

อกินันทนาการ



สำนักหอสมุด

ผลของการใช้สารคู่ควบไซเลน และสารช่วยผสมชนิดมาเลอิกแอนไฮดรายด์  
กราฟต์พอลิพรอพิลีน ที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน  
โดยใช้เส้นใยชานอ้อยเป็นส่วนเสริมแรง

EFFECTS OF SILANE AND MALEIC ANHYDRIDE GRAFTED  
POLYPROPYLENE COUPLING AGENTS ON THE PROPERTIES OF  
COMPOSITES FROM POLYPROPYLENE USING SUGAR BAGASSE  
REINFORCEMENT

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

วันลงทะเบียน..... 15 ต.ย. 2555

เลขทะเบียน..... 1.5370939

เลขเรียกหนังสือ..... 21 TA

นางสาวพัชราภรณ์ พูลยอด รหัส 49364691

นายอภินันท์ ทัญพัก รหัส 49364806

418.9

06

พ518ผ

2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ปีการศึกษา 2552

ชื่อหัวข้อโครงการ	ผลของการใช้สารคู่ควบไซเลน และสารช่วยผสมชนิดมาเลอิกแอนไฮดรายด์ กราฟต์พอลิพรอพิลีน ที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน โดยใช้เส้นใยชานอ้อยเป็นส่วนเสริมแรง
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวพัชราภรณ์ พูลยอด รหัส 49364691 นายอภิรักษ์ ทัญพัก รหัส 49364806
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2552

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำเส้นใยชานอ้อยซึ่งเป็นทรัพยากรจากธรรมชาติที่มีในประเทศไทยมาเป็นวัสดุเสริมแรงให้กับพอลิพรอพิลีน โดยการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจะใช้เส้นใยชานอ้อยที่ปริมาณ 5% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ซึ่งมีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อยด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP ในปริมาณต่างๆ เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต จากการศึกษาพบว่า การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยชานอ้อยโดยสารคู่ควบ และสารช่วยผสม ทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยชานอ้อยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว เนื่องจากเมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยทำให้ประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์และเส้นใยดีขึ้น ด้านทานการเสีรูหรือการเลื่อนหลุดของสายโซ่โมเลกุลเมื่อได้รับแรงมากขึ้น โดยสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตเพิ่มขึ้นที่ปริมาณสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP ที่ปริมาณ 1% โดยน้ำหนักของเส้นใยชานอ้อยและสมบัติเชิงกลเริ่มลดลง เมื่อปริมาณของสารคู่ควบและสารช่วยผสม มีปริมาณที่ 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยชานอ้อย พบว่าสมบัติเชิงกลโดยรวมของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ให้ผลที่ดีกว่าสารช่วยผสม MAPP จากผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FTIR ของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 พบอินฟราเรดสเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันซิลอกเซน (Si-OH) และหมู่ฟังก์ชันของพอลิซิลอกเซน (Si-O-Si) ส่วนสารช่วยผสม MAPP นั้นพบอินฟราเรดสเปกตรัมของหมู่คาร์บอนิล (C=O)

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของอาจารย์ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์ ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่ามาเป็นที่ปรึกษา และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่ง พร้อมทั้งให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำโครงการฉบับนี้ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดีเยี่ยม ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์นพวรรณ โม้ทอง อาจารย์ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์ อาจารย์ชูลิพย์ ป่าไร่ และอาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็น อาจารย์สอนโครงการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงการนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และอบรมสั่งสอนให้ผู้จัดทำเป็นคนที่ดีแก่สังคม

ขอขอบคุณภาควิชากรรมวัสดุ ที่อนุเคราะห์ให้ใช้ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ อุปกรณ์ ตลอดจนเครื่องจักรต่างๆ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประเทือง โมรราราย ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องจักรต่างๆ อย่างใกล้ชิดและเป็นกันเอง ตลอดจนปฏิบัติงานได้สำเร็จเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำลังใจ และคอยให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้าน อย่างดีที่สุดเสมอมา จนทำโครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากโครงการนี้ ทางผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้ดำเนินโครงการ

พัชรภรณ์ พูลยอด

อภินันท์ ทันยุพิก

เมษายน 2554

# สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ.....	ฌ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....	2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....	2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ.....	2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	3
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงการ (Gantt Chart).....	3
บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น.....	4
2.1 พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer Composites).....	4
2.2 เมทริกซ์ (Matrixs).....	4
2.3 ส่วนเสริมแรง (Reinforcements).....	10
2.4 การปรับปรุงสภาพพื้นผิวของเส้นใย.....	17
2.5 ทฤษฎีการยึดเกาะ.....	22
2.6 กระบวนการผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิต.....	23
2.7 การทดสอบ.....	24
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ.....	33
3.1 สารเคมี และวัสดุที่ใช้ในโครงการ.....	33
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในโครงการ.....	35
3.3 การทดลอง.....	37
3.4 การทดสอบ.....	38
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	41
4.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใย ชานอ้อย.....	41
4.2 ผลการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยชาน อ้อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วย ผสม MAPP.....	43
บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ.....	61
5.1 บทสรุป.....	61
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	62
5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา.....	62
เอกสารอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก ก.....	65
ภาคผนวก ข.....	73
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	79

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์คอมโพสิต.....	2
1.2 ขั้นตอน และแผนการดำเนินงาน (Gantt Chart).....	3
2.1 สมบัติของเส้นใยชานอ้อย.....	14
2.2 การวิเคราะห์ทางเคมีของเส้นใยชานอ้อย.....	15
3.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีนชนิด (EL-Pro, P700J) .....	33
3.2 สมบัติของสารช่วยผสม MAPP ชนิด Polybond® 3200.....	34
3.3 สมบัติของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137.....	34
3.4 อัตราส่วนผสมต่างๆ ที่ใช้ในการทำพอลิเมอร์คอมโพสิต.....	37
4.1 สมบัติเชิงกลระหว่างพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์กับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิต.....	41
4.2 ตำแหน่งสเปกตรัมของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการปรับปรุงด้วยสารคู่ควบ.....	45
4.3 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตเมื่อปรับปรุงด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และ สารช่วยผสม MAPP ที่ปริมาณต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่มีการ ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อย.....	59

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ประเภทของวัสดุคอมโพสิต โดยแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรง.....5
2.2	รูปแบบการจัดเรียงตัวของเทอร์โมเซต..... 6
2.3	ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบไม่มีผลึก..... 7
2.4	ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบมีผลึกบางส่วน.....7
2.5	โครงสร้างของหน่วยซ้ำของพอลิพรอพิลีน.....8
2.6	โครงสร้างของไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน.....9
2.7	โครงสร้างของซินดีโอแทกติกพอลิพรอพิลีน.....9
2.8	โครงสร้างของอะแทกติกพอลิพรอพิลีน..... 10
2.9	ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน.....10
2.10	สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส.....11
2.11	หน่วยที่ซ้ำกันของลิกนิน.....13
2.12	ลักษณะของขานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล..... 13
2.13	การเปลี่ยนรูปร่างใน 2 มิติ อย่างง่ายของก้อนคอมโพสิตเนื่องจากผลกระทบจาก กระบวนการไหล..... 16
2.14	โครงสร้างของสารคู่ควบไซเลน.....18
2.15	การเกิดปฏิกิริยาของสารคู่ควบไซเลน.....18
2.16	กลไกการเกิดปฏิกิริยาของสารคู่ควบไซเลน.....19
2.17	โครงสร้างของสารคู่ควบไซเลน โดยแบ่งตามหมู่อินทรีย์ (X).....20
2.18	โครงสร้างของสารคู่ควบไซเลน โดยแบ่งตามสารอินทรีย์ (R).....20
2.19	โครงสร้างและการทำงานของสารช่วยผสมชนิดมาเลอิกแอนไฮดไรด์กราฟต์พอลิพรอพิลีน..21
2.20	ส่วนประกอบของเครื่องฉีดขึ้นรูป..... 23
2.21	กราฟความเค้น-ความเครียด แสดงพฤติกรรมของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง.....26
2.22	การทดสอบ Three Point Bending..... 27
2.23	การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก..... 28
2.24	เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์..... 29
3.1	แผนการดำเนินงานในโครงการ..... 36
3.2	ชิ้นงานที่ทดสอบความแข็งแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638.....39

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิพรอพิลีน 100 : เส้นใยขานอ้อย 5% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ก) ไม่ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย ข) ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ค) ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้สารช่วยผสม MAPP.....	44
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงตึงกับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และ สารช่วยผสม MAPP.....	46
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสของย้งส์กับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และ สารช่วยผสม MAPP.....	49
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านรอยละการดึงยึด ณ จุดขาด กับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และ สารช่วยผสม MAPP.....	51
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอ กับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และ สารช่วยผสม MAPP.....	53
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสโค้งงอ กับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และ สารช่วยผสม MAPP.....	55
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงกระแทกกับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และ สารช่วยผสม MAPP.....	57



## สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ

PP	: Polypropylene
MAPP	: Maleic Anhydride Grafted Polypropylene
ASTM	: American Society for the Testing of Materials
FTIR	: Fourier Transform Infrared Spectroscopy



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงการ

ในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยใช้ไม้และผลิตภัณฑ์ไม้แปรรูปสำหรับการก่อสร้างและการผลิตเฟอร์นิเจอร์ต่างๆเป็นจำนวนมาก และส่งผลให้วัสดุที่ทำจากไม้นั้นมีราคาแพง การพัฒนาผลิตภัณฑ์สังเคราะห์ลักษณะคล้ายไม้ เป็นแนวทางที่ช่วยลดการใช้ไม้วิธีหนึ่ง ได้แก่การทำไม้จากวัสดุที่มาจากพอลิเมอร์คอมโพสิต (Wood Polymer Composites) เพื่อทดแทนไม้จากธรรมชาติ เหตุนี้จึงมีผู้ที่ทำการศึกษา และทดลองสังเคราะห์วัสดุคอมโพสิตที่มีลักษณะคล้ายไม้ ซึ่งประกอบด้วยวัสดุ 2 ชนิดคือพอลิเมอร์เมทริกซ์ เป็นองค์ประกอบหลัก (Polymer Matrixs) และใช้เส้นใยสังเคราะห์หรือเส้นใยธรรมชาติเป็นส่วนเสริมแรง (Reinforcements) ได้มีการประยุกต์ใช้เส้นใยธรรมชาติ เส้นใยเซลลูโลสจากพืช และเส้นใยโปรตีนจากสัตว์ มาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต ซึ่งเป็นการทดแทนเส้นใยสังเคราะห์ที่มีราคาแพง ทำให้อายุการใช้งานของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นส่วนเสริมแรงที่มีราคาถูกลง แต่มีข้อจำกัดในเรื่อง สมบัติของเส้นใย เช่น การทนความร้อนต่ำ สมบัติดูดความชื้น การกระจายตัวของเส้นใย และการยึดติดกับพอลิเมอร์ไม่ดี ดังนั้นจึงมีการแก้ไขโดยใช้สารคู่ควบ (Coupling Agent) สารช่วยผสม (Compatibilizers) หรือการปรับปรุงสภาพผิวเส้นใยโดยการต่อกิ่ง (Grafting) ซึ่งวิธีการใช้สารคู่ควบเป็นที่นิยม เนื่องจากสะดวกทำได้ง่าย โดยการเลือกใช้สารคู่ควบสำหรับระบบพอลิเมอร์คอมโพสิตระบบใดระบบหนึ่งจะต้องเลือกสารคู่ควบที่สามารถเข้ากันได้ดีทั้งเมทริกซ์ และเส้นใยที่ใช้ จึงสามารถปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตให้เหมาะสมกับการใช้งานมากขึ้น (เดือนพร, 2549)

โดยในงานวิจัยได้ทำการศึกษา การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต จากพอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP) และเส้นใยชานอ้อย ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากการผลิตน้ำตาล โดยเน้นเรื่องการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยใช้สารคู่ควบไซเลน (Silane Coupling Agent) ชนิด A-137 และสารช่วยผสมชนิดมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิพรอพิลีน (Maleic Anhydride Grafted Polypropylene : MAPP) ชนิด Polybond<sup>®</sup> 3200 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์ และเส้นใย ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการนำวัสดุที่เหลือทิ้งประเภทเส้นใย ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติกลับมาใช้ให้คุ้มค่า

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยชานอ้อย โดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP ชนิด Polybond® 3200 ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย

1.2.2 ศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต เช่น การวิเคราะห์หุ้่มฟังก์ชัน สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ผลิตได้

## 1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 พอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยชานอ้อย

1.3.2 พอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยชานอ้อยที่ปริมาณ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย ทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยใช้สารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP ชนิด Polybond® 3200

## 1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

สมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยชานอ้อย โดยมีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP ชนิด Polybond® 3200 ที่ปริมาณต่างๆ

## 1.5 ขอบเขตในการดำเนินงานโครงการ

1.5.1 ตัวแปรควบคุม

- กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน นำชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปโดยเครื่องฉีดพลาสติก มาบดกับเครื่องบด แล้วขึ้นรูปโดยเครื่องฉีดพลาสติกอีกครั้ง

- สภาวะในการขึ้นรูปของพอลิเมอร์คอมโพสิต ดังตารางที่ 1.1 โดยใช้ความเร็วรอบที่ 30 รอบ/นาที

ตารางที่ 1.1 สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์คอมโพสิต

สภาวะ	ช่วงป้อนสาร (°C)	ช่วงส่งผ่านสาร (°C)	ช่วงการผสม (°C)	ช่วงแม่พิมพ์ (°C)
อุณหภูมิ	200	200	190	180

### 1.5.2 ตัวแปรที่ศึกษา

- ชนิดของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP ชนิด Polybond®

3200

- ปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP ชนิด Polybond®

3200

### 1.5.3 ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน และ สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต

## 1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

## 1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

กรกฎาคม 2552 - เมษายน 2554

## 1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงการ (Gantt Chart)

ตารางที่ 1.2 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงการ (Gantt Chart)

ลำดับ	การดำเนินงาน	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เม.ย.
1.	จัดทำข้อเสนอโครงการ	←→						
2.	ศึกษาหาข้อมูล		←→					
3.	ทำการทดลอง			←→				
4.	นำชิ้นงานทดสอบเชิงกล				←→			
5.	ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและปัจจัยที่มีอิทธิพล					←→		
6.	สรุปผลการดำเนินงาน						←→	

## บทที่ 2

### หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

#### 2.1 พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer Composites)

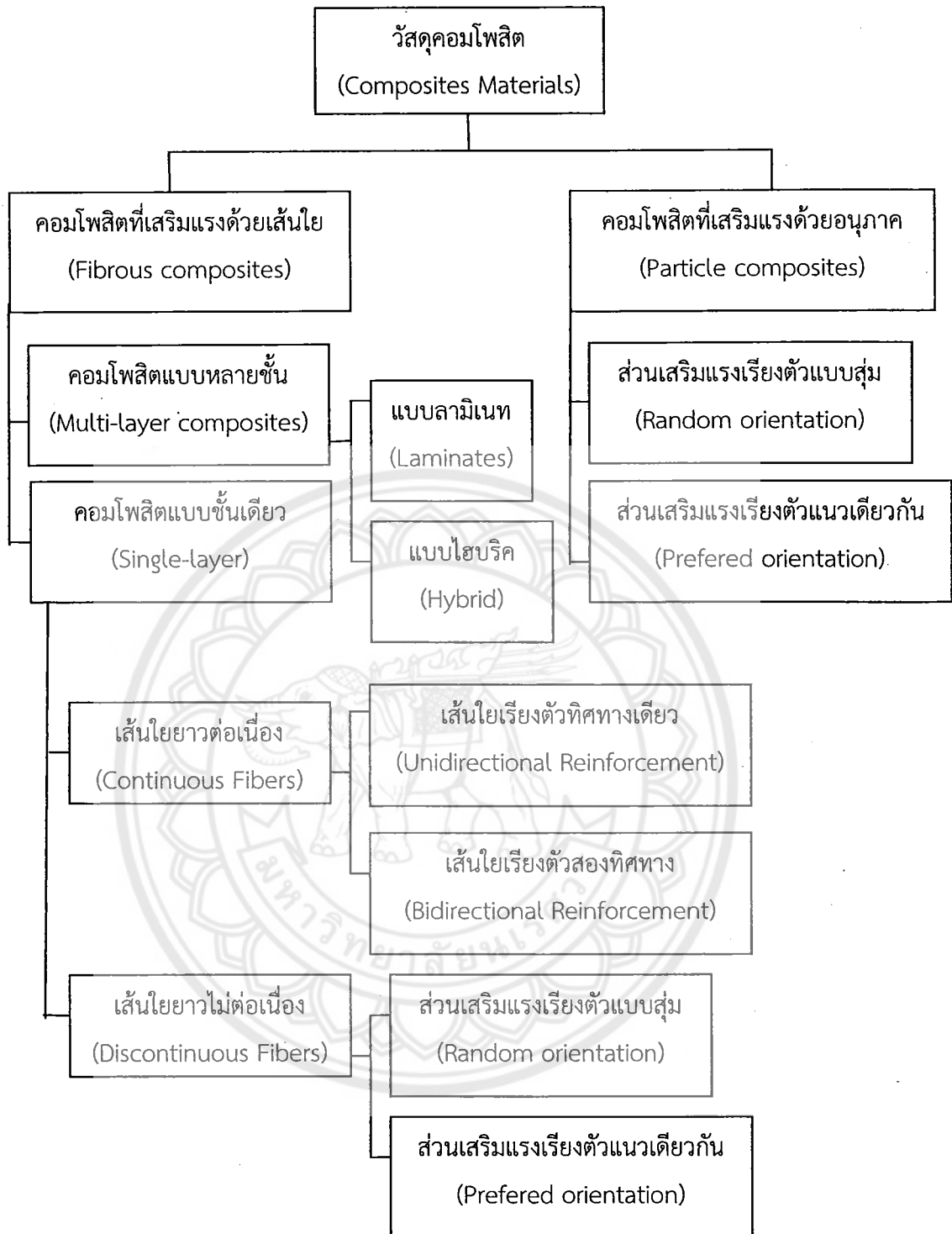
พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer Composite) หมายถึง วัสดุที่ประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อยสองชนิดที่มีสมบัติต่างกัน แต่เมื่อผสมกันเป็นพอลิเมอร์คอมโพสิตแล้วจะมีความแข็งแรงมากกว่าแต่ละองค์ประกอบย่อย พอลิเมอร์คอมโพสิตจะประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นเมทริกซ์ (Matrix) ซึ่งส่วนนี้จะป็นองค์ประกอบหลักของคอมโพสิต จัดเป็นส่วนที่มีความต่อเนื่อง โดยเมทริกซ์ที่นิยมใช้ ได้แก่ พอลิเอทิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene) อีพอกซี (Epoxy) ฟีนอลิก (Phenolics) พอลิยูรีเทน (Polyurethanes) และพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester) เป็นต้น และส่วนที่เป็นส่วนเสริมแรง (Reinforcements) จะเป็นส่วนที่ช่วยปรับปรุงสมบัติในเรื่องความแข็งแรง ซึ่งส่วนเสริมแรงอาจมีลักษณะเป็นแผ่น อนุภาค เล็กๆ หรือเส้นใย ส่วนเสริมแรงที่นิยมใช้ ได้แก่ เส้นใยที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น เส้นใยแก้ว (Glass Fibers) เส้นใยคาร์บอน (Carbon Fibers) เส้นใยเคฟลาร์ (Kevlar Fibers) และเส้นใยที่ได้จากธรรมชาติ (Natural Fibers) เช่น เส้นใยปอกระเจา เส้นใยป่านศรนารายณ์ เส้นใยจากชานอ้อย ฟางข้าว และเส้นใยไม้ เป็นต้น สามารถแบ่งประเภทของวัสดุคอมโพสิตตามลักษณะของส่วนเสริมแรง ได้ดังรูปที่ 2.1 (ฉิราวุธ และคณะ, 2546)

#### 2.2 เมทริกซ์ (Matrix)

เมทริกซ์เป็นส่วนที่ช่วยห่อหุ้ม และยึดส่วนเสริมแรงเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งโดยทั่วไปเมทริกซ์มักมีความเหนียวสูง แต่จะมีความแข็งแรง และมอดุลัสต่ำกว่าส่วนเสริมแรง (ฉิราวุธ และคณะ, 2546)

หน้าที่ของเมทริกซ์ในพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้แก่

- รักษาความเสถียรในรูปร่าง และขนาดของวัสดุคอมโพสิต
- รักษาการกระจายตัวของเส้นใย และแยกไม่ให้เป็นมารวมกัน
- ทำให้วัสดุคอมโพสิตทนต่อการเสียหาย ภายใต้อุณหภูมิหรือแรงที่ระดับหนึ่ง
- สามารถกระจายส่งถ่ายแรงที่ได้รับจากภายนอกไปยังเส้นใยได้
- ช่วยให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อม และมีความเสถียรภาพในตัวกลางต่างๆ



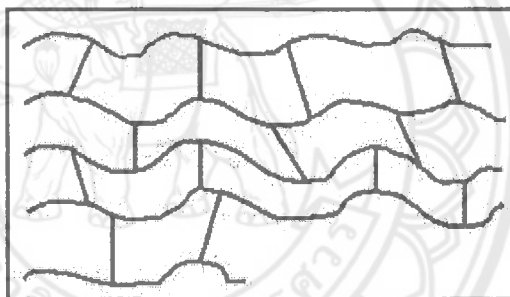
รูปที่ 2.1 ประเภทของวัสดุคอมโพสิต โดยแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรง  
ที่มา : ธีราวุธ และคณะ (2546)

## 2.2.1 พอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท

### 2.2.1.1 เทอร์โมเซต (Thermoset)

พอลิเมอร์กลุ่มนี้เมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิตจะมีรูปทรงถาวร ผลิตผลที่ได้ นำกลับไปหลอมอีกไม่ได้ เพราะวก่อนผ่านกระบวนการเตรียมโครงสร้างของพอลิเมอร์ยังไม่เป็นร่างแหแต่เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อน หรือความดันเข้าไปจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในโครงสร้างเกิดการเชื่อมโยง (Cross Linking) ระหว่างสายโซ่โมเลกุลทำให้มีลักษณะเป็นระบบสามมิติ ดังรูปที่ 2.2 และมีการสร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายโซ่โมเลกุล ทำให้ผลิตผลที่ได้มีความคงทน ไม่หลอมละลาย

การเกิดการเชื่อมโยงทำให้พอลิเมอร์แข็งตัว มีความแข็งแรงสูง มีความต้านทานการละลาย มีเสถียรภาพทางความร้อน และความต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้ดี สมบัติเหล่านี้สัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นของการเกิดการเชื่อมโยงและน้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ ระหว่างการเชื่อมโยง เทอร์โมเซตที่ใช้เป็นเมทริกซ์ส่วนใหญ่ ได้แก่ อีพอกซี พอลิเอสเทอร์ และ ไวนิลเอสเทอร์ เป็นต้น (ถิราวุธ และคณะ, 2546)

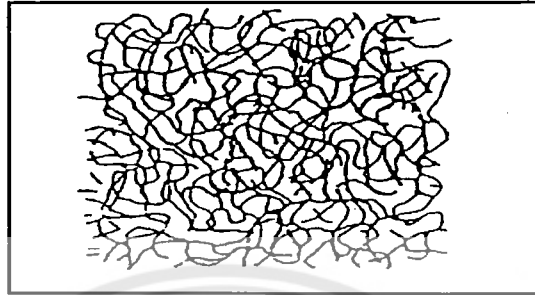


รูปที่ 2.2 รูปแบบการจัดเรียงตัวของเทอร์โมเซต  
ที่มา : ถิราวุธ และคณะ (2546)

### 2.2.1.2 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

เทอร์โมพลาสติกจะละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด แต่เมื่อถูกความร้อนสามารถหลอมตัวได้ และมีสมบัติเมื่อเย็นลงก็จะแข็งตัวสามารถทำให้หลอม และแข็งตัวได้ในหลายๆ ครั้ง โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเทอร์โมพลาสติกอสัณฐาน (Amorphous Thermoplastic) และกลุ่มเทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกในบางส่วน (Semi-Crystalline Thermoplastic) ซึ่งสมบัติของเทอร์โมพลาสติกจะขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดผลึก สัณฐานวิทยา และการจัดเรียงตัวของผลึก (ถิราวุธ และคณะ, 2546)

- กลุ่มเทอร์โมพลาสติกอสัญฐาน (Amorphous Thermoplastic)  
ประกอบด้วยสายโซ่โมเลกุลเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ซึ่งสายโซ่โมเลกุลจะอยู่ห่างกัน ทำให้พลาสติกชนิดนี้มีความแข็งแรงน้อย ทนความร้อนได้ต่ำ เปลี่ยนแปลงขนาดได้น้อย และมีความใส เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิสไตรีน และพอลิคาร์บอเนต เป็นต้น ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบไม่มีผลึก

ที่มา : ธีราวุธ และคณะ (2546)

- กลุ่มเทอร์โมพลาสติกแบบมีผลึกบางส่วน (Semi-Crystalline Thermoplastic)

จะมีสายโซ่โมเลกุลบางส่วนที่มีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ เรียกว่า ส่วนที่เป็นผลึก จึงทำให้พลาสติกชนิดนี้ มีความแข็งแรง ทนต่อสารเคมี น้ำมัน และความร้อนได้ดีกว่า แต่มักจะขุ่น และทึบแสง เช่น พอลิพรอพิลีน เป็นต้น ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบมีผลึกบางส่วน

ที่มา : ธีราวุธ และคณะ (2546)

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้พอลิพรอพิลีนเป็นเมทริกซ์ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ในกลุ่มเทอร์โมพลาสติก แบบมีผลึกบางส่วน



## 2.2.2 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene: PP)

พอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก ที่มีโครงสร้างประกอบด้วยสายโซ่โมเลกุลหลักของธาตอะตอมคาร์บอน มีหมู่เมทิลยื่นออกมาเป็นกิ่งก้านอยู่ด้านข้างของสายโซ่โมเลกุลหลัก ดังรูปที่ 2.5 มีความเป็นผลึกสูงถึง 70% มีสมบัติเชิงกลที่ดีมาก มีจุดหลอมเหลวประมาณ 165-175°C ซึ่งเหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิสูง มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.90-0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สมบัติของพอลิพรอพิลีนขึ้นอยู่กับความหนาแน่น น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายน้ำหนักโมเลกุล (เดือนพร, 2549)

สมบัติทั่วไปของพอลิพรอพิลีน

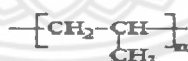
- มีผิวแข็ง ทนทานต่อการขีดข่วนไม่เสียรูปร่าง
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี
- มีความต้านทานต่อสารเคมี
- มีความต้านทานต่อการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี
- สามารถทนอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (Sterilization : 100°C) ได้
- ผสมสีได้ง่ายทั้งลักษณะทึบแสงและโปร่งแสง
- มีความเหนียวที่อุณหภูมิตั้งแต่ 40 °C ถึง -10°C

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิพรอพิลีน ส่วนใหญ่จะนำไปทำเป็นกล่องเครื่องมือ กระเป๋า ปกแฟ้มเอกสาร กล่อง และตลับเครื่องสำอาง เป็นต้น

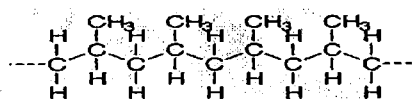
พอลิพรอพิลีนสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลบนสายโซ่โมเลกุลหลัก ได้แก่



ก)



ข)



ค)

รูปที่ 2.5 โครงสร้างของหน่วยซ้ำของพอลิพรอพิลีน

ก) มอนอเมอร์

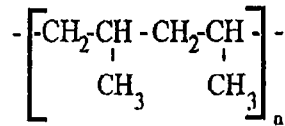
ข) พอลิเมอร์พอลิพรอพิลีน

ค) หน่วยซ้ำของพอลิพรอพิลีน

ที่มา : เดือนพร (2549)

### 2.2.2.1 ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน (Isotactic Polypropylene)

เป็นโครงสร้างที่มีหมู่เมทิล ยึดเกาะกับสายโซ่โมเลกุลหลักอย่างสม่ำเสมอในลักษณะเหมือนกัน และต่อซ้่าๆกันไป โดยเกาะอยู่ด้านใดด้านหนึ่งเพียงด้านเดียวของสายโซ่โมเลกุลหลัก ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิพรอพิลีนจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่น ด้วยเหตุนี้ทำให้มีปริมาณผลึกที่สูง โครงสร้างแบบนี้จึงมีความแข็งแรงมากที่สุด

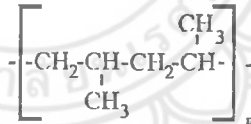


รูปที่ 2.6 โครงสร้างของไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน

ที่มา : เดือนพร (2549)

### 2.2.2.2 ซินดิโอแทกติกพอลิพรอพิลีน (Syndiotactic Polypropylene)

เป็นโครงสร้างที่มีหมู่เมทิล ยึดเกาะกับสายโซ่โมเลกุลหลักในลักษณะสลับตำแหน่งซ้่าๆกันไปมาอย่างเป็นระเบียบ มีความสม่ำเสมอและต่อซ้่าๆ กันตลอดทั้งสายโซ่โมเลกุล โดยจะยึดเกาะสลับกันทั้งด้านบน และด้านล่างของสายโซ่โมเลกุลหลัก ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิพรอพิลีนจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นรองลงมาจากไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน ทำให้มีปริมาณผลึกปานกลาง โครงสร้างแบบนี้จึงมีความแข็งแรงเป็นลำดับสอง

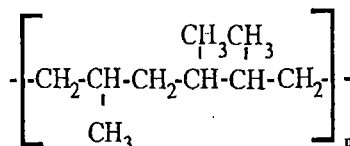


รูปที่ 2.7 โครงสร้างของซินดิโอแทกติกพอลิพรอพิลีน

ที่มา : เดือนพร (2549)

### 2.2.2.3 อะแทกติกพอลิพรอพิลีน (Atactic Polypropylene)

เป็นโครงสร้างที่หมู่เมทิล ยึดเกาะกับสายโซ่โมเลกุลหลักอยู่ทั้ง 2 ด้าน ในลักษณะที่ไม่เป็นระเบียบ ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิพรอพิลีนจัดเรียงตัวกันได้ไม่แน่น ทำให้มีปริมาณผลึกน้อย ส่วนใหญ่จะเป็นอสัณฐาน โครงสร้างแบบนี้จึงมีความแข็งแรงต่ำที่สุด



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของอะแทกติกพอลิพรอพิลีน

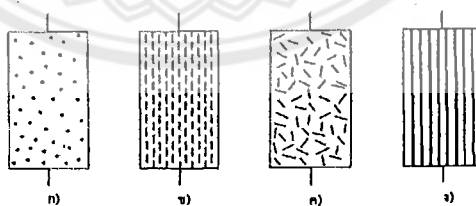
ที่มา : เดือนพร (2549)

### 2.3 ส่วนเสริมแรง (Reinforcements)

ส่วนเสริมแรงมีลักษณะได้หลายรูปแบบ ดังรูปที่ 2.9 ส่วนเสริมแรงที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibers) มีทั้งเส้นใยยาว และเส้นใยสั้น เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยเคฟลาร์หรือเส้นใยธรรมชาติต่างๆ (ถิราวุธ และคณะ, 2546)

สมบัติของเส้นใยที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นส่วนเสริมแรง ควรมีลักษณะดังนี้

- เส้นใยควรมีโมดูลัสของยังสูง เพื่อประสิทธิภาพในการเสริมแรง
- เส้นใยควรมีความแข็งแรงสูง
- ความแข็งแรงของเส้นใยแต่ละเส้นใยไม่ควรแตกต่างกันมากนัก
- เส้นใยควรเสถียร ขณะจัดเก็บและขึ้นรูป
- ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง และพื้นผิวของเส้นใย ควรมีลักษณะเหมือนกัน



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน

- ก) ส่วนเสริมแรงเป็นอนุภาค จัดเรียงตัวแบบสุ่ม
- ข) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้น จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน
- ค) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้น จัดเรียงตัวแบบสุ่ม
- ง) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยยาว จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน

ที่มา : ถิราวุธ และคณะ (2546)

ปัจจัยของเส้นใย ที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิตได้แก่

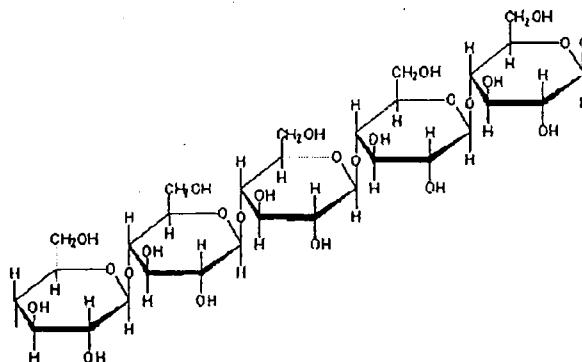
- เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใย
- ความยาวของเส้นใย
- ปริมาตรของเส้นใย
- ลักษณะรูปร่างของเส้นใย
- การจัดเรียงตัวของเส้นใย

### 2.3.1 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers)

เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers) เป็นเส้นใยที่หาได้ง่าย นำกลับมาใช้ใหม่ได้ ราคาถูก ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ไม่เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ตัวเส้นใยธรรมชาติเกิดการเสียดสีน้อยกว่า และสมบัติเฉพาะตัวดีกว่าเมื่อเทียบกับเส้นใยสังเคราะห์ จึงทำให้เป็นที่นิยมใช้ในการนำมาเป็นส่วนเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต (เดือนพร, 2549) โดยในทางวิจัยนี้เลือกใช้เส้นใยชานอ้อย มาทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ จะประกอบไปด้วย

#### 2.3.1.1 เซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides) เชิงเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆกันมีสูตรโมเลกุลทั่วไป คือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  เป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืช โดยพบร่วมกับ ลิกนิน เพนโตแซนกับแทนนิน ไขมัน สารที่ทำให้เกิดสี เป็นต้น เซลลูโลสมีโมเลกุลยาวและแข็ง โดยเซลลูโลสในชานอ้อย มีสายโซ่พอลิเมอร์ประมาณ 2000-3000 หน่วย โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ดังรูปที่ 2.10 เซลลูโลสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล ถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสมีมาก และโครงสร้างของเซลลูโลสจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูง อุณหภูมิหลอมตัวสูงมาก มักเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว และมีความสามารถในการละลายต่ำ ซึ่งการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ (เดือนพร, 2549)



รูปที่ 2.10 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส

ที่มา : เดือนพร (2549)

## สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของเซลลูโลส

### - การดูดซับความชื้น

เซลลูโลสมีการดูดหรือคายน้ำและของเหลวอื่นๆ ที่อยู่ในบรรยากาศรอบๆ จนกระทั่งถึงสมดุล ซึ่งสมดุลของปริมาณความชื้นของเซลลูโลสเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศรอบๆ นั้น ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อคุณสมบัติบางประการ เช่น ความทนแรงดึง และสมบัติการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เมื่อมีความชื้นสูงขึ้น เป็นต้น

- การละลาย และความหนืดเซลลูโลสไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในกรดเข้มข้น เช่น กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 72% กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40% และกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 85% เป็นต้น เซลลูโลสเกิด ไฮโดรไลซิส อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้อง แต่ปฏิกิริยาหยุดที่อุณหภูมิต่ำ และความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของเซลลูโลส

- ความหนาแน่นของเซลลูโลสที่เป็นเส้นใยเดี่ยวมีค่าไม่แน่นอน ค่าเฉลี่ยของเส้นใยเซลลูโลสจะขึ้นอยู่กับแหล่งที่มา และอาจเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการปรับปรุงทางเคมี

### 2.3.1.2 เฮมิเซลลูโลส

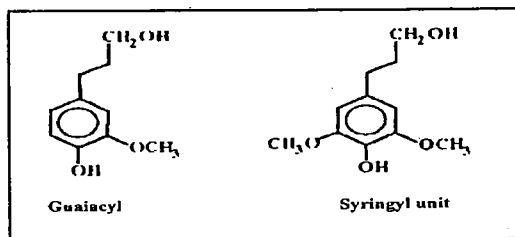
เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่ง ซึ่งคล้ายเซลลูโลสแต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนส ไซโลส อะราบิโนส รวมทั้งกรดกลูคูโรนิก และกาแลกทูโรนิก เป็นต้น มีสูตรโมเลกุลคือ  $(C_6H_{12}O_5)_{2n}$  สามารถละลายน้ำได้ (เดื่อนพร, 2549)

### 2.3.1.2 เพนโตแซน

เพนโตแซนเป็นรูปแบบหนึ่งของเฮมิเซลลูโลส สามารถที่จะละลายน้ำได้ เฮมิเซลลูโลส ประกอบด้วยหน่วยน้ำตาลเพนโตสมากกว่ากลูโคส ที่มีค่าตึกรึต่ำกว่าพอลิเมอร์และเซลลูโลส โดยมีค่าประมาณ 40 หน่วย เมื่อวิเคราะห์เพนโตแซน จะได้ไซโลส (Xylose) อะราบิโนส (Arabinose) และกรดยูโรนิก (Uronic Acid) แต่ถ้าต้มด้วยกรดเกลือเพนโตแซน จะเปลี่ยนเป็นเฟอฟูรัล (Furfural) (เดื่อนพร, 2549)

### 2.3.1.4 ลิกนิน

ลิกนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อน มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส มีสูตรโมเลกุลคือ  $C_{49}H_{52}O_{14}$  โครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนอะโรมาติกขนาดใหญ่ ประกอบด้วยวงเบนซิน และหมู่ฟีนอลลิกนิน ไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยึดหยุ่น (เดื่อนพร, 2549)



รูปที่ 2.11 หน่วยที่ซ้ำกันของลิกนิน

ที่มา : เดือนพร (2549)

### 2.3.2 ชานอ้อย (Sugar Bagasse)

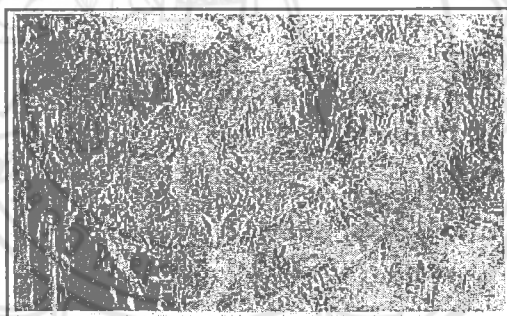
ชื่อวิทยาศาสตร์ : - *Saccharum officinarum* Linn.

- *Saccharum sinensis* Roxb.

วงศ์ : Poaceae (Gramineae)

ชื่อสามัญ : Sugar-cane

ชื่อทั่วไป : กะทิ (กระเหรียง-แม่ฮ่องสอน), อ้อยขม, อ้อยดำ, อ้อยแดง (ภาคกลาง),  
อำโป (เขมร), กำเจ็ย, ชุงเจ็ย (จีน) (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2552)



รูปที่ 2.12 ลักษณะของเส้นใยชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล

ที่มา : เดือนพร (2549)

เส้นใยชานอ้อยเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากเกษตรกรรม โดยการบดต้นอ้อยในลูกกลิ้ง เพื่อให้ได้น้ำตาล โดยทั่วไปเส้นใยชานอ้อยมีสีเหลืองเทาหมองๆ จนถึงสีเหลืองซีด ซึ่งจัดเป็นสารประกอบประเภทพอลิโนเซลลูโลส (สารที่ประกอบด้วยลิกนิน เพนโตแซน และเซลลูโลส) ส่วนประกอบทั่วไปโดยประมาณของเส้นใยชานอ้อย คือ ความชื้น 49% ของแข็งที่ละลายได้ 6% ของแข็งที่ละลายไม่ได้ หรือเส้นใยที่ไม่ผ่านกระบวนการ 45% สมบัติของเส้นใยชานอ้อย ดังตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** สมบัติของเส้นใยชานอ้อย

สมบัติ	เส้นใยชานอ้อย
ความถ่วงจำเพาะ	1.25
ความยาวเส้นใย (mm)	26.00
เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใย (mm)	0.24
ปริมาณน้ำ (%)	12.00
ปริมาณการดูดซับน้ำ (%)	78.50
ค่าการทนแรงดึง ( $N/mm^2$ )	200.00
มอดุลัสการยืดหยุ่น ( $kN/mm^2$ )	17.00
ความแข็งแรงของพันธะ (kJ/mol)	0.90

ที่มา : ธีราวุธ และคณะ (2546)

### 2.3.2.1 ส่วนประกอบทางฟิสิกส์และทางเคมีของเส้นใยชานอ้อย

ชานอ้อยประกอบด้วย 2 ส่วน ที่แยกกันอย่างเห็นได้ชัด คือ ส่วนแรกเป็นชั้นผนังหนา และค่อนข้างยาว ซึ่งเป็นส่วนของเส้นใยที่ได้จากเปลือกนอกและมัดของท่อลำเลียงที่กระจายอยู่ภายในลำต้น ส่วนที่สองเป็นส่วนที่มีความสำคัญที่ได้จากเซลล์ที่มีผนังบางของพาราเอนไคมาของลำต้นซึ่งทำหน้าที่เก็บน้ำตาล ส่วนประกอบทั้งหมดของเส้นใยชานอ้อยในส่วนของเส้นใยและแกนกลาง ดังตารางที่ 2.2

เส้นใยชานอ้อยมีลักษณะคล้ายกับเส้นใยของฝ้ายและขนสัตว์ คือ มีลักษณะโครงสร้างขดเป็นวง มีความยาวโดยเฉลี่ยประมาณ 1.0-4.0 มิลลิเมตร และกว้าง 0.04-0.1 มิลลิเมตร ลักษณะของเส้นใยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของอ้อย (ธีราวุธ และคณะ, 2546)

**ตารางที่ 2.2** การวิเคราะห์ทางเคมีของเส้นใยชานอ้อย

ส่วนประกอบ	ชานอ้อย		เส้นใย	แกนกลาง
	ผนังหนา	ผนังบาง		
เซลลูโลส (Cellulose)	40.00	46.00	56.60	56.40
กัม (Gums: Araaban, Galactan, Xylan)	24.40	24.50	26.11	29.30
โปรตีน (Protein)	1.80			
น้ำตาล (Sugars)				
ซูโครส (Sucrose)	14.00			
กลูโคส (Glucose)	14.00			
กรด (Acids)	0.40			
ไขมัน และแว็กซ์ (Fats and Waxes)	0.60	3.45	2.25	3.55
เถ้า (Ash)	2.40	2.40	1.30	3.02
ลิกนิน (Lignin)	15.00	19.95	19.15	22.30
ซิลิกา (Silica)		2.00	0.46	2.42

ที่มา : ถิราวุธ และคณะ (2546)

การนำมาใช้ เส้นใยชานอ้อยเป็นวัสดุที่สามารถถูกย่อยสลายได้ง่าย ดังนั้นจึงมีการใช้เทคนิคพิเศษในการพัฒนาการเก็บรักษาเส้นใยชานอ้อย วิธีที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ การไล่ความชื้นออกไปประมาณ 50% ของความชื้นที่มีอยู่ และเก็บไว้ที่กลางแจ้งที่อากาศถ่ายเทสะดวก ในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ส่วนมากมักใช้เส้นใยชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิง จากการทดลองพบว่า เส้นใยชานอ้อย 1 กิโลกรัม สามารถให้ความร้อนได้ถึง 1920 กิโลแคลอรี แต่เมื่อเผาเส้นใยชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิง จะเกิดควัน และเขม่ามาก ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ โดยเฉพาะในบริเวณใกล้เคียงกับโรงงาน นอกจากนี้เส้นใยชานอ้อยยังสามารถใช้ผลิตเป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ ได้ในด้านการเกษตรชานอ้อยถูกใช้เป็นปุ๋ยคลุมดิน ใช้เลี้ยงสัตว์ แต่อย่างไรก็ตามยังคงเหลือเส้นใยชานอ้อยในปริมาณมาก จึงได้มีการพัฒนา เส้นใยชานอ้อย เพื่อใช้ในงานลักษณะอื่น โดยเส้นใยชานอ้อยที่ถูกต้องจะใช้เป็นส่วนเสริมแรงในลักษณะเป็น เศษไม้ผสมในคอนกรีต ทำวัสดุก่อสร้าง ใช้แทนไม้และไม้อัดเพื่อผลิตเป็นเครื่องเรือน ผลิตเป็นเยื่อกระดาษ เป็นต้น (สุปราณี, 2549)



### 2.3.3 การจัดเรียงตัวของเส้นใย

การจัดเรียงตัวของเส้นใยซึ่งจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตวัสดุคอมโพสิต ในวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยยาวสามารถควบคุมความยาวของเส้นใยและสามารถคาดเดาสมบัติของคอมโพสิต เช่น ความแข็งเกร็ง (Stiffness) และความแข็งแรง (Strength) ได้ แต่ในทางตรงกันข้าม เมื่อขนาดของเส้นใยสั้นลงในกระบวนการผลิตวัสดุคอมโพสิต จะเกิดการเหนียวทำให้มีการไหลของวัสดุในแม่พิมพ์ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแม่พิมพ์ เมื่อมีความหนา และส่วนประกอบย่อยมากในแม่พิมพ์ฉีดจะทำให้สามารถคาดเดาสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตได้ ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการจัดเรียงตัวของเส้นใย เช่น ลักษณะรูปร่างของเส้นใย สมบัติความหนืดของเมทริกซ์เมื่อมีการเติมเส้นใย การออกแบบแม่พิมพ์ และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ เป็นต้น (เดือนพร, 2549)

การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ ที่เกิดจากกระบวนการไหลของเส้นใยในกระบวนการผลิต ทำให้มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยเกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.13 การเปลี่ยนแปลงของการจัดเรียงตัวของเส้นใยจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต



รูปที่ 2.13 การเปลี่ยนรูปร่างใน 2 มิติ อย่างง่ายของก้อนคอมโพสิตเนื่องจากผลกระทบจากกระบวนการไหล

- ก) การกระจายตัวแบบสุ่ม
- ข) การหมุนของเส้นใยเสริมแรงระหว่างการไหลเนื่องจากแรงเฉือน
- ค) การจัดเรียงตัวของเส้นใยระหว่างการไหลเนื่องจากแรงยึด

ที่มา : ธีราวุธ และคณะ (2546)

## 2.4 การปรับปรุงสภาพพื้นผิวของเส้นใย

ประสิทธิภาพของการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวเส้นใย และเมทริกซ์ เป็นส่วนสำคัญที่จะชี้บอกความสามารถในการนำวัสดุคอมโพสิตไปประยุกต์การใช้งาน ดังนั้นการปรับปรุงของเส้นใยก่อนนำมาผลิตเป็นพอลิเมอร์คอมโพสิต เพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ จึงเป็นที่นิยมในปัจจุบัน โดยวิธีปรับปรุงมีดังนี้

### 2.4.1 วิธีทางกายภาพ (Physical Methods)

การปรับปรุงพื้นผิวทางกายภาพทำได้หลายวิธี เช่น การดึงยืด (Stretching) การรีดกึ่ง (Calendering) การปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้ความร้อน (Thermotreatment) และการพันเส้นใย (Hybrid yarns) วิธีที่ระบุข้างต้นเหล่านี้จะไม่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเปลี่ยนแปลงไป

### 2.4.2 วิธีทางเคมี (Chemical Methods)

เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโครงสร้าง จึงทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีขี้ผึ้งมาก จึงเป็นเหตุให้ไม่สามารถเข้ากันได้ (Incompatibility) กับพอลิเมอร์ที่ไม่มีขี้ผึ้งหรือมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เช่น พอลิพรอพิลีน ความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์กับเส้นใยสามารถปรับปรุงได้โดยการใช้สารคู่ควบ (Coupling Agents) ซึ่งสารคู่ควบจะเป็นตัวกลางเชื่อมวัสดุทั้งสอง (ถิราวุธ และคณะ, 2546)

#### 2.4.2.1 สารคู่ควบ (Coupling Agents)

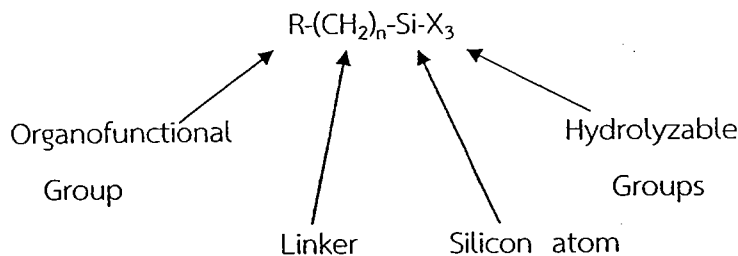
สารคู่ควบ คือ สารที่ช่วยปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์ และเส้นใยทำหน้าที่เหมือนเป็นสะพานเชื่อมระหว่างทั้งสองโมเลกุลไว้ โดยส่วนหนึ่งของโมเลกุลเป็นส่วนที่จะเกิดปฏิกิริยากับเส้นใย และอีกส่วนหนึ่งของโมเลกุลเป็นส่วนที่จะเกิดการรวมตัว หรือทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ได้เป็นอย่างดี เมื่อพื้นผิวเส้นใยได้รับการปรับปรุงด้วยสารคู่ควบปฏิกิริยาจะช่วยลดแรงตึงผิวของเส้นใย หรือเปลี่ยนลักษณะพื้นผิวของเส้นใยที่มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) โดยเป็นไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) ทำให้สามารถเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ และยังช่วยปรับปรุงสมบัติโดยรวมของคอมโพสิตได้ (กนิษฐา, 2546) โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

- Reactive Coupling Agents เป็นการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย โดยใช้สารที่สามารถทำให้เกิดการเชื่อมระหว่างสองเฟส ช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์ และเส้นใย โดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น ซึ่งโมเลกุลของสารคู่ควบปฏิกิริยาจะประกอบด้วยหมู่ที่ว่องไว เช่น หมู่คาร์บอกซิลิก หรือหมู่อีพอกซี

- Non-reactive Coupling Agents เป็นการปรับปรุงพื้นผิวแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์ และเส้นใยโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยทำหน้าที่ลดแรงตึงผิว หรือเปลี่ยนลักษณะพื้นผิวของเส้นใยให้เป็นไฮโดรโฟบิก เพื่อให้เกิดการยึดเหนี่ยวในโครงสร้างโดยการสร้างแรงดึงดูดแบบแวนเดอร์วาลส์หรือเกิดพันธะไฮโดรเจน

- สารคู่ควบไซเลน (Silane Coupling Agent)

จัดเป็นสารคู่ควบที่นิยมใช้กันมานาน ซึ่งมีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของสารคู่ควบไซเลน

ที่มา : ชนิดา (2547)

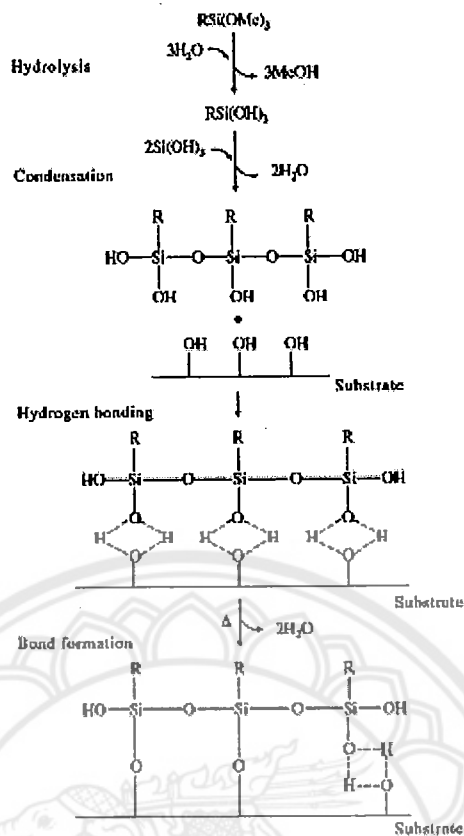
โครงสร้างของสารคู่ควบไซเลนประกอบด้วยซิลิคอน (Si) เป็นจุดศูนย์กลางของโมเลกุลโดยจะจับกับหมู่ของสารอินทรีย์ (R) เช่น หมู่ไวนิล หมู่อะมิโน และหมู่เอพอกซี เป็นต้น โดยจะทำหน้าที่ยึดเกาะกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ และในส่วนของหมู่อนินทรีย์ (X) เช่น เมทอกซี หรือ เอทอกซี จะทำหน้าที่ยึดเกาะกับสารอนินทรีย์ ดังรูป ที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การเกิดปฏิกิริยาของสารคู่ควบไซเลน

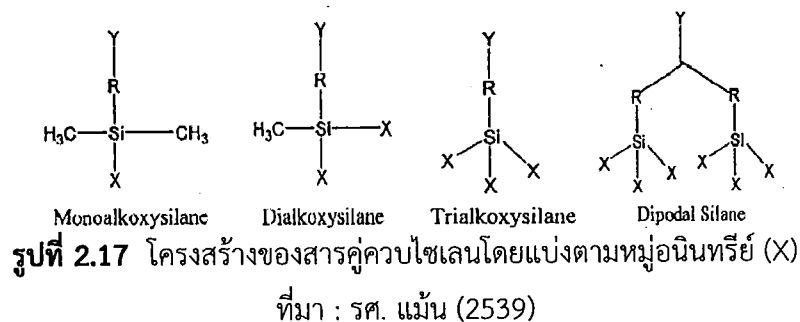
ที่มา : ศิริกาญจน์ (2550)

หมู่อนินทรีย์ (X) จะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยน้ำกลายเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (-SiOH-) โดยจะทำปฏิกิริยากับผิวหน้าของเส้นใย และสารคู่ควบเองเกิดเป็นพันธะระหว่างเส้นใยกับสารคู่ควบ ขณะที่สารอินทรีย์ (R) เกิดปฏิกิริยากับเมทริกซ์ของพอลิเมอร์ประเภทสารอินทรีย์ด้วยพันธะโควาเลนต์ หรือการสร้างโครงร่างแหเชื่อมโยงภายในโครงสร้าง (Interpenetrating Networks) ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่าง สารคู่ควบไซเลน กับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยเซลลูโลสนั้นจะเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะกันกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ ซึ่งการเลือกใช้สารคู่ควบไซเลนสามารถออกแบบพันธะสารอินทรีย์ (R) ให้เหมาะสมกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่แตกต่างกันไป เช่น หมู่ไวนิล หมู่เอพอกซี หมู่อะมิโน หมู่เมอร์แคปแทน เป็นต้น ด้วยเหตุนี้เส้นใย สารคู่ควบ และพอลิเมอร์เมทริกซ์ทั้งหมด จึงกลายเป็นโมเลกุลโควาเลนต์ขนาดใหญ่หนึ่งโมเลกุล โดยอัลคอกซีไซเลน (Alkoxy Silanes, R-Si-OH) จะเกิดพันธะกับหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวเส้นใย ดังรูปที่ 2.16

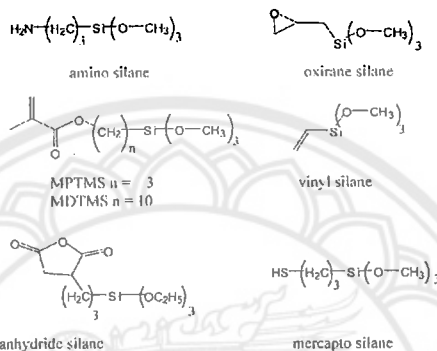


รูปที่ 2.16 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของสารคู่ควบไซเลน  
ที่มา : กนิษฐา (2546)

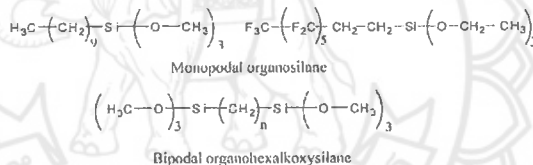
อัลคอกซีไซเลนเกิดขึ้นผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้เกิดหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้าง และสามารถเกิดปฏิกิริยาการควบแน่นต่อกับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยเซลลูโลสได้ โมเลกุลน้ำเป็นผลพลอยได้ซึ่งจะเกิดพันธะโควาเลนต์ขึ้น นอกจากนี้ปฏิกิริยาระหว่างหมู่ซิลานอล (Si-OH) กับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยแล้วยังเกิดโครงสร้างพอลิไซลอกเซน (Si-O-Si) ขึ้นด้วย ซึ่งโครงสร้างนี้จะเชื่อมโยงระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์ให้สามารถยึดเกาะและเข้ากันได้ดียิ่งขึ้นนั่นเอง นอกจากนี้โครงสร้างของสารคู่ควบไซเลน สามารถที่จะแบ่งตามจำนวนพันธะหมู่อินทรีย์ (X) ได้เป็น 4 แบบ คือ โมโนอัลคอกซีไซเลน (Monoalkoxysilane) ไดอัลคอกซีไซเลน (Dialkoxysilane) ไตรอัลคอกซีไซเลน (Trialkoxysilane) และไดโอดอลไซเลน (Dipodal Silane) ดังรูปที่ 2.17



#### Functional Organotrialkoxysilanes (silane coupling agents)



#### Non-functional Organotrialkoxysilanes



รูปที่ 2.18 โครงสร้างของสารคู่ควบไซเลนโดยแบ่งตามสารอินทรีย์ (R)  
ที่มา : รศ. แม้น (2539)

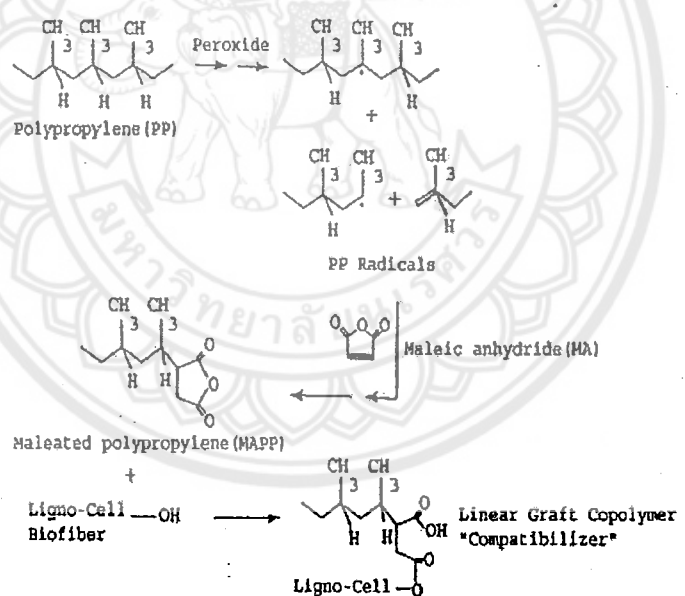
#### 2.4.2.2 สารช่วยผสม (Compatibilizer)

การเติมสารช่วยผสมเป็นอีกวิธีการหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต ซึ่งมีผลให้

- แแรงตึงผิว (Interfacial tension) ของพอลิเมอร์หลอมเหลวมีค่าลดลง ทำให้การกระจายตัวในวัฏภาคดีขึ้น
- เพิ่มแรงยึดเกาะ (Adhesion) ระหว่างผิวสัมผัส ทำให้การถ่ายเทความเค้น (Stress transfer) เกิดได้ดีขึ้น
- ช่วยลดความตึงผิวที่พื้นผิวระหว่างสองวัฏภาค ทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีเสถียรภาพที่เสถียรขณะผ่านกระบวนการแปรรูป

โดยสารช่วยผสมอาจเป็นพอลิเมอร์ร่วมชนิดบล็อกหรือกราฟต์ ซึ่งสามารถแทรกซึมผ่านเข้าไปในวัฏภาคของพอลิเมอร์คอมโพสิต ทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมดีขึ้นใน

การเลือกพอลิเมอร์ร่วม เพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม ต้องคำนึงถึงน้ำหนักโมเลกุลในแต่ละส่วนของพอลิเมอร์ร่วม คือ ถ้าน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ความยาวของสายโซ่สั้น ทำให้การแทรกซึมผ่านไปพอลิเมอร์คอมโพสิตได้น้อย ส่งผลให้การยึดเกาะระหว่างผิวสัมผัสต่ำ แต่ถ้าน้ำหนักโมเลกุลสูงมากเกินไป ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยาก การแทรกซึมผ่านไปพอลิเมอร์คอมโพสิตก็ต่ำเช่นเดียวกัน ในงานวิจัยนี้ใช้ สารช่วยผสม MAPP โครงสร้าง ดังรูปที่ 2.19 เป็นสารช่วยผสม โดยพอลิพรอพิลีนเป็นหนึ่งในพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายแต่เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว ส่งผลให้เมื่อทำการผสมกับวัสดุอื่นที่มีขั้ว มักมีสมบัติด้านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพื้นผิวไม่ดี แต่สามารถที่จะทำการแก้ไขได้โดยการเติมสารอีกชนิดหนึ่งลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติการเข้ากันได้ สารช่วยผสม MAPP เป็นการต่อกิ่งพอลิพรอพิลีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เสถียรแล้ว ทำให้สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ (Physical Chemical) ดีขึ้น โดยการเพิ่มความเป็นขั้วของพอลิพรอพิลีน ทำให้ความเป็นบวกเพิ่มขึ้น และความสามารถในการยึดเกาะเพิ่มขึ้น พบว่ามาเลอิกแอนไฮดรายด์เป็นส่วนที่เกิดการเชื่อมโยง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อน และเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิเมอร์อื่น รวมทั้งสารตัวเติม (Additive) ได้เป็นอย่างดี (รศ. แม้น, 2539)



รูปที่ 2.19 โครงสร้างและการทำงานของสารช่วยผสมชนิดมาเลอิกแอนไฮดรายด์กราฟต์พอลิพรอพิลีน

ที่มา : เดือนพร (2549)

## 2.5 ทฤษฎีการยึดเกาะ

สมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ได้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเส้นใยและเมทริกซ์เท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับผิวสัมผัสของเส้นใยกับเมทริกซ์ด้วย ในพอลิเมอร์คอมโพสิต เมทริกซ์สามารถที่จะยึดเกาะกับเส้นใยได้หลายวิธี กลไกการยึดเกาะหลักแบ่งออกเป็น 5 กลไก ซึ่งอาจเกิดได้อย่างใดอย่างหนึ่งหรืออาจเกิดร่วมกันได้ดังนี้

### 2.5.1 การดูดซับ และการเปียก (Adsorption and Wetting)

เมื่อพื้นผิวสองพื้นผิวที่ไม่มีประจุไฟฟ้าอยู่ใกล้กันมากพอ จะเกิดแรงดึงดูดเชิงกล (Physical attraction) เช่นการเปียก (Wetting) บนพื้นผิวของแข็ง ในกรณีของของแข็งสองชนิดอยู่ใกล้ชิดกันมากถึงระดับจุลภาคหรือระดับอะตอม ความขรุขระของพื้นผิวจะเป็นสิ่งขัดขวางไม่ให้เกิดการยึดเกาะหรือสัมผัส จะมีเพียงบางตำแหน่งเท่านั้นที่จะสามารถสัมผัสกันได้

### 2.5.2 การแพร่เข้าหากัน (Interdiffusion)

เกิดระหว่างสองพื้นผิวที่มีการแพร่โมเลกุลพอลิเมอร์บนพื้นหนึ่งไปยังโครงสร้างของโมเลกุลอีกพื้นผิวหนึ่ง ความแข็งแรงของแรงยึดติดนี้ขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่น และความสามารถในการเคลื่อนที่ และการเกี่ยวพันของสายโซ่พอลิเมอร์

### 2.5.3 แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic attraction)

เกิดขึ้นเมื่อวัสดุสองชนิดที่มีประจุต่างกันมาอยู่ใกล้กัน นั่นคือถ้าพื้นผิวหนึ่งมีประจุรวมเป็นบวก และอีกพื้นผิวหนึ่งมีประจุรวมเป็นลบ เกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุที่ต่างกัน ความแข็งแรงของการยึดติดชนิดนี้ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุ แรงดึงดูดระหว่างประจุหรือไฟฟ้าสถิตย์จะไม่ใช้แรงยึดเกาะหลักระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ในพอลิเมอร์คอมโพสิต

### 2.5.4 พันธะเคมี (Chemical bonding)

เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยมีหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิว และเมทริกซ์มีหมู่ฟังก์ชันเคมีที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมี ได้แก่ พันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ ซึ่งเป็นการยึดเกาะที่แข็งแรง ความแข็งแรงของกลไกการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นอยู่กับจำนวน และชนิดของพันธะที่เกิดขึ้น

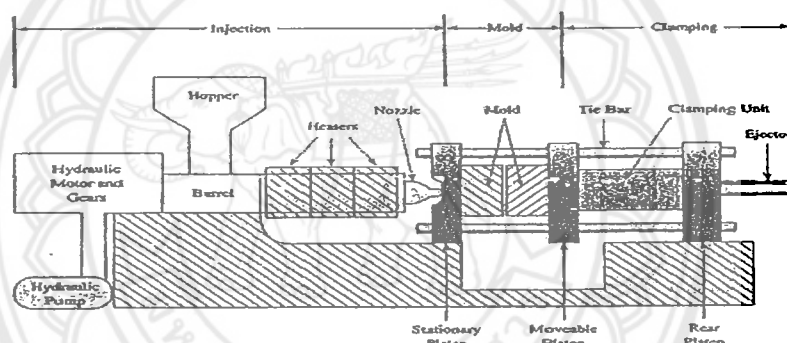
### 2.5.5 การยึดเกาะเชิงกล (Mechanical adhesion)

เกิดขึ้นเมื่อเมทริกซ์กระจายตัวบน เส้นใยในขณะที่เป็นของไหล สามารถที่จะแทรกตัวไปตามพื้นที่ผิวขรุขระของเส้นใย รวมทั้งช่องว่างอื่นๆเมื่อเมทริกซ์แข็งตัว เป็นผลให้เมทริกซ์ถูกล็อกแข็งติดอยู่กับพื้นผิวของเส้นใย ความแข็งแรงของกลไกการยึดเกาะชนิดนี้ ขึ้นอยู่กับความขรุขระของพื้นผิวเส้นใยที่เมทริกซ์แทรกตัวไป ประสิทธิภาพของการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวเส้นใยและ

เมทริกซ์นั้นเป็นส่วนสำคัญที่จะชี้บอกความสามารถในการนำพอลิเมอร์คอมโพสิตไปประยุกต์ใช้งาน เพื่อให้มีความหลากหลาย ดังนั้นการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยก่อนนำมาผลิต มีวิธีการปรับปรุงเส้นใยสองวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะให้ประสิทธิภาพในการยึดเกาะที่แตกต่างกัน (ทฤษฎีการยึดเกาะ, 2552)

## 2.6 กระบวนการผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิต

กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Process) เป็นกระบวนการขึ้นรูปที่มีลักษณะเป็นรอบ ผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีความซับซ้อน ผลิตชิ้นงานปริมาณมากในเวลาอันสั้น ซึ่งเหมาะสมในการขึ้นรูปวัสดุเทอร์โมพลาสติกคอมโพสิต เช่น พอลิพรอพิลีน / เส้นใยแก้วพอลิคาร์บอเนต/เส้นใยแก้ว แต่มีข้อจำกัด เช่น ความยาวของเส้นใยเสริมแรง ปริมาณเส้นใยเสริมแรงสูงสุดที่สามารถผสมได้ การเรียงตัวของเส้นใย ซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยเครื่องฉีดพลาสติก ดังรูปที่ 2.20 ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ ชุดฉีด (Injection Unit) ชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit) และแม่พิมพ์ (Mold)



รูปที่ 2.20 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดขึ้นรูป

ที่มา : สมศักดิ์ (2547)

- ชุดฉีด (Injection Unit) จะทำหน้าที่ดึงพลาสติกเข้าสู่กระบอฉีด เพื่อหลอมเหลวและส่งพลาสติกเหลวไปที่หัวฉีด และทำหน้าที่ในการฉีดโดยใช้ความดันส่งพอลิเมอร์เหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ ซึ่งมีส่วนประกอบพื้นฐานดังนี้ คือ หัวฉีด (Nozzle), สกรู (Screw), กระบอฉีด (Barrel), แผ่นความร้อน (Heater) กรวยเติมพลาสติก (Hopper), กระบอสูบและลูกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic Cylinder and Pistol) และมอเตอร์ขับเคลื่อนสกรู (Diver Moter)

- ชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit) ทำหน้าที่ในการยึดเกาะแม่พิมพ์ทั้งสองส่วน คือ ส่วนเลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ ให้แรงในการปิดล็อกแม่พิมพ์ หล่อเย็นชิ้นงาน และปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

- แม่พิมพ์ (Mold) เป็นตัวที่กำหนดรูปร่างของชิ้นงานที่เราต้องการทดสอบ และเป็นที่รองรับพอลิเมอร์หลอมเหลวที่ถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์



## 2.7 การทดสอบ

### 2.7.1 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties Testing)

#### 2.7.1.1 การทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Testing)

ทำการดึงชิ้นงานทดสอบจนขาดออกจากกัน ในขณะที่เดียวกันจะบันทึกแรงที่ใช้ในการดึง และระยะยืดของชิ้นงานด้วยเครื่องบันทึก การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของชิ้นงานเมื่อได้รับแรงดึง ในความเป็นจริงพลาสติก และอีลาสโตเมอร์ ส่วนใหญ่จะประพฤติตัวตามแบบฮุกเกียน (Hookean's Behavior) เฉพาะเมื่อทำการทดสอบด้วยอัตราเร็วในการยืดตัวต่ำ (อิราวุธ และคณะ, 2546)

ความเค้น (Stress) คือ มีแรงภายนอกมากกระทำโดยแรงภายในของชิ้นงานที่เกิดขึ้นเพื่อต้านทานแรงภายนอกที่มากกระทำจะวัดเป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่ ดังสมการที่ 2.1

ความเครียด (Strain) คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวของชิ้นงานทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากชิ้นงานทดสอบนั้นรับแรงไว้ไม่ไหวต่อความยาวเดิม ซึ่งความเครียดไม่มีหน่วยระบุกำกับไว้ แต่นิยมบอกเป็น เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุ (Elongation) ดังสมการที่ 2.2

มอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus : E) คือ ความสามารถในการต้านทานต่อการสูญเสียรูปร่างของชิ้นงานนั่นเอง ความเค้นเป็นสัดส่วนกับความเครียด ซึ่งอัตราส่วนระหว่างความเค้น และความเครียดนี้เป็นค่าคงที่ ดังสมการที่ 2.3

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

เมื่อ F = แรงสูงสุดที่ใช้ในการดึง (N)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  = ความเค้นเนื่องจากการดึงชิ้นงาน (N/mm<sup>2</sup>, MPa)



(2.2) สำนักหอสมุด

19 ต.ย. 25

15 มิ.ย. 2555

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100$$

เมื่อ  $\varepsilon$  = ร้อยละการดัดยัดของชิ้นงาน ณ จุดขาด (%)

$L$  = ความยาวของชิ้นงาน ณ จุดที่เกิดการแตกหัก (mm) 1.5873939

$L_0$  = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน (mm)

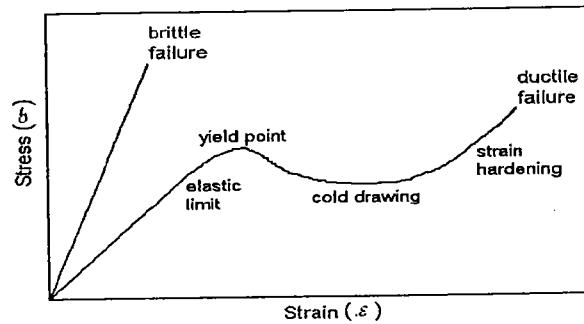
$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $E$  = โมดูลัสของยังส์ (Pa)

$\Delta\sigma$  = ความแตกต่างของความเค้นระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง ( $N/m^2$ )

$\Delta\varepsilon$  = ความแตกต่างของความเครียดระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง

ความเค้นและความเครียด เป็นสิ่งที่น่าสนใจนำมาใช้พิจารณาถึงสมบัติเชิงกลของวัสดุ เช่น ความยืดหยุ่น (Flexibility) ความอ่อนตัว (Ductility) ความเปราะ (Brittleness) ความแกร่ง (Toughness) ความแข็งแกร่ง (Stiffness) และความแข็งแรง (Strength) การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแรงดึงของพอลิเมอร์แต่ละชนิด ไม่ว่าจะเป็นเทอร์โมพลาสติก เทอร์โมเซต พอลิเมอร์คอมโพสิต และอีลาสโตเมอร์ จะแตกต่างกันตามลักษณะการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์ สมบัติด้านความเป็นผลึก และความแข็งแรงในการยึดเกาะกันระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์แต่ละชนิดกับวัสดุผสม (Adhesive Strength of Interface) ซึ่งแสดงให้เห็นความแตกต่างจากกราฟความเค้น-ความเครียด ดังรูปที่ 2.21

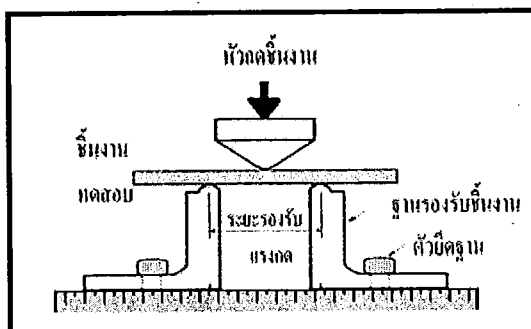


รูปที่ 2.21 กราฟความเค้น-ความเครียด แสดงพฤติกรรมของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง  
ที่มา : ธีราวุธ และคณะ (2546)

### 2.7.1.2 การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Testing)

การทดสอบการทนต่อความแข็งแรงโค้งงอ เป็นการวัดแรงที่ต้องการเพื่อให้ชิ้นงานเกิดการงอ ข้อมูลที่ได้มักจะนำไปพิจารณาเลือกวัสดุสำหรับใช้เป็นส่วนที่ต้องรับแรงกดโดยไม่เกิดการงอ เช่น ค่ามอดูลัสความโค้งงอ (Flexural Modulus) ใช้ในการบ่งบอกถึงความแข็งของวัสดุเมื่อเกิดการโค้งงอ โดยทั่วไปการทดสอบนี้เหมาะสำหรับพลาสติกที่มีลักษณะแข็งเปราะ แต่ไม่เหมาะกับการทดสอบพลาสติกที่มีลักษณะอ่อนหรือสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้แรงตัดได้มาก เนื่องจากสมการที่ใช้ในการคำนวณของสภาพการตัดนี้ จะถูกต้องในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในระดับต่ำ วัสดุแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดแบบเชิงเส้น จะอยู่ภายใต้แรงตัด ดังนั้นโดยทั่วไปมักไม่ใช้ทดสอบที่เกินระดับความเครียด 5% (ธีราวุธ และคณะ, 2546)

การทดสอบการทนต่อความแข็งแรงโค้งงอแบบ 3 จุด (Three Point Bending) การทดสอบนี้เป็นการให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางเท่านั้น ดังรูปที่ 2.22 เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ต่ำ หัวกดที่ให้แรงกระทำ และชุดรองรับมีลักษณะเป็นใบมีดมน (Round Knife Edges) หรือเพลาลอยแข็ง



รูปที่ 2.22 การทดสอบ Three Point Bending

ที่มา : ธีราวุธ และคณะ (2546)

สำหรับการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการ

ที่ 2.4 และ 2.5

$$\sigma_f = \frac{1.5FL}{bh^2} \quad (2.4)$$

$$\epsilon_b = \frac{L^3}{4bh} \times \frac{\Delta F}{\Delta d} \quad (2.5)$$

เมื่อ  $\sigma_f$  = ความแข็งแรงโค้งงอ (MPa)

$\epsilon_b$  = โมดูลัสโค้งงอ (MPa)

L = ระยะห่างของฐานรองรับชิ้นงาน (mm)

F = แรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานเกิดความโค้งงอ (N)

h = ความหนาของชิ้นงาน (mm)

b = ความกว้างของชิ้นงาน (mm)

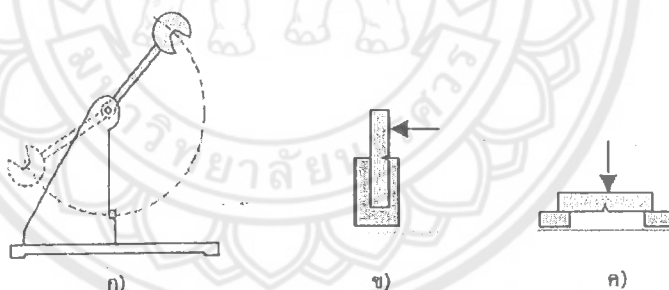
$\Delta F$  = ความแตกต่างของความเค้นระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง (N)

$\Delta d$  = ความแตกต่างของความเครียดระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง (mm)

### 2.7.1.3 การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก (Impact Testing)

การใช้แรงกระทำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วกระแทกชิ้นงานให้แตกหักในเวลาอันสั้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุเมื่อถูกแรงกระแทกซึ่งการทดสอบแรงกระแทกตามมาตรฐานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีการ คือ การทดสอบแรงกระแทกแบบลูกตุ้มเหวี่ยง (Pendulum Impact Test) และการทดสอบโดยใช้แรงกระแทกแบบปล่อยน้ำหนักตกกระทบ (Falling Weight) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้ปล่อยให้ตกอย่างอิสระจากความสูงที่ทราบค่าลงสู่ชิ้นงาน แล้วนำมาคำนวณความเค้นกระแทกสูงสุด หรือความแกร่งต่อการกระแทก (Impact Strength) การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ จะทำการบากก่อน เพราะการแตกขาดของชิ้นงานจะเกิดที่บริเวณรอยบากเท่านั้น โดยเนื่องจากรอยบากบนชิ้นงานจะทำหน้าที่เป็นจุดที่รับแรงกระทำมาสะสมกัน (Stress Concentration) ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปเกิดขึ้น (Deformation) ของชิ้นงานเกิดขึ้นได้ยาก (ถิราวุธ และคณะ, 2546)

การทดสอบการทนต่อแรงกระแทกนั้นจะทำได้โดยใช้ชิ้นงานที่มีรอยบากมี 2 วิธี คือ การทดสอบแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod Impact Test) และการทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี (Charpy Impact Test) ทั้งสองวิธีมีความแตกต่างในแง่ของการปฏิบัติ กล่าวคือ วิธีของชาร์ปีนั้น รอยบากจะอยู่ตรงข้ามกับทางเดินของค้อนตี และจะวางตัวอย่างในแกนนอน ส่วนวิธีของไอซอด รอยบากจะอยู่ด้านเดียวกับค้อนตีและตัวอย่างจะอยู่ในแกนตั้ง ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก

- ก) ลักษณะการเหวี่ยงของค้อนตี
- ข) ลักษณะการวางชิ้นงานแบบ Izod
- ค) ลักษณะการวางชิ้นงานแบบ Charpy

ที่มา : ถิราวุธ และคณะ (2546)

สำหรับการคำนวณแรงกระแทกนั้น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.6

$$\text{ความแข็งแรงกระแทก (IS)} = W / A \quad (2.6)$$

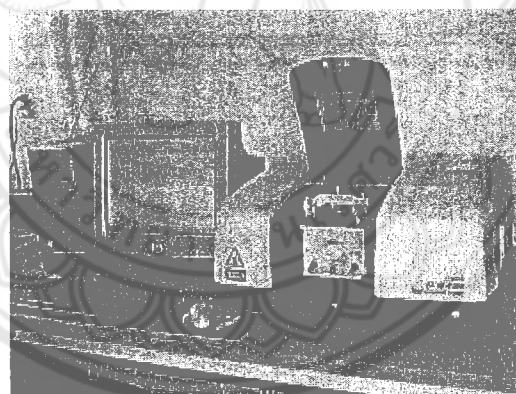
เมื่อ IS = ค่าความแข็งแรงกระแทก ( $\text{kJ/m}^2$ )

W = ค่าพลังงานกระแทก (kJ)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน ( $\text{m}^2$ )

### 2.7.2 การวิเคราะห์หาโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์

เป็นการวิเคราะห์หาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ ศึกษาโดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transforms Infrared Spectroscopy: FTIR) เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทของสารอินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุล เทคนิคนี้ให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็วและมีความไวสูง โดยส่วนใหญ่จะใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 1-5 นาที แต่เครื่อง FTIR มีข้อจำกัดในการเตรียมตัวอย่างบางเทคนิคที่ต้องใช้สารละลายที่ยินยอมให้รังสีทะลุผ่านและตัวอย่างจะต้อง Active ในช่วงอินฟราเรด (เดือนพร, 2549)



รูปที่ 2.24 เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ที่มา : เดือนพร (2549)

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กนิษฐา (2546) ได้ทำการศึกษาสมบัติของพอลิพรอพิลีน โดยใช้ซีลี้อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารเสริมแรง โดยได้ทำการใช้สารคู่ควบ ไซเลน และพอลิพรอพิลีนตอกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮดราต ที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิตซึ่งคาดว่าสารคู่ควบนี้จะช่วยปรับปรุงพันธะระหว่างพื้นผิวเส้นใยและเมทริกซ์ให้มีการยึดเกาะกันได้ดีขึ้น จากการศึกษาพบว่า ปริมาณสารคู่ควบที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อสมบัติเชิงกล และร้อยละการดูดซับน้ำ โดยการเติมสารคู่ควบทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้เติมสารคู่ควบ โดยที่ไซเลนมีแนวโน้มที่จะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลดีกว่า MAPP ยกเว้นผลของความแข็งแรงกระแทก ผลจากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FTIR พบ สเปกตรัมของหมู่เอสเทอร์ และพอลิไซลอคเซนช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะของสองวัสดุ และผลจากสัญญาณวิทยานั้นการปรับปรุงซีลี้อยด้วยสารคู่ควบทำให้ลดช่องว่างระหว่างรอยต่อของพอลิพรอพิลีนและซีลี้อย

ฉิราวุธ และคณะ (2546) ได้ทำการศึกษาการเตรียมวัสดุคอมโพสิตของพอลิพรอพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ โดยใช้เส้นใยอ้อยเป็นวัสดุเสริมแรง พร้อมทั้งปรับปรุงพื้นที่ผิวเส้นใยอ้อยด้วยกรดสเตียริกปริมาณต่างๆ โดยใช้เครื่องผสมวัสดุคอมโพสิตและขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเข้าแม่พิมพ์ นอกจากนี้ยังศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าทนแรงดึง ค่ายังมอดุลัส เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ค่าการทนแรงกระแทก และความแข็ง สมบัติทางการไหล ได้แก่ รีโอโลยีและค่าดัชนีไหลอมไหล และสัญญาณวิทยาของวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนผสมกับเส้นใยอ้อยที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก และเปรียบเทียบกับวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนผสมกับเส้นใยอ้อยที่ยังไม่ได้ปรับปรุง เพื่อพิจารณาผลกระทบของการใช้กรดสเตียริกเป็นสารปรับปรุงสภาพผิว พบว่าวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนผสมกับเส้นใยอ้อยที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก มีสมบัติเชิงกลสูงกว่าวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนผสมกับเส้นใยอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุง และเมื่อทำการศึกษาทางด้านสัญญาณวิทยาด้วยกล้อง SEM พบว่ากรดสเตียริกช่วยทำให้เส้นใยมีการกระจายตัวมากขึ้นและสามารถเข้ากันได้กับพอลิพรอพิลีน

ชนิดา (2547) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการขึ้นรูปและสมบัติของวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/ซีลี้อย ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณของเส้นใยธรรมชาติสารปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทก และสารคู่ควบชนิดมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิพรอพิลีนที่มีต่อสมบัติวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน และเส้นใยธรรมชาติ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณเส้นใย ลงในวัสดุพอลิพรอพิลีนส่งผลให้ความแข็งแรงและความเหนียวของวัสดุพอลิพรอพิลีนลดลง และเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวทำให้การยึดเกาะกันระหว่างเฟสของพอลิพรอพิลีนและเส้นใยธรรมชาติไม่ดีขึ้น การเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทก สามารถปรับปรุงความเหนียวของวัสดุคอมโพสิตได้ การเติมสารคู่ควบชนิดมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิพรอพิลีน ที่ปริมาณ 2% ของน้ำหนักซีลี้อยลงในวัสดุคอมโพสิตที่ปรับปรุงสมบัติด้วยสารปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทก ปริมาณ 11.1% เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต และสารคู่ควบชนิดมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิพรอพิลีน

สุปราณี (2547) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางการนำเส้นใยธรรมชาติซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีในประเทศไทยมาเป็นวัสดุเสริมแรงให้กับพอลิพรอพิลีน โดยเลือกใช้เส้นใยกล้วยน้ำว้า และเส้นใยป่านครนารายณ์ พบว่าการเตรียมพอลิเมอร์เชิงประกอบหรือพอลิพรอพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยกล้วยน้ำว้าและเส้นใยป่านครนารายณ์ โดยใช้เส้นใยที่ 1-10% โดยไม่มีการตัดแปรทั้งพอลิเมอร์ และเส้นใย และพบว่าเส้นใยทั้งสองชนิดทำให้ค่ามอดุลัสของพอลิเมอร์เชิงประกอบสูงกว่าพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ และสูงขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงในเชิงการดึงมีค่าสูงกว่าพอลิพรอพิลีนเมื่อใช้ปริมาณเส้นใยต่ำที่ 1-5% แต่เมื่อเพิ่มเส้นใยมากขึ้นค่าความแข็งแรงดึงลดลงที่เปอร์เซ็นต์เส้นใยเท่ากับกับพอลิเมอร์เชิงประกอบที่ใช้เส้นใยกล้วยน้ำว้า มีค่ามอดุลัส และค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าพอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้นใยป่านครนารายณ์เพียงเล็กน้อย

เดือนพร (2549) ได้ทำการศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของส่วนประกอบที่ใช้สังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบเพื่อใช้ทดแทนไม้สำหรับผลิตเฟอร์นิเจอร์ และการศึกษาผลกระทบจากขนาดผงหน้และเยื่อขานอ้อยที่ใช้เป็นวัสดุเสริมแรง รวมทั้งการปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบด้วยสารเติมแต่งที่เหมาะสม จากการวิจัยพบว่าเมื่อใช้ผงหน้ในปริมาณ 60 phr เป็นวัสดุเสริมแรงซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรง ความต้านแรงดัน มอดุลัสยืดหยุ่น ความต้านทานแรงกระทำที่สูงขึ้น เมื่อเปลี่ยนชนิดของสารเสริมแรงเป็นขานอ้อยพบว่าการเพิ่มขานอ้อยไม่ได้ส่งผลต่อความแข็งแรง แต่ส่งผลต่อความทนแรงกระทำ เมื่อใช้ขานอ้อยปริมาณ 40 phr ทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความทนแรงกระทำได้สูงขึ้น และการปรับปรุงเส้นใยขานอ้อยโดยใช้สารคู่ควบ 3-อามิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน (3-aminopropyl triethoxysilane) พบว่าพื้นที่ผิวของหน้และเยื่อขานอ้อย ไม่ส่งผลต่อความแข็งแรง และความทนแรงกระทำของวัสดุเชิงประกอบ

สุปราณี (2549) ได้ทำการศึกษาปรับปรุงผิวเส้นใยป่านครนารายณ์ด้วย พอลิเมทริล-เมทอะไครเลต (Polymethyl Methacrylate: PMMA) โดยกระบวนการแอตโมเซลลาพอลิเมอร์ไรเซชัน เพื่อปรับปรุงสมบัติของวัสดุประกอบ ในงานวิจัยได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงปริมาณของมอนอเมอร์ โดยใช้เมทริลเมทอะไครเลต (Methyl Methacrylate: MMA) และใช้โซเดียมเปอร์ซัลเฟต (Sodium persulfate:  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ที่มีผลต่อพฤติกรรมความเป็นไฮโดรโฟบิซิตี (Hydrophobicity) และการเกิดฟิล์ม PMMA ผลการทดลองพบว่าพื้นที่ผิวของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วย PMMA จะมีคุณสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิซิตีเพิ่มมากขึ้น สามารถลอยอยู่บนผิวน้ำ และดูความชื้นได้ลดลงค่าศักย์ซีต้า และ PZC บนพื้นผิวมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไม่ปรับปรุงผิว



ศิริกาญจน์ (2550) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงของสมบัติคอมโพสิตจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยใช้ซีลีเนียมอย่างพาราเป็นสารเสริมแรง จากการศึกษาพบว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต มีค่าเพิ่มมากขึ้นจากการใช้สารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent) 2 ชนิด คือ ไซเลน A-137 (Octyltriethoxysilane) และไซเลน A-1100 ( $\gamma$ -Aminopropyltriethoxysilane) และสารช่วยผสมมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิเอทีลีน (MAPE) จากการศึกษาทดสอบโดยใช้เทคนิค FTIR พบว่า อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิไซลอคเซน และพันธะเอสเทอร์ที่เกิดจากเซลลูโลสทำปฏิกิริยากับสารคู่ควบไซเลน และสารช่วยผสม MAPE ตามลำดับ ส่วนการศึกษาสัณฐานวิทยาของจากเทคนิค SEM แสดงให้เห็นว่าสารคู่ควบนั้นสามารถที่จะปรับปรุงความสามารถในการยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์ และส่วนเสริมแรง



### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน และแผนการดำเนินโครงการ โดยทำค้นคว้าเอกสารงานวิจัย ข้อมูลพื้นฐาน และมาตรฐานการทดสอบที่เกี่ยวข้อง จากนั้นทำการวางแผนการดำเนินโครงการ กำหนดขั้นตอนการดำเนินโครงการ และวิธีการทดลอง ทำการจัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินโครงการ โดยการเตรียมเส้นใยชานอ้อย เม็ดพอลิเมอร์จากนั้นขึ้นรูปชิ้นงาน ทดสอบสมบัติเชิงกล และวิเคราะห์ห่มู่ฟังก์ชัน นำผลที่ได้จากโครงการมาวิเคราะห์ สรุปผล และเขียนปริญญานิพนธ์

### 3.1 สารเคมี และวัสดุที่ใช้ในโครงการ

3.1.1 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene) ชนิด (EL-Pro, P700J) จากบริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีนชนิด (EL-Pro, P700J)

สมบัติ	วิธีทดสอบ	ปริมาณ	หน่วย
อัตราการใช้	ASTM D 1238 @ 230 °C ,2.16 kg	12	g/10 min
ความหนาแน่น	ASTM D 1505	0.910	g/cm <sup>3</sup>
ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด	ASTM D 638 @ Crosshead speed 50 mm/min	200	kg/cm <sup>2</sup>
ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด	ASTM D 638 @ Crosshead speed 50 mm/min	650	%
มอดุลัสโค้งงอ	ASTM D 790	14500	kg/cm <sup>2</sup>

ที่มา : บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน)

3.1.2 สารช่วยผสม MAPP ชนิด Polybond® 3200 จาก บริษัทเคมทูรา จำกัด (มหาชน) ดังตารางที่ 3.2

**ตารางที่ 3.2** สมบัติของสารช่วยผสม MAPP ชนิด Polybond® 3200

สมบัติ	วิธีการทดสอบ	ปริมาณ	หน่วย
อัตราการไหล 190 °C/2.16 Kg	ASTM D 1238	115	g/10 min
ความหนาแน่นที่ 23 °C	ASTM D 792	0.91	g/cc
จุดหลอมเหลว	ASTM D 2117	157	°C
ระดับมาเลอิกแอนไฮไดรต์	-	1.0	weigh %

ที่มา : บริษัทเคมทูรา จำกัด (มหาชน)

3.1.3 สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 (Octyltriethoxysilane) แสดงโครงสร้างสารคู่ควบไซเลน  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{Si}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_3$  ดังตารางที่ 3.3

**ตารางที่ 3.3** สมบัติของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137

สมบัติ	วิธีการทดสอบ	ปริมาณ	หน่วย
จุดเดือดที่ 760 mm.Hg	ASTM D 93	84	°C
ความหนืดที่ 25 °C	ASTM D 2161	2.10	Pa.s
ค่าความถ่วงจำเพาะ	ASTM D 854	0.88	-

ที่มา : บริษัทซิกม่า-แอลดีส จำกัด (มหาชน)

3.1.4 เส้นใยชานอ้อยเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล

3.1.5 สารละลายเมทานอล (Methanol)

## 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในโครงการ

3.2.1 เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine) : NEUSTADT GERMANY 50 M รุ่น BOY GMBH 53577

3.2.2 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine : UTM) : LLOYD INSTRUMENTS รุ่น LR 10 K plus

3.2.3 เครื่องทดสอบแรงกระแทก (Impact Testing Machine) : JINAN TESTING EQUIPMENT IE CORPATION รุ่น XC-22Z

3.2.4 เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR) : Perkin Elmer รุ่น FTIR Spectrum GX

3.2.5 ตู้อบ (Oven) : SCRENTIFIC PROMOTION Co;LTP รุ่น FE D720

3.2.6 เครื่องบด WSPP POWER 4KW รุ่น G100405

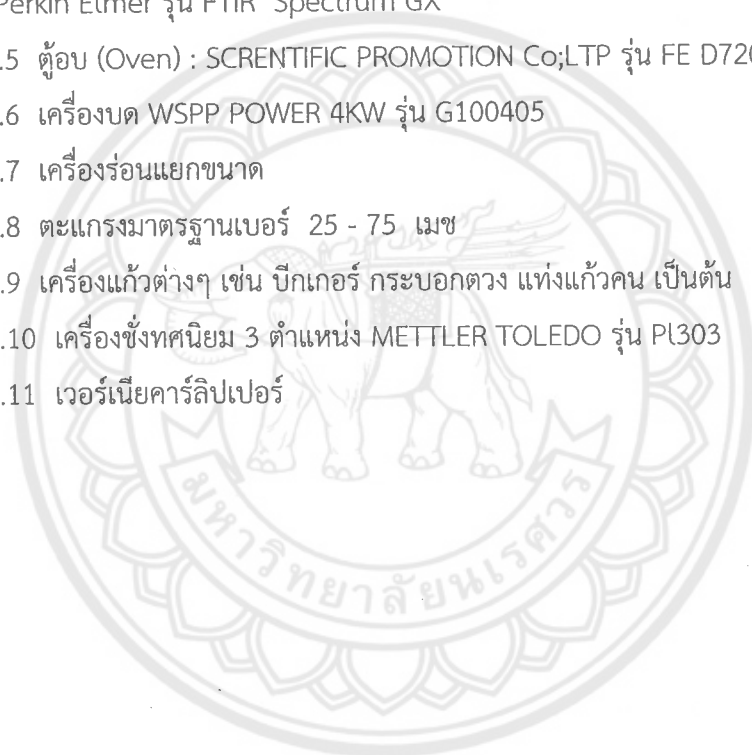
3.2.7 เครื่องร่อนแยกขนาด

3.2.8 ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 25 - 75 เมช

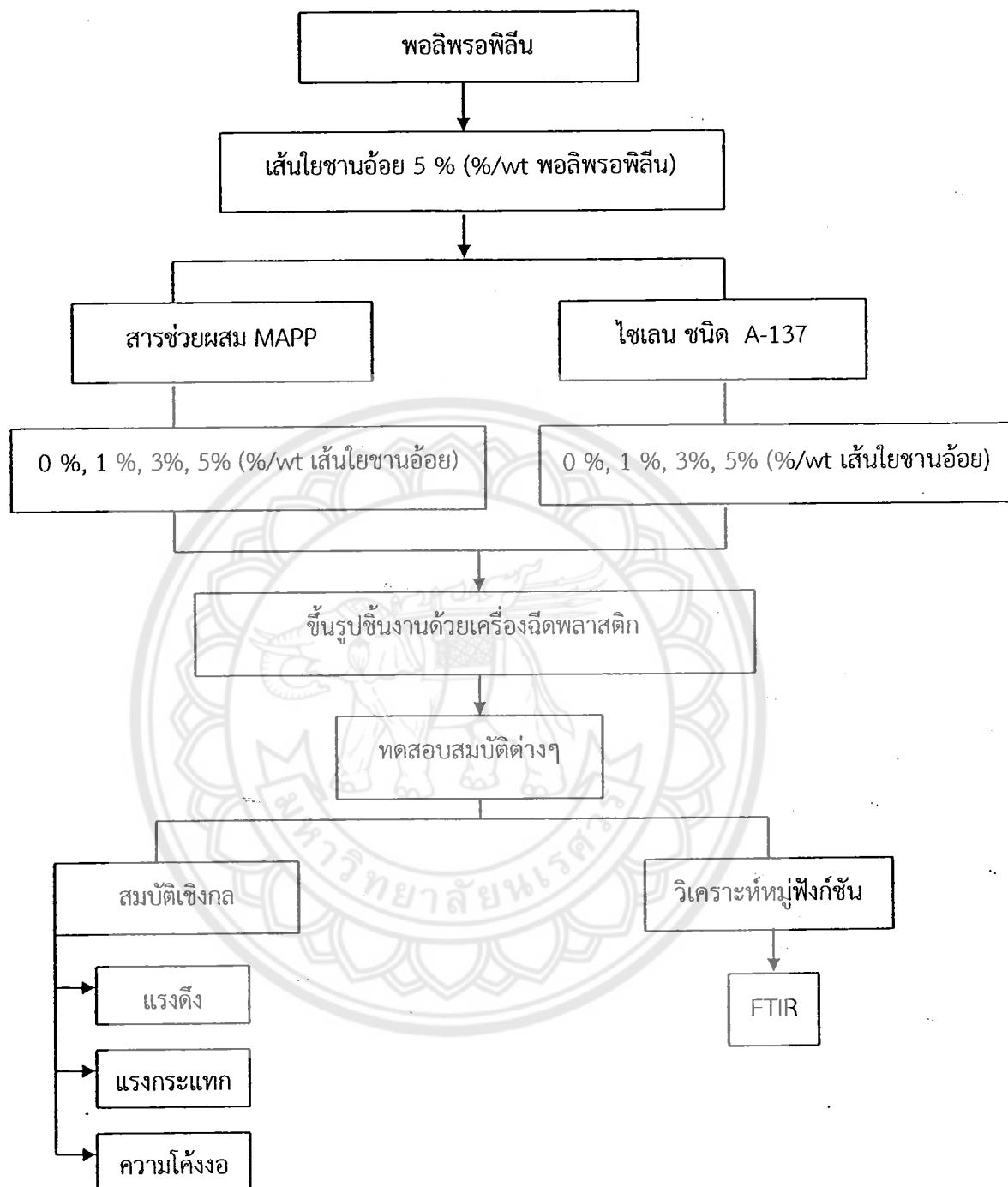
3.2.9 เครื่องแก้วต่างๆ เช่น บีกเกอร์ กระจกบดวาง แท่งแก้วคน เป็นต้น

3.2.10 เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง METTLER TOLEDO รุ่น PL303

3.2.11 เวย์นีย์คาร์ลิปเปอร์



โดยแผนการดำเนินงาน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงานในโครงการ

### 3.3 การทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมเส้นใย

##### 3.3.1.1 การลดขนาด และเตรียมเส้นใยชานอ้อย

- นำเส้นใยมาลดขนาดโดยใช้เครื่องบด
- คัดขนาดโดยใช้เครื่องแยกอนุภาค จะใช้ขนาดของตะแกรงร่อนเบอร์ 25 และ 75 โดยสัมพันธ์กับความยาวในช่วง 355 ถึง 750 ไมครอน
- นำเข้าตู้อบที่ อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อยด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และ สารช่วยผสม MAPP ในปริมาณ 1, 3 และ 5 % โดยน้ำหนักของเส้นใยชานอ้อย

##### 3.3.1.2 วิธีเตรียมการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137

- โดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ละลายในสารละลายเมทานอล ปริมาณ 100 % โดยน้ำหนักของสารคู่ควบไซเลน
- นำเส้นใยชานอ้อยอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ใส่ลงไปผสมกับสารละลายที่เตรียมไว้ แล้วแช่พักไว้เป็นเวลา 30 นาที
- นำเส้นใยชานอ้อยที่ปรับปรุงพื้นผิว อบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

##### 3.3.1.3 วิธีการเตรียมการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยสารช่วยผสม MAPP

ผสมเส้นใยชานอ้อยกับสารช่วยผสม MAPP โดยใช้ในปริมาณ 1, 3 และ 5 % โดยน้ำหนักของเส้นใยชานอ้อย

#### 3.3.2 ขั้นตอนการทำพอลิเมอร์คอมโพสิต

3.3.2.1 ผสมเส้นใยชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวแล้วกับส่วนผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนผสมต่างๆ ที่ใช้ในการทำพอลิเมอร์คอมโพสิต

PP (%)	เส้นใยชานอ้อย (% /wt PP)	ไซเลน ชนิด A-137 (% / wt เส้นใยชานอ้อย)	สารช่วยผสม MAPP (% / wt เส้นใยชานอ้อย)
100	5 %	0, 1, 3 ,5 %	-
100	5 %	-	0, 1, 3, 5 %

3.3.2.2 ขึ้นรูปโดยเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine) ด้วยสภาวะดังตารางที่ 3.5 โดยใช้ความเร็วรอบที่ 30 รอบ/นาที.

3.3.2.3 นำชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปโดยเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine) มาบดกับเครื่องบด แล้วขึ้นรูปโดยเครื่องฉีดพลาสติกอีกครั้ง

**ตารางที่ 3.5** สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์คอมโพสิต

สภาวะ	ช่วงป้อนสาร (°C)	ช่วงส่งผ่านสาร (°C)	ช่วงการผสม (°C)	ช่วงแม่พิมพ์ (°C)
อุณหภูมิ	200	200	190	180

3.3.2.4 นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่

ก. วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของคอมโพสิตโดยใช้เครื่อง FTIR

ข. ศึกษาสมบัติเชิงกล

- ทดสอบสมบัติความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) โมดูลัสของยังส์ (Young's Modulus) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) ด้วย Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM D638

- ทดสอบสมบัติความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) โมดูลัสความโค้งงอ (Flexural Modulus) ตามมาตรฐาน ASTM D790

- ทดสอบสมบัติความแข็งแรงกระแทก (Impact Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D256

### 3.4 การทดสอบ

#### 3.4.1 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของคอมโพสิตโดยใช้เครื่อง FTIR

การทดสอบทำได้โดยนำสารตัวอย่างบดด้วยเครื่องบดหยาบ จากนั้นบดละเอียดต่อไปด้วยเครื่องบดละเอียดความเร็วสูง (1400 รอบต่อนาที) ทำให้ได้สารตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคเล็ก โดยใช้เครื่องร่อนแยกขนาด ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 950 ไมครอน จากนั้นนำไปบดกับ KBr วิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ในช่วงเลขคลื่น  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$  resolution

### 3.4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

3.4.2.1 ทดสอบสมบัติเชิงกลด้านแรงดึง ด้วย Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM D638 โดยเตรียมชิ้นงานในรูปดัมเบลล์ ดังรูปที่ 3.2 ใช้ชิ้นงานจำนวน 8 ชิ้น ในแต่ละสูตร และใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

- |                                 |      |                         |
|---------------------------------|------|-------------------------|
| - โหลดเซลล์ (Load Cell)         | 5    | กิโลนิวตัน (kN)         |
| - ความเร็วในการดึง (Test Speed) | 5    | มิลลิเมตร/นาที (mm/min) |
| - ความยาวเกจ (Gauge Length)     | 70.5 | มิลลิเมตร (mm)          |

ซึ่งจะได้ ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ค่าร้อยละการดึงยืดของชิ้นงาน ณ จุดขาด (%Elongation at Break) และค่ามอดูลัสของยังส์ จากสมการที่ 2.1 2.2 และ 2.3



รูปที่ 3.2 ชิ้นงานที่ทดสอบความแข็งแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638

ที่มา : เดือนพร (2549)

3.4.2.2 การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ และมอดูลัสโค้งงอ ด้วย Universal Testing Machine เป็นการวัดเพื่อให้ชิ้นงานเกิดการงอโดย การทดสอบการทนแรงดัดแบบ 3 จุด (Three Point Bending) ตามมาตรฐาน ASTM D790 โดยการทดสอบครั้งนี้จะให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางเท่านั้น โดยการทดสอบจะใช้ทดสอบชิ้นงานจำนวน 8 ชิ้น ในแต่ละสูตร สำหรับการทดสอบสมบัติโค้งงอ นั้นสามารถคำนวณหาค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) และมอดูลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) จากสมการที่ 2.4 และ 2.5 และใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

- |  |    |                         |
|--|----|-------------------------|
| - โหลดเซลล์ (Load Cell)                    | 5  | กิโลนิวตัน (kN)         |
| - ความเร็วในการกด (Compression Speed)      | 5  | มิลลิเมตร/นาที (mm/min) |
| - ระยะห่างของขารองรับชิ้นงาน (Span Length) | 40 | มิลลิเมตร(mm)           |



3.4.2.3 การทดสอบความแข็งแรงกระแทก ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Impact Testing Machine) ด้วยวิธีแบบ Izod impact มาตรฐาน ASTM D256 โดยชิ้นงานมีความยาว 10 มิลลิเมตร ความกว้าง 4 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งค่าที่ได้จะออกมาเป็นค่าของพลังงานที่วัสดุตกคืนไว้ต่อความยาวของรอยบาก โดยบากด้วยเครื่องบากชิ้นงาน (Cutting Machine) ให้มีความลึกของรอยบาก 2.5 มิลลิเมตร โดยใช้ชิ้นงานจำนวน 8 ชิ้น ในแต่ละสูตร แล้วทำการทดสอบค่าความแข็งแรงกระแทก สามารถคำนวณหาค่าความแข็งแรงกระแทก จากสมการที่ 2.6



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

โครงการนี้เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต ระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยชานอ้อยที่ปริมาณ 5% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีน โดยมีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP ชนิด Polybond<sup>®</sup> 3200 ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยชานอ้อย โดยทำการศึกษาสมบัติต่างๆ ได้แก่ การศึกษาหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer : FTIR) และ สมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) ซึ่งให้ผลการทดลอง ดังนี้

#### 4.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยชานอ้อย

ในการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้ทำการศึกษาออกเป็นดังนี้ ศึกษาสมบัติเชิงกลระหว่างพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์กับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่มีเส้นใยชานอ้อยเป็นส่วนเสริมแรงในปริมาณ 5% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีน โดยไม่ผ่านการปรับปรุงเส้นใย ให้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติเชิงกลระหว่างพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์กับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิต

สมบัติเชิงกล	พอลิพรอพิลีน บริสุทธิ์*	พอลิพรอพิลีนคอมโพสิต
ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength, MPa)	31.37	25.39
ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break, %)	63.72	10.96
มอดุลัสความโค้งงอ (Flexural Modulus, MPa)	1421.56	787.82
ความแข็งแรงกระแทก (Impact Strength, kJ/m <sup>2</sup> )	2.88	3.51

หมายเหตุ : \* คือ EL-Pro, P700J Plastics Co.,Ltd.

จากตารางที่ 4.1 สมบัติความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ระหว่างพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์กับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิต เมื่อทำการเติมเส้นใยชานอ้อยในปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก พอลิพรอพิลีนในพอลิเมอร์คอมโพสิต พบว่าสมบัติความแข็งแรงดึงมีค่าลดลง เพราะสาเหตุดังต่อไปนี้ สาเหตุแรกคือการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของเส้นใยชานอ้อย เนื่องจากเส้นใยชานอ้อยมีแนวโน้มที่จะเกาะตัวรวมกันเป็นกลุ่ม จากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) กับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเซลลูโลสในเส้นใยชานอ้อย ซึ่งเป็นการขัดขวางการกระจายตัวของเส้นใย สาเหตุต่อมาคือ การผสมเส้นใยชานอ้อยที่มีความชอบน้ำ (Hydrophilic) โดยไม่ปรับปรุงผิวเส้นใยชานอ้อยลงในพอลิพรอพิลีน โดยเส้นใยชานอ้อยสามารถดูดเก็บความชื้นได้ในระหว่างการเก็บ การผลิต และการทดสอบ ซึ่งความชื้นอาจขัดขวางการยึดเกาะระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยชานอ้อย โดยการลดการยึดเกาะทางด้านกายภาพ สาเหตุสุดท้ายคือการเติมเส้นใยชานอ้อยเป็นการเพิ่มจุดบกพร่องหรือการแยกจากกันบริเวณรอยต่อระหว่างผิวของเส้นใยชานอ้อยและพอลิพรอพิลีน ส่งผลให้ภายในพอลิเมอร์คอมโพสิตเกิดช่องว่าง ไม่เกิดการยึดติดระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยชานอ้อย ส่งผลทำให้การรับแรงและการถ่ายเทแรงของพอลิเมอร์คอมโพสิตลดลง (ชนิดา, 2547)

ผลของสมบัติร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) ระหว่างพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์กับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิต พบว่าเมื่อเติมเส้นใยชานอ้อยลงในพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ปริมาณเส้นใยชานอ้อย 5% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีน พบว่าค่าของสมบัติร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด มีค่าที่ลดลงเช่นเดียวกับสมบัติความแข็งแรงดึง เนื่องจากการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของเส้นใยชานอ้อย เพราะเส้นใยมีแนวโน้มที่จะเกาะรวมตัวกันเป็นกลุ่ม จากการเกิดพันธะไฮโดรเจนกันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเซลลูโลสในเส้นใยชานอ้อย ซึ่งทำหน้าที่ขัดขวางการกระจายตัวของเส้นใยชานอ้อยในพอลิพรอพิลีน ส่งผลทำให้ความสามารถของการยึดเกาะกันของอนุภาคของ พอลิพรอพิลีนลดลง ทำให้ความสามารถในการยืดตัวได้น้อยลง ณ จุดขาด

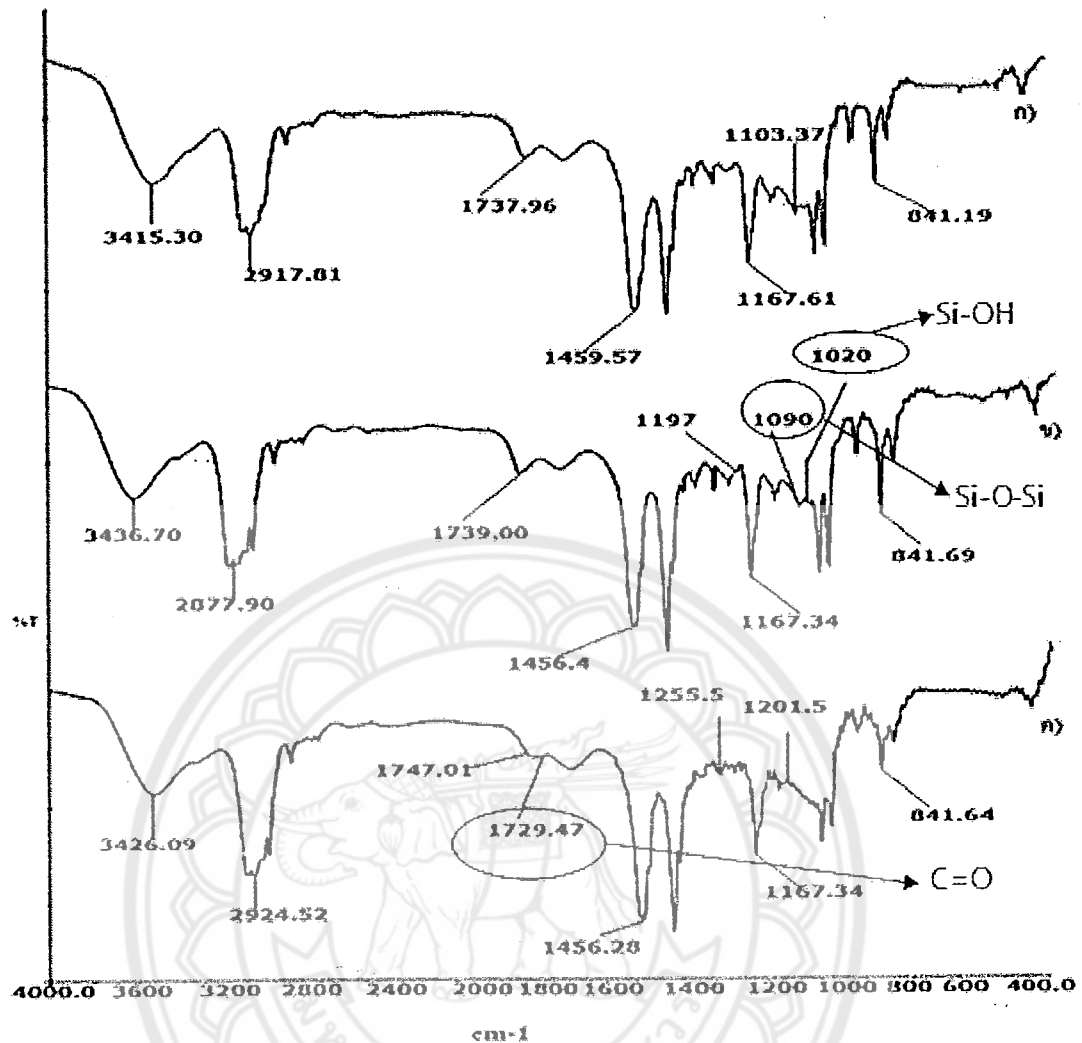
ผลของสมบัติด้านมอดุลัสความโค้งงอ (Flexural Modulus) ระหว่างพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์กับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิต เมื่อเติมเส้นใยชานอ้อยในพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ปริมาณเส้นใยชานอ้อย 5% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีน พบว่าสมบัติด้านมอดุลัสความโค้งงอมีค่าลดลงเช่นเดียวกับสมบัติความแข็งแรงดึง และสมบัติร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด เนื่องมาจากการกระจายตัวของเส้นใยชานอ้อย เพราะว่าเส้นใยชานอ้อยมีแนวโน้มที่จะเกาะรวมตัวกันเป็นกลุ่ม ระหว่างหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) ของเซลลูโลสในเส้นใยชานอ้อย ส่งผลในเรื่องของความสามารถของการยึดเกาะกันของอนุภาคของพอลิพรอพิลีนลดลง ลดการถ่ายเทแรงอย่างต่อเนื่องของชิ้นงาน

เมื่อพิจารณาสมบัติด้านความแข็งแรงกระแทก (Impact Strength) ระหว่างพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์กับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิต ซึ่งผลจากตารางที่ 4.1 นั้นจะเห็นได้ว่า พอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีเส้นใยชานอ้อยเป็นส่วนเสริมแรงในปริมาณ 5% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีน มีค่าที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เพราะว่า เนื่องจากเส้นใยชานอ้อยช่วยรับแรงและกระจายแรงที่ส่งมาจากพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ แต่เส้นใยชานอ้อยมีข้อจำกัดในเรื่องของการกระจายตัวได้ไม่ดีและเกิดเป็นช่องว่างในพอลิเมอร์คอมโพสิต (ชนิด A, 2547) จึงจำเป็นที่จะต้องมีการใช้สารคู่ควบเข้ามาช่วยทำปฏิกิริยา (Coupling Agent) เพื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย

## 4.2 ผลการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP

### 4.2.1 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์คอมโพสิต

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีบนพื้นผิวของพอลิเมอร์คอมโพสิตทำได้โดยใช้เทคนิค FTIR ซึ่งทำการศึกษามูลุฟังก์ชันของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีเส้นใยชานอ้อยเป็นส่วนเสริมแรงโดยไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย ศึกษาที่อัตราส่วนพอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใยชานอ้อย 5% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีน ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ปรับปรุงเส้นใยด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่อัตราส่วนพอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใยชานอ้อย 5% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีน : สารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย และพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ปรับปรุงเส้นใยด้วยสารช่วยผสม MAPP อัตราส่วนพอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใยชานอ้อย 5% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีน : สารช่วยผสม MAPP 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิพรอพิลีน 100 : เส้นใยขานอ้อย 5% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ก) ไม่ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย ข) ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ค) ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้สารช่วยผสม MAPP

จากรูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมของร้อยละการส่งผ่านแสงของพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยทำการเปรียบเทียบระหว่าง พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารคู่ควบ พอลิเมอร์คอมโพสิต ที่ปรับปรุงด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP จากสเปกตรัมในรูปพบพีกอินฟราเรดสเปกตรัม ช่วง  $3000-2800 \text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ CH-stretching ของ  $\text{CH}_2$  และ  $\text{CH}_3$  ของสายโซ่พอลิพรอพิลีน ลักษณะพีกกว้างในช่วง  $1750-1700 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นลักษณะการสั่นแบบ C=O stretching ของหมู่คาร์บอนิล ซึ่งมีอยู่ในโครงสร้างของเส้นใยขานอ้อย สำหรับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยขานอ้อยด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137

จากรูปที่ 4.1 ข) พบพีกสำคัญที่  $1030-1020 \text{ cm}^{-1}$  เป็นตำแหน่งของพีกเกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างหมู่ซิลอกเซนของสารคู่ควบไซเลน และเซลลูโลสของเส้นใยขานอ้อย พีกที่ประมาณ  $1197 \text{ cm}^{-1}$  เป็นตำแหน่งของพอลิซิลอกเซน (Si-O-Si) และ Si-O-C<sub>wood</sub> สอดคล้องกับความสัมพันธ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้สารคู่ควบไซเลน โดยพบพีกที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ของหมู่เอทอกซี (-OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> ได้เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ซิลานอล 3 หมู่ (Si-OH) สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเส้นใยขานอ้อยได้ นอกจากนี้ยังพบพีกที่ประมาณ  $1090 \text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะของ Si-O-CH<sub>2</sub>

จากรูปที่ 4.1 ค) พบพีกที่สำคัญที่  $1747 \text{ cm}^{-1}$  เป็นตำแหน่งของการสั่นแบบ C=O Stretching ของหมู่คาร์บอนิล ซึ่งมีอยู่ในมาเลอิกแอนไฮดรายด์กราฟในสารช่วยผสม MAPP ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับ C=O Stretching ของหมู่คาร์บอนิล ซึ่งมีอยู่ในโครงสร้างของเส้นใยขานอ้อย นอกจากนี้ยังพบหมู่เอสเทอร์ (C=O Stretching) ขึ้นที่พีกใกล้ๆ  $1750-1720 \text{ cm}^{-1}$  ในการศึกษาพบที่ตำแหน่งพีกประมาณ  $1729 \text{ cm}^{-1}$

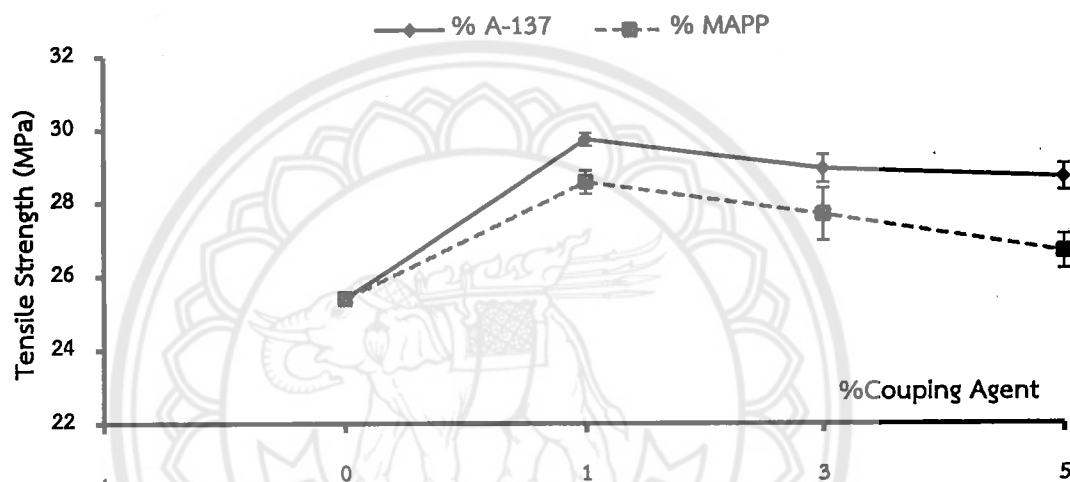
**ตารางที่ 4.2** ตำแหน่งสเปกตรัมของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการปรับปรุงด้วยสารคู่ควบ

ตำแหน่งพีก ( $\text{cm}^{-1}$ )	ลักษณะการสั่น
2800-3000	CH- stretching ของ CH <sub>2</sub> และ CH <sub>3</sub>
1660-1820	C=O Stretching ของหมู่คาร์บอนิล
1650-1870	C=O Stretching ของหมู่เอสเทอร์
1015-1095	Si-O-Si และ Si-O-C <sub>wood</sub> Stretching
1440-1470	Si-O- CH <sub>2</sub> Stretching
1020-1030	Si-OH

ที่มา : กนิษฐา (2546)

#### 4.2.2 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกล

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีเส้นใยชานอ้อยเป็นส่วนเสริมแรง ผ่านการปรับปรุงโดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP ในปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยชานอ้อย ทำการศึกษาถึงสมบัติความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) โมดูลัสของยังส์ (Young's Modulus) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break) ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) โมดูลัสความโค้งงอ (Flexural Modulus) และความแข็งแรงกระแทก (Impact Strength) จากการศึกษาให้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึงกับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP

ผลของความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึง กับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP โดยสมบัติด้านแรงดึงนั้นเป็นการศึกษาพฤติกรรมของพอลิเมอร์เมื่อได้รับความเค้น (Stress) ดึงให้พอลิเมอร์ยืดยาวออกจนถึงจุดที่พอลิเมอร์เกิดการเสียหาย และขาดออกจากกันในที่สุด เมื่อพอลิเมอร์ได้รับแรงดึงสายโซ่พอลิเมอร์จะเคลื่อนที่ตามแนวแรงถูกดึงยืดยาวออกที่ความเครียดมากขึ้น เมื่อพอลิเมอร์ถูกดึงยืดจนเกิดการเสียหายที่ความเครียดสูงๆ หลังจากจุดคราก (Yield Point) สายโซ่พอลิเมอร์จะเกิดการไหลเลื่อนหลุดออกจากการยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่ (Slip) เกิดการเสียหายแบบพลาสติก (Plastic Deformation) สายโซ่พอลิเมอร์ไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้ จากรูปที่ 4.2 พบว่า สมบัติด้านความแข็งแรงดึงเมื่อทำการปรับปรุงเส้นใยชานอ้อยด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP นั้น มีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยชานอ้อย เนื่องจากเมื่อทำการปรับปรุงพื้นที่ผิวของเส้นใยชานอ้อย ส่งผลให้ความแข็งแรงบริเวณพื้นผิวระหว่างภูมิภาคจะช่วยต้านทานการเสียรูป หรือการหลุดเลื่อนของสายโซ่เมื่อได้รับแรงดึงทำให้การเสียหาย

แบบยืดหยุ่น (Elastic deformation) เป็นไปได้ยากขึ้น ซึ่งการปรับปรุงความแข็งแรงบริเวณพื้นผิวระหว่างวัสดุภาคจะช่วยต้านทานการเสีรูปร่างหรือการหลุดเคลื่อนของสายโซ่เมื่อได้รับแรงดึงมากขึ้น (ชนิตา, 2547)

เมื่อเติมปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ในปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย พบว่าปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย ส่งผลให้ค่าของสมบัติด้านความแข็งแรงดึงมีค่าที่สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยชานอ้อย เนื่องจากสารคู่ควบไซเลน ตามทฤษฎีเป็นสารที่ช่วยปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์และเส้นใย ทำหน้าที่เหมือนเป็นสะพานเชื่อมระหว่างทั้งสองโมเลกุลไว้ โดยส่วนหนึ่งของโมเลกุลเป็นส่วนที่จะเกิดปฏิกิริยากับเส้นใย และอีกส่วนหนึ่งของโมเลกุลเป็นส่วนที่จะเกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ได้เป็นอย่างดี เมื่อพื้นผิวเส้นใยได้รับการปรับปรุงด้วยสารคู่ควบจะช่วยลดแรงดึงผิวของเส้นใย หรือทำการเปลี่ยนลักษณะพื้นผิวของเส้นใยที่มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) เป็นไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) ทำให้สามารถเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ โดยที่สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่มีขั้วคือส่วน  $(\text{Si-OCH}_2\text{CH}_3)_3$  และส่วนที่ไม่มีขั้วคือส่วน  $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_7$  โดยส่วนที่มีขั้วจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ที่หมู่เอทอกซี  $(-\text{OCH}_2\text{CH}_3)_3$  ได้เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่  $(\text{Si-OH})$  ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิล  $(-\text{OH})$  ของเซลลูโลสในเส้นใยชานอ้อยได้ และส่วนที่ไม่มีขั้วซึ่งมีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนไปยึดเหนี่ยวหรือเกี่ยวพัน (Chain entanglement) กับส่วนที่ไม่มีขั้วของพอลิเมอร์คอมโพสิต คือส่วนของพอลิพรอพิลีน ทำให้เพิ่มความสามารถในการยึดเกาะกันระหว่างพื้นผิวของพอลิเมอร์คอมโพสิต ซึ่งส่งผลทำให้ต้านทานของชิ้นงาน และรอยต่อระหว่างวัสดุลดลง การเกาะกันรวมตัวเป็นกลุ่มของเส้นใยชานอ้อย ทำให้ส่งผ่านแรงได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล  $(\text{Si-OH})$  ที่เกิดขึ้นสามารถดูได้จากการผลของการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FTIR ที่พีกประมาณ และ  $1030\text{-}1020\text{ cm}^{-1}$

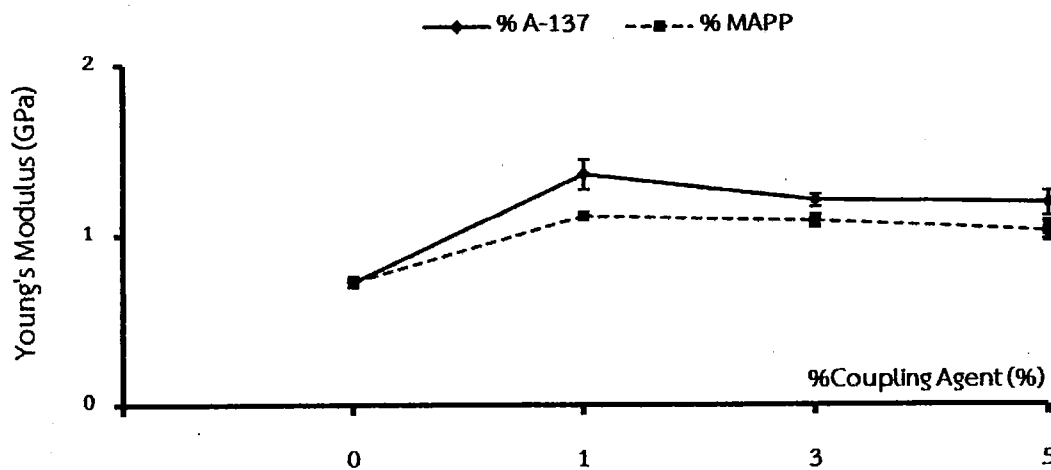
เมื่อเพิ่มปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ 3% และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย จะพบว่าแนวโน้มของค่าสมบัติความแข็งแรงดึง มีค่าที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ที่ 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย อธิบายได้จากเมื่อปริมาณสารคู่ควบไซเลนในพอลิเมอร์คอมโพสิตปริมาณที่มากเกินไป จะส่งผลทำให้สารคู่ควบไซเลนเกิดการรวมตัวกันได้โครงสร้างใหม่ที่เรียกว่า พอลิไซลอคเซน  $(\text{Si-O-Si})$  สามารถตรวจสอบได้จากผลของการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FTIR ตำแหน่งของพีก  $1095\text{-}1015\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งพอลิไซลอคเซนจะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น (Lubricant) เข้าไปลดแรงเสียดทานระหว่างเส้นใยชานอ้อยที่ยึดเกาะพอลิพรอพิลีน จะส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการรับแรง และถ่ายเทแรงได้น้อยลง ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าน้อยลง (ศิริกาญจน์, 2550)



ผลของสารช่วยผสม MAPP เมื่อทำการปรับปรุงพอลิเมอร์คอมโพสิต ในปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย จากรูปที่ 4.2 พบว่า ปริมาณของสารช่วยผสม MAPP 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย ส่งผลให้ค่าของสมบัติด้านความแข็งแรงดึงมีค่าที่สูงที่สุด เพราะว่า สารช่วยผสมตามทฤษฎีนั้น จะทำหน้าที่ลดแรงตึงผิว (Interfacial tension) ของพอลิเมอร์ หลอมเหลวทำให้เกิดการกระจายตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์ในวัฏภาคที่ดีขึ้น และส่งผลต่อการเพิ่มแรงยึดเกาะ (Adhesion) ระหว่างผิวสัมผัส ทำให้การถ่ายเทความเค้น (Stress transfer) เกิดได้ดีขึ้น โดยที่ สารช่วยผสม MAPP มีสมบัติที่ปลายข้างหนึ่งนั้นไม่มีขั้ว คือส่วนของพอลิพรอพิลีน สามารถที่จะเกิดการเกี่ยวพันกัน (Chain entanglement) กับส่วนของพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ ส่วนอีกปลายข้างหนึ่งที่มีขั้ว คือมาเลอิกแอนไฮไดรยด์ ( $C_2H_2(CO)_2O$ ) จะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เกิดพันธะเอสเทอร์ กับหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลส บนพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อย สามารถดูได้จากการผลของการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FTIR ที่พีคประมาณ  $1870-1650\text{ cm}^{-1}$  ส่งผลให้เกิดการกระจายตัวยึดเกาะกันระหว่างพื้นที่ผิวของเส้นใยชานอ้อยกับพอลิพรอพิลีนที่มากขึ้น ช่วยลดรอยตำหนิที่เกิดขึ้นทำให้การถ่ายเทแรงจากเมทริกซ์ไปสู่เส้นใยชานอ้อยมีประสิทธิภาพมากขึ้น (ศิริกาญจน์, 2550)

เมื่อเติมปริมาณของสารช่วยผสม MAPP ที่ 3% และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย จะพบว่าแนวโน้มของค่าสมบัติความแข็งแรงดึง มีค่าที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสารช่วยผสม MAPP ที่ 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย อธิบายได้จากเมื่อสารช่วยผสม MAPP มีปริมาณเพิ่มขึ้น สารช่วยผสม MAPP สามารถที่จะจับตัวรวมกันเป็นกลุ่มก้อนทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์คอมโพสิตกับสารช่วยผสม MAPP ส่งผลทำให้เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงานลดการส่งผ่านและถ่ายเทแรง (ศิริกาญจน์, 2550)

เมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย โดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP พบว่า สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 นั้นให้สมบัติเชิงกลทางด้านความแข็งแรงดึงที่ดีกว่าการใช้สารช่วยผสม MAPP เนื่องจากสาเหตุ 2 สาเหตุดังต่อไปนี้ สาเหตุแรกคือ สารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 สามารถที่จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่หมู่เอทอกซี ( $-OCH_2CH_3$ ) ได้เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ (Si-OH) ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเซลลูโลสในเส้นใยชานอ้อยได้ แต่สารช่วยผสม MAPP นั้นต้องใช้ความร้อนเพื่อที่จะทำให้ความสามารถในการเข้ากันระหว่างพอลิพรอพิลีน กับสารช่วยผสม MAPP เกิดพันธะเอสเทอร์ได้ยากขึ้น สาเหตุที่ 2 คือ ความเข้ากันของสารช่วยผสม MAPP กับ พอลิพรอพิลีน เนื่องจากอัตราการไหลของพอลิพรอพิลีน กับ สารช่วยผสม MAPP นั้นแตกต่างกันมาก คือ พอลิพรอพิลีนมีอัตราการไหลที่  $19\text{ g}/10\text{ min}$  ส่วนสารช่วยผสม MAPP นั้นจะมีอัตราการไหลที่  $115\text{ g}/10\text{ min}$  ส่งผลให้เกิดการเกี่ยวพัน (Chain entanglement) ระหว่างโมเลกุลของพอลิพรอพิลีนยากขึ้น



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสของยังส์กับปริมาณของสารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP

ผลของความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสของยังส์ กับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP ค่าของมอดุลัสของยังส์เป็นการศึกษาความต้านทานการเปลี่ยนรูปร่างในช่วงของการยืดหยุ่น เป็นช่วงที่สายโซ่พอลิเมอร์สามารถที่จะกลับคืนสู่รูปร่างเดิมได้เมื่อปล่อยแรง จากรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อมีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อยด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และ สารช่วยผสม MAPP นั้น ค่าของสมบัติด้านมอดุลัสของยังส์เพิ่มขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อย เนื่องจากเมื่อทำการปรับปรุงความแข็งแรงบริเวณพื้นผิวระหว่างวัฏภาคจะช่วยต้านทานการเสียรูปหรือการหลุดเลื่อนของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อได้รับแรงดึงทำให้เกิดการเสียสภาพแบบยืดหยุ่น (Elastic deformation) เป็นไปได้ยากขึ้น

เมื่อเติมปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ในปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย พบว่าปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย ส่งผลให้ค่าของสมบัติด้านมอดุลัสของยังส์นั้นมีค่าที่สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยชานอ้อย เช่นเดียวกับสมบัติทางด้านความแข็งแรงดึง เนื่องจากสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 จะส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะกันระหว่างวัฏภาคของเส้นใยชานอ้อยกับพอลิพรอพิลีนเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้รอยตำหนิของชิ้นงานลดลง ซึ่งการปรับปรุงความแข็งแรงบริเวณพื้นผิวระหว่างวัฏภาคจะช่วยต้านทานการเสียรูปหรือการเลื่อนหลุดของสายโซ่เมื่อได้รับแรงดึงมากขึ้น ค่ามอดุลัสของยังส์จึงเพิ่มขึ้น

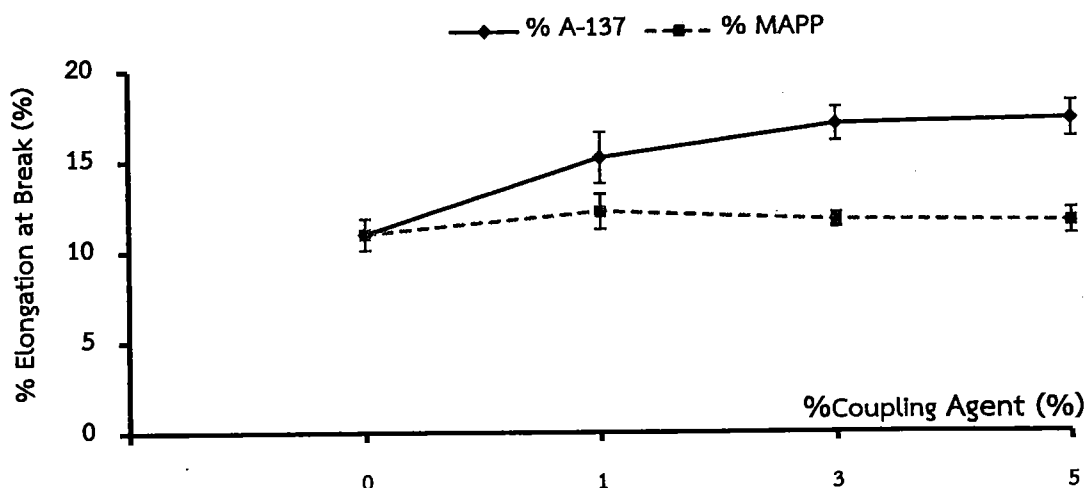
เมื่อปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ 3% และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย จะพบว่าแนวโน้มของค่าสมบัติด้านมอดุลัสของยังส์ มีค่าที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ที่ 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย อธิบายจากเมื่อปริมาณสารคู่ควบไซเลนในพอลิเมอร์คอมโพสิตปริมาณมากเกินไป จะส่งผลทำให้สารคู่ควบไซเลนเกิดการรวมตัวกัน

ได้โครงสร้างใหม่ที่เรียกว่า พอลิไซลอคเซน (Si-O-Si) ซึ่งพอลิไซลอคเซนจะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น (Lubricant) เข้าไปลดแรงเสียดทานระหว่างเส้นใยชานอ้อยกับพอลิพรอพิลีนจะส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการรับแรงและถ่ายเทแรงได้น้อยลง ส่งผลทำให้ค่ามอดูลัสของยังส์ลดลง

ผลของสารช่วยผสม MAPP เมื่อทำการปรับปรุงพอลิเมอร์คอมโพสิต ในปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย จากรูปที่ 4.3 พบว่า ปริมาณของสารช่วยผสม MAPP 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย ส่งผลให้ค่าของสมบัติด้านมอดูลัสของยังส์สูงสุด เพราะว่าสารช่วยผสม MAPP มีสมบัติที่ปลายข้างหนึ่งนั้นไม่มีขั้ว คือส่วนของสายโซ่โมเลกุลพอลิพรอพิลีนสามารถที่จะเกิดการเกี่ยวพันกัน (Chain entanglement) กับพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ ส่วนปลายข้างหนึ่งที่มีขั้ว คือส่วนของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ ( $C_2H_2(CO)_2O$ ) จะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เกิดพันธะเอสเทอร์ กับหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสบนพื้นที่ผิวของเส้นใยชานอ้อย ส่งผลทำให้เกิดการกระจายตัวยึดเกาะกันระหว่างพื้นที่ผิวของเส้นใยชานอ้อยกับพอลิพรอพิลีนที่มากขึ้น ช่วยลดรอยตำหนิที่เกิดขึ้นทำให้การถ่ายเทแรงจากเมทริกซ์ไปสู่เส้นใยชานอ้อยมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เมื่อเติมปริมาณของสารช่วยผสม MAPP ที่ 3% และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย จะพบว่าแนวโน้มของค่าสมบัติด้านมอดูลัสของยังส์ มีค่าที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสารช่วยผสม MAPP ที่ 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย อธิบายได้จากเมื่อสารช่วยผสม MAPP มีปริมาณเพิ่มขึ้น สารช่วยผสม MAPP สามารถที่จะจับตัวรวมกันเป็นกลุ่มก้อนทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างภูมิภาคของพอลิเมอร์คอมโพสิตกับสารช่วยผสม MAPP เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน ส่งผลทำให้การส่งผ่านและถ่ายเทแรงลดลง (ศิริกาญจน์, 2550)

เมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติด้านมอดูลัสของยังส์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP พบว่า สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ให้สมบัติเชิงกลทางด้านมอดูลัสของยังส์ที่ดีกว่าการใช้สารช่วยผสม MAPP เช่นเดียวกับสมบัติความแข็งแรงดึง



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด กับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP

ผลของความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด กับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP โดยสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการยืดตัวของชิ้นงานก่อนเกิดการขาด จากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อมีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อยด้วยไซเลน ชนิด A-137 และ สารช่วยผสม MAPP นั้น ค่าของสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด เพิ่มขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยชานอ้อย เนื่องจากเมื่อทำการปรับปรุงความแข็งแรงระหว่างภูมิภาคจะช่วยต้านทานการเสียรูป หรือการหลุดเลื่อนของสายโซ่เมื่อได้รับแรงดึงทำให้การเสียสภาพแบบยืดหยุ่น (Elastic deformation) เป็นไปได้ยากขึ้น เนื่องจากสายโซ่มีการเกี่ยวพันกัน (Chain entanglement) ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยาก สมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด จึงเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับสมบัติด้านอื่นๆ

เมื่อเติมปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ในปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย พบว่าปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย ส่งผลให้ค่าของสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าที่สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยชานอ้อย เช่นเดียวกับสมบัติทางด้านความแข็งแรงดึง และมอดุลัสของยังส์ เนื่องจากสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 จะส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะกันระหว่างภูมิภาคของเส้นใยชานอ้อยกับพอลิพรอพิลีนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้รอยตำหนิของชิ้นงานลดลง ลดการเกิด Stress concentration ส่งผลให้ชิ้นงานสามารถที่จะส่งผ่านแรงได้อย่างต่อเนื่อง

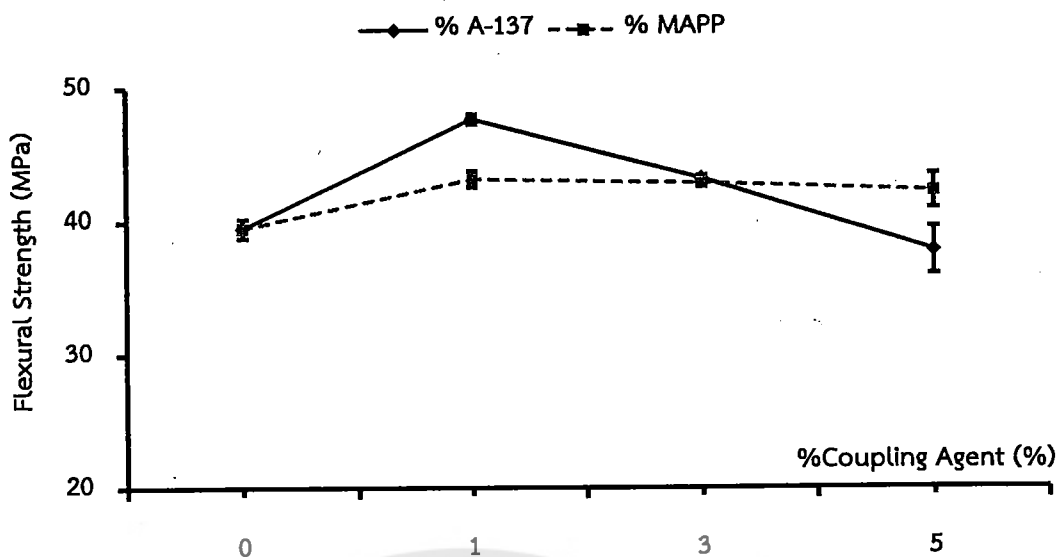
เมื่อปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ 3% และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย จะพบว่าแนวโน้มของค่าสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ที่ 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย อธิบายจากเมื่อปริมาณสารคู่ควบ

ไซเลนในพอลิเมอร์คอมโพสิตปริมาณที่มากเกินไป จะส่งผลทำให้สารคู่ควบไซเลนเกิดการรวมตัวกัน ได้โครงสร้างใหม่ที่เรียกว่า พอลิซิลอกเซน (Si-O-Si) ซึ่งพอลิซิลอกเซนจะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น (Lubricant) เข้าไปลดแรงเสียดทานระหว่างเส้นใยชานอ้อยกับพอลิพรอพิลีนจะส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการรับแรงและถ่ายเทแรงได้น้อยลง ส่งผลทำให้ค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดลดลง

ผลของสารช่วยผสม MAPP เมื่อทำการปรับปรุงพอลิเมอร์คอมโพสิต ในปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย จากรูปที่ 4.3 พบว่า ปริมาณของสารช่วยผสม MAPP 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย ส่งผลให้ค่าของสมบัติด้านร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดสูงสุด เพราะว่ สารช่วยผสม MAPP มีสมบัติในการปรับปรุงการยึดเกาะ (Adhesion) ระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์คอมโพสิต มีผลทำให้รอยตำหนิของชิ้นงานลดลง ดังนั้นเมื่อชิ้นงานได้รับแรง จึงสามารถส่งผ่านแรงได้อย่างต่อเนื่อง สมบัติทางด้านร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาด จึงสูงขึ้น

เมื่อเติมปริมาณของสารช่วยผสม MAPP ที่ 3% และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย จะพบว่าแนวโน้มของค่าสมบัติด้านร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาด มีค่าที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสารช่วยผสม MAPP ที่ 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย อธิบายได้จากเมื่อเติมสารช่วยผสม MAPP มีปริมาณมากขึ้น สารช่วยผสม MAPP สามารถที่จะจับตัวรวมกันเป็นกลุ่มก้อนทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์คอมโพสิตกับสารช่วยผสม MAPP ส่งผลทำให้เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน ลดการส่งผ่านแรง และถ่ายเทแรง

เมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติด้านร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP พบว่า สารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 ให้สมบัติเชิงกลทางด้านร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดที่ดีกว่าการใช้สารช่วยผสม MAPP โดยเหตุผลตามสมบัติด้านความแข็งแรงดึง



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอกับปริมาณของสารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP

ผลของความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอกับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP ความแข็งแรงโค้งงอ คือ ค่าความเค้นสูงสุดที่ให้แก่ชิ้นงานก่อนการเสียรูปของชิ้นงานอย่างถาวร เมื่อชิ้นงานได้รับแรงกดเกิดการกระจายแรงจากเมทริกซ์สู่เส้นใยขานอ้อย จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อมีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยขานอ้อย ด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และ สารช่วยผสม MAPP นั้น ค่าของสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีน คอมโพลีตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยขานอ้อย เนื่องจากเมื่อทำการปรับปรุงความแข็งแรงบริเวณพื้นผิวระหว่างวัฏภาคจะช่วยด้านทานการเสียรูป หรือการหลุดเลื่อนของสายโซ่ เป็นไปได้ยากขึ้น เนื่องจากสายโซ่มีการเกี่ยวพันกัน (Chain entanglement) ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยาก ทำให้ค่าของความแข็งแรงโค้งงอเพิ่มขึ้น

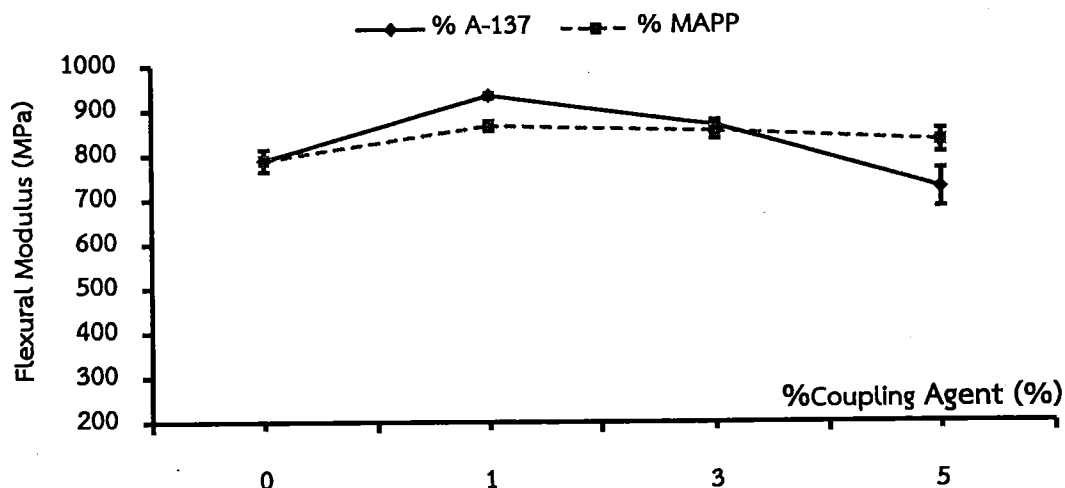
เมื่อเติมปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ในปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยขานอ้อย พบว่าปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ 1% โดยน้ำหนักเส้นใยขานอ้อย ส่งผลให้ค่าของสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอมีค่าที่สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์คอมโพลีตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยขานอ้อย เนื่องจากสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 จะส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะกันระหว่างวัฏภาคของเส้นใยขานอ้อยกับพอลิพรอพิลีนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้รอยตำหนิของชิ้นงานลดลง ลดการเกิด Stress concentration ส่งผลให้ชิ้นงานสามารถที่จะส่งผ่านแรงได้อย่างต่อเนื่อง

เมื่อเพิ่มปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ 3% และ 5% โดยน้ำหนัก เส้นใยชานอ้อย จะพบว่าแนวโน้มของค่าสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอมีค่าที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ที่ 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย อธิบายจากเมื่อปริมาณสารคู่ควบไซเลนในพอลิเมอร์คอมโพสิตปริมาณที่มากเกินไป จะส่งผลทำให้สารคู่ควบไซเลนเกิดการรวมตัวกันได้ โครงสร้างใหม่ที่เรียกว่า พอลิไซลอคเซน (Si-O-Si) ซึ่งพอลิไซลอคเซน จะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น (Lubricant) เข้าไปลดแรงเสียดทานระหว่างเส้นใยชานอ้อยกับพอลิพรอพิลีนจะส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการรับแรง และถ่ายเทแรงได้น้อยลง ส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอลดลง

ผลของสารช่วยผสม MAPP เมื่อทำการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต ในปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย จากรูปที่ 4.5 พบว่าปริมาณของสารช่วยผสม MAPP 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย ส่งผลให้ค่าของสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอสูงสุด เพราะว่า สารช่วยผสม MAPP มีสมบัติที่ปลายข้างหนึ่งนั้นไม่มีขั้ว คือส่วนของพอลิพรอพิลีน สามารถที่จะเกิดการเกี่ยวพันกัน (Chain entanglement) กับส่วนของพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ ส่วนปลายข้างหนึ่งที่มีขั้ว คือส่วนของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ ( $C_2H_2(CO)_2O$ ) จะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เกิดพันธะเอสเทอร์ กับหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลส (-OH) บนพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อย ส่งผลทำให้เกิดการกระจายตัวยึดเกาะกันระหว่างพื้นที่ผิวของเส้นใยชานอ้อยกับพอลิพรอพิลีนที่มากขึ้น ช่วยลดรอยตำหนิที่เกิดขึ้นทำให้การถ่ายเทแรงจากเมทริกซ์ไปสู่เส้นใยชานอ้อยมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เมื่อเติมปริมาณของสารช่วยผสม MAPP ที่ 3% และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย จะพบว่าแนวโน้มของค่าสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอ มีค่าที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสารช่วยผสม MAPP ที่ 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย อธิบายได้จากเมื่อสารช่วยผสม MAPP มีปริมาณเพิ่มขึ้น สารช่วยผสม MAPP สามารถที่จะจับตัวรวมกันเป็นกลุ่มก้อนทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างวิฤภาคของพอลิเมอร์คอมโพสิตกับสารช่วยผสม MAPP ส่งผลทำให้เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน ลดการส่งผ่านและถ่ายเทแรง

เมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP พบว่าสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ให้สมบัติเชิงกลทางด้านความแข็งแรงโค้งงอที่ดีกว่าการใช้สารช่วยผสม MAPP โดยเหตุผลตามสมบัติด้านความแข็งแรงดึงเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสโค้งงอ กับปริมาณของสารสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP

ผลของความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสโค้งงอ กับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP โดยมอดุลัสโค้งงอนั้นเกิดจากแรงกดอัดแบบโค้งงอ ทำให้เกิดความเค้นขึ้นบริเวณภายในของพอลิเมอร์คอมโพสิต จากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อมีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยชานอ้อยด้วยไซเลน ชนิด A-137 และ สารช่วยผสม MAPP นั้น ค่าของสมบัติด้านมอดุลัสโค้งงอ เพิ่มขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยชานอ้อย เนื่องจากเมื่อทำการปรับปรุงความแข็งแรงบริเวณพื้นที่ผิวระหว่างวัฏภาคจะช่วยต้านทานการเสียรูป หรือการหลุดเลื่อนของสายโซ่โมเลกุลเมื่อได้รับแรง เนื่องจากสายโซ่มีการเกี่ยวพันกัน (Chain entanglement) ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยาก จึงมีความแข็งแรง ค่ามอดุลัสโค้งงอจึงเพิ่มขึ้น

เมื่อเติมปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ในปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย พบว่าปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย ส่งผลให้ค่าของสมบัติด้านมอดุลัสโค้งงอมีค่าที่สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยชานอ้อย เช่นเดียวกับสมบัติทางด้านความแข็งแรงตั้งเนื่องจากสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 จะส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะกันระหว่างวัฏภาคของเส้นใยชานอ้อยกับพอลิพรอพิลีนเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้รอยตำหนิของชิ้นงานลดลง ลดการเกิด Stress concentration ส่งผลให้ชิ้นงานสามารถที่จะส่งผ่านแรงได้อย่างต่อเนื่อง

เมื่อเพิ่มปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ 3% และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย จะพบว่าแนวโน้มของค่าสมบัติด้านมอดุลัสโค้งงอ มีค่าที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ที่ 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย อธิบายจากเมื่อปริมาณสารคู่ควบไซเลนในพอลิเมอร์คอมโพสิตปริมาณที่มากเกินไป จะส่งผลทำให้สารคู่ควบไซเลนเกิดการรวมตัวกันได้ โครงสร้างใหม่ที่เรียกว่า พอลิไซลอคเซน (Si-O-Si) ซึ่งพอลิไซลอคเซน จะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น

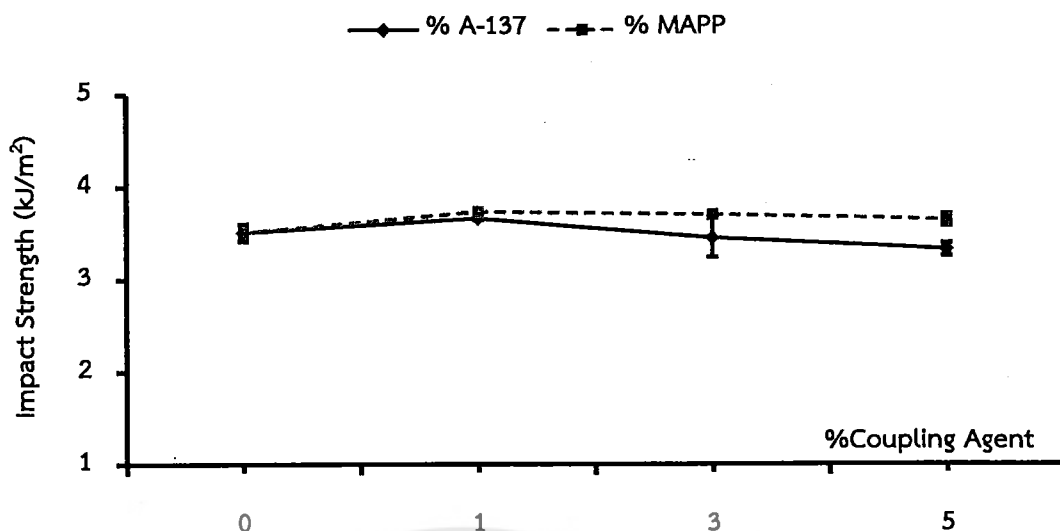


(Lubricant) เข้าไปลดแรงเสียดทานระหว่างเส้นใยชานอ้อยกับพอลิพรอพิลีนจะส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการรับแรงและถ่ายเทแรงได้น้อยลง ส่งผลทำให้ค่ามอดูลัสโค้งงอลดลง

ผลของสารช่วยผสม MAPP เมื่อทำการปรับปรุงพอลิเมอร์คอมโพสิต ในปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย จากรูปที่ 4.6 พบว่า ปริมาณของสารช่วยผสม MAPP 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย ส่งผลให้ค่าของสมบัติด้านมอดูลัสโค้งงอสูงสุด เพราะสารช่วยผสม MAPP มีสมบัติที่ปลายข้างหนึ่งนั้นไม่มีขั้ว คือส่วนของพอลิพรอพิลีน สามารถที่จะเกิดการเกี่ยวพันกัน (Chain entanglement) กับส่วนของพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ ส่วนปลายข้างหนึ่งที่มีขั้ว คือส่วนของมาเลอิกแอนไฮไดรไรด์ ( $C_2H_2(CO)_2O$ ) จะทำปฏิกิริยากับหมู่ ไฮดรอกซิล (-OH) เกิดพันธะเอสเทอร์ กับหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสในเส้นใยชานอ้อย ส่งผลทำให้เกิดการกระจายตัวยึดเกาะกันระหว่างพื้นที่ผิวของเส้นใยชานอ้อยกับพอลิพรอพิลีนมากขึ้น ช่วยลดรอยตำหนิที่เกิดขึ้นทำให้การถ่ายเทแรงจากเมทริกซ์ไปสู่เส้นใยชานอ้อยมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เมื่อเพิ่มปริมาณของสารช่วยผสม MAPP ที่ 3% และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย จะพบว่าแนวโน้มของค่าสมบัติด้านมอดูลัสโค้งงอ มีค่าที่ลดลงเมื่อทำการเปรียบเทียบกับปริมาณของสารช่วยผสม MAPP ที่ 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย อธิบายได้จากเมื่อสารช่วยผสม MAPP มีปริมาณเพิ่มขึ้น สารช่วยผสม MAPP สามารถที่จะจับตัวรวมกันเป็นกลุ่มก้อนทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างวิฎภาคของพอลิเมอร์คอมโพสิตกับสารช่วยผสม MAPP ส่งผลทำให้เกิดเป็นจุดบกพร่องภายในชิ้นงาน ลดการส่งผ่านและถ่ายเทแรง (ศิริกาญจน์, 2550)

เมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติด้านมอดูลัสของยังของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP พบว่า สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ให้สมบัติเชิงกลทางด้านมอดูลัสโค้งงอ ที่ดีกว่าการใช้สารช่วยผสม MAPP โดยเหตุผลตามสมบัติด้านความแข็งแรงดิ่งเช่นเดียวกัน



**รูปที่ 4.7** ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงกระแทก กับปริมาณของสารสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP

ผลของความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงกระแทกกับปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และ สารช่วยผสม MAPP โดยความแข็งแรงกระแทกเป็นการให้พลังงานแก่ชิ้นงานทันทีก่อนชิ้นงานจะเกิดการแตกหักอย่างถาวร เกิดความเค้นบริเวณรอยบากของชิ้นงานในวัสดุภายใต้แรง เป็นบริเวณที่มีความเค้นสูง สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์เริ่มแตกหลุดออกจากกันเกิดการแตกหักเริ่มต้น (Crack Initiation) แล้วปลดปล่อยพลังงานออกมาเกิดการแตกหักอย่างต่อเนื่อง (Crack Propagation) จากรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อมีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อยด้วยไซเลน ชนิด A-137 และ สารช่วยผสม MAPP นั้น ค่าของสมบัติด้านความแข็งแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยชานอ้อย เนื่องจากเมื่อทำการปรับปรุงความแข็งแรงบริเวณพื้นผิวระหว่างวัฏภาคจะทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตสามารถถ่ายเทความเค้นระหว่างรอยต่อของพอลิเมอร์คอมโพสิตได้ ทำให้ความแข็งแรงกระแทกดีขึ้น

เมื่อเติมปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ในปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย พบว่าปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย ส่งผลให้ค่าของสมบัติด้านความแข็งแรงกระแทกมีค่าที่สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยชานอ้อย เนื่องจากสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 จะส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะกันระหว่างวัฏภาคของเส้นใยชานอ้อยกับพอลิพรอพิลีนเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้รอยตำหนิของชิ้นงานลดลง ลดการเกิด Stress concentration ส่งผลให้ชิ้นงานสามารถที่จะส่งผ่านแรงได้อย่างต่อเนื่อง

เมื่อเพิ่มปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ในปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย พบว่าปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อสมบัติด้านความแข็งแรงกระแทก

ผลของสารช่วยผสม MAPP เมื่อทำการปรับปรุงพอลิเมอร์คอมโพสิต ในปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย จากรูปที่ 4.7 พบว่า ปริมาณของสารช่วยผสม MAPP 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย ส่งผลให้ค่าของสมบัติด้านความแข็งแรงกระแทกสูงสุด เพราะว่าสารช่วยผสม MAPP นั้นมีส่วนที่มีขั้วคือมาเลอิกแอนไฮไดรไรด์ ( $C_2H_2(CO)_2O$ ) จะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เกิดพันธะเอสเทอร์ กับหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสของเส้นใยชานอ้อย และสายโซ่พอลิพรอพิลีนในโมเลกุลของสารช่วยผสม MAPP สามารถที่จะเกิดการเกี่ยวพันกันเชิงกล หรือเกิดการเกี่ยวพันกันของสายโซ่ (Chain entanglement) กับสายโซ่พอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ เพิ่มความแข็งแรงบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์คอมโพสิต ช่วยลดตำหนิที่เกิดขึ้นทำให้การถ่ายเทแรงจากเมทริกซ์ไปสู่เส้นใยชานอ้อยมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เมื่อเพิ่มปริมาณของสารช่วยผสม MAPP ในปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย พบว่าปริมาณของสารช่วยผสม MAPP ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อสมบัติด้านความแข็งแรงกระแทก



**ตารางที่ 4.3** สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต เมื่อปรับปรุงด้วยสารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP ที่ปริมาณต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อย

สมบัติเชิงกล	0%	สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 % โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย			สารช่วยผสม MAPP % โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย		
		1%	3%	5%	1%	3%	5%
Tensile Strength (MPa)	25.39	29.73	28.92	28.70	28.56	27.68	26.68
Young's Modulus (GPa)	0.83	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97	0.95
% Elongation at Break (%)	10.96	17.17	16.59	15.15	12.19	11.69	11.57
Flexural Strength (MPa)	39.51	47.61	43.20	37.77	43.14	42.83	42.20
Flexural Modulus (MPa)	787.82	931.97	864.86	723.17	864.10	851.50	828.16
Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )	3.51	3.66	3.45	3.32	3.73	3.70	3.64

ตารางที่ 4.3 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่อัตราส่วนพอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใยชานอ้อย 5% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีน โดยปรับปรุงด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย เปรียบเทียบกับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อย พบว่าการปรับปรุงด้วยสารคู่ควบ ทำให้สมบัติเชิงกลสูงขึ้นดูได้จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 เจอหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญที่ส่งผลทำให้ค่าของสมบัติเชิงกลมีค่าที่เพิ่มมากขึ้นนั่นคือ หมู่ฟังก์ชันซิลานอล (Si-OH) ที่พีกประมาณ  $1030-1020\text{ cm}^{-1}$  พบว่าเมื่อปริมาณสารคู่ควบที่ 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย ส่งผลให้สมบัติเชิงกลสูงขึ้น เมื่อปริมาณสารคู่ควบมากขึ้นที่ปริมาณ 3% และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย ทำให้ค่าสมบัติเชิงกลลดลง ซึ่งดูได้จากหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้น คือ หมู่พอลิซิลอกเซน (Si-O-Si) ที่พีกประมาณ  $1095-1015\text{ cm}^{-1}$  เมื่อปริมาณของพอลิซิลอกเซน ที่มากขึ้น จะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น ส่งผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงกล ลดแรงเสียดทานระหว่างวัฏภาคของเส้นใยชานอ้อยกับพอลิพรอพิลีน ทำให้ชิ้นงานรับแรงและส่งผ่านแรงได้ลดลง ส่วนสารช่วยผสม MAPP ที่ปริมาณ 1% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีนนั้น จะให้ค่าทางสมบัติเชิงกลที่มากกว่าพอลิพรอพิลีนที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยมากกว่าสารช่วยผสม MAPP ที่ปริมาณ 3% และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย ซึ่งสามารถอธิบายได้จากหมู่ฟังก์ชันที่เจอ คือหมู่เอสเตอร์ ที่พีกประมาณ  $1870-1650\text{ cm}^{-1}$  เมื่อปริมาณของสารช่วยผสม MAPP ที่ 3% และ 5% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย จะส่งผลให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ลดลงเพราะว่า สารช่วยผสม MAPP สามารถจับตัวรวมกันเป็นกลุ่มก้อนทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์คอมโพสิตกับสารช่วยผสม MAPP ทำให้เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงานทำให้สมบัติเชิงกลต่ำลง

จากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP ที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อย พบว่าสมบัติเชิงกลโดยรวมของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใยชานอ้อย 5% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีนโดยปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อยด้วยสารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP ที่ปริมาณต่างๆ พบว่าการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อยโดยสารคู่ควบนั้น ทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตสูงกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อย โดยสารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 มีสมบัติเชิงกลโดยรวมสูงกว่าการใช้สารช่วยผสม MAPP โดยสารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 ที่ปริมาณ 1% โดยน้ำหนักของเส้นใยชานอ้อย ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุดและมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการใช้สารคู่ควบที่ปริมาณ 3% และ 5% โดยน้ำหนักของชานอ้อย ตามลำดับ

## บทที่ 5

### บทสรุป และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทสรุป

โครงการนี้เป็นการศึกษาสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีน : เส้นใยชานอ้อย ที่อัตราส่วน 100% : 5% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน โดยมีการปรับปรุงด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยชานอ้อย ซึ่งสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 การศึกษาผลของการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 และสารช่วยผสม MAPP พบว่าสารคู่ควบทั้ง 2 ชนิด ทำให้ค่าสมบัติเชิงกลดีกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่ได้รับการปรับปรุง โดยสารคู่ควบทั้งสองให้ผลทางด้านสมบัติเชิงกลดีที่สุด ปริมาณ 1% โดยน้ำหนักเส้นใยชานอ้อยแต่เมื่อปริมาณสารคู่ควบทั้ง 2 ชนิดเพิ่มขึ้น คือ 3 % และ 5 % จะส่งผลให้ค่าของสมบัติเชิงกลลดลง โดยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ให้ผลทางด้านสมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าสารช่วยผสม MAPP

5.1.2 ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FTIR ของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 พบอินฟราเรดสเปกตรัมที่หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (Si-OH) และหมู่ฟังก์ชันของ พอลิไฮดรอกซิล (Si-O-Si) ส่วนสารช่วยผสม MAPP พบอินฟราเรดสเปกตรัมของหมู่คาร์บอนิล (C=O) และเมื่อเติมเส้นใยชานอ้อยในปริมาณ 5% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าสมบัติเชิงกลโดยรวมของพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์มีค่าสูงกว่าสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนคอมโพสิต

จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อยด้วยสารคู่ควบช่วยเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์ กับเส้นใยชานอ้อย และปฏิกิริยาเคมีที่เชื่อมโยงกัน ระหว่างสารคู่ควบกับวัสดุภาคทั้งสองช่วยเพิ่มการยึดเกาะบริเวณรอยต่อได้ ซึ่งช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาการใช้สารคู่ควบโดยผสมสารคู่ควบแต่ละชนิดเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกันเพื่อผลทางด้านสมบัติเชิงกล

5.2.2 ศึกษาการใช้เส้นใยชานอ้อยที่ปริมาณแตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกล

5.2.3 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ เช่น ร้อยละการดูดซับน้ำ สัณฐานวิทยา เป็นต้น

## 5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา

5.3.1 ผู้ทดลองจากเส้นใยชานอ้อย และกลิ่นของสารเคมีต่างๆ ควรใส่หน้ากากและถุงมือเพื่อป้องกันอันตราย

5.3.2 การปฏิบัติงานทุกครั้งควรทำด้วยความระมัดระวัง โดยทำการศึกษาการใช้เครื่องมือก่อนการปฏิบัติงานจริง เพื่อให้เกิดความชำนาญและปลอดภัยในการใช้งาน



## เอกสารอ้างอิง

- กนิษฐา อังกรรัชต์. (2546). **การศึกษาสมบัติของพอลิพรอพิลีน โดยได้ใช้ซีลี้อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารเสริมแรง.** วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (กรกฎาคม 2552). **ช่องทางวิทยาศาสตร์ของเสี้ยโยซานอ้อย.** สืบค้นเมื่อ 22 กรกฎาคม 2552, จาก <http://www.pantown.com/content>.
- ชนิดา โยธินวัฒน์กำจร. (2547). **การศึกษาความสามารถในการขึ้นรูปและคุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/ซีลี้อย.** วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- เดือนพร บุญศิริคำชัย. (2549). **ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบคล้ายไม้ จากพอลิไวนิลคลอไรด์กับผงหนังและเยื่อซานอ้อย.** วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- ถิราวุธ พงศ์ประยูร, จันทพร ผลการกุล และณัฐสพล เกียรติพานิช. (2546). **การพัฒนาและศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติการไหลที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิตของเทอร์โมพลาสติกเสริมแรงที่เตรียมได้จากเส้นใยจากธรรมชาติ.** ปริญญานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระนครเหนือ, นนทบุรี.
- ทฤษฎีการยึดเกาะ. (กรกฎาคม 2552). **แบบจำลองของทฤษฎีการยึดเกาะแบบจุดจับ.** สืบค้นเมื่อ 22 กรกฎาคม 2552, จาก <http://www.specialchem4adhesives.com>
- ภัทรพร สงวนสัตย์. (2550). **ศึกษาผลของสารช่วยผสม และออร์กาโนเคลย์ที่มีต่อสมบัติของฟิล์มพอลิพรอพิลีนนาโนคอมโพสิต.** วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- รองศาสตราจารย์แมน อมรสิทธิ์. (2539). **หลักการ และเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ.** กรุงเทพฯ. ชวนพิมพ์
- ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์. (2550). **การปรับปรุงสมบัติของคอมโพสิตจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลครอไรด์ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำโดยใช้ซีลี้อยไม้ยางพาราเป็นสารเสริมแรง.** วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- สุปราณี ชุมสำโรง. (2547). **ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใยจากธรรมชาติที่มีในประเทศไทย.** ปริญญานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.



## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- สุปราณี แสงทอง. (2549). **การปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติโดยใช้ปฏิกิริยาแอคไมเซลลาพอลิ-เมอไรเซชันสำหรับทำวัสดุประกอบ**. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, นนทบุรี
- รองศาสตราจารย์สมศักดิ์ วรมงคลชัย. (2547). **สารปรับแต่งพอลิเมอร์**. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ. บุ๊คเน็ต
- สุรัชย์ พิพัฒน์วุฒิวงศ์ และธนากร กลิ่นจันทร์. (2539). **ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของพลาสติก HDPE (เกรด N3260) โดยการเสริมแรงด้วยเส้นใยจากผักตบชวา**. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, นนทบุรี.
- อำนาจ ลากเกษมสุข. (2540). **สมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่ผสมคาร์บอนเนต**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ASTM D 638. (1996). **Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic (Metric)**. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- ASTM D 790. (1996). **Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic (Metric)**. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- ASTM D 256. (1996). **Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials**. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.



ตารางที่ ก.1 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใย  
 กล้วย 5% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีน

No.	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	% Elongation at Break (%)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)	Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )
1	25.33	0.82	9.69	40.09	814.00	3.58
2	25.01	0.82	10.73	37.82	746.61	3.50
3	25.59	0.82	11.41	39.36	767.12	3.60
4	25.58	0.85	10.23	39.95	823.27	3.58
5	25.15	0.84	11.38	40.31	788.12	3.28
6	25.38	0.82	10.13	39.50	787.79	3.48
7	24.54	0.82	13.14	39.53	787.87	3.53
8	25.36	0.83	10.97	39.50	787.80	3.52
ค่าเฉลี่ย	25.37	0.83	10.96	39.51	787.82	3.51
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.18	0.10	0.87	0.73	24.77	0.09

ตารางที่ ก.2 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใย  
 ใยชานอ้อย 5% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีน : Silane ชนิด A-137 ที่ 1% โดยน้ำหนัก  
 ของเส้นใยชานอ้อย

No.	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	% Elongation at Break (%)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)	Impact Strength ( $\text{kJ/m}^2$ )
1	29.92	1.12	13.64	47.13	921.91	3.65
2	29.33	1.08	12.80	48.29	926.79	3.70
3	29.50	1.13	14.10	47.38	938.51	3.65
4	29.98	1.08	16.40	47.39	940.95	3.65
5	29.93	1.11	16.74	47.86	931.68	3.65
6	29.72	1.05	15.56	47.58	931.91	3.60
7	29.75	0.99	16.80	47.64	932.01	3.59
8	29.72	1.08	15.17	47.58	931.99	3.79
ค่าเฉลี่ย	29.73	1.08	15.15	47.61	931.97	3.66
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.19	0.33	1.40	0.37	6.21	0.02

ตารางที่ ก.3 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใย  
 ใยชานอ้อย 5% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีน : Silane ชนิด A-137 ที่ 3% โดยน้ำหนัก  
 ของเส้นใยชานอ้อย

No.	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	% Elongation at Break (%)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)	Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )
1	29.23	1.02	18.93	43.59	835.48	3.70
2	29.05	1.01	17.14	43.15	872.10	3.73
3	27.61	0.98	15.94	42.71	875.45	3.45
4	29.75	1.03	15.88	43.31	865.76	3.13
5	28.89	1.02	16.03	43.26	875.52	3.25
6	29.00	1.04	18.00	43.19	864.70	3.45
7	28.93	1.02	16.75	43.22	864.98	3.48
8	28.90	1.02	16.89	43.19	864.87	3.42
ค่าเฉลี่ย	28.92	1.02	16.95	43.20	864.86	3.45
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.38	0.13	0.92	0.22	11.75	0.21

ตารางที่ ก.4 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใย  
 ฐานอ้อย 5% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีน : Silane ชนิด A-137 ที่ 5% โดยน้ำหนัก  
 ของเส้นใยฐานอ้อย

No.	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	% Elongation at Break (%)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)	Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )
1	28.72	1.05	16.49	38.48	745.63	3.28
2	28.40	1.01	16.83	37.76	718.78	3.28
3	28.91	1.07	18.51	34.24	678.25	3.38
4	29.48	1.02	18.34	41.47	808.14	3.43
5	28.97	0.91	16.34	36.88	665.06	3.23
6	28.44	1.02	15.58	37.75	723.10	3.31
7	28.00	1.01	18.13	37.79	723.25	3.33
8	28.69	1.01	17.15	37.77	723.16	3.32
ค่าเฉลี่ย	28.70	1.01	17.17	37.77	723.17	3.32
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.36	0.29	0.99	1.77	42.97	0.07

ตารางที่ ก.5 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใย  
 ฐานอ้อย 5% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีน : สารช่วยผสม MAPP 1% โดยน้ำหนัก  
 ของเส้นใยฐานอ้อย

No.	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	% Elongation at Break (%)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)	Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )
1	28.98	0.98	10.97	42.87	854.53	3.78
2	28.02	0.98	10.67	42.52	861.85	3.68
3	28.42	0.97	11.54	42.51	849.15	3.70
4	28.99	0.98	12.86	44.13	874.06	3.75
5	28.82	0.98	13.00	43.65	880.89	3.75
6	28.39	0.98	13.50	43.12	864.05	3.70
7	28.29	0.99	12.79	43.20	864.16	3.76
8	28.49	0.98	12.15	43.10	864.09	3.73
ค่าเฉลี่ย	28.56	0.98	12.19	43.14	864.10	3.73
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.32	0.49	0.97	0.60	10.70	0.03

ตารางที่ ก.6 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใย  
 ใยชานอ้อย 5% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีน : สารช่วยผสม MAPP 3% โดยน้ำหนัก  
 ของเส้นใยชานอ้อย

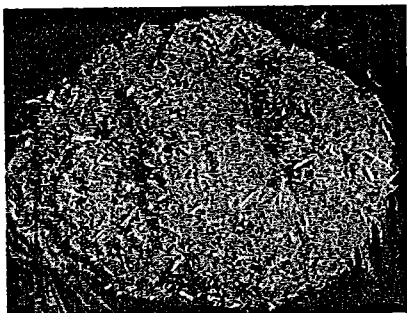
No.	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	% Elongation at Break (%)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)	Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )
1	28.11	0.96	12.30	43.04	833.53	3.70
2	26.88	0.95	11.36	42.56	863.31	3.70
3	26.44	0.99	11.29	43.36	831.57	3.68
4	28.96	0.97	12.05	42.82	881.38	3.75
5	27.47	0.95	11.37	42.39	847.69	3.68
6	28.46	0.98	12.14	42.81	851.48	3.70
7	27.48	0.98	11.33	42.87	851.54	3.74
8	27.50	0.97	11.58	42.81	851.48	3.66
ค่าเฉลี่ย	27.69	0.97	11.69	42.83	851.50	3.70
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.71	0.13	0.40	0.29	16.68	0.02



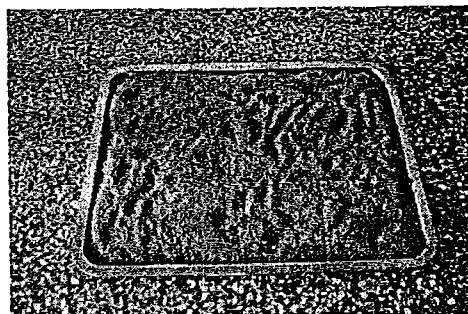
ตารางที่ ก.7 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใย  
 ใยชานอ้อย 5% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีน : สารช่วยผสม MAPP 5% โดยน้ำหนัก  
 ของเส้นใยชานอ้อย

No.	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	% Elongation at Break (%)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)	Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )
1	26.80	0.93	10.93	43.75	800.81	3.53
2	26.17	0.96	10.78	43.17	856.97	3.60
3	27.27	0.97	12.39	40.37	826.20	3.73
4	27.09	0.93	11.45	40.82	864.78	3.70
5	27.21	0.94	12.41	42.87	792.02	3.63
6	26.29	0.99	10.63	42.17	828.12	3.67
7	25.93	0.91	12.42	42.27	828.20	3.61
8	26.57	0.95	11.55	42.18	828.16	3.65
ค่าเฉลี่ย	26.68	0.95	11.57	42.20	828.16	3.64
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.47	0.21	0.71	1.28	26.18	0.06





ก)

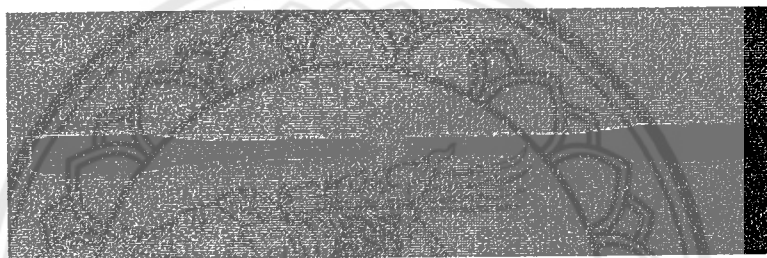


ข)

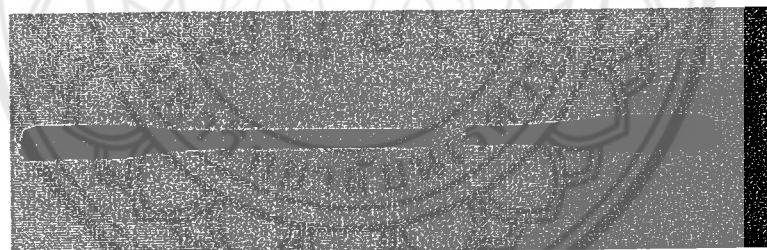
### รูปที่ ข.1 เส้นใยชานอ้อย

ก) เส้นใยชานอ้อยก่อนบด

ข) เส้นใยชานอ้อยหลังบด



ก)

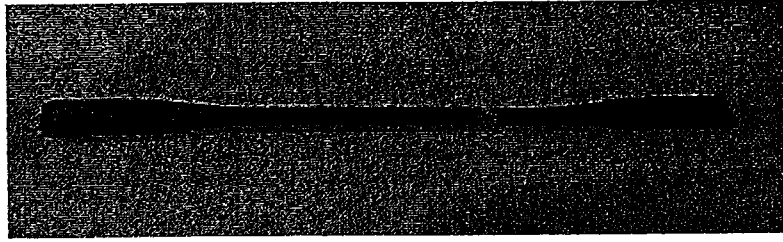


ข)

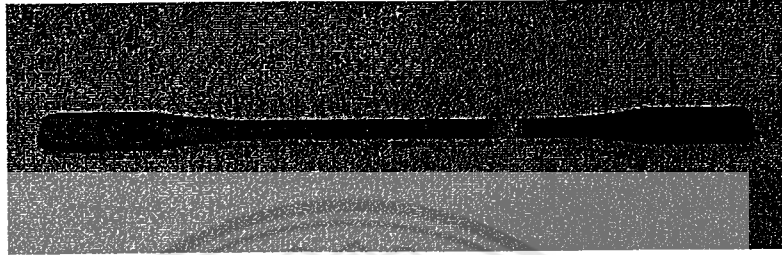
**รูปที่ ข.2** ชิ้นงานของพอลิเมอร์คอมโพสิต ผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใยชานอ้อย 5% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ที่ทดสอบสมบัติเชิงกล โดยการทดสอบความแข็งแรงดึง

ก) ไม่ได้ปรับปรุงด้วยสารคู่ควบ

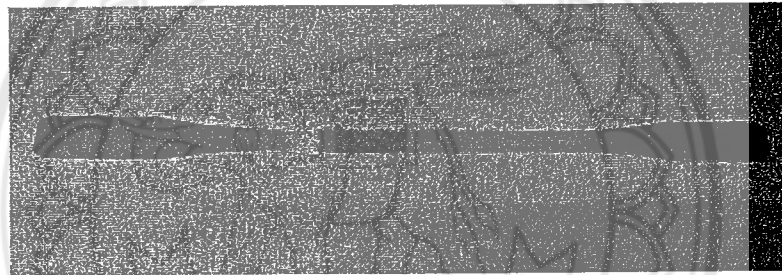
ข) ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสม MAPP ที่ปริมาณ 1%



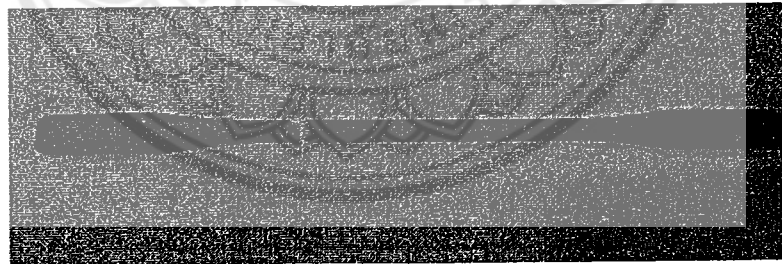
ค)



ง)



จ)



ฉ)

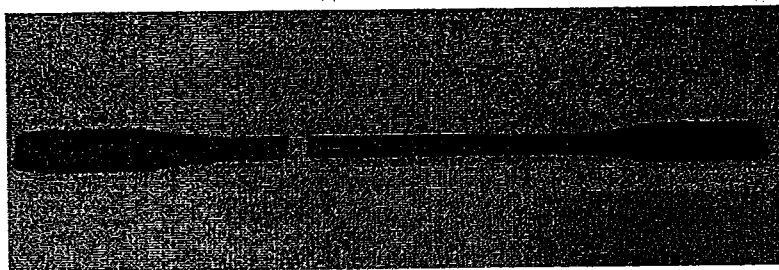
รูปที่ ข.2 (ต่อ) ชิ้นงานของพอลิเมอร์คอมโพสิต ผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใยชานอ้อย 5% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ที่ทดสอบสมบัติเชิงกล โดยการทดสอบความแข็งแรงดึง

ค) ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสม MAPP ที่ปริมาณ 3%

ง) ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสม MAPP ที่ปริมาณ 5%

จ) ปรับปรุงด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ปริมาณ 1%

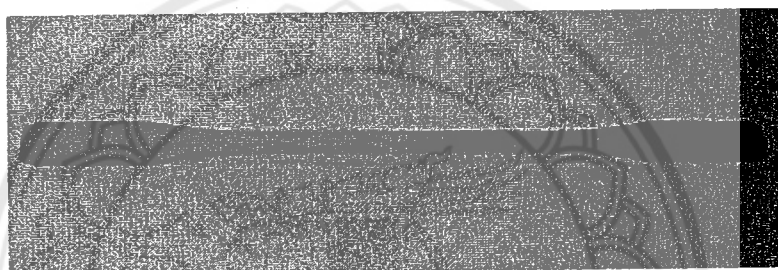
ฉ) ปรับปรุงด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ปริมาณ 3%



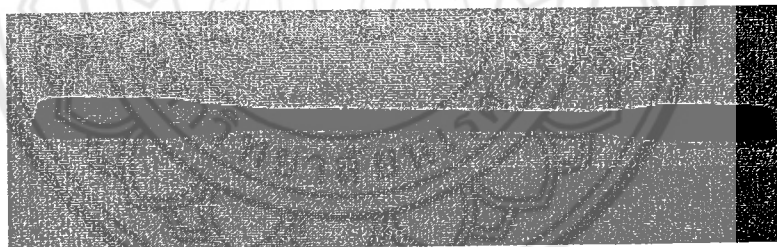
ข)

รูปที่ ข.2 (ต่อ) ชิ้นงานของพอลิเมอร์คอมโพสิต ผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใยชานอ้อย 5% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ที่ทดสอบสมบัติเชิงกล โดยการทดสอบความแข็งแรงดึง

ข) ปรับปรุงด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ปริมาณ 5%



ก)

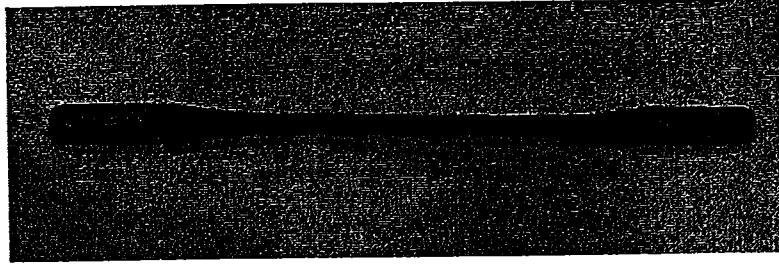


ข)

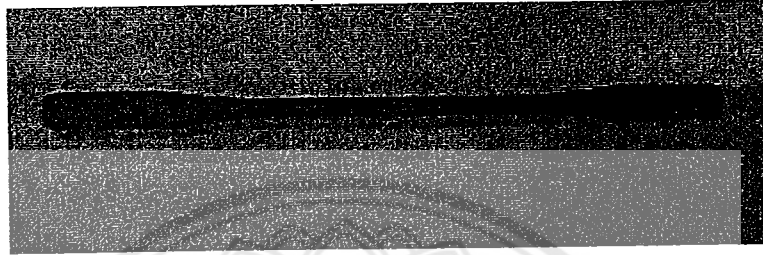
รูปที่ ข.3 ชิ้นงานของพอลิเมอร์คอมโพสิต ผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใยชานอ้อย 5% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ที่ทดสอบสมบัติเชิงกล โดยการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ

ก) ไม่ได้ปรับปรุงด้วยสารคู่ควบ

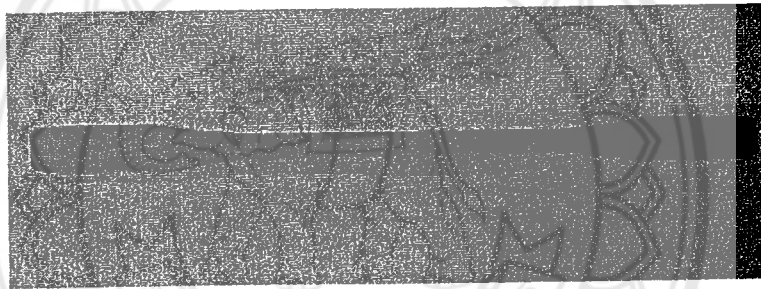
ข) ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสม MAPP ที่ปริมาณ 1%



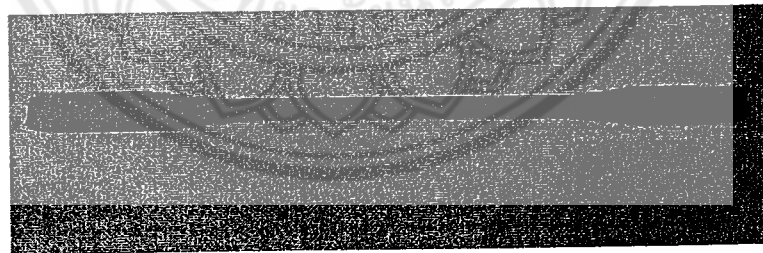
ค)



ง)



จ)



ฉ)

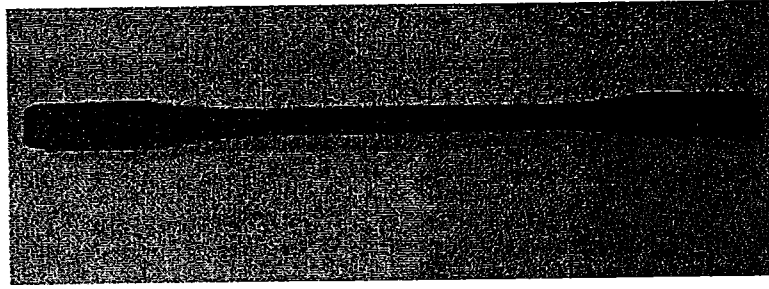
รูปที่ ข.3 (ต่อ) ชิ้นงานของพอลิเมอร์คอมโพสิต ผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใยชานอ้อย 5% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ที่ทดสอบสมบัติเชิงกล โดยการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ

ค) ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสม MAPP ที่ปริมาณ 3%

ง) ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสม MAPP ที่ปริมาณ 5%

จ) ปรับปรุงด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ปริมาณ 1%

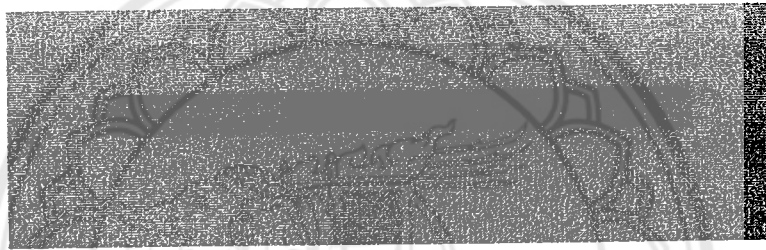
ฉ) ปรับปรุงด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ปริมาณ 3%



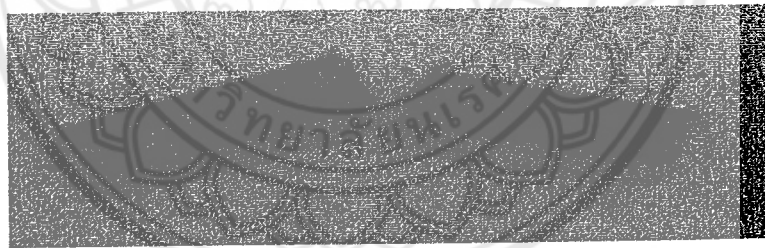
ข)

รูปที่ ข.3 (ต่อ) ชิ้นงานของพอลิเมอร์คอมโพสิต ผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใยชานอ้อย 5% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ที่ทดสอบสมบัติเชิงกล โดยการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ

ข) ปรับปรุงด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ปริมาณ 5%



ก)



ข)

รูปที่ ข.4 ชิ้นงานของพอลิเมอร์คอมโพสิต ผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีน 100% : เส้นใยชานอ้อย 5% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ที่ทดสอบสมบัติเชิงกล โดยการทดสอบความแข็งแรงกระแทก

ก) ชิ้นงานก่อนการทดสอบความแข็งแรงกระแทก

ข) ชิ้นงานหลังการทดสอบความแข็งแรงกระแทก