

การศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัส
และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง



นายฉกาจ จบนุช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2556

**STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES OF
EUCALYPTUS WOOD - HIGH DENSITY
POLYETHYLENE COMPOSITES**

Chakart Jobnoot

The image contains a large, faint watermark of the Suranaree University of Technology logo. The logo is circular and features a central figure of a person standing on a platform, with a large 'S' and 'U' above it. The Thai text 'มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี' is written around the bottom of the circle.

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2013

การศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัส
และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยพิจารณาเป็นหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อ. ดร.ธีทัต คลวิชัย)

ประธานกรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.สมศักดิ์ สีวดำรงพงศ์)

กรรมการ

(ผศ. ดร.นิธินาถ สุภกาญจน์)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ฉกาจ จบนุช : การศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES OF EUCALYPTUS WOOD - HIGH DENSITY POLYETHYLENE COMPOSITES) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์, 145 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตและศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE) เพื่อเพิ่มคุณค่าของวัสดุเหลือใช้ โดยวัสดุเชิงประกอบนี้จะนำไม้ยูคาลิปตัสมาผสมกับพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ซึ่งได้มาจากขบวนการรีไซเคิลที่ใช้น้ำแล้ว จากนั้นจะใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกราฟต์ด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (High Density Polyethylene Grafted Maleic Anhydride : HDPE-g-MAH) เป็นสารประสาน วัตถุประสงค์ทั้งหมดจะถูกผสมกันในอัตราส่วนระหว่าง HDPE ต่อไม้ยูคาลิปตัส เป็น 50:50 60:40 70:30 80:20 90:10 และ 100:0 โดยน้ำหนัก วัสดุเชิงประกอบถูกเตรียมโดยเครื่องบดผสมภายใน และทำการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดร้อน ที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส ความดัน 150 บาร์ ทำการศึกษาผลของการเติมสารประสานและไม่เติมสารประสาน โดยการเติมสารประสานจะเติมในปริมาณ 2 ส่วนใน 100 ส่วนของส่วนผสมระหว่างไม้ยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

จากการศึกษาพบว่า การเติมไม้ยูคาลิปตัสลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในปริมาณที่มากส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงดัดมีค่าลดลง แต่ในทางกลับกันค่ามอดูลัสแรงดึงและมอดูลัสแรงดัดมีค่าเพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณของไม้ยูคาลิปตัสส่งผลให้ความแข็งแรงกระแทกลดลงทั้งกรณีการเติมและไม่เติมสารประสาน เนื่องจากเกิดความไม่ต่อเนื่องของวัสดุ สำหรับการทดสอบความแข็งแรงผิวพบว่าความแข็งแรงผิวที่ได้มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเนื่องจากการทดสอบความแข็งแรงผิวเป็นการทดสอบเพียงบริเวณพื้นผิวของชิ้นงานเท่านั้น ซึ่งแตกต่างจากสมบัติทางกลอื่น ๆ ที่ทดสอบสมบัติของชิ้นงานโดยรวม

อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 180 องศาเซลเซียสมีค่าสมบัติทางกลสูงกว่าที่อุณหภูมิ 160 และ 200 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะช่วยให้ไม้ยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงรวมตัวกันได้ง่ายขึ้น แต่ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ชิ้นงานมีการพองตัวเนื่องจากอุณหภูมิขึ้นรูปสูงเกินไป และพบว่าสีของชิ้นงานเป็นสีน้ำตาล ซึ่งเป็นจุดบกพร่องเมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติทางกล

วัสดุเชิงประกอบถูกปรับปรุงการยึดติดโดยใช้สารประสาน จากการศึกษพบว่า การเติมสารประสานจะมีค่าสมบัติทางกลสูงกว่ากรณีที่ไม่เติม แสดงว่าสารประสานทำหน้าที่ในการปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุให้มีการยึดติดกันของวัสดุระหว่างไม้ยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิด

ความหนาแน่นสูง ซึ่งยืนยันด้วยผลจากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ากรณีการเติมสารประสานนั้นช่องว่างระหว่างวัฏภาคมีค่าน้อยกว่ากรณีที่ไม่เติมสารประสาน

จากการศึกษาปริมาณ ไม้ยูคาลิปตัส อุณหภูมิในการขึ้นรูป และผลของการเติมสารประสาน ที่มีผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ทั้งกรณีในการขึ้นรูปที่ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส และพบว่า ทั้งกรณีเติมสารประสานและไม่เติมสารประสานอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการสลายตัว ก็มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญด้วย

เมื่อเปรียบเทียบบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบที่ทำการศึกษากับวัสดุเชิงพาณิชย์พบว่า วัสดุเชิงพาณิชย์มีค่าความแข็งผิวและความแข็งแรงดัดสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง แต่ค่าความแข็งแรงกระแทกจะมีค่าน้อยกว่าวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง



CHAKART JOBNOOT : STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES OF
EUCALYPTUS WOOD - HIGH DENSITY POLYETHYLENE COMPOSITES.
THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. FLT.LT. KONTORN
CHAMNIPRASART, Ph.D., 145 PP.

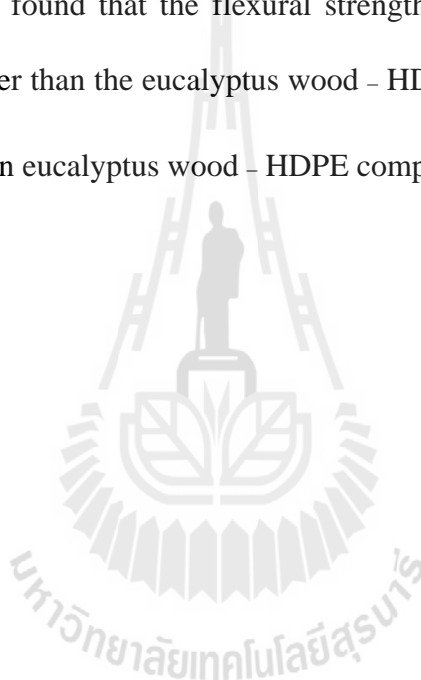
MECHANICAL PROPERTIES/COMPOSITES MATERIAL/EUCALYPTUS
WOOD/HIGH DENSITY POLYETHYLENE

This thesis aimed to study composites material from eucalyptus wood and high density polyethylene (HDPE) to increase the value of excessive material which could save resource. eucalyptus wood was combined with high density polyethylene from waste drinking water bottles and high density polyethylene grafted maleic anhydride (HDPE-g-MAH) was used as an additive for a compatibilizer at various weight ratios of HDPE and eucalyptus wood which were 50:50 60:40 70:30 80:20 90:10 and 100:0. The composites were prepared using an internal mixer and test specimen were molded using hot compression molding machine. The specimen was performed at 160 180 and 200 Celsius and pressure 150 bars. The effects of eucalyptus wood content, performed temperature and adding HDPE -g-MAH on mechanical, temperature and morphological properties of composites were investigated.

With increasing eucalyptus wood content, tensile modulus and flexural modulus of the composites increased whereas tensile strength, flexural strength, impact strength and percent elongation at break decreased. Hardness of the composites were slightly higher than recycle HDPE with increasing eucalyptus wood content.

In addition, the effect of HDPE-g-MAH on the properties of the composites was studied. The mechanical properties of the composites at all eucalyptus wood content were enhanced with incorporating HDPE-g-MAH. Eucalyptus wood content, performed temperature and adding HDPE-g-MAH did not significantly affect melting temperature and decomposition temperature of HDPE .

By comparing the best mechanical properties with the commercial wood plastic (CWP) ,it was found that the flexural strength and hardness of commercial wood plastic was higher than the eucalyptus wood - HDPE composites but the impact strength was lower than eucalyptus wood - HDPE composites



School of Mechanical Engineering

Academic Year 2013

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาและความช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการและด้านอื่น ๆ จากบุคคลและบริษัท ดังต่อไปนี้

รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ ท่านเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งเป็นทั้งผู้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านวิชาการ อีกทั้งยังให้ข้อคิดและแนวทางในการดำเนินชีวิต หากมิได้คำแนะนำดี ๆ ในการแก้ไขปัญหาจากท่าน งานวิจัยนี้คงสำเร็จลุล่วงไปมิได้ จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ ผู้วิจัยซาบซึ้งในความปรารถนาดี และจะปฏิบัติตามคำสอนของท่านตลอดไป

คุณปานิสรา รัตนปัญญาโชติ ผู้จัดการฝ่ายการตลาด บริษัท Du Pont (Thailand) Limited และบริษัททวงศำวนิช วัคชิพ จำกัด ที่ได้มอบวัสดุในการทำวิจัยครั้งนี้

คุณวัลรัตน์ ทองปั้น คุณปาริชาติ ประกาศสุดิชน และคุณปัทมา ชุกกลิ่น ทั้งสามท่านนี้เป็นทั้งเพื่อนร่วมสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล และเป็นทั้งที่ปรึกษาทางด้านวิชาการรวมทั้งเรื่องส่วนตัว กำลังใจและข้อคิดจากทั้งสามท่าน ผู้วิจัยจะระลึกถึงตลอดไป

คุณจันทร์จิรา อภิรักษ์เมธาวงศ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ขอขอบคุณเป็นอย่างสูงที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำวิธีแก้ไขปัญหาบางประการในงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณกันทิมา จบนุช คุณสมใจ สามพิมพ์ และคุณอุทัย สามพิมพ์ ทั้งสามท่านนี้ช่วยในการจัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูง หากมิได้ทั้งสามท่านนี้ งานวิจัยคงสำเร็จลุล่วงไปมิได้

คุณจิรทีปต์ สุทธิลักษณ์ และคุณศรันย์ ดอกไม้กุล เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิศวกรรมพอลิเมอร์และวิศวกรรมเคมี ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือในงานวิจัยครั้งนี้ และที่จะลืมขอขอบคุณเสียมิได้คือ คุณอาภรณ์พรรณ ศรีอักษรวิทยา และคุณจริยาพร ศรีวิไลลักษณ์ เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไปของสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ช่วยอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับงานทางด้านเอกสารมาโดยตลอด

ประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูตาบูชาแด่คุณพ่อคุณมารุ จบนุช และคุณแม่หนูเชียง จบนุช บิดาและมารดาผู้เป็นที่รักยิ่ง จวบจนครูบาอาจารย์ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาตั้งแต่เล็กจนเติบโตใหญ่

ณ กาจ จบนุช

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....	4
1.5 สถานที่ทำงานวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.3 บทบาทของวัสดุทดแทนไม้.....	17
2.4 วัสดุเชิงประกอบ.....	18
2.5 วัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติก.....	19
2.6 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	20
2.6.1 โครงสร้างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	21
2.6.2 คุณสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	22
2.6.3 การสังเคราะห์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.4	การใช้งานของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	24
2.6.5	ความปลอดภัยของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	24
2.7	ยูคาลิปตัส.....	24
2.8	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกราฟต์เมลาอิกแอนไฮไดรด์.....	26
2.9	กระบวนการเตรียมพลาสติกเพื่อกระบวนการแปรรูป.....	27
2.9.1	การบดย่อย.....	27
2.9.2	การผสม.....	28
2.9.3	การคอมปาวด์.....	30
2.10	กระบวนการอัด.....	33
2.11	กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ.....	37
2.11.1	การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ.....	37
2.11.2	การวิเคราะห์ ANOVA.....	37
2.11.3	การพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ.....	37
2.12	การทดสอบสมบัติทางกล.....	38
2.12.1	การทดสอบแรงดึง (Tensile test).....	38
2.12.2	การทดสอบแรงดัด (Flexural test).....	41
2.12.3	การทดสอบแรงกระแทก (Impact test).....	43
2.12.4	การทดสอบความแข็งผิว (Hardness test).....	44
3	วิธีการดำเนินการวิจัย.....	45
3.1	กล่าวนำ.....	45
3.2	วัสดุอุปกรณ์.....	45
3.2.1	วัสดุ.....	45
3.2.2	อุปกรณ์.....	47
3.3	แผนผังแสดงกระบวนการทำงาน.....	49
3.4	วิธีการทดสอบ.....	50
3.4.1	การเตรียมวัสดุ.....	50
3.4.2	ขั้นตอนการผสมเพื่อทำคอมปาวด์.....	50

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 การทดสอบ.....	50
3.5.1 สมบัติทางกล.....	52
3.5.2 สมบัติทางความร้อน.....	54
3.5.3 สมบัติทางสัณฐานวิทยา.....	55
4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	56
4.1 กล่าวนำ.....	56
4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกล.....	56
4.2.1 ผลการทดสอบแรงดึง (Tensile test) กรณีไม่เติมสารประสาน.....	56
4.2.2 ผลการทดสอบแรงดึง (Tensile test) กรณีเติมสารประสาน.....	65
4.2.3 ผลการทดสอบแรงดัด (Flexural test) กรณีไม่เติมสารประสาน.....	69
4.2.4 ผลการทดสอบแรงดัด (Flexural strength) กรณีเติมสารประสาน.....	72
4.2.5 ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) กรณีไม่เติมสารประสาน.....	75
4.2.6 ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) กรณีเติมสารประสาน.....	77
4.2.7 ความแข็งผิว (Hardness) กรณีไม่เติมสารประสาน.....	79
4.2.8 ความแข็งผิว (Hardness) กรณีเติมสารประสาน.....	81
4.3 สมบัติทางสัณฐานวิทยา.....	83
4.4 สมบัติทางความร้อน.....	85
4.4.1 ไม้ยูคาลิปตัส.....	85
4.4.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	86
4.4.3 อิทธิพลของอัตราส่วนไม้ยูคาลิปตัส อุดหนุนในการขึ้นรูป และสารประสานที่มีต่ออุดหนุนไหลอมเหลวและอุดหนุน การสลายตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	87
4.5 เปรียบเทียบสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบกับวัสดุเชิงพาณิชย์.....	96
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	98
5.1 กล่าวนำ.....	98
5.2 สรุปผล.....	98
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	99

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3.1 ปัญหาในการทดลอง.....	99
5.3.2 งานวิจัยในอนาคต.....	100
รายการอ้างอิง.....	101
ภาคผนวก.....	105
ภาคผนวก ก. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติ.....	105
ภาคผนวก ข. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	130
ภาคผนวก ค. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	135
ประวัติผู้เขียน.....	145



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	แสดงคุณสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....22
2.2	ลักษณะของกราฟความเค้นและความเครียดที่มีความสัมพันธ์กับสมบัติของพอลิเมอร์.....40
3.1	อัตราส่วนผสมการทำคอมปาวด์.....51
3.2	มาตรฐานที่ทำการทดสอบ.....51
4.1	ผลการทดสอบแรงดึงกรณีไม่เต็มสารประสาน.....58
4.2	ผลการทดสอบแรงดึงกรณีเต็มสารประสาน.....68
4.3	ผลการทดสอบแรงค้ำกรณีไม่เต็มสารประสาน.....71
4.4	ผลการทดสอบแรงค้ำกรณีเต็มสารประสาน.....74
4.5	ความแข็งแรงกระแทกกรณีไม่เต็มสารประสาน.....76
4.6	ความแข็งแรงกระแทกกรณีเต็มสารประสาน.....78
4.7	ความแข็งผิวกรณีไม่เต็มสารประสาน.....80
4.8	ความแข็งผิวกรณีเต็มสารประสาน.....82
4.9	อุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเอทิลีนชนิด ความหนาแน่นสูงของสารเชิง ประกอบกรณีไม่เต็มสารประสาน.....95
4.10	อุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเอทิลีนชนิด ความหนาแน่นสูงของสารเชิง ประกอบกรณีเต็มสารประสาน.....96
4.11	การเปรียบเทียบสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบกับวัสดุเชิงพาณิชย์.....97

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ลักษณะของส่วนเสริมแรง.....19
2.2	โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....21
2.3	สูตรโครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....22
2.4	กลไกการเกิดพันธะเอสเทอร์และพันธะไฮโดรเจน ระหว่างสารคู่ควบกับจีลียอ.....26
2.5	เครื่องบดย่อยพลาสติกแบบต่าง ๆ.....28
2.6	เครื่องไม้ตัด.....28
2.7	เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง.....31
2.8	เครื่องผสมแบบปิด.....31
2.9	เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว.....32
2.10	เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่.....33
2.11	เครื่องอัด.....34
2.12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด.....38
2.13	ประเภทของกราฟความเค้นความเครียด.....40
2.14	การทดสอบการทนต่อแรงดัดแบบ 3 จุด (Three Point Bending).....41
2.15	การทดสอบการทนต่อแรงดัดแบบ 4 จุด (Four Point Bending).....42
2.16	การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก (A) ลักษณะการเหวี่ยงของค้อนตี (B) ลักษณะการวางชิ้นงานแบบ Izod (C) ลักษณะการวางชิ้นงานแบบ Charpy.....44
3.1	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการบดแล้ว.....46
3.2	ผงไม้ที่ผ่านการร่อนแล้ว.....46
3.3	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์.....47
3.4	ชิ้นงานรูปดัมเบลล์.....52
3.5	ลักษณะการทดสอบแรงดัด.....53
3.6	ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดัด.....53
3.7	ชิ้นทดสอบความแข็งแรงกระแทกตามมาตรฐานแบบไอซอด.....53

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ความแข็งแรงดึง (a) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (b) กรณีไม่เต็มสารประสาน	59
4.2 มอดูลัสแรงดึงกรณีไม่เต็มสารประสาน	60
4.3 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลของตัวแบบทางสถิติ	61
4.4 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลจากกระจังคว่ำ	62
4.5 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลจากทดสอบ Normal probability	62
4.6 การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนข้อมูลของตัวแบบทางสถิติ	63
4.7 ตารางวิเคราะห์ด้วย ANOVA	64
4.8 ความแข็งแรงดึงกรณีเต็มสารประสาน	66
4.9 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (a) และมอดูลัสแรงดึง (b) กรณีกรณีเต็มสารประสาน	67
4.10 ความแข็งแรงดัด (a) และ มอดูลัสแรงดัด (b) กรณีไม่เต็มสารประสาน	70
4.11 แบบจำลองการเกิดพันธะเอสเทอร์และพันธะไฮโดรเจน	72
4.12 ความแข็งแรงดัด (a) และ มอดูลัสแรงดัด (b)กรณีเต็มสารประสาน	73
4.13 ความแข็งแรงกระแทกกรณีไม่เต็มสารประสาน	75
4.14 ความแข็งแรงกระแทกกรณีเต็มสารประสาน	77
4.15 ความแข็งผิวกรณีไม่เต็มสารประสาน	79
4.16 ความแข็งผิวกรณีเต็มสารประสาน	81
4.17 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัส และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่อัตราส่วน 50:50 อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส กรณีไม่เต็มสารประสาน (a) และกรณีเต็มสารประสาน (b)	83
4.18 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัส และพอลิเอทิลีนชนิด ความหนาแน่นสูงที่กรณีไม่เต็มสารประสาน อัตราส่วน 50:50 ที่อุณหภูมิ 160 (a) 180 (b) 200 (c) องศาเซลเซียส และกรณีเต็มสารประสานอัตราส่วน 50:50 ที่อุณหภูมิ 160 (d) 180 (e) 200 (f) องศาเซลเซียส	84
4.19 กราฟ TGA ของไม้ยูคาลิปตัส	85

สารบัญรูป (ต่อ)

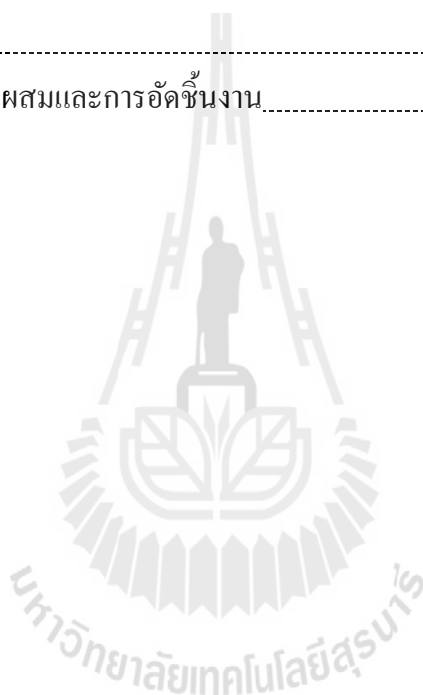
รูปที่	หน้า
4.20 กราฟ DTGA ของไม้ยูคาลิปตัส.....	86
4.21 กราฟ DSC (a) กราฟ TGA (b) ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	87
4.22 กราฟ DTGA ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	88
4.23 กราฟ DSC (a) และ DTGA (b) ของวัสดุเชิงประกอบ ที่อุณหภูมิ 160 °C ไม่เติมสารประสาน.....	89
4.24 กราฟ DSC (a) และ DTGA (b) ของวัสดุเชิงประกอบ ที่อุณหภูมิ 160 °C เติมสารประสาน.....	90
4.25 กราฟ DSC (a) และ DTGA (b) ของวัสดุเชิงประกอบ ที่อุณหภูมิ 180 °C ไม่เติมสารประสาน.....	91
4.26 กราฟ DSC (a) และ DTGA (b) ของวัสดุเชิงประกอบ ที่อุณหภูมิ 180 °C เติมสารประสาน.....	92
4.27 กราฟ DSC (a) และ DTGA (b) ของวัสดุเชิงประกอบ ที่อุณหภูมิ 200 °C ไม่เติมสารประสาน.....	93
4.28 กราฟ DSC (a) และ DTGA (b) ของวัสดุเชิงประกอบ ที่อุณหภูมิ 200 °C เติมสารประสาน.....	94
ก.1 กราฟแสดงการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ความแข็งแรงดึงกรณีไม่เติมสารประสาน.....	106
ก.2 กราฟแสดง Normal probability ความแข็งแรงดึงกรณีไม่เติมสารประสาน.....	107
ก.3 แสดงตาราง ANOVA ความแข็งแรงดึงกรณีไม่เติมสารประสาน.....	107
ก.4 กราฟแสดงการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ความแข็งแรงดึงกรณีเติมสารประสาน.....	109
ก.5 กราฟแสดง Normal probability ความแข็งแรงดึงกรณีเติมสารประสาน.....	110
ก.6 แสดงตาราง ANOVA ความแข็งแรงดึงกรณีเติมสารประสาน.....	110
ก.7 กราฟแสดงการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ความแข็งแรงดัดกรณีไม่เติมสารประสาน.....	112
ก.8 กราฟแสดง Normal probability ความแข็งแรงดัดกรณีไม่เติมสารประสาน.....	113
ก.9 แสดงตาราง ANOVA ความแข็งแรงดัดกรณีไม่เติมสารประสาน.....	113

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.10 กราฟแสดงการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ความแข็งแรงค้ดกรณีเติมสารประสาน.....	115
ก.11 กราฟแสดง Normal probability ความแข็งแรงค้ดกรณีเติมสารประสาน.....	116
ก.12 แสดงตาราง ANOVA ความแข็งแรงค้ดกรณีเติมสารประสาน.....	116
ก.13 กราฟแสดงการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ความแข็งแรงกระแทกกรณีไม่เติมสารประสาน.....	118
ก.14 กราฟแสดง Normal probability ความแข็งแรงกระแทกกรณีไม่เติมสารประสาน.....	119
ก.15 แสดงตาราง ANOVA ความแข็งแรงกระแทกกรณีไม่เติมสารประสาน.....	119
ก.16 กราฟแสดงการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ความแข็งแรงกระแทกกรณีเติมสารประสาน.....	121
ก.17 กราฟแสดง Normal probability ความแข็งแรงกระแทกกรณีเติมสารประสาน.....	122
ก.18 แสดงตาราง ANOVA ความแข็งแรงกรณีกระแทกเติมสารประสาน.....	122
ก.19 กราฟแสดงการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ กรณีความแข็งแรงผิวไม่เติมสารประสาน.....	124
ก.20 กราฟแสดง Normal probability กรณีความแข็งแรงผิวไม่เติมสารประสาน.....	125
ก.21 แสดงตาราง ANOVA กรณีความแข็งแรงผิวไม่เติมสารประสาน.....	125
ก.22 กราฟแสดงการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ กรณีความแข็งแรงผิวเติมสารประสาน.....	127
ก.23 กราฟแสดง Normal probability กรณีความแข็งแรงผิวเติมสารประสาน.....	128
ก.24 แสดงตาราง ANOVA กรณีความแข็งแรงผิวเติมสารประสาน.....	128
ข.1 เครื่องบดพลาสติก.....	131
ข.2 เครื่องบดไม้.....	131
ข.3 เครื่องอบ.....	131
ข.4 เครื่องร่อน.....	131
ข.5 เครื่องผสมภายใน.....	132
ข.6 เครื่องอัด.....	132
ข.7 เครื่องทดสอบแรงกระแทก.....	132

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.8 เครื่องบาคขึ้นงาน.....	132
ข.9 เครื่องทดสอบแรงดึงและแรงตัด.....	133
ข.10 เครื่องทดสอบความแข็ง.....	133
ข.11 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัดขึ้นงาน.....	133
ข.12 แผ่นเทพลอน.....	133
ข.13 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมและการอัดขึ้นงาน.....	134

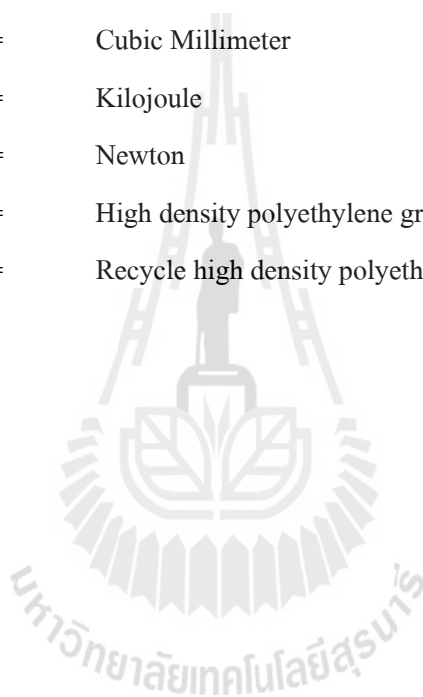


คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

%	=	Percent
°C	=	Degree Celsius
μm	=	Micrometer
cm	=	Centimeter
g	=	Gram
GPa	=	Gigapascal
J	=	Joule
Kg	=	Kilogram
kJ	=	Kilojoule
kN	=	Kilo Newton
kPa	=	Kilopascal
m ²	=	Square meter
mm	=	Millimeter
MPa	=	Megapascal
Phr	=	Part per hundred
wt%	=	Percent by weight
HDPE	=	High density polyethylene
CCA	=	Chromated copper arsenate
PP	=	Polypropylene
MAPP	=	Maleated polypropylene
DOP	=	Diethyl Phthalate
MDPE	=	Medium density polyethylene
PMPPIC	=	Polymethylene polyphenyliso cyanate
PE	=	Polyethylene
MMA	=	Methyl methacrylate
LDPE	=	Low density polyethylene
PVC	=	Polyvinyl chloride

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

PE-g-MAH	=	Polyethylene grafted maleic anhydride
MDF	=	Medium density fiber board
WPCs	=	Wood plastic composites
m ³	=	Cubic meter
cm ²	=	Square centimeter
°K	=	Degree kelvin
mm ²	=	Cubic Millimeter
Kj	=	Kilojoule
N	=	Newton
HDPE-g-MAH	=	High density polyethylene grafted maleic anhydride
rHDPE	=	Recycle high density polyethylene



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันไม้เป็นวัสดุที่มีความสำคัญ นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์ และเครื่องใช้ต่าง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากไม้มีความสวยงาม มีความแข็งแรง แต่มีข้อเสียบางประการ เช่น ฝู่ง่าย ไม่ทนต่อสภาวะแวดล้อม คุณค่าเพิ่มขึ้นได้ดี ถูกทำลายง่ายจากปลวกและมอด ทำให้ไม่มีอายุการใช้งานจำกัด บางชนิดมีราคาแพง ประกอบกับปัจจุบันป่าไม้มีจำนวนลดลงอย่างรวดเร็ว

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น จึงได้มีแนวทางในการหาวัสดุชนิดใหม่ ที่สามารถนำมาใช้แทนไม้ได้ ซึ่งวัสดุนี้คือ วัสดุเชิงประกอบ ไม้พลาสติก (wood plastic composites : WPCs) ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจอย่างมากทั่วโลก ทั้งในยุโรป อเมริกา หรือแม้แต่ในเอเชียรู้จักในชื่อทั่วไปว่า “ไม้เทียม” วัสดุชนิดนี้สามารถทนทานต่อแสงแดดและฝน มีสีสันทนและลวดลายหลากหลาย หรือสามารถทาสีได้ตามความต้องการ และปลอดภัยจากการรุกรานของปลวก คอมโพสิตไม้พลาสติกนี้ครอบคลุมการใช้วัสดุคอมโพสิตในช่วงกว้าง นับตั้งแต่การใช้พอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ พอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) และพอลิสไตรีน เป็นต้น พลาสติกเหล่านี้เป็นเทอร์โมพลาสติก เมื่อได้รับความร้อนจะหลอมตัวเป็นของเหลวหนืดและกลายเป็นของแข็งเมื่อปล่อยให้เย็นลง จากสมบัติดังกล่าวทำให้สามารถเติมวัสดุอื่น ๆ ลงไปผสมกับพลาสติกก่อนการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์คอมโพสิตได้

ในปัจจุบันยูคาลิปตัสเป็นไม้เศรษฐกิจที่คนไทยนิยมปลูก เนื่องจากไม้ยูคาลิปตัสนั้นปลูกง่าย เติบโตเร็ว ดูแลจัดการง่าย ลงทุนน้อย ใช้แรงงานน้อย แต่ผลผลิตและผลตอบแทนสูงคืนทุนเร็วกว่าการปลูกไม้ชนิดอื่น เพียง 3-5 ปี ก็ตัดขายได้แล้วยังสามารถแตกหน่ออีก โดยสามารถตัดได้ 3-4 รอบ ในรอบที่ 2 จะให้ผลผลิตที่มากกว่ารอบแรกถึง 3 เท่า นอกจากนี้ยังสามารถชะลอการตัดได้ ไม่น่าหรือเสียหายเหมือนพืชชนิดอื่น เพราะถ้าไม่ตัดแล้วมูลค่ายิ่งเพิ่มขึ้น จากข้อมูลการสำรวจพื้นที่ปลูกยูคาลิปตัสของส่วนวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ปี 2551 พบว่ามีพื้นที่ปลูกยูคาลิปตัสทั้งประเทศ 2,408,780 ไร่ แยกเป็นสวนป่าไม้ยูคาลิปตัสในเขตป่าสงวนแห่งชาติประมาณ 754,332 ไร่ และสวนป่ายูคาลิปตัสของเอกชน 1,654,448 ไร่ โดยจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกมากที่สุดคือจังหวัดกาญจนบุรีประมาณ 222,000 ไร่ รองลงมาคือจังหวัดสระแก้วประมาณ 200,000 ไร่ และจังหวัดนครพนมประมาณ 139,000 ไร่

สำหรับข้อมูลในปี 2552 เฉพาะพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง มีพื้นที่ปลูกยูคาลิปตัสรวมประมาณ 237,000 ไร่ ในขณะที่มีเกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการของบริษัทเอกชนเพื่อปลูกยูคาลิปตัสกว่า 5 ล้านครอบครัว หากปลูกเพียงครอบครัวละ 2-3 ไร่ จะมีพื้นที่ปลูกรวมกว่า 20 ล้านไร่ ในปี 2553 เกิดการขยายพื้นที่การเพาะปลูกไม้ยูคาลิปตัสอย่างรวดเร็ว จากเดิม 5 ล้านไร่ เป็น 10 ล้านไร่ โดยปัจจุบันสามารถผลิตไม้ยูคาลิปตัสได้มากถึงปีละ 25 ล้านตัน เพียงพอและรองรับต่อการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมได้อย่างเต็มที่ ไม้ยูคาลิปตัสถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายด้าน โดยเฉพาะนำมาผลิตเป็นกระดาษ เศษไม้ที่เหลือจากการผลิตส่วนใหญ่ของโรงงานกระดาษจะนำไปทำเป็นเชื้อเพลิง สำหรับโรงงานที่แปรรูปไม้ยูคาลิปตัส เช่น ทำพาเลท ทำเฟอร์นิเจอร์ ขี้เลื่อยที่เกิดขึ้นจากการตัดไม้ส่วนใหญ่จะนำไปทำเชื้อเพลิงชีวมวล ขี้เลื่อยหนึ่งตันมีมูลค่าประมาณ 1,500-1,700 บาท

ประกอบกับปัจจุบันมีการใช้พลาสติกอย่างแพร่หลาย เช่น ขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำมันพืช ถุงพลาสติก เป็นต้น ซึ่งขยะพลาสติกส่วนใหญ่มาจากขยะชุมชน ส่งผลให้พลาสติกดังกล่าวหลังจากการเลิกการใช้งานแล้วกลายเป็นขยะจำนวนมากมหาศาล ในปี 2551 ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยประมาณ 41,931 ตันต่อวัน โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณมากที่สุด 10,454 ตันต่อวัน รองลงมาคือกรุงเทพฯ มีปริมาณ 9,340 ตันต่อวัน ภาคกลางมีปริมาณ 7,571 ตันต่อวัน ภาคเหนือมีปริมาณ 6,749 ตันต่อวัน ภาคใต้มีปริมาณ 4,804 ตันต่อวัน และภาคตะวันออกเฉียงใต้มีปริมาณ 3,013 ตันต่อวัน ปริมาณขยะที่อัตราเพิ่มขึ้นคือขยะประเภทพลาสติก โดยชนิดของพลาสติกที่ตกค้างอยู่ในขยะมูลฝอยชุมชนที่สำคัญ ได้แก่ พลาสติกชนิด High Density Polyethylene (HDPE) Low Density Polyethylene (LDPE) และ Polypropylene (PP) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 39.54 ร้อยละ 29.20 และร้อยละ 16.10 ของปริมาณขยะพลาสติกที่พบในขยะมูลฝอย ตามลำดับ ดังนั้นการที่จะลดปริมาณขยะพลาสติกในขยะมูลฝอยชุมชนควรมุ่งเน้นไปในขยะพลาสติกประเภท HDPE LDPE และ PP

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาผลิตวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและเศษพลาสติกเหลือใช้ซึ่งเป็นขวดน้ำสีขาวขุ่นประเภท High Density Polyethylene เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสิ่งของเหลือใช้ ลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากขยะพลาสติก และยังเป็นการเพิ่มการใช้ประโยชน์จากขี้เลื่อยไม้ยูคาลิปตัสให้นำมาใช้ประโยชน์ให้หลากหลายขึ้นนอกจากการนำไปทำเชื้อเพลิงชีวมวล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยการศึกษาสมบัติของวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีวัตถุประสงค์ในการวิจัยดังต่อไปนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของอัตราส่วน อุณหภูมิ และผลของสารประสานที่มีอิทธิพลต่อสมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางสัณฐานวิทยา

1.2.2 เพื่อใช้จีลื้อยไม้ยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เป็นการลดขยะจากขบวนการรีไซเคิลและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้

1.2.3 เพื่อนำจีลื้อยไม้ยูคาลิปตัสมาเป็นสารตัวเติมสำหรับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 วัสดุที่ใช้ในการผลิตวัสดุเชิงประกอบ คือ จีลื้อยไม้ยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) ซึ่งเป็นพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้ว

1.3.2 สารประสานที่ใช้ คือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (High density polyethylene grafted maleic anhydride, HDPE-g-MAH) ซึ่งจะเติมลงไป 2 ส่วนใน 100 ส่วนของส่วนผสมระหว่างผงไม้ยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่น

1.3.3 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและไม้ยูคาลิปตัสจะถูกผสมกันในอัตราส่วน 50:50 60:40 70:30 80:20 90:10 และ 100:0 โดยไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้มีขนาด 200-425 ไมโครเมตร

1.3.4 ก่อนทำการขึ้นรูปทำการผสมวัสดุด้วยเครื่องผสมภายใน หลังจากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดร้อน (compression molding) ที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส โดยใช้ความดัน 150 บาร์

1.3.5 ทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบที่ได้จำนวน 5 ครั้งต่อหนึ่งมาตรฐาน โดยศึกษาสมบัติทางกลต่าง ๆ ดังนี้

- การทดสอบแรงดึง (Tensile test) ตามมาตรฐาน ASTM D638
- การทดสอบแรงดัด (Flexural test) ตามมาตรฐาน ASTM D790
- การทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Impact test) ตามมาตรฐาน ASTM D256
- การทดสอบความแข็งผิว (Hardness test) ตามมาตรฐาน ASTM D785

1.3.6 ทดสอบสมบัติทางความร้อนเพื่อศึกษาการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบ และทำการศึกษาลักษณะวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) เป็นการส่องพื้นผิวของวัสดุอย่างละเอียดเพื่อศึกษาการยึดติดระหว่างไม้ยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับวัสดุเชิงประกอบ

1.4.2 เตรียมวัสดุอุปกรณ์ แล้วผสมไม้ยูคาลิปตัส พลาสติก HDPE และ HDPE-g-MAH ด้วยเครื่องผสมภายในตามอัตราส่วนและอุณหภูมิที่กำหนดเพื่อทำเม็ดคอมปาวด์ และบดส่วนผสม

ที่ได้ด้วยเครื่องบดพลาสติกแล้วนำส่วนผสมที่บดได้ขึ้นรูปด้วยวิธีอัดร้อน (Compression molding) ตามอนุกรมวิธานที่กำหนดไว้

1.4.3 นำชิ้นทดสอบตัวอย่างมาทดสอบสมบัติทางกล ซึ่งประกอบไปด้วย การทดสอบแรงดึง การทดสอบแรงดัด การทดสอบความแข็งแรงกระแทก และการทดสอบความแข็งผิว

1.4.4 ศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของสัณฐานวิทยาและสมบัติทางความร้อน

1.4.5 สรุปผลและจัดทำเอกสารรายงานการวิจัย

1.5 สถานที่ทำงานวิจัย

อาคารเครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 15 และ 6 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับขี้เลื่อยไม้ยูคาลิปตัสและขวดน้ำสีขาวขุ่น

1.6.2 ได้วัสดุเชิงประกอบที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง

1.6.3 เป็นพื้นฐานในการวิจัยในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

1.6.4 เพื่อเพิ่มพูนความรู้อันจะนำไปสู่งานวิจัยที่สูงยิ่งขึ้นต่อไป

1.6.5 นำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

สำหรับสาระสำคัญของบทนี้ในส่วนแรกจะเป็นการกล่าวถึงปรีทรรศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ซึ่งจะเป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้นเกี่ยวกับการนำวัสดุจากธรรมชาติมาผสมกับพลาสติกและมีการเพิ่มสารเติมแต่งต่าง ๆ เพื่อให้มีสมบัติดียิ่งขึ้น ในส่วนที่สองจะเป็นการกล่าวถึงบทบาทของวัสดุทดแทนไม้ซึ่งมีความสำคัญหลายประการ เช่น ความสำคัญด้านงานวิศวกรรม ความสำคัญเกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ความสำคัญด้านการลดปัญหาสิ่งแวดล้อม เป็นต้น และในส่วนที่สามจะเป็นกล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับวัสดุเชิงประกอบ สาระสำคัญเกี่ยวกับองค์ประกอบของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้รวมถึงขั้นตอนวิธีการในการผลิตวัสดุเชิงประกอบ การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติ และการทดสอบสมบัติทางกล

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวอ้างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องหรือใกล้เคียงกับการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้สรุปสาระสำคัญของงานวิจัยต่าง ๆ ได้ดังนี้

Bengtsson et al. (2005) พบว่าการยึดเกาะกันระหว่างพันธะ (Crosslinking) ในวัสดุผสมพอลิเอทิลีนกับผงไม้ด้วยการผสม Vinyltrimethoxy silane กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE) และผงไม้ ผลิตโดยใช้การอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder) ทำให้สมบัติเชิงกลด้านความต้านแรงดึงสูงขึ้น ส่วนการอุ้มน้ำนั้นเมื่อเกิดการยึดเกาะกันระหว่างพันธะของวัสดุผสมจะทำให้มีการอุ้มน้ำน้อยกว่าแบบไม่เกิดการยึดเกาะกันของพันธะ (Noncrosslinking) และเมื่อทำการ สแกนด้วยเครื่อง Scanning electron microscopy พบว่ามีการยึดเกาะกันที่ระหว่างพลาสติกกับไม้

Kamdern et al. (2004) ได้ศึกษาคุณสมบัติของไม้พลาสติกจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วกับผงไม้ที่ได้จากต้นสนที่มีอายุมากกว่า 21 ปีและผ่านการ Treat ด้วย Chromated copper arsenate (CCA) จากนั้นผสมด้วย HDPE ที่รีไซเคิล ด้วยอัตราส่วน 50:50 โดยน้ำหนัก แล้วขึ้นรูปด้วยวิธีอัดด้วยความร้อน (Compression molding) นำมาทดสอบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพ พบว่าไม้วัสดุที่ได้มีสมบัติการต้านแรงดัดที่สูงกว่าไม้สนที่ไม่ได้ผ่านการ Treat ด้วย CCA และพาร์ติเคิลบอร์คที่ใช้ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสาน อีกทั้งวัสดุเชิงประกอบที่ได้มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นและมอดูลัสแตกร้าสูงกว่าด้วย

Nunez et al. (2002) ได้ศึกษาวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน (PP) กับจี้ลื้อย ทั้งพจี้ลื้อยบริสุทธิ์ พจี้ลื้อยผสมกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) และพจี้ลื้อยบริสุทธิ์ที่ใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์พอลิพรอพิลีน โคพอลิเมอร์ (Maleic anhydride PP copolymer) เป็นสารช่วยยึดเกาะแล้วทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าพจี้ลื้อยที่ผสมกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ จะมีสมบัติทางกลดีกว่าวัสดุที่เติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์พอลิพรอพิลีน โคพอลิเมอร์เป็นสารช่วยยึดเกาะ รวมถึงตัวอย่างที่เติมพจี้ลื้อยบริสุทธิ์น้อยกว่า 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ก็มีสมบัติเชิงกลดีกว่าวัสดุผสมที่เติมสารช่วยยึดเกาะ แต่พจี้ลื้อยที่ผสมด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์เมื่อผสมกันจะเข้ากันได้ดีกว่าตัวอย่างอื่น

Clemos (2002) ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมคอมโพสิตที่ได้จากพอลิพรอพิลีน (PP) กับพจี้ลื้อย 40 เปอร์เซ็นต์ และ PP กับพจี้ลื้อย 40 เปอร์เซ็นต์กับสารช่วยยึดเกาะ 3 เปอร์เซ็นต์ พบว่าคอมโพสิตที่ได้จาก PP กับพจี้ลื้อย 40 เปอร์เซ็นต์กับสารช่วยยึดเกาะ 3 เปอร์เซ็นต์ มีความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงคด และความทนทานแรงกระแทก สูงกว่าคอมโพสิตที่ได้จาก PP กับพจี้ลื้อย 40 เปอร์เซ็นต์ที่ไม่มีการเติมสารช่วยยึดเกาะ เห็นได้ว่าสารช่วยยึดเกาะมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต

Ichazo et al. (2001) ได้ศึกษาวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน (PP) กับพจี้ลื้อยบริสุทธิ์ และพจี้ลื้อยที่ผสมด้วยไซเดียมไฮดรอกไซด์กับ Vinyl-tris-(2-methoxyethoxy)-silane และมีการใช้ MAPP (Maleated polypropylene) เป็นสารช่วยยึดเกาะ และนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และดัชนีหักเห พบว่า วัสดุที่ผสมพจี้ลื้อยบริสุทธิ์จะมีการดูดซึมน้ำมากกว่าตัวอย่างอื่น ๆ อีกทั้งยังใช้อุณหภูมิในการเกิดผลึกสูงแต่ไม่ส่งผลต่อดัชนีหักเห ในขณะที่พจี้ลื้อยผสมด้วยไซเดียมไฮดรอกไซด์กับ Vinyl-tris-(2-methoxyethoxy)-silane จะมีสมบัติการกระจายตัวที่ดีกว่า

Costa et al. (2000) ได้ทำการศึกษาวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน (PP) และไม้โดยใช้ไซเลน (Silane) เป็นตัวประสาน และทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ กับพอลิพรอพิลีนที่มีการเติมกรดมาเลอิกลงไป จากผลการทดลองพบว่า การใช้พอลิพรอพิลีนที่มีการเติมกรดมาเลอิกจะมีสมบัติต่าง ๆ ดีกว่าพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์

Coutinho and costa (1999) ทำการศึกษาวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน PP และได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการเติมกรดมาเลอิก (Maleic acid) โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เติมกรดมาเลอิก ผลการทดลองพบว่าวัสดุที่มีการเติมกรดมาเลอิกจะมีสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และลักษณะทางกายภาพดีกว่าวัสดุที่ไม่ได้เติมกรดมาเลอิก

Matuana et al. (1997) ได้กล่าวว่าความแข็งแรงที่ลดลงของวัสดุเชิงประกอบนั้นเกิดขึ้นจากความเข้ากันไม่ได้ของเส้นใยไม้และพอลิเมอร์ ซึ่งส่งผลให้แรงดึงดูระหว่างผิวหน้าของเส้นใยและ

เมตริกซ์มีความอ่อนแอ และการกระจายตัวของเส้นใยภายในเมตริกซ์ไม่เหมาะสม เพราะการเกิดแรงกระทำต่อกันของเส้นใยซึ่งเป็นผลมาจากพันธะไฮโดรเจน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของปริมาณพลาสติกไซเซอร์ (DOP) และการปรับปรุงผิวหน้าของเส้นใยที่มีต่อสัดส่วนของโพรงในวัสดุเชิงประกอบ โฟมพอลิไวนิลคลอไรด์ต่อเส้นใยไม้ พบว่าในกรณีที่เส้นใยปราศจากการปรับปรุงผิว การเปลี่ยนแปลงปริมาณพลาสติกไซเซอร์จะไม่มีผลกระทบต่อสัดส่วนของโพรงอากาศในวัสดุเชิงประกอบ ทั้งนี้เป็นเพราะเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวจะมีแรงยึดเกาะกับพอลิไวนิลคลอไรด์ไม่ค่อยดี ซึ่งจะทำให้เกิดช่องว่างขึ้นทำให้แก๊สสามารถแพร่จากวัสดุเชิงประกอบไปสู่สิ่งแวดล้อมได้

Gecoge et al. (1994) ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของ LDPE ที่เสริมด้วยเส้นใยสับประรด โดยสามารถเติมเส้นใยได้สูงสุดถึงร้อยละ 30 มีการเปรียบเทียบการเติม 2 วิธีคือ การผสมโดยทำเป็นสารละลาย (Solution mixing) และผสมขณะหลอม (Melt mixing) พบว่าการเตรียมทั้ง 2 วิธีนี้ ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใย แต่การเตรียมแบบสารละลายจะให้ค่าที่สูงกว่า ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย สำหรับความยาวของเส้นใยจะมีผลต่อสมบัติของคอมโพสิตได้ โดยเส้นใยที่ยาวจะช่วยให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การจัดเรียงตัวของเส้นใยจะมีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสด้วย ถ้าเส้นใยจัดตัวในทิศทางเดียวกันตามแนวแรง คอมโพสิตที่ได้จะมีค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสสูงกว่าที่จัดเรียงตัวตั้งฉากกับแนวแรง

Joseph et al. (1993) ได้ทำการศึกษาสมบัติแรงดึง (Tensile properties) ของวัสดุเชิงประกอบที่เกิดจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับเส้นใยป่านขนารายณ์ (Sisal fiber) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง ได้แก่ กระบวนการผสมเส้นใยกับพอลิเมอร์ โดยที่การผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยแบบหลอมเหลว (Melt mixing) ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยลงไป จะมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง และเมื่อนำวัสดุเชิงประกอบมาฉีดขึ้นรูปใหม่จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งที่ฉีด ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของความร้อนในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปจะทำให้เกิดการสลายตัวที่พื้นผิวของเส้นใย จึงสามารถยึดติดได้กับพอลิเอทิลีนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังพบว่าการจัดเรียงตัวของคอมโพสิตที่จัดเรียงตัวตามแนวแรงจะให้ค่าความแข็งแรงดึงดีกว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแนวทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง และเส้นใยที่มีความยาว 3 มิลลิเมตร จะให้ค่าความแข็งแรงดึงที่สูงที่สุด

Xian et al. (1993) ได้ทำการศึกษาเส้นใยไผ่ (Bamboo) กาบมะพร้าว (Coconut husk, Coir) และหญ้า March (Phragmites) โดยใช้เสริมแรงกับพอลิเมอร์ เช่น Epoxy, Resorcinol, Formaldehyde (RF) Urea Formaldehyde (UF) พบว่าความแข็งแรงในการเสริมแรงเรียงลำดับจาก

มากไปน้อยได้เป็นดังนี้ คือ ใฝ่เส้นยาว(Long bamboo fiber) ใฝ่เส้นสั้น (Short bamboo fiber) ใฝ่ซึ้น (Chipped bamboo fiber) กาบมะพร้าว(Coair fiber) และหญ้้า March ตามลำดับ

Rodeney et al. (1992) ได้ทำการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้จากขวดพลาสติกพอลิพรอพิลีนชนิดหลายชั้น (Multi-layer) และเส้นใยไม้ (Wood fiber) โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบผลกับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ทำจากเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนใหม่ และทำการผสมใน Twin-screw extruder ใช้ปริมาณของเส้นใย 0 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อนำผลการทดลองที่ได้นำมาเปรียบเทียบ พบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนนำกลับมาใช้ใหม่ จะให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนใหม่ แต่ถ้เติมเส้นใยไม้มากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง เนื่องจากเติมสารเติมแต่งที่มีอยู่ในขวดพอลิพรอพิลีนชนิดหลายชั้นจะไปช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างส่วนที่เป็นเมตริกซ์กับเส้นใยไม้มากขึ้น

Yam et al. (1990) ได้ศึกษาการเตรียมคอมโพสิตของ HDPE จากขวดนมกับเส้นใยไม้สน โดยศึกษาเส้นใยที่ไม่ได้ปรับปรุง นำมาปรับปรุงด้วยความร้อนและอะเซทิลเลต (Acetylate) ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ พบว่าสามารถผสมกันได้ถึงร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก แต่ถ้เพิ่มปริมาณเส้นใย ค่าความแข็งแรงดึงจะลดลง และเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อนและอะเซทิลเลต จะให้ค่าดีกว่าเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยความร้อน สำหรับค่ามอดูลัส ค่าความแข็งแรงกระแทก และค่าการยึดติด จะไม่ขึ้นกับการปรับปรุงเส้นใย ค่ามอดูลัสจะเพิ่มตามปริมาณเส้นใยและส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง ส่วนรูปแบบและอุณหภูมิการผสมจะมีผลต่อสมบัติเชิงกลที่ได้ พบว่าถ้ใช้อุณหภูมิมากกว่า 200 องศาเซลเซียส จะทำให้ลิกนินเกิดการเสื่อมสภาพและถ้ใช้เวลานานคอมโพสิตที่ได้จะมีสีคล้้า เนื่องจากการเสื่อมสภาพโดยความร้อน

Raj et al. (1989) ได้ศึกษาการใช้เส้นใยไม้เป็นตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (Medium density polyethylene, MDPE) โดยใช้เส้นใย 3 ชนิด คือ เยื่อเชิงกล (Mechanical pulp) ผงไม้ (Wood flour) และเยื่อเซลลูโลส (Cellulose pulp) และได้มีการปรับปรุงเส้นใยก่อนด้วยสารพวกไซเลน (silane) และพอลิไอโซยานेट (polyisoyanate) เพื่อเป็นการปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยพอลิเมอร์ พบว่าค่าความแข็งแรงดึงจะเพิ่มขึ้นในกรณีที่มีการปรับปรุงเส้นใยก่อน แต่จะไม่มีผลต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่น ค่ามอดูลัสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและค่าพลังงานการแตกหักจะลดลง สำหรับวิธีผสม ถ้ผสมโดยเครื่องอัดรีด จะมีค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสสูงกว่าผสมด้วยเครื่องผสมแบบลูกกอล์ฟ และพบว่า MDPE ที่เติมด้วยเยื่อเชิงกลจะมีสมบัติที่ดีกว่าการเติมเยื่อเซลลูโลสและผงไม้

Kokta et al. (1989) ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนที่ผสมด้วยไม้ต้นสน ซึ่งมีการปรับสภาพผิวด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงการยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์กับไม้ต้นสน โดยใช้ Polymethylene polyphenylisocyanate (PMPPIC) , Silane coupling agent (Silane A-172 silane A-174 และ Silane -A1100) และ Epolene wax เป็นสารปรับสภาพผิวก่อนใส่พอลิเมอร์ โดยใช้วิธีการผสมในเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two roll mill) และเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบกดอัด (Compression molding) พบว่าการใช้ Epolene wax เป็นสารช่วยการกระจายเพียงอย่างเดียว สามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่อมอดูลัส (tensile modulus) และค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของพอลิเมอร์ได้เป็นอย่างดี ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใยจะเพิ่มค่าความแข็งแรงดึงและค่อมอดูลัส แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาดจะลดลง ในขณะที่ใช้ PMPPIC กับ Epolene wax เป็นสารปรับสภาพผิวนั้น ทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์มีค่าสูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยที่ให้ค่าสมบัติเชิงกลสูงสุดคือ 20 Mesh

Kokta et al. (1989) ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนที่ใส่ผงไม้ซึ่งเคลือบผิวด้วยอีโพลีน เพื่อช่วยในการกระจายตัว โดยใช้ไซเลน และพอลิเมทิลีน พอลิฟีนิล โอไซยานาต (Polymethylene polyphenylisocyanate : PMPPIC) เป็นสารช่วยยึดติด ทำการผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบลูกกลิ้งและขึ้นรูปด้วยวิธีกดอัด พบว่าการใช้ PMPPIC ร่วมกับอีโพลีน ค่าความแข็งแรงดึงจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใย แต่การปรับปรุงเส้นใยจะไม่มีผลต่อค่อมอดูลัส ค่อมอดูลัสจะขึ้นกับอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง ถ้าเส้นใยยาวจะมีค่อมอดูลัสสูง และการเพิ่มปริมาณเส้นใยก็ทำให้ค่อมอดูลัสเพิ่มขึ้นด้วยแต่ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและค่าความแข็งแรงกระแทกจะลดลง

Woodhams et al. (1984) ได้ทำการศึกษาพอลิโอฟีนที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่มีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง (Aspect ratio) ประมาณ 100 โดยใช้กรดสเตียริก (Stearic acid) และอีโพลีน (Epolene) เป็นสารช่วยให้เส้นใยกระจายตัวใน HDPE และ PE แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยความแข็งแรงต่อน้ำหนักแล้วคอมโพลิตจากเยื่อไม้จะมีความแข็งแรงเท่ากับหรือมากกว่าวัสดุชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในการก่อสร้าง เช่น เหล็กกล้า อะลูมิเนียม และคอมโพลิตจากเส้นใยแก้ว ในขณะที่ราคาถูกกว่า

Nagaty et al. (1983) ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพลิตจาก Lignocellulose โดยทำการต่อกิ่ง Methyl Methacrylate (MMA) บนเส้นใยชานอ้อยและใช้ Sodium bisulphite-soda lime เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา พบว่าสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพลิตขึ้นอยู่กับปริมาณและขนาดเส้นใยชานอ้อย

ณัฐชัญญาภา ธนวัฒนาศิริกุล (2554) ได้ศึกษาและผลิตไม้พลาสติกจากไม้ปาล์มและพลาสติกเหลือใช้และใช้สารเติมแต่งคือมาเลอิกแอนไฮไดรด์ ทำการขึ้นรูปโดยวิธีอัดร้อนที่อุณหภูมิ 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส ความดัน 2500 psi โดยผสมผงไม้ต่อผงพลาสติกและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ในอัตราส่วน 50:47:03 40:57:03 และ 30:67:03 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปทดสอบสมบัติทางกลพบว่าสมบัติทางกลของไม้พลาสติกมีค่าเพิ่มตามปริมาณสัดส่วนการเพิ่มของเศษผงพลาสติกและอุณหภูมิที่ขึ้นรูป โดยพบว่าที่สัดส่วน 30:67:03 และอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีคุณสมบัติเชิงกลดีที่สุด

ไกรษร ไทยแท้ และคณะ (2551) ศึกษาการนำเศษเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (EVA) จากกระบวนการผลิตพื้นรองเท้ากีฬาและสารประสานไซเลนมาใช้ประโยชน์เป็นสารปรับปรุงการรับแรงกระแทกและการโค้งงอของผลิตภัณฑ์ไม้เทียมที่ผลิตขึ้นจากพอลิไวนิลคลอไรด์ที่นำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่และผงไม้ โดยเศษ EVA ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 3 ชนิด คือ EVA ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์สารผสมระหว่าง EVA และพอลิเอทิลีนที่ยังไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์และโฟม EVA ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์แล้ว โดยการเตรียมตัวอย่างวัสดุผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์ที่นำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ ผงไม้ สารเติมแต่งอื่น ๆ ที่ใช้ในการผลิตไม้เทียม โดยแปรปริมาณเศษ EVA และสารประสานไซเลน (ในอัตราส่วน 0-30 phr) ใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งจากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยความร้อนและทำการศึกษาผลของชนิดของ EVA และอัตราส่วนที่เติมต่อสมบัติการรับแรงกระแทกและการโค้งงอของแผ่นไม้เทียม พบว่าการเติม EVA ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ปริมาณ 10 phr ให้ค่าความทนต่อแรงกระแทกที่สูงที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมสารประสานไซเลนมีผลทำให้สมบัติการโค้งงอของวัสดุผสมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

ทรงพล อรรถพนธ์มาศ และปณรรม เลขานุกิจ (2550) ศึกษาผลกระทบของวัตถุดิบที่มีต่อสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติกสำหรับไม้โครงสร้างที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ที่แตกต่างกันซึ่งไม้ที่นำมาใช้เป็นวัสดุในท้องถิ่นซึ่งประกอบไปด้วย ไม้ยางพารา ลำต้นปาล์ม และกะลาปาล์ม โดยนำมาผสมกับพลาสติก พอลิไวนิลคลอไรด์ ที่อัตราส่วนระหว่างไม้กับพลาสติกที่ 60:40 50:50 และ 40:60 จากนั้นขึ้นรูปด้วยวิธีอัดร้อนที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ความดัน 2500 psi แล้วนำไปทดสอบสมบัติสถิต ความเค้นอัดขนานเสี้ยน ความหนาแน่น การดูดซับน้ำ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและ British standard แล้วนำมาเปรียบเทียบสมบัติกับไม้ประกอบที่ได้จาก ไม้ยางพารา ลำต้นปาล์ม และกะลาปาล์ม ที่นำมาผสมกับกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ที่อัตราส่วนไม้กับยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ 80:20 85:15 และ 90:10 พบว่าไม้พลาสติกส่วนใหญ่จะมีค่าสมบัติเชิงกลสูงกว่าไม้ประกอบ ยกเว้นการดูดซับน้ำและไม้พลาสติกที่มีวัตถุดิบเป็นไม้ยางพาราจะมีค่าสมบัติต่าง ๆ สูงกว่าไม้ชนิดอื่น ๆ ชนิดและสัดส่วนของไม้พลาสติกต่างมีผลกระทบต่อสมบัติของไม้พลาสติก ถ้าปริมาณของวัตถุดิบชนิดใดชนิดหนึ่งมากสมบัติโดยรวมของไม้พลาสติกก็จะมีความโน้มเอียงไป

ทางวัตถุดิบที่มีปริมาณมากกว่า เช่น อัตราส่วนที่มีไม้มากจะมีมอดูลัสความยืดหยุ่น (MOE) และมอดูลัสของความแตกร้าว (MOR) มากซึ่งเป็นค่าที่สำคัญในการออกแบบไม้โครงสร้าง ซึ่งไม้พลาสติกยังถือเป็นไม้เนื้ออ่อนยังไม่เหมาะที่จะนำมาเป็นโครงสร้างเพื่อรับแรงค้ำหรือ ด้านทานการโก่งงอ แต่สามารถนำมาทำเป็นโครงสร้างเพื่อรับแรงอัดขนานเส้นใยได้

ธนารัตน์ นระประทีปต์ (2550) ได้ทำการศึกษาผลของสารช่วยให้เข้ากัน และ สารประสานไซเลนของพอลิเมอร์เชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยปอแก้วและปาน สรณารายณ์ ความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์เชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใย สามารถถูก ปรับปรุงโดยการใส่มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิพรอพิลีนปริมาณมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์ พอลิพรอพิลีนที่ใช้คือ 1,2,4,6,8 และ 10 ส่วนใน 100 ส่วนของพอลิเมอร์เชิงประกอบ ปริมาณที่ เหมาะสำหรับพอลิเมอร์เชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยปอแก้ว และพอลิเมอร์ เชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีนกับปานสรณารายณ์ คือ 2 ส่วน ใน 100 ส่วนของพอลิเมอร์ เชิงประกอบ

อาชาไนย บัวศรี และคณะ (2550) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณผงซีลี้อยที่มีต่อ คุณสมบัติของวัสดุเสริมองค์ประกอบ โดยใช้พลาสติก HDPE และ LDPE ผสมกับผงซีลี้อย ในอัตราส่วน 2.5, 5.0 และ 10.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพลาสติก และศึกษาอิทธิพลของการเติม สารคู่ควบที่มีต่อสมบัติของวัสดุเสริมองค์ประกอบ โดยใช้ Maleic Anhydride graft Polyethylene 2.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่และขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน ด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติกจากนั้นนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ทางกายภาพ และทางด้าน ความร้อนของวัสดุเสริมองค์ประกอบ พบว่าเมื่อปริมาณของผงซีลี้อยมากขึ้น คุณสมบัติเชิงกล ของวัสดุเสริมองค์ประกอบจะดีขึ้น และสารคู่ควบช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการยึดเกาะกันของวัสดุ เสริมองค์ประกอบ ทำให้มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ส่วนความสามารถในการดูดซับน้ำและอุณหภูมิ ในการสลายตัวมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อปริมาณของผงซีลี้อยเพิ่มขึ้น

จันทนา เทศเจริญ และไพศาล นาคพิพัฒน์ (2549) ได้ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุประกอบ จากขวดพอลิเอทิลีน ไซส์แล้วกับผงหนังกัดจากอุตสาหกรรมพอกหนังเพื่อใช้ทดแทนไม้หมอน รางรถไฟ โดยศึกษาผลกระทบจากขนาดและปริมาณของผงหนังกัด รวมทั้งปริมาณยางรีเคลมที่ใช้เป็น วัสดุเสริมแรงที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ จากการทดลองใช้ขนาดผงหนังกัด 5 และ 20 Mesh โดยแปรเปลี่ยนปริมาณผงหนังกัด 10 30 50 70 และ 90 phr และยางรีเคลมที่ 5 10 15 20 และ 25 Mesh ผสมวัสดุด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง แล้วขึ้นรูปด้วยการอัดในแม่พิมพ์ ผลการทดลอง พบว่า ผงหนังกัดขนาด 5 Mesh ปริมาณผงหนังกัด 70 phr และยางรีเคลม 20 phr เป็นอัตราส่วนที่ เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนนี้ในการศึกษาผลของการปรับปรุงสภาพพื้นผิวผงหนังกัดโดย เลือกใช้สารคู่ควบไซเลน คือ 3-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซิไซเลน (3-aminopropyltriethoxysilane)

และ เอ็น-อะมิโนเอทิล-3-อะมิโน โพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน (N-aminoethyl-3-aminopropyltriethoxysilane) ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยหนังเพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะของเนื้อวัสดุ พบว่า 3-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลนเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพการทำงานดีที่สุด ในขณะที่เอ็น-อะมิโนเอทิล-3-อะมิโน โพรพิลไตรเอทอกซีไซเลนทำงานได้ที่ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

กิตติศักดิ์ อินทร์แก้ว และ ไภษัชย์ พาณิชย์ (2549) ได้ศึกษาผลิตและผลิตวัสดุไม้พลาสติกจากเศษไม้ยางพารา โดยใช้ขี้เลื่อยไม้ยางพาราผสมกับขบวนการน้ำเกลือ (LDPE) ด้วยวิธีการอัดร้อน และมีปัจจัยที่ศึกษา 3 อย่างคือ ความดัน อุณหภูมิ และอัตราส่วน ซึ่งเมื่อนำผลที่ได้ของ ไม้พลาสติกมาเปรียบเทียบกับไม้อัดความหนาแน่นปานกลางพบว่า ที่อัตราส่วนพลาสติกต่อขี้เลื่อย 70:30 โดยน้ำหนักจะมีสมบัติความหนาแน่นและความแข็งแรงดึงสูงกว่าอัตราส่วนพลาสติกต่อขี้เลื่อย 50:50 และ 60:40 โดยน้ำหนัก และไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง พบว่า ที่ความดันสูง ๆ จะทำให้ไม้พลาสติกมีสมบัติด้านความหนาแน่นและความแข็งแรงดึงสูง ไม้พลาสติกที่มีส่วนผสมของพลาสติกจะทำให้มีคุณสมบัติด้านความหนาแน่นและความแข็งแรงดึงสูงกว่าไม้พลาสติกที่มีส่วนผสมของพลาสติกต่ำกว่า และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เหมาะสมกับการทำไม้พลาสติกมากกว่า 110 องศาเซลเซียส

เพ็ญศรี พูลผล และคณะ (2548) ทำการศึกษาการใช้ผงไม้และเศษพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ที่เหลือจากกระบวนการผลิตในโรงงานมาศึกษาการผลิตไม้เทียม ซึ่งคุณสมบัติแห้งไม้เทียมที่ได้นี้จะมีค่าความแข็ง ความหนาแน่น และค่าของการทดสอบการยึดตัวมีค่าสูงกว่าไม้จริง แต่มีค่าความทนต่อแรงดึงและแรงกระแทกน้อยกว่าไม้จริง ดังนั้นประโยชน์ใช้สอยของไม้เทียมที่ได้จึงเหมาะสมกับงานตกแต่งภายในอาคารและได้ราคาถูก และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างไม้เทียมกับไม้จริง พบว่าความทนต่อสภาพแวดล้อม ทนปลวก ทนสารเคมี ไม่ดูดซึมน้ำ ไม่ผุกร่อนเหมือนไม้ มีอายุการใช้งานยาวนานเป็นจนวนกันความร้อน ที่สำคัญไม่เป็นเชื้อเพลิงติดไฟอีกด้วย ส่วนคุณสมบัติงานช่างก็ใช้สอยง่ายสามารถดก เลื่อย เจาะหรือทากาวได้ ไม่แตกร้าวหรือเป็นเสี้ยน

สมควร วัฒนกิจไพบูลย์ และจิตตกร ทรงต่อศรีสกุล (2548) ได้ผลิตวัสดุทดแทนแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ต้นข้าวโพด ชังข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง เปลือกทุเรียนและผักตบชวา โดยกำหนดความชื้นของเศษวัสดุไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ทำการอัดด้วยเครื่องอัดร้อน แรงอัดจำเพาะ 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อุณหภูมิอัด 150 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอัด 10 นาที ทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน มอก.876-2532 พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับผลิตเป็นวัสดุทดแทนแผ่นขึ้นไม้อัด โดยผสมปริมาณของเศษวัสดุประมาณ 80-85 เปอร์เซ็นต์ และผสมปริมาณของกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ วัสดุทดแทนแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตได้มีสมบัติด้านการตัดเนื้อด้วยเครื่องมือกลได้เป็นอย่างดี

สามารถทำการเลื่อยตัด เจาะรู ตอกตะปู ตลอดจนการขัดผิวเรียบด้วยกระดาษทรายโดยไม่ทำให้เกิดการแตกหลุดร่อน สามารถใช้ทดแทนชิ้นไม้ที่ผลิตจากวัสดุคิบที่เป็นเนื้อไม้ได้เป็นอย่างดี แต่ยังมีจุดอ่อนด้านสมบัติด้านทานแรงยึดเหนี่ยวตะปูเกลียว การดูดซึมน้ำ การพองตัว และกลิ่นจากเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรที่นำมาใช้เป็นวัสดุคิบ ดังนั้นการนำไปประยุกต์ใช้งานจึงเหมาะกับงานที่ไม่สัมผัสกับความชื้นสูง แต่ถ้าหากมีการใช้สารเคลือบผิวหรือวัสดุเคลือบผิว เช่น แล็กเกอร์หรือฟอไมก้า ก็จะเป็นการแก้ไขจุดอ่อนได้

ไพศาล นาคพิพัฒน์ และอมรรัตน์ สุนทรพงศ์ (2548) ได้ทำการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบโดยใช้ขวดน้ำพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วเป็นโครงสร้างและเศษหนังสือซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตในโรงงานฟอกหนังมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรง และใช้ยางริเคลมซึ่งเป็นยางที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ยางที่เสียมาใช้เป็นสารเติมแต่ง โดยทำการศึกษาสมบัติของวัสดุเชิงประกอบจากขวดน้ำพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วและผงหนังสืออัตราส่วนขวดน้ำพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วเป็น 100 phr เศษผงหนังสือ 10 30 50 70 และ 90 phr ศึกษาวัสดุเชิงประกอบเมื่อใช้ยางริเคลมเป็นสารเติมแต่ง 5 10 และ 15 phr และปรับปรุงผงหนังสือด้วยสารยึดเหนี่ยวไวนิลไซเลนความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผสมวัสดุด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง แล้วขึ้นรูปงานโดยการอัดในแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบว่าเมื่อใส่ยางริเคลมเป็นสารเติมแต่งจะเพิ่มความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ และการปรับปรุงผงหนังสือด้วยสารยึดเหนี่ยวไวนิลไซเลนที่อัตราส่วนของผงหนังสือมากกว่า 50 phr จะช่วยลดการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบเนื่องจากเกิดการควบแน่นของหมู่ไฮดรอกซิล โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุเชิงประกอบคือ เศษผงหนังสือที่ปรับปรุงด้วยสารยึดเหนี่ยวไวนิลไซเลน 90 phr และยางริเคลม 15 phr

ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และคณะ (2547) ได้นำผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา มาผสมกับพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) และแคลบเพื่อเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้เทียม ซึ่งงานนี้มีจุดมุ่งหมายในการเพิ่มปริมาณขี้เลื่อยไม้ยางพาราและแคลบให้สูงขึ้นถึง 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และทำการปรับปรุงคุณสมบัติการดูดซึมน้ำของวัสดุผสม PVC กับเส้นใยธรรมชาติได้ข้อสรุปว่าสามารถเพิ่มปริมาณขี้เลื่อยไม้ยางพาราได้จาก 33.33 เปอร์เซ็นต์ เป็น 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้สารคู่ควบชนิด Saline และพบว่าสารคู่ควบในปริมาณ 0.99-1.48 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของขี้เลื่อยไม้ยางพาราเหมาะสมกับวัสดุผสม PVC ที่ 33.33 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของขี้เลื่อยไม้ยางพารา และต้องใช้ร่วมกับสารหล่อลื่น 0.89 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แคลบเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้เป็นสารตัวเติมในวัสดุผสม PVC ซึ่งให้สมบัติความแข็งแรงดีกว่า สารปรับปรุงคุณสมบัติการดูดซึมน้ำของวัสดุผสมชนิด CPE และ Acrylic พบว่า CPE ปริมาณ 7.41 เปอร์เซ็นต์และ Acrylic ปริมาณ 3.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เหมาะสำหรับการใช้วัสดุผสม PVC ที่ปริมาณขี้เลื่อยยางพารา 33.33 เปอร์เซ็นต์และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

คมกฤต เล็กสกุล และอรรถพล สมทุภะปดี (2547) ได้ศึกษากรรมวิธีการผลิตและสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติก โดยวิธีฉีดเข้าไปในแบบ ด้วยการใช้ขี้เลื่อยไม้ยางพาราจากการตัดผิวไม้มาผสมกับผงพลาสติก PP ซึ่งแบ่งออกเป็น 50:50 60:40 และ 70:30 ตามลำดับ และอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 160 180 และ 120 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติกอย่างมีนัยสำคัญ คือ ที่อัตราส่วนผสม 50:50 ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ทำให้ไม้พลาสติกมีค่าความแข็งแรงสูงสุด และส่วนผสม 50:50 ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ทำให้ไม้พลาสติกมีค่าความโค้งงอสูงที่สุด และส่วนผสม 60:40 ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ทำให้ไม้พลาสติกมีค่าความแข็งแรงสูงสุด แต่ในอัตราส่วน 70:30 ไม่สามารถขึ้นรูปขึ้นงานได้ในทุกอุณหภูมิเนื่องจากการไหลของวัสดุในการฉีดขึ้นรูปไม่ดี

สมภพ เลิศลักษณ์กุล (2544) ได้ศึกษาวัสดุเชิงประกอบจากพอลิไวนิลคลอไรด์และเส้นใยยูคาลิปตัส ซึ่งทำการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะที่ใช้ในการผลิต ผลของปริมาณและขนาดของเส้นใย ปริมาณของสารเพิ่มเนื้อแคลเซียมคาร์บอเนต และวิธีการเตรียมเส้นใยที่แตกต่างกัน จากงานวิจัยพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปพอลิไวนิลคลอไรด์เชิงประกอบในเครื่องอัดขึ้นรูปคือ 190 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที ส่วนผลของปริมาณเส้นใย พบว่าการเพิ่มของปริมาณเส้นใยไม้จะส่งผลให้สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบสูงขึ้น แต่จะลดลงเมื่อปริมาณของเส้นใยไม้สูงเกินไป และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมากขึ้น ปริมาณไม้ที่เหมาะสมที่สุดคือ 30 phr จากการศึกษาผลของเส้นใยพบว่าพอลิไวนิลคลอไรด์เชิงประกอบที่มีเส้นใยยาวจะมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์เชิงประกอบที่ใช้เส้นใยสั้น โดยสมบัติทางความร้อนและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ขนาดของเส้นใยไม้ที่ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด คือ เส้นใยขนาด 35-50 Mesh (300-500 ไมโครเมตร) ในการศึกษาชนิดของเส้นใยที่ใช้ในการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์เชิงประกอบที่เตรียมจากวิธีที่แตกต่างกัน พบว่า เส้นใยที่ได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการเชิงความร้อนเชิงกลจะมีสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนที่ดีกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์เชิงประกอบที่เตรียมจากเส้นใยที่ได้จากกระบวนการทางเคมี

สัญญา แก้วเกตุ และคณะ (2544) ทำการศึกษาผสมแกลบกับพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว และทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่เตรียมได้ เพื่อลดปริมาณการใช้ขยะ และเพิ่มคุณค่าของพลาสติกเหลือใช้ ซึ่งนับได้ว่าเป็นการช่วยประหยัดพลังงานในทางอ้อม ซึ่งพอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัวได้มาจากการสังเคราะห์พอลิพรอพิลีน มาลีโอทพทาเลต ซึ่งเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างพรอพิลีนไกลคอลกับมาลอลิกแอนไฮไดรด์และพทาสิกแอนไฮไดรด์ แล้วนำมาผสมแกลบขนาด 0.25 0.18 และ 0.125 มิลลิเมตร ในอัตราส่วนแกลบต่อพอลิเอสเทอร์ 70:30 60:40 50:50 และ 40:60 โดยน้ำหนัก ทำการขึ้นรูปขึ้นงานด้วยวิธีอัดร้อน และพบว่าวัสดุผสมที่ได้มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่น

ความแข็งแรงดึง และความทนแรงกระแทกมีแนวโน้มสูงสุดเมื่อมีส่วนผสมของแคลบและพอลิเอสเตอร์เป็น 50:50

ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ (2543) ได้นำขี้เถ้ามาผสมกับพอลิไวนิลคลอไรด์ ได้สูตรส่วนผสมที่ทำให้ไม้พลาสติกมีสมบัติทนทานต่อสภาวะอากาศเหมือนพอลิไวนิลคลอไรด์ โดยกระบวนการอัดรีดเกลียวหนอน (Screw Extruder) ที่ถูกอัดผ่านแม่พิมพ์ขึ้นรูป ซึ่งได้จัดสิทธิบัตรที่สัดส่วนพอลิไวนิลคลอไรด์ต่อขี้เถ้าเป็น 60:40

ปิยวรรณ เจียวก๊ก และพงศศักดิ์ แพน้อย (2543) ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีนและเส้นใยคาบิลิปตัสซึ่งที่ได้จากกระบวนการทางเคมีและทางความร้อนเชิงกล โดยศึกษาผลของสารช่วยผสมมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิพรอพิลีนและอัตราส่วนของเส้นใยที่เหมาะสม โดยพบว่าสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตดีขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยมากขึ้น และปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมได้แก่ 20 phr เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสมพบว่า คอมโพสิตมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น และมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำลดลง และปริมาณสารช่วยผสมที่เหมาะสมที่สุดคือ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เมื่อทำการเปรียบเทียบคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใย TMP และ CP พบว่าเส้นใย TMP มีการกระจายตัวที่ดีกว่าและมีสมบัติเชิงกลดีกว่า เมื่อพิจารณาองศาความเป็นผลึกพบว่า ปริมาณเส้นใยไม้ไม่มีผลต่อองศาความเป็นผลึก แต่ปริมาณสารช่วยผสมมีผลทำให้ค่าองศาความเป็นผลึกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

รัชดา ขวัญคน (2541) ได้ทำการศึกษาการเตรียมคอมโพสิตของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากขวดน้ำและเส้นใยอ้อย โดยใช้เปรียบเทียบสารช่วยการยึดติด 2 ชนิด ได้แก่ PE-g-AA และ PE-g-MAH จากการทดลองพบว่า การเติมขานอ้อยลงไปในการคอมโพสิตจะทำให้คอมโพสิตมีค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้น แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยึด ฉ จุดขาดและค่าความแข็งแรงการกระแทกลดลง และคอมโพสิตที่ใช้สารช่วยยึดติดระหว่าง PE-g-AA และ PE-g-MAH จะให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน

ปิยวรรณ ตั้งสุวรรณวานิช (2541) ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติ (ไผ่สีสุก) กับเอบีเอสที่มีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยไผ่ โดยทำการผสมเส้นใยไผ่ 0-40 phr กับเอบีเอสโดยใช้เครื่องผสมหลอมเหลวระบบปิดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin-screw extruder) และขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป พบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการตอกกับพอลิเมทิลไครเลต (PMMA) มีสมบัติเชิงกลดีกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตแบบไม่ตอก และเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยลงไปพบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตจะมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

นันทพร พันธุ์ภักดี และเรวดี สกกุลอาริยะ (2540) ได้ทำการศึกษาเส้นใยอ้อย เป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน โดยเส้นใยอ้อยจะถูกปรับสภาพผิวเพื่อปรับปรุงสมบัติการกระจายตัว และการยึดติดในพอลิเมอร์ โดยใช้อีโพลีนแวกซ์ (Epolene wax) การฉายรังสี และการใช้เมล็ดพิงก์ชันนัต

มอนอเมอร์ (Multifunctional monomer) แล้วนำมาผสมกับพอลิพรอพิลีนในเครื่อง Brabender จากนั้นนำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบฉีด พบว่าคอมโพสิตที่มีเส้นใยอ้อย 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักทั้งที่ปรับและไม่ปรับสภาพผิว มีแนวโน้มที่จะมีสมบัติเชิงกลในด้านต่าง ๆ ดีขึ้น

วัชร อธิปัญญาศฤณี วิศณีย์ ตั้งยีนยง และวัฒนเกียรติ เลือ่อือเจริญกิจ (2540) ได้ทำการศึกษาปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติ เพื่อใช้ในพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยใช้ปฏิกิริยาการต่อกิ่งด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมาลงในสารละลายมอนอเมอร์เมทิลเมทาอะครีเลต (MMA) โดยผลิตคอมโพสิตกับอะครีโลไนไทรล์-บิวทาไดอิน-สไตรีน(เอบีเอส) และขึ้นรูปโดยการฉีด พบว่า คอมโพสิตที่มีการปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ดีกว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้รับการปรับปรุง โดยเฉพาะคอมโพสิตที่ฉายรังสี 15 kGy พบว่าที่ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ มอนอเมอร์มีการต่อกิ่งมากที่สุด คอมโพสิตที่ผสมเส้นใยชานอ้อย 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักมีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด เมื่อทำการสกัด โสโมพอลิเมอร์ (PMMA) ออกจากเส้นใยก่อนผสมเป็นคอมโพสิต พบว่ามีสมบัติคือยลกว่า โสโมพอลิเมอร์ที่เกิดจากการฉายรังสีมีบทบาทช่วยเสริมเส้นใยที่ได้รับการต่อกิ่ง ทำให้มีสมบัติดีขึ้น

เฉลิมพล อธิวิวัฒน์ และสกุล บรรจงวุฒิ (2537) ได้ทำการศึกษาเส้นใยเซลลูโลส ได้แก่ หญ้าสาบหลวง (*Typha angustifolia*) เป็นสารเสริมแรงในพอลิพรอพิลีน โดยผสมเส้นใยแก้วและสาร Silane เพื่อเป็นสารเชื่อมโยง (Coupling agent) จากการทดลองพบว่า เส้นใยช่วยเพิ่มความแข็งแรงดึงและค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต แต่มีแนวโน้มการลดลงของค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด นอกจากนี้ยังทำการศึกษาปรับปรุงสมบัติและการใช้งานอื่น ๆ เช่น ใช้ในการทำแผ่น MDF (Medium Density Fiber Board) และใช้เทอร์โมเซต เช่น UF MF เป็นตัวประสาน

พิชัย มนต์พัฒนา และศิริพงษ์ โรจน์วีระ (2533) ได้ทำการศึกษาขุยมะพร้าวและฟางข้าว ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ใช้ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และพอลิพรอพิลีน พบว่าขุยมะพร้าวทำให้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิพรอพิลีน มีค่ามอดูลัสสูงขึ้นค่าความแข็งแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลง และค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น ฟางข้าวทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสสูงขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าใช้สารตัวเติมมากกว่า 10 phr จะมีปัญหาในการขึ้นรูป

จากการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น ทำให้ทราบว่าวัสดุเชิงประกอบเกี่ยวกับการใช้วัสดุที่เหลือจากการเกษตรมาผสมกับพลาสติกประเภทต่าง ๆ กำลังได้รับความนิยมและเข้ามามีบทบาทแทนไม้ในปัจจุบัน โดยสามารถสร้างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้หลากหลาย และยังสามารถปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ได้ตามต้องการ ซึ่งวัสดุเชิงประกอบอย่างเช่นไม้พลาสติกนั้น ผู้วิจัยส่วนใหญ่จะใช้ พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและความหนาแน่นต่ำเป็นส่วนประกอบของวัสดุเชิงประกอบ โดยมีสัดส่วนไม้ต่อพลาสติกเป็น 30:70 40:60 50:50 และ

60:40 และช่วงอุณหภูมิในการขึ้นรูปจะอยู่ในช่วง 110-200 องศาเซลเซียส ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก เนื่องจากพลาสติกแต่ละประเภทจะมีจุดหลอมเหลวที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการจะผลิตจึงต้องเลือกใช้อุณหภูมิให้เหมาะสม สมบัติต่าง ๆ ที่ได้ยังขึ้นอยู่กับกระบวนการในการผลิต ซึ่งประกอบด้วย Injection molding Compression molding และ Extrusion molding และยังสามารถปรับปรุงสมบัติโดยการเติมสารเติมแต่ง เช่น การใส่มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารช่วยยึดเกาะระหว่างพวงจี้เชื่อมกับพลาสติกประเภทต่าง ๆ

2.3 บทบาทของวัสดุทดแทนไม้

ปัจจุบันมีการศึกษาเพื่อพัฒนาวัสดุที่จะนำมาใช้ทดแทนไม้อย่างจริงจัง จึงได้มีการศึกษาและเก็บข้อมูลต่าง ๆ และจากการศึกษาพบว่าปริมาณเนื้อไม้ที่ตัดจากป่ามีการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์เพียงแค่อ้อยละ 50-60 ของต้นไม้ทั้งต้นเท่านั้น จึงได้มีการศึกษาหาแนวทางที่จะนำวัสดุไม้ที่เหลืออีกร้อยละ 40-50 มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเป็นการเพิ่มคุณค่าของเศษวัสดุไม้ อีกทางเลือกหนึ่งคือเป็นการพัฒนาวัสดุทดแทนไม้ โดยสมบัติของวัสดุทดแทนไม้โดยสามารถพัฒนาให้มีสมบัติที่มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อม มีอายุการใช้งานนานขึ้นเมื่อเทียบกับไม้ธรรมชาติ และยังสามารถใช้งานได้ทั้งในน้ำและบนบก โดยไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.3.1 เป็นการสร้างวัสดุชนิดใหม่เพื่อใช้ในงานวิศวกรรม

การนำไม้มาผสมกับพลาสติกนั้นเป็นการดึงเอาสมบัติทั้งข้อดีและข้อเสียของวัสดุทั้งสองชนิดเข้ามาไว้ด้วยกัน ดังนั้นจึงเป็นการสร้างวัสดุที่มีสมบัติใหม่ขึ้นมารองรับความต้องการทางด้านวิศวกรรมและสามารถนำไปใช้งานได้โดยมีประสิทธิภาพ

2.3.2 การใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด

จากที่กล่าวมานุษยชาติได้ใช้ไม้โดยรวมไม่ถึงร้อยละ 60 ของไม้ที่ตัดมาเพราะไม้ส่วนใหญ่อายุสูญเสียบไปในกระบวนการแปรรูปไม้มักจะกลายเป็นเครื่องเรือน ไม้ท่อนหรือไม้แผ่น วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างได้ แต่ในการผลิตวัสดุทดแทนไม้จะนำส่วนที่สูญเสียบจากการแปรรูปมาผลิตเป็นวัสดุทดแทนไม้ที่อยู่ในรูปของไม้ประกอบหรือวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติก หรืออื่น ๆ ที่สามารถนำมารวมกันได้

2.3.3 ได้สมบัติที่ดีขึ้น

คุณสมบัติของไม้ตามธรรมชาตินั้นไม่จัดว่าเป็นวัสดุทางวิศวกรรม เนื่องจากว่าสามารถกำหนดให้มีคุณสมบัติที่แน่นอนตามความต้องการได้เพราะไม่ว่าจะควบคุมการปลูกและดูแลอย่างดีเพียงใดก็ยังสามารถจัดการให้มีคุณสมบัติที่แม่นยำและแน่นอนตามความต้องการได้ เนื่องจากในต้นไม้มีข้อบกพร่องและตำหนิในเนื้อไม้ที่แตกต่างกันตามส่วนต่าง ๆ แต่การนำไม้มาผสมกับพลาสติกและทำการขึ้นรูปใหม่ให้เป็นวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกเราจะสามารถ

ควบคุมหรือให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันในแต่ละชั้นของผลิตภัณฑ์ได้จึงกล่าวได้ว่าวัสดุทดแทนไม้เป็นวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกนั้นสามารถจัดเป็นวัสดุทางวิศวกรรม

2.3.4 ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

จากปัญหาการใช้ไม้โดยรวมไม่ถึงร้อยละ 60 ของที่มีการตัดมาและมีขยะเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตคือเศษไม้ หรือขี้เลื่อยหากไม่สามารถนำเศษไม้ หรือขี้เลื่อยที่เกิดจากกระบวนการการแปรรูปไม้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างอื่นได้ เศษไม้ และขี้เลื่อยเหล่านั้นก็จะกลายเป็นขยะและเป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อราซึ่งจะส่งกลิ่นเหม็นและปล่อยสารพิษทำลายสิ่งแวดล้อม แต่ถ้านำเศษไม้หรือขี้เลื่อยเหล่านี้ไปผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่โดยทำเป็นวัสดุทดแทนไม้หรือวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติก นอกจากไม่ต้องเสียงบประมาณในการกำจัดขยะแล้ว ยังเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติได้อย่างคุ้มค่าอีกด้วย

2.4 วัสดุเชิงประกอบ (Composites material)

วัสดุเชิงประกอบ เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อยสองชนิดที่มีสมบัติแตกต่างกันเมื่อผสมกันแล้วจะมีความแข็งแรงมากกว่าแต่ละองค์ประกอบย่อยที่มาประกอบกับวัสดุเชิงประกอบจัดเป็นวัสดุที่มีความสำคัญมาก ในปัจจุบันเป็นที่นิยมและมีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบ มีข้อดีหลายประการ เช่น น้ำหนักเบา ความแข็งแรงและมอดูลัสต่อน้ำหนักสูง ขึ้นรูปได้ง่ายและต้นทุนในการผลิตต่ำ อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้งานแทนวัสดุอื่นได้ เช่น โลหะ และเซรามิก ซึ่งสมบัติของวัสดุเชิงประกอบขึ้นอยู่กับ การยึดเกาะระหว่างวัสดุเชิงประกอบ และสารเสริมแรง คุณสมบัติของเมตริกซ์และสารเสริมแรง ปริมาณสารเสริมแรง ขนาดและรูปร่างของสารเสริมแรง กระบวนการผลิต การกระจายตัวของสารเสริมแรงและตำแหน่งหรือช่องว่างภายในวัสดุเชิงประกอบ

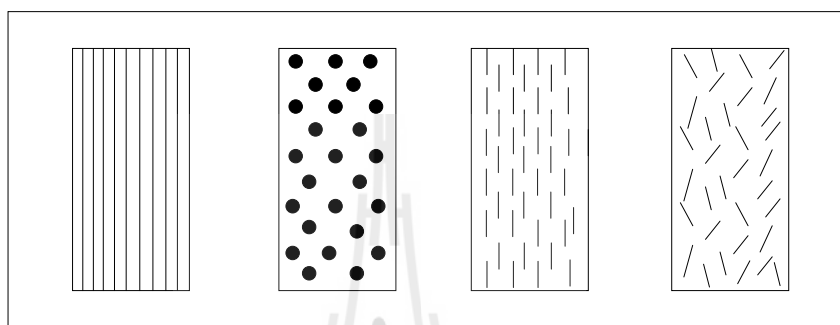
วัสดุเชิงประกอบ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

1. ส่วนเมตริกซ์ (Matrix phase) ส่วนนี้จะเป็นองค์ประกอบหลักของวัสดุเชิงประกอบจัดเป็นส่วนที่มีความต่อเนื่อง (Continuous phase) เมตริกซ์ที่นิยมได้แก่ พอลิเมอร์ โลหะ และเซรามิก เมตริกซ์เป็นส่วนที่ห่อหุ้มและยึดส่วนเสริมแรงเข้าไว้ด้วยกัน โดยทั่วไปเมตริกซ์มักจะมี ความเหนียวสูง ความแข็งแรงและมอดูลัสต่ำกว่าส่วนเสริมแรง หน้าที่ของเมตริกซ์ในพอลิเมอร์เชิงประกอบ ได้แก่

- รักษาความเสถียรในรูปร่าง และขนาดวัสดุเชิงประกอบ
- รักษาการกระจายตัวของส่วนเสริมแรง และแยกไม่ทำให้ส่วนเสริมแรงมารวมกัน
- ทำให้วัสดุเชิงประกอบ ทนต่อการเสียดสภาพภายใต้อุณหภูมิหรือแรงกระทำ
- สามารถกระจายหรือส่งถ่ายแรงที่ได้รับจากภายนอกไปยังส่วนเสริมแรงได้

- ช่วยให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมและมีความเสถียรภาพในตัวกลางต่าง ๆ

2. ส่วนเสริมแรง (Reinforcement phase) ทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงมักเป็นส่วนที่ไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous phase) ซึ่งมีลักษณะรูปร่างหลายแบบ อาจเป็นแผ่น เส้นใย (fiber) หรืออนุภาคเล็ก ๆ โดยตัวเสริมแรงที่นิยมใช้มีลักษณะเป็นเส้นใยต่อเนื่อง หรือเส้นใยสั้น เส้นใยที่ใช้เสริมแรงในพอลิเมอร์เชิงประกอบ ได้แก่ เส้นใยแก้ว เส้นใยธรรมชาติ เป็นต้น



รูปที่ 2.1 ลักษณะของส่วนเสริมแรง [Pornchai,2553]

2.5 วัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติก (Wood plastic composites : WPCs)

เป็นวัสดุซึ่งได้รับความสนใจอย่างมากทั่วโลก ทั้งในยุโรป อเมริกา หรือแม้แต่ในเอเชีย รู้จักในชื่อทั่วไปว่า “ไม้เทียม” วัสดุชนิดนี้สามารถทนทานต่อแสงแดดและฝนมีสีสันทนและลวดลายหลากหลาย หรือสามารถทำสีได้ตามความต้องการ และปลอดภัยจากการรุกรานของปลวก ส่วนของวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกนี้ครอบคลุมการใช้วัสดุเชิงประกอบในช่วงกว้าง นับตั้งแต่การใช้พอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ พอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) และพอลิสไตรีน เป็นต้น พลาสติกเหล่านี้เป็นเทอร์โมพลาสติก เมื่อได้รับความร้อนจะหลอมตัวเป็นของเหลวหนืดและกลายเป็นของแข็งเมื่อปล่อยให้เย็นลงสมบัติดังกล่าวทำให้เราสามารถเติมวัสดุอื่น ๆ ลงไปผสมกับพลาสติกก่อนการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์วัสดุเชิงประกอบได้ สารดังกล่าวเราเรียกโดยรวมว่า “สารเติมแต่ง (additives)” ด้วยเหตุนี้วัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกจึงเป็นวัสดุที่ผลิตง่ายสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้มากมาย และยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

โดยปกติวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกจะมีไม้ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม (fillers) หรือสารเสริมแรง (reinforcement) อยู่ในปริมาณ 30-60 เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสมทั้งหมด ไม้ดังกล่าวจะอยู่ในรูปของผงไม้ นอกจากสารตัวเติมที่เป็นไม้แล้ว ยังมีสารเติมแต่งชนิดอื่นซึ่งเติมลงในวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกเพื่อเพิ่มสมบัติของผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมกับการใช้งานตัวอย่างเช่น

สารหล่อลื่น(lubricants) ซึ่งช่วยให้ผิวของผลิตภัณฑ์สม่ำเสมอและง่ายต่อการขึ้นรูป สารเชื่อมโยง (coupling agents) หรือสารประสาน(binders) ช่วยในการปรับปรุงการยึดติดระหว่างองค์ประกอบของพลาสติกและไม้ สีทำหน้าที่เพิ่มความสวยงามแก่ผลิตภัณฑ์ สารเพิ่มความเสถียรต่อแสง (light stabilizer) สารเพิ่มฟอง (blowing agents) และเทอร์โมเซททิংเรซิน เป็นต้น วัสดุที่เป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ของไม้เทียมเหล่านี้เดิมมีเพียงวัสดุเชิงประกอบไม้ วัสดุเชิงประกอบไม้นี้ได้จากการอัดขึ้นรูปผงไม้กับสารประสานด้วยความดันสูงเป็นวัสดุอุมคคติเพื่อใช้ทดแทนไม้จริงซึ่งมีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างของวัสดุเชิงประกอบไม้ซึ่งพบในท้องตลาด เช่น พาติเคิลบอร์ด (particle-board) และไฟเบอร์บอร์ดความหนาแน่นปานกลาง (medium density fiberboard, MDF) แต่ในปัจจุบันวัสดุเชิงประกอบไม้ดังกล่าวได้มีการปรับเปลี่ยนพัฒนาขึ้นเป็นวัสดุเชิงประกอบชนิดใหม่หรือวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติก

วัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกแนวใหม่ได้จากการผสมระหว่างเศษไม้เลื่อยหรือผงไม้ สารประสานและพลาสติกเพื่อผลิตเป็นวัสดุซึ่งสามารถขึ้นรูปได้เหมือนกับการขึ้นรูปพลาสติกทั่วไป แต่รวมลักษณะเด่นของทั้งไม้และพลาสติกเข้าไว้ด้วยกัน ในส่วนที่เป็นไม้นั้นมักได้จากเศษไม้เลื่อยหรือชิ้นไม้จากการตัดขอบ ไม้ส่วนที่เหลือใช้และไม่สามารถนำไปใช้งานอื่น ๆ ได้นำมาผ่านกระบวนการบด (grinding) เป็นผงอนุภาคขนาดเล็กก่อนเติมลงในเนื้อพลาสติก นั่นก็หมายความว่า การผลิตวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกนี้ไม่จำเป็นต้องสูญเสียทรัพยากรไม้เพิ่มขึ้นจากเดิม ส่วนของพลาสติกนั้นสามารถใช้พลาสติกซึ่งเคยผ่านการใช้งานแล้ว กลับมาขึ้นรูปและใช้ใหม่อีกได้ เช่น ถูพลาสติกเก่า กล่องแบตเตอรี่เก่า การใช้ผลิตภัณฑ์ไม้และพลาสติกเหลือใช้หรือเศษวัสดุเป็นวัตถุดิบในการผลิตนี้สามารถช่วยทำให้วัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกมีต้นทุนในการผลิตต่ำ ให้ผลกำไรสูง และรักษาสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้วัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกยังมีสมบัติเชิงกลดี เหนียวและแข็งแรง มีความคงรูปสูง ตลอดจนสามารถใช้ในการประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนได้

2.6 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene)

เป็นพอลิเอทิลีนที่มีค่าความหนาแน่นสูงซึ่งได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ซึ่งค่าความหนาแน่นของวัสดุนี้ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.950 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

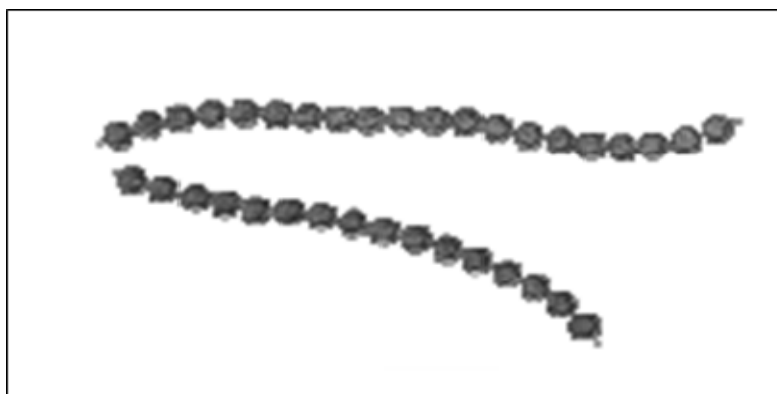
HDPE เป็น วัสดุประเภท Polyethylene Thermoplastic คือพลาสติกที่สามารถนำกลับมาหลอมใช้ใหม่ได้ เป็นพลาสติกที่ได้รับสัญลักษณ์เลข 2 ซึ่งหมายถึง Resin Identification Code 2 เพื่อความสะดวกสำหรับการจำแนกชนิดของพลาสติกในการนำกลับไปเวียนทำใหม่ ในปี 1945 Earl Tupper แห่งบริษัท DuPont® สังเกตว่าพอลิเอทิลีนเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีความเหนียวทนทาน สามารถนำมาหล่อในแบบพิมพ์ให้มีขนาด รูปร่าง และผสมสีให้มีสีต่าง ๆ ได้ จึงเริ่มด้วย

การผลิต แก้วน้ำพลาสติก และชามอ่าง ซึ่งได้รับความนิยมเนื่องจากมีน้ำหนักเบา สีสนำมาใช้ และต่อมาได้ผลิตภาชนะที่มีฝาปิดได้ด้วย ซึ่งเป็นที่มาของภาชนะบรรจุอาหารที่ได้รับความนิยมจากแม่บ้านในสมัยนั้น ในชื่อของทัปเปอร์แวร์

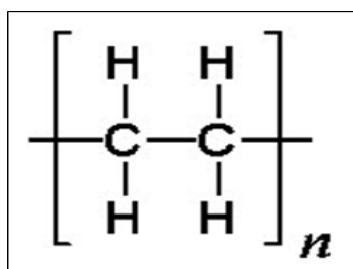
HDPE เป็น Polyethylene ที่ถูกทำให้มีความหนาแน่นสูงขึ้นจนเกือบเท่าน้ำ โดยทั่วไปใช้ทำขวดใส่ผลิตภัณฑ์น้ำมัน ใส่แชมพู ใส่สบู่เหลว เป็นต้น ที่เป็นขวดนมจะไม่มีการเติมหรือผสมสีหรือ รงควัตถุ เนื้อมีลักษณะขาว ไม่ทึบ ไม่โปร่งแสง คือแสงผ่านได้บ้างแต่ไม่ใส เนื้อ HDPE ประเภทนี้เป็นเนื้อธรรมชาติ เพราะไม่มีการเติมสีใด ๆ เป็นเนื้อที่มีมูลค่าสำหรับการรีไซเคิลสูงที่สุด เนื่องจากผู้นำไป รีไซเคิลสามารถจะทำเป็นสีอะไรก็ได้ในภายหลัง ส่วนภาชนะ HDPE ที่มีสีจะถูกหลอมรวมกันในโรงงานรีไซเคิลและนำไปผลิตเป็นภาชนะที่มีสีดำ ขบวนการรีไซเคิล HDPE เป็นขบวนการแบบง่าย ๆ เศษ HDPE จะถูกตัดบดจนเป็นเกล็ดเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วเข้ากระบวนการล้างซึ่งจะหมุนให้เศษ HDPE ลอยขึ้นผิวน้ำ แยกสิ่งสกปรกที่จมน้ำออกไป จากนั้นนำไปอบด้วยลมร้อน โรงงานบางแห่งทำเพียงขั้นตอนนี้ โดยนำเกล็ด HDPE ที่สะอาดและแห้งที่ได้มาบรรจุกล่องขายให้โรงงานอีกต่อหนึ่ง โรงงานที่มีอุปกรณ์มากกว่านี้ก็สามารถเติมสี และหลอมเป็นเม็ดเหมือนของใหม่ได้ ซึ่งเหมาะกับการนำไปเข้าเครื่องฉีดเพื่อขึ้นรูปผลิตเป็นภาชนะต่อไป

2.6.1 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรงแทบจะไม่มีกิ่งก้านสาขาแยกออกมา หรืออาจจะมีประปรายจึงทำให้โครงสร้างจัดเรียงตัวได้เป็นระเบียบหรือเกิดโครงสร้างแบบผลึกได้สูง มีความสามารถในการยืดตัวร้อยละ 10-650



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง [<http://www.physics.kku.ac.th>]



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง [<http://www.physics.kku.ac.th>]

2.6.2 คุณสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

คุณสมบัติทั่วไป	ค่าประมาณ	หน่วย
ความถ่วงจำเพาะ	950-965	Kg/m ³
ความสามารถในการรับแรงดึงที่จุดคราก	18-24	Kg/cm ²
เปอร์เซ็นต์การยืดตัวเมื่อขาด	>600	%
ความแข็ง (Shore D)	55-70	
การนำความร้อน	0.4-0.5	W m/°K
ความร้อนจำเพาะ	2.25	Kj/Kg °K
จุดหลอมเหลว	135	°C
ยังมอดูลัส	400-1000	N/mm ²
อุณหภูมิเมื่อติดไฟ	>340	°C
การขยายตัวเนื่องจากความร้อน	17x10 ⁻⁵	cm/cm °K

2.6.3 การสังเคราะห์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

กระบวนการในการสังเคราะห์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงประกอบไปด้วย 4 กระบวนการดังนี้

1. กระบวนการซีเกลอร์ (Ziegler Process) ในทางการค้าจะทำที่ความดันสูงกว่าบรรยากาศเล็กน้อย (0.2-0.4 MPa หรือ 2-4 บรรยากาศ) อุณหภูมิ 50-75 °C โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์แอนดร้า ซึ่งได้แก่ ไททานเนียมเตตระคลอไรด์/อะลูมิเนียมอัลคิล (เช่น ไดเอทิล อะลูมิเนียมคลอไรด์ อะลูมิเนียมไตรเอทิล) ส่วน Diluents ที่ใช้ได้แก่ น้ำมันดีเซล (Diesel Oil) เฮปเทน (Heptane) หรือ โทลูอีน ปฏิกิริยาจะเกิดภายใต้บรรยากาศเฉื่อย (ปกติภายใต้บรรยากาศของแก๊ส

ไนโตรเจน) ต้องไม่มีความชื้นและออกซิเจนเพราะจะทำให้ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง หรือแม้แต่ทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้โดยเอทิลีน ตัวเร่งปฏิกิริยาและ Diluents จะถูกป้อนอย่างต่อเนื่องเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ พอลิเมอร์ที่ได้จะละลายใน Diluents เล็กน้อย โดยอยู่ในรูปของสารขุ่นหนืด (Slurry) และถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วด้วยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือเอทานอล โลหะจากตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกแยกออกด้วยกรดเกลือ ถ้าต้องการฉนวนไฟฟ้าต้องทำให้บริสุทธิ์หลาย ๆ ครั้ง แล้งจึงเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง ทำให้เกลืออคริดและตัดเป็นเม็ด HDPE ที่ได้มีความหนาแน่นประมาณ 0.945 g/cm^3

2. กระบวนการฟิลลิปส์ (Philips Process) ใช้ความดัน 3 - 4 MPa (30-40 บรรยากาศ) อุณหภูมิ $90-160^\circ\text{C}$ และใช้โครเมียมออกไซด์ (CrO_3) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเอทิลีนจะถูกผ่านเข้าไปในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน (ไวโคลเฮกเซน) ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาแขวนลอยอยู่ PE ที่ได้จะอยู่ในรูปของสารละลายหรือสารขุ่นหนืดขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ ถ้าเป็น Solution process จะกระทำที่อุณหภูมิ $120 - 160^\circ\text{C}$ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่พอลิเมอร์ละลายได้ใน Diluents สารละลายที่ร้อนจะถูกดึงออกจากเครื่องปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่อง เอทิลีนที่ไม่ทำปฏิกิริยาจะถูกล้างออก พอลิเมอร์ที่ได้จะตกตะกอนออกมาเมื่อสารละลายถูกทำให้เย็นลงและถูกแยกออกด้วยการหมุนเหวี่ยง ส่วน Slurry Process จะทำที่อุณหภูมิ $90-100^\circ\text{C}$ ซึ่งพอลิเมอร์ที่ละลายใน Diluents ได้น้อย ในอุณหภูมินี้ HDPE ที่ได้มีความหนาแน่นสูงที่สุด (ประมาณ 0.69 g/cm^3) โดยที่โมเลกุลเกือบเป็นเส้นตรงอย่างสมบูรณ์

3. กระบวนการสแตนดาร์ดออยล์ (Standard Oil Process) วิธีนี้จะคล้ายกับกระบวนการฟิลลิปส์ ตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วยโลหะออกไซด์ เช่น โมลิบดีนัมไดออกไซด์บนอะลูมินา และผสมกับสารที่เป็นตัวช่วยรีดิวซ์ เช่น โลหะหมู่ IA IIA หรือพวกไฮโดรด์เป็นตัวช่วยกระตุ้นให้ไวต่อปฏิกิริยา โดยใช้ความดัน 4-10 MPa ที่อุณหภูมิ $200-300^\circ\text{C}$ และใช้ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน HDPE ที่มีความหนาแน่น 0.96 g/cm^3 ซึ่งเท่ากับที่ได้จากกระบวนการฟิลลิปส์อีกทั้งน้ำหนักโมเลกุลก็ใกล้เคียง

4. กระบวนการยูเนียนคาร์ไบด์ (Union Carbide Process) กระบวนการนี้เอทิลีนจะถูกพอลิเมอร์ไรซ์ในเฟสที่เป็นแก๊ส (Gas Phase) ด้วยความดัน 0.7 - 0.2 MPa (7-20 บรรยากาศ) ที่อุณหภูมิประมาณ 100°C ตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย Organochromium Compound เช่น Chromacene กระบวนการนี้ Fluidized Bed ที่มีเอทิลีนเป็น Fluidizing Gas (เป็นตัวทำปฏิกิริยาด้วย) พอลิเมอร์ที่ได้มีลักษณะเป็นเม็ด (ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ได้ถูกกำจัดออกไป) และสามารถใช้ได้โดยตรง เนื่องจากไม่มีตัวทำละลายมาเกี่ยวข้องทำให้ Gas Phase Process ควบคุมได้ง่าย และใช้พลังงานน้อยกว่ากระบวนการอื่น ๆ

2.6.4 การใช้งานของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

HDPE ทนทานต่อสารเคมีและตัวทำละลายหลายชนิด มีความยืดหยุ่นต่อแรงกระทบกระแทก ไม่แตกร้าวง่าย สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานต่าง ๆ ได้ดังนี้

งานฉีดแบบ (Injection Molding) ใช้ทำผลิตภัณฑ์ทั่วไปเช่น ถังน้ำ กะละมัง กระจก น้ำ ถาดน้ำแข็ง และเครื่องใช้ในสำนักงาน เป็นต้น สำหรับงานฉีดขึ้นงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะที่ต้องใช้กับงานกลางแจ้ง ได้แก่ แท่นรองสินค้า ถังน้ำอัดลม เป็นต้น

งานเป่าทั่วไป (Blow Molding) ตั้งแต่ขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่และงานที่ต้องการความทนต่อสารเคมีสูง เช่น ขวดน้ำยาทำความสะอาด ขวดเครื่องสำอาง ภาชนะใส่น้ำมันเครื่อง น้ำมันเบรก รวมทั้งภาชนะบรรจุอาหารและยา เช่น ขวดนม ขวดน้ำดื่ม และขวดยา เป็นต้น

งานอัดรีด (Extrusion) เหมาะกับการอัดรีดเป็นท่อ เช่น ท่อน้ำประปา ท่อระบายน้ำ ท่อน้ำเพื่อการเกษตร ทำในอุตสาหกรรมเคมี และท่อร้อยสายไฟ สายโทรศัพท์หรือใช้งาน เป่าฟิล์ม (blown film) เพื่อทำถุงประเภทต่าง ๆ เช่น ถุงหิ้ว เนื่องจากมีความเหนียวและความแข็งแรงสูง ทำความร้อน เป็นต้น

2.6.5 ความปลอดภัยของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

HDPE มีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมากกว่า PVC (Polyvinyl chloride) และ Polycarbonate ที่อาจปลดปล่อย Bisphenol A ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และมีข้อดีเหนือภาชนะที่ทำจากแก้ว โลหะ และกระดาษแข็ง เนื่องจากภาชนะที่ใช้ในการบรรจุอาหารต้องสัมผัสกับอาหารโดยตรง ผู้บริโภคจึงควรคำนึงถึงความปลอดภัยของภาชนะเหล่านั้นว่ามีการทำปฏิกิริยากับอาหารที่บรรจุอยู่หรือไม่ และมีการปลดปล่อยสารต่าง ๆ ออกมาสู่อาหารหรือไม่

2.7 ยูคาลิปตัส (Eucalyptus)

ยูคาลิปตัสเป็นไม้ที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศออสเตรเลียมีจำนวนมากกว่า 700 ชนิด โดยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Eucalyptus camaldalensis* Dehn. ลักษณะเป็นไม้โตเร็ว รูปทรงลำต้นตรงดีพอสมควร สามารถเจริญเติบโตและตัดฟันเพื่อใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่อายุ 3-5 ปี รวมทั้งสามารถแตกหน่อได้ดี ไม่ต้องปลูกใหม่ เจริญเติบโตได้เร็ว ทนต่อสภาพแห้งแล้ง สามารถขึ้นได้ทั้งพื้นที่ดินเสื่อมโทรมมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำดินเค็ม ดินเปรี้ยว ดินที่เป็นทราย มีความแห้งแล้งติดต่อกันเป็นเวลานานพื้นที่ดินแลวที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 650 มิลลิเมตรต่อปี จนกระทั่งในสภาพพื้นที่ที่มีน้ำท่วมบางระยะในรอบปี หรือพื้นที่ริมน้ำ แต่จะไม่ทนทานต่อดินที่มีหินปูนสูง

ลักษณะลำต้นเป็นไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ มีความสูง 24-28 เมตร บางชนิดสูงถึง 50 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางอาจถึง 1-2 เมตร ส่วนของใบออกเป็นคู่ตรงข้ามเรียงสลับ ลักษณะเป็นใบรูปหอก มีขนาด 2.5 – 12 x 0.3 – 0.8 นิ้ว ก้านใบยาว ใบสีเขียวอ่อนทั้งสองด้าน บางครั้งมีสีเทา

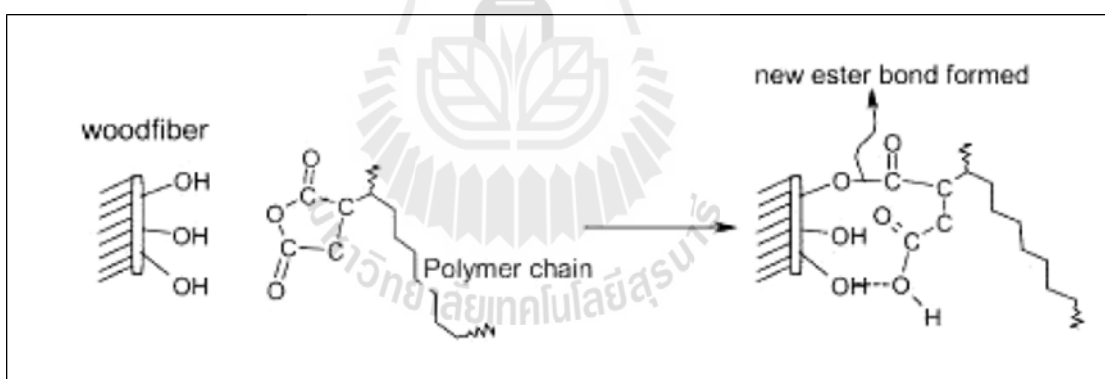
ใบบาง ห้อยลง เส้นใบมองเห็นชัดเปลือกมีลักษณะเรียบเป็นมัน สีเทาสลับขาวและน้ำตาลแดงเป็นบางแห่งเปลือกนอกจะแตกร่อนเป็นแผ่นหลุดออกจากผิวของลำต้นเมื่อแห้ง และลอกออกได้ง่าย ขณะยังสดหลังการตัดฟัน เปลือกนอกหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร ส่วนของช่อดอกจะเกิดที่ข้อต่อระหว่างกิ่งกับใบ มีก้านดอกเรียวยาว และมีก้านย่อยแยกออกไปอีก ออกดอกเกือบตลอดปีขึ้นกับความสมบูรณ์ของต้นบางครั้งมีทั้งดอกตูมดอกบาน ผลอ่อนและผลแก่ในกิ่งเดียวกัน ออกดอกปีละ 7-8 เดือน จึงเหมาะต่อการเลี้ยงผึ้ง ในขณะที่ผลมีลักษณะครึ่งวงกลมหรือรูปถ้วย ขนาด $0.2-0.3 \times 0.2-0.3$ นิ้ว ผิวนอกแข็ง เมื่อยังอ่อนจะมีสีเขียว และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อแก่ โดยปลายผลจะแตกแยกออก ทำให้เมล็ดร่วงลงมา ลักษณะของเมล็ดมีขนาดเล็กลงกว่า 1 มิลลิเมตร สีเหลือง น้ำหนักเมล็ด 1 กิโลกรัม จึงมีจำนวนเมล็ดได้ถึงสองแสนเมล็ด

สำหรับเนื้อไม้ยูคาลิปตัส มีแก่นสีน้ำตาล กระจุกสีน้ำตาลอ่อน โดยกระจุกและแก่นมีสีแตกต่างกันอย่างชัดเจน เมื่ออายุมากขึ้นลักษณะเนื้อไม้จะมีสีน้ำตาลแดงเข้มกว่าไม้อายุน้อย เนื้อไม้มีลักษณะค่อนข้างละเอียดบางครั้งบิดไปตามแนวลำต้น มีความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 0.6-0.9 ในสภาพแห้งแล้งซึ่งขึ้นกับอายุของไม้ ลักษณะเนื้อไม้แตกง่ายหลังจากตัดฟันตามแนวยาวขนานลำต้น คุณภาพเนื้อไม้ยูคาลิปตัสเมื่อแปรรูปจึงมักบิดงอง่าย เนื้อไม้มีเส้นใย บิดเป็นเกลียวและแตกร้าวได้ง่าย จึงเหมาะต่อการใช้งานหน้าแคบและสั้น แต่หากทำให้ถูกวิธีก็สามารถนำมาเลื่อยทำเครื่องเรือนและก่อสร้างได้เช่นกัน

การใช้ประโยชน์จากยูคาลิปตัสของประเทศไทยส่วนใหญ่ จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษกว่าร้อยละ 60 ซึ่งไทยมีโรงงานผลิตเยื่อกระดาษประมาณ 6 โรง รองลงมาร้อยละ 30 นำไปทำเป็นชิ้นไม้สับคั้นนั้นอัตราการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ จึงมีผลต่อความต้องการใช้ไม้ยูคาลิปตัสของประเทศ ซึ่งการผลิตเยื่อกระดาษจะต้องใช้เชื้อไยยาวควบคู่ไปกับเชื้อไยสั้น เพื่อเพิ่มคุณภาพของกระดาษให้ดีขึ้น โดยมีสัดส่วนของการใช้เชื้อไยสั้นต่อเชื้อไยยาวประมาณ 75 ต่อ 25 แต่ไทยต้องนำเข้าเชื้อไยยาวทั้งหมดเพราะไม่มีการปลูกไม้ที่ให้เชื้อไยยาวอย่างไ้ก็ตาม ไทยก็สามารถส่งออกเยื่อกระดาษไยสั้นคิดเป็นสัดส่วน 1 ใน 3 ของเยื่อกระดาษไยสั้นที่ผลิตได้ทั้งหมด จะเห็นได้ว่าการบริโภคภายในประเทศยังไม่มากนัก มีอัตราการบริโภคเยื่อกระดาษประมาณ 30 กว่ากิโลกรัมต่อคนต่อปี ในขณะที่ประเทศที่พัฒนาแล้วมีอัตราการบริโภคเยื่อกระดาษกว่า 200 กิโลกรัมต่อคนต่อปี ดังนั้นสามารถประมาณการความต้องการไม้ยูคาลิปตัสเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม

2.8 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (High density polyethylene grafted maleic anhydride, HDPE-g-MAH)

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ เป็นสารคู่ควบปฏิกริยาชนิดหนึ่ง ที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เพื่อปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวบริเวณผิวสัมผัสของพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์คอมโพสิต ซึ่งเมื่อเติมสารคู่ควบจะช่วยปรับปรุงการยึดเกาะกันระหว่างพลาสติกและผงซีลี้อย ทำให้เกิดการกระจายตัวของผงซีลี้อยในพลาสติกได้ดี เนื่องจากสารคู่ควบที่ใช้ คือ high density polyethylene grafted maleic anhydride ที่ประกอบด้วยส่วนที่มีซีวและไม่มีซีว โดยส่วนที่มีซีวจะทำปฏิกริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของผงซีลี้อยเกิดเป็นพันธะเอสเทอร์ (Ester Linkage) และพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bonding) และส่วนที่ไม่มีซีวจะเกิดการเกี่ยวพันกับสายโซ่โมเลกุลของพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งพันธะที่เกิดขึ้นสามารถตรวจสอบได้โดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ดังนั้นสารคู่ควบที่เติมลงไปในระบบนั้นจึงทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างพลาสติกกับผงซีลี้อย ทำให้ช่องว่างระหว่างเฟสทั้งสองชนิดลดลง



รูปที่ 2.4 แสดงกลไกการเกิดพันธะเอสเทอร์และพันธะไฮโดรเจนระหว่างสารคู่ควบกับซีลี้อย

[Bin Li และ Jinmei He,2004.]

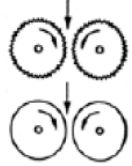
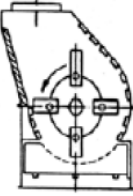

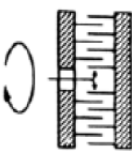
2.9 การเตรียมพลาสติกเพื่อกระบวนการแปรรูป

การเตรียมพลาสติกเพื่อกระบวนการแปรรูปเป็นขั้นตอนที่จำเป็นในการเตรียมพลาสติก ซึ่งอยู่ในลักษณะวัตถุดิบให้พร้อมที่จะนำมาผลิตเป็นชิ้นงานได้ โดยปกติพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปจะต้องมีการผสมสารเคมีที่เรียกว่า สารเติมแต่ง (Additives) หลายชนิดเพื่อปรับปรุงสมบัติของชิ้นงานพลาสติกและปรับปรุงความสามารถในการแปรรูปพลาสติกเพื่อให้แปร

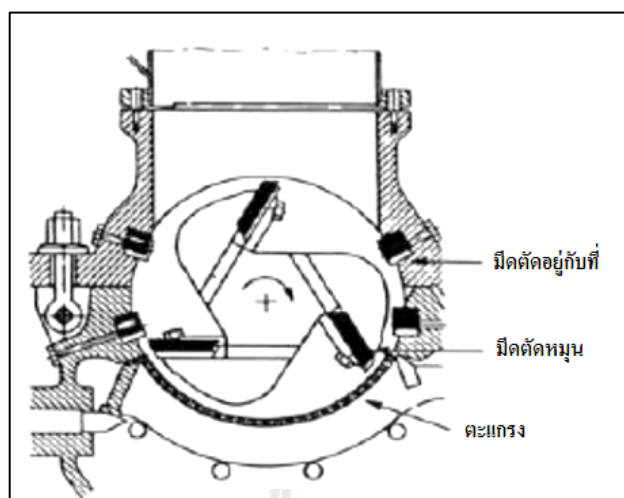
รูปได้ง่ายขึ้น กระบวนการเตรียมพลาสติกเพื่อกระบวนการแปรรูปจึงประกอบด้วย การบดย่อย การผสมขณะที่เป็นของแข็ง (Mixing) การผสมขณะที่เป็นของเหลว (Compounding) และการทำพลาสติกเม็ด (Pelletizing)

2.9.1 การบดย่อย

การบดย่อย หมายถึง การลดขนาดของพลาสติกแข็งโดยวิธีทางกล เพื่อให้พลาสติกมีขนาดและรูปร่างเหมาะสม ซึ่งสามารถนำไปขึ้นรูปต่อไปได้ ในการบดย่อยจะทำให้ได้พลาสติกที่มีขนาดเล็กแตกต่างกันตามความต้องการ เหตุผลที่จำเป็นต้องบดย่อยพลาสติกมีหลายอย่าง เช่น เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสเมื่อทำการผสม ทำให้อบแห้งได้ดี ป้อนเข้าเครื่องจักรแปรรูปได้อย่างสม่ำเสมอ หลอมละลายได้เร็ว เป็นต้น เครื่องบดย่อยมีหลายชนิดซึ่งสร้างไว้ให้เหมาะสมกับชนิดของพลาสติก เช่น เครื่องรีดย่อย โม่ตี โม่กวน โม่ตัด โม่แท่งตี และโม่รีด เป็นต้น ลักษณะการทำงานของเครื่องบดย่อยต่าง ๆ แตกต่างกันไป เช่น เครื่องรีดย่อยใช้แรงตัด เครื่องโม่ตัดใช้การตัดเฉือน และเครื่องโม่แท่งใช้การตีให้กระจายและการเสียดสี เครื่องโม่ตัดเป็นเครื่องย่อยที่มีใช้มากในการย่อยพลาสติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการย่อยเศษพลาสติกหรือชิ้นงานที่เสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เครื่องโม่ตัดประกอบด้วยเรือนเหล็กหล่อที่มันคง มีคมตัดติดอยู่กับเรือน 4 คม ตอนล่างจะมีตะแกรงประกอบอยู่ วัสดุที่จะตัดถูกส่งเข้าทางปล่องด้านบน ตรงกลางจะมีเพลาลูกเบี้ยวซึ่งมีคมตัดติดอยู่ 3 เล่ม เศษพลาสติกที่ใส่ลงไปจะถูกมีดหมุนจับและนำไปตัดกับมีดซึ่งติดอยู่กับเรือนเครื่อง โดยเครื่องจะทำงานช้า ๆ ไปจนกว่าพลาสติกจะละเอียดพอที่จะลอดตะแกรงได้ ความเร็วตัดจะอยู่ระหว่าง 12-14 เมตรต่อวินาที ระยะห่างระหว่างมีดหมุนและมีดอยู่กับที่ประมาณ 0.25-0.5 มิลลิเมตร โม่ตัดมีขนาดทำงานได้ตั้งแต่ 10-2,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

เครื่อง	เครื่องรีดย่อย	โม่ตี	โม่ตัด	โม่แท่งตี
สภาพของพลาสติก				
เปราะ				
เหนียว				
elastic				
เหมาะสำหรับ	PS, PF	PS, PF, PMMA	PVC, PE, PP, PA	

รูปที่ 2.5 เครื่องบดย่อยพลาสติกแบบต่าง ๆ [<http://www.sci.buu.ac.th>]



รูปที่ 2.6 เครื่องโม่ตัด [<http://www.sci.buu.ac.th>]

2.9.2 การผสม (Mixing)

การผสมเป็นการนำวัสดุต่างชนิดมารวมกันและให้เฉลี่ยเข้ากัน ได้แก่ การผสมสารเติมแต่งกับพลาสติก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการผสมของแข็งกับของแข็งหรือของแข็งกับของเหลวเข้าด้วยกันโดยใช้เครื่องผสม (Mixer หรือ blender) โดยทำให้วัสดุเกิดการเคลื่อนที่กระแทกเสียดสีและคลุกเคล้ากันจนได้สภาพการผสมที่ต้องการด้วยการหมุนของใบกวนในถังเปิดหรือปิด ผลของการผสมทำให้เกิดการกระจายตัวของวัสดุต่างชนิดกันเข้ากันอย่างทั่วถึง แต่ยังคงสามารถแยกอนุภาคของสารแต่ละชนิดได้อย่างชัดเจน เครื่องผสมที่ใช้ในการผสมมีลักษณะการผสมแบบรุ่น (Batch mixer) ซึ่งเกิดการผสมโดยการทำให้วัสดุเกิดการเคลื่อนที่ที่คลุกเคล้ากัน โดยไม่ให้พลาสติกได้รับแรงเฉือนมากนัก เทคนิคการผสมนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ การผสมแบบเย็น (Cold mixing) และการผสมแบบร้อน (Hot mixing)

1. การผสมแบบเย็น (Cold mixing)

เทคนิคการผสมแบบนี้เป็นการผสมจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิห้อง สามารถใช้ผสมพลาสติกและสารเติมแต่งที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน ตัวอย่างเครื่องผสมแบบผสมเย็น เช่น

- เครื่องผสมแบบถังหมุน (Drum tumbler) เครื่องผสมแบบถังหมุนทำให้เกิดการผสมของสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ กับพลาสติกเข้าด้วยกัน โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงและการหมุนเหวี่ยงของถังหมุน ซึ่งแรงเหล่านี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของสารต่าง ๆ เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เครื่องผสมชนิดนี้มีหลายแบบ แต่แบบที่นิยมใช้และราคาถูกที่สุดคือ เครื่องผสมแบบถังหมุนปกติ (Tumbling barrel) มักใช้สำหรับการผสมสารเติมแต่งปริมาณไม่มากลงในพลาสติก

ประกอบด้วยถังผสมขนาดประมาณ 130-210 ลิตร ซึ่งถูกขับให้หมุนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ประสิทธิภาพการผสมขึ้นกับปริมาณวัสดุและเวลาที่ใช้ในการผสม นอกจากนี้ยังมีเครื่องผสมแบบ ถังหมุนแบบอื่น ๆ ที่ให้การผสมเข้ากันได้ดีกว่า เนื่องจากมีการหมุนและการเหวี่ยงของถังผสมใน เวลาเดียวกัน เช่น ถังหมุนแบบกรวยคู่ (Double cone mixer) และถังหมุนแบบรูปตัววี (V-shape mixer) เป็นต้น

- เครื่องผสมแบบริบบอน (Ribbon blender) เครื่องผสมแบบริบบอนมีตัวกวนผสม ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะขดวนคล้ายสปริงเรียกว่า ริบบอนบรรจุอยู่ในถังผสมที่ยึดติดอยู่กับที่ แผ่นริบบอนนี้ถูกยึดติดกับเพลาคับที่สามารถหมุนด้วยความเร็วประมาณ 20-60 รอบต่อนาที เครื่องผสมแบบนี้นิยมใช้ในการผสมวัสดุที่มีลักษณะเป็นผงหรือก้อนเล็ก ๆ โดยทั่วไปในขณะที่ทำการผสมจะไม่เกิดความร้อนขึ้น เนื่องจากขณะทำการผสมจะไม่เกิดแรงเสียดทานระหว่างวัสดุและระหว่างริบบอนกับผนังของถังผสม

- เครื่องผสมแบบกรวยที่มีสกรูภายใน (Conical screw mixer) เครื่องผสมแบบนี้ประกอบด้วยถังผสมที่มีลักษณะเป็นกรวยกลม และมีสกรูบรรจุอยู่ภายในถัง โดยวางแนบอยู่ใกล้กับผนังของถังผสม สกรูนี้สามารถหมุนได้ 2 ลักษณะคือ หมุนรอบแกนสกรูและหมุนเคลื่อนที่ในแนวเส้นรอบวงของถัง ความเร็วในการหมุนสามารถปรับเปลี่ยนได้ เครื่องผสมแบบนี้สามารถผสมสารที่มีปริมาณเล็กน้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. การผสมแบบร้อน (Hot mixing)

เทคนิคการผสมแบบนี้มีการให้ความร้อนแก่วัสดุที่ทำการผสม โดยอุณหภูมิของห้องผสมอาจสูงถึง 140 องศาเซลเซียส ดังนั้นสารเติมแต่งบางชนิดอาจหลอมแล้วกระจายตัวเข้าไปในพลาสติกซึ่งยังคงสถานะเป็นของแข็ง ตัวอย่างเครื่องผสมแบบนี้ ได้แก่ เครื่องผสมเทอร์บูเลนต์ (Turbulent mixer) ซึ่งประกอบด้วยถังผสมร้อนและถังหล่อเย็น ภายในถังผสมร้อนมีใบพัดกวนที่มีความเร็วสูง เป็นตัวช่วยในการผสมองค์ประกอบต่าง ๆ เข้าด้วยกัน หลังจากผสมกันแล้วจะถ่ายของผสมร้อนลงในถังหล่อเย็น เพื่อทำให้ของผสมร้อนเย็นตัวลงเหลือประมาณ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลาผสมของเครื่องผสมแบบนี้สั้นมาก คือประมาณ 10 นาทีต่อครั้ง ขนาดของเครื่องผสมร้อนโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1,000-1,500 ลิตร และเครื่องผสมเย็นประมาณ 2,000-3,000 ลิตร

2.9.3 การคอมปาวด์ (Compounding)

การคอมปาวด์เป็นการผสมสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ กับพลาสติก โดยพลาสติกจะถูกให้ความร้อนจนอยู่ในสถานะหลอม จากนั้นสารเติมแต่งและพลาสติกหลอมจะถูกนวดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เทคนิคการคอมปาวด์พลาสติกสามารถแบ่งออกเป็น การคอมปาวด์แบบรุ่น (Batch compounding) และการคอมปาวด์แบบต่อเนื่อง (Continuous compounding)

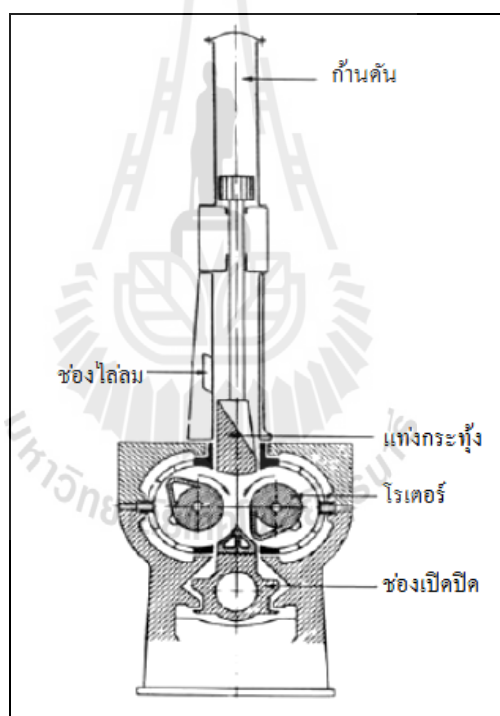
1. การคอมปาวด์แบบรูน (Batch compounding) ตัวอย่างของเครื่องผสมแบบนี้ ได้แก่

- เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) เครื่องผสมแบบนี้ประกอบด้วย ลูกกลิ้งสองลูกซึ่งทำจากเหล็กหล่อที่มีการเคลือบผิวให้มีความแข็งและลื่น ลูกกลิ้งทั้งสองมีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 300-500 มิลลิเมตร และความยาวระหว่าง 800-1,500 มิลลิเมตร โดยวาง ขนานกันและหมุนสวนทางกันด้วยความเร็วแตกต่างกันเล็กน้อย ในขณะที่ทำการผสมจะมีการให้ความร้อนแก่พลาสติกผ่านผิวลูกกลิ้งทั้งสอง โดยความร้อนของลูกกลิ้งมาจากชุดให้ความร้อนไฟฟ้า หรือการไหลเวียนของน้ำร้อนหรือน้ำมันร้อนผ่านภายในลูกกลิ้ง ข้อดีของเครื่องผสมแบบนี้ คือ สามารถมองเห็นลักษณะและระดับการผสมเข้ากันของสารเติมแต่งและพลาสติกได้ สามารถทำการผสมในปริมาณที่แตกต่างกันได้ สะดวกในการทำความสะอาด รวมทั้งการผสมแบบนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ในลักษณะแผ่น ซึ่งเหมาะสำหรับการแปรรูปต่อ เช่น การอัด (Compression molding) สำหรับข้อเสียของเครื่องผสมแบบนี้ คือ ผู้ปฏิบัติต้องมีทักษะในการใช้เครื่องและมีความรู้เกี่ยวกับการคอมปาวด์สูง ต้องมีการช่วยผสมโดยการปาดพลาสติกให้เข้าไปอยู่ตรงกลางระหว่างลูกกลิ้ง เสมอ ความสม่ำเสมอในการผสมในแต่ละครั้งค่อนข้างต่ำ และเกิดการสูญเสียสารเคมีหรือ การปนเปื้อนได้ง่ายเนื่องจากการผสมในระบบเปิด

- เครื่องผสมแบบปิดหรือเครื่องผสมภายใน (Internal mixer) เครื่องผสมแบบนี้ประกอบด้วยโรเตอร์ (Rotor) ซึ่งมีพื้นผิวไม่ราบเรียบเหมือนผิวลูกกลิ้ง จำนวนสองชุดบรรจุ อยู่ภายในห้องผสมที่สามารถปรับอุณหภูมิได้โดยใช้น้ำมันร้อนหรือน้ำไหลหมุนเวียน โรเตอร์ ทั้งสองหมุนสวนทางกัน ด้วยความเร็วในการหมุนที่สามารถปรับได้ การหมุนของโรเตอร์ภายใน ห้องผสมทำให้เกิดแรงเฉือนภายในห้องผสมสูงมาก จึงทำให้การกระจายตัวของสารเติมแต่งใน พลาสติกเกิดขึ้นได้ดี ข้อดีของเครื่องผสมแบบนี้ คือ ใช้เวลาในการผสมสั้น ผู้ปฏิบัติไม่จำเป็นต้องมี ทักษะสูง ไม่มีการสูญเสียวัสดุหรือเกิดการปนเปื้อน เนื่องจากการผสมทำในระบบปิด ขนาดและ ความสม่ำเสมอของการผสมในแต่ละครั้งค่อนข้างแน่นอน สำหรับข้อเสียของเครื่องผสมแบบนี้ คือไม่สามารถมองเห็นการผสมได้ และการทำความสะอาดห้องผสมทำได้ยาก



รูปที่ 2.7 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) [<http://www.sci.buu.ac.th>]

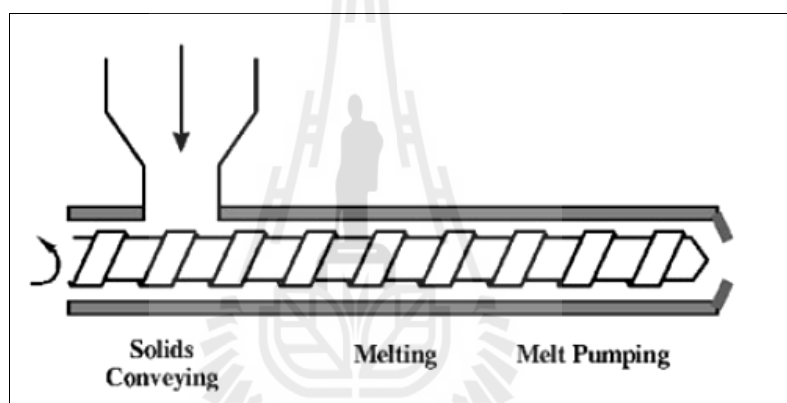


รูปที่ 2.8 เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) [<http://www.sci.buu.ac.th>]

2. การคอมปาวด์แบบต่อเนื่อง (Continuous compounding) โดยทั่วไปการคอมปาวด์แบบต่อเนื่องมักใช้เครื่องอัดรีด (Extruder) หรือเครื่องนวดผสมร่วม (Co-Kneader) ซึ่งประกอบด้วยสกรูหรือฟันนวดที่หมุนอยู่ภายในกระบอกอัดรีด การหมุนของสกรู ทำให้เกิดแรงเฉือนและการเคลื่อนตัวไปทุกทิศทางของส่วนผสม ซึ่งทำให้การผสมเกิดขึ้นในระดับที่ละเอียด

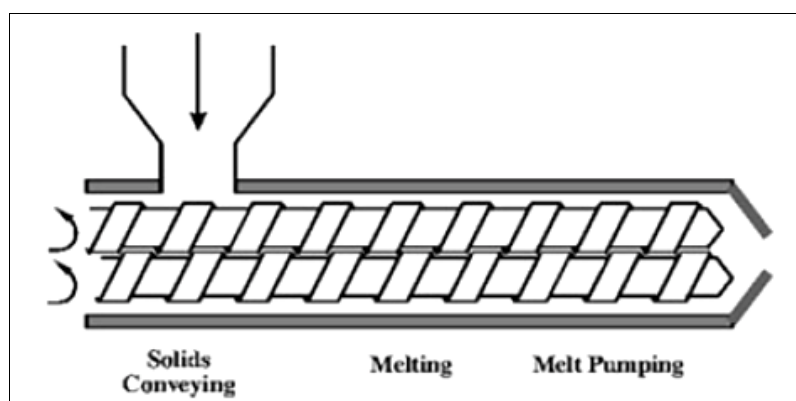
กว่าการคอมปาวด์แบบรูน เครื่องอัดรีดที่ใช้ในการคอมปาวด์พลาสติกมักจะใช้เครื่องอัดรีด แบบสกรูคู่เป็นหลัก ส่วนเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวจะใช้ในกรณีที่ไม่ต้องการความพิถีพิถันในการคอมปาวด์มากนัก ตัวอย่างของเครื่องผสมแบบนี้ได้แก่

- เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single screw extruder) โดยทั่วไปเครื่องอัดรีดแบบ สกรูเดี่ยวที่ใช้ในการแปรรูปพลาสติกมักใช้สกรูแบบธรรมดา ซึ่งไม่สามารถผสมสารเติมแต่งให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกับพลาสติกได้ เนื่องจากการหมุนของสกรูแบบนี้ไม่ก่อให้เกิดแรงเฉือนมากพอที่จะทำให้สารเติมแต่งต่าง ๆ เกิดการกระจายตัวได้ดีถึงระดับโมเลกุล ดังนั้นการใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวในการคอมปาวด์พลาสติกจึงต้องปรับปรุงลักษณะของสกรูโดยการเพิ่มส่วนที่เพิ่มแรงเฉือนของสกรู



รูปที่ 2.9 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single screw extruder) [<http://www.sci.buu.ac.th>]

- เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder) เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ก็มีประสิทธิภาพการผสมสูงกว่าเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว ทั้งนี้เนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากการหมุนของสกรูคู่สูงกว่า โดยลักษณะการหมุนของสกรูคู่มีสองแบบ ได้แก่ การหมุนในทิศทางเดียวกัน (Co-rotating screw) และการหมุนสวนทางกัน (Counter-rotating screw) โดยในการทำคอมปาวด์พลาสติกมักใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ที่มีลักษณะการหมุนของสกรูคู่แบบหมุนในทิศทางเดียวกัน



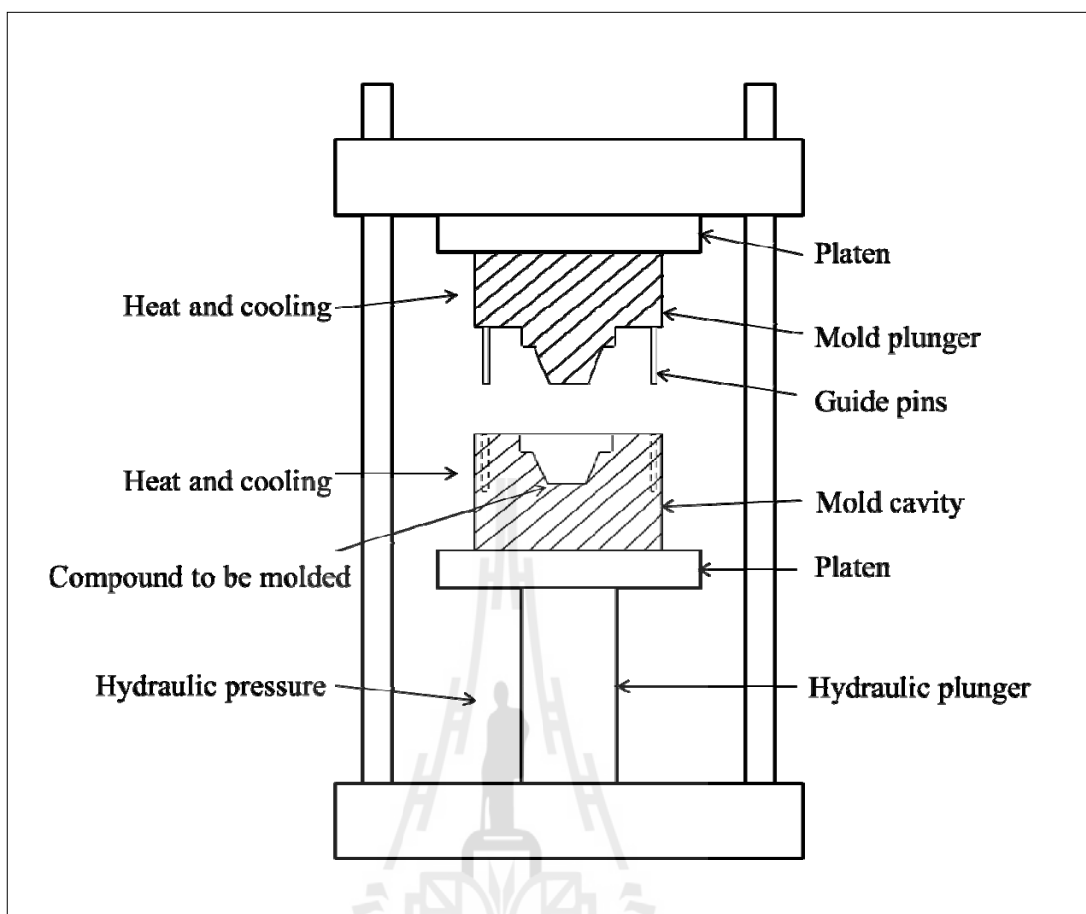
รูปที่ 2.10 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder) [<http://www.sci.buu.ac.th>]

2.10 กระบวนการอัด (Compression molding)

กระบวนการแปรรูปพลาสติกด้วยการอัดเป็นเทคนิคการแปรรูปที่เก่าแก่ที่สุดเทคนิคหนึ่ง โดยเริ่มมีการประยุกต์ใช้ครั้งแรกหลังจาก Bakeland ค้นพบการสังเคราะห์ฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน ในปี ค.ศ. 1908 แต่ในปัจจุบันก็ยังมีการใช้เทคนิคนี้ในการแปรรูปพลาสติกอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแปรรูปยางและพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติง เช่น ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic resin) อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin) เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ (Melamine formaldehyde) และยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (Urea formaldehyde) เป็นต้น นอกจากนี้ยังนิยมใช้ในการแปรรูปเทอร์โมพลาสติกที่แปรรูปโดยเทคนิคอื่นได้ยาก เช่น การแปรรูปเทอร์โมพลาสติกที่ผสมไฟเบอร์ต่าง ๆ การแปรรูปเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ และการแปรรูปพลาสติกไวนิลและสไตรีน สำหรับทำแผ่นเสียงที่ต้องการความละเอียดแน่นอน เป็นต้น สำหรับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแปรรูปด้วยเทคนิคการอัด ได้แก่ ช้อน ชาม จาน ที่เขียนหรี สวิตช์ไฟ กล่องบรรจุสวิตช์ หูหม้อ หูกระตาะมือจับเตารีด แผ่นเสียง ตัวกวนของเครื่องซักผ้า และที่รองนั่งโกชักโครก เป็นต้น

1. ลักษณะเครื่องอัด (Compression molding machine)

กระบวนการอัดเป็นเทคนิคการแปรรูปพลาสติกที่ไม่ซับซ้อน โดยหลักการทำงานของกระบวนการอัด คือ การนำเม็ดหรือผงพลาสติกมาอัดในแม่แบบ (Mold) ภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสม เพื่อให้พลาสติกหลอมและไหลเข้าสู่ช่องว่างภายในแม่แบบ (Cavity) ส่วนประกอบหลักของเครื่อง คือ แผ่นเหล็กอัด (Platens) จำนวนสองชุด ซึ่งแผ่นหนึ่งจะสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ (Movable platen) ส่วนอีกแผ่นหนึ่งจะถูกยึดติดกับที่ (Fixed platen) แม่แบบสำหรับการแปรรูปพลาสติกทั้งตัวผู้และตัวเมียจะถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กอัดทั้งสองแผ่น



รูปที่ 2.11 เครื่องอัด (Compression molding machine) [<http://www.sci.buu.ac.th>]

2. วัฏจักรกระบวนการอัด (Compression molding cycle)

กระบวนการอัดเริ่มจากการยึดแม่แบบติดกับแผ่นเหล็กอัดทั้งสองแผ่น แล้วให้ความร้อนแก่แม่แบบตามชนิดของพลาสติก โดยทั่วไปอุณหภูมิแม่แบบสำหรับการอัดเทอร์โมเซตจะเป็น อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุล ซึ่งอยู่ในช่วง 140-200 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงเติมเม็ดหรือผงพลาสติกหรือพลาสติกคอมปาวด์ โดยปริมาณการเติมต้องเหมาะสมกับขนาดของชิ้นงาน จากนั้นปิดแม่แบบโดยเคลื่อนแผ่นเหล็กอัดลงด้วยความดันที่เหมาะสม พลาสติกจะเกิดการหลอมหรืออ่อนตัวไหลเข้าสู่ช่องว่าง (Cavity) ของแม่แบบ สำหรับพลาสติกเทอร์โมเซตต้องปล่อยให้คงอยู่ภายใต้ความดันและอุณหภูมินี้ระยะหนึ่งตามระยะเวลาการสุก (Cure time) ของพลาสติกเทอร์โมเซตนั้น ๆ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงเกิดอย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้น ความดันภายในแม่แบบจะลดลงในขณะที่ทำการหล่อเย็น จากนั้นจึงเปิดแม่แบบโดยเคลื่อนแผ่นเหล็กอัดขึ้น ปลดชิ้นงานออกจากแม่แบบ ซึ่งในการปลดชิ้นงานออกจะต้องเป็นช่วงที่พลาสติกแข็งตัว

เรียบร้อยแล้ว เพื่อป้องกันความเสียหายหรือการบิดตัวของชิ้นงาน แล้วเริ่มเติมพลาสติกลงในแม่แบบเพื่อทำงานในวัฏจักรต่อไป

3. แม่แบบสำหรับกระบวนการอัด

แม่แบบสำหรับกระบวนการอัดพลาสติกนั้นต้องรับการเสียดสีสูงมากจากพลาสติกและสารเติมแต่ง ดังนั้นวัสดุที่ใช้ทำแม่แบบควรทนต่อความดันหรือแรงอัดสูง ทนต่ออุณหภูมิสูง ทนต่อการขัดสี และทนต่อการกัดกร่อน แม่แบบที่ใช้ในกระบวนการอัดแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

- แม่แบบอัดชิ้นงานราบ (Flat form) หรือแม่แบบชนิดบาง (Flash mold) เป็นแม่แบบชนิดง่ายที่สุด มีความยุ่งยากน้อยที่สุด โดยปกติจะใช้ผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะแบน เช่น จานและชาม เป็นต้น เป็นแม่แบบที่ยอมให้พลาสติกไหลออกได้เมื่อกดแม่แบบตัวผู้ลงมาทำให้ไม่ต้องใช้แรงอัดมาก ข้อดีของแม่แบบประเภทนี้ คือ การออกแบบและการผลิตสามารถทำได้ง่าย มีน้ำหนักเบาและราคาถูก ส่วนข้อเสีย คือ ชิ้นงานที่ได้มีเนื้อไม่แน่น ความแข็งแรงน้อย มีความหนาไม่สม่ำเสมอ และมีครีบ (Flash) มากทำให้ต้องขัดแต่งชิ้นงานมาก

- แม่แบบปิดอัด (Sealed mold) หรือแม่แบบชนิดบวก (Fully positive mold) เป็นแม่แบบชนิดตรงข้ามกับแม่แบบอัดชิ้นงานราบ คือ ยอมให้พลาสติกหลอมละลายไหลออกน้อยที่สุด หรือไม่ให้ออกเลย เนื่องจากไม่มีร่องให้วัสดุพลาสติกไหลล้นออก โดยในขณะที่ปิดแม่แบบนี้แม่แบบบนจะลึกลงไปในแม่แบบล่างประมาณ 2-3 มิลลิเมตร หรือจนถึง 20-30 มิลลิเมตร เพื่อปิดช่องทางไม่ให้พลาสติกไหลล้นออกมา จึงทำให้สามารถอัดพลาสติกด้วยความดันสูง โดยพลาสติกจะได้รับแรงดันทั้งหมด ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อแน่นและความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่มีข้อเสียคือ หากใช้วัสดุพลาสติกมากเกินไปแรงอัดจะทำให้แม่แบบแตกร้าวได้ นอกจากนี้แม่แบบประเภทนี้ไม่ค่อยนิยมใช้กับชิ้นงานที่ต้องการความละเอียด เนื่องจากหากในการอัดแต่ละครั้งใช้ปริมาณพลาสติกที่ต่างกัน จะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความหนาต่างกัน ทำให้ยากต่อการควบคุมคุณภาพชิ้นงานให้สม่ำเสมอ

- แม่แบบฝาประกบ (Split mold) หรือแม่แบบชนิดกึ่งบวก (Semi-positive mold) แม่แบบประเภทนี้จะมีลักษณะผสมผสานอยู่ระหว่างสองประเภทข้างต้น โดยในจังหวะแรกแม่แบบตัวผู้เริ่มอัด พลาสติกส่วนเกินยังสามารถไหลล้นออกมาได้ แต่เมื่อแม่แบบตัวผู้เคลื่อนลงมาถึงระยะหนึ่ง ฝาของแม่แบบตัวผู้จะปิดช่องว่างไม่ให้พลาสติกไหลล้นออกได้อีกแล้วจึงอัดแน่น แม่แบบชนิดนี้เหมาะสมกับงานทั่วไป ชิ้นงานที่ได้มีความแข็งแรงพอสมควร การออกแบบลักษณะชิ้นงานและแม่แบบสำหรับกระบวนการอัดมีความสำคัญมาก เนื่องจากลักษณะของแม่แบบจะมีผลโดยตรงต่อความดันและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัด รวมถึงคุณภาพของชิ้นงานอีกด้วย เช่น หากชิ้นงานมีความหนามาก จะทำให้พลาสติกหลอมไหลเข้าสู่ช่องว่างในแม่แบบได้ยาก ทำให้ต้องใช้ความดันสูงขึ้น หากรูปทรงของชิ้นงานมีเหลี่ยมหรือคม จะทำให้การไหลเข้าสู่ช่องว่างในแม่แบบของ

พลาสติกไม่ดี ทำให้ต้องใช้ความดันสูงขึ้น ดังนั้นจึงควรออกแบบให้มีมุมโค้งมน ซึ่งจะช่วยให้พลาสติกไหลได้ดีขึ้น หากผิวของแม่แบบมีความขรุขระ ไม่เรียบ ก็จะทำให้ต้องใช้ความดันสูงขึ้นในการอัด

4. ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการอัด

แม้การแปรรูปด้วยกระบวนการอัดจะเป็นเทคนิคที่ใช้กันมานาน แต่ในปัจจุบันก็ยังมีการใช้งานสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการอัดมีข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับกระบวนการแปรรูปด้วยเทคนิคอื่น ๆ หลายประการ ดังนี้

1. แม่แบบมีราคาถูกและผลิตได้ง่าย
 2. มีการสูญเสียวัสดุ น้อยมาก คือ มีครีปหรือ Flash เกิดขึ้น น้อยมากประมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น
 3. โมเลกุลของพลาสติกเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ (Reorientation) น้อยมาก เนื่องจากในระหว่างการอัดเกิดการไหลของพลาสติกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น
 4. เครื่องอัดมีราคาถูกกว่าเครื่องแปรรูปพลาสติกชนิดอื่น ๆ
 5. ไม่เกิดเส้นรอยเชื่อม (Weld line) บนชิ้นงาน ซึ่งเส้นรอยเชื่อมนี้เป็นจุดบกพร่องที่ทำให้ชิ้นงานแตกหักได้ง่าย
 6. แม่แบบสำหรับกระบวนการอัดไม่มีส่วนของท่อวิ่ง (Runners) ท่อนำ (Sprue) และประตูเข้า (Gates) ทำให้ไม่มีรอยตำหนิบนชิ้นงาน
- ถึงแม้ว่ากระบวนการอัดจะมีข้อได้เปรียบดังได้กล่าวมาแล้ว แต่เทคนิคนี้ก็ยังมีข้อเสียเปรียบหลายประการ เช่น
1. วัสดุคิอยู่ในสถานะของแข็งหรือกึ่งของแข็ง ทำให้เกิดความเครียดภายในแม่แบบสูงมากในขณะที่ทำการอัด จึงไม่สามารถใส่วัสดุอื่น ๆ เช่น โลหะ ลงไปในแม่แบบได้ เนื่องจากจะทำให้โลหะเกิดการบิดเบี้ยวและแม่แบบเกิดการเสียหายได้ จึงทำให้ไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์แบบหุ้มด้วยเทคนิคนี้ได้
 2. ไม่สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้
 3. เวลาของวัฏจักรการผลิต (Cycle time) ค่อนข้างยาว ทำให้กำลังการผลิต (Productivity) ต่ำ
 4. การผลิตชิ้นงานที่หนาต้องใช้เวลานาน
 5. จำเป็นต้องมีการตัดครีปทิ้งเสมอ

2.11 กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ การวิเคราะห์ ANOVA และการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.11.1 การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ

1. ความเป็นอิสระของข้อมูล ข้อมูลแต่ละตัวต้องเป็นอิสระต่อกันเนื่องจากความสุ่ม ทั้งนี้ถ้าหากข้อมูลไม่เป็นแบบสุ่มแล้วจะทำให้วิเคราะห์ข้อมูลไม่ได้ โดยเฉพาะการหาค่าเฉลี่ยหรือค่าคาดหมายของตัวแปรตาม ดังนั้นถ้าหากข้อมูลไม่เป็นแบบสุ่มแล้วแสดงว่าข้อมูลมีความลำเอียง จำเป็นต้องค้นหาสาเหตุเพื่อการแก้ไขก่อนการวิเคราะห์

2. ความเป็นปกติของข้อมูล ข้อมูลแต่ละตัวที่เป็นตัวแปรสุ่มต้องมีแนวโน้มที่จะเข้าหาค่าคงที่ค่าหนึ่ง แล้วมีการกระจายรอบค่าในลักษณะสมมาตร ทั้งนี้ถ้าหากข้อมูลมิได้มีรูปแบบปกติแล้วไม่สามารถจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้ ดังนั้นหากข้อมูลมิได้เป็นตัวแปรสุ่มปกติแล้วแสดงว่าข้อมูลได้มาจากกระบวนการที่มีได้กำหนดเป็นมาตรฐาน จึงจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุเพื่อการแก้ไขก่อนการวิเคราะห์

3. ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน คือ ข้อมูลต้องมีการเก็บมาจากกระบวนการที่ได้มีการจัดทำเป็นมาตรฐานแล้ว จึงทำให้เกิดความแตกต่างของข้อมูล เกิดจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ในระบบที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเท่านั้น ดังนั้น ถ้าหากข้อมูลมีความแปรปรวนที่ไม่เสถียรภาพแล้ว แสดงว่าข้อมูลเกิดจากสาเหตุที่สามารถควบคุมได้แต่ไม่ได้รับการควบคุม จึงมีความจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุเพื่อการแก้ไขก่อนการวิเคราะห์

2.11.2 การวิเคราะห์ ANOVA

เป็นการหาความแปรปรวนโดยรวม แล้วแยกวิเคราะห์ออกเป็นความแปรปรวนเนื่องจากทรีตเมนต์ (Treatment) ความแปรปรวนเนื่องจากสาเหตุที่ไม่ได้รับการควบคุม ซึ่งหมายถึงรีพีทอะบิลิตี (Repeatability) แล้วพิจารณาความแปรปรวนเนื่องจากทรีตเมนต์ว่ามีปริมาณมากหรือไม่เทียบกับผลจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ในระหว่างเงื่อนไขการทดลองหรือรีโพรดูซิบิลิตี (Reproducibility)

2.11.3 การพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ

การตัดสินใจโดยอาศัยตัวแบบจะมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับข้อมูลที่แสดงผลว่าความแปรผันในตัวแปรตามสามารถอธิบายได้ด้วยข้อมูลตามตัวแบบนั้นมากน้อยเพียงใด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องพิจารณาถึงสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ โดยผู้วิเคราะห์ส่วนใหญ่จะคาดหมายค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจมีค่าเข้าใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์

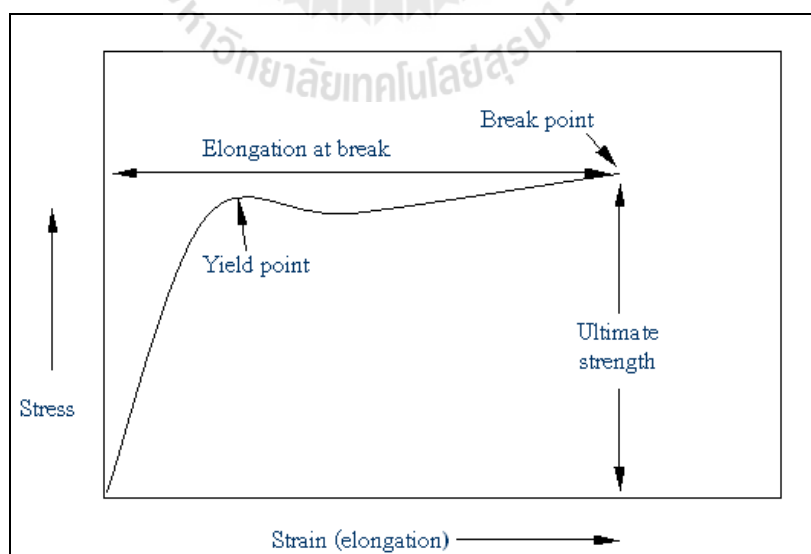
2.12 การทดสอบสมบัติทางกล

สำหรับการทดสอบสมบัติทางกลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย การทดสอบแรงดึง การทดสอบแรงดัด การทดสอบความแข็งแรงกระแทก และการทดสอบความแข็งผิว ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การทดสอบแรงดึง (Tensile test)

ลักษณะชิ้นงานทดสอบส่วนใหญ่เป็นรูปคัมเบลล์ ซึ่งจะได้จากการเติมชิ้นงานในแบบต่าง ๆ ซึ่งจะได้จากการเตรียมชิ้นงานแบบต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุ เช่นกรณีที่เป็นยางก็จะได้จากการตีแผ่นยางเป็นรูปคัมเบลล์ด้วย die (จากแผ่นยางที่ได้จากการวัลคาไนซ์ใน compression mould) ส่วนในกรณีของพลาสติก อาจจะได้จากกระบวนการฉีด (injection moulding) หรือได้จากการตัดแผ่นพลาสติกด้วย die ในทำนองเดียวกันกับยาง ถ้าหากพลาสติกดังกล่าวมีความแข็งต่ำ เช่น plasticized PVC

ในขณะทดสอบจะใช้เครื่อง Universal testing machine โดยจะทำการจับชิ้นงานที่ตำแหน่งปลายทั้งสองด้านด้วยระยะคงที่ตามมาตรฐานกำหนด แล้วทำการดึงยึดชิ้นงานด้วยอัตราการดึงที่คงที่ทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงของแรงและระยะยึดของชิ้นงานบริเวณตรงกลาง ผลที่ได้เบื้องต้นจากการทดสอบคือ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งอาจจะมีรูปร่างแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของพอลิเมอร์และสภาวะ (ความเร็ว อุณหภูมิ) ที่ทำการดึง



รูปที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด [http://www.sci.buu.ac.th]

คำจำกัดความต่าง ๆ ของกราฟความเค้นและความเครียด

ความเค้น (stress) คือแรงที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการเสียรูป (deformation) ในหนึ่งหน่วยพื้นที่ของชิ้นทดสอบหรือกล่าวได้ว่า ความเค้นเป็นอัตราส่วนแรงที่ใช้ต่อพื้นที่หน้าตัด

ความเครียด (strain) คืออัตราส่วนของพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นต่อความยาวเดิมของชิ้นทดสอบหรือความยาวที่เปลี่ยนไปต่อหน่วยความยาวเริ่มต้น

จุดคราก (yield point) คือจุดแรกบนเส้นกราฟระหว่างความเค้นและความเครียด ที่เกิดการเพิ่มของความเครียดขึ้นในขณะที่ความเค้นไม่ได้เพิ่มขึ้น

ความเค้นที่จุดคราก (yield stress) คือความเค้น ณ จุดที่ความชันของเส้นกราฟระหว่างความเค้นและความเครียดเป็นศูนย์

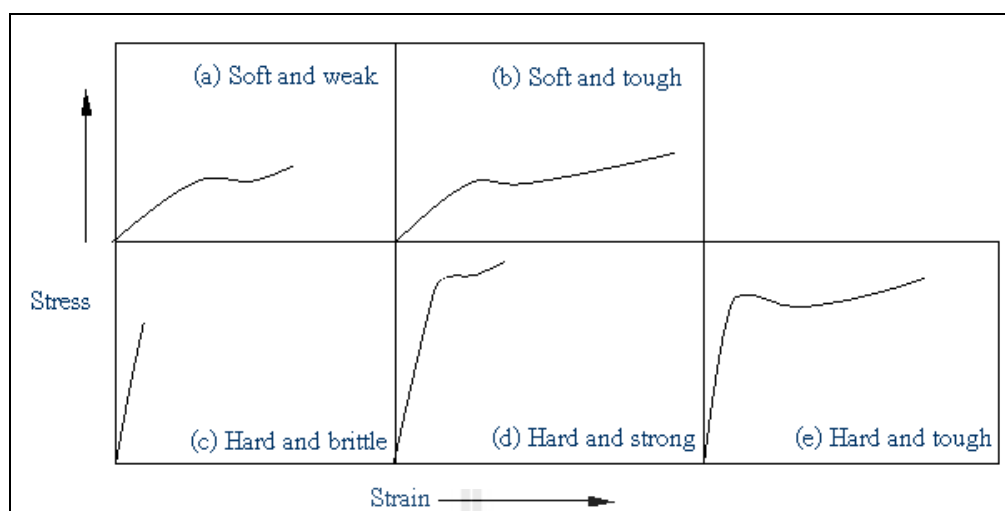
ความเค้นสูงสุด (ultimate strength) คือค่ามากที่สุดของความเค้นซึ่งวัสดุสามารถทนได้ภายใต้แรงดึง ค่านี้จะอยู่ที่จุดขาด (break point) ซึ่งเป็นจุดที่วัสดุที่ใช้ทดสอบขาดหรือแยกออกจากกัน

ความทนแรงดึงสูงสุด (tensile strength) คือค่าความเค้นที่มากที่สุดที่ชิ้นงานสามารถทนได้ระหว่างการทดสอบ เมื่อปรากฏความเค้นที่มากที่สุดที่จุดครากก็จะเป็นค่าความทนแรงดึงที่จุดคราก แต่เมื่อเกิดความเค้นมากที่สุดที่จุดขาดก็กำหนดว่าเป็นความทนแรงดึงที่จุดขาด สำหรับความทนแรงดึง กำหนดได้โดยค่าแรงสูงสุดหารด้วยพื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของชิ้นงาน

เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (% elongation) คือการยืดออกของชิ้นงานที่แสดงเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของความยาวเริ่มต้น ซึ่งเปอร์เซ็นต์การยืดตัวนี้เป็นการเพิ่มขึ้นของความยาวของชิ้นงานที่ถูกดึง ถ้าเป็นเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (% elongation at break) จะเป็นการคิดเปอร์เซ็นต์การยืดขณะที่ชิ้นงานขาดหรือแตกออก

มอดูลัส หรือมอดูลัสแบบยืดหยุ่น (elastic modulus) เป็นอัตราส่วนของความเค้นต่อความเครียดที่เกิดขึ้นในบริเวณที่ความเครียดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเค้น ค่ามอดูลัสเป็นสิ่งที่วัดความแข็งแกร่งหรือแข็งตึงของวัสดุ ซึ่งเป็นความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุในช่วงขีดจำกัดความยืดหยุ่นขณะรับแรง การหาค่ามอดูลัสนั้นสามารถหาได้จากกราฟความเค้นและความเครียด โดยมอดูลัสแบบยืดหยุ่นได้จากการวัดความชันในของเส้นสัมผัสเริ่มแรก ซึ่งเป็นส่วนที่ชันที่สุดของเส้นโค้ง

พื้นที่ใต้กราฟระหว่างความเค้นและความเครียดเป็นสิ่งบ่งชี้ถึงความเหนียวของวัสดุ ถ้าวัสดุใดมีพื้นที่ใต้กราฟมากจะเป็นวัสดุที่มีความเหนียวมาก ส่วนวัสดุที่มีพื้นที่ใต้กราฟน้อยจะเป็นวัสดุเปราะ โดยสมบัติของพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับลักษณะของเส้นกราฟความเค้นและความเครียดตามรูป 2.13 นั้นสามารถวิเคราะห์ได้ดังตาราง 2.2



รูปที่ 2.13 ประเภทของกราฟความเค้นความเครียด [http://www.sci.buu.ac.th]

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของกราฟความเค้นและความเครียดที่มีความสัมพันธ์กับสมบัติของพอลิเมอร์

ลักษณะ ของพลาสติก	ลักษณะของกราฟความเค้นและความเครียด			
	Modulus	Yield stress	Ultimate strength	Elongation at break
Soft, weak	Low	Low	Low	Moderate
Soft, tough	Low	Low	Yield stress	High
Hard, brittle	High	None	Moderate	Low
Hard, strong	High	High	High	Moderate
Hard, tough	High	High	High	High

การคำนวณเกี่ยวกับสมบัติแรงดึง

ความทนแรงดึงสูงสุด = แรงดึงสูงสุด/พื้นที่หน้าตัดน้อยที่สุดของชิ้นทดสอบ ณ จุดเริ่มต้น

เปอร์เซ็นต์การยืดตัว = ความยาวที่เพิ่มขึ้น ณ จุดขาด X 100 / ความยาวเดิมของชิ้นทดสอบ

มอดูลัส = ความเค้น / ความเครียด

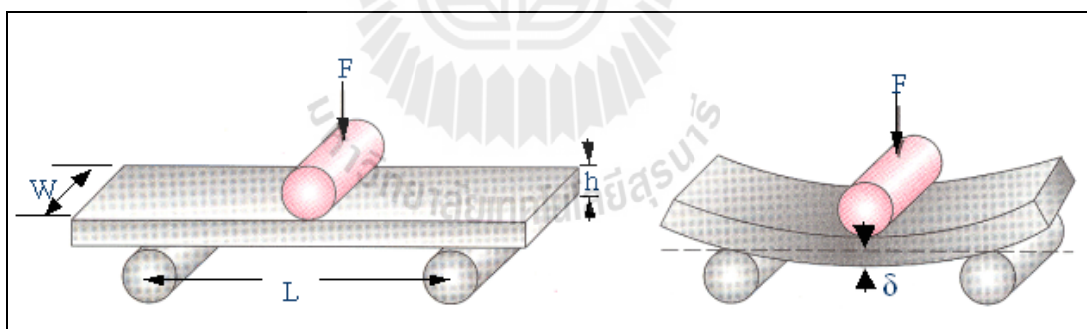
2. การทดสอบแรงดัด (Flexural test)

การทดสอบการทนต่อแรงดัด เป็นการวัดแรงที่ต้องการเพื่อให้ชิ้นงานเกิดการงอ ข้อมูลที่ได้มักจะนำไปพิจารณาเลือกวัสดุสำหรับใช้เป็นส่วนที่ต้องรับแรงกดโดยไม่เกิดการงอ เช่น ค้ำมอดูลัสของแรงดัด (Flexural Modulus) ใช้ในการบ่งบอกถึงความแข็งตัวของวัสดุเมื่อเกิดการดัด

โดยทั่วไปการทดสอบนี้เหมาะสำหรับพลาสติกที่มีลักษณะแข็งเปราะ แต่ไม่เหมาะกับการทดสอบพลาสติกที่มีลักษณะอ่อนหรือสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้แรงดัดได้มาก เนื่องจากสมการที่ใช้ในการคำนวณของสภาพการดัดนี้ จะถูกต้องในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในระดับต่ำ วัสดุแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแบบเชิงเส้น และอยู่ภายใต้แรงดัดเท่านั้น ดังนั้นโดยทั่วไปมักไม่ใช้ทดสอบที่เกินระดับความเครียด 5 เปอร์เซ็นต์การทดสอบการทนต่อแรงดัดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การทดสอบการทนต่อแรงดัดแบบ 3 จุด (Three Point Bending) และการทดสอบการทนต่อแรงดัดแบบ 4 จุด (Four Point Bending)

1. การทดสอบการทนต่อแรงดัดแบบ 3 จุด (Three Point Bending)

การทดสอบนี้เป็นการให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางเท่านั้น แสดงดังภาพที่ 2.14 เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ต่ำ หัวกดที่ให้แรงกระทำและชุดรองรับมีลักษณะเป็นใบมีดมน (Round Knife Edges) หรือเพลาลโลหะแข็งก็ได้ รัศมีของหัวกดและชุดให้แรงกระทำต้องมีรัศมีอย่างต่ำ 3.2 มิลลิเมตร และรัศมีสูงสุดไม่เกิน 4 เท่าของความหนาชิ้นงานทดสอบ สำหรับหัวกดและ 1.5 เท่าของความหนาชิ้นงานทดสอบสำหรับชุดรองรับ การที่ชุดกดและชุดรองรับต้องมีลักษณะเป็นผิวโค้งที่จุดสัมผัสดังกล่าวเพื่อเป็นการลดความเข้มของความเค้น (Stress Concentration) ที่อาจเกิดขึ้นบริเวณจุดสัมผัส



รูปที่ 2.14 การทดสอบการทนต่อแรงดัดแบบ 3 จุด (Three Point Bending)

[<http://www.sci.buu.ac.th>]

การคำนวณหาค่าความทนแรงดัด (Flexural strength) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$\text{Flexural strength} = \frac{3FL}{2Wt^2} \quad (1)$$

โมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) ในการทำให้ตัวอย่างโค้งงอสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$\text{Flexural modulus} = \frac{L^3 F}{4Wt^3 \delta} \quad (2)$$

เมื่อ F = น้ำหนักที่ทำให้เกิดการแตกของพอลิเมอร์

L = ระยะห่างระหว่างตำแหน่งของวัสดุที่รองรับตัวอย่าง

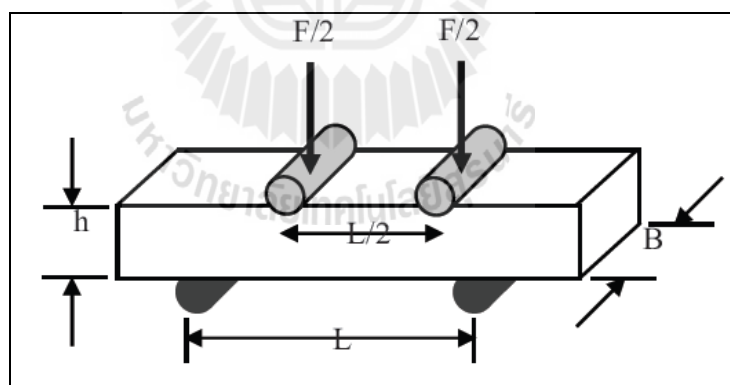
W = ความกว้างของตัวอย่าง

t = ความสูงของตัวอย่าง

δ = ระยะที่ตัวอย่างเกิดการโค้งงอเมื่อถูกกดด้วยแรง F

2. การทดสอบการทนต่อแรงคดแบบ 4 จุด (Four Point Bending)

การทดสอบนี้เป็นการให้แรงกระทำ 2 จุด ในบริเวณกึ่งกลางของชิ้นงานทดสอบและจุดรองรับในทิศทางตรงกันข้ามบริเวณปลายทั้งสองด้านที่มีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางเท่ากัน เหมาะสำหรับการทดสอบวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสูงกว่าในกรณีของการทดสอบแรงคดแบบ 3 จุด



รูปที่ 2.15 การทดสอบการทนต่อแรงคดแบบ 4 จุด (Four Point Bending)

[<http://www.sci.buu.ac.th>]

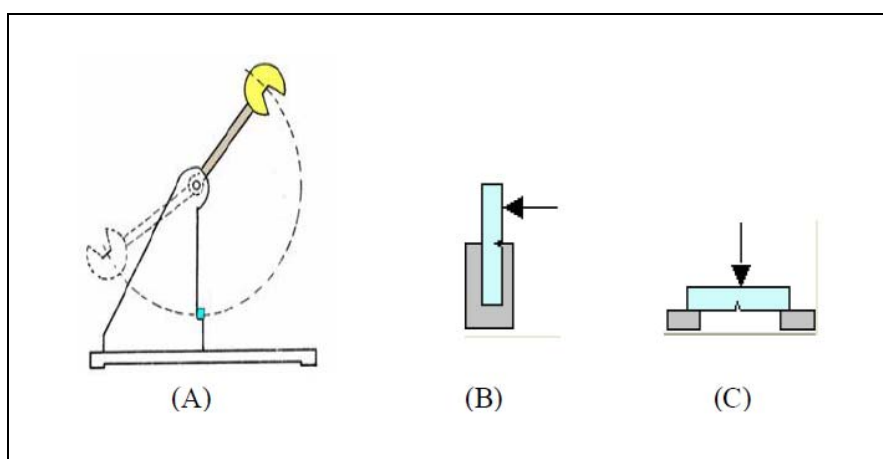
3. การทดสอบแรงกระแทก (Impact test)

การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก เป็นการให้แรงกระทำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วกระแทกขึ้นทดสอบให้แตกหักในเวลาอันสั้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุเมื่อถูกแรงกระแทก

ซึ่งการทดสอบแรงกระแทกตามมาตรฐานสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 วิธีการ คือ การทดสอบโดยใช้เครื่องมือที่มีตุ้มน้ำหนักซึ่งทราบพลังงานในการพุ่งเข้าชนชิ้นงานที่มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ ตามมาตรฐาน วิธีการนี้เรียกว่าการทดสอบแรงกระแทกแบบลูกตุ้มเหวี่ยง (Pendulum Impact Test) อีกวิธีหนึ่งเป็นการทดสอบโดยใช้น้ำหนักหรือหัวกระแทก (Impactor Test) ซึ่งปล่อยให้ตกอย่างอิสระจากความสูงที่ทราบค่าลงสู่ชิ้นงาน แล้วนำมาคำนวณความเค้นกระแทกสูงสุด หรือความแกร่งต่อการกระแทก (Impact Strength) การทดสอบแบบนี้เรียกว่าการทดสอบแรงกระแทกแบบอาศัยการตกของน้ำหนัก (Falling Weight Impact Testing)

การทดสอบแรงกระแทกแบบลูกตุ้มเหวี่ยง เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 แสดงความสามารถของวัสดุ ในการต้านทานแรงกระแทกจากการตีด้วยก้อน ซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ทั้งหมดที่จำเป็นเพื่อให้วัสดุเริ่มเกิดการแตกหัก (Initiate Fracture) และดำเนินต่อไปจนกระทั่งวัสดุขาดออกจากกัน การทดสอบนี้สามารถทำได้อย่างรวดเร็วเป็นการตรวจสอบคุณภาพของวัสดุที่ง่ายสำหรับเปรียบเทียบความเหนียวของวัสดุ ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบนั้น จะทำการบากชิ้นงานก่อนการทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากรอยบากบนชิ้นงานจะทำหน้าที่นำหนักกด น้ำหนักกด 30 เป็นจุดที่แรงกระทำมาสะสมกัน (Stress Concentration) ทำให้การเปลี่ยนรูป (Deformation) ของชิ้นงานเกิดขึ้น ได้ยาก เพราะการแตกขาดของชิ้นงานจะเกิดที่บริเวณรอยบากเท่านั้น ตามปกติค่าการทนต่อแรงกระแทก จะรายงานในหน่วยของพลังงานต่อความกว้างของชิ้นงาน เนื่องจากค่าการทนต่อแรงกระแทกขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานเช่นกัน ในการเปรียบเทียบค่าการทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานจากวัสดุที่ต่างกัน นิยมรายงานในหน่วยของจุดต่อตารางเมตร

การทดสอบการทนแรงกระแทกชิ้นงานที่มีรอยบากมี 2 วิธีคือ การทดสอบแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod Impact Test) และการทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี (Charpy Impact Test) ทั้งสองวิธีมีความแตกต่างในแง่ของการปฏิบัติ กล่าวคือ วิธีของชาร์ปีนั้น รอยบากจะอยู่ตรงข้ามกับทางเดินของค้อนตี และจะวางตัวอย่างในแกนนอน ส่วนวิธีของไอซอด รอยบากจะอยู่ด้านเดียวกับค้อนตี และตัวอย่างจะอยู่ในแกนตั้ง แสดงดังภาพที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก (A) ลักษณะการเหวี่ยงของค้อนตี (B) ลักษณะการวางชิ้นงานแบบ Izod (C) ลักษณะการวางชิ้นงานแบบ Charpy
 [http://www.sci.buu.ac.th]

4. การทดสอบความแข็งผิว (Hardness test)

ความแข็งเป็นการแสดงสมบัติของวัสดุที่บ่งบอกถึงความต้านทานในการเกิดรอยกดที่พื้นผิวในการทดสอบความแข็งไม่มีวิธีใดวิธีหนึ่งที่จะสามารถทำการทดสอบได้กับทุกวัสดุ หลักการเกี่ยวกับการทดสอบความแข็งจะเกี่ยวข้องกับการวัดความต้านทานต่อการเกิดเป็นรอยกด ซึ่งใช้เป็นหลักการพื้นฐานของเครื่องมือวัดความแข็งแบบต่าง ๆ หัวกดมีทั้งที่เป็นแบบหัวบอลแบบ ระบาย หรือแบบกรวยปลายมน หรือพีระมิด ซึ่งปกติทำจากเหล็กกล้าแข็งหรือเพชรและใช้ทดสอบภายใต้สภาวะน้ำหนักคงที่ โดยการวัดน้ำหนักที่จะทำให้เกิดรอยกดตามที่กำหนดหรือวัดรอยกดที่เกิดขึ้นภายใต้แรงกระทำนั้น

ความแข็งที่กล่าวถึงนี้จะแตกต่างไปจากค่าความต้านทานการขัดสี (Abrasion resistance) หรือค่าความต้านทานการสึกหรอ (Wear resistance) ของวัสดุ ยกตัวอย่างเช่น พอลิสไตรีน จัดเป็นวัสดุที่มีความแข็ง (Hardness) สูง แต่ขณะเดียวกันก็มีความต้านทานการขัดสีต่ำ

การทดสอบความแข็งของพอลิเมอร์สามารถกระทำได้ 2 วิธี ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ กล่าวคือการทดสอบแบบ Rockwell จะใช้กับพลาสติกที่มีลักษณะแข็ง เช่น พอลิสไตรีน พอลิเมธิลเมธาคริเลต และไนลอน เป็นต้น ในขณะที่การทดสอบแบบ Durometer จะใช้กับพอลิเมอร์ที่มีความอ่อนตัวมากกว่า ตัวอย่างเช่น ยางชนิดต่าง ๆ รวมทั้งพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดที่เติมสารเพิ่มสภาพพลาสติก (Plasticized PVC) และพอลิเอทิลีน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 กล่าวนำ

สาระสำคัญบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงกระบวนการทำงานทั้งหมด ซึ่งจะเริ่มต้นจากวัสดุอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลองเริ่มตั้งแต่การล้าง การอบ การร่อน เพื่อคัดแยกขนาด การอบให้แห้งเพื่อกำจัดความชื้น จนกระทั่งกระบวนการการผสมวัสดุด้วยเครื่องผสมภายใน ตามอัตราส่วนและอุณหภูมิที่กำหนด เมื่อได้วัสดุแล้วจึงนำไปบดอีกครั้งเพื่อจะเข้าสู่กระบวนการต่อไปคือ กระบวนการการอัดด้วยความร้อน เมื่อได้ชิ้นงานแล้วจึงนำชิ้นงานมาทดสอบสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐาน

3.2 วัสดุอุปกรณ์

3.2.1 วัสดุ

1. พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene : HDPE) ได้มาจากขวดน้ำสีขาวยุ่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว นำมาล้างให้สะอาดตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ พอประมาณที่จะสามารถนำเข้าเครื่องบด เพื่อจะผ่านกระบวนการบดเพื่อให้มีขนาดเล็กลง โดยพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจะทำหน้าที่เป็นส่วนของเมตริกซ์ให้กับวัสดุเชิงประกอบ

2. ซีลี้อยูคาลิปดัส ได้รับบริจาคมาจากบริษัท วงศ์วานิช วัสดุฯ จำกัด หลังจากนั้นนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เพื่อให้มีขนาดเล็กลงแล้วนำไปร่อนเพื่อให้มีขนาดอยู่ในช่วง 200-425 ไมโครเมตร เมื่อร่อนได้ขนาดตามกำหนดก่อนผสมต้องนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อกำจัดความชื้น โดยยูคาลิปดัสจะทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงให้กับวัสดุเชิงประกอบ

3. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (High density polyethylene grafted maleic anhydride, HDPE-g-MAH) ได้รับบริจาคจากบริษัท Du Pont (Thailand) Limited โดยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์จะทำหน้าที่เป็นสารประสานให้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับยูคาลิปดัสยึดติดได้ดียิ่งขึ้นเมื่อผสมวัสดุทั้ง 2 เข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการบดแล้ว



รูปที่ 3.2 ผงไม้ที่ผ่านการร่อนแล้ว



รูปที่ 3.3 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

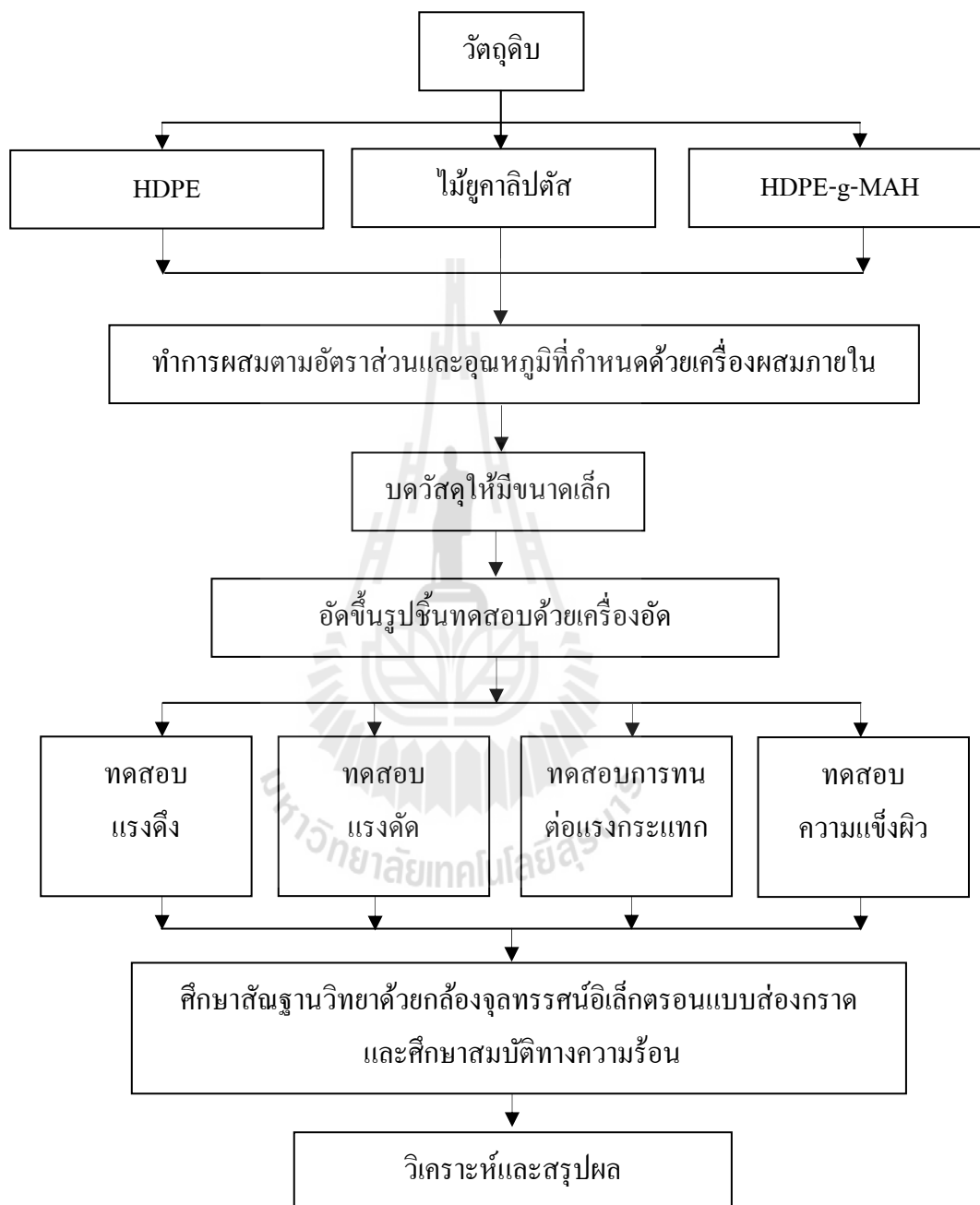
3.2.2 อุปกรณ์

1. เครื่องบดพลาสติก ผลิตโดยบริษัท Emod Mobron GmbH เป็นเครื่องที่ใช้บดพลาสติกเพื่อให้มีขนาดเล็กลงก่อนที่จะนำไปผสมกับสารอื่น ๆ และจะใช้บดวัสดุหลังจากที่ผสมด้วยเครื่องผสมภายในเพื่อให้มีขนาดเล็กพอที่สามารถนำไปอัดด้วยความร้อนได้
2. เครื่องบดไม้ ผลิตโดยบริษัท Scientific Promotion Co.,Ltd ซึ่งจะใช้บดไม้เพื่อให้มีขนาดเล็กลงก่อนที่จะนำไปร่อนแยกขนาด
3. เครื่องร่อน ซึ่งใช้ร่อนเพื่อคัดแยกขนาดของไม้ให้อยู่ในช่วง 425-200 ไมโครเมตร
4. ตู้อบ ผลิตโดยบริษัท Scientific Promotion Co.,Ltd ใช้อบไม้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้นก่อนทำการผสมวัสดุ
5. เครื่องผสมภายใน (Internal mixer) ผลิตโดยบริษัท HAAKE PolyLab System ใช้ผสมวัสดุให้เข้ากันเพื่อจะทำเป็นเม็ดคอมปาวด์ แล้วนำไปบดให้มีขนาดเล็กลงจึงนำไปอัดด้วยความร้อน
6. เครื่องอัด (Compression molding) ผลิตโดยบริษัท Labtech engineering company Limited ใช้อัดขึ้นทดสอบด้วยความดัน 150 bar และอุณหภูมิที่กำหนด
7. เครื่องทดสอบความแข็ง (Durotech) ผลิตโดยบริษัท Bench stand model BS550 harmden equipment Ltd.England ใช้ทดสอบความแข็งของชิ้นงาน เนื่องจากวัสดุที่ทำการทดสอบเป็นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง จึงใช้แบบ Shore D

8. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal testing machine) ผลิตโดยบริษัท Instron(Thailand) Limited ใช้ทดสอบสมบัติทางกลประกอบด้วยความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงโค้งงอ
9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ใช้ทดสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยา
10. เครื่อง TGA และ DSC ใช้ทดสอบสมบัติทางความร้อน
11. เครื่องทดสอบแรงกระแทก (Basic Pendulum Impact, BPI) ผลิตโดยบริษัท polymer evaluation products ใช้ทดสอบการดูดซับพลังงานกระแทกโดยการทดลองเป็นแบบ Izod
12. เครื่องบากชิ้นงาน ผลิตโดยบริษัท ยูเนี่ยน ทีเอสแอล จำกัด ใช้ในการบากชิ้นงานให้มีขนาด 45 องศา ก่อนที่จะนำไปทดสอบแรงกระแทก
13. แม่พิมพ์พร้อมแผ่นรอง ใช้ในการอัดชิ้นงานให้ออกมาตามขนาด
14. แผ่นเทพลอน ใช้ในกระบวนการอัดเพื่อให้ชิ้นทดสอบเรียบไม่ติดกับแผ่นรอง
15. เครื่องชั่งดิจิตอล เป็นเครื่องชั่งแบบ 2 ตำแหน่ง ใช้ในการชั่งอัตราส่วนก่อนที่จะทำการผสมเพื่อทำเม็ดคอมปาวด์
16. ถังมือกันความร้อน ใช้ในกระบวนการอัด เนื่องจากมีอุณหภูมิสูงในการหีบชิ้นงานหรือแม่พิมพ์ต้องใช้ถังมือกันความร้อน
17. ไมโครมิเตอร์
18. เครื่องทองเหลือง ใช้ในกระบวนการทำเม็ดคอมปาวด์ เพื่อแกะวัสดุเชิงประกอบออกจากเครื่อง
19. แปรงทองเหลือง ใช้ในการทำความสะอาดแม่พิมพ์และเครื่องผสมแบบภายใน

3.3 แผนผังแสดงกระบวนการทำงาน

สามารถแสดงขั้นตอนกระบวนการทำงานได้ตามแผนภาพดังนี้



3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมวัสดุ

1. การเตรียมพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง หลังจากได้ขูดน้ำสีขาว ช้อนแล้วต้องนำมาล้างให้สะอาด ทำการผึ่งให้แห้ง นำมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ พอประมาณที่จะสามารถ นำเข้าเครื่องบด เพื่อจะผ่านกระบวนการบดเพื่อให้มีขนาดเล็กลง เครื่องบดดังกล่าวเป็นเครื่องบด ชนิดไม่ตัด นำเศษพลาสติกที่ผ่านการบดออกจากเครื่องมาบรรจุใส่ถุงพักไว้เพื่อจะทำการผสม

2. การเตรียมผงขี้เลื่อยไม้ยูคาลิปตัส หลังจากได้ขี้เลื่อยมาแล้วขั้นต้นนำมาผึ่งแดด ให้แห้งก่อน แล้วจึงนำไปบดด้วยเครื่องบดไม้ผ่านตะแกรงขนาด 5 มิลลิเมตรให้มีขนาดเล็กลง หลังจากนั้นจึงนำไปคัดแยกขนาดด้วยเครื่องร่อนให้มีขนาดอยู่ในช่วง 200-425 ไมโครเมตร ก่อนที่จะทำการผสมต้องนำผงไม้ยูคาลิปตัสไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้น

3.4.2 ขั้นตอนการผสมเพื่อทำคอมปาวด์

1. ชั่งผงไม้ยูคาลิปตัสและพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการบดแล้ว ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ สำหรับในกรณีที่พิจารณาผลของการเติมสารประสาน คือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ ให้เติมลงไป 2 ส่วนใน 100 ส่วน ของส่วนผสมระหว่างผงไม้ยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นอัตราส่วนการผสม เป็นไปตามตาราง 3.1

2. เปิดเครื่องผสมแบบปิด ทำการตั้งค่าอุณหภูมิตามที่กำหนด ใช้เวลาในการผสม 10 นาที ความเร็วของโรเตอร์ 60 รอบต่อนาที เมื่ออุณหภูมิของเครื่องผสมแบบปิดได้ตามค่าที่กำหนด ก็นำส่วนผสมลงไปเครื่อง ใช้เวลาผสมทั้งหมด 10 นาที เมื่อผสมเสร็จทำการและ ส่วนผสมออกโดยใช้เกรียงทองเหลืองและแปรงทองเหลือง ขั้นตอนดังกล่าวต้องใช้ความระมัดระวัง เพราะในการผสมนั้นใช้อุณหภูมิสูง ซึ่งต้องสวมถุงมือกันความร้อนด้วย

3. หลังจากที้นำส่วนผสมออกมาแล้วพยายามทำให้เป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อจะได้บดให้มีความละเอียดมากที่สุด เมื่อวัสดุที่ผสมเสร็จเย็นตัวลง นำไปบดเพื่อทำคอมปาวด์ด้วยเครื่องมือที่ทำ ให้มีขนาดเล็กลงสามารถนำไปอัดขึ้นรูปได้

4. นำคอมปาวด์ที่ได้ไปอัดขึ้นรูปตามอุณหภูมิที่กำหนด ใช้เวลาในการอัด 10 นาที ก่อนการอัดทำการให้ความร้อนก่อน 3 นาทีเพื่อให้ส่วนผสมอ่อนตัว และป้องกันการร้าวของ แผ่นเพลลอน ก่อนทำการอัดต้องทำการอุ่นแม่พิมพ์เพื่อให้แม่พิมพ์ร้อนใช้เวลาในการอุ่นประมาณ 3 นาที เมื่ออัดขึ้นงานเสร็จต้องปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในเครื่องอัดอีก 30 นาที หากไม่ให้เย็นตัว ในเครื่องเมื่อนำชิ้นทดสอบออกมา จะทำให้ชิ้นทดสอบพองตัว เกิดโพรงอากาศภายในชิ้นงานเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกลผลที่ออกมาจะไม่ดีเท่าที่ควร

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมการทำคอมปาวด์

สาร ประสาน	อุณหภูมิ	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง : ผงไม้อยูคาลิปดัส					
ไม่เติม	160	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10	100:0
	180	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10	100:0
	200	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10	100:0
เติม 2 ส่วน ใน 100 ส่วน	160	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10	100:0
	180	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10	100:0
	200	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10	100:0

3.5 การทดสอบ

การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุเชิงประกอบ ทำการทดสอบมาตรฐานดังตาราง 3.2

ตารางที่ 3.2 มาตรฐานที่ทำการทดสอบ

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยรายงานผล
การทดสอบแรงดึง (Tensile test)	ASTM D638	MPa
การทดสอบแรงค้ำ (Flexural test)	ASTM D790	MPa
ความแข็งแรงกระแทก (Impact test)	ASTM D256	kJ/m^2
ความแข็งผิว (Hardness test)	ASTM D785	Shore D

3.5.1 สมบัติทางกล

1. การทดสอบแรงดึง (Tensile test)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 การทดสอบจะใช้เครื่องมือทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) แต่ละครั้งใช้ตัวอย่าง 5 ชิ้น โดยตัวอย่างชิ้นงานเป็นรูปคัมเบลล์ ดังรูปที่ 3.4 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบเป็นดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load cell) 5 กิโลนิวตัน (kN)
- ความเร็วในการดึง (Test speed) 10 มิลลิเมตรต่อนาที
- ความยาวของเกจ (Gage length) 57 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.4 ชิ้นงานรูปดัมเบลล์

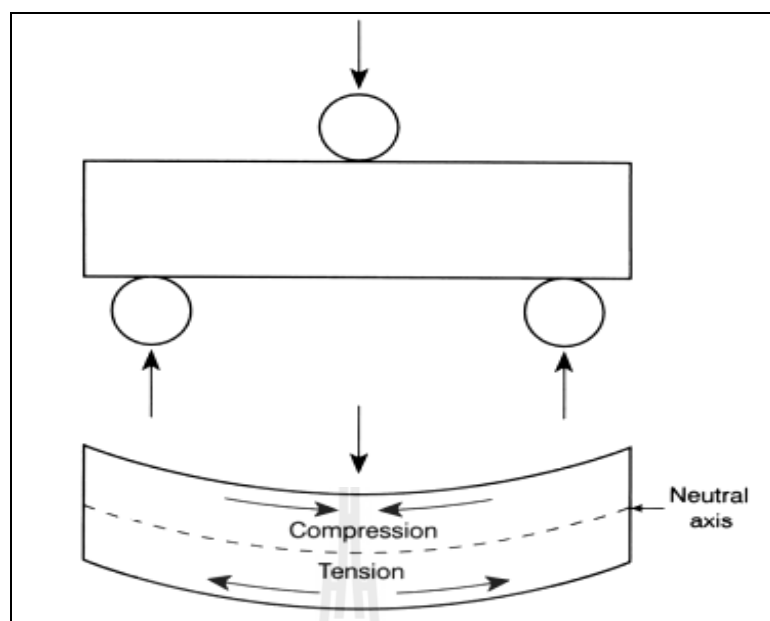
2. การทดสอบแรงดัด (Flexural test)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D790 ลักษณะการทดสอบเป็นไปตามรูปที่ 3.5 ขนาดของชิ้นทดสอบเป็นดังรูปที่ 3.6 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบเป็นดังต่อไปนี้

- โหลดเซลล์ (Load cell) 5 กิโลนิวตัน (kN)
- ความเร็วในการกด (Compression speed) 1 มิลลิเมตรต่อนาที
- ระยะห่างของขารองรับชิ้นงาน 40 มิลลิเมตร

3. ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 ในการทดสอบใช้มาตรฐานแบบไอซอด (Izod type) ใช้เครื่อง Basic pendulum impact tester (Atlas รุ่น BPI) โดยใช้น้ำหนัก (load) 2.7 จูล (J) ใช้ชิ้นทดสอบทั้งหมด 5 ชิ้น ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ทดสอบเป็นดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.5 ลักษณะการทดสอบแรงดัด [<http://www.seem.kmutt.ac.th>]



รูปที่ 3.6 ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดัด



รูปที่ 3.7 ชิ้นทดสอบความแข็งแรงกระแทกตามมาตรฐานแบบไอซอด(Izod type)

ค่าความแข็งแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Impact strength} = \frac{W}{A}$$

เมื่อ W คือ ค่าพลังงานกระแทก (kJ)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (m^2)

4. ความแข็งผิว (Hardness)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D785 ในการทดสอบใช้หัวกดแบบ Shore D ชิ้นงานที่นำมาทดสอบจะต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่า 1/4 นิ้ว มีความราบเรียบ การใช้ Durometer วัดความแข็งกระทำโดยการวางชิ้นงานบนผิวเรียบ กดหัวเข็มลงบนชิ้นงานจนกระทั่งสุดระยะของหัวเข็ม (ถึงจุด stop ring) แล้วทำการอ่านค่าความแข็งจากหน้าปัด ภายในระยะเวลาคงที่ (เช่น ประมาณ 10 วินาที) ซึ่งตัวเลขที่อ่านค่าได้จาก Durometer นี้จะไม่มีหน่วย สำหรับหัวกดแบบ Shore D จะใช้กับวัสดุที่ค่อนข้างแข็ง

3.5.2 สมบัติทางความร้อน

ใช้เทคนิควิเคราะห์ปริมาณความร้อนเชิงผลต่าง (Differential scanning calorimetry, DSC) เป็นเทคนิคที่วัดความแตกต่างของพลังงานที่ใส่เข้าไปในสารตัวอย่างและวัสดุเนื้อเยื่อ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ให้กับสารทั้งสองในขณะนั้น ดังนั้น DSC จึงเป็นการวัดพลังงานความร้อนที่ให้เข้าไปหรือปล่อยออกมากับสารตัวอย่างในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลง ถ้าสารเกิดปฏิกิริยาคูดความร้อนในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นเป็นแบบดูดความร้อน (endothermic) เช่น การเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว และการหลอมเหลว แต่ถ้าสารเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นเป็นแบบคายความร้อน (exothermic) เช่น การตกผลึก

และอาศัยเทคนิคการวัดการเปลี่ยนแปลงมวลเนื่องจากความร้อน Thermogravimetric Analysis (TGA) เป็นเป็นเทคนิคการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสารตัวอย่าง โดยวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อนภายใต้บรรยากาศที่สามารถควบคุมได้ ข้อมูลที่ได้จะแสดงในรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของสารตัวอย่างกับอุณหภูมิหรือเวลา เรียกกราฟนี้ว่า thermogravimetric curve, TGA curve นอกจากนี้ยังอาจแสดงข้อมูลออกมาในรูปของกราฟที่เรียกว่า derivative thermogravimetric curve, DTGA curve

ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเทียบกับเวลา โดยใช้สภาวะการทดลองดังนี้

- อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที
- อุณหภูมิที่ใช้ 35-600 องศาเซลเซียส

3.5.3 สัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผิวหน้าของรอยแตกหัก (Fracture Surface) โดยลักษณะของรอยแตกหักสามารถบ่งบอกได้ว่า ชิ้นงานพอลิเมอร์นั้นมีสมบัติเชิงกลดีหรือไม่ ซึ่งอาจสังเกตได้จากรูปแบบการแตกหักของวัสดุ เช่นถ้ารอยแตกหักของพื้นผิวชิ้นงานมีความราบเรียบ สามารถอธิบายได้ว่าพอลิเมอร์นั้นมีการแตกหักแบบวัสดุเปราะคล้ายแก้ว แต่ถ้ารอยแตกหักของพื้นผิวชิ้นงานมีลักษณะเป็นคลื่นไม่เรียบ หรือ ค่อนข้างขรุขระ สามารถอธิบายได้ว่าพอลิเมอร์นั้นมีการแตกหักแบบวัสดุเหนียว เนื่องจากมีการเหนียวรั้งกันระหว่างเนื้อสารกับวัสดุผสม เพื่อต้านทานการแตกหัก นอกจากนี้ยังสามารถทำนายได้ถึงแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุโดยพิจารณาจากความต่อเนื่องบริเวณผิวสัมผัสระหว่างพอลิเมอร์กับวัสดุผสม ซึ่งถ้าพอลิเมอร์และวัสดุผสมมีแรงยึดเหนี่ยวกันอย่างดี บริเวณรอยต่อหรือผิวสัมผัสระหว่างพอลิเมอร์กับวัสดุผสมจะค่อนข้างมีความต่อเนื่องกัน หรืออาจแสดงให้เห็นถึงลักษณะการห่อหุ้มวัสดุผสมด้วยเนื้อของพอลิเมอร์ แต่ถ้าบริเวณผิวสัมผัสระหว่างพอลิเมอร์กับวัสดุผสมแยกกันหรือไม่มีความต่อเนื่องกันระหว่างเฟส แสดงว่าไม่มีแรงยึดเหนี่ยวกันที่ดี

หลักการของเทคนิคอิเล็กตรอนไมโครสโคปีแบบส่องกราดคือ ใช้ลำอิเล็กตรอนสแกนไปบนผิวหน้าของชิ้นงานตัวอย่าง ซึ่งทำให้เกิดการกระเจิงของอิเล็กตรอน (Scattered Electron) และเกิดสัญญาณ เพื่อใช้ในการสร้างภาพที่สามารถเห็นความลึก มีประโยชน์มากในการศึกษาเกี่ยวกับผิวหน้าของพอลิเมอร์ เนื่องจากมีกำลังขยายสูงและเป็นภาพสามมิติ การประยุกต์ใช้เทคนิคนี้มีหลากหลาย เช่น ศึกษาการพองหรือการแตกออกของวัสดุที่ใช้เคลือบผิว การแยกเฟสในพอลิเมอร์ผสม และลักษณะการแตกของผิวหน้าระหว่างวัสดุและสารที่ใช้ยึดติด เป็นต้น

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 กล่าวนำ

สาระสำคัญบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการทดลองทั้งหมดที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางกลประกอบไปด้วย การทดสอบแรงดึง (Tensile test) การทดสอบแรงคด (Flexural test) ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ความแข็งผิว (Hardness) สมบัติทางความร้อน และนำเสนอต้นฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบด้วยการใช้กลีงจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยทำการศึกษาผลของการเติมและไม่เติมสารประสาน ศึกษาผลของอุณหภูมิในการขึ้นรูปประกอบด้วย 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและไม้อยูคาลิปตัส อัตราส่วนที่ทำการศึกษาประกอบด้วย 50:50 60:40 70:30 80:20 90:10 และ 100:0 ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบประกอบด้วยความเป็นอิสระของข้อมูล ความเป็นปกติของข้อมูล และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล

4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกล

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลประกอบไปด้วย การทดสอบสมบัติทั้งหมด 4 สมบัติ พร้อมพิจารณาผลของการเติมและไม่เติมสารประสาน ดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลการทดสอบแรงดึง (Tensile test) กรณีไม่เติมสารประสาน

จากการศึกษาการทดสอบดึงกรณีไม่เติมสารประสาน อัตราส่วนระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและไม้อยูคาลิปตัส อัตราส่วนที่ทำการศึกษาประกอบด้วย 50:50 60:40 70:30 80:20 90:10 และ 100:0 พิจารณา 3 อุณหภูมิ คือ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส ทำการศึกษาผลของความแข็งแรงดึง (Tensile strength) โมดูลัสแรงดึง (Tensile modulus) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (% Elongation at break) จากรูปที่ 4.1 (a) และ (b) พบว่าการเพิ่มปริมาณของไม้อยูคาลิปตัสส่งผลให้ความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดลดลง โดยที่อัตราส่วน 90:10 จะมีความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดสูงกว่าทุกอัตราส่วน และที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสมีค่าความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดสูงกว่า 160 และ 200 องศาเซลเซียสโดยสอดคล้องกับผลของCaulfield และคณะ(2003) ที่กล่าวว่าความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงคดที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณสัดส่วนของพอลิเมอร์หรือพลาสติกเพิ่มสูงขึ้น

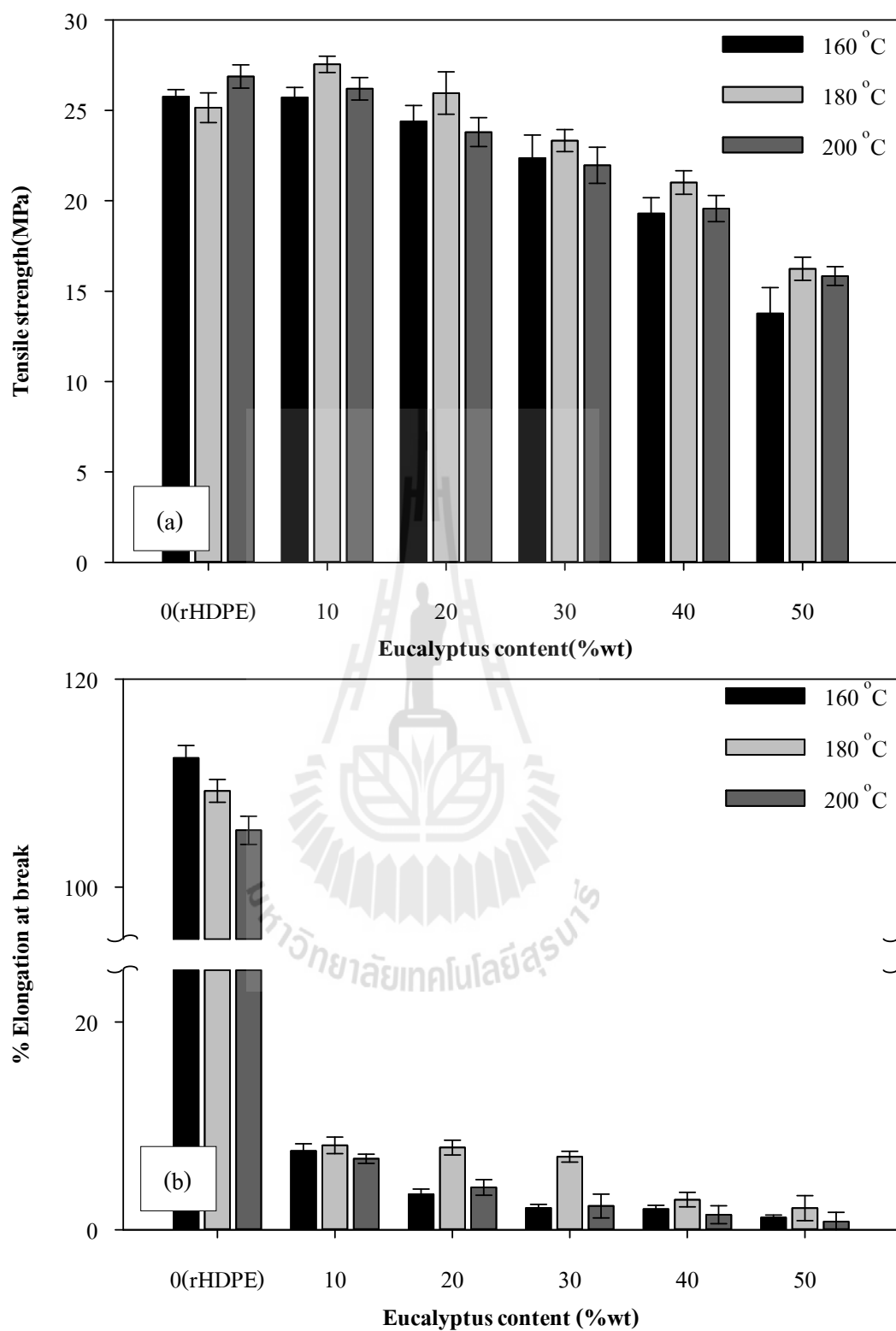
ในวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใยธรรมชาติ และยังคงคล้องกับผลของ ธรรมชาติสมบัติสมภพ และคณะ (2547) กล่าวว่า ปริมาณผงไม้ที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้แรงดึงมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากผงไม้ในปริมาณที่สูงจะทำให้เกิดการกระจายตัวไม่ดีในพอลิเมอร์เมตริกซ์ เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน เมื่อให้แรงกระทำจึงไม่สามารถรับแรงได้ดีเท่าที่ควร การต้านทานแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบยังขึ้นอยู่กับความสามารถของความเค้นในการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ ถ้าความเค้นไม่สามารถเคลื่อนที่หรือกระจายตัวอย่างต่อเนื่องวัสดุจะเกิดการเสียดรูปได้ง่าย ซึ่งอนุภาคของไม้ยูคาลิปตัสที่ผสมอยู่ในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง มีลักษณะแข็งไม่ยืดหยุ่น ส่งผลให้ความเค้นที่เคลื่อนที่มาจากพอลิเมอร์เมตริกซ์หยุด ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปได้อีก ทำให้ความแข็งแรงดึงลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของไม้ยูคาลิปตัส และปริมาณของไม้ยูคาลิปตัสที่เพิ่มขึ้นจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ส่งผลให้ขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ เป็นเหตุให้การเกี่ยวพันของสายโซ่พอลิเมอร์เมตริกซ์ลดลง

สำหรับการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส พบว่าลักษณะชิ้นงานมีการพองตัวเนื่องจากอุณหภูมิขึ้นรูปสูงเกินไป และพบว่าสีของชิ้นงานเป็นสีน้ำตาลไหม้ เนื่องจากอุณหภูมิดังกล่าวเป็นช่วงที่ส่งผลให้ฮีมิเซลลูโลสเกิดการสลายตัวจึงทำให้ชิ้นงานมีสีน้ำตาลไหม้เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ 160 และ 180 องศาเซลเซียส

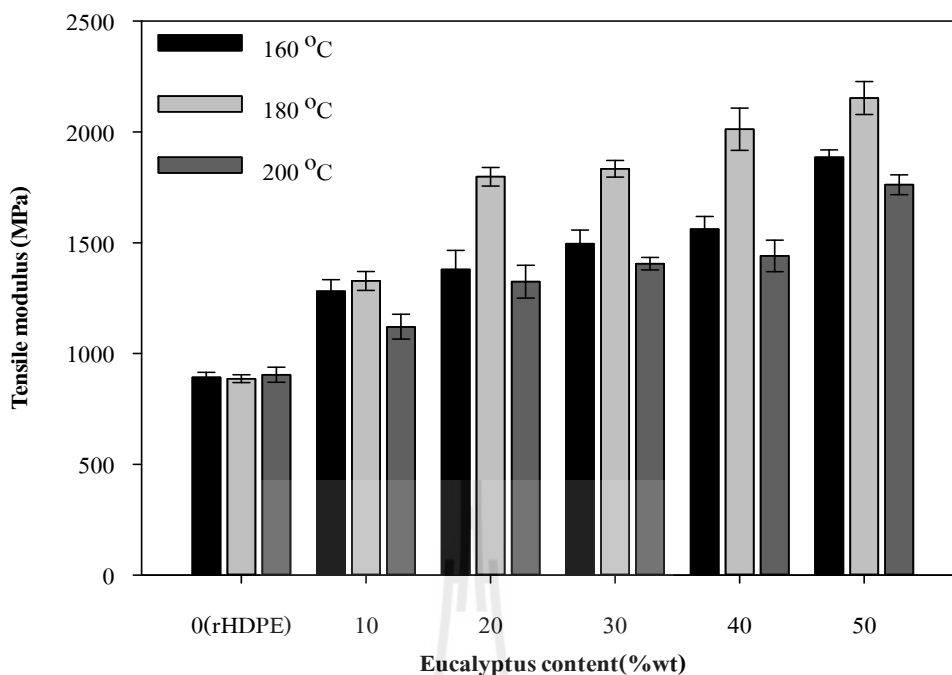
จากรูปที่ 4.2 เมื่อพิจารณาผลของผลของมอดูลัสแรงดึง โดยเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนที่ผ่านการใช้งานแล้วพบว่า การเพิ่มปริมาณของไม้ยูคาลิปตัสส่งผลให้ค่ามอดูลัสแรงดึงมีค่าสูงขึ้น ที่อัตราส่วน 50:50 จะมีค่ามอดูลัสสูงกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ ซึ่งที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเหมือนกัน เนื่องมาจากสารตัวเดิมมีความแข็งเกร็ง (stiffness) สูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่เป็นส่วนของพอลิเมอร์เมตริกซ์ ดังนั้นเมื่อเติมไม้ยูคาลิปตัสลงไป ในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจึงทำให้ค่ามอดูลัสแรงดึงสูงไปด้วย เนื่องจากมอดูลัสแรงดึงแสดงถึงความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปร่างหรือความเสถียรภาพของวัสดุ ไม้ยูคาลิปตัสที่เติมลงไปจะไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ยากยิ่งขึ้น จึงส่งผลให้ค่ามอดูลัสแรงดึงมีค่าเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบแรงดึงกรณีไม่เติมสารประสาน

No.	Temperature (°C)	HDPE:Wood	Tensile strength (MPa)	Tensile Modulus (MPa)	Elongation at break (%)
1	160	100:0	25.76±0.39	892±23	112.43±1.20
2		50:50	13.77±1.43	1886±33	1.18±0.23
3		60:40	19.30±0.87	1562±57	1.99±0.36
4		70:30	22.37±1.27	1469±62	2.10±0.35
5		80:20	24.40±0.87	1380±86	3.42±0.49
6		90:10	25.72±0.55	1282±51	7.60±0.68
7	180	100:0	25.15±0.82	886±18	109.26±1.10
8		50:50	16.24±0.64	2153±74	2.08±1.20
9		60:40	21.01±0.65	2012±95	2.90±0.70
10		70:30	23.33±0.61	1834±38	7.03±0.52
11		80:20	25.96±1.17	1798±42	7.92±0.71
12		90:10	27.55±0.45	1328±43	8.13±0.80
13	200	100:0	26.88±0.64	904±34	105.47±1.35
14		50:50	15.84±0.52	1762±45	0.78±0.91
15		60:40	19.57±0.72	1441±71	1.45±0.86
16		70:30	21.97±1.00	1406±28	2.29±1.14
17		80:20	23.80±0.80	1325±74	4.08±0.75
18		90:10	26.20±0.62	1121±56	6.84±0.44



รูปที่ 4.1 ความแข็งแรงดึง (a) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (b) กรณีไม่เติมสารประสาน



รูปที่ 4.2 มอดูลัสแรงดึงกรณีไม่เติมสารประสาน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ จะวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ การวิเคราะห์ด้วย ANOVA และการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ ดังต่อไปนี้

- ผลการวิเคราะห์การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ

ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องของตัวแบบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ประกอบด้วยความเป็นอิสระของข้อมูล ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล โดยทำการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบทางสถิติของสมบัติความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงตัด ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งผิว กรณีไม่เติมสารประสาน ได้ผลการวิเคราะห์ไปในทิศทางเดียวกัน คือ ข้อมูลแต่ละตัวที่นำมาทำการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน ข้อมูลที่พิจารณามีการแจกแจงแบบปกติ และข้อมูลมีความเสถียรของค่าความแปรปรวน รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก

1. ความเป็นอิสระของข้อมูล

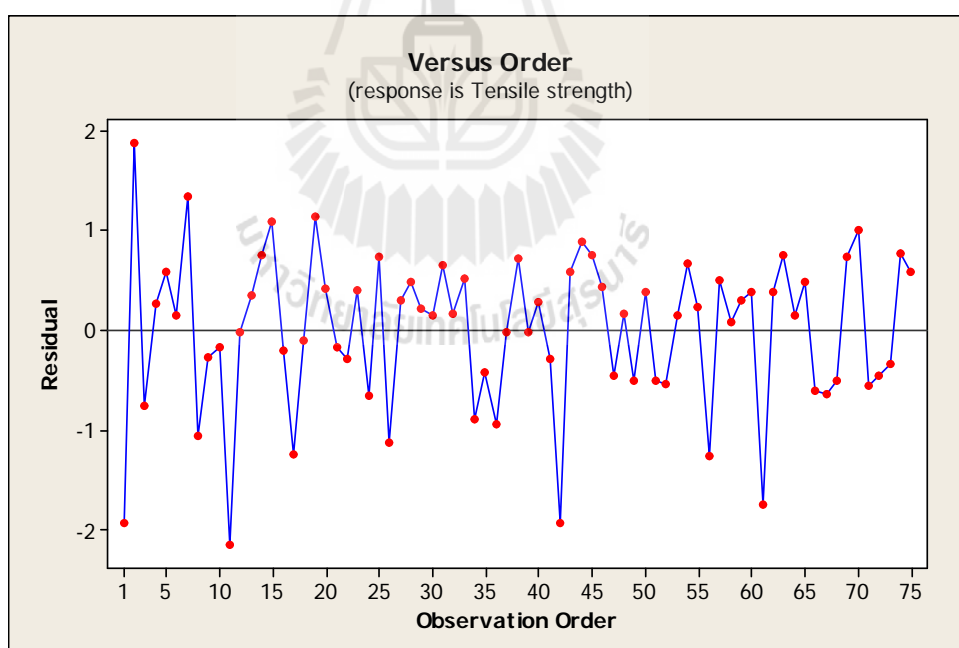
พิจารณากราฟว่ามีการกระจายตัวที่ไม่สามารถทำนายได้ว่ามีทิศทางหรือแนวโน้มเป็นอย่างไร จากรูปที่ 4.3 เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า ข้อมูลแต่ละค่าที่นำมาทำการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน เนื่องจากกราฟที่ได้ไม่สามารถที่จะคาดเดาหรือทำนายทิศทางของตัวข้อมูลได้อย่างแน่นอน

2. ความเป็นปกติของข้อมูล

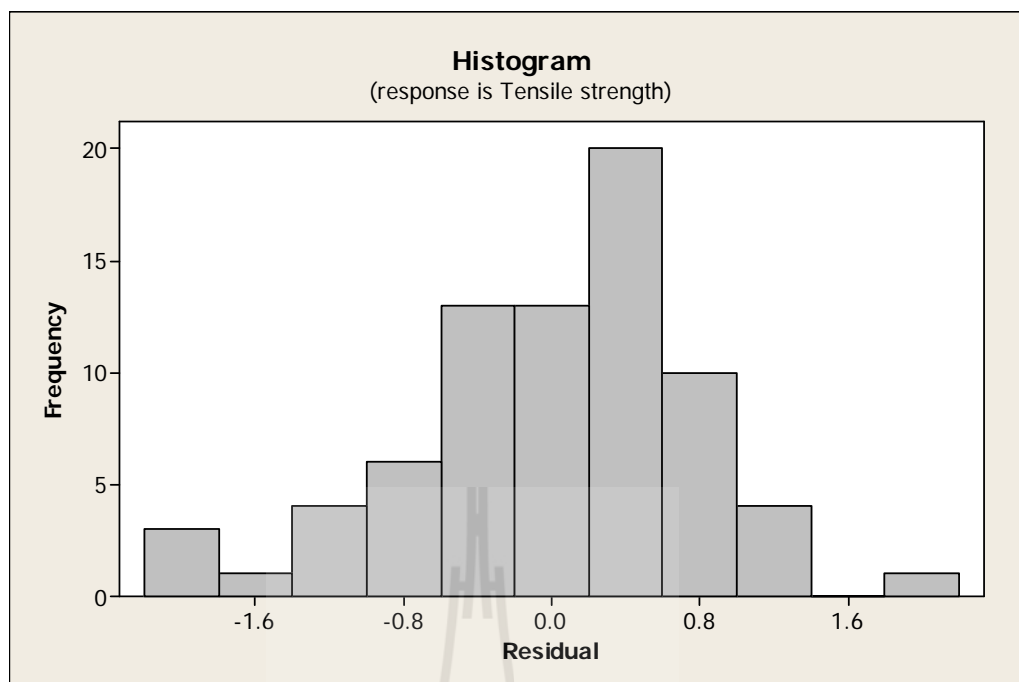
ความเป็นปกติของข้อมูล เป็นการพิจารณาว่าข้อมูลมีการเก็บมาแบบปกติหรือไม่ โดยพิจารณากราฟว่ามีลักษณะของข้อมูลเป็นเส้นตรงหรือไม่ในกรณีที่ข้อมูลไม่เกิน 30 ข้อมูล แต่ถ้าหากข้อมูลเกิน 30 ข้อมูลให้พิจารณากราฟว่ามีลักษณะเป็นระฆังคว่ำหรือไม่ จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นโค้งปกติ (Normal curve) แต่เพื่อให้มั่นใจในการกระจายตัวของข้อมูล จึงต้องทำการทดสอบ Normal probability ดังแสดงในรูปที่ 4.5 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวในแนวเส้นตรง ดังนั้นข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างไม่มียัยสำคัญ สรุปได้ว่าข้อมูลที่พิจารณามีการแจกแจงแบบปกติ

3. ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนข้อมูล

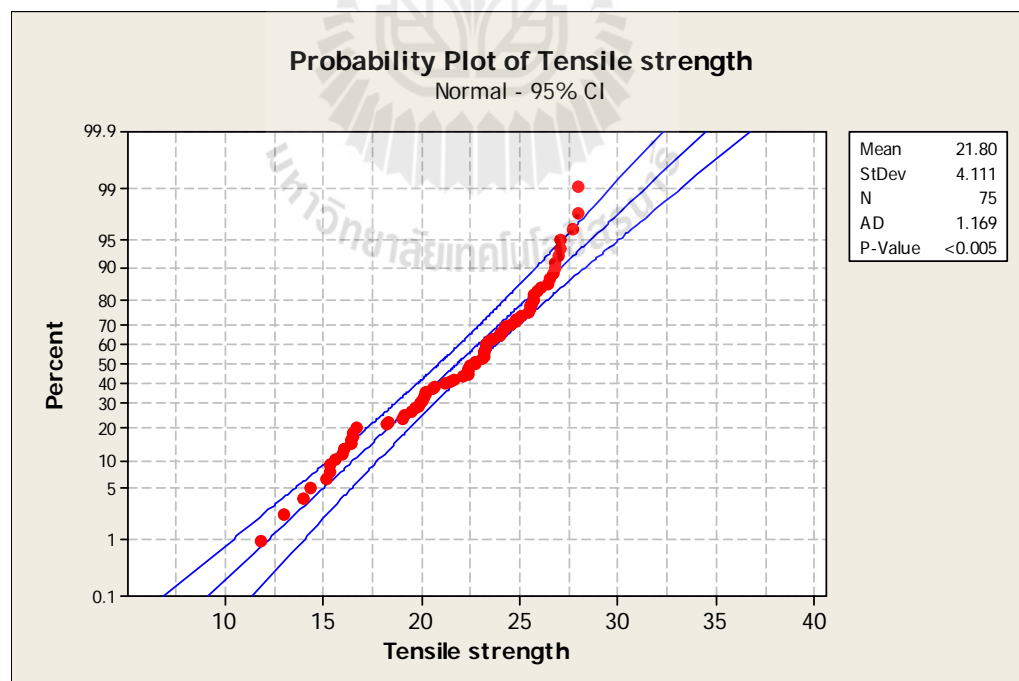
ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนเป็นการสังเกตค่าความแปรปรวนของข้อมูลว่ามีค่าการกระจายตัวรอบค่าศูนย์กลางคลาดเคลื่อนสม่ำเสมอมากน้อยหรือไม่ เมื่อพิจารณา รูปที่ 4.6 ข้อมูลมีการกระจายตัวแปรผันสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์กลาง ดังนั้นข้อมูลจึงมีความเสถียรของค่าความแปรปรวน



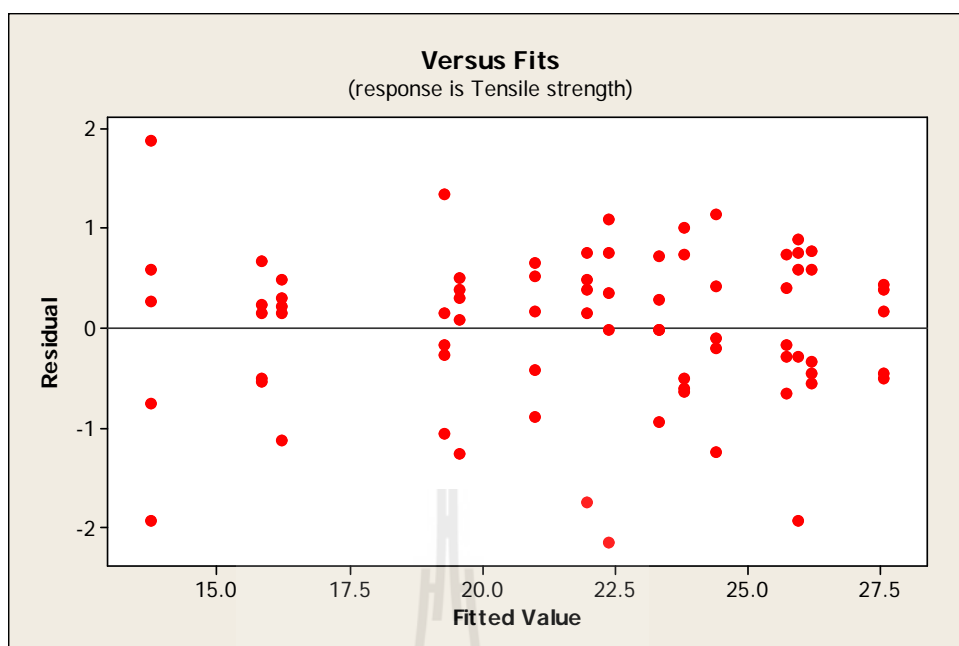
รูปที่ 4.3 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลของตัวแบบทางสถิติ



รูปที่ 4.4 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลจากกระชังคว่ำ



รูปที่ 4.5 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลจากทดสอบ Normal probability



รูปที่ 4.6 การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนข้อมูลของตัวแบบทางสถิติ

- ผลการวิเคราะห์ ANOVA

ผลการวิเคราะห์ ANOVA เพื่อให้เป็นการเข้าใจในการวิเคราะห์ปัจจัยตัวอย่าง วิธีการวิเคราะห์เฉพาะสมบัติความแข็งแรงดึงเพียงอย่างเดียว ส่วนสมบัติความแข็งแรงตัด ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งผิว ได้แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ก

สมมุติฐานสำหรับการทดลองคือ

1. H_0 : อัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้อยูคาลิปตัสไม่มีผลต่อค่าสมบัติความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบกรณีไม่เติมสารประสาน

H_1 : อัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้อยูคาลิปตัสมีผลต่อค่าสมบัติความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบกรณีไม่เติมสารประสาน

2. H_0 : อุณหภูมิในการขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าสมบัติความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบกรณีไม่เติมสารประสาน

H_1 : อุณหภูมิในการขึ้นรูปมีผลต่อค่าสมบัติความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบกรณีไม่เติมสารประสาน

3. H_0 : อัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้อยูคาลิปตัสและอุณหภูมิในการขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าสมบัติความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบกรณีไม่เติมสารประสาน

H_1 : อัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัส และอุณหภูมิในการขึ้นรูปมีผลต่อค่าสมบัติความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบกรณีไม่เติมสารประสาน

- ผลการทดสอบสมมุติฐานของอัตราส่วนของผงไม้ยูคาลิปตัสต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกรณีไม่เติมสารประสาน

จากข้อมูลในตารางการวิเคราะห์แบบ ANOVA ดังรูปที่ 4.8 จะ Reject H_0 เนื่องจากค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า α ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสมีผลต่อค่าสมบัติความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบกรณีไม่เติมสารประสาน

- ผลการทดสอบสมมุติฐานของอิทธิพลของอุณหภูมิในการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบกรณีไม่เติมสารประสาน

จากข้อมูลในตารางการวิเคราะห์แบบ ANOVA ดังรูปที่ 4.8 จะ Reject H_0 เนื่องจากค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า α ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอุณหภูมิในการขึ้นรูปมีผลต่อค่าสมบัติความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบกรณีไม่เติมสารประสาน

- ผลการทดสอบสมมุติฐานของอัตราส่วนของผงไม้ยูคาลิปตัสต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและอุณหภูมิในการขึ้นรูปของวัสดุเชิงประกอบกรณีไม่เติมสารประสาน

จากข้อมูลในตารางการวิเคราะห์แบบ ANOVA ดังรูปที่ 4.8 จะ Reject H_0 เนื่องจากค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.029 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า α ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่าอัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสและอุณหภูมิในการขึ้นรูปมีผลต่อค่าสมบัติความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบกรณีไม่เติมสารประสาน

Two-way ANOVA: Tensile strength versus temperature, HDPE:wood					
Source	DF	SS	MS	F	P
temperature	2	251.52	125.761	90.54	0.000
HDPE:wood	4	2094.23	523.557	376.91	0.000
Interaction	8	26.11	3.263	2.35	0.029
Error	60	83.34	1.389		
Total	74	2455.20			

S = 1.179 R-Sq = 96.61% R-Sq(adj) = 95.81%

รูปที่ 4.7 ตารางวิเคราะห์ด้วย ANO

- ผลการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ

จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 96.61 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ (Treatment) คืออัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสและอนุภูมิในการขึ้นรูป 96.61 ส่วน และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) คือสภาวะบรรยากาศ โดยรอบระหว่างการทำการทดลอง คิดเป็น 3.39 ส่วน โดยผลจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ผลของความผันแปรของค่าความแข็งแรงดึงที่เกิดขึ้นกรณีไม่เติมสารประสาน สามารถอธิบายด้วยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสและอนุภูมิในการขึ้นรูป ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูงเมื่อเทียบกับปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ และมีค่าเข้าใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงสามารถตัดสินใจโดยอาศัยสมมุติฐานนี้ได้ และหากพิจารณาค่า SS ของอัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสซึ่งเท่ากับ 2094.23 พบว่ามีค่ามากกว่า SS ของอนุภูมิซึ่งมีค่าเท่ากับ 251.52 แสดงว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าของอัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัส โดยอนุภูมิเท่าเดิม ขณะทดลองจะเกิดผลกระทบต่อค่าสมบัติความแข็งแรงดึงมากกว่าการเปลี่ยนแปลงอนุภูมิ เมื่ออัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสเท่าเดิม

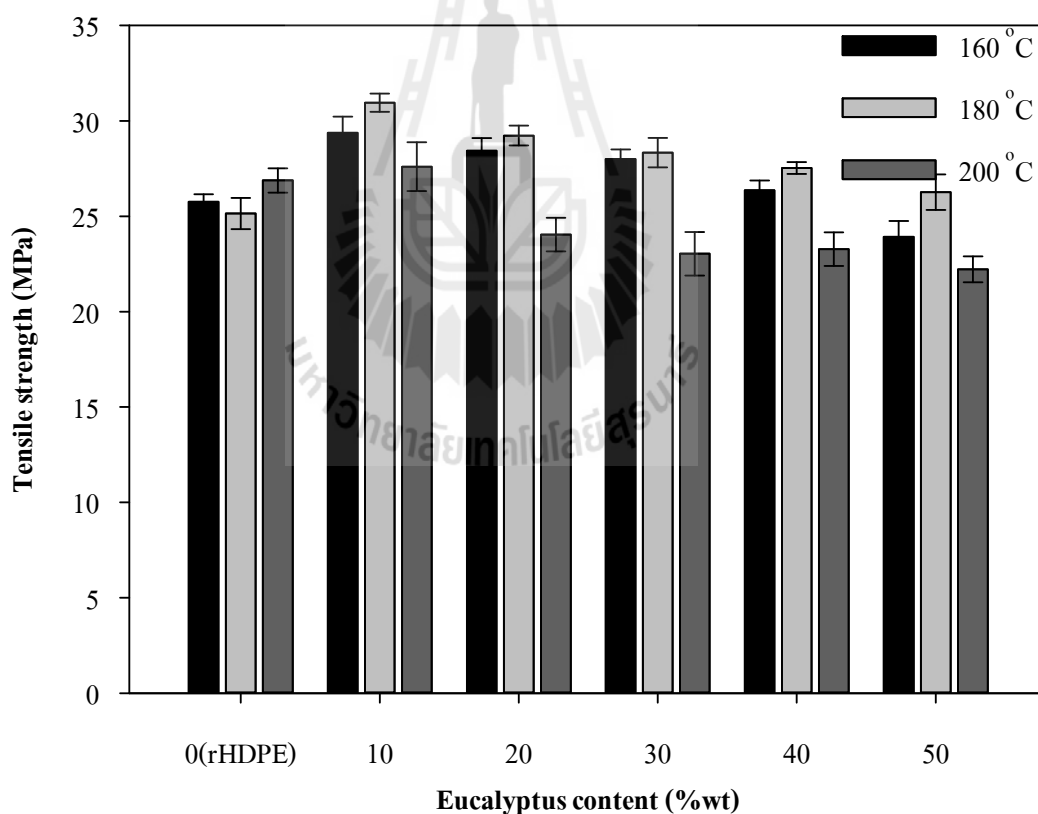
4.2.2 ผลการทดสอบแรงดึง (Tensile test) กรณีเติมสารประสาน

จากรูปที่ 4.8 4.9 (a) และ (b) ผลของความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และมอดูลัสแรงดึง มีแนวโน้มเหมือนกับกรณีไม่เติมสารประสาน กล่าวคือการเพิ่มปริมาณของไม้ยูคาลิปตัสส่งผลให้ความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดลดลง โดยที่อัตราส่วน 90:10 จะมีความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดสูงกว่าทุกอัตราส่วน และที่อนุภูมิ 180 องศาเซลเซียสมีค่าความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดสูงกว่า 160 และ 200 องศาเซลเซียส

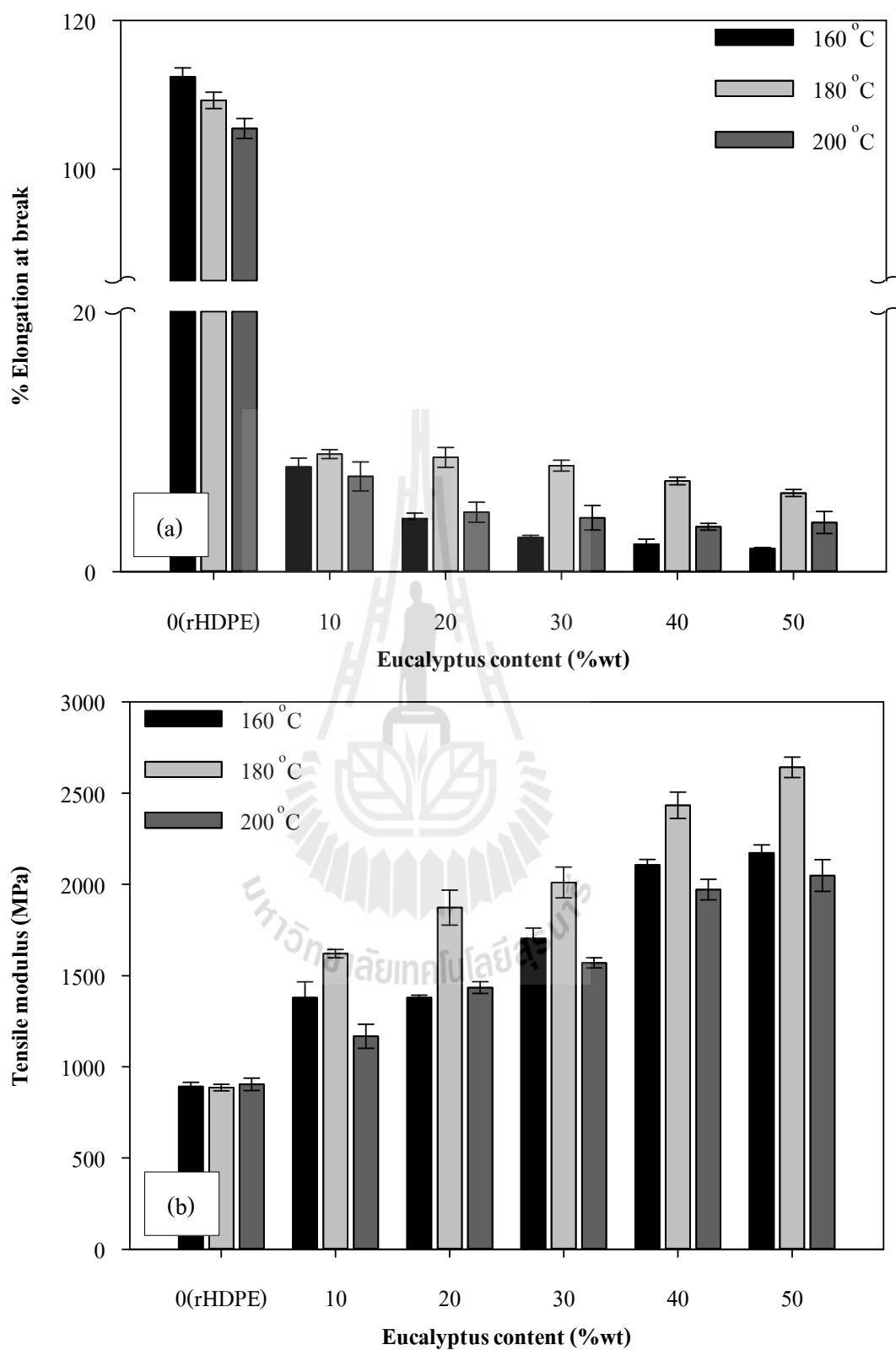
สมบัติด้านแรงดึงนั้นเป็นการศึกษาพฤติกรรมของพอลิเมอร์เมื่อมีการให้ความเค้น โดยดึงพอลิเมอร์ให้ยืดยาวออกจนถึงจุดที่พอลิเมอร์เกิดการเสียหายและขาดออกจากกันในที่สุด เมื่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงได้รับแรงดึงสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์จะเคลื่อนที่ตามแนวแรงดึงยืดยาวออกที่มีความเครียดมากขึ้น เมื่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงถูกดึงยืดจนเกิดการเสียหายในช่วงที่ความเครียดสูงหลังจากจุดคราก สายโซ่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง จะเกิดการเลื่อนไหลหลุดออกจากการยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่ เกิดการเสียหายแบบพลาสติก สายโซ่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงไม่สามารถกลับคืนสู่รูปร่างเดิมได้ การเติมไม้ยูคาลิปตัส ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงและค่ามอดูลัสสูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง จึงทำให้วัสดุผสมแตกหักได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้เมื่อให้แรงดึงกับชิ้นงานบริเวณที่เส้นใยติดต่อกับวัสดุ

เมตริกซ์นั้นเป็นบริเวณที่มีความเค้นสูง มีการยึดเกาะกันต่ำระหว่างไม้ยูคาลิปตัสที่มีขี้และเมตริกซ์ที่มีสมบัติไม่มีขี้เกิดเป็นรอยตำหนิ ทำให้สายโซ่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเลื่อนหลุดออกจากกันได้ง่าย ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของวัสดุผสมมีค่าต่ำ

เมื่อพิจารณาผลของมอดูลัสแรงดึงโดยเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนที่ผ่านการใช้งานแล้วพบว่า การเพิ่มปริมาณของไม้ยูคาลิปตัสส่งผลให้ค่ามอดูลัสแรงดึงมีค่าสูงขึ้น ที่อัตราส่วน 50:50 จะมีค่ามอดูลัสสูงกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ ซึ่งที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเหมือนกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่เติมสารประสาน พบว่าความแข็งแรงดึง มอดูลัสแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องมาจากผลจากการเติมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกราฟต์ด้วยเมลานิกแอนไฮโดรด์ ซึ่งช่วยปรับปรุงสมบัติความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและไม้ยูคาลิปตัส ซึ่งยืนยันด้วยผลของสัณฐานวิทยา



รูปที่ 4.8 ความแข็งแรงดึงกรณีเติมสารประสาน



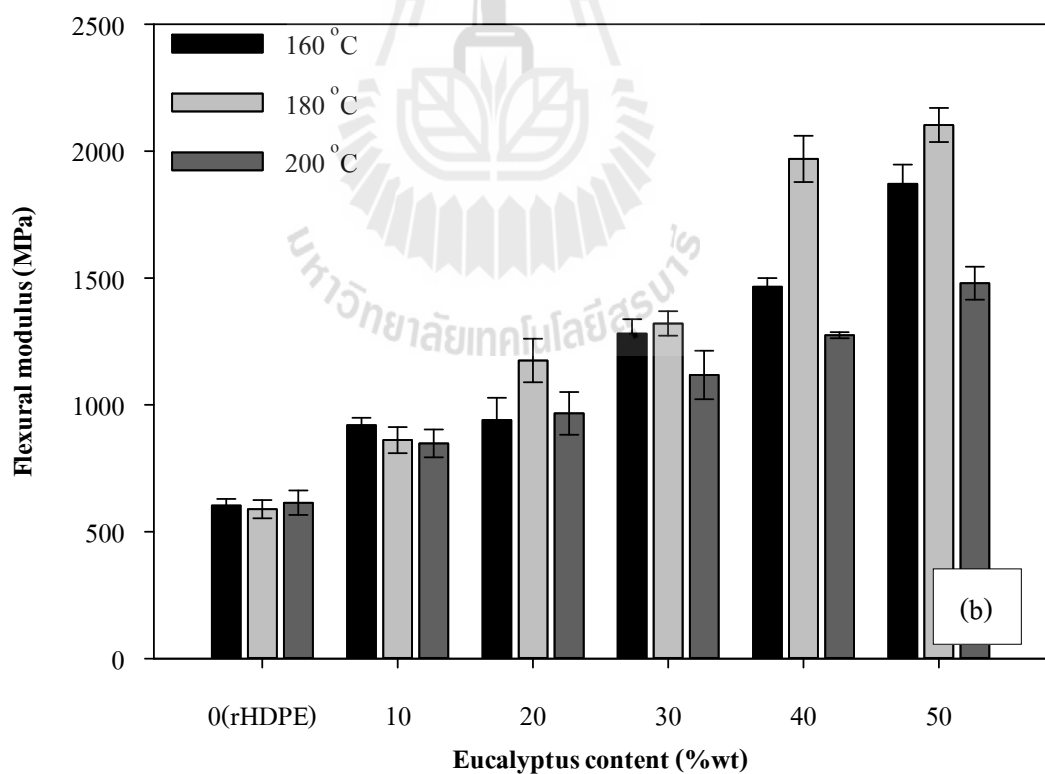
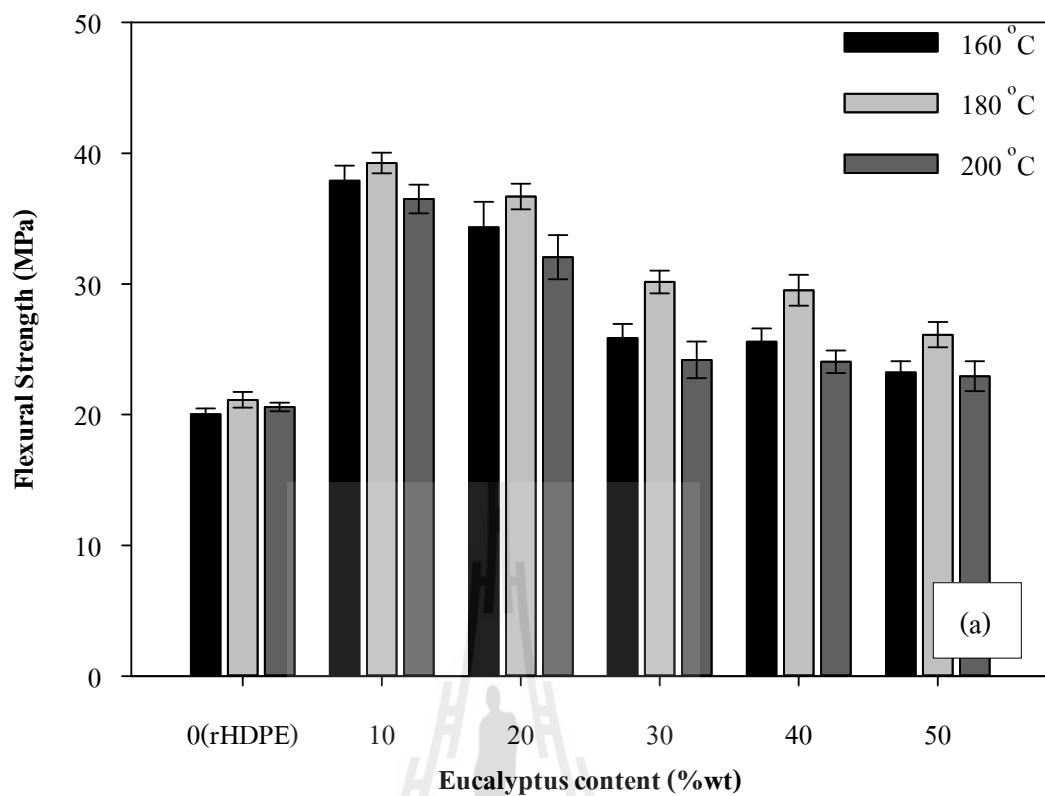
รูปที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (a) และมอดูลัสแรงดึง (b) กรณีกรณีเติมสารประสาน

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบแรงดึงกรณีเติมสารประสาน

No.	Temperature (°C)	HDPE:Wood	Tensile strength (MPa)	Tensile Modulus (MPa)	Elongation at break (%)
1	160	100:0	25.76±0.39	892±23	112.43±1.20
2		50:50	23.92±0.83	2173±44	1.76±0.09
3		60:40	26.36±0.51	2107±30	2.11±0.39
4		70:30	28.00±0.5	1704±57	2.61±0.17
5		80:20	28.44±0.66	1535±13	4.07±0.43
6		90:10	29.37±0.85	1380±86	8.05±0.68
7	180	100:0	25.15±0.82	886±18	109.26±1.10
8		50:50	26.26±0.93	2642±56	6.04±0.27
9		60:40	27.53±0.31	2434±72	6.97±0.79
10		70:30	28.34±0.77	2011±84	8.15±0.42
11		80:20	29.23±0.52	1873±96	8.79±0.76
12		90:10	30.95±0.48	1621±23	9.04±0.34
13	200	100:0	26.88±0.64	904±34	105.47±1.35
14		50:50	22.22±0.68	2049±87	3.78±0.85
15		60:40	23.28±0.88	1972±56	3.45±0.26
16		70:30	23.77±1.14	1570±28	4.14±0.94
17		80:20	24.04±0.88	1435±32	4.57±0.78
18		90:10	27.6±1.28	1167±66	7.32±1.11

4.2.3 ผลการทดสอบแรงดัด (Flexural test) กรณีไม่เติมสารประสาน

จากรูปที่ 4.10 (a) ศึกษาผลของความแข็งแรงดัดกรณีไม่เติมสารประสาน พบว่าที่อัตราส่วน 90:10 จะมีความแข็งแรงดัดมากกว่าทุกอัตราส่วนและที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งแรงดัดมากกว่าที่ 160 และ 200 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงดัดจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณอัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเพิ่มขึ้น เมื่อมีพลาสติกในปริมาณที่มากจะช่วยให้มีการยึดติดกันของพอลิเมอร์เมตริกซ์ได้มากขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับงานวิจัย



รูปที่ 4.10 ความแข็งแรงคัต (a) และ มอดุลัสแรงคัต (b) กรณีไม่เติมสารประสาน

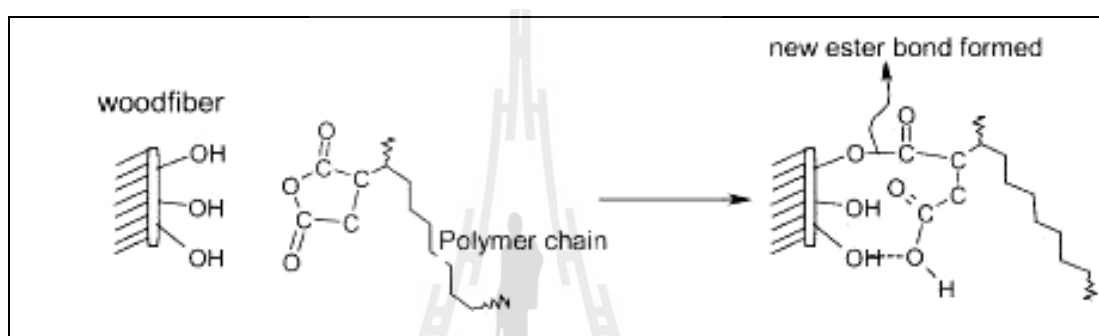
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบแรงดัดกรณีไม่เติมสารประสาน

No.	Temperature (°C)	HDPE:Wood	Flexural strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)
1	160	100:0	20.03±0.44	603±26
2		50:50	23.23±0.86	1872±75
3		60:40	25.59±1.02	1466±34
4		70:30	25.87±1.08	1281±57
5		80:20	34.34±1.95	940±88
6		90:10	37.9±1.15	920±29
7	180	100:0	21.12±0.6	589±36
8		50:50	26.12±0.97	2103±67
9		60:40	29.52±1.18	1970±91
10		70:30	30.16±0.87	1321±48
11		80:20	36.69±0.98	1175±86
12		90:10	39.25±0.79	861±51
13	200	100:0	20.58±0.33	614±48
14		50:50	22.94±1.15	1480±65
15		60:40	24.06±0.86	1275±12
16		70:30	24.2±1.4	1118±96
17		80:20	32.05±1.69	966±84
18		90:10	36.5±1.10	848±55

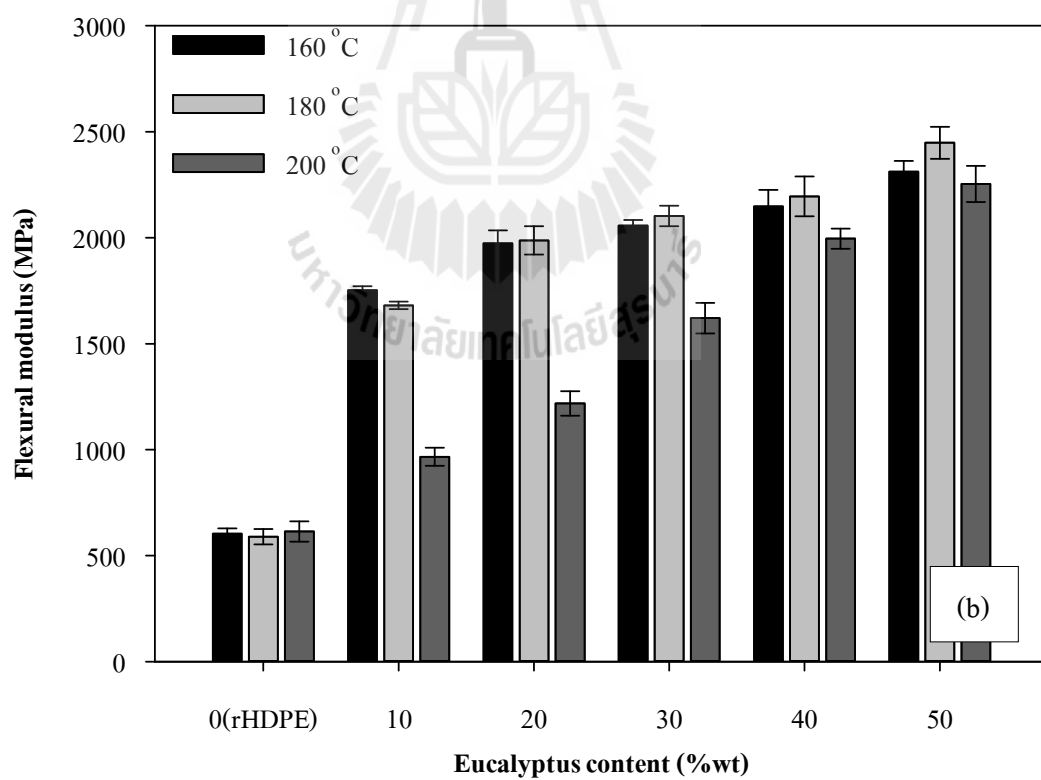
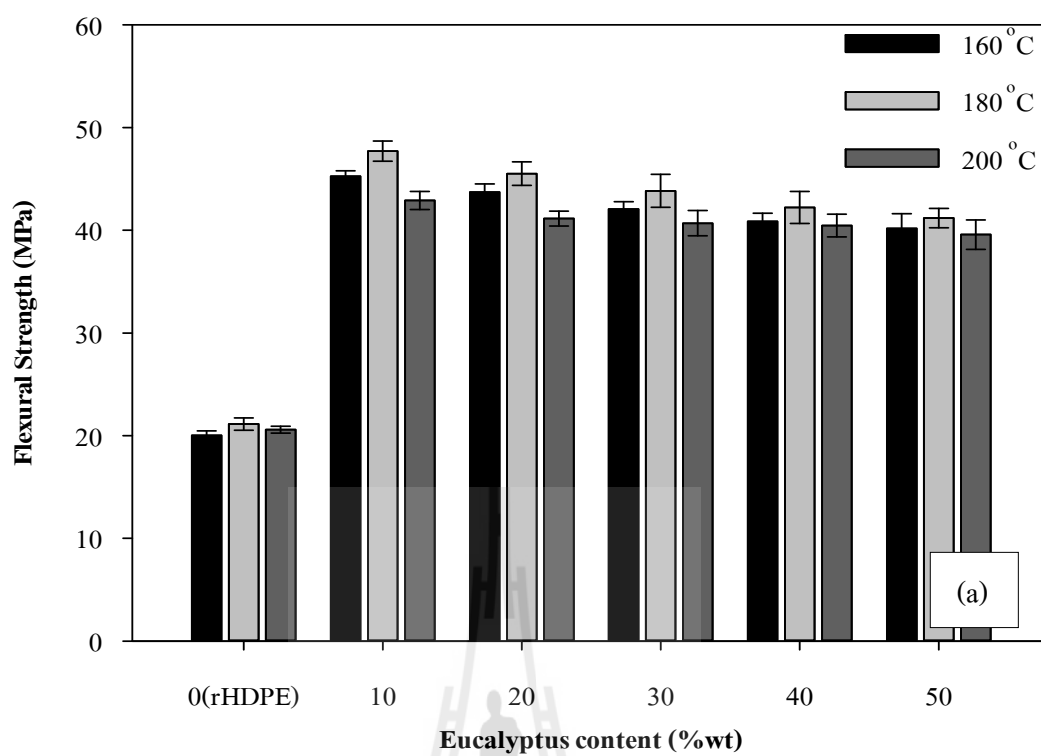
4.2.4 ผลการทดสอบแรงดัด (Flexural strength) กรณีเติมสารประสาน

จากรูปที่ 4.12 (a) และ (b) ผลการทดสอบแรงดัดมีแนวโน้มเหมือนกับกรณีไม่เติมสารประสาน กล่าวคือปริมาณไม้ยูคาลิปตัสที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดัดมีค่าลดลง แต่ค่ามอดูลัสแรงดัดมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากไม่มีค่าความแข็งดิ่งสูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ซึ่งเป็นตัวที่จะจำกัดการเคลื่อนไหวและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิเมอร์เมตริกซ์ ค่าความแข็งแรงดัดและมอดูลัสแรงดัดสูงกว่ากรณีไม่เติมสารประสานเนื่องมาจากการปรับปรุงการยึดติด

ระหว่างวัฏภาค โดยใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกราฟต์ด้วยเมลาอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารประสาน ซึ่งพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นส่วนที่ไม่มีขั้วและไม่ยูคาลิปตัสเป็นส่วนที่มีขั้ว โดยส่วนมีขั้วของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกราฟต์ด้วยเมลาอิกแอนไฮไดรด์จะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ของยูคาลิปตัสเกิดเป็นพันธะเอสเทอร์ (ester linkage) และพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonding) และส่วนที่ไม่มีขั้วจะเกิดการเกี่ยวพัน (entanglement) กับสายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ดังรูปที่ 4.11 แสดงแบบจำลองการเกิดพันธะเอสเทอร์และพันธะไฮโดรเจน



รูปที่ 4.11 แบบจำลองการเกิดพันธะเอสเทอร์และพันธะไฮโดรเจน [Bin Li และ Jinmei He, 2004.]



รูปที่ 4.12 ความแข็งแรงดัด (a) และมอดูลัสแรงดัด (b) กรณีเติมสารประสาน

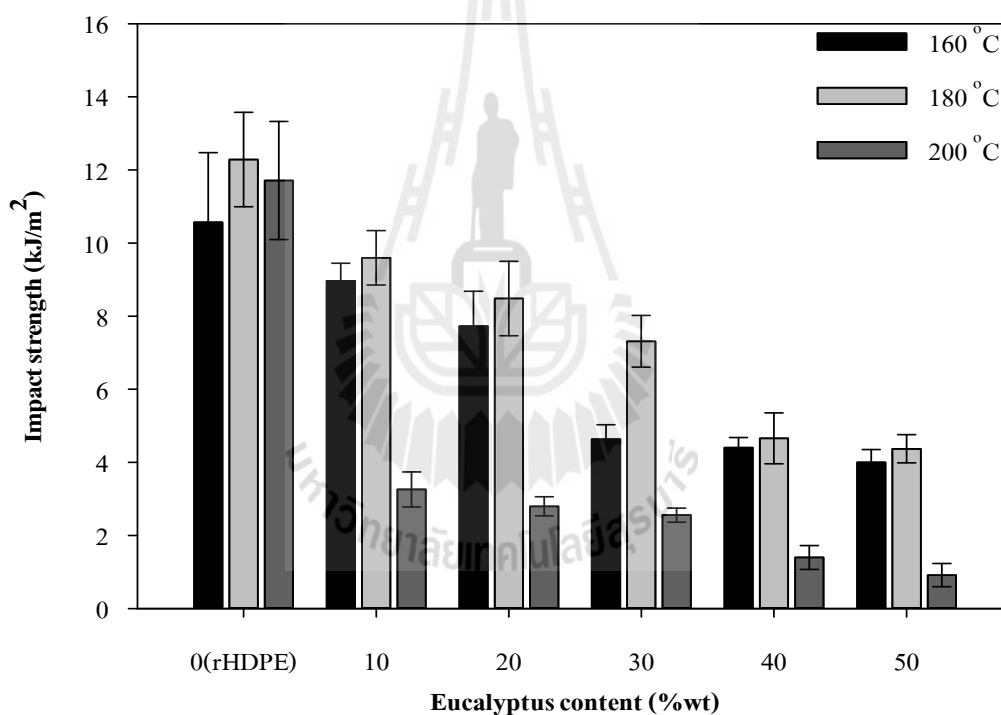
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบแรงค้ำกรมิเติมสารประสาน

No.	Temperature (°C)	HDPE:Wood	Fluxural strength (MPa)	Fluxural Modulus (MPa)
1	160	100:0	20.03±0.44	603±26
2		50:50	40.17±0.55	2312±51
3		60:40	40.87±0.80	2149±77
4		70:30	42.07±0.72	2058±26
5		80:20	43.71±0.80	1974±61
6		90:10	45.25±1.45	1752±20
7	180	100:0	21.12±0.6	589±36
8		50:50	41.19±0.98	2448±76
9		60:40	42.23±1.14	2195±94
10		70:30	43.84±1.6	2103±48
11		80:20	45.52±1.56	1988±67
12		90:10	47.72±0.94	1681±18
13	200	100:0	20.58±0.33	614±48
14		50:50	39.58±0.88	2254±85
15		60:40	40.47±0.73	1996±48
16		70:30	40.69±1.23	1621±72
17		80:20	41.14±1.10	1218±58
18		90:10	42.91±1.43	966±43

4.2.5 ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) กรณีไม่เติมสารประสาน

จากรูปที่ 4.13 พบว่าปริมาณ ไม้ยูคาลิปตัสที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าความแข็งแรงกระแทกลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานแล้ว โดยที่อัตราส่วน 90:10 จะมีความแข็งแรงกระแทกมากกว่าทุกอัตราส่วนและที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสมีความแข็งแรงกระแทกมากกว่าที่ 160 และ 200 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงกระแทกจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณอัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเพิ่มขึ้น

เมื่อมีพลาสติกในปริมาณที่มากจะช่วยให้มีการยึดติดกันของพอลิเมอร์เมตริกซ์ได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ดวงแข บุตรภูถ (2554) ได้ทำการศึกษาการผลิตคอมพาวด์วัสดุผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยธรรมชาติ พบว่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย เนื่องจากเส้นใยหรือสารตัวเติมมีความแข็งหรือค่ามอดุลัสสูงกว่าวัสดุเนื้อหลัก คือพอลิเมอร์ เมื่อวัสดุได้รับแรงจะมีการเปลี่ยนขนาดหรือความเครียด (Strain) ในส่วนของเส้นใยหรือสารตัวเติมน้อยกว่าเกิดในวัสดุหลัก ทำให้เกิดช่องว่างที่บริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคหรืออินเทอร์เฟซ (Interfaces) ซึ่งเป็นจุดริเริ่มของการแตกหัก หรือเสียหายนอกจากนี้ เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหรือสารตัวเติม จะทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของวัฏภาคเมตริกซ์ มีรอยต่อวัฏภาคหรืออินเทอร์เฟซที่ไม่แข็งแรงเพิ่มมากขึ้น เป็นผลให้ความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลง



รูปที่ 4.13 ความแข็งแรงกระแทกกรณีไม่เติมสารประสาน

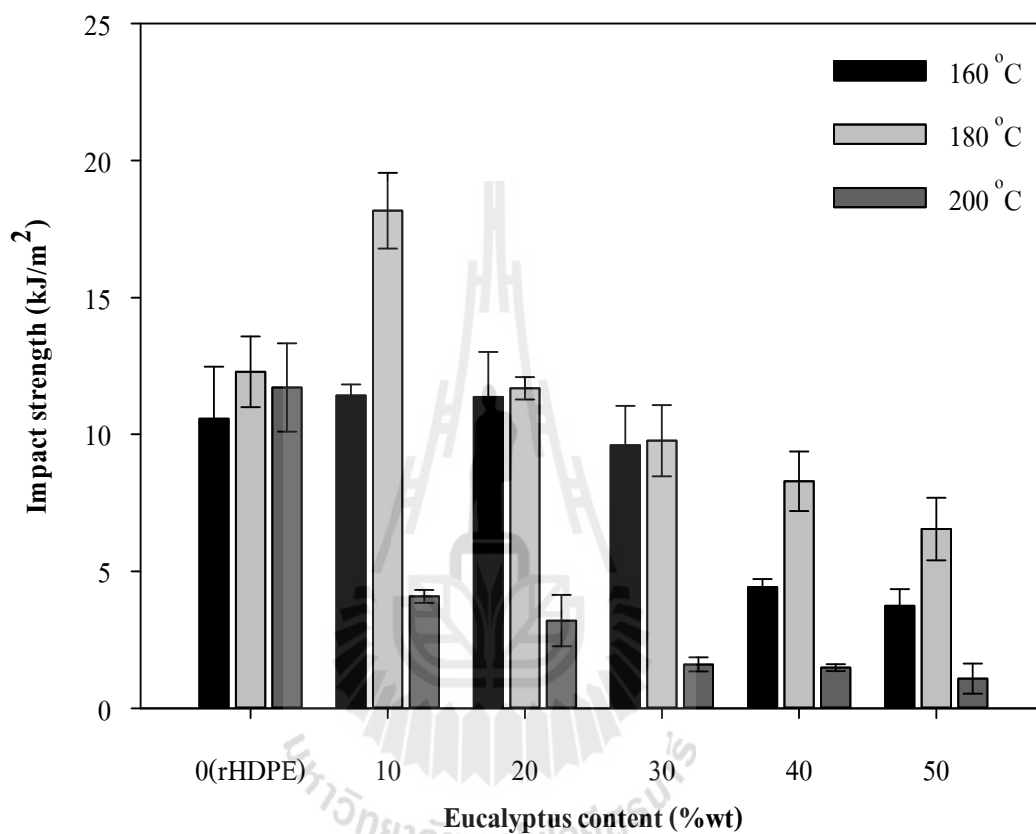
ตารางที่ 4.5 ความแข็งแรงกระแทกกรณีไม้เติมสารประสาน

No.	Temperature (°C)	HDPE: Wood	Impact strength (kJ/m ²)						
			1	2	3	4	5	Mean	SD
1	160	100:0	10.571	10.000	13.714	10.000	8.571	10.571	1.906
2		50:50	3.857	4.286	3.571	4.429	3.857	4.000	0.350
3		60:40	4.286	4.143	4.286	4.429	4.857	4.400	0.275
4		70:30	4.857	4.143	4.956	4.286	4.943	4.637	0.391
5		80:20	6.857	7.314	6.972	8.571	8.934	7.730	0.957
6		90:10	8.857	9.143	9.714	8.571	8.571	8.971	0.478
7	180	100:0	12.571	12.857	12.857	10.000	13.143	12.286	1.294
8		50:50	4.571	4.143	4.429	3.857	4.857	4.371	0.386
9		60:40	5.714	4.286	4.286	4.000	5.000	4.657	0.697
10		70:30	6.571	7.286	8.429	7.429	6.857	7.314	0.710
11		80:20	9.571	9.143	7.714	8.857	7.143	8.486	1.018
12		90:10	10.571	8.857	9.714	10.000	8.857	9.600	0.745
13	200	100:0	13.143	13.714	10.857	10.000	10.857	11.714	1.616
14		50:50	0.786	0.571	0.857	1.429	0.932	0.915	0.317
15		60:40	1.557	1.429	0.857	1.714	1.429	1.397	0.324
16		70:30	2.857	2.429	2.571	2.357	2.571	2.557	0.192
17		80:20	3.143	2.700	2.429	2.857	2.857	2.797	0.261
18		90:10	3.143	3.429	2.857	2.857	4.000	3.257	0.478

4.2.6 ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) กรณีเติมสารประสาน

จากรูปที่ 4.14 ผลของความแข็งแรงกระแทกกรณีเติมสารประสานมีแนวโน้มเหมือนกับกรณีไม้เติมสารประสานแต่มีค่าสูงกว่าเล็กน้อย กล่าวคือปริมาณไม้ยูคาลิปตัสที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าความแข็งแรงกระแทกลดลงเนื่องจากมีบริเวณวิกฤตที่มีความเข้มแรงเค้น (stress concentration) เกิดขึ้นมาก โดยที่อัตราส่วน 90:10 จะมีความแข็งแรงกระแทกมากกว่าทุกอัตราส่วนและที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสมีค่าความแข็งแรงกระแทกมากกว่าที่ 160 และ 200 องศาเซลเซียส

อาจเนื่องมาจากที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส มีการหลุดออกบางส่วนของเฮมิเซลลูโลสและองค์ประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำของไม้ยูคาลิปตัส ส่งผลให้อนุภาคมีความขรุขระทำให้เกิดการยึดติดทางกล (mechanical interlocking) กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ส่งผลให้มีการปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างไม้ยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง



รูปที่ 4.14 ความแข็งแรงกระแทกกรณีเติมสารประสาน

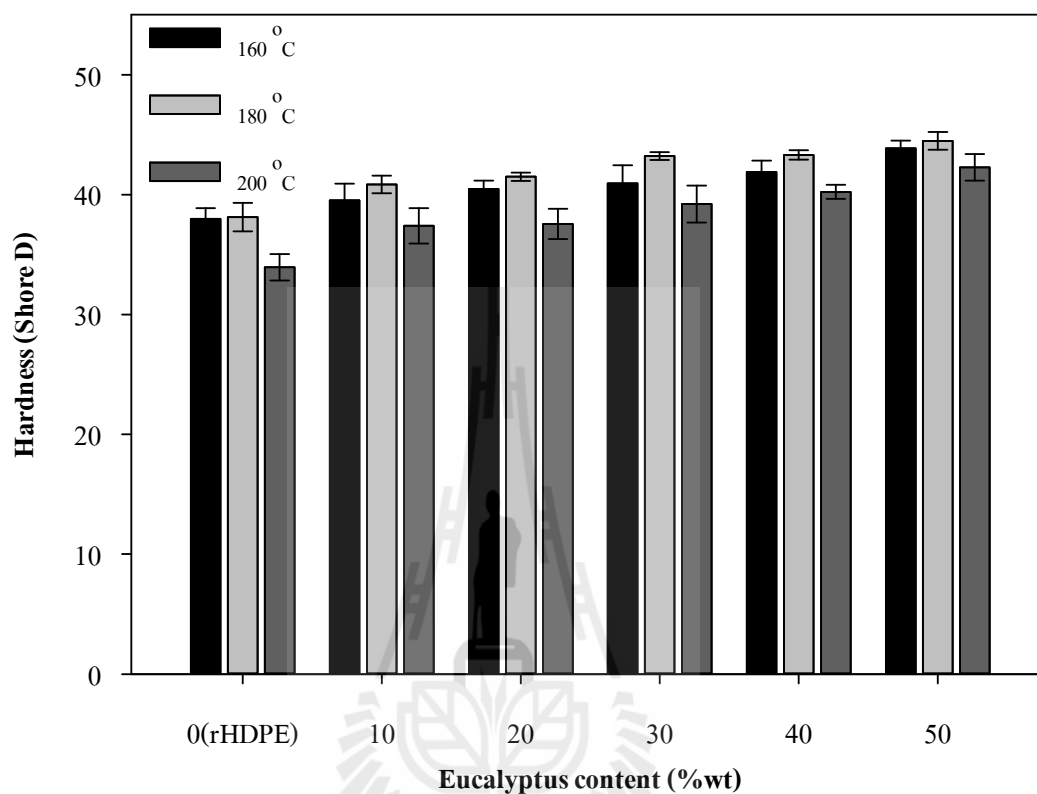
ตารางที่ 4.6 ความแข็งแรงกระแทกกรณีเติมสารประสาน

No.	Temperature (°C)	HDPE: Wood	Impact strength (kJ/m ²)						
			1	2	3	4	5	Mean	SD
1	160	100:0	10.571	10.000	13.714	10.000	8.571	10.571	1.906
2		50:50	3.857	4.286	4.286	2.857	3.429	3.743	0.609
3		60:40	4.857	4.286	4.571	4.143	4.286	4.429	0.286
4		70:30	10.857	11.429	8.571	8.286	8.857	9.600	1.437
5		80:20	11.429	12.000	12.000	12.857	8.571	11.371	1.646
6		90:10	11.429	11.429	11.429	12.000	10.857	11.429	0.404
7	180	100:0	12.571	12.857	12.857	10.000	13.143	12.286	1.294
8		50:50	5.857	6.000	8.571	6.286	6.000	6.543	1.145
9		60:40	8.857	9.714	8.286	6.857	7.714	8.286	1.088
10		70:30	9.429	11.143	7.714	10.286	10.286	9.771	1.300
11		80:20	12.000	12.143	11.143	11.714	11.429	11.686	0.409
12		90:10	17.429	17.143	17.143	18.857	20.286	18.171	1.379
13	200	100:0	13.143	13.714	10.857	10.000	10.857	11.714	1.616
14		50:50	1.714	1.143	0.857	1.429	0.286	1.086	0.550
15		60:40	1.714	1.429	1.429	1.429	1.429	1.486	0.128
16		70:30	1.429	1.714	1.429	1.429	2.000	1.600	0.256
17		80:20	3.429	2.000	4.571	2.857	3.143	3.200	0.935
18		90:10	4.286	4.000	4.286	4.143	3.714	4.086	0.239

4.2.7 ความแข็งผิว (Hardness) กรณีไม่เติมสารประสาน

จากรูปที่ 4.15 ผลของความแข็งผิวกรณีไม่เติมสารประสาน พบว่าที่ทุกอุณหภูมิ และทุกอัตราส่วนมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และที่อัตราส่วน 50:50 มีค่าความแข็งผิวสูงกว่าทุกอัตราส่วน โดยค่าความแข็งผิวมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณไม้ยูคาลิปตัส เนื่องจากไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัสดุที่มีความแข็ง มีค่าความแข็งผิวสูง ในขณะที่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีความนุ่ม รับแรงกดได้น้อย ค่าความแข็งผิวจึงมีค่าไม่มากเมื่อเทียบกับไม้ยูคาลิปตัส ดังนั้นเมื่อเติมไม้ยูคา

ลิปต์สลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง จึงช่วยให้ค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบโดยรวมมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบสามารถรับแรงกดได้ดีขึ้น ค่าความแข็งผิวจึงมีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 4.15 ความแข็งผิวกรณีไม่เติมสารประสาน

ตารางที่ 4.7 ความแข็งผิวกรณีไม่เติมสารประสาน

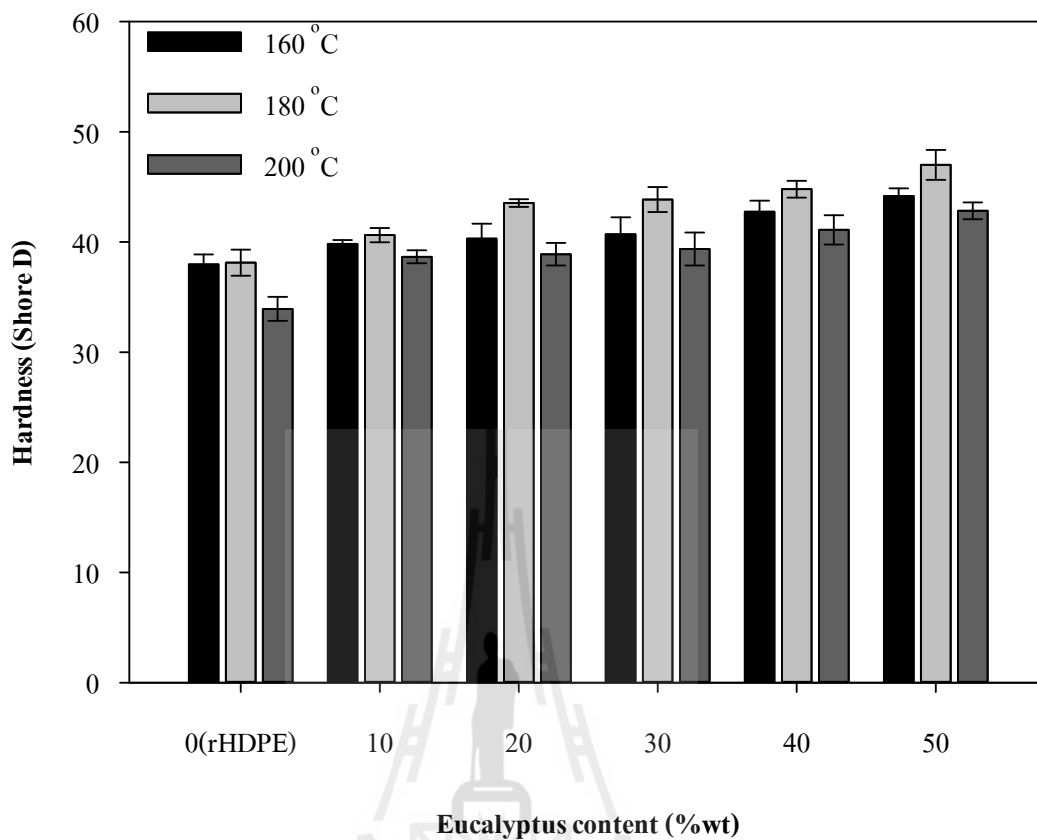
No.	Temperature (°C)	HDPE: Wood	Hardness (Shore D)						
			1	2	3	4	5	Mean	SD
1	160	100:0	38.189	39.134	37.087	37.087	38.425	37.984	0.890
2		50:50	44.882	44.094	43.701	43.307	43.307	43.858	0.659
3		60:40	42.913	41.339	42.913	41.339	40.945	41.890	0.948
4		70:30	42.913	42.126	39.370	40.157	40.157	40.945	1.499
5		80:20	39.764	41.339	40.551	40.945	39.764	40.472	0.704
6		90:10	40.157	40.157	40.945	37.402	38.976	39.528	1.381

ตารางที่ 4.7 ความแข็งผิวกรณีไม่เติมสารประสาน (ต่อ)

No.	Temperature (°C)	HDPE: Wood	Hardness (Shore D)						
			1	2	3	4	5	Mean	SD
7	180	100:0	38.898	36.850	39.291	36.850	38.740	38.126	1.182
8		50:50	44.882	44.488	45.276	44.488	43.307	44.488	0.737
9		60:40	43.701	42.913	43.307	43.701	42.913	43.307	0.394
10		70:30	42.913	43.307	43.307	42.913	43.701	43.228	0.329
11		80:20	41.339	41.732	40.945	41.732	41.732	41.496	0.352
12		90:10	40.520	41.732	40.126	41.520	40.339	40.847	0.728
13	200	100:0	35.827	32.441	32.677	30.472	38.268	33.937	3.088
14		50:50	40.945	42.520	43.307	41.339	43.307	42.283	1.100
15		60:40	40.945	40.551	40.157	39.370	40.157	40.236	0.584
16		70:30	40.157	40.157	40.551	38.189	37.008	39.213	1.540
17		80:20	38.976	37.402	38.583	37.008	35.827	37.559	1.264
18		90:10	39.370	36.220	38.583	36.220	36.614	37.402	1.473

4.2.8 ความแข็งผิว (Hardness) กรณีเติมสารประสาน

จากรูปที่ 4.16 ผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงกระแทก พบว่ามีแนวโน้มเหมือนกับกรณีไม่เติมสารประสาน กล่าวคือค่าความแข็งผิวจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนของไม้ยูคาลิปตัสสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณ ไม้ที่เพิ่มมากขึ้นนั้นจะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วัสดุเชิงประกอบมีค่าความแข็งผิวที่สูง แต่การเติมสารประสานไม่มีผลต่อความแข็งผิวมากนัก เนื่องจากการทดสอบความแข็งผิวเป็นการทดสอบบริเวณพื้นผิวของชิ้นงานเท่านั้น ซึ่งแตกต่างจากสมบัติทางกลอื่น ๆ ที่ทดสอบสมบัติของชิ้นงานโดยรวม



รูปที่ 4.16 ความแข็งผิวกรณีเติมสารประสาน

ตารางที่ 4.8 ความแข็งผิวกรณีเติมสารประสาน

No.	Temperature (°C)	HDPE: Wood	Hardness (Shore D)						
			1	2	3	4	5	Mean	SD
1	160	100:0	38.189	39.134	37.087	37.087	38.425	37.984	0.890
2		50:50	44.882	44.094	43.307	43.701	44.882	44.173	0.704
3		60:40	42.126	43.307	43.701	43.307	41.339	42.756	0.988
4		70:30	40.551	43.307	40.551	39.764	39.370	40.709	1.540
5		80:20	42.126	39.764	41.339	38.976	39.370	40.315	1.352
6		90:10	39.764	40.157	40.157	39.370	39.764	39.843	0.329
7	180	100:0	38.898	36.850	39.291	36.850	38.740	38.126	1.182

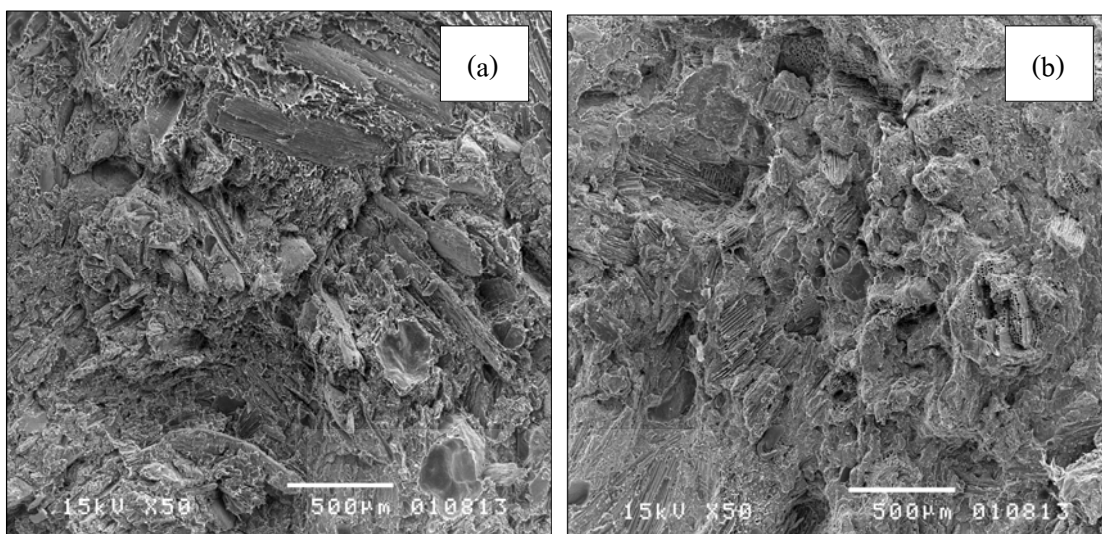
ตารางที่ 4.8 ความแข็งผิวกรณีเติมสารประสาน (ต่อ)

No.	Temperature (°C)	HDPE: Wood	Hardness (Shore D)						
			1	2	3	4	5	Mean	SD
8	180	50:50	46.457	47.244	49.213	45.669	46.457	47.008	1.352
9		60:40	43.701	45.669	44.488	44.882	45.276	44.803	0.757
10		70:30	44.882	45.276	43.307	42.913	42.913	43.858	1.134
11		80:20	43.307	43.307	43.307	43.701	44.094	43.543	0.352
12		90:10	40.945	41.339	40.945	40.157	39.764	40.630	0.647
13	200	100:0	35.827	32.441	32.677	30.472	38.268	33.937	3.088
14		50:50	43.701	41.732	42.913	42.520	43.307	42.835	0.757
15		60:40	42.520	39.370	42.126	41.339	40.157	41.102	1.323
16		70:30	38.583	37.402	41.339	39.370	40.157	39.370	1.499
17		80:20	37.795	38.583	38.189	40.157	39.764	38.898	1.019
18		90:10	37.795	38.583	38.583	39.370	38.976	38.661	0.584

4.3 สมบัติทางสัณฐานวิทยา

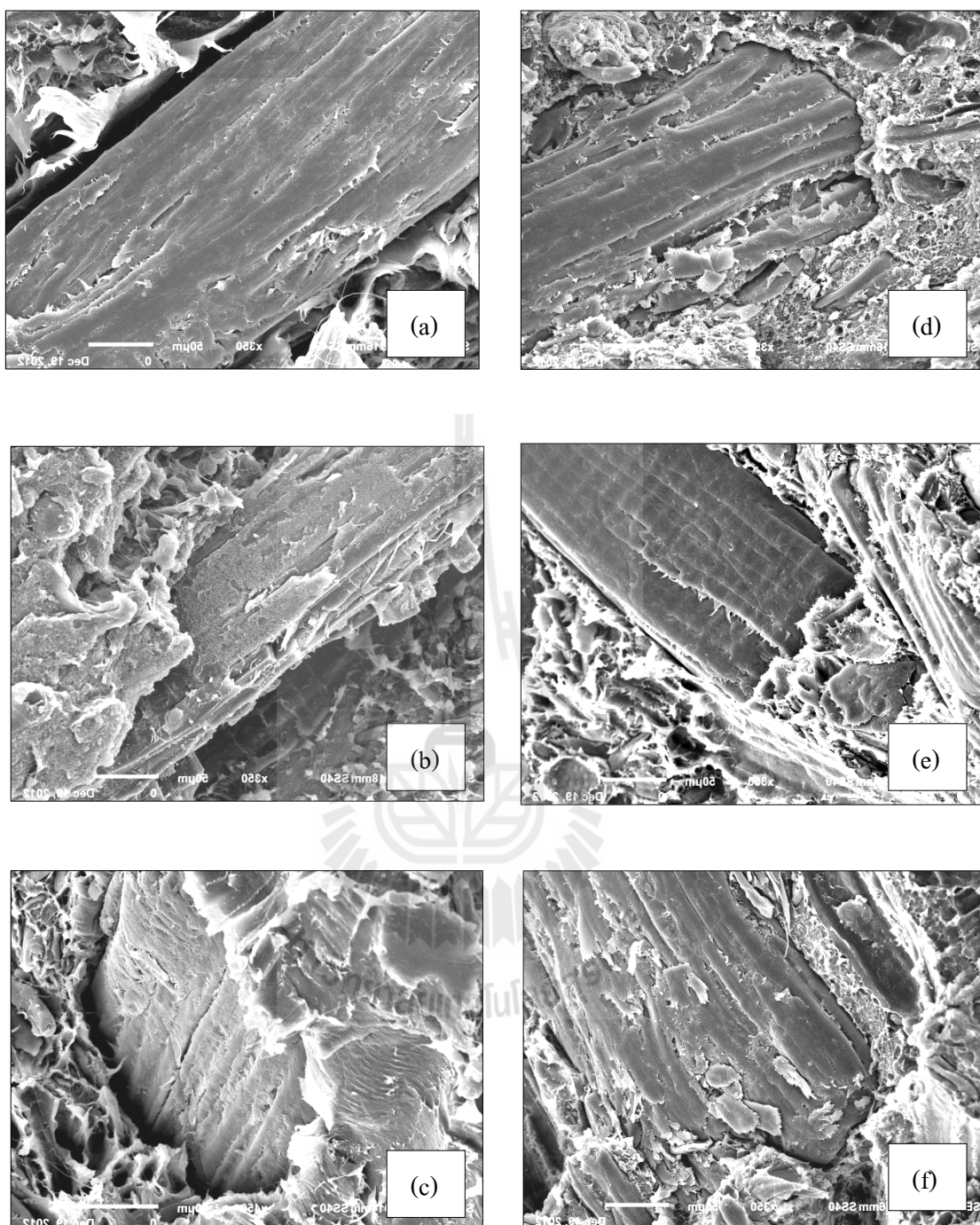
รูปที่ 4.17 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิววัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่อัตราส่วน 50:50 อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส พบว่ากรณีที่ไม่เติมสารประสาน มีการกระจายตัวของไม้อยูคาลิปตัสค่อนข้างสม่ำเสมอแต่พบช่องว่างที่เกิดจากการหลุดออกไปของไม้อยูคาลิปตัสหลังจากการหักขึ้นทดสอบที่จุ่มในไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่เติมสารเชื่อมโยงไม่มีช่องว่างดังกล่าว ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการยึดติดระหว่างผิวหน้าของไม้อยูคาลิปตัสกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงได้รับการปรับปรุงจากการเติมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกราฟต์ด้วยเมลานิกแอนไฮไดรด์

จากรูปที่ 4.18 พื้นผิวแตกหักของวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง กรณีไม่เติมสารประสาน (d)-(f) พบว่ามีช่องว่างระหว่างไม้อยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง การปรับปรุงการยึดติดที่ผิวของวัฏภาคคิซีน จากการเติมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกราฟต์ด้วยเมลานิกแอนไฮไดรด์ ทำให้มีความต่อเนื่องของวัฏภาคมากกว่ากรณีไม่เติมสารประสาน (a)-(c)



รูปที่ 4.17 ลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูงที่อัตราส่วน 50:50 อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส กรณีไม่เติมสารประสาน (a) และกรณีเติมสารประสาน (b)



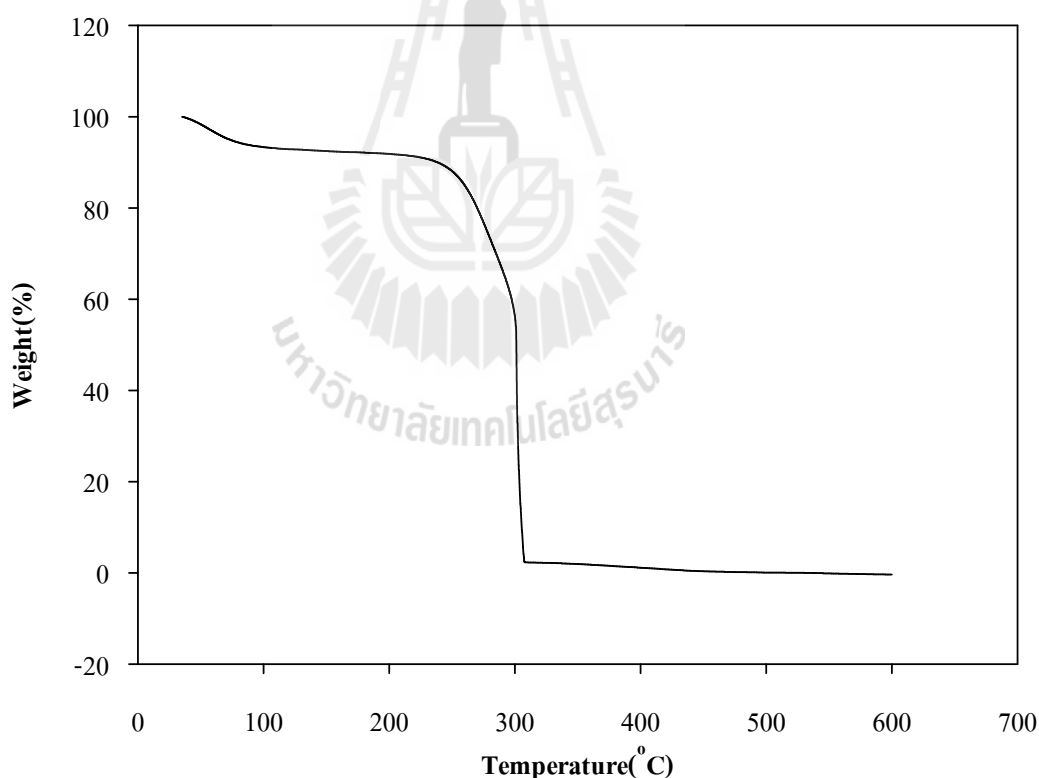


รูปที่ 4.18 ลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีน
 ชนิดความหนาแน่นสูงที่กรณีไม่เติมสารประสานอัตราส่วน 50:50 ที่อุณหภูมิ
 160 (a) 180 (b) 200 (c) องศาเซลเซียส และกรณีเติมสารประสานอัตราส่วน
 50:50 ที่อุณหภูมิ 160 (d) 180 (e) 200 (f) องศาเซลเซียส

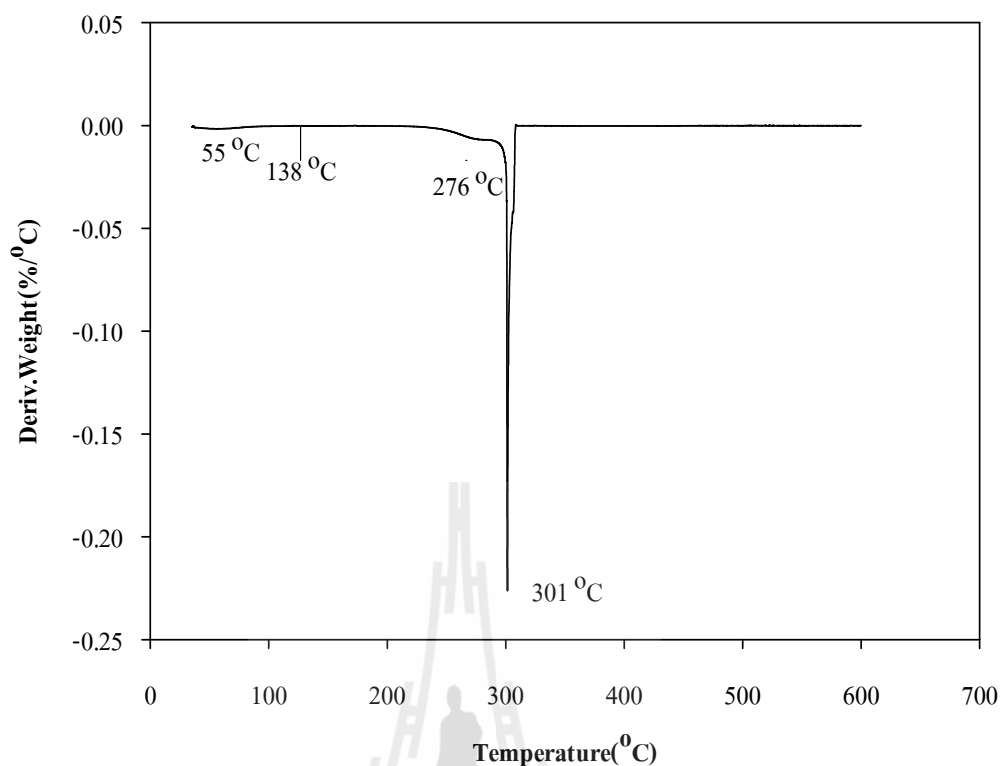
4.4 สมบัติทางความร้อน

4.4.1 ไม้ยูคาลิปตัส

จากกราฟ TGA และ DTGA ของไม้ยูคาลิปตัสแสดงดังรูปที่ 4.19 และ 4.20 การเปลี่ยนแปลงลำดับที่ 1 ที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียสเป็นการระเหยไของน้ำ การเปลี่ยนแปลงลำดับที่ 2 มีอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 138 องศาเซลเซียส เป็นการเสื่อมสลายของสารที่มีมวลโมเลกุลต่ำ คือ เพนโตซาน ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีมวลโมเลกุลต่ำ การเปลี่ยนแปลงลำดับที่ 3 ที่อุณหภูมิ 276 องศาเซลเซียส เป็นการเสื่อมสลายของเฮมิเซลลูโลส สำหรับลิกนินมีช่วงการเสื่อมสลายที่กว้างและเกิดไปพร้อมกับการเสื่อมสลายขององค์ประกอบอื่น ๆ การเปลี่ยนแปลงลำดับที่ 4 ที่ 301 องศาเซลเซียสเป็นการเสื่อมสลายของแอลฟาเซลลูโลส Choobuatong, Meksut และ Koochontara (2007) รายงานว่า เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินจะเสื่อมสลายในช่วงอุณหภูมิ 227-377 องศาเซลเซียส 227-427 องศาเซลเซียส 227-527 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



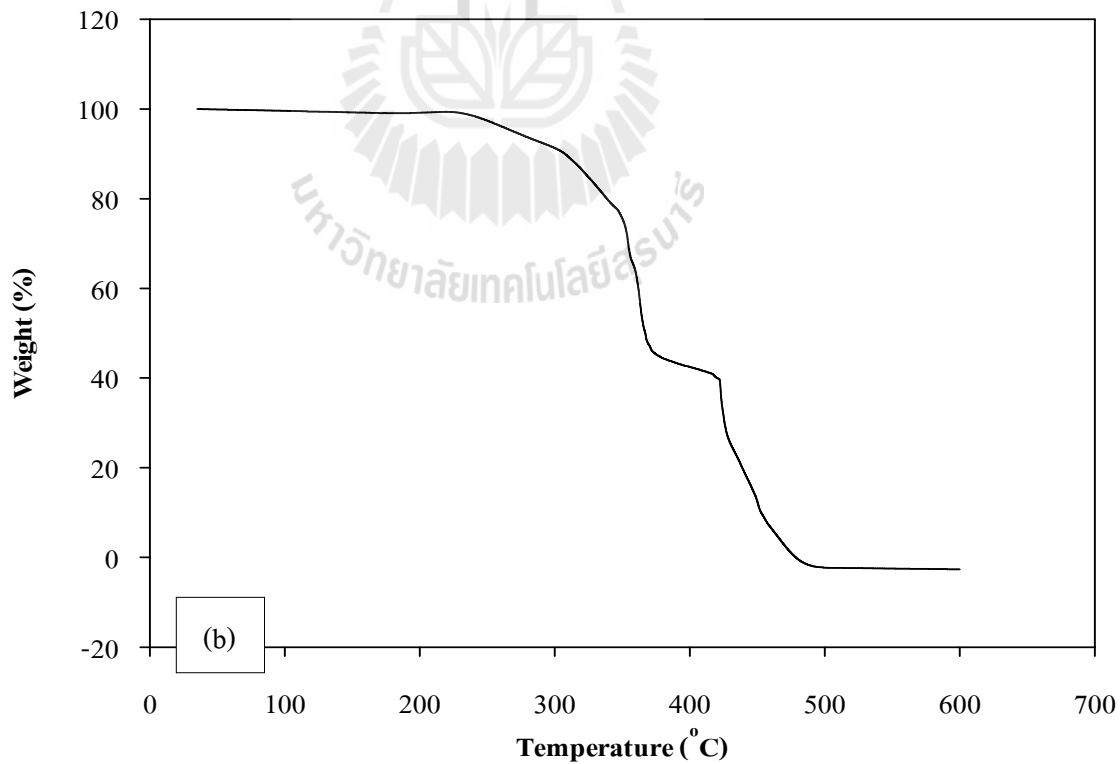
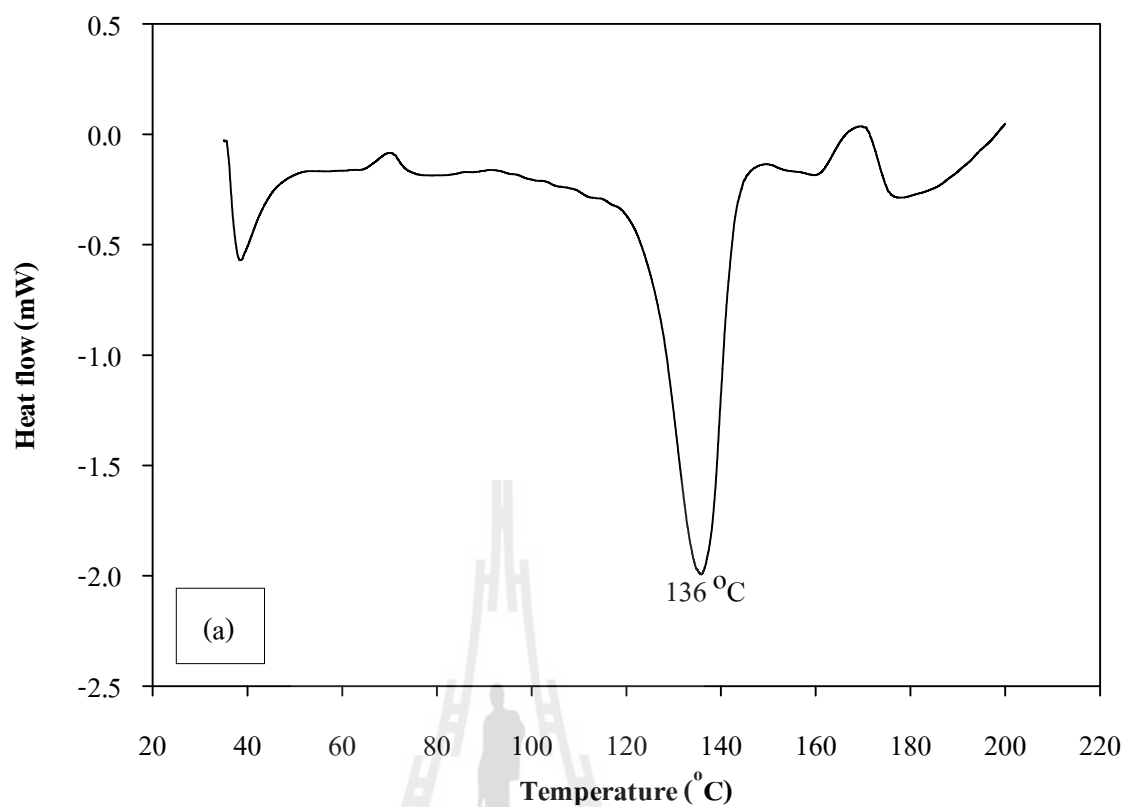
รูปที่ 4.19 กราฟ TGA ของไม้ยูคาลิปตัส



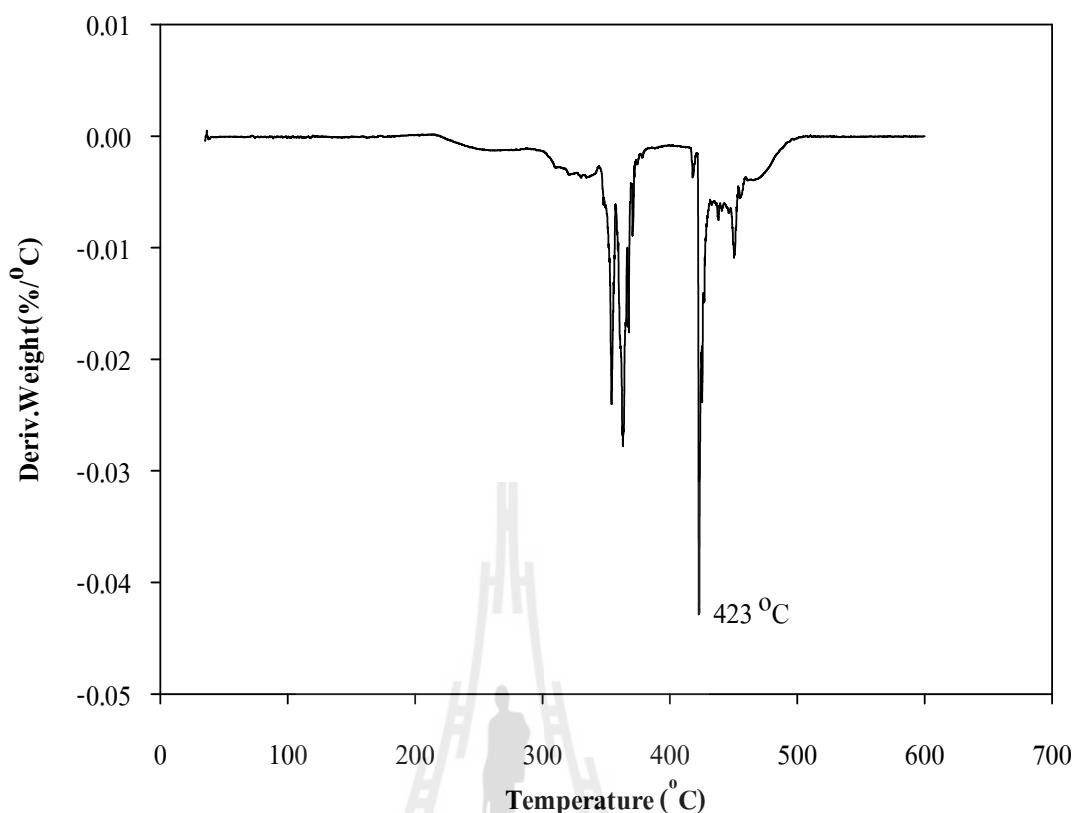
รูปที่ 4.20 กราฟ DTGA ของไม้ยูคาลิปตัส

4.4.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

รูปที่ 4.21 (a) กราฟ DSC ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เพื่อศึกษาอุณหภูมิหลอมเหลว จากกราฟพบว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีอุณหภูมิหลอมเหลวอยู่ที่ 136 องศาเซลเซียส และรูปที่ 4.21 (b) และ 4.22 กราฟ TGA และ DTGA ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เพื่อศึกษาอุณหภูมิการสลายตัว จากกราฟพบว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ที่ 423 องศาเซลเซียส



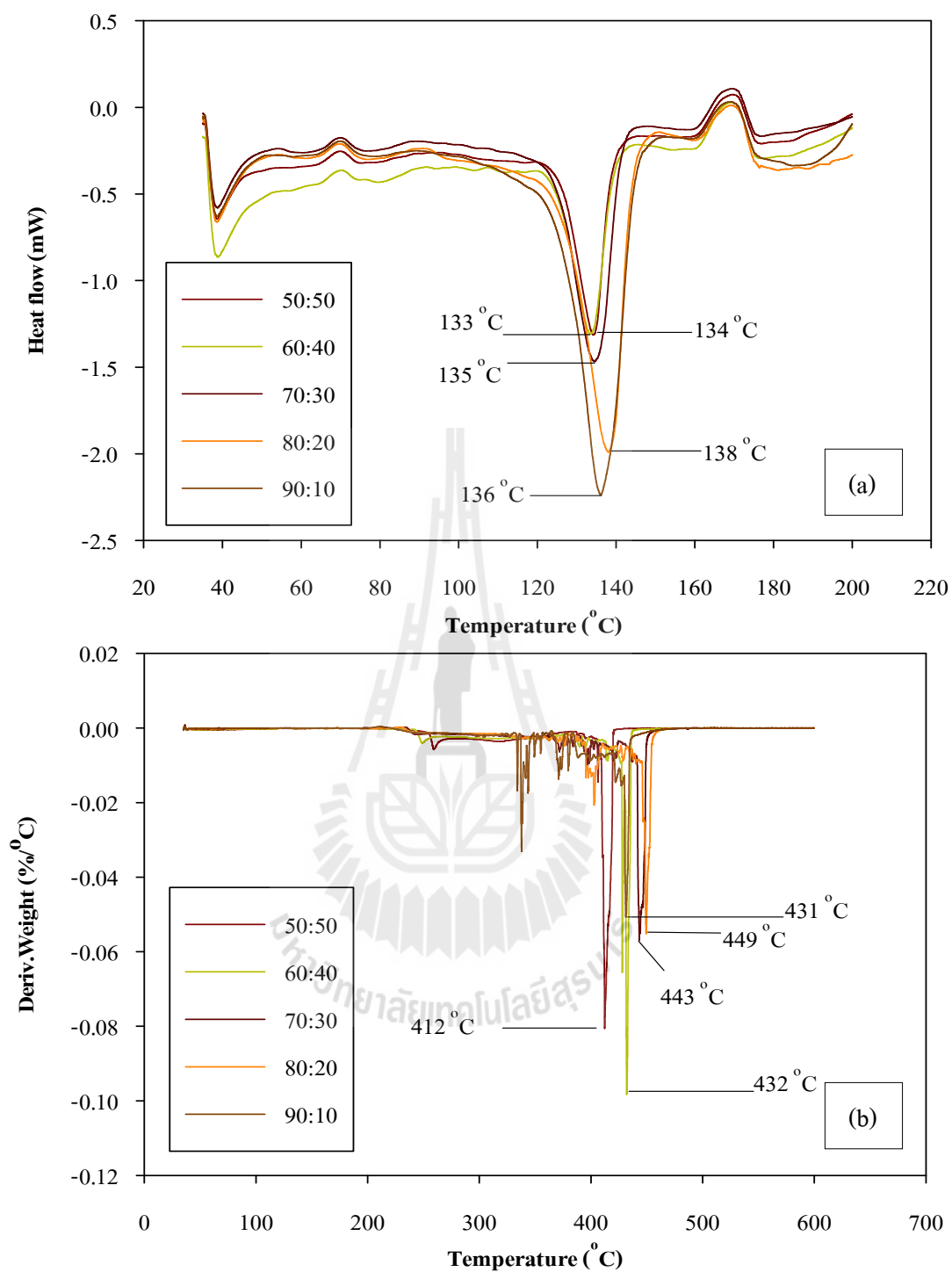
รูปที่ 4.21 กราฟ DSC (a) กราฟ TGA (b) ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง



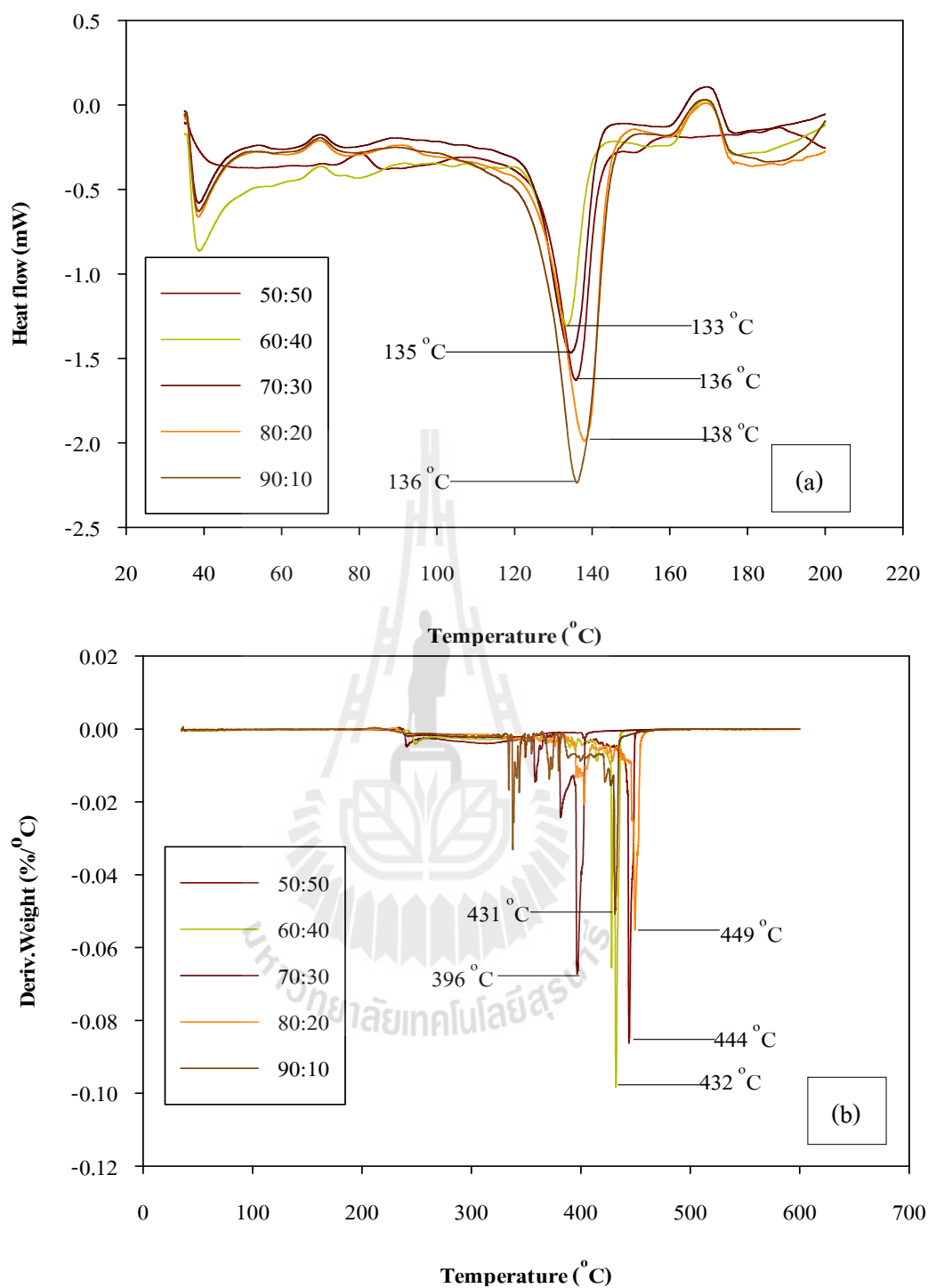
รูปที่ 4.22 กราฟ DTGA ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

4.4.3 อิทธิพลของอัตราส่วนไม้ยูคาลิปตัส อุณหภูมิในการขึ้นรูปและสารประสานที่มีต่ออุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

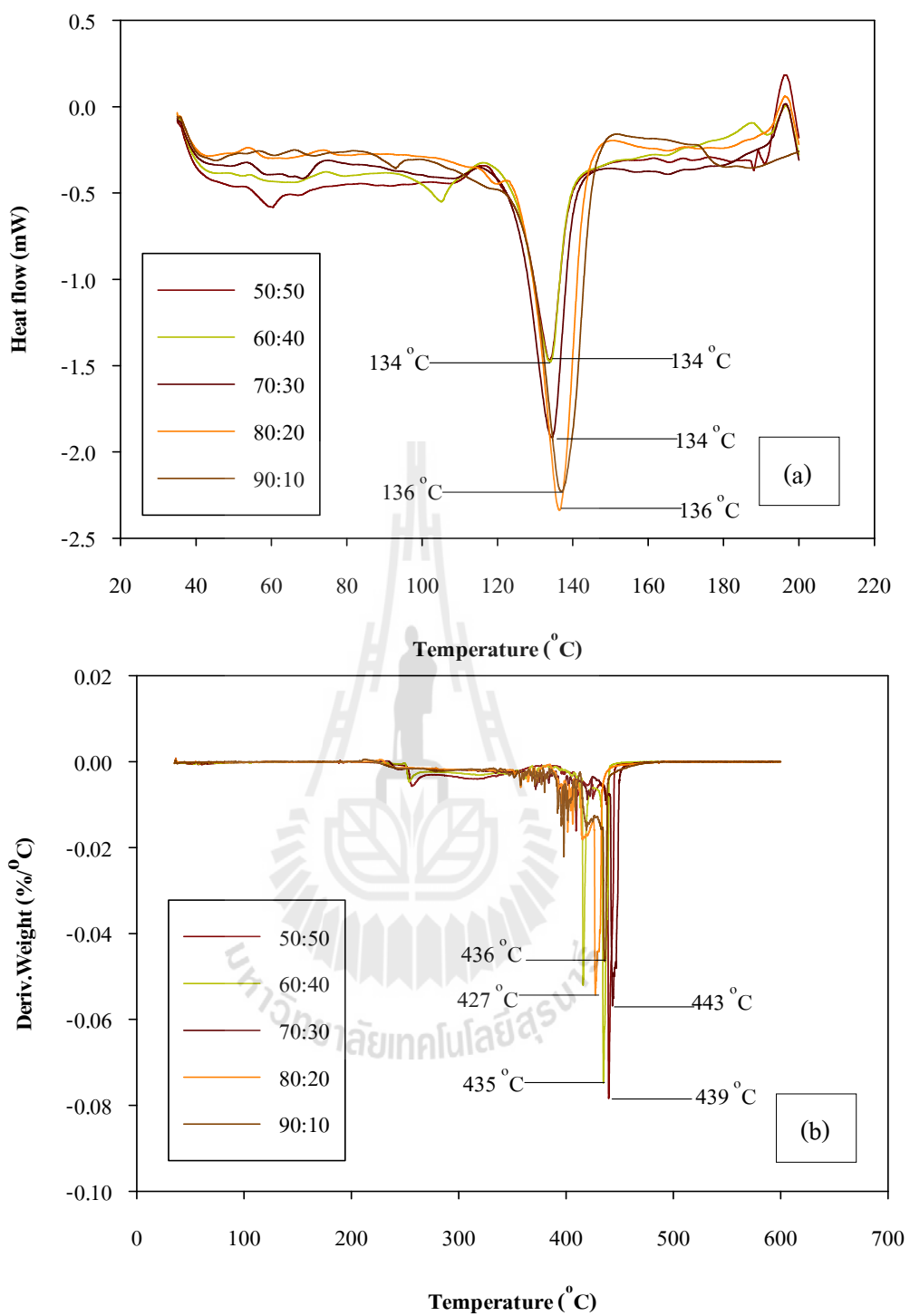
จากรูป 4.23-4.32 กราฟ DSC และ DTGA ของวัสดุเชิงประกอบที่อัตราส่วนและอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่างกัน ทั้งกรณีเติมสารประสานและไม่เติมสารประสาน เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อไม้ยูคาลิปตัส 50:50 60:40 70:30 80:20 และ 90:10 พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการสลายตัวมีค่าใกล้เคียงกันหรือแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ทั้งกรณีในการขึ้นรูปที่ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส และพบว่าทั้งกรณีเติมสารประสานและไม่เติมสารประสานอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการสลายตัวมีค่าใกล้เคียงกันหรือแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญด้วย



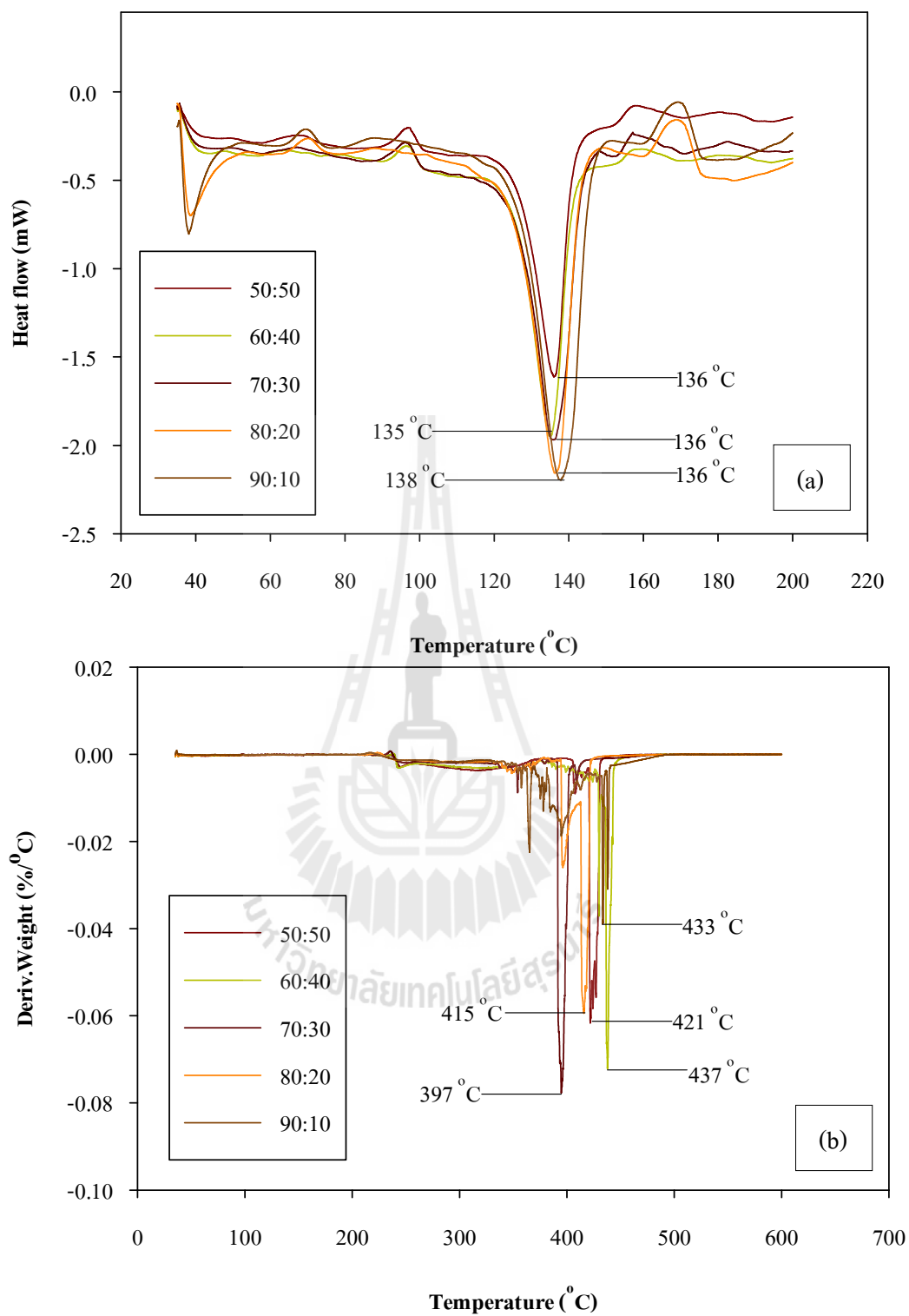
รูปที่ 4.23 กราฟ DSC (a) และ DTGA (b) ของวัสดุเชิงประกอบที่อุณหภูมิ 160 °C
ไม่เต็มสารประสาน



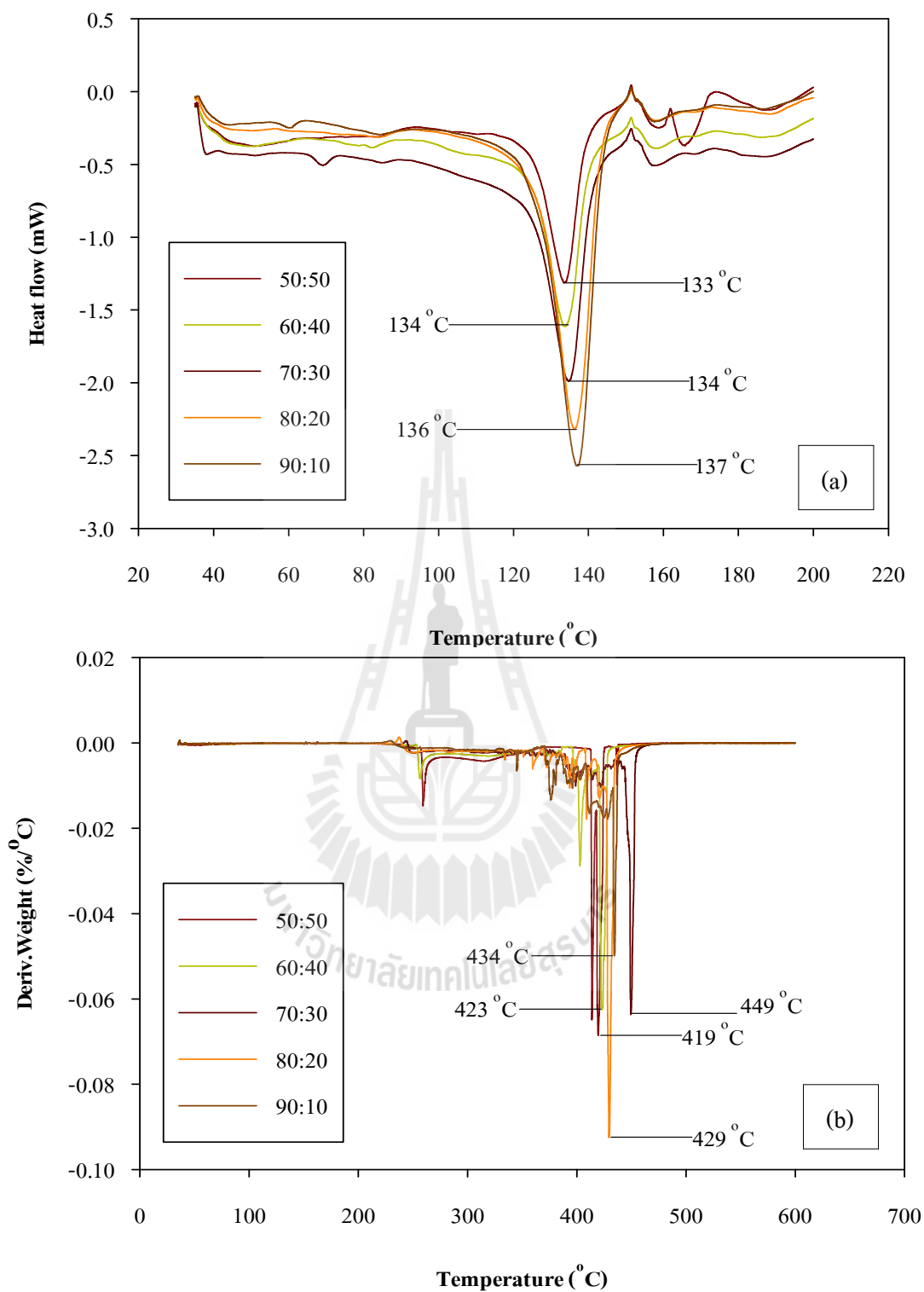
รูปที่ 4.24 กราฟ DSC (a) และ DTGA (b) ของวัสดุเชิงประกอบที่อุณหภูมิ 160 °C เต็มสารประสาน



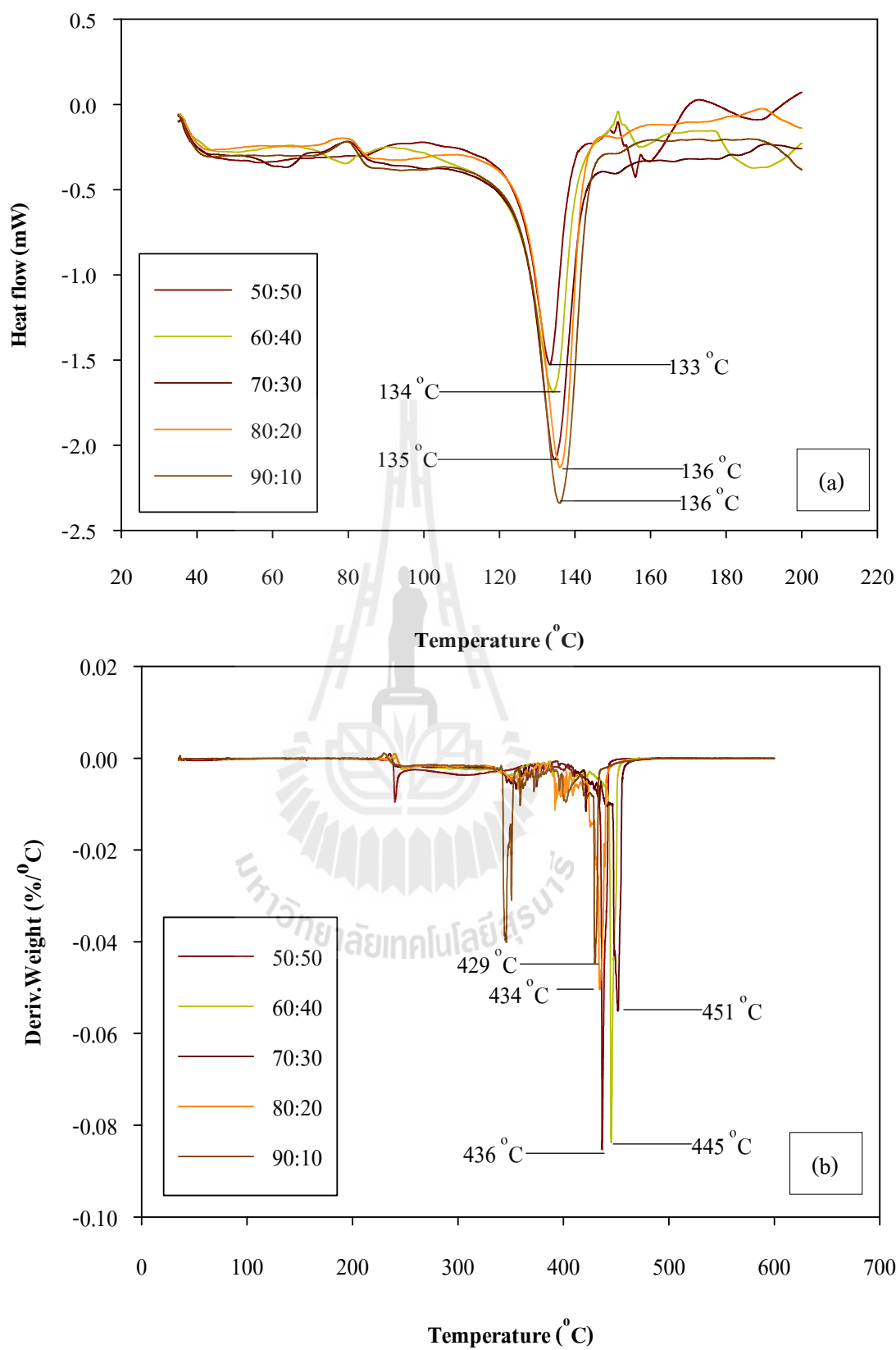
รูปที่ 4.25 กราฟ DSC (a) และ DTGA (b) ของวัสดุเชิงประกอบที่อุณหภูมิ 180 °C
ไม่เติมสารประสาน



รูปที่ 4.26 กราฟ DSC (a) และ DTGA (b) ของวัสดุเชิงประกอบที่อุณหภูมิ 180 °C เดิมสารประสาน



รูปที่ 4.27 กราฟ DSC (a) และ DTGA (b) ของวัสดุเชิงประกอบที่อุณหภูมิ 200 °C
ไม่เต็มสารประสาน



รูปที่ 4.28 กราฟ DSC (a) และ DTGA (b) ของวัสดุเชิงประกอบที่อุณหภูมิ 200 °C เต็มสารประสาน

ตารางที่ 4.9 อุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
ของสารเชิงประกอบกรณีไม่เติมสารประสาน

No.	Temperature (°C)	HDPE:Wood	HDPE Melting Temperature (°C)	HDPE Decomposition Temperature (°C)
1	160	50:50	134	412
2		60:40	133	432
3		70:30	135	443
4		80:20	138	449
5		90:10	136	431
6	180	50:50	134	439
7		60:40	134	435
8		70:30	134	443
9		80:20	136	427
10		90:10	136	436
11	200	50:50	133	419
12		60:40	134	423
13		70:30	134	449
14		80:20	136	429
15		90:10	137	434

ตารางที่ 4.10 อุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
ของสารเชิงประกอบกรณีเติมสารประสาน

No.	Temperature (°C)	HDPE:Wood	HDPE Melting Temperature (°C)	HDPE Decomposition Temperature (°C)
1	160	50:50	136	444
2		60:40	133	432
3		70:30	135	396
4		80:20	138	449
5		90:10	136	431
6	180	50:50	136	421
7		60:40	135	437
8		70:30	136	397
9		80:20	136	415
10		90:10	138	433
11	200	50:50	133	436
12		60:40	134	445
13		70:30	135	451
14		80:20	136	434
15		90:10	136	429

4.5 เปรียบเทียบสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบกับวัสดุเชิงพาณิชย์

จากตารางเป็นการเปรียบเทียบสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบกับวัสดุเชิงพาณิชย์ พบว่าค่าความแข็งผิวมีค่าสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เนื่องจากวัสดุเชิงพาณิชย์มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และทรายซิลิกาจึงส่งผลให้มีความแข็งสูงกว่า

เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงคัด พบว่าวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีค่าความแข็งแรงคัดต่ำกว่า เนื่องจากวัสดุเชิงพาณิชย์มีส่วนประกอบของพอลิพรอพิลีน ซึ่งพลาสติกประเภทนี้มีสมบัติที่แข็งแรงและทนทานกว่าพอลิเอทิลีนชนิด

ความหนาแน่นสูง และกรรมวิธีในการขึ้นรูปของวัสดุเชิงพหุวัชมีมีการขึ้นรูปที่ดีกว่า ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสมบัติทางกล

เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงกระแทก พบว่าวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีค่าความแข็งแรงกระแทกสูงกว่า เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบที่ทำการศึกษามีพลาสติกเป็นส่วนผสม โดยพลาสติกจะช่วยให้มีการยึดติดกันของพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดี จึงส่งผลให้มีค่าความแข็งแรงกระแทกสูงกว่าวัสดุเชิงพหุวัชซึ่งมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นส่วนผสม

ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบกับวัสดุเชิงพหุวัช

Mechanical properties	Eucalyptus wood – HDPE composites	Commercial wood plastic
Hardness (Shore D)	40.630±0.647	66.863±1.10
Flexural strength (MPa)	47.72±0.94	62.59±1.74
Impact strength (MPa)	18.171±1.379	8.32±0.03



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 กล่าวนำ

งานวิจัยนี้ได้ผลิตและศึกษาวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยทำการศึกษาถึงอัตราส่วนระหว่างพอลิเอทิลีนกับไม้ยูคาลิปตัส อุณหภูมิในการขึ้นรูป รวมถึงศึกษาผลของการเติมและไม่เติมสารประสาน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีผลต่อสมบัติทางกลที่พิจารณาซึ่งประกอบไปด้วย การทดสอบแรงดึง (Tensile test) การทดสอบแรงดัด (Flexural test) ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ความแข็งผิว (Hardness) และทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วน of สมบัติทางความร้อนและสัณฐานวิทยา จากผลการทดลองสามารถสรุปผลและประมวลผลเป็นข้อเสนอแนะที่จะขยายผลสำหรับงานวิจัยต่อไปในอนาคต ดังต่อไปนี้

5.2 สรุปผล

จากสมบัติทางกล สมบัติทางความร้อนและสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบ พบว่าการเติมไม้ยูคาลิปตัสลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในปริมาณที่มากส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงดัดมีค่าลดลง แต่ในทางกลับกันค่ามอดูลัสแรงดึงและมอดูลัสแรงดัดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณไม้ยูคาลิปตัส กรณีการทดสอบแรงดัด พบว่าการเติมไม้ยูคาลิปตัสจะส่งผลให้มีค่าความแข็งแรงดัดสูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานแล้วทุกอัตราส่วนและทุกอุณหภูมิในการขึ้นรูปทั้งกรณีเติมและไม่เติมสารประสาน

เมื่อปริมาณไม้ยูคาลิปตัสมากส่งผลให้ความแข็งแรงกระแทกลดลงทั้งกรณีเติมและไม่เติมสารประสานเนื่องจากเกิดความไม่ต่อเนื่องของวัสดุ แต่กรณีการเติมสารประสานที่อัตราส่วน 90:10 อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสมีค่าความแข็งแรงกระแทกสูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเนื่องจาก กรณีการทดสอบความแข็งผิวพบว่าความแข็งผิวที่ได้มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเนื่องจากการทดสอบความแข็งผิวเป็นการทดสอบบริเวณพื้นผิวของชิ้นงานเท่านั้น ซึ่งแตกต่างจากสมบัติทางกลอื่น ๆ ที่ทดสอบสมบัติของชิ้นงานโดยรวม

สำหรับที่อัตราส่วน 90:10 มีค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงดัด เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าความแข็งแรงกระแทกสูงสุดทั้งในการเติมและไม่เติมสารประสาน และที่อัตราส่วน 50:50 มีค่ามอดูลัสแรงดึง มอดูลัสแรงดัด และค่าความแข็งผิวสูงที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิในการขึ้นรูป พบว่าที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสมีค่าสมบัติทางกลสูงกว่าที่อุณหภูมิ 160 และ 200 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะช่วยให้ไม่ยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงรวมตัวกันได้ง่ายขึ้น แต่ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ชิ้นงานมีการพองตัวเนื่องจากอุณหภูมิขึ้นรูปสูงเกินไป และพบว่าสีของชิ้นงานเป็นสีน้ำตาล ซึ่งเป็นข้อบกพร่องเมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบทางกล

เมื่อพิจารณาผลของสารประสานพบว่ากรณีการเติมสารประสานจะมีค่าสมบัติทางกลสูงกว่ากรณีไม่เติมสารประสาน แสดงว่าสารประสานทำหน้าที่ในการปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุ มีการยึดติดกันของวัสดุระหว่างไม่ยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ซึ่งยืนยันด้วยผลจากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ากรณีการเติมสารประสานนั้นช่องว่างระหว่างวัสดุมีค่าน้อยกว่ากรณีที่ไม่เติมสารประสาน

เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อไม่ยูคาลิปตัส พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีค่าใกล้เคียงกันหรือแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ทั้งกรณีในการขึ้นรูปที่ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส และพบว่าทั้งกรณีเติมสารประสานและไม่เติมสารประสานอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการสลายตัวก็มีค่าใกล้เคียงกันหรือแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญด้วย

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบที่ทำการศึกษากับวัสดุเชิงพาณิชย์พบว่าวัสดุเชิงพาณิชย์มีค่าความแข็งแรงและความแข็งแรงดัดสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง แต่ค่าความแข็งแรงกระแทกจะมีค่าน้อยกว่าวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ปัญหาในการทดลอง

1. อุณหภูมิในการขึ้นรูปค่อนข้างสูง โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เมื่อขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงต้องรอให้วัสดุเชิงประกอบเย็นตัวอยู่ในแม่พิมพ์ 30 นาที ซึ่งใช้เวลานาน ดังนั้นควรเปลี่ยนกรรมวิธีในการขึ้นรูปให้มีระยะเวลาสั้นลง อาจจะใช้กระบวนการฉีดแทน
2. การผสมวัสดุเพื่อผลิตเม็ดคอมปาวด์ด้วยเครื่องผสมภายในค่อนข้างทำได้ยาก และการผสมที่อุณหภูมิสูงเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายเพราะการสัมผัสกับโรเตอร์ที่มีอุณหภูมิสูง ดังนั้นควรเปลี่ยนกรรมวิธีในการผสมวัสดุใหม่ เพื่อให้ง่ายต่อการทำงานและลดอัตราการเสี่ยงต่ออันตราย
3. ขณะที่ทำการร่อนผงไม้เพื่อให้มีขนาดตามที่กำหนดนั้นควรใช้ผ้าปิดจมูกเพื่อป้องกันการระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ เนื่องจากผงไม้มีขนาดเล็ก 200-450 ไมโครเมตร

5.3.2 งานวิจัยในอนาคต

1. ควรจะทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการใช้งาน และสมบัติงานช่างการตอก การเลื่อย การเจาะ หากมีการนำไปใช้งานจริงเพื่อทดแทนไม้
2. งานวิจัยนี้ทำการศึกษาแค่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเพียงอย่างเดียว ดังนั้นผู้สนใจสามารถประยุกต์ใช้ผงไม้ยูคาลิปตัสกับพลาสติกชนิดอื่น ๆ ได้อีก เช่น พอลิพรอพิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิสไตรีน เป็นต้น
3. ยังสามารถปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบได้เพิ่มเติม เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) สารปรับปรุงคุณภาพ (Modifier) สารคงสภาพ (Stabilizer) สารยับยั้งปฏิกิริยา (Inhibitor) สารหล่อลื่น (Lubricant) ผงสี (Pigment) หรือสารทนไฟ (fire retardant) เป็นต้น ซึ่งสามารถเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน



รายการอ้างอิง

- ธนาริวัฒน์ นระประทีปต์ (2550). ผลของสารช่วยให้เข้ากันและสารประกอบไซเลนต่อสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์เชิงประกอบระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ณัฐชญาภา ธนวัฒนาศิริกุล (2554). การปรับปรุงความแข็งแรงของไม้พลาสติกจากไม้ปาล์ม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหกรรมและระบบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อาชาไนย บัวศรีณัฐวุฒิ, ชัยยุตต์ กริชฐา, ธนะวัฒน์ นิสาชล, ชลายนเดชะ และ อัญชลี อ่วมพันธ์เจริญ (2550). การเตรียมวัสดุเสริมองค์ประกอบของพอลิโพลีเอทิลีนกับผงขี้เถ้า. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 .กรุงเทพฯ
- กิตติศักดิ์ อินทร์แก้ว และ ไภย์ชัย พาณิชย์ (2549). การศึกษาและผลิตไม้พลาสติกจากเศษไม้ยางพารา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- คมกฤต เล็กสกุล และอรรณพล สมุทรคุปต์ (2547). การศึกษากรรมวิธีการผลิตและคุณสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติก. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 13. ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ (2543). ขี้เถ้าไม้ผสมกับพีวีซี. คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 15-22.
- ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, จักริน พรหมจิรสุข, เสกสรร อินทร์ฤทธิ์, เอกชัย วิมลมาลา และ ชัชวาลย์ กันทะลา (2547). การผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์หลังคาอย่างธรรมชาติและไม้พีวีซีจากผงขี้เถ้าไม้ยางพารา. การประชุมวิชาการพื้นยางไทยให้ยั่งยืน. ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 53-60
- เพ็ญศรี พูลผล, ไกรสร ไทยแท้, ชัยวัฒน์ สัมฤทธิ์วิณชชา, ชวลิต แสงสวัสดิ์ และ อนินท์ มีมนต์ (2548) การผลิตไม้เทียมจากเศษโพลีพีวีซีกับผงไม้. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วิศวกรรมวัสดุและโลหการ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ปิ่นสุภา ปีติรักษสกุล (2551). คอมโพสิตไม้พลาสติกวัสดุใหม่สำหรับงานก่อสร้าง. วารสารรามคำแหงฉบับวิศวกรรม. หน้า 20-25

สัญญา แก้วเกตุ, นิภารัตน์ อัครเมธากุล, ศิริศาสตร์ เอื้อใจ, ณรงค์ ผังวิวัฒน์ และวลัยพร ปฤษณารุณ (2544). การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมแกลบกับพอลิเอสเตอร์. **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต(อุตสาหกรรมเคมี) สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าพรนครเหนือ.**

ปิ่นสุภา ปิติรักษสกุล (2551). คอมโพลิตไม้พลาสติกวัสดุใหม่สำหรับงานก่อสร้าง. **วารสารรามคำแหง ฉบับวิศวกรรม. หน้า 20-25.**

สมภพ เลิศลักษณ์กุล (2544). ไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพลิตเส้นใยธรรมชาติจากพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) และเส้นใยยูคาลิปตัส. **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.**

เฉลิมพล อธิธิวิวัฒน์ และสกุล บรรจงวุฒิ (2547). การใช้เส้นใยเซลลูโลสผสมกับเส้นใยแก้วเพื่อเป็นสารเสริมแรงในพอลิเอทีลีน. **โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.**

พิชัย พันธุ์พัฒนา และศิริพงศ์ โรจน์วีระ (2543). วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของพลาสติกพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิพรอพิลีน. **โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.**

รัชดา ขวัญตน (2541). คอมโพลิตากพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วและเส้นใยอ้อย. **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.**

วัชร อธิปัญญาสุยดี, วัฒนเกียรติ เลื่องถือเจริญกิจ และวิศณีย์ ตั้งยืนยง (2540). การศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติ(ชานอ้อย)เพื่อใช้ประโยชน์ในพอลิเมอร์คอมโพลิต. **โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.**

นันทพร พันธุ์ภักดี และเรวดี สกุลอริยะ (2540). วัสดุคอมโพลิตจากพอลิพรอพิลีนและเส้นใยอ้อย. **โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.**

ปิยวรรณ เจียวก๊ก และพงศ์ศักดิ์ แพน้อย (2543). การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพลิตไม้เทียมจากพอลิพรอพิลีน และไม้ยูคาลิปตัส. **โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.**

- Bengtsson, M., Gatenholm, P. and Oksman, K. (2005). The effect of crosslinking on the properties of polyethylene/wood flour composite. **Composites Science and Technology**: 1468-1479.
- Coutinho, F.M.B. and Costa, T.H.S. (1999). Performance of polypropylene-Wood Fiber Composites, **J. Polymer Testing**.18: 581-587
- Kamdem, D.P., Jiang, H., Cui, W., Freed, J. and Matuana, L.M. (2004). Properties of Wood Plastics Composites made of Recycled HDPE and Wood Flour from CCA-Treated Wood Removed from Service, **J. Composites Part A : Applied Science And Manufacturing**.35 : 347-355
- Nunez, A.J., Kenny, J.M., Reboledo, M.M., Aranguren, M.I. and Marcovich. N.E. (2002) . Thermal And dynamic Mechanical Characterization of Polypropylene-wood flour Composite,**J.Polymer Engineering and Science**.42 : 733-74
- Kokta, B.V. (1989).Use of wood flour as filler in polypropylene: studies on mechanical properties.**Polym-Plast.technoL.Eng** 28:247:259
- George, J., et al. (1994). Mechanical and viscoelastic properties of shot pineapple fiber reinforced low-density polyethylene composite, **Polymer science recent advances, (Bharwa j.I.Sed.) India:Allied publisher limited.**
- Joseph, K., et al.(1993). Tensile properties of short sisal fiber-reinforced polyethylene composites. **J.appl.polym.sci**.49: 1731-1739
- Xian, X.J., et al (1993). Mechanical behavior and microstructure of nature plant fiber reinforced composite material.**Proc.int.conf.comos.master**.2:858-863
- Rodeney, J.S., et al (1992). Composite materials from recycled multilayer polypropylene bottles and wood fiber. **American chemical society**.232-240
- Yam, K.L., et al. (1990). Wood fiber from compounding wood fibers with recycled HDPE. **Polym.eng.sci**.30(11):693-700Raj,R.G.et.al(1989).Use of wood fiber as a filter in polyethylene: study on mechanical properties. **Plastic and rubber processing and application** 11.215-221
- Woodharms, T.t., et al (1984). Wood fiber as reinforcing filter in polyethylene :study on mechanical properties. **Polym.eng.sci**.24(15):77-81
- Nagaty, A., et al (1983). **J.apply.polym.sci**.21:715

- DeRosa, A. (2002). Composites a Hit in Building Industry., **Plastic News, Crain Communications Inc.**, February.
- Myers, G.E., Chahyadi, C.A., Coberly and Ermer, D.S. (1991). Wood flour/PP composites: Influence of Maleated Polypropylene and Process and Composition Variables on Mechanical Properties. **International Journal of Polymeric Materials**, Vol.15, 21-44
- Stark, N. (2001). Influence of Moisture Absorption on Mechanical Properties of Woodflour-polypropylene Composites. **Journal of Thermoplastic Composite Materials.**, Vol. 14, No.5, 421-432.
- Sain, M. M. and Kokta, B.V. (1993). Effect of Modified Polypropylene on Physical Performance of Saw dust Filled Polypropylene Composites. **Journal of Advanced Polymer Technology.**, Vol.12, No.2, 167-183.
- Stark, N. M. and Berger, M. J. (1997). Effect of Particle Size on Properties of Wood-Flour Reinforced Polypropylene Composites. **The Fourth International Conference on Woodfiber-Plastic composites.**, May 12-14, The madison Cocourse Hotel, Madison, Winconsin.
- Dagli, S.S. and Kamdar, K.M. (1994). Effects of component addition protocol on the reactive compatibilization of HDPE/PET Blends. **Polym. Eng. Sci.** 34 (23): 1709-1719.
- Pietrasanta, Y., Robin, J-J., Torres, N., and Boutevin. B. (1999). Reactive compatibilization of HDPE/PET blends by glycidyl methacrylate functionalized polyolefins. **Macromol. Chem. Phys.** 200 (1): 142-144.
- ASTM D785. Committee on standard. Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Plastic and Electrical Insulating Materials. **Philadephia : American Society for Testing and Materials**, 1993
- ASTM D256. Committee on standard. Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastic and Electrical Insulating Materials. **Philadephia : American Society for Testing and Materials**, 1993
- ASTM D790. Committee on standard. Standard Test Methods for Flexural properties of Unreinforced and Reinforced Plastic and Electrical Insulating Materials. **Philadephia : American Society for Testing and Materials**, 1993
- ASTM D683. Committee on standard. Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic (Metric). **Philadephia : American Society for Testing and Materials**, 1993



ภาคผนวก ก

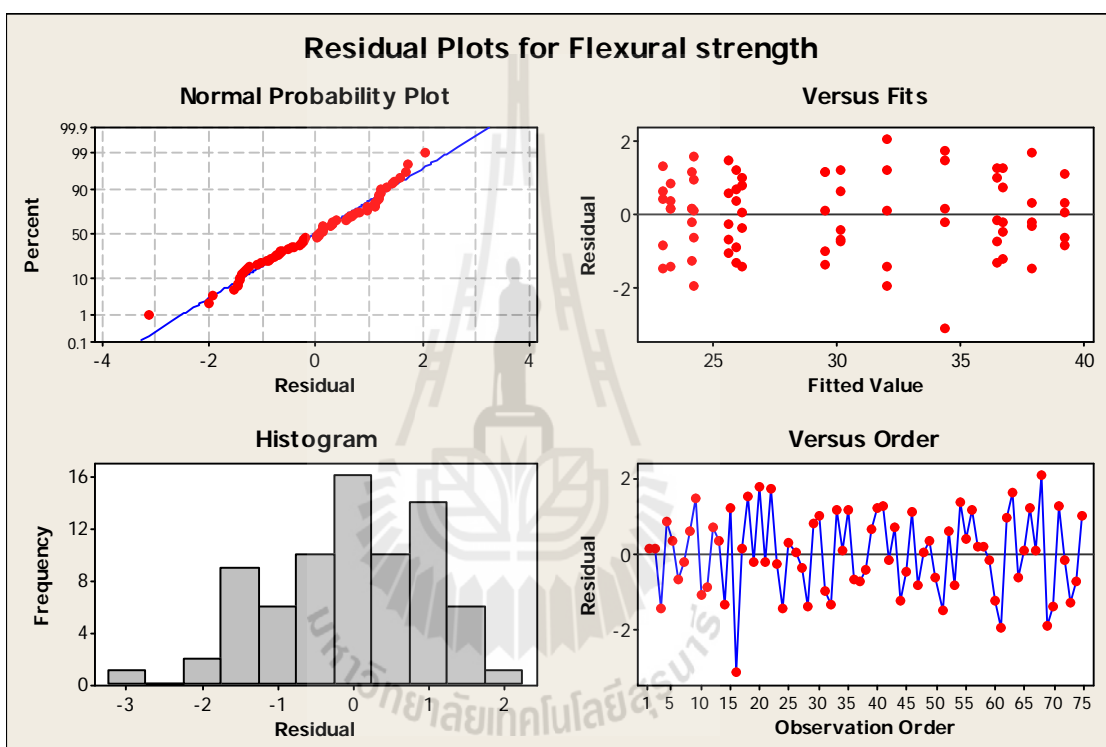
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ

จากผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางกลทั้ง 4 สมบัติ สามารถคำนวณค่าต่าง ๆ ทางสถิติ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังนี้

1. ความแข็งแรงดึงกรณีไม่เต็มสารประสาน

จากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงกรณีไม่เต็มสารประสาน นำข้อมูลที่ได้มาทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ซึ่งจะพิจารณาจากกราฟทั้ง 4 ดังรูปที่ ก.1 ดังต่อไปนี้

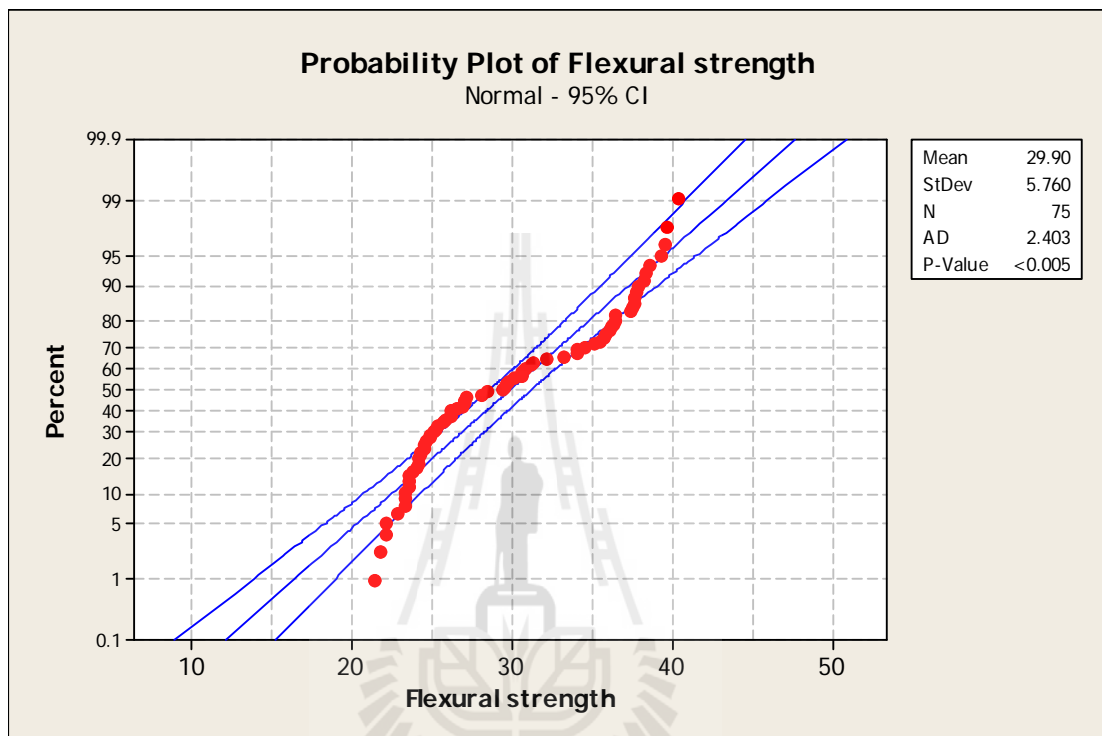


รูปที่ ก.1 กราฟแสดงการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ กรณีความแข็งแรงดึงไม่เต็มสารประสาน

เมื่อพิจารณาความเป็นอิสระของข้อมูล โดยดูจากกราฟ Residuals versus the order of the data (ล่างขวา) พบว่าลักษณะของข้อมูลเป็นแบบสุ่ม ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งพิจารณาได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ

พิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลจากกราฟ Histogram of the residuals (ล่างซ้าย) จะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะโค้งปกติ เพื่อให้มั่นใจในการกระจายตัวของข้อมูลจึงทำการทดสอบ Normal probability ดังรูปที่ ก.2 ซึ่งกราฟที่ได้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบ Normal

อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเมื่อพิจารณากราฟ Residual versus the fitted values รูปที่ ก.1 พบว่าข้อมูลมีลักษณะกระจายตัวอยู่ในแนวเดียวกันคือมีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์



รูปที่ ก.2 กราฟแสดง Normal probability ความแข็งแรงดิ่งกรณีไม่เต็มสารประสาน

Two-way ANOVA: Flexural strength versus temperature, HDPE:wood

Source	DF	SS	MS	F	P
temperature	2	251.52	125.761	90.54	0.000
HDPE:wood	4	2094.23	523.557	376.91	0.000
Interaction	8	26.11	3.263	2.35	0.029
Error	60	83.34	1.389		
Total	74	2455.20			

S = 1.179 R-Sq = 96.61% R-Sq(adj) = 95.81%

รูปที่ ก.3 แสดงตาราง ANOVA ความแข็งแรงดิ่งกรณีไม่เต็มสารประสาน

การทดสอบสมมติฐานการทดลอง

พิจารณา Main effect

1. ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้อยูคาลิปตัส (Factor A)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้อยูคาลิปตัสไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้อยูคาลิปตัสแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.3 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้อยูคาลิปตัสมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดิงกรณีไม่เต็มสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป (Factor B)

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$ สำหรับทุกระดับอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \beta_j \neq 0$ สำหรับบางระดับอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.3 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดิงกรณีไม่เต็มสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณา Interaction effect

ทดสอบว่ามี interaction ระหว่าง Factor A และ Factor B หรือไม่

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0 \text{ for all } i, j$ ทุกระดับ ij ไม่มีอิทธิพลของ interaction

$H_1 : \text{at least one } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ มีบาง ij มีอิทธิพลของ interaction

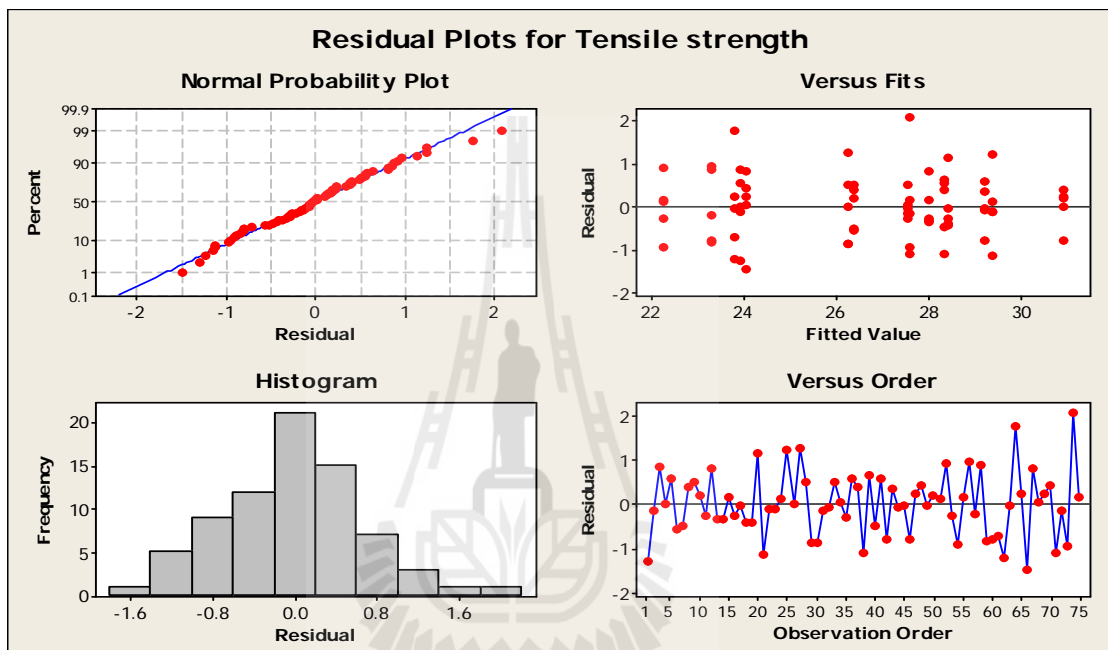
จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.3 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.029 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า อิทธิพลของ interaction ระหว่างปัจจัย A และปัจจัย B มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดิงกรณีไม่เต็มสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจซึ่งมีค่าเท่ากับ 96.61 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ (Treatment)

คืออัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสและอนุหภูมิระหว่างกรขึ้นรูป 96.61 เปอร์เซ็นต์ และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) 3.39 เปอร์เซ็นต์

2. ความแข็งแรงดึงกรณีเติมสารประสาน

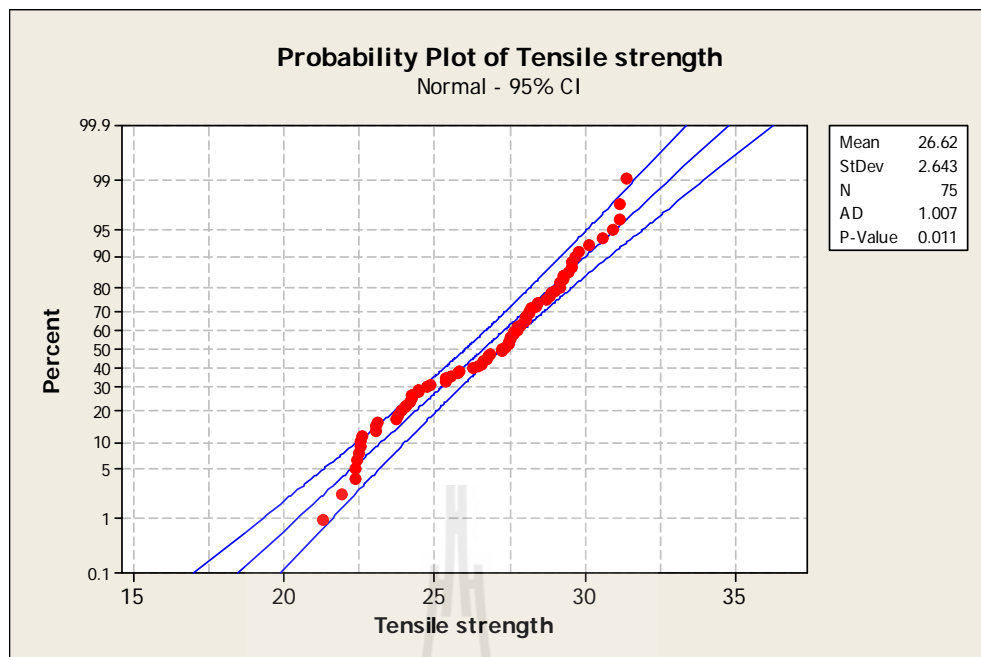
จากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงกรณีเติมสารประสาน นำข้อมูลที่ได้มาทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ซึ่งจะพิจารณาจากกราฟทั้ง 4 ดังรูปที่ ก.4 ดังต่อไปนี้



รูปที่ ก.4 กราฟแสดงการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ความแข็งแรงดึงกรณีเติมสารประสาน

เมื่อพิจารณาความเป็นอิสระของข้อมูล โดยดูจากกราฟ Residuals versus the order of the data (ล่างขวา) พบว่าลักษณะของข้อมูลเป็นแบบสุ่ม ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งพิจารณาได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ

พิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลจากกราฟ Histogram of the residuals (ล่างซ้าย) จะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะโค้งปกติ เพื่อให้มั่นใจในการกระจายตัวของข้อมูลจึงทำการทดสอบ Normal probability ดังรูปที่ ก.5 ซึ่งกราฟที่ได้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบ Normal อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเมื่อพิจารณากราฟ Residual versus the fitted values รูปที่ ก.4 บนขวา พบว่าข้อมูลมีลักษณะกระจายตัวอยู่ในแนวเดียวกันคือมีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์



รูปที่ ก.5 กราฟแสดง Normal probability กรณีความแข็งแรงดึงเติมสารประสาน

Two-way ANOVA: Tensile strength versus temperature, HDPE:wood

Source	DF	SS	MS	F	P
temperature	2	242.385	121.193	194.48	0.000
HDPE:wood	4	219.031	54.758	87.87	0.000
Interaction	8	18.167	2.271	3.64	0.002
Error	60	37.390	0.623		
Total	74	516.973			

S = 0.7894 R-Sq = 92.77% R-Sq(adj) = 91.08%

รูปที่ ก.6 แสดงตาราง ANOVA กรณีความแข็งแรงดึงเติมสารประสาน

การทดสอบสมมติฐานการทดลอง

พิจารณา Main effect

1. ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัส (Factor A)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.6 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดิงกรณีเดิมสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ทดสอบสมมุติฐานของอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป (Factor B)

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$ สำหรับทุกระดับอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่แตกต่างกัน

$H_1 : at\ least\ one\ \beta_j \neq 0$ สำหรับบางระดับอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.6 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดิงกรณีเดิมสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณา Interaction effect

ทดสอบว่ามี interaction ระหว่าง Factor A และ Factor B หรือไม่

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0\ for\ all\ i, j$ ทุกระดับ ij ไม่มีอิทธิพลของ interaction

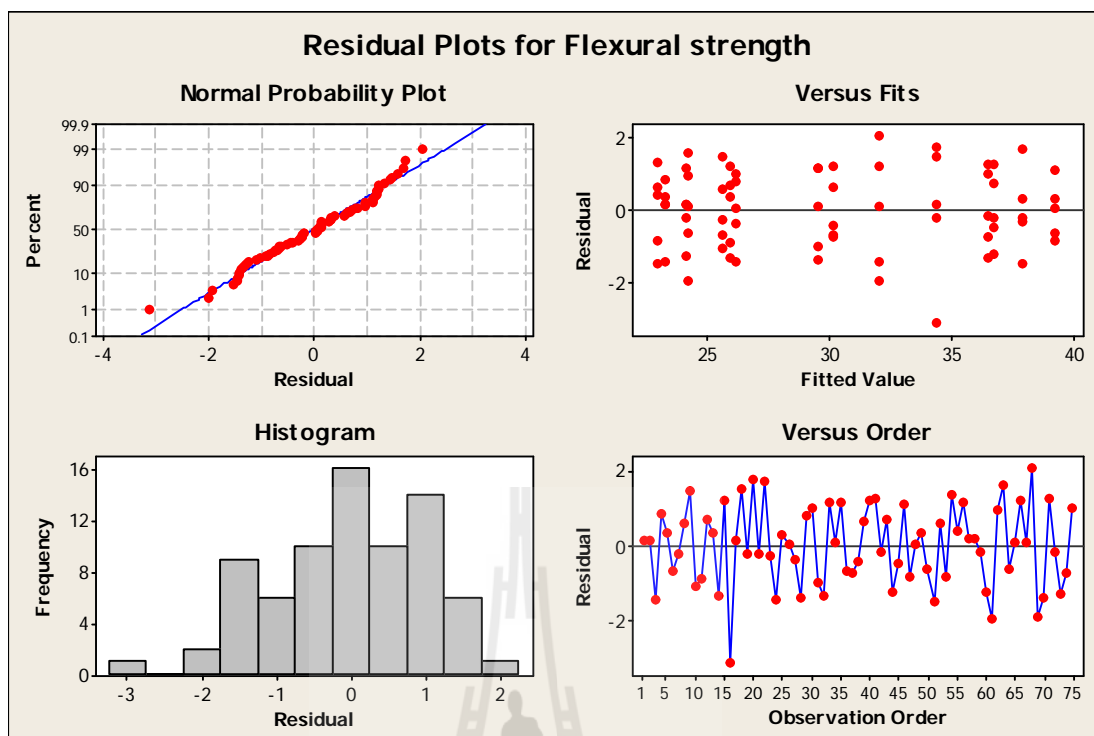
$H_1 : at\ least\ one\ (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ มีบาง ij มีอิทธิพลของ interaction

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.6 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.002 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า อิทธิพลของ interaction ระหว่างปัจจัย A และปัจจัย B มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดิงกรณีเดิมสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจซึ่งมีค่าเท่ากับ 92.77 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ (Treatment) คืออัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป 92.77 เปอร์เซ็นต์ และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) 7.23 เปอร์เซ็นต์

3. ความแข็งแรงดิงกรณีไม่เดิมสารประสาน

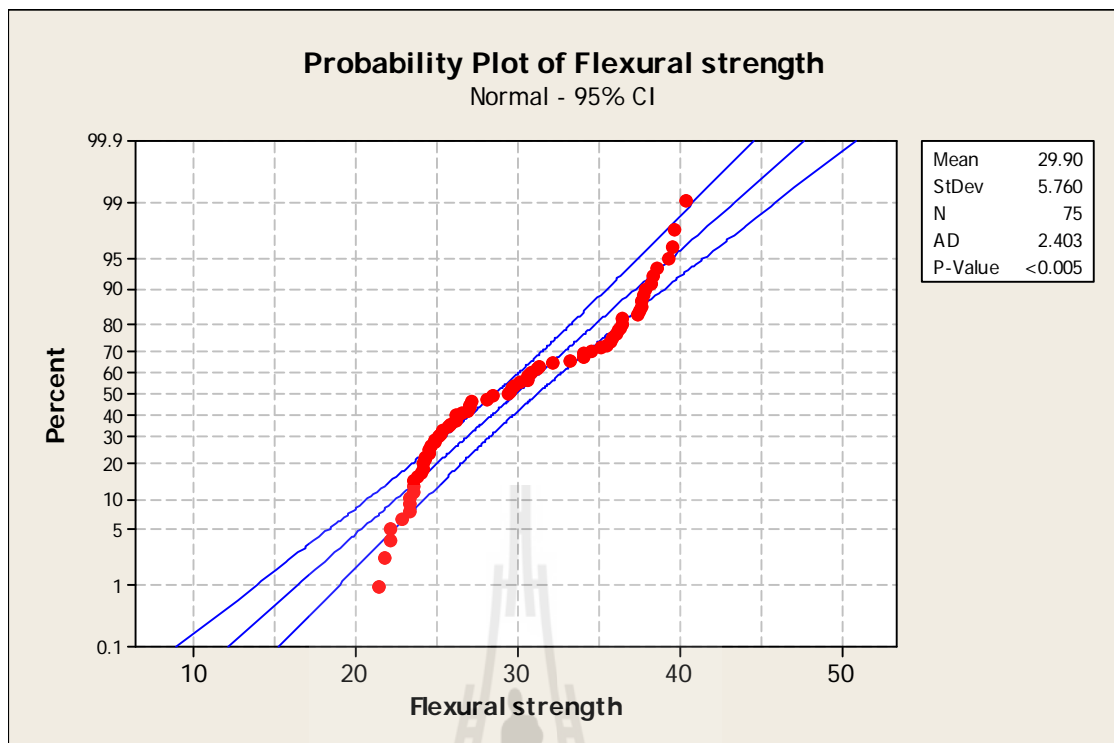
จากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดิงกรณีไม่เดิมสารประสาน นำข้อมูลที่ได้มาทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ซึ่งจะพิจารณาจากกราฟทั้ง 4 ดังรูปที่ ก.7 ดังต่อไปนี้



รูปที่ ก.7 กราฟแสดงการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ความแข็งแรงค้ำ
กรณีไม้เติมสารประสาน

เมื่อพิจารณาความเป็นอิสระของข้อมูล โดยดูจากกราฟ Residuals versus the order of the data (ล่างขวา) พบว่าลักษณะของข้อมูลเป็นแบบสุ่ม ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งพิจารณาได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ

พิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลจากกราฟ Histogram of the residuals (ล่างซ้าย) จะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะโค้งปกติ เพื่อให้มั่นใจในการกระจายตัวของข้อมูลจึงทำการทดสอบ Normal probability ดังรูปที่ ก.8 ซึ่งกราฟที่ได้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบ Normal อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเมื่อพิจารณากราฟ Residual versus the fitted values รูปที่ ก.7 บนขวา พบว่าข้อมูลมีลักษณะกระจายตัวอยู่ในแนวเดียวกันคือมีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์



รูปที่ ก.8 กราฟแสดง Normal probability กรณีความแข็งแรงคัดไม้เต็มสารประสาน

Two-way ANOVA: Flexural strength versus temperature, HDPE:wood

Source	DF	SS	MS	F	P
temperature	2	251.52	125.761	90.54	0.000
HDPE:wood	4	2094.23	523.557	376.91	0.000
Interaction	8	26.11	3.263	2.35	0.029
Error	60	83.34	1.389		
Total	74	2455.20			

S = 1.179 R-Sq = 96.61% R-Sq(adj) = 95.81%

รูปที่ ก.9 แสดงตาราง ANOVA กรณีความแข็งแรงคัดไม้เต็มสารประสาน

การทดสอบสมมติฐานการทดลอง

พิจารณา Main effect

1. ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัส (Factor A)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสไม่แตกต่างกัน

H_1 : at least one $\tau_i \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้อยูคาลิปตัสแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.9 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้อยูคาลิปตัสมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดัดกรณีไม่เต็มสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป (Factor B)

H_0 : $\beta_1 = \beta_2 = 0$ สำหรับทุกระดับอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่แตกต่างกัน

H_1 : at least one $\beta_j \neq 0$ สำหรับบางระดับอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.9 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดัดกรณีไม่เต็มสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณา Interaction effect

ทดสอบว่ามี interaction ระหว่าง Factor A และ Factor B หรือไม่

H_0 : $(\tau\beta)_{ij} = 0$ for all i, j ทุกระดับ ij ไม่มีอิทธิพลของ interaction

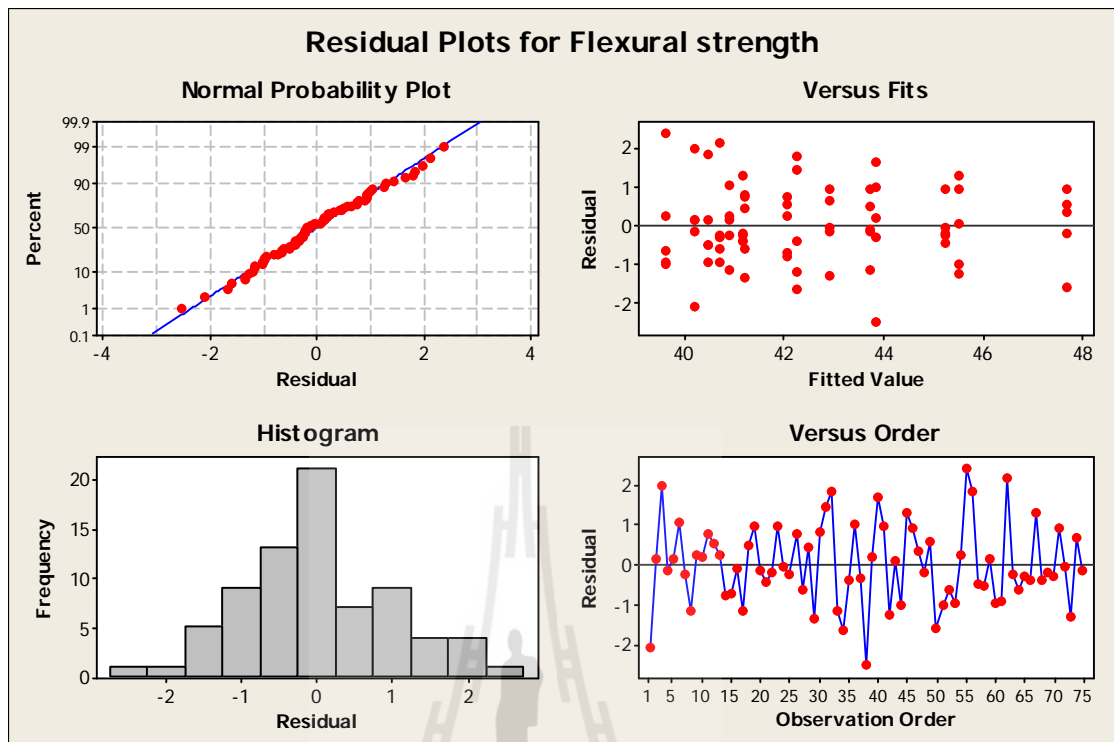
H_1 : at least one $(\tau\beta)_{ij} \neq 0$ มีบาง ij มีอิทธิพลของ interaction

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.9 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.029 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า อิทธิพลของ interaction ระหว่างปัจจัย A และปัจจัย B มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดัดกรณีไม่เต็มสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจซึ่งมีค่าเท่ากับ 96.61 เปอร์เซนต์ แสดงให้เห็นว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ (Treatment) คืออัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้อยูคาลิปตัสและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป 96.61 เปอร์เซนต์ และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) 3.39 เปอร์เซนต์

4. ความแข็งแรงดัดกรณีเต็มสารประสาน

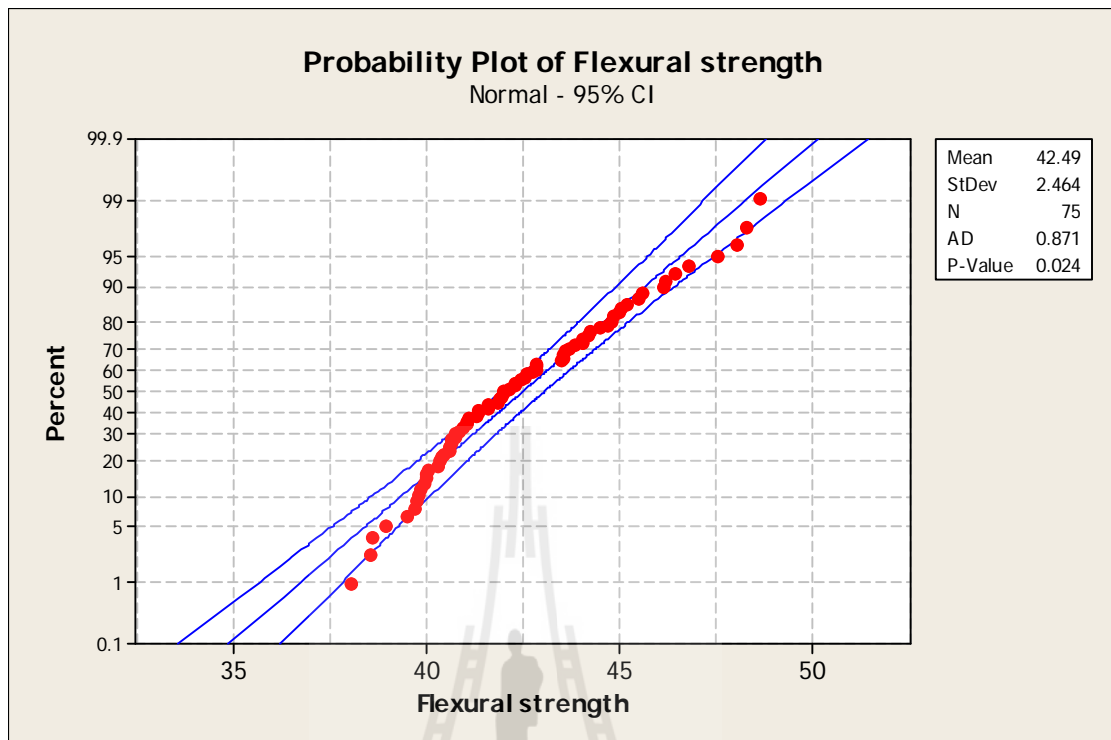
จากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดกรณีเต็มสารประสาน นำข้อมูลที่ได้มาทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ซึ่งจะพิจารณาจากกราฟทั้ง 4 ดังรูปที่ ก.10 ดังต่อไปนี้



รูปที่ ก.10 กราฟแสดงการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ความแข็งแรงดัด
กรณีเติมสารประสาน

เมื่อพิจารณาความเป็นอิสระของข้อมูล โดยดูจากกราฟ Residuals versus the order of the data (ล่างขวา) พบว่าลักษณะของข้อมูลเป็นแบบสุ่ม ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งพิจารณาได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ

พิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลจากกราฟ Histogram of the residuals (ล่างซ้าย) จะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะโค้งปกติ เพื่อให้มั่นใจในการกระจายตัวของข้อมูลจึงทำการทดสอบ Normal probability ดังรูปที่ ก.11 ซึ่งกราฟที่ได้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบ Normal อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเมื่อพิจารณากราฟ Residual versus the fitted values รูปที่ ก.10 บนขวา พบว่าข้อมูลมีลักษณะกระจายตัวอยู่ในแนวเดียวกันคือมีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์



รูปที่ ก.11 กราฟแสดง Normal probability กรณีความแข็งแรงตัดกรณีเดิมสารประสาน

Two-way ANOVA: Flexural strength versus temperature, HDPE:wood

Source	DF	SS	MS	F	P
temperature	2	123.524	61.7622	50.35	0.000
HDPE:wood	4	229.523	57.3807	46.77	0.000
Interaction	8	22.739	2.8424	2.32	0.031
Error	60	73.606	1.2268		
Total	74	449.392			

S = 1.108 R-Sq = 83.62% R-Sq(adj) = 79.80%

รูปที่ ก.12 แสดงตาราง ANOVA กรณีความแข็งแรงตัดเดิมสารประสาน

การทดสอบสมมติฐานการทดลอง

พิจารณา Main effect

1. ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัส (Factor A)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสไม่แตกต่างกัน

H_1 : at least one $\tau_i \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.12 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดัดกรณีเดิมสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ทดสอบสมมุติฐานของอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป (Factor B)

H_0 : $\beta_1 = \beta_2 = 0$ สำหรับทุกระดับอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่แตกต่างกัน

H_1 : at least one $\beta_j \neq 0$ สำหรับบางระดับอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.9 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดัดกรณีเดิมสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณา Interaction effect

ทดสอบว่ามี interaction ระหว่าง Factor A และ Factor B หรือไม่

H_0 : $(\tau\beta)_{ij} = 0$ for all i, j ทุกระดับ i, j ไม่มีอิทธิพลของ interaction

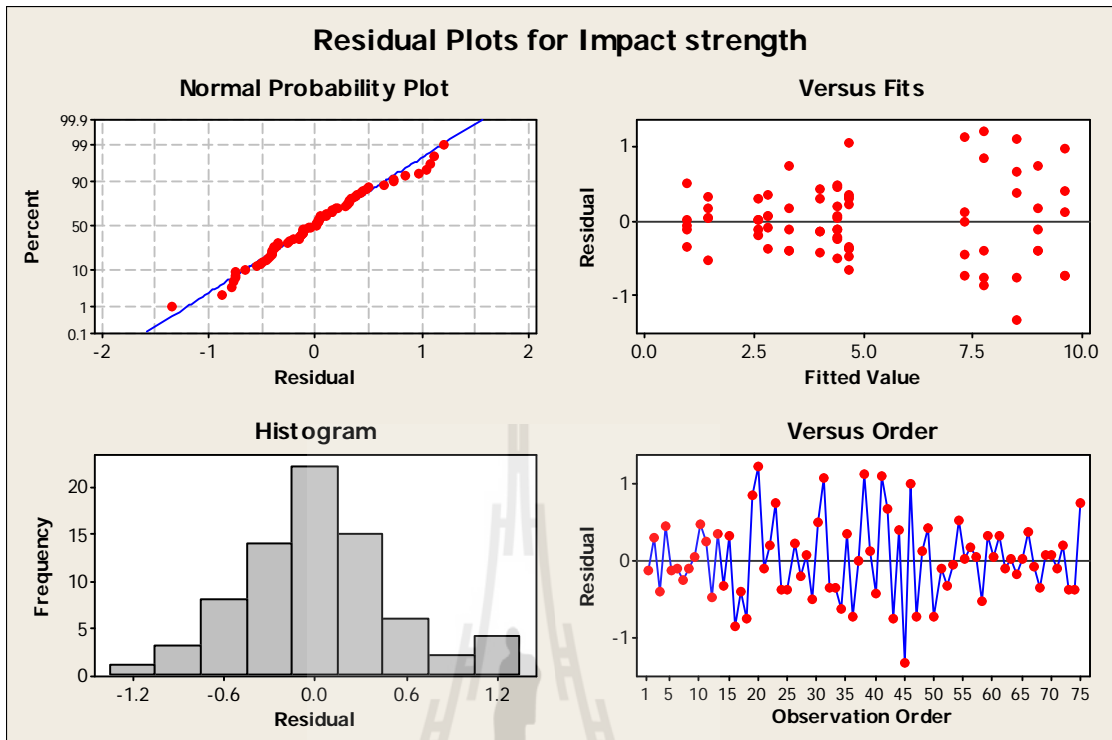
H_1 : at least one $(\tau\beta)_{ij} \neq 0$ มีบาง i, j มีอิทธิพลของ interaction

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.12 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.031 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า อิทธิพลของ interaction ระหว่างปัจจัย A และปัจจัย B มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดัดกรณีเดิมสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจซึ่งมีค่าเท่ากับ 83.62 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ (Treatment) คืออัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป 83.62 เปอร์เซ็นต์ และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) 16.38 เปอร์เซ็นต์

5. ความแข็งแรงกระแทกกรณีไม่เดิมสารประสาน

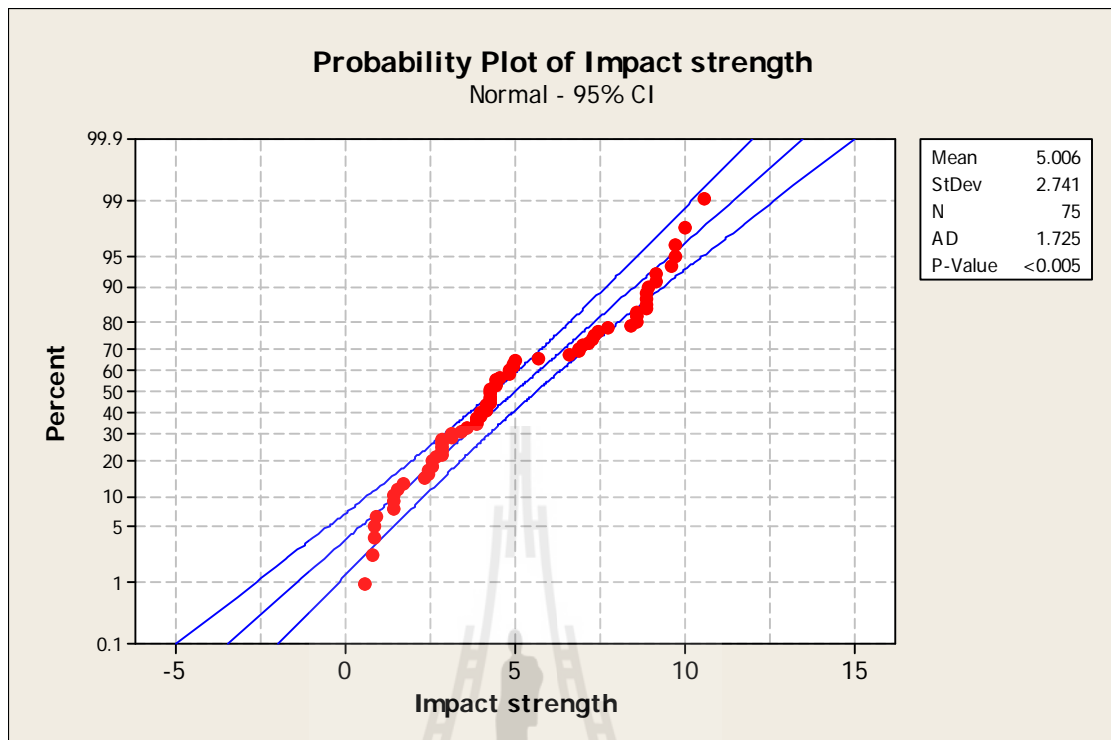
จากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงกระแทกกรณีไม่เดิมสารประสาน นำข้อมูลที่ได้มาทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ซึ่งจะพิจารณาจากกราฟทั้ง 4 ดังรูปที่ ก.13 ดังต่อไปนี้



รูปที่ ก.13 กราฟแสดงการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ความแข็งแรงกระแทก
กรณีไม่เติมสารประสาน

เมื่อพิจารณาความเป็นอิสระของข้อมูล โดยดูจากกราฟ Residuals versus the order of the data (ล่างขวา) พบว่าลักษณะของข้อมูลเป็นแบบสุ่ม ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งพิจารณาได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ

พิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลจากกราฟ Histogram of the residuals (ล่างซ้าย) จะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะ โค้งปกติ เพื่อให้มั่นใจในการกระจายตัวของข้อมูลจึงทำการทดสอบ Normal probability ดังรูปที่ ก.14 ซึ่งกราฟที่ได้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบ Normal อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเมื่อพิจารณารูป Residual versus the fitted values รูปที่ ก.13 บนขวา พบว่าข้อมูลมีลักษณะกระจายตัวอยู่ในแนวเดียวกันคือมีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์



รูปที่ ก.14 กราฟแสดง Normal probability ความแข็งแรงกระแทกกรณีไม้เติมสารประสาน

Two-way ANOVA: Impact strength versus temperature, HDPE:wood

Source	DF	SS	MS	F	P
temperature	2	309.492	154.746	487.08	0.000
HDPE:wood	4	193.799	48.450	152.50	0.000
Interaction	8	33.808	4.226	13.30	0.000
Error	60	19.062	0.318		
Total	74	556.160			

S = 0.5636 R-Sq = 96.57% R-Sq(adj) = 95.77%

รูปที่ ก.15 แสดงตาราง ANOVA ความแข็งแรงกระแทกกรณีไม้เติมสารประสาน

การทดสอบสมมติฐานการทดลอง

พินิจ Main effect

1. ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัส (Factor A)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสไม่แตกต่างกัน

H_1 : at least one $\tau_i \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสแตกต่างกันในรูปของผงไม้

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.15 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกกรณีไม่เติมสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป (Factor B)

H_0 : $\beta_1 = \beta_2 = 0$ สำหรับทุกระดับอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม้แตกต่างกัน

H_1 : at least one $\beta_j \neq 0$ สำหรับบางระดับอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.15 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกกรณีไม่เติมสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณา Interaction effect

ทดสอบว่ามี interaction ระหว่าง Factor A และ Factor B หรือไม่

H_0 : $(\tau\beta)_{ij} = 0$ for all i, j ทุกระดับ ij ไม่มีอิทธิพลของ interaction

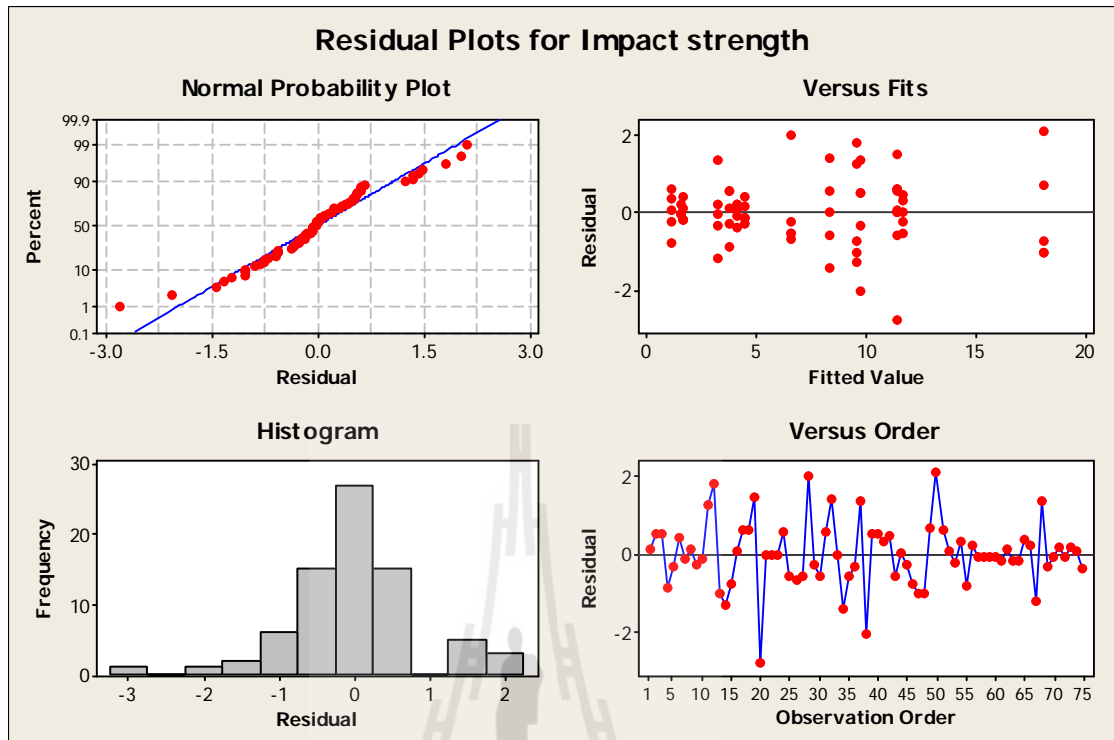
H_1 : at least one $(\tau\beta)_{ij} \neq 0$ มีบาง ij มีอิทธิพลของ interaction

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.15 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า อิทธิพลของ interaction ระหว่างปัจจัย A และปัจจัย B มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกกรณีไม่เติมสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจซึ่งมีค่าเท่ากับ 96.57 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ (Treatment) คือ อัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป 96.57 เปอร์เซ็นต์ และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) 3.43 เปอร์เซ็นต์

6. ความแข็งแรงกระแทกกรณีเติมสารประสาน

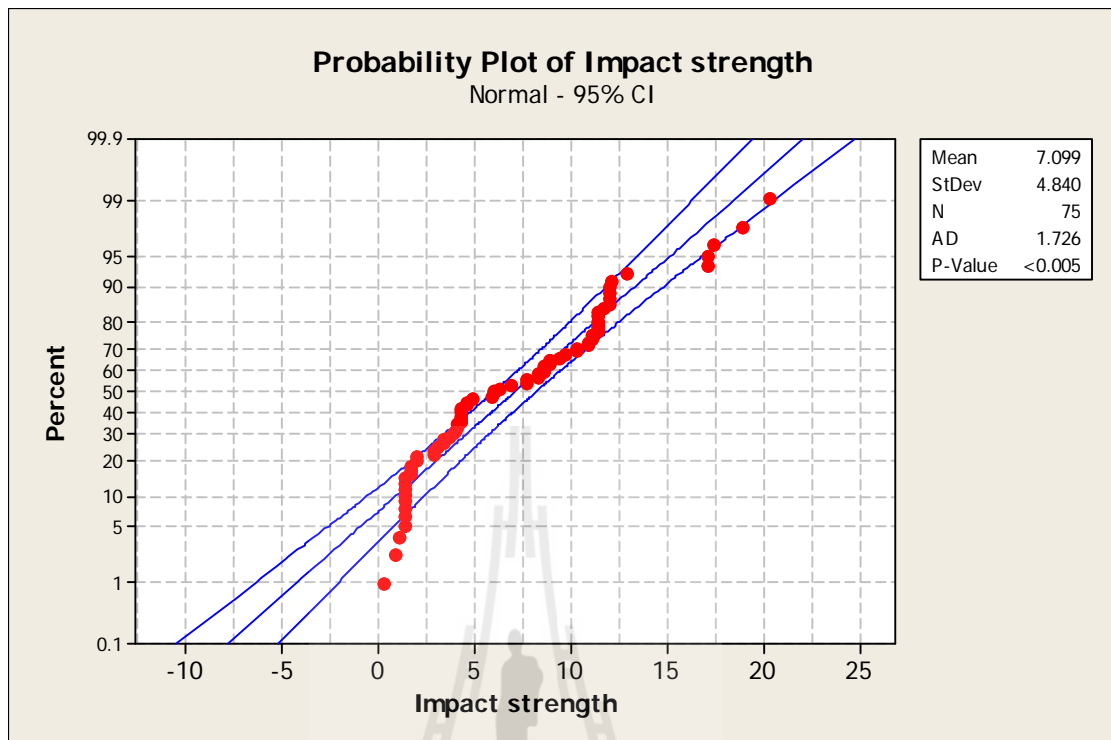
จากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงกระแทกกรณีเติมสารประสาน นำข้อมูลที่ได้มาทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ซึ่งจะพิจารณาจากกราฟทั้ง 4 ดังรูปที่ ก.16 ดังต่อไปนี้



รูปที่ ก.16 กราฟแสดงการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ความแข็งแรงกระแทก
กรณีเติมสารประสาน

เมื่อพิจารณาความเป็นอิสระของข้อมูล โดยดูจากกราฟ Residuals versus the order of the data (ล่างขวา) พบว่าลักษณะของข้อมูลเป็นแบบสุ่ม ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งพิจารณาได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ

พิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลจากกราฟ Histogram of the residuals (ล่างซ้าย) จะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะโค้งปกติ เพื่อให้มั่นใจในการกระจายตัวของข้อมูลจึงทำการทดสอบ Normal probability ดังรูปที่ ก.17 ซึ่งกราฟที่ได้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบ Normal อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเมื่อพิจารณากราฟ Residual versus the fitted values รูปที่ ก.16 บนขวา พบว่าข้อมูลมีลักษณะกระจายตัวอยู่ในแนวเดียวกันคือมีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์



รูปที่ ก.17 กราฟแสดง Normal probability ความแข็งแรงกระแทก
กรณีเติมสารประสาน

Two-way ANOVA: Impact strength versus temperature, HDPE:wood

Source	DF	SS	MS	F	P
temperature	2	963.15	481.576	557.41	0.000
HDPE:wood	4	545.12	136.281	157.74	0.000
Interaction	8	173.40	21.675	25.09	0.000
Error	60	51.84	0.864		
Total	74	1733.51			

S = 0.9295 R-Sq = 97.01% R-Sq(adj) = 96.31%

รูปที่ ก.18 แสดงตาราง ANOVA กรณีความแข็งแรงกระแทกเติมสารประสาน

การทดสอบสมมติฐานการทดลอง

พิจารณา Main effect

1. ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อ
ผงไม้ยูคาลิปตัส (Factor A)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสแตกต่างกันในรูปของผงไม้

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.18 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกกรณีเดิมสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป (Factor B)

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$ สำหรับทุกระดับอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \beta_j \neq 0$ สำหรับบางระดับอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.18 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกกรณีไม่เดิมสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณา Interaction effect

ทดสอบว่ามี interaction ระหว่าง Factor A และ Factor B หรือไม่

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$ for all i, j ทุกระดับ i, j ไม่มีอิทธิพลของ interaction

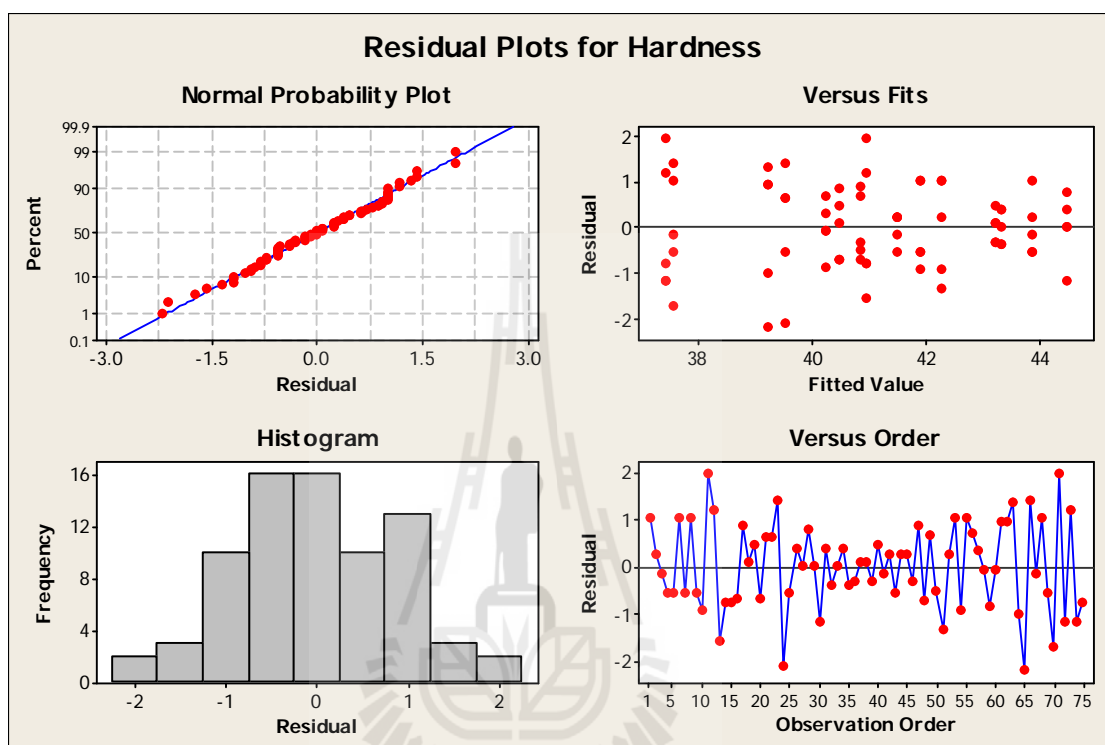
$H_1 : \text{at least one } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ มีบาง i, j มีอิทธิพลของ interaction

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.18 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า อิทธิพลของ interaction ระหว่างปัจจัย A และปัจจัย B มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกกรณีไม่เดิมสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสนใจซึ่งมีค่าเท่ากับ 97.01 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ (Treatment) คืออัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป 97.01 เปอร์เซ็นต์ และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) 2.99 เปอร์เซ็นต์

7. ความแข็งผิวกรณีไม่เต็มสารประสาน

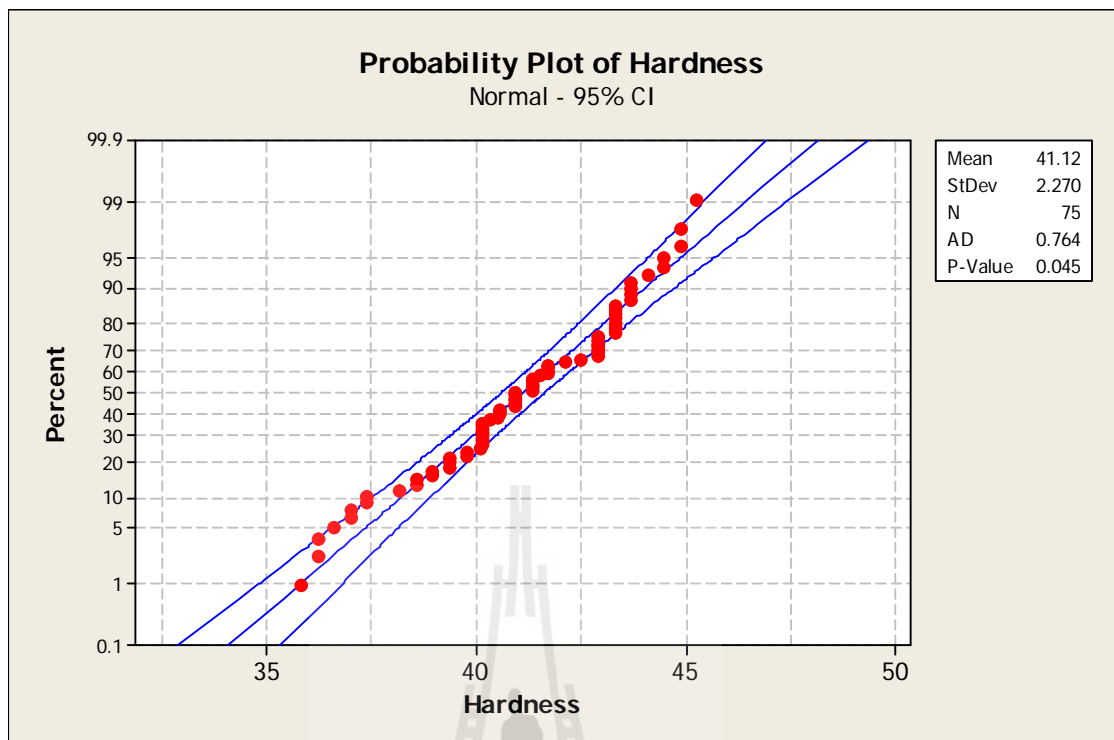
จากผลการทดสอบค่าความแข็งผิวกรณีไม่เต็มสารประสาน นำข้อมูลที่ได้มาทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ซึ่งจะพิจารณาจากกราฟทั้ง 4 ดังรูปที่ ก.19 ดังต่อไปนี้



รูปที่ ก.19 กราฟแสดงการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ความแข็งผิวกรณีไม่เต็มสารประสาน

เมื่อพิจารณาความเป็นอิสระของข้อมูล โดยดูจากกราฟ Residuals versus the order of the data (ล่างขวา) พบว่าลักษณะของข้อมูลเป็นแบบสุ่ม ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งพิจารณาได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ

พิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลจากกราฟ Histogram of the residuals (ล่างซ้าย) จะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะโค้งปกติ เพื่อให้มั่นใจในการกระจายตัวของข้อมูลจึงทำการทดสอบ Normal probability ดังรูปที่ ก.20 ซึ่งกราฟที่ได้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบ Normal อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเมื่อพิจารณากราฟ Residual versus the fitted values รูปที่ ก.19 บนขวา พบว่าข้อมูลมีลักษณะกระจายตัวอยู่ในแนวเดียวกันคือมีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์



รูปที่ ก.20 กราฟแสดง Normal probability ความแข็งผิวกรณีไม่เติมสารประสาน

Two-way ANOVA: Hardness versus temperature, HDPE:wood

Source	DF	SS	MS	F	P
temperature	2	140.855	70.4275	69.82	0.000
HDPE:wood	4	171.690	42.9225	42.55	0.000
Interaction	8	8.181	1.0226	1.01	0.436
Error	60	60.526	1.0088		
Total	74	381.252			

S = 1.004 R-Sq = 84.12% R-Sq(adj) = 80.42%

รูปที่ ก.21 แสดงตาราง ANOVA ความแข็งผิวกรณีไม่เติมสารประสาน

การทดสอบสมมติฐานการทดลอง

พิจารณา Main effect

1. ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัส (Factor A)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสไม่แตกต่างกัน

H_1 : at least one $\tau_i \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสแตกต่างกันในรูปของผงไม้

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.21 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งผิวกรณีไม่เติมสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป (Factor B)

H_0 : $\beta_1 = \beta_2 = 0$ สำหรับทุกระดับอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม้แตกต่างกัน

H_1 : at least one $\beta_j \neq 0$ สำหรับบางระดับอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.21 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกกรณีไม่เติมสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณา Interaction effect

ทดสอบว่ามี interaction ระหว่าง Factor A และ Factor B หรือไม่

H_0 : $(\tau\beta)_{ij} = 0$ for all i, j ทุกระดับ i, j ไม่มีอิทธิพลของ interaction

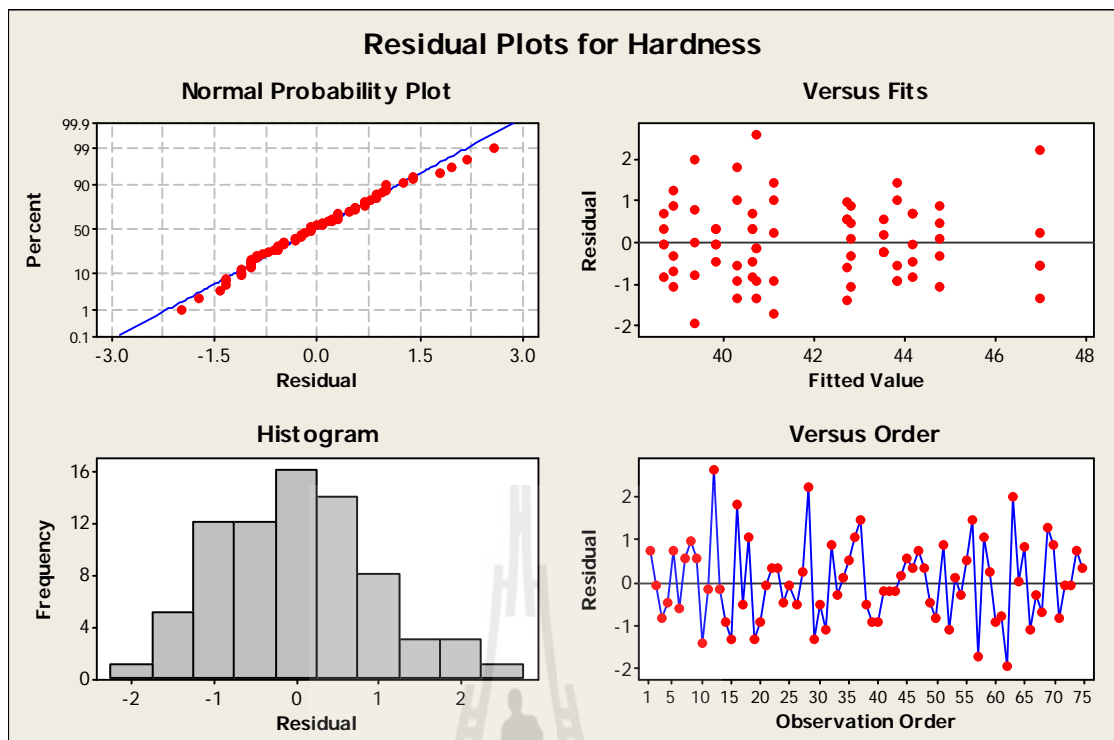
H_1 : at least one $(\tau\beta)_{ij} \neq 0$ มีบาง i, j มีอิทธิพลของ interaction

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.21 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.436 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า อิทธิพลของ interaction ระหว่างปัจจัย A และปัจจัย B มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกกรณีไม่เติมสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจซึ่งมีค่าเท่ากับ 84.12 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ (Treatment) คืออัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป 84.12 เปอร์เซ็นต์ และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) 15.88 เปอร์เซ็นต์

8. ความแข็งผิวกรณีเติมสารประสาน

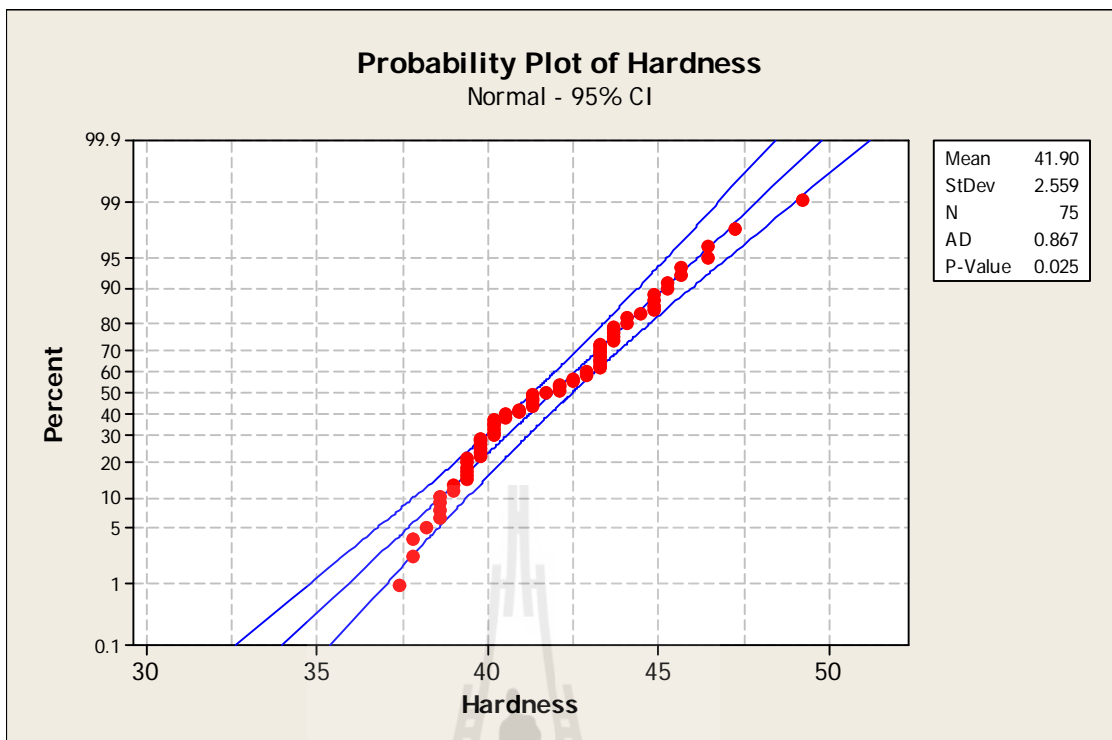
จากผลการทดสอบค่าความแข็งผิวกรณีเติมสารประสาน นำข้อมูลที่ได้มาทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ซึ่งจะพิจารณาจากกราฟทั้ง 4 ดังรูปที่ ก.22 ดังต่อไปนี้



รูปที่ ก.22 กราฟแสดงการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ความแข็งผิว
กรณีเติมสารประสาน

เมื่อพิจารณาความเป็นอิสระของข้อมูล โดยดูจากกราฟ Residuals versus the order of the data (ล่างขวา) พบว่าลักษณะของข้อมูลเป็นแบบสุ่ม ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งพิจารณาได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ

พิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลจากกราฟ Histogram of the residuals (ล่างซ้าย) จะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะโค้งปกติ เพื่อให้มั่นใจในการกระจายตัวของข้อมูลจึงทำการทดสอบ Normal probability ดังรูปที่ ก.23 ซึ่งกราฟที่ได้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบ Normal อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเมื่อพิจารณากราฟ Residual versus the fitted values รูปที่ ก.22 บนขวา พบว่าข้อมูลมีลักษณะกระจายตัวอยู่ในแนวเดียวกันคือมีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์



รูปที่ ก.23 กราฟแสดง Normal probability ความแข็งผิวกรณีเติมสารประสาน

Two-way ANOVA: Hardness versus temperature, HDPE:wood

Source	DF	SS	MS	F	P
temperature	2	184.417	92.2087	86.63	0.000
HDPE:wood	4	221.353	55.3382	51.99	0.000
Interaction	8	14.954	1.8693	1.76	0.104
Error	60	63.860	1.0643		
Total	74	484.585			

S = 1.032 R-Sq = 86.82% R-Sq(adj) = 83.75%

รูปที่ ก.24 แสดงตาราง ANOVA ความแข็งผิวกรณีเติมสารประสาน

การทดสอบสมมติฐานการทดลอง

พิจารณา Main effect

1. ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัส (Factor A)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสไม่แตกต่างกัน

H_1 : at least one $\tau_i \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสแตกต่างกันในรูปของผงไม้

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.24 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงผิวกรณีไม้เดิมสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป (Factor B)

H_0 : $\beta_1 = \beta_2 = 0$ สำหรับทุกระดับอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม้แตกต่างกัน

H_1 : at least one $\beta_j \neq 0$ สำหรับบางระดับอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.24 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกกรณีไม้เดิมสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณา Interaction effect

ทดสอบว่ามี interaction ระหว่าง Factor A และ Factor B หรือไม่

H_0 : $(\tau\beta)_{ij} = 0$ for all i, j ทุกระดับ i, j ไม่มีอิทธิพลของ interaction

H_1 : at least one $(\tau\beta)_{ij} \neq 0$ มีบาง i, j มีอิทธิพลของ interaction

จากข้อมูลในตาราง ANOVA รูปที่ ก.24 Reject H_0 เนื่องจากค่า P-value เท่ากับ 0.104 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า อิทธิพลของ interaction ระหว่างปัจจัย A และปัจจัย B มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกกรณีไม้เดิมสารประสานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจซึ่งมีค่าเท่ากับ 86.82 เปอร์เซนต์ แสดงให้เห็นว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ (Treatment) คืออัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อผงไม้ยูคาลิปตัสและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป 86.82 เปอร์เซนต์ และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) 13.18 เปอร์เซนต์



ภาคผนวก ข

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ ข.1 เครื่องบดพลาสติก



รูปที่ ข.2 เครื่องบดไม้



รูปที่ ข.3 เครื่องอบ



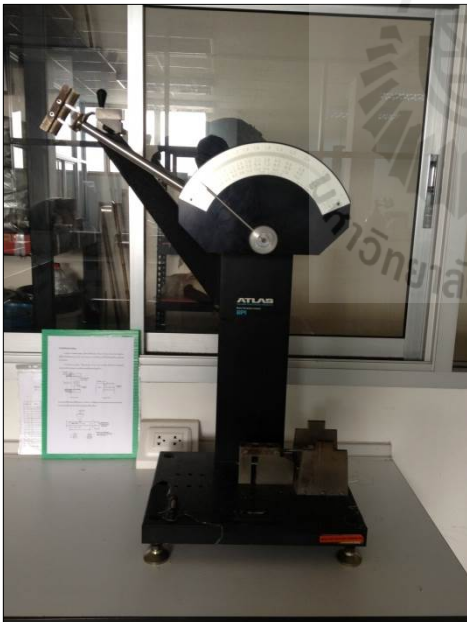
รูปที่ ข.4 เครื่องร่อน



รูปที่ ข.5 เครื่องผสมภายใน



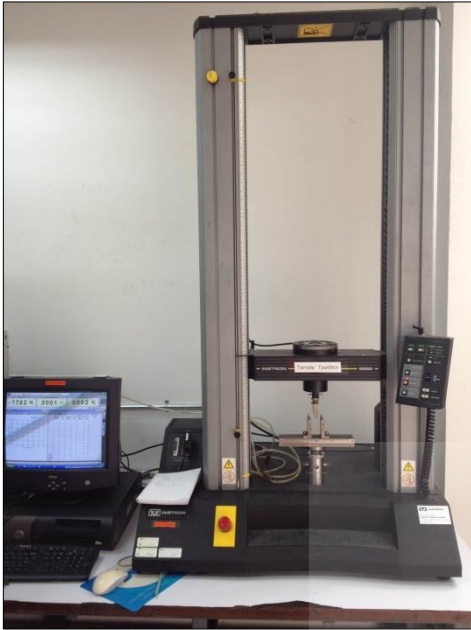
รูปที่ ข.6 เครื่องอัด



รูปที่ ข.7 เครื่องทดสอบแรงกระแทก



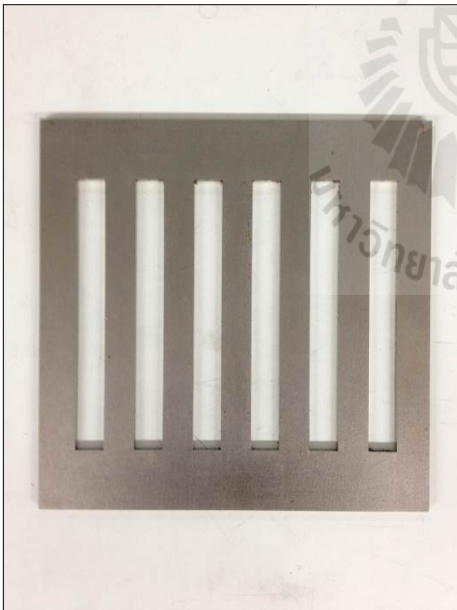
รูปที่ ข.8 เครื่องบดชิ้นงาน



รูปที่ ข.9 เครื่องทดสอบแรงดึงและแรงกด



รูปที่ ข.10 เครื่องทดสอบความแข็ง



รูปที่ ข.11 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัดชิ้นงาน



รูปที่ ข.12 แผ่นเทพลอน



รูปที่ ข.13 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมและการอัดชิ้นงาน



ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

นภาพ จบนุช และกนต์ธร ชำนิประศาสน์ (2556). การศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบจาก ยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง. การประชุมวิชาการเครือข่าย วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27. จังหวัดชลบุรี.



AMM-2001

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27
16-18 ตุลาคม 2556 พัทยา จังหวัดชลบุรี

การศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัส
และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
Study of Mechanical Properties of Eucalyptus Wood – High Density
Polyethylene Composites

จกาจ จบนุช¹ และ กนต์ธีร ชำนิประศาสน์^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
*ติดต่อ: E-mail: kontorn@sut.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 0-4422-4286, เบอร์โทรสาร: 0-4422-4613

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตและศึกษาวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) เพื่อเพิ่มคุณค่าของวัสดุเหลือใช้ โดยวัสดุเชิงประกอบนี้จะนำผงไม้ยูคาลิปตัส มาผสมกับพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงซึ่งได้มาจากขวดน้ำพลาสติกที่ใช้แล้ว จากนั้นจะใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกราฟต์ด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (High Density Polyethylene Grafted Maleic Anhydride, HDPE-g-MAH) เป็นสารประสาน วัสดุดิบทั้งหมดจะถูกผสมกันในอัตราส่วนระหว่าง HDPE ต่อผงไม้ เป็น 50:50 60:40 70:30 80:20 และ 90:10 โดยน้ำหนัก ทำการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดร้อน ที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส ความดัน 150 บาร์ ทำการศึกษาผลของการเติมสารประสานและไม่เติมสารประสาน โดยการเติมสารประสานจะเติมในปริมาณ 2 ส่วนใน 100 ส่วนของส่วนผสมระหว่างผงไม้ยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง นำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติทางกลตามมาตรฐานของ ASTM โดยสมบัติทางกลที่ทดสอบประกอบด้วย ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) และความแข็งผิว (Hardness) แต่ละมาตรฐานใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 5 ชิ้น ผลการทดสอบพบว่า ที่อัตราส่วน 90:10 อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสมีค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ และค่าความแข็งแรงกระแทกสูงสุด และที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่สูงเกินไปในการขึ้นรูปทำให้สมบัติต่างๆ ลดลง เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบนั้นเกิดการเสื่อมสภาพ ผลของความแข็งแรงผิวพบว่าที่อัตราส่วน 50:50 อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสมีค่าความแข็งแรงผิวสูงสุด ส่วนผลการพิจารณาการเติมสารประสานและไม่เติมพบว่า การเติมสารประสานลงไปจะทำให้สมบัติต่างๆ ของวัสดุเชิงประกอบมีค่าสูงกว่าที่ไม่ได้เติมสารประสาน

คำหลัก: สมบัติทางกล วัสดุเชิงประกอบ ยูคาลิปตัส พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

Abstract

The purpose of this research was produce and study composites material from eucalyptus wood and high density polyethylene (HDPE) to increase the value of excessive material which could save resource. eucalyptus wood was combined with high density polyethylene from waste drinking water bottles and high density polyethylene grafted maleic anhydride (HDPE-g-MAH) was used as an additive for a compatibilizer at various weight ratios of HDPE and eucalyptus wood which were 50:50 60:40 70:30

AMM-2001การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27
16-18 ตุลาคม 2556 พัทยา จังหวัดชลบุรี

80:20 and 90:10. The mixed materials were manufactured by a hot compression method at temperatures 160 180 and 200 celsius pressure 150 bars. Investigated effect of compatibilizer and the mechanical properties of the composites material according to the American society for testing and materials (ASTM) method, consist of tensile strength, flexural strength, impact strength and hardness. Each standard used 5 specimens. The experimental results were found that tensile strength, flexural strength and impact strength were increased by the ratio of HDPE and forming temperature which increased. The best tensile strength, flexural strength and impact strength of composites material was 90:10 at 180 Celsius. At 200 celsius that was too high to manufactured the result at 200 celsius composites material was deteriorate. The best hardness was 50:50 at 180 celsius and the experimental result was found that the compatibilizer was improved the mechanical properties of the composites material.

Keywords: mechanical properties, composites material, eucalyptus wood, high density polyethylene

1. บทนำ

ปัจจุบันยูคาลิปตัสเป็นไม้เศรษฐกิจที่คนไทยนิยมปลูก เนื่องจากไม้ยูคาลิปตัสนั้นปลูกง่าย เติบโตเร็ว ดูแลจัดการง่าย ลงทุนน้อย จากข้อมูลการสำรวจพื้นที่ปลูกยูคาลิปตัสของส่วนวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดินพบว่าพื้นที่การปลูกไม้ยูคาลิปตัสได้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออก ไม้ยูคาลิปตัสถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายด้านโดยเฉพาะนำมาผลิตเป็นกระดาษ เศษไม้ที่เหลือจากการผลิตส่วนใหญ่ของโรงงานกระดาษจะนำไปทำเป็นเชื้อเพลิง สำหรับโรงงานที่แปรรูปไม้ยูคาลิปตัส เช่น ทำพลาท ทำเฟอร์นิเจอร์ ชิ้นเลื่อยที่เกิดขึ้นจากการตัดไม้ส่วนใหญ่จะนำไปทำเชื้อเพลิง ชีวมวล ซึ่งชี้อย่างหนึ่งต้นมีมูลค่าประมาณ 1,500 -1,700 บาท ประกอบกับปัจจุบันมีการใช้พลาสติกอย่างแพร่หลาย เช่น ขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำมันพืช ถังพลาสติก เป็นต้น ซึ่งขยะพลาสติกส่วนใหญ่มาจากขยะชุมชน ส่งผลให้พลาสติกดังกล่าวหลังจากการเลิกการใช้งานแล้ว กลายเป็นขยะจำนวนมาก ปริมาณขยะที่อัตราเพิ่มขึ้นคือขยะประเภทพลาสติก โดยชนิดของพลาสติกที่ตกค้างอยู่ในขยะมูลฝอยชุมชนที่สำคัญ ได้แก่ พลาสติกชนิด High Density Polyethylene (HDPE) Low Density Polyethylene (LDPE) และ Polypropylene (PP) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 39.54 ร้อย

ละ 29.20 และร้อยละ 16.10 ของปริมาณขยะพลาสติกที่พบในขยะมูลฝอย ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ,2548ข) ดังนั้นการที่จะลดปริมาณขยะพลาสติกของขยะมูลฝอยชุมชนควรมุ่งเน้นไปที่ขยะพลาสติกประเภท HDPE LDPE และ PP

การศึกษาก่อนหน้านี้ ณีรัฐชญาภา ชนวัฒน์ศิริกุล(2554) [2] ได้ทำการปรับปรุงความแข็งแรงของไม้พลาสติกจากไม้ปาล์ม โดยสารเชื่อมโยงที่ใช้คือเมลลาอิก ทดลองที่อุณหภูมิและอัตราส่วนที่แตกต่างกันพบว่าวัสดุไม้พลาสติกที่มีปริมาณของผงไม้ปาล์ม: เศษ HDPE: MA ที่สัดส่วน 30:67:03 อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งแรงดัด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทกสูงที่สุดในทุกสัดส่วนและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง

อาชาไนย บัวศรี และคณะ(2550) [8] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณผงซีลี้อยู่ที่มีต่อคุณสมบัติของวัสดุเสริมองค์ประกอบ โดยใช้พลาสติก HDPEและ LDPE ผสมกับผงซีลี้อยู่ในอัตราส่วน 2.5, 5.0 และ 10.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพลาสติก และศึกษาอิทธิพลของการเติมสารคู่ควบที่มีต่อสมบัติของวัสดุเสริมองค์ประกอบ โดยใช้ Maleic Anhydride graft Polyethylene 2.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักพบว่าเมื่อปริมาณของผงซีลี้อยู่มากขึ้น คุณสมบัติ

AMM-2001

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27
16-18 ตุลาคม 2556 พัทยา จังหวัดชลบุรี



เชิงกลของวัสดุเสริมองค์ประกอบจะดีขึ้น และสารคู่ควบช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการยึดเกาะกันของวัสดุเสริมองค์ประกอบ ทำให้มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ส่วนความสามารถในการดูดซับน้ำและอุณหภูมิในการสลายตัวมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อปริมาณของผงซีลี้อยเพิ่มขึ้น

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาผลิตวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและพลาสติกเหลือใช้ซึ่งเป็นขวดน้ำสีขาวขุ่นประเภท High Density Polyethylene เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสิ่งของเหลือใช้ ลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากขยะพลาสติก และยังเป็น การเพิ่มการใช้ประโยชน์จากซีลี้อยไม้ยูคาลิปตัสให้นำมาใช้ประโยชน์ให้หลากหลายขึ้นนอกจากการนำไปทำเชื้อเพลิงชีวมวล

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุ

1. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ทำหน้าที่เป็นส่วนของเมทริกซ์ของวัสดุเชิงประกอบ ได้มาจากขวดน้ำสีขาวขุ่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว นำมาล้างให้สะอาดตัดเป็นชิ้นขนาดเล็ก นำไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติก

2. ซีลี้อยไม้ยูคาลิปตัส ทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงให้กับวัสดุเชิงประกอบ ขนาดของซีลี้อยมีขนาด 200 - 425 ไมโครเมตร [1] โดยผ่านการร่อนด้วยเครื่องร่อนก่อนนำไปผสมต้องนำไปอบเพื่อกำจัดความชื้นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกราฟต์เมลลาอีกแอนไฮไดรต์ ทำหน้าที่เป็นสารประสานระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ยูคาลิปตัส

2.2 อัตราส่วนผสมและอุณหภูมิ

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ยูคาลิปตัส อุณหภูมิในการขึ้นรูป และผลของการเติมและไม่เติมสารประสาน กรณีการเติมจะเติมลงไป 2 ส่วนใน 100 ส่วนของอัตราส่วนผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ยูคาลิปตัส

อุณหภูมิที่ทำการศึกษาคือ 160,180 และ 200 [2] องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่าง HDPE และซีลี้อยไม้ยูคาลิปตัสที่ทำศึกษาคือ 50:50,60:40,70:30,80:40 และ 90:10

2.3 การเตรียมชิ้นทดสอบ

หลังจากที่อบซีลี้อยยูคาลิปตัสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งส่วนผสมตามอัตราส่วน ทำการผสมด้วยเครื่องผสมภายในใช้เวลาในการผสม 10 นาที ที่ความเร็วรอบของโรเตอร์ 60 รอบต่อนาที เมื่อนำวัสดุออกจากเครื่องผสมภายในแล้ว ต้องรอให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติกเพื่อทำเม็ดคอมปาวด์ หลังจากนั้นนำเม็ดคอมปาวด์ที่ได้ไปอัดร้อนด้วยเครื่อง Compression Molding ตามอุณหภูมิที่กำหนด ใช้ความดัน 150 บาร์ ปลดปล่อยให้เย็นตัวในแม่พิมพ์ 30 นาทีจึงนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

3. วิธีการทดสอบ

3.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 [3] การทดสอบจะใช้เครื่องมือทดสอบ สมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) แต่ละครั้งใช้ตัวอย่าง 5 ชิ้น โดยตัวอย่างชิ้นงานเป็นรูปดัมเบลล์ ความยาวของเกจ (Gage length) 57 มิลลิเมตร ใช้โหลดเซลล์ (Load cell) 5 กิโลนิวตัน ความเร็วในการดึง 100 มิลลิเมตรต่อนาที ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง

3.2 ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D790 [4] การทดสอบจะใช้เครื่องมือทดสอบ สมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) ใช้ชิ้นทดสอบ 5 ชิ้น ขนาดของชิ้นงาน กว้าง 13.5 มิลลิเมตร ยาว 130 มิลลิเมตร ใช้โหลดเซลล์ (Load cell) 5 กิโลนิวตัน ความเร็วในการกด 10 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะห่างของขารองรับชิ้นงาน 40 มิลลิเมตร ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง

3.3 ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 [5] ในการทดสอบใช้มาตรฐานแบบไอซอด (Izod type) ใช้

AMM-2001

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27
16-18 ตุลาคม 2556 พัทยา จังหวัดชลบุรี



เครื่องมือ Basic Pendulum Impact (BPI) ใช้ขึ้นทดสอบทั้งหมด 5 ชั้น ใช้ภาระกรรมขนาด 2.7 J ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปทดสอบต้องนำไปบากให้เป็นรอยขนาด 45 องศาที่กึ่งกลางชิ้นงานด้วยเครื่องบากชิ้นงาน อ่านค่าพลังงานที่ได้จากเครื่องแล้วนำมาคำนวณหาค่าความแข็งแรงกระแทกจากสมการที่ (1)

$$\text{Impact Strength} = \frac{W}{A} \quad (1)$$

เมื่อ W คือค่าพลังงานกระแทก (kJ)
 A คือพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (m^2)

3.4 ความแข็งผิว (Hardness)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D785 [6] ใช้เครื่องมือ Hardness DUROTECH ในการทดสอบใช้หัวกดแบบ Shore D ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ชิ้นงานที่นำมาทดสอบจะต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่า 1/4 นิ้ว ลักษณะผิวชิ้นงานต้องราบเรียบ ทำการกดหัวเข็มลงบนชิ้นงานจนกระทั่งสู่ระยะของหัวเข็ม แล้วทำการอ่านค่าความแข็งผิวที่ได้

4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

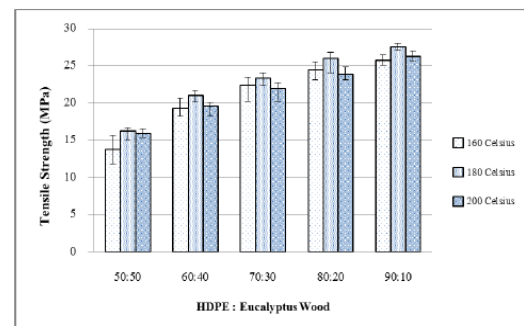
4.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

จากการทดสอบความแข็งแรงดึงตามอัตราส่วนผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีโอไมยูคาลิปตัสทั้งหมด 5 อัตราส่วนคือ 50:50 60:40 70:30 80:20 และ 90:10 ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส พบว่า วัสดุเชิงประกอบกรณีไม่เติมสารประสานที่อัตราส่วน 50:50 มีความแข็งแรงดึงอยู่ในช่วง 13.77-16.24 MPa ที่อัตราส่วน 60:40 มีความแข็งแรงดึงอยู่ในช่วง 19.30-21.01 MPa ที่อัตราส่วน 70:30 มีความแข็งแรงดึงอยู่ในช่วง 22.37-23.33 MPa ที่อัตราส่วน 80:20 มีความแข็งแรงดึงอยู่ในช่วง 24.40-25.96 MPa และที่อัตราส่วน 90:10 มีความแข็งแรงดึงอยู่ในช่วง 25.72-27.55 MPa ดังแสดงในรูปที่ 1

กรณีเติมสารประสาน 2 ส่วนใน 100 ส่วนของอัตราส่วนผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีโอไมยูคาลิปตัส พบว่า ที่อัตราส่วน 50:50 มีความแข็งแรงดึงอยู่ในช่วง 22.22-26.26 MPa ที่อัตราส่วน 60:40 มีความแข็งแรงดึงอยู่ในช่วง 23.28-27.53 MPa ที่อัตราส่วน 70:30 มีความแข็งแรงดึงอยู่ในช่วง 23.77-28.34 MPa ที่อัตราส่วน 80:20 มีความแข็งแรงดึงอยู่ในช่วง 24.04-29.23 MPa และที่อัตราส่วน 90:10 มีความแข็งแรงดึงอยู่ในช่วง 27.60-30.95 MPa ดังแสดงในรูปที่ 2

จากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง แนวโน้มของค่าความแข็งแรงดึงจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงสูงขึ้นในทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ทั้งกรณีที่ไม่เติมและไม่เติมสารประสาน เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิพบว่าที่ อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าที่อุณหภูมิ 160 และ 200 องศาเซลเซียสในทุกอัตราส่วนที่ทำการทดลอง

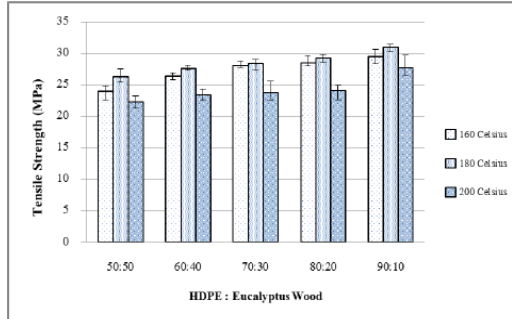
และเมื่อพิจารณาผลของการเติมและไม่เติมสารประสานพบว่าการเติมสารประสานลงไปประมาณ 2 ส่วนใน 100 ส่วนของอัตราส่วนผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีโอไมยูคาลิปตัส พบว่าการเติมสารประสานนั้นค่าของความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกอัตราส่วนและทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง



รูปที่ 1 ความแข็งแรงดึงที่สภาวะต่างๆ กรณีไม่เติมสารประสาน

AMM-2001

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27
16-18 ตุลาคม 2556 พัทยา จังหวัดชลบุรี



รูปที่ 2 ความแข็งแรงดึงที่สภาวะต่างๆ
กรณีเติมสารประสาน

4.2 ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength)

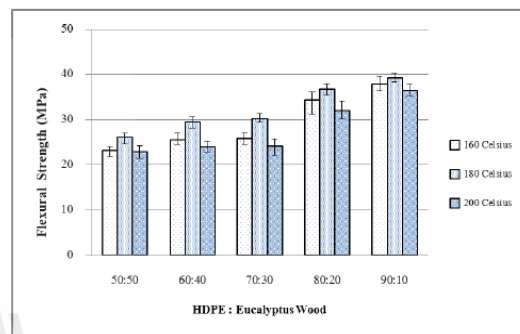
จากการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอทั้ง 5 อัตราส่วนคือ 50:50 60:40 70:30 80:20 และ 90:10 ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูปคือ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส พบว่าวัสดุเชิงประกอบกรณีไม่เติมสารประสานที่อัตราส่วน 50:50 มีความแข็งแรงโค้งงออยู่ในช่วง 22.94-26.12 MPa ที่อัตราส่วน 60:40 มีความแข็งแรงโค้งงออยู่ในช่วง 24.06-29.52 MPa ที่อัตราส่วน 70:30 มีความแข็งแรงโค้งงออยู่ในช่วง 24.20-30.16 MPa ที่อัตราส่วน 80:20 มีความแข็งแรงโค้งงออยู่ในช่วง 32.05-36.69 MPa ที่อัตราส่วน 90:10 มีความแข็งแรงโค้งงออยู่ในช่วง 36.50-39.25 MPa ดังแสดงในรูปที่ 3

กรณีเติมสารประสาน พบว่า ที่อัตราส่วน 50:50 มีความแข็งแรงโค้งงออยู่ในช่วง 39.58-41.19 MPa ที่อัตราส่วน 60:40 มีความแข็งแรงโค้งงออยู่ในช่วง 40.47-42.23 MPa ที่อัตราส่วน 70:30 มีความแข็งแรงโค้งงออยู่ในช่วง 40.69-43.84 MPa ที่อัตราส่วน 80:20 มีความแข็งแรงโค้งงออยู่ในช่วง 41.14-45.52 MPa ที่อัตราส่วน 90:10 มีความแข็งแรงโค้งงออยู่ในช่วง 42.91-47.72 MPa ดังแสดงในรูปที่ 4

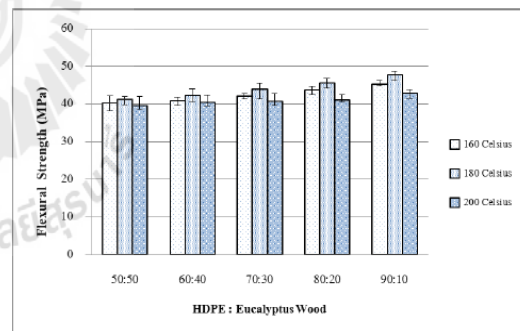
จากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงโค้งงอแนวโน้มของค่าความแข็งแรงโค้งงอจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนของพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงสูงขึ้นในทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ทั้งกรณีที่เติมและไม่เติมสารประสาน เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิพบว่าที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งแรงดึงสูง

กว่าที่ อุณหภูมิ 160 และ 200 องศาเซลเซียสในทุกอัตราส่วนที่ทำการทดลอง

และเมื่อพิจารณาผลของการเติมและไม่เติมสารประสานพบว่า การเติมสารประสานนั้นค่าของความแข็งแรงโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกอัตราส่วนและทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ลักษณะผลการทดสอบมีแนวโน้มคล้ายกับความแข็งแรงดึง



รูปที่ 3 ความแข็งแรงโค้งงอที่สภาวะต่างๆ กรณีไม่
เติมสารประสาน



รูปที่ 4 ความแข็งแรงโค้งงอที่สภาวะต่างๆ กรณีเติม
สารประสาน

4.3 ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)

จากการทดสอบความแข็งแรงกระแทกทั้ง 5 อัตราส่วน ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูปคือ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส พบว่า วัสดุเชิงประกอบกรณีไม่เติมสารประสานที่อัตราส่วน 50:50 มีความแข็งแรงกระแทกอยู่ในช่วง 0.915-4.371 kJ/m² ที่อัตราส่วน 60:40 มีความแข็งแรงกระแทกอยู่ในช่วง 1.397-4.657 kJ/m² ที่อัตราส่วน 70:30 มีความแข็งแรงกระแทกอยู่ในช่วง 2.557-7.314 kJ/m² ที่อัตราส่วน 80:20 มีความแข็งแรงกระแทกอยู่ในช่วง 2.797-8.486 kJ/m²

AMM-2001

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27
16-18 ตุลาคม 2556 พัทยา จังหวัดชลบุรี

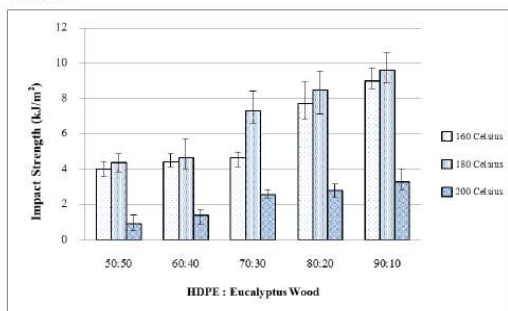


ที่อัตราส่วน 90:10 มีความแข็งแรงกระแทกอยู่ในช่วง 3.257-9.600 kJ/m² ดังแสดงในรูปที่ 5

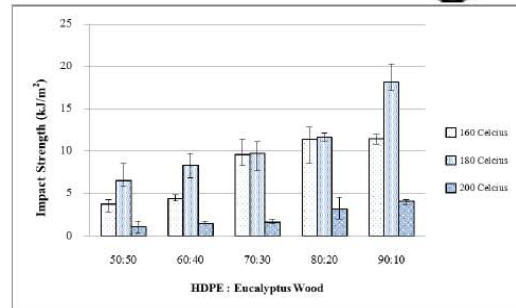
กรณีเติมสารประสาน พบว่า ที่อัตราส่วน 50:50 มีความแข็งแรงกระแทกอยู่ในช่วง 1.086-6.543 kJ/m² ที่อัตราส่วน 60:40 มีความแข็งแรงกระแทกอยู่ในช่วง 1.486-8.286 kJ/m² ที่อัตราส่วน 70:30 มีความแข็งแรงกระแทกอยู่ในช่วง 1.600-9.771 kJ/m² ที่อัตราส่วน 80:20 มีความแข็งแรงกระแทกอยู่ในช่วง 3.200-11.686 kJ/m² ที่อัตราส่วน 90:10 มีความแข็งแรงกระแทกอยู่ในช่วง 4.086-18.171 kJ/m² ดังแสดงในรูปที่ 5

จากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงกระแทก แนวโน้มของค่าความแข็งแรงกระแทกจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนของพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงสูงขึ้นในทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ทั้งกรณีที่ไม่เติมและไม่เติมสารประสาน เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิพบว่า ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งแรงกระแทกสูงกว่าที่อุณหภูมิ 160 และ 200 องศาเซลเซียสในทุกอัตราส่วนที่ทำการทดลอง

และเมื่อพิจารณาผลของการเติมและไม่เติมสารประสานพบว่า การเติมสารประสานนั้นค่าของความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกอัตราส่วนและทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ลักษณะผลการทดสอบมีแนวโน้มคล้ายกับความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงโค้งงอ



รูปที่ 5 ความแข็งแรงกระแทกที่สภาวะต่างๆ กรณีไม่เติมสารประสาน



รูปที่ 6 ความแข็งแรงกระแทกที่สภาวะต่างๆ กรณีเติมสารประสาน

4.4 ความแข็งผิว (Hardness)

จากการทดสอบความแข็งผิวทั้ง 5 อัตราส่วนที่อุณหภูมิในการขึ้นรูปคือ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส พบว่าวัสดุเชิงประกอบกรณีไม่เติมสารประสานที่อัตราส่วน 50:50 มีความแข็งผิวอยู่ในช่วง 42.283-44.488 ที่อัตราส่วน 60:40 มีความแข็งผิวอยู่ในช่วง 40.236-43.307 ที่อัตราส่วน 70:30 มีความแข็งผิวอยู่ในช่วง 39.213-43.228 ที่อัตราส่วน 80:20 มีความแข็งผิวอยู่ในช่วง 37.559-41.496 ที่อัตราส่วน 90:10 มีความแข็งผิวอยู่ในช่วง 37.402-40.847 ดังแสดงในรูปที่ 7

กรณีเติมสารประสาน พบว่า ที่อัตราส่วน 50:50 มีความแข็งผิวอยู่ในช่วง 42.835-47.008 ที่อัตราส่วน 60:40 มีความแข็งผิวอยู่ในช่วง 41.102-44.803 ที่อัตราส่วน 70:30 มีความแข็งผิวอยู่ในช่วง 39.370-43.858 ที่อัตราส่วน 80:20 มีความแข็งผิวอยู่ในช่วง 38.898-43.543 ที่อัตราส่วน 90:10 มีความแข็งผิวอยู่ในช่วง 38.661-40.630 ดังแสดงในรูปที่ 8

จากผลการทดสอบค่าความแข็งผิว แนวโน้มของค่าความแข็งผิวจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนของผงไม้อูคาลิปตัสสูงขึ้นในทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ทั้งกรณีที่ไม่เติมและไม่เติมสารประสาน เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิพบว่าที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งสูงกว่าที่อุณหภูมิ 160 และ 200 องศาเซลเซียสในทุกอัตราส่วนที่ทำการทดลอง

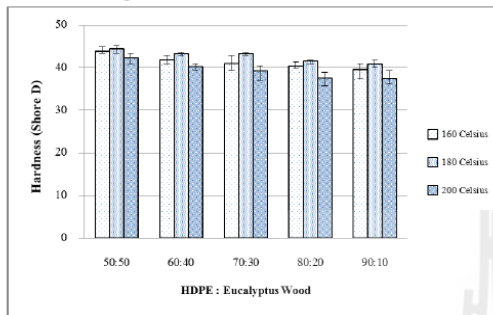
และเมื่อพิจารณาผลของการเติมและไม่เติมสารประสานพบว่า การเติมสารประสานนั้นค่าของความแข็งผิวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกอัตราส่วนและทุก

AMM-2001

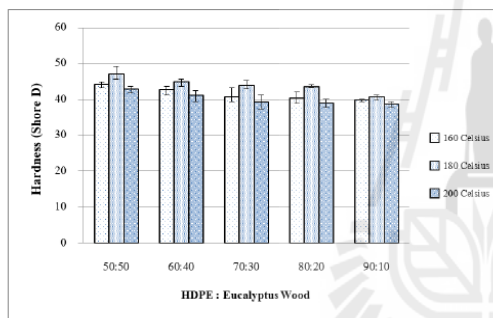
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27
16-18 ตุลาคม 2556 พัทยา จังหวัดชลบุรี



อุณหภูมิที่ทำการทดลอง แต่ค่าของความแข็งระหว่าง
การเติมและไม่เติมสารประสานมีค่าแตกต่างกันอย่าง
ไม่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 7 ความแข็งที่สภาวะต่างๆ กรณีไม่เติมสาร
ประสาน



รูปที่ 8 ความแข็งที่สภาวะต่างๆ กรณีเติมสารประสาน

5. สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบวัสดุเชิงประกอบจากยูคา
ลิปตัสและพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงพบว่าที่
อัตราส่วน 90:10 อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสมีค่า
ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ และค่าความ
แข็งแรงกระแทกสูงสุด เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะ
ช่วยให้พอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงหลอมละลาย
ได้ง่ายและสามารถรวมตัวกับผงไม้และสารประสานได้
ดีขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิที่สูงเกินไปจากการทดลองคือ
200 องศาเซลเซียส ก็จะทำให้สมบัติต่างๆ ลดลง
เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบนั้นเกิดการเสื่อมสภาพ
และที่อัตราส่วน 90:10 มีค่าความแข็งแรงดึง
ความแข็งแรงโค้งงอ และค่าความแข็งแรงกระแทก
สูงสุด เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบหรือพอลิเมอร์ที่
ผสมสารตัวเติมของแข็ง (Filled polymers) นั้น เส้นใย
หรือสารตัวเติมมีความแข็งหรือค่ามอดูลัสสูงกว่าพอลิ
เมอร์เมทริกซ์ เมื่อวัสดุได้รับแรงจะมีการเปลี่ยนขนาด

หรือความเครียด (Strain) ในส่วนของเส้นใยหรือสาร
ตัวเติมน้อยกว่าเกิดในเมทริกซ์ ทำให้เกิดช่องว่างที่
บริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุภาคหรืออินเตอร์เฟส
(Interfaces) ซึ่งเป็นจุดริเริ่มของการแตกหักหรือเสีย
สภาพ นอกจากนี้เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหรือสารตัว
เติม จะทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของวัสดุภาคเมทริกซ์
มีรอยต่อวัสดุภาคหรืออินเตอร์เฟสที่ไม่แข็งแรงเพิ่มม
ากขึ้น เป็นผลให้ค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ
และค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลง

ส่วนผลของความแข็งผิวพบว่าที่อัตราส่วน 50:50
อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสมีค่าความแข็งผิวสูงสุด
เนื่องจากไม่มีความแข็งสูง เมื่อผสมลงไปวัสดุเชิง
ประกอบจะทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งสูงขึ้น
สามารถทนแรงกดได้ดีขึ้น ส่งผลให้มีค่าความแข็งผิว
เพิ่มมากขึ้น

ส่วนการผสมสารประสานลงไปจะทำให้สมบัติ
ต่างๆ ของวัสดุเชิงประกอบสูงกว่าที่ไม่ได้เติมสาร
ประสาน เนื่องจากสารประสานจะช่วยปรับปรุงการ
ยึดเกาะกันระหว่างพลาสติกและผงซีลี้อยู่ ทำให้เกิด
การกระจายตัวของผงไม้ในพลาสติกได้ดี สารประสาน
ที่ใช้ คือ high density polyethylene grafted maleic
anhydride

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคุณเปาณิเสรา รัตนปัญญาโชติ ผู้จัดการ
ฝ่ายการตลาด บริษัท Du Pont (Thailand) Limited
และบริษัททวงศ์วานิช วัสดุฯ จำกัด ที่ได้สนับสนุน
วัสดุดิบในการทำวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปิ่นสุภา ปิติรักษ์สกุล(2551).คอมโพสิตไม้พลาสติก
วัสดุใหม่สำหรับงานก่อสร้าง.วารสารรวมคำแห่งฉบับ
วิศวกรรม.หน้า 20-25.
- [2] ณัฐรัชฎาภา ชนวิวัฒนาศิริกุล(2554).การปรับปรุง
ความแข็งแรงของไม้พลาสติกจากไม้ปาล์ม.วิทยานิ
พนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาห
การและระบบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

AMM-2001

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27
16-18 ตุลาคม 2556 พัทยา จังหวัดชลบุรี



- [3] ASTM D683. Committee on standard. Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic(Metric). *Philadephia : American Society for Testing and Materials*, 1993
- [4] ASTM D790. Committee on standard. Standard Test Methods for Flexural properties of Unreinforced and Reinforced Plastic and Electrical Insulating Materials. *Philadephia : American Society for Testing and Materials*, 1993
- [5] ASTM D256. Committee on standard. Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastic and Electrical Insulating Materials. *Philadephia : American Society for Testing and Materials*, 1993
- [6] ASTM D785. Committee on standard. Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Plastic and Electrical Insulating Materials. *Philadephia : American Society for Testing and Materials*, 1993
- [7] George,J.et.al.(1994).Mechanical and visco elastic properties of shot pineapple fiber reinforced low-density polyethylene composite, *Polymer science recent advances*,(Bharwaj,I.Sed.) *India:Allied publisher limited*.
- [8] อาชาไนย บัวศรีณัฐวุฒิ,ชัยยุตต์ กฤษฐา,ชนะวัฒน์ นิตาชล,ชลาชนเดชะ และ อัญชลี อ่วมพันธ์เจริญ (2550).การเตรียมวัสดุเสริมองค์ประกอบของพอลิโพลีเอทิลีนกับผงซีลี้อย. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 .กรุงเทพฯ*
- [9] Xian,X.J.et.al(1993).Mechanical behavior and microstructure of nature plant fiber reinforced composite material.*Proc. int. conf. comos. master. 2:858-863*
- [10] Rodeney,J.S.et.al(1992).Composite materials from recycled multilayer polypropylene bottles and wood fiber. *American chemical society.232-240*
- [11] Yam,K.L.et.al.(1990).Wood fiber from compounding wood fibers with recycled HDPE. *Polym.eng.sci.30(11):693-700*
- [12] Raj,R.G.et.al(1989).Use of wood fiber as a filter in polyethylene: study on mechanical properties.*Plastic and rubber processing and application 11.215-221*
- [13] Woodharms,T.t.et.al(1984).Wood fiber as reinforcing filter in polyethylene :study on mechanical properties. *Polym.eng.sci.24(15):77-81*

ประวัติผู้เขียน

นายจกาจ จบนุช เกิดเมื่อวันที่ 13 ธันวาคม พ.ศ. 2531 ที่อำเภอปะคำ จังหวัดบุรีรัมย์ บิดา
ชื่อนายกุมาร จบนุช มารดาชื่อนางหนูเซียง จบนุช

เริ่มศึกษาระดับชั้นประถมที่โรงเรียนอนุบาลปะคำ (บ้านปะคำ) ตั้งแต่ชั้นประถมศึกษา
ปีที่1-6 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร
บัณฑิต (วิศวกรรมอากาศยาน) เกียรตินิยมอันดับ 2 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัด
นครราชสีมา ในปีการศึกษา 2553 และได้สมัครเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ณ สถาบันการศึกษาเดิม

ระหว่างศึกษาปริญญาโท ได้เป็นผู้สอนรายวิชาปฏิบัติการระดับปริญญาตรีของสาขาวิชา
วิศวกรรมเครื่องกล จำนวน 6 รายวิชา ได้แก่

1. ปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล 1 และ 2
2. ปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์ 2
3. ปฏิบัติการวิศวกรรมอากาศยาน 1
4. ปฏิบัติการวิศวกรรมการผลิต 2
5. วิชาเขียนแบบวิศวกรรม 1

ผลงานวิจัย : ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล
แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27 เรื่อง “การศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและ
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง” ระหว่างวันที่ 16-18 ตุลาคม พ.ศ. 2556 ณ โรงแรมดุสิตธานี
พัทยา จังหวัดชลบุรี ดังแสดงในภาคผนวก ก.

ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งวิศวกรส่วนการผลิต ที่บริษัท บ็อบ ออโตโมทีฟ ประเทศไทย
จำกัด