

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติ(งานอ้อย)  
เพื่อใช้ประโยชน์ในพอลิเมอร์คอมพอสิต



นางสาววัชรวิ

นายวัฒน์เกียรติ

นางสาววิศณีย์

อธิปัญญาสฤณี

เลื่องลือเจริญกิจ

ตั้งยีนง

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีพ.

๑๓๐๗ ก

ปีการศึกษา 2540

๒๕๔๐

เลขหน้.....

เลขทะเบียน..... 32007

วัน, เดือน, ปี..... ๘ ก.พ. 254๒

การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Surface Modification of Natural Fibers (Bagasse)  
for Polymer Composites**



Miss Watcharee Atipanyasarid  
Mr. Wattanakiet Luangluejaroenkit  
Miss Wisanee Tungyuenyong

**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement  
for the Degree of Bachelor of Science  
Department of Chemistry  
Faculty of Science  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติ (ชานอ้อย) เพื่อใช้  
ประโยชน์ในพอลิเมอร์คอมพอสิต  
นักศึกษา นางสาววัชรีย์ อธิปัญญาสฤกษ์  
นายวัฒนเกียรติ เลื่องลือเจริญกิจ  
นางสาววิศณีย์ ตั้งอินขง  
ภาควิชา เคมี  
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาด  
กระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

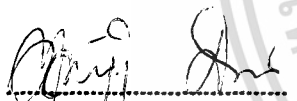
  
.....  
( ผศ.นงนุช เกตรานูวัฒน์ )

หัวหน้าภาควิชาเคมี

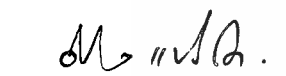
คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ

  
.....  
( ผศ.ดร.มาลินี ชัยชัยกิจสินธุ์ )

ประธานกรรมการ

  
.....  
( ดร.ต้องจิตต์ ทิศจอบ )

กรรมการ

  
.....  
( ดร.อิทธิพล แจ่มชัด )

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติ (ชานอ้อย) เพื่อใช้ประโยชน์ในพอลิเมอร์คอมพอสิต
นักศึกษา	นางสาววัชรีย์ อธิปัญญาตฤณย์ นายวัฒนเกียรติ เลื่องลือเจริญกิจ นางสาววิศณีย์ ตั้งยีนยง
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2540

### บทคัดย่อ

การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติ-ชานอ้อย เพื่อใช้ในพอลิเมอร์คอมพอสิต ได้ถูกศึกษาโดยใช้ปฏิกิริยาการต่อกิ่งด้วยวิธี การฉายรังสีแกมมาแบบขั้นตอนเดียวในสารละลายมอนอเมอร์เมทิลเมทาอะครีเลต (MMA) เส้นใยที่ได้รับการต่อกิ่งจะถูกทำเป็นคอมพอสิตกับอะครีโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (เอบีเอส) และขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคการฉีดขึ้นรูปแล้วทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตจากชานอ้อยทั้งที่ปรับปรุงและไม่ได้รับการปรับปรุง เช่น ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์ความเครียด ความแข็งแรงกระแทก การดูดซับน้ำ เป็นต้น

จากการทดลองพบว่าคอมพอสิตที่มีการปรับปรุงมีสมบัติต่าง ๆ ดีกว่าคอมพอสิตที่ไม่ได้รับการปรับปรุง โดยเฉพาะคอมพอสิตที่ฉายรังสี 15 kGy พบว่าที่ความเข้มข้น 20 % มอนอเมอร์มีการต่อกิ่งมากที่สุด คอมพอสิตที่มีการผสมชานอ้อย 3 % โดยน้ำหนักมีสมบัติเชิงกลดีที่สุด เมื่อทำการสกัดไฮโดรพอลิเมอร์ (PMMA) ออกจากเส้นใยก่อนผสมเป็นคอมพอสิต พบว่ามีสมบัติด้อยลง คาดว่าไฮโดรพอลิเมอร์ที่เกิดจากการฉายรังสีมีบทบาทช่วยเสริมเส้นใยที่ได้รับการต่อกิ่ง ทำให้มีสมบัติดีขึ้น

**Special Project Title** Surface Modification of Natural Fibers (Bagasse) for Polymer Composites

**Name** Miss Watcharee Atipanyasarid  
Mr. Wattanakiet Luangluejaroenkit  
Miss Wisanee Tungyuenyong

**Special Project Advisor** Dr. Ittipol Jangchud

**Department** Chemistry

**Academic Year** 1997

### Abstract

Surface modification of natural fibers-Bagasse for polymer composites was carried out by the simultaneous grafting method of Gamma ray irradiation in a presence of methylmethacrylate (MMA) monomer. The grafted fibers were composited with acrylonitrile-butadiene styrene (ABS) and shaped by injection molding technique. Then, treated and untreated composites were characterized comparatively, e.g., tensile strength, % strain, impact strength, water absorption, etc..

It was found that the treated composites had superior properties compared to untreated ones, especially the composites at 15 kGy irradiation. By varying monomer concentration (15-25%), it was seen that 20 % yielded the highest % grafting result. For fiber loading study, composites with 3 % fiber loading by weight gave the optimum physical properties. It was also found that the composites of homopolymer-extracted fibers showed deteriorated properties compared to the unextracted ones. It can be expected that the homopolymer (PMMA) from irradiation played a role in helping the grafted fibers to improve the properties of the composites.

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษนี้สำเร็จได้เนื่องจากได้รับความความช่วยเหลือ ความร่วมมือ ตลอดจนคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์แก่คณะผู้จัดทำจากบุคคลและองค์กรต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ดร.อิทธิพล แจ่มจักษ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์ และ ดร.ต้องจิตต์ กิดชอบ อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบ โครงการพิเศษที่ช่วยกรุณาตรวจทานและแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณศิริรัตน์ พิระมนตรี และเจ้าหน้าที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องฉายรังสี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และขอบคุณเพื่อน ๆ รุ่นพี่ รุ่นน้อง เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากซึ่งมิได้กล่าวถึง ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาววัชรีย์ อธิปัญญาสฤณี

นายวัฒนเกียรติ เลื่องลือเจริญกิจ

นางสาววิศณีย์ ตั้งยืนยง

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัยและ การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการดำเนินงานวิจัย	11
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	11
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	12
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 เส้นใยธรรมชาติ	13
2.2 Matrices	22
2.3 คอมพอสิต (Composites)	24
2.4 การปรับปรุงสภาพผิว (Surface modification)	25
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	31
3.2 ขั้นตอนการวิจัย	32
3.3 การทดสอบ	35
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การศึกษาสภาวะในการผสมและขึ้นรูป	36
4.2 การเปรียบเทียบค่า Maximum strength ของคอมพอสิต ระหว่างการขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติกและเครื่องอัดรีด	38
4.3 การศึกษาผลของปริมาณรังสีที่มีต่อการดอง	39
4.4 การศึกษาผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ที่มีต่อการดอง	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.5 การศึกษาผลของปริมาณรังสีที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ	42
4.6 การศึกษาผลของปริมาณเส้นใยที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ	49
4.7 การศึกษาผลของไฮโมพอลิเมอร์ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ	56
4.8 การศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยชานอ้อยและคอมพอสิต	63
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	67
5.2 ข้อเสนอแนะ	68
ภาคผนวก	69
เอกสารอ้างอิง	73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 สมบัติเชิงกลของวัสดุที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ	3
ตารางที่ 1.2 สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตจากพอลิเอทิลีนและชานอ้อย	7
ตารางที่ 1.3 การเปรียบเทียบค่าความทนทานต่อความชื้นของ คอมพอสิตจากชานอ้อย	8
ตารางที่ 1.4 ผลของตัวกลางที่ใช้ในการต่อกึ่งที่มีต่อ Cell III	8
ตารางที่ 1.5 อุณหภูมิของการเสื่อมสภาพที่น้ำหนักของตัวอย่าง เซลลูลอสที่หายไปค่าต่าง ๆ	9
ตารางที่ 1.6 DSC Thermograms ของ Cell I, II and IV	9
ตารางที่ 1.7 ข้อมูลวิเคราะห์ทางความร้อนของ Cell II ที่ทำการต่อกึ่ง ใยไม้และ ไม้ที่ทำการต่อกึ่ง	10
ตารางที่ 1.8 อุณหภูมิของการเสียดสภาพที่น้ำหนักเซลลูลอสที่หายไป ค่าต่าง ๆ และที่น้ำหนักของเซลลูลอสที่ทำการต่อกึ่ง ด้วย PMMA ที่หายไปที่เปอร์เซ็นต์การต่อกึ่งค่าต่าง ๆ	10
ตารางที่ 1.9 พิกแสดงอุณหภูมิที่ปรากฏใน DSC Thermograms	11
ตารางที่ 2.1 น้ำหนักโมเลกุลของเซลลูลอสและอนุพันธ์	14
ตารางที่ 2.2 แสดงสิ่งที่เหลือจากกระบวนการผลิตอ้อยในแต่ละ โรงงานจำแนกตามภาค	18
ตารางที่ 2.3 การวิเคราะห์ทางเคมีของชานอ้อย	20
ตารางที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การต่อกึ่งเมื่อปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลง	39
ตารางที่ 4.2 แสดง %Grafting เมื่อความเข้มข้นมอนอเมอร์ เปลี่ยนแปลง	40

## สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 1.1	ผลของอุณหภูมิของการอัดแบบที่มีต่อค่า Tensile strength และ Tensile modulus ของคอมพอลิติกจากชานอ้อย (20 wt% HDPE)	5
รูปที่ 1.2	ผลของเวลาในการอัดแบบที่มีต่อค่า Tensile strength และ Tensile modulus ของคอมพอลิติกจากชานอ้อย (20 wt% HDPE)	5
รูปที่ 1.3	ผลของความดันในการอัดแบบที่มีต่อค่า tensile strength และ Tensile modulus ของคอมพอลิติกจากชานอ้อย (20wt % HDPE)	6
รูปที่ 1.4	ผลของเวลาที่มอนอเมอร์สัมผัสกับเส้นใยที่มีต่อปฏิกิริยาการต่อกิ่ง	8
รูปที่ 2.1	องค์ประกอบของเส้นใย	14
รูปที่ 2.2	โครงสร้างภายในของเส้นใยเซลลูโลส	14
รูปที่ 2.3	ชานอ้อยที่ผ่านกระบวนการหีบ	15
รูปที่ 2.4	ผลพลอยได้และการใช้ประโยชน์จากอ้อย	17
รูปที่ 2.5	แสดงการยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์	22
รูปที่ 2.6	แสดงโครงสร้าง ABS	23
รูปที่ 2.7	แสดงลักษณะ ABS จาก Transmission electron micrograph (TEM)	23
รูปที่ 2.8	ประเภทของคอมพอลิติก	25
รูปที่ 2.9	วิธีการปรับปรุงพื้นผิวโดยการกราฟท์	26
รูปที่ 2.10	แสดงการกราฟท์พื้นผิว (Surface grafted polymer) และภายในวัสดุ (Homogeneously grafted polymer)	29
รูปที่ 4.1	แสดงค่า Maximum strength ที่อุณหภูมิและความเร็วในการผสมค่าต่าง ๆ	36
รูปที่ 4.2	แสดงค่า Maximum strength ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	37
รูปที่ 4.3	แสดงค่า Maximum strength ที่อุณหภูมิและเวลาในการอัดขึ้นรูปค่าต่าง ๆ	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ(ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.4	แสดงการเปรียบเทียบ Maximum strength การขึ้นรูปด้วย เครื่องฉีดพลาสติกและเครื่องอัดรีด	38
รูปที่ 4.5	แสดงพื้นผิวของคอมพอสิตที่ไม่ได้รับการปรับปรุงสภาพผิว	39
รูปที่ 4.6	แสดงขั้นตอนการต่อกึ่งและการเชื่อม โยงระหว่าง โซ่กึ่งกับเมตริกซ์	41
รูปที่ 4.7	แสดงค่า Maximum strength เมื่อปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลง	42
รูปที่ 4.8	แสดงค่า Strain at break (%) เมื่อปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลง	43
รูปที่ 4.9	แสดงค่า Work done เมื่อปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลง	44
รูปที่ 4.10	แสดงค่า Hardness เมื่อปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลง	45
รูปที่ 4.11	แสดงค่า Izod-impact energy เมื่อปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลง	46
รูปที่ 4.12	แสดงค่า % Water absorption เมื่อปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลง	47
รูปที่ 4.13	แสดงค่า % Moisture content เมื่อปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลง	48
รูปที่ 4.14	แสดงค่า Maximum strength เมื่อปริมาณเส้นใยเปลี่ยนแปลง	49
รูปที่ 4.15	แสดงค่า Strain at break เมื่อปริมาณเส้นใยเปลี่ยนแปลง	50
รูปที่ 4.16	แสดงค่า Work done เมื่อปริมาณเส้นใยเปลี่ยนแปลง	51
รูปที่ 4.17	แสดงค่า Hardness เมื่อปริมาณเส้นใยเปลี่ยนแปลง	52
รูปที่ 4.18	แสดงค่า Impact energy เมื่อปริมาณเส้นใยเปลี่ยนแปลง	53
รูปที่ 4.19	แสดงค่า % Water absorption เมื่อปริมาณเส้นใยเปลี่ยนแปลง	54
รูปที่ 4.20	แสดงค่า % Moisture content เมื่อปริมาณเส้นใยเปลี่ยนแปลง	55
รูปที่ 4.21	แสดงการเปรียบเทียบค่า Maximum Strength ระหว่าง Treated composites และ Treated composites without homopolymer	56
รูปที่ 4.22	แสดงการเปรียบเทียบค่า % Strain at Break ระหว่าง Treated composites และ Treated composites without homopolymer	57
รูปที่ 4.23	แสดงการเปรียบเทียบค่า Work Done ระหว่าง Treated composites และ Treated composites without homopolymer	58

## สารบัญ(ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.24	แสดงการเปรียบเทียบค่า Hardness ระหว่าง Treated composites และ Treated composites without homopolymer	59
รูปที่ 4.25	แสดงการเปรียบเทียบค่า Impact energy ระหว่าง Treated composites และ Treated composites without homopolymer	60
รูปที่ 4.26	แสดงการเปรียบเทียบค่า % Water absorption ระหว่าง Treated composites และ Treated composites without homopolymer	61
รูปที่ 4.27	แสดงการเปรียบเทียบค่า % Moisture content ระหว่าง Treated composites และ Treated composites without homopolymer	62
รูปที่ 4.28	แสดงพื้นผิวของเส้น โยชานอ้อยที่ไม่ได้รับการปรับปรุง	63
รูปที่ 4.29	แสดงพื้นผิวของเส้น โยชานอ้อยที่ได้รับการปรับปรุง	63
รูปที่ 4.30	แสดงพื้นผิวของคอมพอสิตจากเส้นใยที่ไม่ได้รับการปรับปรุง	64
รูปที่ 4.31	แสดงพื้นผิวของคอมพอสิตจากเส้นใยที่ได้รับการปรับปรุง	64
รูปที่ 4.32	แสดงพื้นผิวของคอมพอสิตจากเส้นใยที่ได้รับปริมาณรังสี 5 kGy	65
รูปที่ 4.33	แสดงพื้นผิวของคอมพอสิตจากเส้นใยที่ได้รับปริมาณรังสี 10 kGy	65
รูปที่ 4.34	แสดงพื้นผิวของคอมพอสิตจากเส้นใยที่ได้รับปริมาณรังสี 15 kGy	65
รูปที่ 4.35	แสดงพื้นผิวของคอมพอสิตจากเส้นใยที่ได้รับปริมาณรังสี 20 kGy	65

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัยและการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง (Literature survey)

ปัจจุบันพอลิเมอร์คอมพอสิต (Polymer composites) มีความสำคัญและประโยชน์ใช้สอยอย่างมาก เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ ความแข็งแรง ค่ามอดูลัสสูง และขึ้นรูปง่าย สามารถใช้แทนโลหะได้ในหลายการใช้งาน พอลิเมอร์คอมพอสิตเกิดจากของผสมระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์ (Polymer matrices) กับวัสดุเสริมแรงจำพวกเส้นใย (Fibers) พอลิเมอร์เมทริกซ์สามารถใช้ได้ทั้งเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และเทอร์โมเซต (Thermoset) เช่น พอลิเอสเทอร์ (Polyester) อีพอกซี (Epoxy) พอลิอิมิด (Polyimide) วัสดุเสริมแรงที่นิยมใช้คือเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยแอสเบสตอส (Asbestos) เส้นใยคาร์บอน (Carbon fibers) เส้นใยแก้ว (Glass fibers) เนื่องจากมีน้ำหนักเบาและให้ความแข็งแรงสูง อย่างไรก็ตามเนื่องจากเส้นใยสังเคราะห์มีราคาแพง ทำให้มีต้นทุนการผลิตพอลิเมอร์คอมพอสิตสูง จึงมีผู้พยายามหาวัสดุจากธรรมชาติจำพวกเส้นใยมาใช้ทดแทน จากการศึกษาพบว่าเส้นใยธรรมชาติให้สมบัติต่าง ๆ เทียบเท่าหรือดีกว่าคอมพอสิตจากเส้นใยสังเคราะห์และมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า

ในปัจจุบันได้มีความสนใจที่จะประยุกต์นำเส้นใยธรรมชาติ โดยเฉพาะเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fibers) มาใช้แทนเส้นใยสังเคราะห์ ข้อดีของเส้นใยธรรมชาติคือ หาง่าย มีมากในธรรมชาติ ราคาถูก แข็งแรง น้ำหนักเบาและย่อยสลายได้ แต่มีข้อจำกัดคือมีสมบัติดูดซับน้ำและมีการยืดยึดกับพอลิเมอร์ต่ำ

เส้นใยธรรมชาติที่มีการศึกษา ได้แก่ ปอกระเจา (Jute) ป่านศรนารายณ์ (Sisal) ป่านลินิน (Flax) ป่านรามี่ (Ramie) ปอแอบบาคา (Abaca) แหล่งกำเนิดของเส้นใยเหล่านี้คือบริเวณเส้นศูนย์สูตรหรือเขตร้อนชื้น ซึ่งมีมากในประเทศไทยและประเทศอาเซียนอื่น ๆ เส้นใยบางชนิดถูกนำไปใช้เป็นเส้นใยในอุตสาหกรรมสิ่งทอเช่น เครื่องนุ่งห่ม กระสอบ เชือก ฯลฯ เส้นใยบางชนิดได้จากการกักเก็บในอุตสาหกรรมการเกษตร ซึ่งเหลือทิ้งไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์และเป็นภาระในการกำจัด หากสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ก็จะเป็นผลดีอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปอกระเจา<sup>2</sup> สามารถใช้เป็นวัสดุเสริมแรง เนื่องจากมีความเหนียวสูงในขณะที่มีเปอร์เซ็นต์การยึดตัวต่ำ มีอยู่เป็นปริมาณมากและมีราคาถูก วิธีการที่จะนำปอกระเจามาทำเป็นวัสดุเสริมแรง ทำได้โดยนำมาทำปฏิกิริยากับ Zinc chloride เพื่อป้องกันการถูกทำลายจากจุลินทรีย์ จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยากับ Acrylic acid เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะกับ Polyester ซึ่งใช้เป็นพอลิเมอร์เมทริกซ์ และทำให้เส้นใยดูดซับน้ำได้ลดลง จากการทดลองพบว่าคอมพอสิตจากปอกระเจามีสมบัติทนทานต่อแรงกระแทกดีกว่าคอมพอสิตจากใยแก้วและมีราคาถูกกว่า จากการศึกษาของ Ali Idriss, K. M., et. al.<sup>3</sup> พบว่าสมบัติเชิงกลของเส้นใยสามารถปรับปรุงได้โดยการต่อกิ่งสายโซ่พอลิเมอร์ร่วม (Graft copolymerization) ของ Urethane acrylate โดยการฉายรังสีอัลตราไวโอเลต (UV radiation) การปรับปรุงทำให้สมบัติการดูดซับน้ำลดลงและความแข็งแรงเพิ่มขึ้น Busu, D., et. al.<sup>4</sup> และ Karmaker, A. C., et. al.<sup>5</sup> พบว่าพอลิพรอพิลีน (Polypropylene) มีการหดตัวเนื่องจากความร้อน (Thermal shrinkage) ทำให้เหลือช่องว่างระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์ การทำให้เส้นใยบวมตัว (Swelling) ช่วยเติมช่องว่างและทำให้พอลิเมอร์คอมพอสิตมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น Kundu, S. K., et. al.<sup>6</sup> กับ Nayak, N. C.<sup>7</sup> ศึกษาการต่อกิ่งสายโซ่พอลิเมอร์ปอกระเจาด้วย Acrylonitrile และ Methyl methacrylate (MMA) โดยใช้ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox) พบว่าการต่อกิ่ง (Grafting) ขึ้นกับระยะเวลาการทำปฏิกิริยาและสัดส่วนของมอนอเมอร์ต่อกิ่ง (Grafting monomer) จากการศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology) โดยใช้เทคนิค Optical และ Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่าการเพิ่มการต่อกิ่งจะทำให้มีพอลิเมอร์ปกคลุมพื้นผิวของเส้นใยและทำให้เกิดรอยแตก (Crack) ตามแนวเส้นใยเมื่อมีการต่อกิ่งมากเกินไป Ghosh, P. และ Ganguly, P. K.<sup>8</sup> ทำการศึกษาการต่อกิ่งด้วย Polyacrylonitrile (PAN) กับปอกระเจา พบว่าการต่อกิ่งที่ 20-30 % ให้เส้นใยที่มีสมบัติความแข็งแรง ความต้านทานการดูดซับน้ำและดัชนีความขาว (Whiteness index) ที่ดีที่สุดและศึกษาสภาพผิวด้วย SEM พบว่าการต่อกิ่งเกิดที่ผิว Intercellular และ Lumen ของเส้นใย Jain, S., et. al.<sup>2</sup> ทำการศึกษาอีพอกซีคอมพอสิต จากไผ่เส้น (Bamboo fibers) และไผ่ทอ (Bamboo mats) พบว่าไผ่มีสมบัติทางกายภาพดี สามารถใช้ร่วมกับพอลิเมอร์ได้ถึง 65% (Fiber volume fraction) และมีความแข็งแรงสูงตามแนวเส้นใย จากการศึกษาด้วย SEM พบว่าไผ่มีการยึดติดกับอีพอกซีดีขึ้น และพอลิเมอร์คอมพอสิตมีความแข็งแรงสูง ราคาถูก ความหนาแน่นต่ำและง่ายในการผลิต มีความเป็นไปได้สูงในการผลิตเชิงการค้า

Xian, X. J., et. al.<sup>9</sup> ทำการศึกษาเส้นใยไผ่ (Bamboo) กาบมะพร้าว (Coconut husk หรือ Coir) และหญ้า March (*Phragmites*) โดยใช้เสริมแรงกับพอลิเมอร์เมทริกซ์เช่น Epoxy, Resorcinol Formaldehyde (RF) และ Urea Formaldehyde (UF) พบว่าความแข็งแรงในการเสริมแรงเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยเป็นดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม้เส้นยาว (Long bamboo fibers) > ไม้เส้นสั้น ( Short bamboo fibers ) > ไม้ฉิน (Chipped bamboo fibers) > กาบมะพร้าว (Coir fibres) > หญ้า Marsh

เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยไม้ กาบมะพร้าวและหญ้า เป็น 16, 10, 5 ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งส่งผลต่อการกระจายตัวของเส้นใย โดยใยไม้จะเกิดการเกาะกัน (Pack) ได้ดี การรับแรงตลอดพื้นที่หน้าตัดจึงดี สำหรับเส้นใยที่ยาวและมีความต่อเนื่องจะมีความสามารถส่งผ่านแรงมากระทำตลอดความยาว เมื่อแรงกระทำในทิศทางเดียวกับเส้นใย คุณสมบัติเชิงกลจึงดีกว่าและได้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ที่ดีกว่าด้วย

ส่วนลำดับความแข็งแรงหรือประสิทธิภาพของพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นเมทริกซ์ คือ

Epoxy resin > RF > UF

ค่าความแข็งแรงเชิงกลของพอลิเมอร์คอมพอสิตจากไม้ กาบมะพร้าว และหญ้า March แสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 สมบัติเชิงกลของวัสดุเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ

Material	Detail	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Tension Strength (MPa)	Modulus (GPa)	Specific Tensile Strength cm x 10 <sup>3</sup>	Compression Strength (MPa)	Modulus (GPa)	Flexure Strength (MPa)	Modulus (GPa)	Interlaminar Shear Strength (MPa)	
BAMBOO	dried	0.8	88-142	8.7-17.7	11.3-16.3	73-75		113-152	9.1-12.3	12-20	
BLF/EP	[0] 3-7 ply	1.18	178-243	45-76	0.38	15.3-30	59-129	24.9-25.4	208-255	16.4-24.9	10-17
BLF/UF	[0]	1.06		9.8-2.5					142-248		
BLF/EP	[0/90]	1.18	98	17	0.20	8.3	54	25	135	14.1	
BSP/EP	£l. 3-6cm	1.17	19-49	3.7-8.2	0.32	1.6-4.2			72-103	6.8-8.6	10-12
BC/EP	Wm 20-30%	1.25	24-32	8.6	0.23	1.9-2.5	44-54		73	3.9	
BC/RF	Wm 20-30%	1.15	17-26	6.1-7.5	0.22	1.5-2.2	39-51	3.2-3.5	36-70	5.9-9.2	5.4
BC/UF	Wm 17-20%	1.14	15-24	5.0-8.7	0.20	1.6-2.1		1.0-2.3	15-32	3.6-8.1	3.6
CH/UF	Wm 30-40%	1.15	18-21	2.9-3.1	0.27	1.6-1.8			22-23	2.5-3.8	2.3-3.9
CHSF/UF	Wm 17-27%	0.93	14-21	2.9-3.5	0.41	1.5-2.3			34-55	2.6-2.8	3.8-5.9
PH/UF	Wm 17-25%	0.98	19-30	2.2-3.2	0.58	1.9-3.1			15-23	1.3-2.2	2.1

(B - Bamboo, CH - Coir, PH - Phragmites; LF - Long fibers, SF - Short fibers, C - Chip; EP - Epoxy, RF - Resorcinol formaldehyde, UF - Urea formaldehyde, Wm - Resin content by weight; £l. - fiber length)

เฉลิมพล อิทธิวิวัฒน์ และสกุล บรรจงวุฒิ<sup>10</sup> ทำการศึกษาเส้นใยเซลลูโลสคือหญ้า สลากลวง (*Typha angustifolia*) เป็นสารเสริมแรงในพอลิพรอพอลีน (PP) โดยผสมเส้นใยแก้ว และใช้สารจำพวก Silane เป็นสารเชื่อมโยง (Coupling agent) จากการทดลองพบว่าเส้นใยช่วยเพิ่มความแข็งแรงและค่าความทนทานต่อแรงกระทำของคอมพอสิต แต่มีแนวโน้มที่จะลดค่าการทนแรงดึงและค่าการยึดที่จุดขาด ซึ่งปัจจุบันยังทำการศึกษาปรับปรุงสมบัติและการใช้งานอื่น ๆ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ในการทำแผ่น MDF (Medium Density Fiber Board) และใช้เทอร์โมเซต เช่น UF, MF เป็นตัวประสาน

ชัยวุฒิ มนัสพัฒนา และกึ่งกมล รัตนแสงเสถียร<sup>11</sup> ทำการศึกษาฟางข้าวและกามมะพร้าวเพื่อใช้เป็นสารตัวเติม (Fillers) ในยางธรรมชาติ พบว่า ยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีสารตัวเติมทั้งสอง (20 phr) มีค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ย (Tensile strength) และความแข็งแรง (Hardness) สูงกว่ายางผสมสูตรที่ไม่มีสารตัวเติม การใช้สารเชื่อมโยงประเภท Silane (2% โดยน้ำหนัก) จะช่วยให้ความแข็งแรงดึงเฉลี่ยและความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

พิชัย จงสกุลชัย และศิริพงศ์ โรจน์วีระ<sup>12</sup> ทำการศึกษาขุยมะพร้าวและฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ใช้ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และพอลิโพรพิลีน (PP) พบว่าขุยมะพร้าวทำให้ HDPE และ PP มีค่ามอดูลัส (Modulus) สูงขึ้น ความแข็งแรงไม่เปลี่ยนแปลง ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดที่จุดขาด (% Elongation at break) เพิ่มขึ้น ฟางข้าวทำให้ความแข็งแรงดึงและมอดูลัสเริ่มต้นสูงขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าใช้สารตัวเติมมากกว่า 10 phr จะทำให้มีปัญหาในการขึ้นรูป

Al Imam, M. R. และ Mannan, R. J.<sup>13</sup> ทำการศึกษาคอมพอลิตของเส้นใยปอกระเจา (Jute-plastic composite) ซึ่งเตรียมได้จากเส้นใยปอกระเจา MMA และ เมทานอล (สารช่วยทำให้เส้นใยเกิดการบวมตัว) โดยใช้รังสีแกมมา (โคบอลต์ 60) เพื่อทำให้เกิดการต่อกิ่ง เมื่อความเข้มข้นของมอนอเมอร์เพิ่มขึ้นพบว่าการต่อกิ่งเพิ่มขึ้น แต่เมื่อถึงค่าหนึ่งการต่อกิ่งจะลดลงทั้งนี้เนื่องมาจากเหตุผลสองประการคือที่ความเข้มข้นสูงของ MMA จะเกิดกระบวนการรวมกันของ Radicals จึงทำให้เกิดไฮโปพอลิเมอร์มากกว่าเกิดปฏิกิริยาการต่อกิ่งและการที่ความเข้มข้นของมอนอเมอร์เพิ่มขึ้นทำให้การบวมตัวของเส้นใยลดลงเนื่องจากความเข้มข้นของเมทานอลลดลง ทั้งค่า tensile strength และ Elongation ของคอมพอลิตลดลงเมื่อการต่อกิ่งสูงขึ้นแต่อย่างไรก็ตามที่การต่อกิ่งต่ำ ๆ ทั้ง Tensile strength และ Elongation เพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการดูดซับความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ค่าต่าง ๆ พบว่าคอมพอลิตที่ได้จากเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงแล้วจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำและความชื้นลดลง

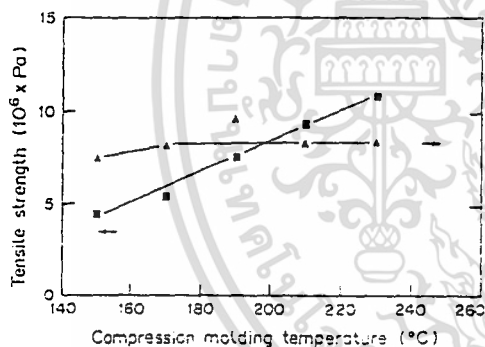
สำหรับงานวิจัยนี้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาชานอ้อย (Bagasse) มาเป็นวัสดุเสริมแรง โดยมีผู้ทำการวิจัยมาก่อนหน้านี้ดังนี้

Nagaty, A., et. al.<sup>14</sup> ศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมพอลิตจาก Lignocellulose โดยทำการต่อกิ่ง Methyl Methacrylate (MMA) บนเส้นใยชานอ้อยและใช้ Sodium bisulphite-sodalime เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา พบว่าสมบัติของคอมพอลิตขึ้นกับปริมาณและขนาดของเส้นใยชานอ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

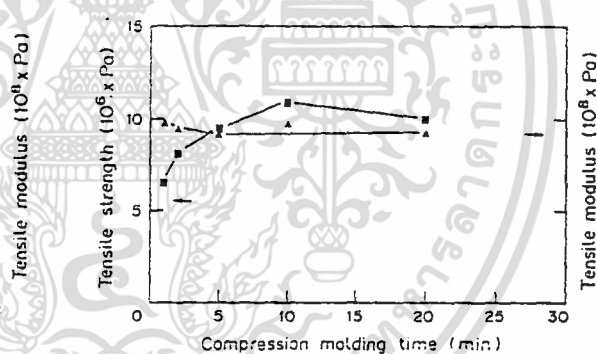
Raj, R. G. และ Kokta, B. V.<sup>15</sup> ทำการศึกษาผลของสภาวะการขึ้นรูปและวัสดุยึดติดที่มีต่อสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตจากขานอ้อย โดยใช้เส้นใยขานอ้อยที่ผ่านการทำให้แตกตัวด้วยไอน้ำ (Steam-exploded bagasse fibers) ขนาด Mesh 60 และใช้วัสดุยึดติด (Binding) คือพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิของการอัดแบบ (Compression molding temperature) จาก 150 - 210 °C ทำให้ค่า Tensile strength เพิ่มขึ้น เนื่องจาก HDPE ที่เป็นวัสดุยึดติดเกิดการไหลได้ดี ทำให้มีการกระจายตัวของเส้นใยผิวสัมผัส (Fiber wetting) มากขึ้น การเกี่ยวพันของเส้นใยขานอ้อยมากขึ้นส่งผลให้คอมพอสิตเกิดความแข็งแรง แต่ที่อุณหภูมิสูง (230 °C) เส้นใยเกิดการเสียหายเนื่องจากความร้อน ในขณะที่ค่า Tensile modulus ไม่ได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ แสดงดังกราฟรูปที่ 1.1

เมื่อเพิ่มเวลาอัดแบบ (Compression molding) ค่า Tensile strength จะเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ในช่วงแรก หลังจากนั้นแนวโน้มลดลง พบว่าเวลาที่คิดที่สุทธประมาณ 10 นาที ส่วนค่า Tensile modulus เกือบไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาที่ใช้ในการอัดแบบเพิ่มขึ้น ผลที่ได้แสดงดังกราฟรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.1

ผลของอุณหภูมิของการอัดแบบที่มีต่อค่า Tensile strength และ Tensile modulus ของคอมพอสิตจากขานอ้อย (20 wt% HDPE)



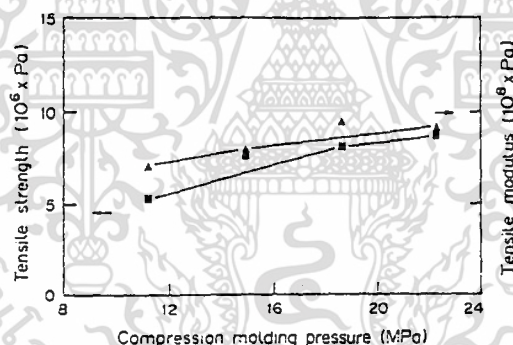
รูปที่ 1.2

ผลของเวลาในการอัดแบบที่มีต่อค่า Tensile strength และ Tensile modulus ของคอมพอสิตจากขานอ้อย (20 wt% HDPE)

การเพิ่มขึ้นของค่า Tensile strength เกิดขึ้นอย่างคงที่ เมื่อเพิ่มความดันในการอัดแบบ จาก 11.2-14.9 MPa จากนั้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปมากเมื่อเพิ่มความดันต่อไป ส่วนค่า Tensile modulus เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เมื่อเพิ่มความดันในการอัดแบบ ดังนั้นเส้นใยขานอ้อยจึงสามารถยึดติดกันได้ดีที่ความดันของการอัดแบบสูง (18.6Mpa) ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 1.3

การศึกษาคอมพอลิติกจากขานอ้อยโดยใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ คือ HDPE , MDPE และ LLDPE ที่ปริมาณขานอ้อยต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 0 - 20 % (W/W) โดยตัวอย่างทำการอัดแบบที่ 170 °C เป็นเวลา 10 นาที ที่ความดันต่ำกว่า 18.6 MPa พบว่า ค่า Tensile strength ที่ดีที่สุดอยู่ที่ปริมาณขานอ้อย 15 % โดยน้ำหนัก การเพิ่มปริมาณเส้นใยมากขึ้น ไม่มีผลทำให้ค่า Tensile strength เพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของค่า Elongation อย่างคงที่ พบได้เมื่อมีการเติมขานอ้อยลงในคอมพอลิติก การเติมขานอ้อย 5% (W/W) ทำให้ค่า Tensile modulus เพิ่มขึ้น แต่หากเติมต่อไปค่าเกือบไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับค่า Izod - Impact energy มีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อมีการเติมขานอ้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากวัสดุมีความเหนียวลดลง

ตัวอย่างที่เตรียมจาก MDPE และ LLDPE มี Tensile strength สูงขึ้นเมื่อปริมาณขานอ้อยมากขึ้นและสูงที่สุดที่ 15 % W/W เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ทั้ง 3 ชนิดพบว่า LLDPE ให้ค่า Tensile strength สูงที่สุด เพิ่มจาก LLDPE สามารถไหลได้ดีที่อุณหภูมิสูง เป็นสาเหตุให้ Fiber wetting ดี พอลิเมอร์สามารถยึดเกาะกับเส้นใยได้ดี มีช่องว่างระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใยน้อย ทำให้คอมพอลิติกมีสมบัติเชิงกลที่ดี



รูปที่ 1.3 ผลของความดันในการอัดแบบที่มีต่อค่า tensile strength และ Tensile modulus ของคอมพอลิติกจากขานอ้อย (20wt % HDPE)

สำหรับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ พบว่า ค่า Tensile strength สูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ PE โดยพบว่า HDPE มี Tensile strength สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนเดียวกัน ค่า Elongation เพิ่มขึ้นอย่างคงที่เมื่อมีการเติมขานอ้อย ส่วน LLDPE และ MDPE จะมีค่า Elongation ที่สูงกว่า HDPE ที่อัตราส่วนเดียวกันแต่มีแนวโน้มการเพิ่มที่ไม่สม่ำเสมอ ค่า Tensile modulus ของ HDPE เพิ่มขึ้นเมื่อเติมเส้นใย 5% ต่อจากนี้เกือบจะไม่เปลี่ยนแปลง LLDPE และ MDPE มีการเพิ่มของ Tensile modulus มากกว่า HDPE ที่สัดส่วนเดียวกัน ส่วนค่า Izod-impact energy ลดลงทีละน้อยเมื่อมีการเติม PE ดังแสดงในตารางที่ 1.2 เมื่อเปรียบเทียบค่าความทนทานต่อความชื้นของขานอ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพอสิตกับ HDPE และไม่ได้ทำการคอมพอสิตพบว่า ตัวอย่างที่มีการคอมพอสิตจะมีความทนทานต่อความชื้นสูงกว่า โดยพิจารณาได้จากค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้น (% Moisture content) และความเสถียรของรูปร่าง (Dimension stability) ดังตารางที่ 1.3 จากงานวิจัยของ Nagaty, A., *et. al.*<sup>14</sup> ได้อธิบายว่าการเติมพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophillic polymers) (ในกรณีนี้คือ HDPE) จะทำให้เส้นใยชานอ้อยมีความทนทานต่อการดูดน้ำมากกว่าการเติมพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (Hydrophobic polymers)

Kessira, L. และ Ricard, A.<sup>16</sup> ทำการศึกษาพฤติกรรมความร้อนของชานอ้อยชนิดที่ทำการต่อกิ่งและไม่ได้ต่อกิ่ง โดยใช้ Thermogravimetric analysis (TGA) และ Differential Scanning Calorimetry (DSC) โดยทำการศึกษาชานอ้อย 4 ตัวอย่างคือ Cell I [ชานอ้อยซึ่งโครงสร้างประกอบด้วย Cellulose 95.8% , Lignin 2.64% , Pentosan 0.99% , NaOH 0.56% และน้ำ มี  $T_g$  334.36 °C] Cell II [ชานอ้อยที่เติมสารเติมแต่ง  $CaCO_3$  5-7 %] Cell III [เยื่อไม้ยูคาลิปตัส(Eucalyptus pulp)] และ Cell IV [เส้นใยไม้ที่มีใบกว้าง (Broad-leaved tree pulp)]

ตารางที่ 1.2 สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตจากพอลิโอทิลีนและชานอ้อย

Properties	Polyethylene (wt%)	0	5	10	15	20
Tensile strength ( $10^5 \times Pa$ )	(a)	4.5	5.0	7.3	10.1	9.6
	(b)	—	6.1	7.8	9.7	9.2
	(c)	—	13.7	14.6	15.0	14.2
Elongation (%)	(a)	0.9	1.0	1.2	1.3	1.8
	(b)	—	0.8	1.2	1.8	1.4
	(c)	—	2.0	2.5	2.1	2.0
Tensile modulus ( $10^3 \times Pa$ )	(a)	6.9	10.1	9.2	9.9	9.7
	(b)	—	8.8	9.7	9.6	9.8
	(c)	—	9.5	11.0	10.5	10.6
Izod-impact energy (J)	(a)	0.05	—	—	—	0.03
	(b)	—	—	—	—	0.04
	(c)	—	—	—	—	0.04

(a) HDPE ; (b) MDPE ; (c) LLDPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.3 การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นต่อความชื้นของคอมพอลิเมอร์จากขาน้อย

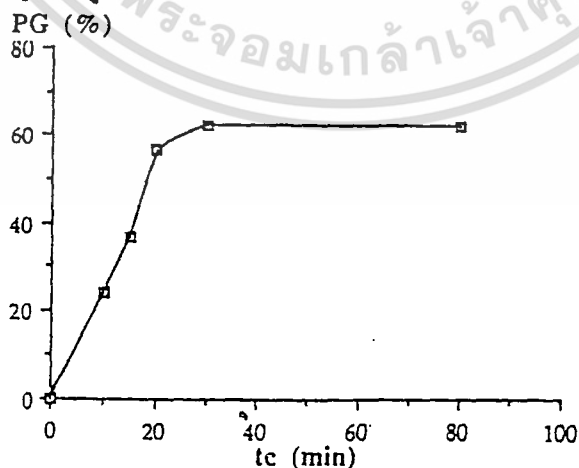
Physical properties (after immersion in water at 23°)	Bagasse (without HDPE)	Bagasse (with HDPE, 20 wt%)
<i>Moisture uptake (%)</i>		
2 hr	18.93	5.38
24 hr	35.33	13.14
<i>Dimensional stability (% increase in thickness)</i>		
2 hr	6.99	3.05
24 hr	30.29	12.87

พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดอง Acrylonitrile ลงบนเยื่อไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus pulp) คือใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเมื่อเทียบกับการใช้ DMSO/PF (Dimethylsulfoxide-Paraformaldehyde) เนื่องจากมอนอเมอร์สามารถเข้าถึงจุดที่เกิดการดองของเซลลูโลสในน้ำได้ง่ายกว่าในตัวทำละลายอินทรีย์ ดังตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 ผลของตัวกลางที่ใช้ในการดองที่มีต่อ Cell III

Cellulose	Medium	PG (%)
Cell III	DMSO/PF	32.0
Cell III	H <sub>2</sub> O	79.0

การหาเวลาที่เหมาะสมในการดองกับเส้นใย จะต้องพิจารณาถึงเวลาที่มอนอเมอร์สัมผัสกับเส้นใย (Contact time) ด้วยเพื่อให้ได้ระยะเวลาการดองที่น้อยที่สุดที่สามารถทำได้ เปอร์เซ็นต์การดองสูงสุด ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 ผลของเวลาที่มอนอเมอร์สัมผัสกับเส้นใยที่มีต่อปฏิกิริยาการดอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเติมสารเติมแต่ง  $\text{CaCO}_3$  (Cell II) มีผลต่อการเสื่อมสภาพทางความร้อน (Thermal decomposition) ของเซลลูโลสโดยเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน (Thermal stability) ของเส้นใยชานอ้อย ส่วนใยไม้ (Cell IV) มีความเสถียรมากกว่าเส้นใยชานอ้อย (Cell I) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 1.5 และตารางที่ 1.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 1.5 อุณหภูมิของการเสื่อมสภาพที่น้ำหนักของตัวอย่างเซลลูโลสที่หายไปค่าต่าง ๆ

Sample	Temperature of Decomposition at Different Weight Loss of							
	1%	5%	10%	15%	24%	27%	28%	30%
Cell I	56.7	97.3	242.8	280.7	299.6	286.6	280.8	203.3
Cell II	56.8	92.7	268.1	293.2	236.7	252.8	—	—
Cell IV	61.4	110.7	276.4	293.1	293.7	273.6	232.1	—

ตารางที่ 1.6 DSC Thermograms ของ Cell I, II and IV

Sample	Endotherm ( $^{\circ}\text{C}$ )			Enthalpy (J/g)	Exotherm ( $^{\circ}\text{C}$ )			Enthalpy (J/g)	$T_g$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
	$T_g^a$	$T_m^b$	$T_f^c$		$T_g^a$	$T_m^b$	$T_f^c$		
Cell I	52.47	120.53	190.12	-195.753	229.00	327.76 329.13	329.69	487.218	244.36
Cell II	36.89	99.52	157.53	-182.723	245.80	349.19	341.66	280.871	245.43
Cell IV	58.76	123.75	195.05	-162.764	268.75	328.00 347.93	331.93	377.281	244.01

<sup>a</sup> อุณหภูมิเริ่มต้นที่ตัวอย่างเสื่อมสภาพ

<sup>b</sup> อุณหภูมิต่ำสุดหรืออุณหภูมิสูงสุดของพีก

<sup>c</sup> อุณหภูมิสุดท้ายที่ตัวอย่างเสื่อมสภาพ

จะเห็นได้ว่าเส้นใยชานอ้อยที่มีการเติม  $\text{CaCO}_3$  (Cell II) และทำการต่อกึ่งด้วย MMA (Methyl Methacrylate) จะมีความเสถียรต่อความร้อนมากกว่าปกติ ส่วนเส้นใยไม้ (Cell IV) ที่มีการต่อกึ่งด้วย PMMA ทำให้มีความเสถียรต่อความร้อนมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1.7 ในขณะที่เส้นใยไม้ที่ทำการต่อกึ่งด้วย PAN (Polyacrylonitrile) จะมีความเสถียรต่อความร้อนน้อยกว่าเส้นใยที่ไม่ได้ทำการต่อกึ่งดังแสดงในตารางที่ 1.8 และ 1.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.7 ข้อมูลวิเคราะห์ทางความร้อนของ Cell II ที่ทำการคอกิ่ง  
ไฮไมและไมที่ทำการคอกิ่ง

Sample	Grafting Yield (%)	Ref.	Dehydration					Pyrolysis				
			$T_i$ (°C)	$T_m$ (°C)	$\delta m$ (%)	$T_i$ (°C)	$\delta m$ (%)	$T_i$ (°C)	$T_m$ (°C)	$\delta m$ (%)	$T_i$ (°C)	$\delta m$ (%)
Cell II	0.0	1	30.87	76.53	-3.331	152.17	-3.727	183.40	299.00	-10.319	242.03	-9.527
Cell II-	23.7	2	30.73	71.77	-2.260	137.20	-2.523	188.90	298.27	-9.160	187.80	-8.925
grafted	34.6	3	31.37	72.20	-1.977	137.97	-2.269	186.27	299.87	-8.206	215.43	-7.557
PMMA	36.5	4	31.20	70.40	-1.876	134.57	-2.228	184.80	299.13	-7.975	235.37	-6.983
	56.4	7	29.60	66.23	-1.204	130.93	-1.453	184.93	294.83	-9.814	228.57	-9.779
Cell IV	0.0	—	30.73	76.83	-2.814	139.80	-3.026	175.40	295.50	-10.790	224.63	-11.184
Cell IV-g- PMMA	70.0	—	36.87	91.77	-1.134	162.13	-1.134	293.43	306.13	-5.293	206.87	-4.852

ตารางที่ 1.8 อุณหภูมิการเสถียรภาพของน้ำหนักเซลลูโลสที่หายไปและน้ำหนักของเซลลูโลสที่ทำการคอกิ่งด้วย PMMA ที่หายไปที่เปอร์เซ็นต์การคอกิ่งต่าง ๆ

Sample	Ref.	Temperature of Decomposition (°C) at Weight Loss of										
		1%	3%	6%	9%	13%	18%	19%	21%	23%	27%	28%
Cell II	1	56.8	75.3	110.6	225.6	234.7	—	301.0	299.7	293.9	129.8	—
Cell II-g-PMMA	7	75.3	122.0	259.7	280.7	297.5	—	280.9	257.2	—	—	—
	4	66.3	92.8	259.6	289.2	300.9	—	174.4	—	—	—	—
	3	66.0	92.5	259.7	289.2	300.9	—	257.2	—	—	—	—
	2	61.5	84.1	251.4	280.7	296.8	—	286.4	273.1	94.0	—	—
Cell IV	—	91.0	119.5	254.8	291.0	300.1	306.2	—	—	—	—	212.3
Cell IV-g-PMMA	—	110.5	245.3	290.7	299.6	301.5	204.5	—	—	—	—	—

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.9 พิกแสดงอุณหภูมิที่ปรากฏใน DSC Thermograms

Sample	Ref.	Endotherm (°C)			$\Delta H$ (J/g)	Exotherm I (°C)			$\Delta H$ (J/g)	Exotherm II (°C)			$\Delta H$ (J/g)	$T_f$ (°C)	
		$T_i$	$T_m$	$T_f$		$T_i$	$T_m$	$T_f$		$T_i$	$T_m$	$T_f$			
Cell II Cell-g- PMMA	1	36.39	99.52	157.53	-182.723	245.50	349.19	341.66	280.571	—	—	—	—	245.43	
	2	62.65	121.96	171.40	-97.461	298.34	327.74	336.84	13.746	—	—	—	—	200.49	
	3	64.40	120.55	152.73	-85.313	293.75	324.52	342.48	223.746	—	—	—	—	196.56	
							348.01								
	4	60.04	121.66	186.24	-85.632	292.61	325.76	344.94	34.320	—	—	—	—	185.81	
	5	56.60	110.70	167.19	-71.943	295.90	324.51	344.69	206.855	—	—	—	—	181.50	
							348.34								
	6	55.53	107.05	161.29	-96.594	286.89	329.65	349.16	13.405	—	—	—	—	187.10	
	7	74.35	125.27	182.34	-79.984	269.97	348.71	342.47	266.741	—	—	—	—	196.66	
	8	64.62	112.34	162.15	-56.960	273.99	327.84	349.08	25.760	—	—	—	—	182.33	
Cell IV	—	53.76	123.75	195.05	-162.764	268.75	328.30	331.93	337.251	—	—	—	—	244.01	
						347.65									
Cell IV-g- PMMA	—	70.33	112.96	176.86	-53.666	279.90	323.68	343.59	98.573	—	—	—	—	146.70	
Cell IV-g- PAN	—	61.34	106.09	158.48	-46.990	203.46	284.08	298.91	29.115	323.12	338.51	349.20	19.039	175.63	

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาการใช้ประโยชน์จากเส้นใยธรรมชาติได้แก่ชานอ้อย ในการผลิตพอลิเมอร์คอมพอสิต ซึ่งปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยการค่อกิ่ง (Grafting) ด้วยวิธีการฉายรังสีแบบซันคอนเดียว (Simultaneous methods)
2. ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยและปริมาณการฉายรังสีที่มีผลต่อการดูดซับน้ำ (Water absorption) ค่าการดูดความชื้น (Moisture content) และสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ของพอลิเมอร์คอมพอสิต
3. ศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอมพอสิตโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (Scanning electron microscope , SEM)

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยที่ใช้และวิธีการขึ้นรูปที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมพอสิต ซึ่งมีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย โดยใช้เมทิลเมทาอะคริเลต (Methyl methacrylate, MMA) เป็นมอนอเมอร์ค่อกิ่ง (Grafting) ลงบนเส้นใยด้วยวิธีการฉายรังสีแบบซันคอนเดียว (Simultaneous methods) แล้วผสมกับอะคริโลไนไตรบิวทาไดอินสไตรีน (Acrylonitrile-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

butadiene-styrene , ABS) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์เมทริกซ์และศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ ค่าการดูดความชื้น สมบัติเชิงกลและลักษณะฐานวิทยาด้วยเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปี (SEM) โดยศึกษาในแนวทางเปรียบเทียบคอมพอสิตจากเส้นใยที่มีการปรับปรุงกับคอมพอสิตจากเส้นใยที่ไม่ได้รับการปรับปรุงสภาพผิว เพื่อให้ได้สภาวะการฉายรังสีที่เหมาะสม ได้คอมพอสิตจากชานอ้อยที่มีสมบัติสูงสุด

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. สามารถผลิตคอมพอสิตจากชานอ้อยที่มีการยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ได้ดีขึ้น โดยการต่อกิ่ง
2. ทำให้ทราบปริมาณของเส้นใยที่ใช้ วิธีการขึ้นรูปและปริมาณการฉายรังสีที่เหมาะสมในการผลิตพอลิเมอร์คอมพอสิตจากชานอ้อยที่มีสมบัติเชิงกลที่ดี
3. สามารถผลิตคอมพอสิตจากเส้นใยธรรมชาติโดยใช้ต้นทุนต่ำ สามารถแข่งขันกับคอมพอสิตจากเส้นใยสังเคราะห์และพัฒนาให้เป็นอุตสาหกรรมในอนาคตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

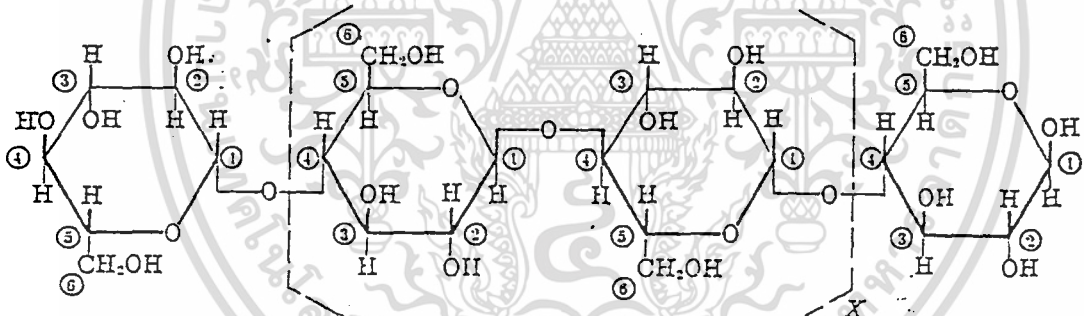
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 เส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุอินทรีย์ที่สำคัญ หาได้ง่ายจากธรรมชาติและมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้เส้นใยธรรมชาติสารเติมแต่ง (Additives) จำพวกสารตัวเติม (Filler) และสารเสริมแรง (Reinforcement) ในพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ เพิ่มปริมาณ และลดต้นทุนการผลิต<sup>11</sup>

โครงสร้างของเส้นใยธรรมชาติประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เป็นส่วนใหญ่ เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่นๆ



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของเส้นใย

จากการวิเคราะห์ โครงสร้างทางเคมี โดยการเผาไหม้ของเซลลูโลสในเส้นใยฝ้าย (Cotton fibers) แสดงให้เห็นว่าส่วนใหญ่อยู่ในรูป Hexose anhydride ซึ่งอยู่ในรูปของ Anhydroglucose ถึง 95% คุณสมบัติของเซลลูโลสและอนุพันธ์คือเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ดังรูปที่ 2.1 น้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ดังนั้นสามารถปรับปรุงได้โดยการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุล ในทางอุตสาหกรรมจะพิจารณาโดยทำการทดสอบความหนืด ซึ่งสามารถบอกน้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณ การกระจายน้ำหนัก

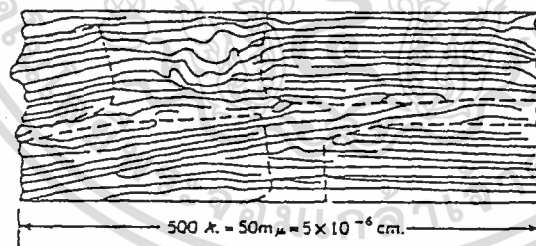
โมเลกุลของวัสดุเซลลูโลสมีความสำคัญ เพราะส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี

ตารางที่ 2.1 น้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสและอนุพันธ์

Material tested	Molecular weight	Degree of polymerization <sup>a</sup>
Native cellulose	Over 570,000	Over 3,500
Chemical cottons	50,000-500,000	500-3,000
Wood pulps	90,000-210,000	600-1,300
Commercial regenerated celluloses	30,000-90,000	200-600
Commercial nitrocelluloses	25,000-875,000	100-3,500
Commercial cellulose acetates	45,000-100,000	175-360

<sup>a</sup> จำนวนหน่วยของกลูโคสในโมเลกุล

พืชประกอบด้วยเซลล์หลายชนิดซึ่งมีขนาด รูปร่างและ โครงสร้างเฉพาะ ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชนั้น ๆ ต้นสนมีเส้นใยที่เรียกว่า Tracheids ซึ่งมีความยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.03 มิลลิเมตร ส่วนเส้นใยที่อยู่ในไม้ผลัดใบเรียกว่า Wood fibers ยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.01 มิลลิเมตร เมื่อศึกษาโครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลสด้วย X-ray พบว่าโมเลกุลของเส้นใยเซลลูโลสมีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบประกอบด้วยบริเวณที่เป็นผลึก (Crystalline regions) และแยกออกจากกันด้วยส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งเป็นบริเวณที่โมเลกุลเซลลูโลสอยู่กันอย่างไม่เป็นระเบียบ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในของเส้นใยเซลลูโลส

### 2.1.1 สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของเซลลูโลส

#### 1) การดูดซับความชื้น

ส่วนใหญ่เซลลูโลสมีการดูดหรือคายไอน้ำและของเหลวอื่น ๆ ในบรรยากาศรอบ ๆ จนกระทั่งถึงสมดุล ซึ่งสมดุลของปริมาณความชื้นของเซลลูโลสจะเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศรอบ ๆ นั้น ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อคุณสมบัติบางประการ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อความชื้นสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของเส้นใยฝ้ายจะมีค่ามากขึ้น ส่วนเส้นใยเรยอน (Rayon) จะมีค่าลดลง

## 2) การละลายและความหนืด

เซลลูโลสไม่ละลายน้ำแต่ละลายในกรดเข้มข้น เช่น กรดซัลฟูริก 72% กรดไฮโดรคลอริก 40% และ กรดฟอสฟอริก 85% เซลลูโลสจะเกิดไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็วในสารละลายกรดที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาจะหยุดที่อุณหภูมิค่า

ในสารละลายของเกลือเข้มข้นบางชนิด เช่น ซิงค์คลอไรด์ (Zinc chloride) 72% และ สารละลายอัลคาไลไฮดรอกไซด์ (Alkali hydroxide) ทำให้เซลลูโลสบวมและบางครั้งทำให้เซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถละลายได้ ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของเซลลูโลสและอนุพันธ์ โดยที่ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความเข้มข้นของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.3 ขนอ้อยที่ผ่านกระบวนการหีบ<sup>17</sup>

## 3) ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของเซลลูโลสที่เป็นเส้นใยเดี่ยวจะไม่มีค่าแน่นอน ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเส้นใยของเซลลูโลสแปรตามแหล่งที่มา และอาจเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการปรับปรุงทางเคมี

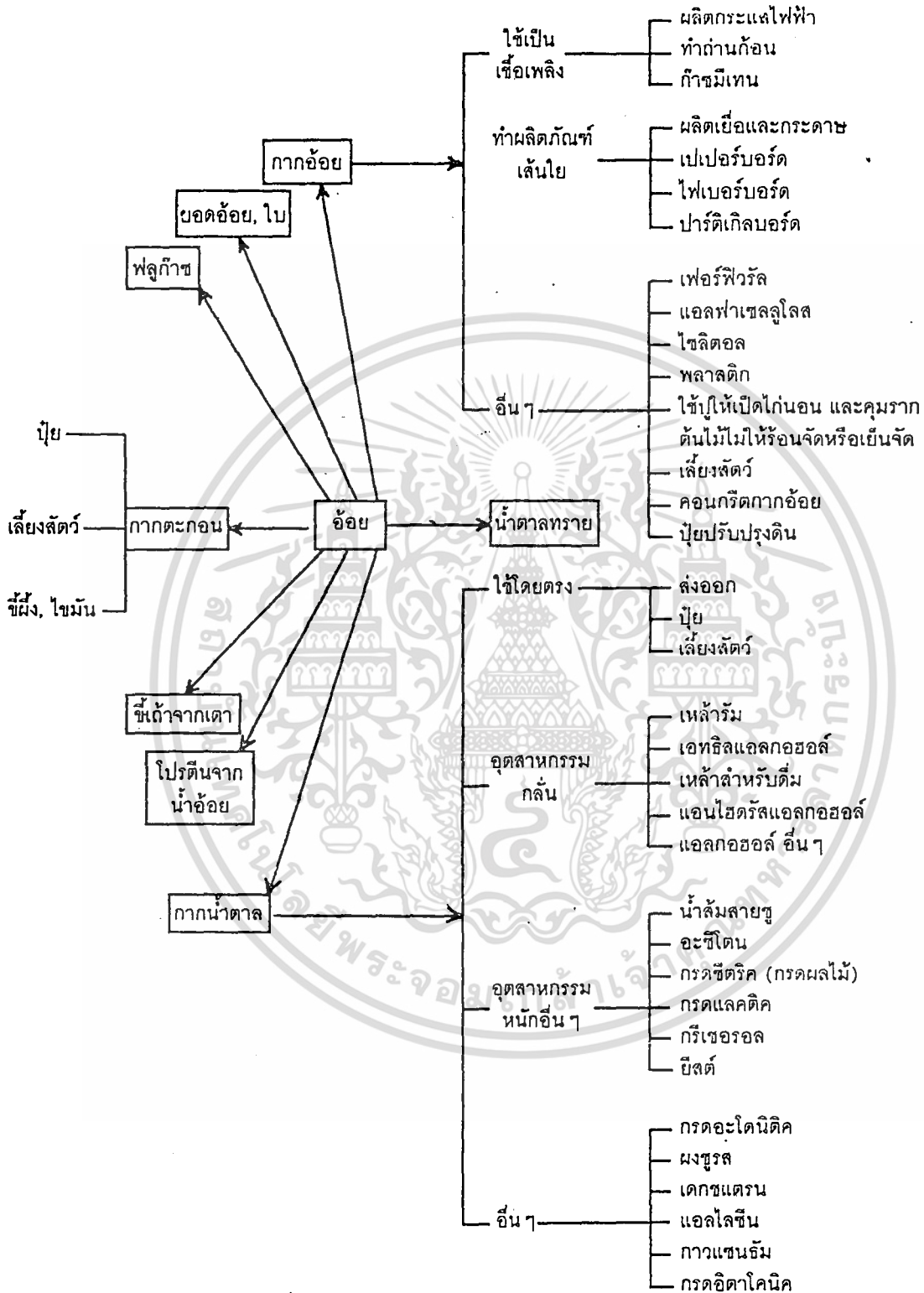
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยธรรมชาติที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง ได้แก่ เส้นใยฝ้าย (Cotton) เส้นใยชานอ้อย (Bagasse) ป่านศรนารายณ์ (Sisal) ปอกระเจา (Jute) เป็นต้น ฝ้ายเจริญเติบโตได้ดีในแถบตะวันออกเฉียงใต้ของอเมริกา เมื่อผสมเส้นใยฝ้ายกับพลาสติกจะช่วยเพิ่มสมบัติความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) และยังช่วยให้ขึ้นรูปได้ง่าย ส่วนเส้นใยป่านศรนารายณ์พบมากแถบแอฟริกาตะวันออกและอินโดนีเซีย เป็นเส้นใยที่แข็งแรงแต่ไม่ทนต่อความชื้น มีประโยชน์ในการทำพลาสติกชั้น (Laminate plastic) เส้นใยปอกระเจาไม่แข็งแรงเท่าเส้นใยป่านศรนารายณ์ แต่ใช้กันอย่างกว้างขวางเพราะมีราคาถูก ในบางประเทศมีการใช้เส้นใยปอกระเจาเสริมแรงในพอลิเอสเตอร์ เพื่อใช้ในงานก่อสร้างอาคาร และชานอ้อยซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอ้อยและวัสดุเหลือใช้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารเสริมแรงในพลาสติกได้เช่นกัน

อ้อยจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากอ้อยมีปริมาณน้ำตาลสูงโครสมาก สามารถใช้ผลิตน้ำตาลจากอ้อย โดยผ่านกระบวนการผลิตแปรรูปจากของเหลวเป็นของแข็ง เพื่อให้เกิดความสะดวกในการนำไปใช้ อ้อยมีหลายพันธุ์และเจริญเติบโตในภูมิภาคที่มีอุณหภูมิค่อนข้างร้อนและฝนตกชุก ในฤดูกาลหนึ่ง ๆ สามารถเก็บเกี่ยวอ้อยเมื่ออายุประมาณ 12 - 14 เดือน เพื่อนำไปผลิตน้ำตาล นอกจากหีบอ้อยเอาน้ำตาลแล้ว ส่วนประกอบอื่น ๆ ของอ้อยที่เหลือ เช่น ขอคออ้อย ใบ ชานอ้อย (Bagasse) กากอ้อย (Molasses) ตลอดจนขี้ผึ้งหรือไขอ้อย ยังสามารถนำไปตัดแปลงหรือแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะใช้เป็นวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอีกมากกว่า 100 ชนิด ผลพลอยได้และการใช้ประโยชน์ของอ้อย<sup>18</sup> สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4

อ้อย 1,000 กิโลกรัม จะมีอ้อยเสียประมาณ 94 กิโลกรัม ขอคอบ 82 กิโลกรัม เหลือป้อนเข้าโรงงานน้ำตาล 824 กิโลกรัมและเมื่อแยกคินทรายออกจะมีน้ำหนักอ้อยจริง 768 กิโลกรัม ผลิตกากน้ำตาล 104 กิโลกรัม ของเหลือจากกากน้ำตาล 26 กิโลกรัม กากตะกอน 33 กิโลกรัม ชานอ้อย 231 กิโลกรัม และน้ำ 430 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่าสิ่งที่เหลือจากกระบวนการผลิตรองจากน้ำ คือ ชานอ้อย มีปริมาณถึง 30 เปอร์เซ็นต์ของอ้อยที่ผ่านกระบวนการผลิต ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย

เส้นใยชานอ้อยมีโครงสร้างเป็นเกลียวคล้ายกับฝ้ายและเส้นใยขนแกะ มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1 - 4 มิลลิเมตร หนา 0.01 - 0.40 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีหลายขนาดขึ้นอยู่กับพันธุ์ของอ้อย



รูปที่ 2.4 ผลพลอยได้และการใช้ประโยชน์จากอ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงสิ่งที่เหลือจากกระบวนการผลิตอ้อย  
ในแต่ละโรงงาน จำแนกตามภาค<sup>19</sup>

โรงงาน	% อ้อยที่เข้า หีบ	% ของเสี้ยน	% ความชื้น	% เส้นใย
<b>ภาคเหนือ</b>				
1. เชียงใหม่	34.196	1.184	56.913	38.015
2. ลำปาง	34.16	3.26	53.43	41.63
3. พิชณุโลก	---	---	---	---
4. ไทยโอเดียนดีดี	29.99	2.47	51.15	45.3
5. อุดรดิตถ์	31.13	3.88	51.57	42.76
6. มิตรสยาม	27.54	1.98	51.17	45.95
7. กำแพงเพชร	28.987	2.423	50.686	45.298
8. นครเพชร	27.42	2.73	50.31	45.82
9. ลำพูน นครสวรรค์	35.68	1.96	51.9	45.42
10. เกษตรไทย	29.6	2.38	53.01	43.35
<b>ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ</b>				
11. โคราชอินดัสตรี	27.6	2.51	51.56	44.89
12. อ่างเวียน(ราชสีมา)	28.86	2.88	52.78	43.02
13. กุมพวาปี	28.76	2.52	51.11	45
14. เกษตรผล	27.6	2.3	50.31	46.16
15. เลิศอุดม	28.79	1.79	51.17	4.63
16. วนาชัย	---	---	---	---
17. สหรุ่ง	28.13	3.15	46.8	47.95
18. บุรีรัมย์	33.57	3.1	56.11	39.38
19. ขอนแก่น	27.51	1.76	51.24	46.25
20. ยูไนเต็ค ฟาร์มเมอร์ & อินดัสตรี	28.52	1.99	51.53	45.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงสิ่งที่เหลือจากกระบวนการผลิตอ้อย  
ในแต่ละโรงงาน จำแนกตามภาค (ต่อ 1)

โรงงาน	% อ้อยที่เข้า หีบ	% ของเสีย	% ความชื้น	% เส้นใย
21. น้ำตาลประจวบ อุตสาหกรรม	---	---	---	---
<b>ภาคตะวันออก</b>				
22. นิว เคียง ชุน ที	27.97	1.67	49.92	47.26
23. ชลบุรี	28.45	4.15	50.67	43.57
24. หนองใหญ่	28.044	2.58	50.11	45.87
25. ชลบุรี ชูการ์ เทรดดิ้ง	26.6	1.72	51.58	45.78
26. อีสเทิร์น ชูการ์	25.04	2.58	50.11	45.87
27. ระยอง	25.77	2.81	48.53	46.99
<b>ภาคกลาง</b>				
28. ราชบุรี	26.209	1.78	51.36	46.33
29. สระบุรี	27.79	1.71	51.92	54.38
30. มิตรผล	27.98	1.92	51.13	46.23
31. K.T. (บ้างโป่ง)	26.29	1.71	50.08	46.4
32. มิตรเกษตร	27.17	1.62	50.56	46.42
33. กาญจนบุรี	27.79	1.71	51.92	45.38
34. ไทยกาญจนบุรี	22.99	1.8	51.41	45.63
35. ไทยรุ่งเรือง	26.6	1.76	49.34	42.01
36. นิวกรุงไทย	24.46	1.65	49.79	47.49
37. ทามากะ	27.92	1.46	51.14	46.69
38. ประจวบ ชูการ์ อินดัสตรี	27.98	1.77	52.01	45.3
39. ไทย มิตติพิลเดชั่น	26.67	1.8	48.71	48.49
40. ไทย ชูการ์ อินดัสตรี	26.43	1.69	50.2	41.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงสิ่งที่เหลือจากกระบวนการผลิตอ้อย  
ในแต่ละโรงงาน จำแนกตามภาค (ต่อ 2)

โรงงาน	% อ้อยที่เข้า หีบ	% ของเสี้ยน	% ความชื้น	% เส้นใย
41. T.N. ชูการ์	27.94	2.12	51.49	45.45
42. ปราณบุรี ชูการ์	28.64	2.88	51.64	44.23
43. สุพรรณบุรี	31.9	3.16	53.27	41.79
44. S.B. (สิงคโปร์)	27.63	2.45	49.39	46.43
45. วังนาย ชูการ์	27.19	1.66	50.58	46.91
46. อุทอง	29.18	1.63	53.53	49.19

### 2.1.2 องค์ประกอบของขานอ้อย

ขานอ้อยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเส้นใยประมาณ 42 - 43 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (Moisture) 46 - 52 เปอร์เซ็นต์ และส่วนอื่น ๆ ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล 2 - 8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนประกอบทางเคมีของขานอ้อยประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินและ สารพอลิเมอร์ธรรมชาติ เซลลูโลสในขานอ้อยเป็นโฮโมพอลิเมอร์ประเภท D-กลูโคส พอลิเมอร์ของเฮมิเซลลูโลสเป็นประเภท D-ไซเลนและลิกนินเป็นประเภทฟีนอลิกธรรมชาติ<sup>17</sup>

ตารางที่ 2.3 การวิเคราะห์ทางเคมีของขานอ้อย<sup>a</sup>

Constituent	Entire bagasse <sup>b</sup>	Entire bagasse <sup>c</sup>	Bagasse fiber <sup>c</sup>	Bagasse pith <sup>c</sup>
cellulose	40.00	46.00	56.60	55.40
gums (araban, galactan, xylan)	24.40	24.50	26.11	29.30
protein	1.80			
sugars				
sucrose	14.00			
glucose	1.40			
acids	0.40			
fats and waxes	0.60	3.45	2.25	3.55
ash	2.40	2.40	1.30	3.02
lignin	15.00	19.95	19.15	22.30
silica		2.00	0.46	2.42

<sup>a</sup> ข้อมูลทั้งหมดไม่มีความชื้นเกี่ยวข้อง <sup>b</sup> เอกสารอ้างอิง 20 <sup>c</sup> เอกสารอ้างอิง 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 ประโยชน์จากขานอ้อย

ขานอ้อยคือส่วนของอ้อยที่เหลือภายหลังจากการหีบนำอ้อยออก โดยใช้ลูกหีบหนึ่งหรือหลายชุด ซึ่งจะมีประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของอ้อยที่หีบ ขานอ้อยมีประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมมาก เช่น ใช้ทำไม้อัด เยื่อกระดาษ พลาสติก อาหารสัตว์ ตลอดจนใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันเตาในโรงงานอุตสาหกรรม ขี้เถ้าที่เหลือนำมาผสมกับหินปูนและถ่านหินสามารถผลิตเป็นอิฐก่อสร้างได้ ในบางประเทศนำขานอ้อยไปผลิตกระแสไฟฟ้า การใช้ประโยชน์จากขานอ้อย<sup>18</sup> ได้แก่

#### 1) เชื้อเพลิงและผลิตกระแสไฟฟ้า

ขานอ้อยสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเผาหม้อน้ำเพื่อผลิตเป็นไอน้ำใช้ในการต้มน้ำตาล ขานอ้อย (ความชื้นประมาณ 49 เปอร์เซ็นต์) หนัก 1 ตัน จะให้พลังงานความร้อนเทียบเท่ากับน้ำตาล 0.18 ตัน ถ่านหิน 0.26 ตัน ก๊าซธรรมชาติ 0.209 ลูกบาศก์เมตร ไม้ 0.55 ตัน และไอน้ำที่ผลิตได้นำไปขับเคลื่อนมอเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งขานอ้อยที่นำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าต้องมีปริมาณมากพอ เพราะต้องใช้แทนถ่านหินหรือน้ำมันเตาซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่นับวันมีแต่หมดสิ้นไปโดยไม่สามารถทำให้เกิดขึ้นมาใหม่ได้

#### 2) ผลิตเยื่อกระดาษ

ประเทศที่ริเริ่มนำขานอ้อยมาทำเยื่อกระดาษ ได้แก่ ฝรั่งเศส เมื่อปี ค.ศ. 1838 ต่อมาแพร่หลายทั่วไปและสามารถทำกระดาษอัดหรือไม้อัดโดยต้องพิจารณาเส้นใยที่นำมาผลิตด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรง จำนวนเส้นใย ความต้านทานต่อความชื้นและการผุพังได้ดี นอกจากนี้สามารถใช้ขานอ้อยผลิตพาร์ติคัลบอร์ด (Partical board) นำมาอัดเป็นแผ่นเล็ก ๆ เป็นจัน ๆ โดยใช้ความร้อนและสารเคมี ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ ตู้ทีวี กระเป๋าเดินทาง โต๊ะ ภาชนะ ฯลฯ

#### 3) อาหารสัตว์

ขานอ้อยเมื่อทำให้แห้ง (ความชื้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์) สามารถใช้ผสมกับกากน้ำตาลในอัตราส่วนกากน้ำตาล 70 ส่วนต่อขานอ้อย 30 ส่วน ทำเป็นอาหารสัตว์ได้

#### 4) ผลิตคอนกรีต

ผสมขานอ้อย 6 ส่วนต่อปูนซีเมนต์ 1 ส่วน เพื่อให้มีราคาถูกลง มีน้ำหนักเบา และเพื่อต่อต้านการทำปฏิกิริยากับสีโป๊ว

#### 5) ผลิตพลาสติก

เนื่องจากส่วนประกอบของขานอ้อยมีลิกนินผสมอยู่ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการผลิตพลาสติก นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมอื่น ๆ ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ เช่น เนื้อไม้ที่ไม่ใช้แล้วนำมาย่อยสลายด้วยกรด ความร้อนและความดัน แล้วอัดเป็นเม็ดพลาสติก

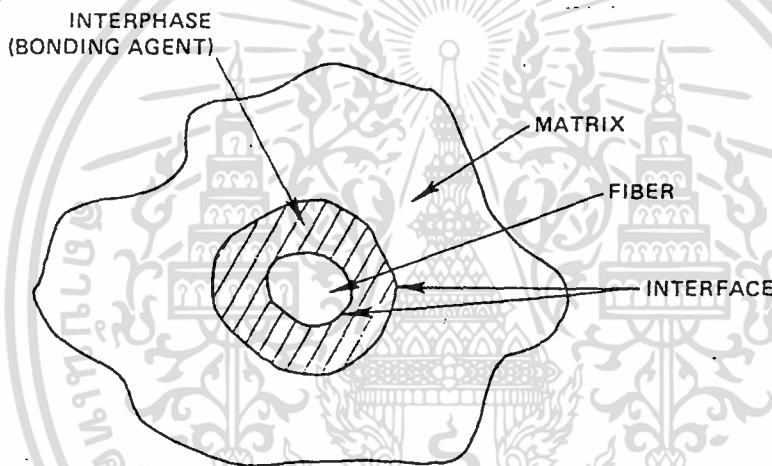
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6) สารเสริมแรง

งานอ้อยสามารถใช้เป็นสารเสริมแรงในพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลโดยนำเส้นใยมาผสมกับพอลิเมอร์เมทริกซ์เพื่อผลิตเป็นพอลิเมอร์คอมพอสิต

## 2.2 Matrices

เมทริกซ์ (Matrix) เป็นวัสดุที่เป็นโครงหลักทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวสารเสริมแรงในวัสดุคอมพอสิต ดังรูปที่ 2.5 เมทริกซ์มีหลายชนิดได้แก่ คาร์บอน (Carbon matrix) เซรามิกซ์ (Ceramic matrix) แก้ว (Glass matrix) และพอลิเมอร์ (Polymer matrix) โดยจะกล่าวถึงเพียงแต่พอลิเมอร์เมทริกซ์เท่านั้น<sup>22</sup>



รูปที่ 2.5 แสดงการยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์<sup>23</sup>

Polymer matrix แบ่งเป็น 2 ชนิดหลัก

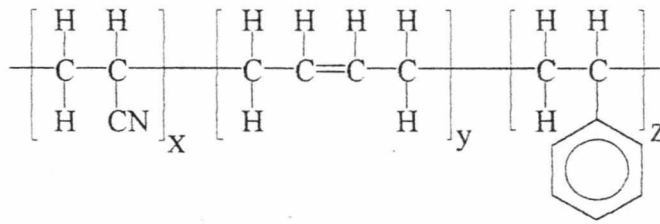
### 1. Thermosetting polymers

เมื่อขึ้นรูปแล้ว ไม่สามารถหลอมได้เมื่อให้อุณหภูมิอีกครั้ง เดิมสารตัวเติมหรือสารเสริมแรงเพื่อปรับปรุงสมบัติความเสถียรต่อความร้อน ความต้านทานการเปลี่ยนรูปและความแข็งแรง เช่น Epoxy resin, Phenolic resin ฯลฯ

### 2. Thermoplastic polymers

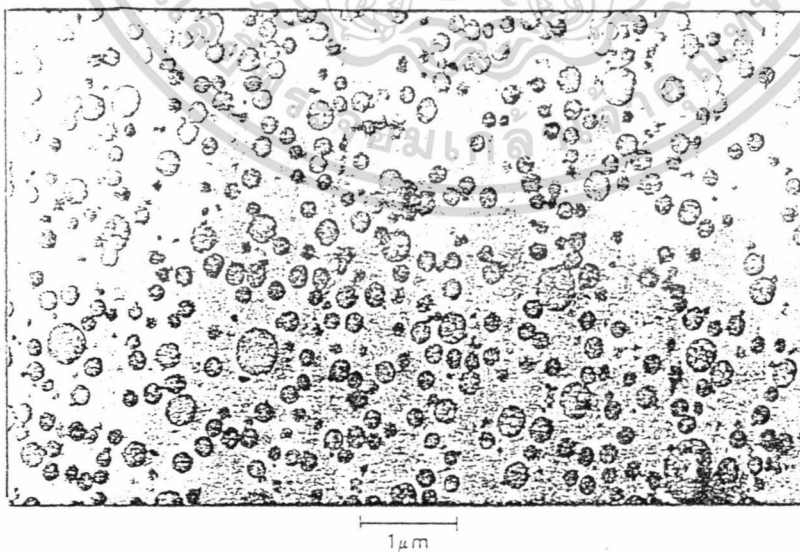
สามารถทำการหลอมเหลวขึ้นรูปได้หลายครั้ง ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีน (PE) พอลิพรอพิลีน (PP) พอลิสไตรีน (PS) อะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (Acrylonitrile-butadiene-styrene, ABS) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้าง ABS

ABS เป็นเทอร์โมพลาสติกที่สำคัญตัวหนึ่ง การเตรียมที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมมี 2 วิธี คือ แบบ Blending เตรียมโดยนำสไตรีน-อะครีโลไนไตรด์ โคลพอลิเมอร์กับยางอะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน โดยใช้อัตราส่วนคือ 70 ส่วน (70:30 สไตรีน-อะครีโลไนไตรด์ โคลพอลิเมอร์) 40 ส่วน (35:65 ยางอะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน) อีกวิธีคือแบบ grafting ซึ่งดีกว่าวิธีแรก เตรียมโดยเออะครีโลไนไตรด์และสไตรีนมาพอลิเมอไรซ์ในพอลิบิวทาไดอีนลาเท็กซ์ ส่วนประกอบที่ใช้โดยทั่วไปคือ พอลิบิวทาไดอีนลาเท็กซ์ 34 ส่วน อะครีโลไนไตรด์ 24 ส่วน สไตรีน 42 ส่วน น้ำ 200 ส่วน สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) 2 ส่วน สารช่วยถ่ายโอนสายโซ่ (Chain transfer agent) 1 ส่วน คั้วริเริ่ม ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) 0.2 ส่วน ใช้อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งเม็ดเล็ก ๆ แยกออกมาได้ง่าย มีโครงสร้างแบบกราฟท์ ถ้าปริมาณบิวทาไดอีนมาก จะเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทก ถ้ามีอะครีโลไนไตรด์มากจะเพิ่มความทนทานต่อสารเคมี ความทนต่อแรงดึงมากขึ้น ทนต่อการครูด่อนและค้างอ่อนได้ดี ละลายในสารประกอบพวกอัลดีไฮด์ คีโตน เอสเทอร์



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะ ABS จาก Transmission electron micrograph (TEM)<sup>21</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ สามารถชุบเคลือบผิวโลหะได้ จึงนิยมใช้ทำปมหมุนวิทยุ โทรทัศน์ ใช้ทำหมวกนิรภัย ชิ้นส่วนพลาสติก เครื่องดูดฝุ่น ส่วนประกอบตู้เย็น เป็นต้น

พฤติกรรมของ ABS ในขบวนการผลิต<sup>25</sup> มีหลักดังนี้

1. ABS ดูดความชื้นได้ประมาณ 0.3 % ใน 24 ชั่วโมง ซึ่งมากกว่า PS (polystyrene) ดังนั้นจึงต้องทำให้แห้งก่อนการผสมหรือการขึ้นรูป
2. ABS ไม่เสถียรต่อความร้อน อาจมีควันเกิดขึ้นถ้าอุณหภูมิสูงเกิน 250-260 °C และมีฟองอากาศที่เกิดจากสารประกอบที่ระเหยได้ทำให้ชิ้นงานมีตำหนิ
3. สมบัติการไหลขึ้นกับ เกรดของ ABS
4. เนื่องจาก ABS มีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน จึงมีการยืดหดตัวต่ำประมาณ 0.044 - 0.008 cm<sup>3</sup>/cm

### 2.3 คอมพอสิต (Composites)

คอมพอสิต คือ ของผสมระหว่างวัสดุ 2 ชนิดหรือมากกว่าเข้าด้วยกัน ตัวอย่างคอมพอสิตในธรรมชาติ ได้แก่ ไม้ประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลสยึดติดกับลิกนินซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ<sup>26</sup>

คอมพอสิตสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ คือ

#### 1) Particulate composites

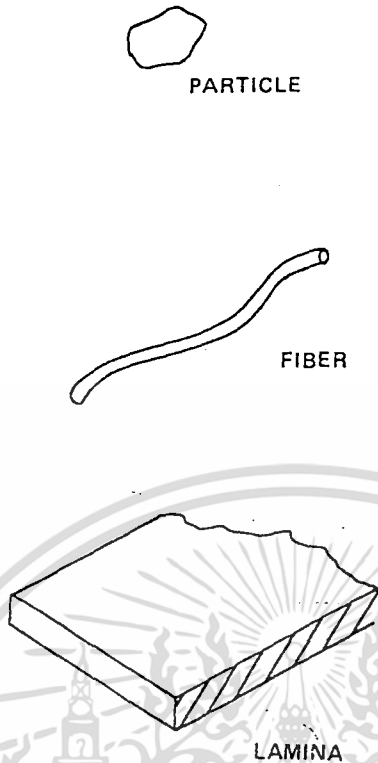
เป็นคอมพอสิตที่เกิดจากการกระจายอนุภาคในเมตริกซ์ ซึ่งอนุภาคจะมีรูปร่างการจัดเรียงตัวและขนาดต่าง ๆ กัน อาจเป็นผง เมล็ด หรือผลึก

#### 2) Laminar composites

เป็นคอมพอสิตที่เกิดจากการยึดติดระหว่างแผ่นวัสดุกับเมตริกซ์ ในลักษณะคล้ายแซนวิชอัดด้วยความดันสูง ซึ่งจะได้เป็นชิ้น ๆ

#### 3) Fibrous composites

เกิดจากเส้นใยเสริมแรงในเมตริกซ์ ซึ่งเส้นใยอาจเป็นเส้นใยคาร์บอน (Carbon fibers) เส้นใยอินทรีย์ (Organic fibers) เส้นใยอารามิด (Aramid fibers) เส้นใยแก้ว (Glass fibers) หรือเส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ประเภทของคอมพอสิต

## 2.4 การปรับปรุงสภาพผิว (Surface modification)

สมบัติของพอลิเมอร์คอมพอสิตขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สมบัติของพอลิเมอร์/เส้นใย ตำแหน่งและการยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใย คอมพอสิตอาจได้ผลไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากเส้นใยกับพอลิเมอร์เมตริกซ์มีการยึดเกาะไม่ดี จึงต้องมีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยการต่อกิ่ง (Grafting) เสียก่อน ซึ่งสามารถต่อกิ่งบนเส้นใยหรือเมตริกซ์ก็ได้ วิธีการนี้มีหลายวิธี ดังรูป 2.9

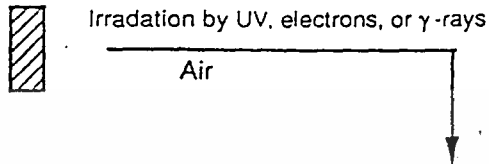
ในปัจจุบัน มีการนำรังสีมาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด เช่น ในทางการแพทย์มีการนำรังสีใช้รักษาโรค และในทางอุตสาหกรรมก็มีการนำรังสีมาใช้หลายแบบด้วยกัน ได้แก่ การผลิตวัสดุเพื่อใช้แทนอวัยวะเทียม ปรับปรุงสมบัติยา และสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์<sup>22</sup>

### ข้อดีของการใช้รังสีกระตุ้นวัสดุ

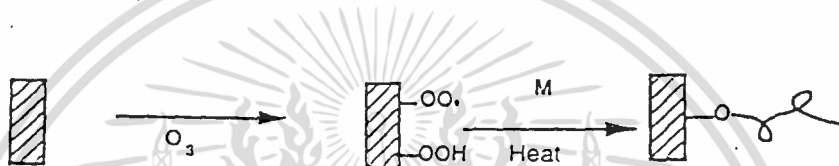
1. สามารถใช้กับวัสดุได้ทุกสถานะ โดยไม่ต้องเปลี่ยนสภาพก่อนทำปฏิกิริยา
2. หลังการฉายรังสีแล้ว จะไม่มีปริมาณรังสีตกค้าง ในผลิตภัณฑ์

3. ไม่มีสารปนเปื้อนตกค้าง ซึ่งต่างกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เพราะการใช้ Catalyst จะมีการปนเปื้อนของสารเคมีตกค้างในพอลิเมอร์

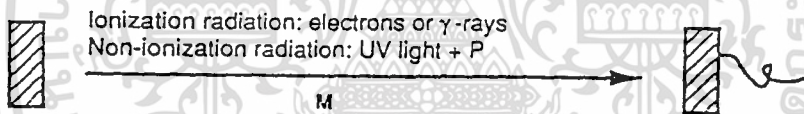
1) Preirradiation Procedure



2) Peroxidation Procedure



3) Simultaneous Methods



รูปที่ 2.9 วิธีการปรับปรุงพื้นผิวโดยการฉายรังสี

การปรับปรุงสภาพผิวโดยวิธีการตอกลงจะทำให้สมบัติของพอลิเมอร์เปลี่ยนไป เช่น ความสามารถในการรวมตัวกับน้ำ การแลกเปลี่ยนประจุ การจับไอออนของพอลิเมอร์ เป็นต้น เทคนิคที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน คือ การใช้รังสี  $\gamma$ -ray จาก  $^{60}\text{Co}$  เนื่องจากมีอำนาจทะลุทะลวงสูงกว่ารังสีชนิดอื่น ๆ การตอกลงด้วยการฉายรังสีมีด้วยกันหลายวิธี ดังนี้

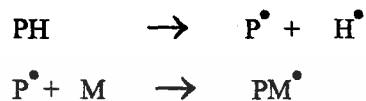
1) Preirradiation Procedure

2) Peroxidation Procedure

3) Simultaneous Methods

### 1) Preirradiation Procedure

เป็นการฉายรังสีให้กับพอลิเมอร์หลัก (PH) ก่อนในสุญญากาศหรือก๊าซเฉื่อย เพื่อให้เกิดอนุมูลอิสระที่เสถียรพอที่จะทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ (M) ที่อุณหภูมิห้อง กลไกของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ



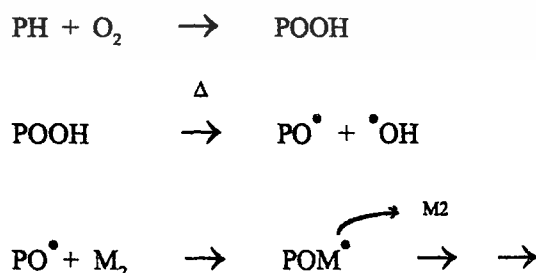
วิธีนี้อาจแบ่งย่อยเป็น 2 ประเภท ตามชนิดของ Active Site ดังนี้

1.1) Peroxides : เป็นการฉายรังสีพอลิเมอร์หลักในขณะที่มีออกซิเจน วิธีนี้มีข้อดีคือสะดวกเพราะไม่ต้องกำจัดออกซิเจน และชีวิตของเปอร์ออกไซด์อยู่ได้นาน

1.2) Trapped Radicles : เป็นการฉายรังสีพอลิเมอร์หลักที่อุณหภูมิค่าขณะที่ไม่มีออกซิเจน อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะถูกจับอยู่ในพอลิเมอร์ จากนั้นเติมมอนอเมอร์ลงไป วิธีนี้จะทำให้เกิดไฮโปพอลิเมอร์น้อย แต่ชีวิตของอนุมูลอิสระจะสั้น จะเหลืออยู่เพื่อเกิดปฏิกิริยาต่อกิ่งได้น้อย โดยเฉพาะถ้าเป็นพอลิเมอร์อัสฐาน

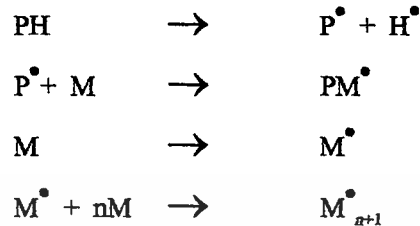
### 2) Peroxidation Procedure

เป็นการฉายรังสีพอลิเมอร์หลักในอากาศหรือออกซิเจน ทำให้เกิดเปอร์ออกไซด์และควบคุมให้อยู่ในสภาพนี้ เพื่อทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ ซึ่งละลายในตัวทำละลายหรือเป็นมอนอเมอร์บริสุทธิ์ โดยทำปฏิกิริยากับในขณะที่มีออกซิเจนหรือสุญญากาศแล้วค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิทีละน้อยเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อกิ่ง ข้อดีของวิธีนี้ คือ สามารถเก็บสารมัธยันต์ (Intermediate) ของเปอร์ออกซิพอลิเมอร์ไว้ได้นานก่อนนำไปทำปฏิกิริยา กลไกที่เกิดขึ้นคือ



### 3) Simultaneous Methods

พอลิเมอร์หลักจะถูกฉายรังสีพร้อม ๆ กับตัวมอนอเมอร์โดยตรง ซึ่งอยู่ในสถานะไอของเหลว หรือสารละลาย การตอ่ก่ิงเกิดผ่านกลไกคือ



โดยทั่วไปจะเกิดผ่านอนุมูลอิสระ เมื่อพิจารณาวิธี Simultaneous พบว่าจะเกิดไฮโมพอลิเมอร์เสมอ ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ ข้อดีของวิธีนี้คือ ทั้งพอลิเมอร์หลักและมอนอเมอร์ถูกฉายรังสีพร้อม ๆ กัน ดังนั้นจึงเกิด Active Site ขึ้นทั้ง 2 ส่วน ปริมาณรังสีที่ใช้จึงต่ำกว่า 2 วิธีแรก และวิธีนี้จะเหมาะกับพอลิเมอร์หลักที่ไวต่อรังสี

#### ปัจจัยที่มีผลต่อการตอ่ก่ิง

ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการตอ่ก่ิงโดยการ ใช้รังสี มีดังนี้

##### 1) ความเข้มของรังสี

การตอ่ก่ิงโดยการ ใช้รังสีแกมมา ซึ่งเป็นรังสีที่มีพลังงานทะลุทะลวงสูง พลังงานของรังสีจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระทั่วทั้งเส้นใย เมื่อปริมาณความเข้มของรังสีสูงขึ้น จะมีผลทำให้เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์การตอ่ก่ิงเพิ่มขึ้น

##### 2) เวลาในการทำปฏิกิริยา

เวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างชิ้นงานที่เกิดอนุมูลอิสระกับมอนอเมอร์เพิ่มขึ้นในช่วงแรก เปอร์เซ็นต์การตอ่ก่ิงจะมีอัตราสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีอนุมูลอิสระอยู่เป็นจำนวนมาก จากนั้นเปอร์เซ็นต์การตอ่ก่ิงจะค่อย ๆ คงที่ในช่วงหลังเพราะจำนวนอนุมูลอิสระที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับมอนอเมอร์จะลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การตอ่ก่ิงคงที่

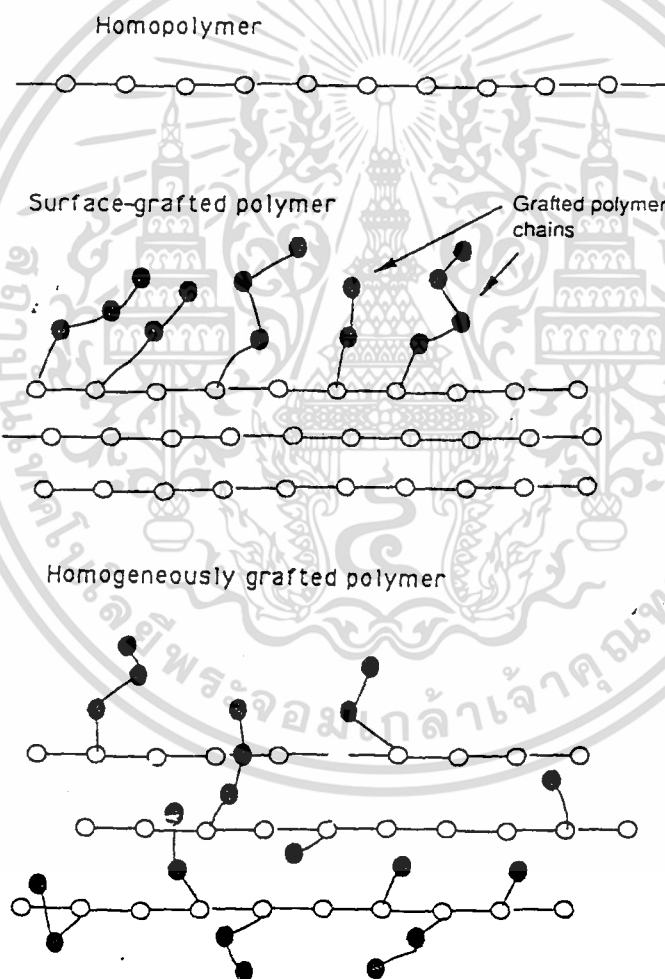
##### 3) ความเข้มข้นของมอนอเมอร์

เมื่อความเข้มข้นของมอนอเมอร์เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การตอ่ก่ิงเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นของมอนอเมอร์ที่เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้กลไกการเกิดปฏิกิริยาในขั้นการแผ่ขยายสายโซ่ (Propagation) เพิ่มขึ้น แสดงว่าสายโซ่ของพอลิเมอร์ที่ตอ่ก่ิงบนเส้นใยมีความยาวเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้เปอร์เซ็นต์การตอ่ก่ิงสูงขึ้น

แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของมอนอเมอร์ให้สูงขึ้นเรื่อย ๆ กลับทำให้เปอร์เซ็นต์การตอ  
กึ่งลดลง อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นที่สูงขึ้นจะทำให้ระบบมีความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้  
การกระจายตัวของมอนอเมอร์ลดลง

#### 4) ผลของอุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิในระหว่างการทำปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้นจะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การตอ  
กึ่งเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การกระจายตัวของมอนอเมอร์ดีขึ้น และลด  
ความหนืดของสารละลาย ทำให้มอนอเมอร์สามารถแทรกตัวเข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่ที่ว่องไวได้ดี  
จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การตอกึ่งเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.10 แสดงการกราฟที่พื้นผิว (Surface grafted polymer)  
และภายในวัสดุ (Homogeneously grafted polymer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5) ผลของกรด

นอกจากตัวแปรต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีผลของสารตัวเดิมอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใส่ลงในระบบของการต่อกิ่งโดยการฉายรังสี นั่นก็คือการเติมกรดลงในระบบโดยกรดจะทำให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งสูงขึ้น เนื่องจากจะไปลดความสามารถในการละลายของมอนอเมอร์ในสารละลายซึ่งมีความเป็นกรดสูงขึ้น จึงเป็นผลทำให้มอนอเมอร์สามารถแทรกตัวและเกิดปฏิกิริยากับหมู่ที่ว่องไวได้ดีขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งสูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อเพิ่มเมื่อปริมาณกรดก็จะยิ่งทำให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งสูงขึ้น

การกราฟที่จะขึ้นกับอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างวัสดุกับตัวทำละลาย ถ้าตัวทำละลายสามารถแทรกซึมได้น้อย การกราฟที่จะเกิดที่ผิวมากกว่าการกราฟที่ภายในวัสดุ



## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.1.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1. Methyl methacrylate (MMA)             | J. T. Baker Analyzed Co.,Ltd |
| 2. 5% NaOH (AR grade)                    | Mallinckrodt Baker , Inc.    |
| 3. Anhydrous calcium chloride (AR grade) | Fluka Chemica                |
| 4. ABS [PORENE MH-1]                     | TPI Co.,Ltd                  |
| 5. Acetone                               |                              |

##### 3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องฉายรังสีแกมมา (Gamma cell 220) ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ บางเขน กรุงเทพฯ
2. เครื่องผสมหลอมเหลวระบบปิดแบบเกลียวหนอนคู่ (Brabender , PL 2100 Plasticorder)
3. เครื่องฉีดพลาสติก (Injection molding machine , Cosmo)
4. เครื่องอัดร้อนและเครื่องอัดเย็น (Hot press , Cold press)
5. เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile tester , LLOYD Instruments LR 30K)
6. เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact tester , Yasuda)
7. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (Scanning electron microscope, JSM 6400)
8. เครื่องบดพลาสติก (NEMA A600)
9. เครื่องตัดชิ้นงานด้วยลม (บริษัท Ceast)
10. เครื่องร่อน (Retch)
11. ตะแกรงมาตรฐานขนาด 10 เมช (X 2 ตารางมิลลิเมตร)
12. ไมโครมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 13. คู่มือ

## 3.2 ขั้นตอนการวิจัย

### 3.2.1 การเตรียมขานอ้อย

1. นำขานอ้อยที่ผ่านกระบวนการแยกขนาดด้วยเครื่องร่อนที่มีความละเอียดเมตร 10 (X 2 ตารางมิลลิเมตร) แล้วล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น
2. อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน เก็บขานอ้อยส่วนที่ยังไม่ใช้ในเดซิเคเตอร์
3. อบขานอ้อยที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นานครึ่งชั่วโมง ก่อนที่นำไปผสมกับเม็ดพลาสติก

### 3.2.2 การเตรียม Methylmethacrylate (MMA)

1. นำ MMA ปริมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ถ้วยแยก
2. ทำการสกัดแยกด้วยยั้งด้วย NaOH 5% 2 ครั้ง ๆ ละ 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. ล้างด้วยน้ำจนเป็นกลาง
4. ทำให้ปราศจากน้ำโดยใช้ Anhydrous calcium chloride
5. เก็บใส่ขวดสีชาเพื่อนำไปทำการทดลองต่อไป

### 3.2.3 การศึกษาผลของปริมาณเส้นใยที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของคอมโพสิต

1. นำขานอ้อยที่เตรียมได้ทำการผสมกับเม็ดพลาสติกออบีเอส (ABS) ในอัตราส่วนขานอ้อย 1, 3, 5, 7 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
2. ผสมในเครื่องผสมหลอมเหลวระบบปิดแบบเกลียวหนอนคู่ ที่อุณหภูมิ 160, 170, 175 และ 180 องศาเซลเซียส
3. นำไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติก
4. ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดพลาสติก (Injection molding machine) ที่อุณหภูมิ 170, 175 และ 180 องศาเซลเซียส และเครื่องอัดรีดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที
5. นำชิ้นงานที่ผ่านจากเครื่องอัดรีด ตัดด้วยเครื่องตัดชิ้นงานด้วยลม เพื่อเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 การศึกษาผลของปริมาณรังสีที่มีต่อการตอ้ง

#### 3.2.4.1. การตอ้ง

1. เตรียมเส้นใยอบแห้ง มอนอเมอร์ที่ผ่านการสกัดด้วยขี้ผึ้งแล้ว และน้ำ ในอัตราส่วน 1: 3 :15 (สำหรับ 20 เปอร์เซ็นต์มอนอเมอร์ในน้ำ)
2. แช่เส้นใยในน้ำ 4 ขวด ปิดฝาทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
3. เติมนอนอเมอร์ (MMA) พันก๊าซไนโตรเจนประมาณ 10 นาที แล้วปิดฝาอย่างแน่นหนา
4. ทำการฉายรังสี โดยใช้  $\gamma$ -Ray  $^{60}\text{Co}$  ที่ปริมาณรังสีทั้งหมด (Total Dose) 5 , 10 , 15 และ 20 kGy
5. ล้างเส้นใยที่ฉายรังสีแล้วด้วยน้ำกลั่น นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง
6. แบ่งเส้นใยแต่ละขวดเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปผสมกับ ABS โดยอัตราส่วนเส้นใย 3% โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปแล้วนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ อีกส่วนหนึ่งนำไปหา % Grafting yield

#### 3.2.4.2. การสกัดโซโมพอลิเมอร์ การคำนวณหา % Grafting yield

1. ชั่งเส้นใยที่ฉายรังสีแล้ว 8 กรัม ใส่ในทิมเบิล (Thimble)
2. ใส่อะซิโตน 230 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลม
3. ตั้งชุดสกัด Soxhlet ทำการสกัดแยกโซโมพอลิเมอร์ เป็นเวลานาน 14 ชั่วโมง
4. นำเส้นใยอบที่ 60 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเคซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก
5. คำนวณ % Grafting yield

$$\% \text{ Grafting yield} = \frac{\text{น.น.ชานอ้อยที่สกัดแยกโซโมพอลิเมอร์แล้ว} - \text{ชานอ้อยที่ไม่ได้ฉายรังสี}}{\text{น.น. ชานอ้อยที่ไม่ได้ฉายรังสี}} \times 100$$

### 3.2.5 การศึกษาผลของไฮโดรพอลิเมอร์ที่มีต่อความแข็งแรงของคอมพอลิเมอร์

1. นำเส้นใยชานอ้อยที่ฉายรังสีที่ 15 kGy และสกัดไฮโดรพอลิเมอร์ (ข้อ 3.2-4.2) แล้วมาผสมกับ ABS ในอัตราส่วน 3% โดยน้ำหนัก
2. นำคอมพอลิเมอร์ที่ได้ไปขึ้นรูปและทดสอบสมบัติต่างๆ
3. ผลที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับ คอมพอลิเมอร์จากชานอ้อยที่ฉายรังสี 15 kGy ที่ไม่ได้สกัดไฮโดรพอลิเมอร์

### 3.2.6 การศึกษาผลของปริมาณมอนอเมอร์ที่มีต่อการตอกรังสี

1. เตรียมหลอดทดลอง 3 หลอด
2. ทำเช่นเดียวกับวิธีการตอกรังสี (3.2.4.1) ซึ่งฉายรังสีที่ 15 kGy ดังตาราง

หลอดที่	เปอร์เซ็นต์มอนอเมอร์ในน้ำ (%)	อัตราส่วน (ชานอ้อย : มอนอเมอร์ : น้ำ)
1	15	1 : 2.25 : 15
2	20	1 : 3.00 : 15
3	25	1 : 3.75 : 15

3. นำชานอ้อยที่ฉายรังสีแล้ว มาล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วอบที่ 60 องศาเซลเซียส
4. นำไปหา % Grafting yield (3.2.4.2)

### 3.3 การทดสอบ

#### 3.3.1 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของขานอ้อย

1. นำชิ้นงานตัวอย่างอบที่อุณหภูมิ  $60 \pm 3$  องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง
2. ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วชั่งน้ำหนัก ทำการทดลองซ้ำจนได้น้ำหนักคงที่
3. นำชิ้นงานใส่ในภาชนะทิ้งไว้ที่มีอากาศถ่ายเทเป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง
4. ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง จดค่าที่ได้ แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

#### 3.3.2 การหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%Water absorption)

1. นำชิ้นงานตัวอย่างอบที่อุณหภูมิ  $60 \pm 3$  องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง
2. ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วชั่งน้ำหนัก ทำการทดลองซ้ำจนได้น้ำหนักคงที่
3. นำชิ้นงานตัวอย่างแช่น้ำกลั่นที่อุณหภูมิ  $23 \pm 1$  องศาเซลเซียส นาน 1 สัปดาห์
4. เมื่อครบกำหนดให้เช็ดให้แห้ง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักหาผลต่างแล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 570-81

#### 3.3.3 การศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology)

นำขานอ้อยและชิ้นงานที่ได้จากการผสม มาศึกษาทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (Scanning electron microscope , SEM)

#### 3.3.4 การศึกษาสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) ของชิ้นงาน

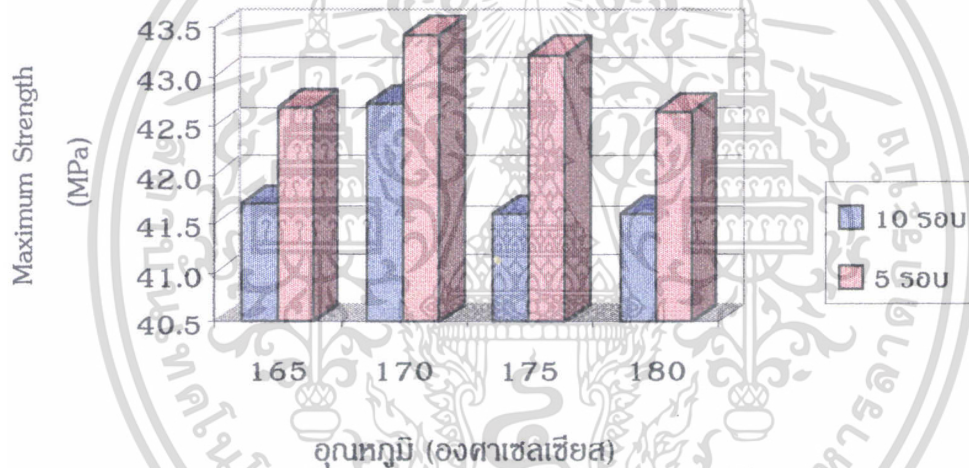
นำชิ้นงานที่ได้มาทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile testing machine) ที่ความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อนาที เครื่องวัดความแข็งแรงกระแทก (Impact tester) ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) และเครื่องวัดความแข็ง (Hardness tester) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 638-87b , D 256A และ D 732-85 ตามลำดับ

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การศึกษาสถานะในการผสมและขึ้นรูป

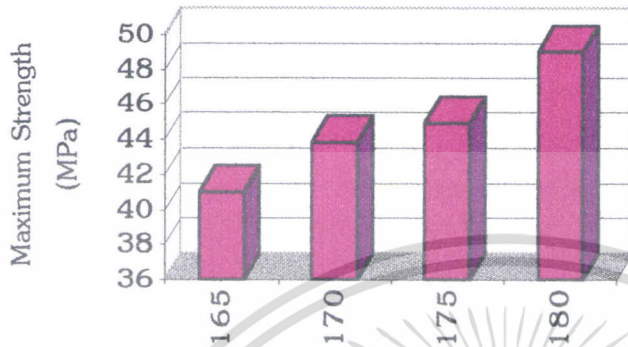
##### 4.1.1 การศึกษาสถานะของเครื่องผสมหลอมเหลวระบบปิดแบบเกลียวหนอนคู่



รูปที่ 4.1 แสดงค่า Maximum strength ที่อุณหภูมิและความเร็วในการผสมค่าต่างๆ

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วรอบของเครื่องผสมหลอมเหลวระบบปิดแบบเกลียวหนอนคู่เป็น 5 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการผสม 170 องศาเซลเซียส จะให้ค่า Maximum strength สูงที่สุด

#### 4.1.2 การศึกษาสภาวะของเครื่องฉัดขึ้นรูปพลาสติก

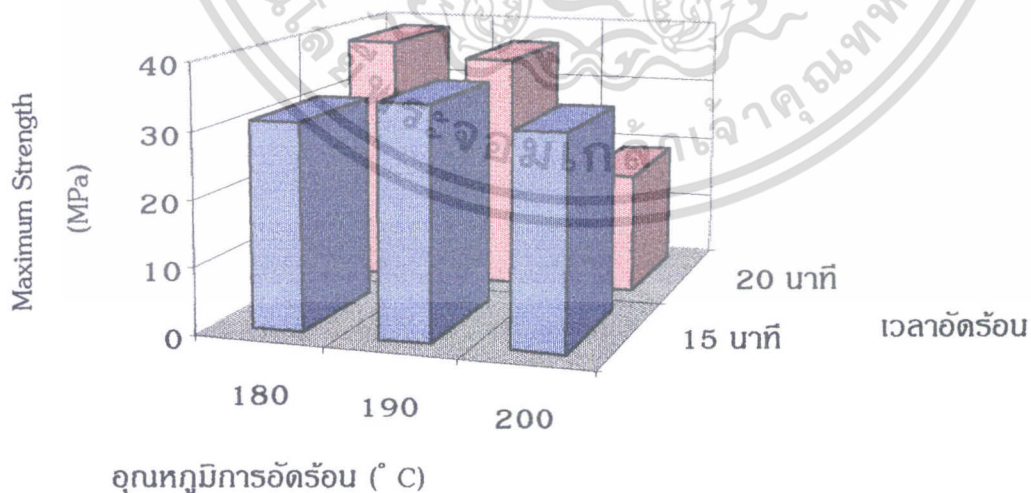


อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

รูปที่ 4.2 แสดงค่า Maximum strength ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิฉัดขึ้นรูปพลาสติก 180 องศาเซลเซียสจะให้ค่า Maximum strength สูงที่สุด

#### 4.1.3 การศึกษาสภาวะเครื่องอัดรีด

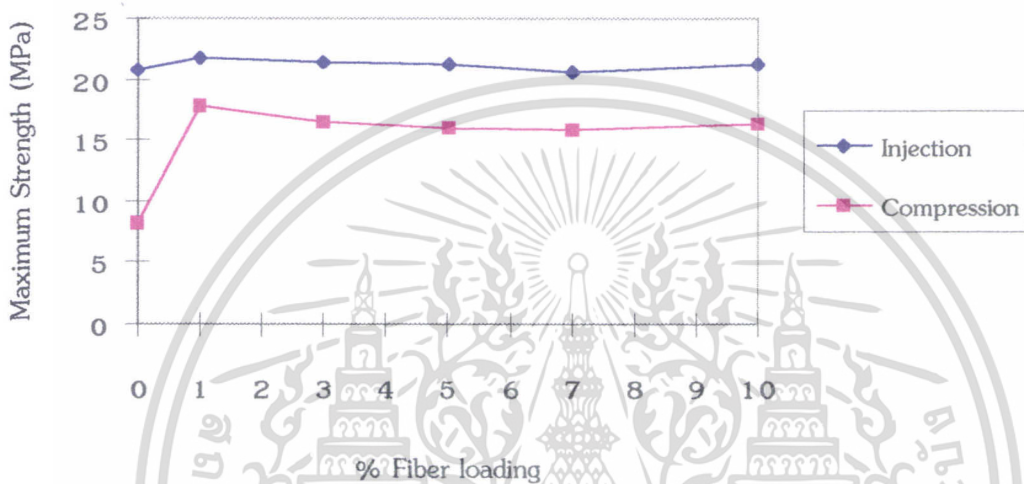


รูปที่ 4.3 แสดงค่า Maximum strength ที่อุณหภูมิและเวลาในการอัดขึ้นรูปค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสและเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 20 นาทีจะให้ค่า Maximum strength สูงที่สุด

#### 4.2 การเปรียบเทียบค่า Maximum strength ของคอมพอลิเตอร์ระหว่างการขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติกและเครื่องอัดรีด



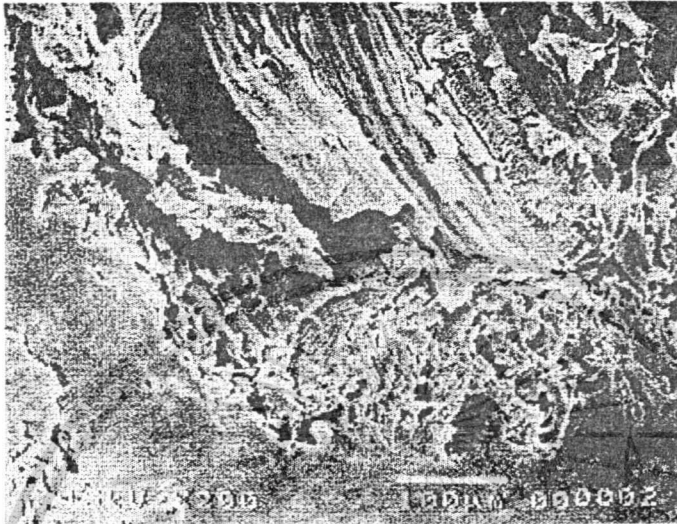
รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบ Maximum strength การขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติกและเครื่องอัดรีด

จากรูปแสดงให้เห็นว่าการขึ้นรูปด้วยการฉีดพลาสติกจะได้ค่า Maximum strength มากกว่าการขึ้นรูปด้วยการอัดรีด เนื่องจากเหตุผล 3 ประการ

1. ในเครื่องฉีดพลาสติก มีเกลียวหนอนซึ่งมีหน้าที่ในการช่วยผสมเส้นใยกับเมตริกซ์อีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นเส้นใยชานอ้อยจะมีการผสมกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ได้ดีขึ้นและดีกว่าการที่ขึ้นรูปขึ้นงานด้วยการอัดรีด
2. การขึ้นรูปด้วยการฉีดพลาสติก เส้นใยชานอ้อยจะจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน (unidirection) แต่การขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด เส้นใยจะจัดเรียงตัวในทิศทางกระจัดกระจาย ทำให้มีการรับแรงได้ไม่ดีเท่าที่ควร
3. การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างรูปดัมเบล ในกรณีที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด ต้องตัดชิ้นงานด้วยแม่แบบ ซึ่งทำให้มีตำหนิบนชิ้นงาน ส่วนในกรณีที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติกจะได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในการศึกษาขั้นต่อไปจะขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป และเมื่อนำคอมพอสิตที่ได้มาศึกษาสัณฐานวิทยา ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงพื้นผิวของคอมพอสิตที่ไม่ได้รับการปรับปรุงสภาพผิว

พบว่าเกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์แสดงว่ามีการยึดเกาะที่ไม่ดี ดังนั้นในการศึกษาขั้นต่อไปจึงทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยก่อนนำมาผสมกับเมทริกซ์

#### 4.3 การศึกษาผลของปริมาณรังสีที่มีต่อการตอก

Total dose (kGy)	% Homopolymer	% Grafting
5	18.82	27.88
10	16.06	22.44
15	21.51	18.49
20	43.58	13.12

ตารางที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การตอกเมื่อปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการฉายรังสี (Total dose) แกมมา (5-20 kGy) จะทำให้ %Grafting ลดลง เนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณรังสีแกมมาทำให้เกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ (Free radicals) ของมอนอเมอร์และเซลลูโลสหรือสารอื่น ๆ บนผิวเส้นใยชานอ้อยเพิ่มมากขึ้น ถ้าอนุมูลอิสระบนสายโซ่เซลลูโลสชนกับ โมเลกุลของมอนอเมอร์จะทำให้เกิดการต่อกิ่ง (Grafting) บนพื้นผิวชานอ้อย ถ้าอนุมูลอิสระของมอนอเมอร์ชนกับ โมเลกุลของมอนอเมอร์ก็จะเกิดการพอลิเมอไรซ์เป็นสายโซ่โฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) นั่นคือ PMMA การเพิ่มของปริมาณรังสีแกมมาจะทำให้อนุมูลอิสระของ MMA มีปริมาณมากขึ้นทำให้มีโอกาสชนกันเกิดเป็นโฮโมพอลิเมอร์เพิ่มมากขึ้นและยังเป็นการทำลายสายโซ่ของมอนอเมอร์ที่ได้ต่อกิ่งแล้ว เป็นผลให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งลดลง การเพิ่มขึ้นของโฮโมพอลิเมอร์ยังทำให้ความหนืดของสารละลายในระบบเพิ่มมากขึ้น ทำให้โอกาสเกิดปฏิกิริยาการต่อกิ่งลดน้อยลง ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนการต่อกิ่งและการเชื่อม โยงระหว่างโซ่กิ่งกับเมตริกซ์ได้ดัง รูปที่ 4.6

#### 4.4 การศึกษาผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ที่มีต่อการต่อกิ่ง

% Monomer	% Grafting yield
15	12.18
20	18.45
25	17.31

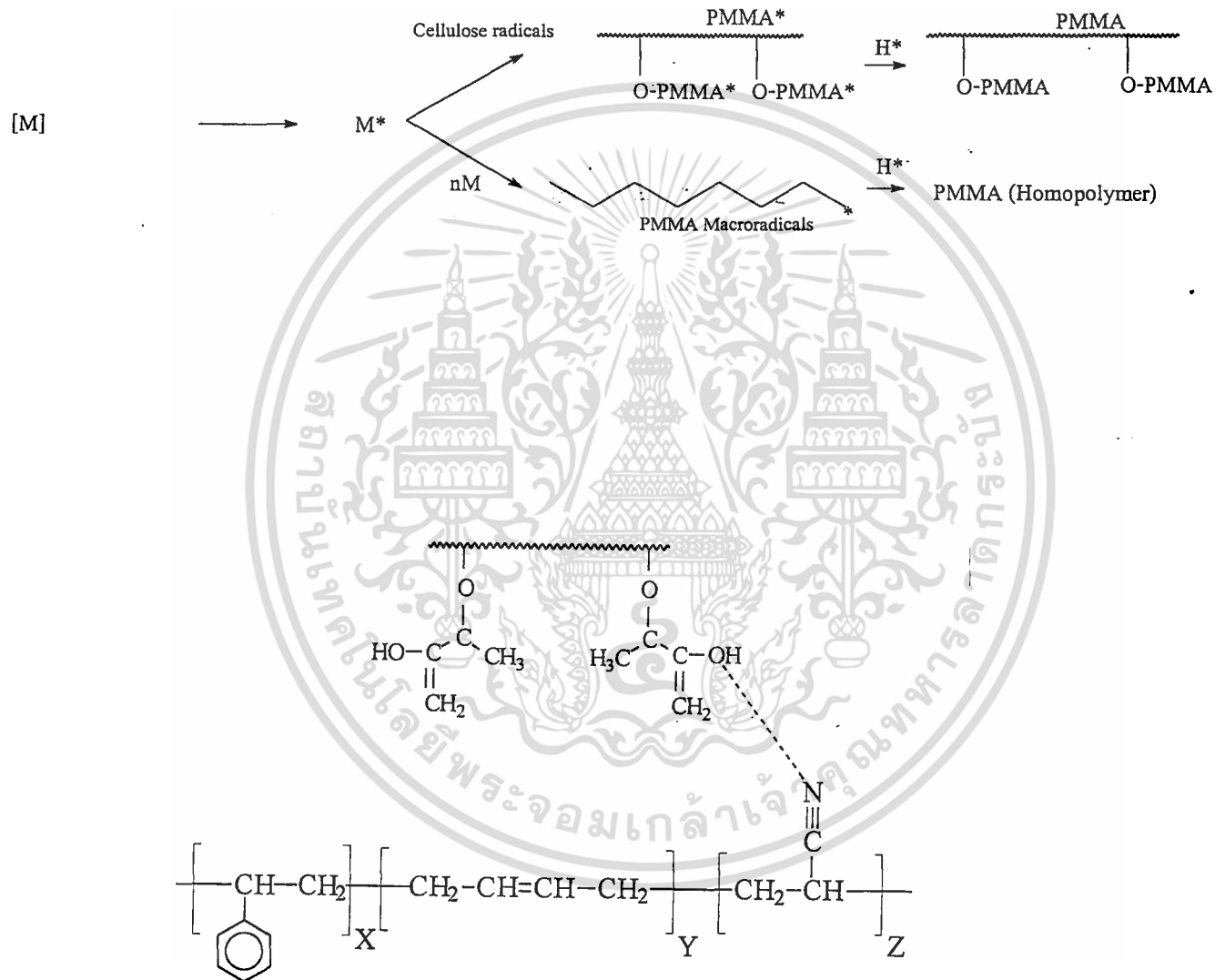
ตารางที่ 4.2 แสดง %Grafting เมื่อความเข้มข้นของมอนอเมอร์เปลี่ยนแปลง

เมื่อความเข้มข้นของมอนอเมอร์เพิ่มขึ้น พบว่าที่ปริมาณรังสี 15 kGy การต่อกิ่งเพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่งจากนั้นจะลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำทำให้เส้นใยเกิดการบวมตัว (Swelling) ช่วยให้ MMA เข้าทำปฏิกิริยาได้ง่ายและน้ำยังเป็นตัวกลางให้ MMA แพร่เข้าไปทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) กับเซลลูโลส เมื่อความเข้มข้นของมอนอเมอร์เพิ่มขึ้นทำให้มีอนุมูลอิสระที่แพร่เข้าทำปฏิกิริยามากขึ้น แต่ถ้าความเข้มข้นของมอนอเมอร์มากเกินไปในขณะที่ปริมาณน้ำเท่าเดิมทำให้เส้นใยบวมตัวได้น้อยและทำให้สถานะของระบบมีความหนืดสูงขึ้น ส่งผลให้มอนอเมอร์เข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระบนพื้นผิวเซลลูโลสได้ยาก เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งจึงลดลง

## 1) Initiation



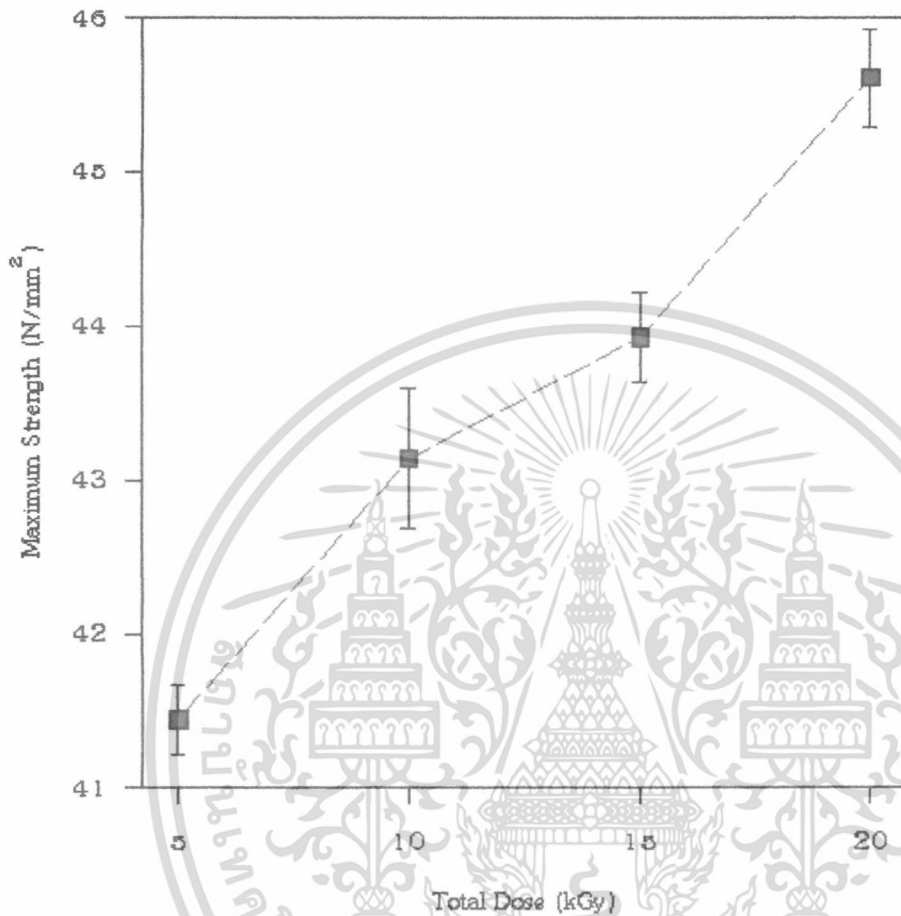
## 2) Propagation



รูปที่ 4.6 แสดงขั้นตอนการต่อกิ่งและการเชื่อมโยงระหว่างโซ่กิ่งกับเมตริกซ์

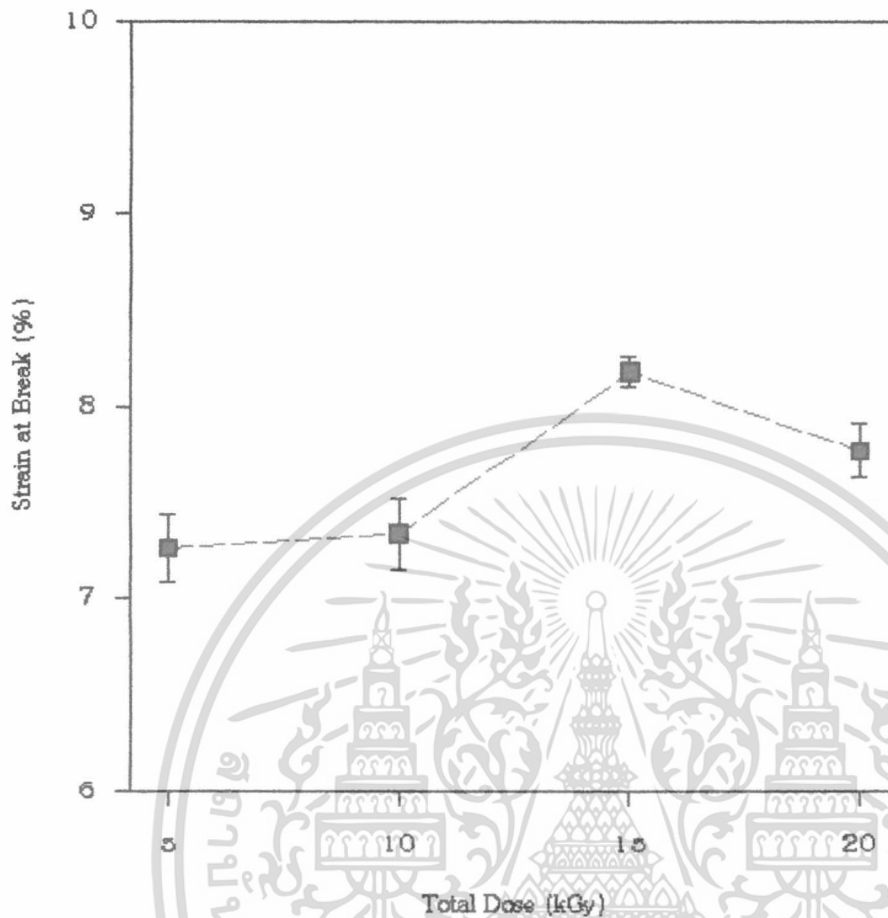
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 การศึกษาผลของปริมาณรังสีที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ



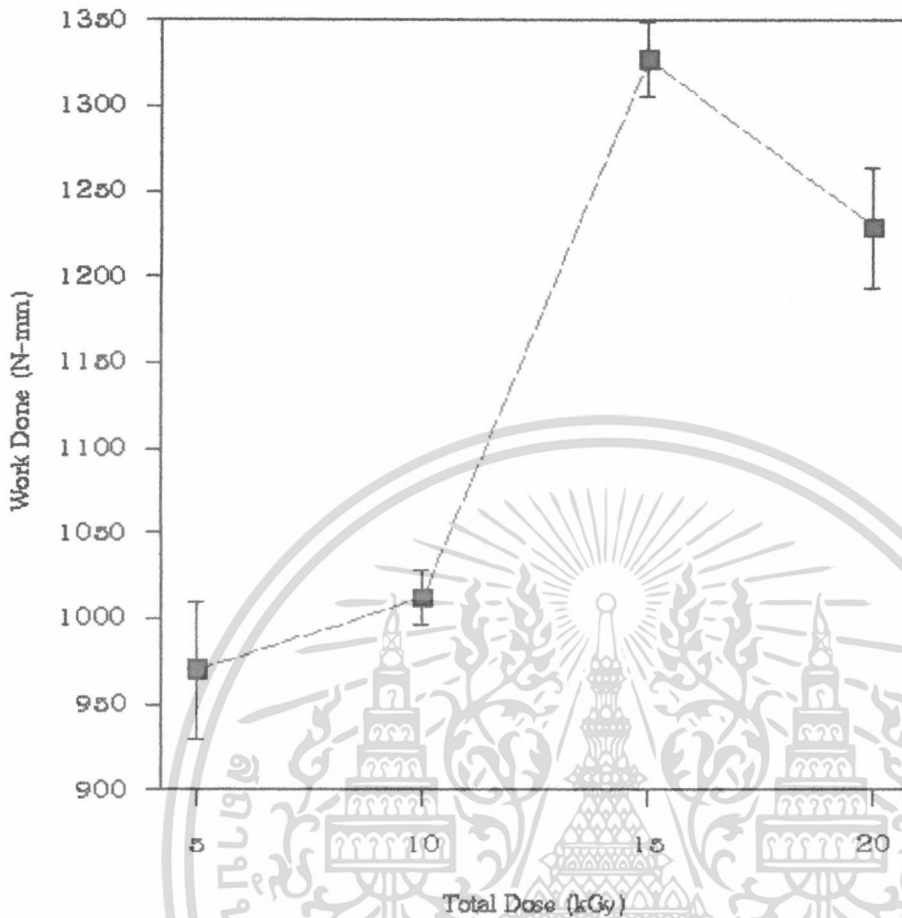
รูปที่ 4.7 แสดงค่า Maximum strength เมื่อปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าแนวโน้มของค่า Maximum strength สูงขึ้นเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่ปริมาณรังสีสูง ๆ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเพิ่มขึ้นเกิดเป็นการต่อกิ่งและโซโมพอลิเมอร์มากขึ้น ดังนั้นเส้นใยจึงยึดเกาะกับเมตริกซ์ได้ดีขึ้น ส่งผลให้มีการถ่ายเทพลังงานระหว่างเมตริกซ์กับเส้นใยมากขึ้น ทำให้คอมพอสิตสามารถรับแรงจากภายนอกได้มาก หรือมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นนั่นเอง



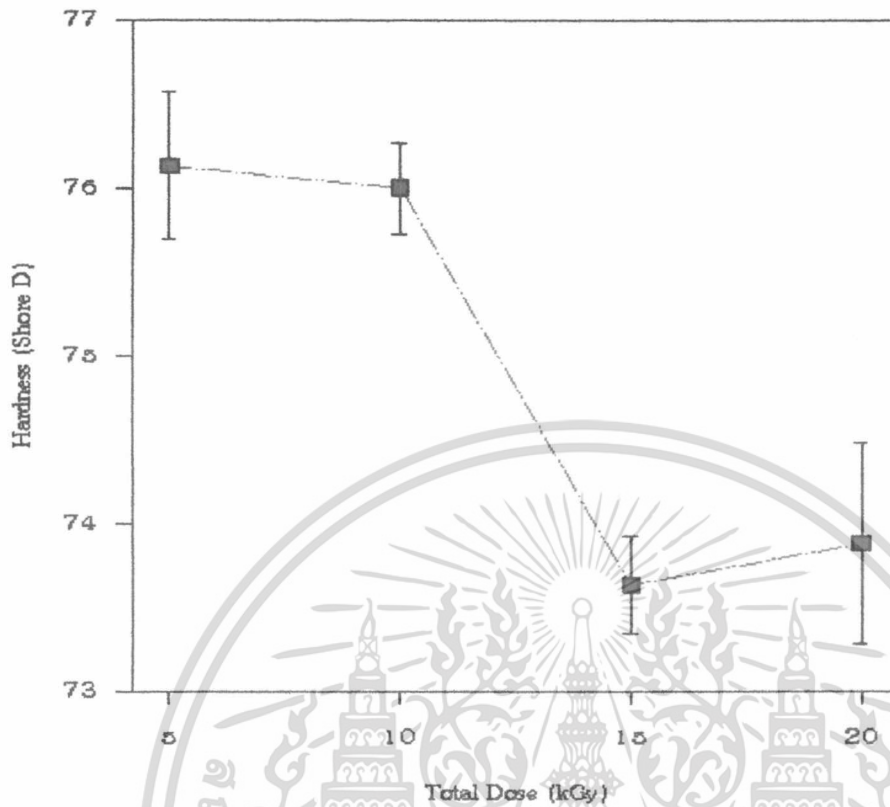
รูปที่ 4.8 แสดงค่า Strain at break (%) เมื่อปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น ค่า Strain at break มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่ปริมาณรังสี 15 kGy จากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณรังสี เป็น 20 kGy ค่า Strain at Break มีค่าลดลง สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น เกิดการตอ้งมากขึ้น เส้นใยมีการยึดเกาะกันที่ดีขึ้น ทำให้สามารถกระจายแรงได้ดี ส่งผลให้คอมพอลิเมอร์ยืดออกได้มากขึ้น จนถึงค่าหนึ่งที่มีปริมาณรังสี 15 kGy และเมื่อฉายรังสีสูงเกิน 15 kGy นอกจากจะเกิดการตอ้งแล้วยังทำให้เส้นใยเสื่อมสภาพ (Degrade) หรือเกิดการขาดของสายโซ่ (Chain scission) ทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์สั้นลง โอกาสที่จะเกิดการพันกันของสายโซ่ (Chain entanglement) น้อยลง ส่งผลให้การยึดของคอมพอลิเมอร์ลดลง



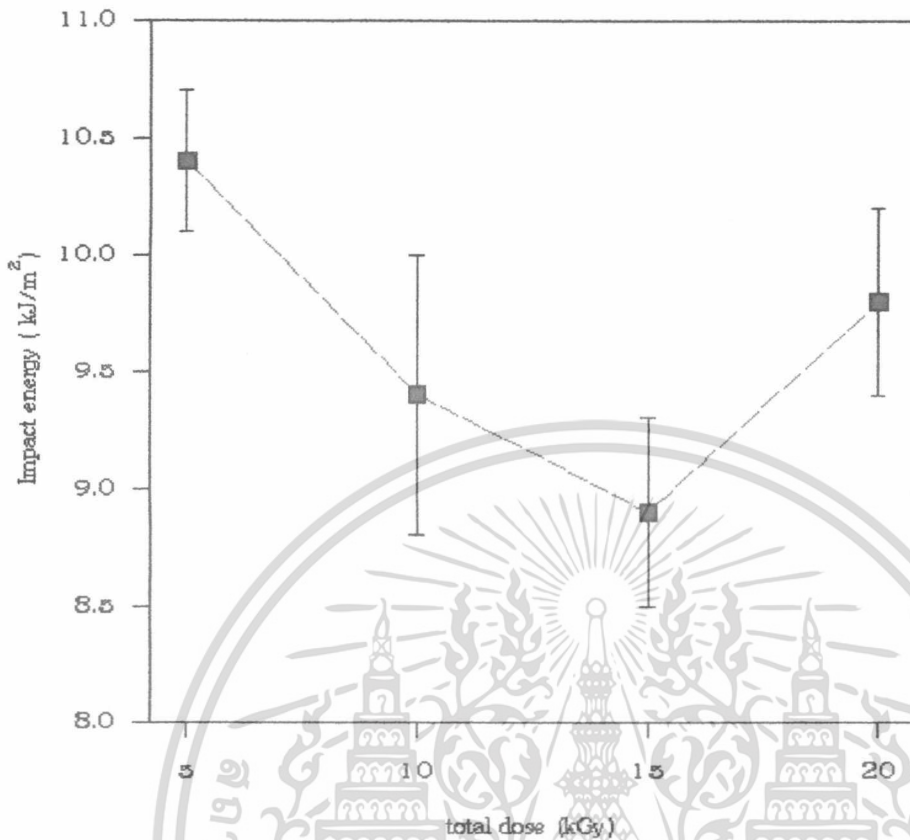
รูปที่ 4.9 แสดงค่า Work done เมื่อปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าค่า Work done เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นจนถึงที่ปริมาณรังสี 15kGy จากนั้นค่า Work done จะลดลงเมื่อปริมาณรังสี 20 kGy เนื่องจากเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการตอกกึ่งมากขึ้น การยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ดีขึ้น ทำให้คอมพอสิตแข็งแรงขึ้น ส่งผลให้งานที่ใช้ในการดึงชิ้นงานคอมพอสิตเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณรังสีสูงเกิน 15 kGy ค่า Work done ลดลง อาจเนื่องมาจากปริมาณรังสีที่สูงเกินไป จะทำให้เส้นใยเสื่อมสภาพหรือมีลักษณะเปราะ เมื่อผลิตเป็นคอมพอสิต เป็นผลให้ชิ้นงานคอมพอสิตเสียสภาพได้ง่ายขึ้น งานที่ใช้ในการดึงชิ้นงานจึงลดลง



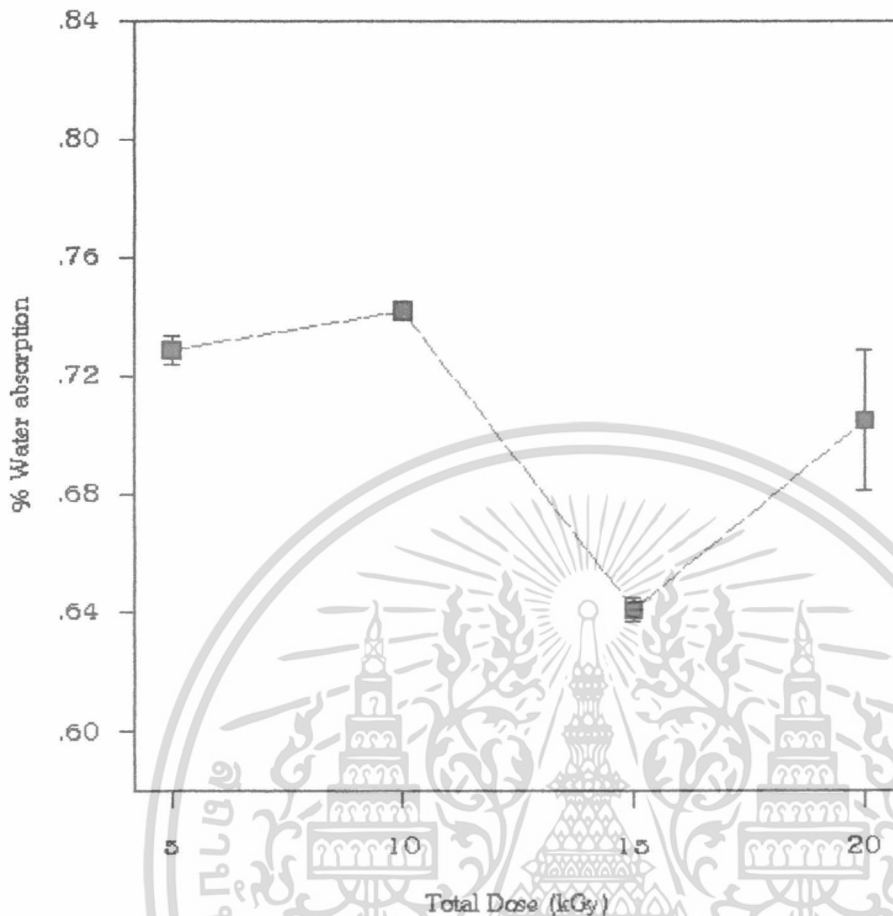
รูปที่ 4.10 แสดงค่า Hardness เมื่อปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 4.10 คอมพอลิเมอร์แนวโน้มของค่า Hardness ลดลง เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเสื่อมสลายของขานอ้อยเมื่อได้รับรังสีปริมาณมาก จึงทำให้คอมพอลิเมอร์ความแข็งลดลง



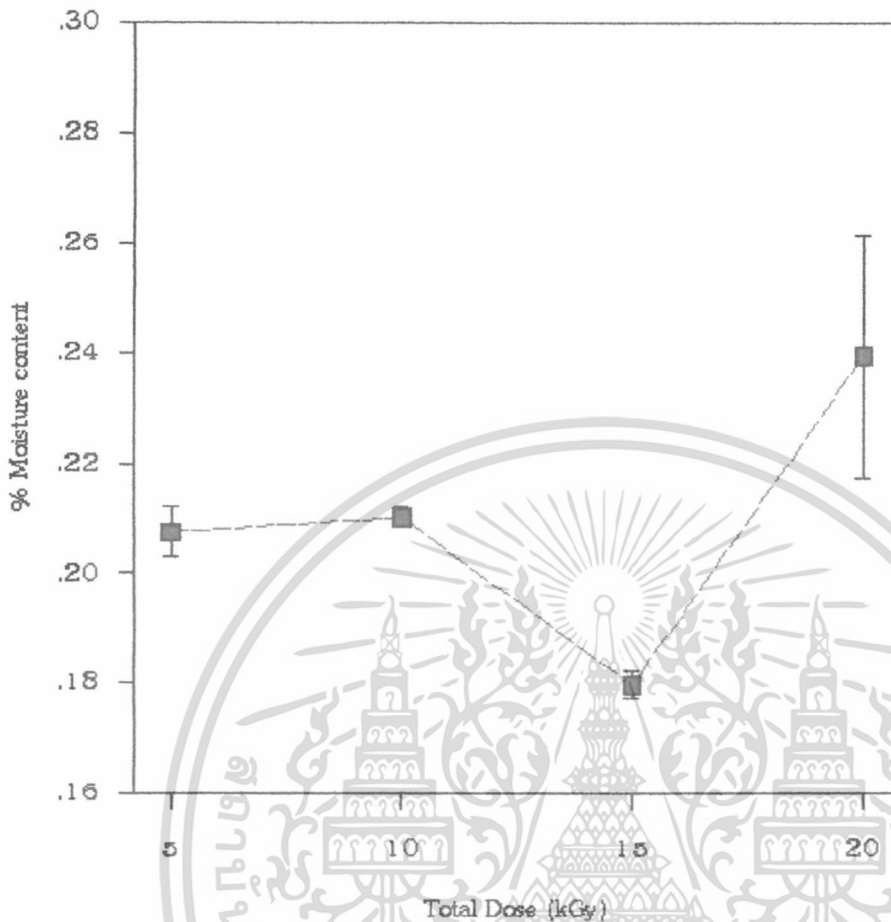
รูปที่ 4.11 แสดงค่า Izod-impact energy เมื่อปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 4.11 จะมีแนวโน้มเดียวกับค่า Hardness คือค่า Impact energy ของคอมพอลิเมอร์มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณรังสีมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาที่ปริมาณรังสี 20 kGy พบว่าค่า Impact energy จะเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่มากจึงทำให้ค่า Impact energy สูงขึ้น



รูปที่ 4.12 แสดงค่า %Water absorption เมื่อปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

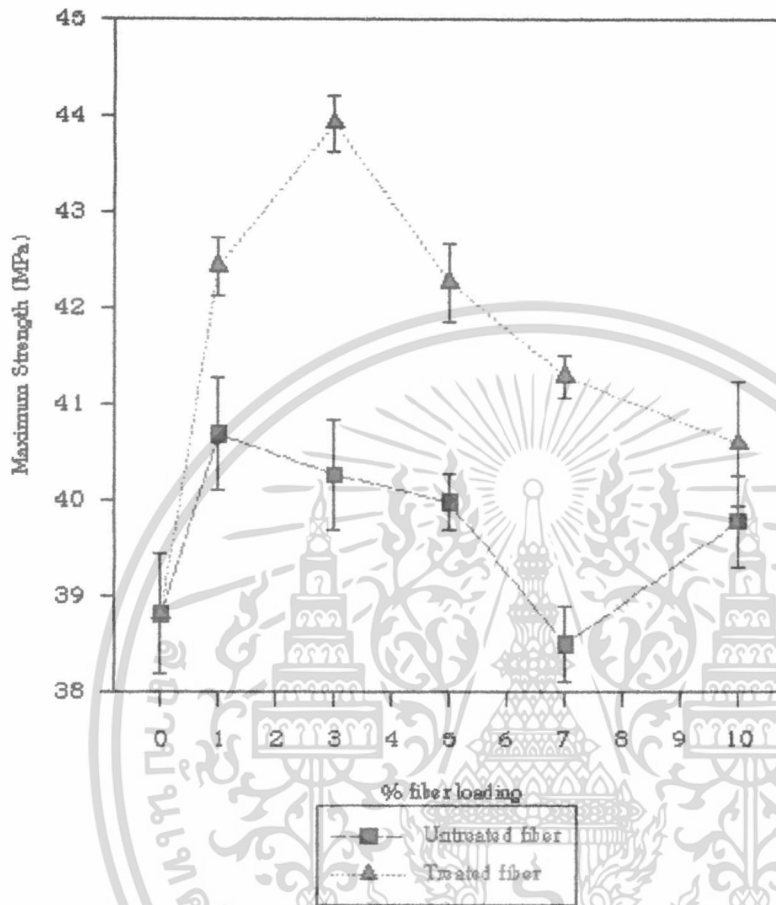


รูปที่ 4.13 แสดงค่า %Moisture content เมื่อปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 4.12 และ 4.13 จะเห็นได้ว่าที่ ปริมาณรังสี 15 kGy มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและค่าการดูดซับความชื้นต่ำที่สุด สามารถอธิบายได้ว่าที่ ปริมาณรังสี 15 kGy มีการยึดเกาะที่ดีระหว่างหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วของเส้นใยกับหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วของเมตริกซ์ จึงทำให้มีโอกาสน้อยที่หมู่ฟังก์ชันจะจับกับโมเลกุลของน้ำ การยึดเกาะที่ดียังทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์เมตริกซ์น้อย หากที่โมเลกุลของน้ำจะแทรกเข้าไปในคอมพอสิต

จากการศึกษาผลของปริมาณรังสี ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ พบว่าการปรับปรุงสภาพผิวของเส้นใยโดยการฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 15 kGy แล้วนำไปผสมกับเมตริกซ์ ทำให้คอมพอสิตมีสมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุด ดังนั้นในการศึกษาขั้นต่อไปจึงเลือกให้ปริมาณรังสี 15 kGy ในการปรับปรุงเส้นใย

#### 4.6 การศึกษาผลของปริมาณเส้นใยที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ

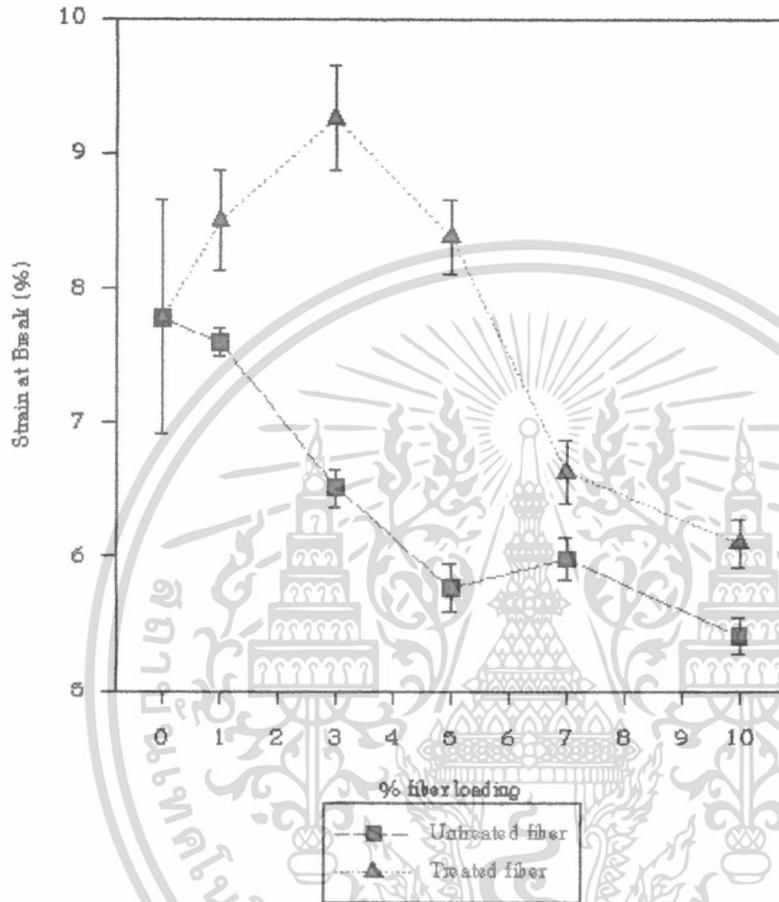


รูปที่ 4.14 แสดงค่า Maximum strength เมื่อปริมาณเส้นใยเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นว่าเมื่อผสมเส้นใยกับเมทริกซ์จะทำให้ค่า Maximum strength ดีขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ไม่ได้รับการปรับปรุง ค่า Maximum strength จะลดลง เนื่องจากเส้นใยที่ไม่ได้รับการปรับปรุงมีการยึดเกาะกับเมทริกซ์ไม่ดีและปริมาณเส้นใยที่มากทำให้การผสมและการกระจายตัวไม่ดี ความแข็งแรงของคอมพอสิตจึงลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ได้รับการปรับปรุงค่า Maximum strength จะเพิ่มขึ้น จนมีค่ามากที่สุดที่ปริมาณเส้นใย 3 % จากนั้นค่า Maximum strength จะลดลง อาจเนื่องมาจากเส้นใยที่ได้รับการปรับปรุงมีการยึดเกาะกับเมทริกซ์ดีเมื่อผสมเป็นคอมพอสิต ส่งผลให้คอมพอสิตแข็งแรงขึ้นจนเมื่อปริมาณเส้นใยมากกว่า 3% จะมีการผสมเข้ากันได้ไม่ดี ทำให้ถ่ายเทพลังงานได้ไม่ทั่วถึง ความแข็งแรงของคอมพอสิตจึงลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง Untreated composites กับ Treated composites จะเห็นว่า Treated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

composites มีค่า Maximum strength สูงกว่า เนื่องจากการตอ่กัทำให้เส้นใยยึดเกาะกับเมตริกซ์ได้ดี จึงสามารถถ่ายเทพลังงานและรับแรงได้ดีกว่า Untreated composites

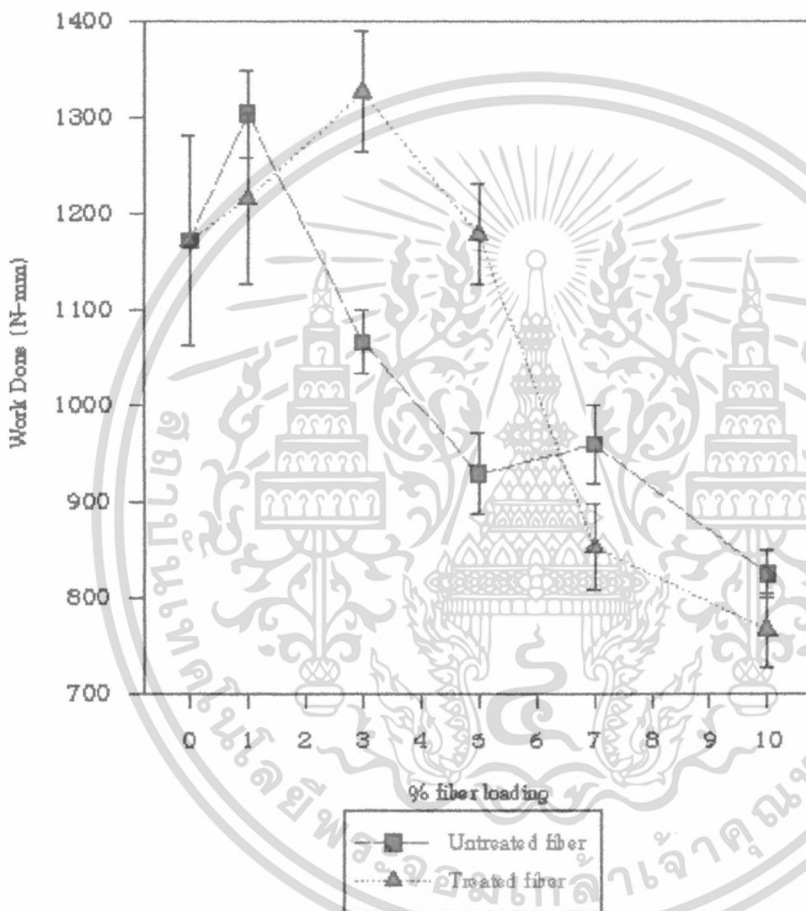


รูปที่ 4.15 แสดงค่า %Strain at break เมื่อปริมาณเส้นใยเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่า เมื่อนำเส้นใยที่ไม่ได้รับการปรับปรุงสภาพผิวมาผสมกับเมตริกซ์ พบว่ามีค่า Strain at break ใกล้เคียงกับเมตริกซ์ที่ไม่ได้ผสมเส้นใย และเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย ค่า Strain at break จะลดลง แสดงว่าเส้นใยที่ไม่ได้รับการปรับปรุงไม่ช่วยให้การยึดของคอมพอสิตดีขึ้นและยังด้อยลงอีกด้วย เนื่องมาจากการผสมเข้ากันและการยึดเกาะที่ไม่ดี ทำให้เส้นใยกับเมตริกซ์แยกเป็น 2 วัสดุ และมีความแข็งแรงทำให้ไม่สามารถถ่ายเทแรงได้ เป็นผลให้คอมพอสิตมีระยะยืดน้อยลง และเมื่อนำเส้นใยที่ได้รับการปรับปรุงผสมกับเมตริกซ์ จะทำให้คอมพอสิตยืดออกได้มากขึ้น จนถึงที่ปริมาณเส้นใย 3% คอมพอสิตสามารถยึดได้ดีที่สุด หลังจากนั้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ค่า Strain at break จะลดลง สามารถอธิบายได้ว่าเส้นใยที่ได้รับการปรับปรุงยึดเกาะกับคอมพอสิตได้ดี จึงมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ถ้าปริมาณเส้นใยมากกว่า 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

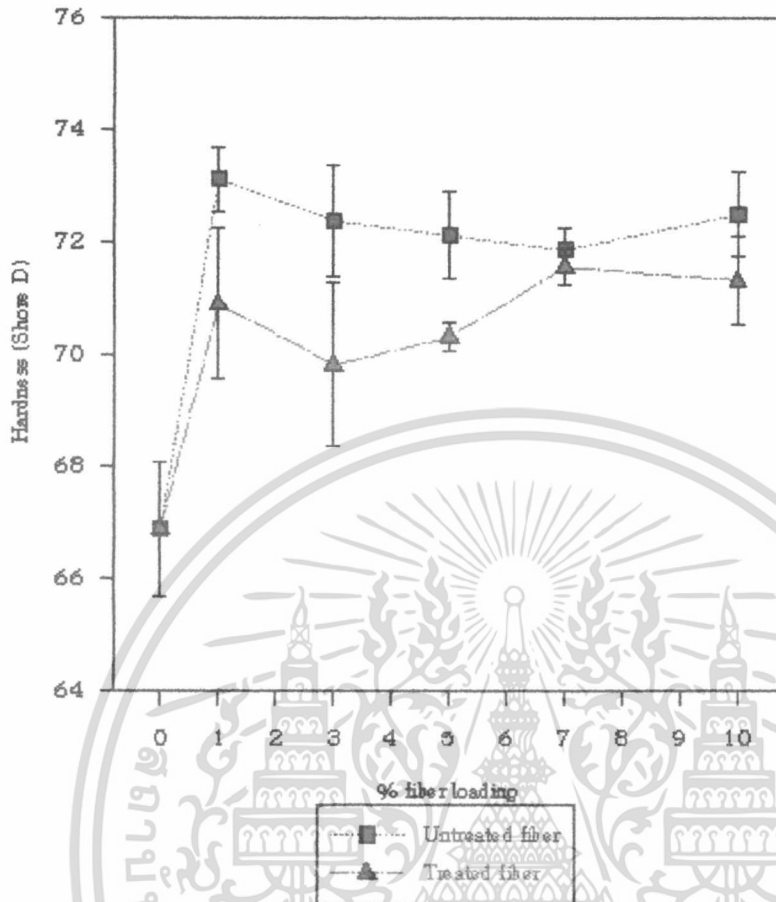
การกระจายตัวของเส้นใยในคอมพอสิตจะไม่ดี จึงทำให้การถ่ายเทพลังงานไม่ทั่วถึง คอมพอสิตจึงยืดออกได้น้อยลง และเมื่อเปรียบเทียบ Untreated composites กับ Treated composites จะเห็นว่า Treated composites มีค่า Strain at break สูงกว่า เนื่องจากการตอกิ่ง ทำให้คอมพอสิตมีการยึดเกาะที่ดี ทำให้สามารถถ่ายเทแรงได้ดี มีตำหนิหรือช่องว่างน้อยจึงสามารถยืดได้มากกว่า Untreated composites



รูปที่ 4.16 แสดงค่า Work done เมื่อปริมาณเส้นใยเปลี่ยนแปลง

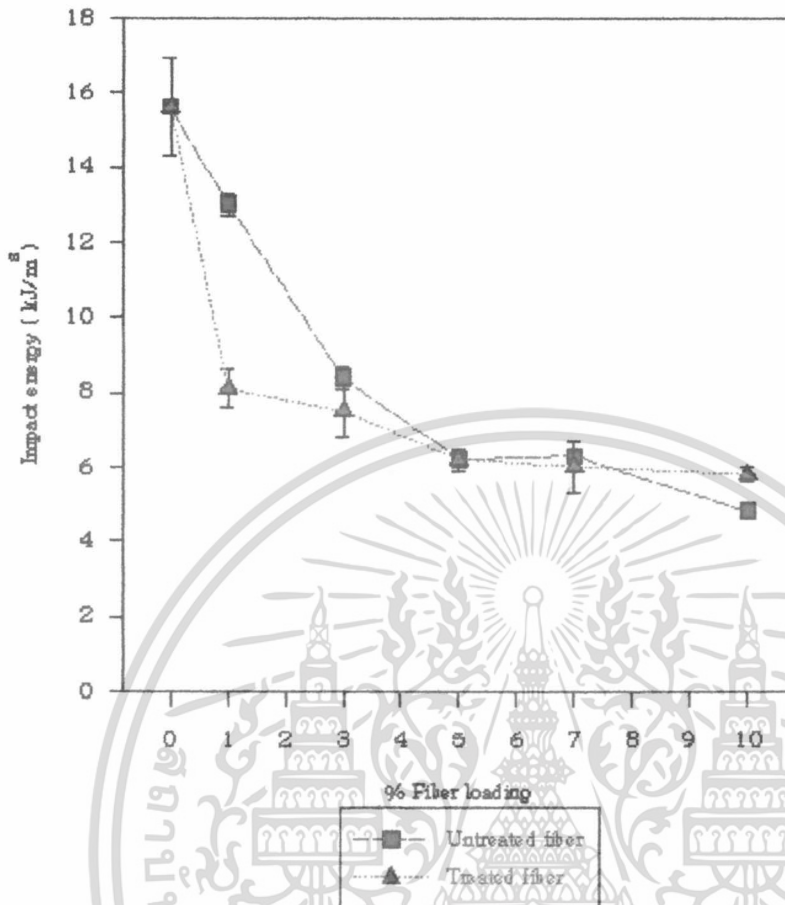
จากรูปที่ 4.16 ค่า Work done มีความสอดคล้องกับค่า Maximum strength และค่า Strain at break จะเห็นได้ว่า Treated composites มีค่า Work done สูงสุดเมื่อปริมาณเส้นใยเท่ากับ 3 % และมีค่า Work done มากกว่า Untreated composites เนื่องจากการยึดเกาะและการกระจายตัวที่ดีทำให้คอมพอสิตแข็งแรง จึงต้องใช้งานในการดึงชิ้นงานมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



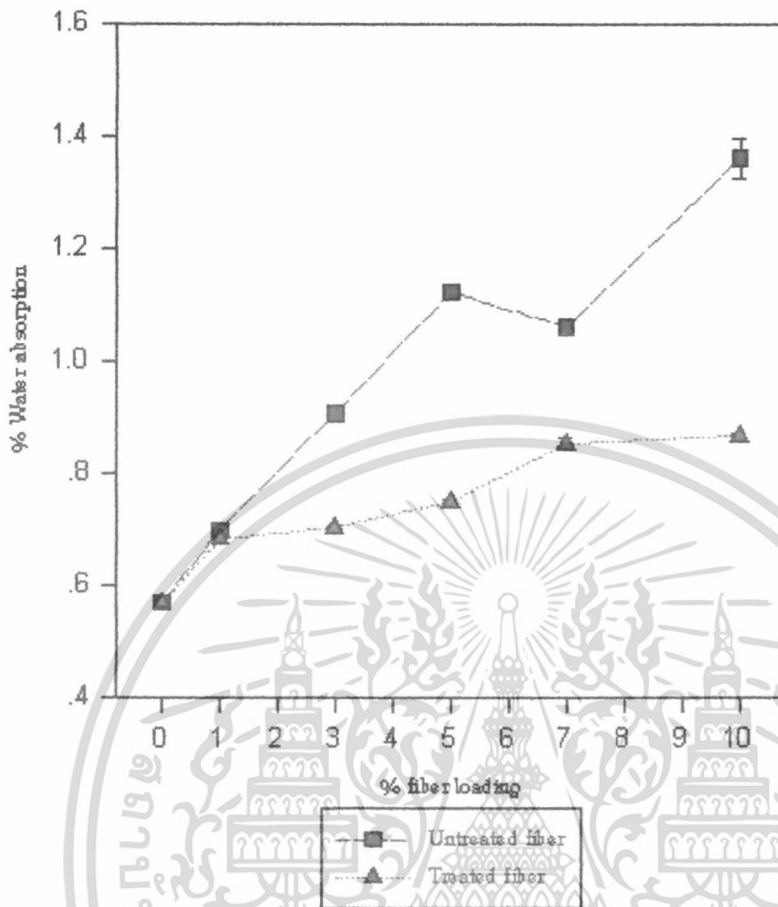
รูปที่ 4.17 แสดงค่า Hardness เมื่อปริมาณเส้นใยเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 4.17 พบว่าเมื่อผสมเส้นใยกับเมตริกซ์จะทำให้ค่า Hardness ของคอมพอสิตเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยแล้วไม่ทำให้ค่า Hardness เปลี่ยนแปลงมากนักทั้งเส้นใยที่มีการปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุง แสดงว่าเส้นใยช่วยให้คอมพอสิตมี Hardness มากเพิ่มขึ้น อันเนื่องจากการผสมเส้นใยที่มีความแข็งแรงมากกว่า แต่ปริมาณเส้นใยไม่มีผลต่อค่า Hardness



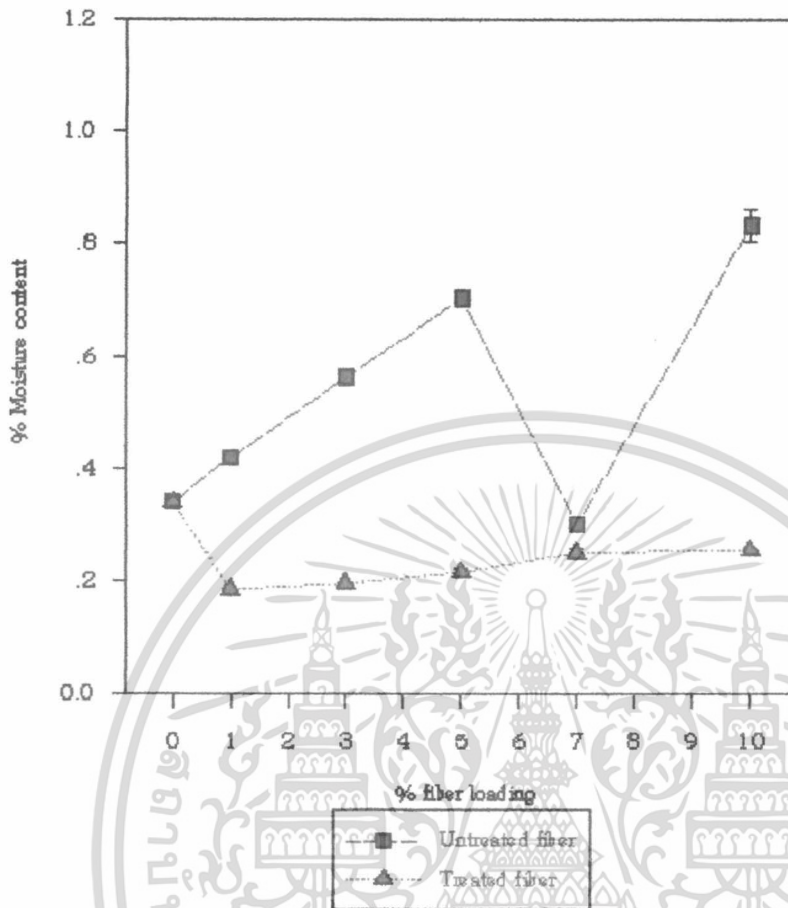
รูปที่ 4.18 แสดงค่า Impact energy เมื่อปริมาณเส้นใยเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 4.18 เมื่อผสมเส้นใยกับเมตริกซ์จะเกิดรอยต่อระหว่างวัสดุทำให้คอมพอสิตมีลักษณะเปราะ ค่า Izod-impact energy จึงลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ไม่ได้รับการปรับปรุง ค่า Impact มีแนวโน้มที่ลดลง อาจเนื่องมาจากการผสมเข้ากันที่ไม่ดี โอกาสที่จะเกิดช่องว่าง (Void) ก็มีมากขึ้น จึงทำให้ชิ้นงานเปราะและหักง่าย ความทนทานต่อแรงกระแทกจึงลดลง แต่เมื่อปริมาณเส้นใยที่ได้รับการปรับปรุงเพิ่มขึ้นจะไม่มีผลต่อค่า Impact energy



รูปที่ 4.19 แสดงค่า % Water absorption เมื่อปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลง

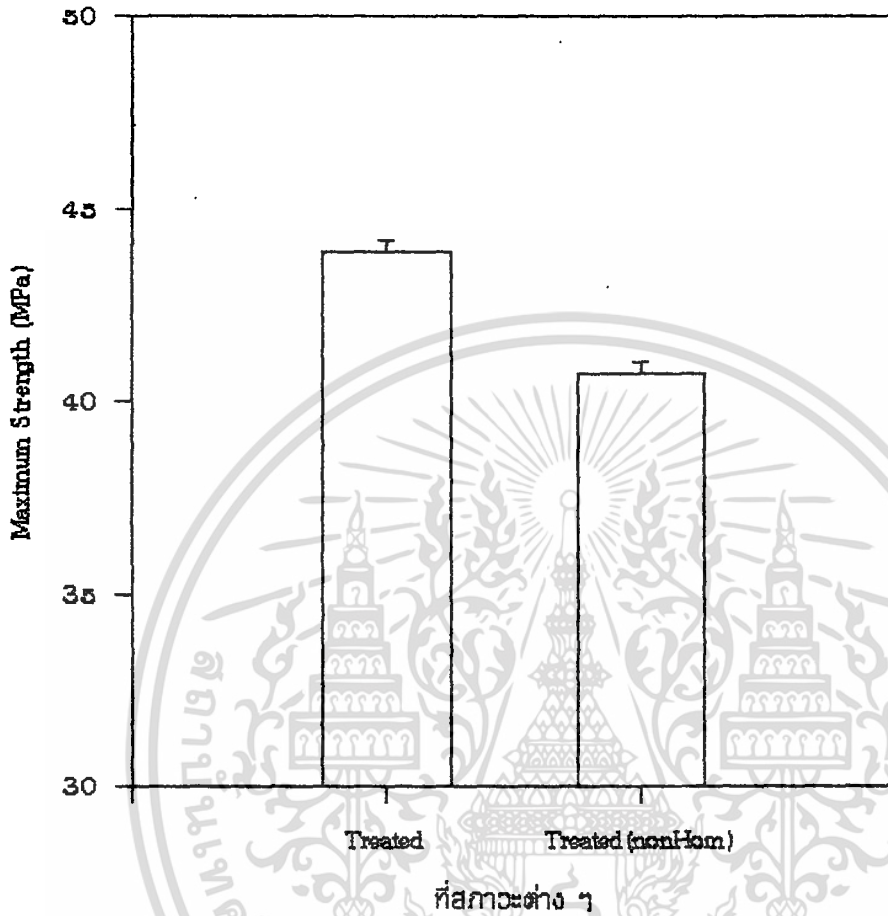
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แสดงค่า % Moisture content เมื่อปริมาณเส้นใยเปลี่ยนแปลง

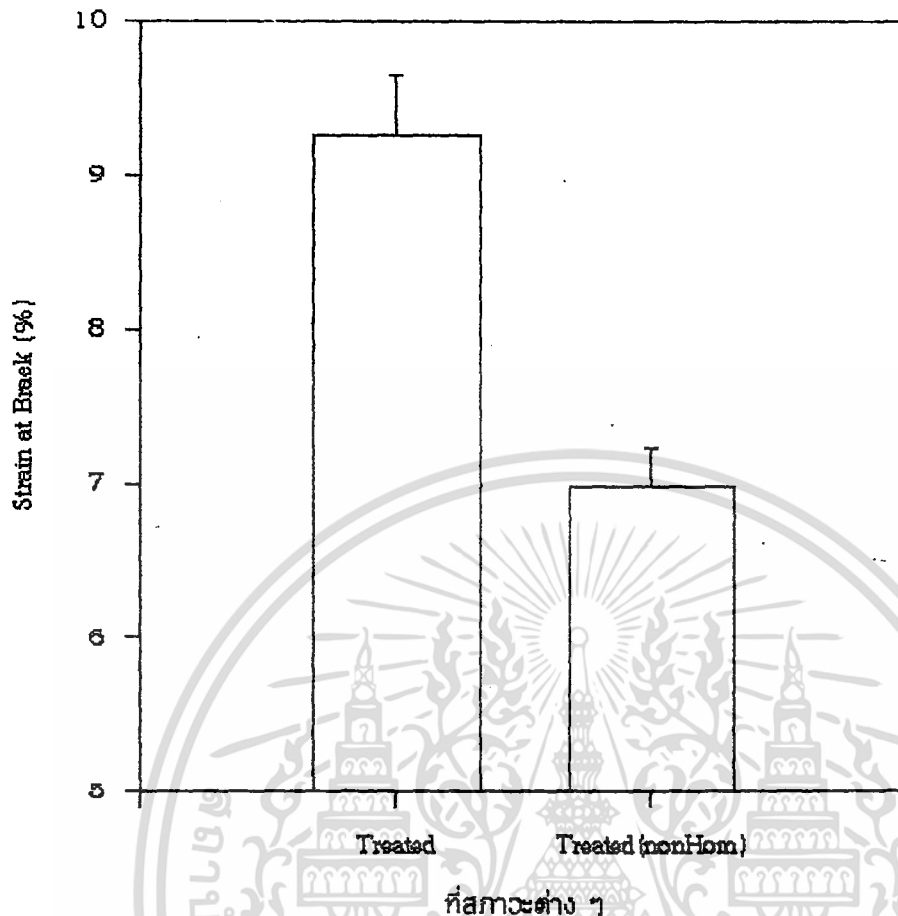
จากรูปที่ 4.19 และ 4.20 จะเห็นได้ว่า Untreated composites มีค่า % Moisture content และ % Water absorption เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการยึดเกาะที่ไม่ดีทำให้โอกาสที่หมู่ฟังก์ชันของเส้นใยจะไปจับกับโมเลกุลของน้ำมีมากขึ้น แต่เมื่อนำเส้นใยที่ได้รับการปรับปรุงผสมกับเมตริกซ์แล้วไม่ทำให้ค่า % Moisture content และ % Water absorption เปลี่ยนแปลงมากนักหรือถือว่าใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากมีการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ที่ดี จึงทำให้ดูดซับน้ำได้น้อยและยังพบว่า Treated composites มีค่า % Moisture content และ % Water absorption ต่ำกว่า Untreated composites สามารถอธิบายได้ว่าเกิดพันธะทางเคมีระหว่างหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยและหมู่ฟังก์ชันของเมตริกซ์ทำให้อุณหภูมิที่หมู่ฟังก์ชันของเส้นใยจะจับกับโมเลกุลของน้ำมีน้อยกว่า Untreated composites

#### 4.7 การศึกษาผลของโฮโมพอลิเมอร์ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ



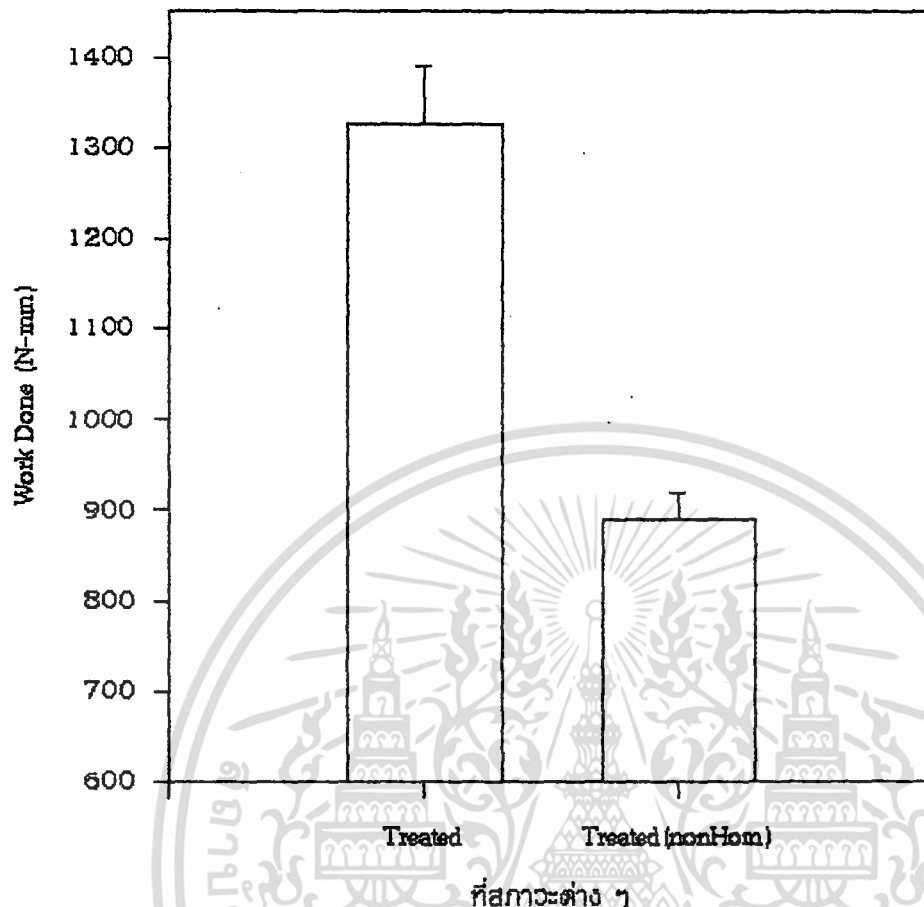
รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่า Maximum strength ระหว่าง Treated composites และ Treated composites without homopolymer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



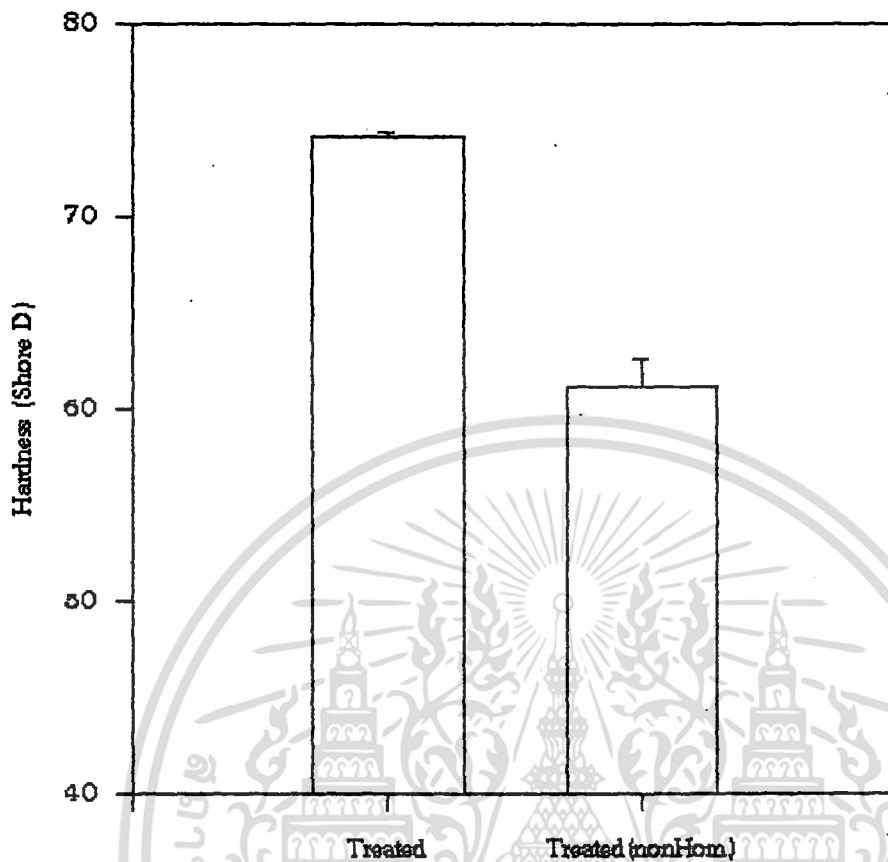
รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่า %Strain at break ระหว่าง Treated composites และ Treated composites without homopolymer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบค่า Work done ระหว่าง Treated composites และ Treated composites without homopolymer

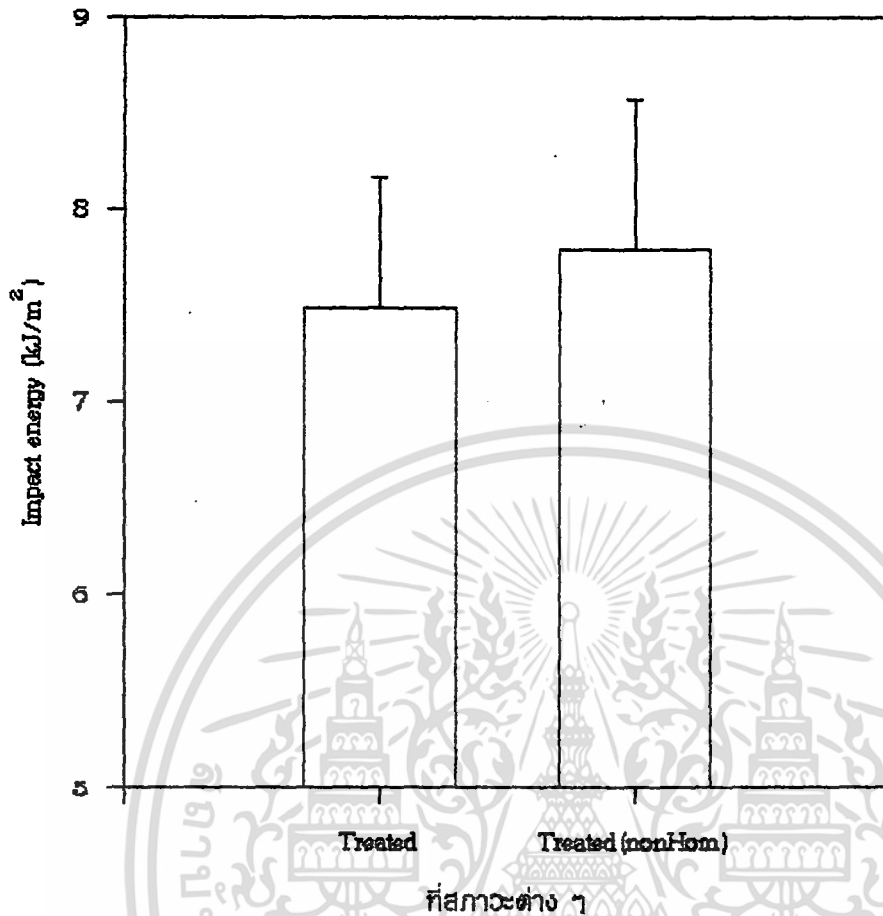
จากรูปที่ 4.21-4.23 จะเห็นได้ว่า Treated composites มีค่า Maximum strength , Strain at break และ Work done สูงกว่า Treated composites ที่ไม่มี Homopolymer (PMMA) จึงคาดว่า Homopolymer มีส่วนช่วยให้คอมพอสิตแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจาก PMMA มีความเป็นขี้ที่สามารรถยึดเกาะกับเมทริกซ์ได้ดีเช่นกัน และยังมีลักษณะเป็น Glassy polymer ซึ่งมีสมบัติแข็งเปราะ



ที่สภาวะต่าง ๆ

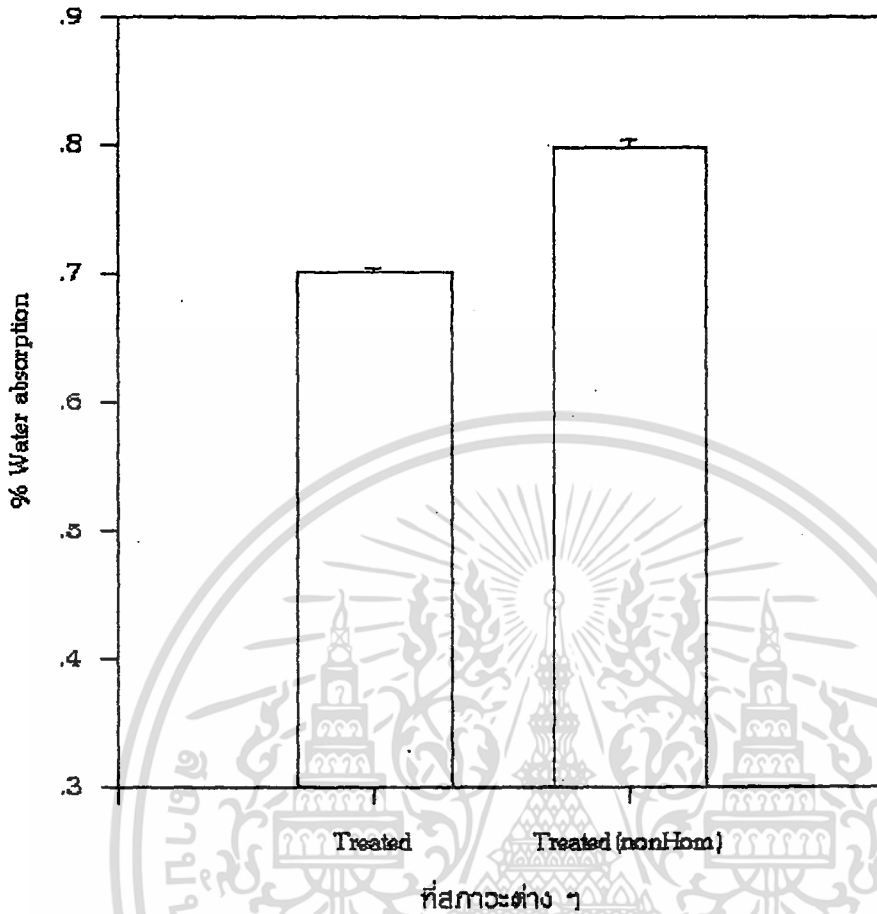
รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบค่า Hardness ระหว่าง Treated composites และ Treated composites without homopolymer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



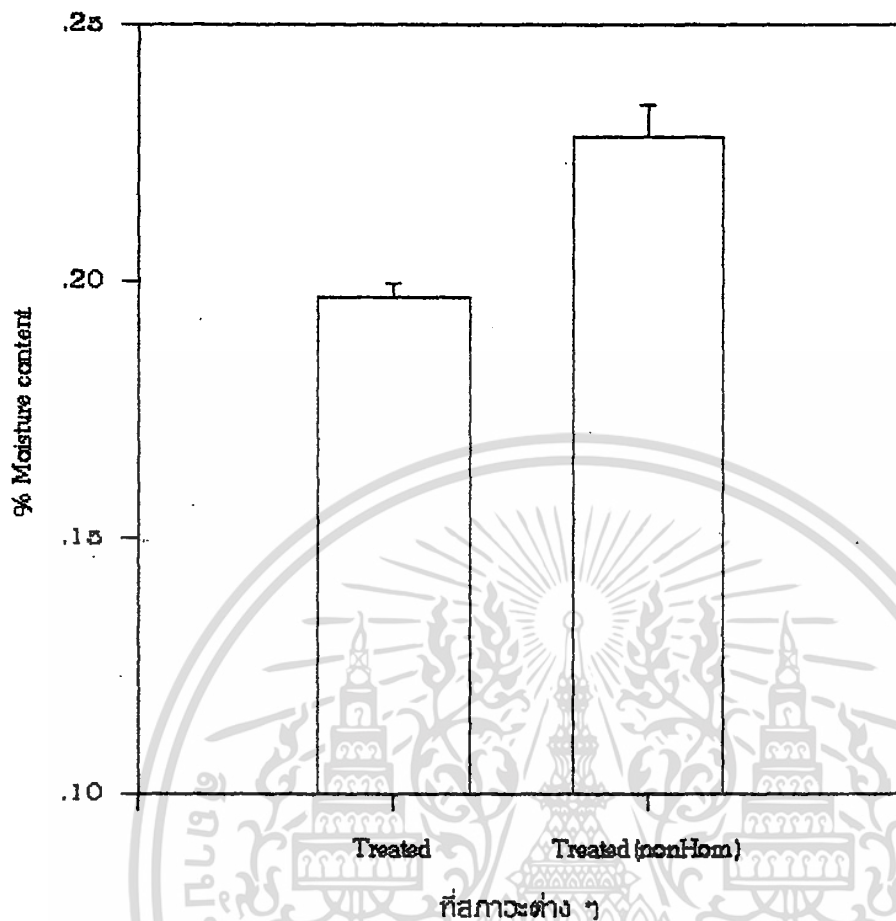
รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบค่า Impact energy ระหว่าง Treated composites และ Treated composites without homopolymer

จากรูปที่ 4.24-4.25 จะเห็นว่า Treated Composites มีค่า Hardness มากกว่า Treated composites ปราศจาก Homopolymer (PMMA) เนื่องจาก PMMA มีความแข็งมากกว่า และเนื่องจากสมบัติแข็งเปราะของ PMMA ทำให้ค่า Impact ของ Treated composites น้อยกว่า Treated composites ปราศจาก Homopolymer (PMMA)



รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่า % Water absorption ระหว่าง Treated composites และ Treated composites without homopolymer

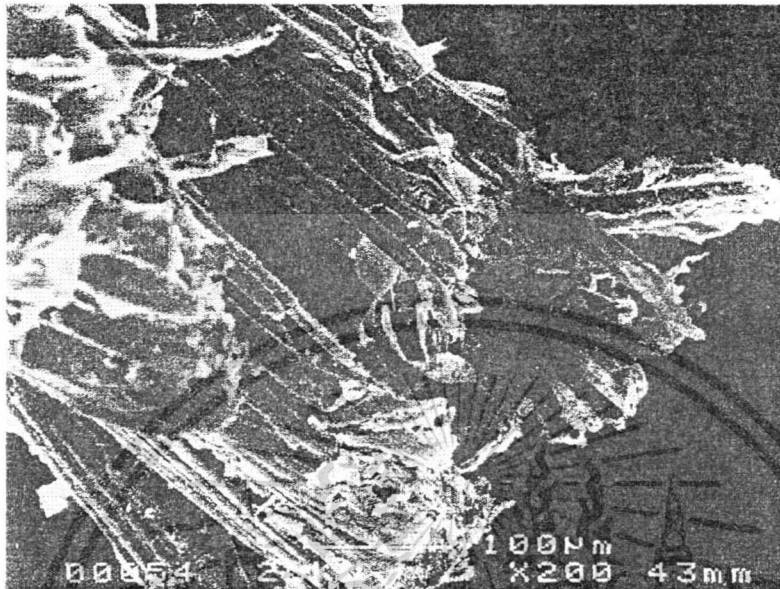
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



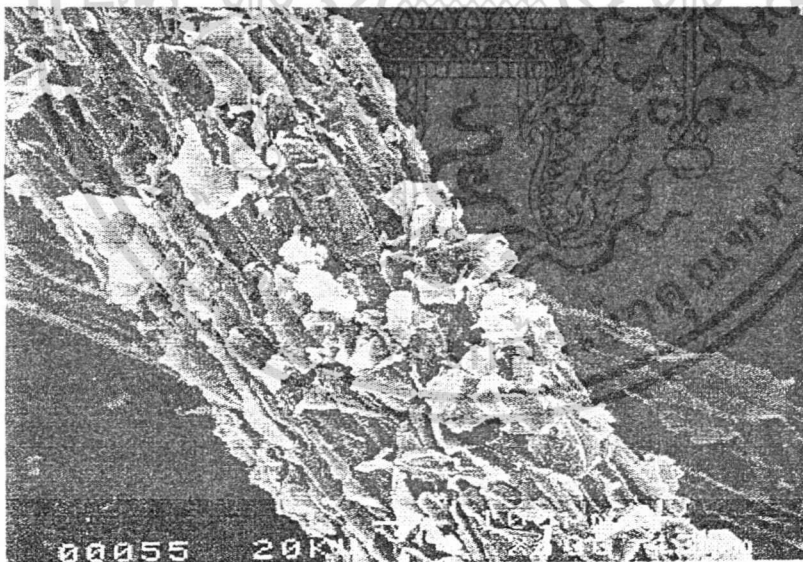
รูปที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบค่า % Moisture content ระหว่าง Treated composites และ Treated composites without homopolymer

จากรูปที่ 4.26-4.27 จะเห็นว่า Treated composites ที่ไม่มีไฮโมพอลิเมอร์มีค่าการดูดซับน้ำและค่าการดูดซับความชื้นมากกว่า Treated composites ที่มีไฮโมพอลิเมอร์ อาจเนื่องมาจากไฮโมพอลิเมอร์ซึ่งเป็นเบสที่กระจายในระบบ อาจบดบังส่วนที่เป็นเส้นใยทำให้พื้นผิวของเส้นใยที่สัมผัสกับโมเลกุลของน้ำลดลง

#### 4.8 การศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยชานอ้อยและคอมพอสิต



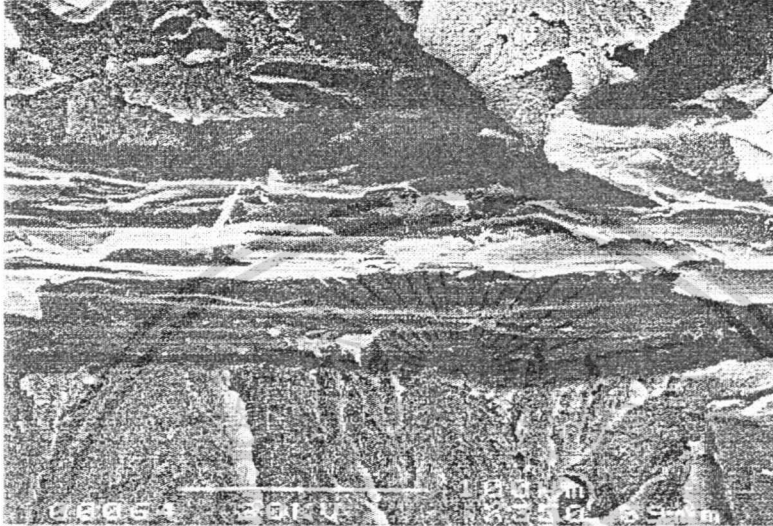
รูปที่ 4.28 แสดงพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อยที่ไม่ได้รับการปรับปรุง



รูปที่ 4.29 แสดงพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อยที่ได้รับการปรับปรุง

จากรูปที่ 4.28 จะเห็นว่าเส้นใยชานอ้อยที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวประกอบด้วยเส้นใยเล็กๆ (Microfibril) จำนวนมาก และคาดว่ามีเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารอื่นๆ ซึ่งทำให้ผิวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยขรุขระเล็กน้อย เมื่อสังเกตรูปที่ 4.29 พบว่าเส้นใยซานอ้อยที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวโดยการต่อกิ่งด้วย MMA มีพื้นผิวขรุขระมากและคาดว่าเกิดขึ้นที่เกาะกับผิวเส้นใย ก็คือ MMA ที่เข้ามาต่อกิ่ง แสดงว่าการฉายรังสีสามารถทำให้ MMA ต่อกิ่งไปบนเส้นใยซานอ้อยได้



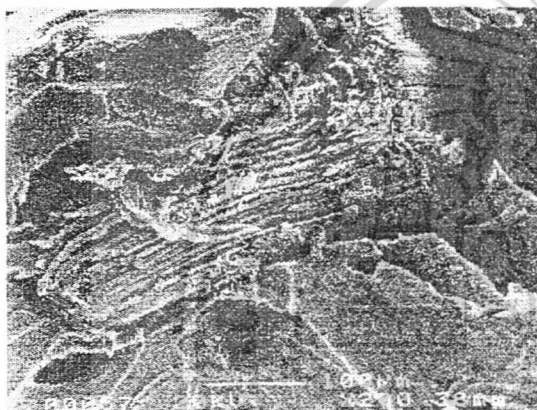
รูปที่ 4.30 แสดงพื้นผิวของคอมพอสิตจากเส้นใยที่ไม่ได้รับการปรับปรุง



รูปที่ 4.31 แสดงพื้นผิวของคอมพอสิตจากเส้นใยที่ได้รับการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.30 จะเห็นช่องว่างระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ แสดงว่าเส้นใยที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวยึดเกาะกับเมตริกซ์ได้ไม่ดี แต่เมื่อผสมเส้นใยที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวกับเมตริกซ์ ดังรูปที่ 4.31 จะเห็นว่าเส้นใยจะยึดเกาะกับเมตริกซ์โดยไม่มีช่องว่าง เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันของ MMA ที่ต่อกิ่งบนเส้นใยเป็นหมู่อะคริเลทที่มีความเป็นขั้วสูง จึงสามารถเกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้ากับหมู่ อะคริโลไนไตรล์ของ ABS



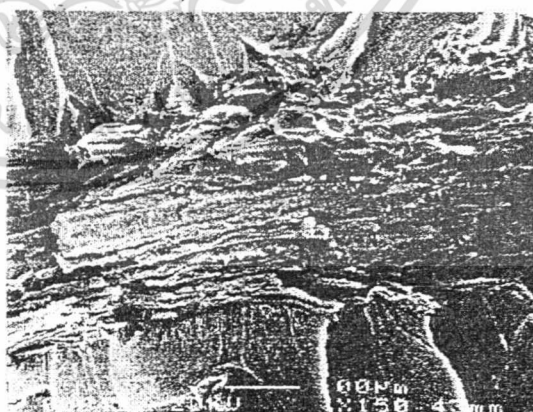
รูปที่ 4.32 แสดงพื้นผิวของคอมพอสิตจากเส้นใยชานอ้อยที่ได้รับปริมาณรังสี 5kGy



รูปที่ 4.33 แสดงพื้นผิวของคอมพอสิตจากเส้นใยชานอ้อยที่ได้รับปริมาณรังสี 10kGy



รูปที่ 4.34 แสดงพื้นผิวของคอมพอสิตจากเส้นใยชานอ้อยที่ได้รับปริมาณรังสี 15kGy



รูปที่ 4.35 แสดงพื้นผิวของคอมพอสิตจากเส้นใยชานอ้อยที่ได้รับปริมาณรังสี 20kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าที่ปริมาณรังสี 5 kGy พบช่องว่างระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์จำนวนมาก ส่วนที่ปริมาณรังสี 10 kGy ทำให้เส้นใยยึดเกาะกับเมตริกซ์ได้ดีกว่าปริมาณรังสี 5 kGy แต่ก็ยังพบว่ามีช่องว่าง และที่ปริมาณรังสี 15 kGy จะมีการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ดีที่สุด โดยไม่พบช่องว่าง แต่เมื่อปริมาณรังสี 20 kGy ซึ่งเป็นปริมาณที่มากเกินไป เพราะทำให้เส้นใยเสื่อมสภาพ สังเกตได้จากพื้นผิวของเส้นใยมีลักษณะเป็นขุย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

1. สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผสมด้วยเครื่องผสมหลอมเหลวระบบปิดแบบเกลียวหนอนคู่ คือ ความเร็วในการผสมที่ 5 รอบต่อนาที อุณหภูมิในการผสม 170 องศาเซลเซียส แต่ในการผสมเพื่อการศึกษาในงานวิจัยนี้จะใช้อุณหภูมิในการผสม 180 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าแรงเฉือนสูง เกลียวหนอนอาจได้รับความเสียหาย นอกจากนี้แล้วเวลาที่ใช้ในการผสมนานเกินไปอีกด้วย
2. สภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป คือที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส
3. สภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป คือที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 20 นาที
4. การขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงมากกว่าการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป
5. เมื่อนำเส้นใยชานอ้อยที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิว โดยการต่อกิ่งด้วย MMA มาผสมกับ ABS จะทำให้คอมพอสิตมีสมบัติทางกายภาพดีกว่าคอมพอสิตจากเส้นใยที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิว
6. ปริมาณรังสี 15 kGy เป็นปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อย
7. ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ที่จะทำให้เกิดการต่อกิ่งสูงที่สุด คือ 20 % MMA
8. ปริมาณเส้นใยชานอ้อยที่เหมาะสมคือปริมาณ 3 % โดยน้ำหนัก จะทำให้คอมพอสิตมีสมบัติทางกายภาพดีที่สุด
9. นอกจากการต่อกิ่งแล้ว ไฮโดรฟลูออไรด์ยังมีส่วนช่วยให้คอมพอสิตมีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสม (Polymer blends) ระหว่าง ABS กับ PMMA เพื่อให้ทราบแน่ชัดว่า ความแข็งแรงของคอมพอสิตเกิดจากการตอ่กึ่ง หรือไฮโมพอลิเมอร์
2. ศึกษาผลของความยาวของเส้นใยที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ
3. ทำการศึกษาผลของการตอ่กึ่งที่มีต่อพอลิเมอร์เมตริกซ์ชนิดอื่น ๆ
4. ใช้ข้อมูลและความรู้เกี่ยวกับสถานะการฉายรังสีที่เหมาะสม กับเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่น ๆ
5. ศึกษาผลของการฉายรังสีที่มีต่อมอนอเมอร์อื่น ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก : ABS Resin and Compounds**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Properties	ASTM test method	ABS						
		Extrusion grade	Flame-retarded grades, molding and extrusion			ABS/PC injection molding and extrusion	Injection molding grades	
			ABS	ABS/PVC	ABS/PC		Heat-resistant	Medium-impact
1a. Melt flow (gm./10 min.)	D1238	0.85-1.0	1.2-1.7	1.9			1.1-1.8	1.1-1.8
1. Melting temperature, °C.	$T_m$ (crystalline)							
	$T_g$ (amorphous)	88-120	110-125				110-125	102-115
2. Processing temperature range, °F. (C = compression; T = transfer; I = injection; E = extrusion)		E:350-500	C:350-500 I:380-500	370-410	I:425-520	I:460-540 E:450-500	C:325-500 I:475-550	C:325-350 I:390-525
3. Molding pressure range, $10^3$ p.s.i.			8-25		10-20	10-20	8-25	8-25
4. Compression ratio		2.5-2.7	1.1-2.0	2.0-2.5	1.1-2.5	1.1-2.5	1.1-2.0	1.1-2.0
5. Mold (linear) shrinkage, in./in.	D955	0.004-0.007	0.004-0.008	0.003-0.006	0.004-0.007	0.005-0.008	0.004-0.009	0.004-0.009
6. Tensile strength at break, p.s.i.	D638 <sup>b</sup>	2500-8000	3300-8000	5800-6500	5800-9300	5800-7400	4800-7500	5500-7500
7. Elongation at break, %	D638 <sup>b</sup>	20-100	1.5-80		20-70	50-125	3-45	5-60
8. Tensile yield strength, p.s.i.	D638 <sup>b</sup>	4300-6400	4000-7400	4300-6800	7700-9000	3500-8500	4300-7000	5000-7200
9. Compressive strength (rupture or yield), p.s.i.	D695	5200-10,000	6500-7500		11,000-11,300		7200-10,000	1800-12,500
10. Flexural strength (rupture or yield), p.s.i.	D790	4000-14,000	6200-14,000	7900-10,000	12,000-14,500	8700-13,000	9000-13,000	7100-13,000
11. Tensile modulus, $10^3$ p.s.i.	D638 <sup>b</sup>	130-420	270-400	325-380	350-455	350-380	285-360	300-400
12. Compressive modulus, $10^3$ p.s.i.	D695	150-390	130-310		230		190-440	200-450
13. Flexural modulus, $10^3$ p.s.i.	73° F.	D790	130-440	300-600	320-400	350-400	290-375	300-400
	200° F.	D790						
	250° F.	D790						
	300° F.	D790						
14. Izod impact, ft.-lb./in. of notch (1/8-in. thick specimen)	D256A	1.5-12	1.4-12	3.0-18.0	4.1-14.0	6.4-12.0	2.0-6.5	3.0-6.0
15. Hardness	Rockwell	D785	R75-115	R100-120	R100-106	R115-119	R95-120	R100-115
	Shore/Barcol	D2240/ D2583			Shore D-73			
16. Coef. of linear thermal expansion, $10^{-6}$ in./in./°C.	D696	60-130	65-95	46-84	67	62-72	60-93	80-100
17. Deflection temperature under flexural load, °F.	264 p.s.i.	D648	170-220	158 <sup>d</sup> ; 190-225 annealed	169-200 annealed	180-220	210-240	220-240 annealed 181-193 <sup>d</sup>
	66 p.s.i.	D648	170-235	210-245 annealed		195-244	220-265	230-245 annealed
18. Thermal conductivity, $10^{-4}$ cal.-cm./sec.-cm. <sup>2</sup> -°C.	C177						4.5-8.0	
19. Specific gravity	D792	1.02-1.08	1.16-1.21	1.13-1.25	1.17-1.23	1.07-1.15	1.05-1.08	1.03-1.06
20. Water absorption (1/8-in. thick specimen), %	24 hr.	D570	0.20-0.45	0.2-0.6		0.24	0.15-0.24	0.20-0.45
	Saturation	D570						
21. Dielectric strength (1/8-in. thick specimen), short time, v./mil	D149	350-500	350-500	500	450-760	430	350-500	350-500
SUPPLIERS <sup>a</sup>		Bamberger Polymers; Dow Plastics; Federal Plastics; GE Plastics; Monsanto; RSG Polymers; Schulman; Shuman	ComAlloy; DSM; Federal Plastics; GE Plastics; RSG Polymers; RTP; Schulman; Shuman	ComAlloy; Monsanto; Novatec; Schulman; Shuman; Vista Chemical	ComAlloy; Dow Plastics; GE Plastics; Miles; Monsanto	Dow Plastics; GE Plastics; Miles; Monsanto	Dow Plastics; Federal Plastics; GE Plastics; Monsanto; Polymer Resources; RSG Polymers; RTP; Shuman	Bamberger Polymers; Dow Plastics; Federal Plastics; GE Plastics; Monsanto; Polymer Resources; RSG Polymers; RTP; Schulman; Shuman

<sup>a</sup> Buyers' Guide for additional suppliers of specialty materials and custom

<sup>d</sup>—As conditioned to equilibrium with 50% relative humidity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Injection molding grades (Cont'd)							EMI shielding (conductive)			
Product	Plateable grade	Transparent	20% glass-reinforced	30% glass fiber-reinforced	20% long glass fiber-reinforced	40% long glass fiber-reinforced	6% stainless steel fiber	7% stainless steel fiber	10% stainless steel fiber	20% PAN carbon fiber
3	1.1									
10	100-110	120	100-110	100-110	100-110	100-110	100-110	100-110	100-110	100-110
5-350-525	C:325-400 I:350-500	455-500	C:350-500 I:350-500	I:400-460	I:400-460	I:400-460	I:400-460	I:400-460	I:400-460	I:415-500
	8-25		15-30							15-30
0	1.1-2.0									
1-0.009	0.005-0.008	0.009-0.067	0.001-0.002	0.002-0.003	0.001-0.002	0.001	0.004-0.006	0.004	0.004-0.006	0.0005-0.004
6300	5200-6400	5000	10,500-13,000	13,000-16,000	13,000	16,000	6300-9200	6000	6700	15,000-16,000
		20	2-3	1.5-1.8	2.0	1.5	3.8	3.8		1.0-2.0
5900	6700	7000								
8000			13,000-14,000	15,000-17,000	14,000	17,000				17,000
11,000	10,500-11,500	10,000	14,000-17,500	17,000-19,000	20,000	25,000	8700-11,000	10,000	12,100	23,000-25,000
350	320-380	290	740-880	1000-1200	900	1000	300-400		400	1800-2000
300			800							
375	340-390		650-800	1000	850	1100	280-410	430	500	890-1800
3	4.0-8.3	1.5-2.0	1.1-1.4	1.2-1.3	2.0	2.5	1.2-1.4	1.0	0.8	1.0
106	R103-109	R94	M85-98, R107	M75-85	M85-95	M90-100				R108
10	47-53	60-130	20-21							18
215 aled	190-222 annealed	194	210-220	215-230	210	215	190	200	190	215-225
225 aled	215-222 annealed	207	220-230	230-240	225	225				225-230
			4.8							9.6
1.05	1.04-1.07	1.08	1.18-1.22	1.29	1.23	1.36	1.10-1.28	1.12	1.14	1.13-1.14
0.45		0.35	0.18-0.20	0.3	0.2	0.2	0.4	0.4		0.17
500	420-550		450-460							
berger ers; Plastics; ral ics; lastics; santo; ner urces; Polymers;  lman; tan	Dow Plastics; Federal Plastics; GE Plastics; Monsanto; RSG Polymers	BASF; GE Plastics	Albis; ComAlloy; DSM; Ferro Corp.; Ferro Eng. Therm.; LNP; M.A. Polymers; Polymer Resources; RTP; Schulman; Thermofil	Albis; Com Alloy; DSM; Ferro Eng. Therm. LNP; M.A. Polymers; Polymer Resources; RTP	DSM	DSM	Federal Plastics; Ferro Eng. Therm.; Hoechst Celanese; LNP; RTP	DSM; Ferro Eng. Therm.; LNP; RTP	Hoechst Celanese	DSM; Ferro Corp.; Ferro Eng. Therm.; LNP; RTP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Resins and compounds (Cont'd)

Materials	Properties	ASTM test method	ABS (Cont'd)			Acetal <span style="float: right;">72</span>				
			EMI shielding (conductive) (Cont'd)		Rubber-modified	Homo-polymer	Copolymer	Impact-modified homo-polymer	Impact-modified copolymer	
			20% graphite fiber	40% aluminum flake	Injection molding and extrusion grades					
Processing	1a. Melt flow (gm./10 min.)	D1238				1-20	-90	0.5-7.0		
	1. Melting temperature, °C.					172-184	160-175	175	160-170	
	$T_m$ (crystalline)									
	$T_g$ (amorphous)									
	2. Processing temperature range, °F. (C = compression; T = transfer; I = injection; E = extrusion)		1:420-530	1:400-550		1:380-470	C:340-400 I:360-450	1:380-420	1:360-425	
3. Molding pressure range, 10 <sup>3</sup> p.s.i.					10-20	8-20	6-12	8-15		
4. Compression ratio					3.0-4.5	3.0-4.5		3.0-4.5		
5. Mold (linear) shrinkage, in./in.	D955	0.001	0.001		0.018-0.025	0.020 (Avg.)	0.012-0.019	0.018-0.020		
Mechanical	6. Tensile strength at break, p.s.i.	D638 <sup>b</sup>	15,200-15,800	3300-4200	5400-7100	9700-10,000		6500-8400		
	7. Elongation at break, %	D638 <sup>b</sup>	2.0-2.2	1.9-5	20-30	10-75	15-75	80-300	60-300	
	8. Tensile yield strength, p.s.i.	D638 <sup>b</sup>			6100	9500-12,000	8300-10,400	5500-7900	3000-8000	
	9. Compressive strength (rupture or yield), p.s.i.	D695	16,000-17,000	6500		15,600-18,000 @ 10%	16,000 @ 10%	7600-11,900 @ 10%		
	10. Flexural strength (rupture or yield), p.s.i.	D790	23,000	6200	8900-13,000	13,600-16,000	13,000	5800-10,000	7100	
	11. Tensile modulus, 10 <sup>3</sup> p.s.i.	D638 <sup>b</sup>	1660	370	310	400-520	410-464	190-350	187-285	
	12. Compressive modulus, 10 <sup>3</sup> p.s.i.	D695				670	450			
	13. Flexural modulus, 10 <sup>3</sup> p.s.i.	73° F. D790	1560	400-600	260-380	380-490	370-450	150-300	120-300	
		200° F. D790				120-135		50-100		
		250° F. D790				75-90		33-61		
		300° F. D790								
	14. Izod impact, ft.-lb./in. of notch (1/8-in. thick specimen)	D256A	1.3	1.4-2.0	3.12-7.34	1.1-2.3	0.8-1.5	2.0-15	1.7-4.7	
	15. Hardness	Rockwell	D785		R107	90-105	M92-94	M75-90	M58-79	M35-70; R110
		Shore/Barcol	D2240/ D2583							
	Thermal	16. Coef. of linear thermal expansion, 10 <sup>-6</sup> in./in./°C.	D696	20	40		100-113	61-110	92-117	130-150
17. Deflection temperature under flexural load, °F.		264 p.s.i. D648	216	190-212	181-212	253-277	185-250	148-185	132-200	
		66 p.s.i. D648	240	220		324-342	311-330	293-330	308-318	
18. Thermal conductivity, 10 <sup>-4</sup> cal.-cm./sec.-cm. <sup>2</sup> ./°C.	C177				5.5	5.5				
Physical	19. Specific gravity	D792	1.17	1.54-1.61	103-119	1.42	1.41	1.32-1.41	1.29-1.39	
	20. Water absorption (1/8-in. thick specimen), %	24 hr. D570	0.15	0.23		0.25-1.45	0.20-0.22	0.30-0.44	0.31-0.41	
		Saturation D570				0.90-1.45	0.65-0.80	0.75-0.85	1.0-1.3	
21. Dielectric strength (1/8-in. thick specimen), short time, v./mil	D149				400-500 (90 mil)	500 (90 mil)	400-480 (90 mil)			
		<b>SUPPLIERS<sup>a</sup></b>	Albis; LNP; Thermofil	ComAlloy; Thermofil	RSG Polymers	Du Pont; RTP; Shuman	BASF; Hoechst Celanese; RTP; Texapol	Du Pont	BASF; Hoechst Celanese; Texapol	

<sup>a</sup> See the Buyers' Guide for additional suppliers of specialty materials and systems. <sup>b</sup> As conditioned to 23° C. (73° F.) and 50% relative humidity.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. ศรีน้อย เล็กอุทัย “การใช้ปอกระเจาในพลาสติกเสริมแรง” พลาสติก 18 (2529) : 36-38.
2. Jain, S., Kumar, R. and Jindal, U.C. J. Mater. Sci. 27 (1992) : 4598.
3. Ali Idriss, K.M., Khan, M.A. and Islam, M.N. Polym. Plast. Technol. Eng. 35 (1996) : 53-65.
4. Basu, D., Banerjee, A.N. and Misra, A. J. Appl. Polym. Sci. 46 (1992) : 1999-2009.
5. Karmaker, A.C., Hoffmann, A. and Hinrichsen, G. J. Appl. Polym. Sci. 54 (1994) : 1803-1807.
6. Kundu, S.K., Ray, P.K., Sen, S.K. and Bhaduri, S.K. J. Appl. Polym. Sci. 49 (1993) : 25-30.
7. Nayak, N.C., Das, H.K. and Singh, B.C. J. Appl. Polym. Sci. 42 (1991) : 2391-2396.
8. Ghosh, P. and Ganguly, P.K. J. Apply. Polym. Sci. 42 (1991) : 2391-2396.
9. Xian, X.J., Yipp, M.W. and Shin, F.G. “Mechanical Behavior and Microstructure of Nature Plant Fiber Reinforced Composite Material” Proc. Int. Conf. Compos. Mater. 2 (1993) : 858-863.
10. เฉลิมพล อธิทวีวัฒน์ และสกุล บรรจงวุฒิ “การใช้เส้นใยเซลลูโลสผสมกับเส้นใยแก้วเพื่อเป็นสารเสริมแรงในพอลิพรอพิลีน” โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2537.
11. ชัยวุฒิ พันธุ์พัฒนาและกึ่งกมล รัตนแสงเสถียร “การใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการปรับปรุงสมบัติยางธรรมชาติ” โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2533.
12. พิชัย จงสกุลชัยและศิริพงศ์ ไรจน์วีระ “วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่อการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิพรอพิลีน” โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2533.
13. Al Imam, M. R. and Mannan, R.J. “Radiation-Induced Jute-Plastic Composite : Preparation and IR Studies” Polym.-Plast. Technol. Eng. 36(1). (1997) : 89-104.
14. Nagaty, A., Bakr, A.B. and Monsour, O.Y. J. Apply. Polym. Sci. 21 (1983) : 715.
15. Raj, R.G. and Kokta, B.V. “The Effect of Processing Conditions and Binding Material on the Mechanical Properties of Bagasse Fiber Composites” Eur. Polym. J. 27 (1991) : 1121-1123.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

16. Kessisa, L. and Ricard, A. "Thermal Behavior of Ungrafted and Grafted Bagasse and Wood pulps" J. Appl. Polym. Sci. 49 ( 1993) 1603-1614.
17. Norbert, M. Bikales "Bagasse" Encyclopedia of Polymer Science and Technology 2 (1965) : 295-299.
18. จุฑามาศ บุญยาเยี่ยม "ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล" วารสารน้ำตาล 4 (2539) : 1-6.
19. รายงานของฝ่ายเทคโนโลยีและประสานการควบคุม สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย "ผลวิเคราะห์การผลิตของโรงงานน้ำตาล" กระทรวงอุตสาหกรรม 2538.
20. Paper Trade J. 42 (1906) : 54-58.
21. Kumagawa H. and Shimonura, K. Z. Angew. Chem 36 (1923) : 414-418. Papier-Fabr. 22 (2), (1924) : 13-17 ; (3), (1924) :21-23; Paper 32 (2), (1923) :7-10 ; Chem. Abstr. 17 (1923) :3419.
22. ปรีชา พหลเทพ โคโพลิเมอร์อะโครโลไนไตรล์-บิวทาไดอีนสไตรีน ในโพลิเมอร์ ครั้งที่ 3 หน้า 326 โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 2531.
23. Chi Ming Chan. Surface Grafting in Polymer Surface Modification and Characterization ( Carl Hensea Verlag ed.) pp.193-223. Munich Vienna, New york, 1994.
24. Edvard Arnold. Rubber toughening in Plastic Microstructure & Engineering Application, (Mills, N. J. ed.) p.75. Butterworth Heinemann, Great British, 1995.
25. Brydson, J.A. Plastics Based on Styrene in Plastics Materials, (Genesis Typese ed.) pp. 426-427. Butterworth Heinemann, Great British, 1995.