื้นผิวด้วยอะมิโนไซเลน และผลจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ยืนยันว่ามีอะมิโนไซเลนยึดเกาะอยู่กับผงหนังดังรูปที่ 4.9 และมีอะมิโนไซเลนยึดเกาะอยู่กับเยื่อชานอ้อยดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.9 สเปกตรัม FT-IR ของผงหนัง (ก) ไม่ปรับปรุง (ข) ปรับปรุงด้วยอะมิโนไซเลน



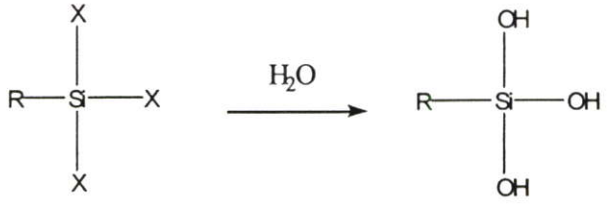
รูปที่ 4.10 สเปกตรัม FT-IR ของเยื่อชานอ้อย (ก)ไม่ปรับปรุง (ข) ปรับปรุงด้วยอะมิโนไซเลน

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR พบว่า เมื่อทำการปรับปรุงด้วยอะมิโนไซเลน มีการเปลี่ยนแปลงพีคเกิดขึ้นที่ช่วงคลื่น 1015-1095 cm^{-1} ซึ่งที่ช่วงคลื่นดังกล่าว เป็นช่วงจำนวนคลื่นของหมู่ฟังก์ชันของ Si–O–Si [23]หรือมีพันธะไซลอกเซน (Siloxane bonding) ซึ่งพันธะไซลอกเซนที่เกิดขึ้นนี้ที่เป็นตัวเชื่อมโยงให้ไซเลนยึดเกาะกับวัสดุเสริมแรง (ผงหนังและเยื่อชานอ้อย) อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR นี้ ไม่สามารถบ่งบอกชนิดหรือรูปแบบ

ของหมู่อัลคิล (-R) ในโมเลกุลของไซเลนได้อย่างชัดเจน เพียงระบุมีพันธะไซลอกเซนอยู่เท่านั้น ซึ่งอาจอธิบายกลไกการยึดเกาะของไซเลนกับผงหนังได้ดังนี้

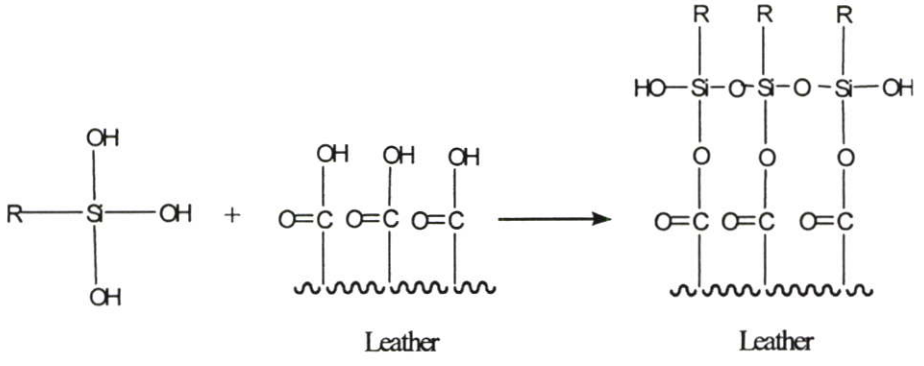
ขั้นที่ 1 หมู่ X เช่น เมทอกซี หรือเอทอกซี ถูกไฮโดรไลซ์ได้เป็นหมู่ไซลานอล (Si-OH) ดังสมการที่ 4.1

ขั้นที่ 2 ไซลานอลเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ OH ที่พื้นผิวของผงหนังเกิดเป็นพันธะไซโลเซน (Si-O-Si) ระหว่างสารประสานคู่ควบกับผงหนัง ดังสมการที่ 4.2



(4.1)

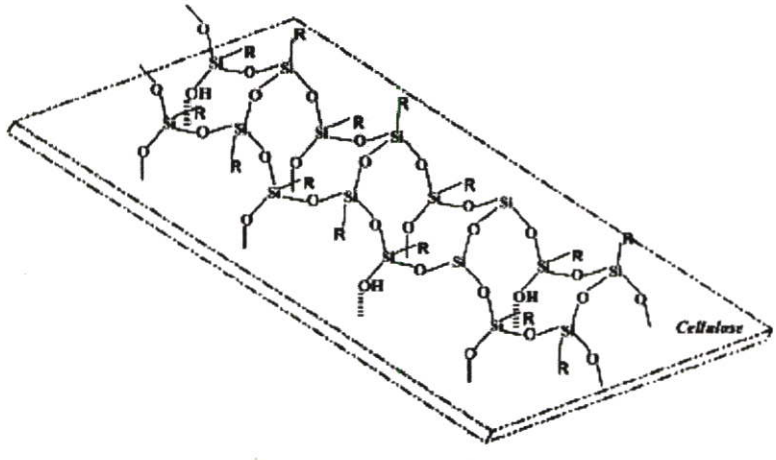
ไซลานอล



(4.2)

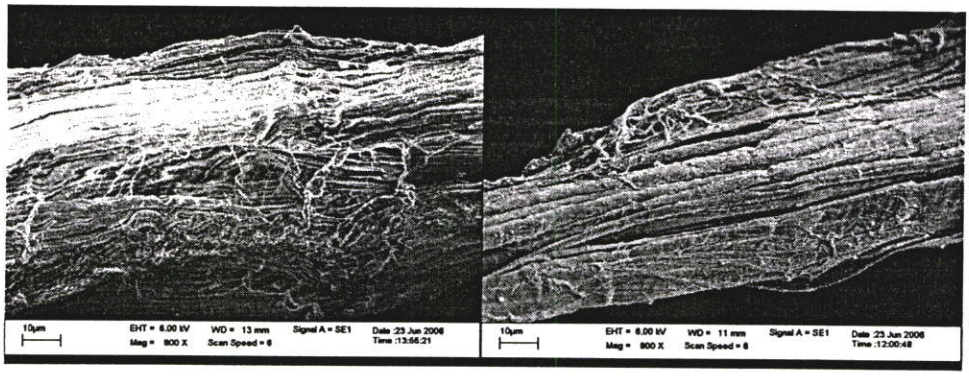
เมื่อ อะมิโนไซเลน R คือ $-CH_2CH_2CH_2NH_2$ และ X คือ $-OCH_2CH_3$

และลักษณะการเกิดพันธะไซโลเซนกับเส้นใยเซลลูโลสเป็นดังรูปที่ 4.11



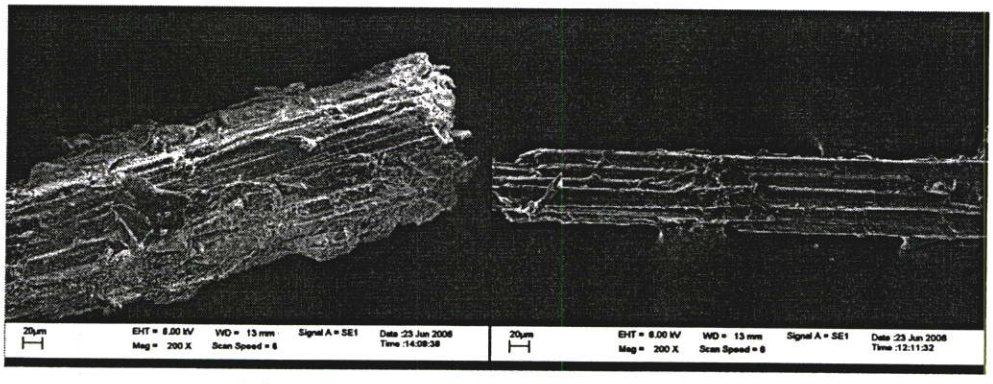
รูปที่ 4.11 การเกิดพันธะไซลอกเซนกับเยื่อชานอ้อย [24]

ดังนั้นเมื่อนำผงหนังที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยไซเลนแล้วมาวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ดังรูปที่ 4.12 จะสังเกตได้ว่าลักษณะของผงหนังมีพื้นผิวที่เรียบขึ้น เช่นเดียวกันกับเยื่อชานอ้อย ดังรูปที่ 4.13 หลังจากที่ปรับปรุงด้วยอะมิโนไซเลน จึงนำผงหนังและเยื่อชานอ้อยดังกล่าวนี้ไปใช้เป็นวัสดุเสริมแรง จะทำให้เกิดการยึดเกาะกันกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ดีขึ้น



(ก) (ข)

รูปที่ 4.12 สัณฐานวิทยาของผงหนัง (ก) ผงหนังที่ไม่ได้ปรับปรุง (ข) ผงหนังที่ปรับปรุงด้วยอะมิโนไซเลน 5 % โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 800 เท่า



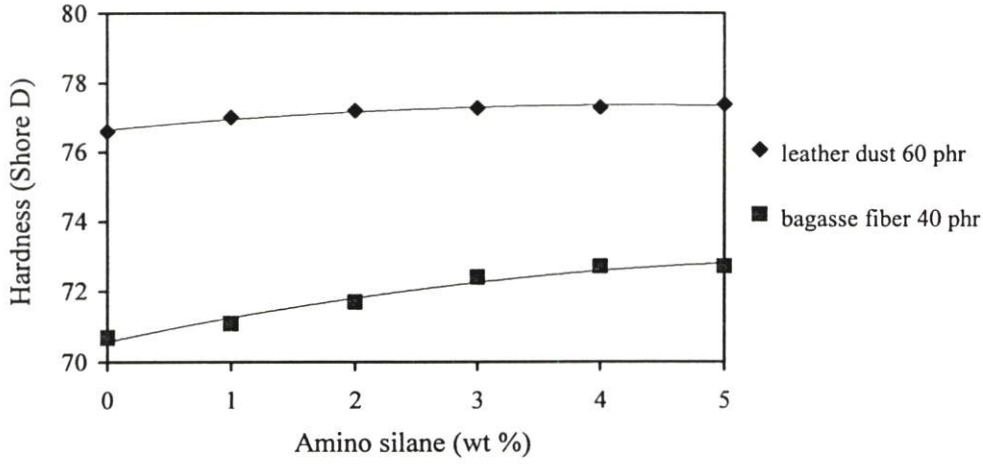
(ก) (ข)

รูปที่ 4.13 สัณฐานวิทยาของเยื่อชานอ้อย (ก) เยื่อชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุง (ข) เยื่อชานอ้อยที่ปรับปรุงด้วยอะมิโนไซเลน 5 % โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 200 เท่า

ผลจากการทดสอบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบเมื่อปรับปรุงด้วยสารประสานคู่ควบ 3-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน เป็นดังนี้

4.3.1 ความแข็ง

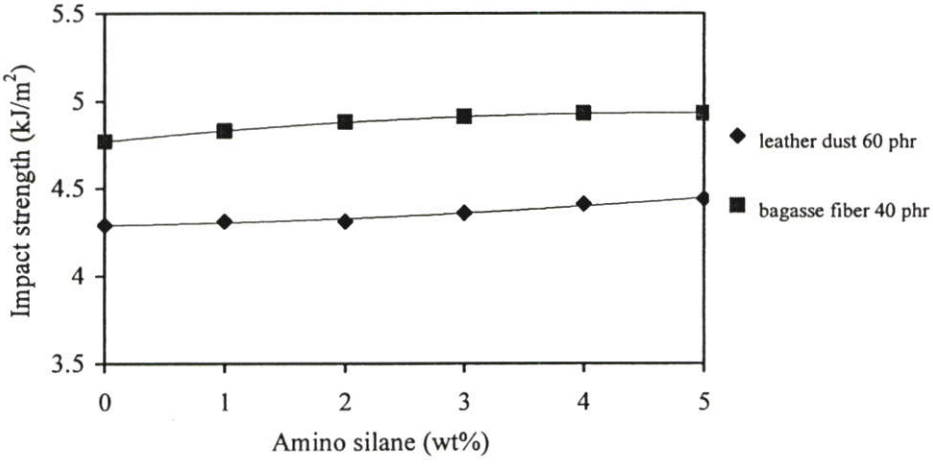
การทดสอบหาค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบ ที่มีการปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุเสริมแรงด้วยอะมิโนไซเลน จากรูปที่ 4.14 พบว่าเมื่อปรับปรุงผงหนังด้วยอะมิโนไซเลนไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบ



รูปที่ 4.14 ค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบเมื่อปรับปรุงวัสดุเสริมแรงด้วยไซเลน 1-5%

4.3.2 ความทนแรงกระแทก

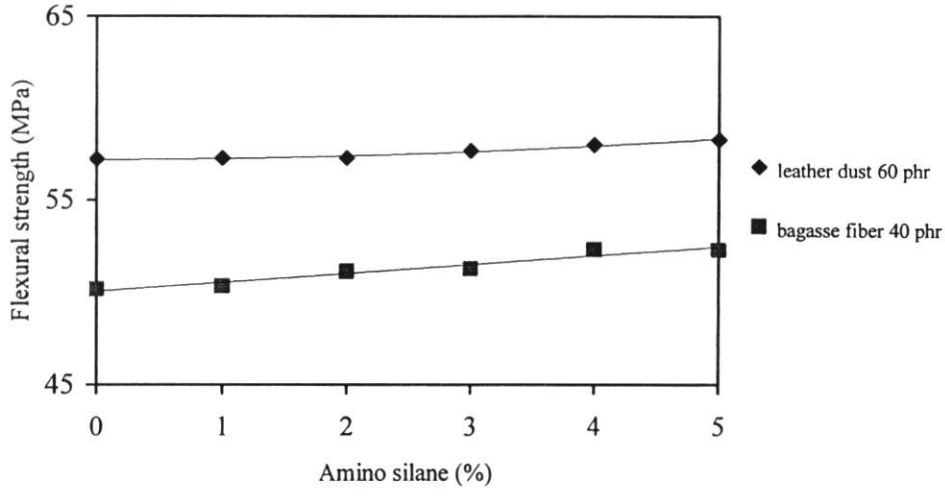
จากการปรับปรุงผิวหน้าของวัสดุเสริมแรงด้วยไซเลน 1-5% (โดยน้ำหนัก) จากรูปที่ 4.15 พบว่าการปรับปรุงด้วยอะมิโนไซเลนไม่ส่งผลต่อความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ



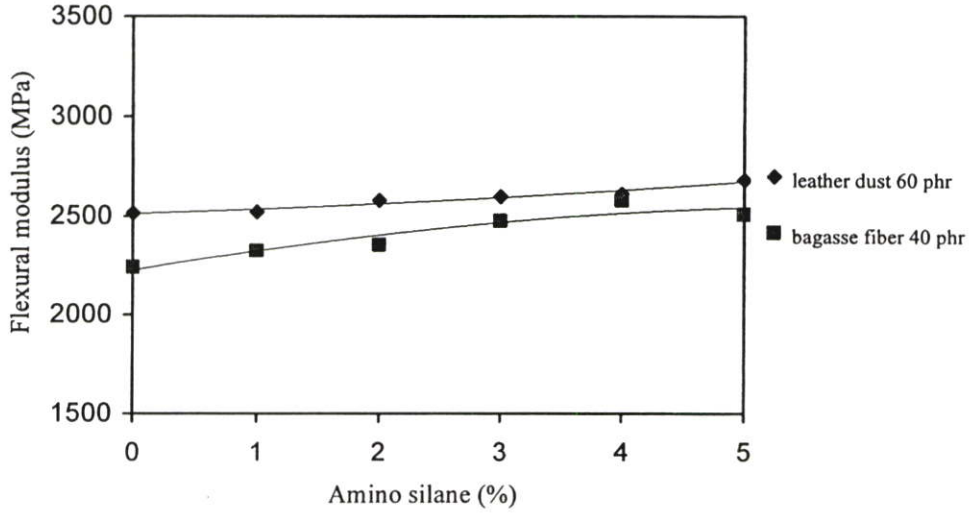
รูปที่ 4.15 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบเมื่อปรับปรุงวัสดุเสริมแรงด้วยไซเลน 1-5%

4.3.3 ความต้านแรงดัดและมอดุลัสแรงดัด

จากรูป 4.16 และ 4.17 เป็นผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสแรงดัด เมื่อปรับปรุงด้วยไซเลน 1-5% พบว่าการใช้ไซเลนทำให้ความต้านแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากไซเลนไปเคลือบผิวของเส้นใยทำให้เกิดการเชื่อมประสานระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์และเส้นใยดีขึ้น



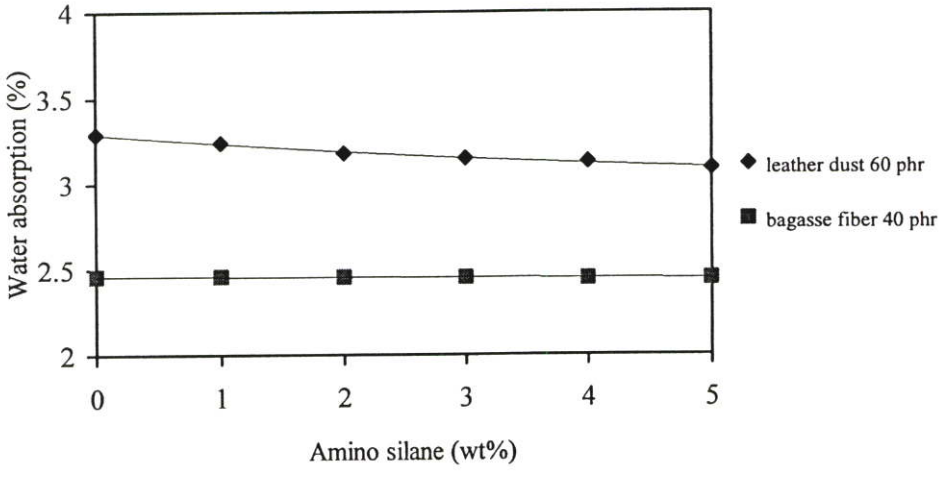
รูปที่ 4.16 ความต้านแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบเมื่อปรับปรุงวัสดุเสริมแรงด้วยไซเลน 1-5%



รูปที่ 4.17 มอดุลัสแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบเมื่อปรับปรุงวัสดุเสริมแรงด้วยไซเลน 1-5%

4.3.4 การดูดซับน้ำ

จากการทดสอบหาค่าการดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบ เมื่อทำการปรับปรุงวัสดุเสริมแรงด้วยไซเลนที่ 1-5 % เมื่อวิเคราะห์จากกราฟจะเห็นว่าการดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากเมื่อไซเลนทำปฏิกิริยากับผงหนังหรือเยื่อชานอ้อยโดยเกิดพันธะไซโลเซนและยึดเกาะกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ด้วยแรงแวนเดอร์วาล ทำให้พื้นผิวของเส้นใยที่สัมผัสกับน้ำลดลง ส่งผลทำให้การดูดซับน้ำลดลง ดังรูปที่ 4.18



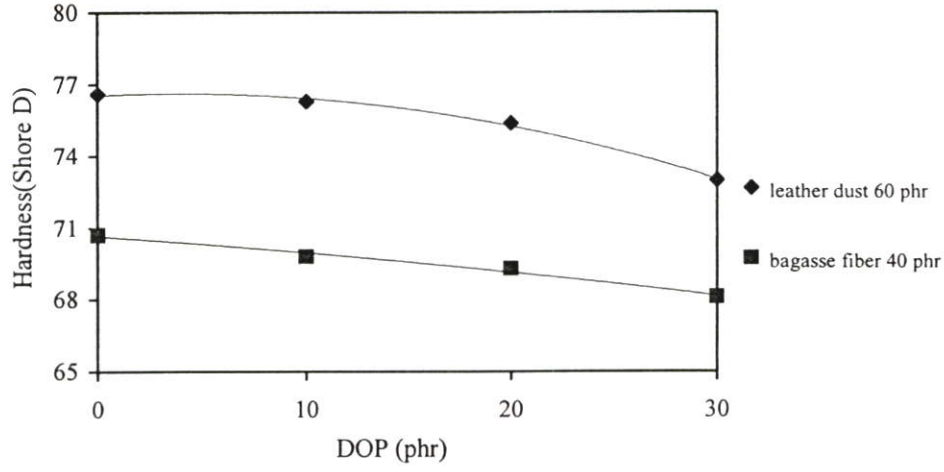
รูปที่ 4.18 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบเมื่อปรับปรุงด้วยไซเลน 1-5 wt%

4.4 ผลการปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบโดยใช้สารเสริมสภาพพลาสติก

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.2 เลือกใช้เส้นใยขนาด 8-20 mesh โดยใช้ผงหนังในปริมาณ 60 phr และเยื่อชานอ้อยในปริมาณ 40 phr ซึ่งเป็นขนาดและปริมาณที่ให้ผลดีที่สุด เพื่อศึกษาผลของการใช้สารเสริมสภาพพลาสติก DOP ปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบได้ผลการทดลองดังนี้

4.4.1 ความแข็ง

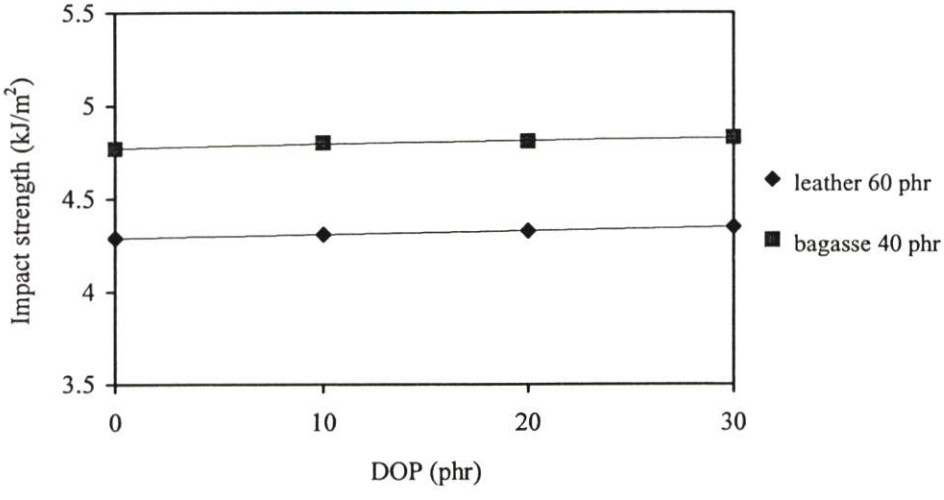
ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่เมื่อใช้ DOP ในปริมาณ 10-30 phr ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.19 เมื่อใช้วัสดุเสริมแรงเป็นผงหนังจะเห็นได้ว่า ผลจากการเติม DOP ทำให้ความแข็งของวัสดุมีแนวโน้มลดลงจาก 77 (Shore D) ไปจนถึง 73 (Shore D) และเมื่อใช้เยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรง ค่าความแข็งของมีแนวโน้มลดลงจาก 71 (Shore D) ไปจนถึง 68 (Shore D) ทั้งนี้เพราะพลาสติไซเซอร์ที่เติมลงไปจะไปลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ทำให้พอลิเมอร์หยุ่นได้มากขึ้น และเพิ่มปริมาตรอิสระทำให้สายโซ่เคลื่อนตัวได้ง่ายขึ้น มีผลให้ความแข็งลดลง และสามารถเติมสารตัวเติมได้มากขึ้น



รูปที่ 4.19 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบเมื่อเติมสาร DOP

4.4.2 ความทนแรงกระแทก

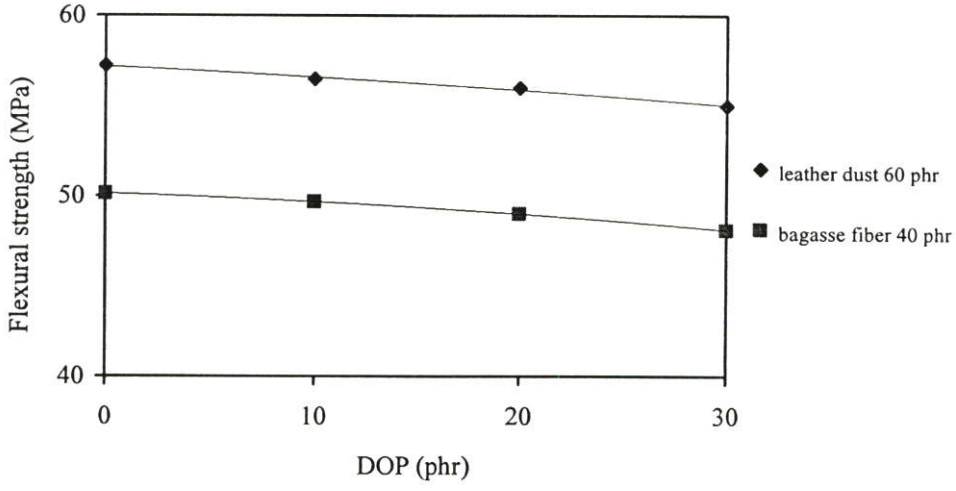
ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบเมื่อใส่ DOP ได้ผลดังรูปที่ 4.20 เห็นได้ว่าการใช้ DOP ไม่ส่งผลต่อการรับแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ผงหนังและวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เยื่อชานอ้อย



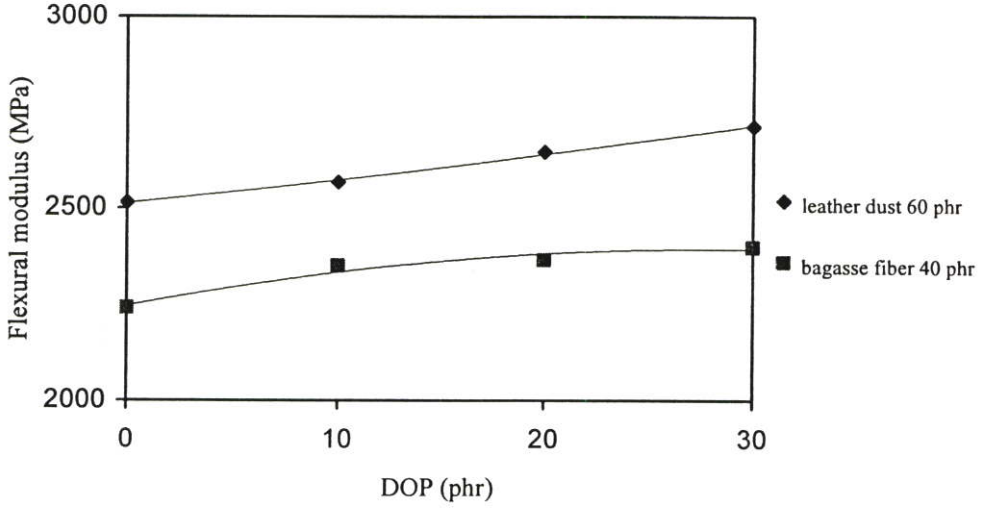
รูปที่ 4. 20 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบเมื่อเติมสาร DOP

4.4.3 ความต้านแรงดัดและมอดุลัสแรงดัด

จากกราฟรูป 4.21 -4.22 ความต้านแรงดัดและมอดุลัสแรงดัดเป็นผลจากการเติม DOP ซึ่งจะช่วยทำพอลิเมอร์มีความอ่อนตัวส่งผลต่อวัสดุเชิงประกอบ ทำให้ความต้านแรงดัดมีแนวโน้มลดลง เพราะทำให้การยึดเกาะระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลง



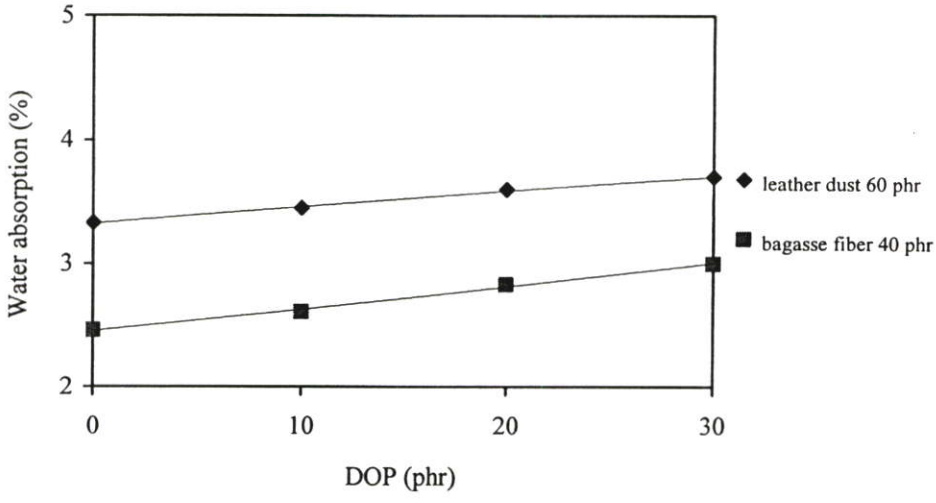
รูปที่ 4.21 ความต้านแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบเมื่อเติมสาร DOP



รูปที่ 4.22 มอดุลัสแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบเมื่อเติมสาร DOP

4.4.4 การดูดซับน้ำ

ค่าการดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบ เมื่อเติมสาร DOP ส่งผลต่อค่าการดูดซับน้ำโดยค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณ DOP เพิ่มขึ้น เนื่องจาก DOP ไปเพิ่มที่ว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์เกิดการเคลื่อนที่ได้ง่ายดังนั้นถ้าใส่ในปริมาณมากเกินไปส่งผลให้การดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น รูปที่ 4.23



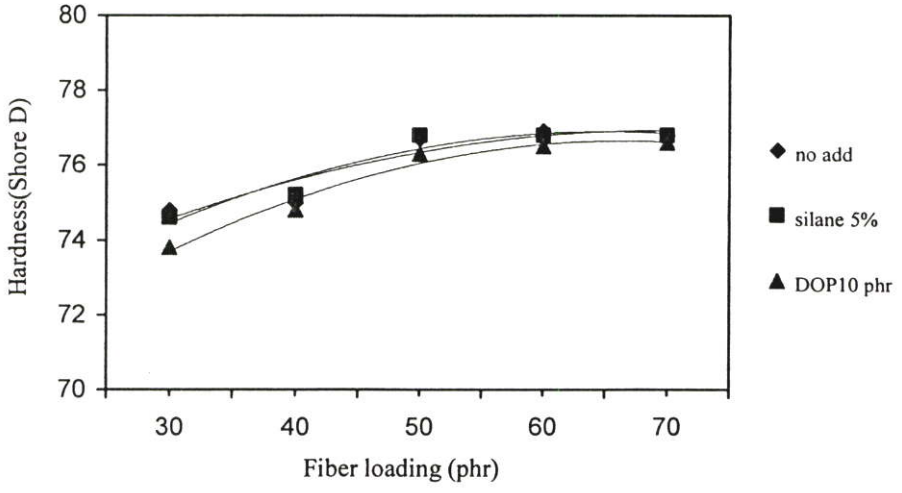
รูปที่ 4.23 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบเมื่อเติมสาร DOP

4.5 ผลจากการใช้วัสดุผสมผงหนังและเยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรงและการใช้สารประสานคู่ควบเพื่อปรับปรุงสมบัติของวัสดุเสริมแรงผสม

ทดลองใช้วัสดุเสริมแรงผสม ผงหนัง-เยื่อชานอ้อย เพื่อศึกษาสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ โดยอาศัยผลการทดลองจาก 4.2 4.3 และ 4.4 เป็นเกณฑ์ในการจัดอัตราส่วนผสมของวัสดุดังกล่าว คือ ผงหนัง 60 phr และเยื่อชานอ้อย 40 phr (3:2) จากนั้นทำการทดลองตาม 3.5 และ 3.6 แล้วทดสอบสมบัติต่างๆ ได้ผลการทดลอง ดังนี้

4.5.1 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบ

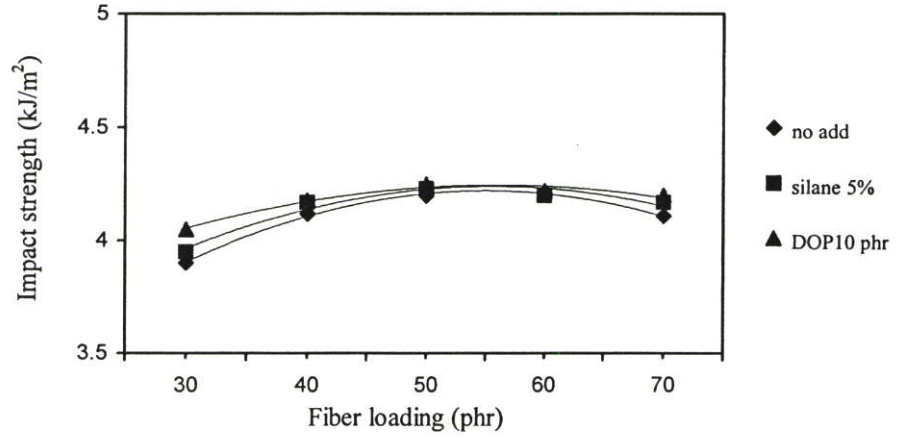
เมื่อใช้ผงหนังและเยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรงร่วมกันโดยที่อัตราส่วนของผงหนังและเยื่อชานอ้อยเป็น 3:2 หรือที่ 50 phr ให้ค่า ความแข็งดีที่สุด และการปรับปรุงด้วยไซเลนให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและการเติม DOP ให้ค่าความแข็งลดลงดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4. 24 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่มีผงหนังผสมเยื่อชานอ้อยขนาด 8-20 meshใน ปริมาณ 30-70 phr

4.5.2 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ

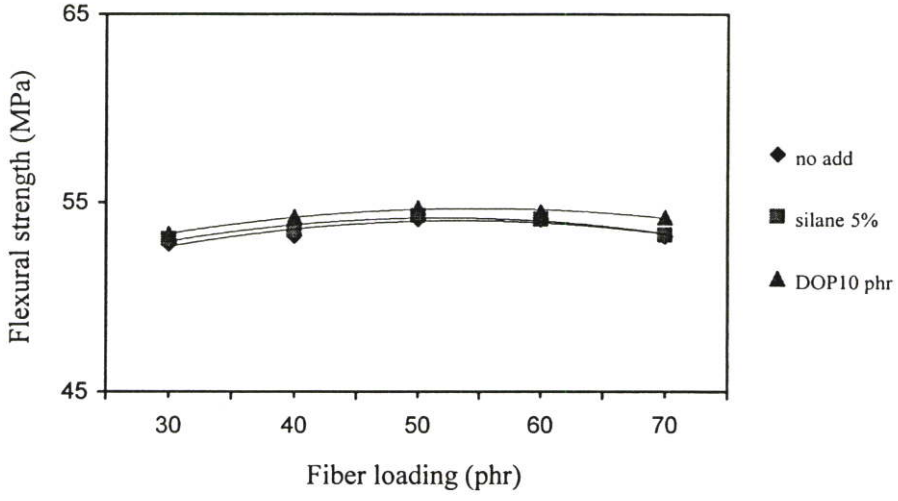
จากรูปที่ 4.25 ความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยจนถึง 50 phr หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะเมื่อใช้เส้นใยในปริมาณ 50 phr นั้นจะทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีความสมดุลระหว่างเมทริกซ์และเส้นใยเสริมแรง เกิดการยึดเกาะกันหนาแน่นที่สุด สำหรับการใช้สารประสานคู่ควบ อะมิโนไซเลนทำให้ความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์วัสดุเชิงประกอบดีขึ้น ส่วนการใช้ DOP จะทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความอ่อนตัว



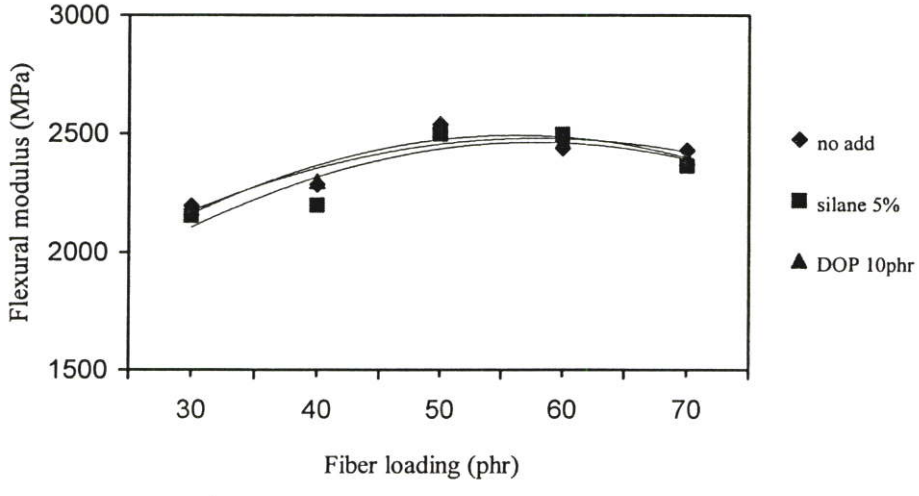
รูปที่ 4.25 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่มีผงหนังผสมเยื่อชานอ้อย ขนาด 8-20 mesh ในปริมาณ 30-70 phr

4.5.3 ความต้านแรงดัดและมอดุลัสแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบ

จากรูปที่ 4.26 และ 4.27 เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นทำให้ทนการโค้งงอได้มากขึ้นแต่เมื่อปริมาณเส้นใยเกิน 50 phr จะมีแนวโน้มลดลง การปรับสภาพผิวของเส้นใยด้วยไซเลน ทำให้ทนแรงโค้งงอได้มากขึ้น และเมื่อเติม DOP ลงในวัสดุเชิงประกอบส่งผลให้เกิดความอ่อนตัวสามารถทนต่อแรงโค้งงอได้มากขึ้น เช่นกัน



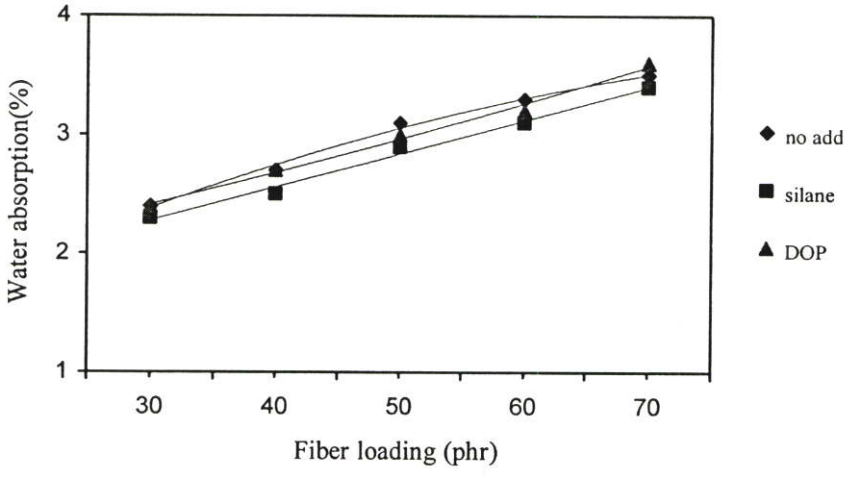
รูปที่ 4.26 ความต้านแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบที่มีผงหนังผสมเยื่อชานอ้อย ขนาด 8-20 meshในปริมาณ 30-70 phr



รูปที่ 4.27 มอดุลัสแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบที่มีผงหนังผสมเยื่อชานอ้อยขนาด 20 mesh ในปริมาณ 30-70 phr

4.5.4 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบ

จากรูปที่ 4.28 เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยผสม ทำให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นและเมื่อทำการปรับปรุงผงหนังและเยื่อชานอ้อยด้วยไซเลนทำให้ค่าการดูดซับน้ำลดลง แต่เมื่อใส่ DOP ทำให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 4.28 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่มีผงหนังผสมเยื่อชานอ้อย ขนาด 8-20 mesh ในปริมาณ 30-70 phr

4.6 ผลการเปรียบเทียบสมบัติของไม้กับวัสดุเชิงประกอบ

ในการเปรียบเทียบสมบัติของไม้ที่ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์กับวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ผงหนังหรือเยื่อชานอ้อยขนาด 8-20 mesh ที่ปริมาณ 60 phr สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1 พบว่าวัสดุเชิงประกอบมีความต้านแรงกระแทกดีกว่าไม้ แต่มีความสามารถทนต่อแรงดัดโค้งและมีมอดุลัสยืดหยุ่นน้อยกว่าไม้ ในส่วนของความแข็งของไม้และวัสดุเชิงประกอบนั้นไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบได้ เนื่องจากใช้มาตรฐานในการทดสอบที่ต่างกัน

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบสมบัติของไม้ที่ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์กับวัสดุเชิงประกอบ

สมบัติ	ไม้ [25]			วัสดุเชิงประกอบ		
	ไม้สัก	ไม้เต็ง	ไม้มะค่า	ผงหนัง	เยื่อชานอ้อย	ผงหนัง+เยื่อชานอ้อย
ความต้านแรงกระแทก (kJ/m^2)	1.53	4.79	2.98	4.29	3.9	4.21
ความต้านแรงดัดโค้ง (N/mm^2)	101.83	170.57	121.04	57.23	50.24	54.1
มอดุลัสยืดหยุ่น (N/mm^2)	10563	17000	9873	2515	2242	2438
ความแข็ง	493 Janka	964 Janka	807 Janka	76.6 Shore D	71.3 Shore D	76.9 Shore D

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบคล้ายไม้ โดยการทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

5.1.1 การศึกษาผลกระทบจากการแปรเปลี่ยนปริมาณและขนาดวัสดุเสริมแรง

เมื่อใช้ผงหนังเป็นวัสดุเสริมแรง พบว่าการเพิ่มปริมาณผงหนังในวัสดุเชิงประกอบส่งผลต่อความแข็ง ความต้านแรงดัด มอดุลัสยืดหยุ่น ความต้านแรงกระแทก โดยเมื่อใช้ผงหนังในปริมาณ 60 phr จะทำให้สมบัติของวัสดุเชิงประกอบมีประสิทธิภาพสูงสุด คือ ความแข็ง 76.6 (Shore D) ความต้านแรงกระแทก 4.29 kJ/m^2ความต้านแรงดัด 56.36-57.23 N/mm^2 มอดุลัสยืดหยุ่น 2430-2505 N/mm^2 และเมื่อพิจารณาถึงขนาดของผงหนังที่ใช้ พบว่าขนาดที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อความแข็งและความทนแรงกระแทก แต่ส่งผลต่อความต้านแรงดัด โดยการใช้ผงหนังขนาด 8-20 เมช จะทำให้ความต้านแรงดัดอยู่ในช่วง 54.84-57.23 MPa ซึ่งให้ผลดีกว่าผงหนังขนาดมากกว่า 8 เมช ซึ่งมีค่า 51.34-56.0 MPa ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมเมื่อใช้ผงหนังปริมาณ 60 phr ขนาด8-20 mesh ทำให้วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติดีที่สุด โดยมีค่าความแข็งสูงสุดที่ 76.6 shore D ความทนแรงกระแทกที่4.29 kJ/m^2ความต้านแรงดัด 57.23 MPa และมอดุลัสแรงดัด 2515 MPa การดูดซับน้ำ 3.3%

เมื่อทำการเปลี่ยนชนิดของวัสดุเสริมแรงเป็นเยื่อชานอ้อย พบว่าการเพิ่มปริมาณเยื่อชานอ้อยไม่ส่งผลต่อความแข็งของวัสดุเชิงประกอบมี แต่ส่งผลต่อความทนแรงกระแทก เมื่อใช้ในปริมาณ 40 phr จะทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความทนแรงกระแทกมากที่สุด หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง ส่วนการดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเยื่อชานอ้อย และเมื่อพิจารณาถึงขนาดเยื่อชานอ้อยที่แตกต่างกัน พบว่าไม่ส่งผลต่อความทนแรงกระแทก และความต้านแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบ แต่ส่งผลต่อความแข็ง โดยการใช้เยื่อชานอ้อยขนาดมากกว่า 8 เมช จะทำให้ความแข็งอยู่ในช่วง 71.9-72.2 (Shore D) ซึ่งให้ผลดีกว่าขนาด 8-20 เมช ซึ่งมีค่า 70.5-71.3 (Shore D) ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมเมื่อใช้เยื่อชานอ้อยปริมาณ 40 phr ขนาด 8-20 mesh ทำให้วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติดีที่สุด โดยมีค่าความแข็งสูงสุดที่ 71.3 shore D ความทนแรงกระแทกที่ 4.77 kJ/m^2 ความต้านแรงดัด 50.13 MPa และมอดุลัสแรงดัด 2242 MPa การดูดซับน้ำ 2.58%

จากผลที่ได้พบว่าการใช้ผงหนังเป็นวัสดุเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบจะให้ค่าความแข็งและความต้านแรงดัด ที่มากกว่าการใช้เยื่อชานอ้อย แต่การใช้เยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบมีความทนแรงกระแทกได้ดีกว่า และมีการดูดซับน้ำน้อยกว่า การใช้ผงหนัง

5.1.2 การศึกษาผลกระทบจากการใช้การใช้สารประสานคู่ควบต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

เมื่อทำการปรับปรุงเส้นใยด้วย สารประสานคู่ควบ 3-อะมิโนโพรพิลไตรอีทอกซีไซเลน ((3-aminopropyl)-triethoxysilane) พบว่าการปรับปรุงพื้นผิวของทั้งผงหนังและเยื่อชานอ้อยไม่ส่งผลต่อความแข็งและความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ แต่ส่งผลต่อความต้านแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เยื่อชานอ้อย โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใช้ไซเลน จากเดิมมีค่า 50 MPa เพิ่มเป็น 52 MPa และค่าการดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบเมื่อปรับปรุงผงหนังด้วยไซเลนมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยปริมาณที่เหมาะสมในการใช้สารประสานคู่ควบ 3-อะมิโนโพรพิลไตรอีทอกซีไซเลนในการปรับปรุงพื้นผิว คือ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

5.1.3 การศึกษาผลกระทบจากการใช้การใช้การใช้สารเสริมสภาพพลาสติกต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

เมื่อทำการปรับปรุงโดยใช้สารเสริมสภาพพลาสติก(Plasticizer) ชนิด DOP (Di-octyl phthalate) พบว่าการเติม DOP ลงในวัสดุเชิงประกอบไม่ส่งผลความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ แต่ส่งผลต่อความแข็ง ของวัสดุเชิงประกอบ โดยการใช้ DOP ในปริมาณ 10-30 phr ทำให้วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ผงหนังเป็นวัสดุเสริมแรงความแข็งของมีแนวโน้มลดลงจาก 77 (Shore D) ไปจนถึง 73 (Shore D) และเมื่อใช้เยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรงมีแนวโน้มลดลงจาก 71 (Shore D) ไปจนถึง 68 (Shore D) โดยปริมาณที่เหมาะสมในการใช้ DOP ในวัสดุเชิงประกอบ คือ 10 phr

5.1.4 ผลของการใช้ผงหนังผสมเยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรง

จากการทดลอง ใช้ผงหนังและเยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรง โดยผงหนังที่ 60 phr และเยื่อชานอ้อย 40 phrให้ค่าสมบัติต่างๆดีที่สุดจึงได้อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 3:2 จากนั้นนำผงหนังและเยื่อชานอ้อยมาเป็นวัสดุเสริมแรงร่วมกัน ผลที่ได้คือ ที่ 50 phr ให้คุณสมบัติที่ดีกว่าปริมาณอื่นๆ โดยมีค่าความแข็งที่ 77 shore D ทนแรงกระแทกที่ 4.2 kJ/m^2 ความต้านแรงดัด 54 MPa

เมื่อพิจารณาการใช้ผงหนังผสมเยื่อชานอ้อยเปรียบเทียบกับการใช้ผงหนังหรือชานอ้อยอย่างเดียวเป็นวัสดุเสริมแรง ที่ปริมาณเท่ากัน ได้ว่า การใช้ผงหนังผสมเยื่อชานอ้อยทำให้สมบัติต่างๆ ดีกว่าการใช้ผงหนังหรือเยื่อชานอ้อยเพียงอย่างเดียว และเมื่อนำสมบัติของวัสดุเชิงประกอบทั้งสามชนิด มาเปรียบเทียบคุณสมบัติกับไม้ที่ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ พบว่าวัสดุเชิงประกอบให้ค่าทนแรงกระแทกมากกว่าไม้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมนั้น อาจทำการศึกษาสภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูป เช่น เวลาและอุณหภูมิ เมื่อต้องการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่และหนาขึ้น

2. ศึกษาปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบให้ดีขึ้น โดยการเติมสารเติมแต่งบางชนิด เช่น สารประสานคู่ควบชนิดอื่น ที่ช่วยให้เส้นใยมีการยึดติดกับพอลิเมอร์ได้ดีขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้ความต้านแรงดัดและมอดุลัสแรงดัดดีขึ้น

3. เมื่อพิจารณาถึงลักษณะภายนอกของชิ้นงานควรมีการเติมสารให้สี เพื่อปรับปรุงสีและลวดลายของวัสดุเชิงประกอบให้มีลักษณะคล้ายไม้มากที่สุด โดยสามารถนำไปใช้ทดแทนไม้เฟอร์นิเจอร์ได้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมป่าไม้. **สถิติป่าไม้ ปี 2546**. กรุงเทพฯ : กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2546.

[2] เจริญ นาคะสรรค์. **เทคโนโลยีเบื้องต้น ทางพลาสติก.** ปัตตานี : ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี. 2546.

[3] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. **วิทยาศาสตร์เส้นใย.** กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2543.

[4] National Health Museum. **Collagen and elastin.** [Online]. Available: http://www.garlandscience.com/ECB/about.html. 2006.

[5] Bank W.B. and Lawther J.M. **Derivatization of wood in Composition in Cellulose Polymers, Blends and Composites.** New York : Hanser. 1994.

[6] Pritchard G. **Plastics Additives**. London : Chapman & Hall. 1998.

[7] อิทธิพล แจ้งชัด. **พอลิเมอร์คอมโพสิต.** กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.

[8] สมภพ เลิศลักขณากุล. "การศึกษาไม้เทียมพอลิเมอร์คอมพอสิตจากเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นไม้เทียมจากพอลิไวนิลคลอไรด์(พีวีซี) กับเส้นใยยูคาลิปตัส." โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.

[9] นวภรณ์ อนันตธณวนิชย์. นุชรี ปัญจะผลินกุล. พัชรี มณฑาทิพย์. "วัสดุคอมพอสิตจากพอลิ เมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นไม้เทียมจากพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) กับ ผงหญ้าแฝก." โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.

[10] Georgopoulos S. Th., Tarantili P.A., Avgerinos E., Andreopoulos A.G. and Koukios E.G. "Thermoplastic polymer reinforced with fibrous agricultural residues." **Polymer Degradation and Stability**, vol. 90, no. 2, 2005. pp 303-312

[11] นิรัญชนา เกษมสุข. "การนำตัวประสานไซเลนมาใช้ในการผลิตวัสดุคอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติ." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิทยาลัยปิโตรเคมีและพอลิเมอร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2543.

[12] Laurent M. Matuana. "Influence of Interfacial Interaction on the Properties of PVC/Cellulosic Fibers Composites." **Polymer Composites**, vol.19, no. 4, 1998. pp. 446-455

[13] Chaube V.D., Shylesh S. and Singh A.P. "Silane adsorption onto cellulose fibers: Hydrolysis and condensation reactions." **Catalysis A:Chemical**., vol. 289, no. 1,2005. pp. 249-261

[14] Tain. M.,Liang. W., Roa G., Zhang L. and Guo C. "Surface modification of fibrillar silicate and its reinforceing mechanism on FS/rubber composite." **Composites Science and Technology**. vol 65, 2005. pp.1129-1138

[15] Wang. L. and Sheng. J. "Preparation and properties of polypropylene/org-attapulgite nanocomposites" **Polymer**, vol. 46, no. 16, 2005. pp. 6243-6249

[16] Demir H., Atikler U., Balköse D. and Tıhmınlıoglu F. " The effect of fiber surface treatment on the tensile and water sorption properties of poloypropylene luffa fiber composites." **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, vol. 37, no. 3, 2006. pp. 447-456

[17] Devi L.U., Bhagawan S.S. and Thomas S. "Mechanic Properties of Principle Leaf Fiber-Reinforce Polyester Composites" **Journal of Applied Polymer Science**. vol 64, 1997. pp. 1739-1784

[18] สุวิทย์ อลงกรณ์โชติกุล. "สมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบ พีวีซี/เอสเอเอ็น เสริมแรงด้วยใยแก้ว." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.2538.

[19] อรอุษา ศิริคุตต์. "การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบคล้ายหนัง (หนังกึ่งสังเคราะห์) จากพีวีซีและผงหนัง." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549.

[20] จันทนา เทศเจริญ. "การสังเคราะห์วัสดุประกอบจากขวดพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วกับเศษผงหนังสัตว์ เพื่อใช้ทดแทนไม้หมอนรางรถไฟ." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549.

[21] Manahar P.J. **Industrial utilization of sugar cane and its co-products.** New Delhi : National Federation of Co-Operative Sugar Factories Ltd., 1997.

[22] American Society for Testing and Materials (ASTM). West Conshohocken,PA: ASTM. 1998.

[23] Douglas A. **Principle of Instrumental Analysis**. 5th ed., London : Harcourt Brace& Company. 1998.

[24] Abdelmouleh M., Boufi S., Belgacem M.N., Duarte A.P., Ben Salah A.and Gandini A. "Modification of cellulosic fibres with functionalized silanes: development of surface properties," **International Journal of Adhesion and Adhesives**, Vol. 24, no. 1, 2004. pp. 43-54

[25] กรมป่าไม้. **ตารางแสดงค่ากลสมบัติของไม้วงศ์ยางชนิดต่างๆ**. [Online]. Available: http://www.forest.go.th.th/reserch/Knowledge/Mechanical.htm. 2548.

[26] คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกหนัง. สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม โรงงาน กรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม. 2540.

[27] อิทธิพล แจ้งชัด. **วัสดุประกอบพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกและเทอร์โมพลาสติก.** โครงการวิจัยย่อยที่ 3. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2545.

[28] บรรเลง ศรนิล. **เทคโนโลยีพลาสติก (ฉบับปรับปรุง)**. พิมพ์ครั้งที่ 15. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย- ญี่ปุ่น). 2546.

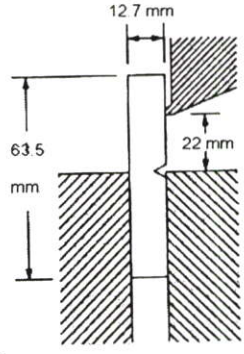
[29] ธนดล สัตตบงกต. "ไม้และไม้ประกอบพลาสติก." **LAB.TODAY** , ฉบับที่ 1 ,มกราคม 2546. หน้า 72-78

[30] อรอุษา สรวารี. **สารเติมแต่งพอลิเมอร์.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546.

ภาคผนวก ก

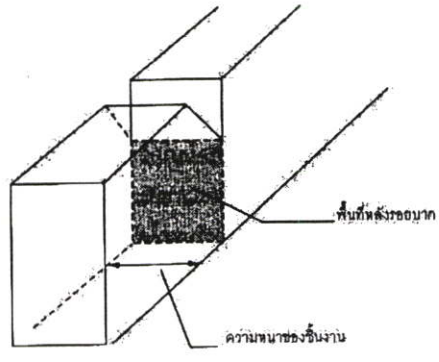
การทดสอบความทนแรงกระแทก (Impact test)

เป็นการใช้แรงกระแทกในการดัดชิ้นงานซึ่งมีรูปร่างเป็นคานยาว (beam) ให้เกิดการแตกหัก โดยใช้การทดสอบแบบไอซอด (Izod) ชิ้นงานทดสอบจะถูกจับยึดให้อยู่ในลักษณะแนวตั้งในลักษณะของคานยื่น (cantilever)

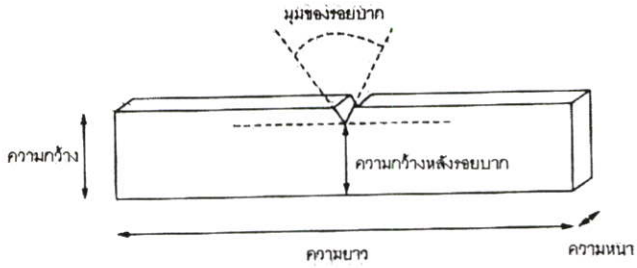


รูปที่ก.1 การทดสอบแบบไอซอด

ผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบแบบนี้ มักจะรายงานในรูปของพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หลังของรอยบาก หรือพลังงานต่อความหนาของชิ้นงานทดสอบ

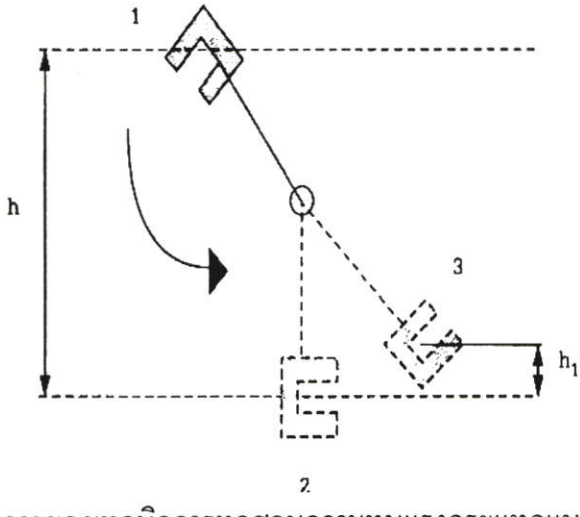


รูปที่ ก.2 หน่วยสำหรับพลังงานกระแทก



รูปที่ก.3 ลักษณะของชิ้นงานทดสอบแบบไอซอด

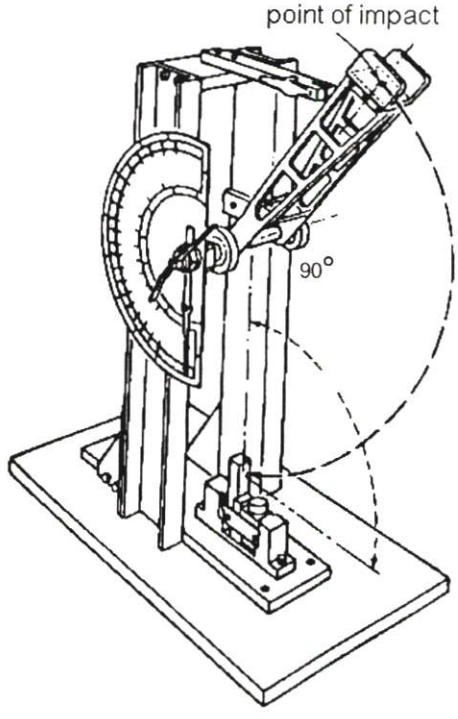
เครื่องมือทดสอบความทนแรงกระแทกแบบค้อนเหวี่ยง (pendulum) มีหลักการ คือ การปล่อยตุ้มน้ำหนักที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนให้เคลื่อนที่ ณ จากความสูงที่กำหนด (จุดที่ 1) มากระแทกชิ้นงาน ณ จุดต่ำสุดของการเหวี่ยง (จุดที่ 2) ในแนวเส้นโค้งครึ่งวงกลม หลังจากที่ตุ้มน้ำหนักกระแทกแล้วจะทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหัก จากนั้นตุ้มน้ำหนักสามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้ที่ความสูงระยะหนึ่ง (จุดที่ 3) ซึ่งความแตกต่างระหว่างระยะความสูงเริ่มต้นก่อนปล่อยตุ้มน้ำหนักและระยะความสูงที่ตุ้มน้ำหนักเคลื่อนที่ต่อหลังจากกระแทกชิ้นงาน รวมกับน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักจะถูกนำไปคำนวณ หาความทนแรงกระแทก (impact strength)



รูปที่ ก.4 หลักการของเทคนิคการทดสอบความทนแรงกระแทกแบบค้อนเหวี่ยง

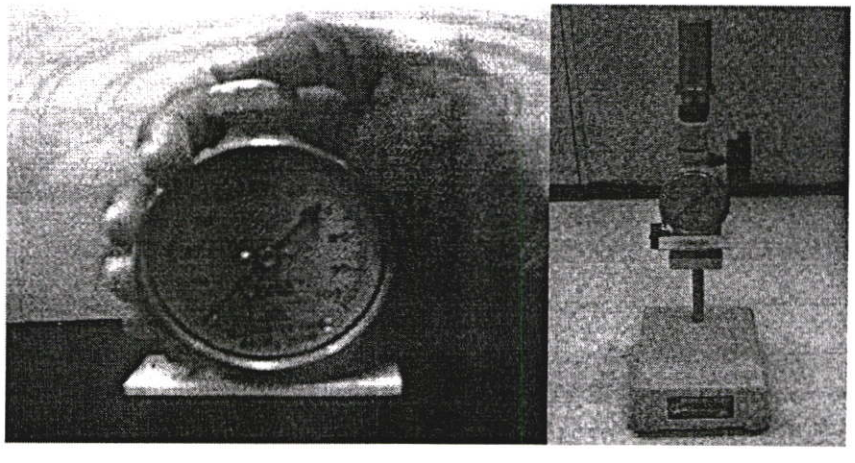
เครื่องทดสอบประเภทค้อนเหวี่ยงนี้จะประกอบไปด้วยฐานเครื่องที่มีขนาดหนักและจะต้องถูกติดตั้งอย่างแน่นหนาเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่และการสั่นสะเทือนที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ เพื่อป้องกันการสูญเสียพลังงานจากการกระแทก ที่บริเวณฐานเครื่องนี้จะต้องมีชุดจับยึด (clamping vise) เพื่อใช้ในการจับวางชิ้นงานทดสอบให้อยู่ในลักษณะที่ต้องการในระหว่างการทดสอบ ซึ่งจะถูกติดตั้งที่บริเวณจุดต่ำสุดของค้อนเหวี่ยง ในขณะที่ค้อนเหวี่ยงจะถูกติดตั้งร่วมกับชุดลูกปืนที่มีแรงเสียดทานต่ำ ค้อนเหวี่ยงประกอบด้วยแขนเหวี่ยงและหัวกระแทก โดยทั่วไปแล้ว

เครื่องทดอบสามารถสร้างความเร็วในการกระแทกที่ระดับ 3.46 เมตรต่อนาที และสามารถสร้างพลังงานกระแทกที่ระดับ 2.710-21.680 จูลส์ ขึ้นอยู่กับรุ่นของเครื่องทดสอบซึ่งมักจะเพียงพอต่อการทดสอบพลาสติกทั่วไป



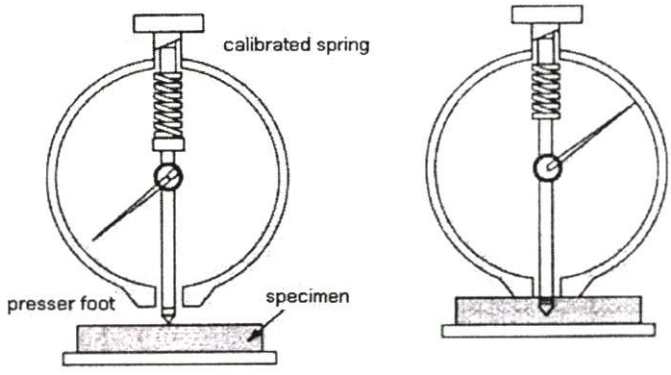
รูปที่ ก.5 เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทกแบบค้อนเหวี่ยง

ความแข็ง (Hardness)

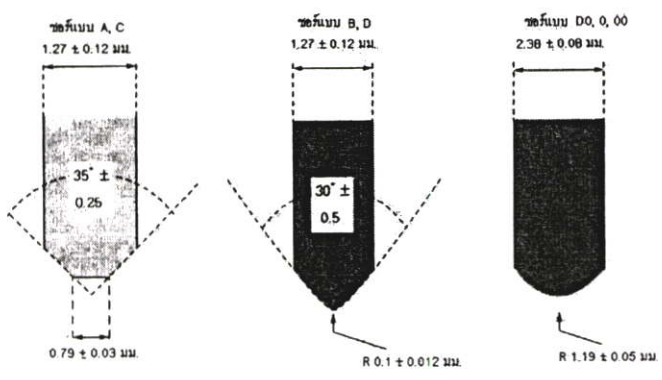


รูปที่ก.6 เครื่องวัดความแข็ง (Shore D)

การทดสอบหาค่าความแข็งกด ทำการทดสอบโดยใช้ชอร์ดูโรมิเตอร์ (Shore durometer) ตามมาตรฐาน ASTM D 785 เป็นการทดสอบที่นิยมสำหรับวัสดุที่มีความแข็งไม่สูงมาก เช่น ยาง และพลาสติก การทดสอบแบบนี้มีด้วยกันหลายประเภท ซึ่งการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาทดสอบ แรงกด และลักษณะของหัวกด ในการทดสอบนั้นลักษณะของชิ้นงานจะต้องหนาไม่ต่ำกว่า ¼ นิ้ว มีความเรียบโดยจะให้แรงกดผ่านอุปกรณ์ลงไปยังชิ้นงานและจะใช้ความแข็งของสปริงกดเป็นส่วนที่ให้แรงแทนที่จะเป็นน้ำหนักกด โดยหัวทดสอบจะติดอยู่กับสปริงเชิงเส้นซึ่งมีค่าความแข็งที่ผ่านการสอบเทียบและมาตรวัดแล้ว เมื่อทำการทดสอบโดยให้แรงกดแก่อุปกรณ์ทดสอบลงยังชิ้นงานแรงจากสปริงจะส่งไปยังหัวทดสอบ ความลึกที่หัวทดสอบเจาะลงไปในชิ้นงานจะมีค่าแปรผกผันกับค่าความแข็งของชิ้นงานบนมาตรวัด ความแข็ง 1 ชอร์จะมีค่าเท่ากับระยะการเคลื่อนที่ในเนื้อชิ้นงาน 0.025 มิลลิเมตร ค่าความแข็งบนหน้าปัดมีค่าตั้งแต่ 0-100 โดยทั่วไปแล้วจะกำหนดให้อ่านค่าทดสอบที่ประมาณ 1 วินาทีหรือ 15 วินาทีหลังการกด



รูปที่ ก.7 หลักการทำงานของเครื่องวัดความแข็ง (Shore D)



รูปที่ ก.8 หัวกดของเครื่องวัดความแข็ง (Shore D)

การดูดซับน้ำ (Water absorption)

การหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำตามมาตรฐาน ASTM D 570

- นำชิ้นงานมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำชิ้นงานมาชั่งเป็นน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น
- นำชิ้นงานมาแช่น้ำในภาชนะปิดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานหลังจากการดูดซับน้ำมาชั่งเป็นน้ำหนักตัวอย่างเปียก
- หาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำดังต่อไปนี้

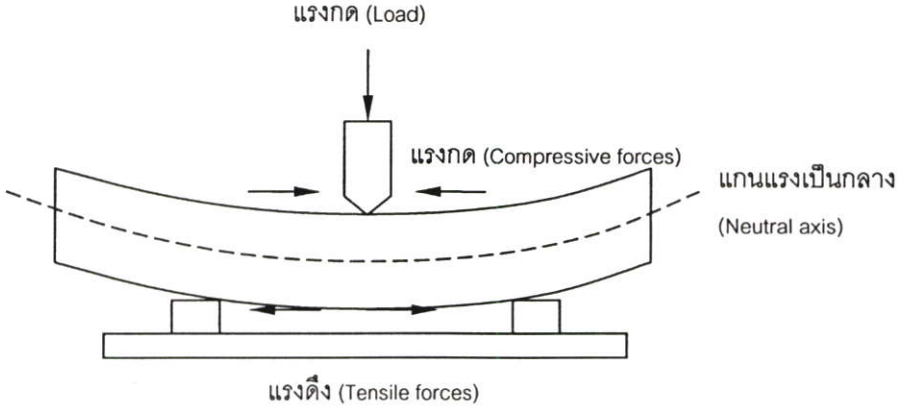
$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างเปียก} - \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

ความต้านแรงดัด (Flexural strength) และมอดุลัสแรงดัด (Flexural modulus)

เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่มีลักษณะแข็งเปราะ ทดสอบโดยใช้การดัดงอแบบ 3 จุด เป็นการให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงานทดสอบและจุดรองรับในทิศทางตรงกันข้ามบริเวณปลายทั้งสองด้านที่มีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางเท่ากัน

ตามมาตรฐาน ASTM D 790 โดยลักษณะการทดสอบเป็นไปดังรูปที่ก.9 และสภาวะในการทดสอบเป็นดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load cell) 1 กิโลนิวตัน (kN)
- ความเร็วในการกด (Compression speed) 10 มิลลิเมตร/นาที
- ระยะห่างของขารองรับชิ้นงาน (Span length) 40 มิลลิเมตร



รูปที่ ก.9 แรงที่เกิดขึ้นในการทดสอบความต้านแรงดัด

การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) เป็นการส่องดูพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบ การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำตัวอย่างมาแช่ไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) จนกระทั่งวัสดุเชิงประกอบมีอุณหภูมิต่ำแล้วหักทันที (Cryogenic fracture) จากนั้นนำตัวอย่างมาเคลือบทองเพื่อให้มีการนำไฟฟ้าและนำไปส่องด้วยเครื่อง SEM

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นางสาวเดือนพร บุญศิริคำชัย
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2524
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วศ.บ. (เคมี)
สถานที่สำเร็จการศึกษา	วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2544

ประสบการณ์

- ฝึกงานที่บริษัท การปิโตรเลียมแห่งประแห่งประเทศไทย
  ระหว่างวันที่16 มีนาคม – 18 พฤษภาคม 2544
- ทำโครงงาน ที่บริษัท คอลเกต-ปาล์มโอลีฟ ประเทศไทย จำกัด ปี 2545

ผลงานทางวิชาการ

ไพศาล นาคพิพัฒน์ เดือนพร บุญศิริคำชัย **การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบคล้ายไม้จากพีวีซีกับผงหนังและเยื่อชานอ้อย** วิศวสารลาดกระบัง กรุงเทพ ปีที่23 ฉบับที่ 1