การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนและเศษหนัง เพื่อใช้แทนไม้แบบก่อสร้าง

SYNTHESIS OF POLYETYLENE-LEATHER DUST COMPOSITE TO USE AS THE FORM FOR CONSTRUCTION

อมรรัตน์ สุนทรพงศ์
AMORNRAT SUNTORNPONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2543

ISBN 974-15-2505-2

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนและเศษผงหนัง เพื่อใช้แทนไม้แบบก่อสร้าง

SYNTHESIS OF POLYETYLENE-LEATHER DUST COMPOSITE TO USE AS THE FORM FOR CONSTRUCTION

อมรรัตน์ สุนทรพงศ์

AMORNRAT SUNTORNPONG

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61639
วัน,เดือน,ปี 19 ก.ค. 2549

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2549

ISBN 945-15-2505-2

SYNTHESIS OF POLYETYLENE-LEATHER DUST COMPOSITE TO USE AS THE FORM FOR CONSTRUCTION

AMORNRAT SUNTORNPONG

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

2006

ISBN 945-15-2505-2

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนและเศษผงหนังเพื่อใช้แทนไม้แบบก่อสร้าง

SYNTHESIS OF POLYETHYLENE-LEATHER DUST COMPOSITE TO USE AS THE FORM FOR CONSTRUCTION

นักศึกษา นางสาวอมรรัตน์ สุนทรพงศ์

รหัสประจำตัว 45061192

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.พรสวรรค์	กาญจนวณิชย์กุล	
ดร.สุรัตน์	อารีรัตน์	
ดร.อภินันท์	นัมคณิสรณ์	
ดร.สุธาสินี	เนรมิตตกพงศ์	
รศ.ดร.ไพศาล	นาคพิพัฒน์	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 16 พฤษภาคม 2549 เวลา 9.00-11.00 น.

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

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 30 **เดือน** พฤษภาคม **พ.ศ.** 2549

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนและเศษผงหนังเพื่อใช้แทนไม้แบบก่อสร้าง
นักศึกษา	นางสาวอมรรัตน์ สุนทรพงศ์
รหัสนักศึกษา	45061192
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์วัสดุประกอบ โดยใช้ขวดน้ำพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วเป็นโครงสร้าง เศษหนังสัตว์ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตในโรงงานฟอกหนังมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรง และใช้ยางรีเคลมซึ่งเป็นยางที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ยางที่เสียมาใช้เป็นสารเติมแต่ง โดยทำการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุประกอบจากขวดน้ำพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วและผงหนัง ที่อัตราส่วนขวดน้ำพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วเป็น 100 phr เศษผงหนัง 10, 30, 50, 70, 90 phr ศึกษาสมบัติของวัสดุประกอบเมื่อใช้ยางรีเคลมเป็นสารเติมแต่ง 0, 5, 10, 15 phr และปรับปรุงผงหนังด้วยสารประสารคู่ควบไวนิลไซเลนความเข้มข้น 5% (w/w) และอะมิโนไซเลนความเข้มข้น 5%(w/w) ผสมวัสดุด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง แล้วขึ้นรูปชิ้นงานโดยการอัดในแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบว่าเมื่อใส่ยางรีเคลมเป็นสารเติมแต่งจะเพิ่มความทนแรงกระแทกของวัสดุประกอบ และการปรับปรุงผงหนังด้วยสารประสานคู่ควบที่อัตราส่วนของผงหนังมากกว่า 50 phr จะช่วยลดการดูดซับน้ำของวัสดุประกอบ โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุประกอบ คือ ผงหนังที่ปรับปรุงด้วยสารประสานคู่ควบ 70 phr และยางรีเคลม 15 phr ได้สมบัติของวัสดุเชิงประกอบเป็นดังนี้ ความแข็ง 59 (Shore D) ความทนแรงกระแทก 6.9 kJ/m^2 ความทนแรงโค้งงอ 54 MPa มอดูลัสโค้งงอ 2470 MPa และการดูดซับน้ำ 2.6 %

Thesis Title	Synthesis of Polyethylene-Leather Dust Composite to Use as the Form for Construction
Student	Miss Amornrat Suntornpong
Student ID.	45061192
Degree	Master of Engineering
Programme	Chemical Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr.Paisal Nakpipat

ABTRACT

This research aims to study on composite material. The used polyethylene bottles were used as the matrix, and the leather dust from tanning industry was used as the reinforcement and the amount of reclaimed rubber was added as the additive. The suitable ratio of materials and filler investigated and experimented. In the experiment, the variation of 10, 30, 50, 70 and 90 phr of leather dust, and 0, 5, 10 and 15 phr of reclaimed rubber were used to mixed with polyethylene flake. The other case, leather dust was modified with vinylsilane and aminosilane coupling agent. The mixing was carried on Two roll-mill, and formed the test pieces with Thermal compression molding at 200°C for 5 minutes each and cut into the standard shape of the tests. The results showed that the impact strength was increased while reclaimed rubber and modified-leather dust were used to decrease the water absorption. The suitable ratio of composite was composed of 70 phr modified-leather dust and 15 phr reclaimed rubber which it got the good properties as follow: hardness is 59 (Shore D), impact strength is 6.9 kJ/m^2, flexural strength is 54 MPa, flexural modulus is 2470 MPa and water absorption is 2.6 % .

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ รศ.ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และความช่วยเหลือจนกระทั่งลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอบคุณ คุณ พิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำด้านเครื่องมือและอุปกรณ์

ขอบคุณ คุณพิมใจ ภู่ชนะกิจ เจ้าหน้าที่ธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่อำนวยความสะดวกในการขอใช้เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมี

ขอบคุณ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเคมีอุตสาหกรรมและพอลิเมอร์เทคโนโลยี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือ

ขอบคุณ บริษัท ไทยยูเนี่ยนพัฒนกิจ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ยางรีเคลมที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้

ขอบคุณและขอบใจ พี่ เพื่อน และน้อง ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา รวมถึงผู้มีพระคุณทุกท่านที่มิได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ กราบขอบพระคุณ พ่อและแม่ บุพการีผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างกับผู้วิจัย

นางสาวอมรรัตน์ สุนทรพงศ์
ผู้วิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....V

สารบัญภาพ.....VI

บทที่ 1 บทนำ.....1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....2

สมมติฐานของการวิจัย.....2

ขอบเขตของการศึกษา.....3

ขั้นตอนการดำเนินงาน.....3

ประโยชน์ที่ได้รับ.....3

บทที่ 2 ทฤษฎี.....4

บทที่ 3 การทดลอง.....15

ศึกษาผลกระทบจากการแปรเปลี่ยนปริมาณผงหนัง
และสารเติมแต่งต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ.....15

ศึกษาผลกระทบจากการปรับปรุงผงหนังด้วยสารประสานคู่ควบ
ต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ.....16

การทดสอบ.....18

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....26

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุประกอบ.....26

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบ.....28

การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ.....43

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....47

เอกสารอ้างอิง.....51

ภาคผนวก.....53

ประวัติผู้เขียน.....60

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การลดกากของเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง....12

3.1 วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีน ผงหนัง และสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ....16

3.2 วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีน ผงหนังที่ปรับปรุงด้วยสารประสานคู่ควบ....17

3.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM....17

4.1 เปรียบเทียบสมบัติวัสดุเชิงประกอบที่ผงหนังไม่คัดขนาด 70 phr กับไม้แบบก่อสร้าง....42

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ความแตกต่างระหว่างไม้กับวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เป็นไม้....4

2.2 ตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน....6

2.3 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน....9

2.4 ขั้นตอนการฟอกหนัง....11

3.1 การทดสอบแบบไอซอด....18

3.2 หน่วยสำหรับพลังงานกระแทก....18

3.3 ลักษณะของชิ้นงานทดสอบแบบไอซอด....19

3.4 ประเภทของความเสียหายของชิ้นงานทดสอบ....19

3.5 หลักการของเทคนิคการทดสอบความทนแรงกระแทกแบบค้อนเหวี่ยง....20

3.6 เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทกแบบค้อนเหวี่ยง....21

3.7 เครื่องวัดความแข็ง (Shore D)....22

3.8 หลักการทำงานของเครื่องวัดความแข็ง (Shore D)....22

3.9 หัวกดของเครื่องวัดความแข็ง (Shore D)....23

3.10 แรงที่เกิดขึ้นในการทดสอบความทนแรงโค้งงอ....24

3.11 เครื่องทดสอบ Universal machine....24

4.1 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่อัตราส่วนผงหนังขนาด 8-20 เมช....26

4.2 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่อัตราส่วนผงหนังขนาดมากกว่า 8 เมช....27

4.3 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 0 phr....28

4.4 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 5 phr....28

4.5 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 10 phr....29

4.6 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 15 phr....29

4.7 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 0 phr....30

4.8 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 5 phr....30

4.9 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 10 phr....31

4.10 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 15 phr....31

4.11 ความทนแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 0 phr....32

4.12 ความทนแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 5 phr....32

4.13 ความทนแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 10 phr....33

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.14 ความทนแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 15 phr....33

4.15 มอดูลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 0 phr....34

4.16 มอดูลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 5 phr....34

4.17 มอดูลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 10 phr....35

4.18 มอดูลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 15 phr....35

4.19 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 0 phr....36

4.20 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 5 phr....36

4.21 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 10 phr....37

4.22 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 15 phr....37

4.23 สเปกตรัม FT-IR ของผงหนัง....38

4.24 ความแข็งเมื่อมีการปรับปรุงผงหนัง (ไม่คัดขนาด) ด้วยไซเลน....40

4.25 ความทนแรงกระแทกเมื่อมีการปรับปรุงผงหนัง (ไม่คัดขนาด) ด้วยไซเลน....40

4.26 ความทนแรงโค้งงอเมื่อมีการปรับปรุงผงหนัง (ไม่คัดขนาด) ด้วยไซเลน....41

4.27 มอดูลัสโค้งงอเมื่อมีการปรับปรุงผงหนัง (ไม่คัดขนาด) ด้วยไซเลน....41

4.28 การดูดซับน้ำเมื่อมีการปรับปรุงผงหนัง (ไม่คัดขนาด) ด้วยไซเลน....42

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์พลาสติกกำลังเป็นที่นิยมและเข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันอย่างมาก ทำให้มีพลาสติกเหลือใช้ในรูปขยะเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ขยะพลาสติกเหล่านี้ ส่วนมากเป็นพลาสติกบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้ก็เป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้า และเฟอร์นิเจอร์เก่า ขยะพลาสติกเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัด ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อม การนำพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีการต่างๆ เป็นการช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกลงได้ทางหนึ่ง งานวิจัยนี้ศึกษาการนำพลาสติกใช้แล้วดังกล่าวคือ ขวดน้ำพอลิเอทิลีน มาสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบ (Composite materials) ใช้ทดแทนไม้แบบก่อสร้างที่ได้จากไม้ธรรมชาติ โดยนำของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต ในอุตสาหกรรมฟอกหนังคือ เศษหนังมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรง นอกจากนี้ยังเลือกใช้ยางรีเคลมซึ่งเป็นวัสดุที่ได้จากการนำยางเก่ามาใช้หมุนเวียน เป็นวัสดุตัวเติมอีกด้วย [1]

การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบ เพื่อใช้แทนไม้แบบก่อสร้างจากไม้ธรรมชาติที่นับวันจะมีปริมาณลดน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ป่าไม้ลดลง ทำให้ผลผลิตไม้เพื่อการก่อสร้างมีปริมาณจำกัดไม่เพียงพอกับความต้องการ แม้การนำเข้าไม้จากต่างประเทศจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งแต่ก็ไม่ใช่ทางออกที่ดีนัก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างมีราคาแพง ประกอบกับปัจจุบันปัญหาทางเศรษฐกิจของประเทศตกต่ำและราคาวัสดุก่อสร้างที่สูงขึ้น จึงเป็นการดีที่จะคิดค้นหาวัสดุมาทดแทนไม้ ดังเช่นวัสดุเชิงประกอบที่สังเคราะห์จากวัสดุใช้แล้วที่ได้กล่าวมาข้างต้น การนำเอาขยะพลาสติกและเส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) มาใช้ประโยชน์ มีข้อดีหลายประการ เช่น หาง่าย ต้นทุนการผลิตต่ำ เพิ่มมูลค่าวัสดุ เป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและลดปัญหาสิ่งแวดล้อม เป็นต้น วัสดุเชิงประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นนี้อาจเรียกว่า“ไม้เทียม” (Artificial woods) สมบัติที่ดีของไม้เทียม ต้องมีลักษณะคล้ายไม้ น้ำหนักเบา สามารถตอกด้วยตะปู ตัดด้วยเลื่อย มีความทนทานและมีอายุการใช้งานยาวนาน ไม่ผุกร่อนง่ายและไม่ถูกทำลายโดยแมลง [2]

วัสดุเชิงประกอบ เป็นวัสดุสังเคราะห์ที่กำลังมีบทบาทมากขึ้นในปัจจุบัน วัสดุเชิงประกอบส่วนมากผลิตขึ้นจากสารตั้งต้นใหม่ทั้งสิ้นจึงไม่มีปัญหาอันเนื่องมาจากสิ่งเจือปน แต่การนำขยะพลาสติกและเศษวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นวัสดุเชิงประกอบจะต้องคำนึงถึงลักษณะโครงสร้าง สมบัติ และสิ่งเจือปนในวัตถุดิบที่มีอิทธิพลต่อสมบัติสำคัญของผลิตภัณฑ์ การศึกษาและวิจัยลักษณะสมบัติของวัตถุดิบ ตลอดจนการพิจารณาใช้สารเติมแต่งอื่นๆ จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการผลิตวัสดุเชิงประกอบดังกล่าว

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อเสนอแนะแนวทางในการนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

1.2.2 เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุเชิงประกอบให้เหมาะสมกับการนำมาใช้งานเป็นไม้แบบก่อสร้าง แทนไม้ที่ใช้ในปัจจุบัน

1.2.3 เพื่อเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ขนาดของผงหนังที่แตกต่างกัน จะให้สมบัติของวัสดุไม่แตกต่างกัน

1.3.2 วัสดุเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนของสารเติมแต่ง (ยางรีเคลม) ที่แตกต่างกัน จะให้สมบัติของวัสดุไม่แตกต่างกัน

1.3.3 วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบจะให้สมบัติของวัสดุไม่แตกต่างจากวัสดุเชิงประกอบที่ไม่ใช้สารประสานคู่ควบ

1.3.4 วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบต่างกันจะให้สมบัติของวัสดุไม่แตกต่างจากวัสดุเชิงประกอบที่ไม่ใช้สารประสานคู่ควบ

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปรอิสระ

- ขนาดของผงหนัง
- อัตราส่วนผสมต่างๆ ของวัสดุเชิงประกอบ
- วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบ และไม่ใช้สารประสานคู่ควบ

ตัวแปรตาม

- สมบัติต่างๆ ของวัสดุ เช่น
  - ความแข็ง (Hardness)
  - ความทนแรงกระแทก (Impact strength)
  - การดูดซับน้ำ (Water absorption)
  - ความทนแรงโค้งงอ (Flexural strength)
  - มอดูลัสโค้งงอ (Flexural modulus)

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ขนาดของผงหนังที่แตกต่างกัน

1.4.2 ศึกษาสมบัติของวัสดุเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนของผงหนัง และสารเติมแต่งแตกต่างกัน

1.4.3 ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบ และวัสดุเชิงประกอบที่ไม่ใช้สารประสานคู่ควบ

1.4.4 ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบต่างชนิดกัน

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาข้อมูล และวิธีการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบเพื่อผลิตไม้เทียม

1.5.2 หาวัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1.5.3 ขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบตามอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

1.5.4 ทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM และตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

1.5.5 วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

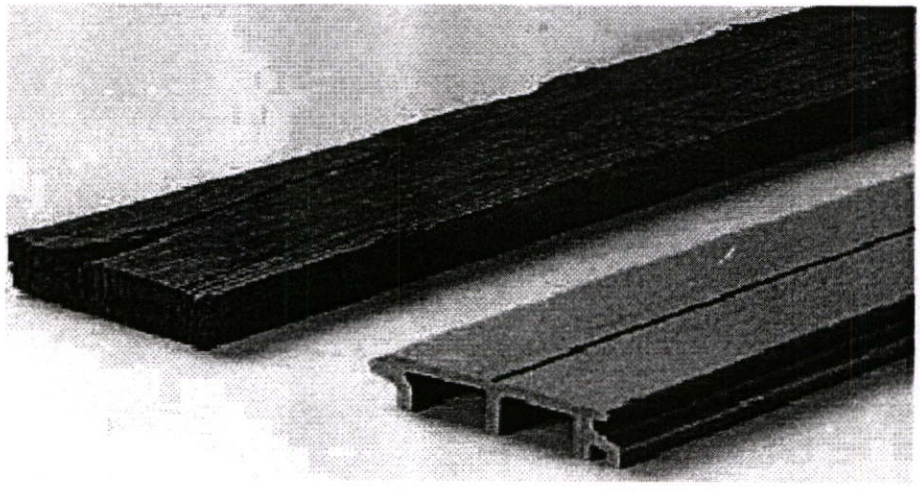
1.6.1 ลดปริมาณของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม และในชีวิตประจำวัน

1.6.2 เป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้

1.6.3 เป็นการศึกษาเพื่อหาวัสดุเชิงประกอบที่นำมาใช้ทดแทนไม้

บทที่ 2
ทฤษฎี

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพลาสติกสามารถพบเห็นได้โดยทั่วไป และได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของคนเรา ทำให้มีพลาสติกเหลือใช้ในรูปขยะเป็นจำนวนมาก ซึ่งโดยมากเป็นพวกพลาสติกบรรจุภัณฑ์ ก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัด ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อม การนำพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีการต่างๆ เป็นการช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกลงได้ทางหนึ่ง จึงได้นำเอาพลาสติกเหลือใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ขวดน้ำพอลิเอทิลีน และของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งในที่นี้คือเศษหนังสัตว์จากโรงงานฟอกหนังที่เป็นขยะเหลือทิ้งมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรง มาผลิตเป็นวัสดุเชิงประกอบเพื่อใช้แทนไม้แบบก่อสร้าง แทนไม้จากธรรมชาติที่นับวันจะมีปริมาณลดน้อยลง เนื่องจากพื้นที่ป่าไม้ที่ลดลง ทำให้ผลผลิตไม้เพื่อการก่อสร้างมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการภายในประเทศ การนำเข้าไม้จากต่างประเทศทำให้ไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างมีราคาแพง ประกอบกับปัญหาทางเศรษฐกิจที่ตกต่ำของประเทศไทยในปัจจุบัน และราคาวัสดุก่อสร้างที่สูงขึ้น การนำเอาขยะพลาสติกมาผลิตเป็นวัสดุเชิงประกอบจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ เป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุ ลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรอีกทางหนึ่งด้วย



รูปที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่างไม้กับวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เป็นไม้เทียม [3]

2.1 วัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ (Polymer composite) [4]

วัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ หมายถึง วัสดุที่ประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อย 2 ชนิด ที่มีสมบัติต่างกันโดยจะแยกกันอยู่คนละวัฏภาค และทำให้ได้วัสดุที่มีสมบัติดีขึ้น โดยทั่วไปจะนิยมทำเพื่อปรับปรุงความแข็งแรง มอดูลัส ความเสถียรในรูปร่าง และลดความหนาแน่น วัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์จะประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนเมทริกซ์ (Matrix phase) ซึ่งจะเป็นสารพวกพอลิเมอร์ และส่วนเสริมแรง (Reinforcement phase) ซึ่งอาจจะมีลักษณะเป็นแผ่น อนุภาคเล็ก ๆ หรือเป็นเส้นใยก็ได้ มักจะมีลักษณะรูปร่างและการจัดเรียงตัวที่แตกต่างกันของส่วนเสริมแรง เพื่อแบ่งประเภทของวัสดุเชิงประกอบ

สมบัติของวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ขึ้นกับ

- การยึดเกาะระหว่างเมทริกซ์และส่วนเสริมแรง
- สมบัติของเมทริกซ์และส่วนเสริมแรง
- ขนาดและรูปร่างของส่วนเสริมแรง
- ปริมาณส่วนเสริมแรง
- กระบวนการผลิต
- การจัดเรียงตัวและการกระจายตัวของส่วนเสริมแรง

2.1.1 พอลิเมอร์เมทริกซ์ (Polymer matrix)

พอลิเมอร์เมทริกซ์เป็นส่วนที่ช่วยห่อหุ้มและยึดส่วนเสริมแรงเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งโดยทั่วไปเมทริกซ์มักจะมีความเหนียวสูง ความแข็งแรงและมอดูลัสต่ำกว่าส่วนเสริมแรง

หน้าที่ของเมทริกซ์ ได้แก่ [5]

- รักษาความเสถียรในรูปร่าง และขนาดของวัสดุเชิงประกอบ
- รักษาการกระจายตัวของเส้นใย และแยกไม่ให้เส้นใยมารวมกัน
- ทำให้วัสดุเชิงประกอบสามารถทนต่อการเสียสภาพภายใต้อุณหภูมิหรือแรงที่ระดับหนึ่ง
- สามารถกระจายหรือส่งถ่ายแรงที่ได้รับจากภายนอกไปยังเส้นใยได้
- ช่วยให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมและความมีเสถียรในตัวกลางต่าง ๆ

พอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. เทอร์โมเซต (Thermoset) [6]

พอลิเมอร์กลุ่มนี้เมื่อผ่านกระบวนการผลิตจะมีรูปทรงถาวร ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปหลอมอีกไม่ได้ และไม่ละลายในตัวทำละลาย คือไม่เกิดกระบวนการย้อนกลับ เนื่องจาก ก่อนผ่านกระบวนการเตรียม โครงสร้างของพอลิเมอร์ยังไม่เป็นร่างแห แต่เมื่อผ่านกระบวนการโดยให้ความร้อนหรือความดันเข้าไป จะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในโครงสร้างเกิดการเชื่อมโยง (Cross-

linking) ระหว่างสายโซ่โมเลกุล มีลักษณะเป็นระบบสามมิติ มีการสร้างพันธะโควาเลนซ์ระหว่างสายโซ่โมเลกุล ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความคงทน ไม่หลอมละลาย ถ้าให้ความร้อนมาก ๆ จะไหม้เกรียมและสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม

เทอร์โมเซตที่ใช้เป็นเมทริกซ์ส่วนใหญ่ ได้แก่ อีพอกซี พอลิเอสเทอร์ และไวนิลเอสเทอร์ เมื่อเทอร์โมเซตเรซินที่หลอมเหลวเริ่มแข็งตัว จะเกิดการเชื่อมโยงขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดรอยต่อที่แน่นของโครงร่างแหสามมิติ การเกิดการเชื่อมโยงจะทำให้พอลิเมอร์แข็งตัว มีความแข็งแรงสูง มีความต้านทานสารละลาย มีเสถียรภาพทางความร้อน และต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้ดี สมบัติเหล่านี้สัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นของการเกิดการเชื่อมโยง และน้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ระหว่างการเชื่อมโยง ถ้าเกิดการเชื่อมโยงมากจะส่งผลให้เมทริกซ์มีความแข็งมาก มีมอดูลัสยืดหยุ่นสูง แต่ถ้าเกิดการเชื่อมโยงมากแล้ว น้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ระหว่างการเชื่อมโยงจะลดลง ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลเกิดได้ยาก เกิดความเปราะ มีความเครียดต่ำ ความทนแรงกระแทกน้อย และไม่เหนียว

2. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) [7]

เทอร์โมพลาสติกจะละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด มื่อถูกความร้อนสามารถหลอมตัวได้ และเมื่อเย็นลงก็จะแข็งตัว สามารถทำให้หลอมและแข็งตัวหลาย ๆ ครั้งได้ โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีเปลี่ยนไป อาจแยกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเทอร์โมพลาสติกอสัณฐาน (Amorphous thermoplastic) และเทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกบางส่วน (Semi-crystalline thermoplastic)

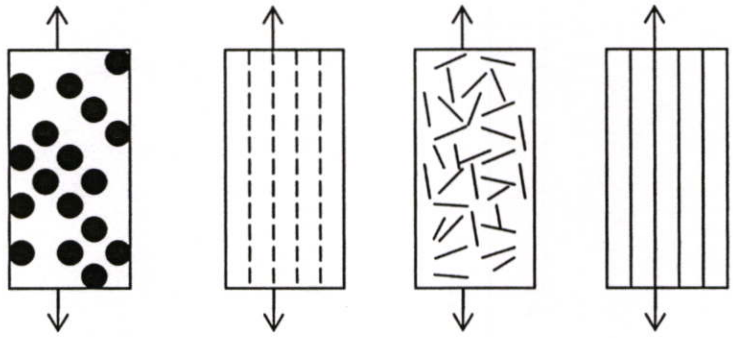
เทอร์โมพลาสติกจะไม่เกิดการเชื่อมโยง ดังนั้นความแข็งแรง และความแข็งของเมทริกซ์ที่ได้นั้นเป็นผลโดยตรงจากสมบัติของหน่วยซ้ำ หรือมอนอเมอร์ และน้ำหนักโมเลกุลที่สูง เทอร์โมพลาสติกอสัณฐานจะมีการพันกันของสายโซ่โมเลกุล ซึ่งจะส่งผลคล้ายกับการเกิดการเชื่อมโยง และในพอลิเมอร์ที่สามารถตกผลึกได้ก็จะมีการจัดเรียงตัวที่ดี ทำให้เมทริกซ์มีความแข็งแรง สมบัติของเทอร์โมพลาสติกจะขึ้นกับอัตราการเกิดผลึก สัณฐานวิทยา และการจัดเรียงตัวของผลึก ซึ่งจะขึ้นกับกระบวนการผลิต ตัวอย่างเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ พอลิเอไมด์ พอลิสไตรีน พอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีน เป็นต้น

2.1.2 ส่วนเสริมแรง (Reinforcement phase)

ส่วนเสริมแรงมีลักษณะรูปร่างได้หลายแบบ อาจเป็นแผ่น เส้นใย หรืออนุภาคเล็ก ๆ ส่วนเสริมแรงที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นเส้นใย (fiber) อาจจะเป็นเส้นใยต่อเนื่อง หรือเส้นใยสั้น ตัวอย่างเส้นใยที่ใช้เสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ เช่น เส้นใยแก้ว เคฟล่าร์ หรือเส้นใยธรรมชาติต่าง ๆ

สมบัติของเส้นใยที่เหมาะสำหรับใช้เสริมแรง ควรมีลักษณะดังนี้

- เส้นใยควรมีมอดูลัสยืดหยุ่นสูง
- เส้นใยควรมีความแข็งแรงสูง
- ความแข็งแรงของเส้นใยแต่ละเส้นไม่ควรแตกต่างกันมาก
- เส้นใยควรจะเสถียร และรับความแข็งแรงขณะจัดเก็บและขึ้นรูปได้
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และพื้นผิวของเส้นใยควรจะมีลักษณะเหมือนกัน



(a) (b) (c) (d)

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน [8] (a) ส่วนเสริมแรงเป็นอนุภาค จัดเรียงตัวแบบสุ่ม (b) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้นจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน (c) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้น จัดเรียงตัวแบบสุ่ม (d) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยยาว จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน

ปัจจุบันได้มีความสนใจในการประยุกต์ใช้เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) มาใช้ประโยชน์เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ ประเทศไทยมีเส้นใยธรรมชาติมากมายซึ่งเป็นเศษเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม เช่น เส้นใยเซลลูโลส เส้นใยโปรตีน ฯลฯ

เส้นใยธรรมชาติมีข้อดีหลายประการดังนี้

- หาง่าย และมีให้เลือกมากมายหลายชนิด
- เส้นใยบางชนิดเป็นของเหลือทิ้ง ทำให้สามารถ ลดต้นทุนการผลิต
- เส้นใยจากพืชหรือสัตว์สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ไม่เป็นปัญหาในการกำจัด
- ช่วยกำจัดและลดของเสียจากภาคเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม

ปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งในการใช้วัสดุเสริมแรงที่เป็นเส้นใยธรรมชาติในปัจจุบัน ยังมีข้อจำกัดบางประการที่ต้องการการปรับปรุงคือ

- เส้นใยธรรมชาติมีความสามารถในการยึดเกาะกับวัสดุโครงสร้างต่ำ
- เส้นใยธรรมชาติดูดซับน้ำสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์
- เส้นใยธรรมชาติขาดความสม่ำเสมอของเส้นใย

โดยเฉพาะเมื่อใช้กับพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว เช่น พอลิเอทิลีน ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่ได้ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุเชิงประกอบให้เหมาะสมกับการใช้งานมากยิ่งขึ้น โดยสารเติมแต่งมีทั้งสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ สามารถแบ่งตามสถานะทางกายภาพได้เป็น 4 หมู่ คือเป็นของแข็ง ยาง ของเหลวและแก๊ส แต่ถ้าจำแนกตามหน้าที่การทำงาน จะแบ่งได้หลายประเภทดังนี้ [9]

- สารดัดแปรสมบัติเชิงกล (Mechanical property modifiers)
- สารดัดแปรสมบัติทางเคมี (Chemical property modifiers)
- สารดัดแปรเพื่อความสวยงาม (Aesthetic property modifiers)
- สารดัดแปรสมบัติที่พื้นผิว (Surface property modifiers)
- สารดัดแปรสำหรับกระบวนการผลิต (Processing modifiers)

การปรับปรุงการยึดระหว่างเส้นใยเสริมแรงและพอลิเมอร์ นอกจากจะใช้สารปรับแต่งพื้นผิวแล้ว ยังอาจใช้สารประสานคู่ควบ (Coupling agent) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางเชื่อมระหว่างเส้นใยเสริมแรงและพอลิเมอร์

การใช้สารประสานคู่ควบมี 2 วิธีคือ

- นำไปเคลือบหรือปรับแต่งที่พื้นผิวของเส้นใยเสริมแรงแล้วจึงนำไปผสมกับพอลิเมอร์
- ผสมกับพอลิเมอร์โดยตรงระหว่างกระบวนการคอมพาวด์ดิง

สารประสานคู่ควบที่ใช้โดยทั่วไปมีดังนี้ คือ

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

2.2 พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) [10]

เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนมอนอเมอร์ เป็นพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติกซึ่งหลอมแล้วสามารถนำกลับมาใช้งานได้อีกประกอบด้วยสายโซ่โมเลกุลของคาร์บอน และไฮโดรเจนมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีนเกิดจากพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนตั้งแต่น้ำหนักโมเลกุลต่ำ จนถึงน้ำหนักโมเลกุลสูงและความเป็นผลึกสูง โดยทั่วไป พอลิเอทิลีนมีสีขาวขุ่น โปร่งแสง มีความลื่นมันในตัว เมื่อสัมผัสจึงรู้สึกลื่น หยุ่นตัวได้ ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่ติดแม่พิมพ์ มีความเหนียว ทนความร้อนได้ไม่สูงนัก ทนการกัดกร่อนของสารเคมี เป็นฉนวนไฟฟ้า ใส่สีผสมได้ง่าย มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ จึงลอยน้ำ เมื่อความหนาแน่นสูงขึ้นจะทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้น ความเหนียวเพิ่มขึ้น อุณหภูมิหลอมตัวสูงขึ้น และอัตราการคายก๊าซเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นลดลงจะทำให้อัตราการเสื่อมสลายของผิวเพิ่มขึ้น กล่าวคือผิวจะแตกรานง่ายขึ้น

วิธีการเตรียมพอลิเมอร์ในทางอุตสาหกรรม มีหลายวิธีที่สำคัญ ได้แก่

2.2.1 กระบวนการซีเกลอร์ (Ziegler process)

กระบวนการนี้ใช้ตัวเร่งของซีเกลอร์-แนตตาที่ใช้ทั่วไป ได้แก่ ไทเทเนียมเตตระคลอไรด์ อะลูมิเนียมอัลคิล ที่ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศปกติเล็กน้อย ประมาณ 2-4 บรรยากาศ และอุณหภูมิประมาณ 50-70 องศาเซลเซียส ทำในตัวกลางเฉื่อย เนื่องจากพอลิเอทิลีนไม่ละลายในตัวกลางเฉื่อย เช่น ในบรรยากาศไนโตรเจน เมื่อเกิดเป็นพอลิเมอร์แล้วจะตกตะกอนออกมา พอลิเมอร์ที่ได้จะต่างจากพอลิเมอร์ที่เตรียมจากกระบวนการใช้ความดันสูงมาก คือมีกิ่งบ้างเล็กน้อยเท่านั้น

2.2.2 กระบวนการฟิลลิปส์ (Phillips process)

กระบวนการนี้ใช้โครเมียมออกไซด์ที่อยู่บนซิลิกา หรืออะลูมินา เป็นตัวเร่งในตัวกลางเฉื่อย เช่น ไซโครเฮกเซน สภาวะของปฏิกิริยาอยู่ระหว่างกลางกระบวนการความดันสูงที่ใช้เตรียมพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำและกระบวนการซีเกลอร์ ความดันที่ใช้ทั่วไปประมาณ 30-40 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 90-160 องศาเซลเซียส พอลิเอทิลีนที่ได้มีโครงสร้างเชิงเส้นตรงเกือบสมบูรณ์

2.2.3 กระบวนการสแตนดาร์ด ออยล์ (Standard oil process)

กระบวนการนี้คล้ายคลึงกับกระบวนการฟิลลิปส์มาก ตัวเร่งที่ใช้ ได้แก่ ออกไซด์ของโลหะ เช่น โมลิบดีนัมไตรออกไซด์ บนอะลูมินา หรือไทเทเนียมไดออกไซด์ หรือเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ ความดันที่ใช้ประมาณ 40-100 บรรยากาศ และอุณหภูมิของปฏิกิริยาในช่วง 200-300 องศาเซลเซียส พอลิเมอร์ที่ได้เช่นเดียวกับพอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการฟิลลิปส์ คือมีโครงสร้างเชิงเส้นตรงเกือบสมบรูณ์

สมบัติทั่วไป

- ยืดหยุ่นได้ดี เหนียวมากที่อุณหภูมิต่ำ
- มีความทนทานต่อสารเคมีได้ดีมาก
- ทนทานต่อสภาวะอากาศได้ดีพอควร อากาศและก๊าซสามารถซึมผ่านได้ดี
- หดตัวในแม่พิมพ์ได้ดีมาก ทำให้ถอดจากแม่พิมพ์ได้ง่าย
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก
- ผสมสีได้ง่าย ผลิตเป็นฟิล์มใส ฟิล์มสี ฟิล์มโปร่งแสง หรือทึบแสงได้
- ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส

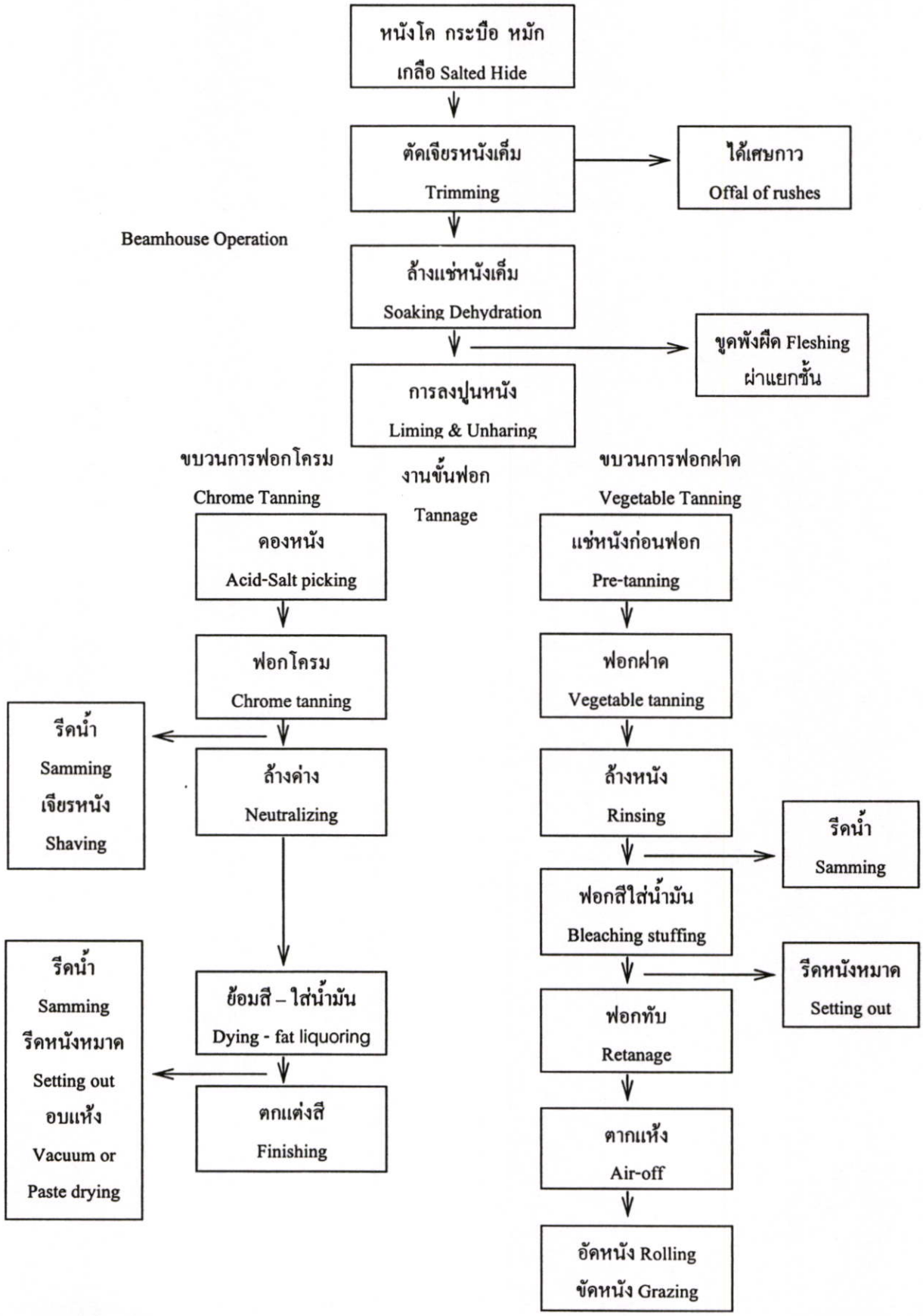
ผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยพอลิเอทิลีน

ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญได้แก่ ขวดใส่สารเคมี ขวดใส่น้ำ ลังหรือกล่องบรรจุสินค้า ภาชนะต่างๆ เครื่องเล่นของเด็ก ถุงเย็น ถาดทำน้ำแข็ง ชิ้นส่วนของแบตเตอรี่ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ฉนวนไฟฟ้า ถุงใส่ของ แผ่นฟิล์มสำหรับห่อของ โต๊ะและเก้าอี้ เป็นต้น

2.3 หนังสัตว์

เป็นโปรตีนแบบเส้นใยหรือแท่ง เกิดจากสายพอลิเปปไทด์ยาวหลายสายมารวมกันพันเป็นเกลียว หรือเรียงเป็นแผ่นซ้อน ๆ กันโดยอาศัยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสาย เช่น ไดซัลไฟด์ (-S-S-) และพันธะไฮโดรเจนจำนวนมาก การนำหนังสัตว์มาใช้ประโยชน์ที่สำคัญ คือ การนำหนังมาฟอกเพื่อนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องหนังต่าง ๆ เช่น กระเป๋า รองเท้า เครื่องเรือน เป็นต้น

การผลิตหนังฟอกแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ การเตรียมหนังก่อนฟอก(beamhouse process) การฟอก(tanning process) และการตกแต่ง(finishing process) โดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 2.4 [11]



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการฟอกหนัง

ในอุตสาหกรรมการฟอกหนังได้ก่อให้เกิดของเสียจากการผลิตเป็นจำนวนมาก ดังแสดงในตารางที่ 2.1 [12]

ตารางที่ 2.1 การลดกากของเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง

ขั้นตอน	ลักษณะของเสีย	วิธีการนำไปใช้ประโยชน์/กำจัด	
		ต่างประเทศ	ในประเทศปัจจุบัน
1.<u>กระบวนการก่อนฟอก</u>			
การขูดพังผืด	เศษหนังตัด พังผืดที่มีปูนขาว	คอลลาเจน ไขมัน อาหารโปรตีน	ทำอาหารปลา ปุ๋ย
การผ่าแยกชั้น	หนังส่วนล่างที่มีปูนขาว	คอลลาเจน เปลือกไส้กรอก ของแทะเล่นสำหรับสุนัข เจลาติน	ของแทะเล่นสำหรับสุนัข เจลาติน และกาว
2.<u>กระบวนการฟอกหนัง</u>			
ฟอกโครม			
การตัดหนังเจียร	เศษหนังที่มีโครเมียม	กาว แผ่นกรองเสียง ปุ๋ยอาหารสัตว์ เจลาติน ผลิตภัณฑ์ดูดซับ leather borad	ฝัง ทิ้ง
ฟอกฝาด			
การตัดเจียรหนัง	เศษหนัง	ปุ๋ย หนังแผ่น ผลิตภัณฑ์ดูดซับ	ทิ้ง หนังราคาถูก
3. <u>การตกแต่งหนัง</u>	เศษหนังที่มีโครเมียมและสีย้อม	leather board หนังราคาถูก	ขาย ทิ้ง

2.4 ยางรีเคลม [13]

ยางรีเคลมเป็นยางที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ยางที่เสียแล้ว เช่น ยางล้อรถ หรือยางจากผลิตภัณฑ์ยางที่เสียระหว่างกระบวนการผลิต ยางเหล่านี้เป็นยางที่คงรูปแล้ว ซึ่งการนำไปผลิตเป็นยางรีเคลมจะมีขั้นตอนการกำจัดวัสดุอื่นๆที่ไม่ใช่ยาง เช่น โลหะ เส้นใยต่างๆออกก่อน ทำโดยการให้ความร้อนกับยางคงรูปที่อุณหภูมิ 200-250 องศาเซลเซียส เป็นเวลาหลายชั่วโมง สามารถทำให้ยางเปลี่ยนสภาพทางเคมี (Depolymerize) เป็นวัตถุยางที่เรียกว่า ยางรีเคลม ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้เช่นเดียวกับยางสภาพใหม่ที่ไม่ได้ผ่านการใช้งานมาก่อน

การทำยางรีเคลมสามารถทำได้จากผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ สารเคมีที่ใช้ช่วยในระหว่างการบดยางรีเคลม ได้แก่ สารเคมีกลุ่ม Peptising agents เช่น Pentacholrothiophinol (PCTP), Zinc salts (ZnPCTP), Dibenzamidediphenyl disulphide โดยเฉพาะ PCTR ใช้ได้ดีกับยางคงรูปจาก SBR และ NBR ส่วน ZnPCTP จะใช้ได้ดีกับยางคงรูปจากยางธรรมชาติ และยาง IR นอกจากนี้ยังอาจใช้ Reclaim oil เช่น Mineral oil ร่วมกับ Resins และสาร Peptizing agents ข้างต้น

การนำยางรีเคลมไปใช้ประโยชน์สามารถใช้ได้อย่างกว้างขวางในด้านการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่มีคุณภาพไม่สูงมากนัก ซึ่งอาจใช้ร่วมกับยางใหม่หรือใช้ยางรีเคลมล้วนๆ และยังสามารถให้ข้อได้เปรียบด้านราคาต้นทุนการผลิต

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประภาภรณ์ รักต้นตระกูล พัชริน สัมภวะมนตรี และเพชรรัตน์ ยอดมงคล [14] ได้ทำการศึกษาสมบัติวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีน และเศษหนังสัตว์ ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงหนังที่ 10 20 30 และ40 พบว่าอัตราส่วนที่ผงหนังร้อยละ 10 วัสดุเชิงประกอบจะมีสมบัติเชิงกลดีที่สุด แต่ที่อัตราส่วนที่ผงหนังร้อยละ 30 จะมีค่าการนำความร้อนต่ำสุด สมบัติของวัสดุเชิงประกอบจะมีค่าความต้านทานแรงดึงในช่วง 15-19 เมกะปาสคาล ค่าร้อยละการดึงยืดออก ณ จุดขาดอยู่ในช่วงร้อยละ 11-13 ค่ามอดูลัสการยืดหยุ่นอยู่ในช่วง 54-63 เมกะปาสคาล ค่าความทนแรงกระแทกอยู่ในช่วง 5-8 กิโลจูลต่อตารางเมตร ค่าความแข็งอยู่ในช่วง 59-63 (Shore D) ค่าการนำความร้อนอยู่ในช่วง 0.05-0.07 วัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส ค่าร้อยละการดูดซับน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 0.4-5.3 ค่าร้อยละการละลายน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 0.3-3.4 และค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.94-1.20

ธีรพัฒน์ อุ่นโชค และพจนีย์ ศรธรรมลี [15] ได้ทำโครงงานพิเศษศึกษาการผลิต และสมบัติของไม้เทียมจากวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับเส้นใยผักตบชวา โดยทำการศึกษาอัตราส่วนระหว่างเส้นใยต่อพอลิเมอร์ ผลของสารช่วยผสม คือ พอลิ

เอทิลีน-กราฟท์-มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polyethylene-graft-Maleic Anhydride, PE-g-MA) ต่อปริมาณ และขนาดของเส้นใยผักตบชวา โดยผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว และขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก แล้วทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา จากการทดลองพบว่า ค่าความทนแรงดึง มอดูลัส ค่าความแข็งและองศาความเป็นผลึกจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยผักตบชวา ส่วนค่าร้อยละการดึงยืดออก ณ จุดขาด และความทนแรงกระแทกมีค่าลดลง จากการศึกษาผลของสารช่วยผสมพบว่าปริมาณของสารช่วยผสมที่เหมาะสมคือที่ 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และขนาดเส้นใยที่เหมาะสมคือ 50-80 เมช ค่าร้อยละการดูดซับน้ำจะลดลงเมื่อใช้สารช่วยผสม และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้นรวมทั้งขนาดเส้นใยลดลง จากการศึกษาทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด พบว่าสารช่วยผสมช่วยให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ดีขึ้น

จิรพรรณ หน่ายคอน และมาริสา ตันติลักษณา [16] ได้ทำการศึกษาเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพผิวโดยการฉายรังสีแกมมา เพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และใช้มัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ช่วยในการต่อกิ่ง พบว่าวัสดุเชิงประกอบสามารถทนทานต่อแรงดึง แรงกระแทก และการขัดถูได้ดี และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยเก่าและเส้นใยใหม่ พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยใหม่จะให้สมบัติเชิงกลดีกว่า และดูดซับน้ำน้อยกว่า

รัชดา ขวัญตน [17] ได้ทำการศึกษาวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนจากขวดน้ำดื่มและเส้นใยอ้อย โดยทำการเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบด้วยสารช่วยยึดติด 2 ชนิด คือ PE-g-AA และ PE-g-MAH พบว่าการเติมเส้นใยอ้อยลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากขวดน้ำดื่มจะทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งขึ้น แต่การดึงยืด และความทนแรงกระแทกลดลง และการคัดขนาดเส้นใยอ้อยไม่มีผลต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ เมื่อเปรียบเทียบวัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารช่วยยึดติด PE-g-AA และ PE-g-MAH พบว่าไม่แตกต่างกันเนื่องจากเกิดพันธะชนิดเดียวกัน

เฉลิมพล อิทธิวิวัฒน์ และสกุล บรรจงวุฒิ [18] ทำการศึกษาเส้นใยเซลลูโลส คือ เส้นใยสลาบหลวง เป็นส่วนเสริมแรงในพอลิพรอพิลีน โดยผสมเส้นใยแก้ว และใช้ไซเลนเป็นสารประสานคู่ควบช่วยเพิ่มความแข็งและความทนแรงกระแทก แต่ค่าความทนแรงดึงจะลดลง

Yam และคณะ [19] ทำการศึกษาวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) จากขวดนมและเส้นใยไม้สน โดยศึกษาเส้นใยที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงนำมาปรับปรุงด้วยความร้อนและอะเซทิเลต (Acetylate) พบว่าสามารถผสมกันได้ถึงร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยค่าความทนแรงดึงจะลดลง และเส้นใยที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงด้วยความร้อนและอะเซทิเลต จะมีสมบัติดีกว่าเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยความร้อน

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 ศึกษาผลกระทบจากการแปรเปลี่ยนปริมาณผงหนัง และสารเติมแต่งต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

3.1.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้

- เศษหนังสัตว์จากโรงงานฟอกหนัง
- ขวดน้ำพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้ว
- ยางรีเคลมจากบริษัท ยูเนี่ยนพัฒนกิจ จำกัด

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- เครื่องตัดย่อยพลาสติก
- เครื่องบดเศษหนังสัตว์
- เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)
- เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบอัดด้วยความร้อน (Thermal Compression Molding)
- เครื่องตัดชิ้นงาน
- แม่พิมพ์สำหรับตัดชิ้นงาน
- เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทก (YASUDA 199311)
- เครื่องทดสอบความแข็ง (Durometer)
- เครื่องทดสอบความทนแรงโค้งงอ
- เวอร์เนียร์
- เครื่องชั่ง
- ตู้อบ
- เครื่องคัดขนาด (Sieving Tester)
- ตระแกรงร่อนคัดขนาด 8 เมช และ 20 เมช

3.1.3 เตรียมวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูป

- บดขวดน้ำพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วด้วยเครื่องบดพลาสติก
- บดเศษหนังด้วยเครื่องบดเศษหนังสัตว์ได้ผงหนังขนาดประมาณ 3 มิลลิเมตร
- คัดขนาดผงหนังด้วยตระแกรงร่อนคัดขนาด 8 เมช และ 20 เมช

พบว่า ผงหนังขนาดใหญ่กว่า 8 เมช (2.36 – 3 มิลลิเมตร) มีปริมาณร้อยละ 57.34
ผงหนังขนาด 8-20 เมช (0.83 – 2.36 มิลลิเมตร) มีปริมาณร้อยละ 38.91
ผงหนังขนาดเล็กกว่า 20 เมช (น้อยกว่า 0.83 มิลลิเมตร) มีปริมาณร้อยละ 3.75
นำผงหนังมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเก็บในเดซิเคเตอร์เพื่อป้องกันการดูดความชื้น

3.1.4 วิธีการทดลอง

เตรียมส่วนผสมของวัสดุเชิงประกอบด้วยอัตราส่วนดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีน ผงหนัง และสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ

วัสดุ	อัตราส่วน (phr)
ขวดน้ำพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้ว	100
ผงหนังขนาดใหญ่กว่า 8 เมช	10 30 50 70 90
ผงหนังขนาด 8 - 20 เมช	10 30 50 70 90
ผงหนังไม่คัดขนาด	10 30 50 70 90
ยางรีเคลม	0 5 10 15

- ทำการผสมวัสดุเชิงประกอบด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
- นำวัสดุเชิงประกอบที่ผสมแล้วมาขึ้นรูปเพื่อนำไปทดสอบด้วยเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบอัดด้วยความร้อน (Thermal Compression Molding) ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส สามารถหลอมขึ้นรูปได้ที่เวลา 5 นาที
- ตัดชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM เพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

3.2 ศึกษาผลกระทบจากการปรับปรุงผงหนังด้วยสารประสานคู่ควบต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

3.2.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้

- เศษหนังสัตว์จากโรงงานฟอกหนัง
- ขวดน้ำพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้ว
- ยางรีเคลมจากบริษัท ยูเนี่ยนพัฒนกิจ จำกัด
- ไวนิลไซเลน (Vinyltris 2-methoxyethoxy silane)
- อะมิโนไซเลน (3-aminopropyl-triethoxysilane)

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.1

3.2.3 เตรียมวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูป

- การปรับปรุงผงหนังด้วยสารประสานคู่ควบไวนิลไซเลน และอะมิโนไซเลน โดยนำผงหนังไม่คัดขนาดแช่ลงในสารละลายน้ำที่มีไวนิลไซเลน และอะมิโนไซเลนที่ความเข้มข้น 5% (w/w) แล้วนำไปอบเพื่อระเหยตัวทำละลายออกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

3.2.4 วิธีการทดลอง

เตรียมส่วนผสมของวัสดุเชิงประกอบด้วยอัตราส่วนดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีน ผงหนังที่ปรับปรุงด้วยสารประสานคู่ควบ

วัสดุ	อัตราส่วน (phr)
ขวดน้ำพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้ว	100
ผงหนังที่ปรับปรุงด้วยไวนิลไซเลนความเข้มข้น 5% (w/w)	10 30 50 70 90
ผงหนังที่ปรับปรุงด้วยอะมิโนไซเลนความเข้มข้น 5% (w/w)	10 30 50 70 90
ยางรีเคลม	15

- ทำการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.1 แล้วตัดชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM เพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ตารางที่ 3.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM [20]

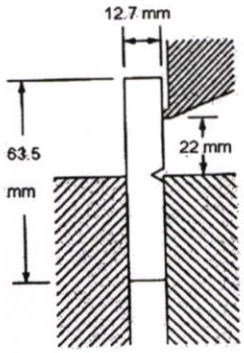
สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ	หน่วยรายงานผล
ความทนแรงกระแทก (Impact strength)	ASTM D 256	kJ/m^2
การดูดซับน้ำ (Water Absorption)	ASTM D 570	%
ความแข็ง (Hardness)	ASTM D 785	Shore D
ความทนแรงโค้งงอ (Flexural strength)	ASTM D 790	MPa
มอดูลัสโค้งงอ (Flexural modulus)	ASTM D 790	MPa

61639

3.3 การทดสอบ[21]

3.3.1 การทดสอบความทนแรงกระแทก (Impact test)

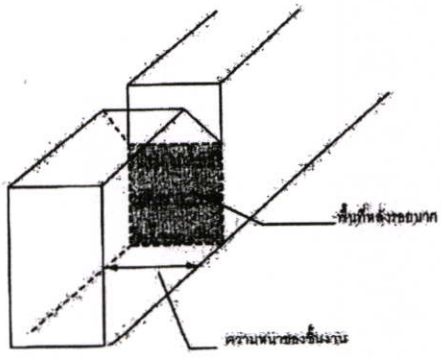
เป็นการใช้แรงกระแทกในการตัดชิ้นงานซึ่งมีรูปร่างเป็นคานยาว (beam) ให้เกิดการแตกหัก โดยใช้การทดสอบแบบไอซอด (Izod) ชิ้นงานทดสอบจะถูกจับยึดให้อยู่ในลักษณะแนวตั้งในลักษณะของคานยื่น (cantilever)



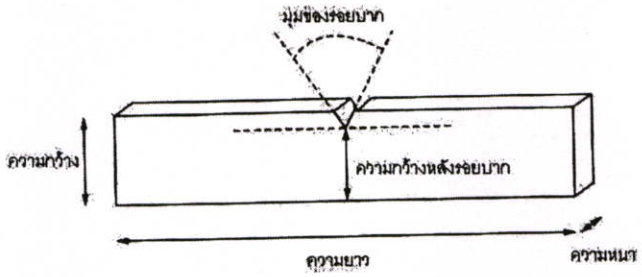
รูปที่ 3.1 การทดสอบแบบไอซอด

ผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบแบบนี้ มักจะรายงานในรูปของพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หลังของรอยบาก หรือพลังงานต่อความหนาของชิ้นงานทดสอบดังสมการที่ 3.1

$$\text{ความทนแรงกระแทก} = \frac{\text{พลังงานในการทำให้วัสดุแตกหัก (จูลส์)}}{\text{พื้นที่บริเวณหลังรอยบาก (ตารางมิลลิเมตร)}} \qquad (3.1)$$



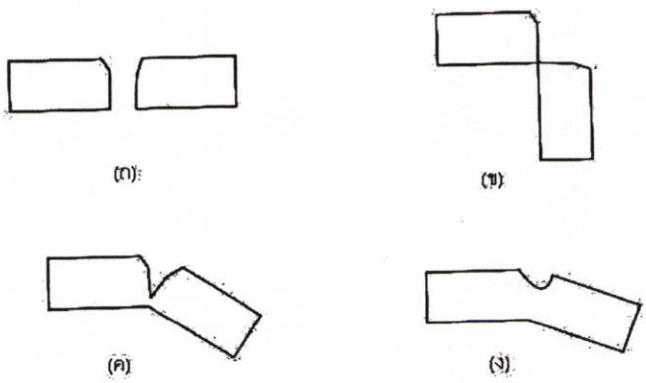
รูปที่ 3.2 หน่วยสำหรับพลังงานกระแทก



รูปที่ 3.3 ลักษณะของชิ้นงานทดสอบแบบไอซอด

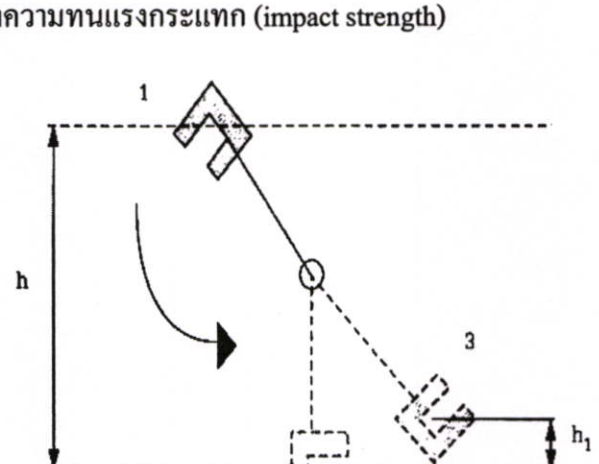
เมื่อชิ้นงานผ่านการทดสอบความทนแรงกระแทกแบบไอซอด ควรจะต้องมีการระบุว่าชิ้นงานมีการแตกหักหรือไม่ อย่างไร มีการกำหนดหลักเกณฑ์ในการตัดสินการเสียหายของชิ้นงานทดสอบแรงกระแทกไว้ดังนี้

- แตกหักสมบรูณ์ (complete break) ได้แก่ การที่ชิ้นงานเกิดการแตกหักอย่างสมบรูณ์และแยกออกจากกันเป็นสองชิ้นหรือมากกว่า
- แตกหักแบบบานพับ (hinge break) ได้แก่ การที่ชิ้นงานเกิดการแตกหักไม่สมบรูณ์ ชิ้นส่วนของชิ้นทดสอบยังคงติดอยู่กับเศษเนื้อที่มีความบางแต่ชิ้นงานด้านหนึ่งไม่สามารถที่จะรับน้ำหนักของชิ้นงานอีกด้านหนึ่งของรอยบากได้เมื่อถือชิ้นงานในแนวตั้งจะมีลักษณะคล้ายบานพับ
- แตกหักบางส่วน (partial break) ได้แก่ การที่ชิ้นงานเกิดการแตกหักไม่สมบรูณ์ โดยมีระยะการแตกหักอย่างน้อย 90% ของความกว้างของชิ้นงานหลังรอยบากและไม่มีลักษณะของการแตกหักแบบบานพับ
- ไม่แตกหัก (non-break) ได้แก่ การที่ชิ้นงานไม่เกิดการแตกหัก เพียงแต่เกิดการดัดงอหรือเกิดการฝ้าตัว (stress whitening) เท่านั้น



รูปที่ 3.4 ประเภทของความเสียหายของชิ้นงานทดสอบ (ก) แตกหักสมบรูณ์ (ข) แตกหักแบบบานพับ (ค) แตกหักบางส่วน (ง) ไม่แตกหัก

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



รูปที่ 3.5 หลักการของเทคนิคการทดสอบความทนแรงกระแทกแบบค้อนเหวี่ยง

1. จุดที่ 1 ตุ้มน้ำหนักมีพลังงานศักย์ = mgh
2. เมื่อตุ้มน้ำหนักเคลื่อนที่ตามแรงโน้มถ่วงลงมา พลังงานศักย์ที่สะสมไว้จะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ เมื่อตุ้มน้ำหนักกระแทกชิ้นงาน ณ จุดที่ 2 พลังงานจลน์จะสูญเสียไปในการทำให้ชิ้นงานแตกหัก
3. จุดที่ 3 หลังการกระแทก ตุ้มน้ำหนักมีพลังงานศักย์คงเหลือ = mgh_1
4. พลังงานการกระแทก = $(mgh) - (mgh_1)$

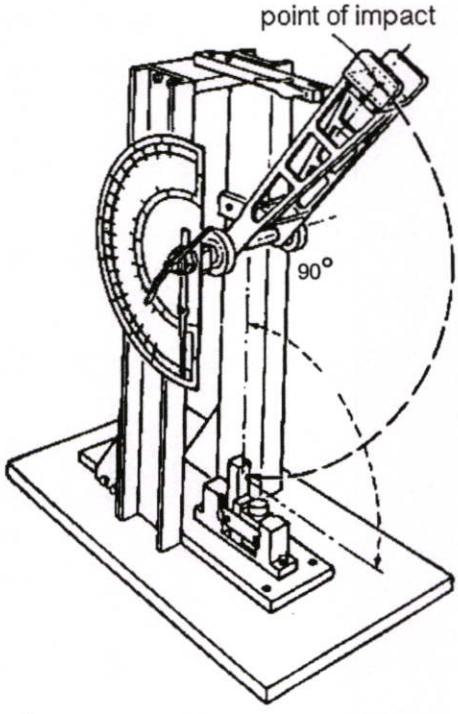
   $= mg(h-h_1)$

ดังนั้น พลังงานที่ใช้ในการกระแทกจะมีค่าเท่ากับพลังงานจลน์ที่ใช้ไปในการทำให้ชิ้นงานแตกหัก ประกอบด้วยพลังงาน 6 ส่วนหลักดังสมการที่ 2 ได้แก่ พลังงานในการทำให้ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation energy ; E_d) พลังงานในการทำให้เกิดรอยแตกในชิ้นงาน (Crack initial energy ; E_i) พลังงานในการทำให้รอยแตกขยายตัว (Crack propagation energy ; E_p)

พลังงานในการทำให้ชิ้นงานกระเด็นออกไป (Tossing energy ; E_t) พลังงานที่สูญเสียไปจากแรงเสียดทาน (Friction energy ; E_f) และพลังงานที่สูญเสียไปจากการสั่นสะเทือน (Vibration energy ; E_v)

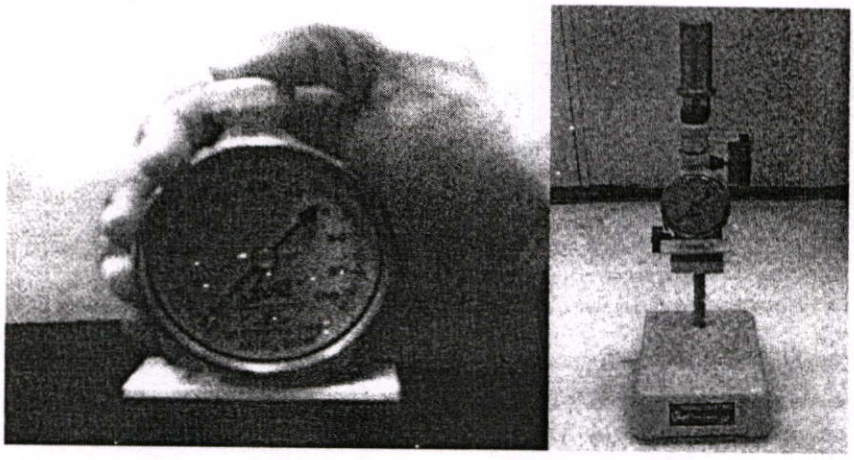
$$E_{impact} = E_d + E_i + E_p + E_t + E_f + E_v \qquad (3.2)$$

เครื่องทดสอบประเภทค้อนเหวี่ยงนี้จะประกอบไปด้วยฐานเครื่องที่มีขนาดหนักและจะต้องถูกติดตั้งอย่างแน่นหนาเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่และการสั่นสะเทือนที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ เพื่อป้องกันการสูญเสียพลังงานจากการกระแทก ที่บริเวณฐานเครื่องนี้จะต้องมีชุดจับยึด (clamping vise) เพื่อใช้ในการจับวางชิ้นงานทดสอบให้อยู่ในลักษณะที่ต้องการในระหว่างการทดสอบ ซึ่งจะถูกติดตั้งที่บริเวณจุดต่ำสุดของค้อนเหวี่ยง ในขณะที่ค้อนเหวี่ยงจะถูกติดตั้งร่วมกับชุดลูกปืนที่มีแรงเสียดทานต่ำ ค้อนเหวี่ยงประกอบด้วยแขนเหวี่ยงและหัวกระแทก โดยทั่วไปแล้วเครื่องทดอบสามารถสร้างความเร็วในการกระแทกที่ระดับ 3.46 เมตรต่อนาที และสามารถสร้างพลังงานกระแทกที่ระดับ 2.710-21.680 จูลส์ ขึ้นอยู่กับรุ่นของเครื่องทดสอบซึ่งมักจะเพียงพอต่อการทดสอบพลาสติกทั่วไป



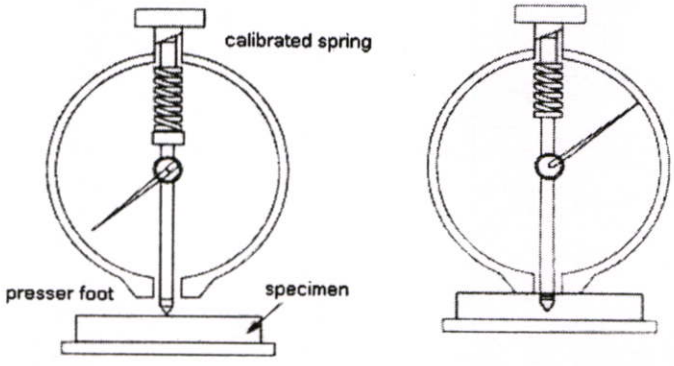
รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทกแบบค้อนเหวี่ยง

3.3.2 ความแข็ง (Hardness)

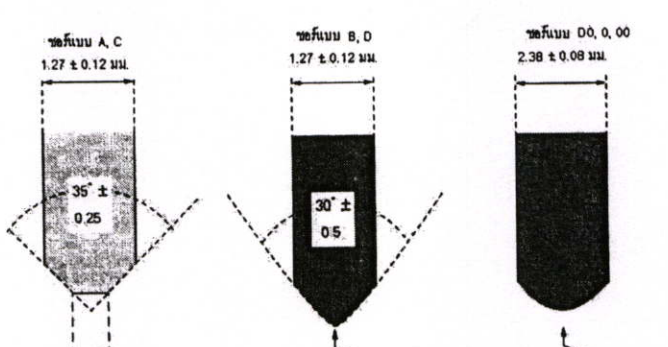


รูปที่ 3.7 เครื่องวัดความแข็ง (Shore D)

ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องวัดความแข็ง (Shore D) เป็นการทดสอบที่นิยมสำหรับวัสดุที่มีความแข็งไม่สูงมาก เช่น ยางและพลาสติก การทดสอบแบบนี้มีด้วยกันหลายประเภท ซึ่งการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาทดสอบ แรงกด และลักษณะของหัวกด เครื่องวัดความแข็งสเกลชอร์ มักจะมีลักษณะเป็นหน้าปัดขนาดพกพาได้ สามารถใช้มือจับเครื่องทดสอบเพื่อทำการทดสอบบนชิ้นงานหรืออาจนำไปติดตั้งบนฐานทดสอบเพื่อความถูกต้องในการทดสอบมากขึ้นก็ได้ ในการทดสอบนั้นจะให้แรงกดผ่านอุปกรณ์ลงไปยังชิ้นงานและจะใช้ความแข็งของสปริงกดเป็นส่วนที่ให้แรงแทนที่จะเป็นน้ำหนักกด โดยหัวทดสอบจะติดอยู่กับสปริงเชิงเส้นซึ่งมีค่าความแข็งที่ผ่านการสอบเทียบและมาตรวัดแล้ว เมื่อทำการทดสอบโดยให้แรงกดแก่อุปกรณ์ทดสอบลงยังชิ้นงานแรงจากสปริงจะส่งไปยังหัวทดสอบ ความลึกที่หัวทดสอบเจาะลงไปในชิ้นงานจะมีค่าแปรผกผันกับค่าความแข็งของชิ้นงานบนมาตรวัด โดยทั่วไปแล้วจะกำหนดให้อ่านค่าทดสอบที่ประมาณ 1 วินาทีหรือ 15 วินาทีหลังการกด



รูปที่ 3.8 หลักการทำงานของเครื่องวัดความแข็ง (Shore D)



รูปที่ 3.9 หัวกดของเครื่องวัดความแข็ง (Shore D)

3.3.3 การดูดซับน้ำ (Water absorption)

การหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำตามมาตรฐาน ASTM D 570

- นำชิ้นงานมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำชิ้นงานมาชั่งเป็นน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น
- นำชิ้นงานมาแช่น้ำในภาชนะปิดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานหลังจากการดูดซับน้ำมาชั่งเป็นน้ำหนักตัวอย่างเปียก
- หาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำจากสมการที่ 3.3

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างเปียก} - \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100 \qquad (3.3)$$

3.3.4 ความทนแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดูลัสโค้งงอ (Flexural modulus)

เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่มีลักษณะแข็งเปราะ ทดสอบโดยใช้การดัดงอแบบ 3 จุด เป็นการให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงานทดสอบและจุดรองรับในทิศทางตรงกันข้ามบริเวณปลายทั้งสองด้านที่มีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางเท่ากัน

ตามมาตรฐาน ASTM D 790 โดยลักษณะการทดสอบเป็นไปดังรูปที่ 3.10 และสภาวะในการทดสอบเป็นดังนี้

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

ค่าความทนแรงโค้งงอ ; $$\sigma_f = \frac{3/2}{bh^2}FL \quad (3.4)$$

มอดูลัสโค้งงอ ; $$E_b = \frac{L^3}{4bh^3} \times \frac{\Delta F}{\Delta d} \quad (3.5)$$

เมื่อ F แรงกด (N)

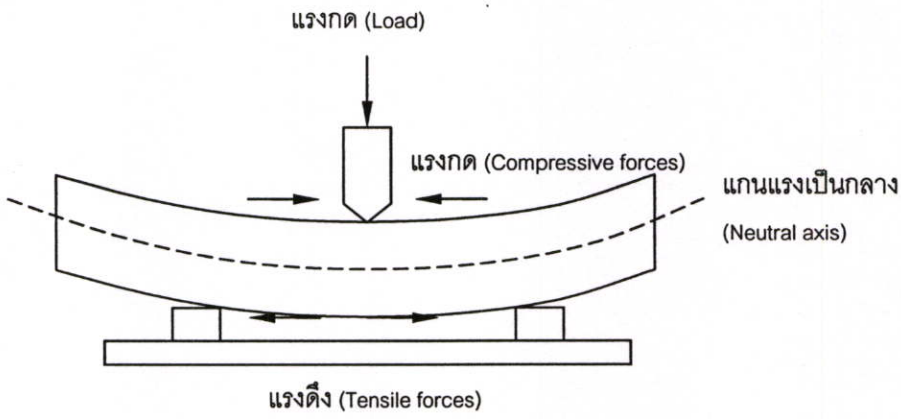
L Span length (mm)

b ความกว้างของตัวอย่าง (mm)

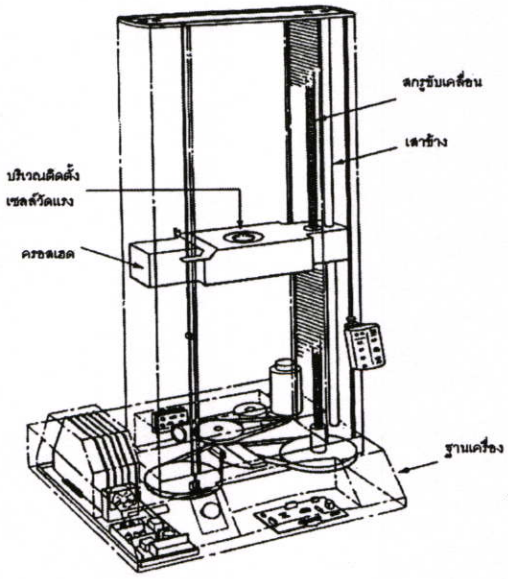
h ความหนาของตัวอย่าง (mm)

ΔF ผลต่างของแรงดึง (N)

Δd ระยะกดโค้งงอ (mm)



รูปที่ 3.10 แรงที่เกิดขึ้นในการทดสอบความทนแรงโค้งงอ



รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบ Universal machine

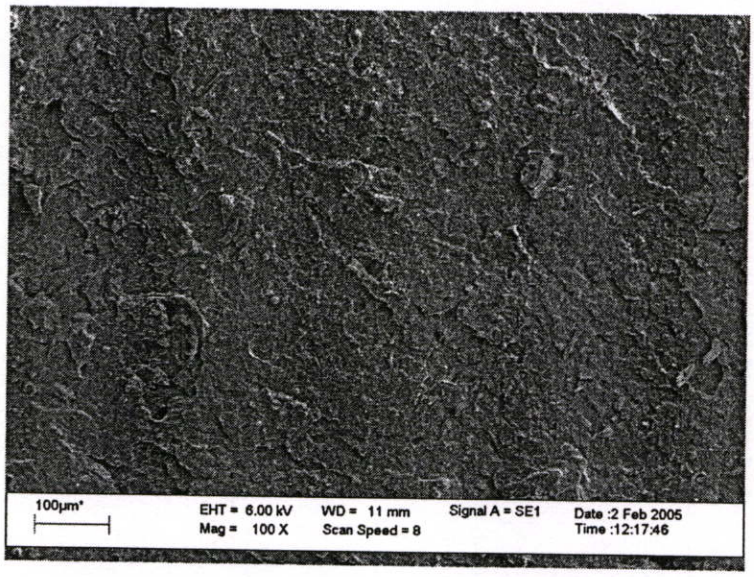
3.3.5 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

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

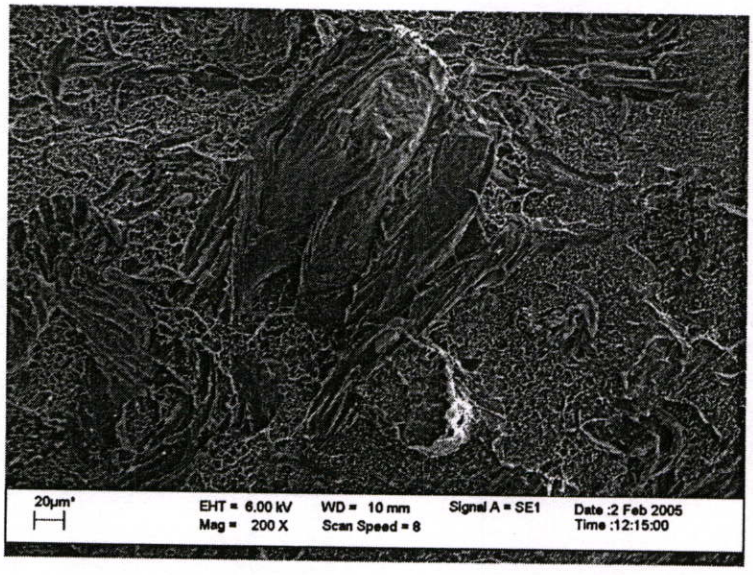
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การตรวจลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนกับผงหนัง

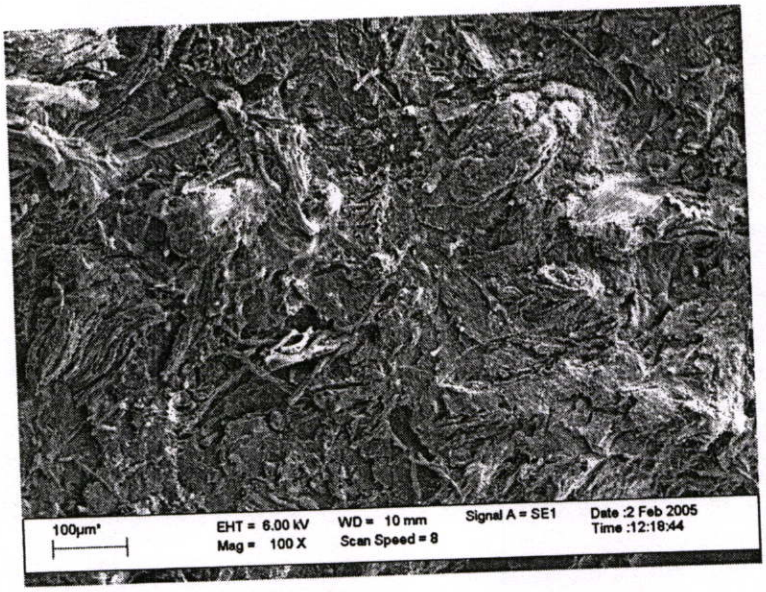


(ก)

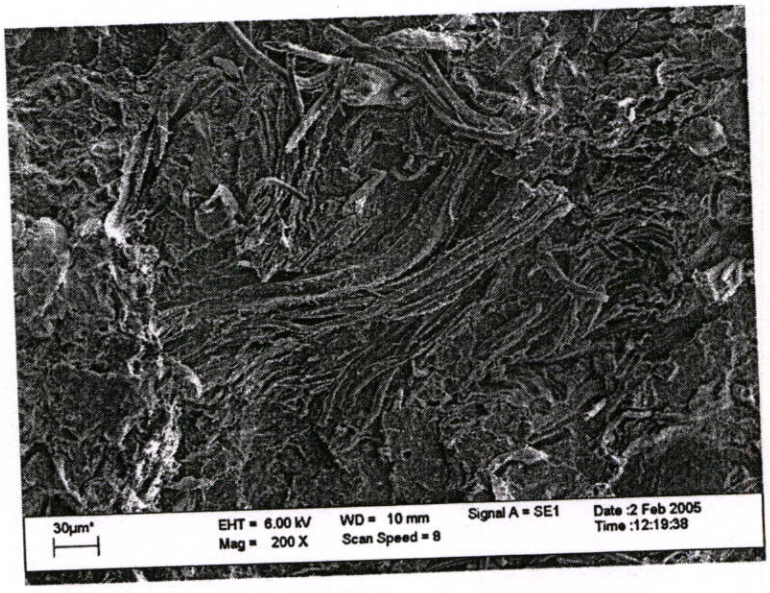


(ข)

รูปที่ 4.1 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่อัตราส่วนผงหนังขนาด 8-20 เมช 50 phr และยางรีเคลม 5 phr (ก) กำลังขยาย 100 เท่า (ข) กำลังขยาย 200 เท่า



(ก)



(ข)

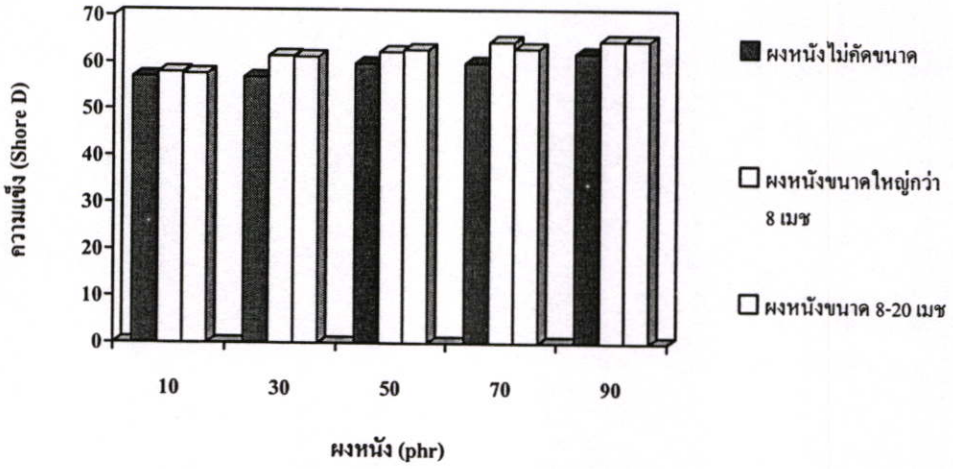
รูปที่ 4.2 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่อัตราส่วนผงหนังขนาดใหญ่กว่า 8 เมช 50 phr และยางรีเคลม 5 phr (ก) กำลังขยาย 100 เท่า (ข) กำลังขยาย 200 เท่า

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนกับผงหนัง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าผงหนังมีการกระจายยึดเกาะกับพอลิเอทิลีนได้ดี และผงหนังมีการจัดเรียงตัวแบบสุ่ม โดยที่ผงหนังขนาด 8-20 เมช (รูปที่ 4.1) จะมีการกระจายตัวของเส้นใยได้ดีกว่าผงหนังขนาดใหญ่กว่า 8 เมช (รูปที่ 4.2) ซึ่งมีขนาดใหญ่และมีช่องว่างในเนื้อวัสดุเชิงประกอบมากกว่าผงหนังขนาด 8-20 เมช

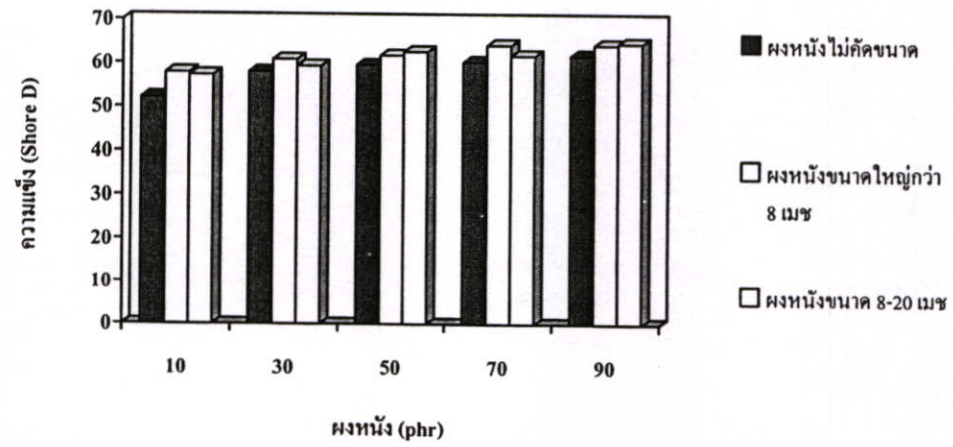
4.2 ผลการทดลองวัสดุเชิงประกอบที่อัตราส่วนต่าง ๆ

4.2.1 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบ

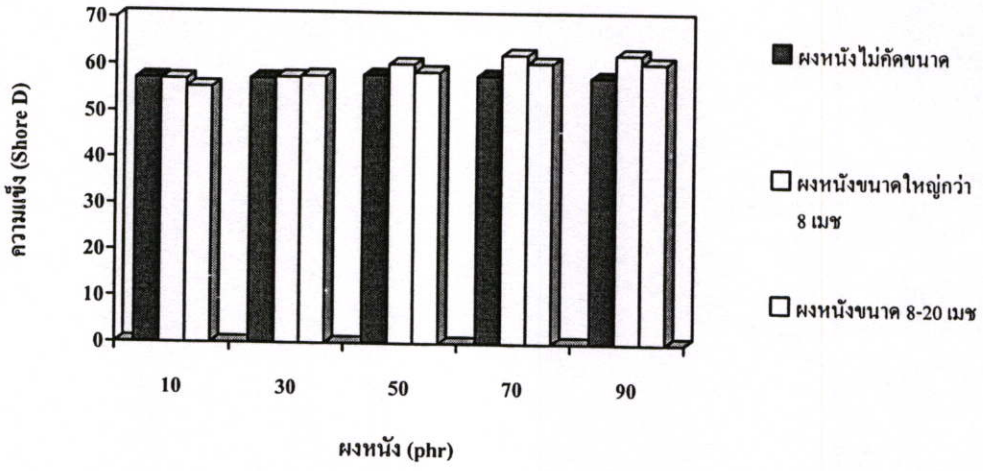
จากการทดสอบหาค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบ เมื่อปริมาณผงหนังอยู่ระหว่าง 10 - 90 phr และปริมาณยางรีเคลมอยู่ระหว่าง 0 -15 phr. ที่ผงหนังขนาดใหญ่กว่า 8 เมช ขนาด 8 - 20 เมช และผงหนังไม่คัดขนาด ดังแสดงในกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.3 - 4.6 พบว่า ค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณผงหนังเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยผงหนังที่แทรกอยู่ในเนื้อวัสดุช่วยเสริมแรงทำให้ความแข็งเพิ่ม แต่จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณยางรีเคลม เพราะยางช่วยให้วัสดุเชิงประกอบมีความอ่อนเพิ่มขึ้น โดยจะได้นำผลของค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบนี้ ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญในเชิงสถิติต่อไป



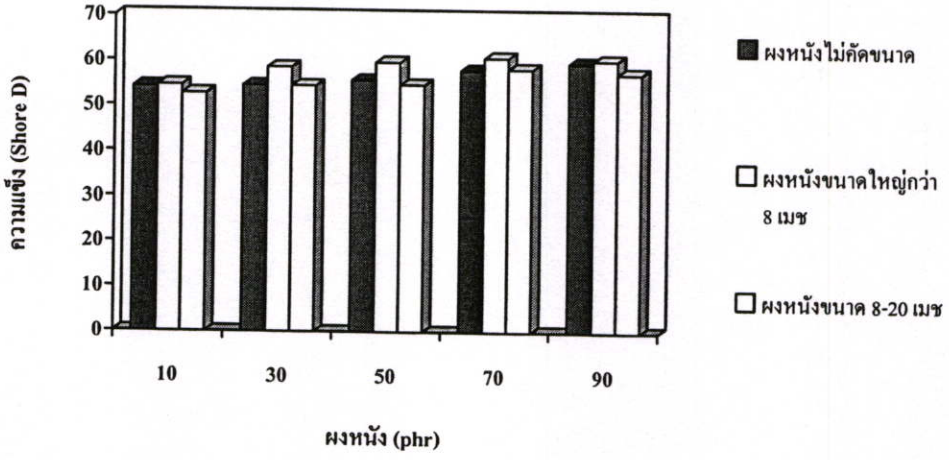
รูปที่ 4.3 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 0 phr



รูปที่ 4.4 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 5 phr



รูปที่ 4.5 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 10 phr

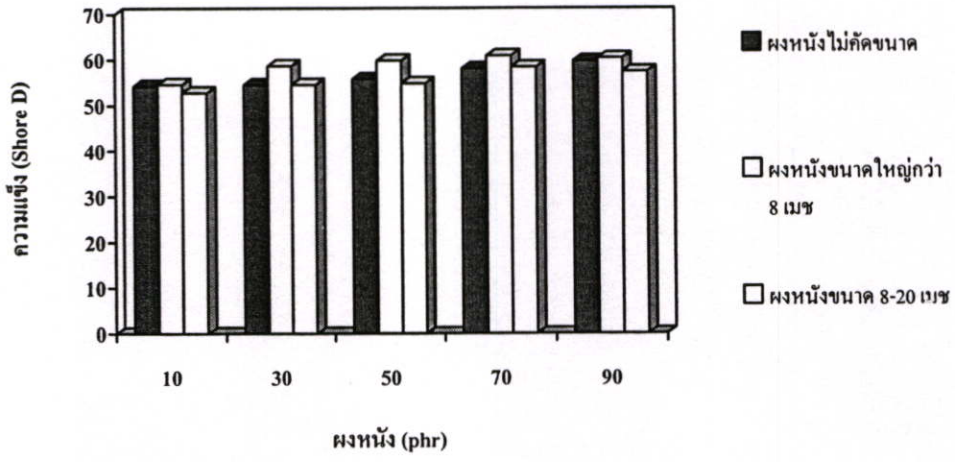


รูปที่ 4.6 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 15 phr

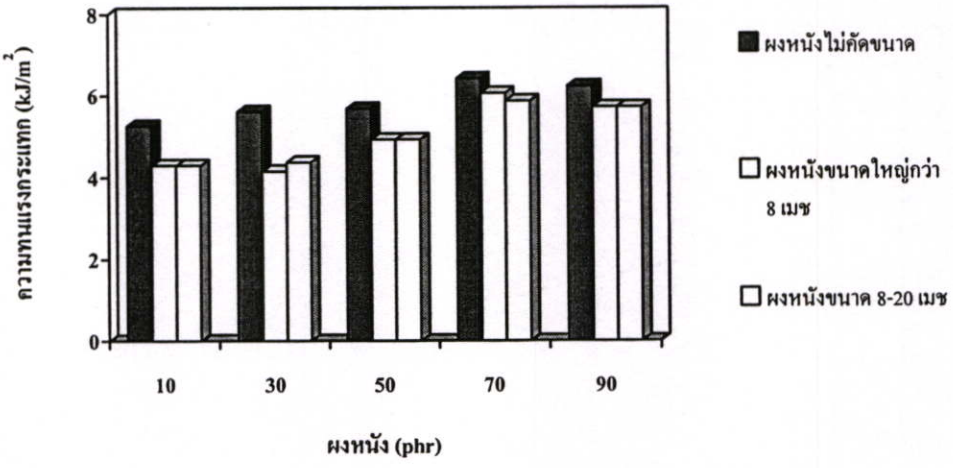
4.2.2 ความทนแรงกระแทก

จากการทดสอบหาค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ เมื่อปริมาณผงหนังอยู่ระหว่าง 10 - 90 phr และปริมาณยางรีเคลมอยู่ระหว่าง 0 -15 phr. ที่ผงหนังขนาดใหญ่กว่า 8 เมช ขนาด 8 - 20 เมช และผงหนังไม่คัดขนาด ดังแสดงในกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.7 - 4.10 พบว่าความทนแรงกระแทกจะมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามปริมาณของผงหนังจนถึง 70 phr และจะลดลงเมื่อปริมาณผงหนังมากกว่า 70 phr เนื่องจากที่อัตราส่วนของผงหนัง 70 phr วัสดุเชิงประกอบจะมีความสมดุลระหว่างผงหนังกับพอลิเอทิลีน เกิดการยึดติดและมีความหนาแน่นดีที่สุด ผลของปริมาณยางรีเคลมที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มความทนแรงกระแทกให้กับวัสดุเชิงประกอบเนื่องจากคุณสมบัติของยาง

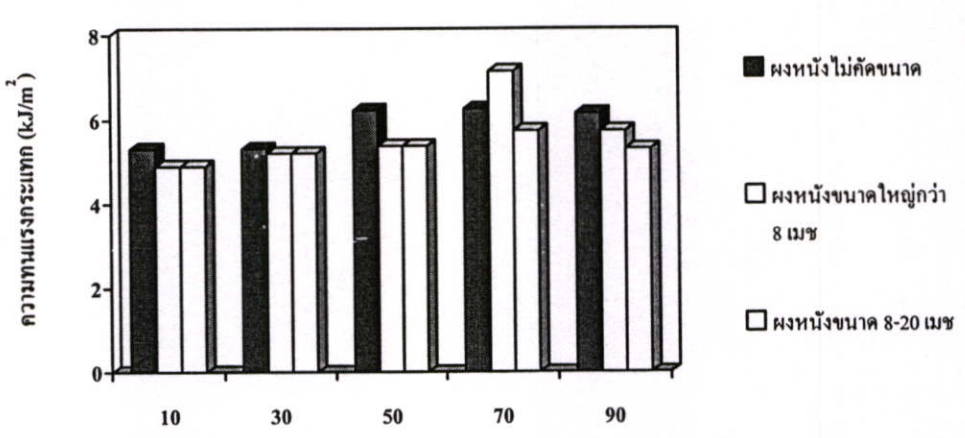
ที่มีความยืดหยุ่นสามารถรับและกระจายแรงได้ดี โดยจะได้นำผลของค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบนี้ ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญในเชิงสถิติต่อไป



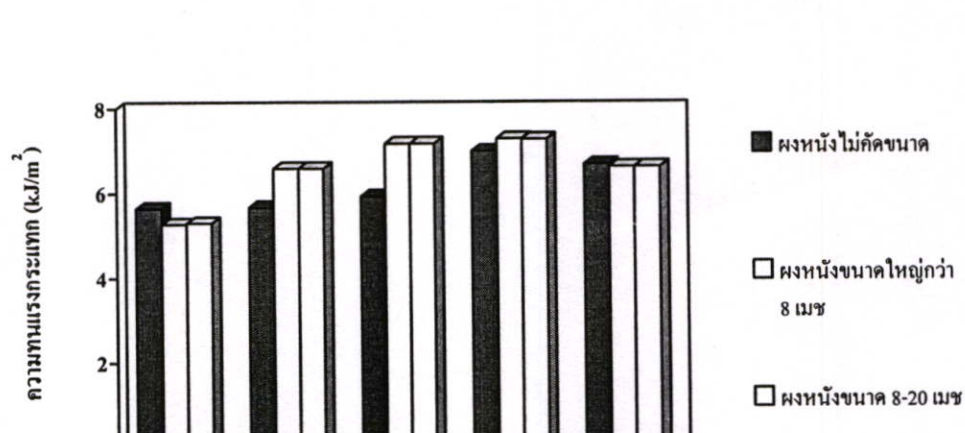
รูปที่ 4.7 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 0 phr



รูปที่ 4.8 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 5 phr



รูปที่ 4.9 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 10 phr

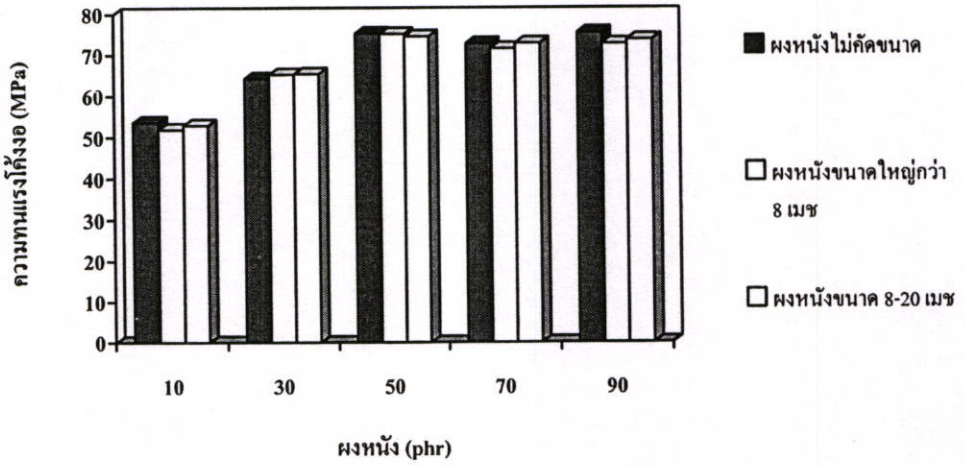


รูปที่ 4.10 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 15 phr

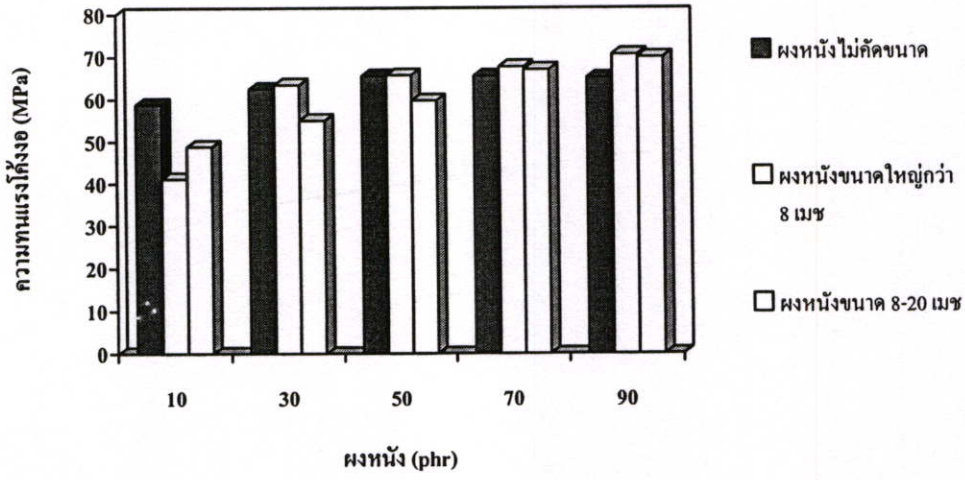
4.2.3 ความทนแรงโค้งงอ และมอดูลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบ

จากการทดสอบหาค่าความทนแรงโค้งงอ และมอดูลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบ เมื่อปริมาณผงหนังอยู่ระหว่าง 10 - 90 phr และปริมาณยางรีเคลมอยู่ระหว่าง 0 -15 phr. ที่ผงหนังขนาดใหญ่กว่า 8 เมช ขนาด 8 - 20 เมช และผงหนังไม่คัดขนาด ดังแสดงในกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.11 – 4.18 พบว่า ค่าความทนแรงโค้งงอ และมอดูลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณผงหนังเพิ่มขึ้น แต่มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณยางรีเคลมเนื่องจากคุณสมบัติของเขม่าดำที่มีอยู่ในยางรีเคลมเป็นตัวช่วยเพิ่มความทนแรงกระแทกแต่ด้อยในความทนแรงโค้งงอ

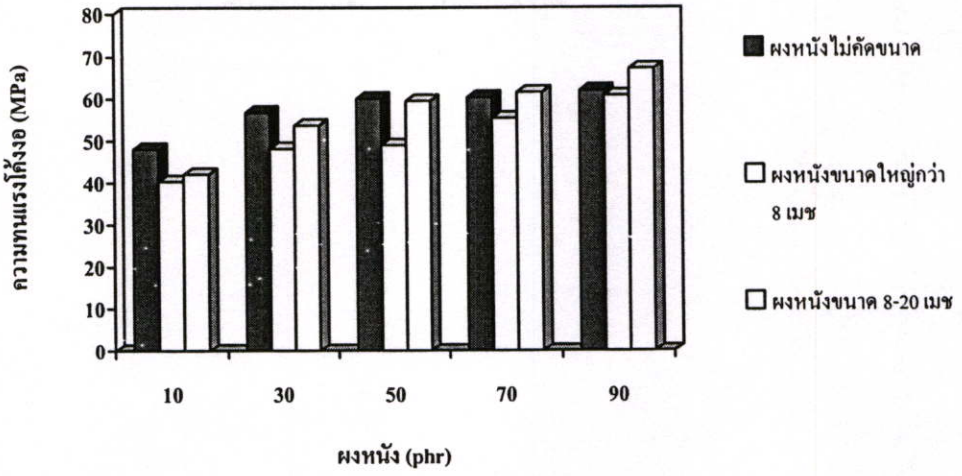
และมอดูลัสโค้งงอ โดยจะได้นำผลของค่าความทนแรงโค้งงอ และมอดูลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบนี้ ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญในเชิงสถิติต่อไป



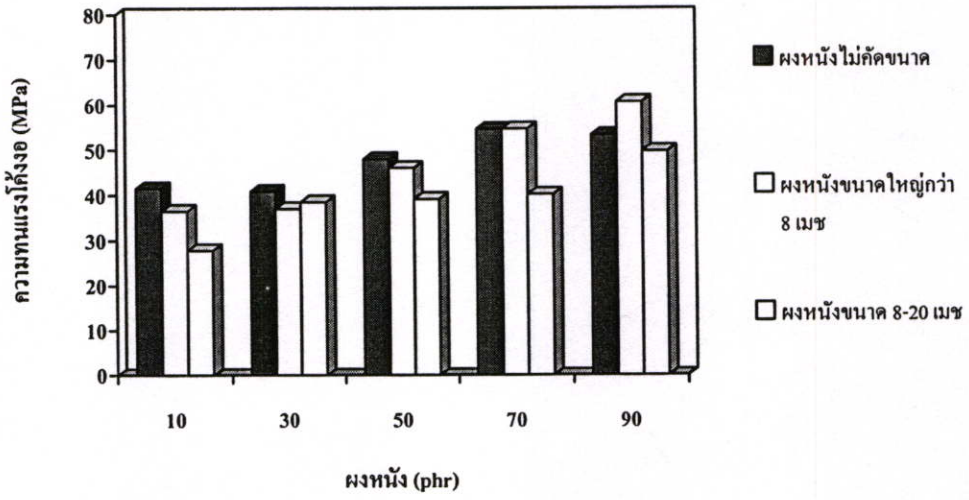
รูปที่ 4.11 ความทนแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 0 phr



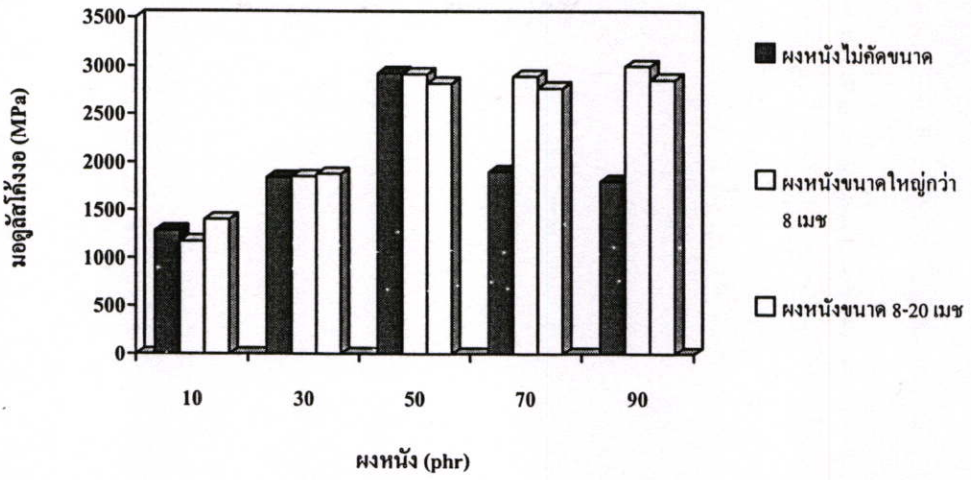
รูปที่ 4.12 ความทนแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 5 phr



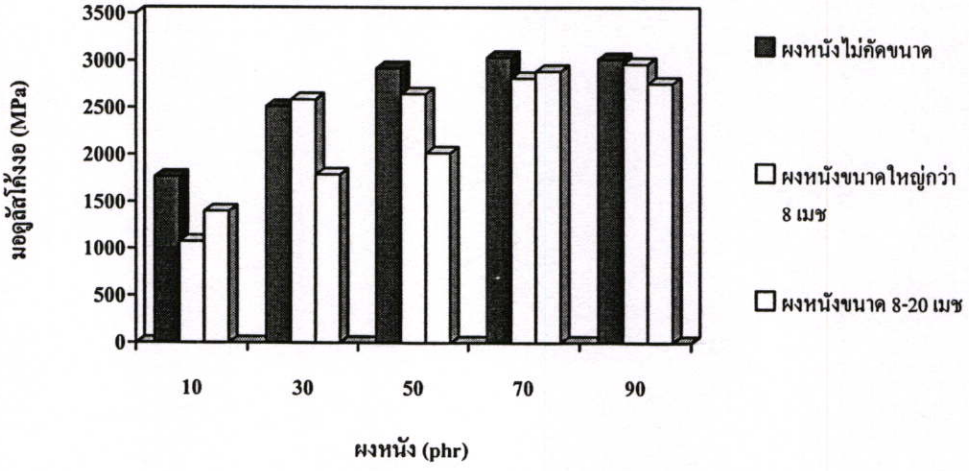
รูปที่ 4.13 ความทนแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 10 phr



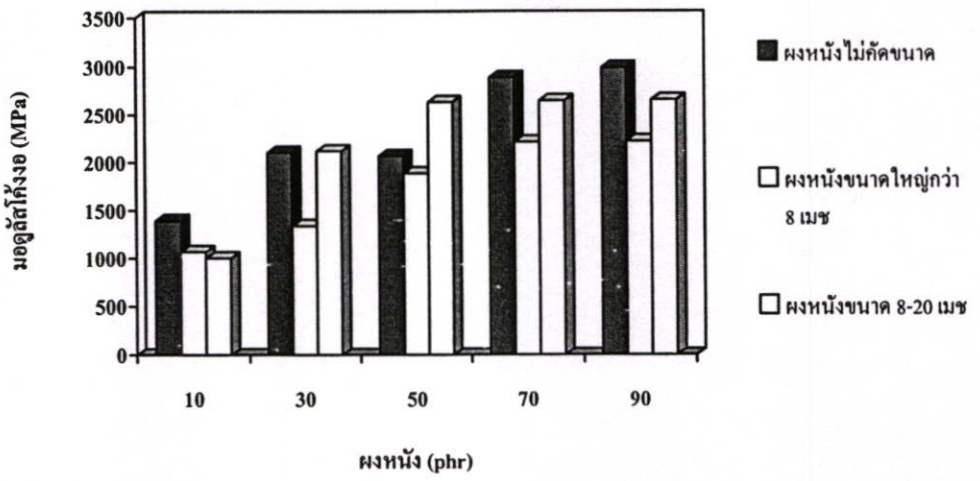
รูปที่ 4.14 ความทนแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 15 phr



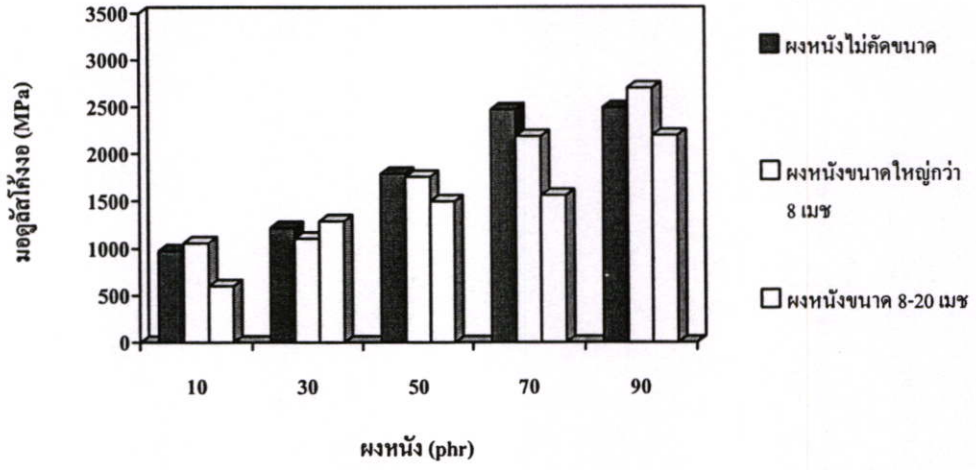
รูปที่ 4.15 มอดูลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 0 phr



รูปที่ 4.16 มอดูลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 5 phr



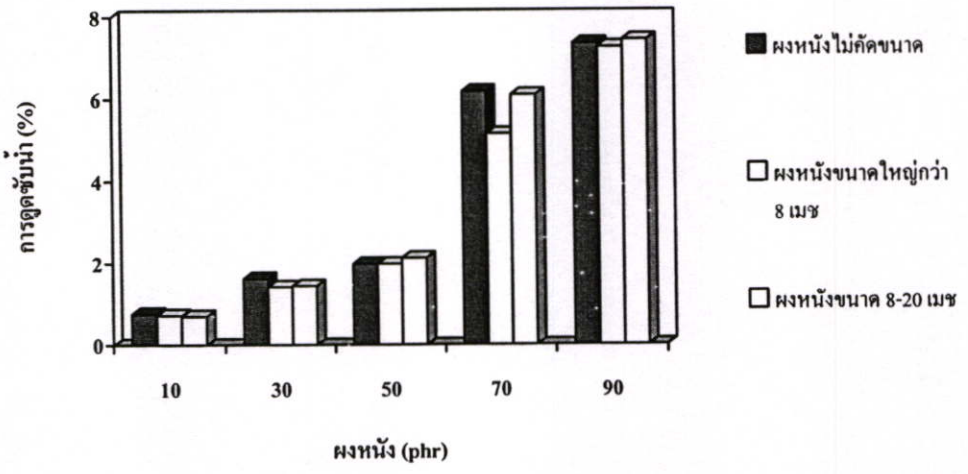
รูปที่ 4.17 มอดูลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 10 phr



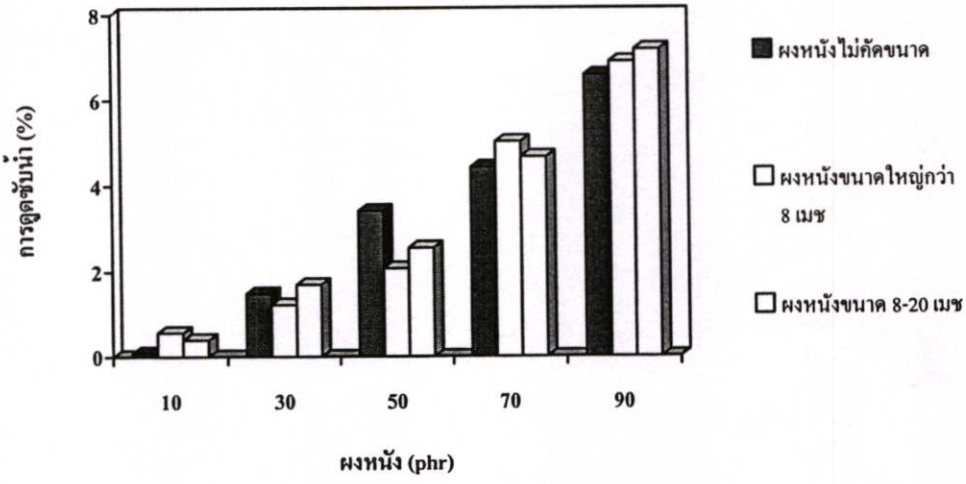
รูปที่ 4.18 มอดูลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 15 phr

4.2.4 การดูดซับน้ำ

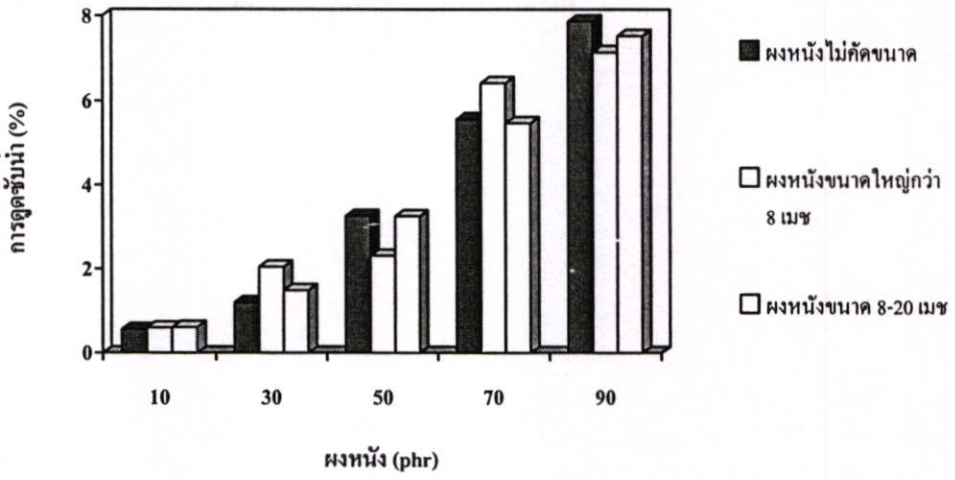
จากการทดสอบหาค่าการดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบ เมื่อปริมาณผงหนังอยู่ระหว่าง 10 - 90 phr และปริมาณยางรีเคลมอยู่ระหว่าง 0 -15 phr ที่ผงหนังขนาดใหญ่กว่า 8 เมช ขนาด 8 - 20 เมช และผงหนังไม่คัดขนาด ดังแสดงในกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.19 – 4.22 พบว่า เส้นใยผงหนังสามารถดูดซับน้ำได้ดี เมื่อวัสดุเชิงประกอบมีเส้นใยผงหนังแทรกอยู่ในปริมาณที่มากขึ้นก็ยิ่งทำให้เกิดความพรุนในเนื้อวัสดุมากขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้ดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น โดยจะได้นำผลของค่าการดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบนี้ ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญในเชิงสถิติต่อไป



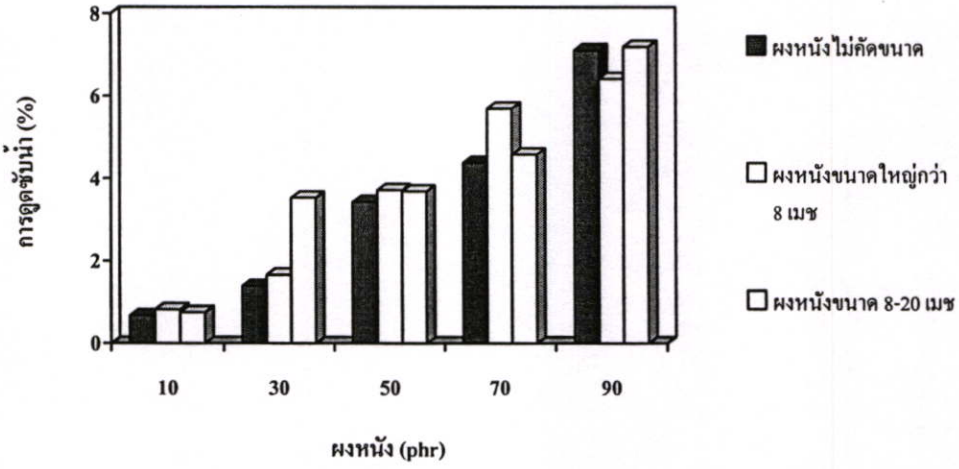
รูปที่ 4.19 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 0 phr



รูปที่ 4.20 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 5 phr



รูปที่ 4.21 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 10 phr



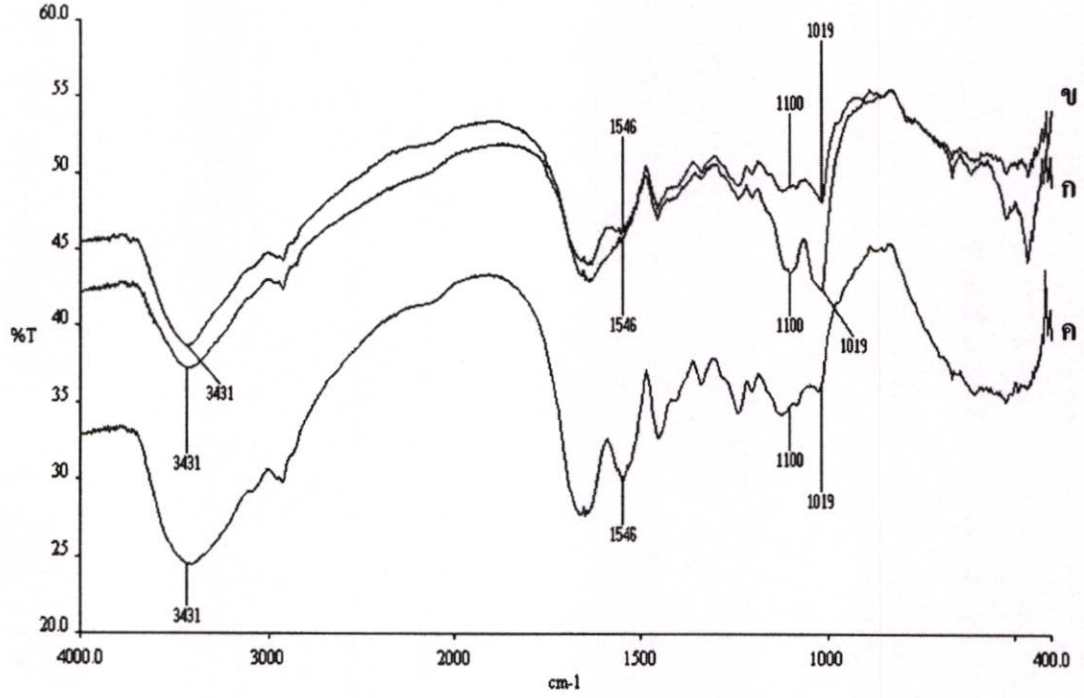
รูปที่ 4.22 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณยางรีเคลม 15 phr

4.2.5 การตอกยึดติดตะปู

พบว่า ปริมาณผงหนังที่เพิ่มขึ้นทำให้การตอกยึดติดตะปูลดลง เนื่องจากเส้นใยผงหนังที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความพรุนในโครงสร้างเพิ่มขึ้น โดยที่วัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณผงหนัง 90 phr เมื่อตอกตะปูจะมีรอยแตกเกิดขึ้น ส่วนผลของปริมาณยางรีเคลมที่เพิ่มขึ้นช่วยให้การตอกยึดติดตะปูดีขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติของยางที่ช่วยการยึดติดได้ดี

4.3 ผลการทดลองวัสดุเชิงประกอบเมื่อมีการปรับปรุงผงหนัง (ไม่คัดขนาด) ด้วยสารประสานคู่ควบ

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผงหนังที่ทำการปรับปรุงด้วยอะมิโนไซเลน และไวนิลไซเลนในสารละลายน้ำด้วยเทคนิค FT-IR แสดงดังรูปที่ 4.23



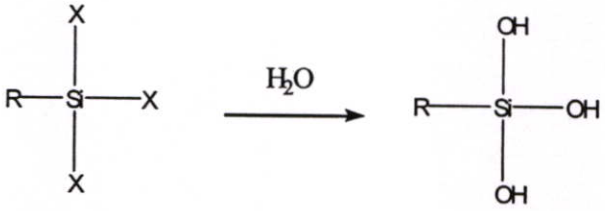
รูปที่ 4.23 สเปกตรัม FT-IR ของผงหนัง (ก) ไม่ปรับปรุง (ข) ปรับปรุงด้วยไวนิลไซเลน (ค) ปรับปรุงด้วยอะมิโนไซเลน

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผงหนังด้วยเทคนิค FT-IR พบว่า เมื่อทำการปรับปรุงผงหนังด้วยอะมิโนไซเลน และไวนิลไซเลนในสารละลายน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงพีคเกิดขึ้นที่ช่วงคลื่น 1015-1095 cm-1 ซึ่งที่ช่วงคลื่นดังกล่าว เป็นช่วงจำนวนคลื่นของหมู่ฟังก์ชันของ Si–O–Si [22] ซึ่งก็คือ พันธะไซโลเซน (siloxane bonding) ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าผงหนังที่ทำการปรับปรุงด้วยไวนิลไซเลน และอะมิโนไซเลน สิ่งที่เกิดขึ้นกับผงหนังหลังปรับปรุง ก็คือ การเกิดพันธะไซโลเซน ซึ่งพันธะไซโลเซนที่เกิดขึ้นนี้ที่เป็นตัวเชื่อมโยงให้ไซเลนยึดเกาะกับผงหนัง อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR นี้ ไม่สามารถบ่งบอกชนิดหรือรูปแบบของหมู่อัลคิล (-R) ในโมเลกุลของไซเลนได้อย่างชัดเจน เพียงระบุมีพันธะไซโลเซนอยู่เท่านั้น

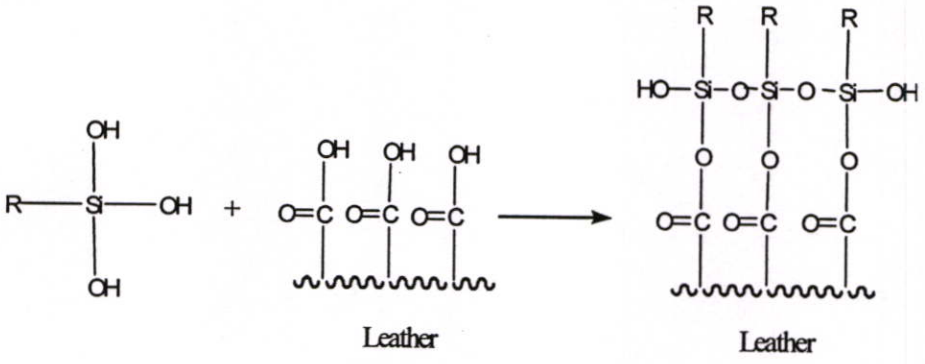
แสดงกลไกการยึดเกาะของไซเลนกับผงหนัง ได้ดังนี้คือ

ขั้นที่ 1 หมู่ X เช่น คลอโร, มีทอกซี, อีทอกซี, มีทอกซีอีทอกซี ถูกไฮโดรไลซ์ได้เป็นหมู่ไซลานอล (Si-OH) ดังสมการที่ 4.1

ขั้นที่ 2 ซิลานอลเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ OH ที่พื้นผิวของผงหนังเกิดเป็นพันธะไซโลเซน (Si-O-Si) ระหว่างสารประสานคู่ควบกับผงหนัง ดังสมการที่ 4.1



(4.1)



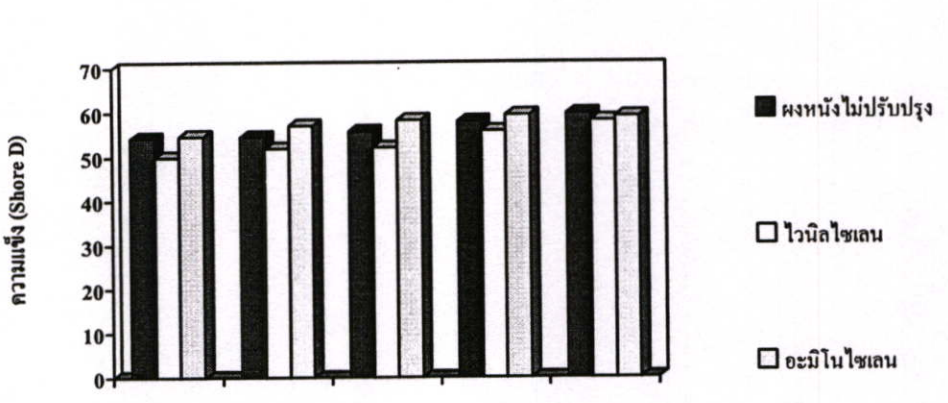
(4.2)

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

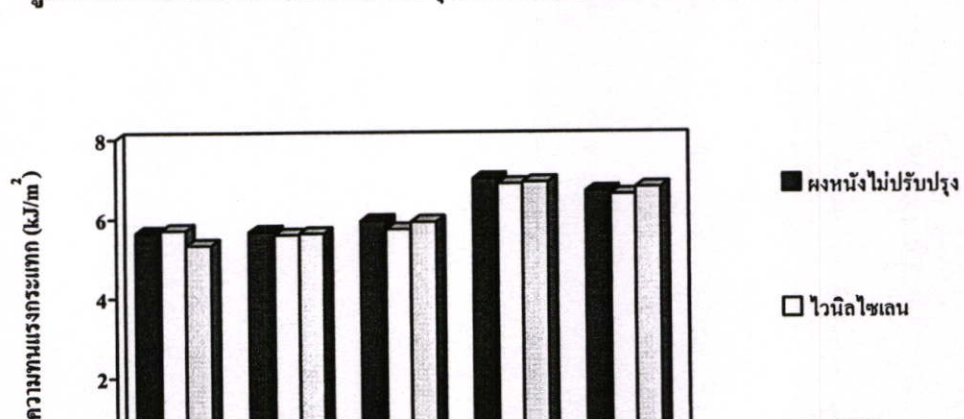
ไวนิลไซเลน R คือ $-CH=CH_2$ และ X คือ $-OCH_2CH_2OCH_3$

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบเมื่อใช้สารประสานคู่ควบไวนิลไซเลน 5%(w/w) และอะมิโนไซเลน 5%(w/w) ดังรูปที่ 4.24 – 4.28 พบว่า การใช้สารประสานคู่ควบทั้งสองชนิดจะให้สมบัติเชิงกลไม่แตกต่างกันเนื่องจากเกิดพันธะชนิดเดียวกัน และความทนแรงกระแทก ความแข็ง ความทนแรงโค้งงอ และมอดูลัสโค้งงอมีค่าใกล้เคียงกับวัสดุเชิงประกอบที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงผงหนังด้วยสารประสานคู่ควบ แต่การดูดซับน้ำจะมีค่าลดลงอย่างมากจากการปรับปรุงผงหนังด้วยสารประสานคู่ควบเมื่อเทียบกับวัสดุเชิงประกอบที่ผงหนังไม่ได้ทำการปรับปรุง เมื่ออัตราส่วนของผงหนังที่ใช้มากกว่า 50 phr แต่ที่อัตราส่วนของผงหนังที่ 10 และ 30 phr จะให้ค่าการดูดซับน้ำที่มากกว่าสามารถอธิบายได้จากสมการ 4.2

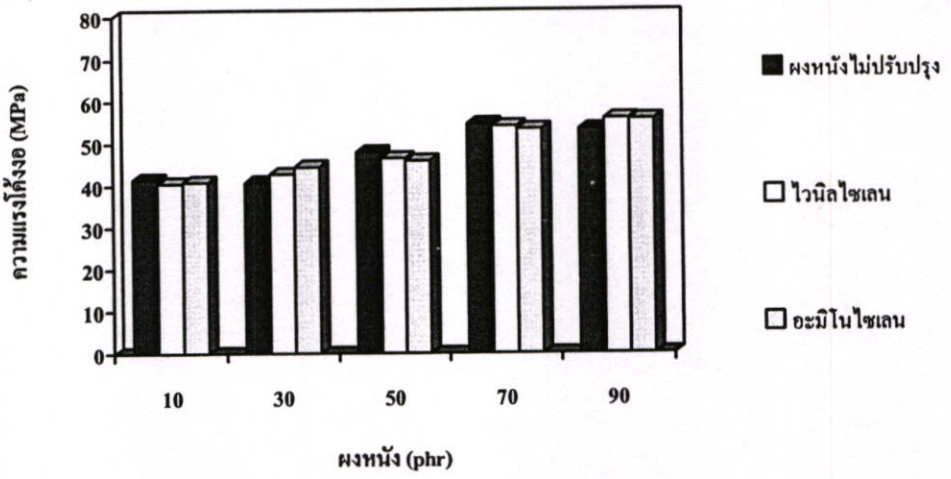
ทั้งนี้เพราะในสมการ 4.2 การเตรียมสารละลายไซเลนโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ไซเลนจะเกิดไฮโดรไลส์ และจับตัวกันด้วยหมู่ไฮดรอกซิล เมื่อปริมาณของผงหนังไม่มากพอที่จะเกิดการควบแน่นของหมู่ไฮดรอกซิล จึงทำให้เกิดการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิล แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของผงหนังมากกว่า 50 phr จะมีปริมาณมากพอที่จะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลควบแน่น เป็นพันธะไซโลเซนเพิ่มขึ้น จึงทำให้ลดความมีขั้วของผงหนังทำให้เกิดการดูดซับน้ำลดลง



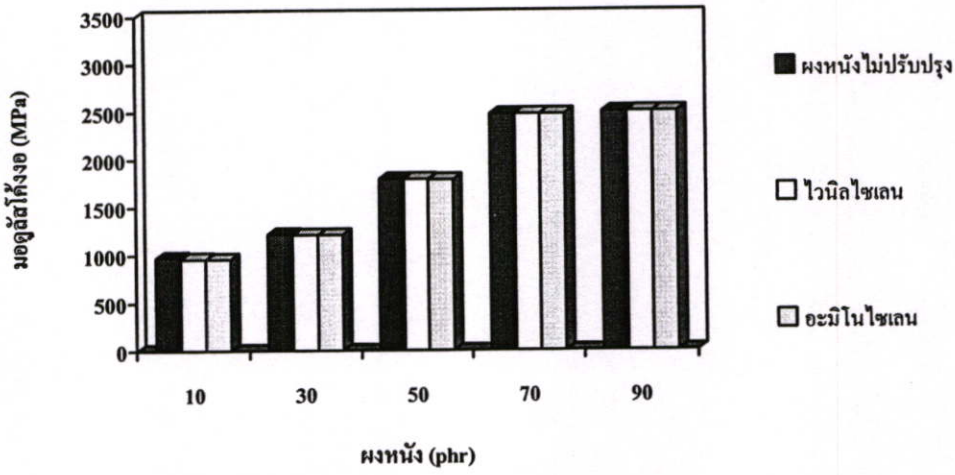
รูปที่ 4.24 ความแข็งเมื่อมีการปรับปรุงผงหนัง (ไม่คัดขนาด) ด้วยไซเลน



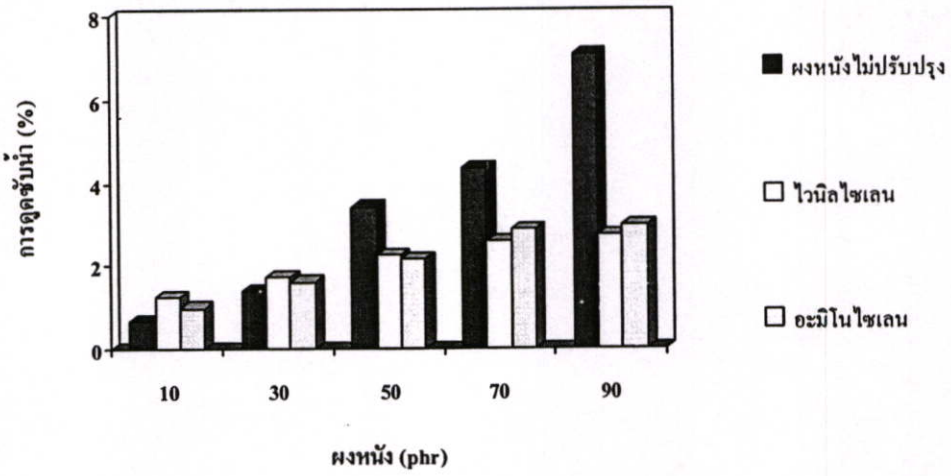
รูปที่ 4.25 ความทนแรงกระแทกเมื่อมีการปรับปรุงผงหนัง (ไม่คัดขนาด) ด้วยไซเลน



รูปที่ 4.26 ความทนแรงโค้งงอเมื่อมีการปรับปรุงผงหนัง (ไม่คัดขนาด) ด้วยไซเลน



รูปที่ 4.27 มอดูลัสโค้งงอเมื่อมีการปรับปรุงผงหนัง (ไม่คัดขนาด) ด้วยไซเลน



รูปที่ 4.28 การดูดซับน้ำเมื่อมีการปรับปรุงผงหนัง (ไม่คัดขนาด) ด้วยไซเลน

เมื่อทำการเปรียบเทียบวัสดุเชิงประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นมีสมบัติเชิงกลที่สามารถนำไปใช้แทนไม้แบบก่อสร้างได้ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบสมบัติวัสดุเชิงประกอบที่ผงหนังไม่คัดขนาด 70 phr กับไม้แบบก่อสร้าง

วัสดุ	สมบัติ		
	ความทนแรงกระแทก (kJ/m^2)	ความทนแรงโค้งงอ (MPa)	การดูดซับน้ำ (%)
ไม้แบบก่อสร้าง	3.5	60	28
ผงหนังไม่คัดขนาด 70 phr ยางรีเคลม 0 phr	3.5	72.8	6.2
ผงหนังไม่คัดขนาด 70 phr ยางรีเคลม 5 phr	6.4	65.5	4.4
ผงหนังไม่คัดขนาด 70 phr ยางรีเคลม 10 phr	6.3	60.2	5.5
ผงหนังไม่คัดขนาด 70 phr ยางรีเคลม 15 phr	6.9	54.2	6.3
ผงหนังที่ปรับปรุงด้วยไวนิลไซเลน ยางรีเคลม 15 phr	6.7	53.9	2.6
ผงหนังที่ปรับปรุงด้วยอะมิโนไซเลน ยางรีเคลม 15 phr	6.9	53.3	2.7

4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ

โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 เพื่อทดสอบสมมติฐานในบทที่ 1

จากสมมติฐานของการวิจัยในบทที่ 1 ข้อ 1.3.1 วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ขนาดของผงหนังที่แตกต่างกัน จะให้คุณสมบัติของวัสดุที่ไม่แตกต่างกัน

ผลลัพธ์ที่ได้มาจากการทดสอบสมมติฐานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (ANOVA) เป็นดังนี้

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
IMPACT	Between Groups	.773	2	.387	.533	.590
	Within Groups	30.437	42	.725		
	Total	31.211	44			
HARDNESS	Between Groups	57.655	2	28.828	3.502	.039
	Within Groups	345.711	42	8.231		
	Total	403.367	44			
WATER	Between Groups	.333	2	.166	.027	.974
	Within Groups	260.297	42	6.198		
	Total	260.630	44			
STRENGTH	Between Groups	141.006	2	70.503	.594	.557
	Within Groups	4983.231	42	118.648		
	Total	5124.236	44			
MODULUS	Between Groups	838357.1	2	419178.556	.857	.432
	Within Groups	2.1E+07	42	489049.605		
	Total	2.1E+07	44			

ค่า sig. ของค่าความทนแรงกระแทก (Impact)มากกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ขนาดของผงหนังที่แตกต่างกัน มีค่าความทนแรงกระแทกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า sig. ของค่าความแข็ง (Hardness) น้อยกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ขนาดของผงหนังที่แตกต่างกัน มีค่าความแข็งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า sig. ของเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ(Water) มากกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ขนาดของผงหนังที่แตกต่างกัน มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า sig. ของความทนแรงโค้งงอ (Strength) มากกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ขนาดของผงหนังที่แตกต่างกัน มีค่าความทนแรงโค้งงอ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า sig. ของมอดูลัสโค้งงอ (Modulus)มากกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ขนาดของผงหนังที่แตกต่างกัน มีค่ามอดูลัสโค้งงอไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากสมมติฐานของการวิจัยในบทที่ 1 ข้อ 1.3.2 วัสดุเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนของสารเติมแต่งที่แตกต่างกัน จะให้คุณสมบัติของวัสดุที่ไม่แตกต่างกัน

ผลลัพธ์ที่ได้มาจากการทดสอบสมมติฐานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (ANOVA) เป็นดังนี้

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
IM	Between Groups	10.758	2	5.379	11.046	.000
	Within Groups	20.452	42	.487		
	Total	31.211	44			
H	Between Groups	92.226	2	46.113	6.225	.004
	Within Groups	311.141	42	7.408		
	Total	403.367	44			
W	Between Groups	2.080	2	1.040	.169	.845
	Within Groups	258.549	42	6.156		
	Total	260.630	44			
S	Between Groups	2261.970	2	1130.985	16.596	.000
	Within Groups	2862.267	42	68.149		
	Total	5124.236	44			
M	Between Groups	4300556	2	2150278.214	5.288	.009
	Within Groups	1.7E+07	42	406616.288		
	Total	2.1E+07	44			

ค่า sig. ของค่าความทนแรงกระแทก (Impact) น้อยกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนของสารเติมแต่งที่แตกต่างกัน มีค่าความทนแรงกระแทกที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า sig. ของค่าความแข็ง (Hardness)น้อยกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนของสารเติมแต่งที่แตกต่างกัน มีค่าความแข็งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า sig. ของเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ(Water) มากกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนของสารเติมแต่งที่แตกต่างกัน มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า sig. ของความทนแรงโค้งงอ (Strength) น้อยกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนของสารเติมแต่งที่แตกต่างกัน มีค่าความทนแรงโค้งงอที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า sig. ของมอดูลัสโค้งงอ (Modulus) น้อยกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่มีอัตราส่วนของสารเติมแต่งที่แตกต่างกัน มีค่ามอดูลัสโค้งงอที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากสมมติฐานของการวิจัยในบทที่ 1 ข้อ 1.3.3 วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบจะให้คุณสมบัติของวัสดุไม่แตกต่างจากวัสดุเชิงประกอบที่ไม่ใช้สารประสานคู่ควบ

ผลลัพธ์ที่ได้มาจากการทดสอบสมมติฐานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (ANOVA) เป็นดังนี้

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
IMPACT	Between Groups	2.465E-02	1	2.465E-02	.066	.802
	Within Groups	4.880	13	.375		
	Total	4.905	14			
HARDNESS	Between Groups	2.296	1	2.296	.241	.632
	Within Groups	123.977	13	9.537		
	Total	126.273	14			
WATER	Between Groups	10.621	1	10.621	5.380	.037
	Within Groups	25.662	13	1.974		
	Total	36.283	14			
STRENGTH	Between Groups	.316	1	.316	.008	.929
	Within Groups	496.802	13	38.216		
	Total	497.118	14			
MODULUS	Between Groups	22.533	1	22.533	.000	.994
	Within Groups	5910777	13	454675.147		
	Total	5910799	14			

ค่า sig. ของค่าความทนแรงกระแทก (Impact)มากกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบ และไม่ใช้สารประสานคู่ควบมีค่าความทนแรงกระแทกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า sig. ของค่าความแข็ง (Hardness) มากกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบ และไม่ใช้สารประสานคู่ควบมีค่าความแข็งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า sig. ของการดูดซับน้ำ(Water) น้อยกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบ และไม่ใช้สารประสานคู่ควบมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า sig. ของความทนแรงโค้งงอ (Strength)มากกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบ และไม่ใช้สารประสานคู่ควบ มีค่าความทนแรงโค้งงอไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า sig. ของมอดูลัสโค้งงอ (Modulus)มากกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบ และไม่ใช้สารประสานคู่ควบ มีค่ามอดูลัสโค้งงอไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากสมมติฐานของการวิจัยในบทที่ 1 ข้อ 1.3.4 วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบต่างชนิดกันจะให้คุณสมบัติของวัสดุไม่แตกต่างกัน

ผลลัพธ์ที่ได้มาจากการทดสอบสมมติฐานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (ANOVA) เป็นดังนี้

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
IMPACT	Between Groups	2.916E-04	1	2.916E-04	.001	.980
	Within Groups	3.360	8	.420		
	Total	3.361	9			
HARDNESS	Between Groups	26.569	1	26.569	5.030	.055
	Within Groups	42.260	8	5.282		
	Total	68.829	9			
WATER	Between Groups	6.400E-06	1	6.400E-06	.000	.997
	Within Groups	4.407	8	.551		
	Total	4.407	9			
STRENGTH	Between Groups	2.500E-02	1	2.500E-02	.001	.981
	Within Groups	331.989	8	41.499		
	Total	332.014	9			
MODULUS	Between Groups	3.552	1	3.552	.000	.998
	Within Groups	3970140	8	496267.482		
	Total	3970143	9			

ค่า sig. ของค่าความทนแรงกระแทก (Impact)มากกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบต่างกันมีค่าความทนแรงกระแทกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า sig. ของค่าความแข็ง (Hardness) มากกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบต่างกันมีค่าความแข็งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า sig. ของเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ(Water) มากกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบต่างกันมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า sig. ของความทนแรงโค้งงอ (Strength)มากกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบต่างกัน มีค่าความทนแรงโค้งงอไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า sig. ของมอดูลัสโค้งงอ (Modulus) มากกว่า 0.05 แสดงว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบต่างกัน มีค่ามอดูลัสโค้งงอไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. ผลของขนาดผงหนังต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

1.1 ค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ผงหนังขนาดใหญ่กว่า 8 เมช มีค่าอยู่ในช่วง 4.1 - 7.3 kJ/m^2 ผงหนังขนาด 8-20 เมช มีค่าอยู่ในช่วง 4.2 - 7.3 kJ/m^2 และผงหนังไม่คัดขนาด มีค่าอยู่ในช่วง 5.2 - 7 kJ/m^2 จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ขนาดของผงหนังที่แตกต่างกันจะมีค่าความทนแรงกระแทกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.2 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ผงหนังขนาดใหญ่กว่า 8 เมช มีค่าอยู่ในช่วง 54-64 Shore D ผงหนังขนาด 8-20 เมช มีค่าอยู่ในช่วง 54-64 Shore D และผงหนังไม่คัดขนาด มีค่าอยู่ในช่วง 52-62 Shore D จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ขนาดของผงหนังที่แตกต่างกัน มีค่าความแข็งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.3 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ผงหนังขนาดใหญ่กว่า 8 เมช มีค่าอยู่ในช่วง 0.5-6.8 % ผงหนังขนาด 8-20 เมช มีค่าอยู่ในช่วง 0.3-7.5 % และผงหนังไม่คัดขนาด มีค่าอยู่ในช่วง 0.08-7.8 % จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ขนาดของผงหนังที่แตกต่างกัน มีค่าการดูดซับน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.4 ความทนแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ผงหนังขนาดใหญ่กว่า 8 เมช มีค่าอยู่ในช่วง 36 - 71 MPa ผงหนังขนาด 8-20 เมช มีค่าอยู่ในช่วง 27 -70 MPa และผงหนังไม่คัดขนาด มีค่าอยู่ในช่วง 40-66 MPa จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ขนาดของผงหนังที่แตกต่างกัน มีค่าความทนแรงโค้งงอไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.5 มอดูลัสความทนแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ผงหนังขนาดใหญ่กว่า 8 เมช มีค่าอยู่ในช่วง 1067 - 2967 MPa ผงหนังขนาด 8-20 เมช มีค่าอยู่ในช่วง 999 - 2891 MPa และผงหนังไม่คัดขนาด มีค่าอยู่ในช่วง 976 - 3038 MPa จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ขนาดของผงหนังที่แตกต่างกัน มีค่ามอดูลัสความทนแรงโค้งงอไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. ผลของปริมาณยางรีเคลมต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

2.1 ค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ปริมาณยางรีเคลม 5 phr มีค่าอยู่ในช่วง 4.1 - 6.4 kJ/m^2 ปริมาณยางรีเคลม 10 phr มีค่าอยู่ในช่วง 4.9 - 7.2 kJ/m^2 และปริมาณยางรีเคลม 15 phr มีค่าอยู่ในช่วง5.2 - 7.3 kJ/m^2 จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณยางรีเคลมแตกต่างกัน มีค่าความทนแรงกระแทกที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.2 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ปริมาณยางรีเคลม 5 phr มีค่าอยู่ในช่วง 52-64 Shore D ปริมาณยางรีเคลม 10 phr มีค่าอยู่ในช่วง 55-62 Shore D และปริมาณยางรีเคลม 15 phr มีค่าอยู่ในช่วง 52-60 Shore D จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณยางรีเคลมแตกต่างกัน มีค่าความแข็งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.3 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ปริมาณยางรีเคลม 5 phr มีค่าอยู่ในช่วง 0.08-7.1 % ปริมาณยางรีเคลม 10 phr มีค่าอยู่ในช่วง 0.5-7.8 % และปริมาณยางรีเคลม 15 phr มีค่าอยู่ในช่วง 0.7-7.1 % จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณยางรีเคลมแตกต่างกัน มีค่าการดูดซับน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.4 ความทนแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ปริมาณยางรีเคลม 5 phr มีค่าอยู่ในช่วง 41-73 MPa ปริมาณยางรีเคลม 10 phr มีค่าอยู่ในช่วง 39-62 MPa และปริมาณยางรีเคลม 15 phr มีค่าอยู่ในช่วง 27-66 MPa จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณยางรีเคลมแตกต่างกัน มีค่าความทนแรงโค้งงอที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.5 มอดูลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ปริมาณยางรีเคลม 5 phr มีค่าอยู่ในช่วง 980-3038 MPa ปริมาณยางรีเคลม 10 phr มีค่าอยู่ในช่วง 999-2884 MPa และปริมาณยางรีเคลม 15 phr มีค่าอยู่ในช่วง 600-2468 MPa จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณยางรีเคลมแตกต่างกัน มีค่ามอดูลัสโค้งงอที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3. ผลของการปรับปรุงผงหนัง(ไม่คัดขนาด) ด้วยไซเลน 5% (w/w) ที่ปริมาณยางรีเคลม 15 phr ต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

3.1 ค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ไวนิลไซเลน 5%(w/w) มีค่าอยู่ในช่วง 5.5 - 6.8 kJ/m^2 และอะมิโนไซเลน 5%(w/w) มีค่าอยู่ในช่วง 5.3 – 6.9 kJ/m^2 จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบ และไม่ใช้สารประสานคู่ควบ มีค่าความทนแรงกระแทกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.2 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ไวนิลไซเลน 5%(w/w) มีค่าอยู่ในช่วง 49-58 Shore D และอะมิโนไซเลน 5%(w/w) มีค่าอยู่ในช่วง 54-59 Shore D จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบ และไม่ใช้สารประสานคู่ควบ มีค่าความแข็งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.3 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ไวนิลไซเลน 5%(w/w) มีค่าอยู่ในช่วง 1.2 - 2.7 % และอะมิโนไซเลน 5%(w/w) มีค่าอยู่ในช่วง 0.9 - 2.9 % จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบ และไม่ใช้สารประสานคู่ควบ มีการดูดซับน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.4 ความทนแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ไวนิลไซเลน 5%(w/w) มีค่าอยู่ในช่วง 40 – 55.7 MPa และอะมิโนไซเลน 5%(w/w) มีค่าอยู่ในช่วง 40 – 55.5 MPa จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบ และไม่ใช้สารประสานคู่ควบ มีความทนแรงโค้งงอไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.5 มอดูลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ไวนิลไซเลน 5%(w/w) มีค่าอยู่ในช่วง 960.5 - 2498 MPa และอะมิโนไซเลน 5%(w/w) มีค่าอยู่ในช่วง 960.2 – 2496.5 MPa จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบ และไม่ใช้สารประสานคู่ควบ มีมอดูลัสโค้งงอไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4. ผลของการปรับปรุงผงหนัง(ไม่คัดขนาด) ด้วยไวนิลไซเลน 5% (w/w) และอะมิโนไซเลน 5%(w/w) ที่ปริมาณยางรีเคลม 15 phr ต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

4.1 ค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบ ไวนิลไซเลน 5%(w/w) และอะมิโนไซเลน 5%(w/w)มีค่าความทนแรงกระแทกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.2 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบ จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบ ไวนิลไซเลน 5%(w/w) และอะมิโนไซเลน 5%(w/w) มีค่าความแข็งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.3 การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบ จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบ ไวนิลไซเลน 5%(w/w) และอะมิโนไซเลน 5%(w/w) มีการดูดซับน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.4 ความทนแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบ จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบ ไวนิลไซเลน 5%(w/w) และอะมิโนไซเลน 5%(w/w) มีความทนแรงโค้งงอไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.5 มอดูลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบ จากการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ 0.05 พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้สารประสานคู่ควบ ไวนิลไซเลน 5%(w/w) และอะมิโนไซเลน 5%(w/w) มีมอดูลัสโค้งงอไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารอ้างอิง

[1] Charlotte Clark, Kenneth Meardon, Dexter Russell. 1993. **Scrap Tire Technology and Markets**. Noyes Data Corp. New Jersey. pp.42.

[2] อิทธิพล แจ้งชัด 2544"พอลิเมอร์คอมโพสิต" สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพ

[3] อิทธิพล แจ้งชัด 2545 "วัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกและเทอร์โมพลาสติก: โครงการวิจัยย่อยที่ 3" สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

[4] Richardson, T. 1987. **Composite: A Design-Guide**. New York. Industrial Press.

[5] Trostyanskaya, E.B. 1995. **Polymer Matrix Composites**. London: Chapman & Hall.

[6] Jang, B.Z. 1994. **Advanced Polymer Composites**. New York: ASM International.

[7] Hull, D. and Clyne, T.W. 1996. **An Introduction to Composite Material**. 2nd ed. Great Britain: Cambridge University Press.

[8] Matthews, F.L. and Rawlings, R.D. 1994. **Composite Material: Engineering and Science**. London: Chapman & Hall.

[9] อรอุษา สรวารี. 2546. **สารเติมแต่งพอลิเมอร์ เล่ม 1**. กรุงเทพ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[10] ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2527. **เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน**. กรุงเทพ : โอเดียนสโตร์

[11] องค์การฟอกหนัง กระทรวงกลาโหม 2538 กระบวนการฟอกหนัง http://www.olc.go.th.ginfo.

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

[13] Makarov and Drozdovsk. 1991. **Reprocessing of Tiers and Rubber Waste Recycling from the Rubber Products Industry**. 1st ed. London: Ellis Horwood Limited.

[14] ประภาภรณ์ รักต้นตระกูล และคณะ. 2544. "การศึกษาสมบัติวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนและเศษหนังสัตว์". ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[15] ธีรพัฒน์ อุ่นโชค และพจนีย์ ศรธรรมลี. 2543. "การศึกษาไม้เทียมจากวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับเส้นใยผักตบชวา" . โครงงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[16] จิรพรรณ หน่ายคอน. 2541. "วัสดุคอมพอสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยอ้อย". โครงงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[17] รัชดา ขวัญตน. 2542. "คอมพอสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วและเส้นใยอ้อย". สาขาวิชาเคมีประยุกต์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[18] เฉลิมพล อิทธิวิวัฒน์ และสกุล บรรจงวุฒิ.2537. "การใช้เส้นใยเซลลูโลสผสมกับเส้นใยแก้วเพื่อเป็นสารเสริมแรงในพอลิพรอพิลีน". โครงงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[19] Yam K.L. 1990. "Composites from Compounding Wood Fibers with Recycled HDPE". Polym. Eng. Sci. 30(11). 693-700.

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

[21] จินตมัย สุวรรณประทีป. 2547. " **การทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก** " . กรุงเทพ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

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

ภาคผนวก

สมมติฐานและการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

สมมติฐานทางสถิติเน้นการเขียนคำตอบในโครงสร้างทางคณิตศาสตร์ที่คาดคะเนถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวหรือมากกว่า โดยใช้สัญลักษณ์แทนลักษณะของประชากรหรือค่าพารามิเตอร์ (parameter) ที่ต้องการทดสอบ และจะเขียนในรูปของสมมติฐานเป็นกลาง (null hypothesis) กับสมมติฐานเลือก (alternative hypothesis) ไว้พร้อมๆ กัน สมมติฐานเป็นกลางใช้แทนด้วย H_0 และสมมติฐานเลือกใช้แทนด้วย H_1 สำหรับขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐานทางสถิตินั้น จะดำเนินการเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. ตั้งสมมติฐานเป็นกลางและสมมติฐานเลือก กรณีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและมี 4 กลุ่มอาจตั้งสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$$

2. เลือกสถิติที่ใช้ทดสอบ จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะข้อมูลและสมมติฐานที่ต้องการทดสอบ กรณีของการวิเคราะห์ความแปรปรวนก็คืออัตราส่วน F

3. กำหนดระดับนัยสำคัญและบริเวณที่จะปฏิเสธสมมติฐานเป็นกลาง (H_0) ปกติระดับนัยสำคัญ (α) นั้น เลือกกำหนดอย่างใดอย่างหนึ่งในสามระดับ คือ .05, .01 และ .001 จากค่าระดับนัยสำคัญนี้จะนำไปหาบริเวณที่จะปฏิเสธสมมติฐานที่เป็นกลาง ซึ่งจะมีค่าเท่าไหร่นั้นขึ้นอยู่กับสถิติที่ใช้ทดสอบ กรณีของอัตราส่วน F นั้นบริเวณที่จะปฏิเสธนั้นยังขึ้นอยู่กับชั้นความเป็นอิสระ (df) ของข้อมูลที่ใช้ทดสอบด้วย ปกติบริเวณที่ปฏิเสธนั้นคิดง่ายๆ ถ้าค่าสถิติที่คำนวณได้มากกว่าค่าสถิติในตาราง จะแสดงว่า การทดสอบนั้นอยู่ในบริเวณปฏิเสธ นั่นคือ ปฏิเสธสมมติฐานเป็นกลางว่าไม่เป็นไปตามที่ตั้งไว้

4. เก็บรวบรวมข้อมูลและคำนวณค่าสถิติ

5. สรุปและแปรผลการทดสอบ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวใช้สำหรับทดสอบสมมติฐานที่มีกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นอิสระกันตั้งแต่สองกลุ่มขึ้นไป เพื่อทดสอบว่า กลุ่มตัวอย่างเหล่านั้นมาจากประชากรที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากันหรือไม่

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวจะคำนวณหาความแปรปรวนจากแหล่งต่างๆ และนำมาเปรียบเทียบกัน โดยทำเป็นอัตราส่วน F สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวนั้นจะมีความแปรปรวนเกิดขึ้นจาก 3 แหล่ง แต่เนื่องจากความแปรปรวนนั้นคำนวณจาผลรวมความเบี่ยงเบนกำลังสองหารด้วยชั้นแห่งความเป็นอิสระ เพื่อความสะดวกในการคำนวณจึงคำนวณหาค่าผลรวมความเบี่ยงเบนกำลังสองก่อน ความแปรปรวนทั้ง 3 แหล่งได้แก่

1. ความแปรปรวนรวม (total mean of square : MS_t) เป็นความแปรปรวนรวมจากข้อมูลทุกกลุ่มรวมกัน ดังนั้นผลรวมความเบี่ยงเบนกำลังสองรวม (total sum of square : SS_t) หาได้จาก

$$SS_t = \sum X^2 \quad \frac{(\sum X)^2}{n}$$

เมื่อ X ค่าของข้อมูลแต่ละตัวในทุกกลุ่ม

n จำนวนข้อมูลรวม

2. ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (between mean of square : MS_b) เป็นความแปรปรวนที่เกิดจากความแตกต่างของแต่ละกลุ่มจากทุกกลุ่มรวมกัน ดังนั้น ผลรวมความเบี่ยงเบนกำลังสองระหว่างกลุ่ม (between sum of square : SS_b) หาได้จาก

$$SS_b = \sum n_i(\sum \bar{X}_i \quad \bar{X}_t)^2$$

เมื่อ n_i จำนวนข้อมูลในกลุ่มที่ i (i = 1, 2, ...)

$\bar{X}_i$ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ i

$\bar{X}_t$ ค่าเฉลี่ยรวม

3. ความแปรปรวนรวมภายในกลุ่ม (within mean of square : MS_w) เป็นผลรวมของความแปรปรวนในแต่ละกลุ่มรวมกัน ดังนั้น ผลรวมความเบี่ยงเบนกำลังสองภายในกลุ่ม (within sum of square : SS_w) หาได้จาก

$$SS_w = SS_t - SS_b$$

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

แหล่งความแปรปรวน	Sum of square	df	Mean square	$F_{คำนวณ}$
ระหว่างกลุ่ม	SS_b	k-1	$MS_b = SSb/k\ \ 1$	$F_{คำนวณ} = MSb/MSw$
ภายในกลุ่ม	SS_w	n_t-k	$MS_w = SSw/nt\ \ k$	
รวม	SS_t	n_t-1		

การสรุปผลการทดสอบ

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มักสรุปผลได้จากค่าพี (Probability) ซึ่งในโปรแกรม SPSS อาจเขียนเป็น Sig. โดย

ถ้า Sig. > α แล้วค่าความแปรปรวนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ถ้า Sig. < α แล้วค่าความแปรปรวนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่ผงหนังขนาดมากกว่า 8 เมช

พอลิเอทิลีนจากขวดน้ำที่ใช้แล้ว (phr)	ยางรีเคลม (phr)	ผงหนัง (phr)	ความทนแรงกระแทก (kJ/m^2)	ความแข็ง (Shore D)	การดูดซับน้ำ (%)	ความทนแรงโค้งงอ (MPa)	มอดูลัสโค้งงอ (MPa)
100	0	10	2.96	57.9	0.724	51.8	1170.20
		30	2.98	61.4	1.420	65.2	1849.56
		50	3.22	62.5	1.980	75.5	2916.87
		70	3.61	64.5	5.144	71.5	2892.60
		90	3.59	64.7	7.245	72.1	2999.50
100	5	10	4.286	57.8	0.566	41.06	1074.26
		30	4.142	60.8	1.222	63.44	2587.01
		50	4.920	61.8	2.075	65.72	2647.46
		70	6.060	64.2	5.026	67.71	2815.27
		90	5.710	64.2	6.887	70.57	2966.35
100	10	10	4.900	56.9	0.593	40.33	1067.12
		30	5.206	57.4	2.039	48.08	1336.53
		50	5.374	60.3	2.301	48.86	1882.49
		70	5.734	62.4	6.413	55.27	2210.43
		90	7.148	62.4	7.147	60.67	2219.84
100	15	10	5.268	54.5	0.824	36.49	1056.24
		30	6.590	58.6	1.660	36.99	1106.26
		50	7.174	59.7	3.711	46.04	1754.18
		70	6.618	60.8	5.692	54.62	2183.26
		90	7.284	60.5	6.410	60.68	2697.76

สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่ขนาดผงหนัง 8-20 เมช

พอลิเอทิลีนจากขวดน้ำที่ใช้แล้ว (phr)	ยางรีเคลม (phr)	ผงหนัง (phr)	ความทนแรงกระแทก (kJ/m^2)	ความแข็ง (Shore D)	การดูดซับน้ำ (%)	ความทนแรงโค้งงอ (MPa)	มอดูลัสโค้งงอ (MPa)
100	0	10	2.94	57.6	0.695	52.79	1400.20
		30	2.95	61.2	1.445	65.40	1875.60
		50	3.22	62.8	2.122	74.45	2818.42
		70	3.61	63.0	6.088	72.80	2771.25
		90	3.59	64.7	7.422	73.65	2857.58
100	5	10	4.288	57.2	0.395	48.79	1397.81
		30	4.360	59.3	1.695	55.01	1788.29
		50	4.920	62.6	2.552	59.70	2018.47
		70	5.860	61.7	4.671	67.03	2891.36
		90	5.710	64.6	7.176	69.95	2759.30
100	10	10	4.900	55.2	0.603	42.02	999.18
		30	5.206	57.7	1.478	53.61	2118.34
		50	5.374	58.6	3.239	59.39	2631.46
		70	5.734	60.6	5.462	61.40	2644.26
		90	5.304	60.6	7.528	67.02	2652.67
100	15	10	5.300	52.7	0.754	27.85	601.65
		30	6.590	54.4	3.525	38.48	1284.96
		50	7.174	54.7	3.684	39.11	1492.00
		70	7.268	58.3	4.572	40.15	1557.11
		90	6.618	57.3	7.191	49.67	2193.32

สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่ไม่คัดขนาดผงหนัง

พอลิเอทิลีนจากขวดน้ำที่ใช้แล้ว (phr)	ยางรีเคลม (phr)	ผงหนัง (phr)	ความทนแรงกระแทก (kJ/m^2)	ความแข็ง (Shore D)	การดูดซับน้ำ (%)	ความทนแรงโค้งงอ (MPa)	มอดูลัสโค้งงอ (MPa)
100	0	10	3.016	57.0	0.759	53.578	1284.32
		30	3.100	56.8	1.624	64.255	1842.71
		50	3.328	59.8	1.979	75.256	2927.57
		70	3.508	60.0	6.170	72.750	1902.61
		90	3.378	62.0	7.336	75.424	1802.01
100	5	10	5.256	52.2	0.089	58.81	1763.24
		30	5.604	58.0	1.486	62.51	2512.94
		50	5.672	59.6	3.418	65.53	2923.18
		70	6.426	60.3	4.431	65.54	3038.13
		90	6.230	61.8	6.582	65.14	3016.32
100	10	10	5.312	57.1	0.554	48.02	1393.23
		30	5.320	57.2	1.192	56.74	2103.98
		50	6.224	58.0	3.249	59.99	2065.84
		70	6.256	57.9	5.559	60.23	2884.96
		90	6.150	57.6	7.871	61.91	2989.85
100	15	10	5.648	54.2	0.676	41.48	976.86
		30	5.672	54.5	1.388	40.83	1216.60
		50	5.930	55.7	3.424	47.96	1788.07
		70	6.998	58.0	4.372	54.16	2468.31
		90	6.678	59.7	7.108	53.29	2490.40

สมบัติเชิงกลเมื่อมีการปรับปรุงผงหนัง (ไม่คัดขนาด) ด้วยไวนิลไซเลน 5%(w/w)

พอลิเอทิลีนจากขวดน้ำที่ใช้แล้ว (phr)	ยางรีเคลม (phr)	ผงหนัง (phr)	ความทนแรงกระแทก (kJ/m^2)	ความแข็ง (Shore D)	การดูดซับน้ำ (%)	ความทนแรงโค้งงอ (MPa)	มอดูลัสโค้งงอ (MPa)
100	15	10	5.712	49.8	1.235	40.57	960.49
		30	5.588	51.9	1.708	42.77	1212.07
		50	5.718	52.1	2.261	46.46	1789.85
		70	6.862	55.8	2.585	53.92	2469.87
		90	6.594	58.1	2.741	55.73	2497.94

สมบัติเชิงกลเมื่อมีการปรับปรุงผงหนัง (ไม่คัดขนาด) ด้วยอะมิโนไซเลน 5%(w/w)

พอลิเอทิลีนจากขวดน้ำที่ใช้แล้ว (phr)	ยางรีเคลม (phr)	ผงหนัง (phr)	ความทนแรงกระแทก (kJ/m^2)	ความแข็ง (Shore D)	การดูดซับน้ำ (%)	ความทนแรงโค้งงอ (MPa)	มอดูลัสโค้งงอ (MPa)
100	15	10	5.320	54.6	0.976	40.84	960.20
		30	5.618	57.0	1.602	44.49	1212.35
		50	5.912	58.2	2.137	45.85	1784.45
		70	6.906	59.4	2.867	53.25	2470.69
		90	6.772	59	2.956	55.52	2496.57

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นางสาวอมรรัตน์ สุนทรพงศ์
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 3 เมษายน 2523
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วศ.บ. (เคมี)
สถานที่สำเร็จการศึกษา	วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2544

ประสบการณ์

ฝึกงานที่บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด
ระหว่างวันที่10 กันยายน – 28 ธันวาคม 2544

ผลงานทางวิชาการ

ไพศาล นาคพิพัฒน์ อมรรัตน์ สุนทรพงศ์ **การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนและผงหนัง** วิศวสารลาดกระบัง กรุงเทพ ปีที่22 ฉบับที่ 3