

## วัสดุคอมพอสิตจากพอลิพรอพิลีนและเส้นใยอ้อย



นางศวานันท์พร พันธุ์ศักดิ์  
นางสาวเรวดี สกุลอาริยะ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคำหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พพ.

๓๓ ๔๑๙ ๖

๒๕๔๐.

ปีการศึกษา ๒๕๔๐

เลขหมึ.....

เลขทะเบียน..... 32006

วัน, เดือน, ปี - 8 ก.พ. ๒๕๔๒

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **Composite Material from Polypropylene and Bagasse Fibers**



**Miss Nantaporn Panpakdee**

**Miss Rewadee Skularriya**

**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the**

**Requirement for the Degree of Bachelor of Science**

**Department of Chemistry**

**Faculty of Science**

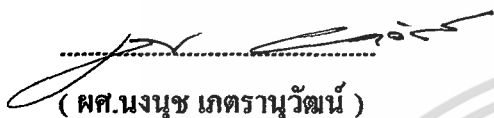
**King Mongkut ' s Institute of Technology Ladkrabang**

**1997**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


หัวข้อโครงการพิเศษ      วัสดุคอมพอสิตจากพอลิพรอพิลีนและเส้นใยช่อย  
นักศึกษา                      นางสาวนันทพร พันธุ์ภักดี  
   นางสาวเรวดี สกุลอาริยะ  
ภาควิชา                      เคมี  
อาจารย์ที่ปรึกษา            ผศ.ดร.มาลินี      ชัยศุกกิจสินธ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

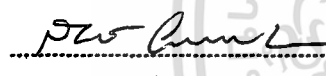
  
( ผศ.นงนุช เกตรานูวัฒน์ )

หัวหน้าภาควิชาเคมี


คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ

  
( ดร.อิทธิพล แจ่มจัต )

ประธานกรรมการ

  
( ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย )

กรรมการ

  
( ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์ )

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	วัสดุคอมพอลสิตจากพอลิพรอพิลีนและเส้นใยอ้อย
นักศึกษา	นางสาวนันทพร พันธุ์ภักดี
อาจารย์ที่ปรึกษา	นางสาวเรวดี สฤทธาริยะ
ภาควิชา	ผศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์
ปีการศึกษา	เคมี
	2540

### บทคัดย่อ

แนวทางหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คือ การทำพอลิเมอร์คอมพอลสิต โครงการพิเศษนี้ได้ใช้เส้นใยอ้อยเป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน เนื่องจากพอลิพรอพิลีนเป็น พอลิเมอร์ที่ถูกใช้อย่างแพร่หลาย ประกอบกับชานอ้อยซึ่งเป็นกากเหลือจากการผลิตน้ำตาลที่มีอยู่มากในประเทศไทย ในการทดลองนี้เส้นใยอ้อยจะถูกปรับสภาพผิวเพื่อปรับปรุงสมบัติการกระจายตัว และการยึดติดในพอลิเมอร์โดยวิธีการใช้ อีโพลีนแวกซ์ (Epolene wax) การฉายรังสี และการใช้มัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ (Multifunctional monomer) แล้วนำมาผสมกับพอลิพรอพิลีนในเครื่อง Brabender จากนั้นนำมาขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection molding machine และนำไปตรวจสอบสมรรถนะทางวิทยา สมบัติเชิงกล และ สมบัติทางความร้อน

จากผลการทดลองพบว่าคอมพอลสิตที่มีเส้นใยอ้อยในปริมาณ 10% โดยน้ำหนักทั้งที่ปรับและไม่ปรับสภาพผิวนั้น มีแนวโน้มที่จะมีสมบัติในด้านต่าง ๆ ดีกว่าพอลิพรอพิลีนกล่าวคือ พอลิเมอร์คอมพอลสิตสามารถทนทานต่อแรงดึงยึด แรงกระแทก การขีดถู และความร้อนได้ดีขึ้น

Special Project Title    Composite Materials from Polypropylene and Bagasse Fibers  
Name                        Miss Nantaporn Panpakdee  
                                 Miss Rewadee Skularriya  
Special Project Advisor    Assist. Prof. Dr. Malinee Chaisupakitsin  
Department                Chemistry  
Academic Year             1997

#### Abstract

A method for improving properties of polymers is to produce polymeric composites. This special project proposal is proposed to use bagasse fibers as a filler in polypropylene (PP). Polypropylene is a widely used polymer and bagasse fibers are wasteful materials from sugar production in Thailand. In this experiment, the dispersion and the interaction of bagasse fibers with polypropylene were improved by using epolone wax, irradiation, and multifunctional monomer. Modified bagasse fibers were mixed with polypropylene in the Brabender, injected with injection molding machine and morphology, mechanical, and thermal properties of composites were investigated.

The results showed that all the properties of composites were better than polypropylene especially 10 % of modified and unmodified bagasse fibers trend to improve the properties of composites in tensile, impact, abrasion, and thermal stability

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ ดร. อธิพิพล แจ่มชัด และ ดร. สมศักดิ์ วรรณมงคลชัย อาจารย์คณะกรรมกรตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่ช่วยกรุณาตรวจทาน และแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และขอบคุณ พี่ ๆ น้อง ๆ เพื่อน ๆ และเจ้าหน้าที่ภาคเคมีทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือช่วยเหลือ ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้

นอกเหนือจากนี้ยังมีบุคคลท่านอื่น ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำไม่ได้กล่าวถึง ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวเนนทพร พันธุ์ภักดี  
นางสาวเรวดี สกุลาธิยะ

## สารบัญ

บทคัดย่อ โครงการงานพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อ โครงการงานพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 คำนำ	1
1.2 ความเป็นมาของโครงการ	2
1.3 วัตถุประสงค์	5
1.4 ขอบเขตการวิจัย	5
1.5 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน	5
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 พอลิเมอร์คอมพอสิต	7
2.2 พอลิพรอพิลีน	7
2.3 ฐานอ้อย	9
2.4 การตกผลึกในพอลิเมอร์	12
2.5 การปรับสภาพผิวเส้นใย	14
2.6 กระบวนการฉายรังสี	16
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้	25
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	25
3.3 วิธีการทดลอง	26
3.4 การทดสอบ	28
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 การศึกษาสัณฐานวิทยา	31
4.3 การศึกษาสมบัติเชิงกล	37
4.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อน	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปรูปและข้อเสนอแนะ

52

ภาคผนวก

54

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงการวิเคราะห์ทางเคมีของขานอ้อย	11
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงสูตรในผสมพลาสติกที่ใช้ในการศึกษา	27
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของคอมพอลสิต จากเครื่อง Tensile	37
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกลอื่นๆ ของคอมพอลสิต	41
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน ของคอมพอลสิตด้วยเครื่อง DSC	44
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน ของคอมพอลสิตด้วยเครื่อง TGA และ DTUL	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิพรอพิลีน	8
รูปที่ 2.2	แสดงโครงสร้างของไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน	8
รูปที่ 2.3	แสดงโครงสร้างของซินดีโอแทกติกพอลิพรอพิลีน	9
รูปที่ 2.4	แสดงโครงสร้างของอะแทกติกพอลิพรอพิลีน	9
รูปที่ 2.5	แสดงสูตรโครงสร้างของเซลลูโลส	10
รูปที่ 2.6	แสดงสูตรโครงสร้างของลิกนินของไม้เนื้ออ่อน	10
รูปที่ 2.7	แสดงหน่วยที่ซ้ำกันของลิกนิน	11
รูปที่ 2.8	แสดงการเกิดปฏิกิริยาของเส้นใยเซลลูโลส ที่ทำการปรับสภาพผิวด้วย MAPP	15
รูปที่ 2.9	แสดงสูตรโครงสร้างของ TMPTA	16
รูปที่ 2.10	แสดงการเกิดการต่อกิ่งของพอลิเมอร์	19
รูปที่ 4.1	ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิพรอพิลีน	32
รูปที่ 4.2	ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของคอมพอสิต ที่ไม่ได้ปรับสภาพผิว	33
รูปที่ 4.3	ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของคอมพอสิต ที่ทำการปรับสภาพผิว	33
รูปที่ 4.4	ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของเส้นใยอ้อย ในคอมพอสิตที่ไม่ได้ปรับสภาพผิว	34
รูปที่ 4.5	ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของเส้นใยอ้อย ในคอมพอสิตที่ทำการปรับสภาพผิว	34
รูปที่ 4.6	แสดงกระบวนการเกิดผลึกของพอลิพรอพิลีน	35
รูปที่ 4.7	แสดงกระบวนการเกิดผลึกของคอมพอสิต	36
รูปที่ 4.8	แสดงค่า Tensile strength ของคอมพอสิต	38
รูปที่ 4.9	แสดงค่า % Elongation ของคอมพอสิต	39
รูปที่ 4.10	แสดงค่า Modulus ของคอมพอสิต	40
รูปที่ 4.11	แสดงค่า Impact ของคอมพอสิต	41
รูปที่ 4.12	แสดงค่า Hardness ของคอมพอสิต	42
รูปที่ 4.13	แสดงค่า Abrasion loss ของคอมพอสิต	43
รูปที่ 4.14	แสดงเทอร์โมแกรมของพอลิพรอพิลีนจาก DSC	45

รูปที่ 4.15 แสดงเทอร์โมแกรมของคอมพอสิตจาก DSC	45
รูปที่ 4.16 แสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของคอมพอสิต	46
รูปที่ 4.17 แสดงอุณหภูมิการตกผลึกของคอมพอสิต	47
รูปที่ 4.18 แสดงค่าองศาความเป็นผลึกของคอมพอสิต	48
รูปที่ 4.19 แสดงเทอร์โมแกรมที่ได้จาก TGA	49
รูปที่ 4.20 แสดงค่าอุณหภูมิ T on set ของคอมพอสิต	50
รูปที่ 4.21 แสดงค่า DTUL ของคอมพอสิต	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 คำนำ

ในปัจจุบันมีวัสดุหลายชนิดที่มีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์ และพลาสติกจัดเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายซึ่งยังคงมีการพัฒนาปรับปรุงสมบัติอยู่เสมอ เพื่อให้ได้พลาสติกที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้นและต้นทุนการผลิตต่ำ จากการศึกษาพบว่า แนวทางหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติของพลาสติก และลดต้นทุนการผลิตคือการทำพอลิเมอร์คอมพอสิต ซึ่งในปัจจุบันนี้พอลิเมอร์คอมพอสิตได้ถูกนำมาใช้ในงานก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์ เครื่องยนต์ และบรรจุภัณฑ์ทางอุตสาหกรรม

พอลิพรอพิลีน เป็นพลาสติกประเภทหนึ่งที่มีผู้นิยมนำมาใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ มากมาย และเพื่อเป็นการพัฒนาสมบัติของพลาสติกนี้ จึงได้มีผู้ให้ความสนใจศึกษาในการหาสารตัวเติมที่เหมาะสมและราคาถูก และพบว่าเส้นใยลิกโนเซลลูโลสเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากจะก่อให้เกิดประโยชน์คือ

1. ลดต้นทุนการผลิต
2. มีความหนาแน่นต่ำ
3. ไม่ทำลายธรรมชาติ
4. สามารถใช้เป็นสารตัวในปริมาณมากได้
5. ใช้พลังงานในการผลิตต่ำ
6. สามารถเลือกใช้เส้นใยได้หลายชนิด
7. สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ
8. ลดกากของเสียจากเกษตรกรรม

ขานอ้อย เป็นกากที่ได้จากการบดต้นอ้อยเพื่อให้ได้วัตถุดิบในการผลิตน้ำตาล โดยถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ เป็นปุ๋ย เป็นเชื้อเพลิง ฯลฯ ซึ่งนอกจากประโยชน์ดังกล่าวแล้ว ขานอ้อยยังสามารถนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ได้ด้วย แต่การที่จะนำเส้นใยอ้อยมาใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติกได้นั้น อาจต้องมีการปรับปรุงสมบัติพลาสติกหรือเส้นใยทั้งในด้าน เสถียรภาพทางความร้อนระหว่างกระบวนการ การกระจายตัวและผสมผสานในพลาสติก และการยึดติดของเส้นใยเซลลูโลสซึ่งเป็นวัฏภาคที่มีขั้วกับพอลิพรอพิลีนซึ่งเป็นวัฏภาคที่ไม่มีขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการปรับปรุงสมบัติของเส้นใย สามารถทำได้หลายวิธีเช่น การใช้สารเชื่อมโยง การฉายรังสี ฯลฯ ซึ่งการใช้วิธีการฉายรังสีพลังงานสูง เช่น รังสีแกมมา และรังสีจากลำอิเล็กตรอน จัดเป็นทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นวิธีที่ประหยัดและมีมลพิษต่ำ

โครงการพิเศษนี้ได้ศึกษาการนำชานอ้อยมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน โดยจะทำการปรับปรุงสมบัติการยึดติดและการผสมผสานระหว่างสารตัวเติมกับพลาสติก โดยวิธีต่อไปนี้

1. ทำการปรับสภาพผิวของเส้นใยอ้อยโดยใช้ Epolene wax เป็นสารช่วยกระจายของเส้นใยในพลาสติก
2. ทำการฉายรังสีลงบนเส้นใย ทำให้เส้นใยเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ และเข้าทำปฏิกิริยากับ Multifunctional monomer

จากนั้นจะนำพอลิเมอร์คอมพอสิตมาทดสอบสมบัติต่าง ๆ เพื่อหาว่าวิธีใดเหมาะสมที่สุดในการนำคอมพอสิตนี้ไปประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไป

## 1.2 ความเป็นมาของโครงการ

ในช่วงเวลาที่ผ่านมามีนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน ให้ความสนใจในการศึกษาค้นคว้าการนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ร่วมกับพอลิเมอร์โดยวิธีต่าง ๆ โดย

Kokta และคณะ<sup>2</sup> ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนที่ใส่เศษไม้ (ต้นสน) ซึ่งมีการปรับสภาพผิวในวิธีต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงการยึดติดระหว่างพอลิเมอร์กับเศษไม้ โดยใช้ Polymethylene polyphenylisocyanate (PMPPIC), Silane coupling agent (Silane A-172, Silane A-174, Silane-A1100) และ Epolene wax เป็นสารปรับสภาพผิวก่อนที่จะถูกใส่ลงในพอลิเมอร์ โดยวิธีการผสมใน Roll mill และขึ้นรูปโดยวิธี Compression molding พบว่า การใช้ Epolene wax เป็นสารช่วยกระจายเพียงอย่างเดียว สามารถเพิ่มค่า Tensile, Modulus และ % Elongation ของพอลิเมอร์ได้ดี ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยจะเพิ่มค่า Tensile และ Modulus แต่ % Elongation จะลดลง ในขณะที่ใช้ PMPPIC และ Silane อย่างใดอย่างหนึ่งนั้น ไม่ได้เป็นการเพิ่มสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์แต่อย่างใด แต่เมื่อใช้ PMPPIC กับ Epolene wax เป็นสารปรับสภาพผิวนั้นจะทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์สูงที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยที่จะให้ค่าสมบัติเชิงกลสูงที่สุดคือประมาณ 20 mesh

Yongli และคณะ<sup>3</sup> ได้ทำการศึกษาสมบัติของเส้นใยไผ่เสริมแรงในพอลิพรอพิลีน และ Maleated polypropylene (Epolene wax) สองชนิดคือ (s-MAPP และ m-MAPP) โดยที่ s-MAPP เตรียมโดยใช้การต่อกิ่งที่ผิวในสารละลายที่มี Benzoyl peroxide เป็นตัวริเริ่ม ซึ่งจะได้ปริมาณของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ต่อกิ่งบนพอลิพรอพิลีนประมาณ 1 % ส่วน m-MAPP

แม้ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเตรียมได้โดยการผสมพอลิพรอพิลีนกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ และ ใช้เปอร์ออกไซด์เป็นตัวริเริ่ม โดยมีวิธีคือ ใส่ผงพอลิพรอพิลีนลงใน Mixing chamber ของเครื่อง Haake plasticoder ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ความเร็ว 30 รอบต่อนาที เมื่อพอลิพรอพิลีนหลอมจึงใส่ Dicumyl peroxide และตามด้วยการเติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ เมื่อศึกษาการตกผลึก และ แรงกระทำระหว่างโมเลกุลโดยใช้ DSC, X-ray diffraction และ Optical microscopy พบว่า เส้นใยโพลีโพรพิลีนเป็นสารกึ่งผลึกใน Maleated polypropylene ทั้งสองชนิดได้ดีกว่าใน พอลิพรอพิลีนและยังเกิด Transcrystallines ใน s-MAPP และ m-MAPP ส่งผลให้การยึดติดระหว่างโมเลกุลของเส้นใยกับ s-MAPP และ m-MAPP มีความแข็งแรงมากกว่าพอลิพรอพิลีน

Bashar และคณะ<sup>4</sup> ได้เตรียมพลาสติกคอมพอสิตจากไม้ไผ่และ Methyl methacrylate (MMA) โดยทำการฉายรังสีแกมมา Co-60 ที่ 1 Mrad ลงบนเส้นใยไผ่ที่ผ่านการขัดแล้วจุ่มลงใน สารละลายของ MMA และเมทานอล นอกจากนี้มีการใส่สารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น N-vinyl pyrrolidone (NVP), Tripropylene glycol diacrylate (TPGDA), Trimethylol propane triacrylate (TMPTA), LiNO<sub>3</sub> และยูเรีย ลงในมอนอเมอร์เพื่อเป็นการเพิ่มค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) แล้วทำการหาเปอร์เซ็นต์ของพอลิเมอร์ที่ถูกบรรจุ (Polymer loading) อยู่ใน คอมพอสิต พบว่าสารเติมแต่งที่ส่งผลในการเพิ่มค่า Tensile สูงที่สุดคือ Lithium ซึ่งเพิ่มค่า Tensile strength สูงถึง 43 % และค่า Bending strength 59 % รองลงมาคือ TMPTA ซึ่งให้ค่า Tensile strength 38 % ที่ส่วนผิวของไม้ไผ่และ 31 % ที่ส่วนกลางของไม้ไผ่ และเมื่อใช้ TMPTA + Li เป็นสารเติมแต่งร่วม (Coadditive) จะให้ค่า Tensile strength สูงที่สุดคือ 48 %

Joseph และคณะ<sup>5</sup> ได้ทำการศึกษาสมบัติทางด้านความทนต่อแรงดึง (Tensile properties) ของคอมพอสิตที่เกิดจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับเส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal fiber) โดยใช้เครื่อง Instron testing machine พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Tensile strength ได้แก่ กระบวนการในการผสมพอลิเมอร์กับเส้นใย ความยาวของเส้นใย ปริมาณเส้นใย และ ลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์ โดยที่การผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยในวิธีการผสมแบบสารละลาย (Solution mixing) จะทำให้เกิดความเสียหายของเส้นใยน้อยกว่าการผสมแบบ หลอมเหลว (Melt mixing) ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ใส่เข้าไป จะมีผลให้ค่า Tensile strength ของคอมพอสิตเพิ่มขึ้น แต่ค่า % Elongation ลดลง และเมื่อนำคอมพอสิตมาฉีดขึ้นรูปใหม่จะ ได้ค่า % Elongation เพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งที่ฉีด ทั้งนี้เนื่องจากผลของความร้อนในระหว่าง กระบวนการขึ้นรูปจะทำให้เกิดการสลายตัวของพื้นผิวของเส้นใย จึงสามารถยึดติดกับพอลิเอทิลีน ได้ดีขึ้น นอกจากนี้พบว่า คอมพอสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยตามแนวแรงจะให้ค่า Tensile strength ดีกว่าคอมพอสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยในทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง และเส้นใยที่มีความยาว 6 mm จะให้ค่า Tensile strength สูงที่สุด

Kessira และ นาย Ricard<sup>6</sup> ได้ทำการศึกษาถึงผลของการตอ่กึ่งด้วย Methyl methacrylate (MMA) และ Acrylonitrile (AN) ลงบนขานอ้อย ขานอ้อยที่ผสม แคลเซียมคาร์บอเนต และเส้นใยที่ได้จากต้นยูคาลิปตัสโดยใช้ความร้อน ซึ่งขานอ้อยที่นำมาศึกษาประกอบด้วยเซลลูโลส 95.81 % ลิกนิน 2.64 % Pentosan-c 0.99 % โหเตียมไฮดรอกไซด์ 0.56 % และน้ำ จากการศึกษาผลของความร้อนในการตอ่กึ่งด้วย Acrylonitrile ลงบนพื้นผิวของเส้นใยที่สภาวะต่าง ๆ กันพบว่าสามารถใช้ได้ทั้งน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์เป็นตัวกลางในการทำปฏิกิริยา ส่วนการตอ่กึ่งด้วย Methyl methacrylate ลงบนเส้นใยอ้อย และเส้นใยยูคาลิปตัสจะทำการศึกษาถึงการบวมตัวของเส้นใย และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของมอนอเมอร์ ซึ่งสามารถตรวจสอบการตอ่กึ่งได้จากเสถียรภาพทางความร้อนของเส้นใย โดยสังเกตจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปีซึ่งวัดโดยน้ำหนักที่สูญเสียไป นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาน้ำหนักที่ทำการตอ่กึ่ง และไม่ได้ทำการตอ่กึ่งด้วยเครื่อง Differential scanning calorimetry (DSC) และเครื่อง Thermogravimetric analysis (TGA) พบว่าการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตช่วยให้เส้นใยอ้อยมีเสถียรภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิในสถานะก๊าซของพอลิเมอร์ สามารถบอกได้ถึงความสามารถเข้ากันได้ของเส้นใยกับสารที่ใช้ในการตอ่กึ่ง

Jayamol และคณะ<sup>7</sup> ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและความเป็น Viscoelastic ของพอลิเมอร์คอมพอสิต ซึ่งจะใช้เส้นใยสับปะรดที่มีขนาดสั้น ๆ เป็นสารเสริมแรงในพอลิเอทิลีนที่เตรียมจาก 2 วิธี คือ

1. การผสมแบบสารละลาย (Solution mixing) สามารถเตรียมได้โดย นำเส้นใยสับปะรดใส่ลงในสารละลายของพอลิเอทิลีน
2. การผสมแบบหลอมเหลว (Melt mixing) สามารถเตรียมได้โดย นำเส้นใยสับปะรดใส่ลงในพอลิเอทิลีนที่กำลังหลอมอยู่ในเครื่อง Brabender

จากนั้นนำคอมพอสิตที่เตรียมได้จากแต่ละวิธีมาทำการทดสอบสมบัติเชิงกลและความเป็น Viscoelastic พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยสับปะรดในคอมพอสิต จะทำให้ค่า Tensile strength และ Modulus มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่ใส่เข้าไป โดยคอมพอสิตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีการผสมแบบสารละลาย จะมีการเพิ่มของค่าต่าง ๆ สูงกว่าคอมพอสิตที่เตรียมจากวิธีการผสมแบบหลอมเหลว และเส้นใยที่มีความยาวประมาณ 10 mm จะให้สมบัติของค่า Tensile strength และ Modulus ที่สูงกว่าเส้นใยที่มีความยาว 2 และ 6 mm นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยในคอมพอสิตจะมีผลต่อค่า Tensile strength และ ค่า Modulus โดยเส้นใยในคอมพอสิตที่มีลักษณะการจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกันและขนานกับแนวแรง จะให้ค่า Tensile strength และ Modulus ที่สูงกว่าทั้งคอมพอสิตที่มีเส้นใยจัดเรียงตัวอย่างกระจัดกระจายและคอมพอสิตที่มีเส้นใยจัดเรียงตัวในทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้บริษัท ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาเส้นใยอ้อย มาใช้ประโยชน์ในรูปแบบอื่น นอกจากการทำเยื่อกระดาษ
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการปรับสภาพผิวของเส้นใยอ้อยด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้ Multifunctional monomer และการฉายรังสี
3. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตพอลิเมอร์คอมพอสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยอ้อย

### 1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติของคอมพอสิตจากพอลิพรอพิลีนกับชานอ้อย เมื่อปรับและไม่ปรับสภาพผิวเส้นใยด้วย Epolene wax ในปริมาณเส้นใย 10 % โดยน้ำหนักของคอมพอสิต
2. ศึกษาสมบัติของคอมพอสิตจากพอลิพรอพิลีนกับชานอ้อย เมื่อปรับและไม่ปรับสภาพผิวเส้นใยด้วยการฉายรังสี 10 kGy ในปริมาณเส้นใย 10 % โดยน้ำหนักของคอมพอสิต
3. ศึกษาสมบัติของคอมพอสิตจากพอลิพรอพิลีนกับชานอ้อย เมื่อปรับและไม่ปรับสภาพผิวเส้นใยด้วยการฉายรังสี 10 kGy ตามด้วยการตอ้งโดยใช้ TMPTA 1% ลงบนเส้นใยปริมาณเส้นใย 10 % โดยหนักของคอมพอสิต

### 1.5 ขั้นตอนการวิจัย และค่านิงาน

1. นำชานอ้อยมาทำการปรับสภาพผิว
2. ทำการผสมพอลิเมอร์กับชานอ้อยทุกอัตราส่วน โดยใช้เครื่อง Brabender
3. นำพอลิเมอร์ที่ได้ไปกดตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ โดยใช้เครื่องกดตัดเม็ดพลาสติก
4. นำพอลิเมอร์ไปขึ้นรูปเป็นคัมเบลล์ และ Izod โดยใช้เครื่อง Injection molding machine
5. ทดสอบสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อน
6. สรุปผลการวิจัยเพื่อนำไปใช้งาน

### 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความสามารถในการใช้สารเคมี และรังสีในการช่วยปรับสภาพผิวเส้นใยในการปรับปรุงสมบัติการยึดติดกับพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะนำพอลิเมอร์คอมพอสิตที่เตรียมได้ไปใช้งานตาม  
วัตถุประสงค์ที่ต้องการ
3. ทราบถึงวิธีการที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้น ในการปรับปรุงสมบัติการยึดติดและการ  
กระจายระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 พอลิเมอร์คอมพอสิต

พอลิเมอร์คอมพอสิต คือวัสดุที่ประกอบด้วยวัสดุตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปโดยแยกเป็น คนละวัฏภาค โดยในส่วประกอบของพอลิเมอร์คอมพอสิตนั้นจะต้องมีอย่างน้อยหนึ่งส่วนเป็น พอลิเมอร์เรียกว่า Matrix และอีกส่วนเป็นวัสดุอื่น เช่น แก้ว คาร์บอน ฯลฯ ซึ่งอาจมีลักษณะ เป็นเส้นใย ผงละเอียด แผ่น เรียกว่า Disperse phase โดยมีวัตถุประสงค์โดยทั่วไปคือเพื่อปรับปรุง ความแข็งแรง ความยืดหยุ่น ความเหนียว ความเสถียรในรูปร่าง และลดต้นทุน

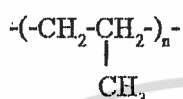
สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมพอสิตขึ้นกับปริมาณสารตัวเติม รูปร่างของวัสดุ และ พื้นผิวสัมผัส การจัดเรียงตัวของวัฏภาคที่เป็นแอนไอโซโทรปิก (Anisotropic phases) ให้อยู่ใน ทิศทางที่เหมาะสมและแน่นอนนั้นเป็นสิ่งสำคัญ และวัสดุที่มีความเป็นแอนไอโซโทรปิกมาก จะยิ่งส่งผลกระทบต่อสมบัติของคอมพอสิตมากด้วย สารเสริมแรงประเภทเส้นใยและเป็นเกร็ด จะมีส่งผลกระทบต่อคอมพอสิตมากกว่าสารเสริมแรงที่เป็นทรงกลม กล่าวคือทรงกลมจะมี ลักษณะคล้ายคลึงกับรูปร่างของช่องว่างภายในคอมพอสิต ที่สามารถลดการผ่านแรงในการ เคลื่อนไหวที่ส่งผ่านไปยังอนุภาคที่เป็นแอนไอโซโทรปิกได้

สำหรับคอมพอสิตระหว่างพอลิเมอร์กับไม้ได้มีการศึกษาพบว่า ไม้ที่ผ่านกระบวนการ ทางโดยวิธีเชิงกลจะยังคงมีลิกนิน และไซลลธรรมชาติที่เหลืออยู่ทำให้ช่วยในการกระจายตัวภายใน พอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว แต่ในขณะที่เดียวกันไม้ที่ประกอบด้วยลิกนินและสารประกอบอื่น ๆ อาจจะไป ลดการเกิดพอลิเมอร์และกระบวนการต่อกิ่งโดยวิธีการฉายรังสี เนื่องจากสารประกอบเหล่านี้จะ เป็นตัวจับอนุภาคลิซิส ดังนั้น ไม้ที่ประกอบด้วยเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักจะส่งผลดี สำหรับการต่อกิ่งโดยวิธีการฉายรังสี

#### 2.2 พอลิพรอพิลีน

ในช่วงประมาณปี ค.ศ. 1950 พอลิเมอร์ประเภทพอลิโอสเลฟินจะมีจำหน่ายอยู่เพียง พอลิเอทิลีน พอลิไอโซบิวทิลีน และพอลิไอโซบิวทาลีน - ไอโซพรีน โคพอลิเมอร์ (Butyl rubber) เท่านั้น ซึ่งความพยายามที่จะเตรียมพอลิโอสเลฟินตัวอื่น ๆ ยังไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำเกินไป จนในปี ค.ศ. 1954 แนนพตาได้นำตัวเร่งที่ซีเกอร์กัน พบมาใช้ในการเตรียมพอลิพรอพิลีน โดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบของตัวเร่ง ปรากฏว่าแนนพตาได้ ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

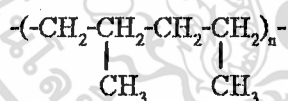
พอลิพรอพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันไป ซึ่งส่งผลให้สมบัติแตกต่างกันไปด้วย โดยมีแบบหนึ่งที่สำคัญมากคือ ไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีนที่มีความหนาแน่นสูงเหมือนพอลิเอทิลีนแต่มีจุดอ่อนตัวสูงกว่าและแข็งแรงกว่า ส่วนแบบอื่นๆ เช่น อะแทคติกพอลิพรอพิลีนมีส่วนเป็นอสัณฐานทำให้มีความแข็งแรงลดลง ซึ่งโครงสร้างทางเคมีโดยทั่วไปของพอลิพรอพิลีนจะมีหมู่เมทิล (Methyl group) เกาะบนโซ่โมเลกุลหลัก (Main chain) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิพรอพิลีน

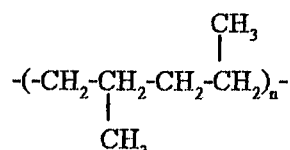
พอลิพรอพิลีนสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลบนโซ่โมเลกุลหลักได้แก่

1. ไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน (Isotactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิล (Methyl group) ด้านเดียวกันบนโซ่โมเลกุลหลัก ลักษณะเช่นนี้โครงสร้างโมเลกุลมีความเป็นระเบียบสูง ส่งผลให้มีการตกผลึกดีที่สุด ซึ่งรูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน



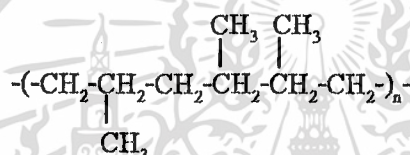
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน

2. ซินดิโอแทคติกพอลิพรอพิลีน (Syndiotactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิล (Methyl group) สลับกันบนโซ่พอลิเมอร์หลักอย่างเป็นระเบียบ ลักษณะเช่นนี้ทำให้โครงสร้างมีความเป็นระเบียบลดลง ซึ่งจะส่งผลให้การตกผลึกลดลงด้วย โดยโครงสร้างของซินดิโอแทคติกพอลิพรอพิลีนแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดง โครงสร้างของซินติโอแทกติกพอลิพรอพิลีน

3. อะแทกติกพอลิพรอพิลีน (Atactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิล (Methyl group) เกาะบนโซ่พอลิเมอร์หลักอย่างไม่เป็นระเบียบ ลักษณะเช่นนี้ทำให้มีการตกผลึกน้อยที่สุด โดยโครงสร้างของอะแทกติกพอลิพรอพิลีนแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดง โครงสร้างของอะแทกติกพอลิพรอพิลีน

สมบัติการละลายได้ของพอลิพรอพิลีนคล้ายคลึงกับพอลิเอทิลีน กล่าวคือไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายใด ๆ ณ อุณหภูมิห้อง แต่จะละลายได้ในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน และตัวทำละลายคลอโรไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80°C พอลิพรอพิลีนทนกรด เบส และเชื้อต่อปฏิกิริยาเคมีทั่วไป อย่างไรก็ตามเสถียรภาพทางความร้อน แสง และตัวออกซิไดซ์ของพอลิพรอพิลีนมีน้อยกว่าพอลิเอทิลีน ทั้งนี้เพราะโซ่ของพอลิพรอพิลีนมีไฮโดรเจนอะตอมเกิดพันธะกับคาร์บอนตติยภูมิ ดังนั้นควรเติมแอนติออกซิแดนซ์ก่อนนำพอลิพรอพิลีนไปใช้งาน

### 2.3 ขานอ้อย

โดยทั่วไปเส้นใยที่ใช้เป็นสารตัวเสริมแรงในคอมพอสิต สามารถแบ่งได้เป็น

1. เส้นใยสังเคราะห์ เช่น Carbon fiber หรือ Glass fiber หรือ Liquid crystal polymer ผสมลงในพอลิเมอร์จะทำให้ได้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์สูงขึ้น
2. เส้นใยธรรมชาติ จะได้พอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรง และสามารถย่อยสลายได้ แต่ไม่ดีเท่า Carbon fiber

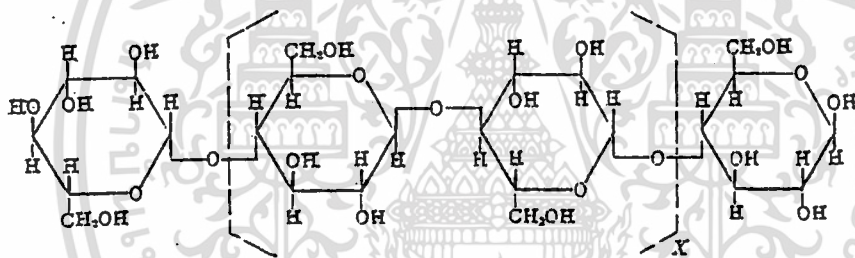
การผสมเส้นใยช่วยเพิ่มสมบัติด้านต่าง ๆ ให้กับ Polymer matrix ดังนี้

เอกสารนี้เป็น **Stiffness and strength** การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

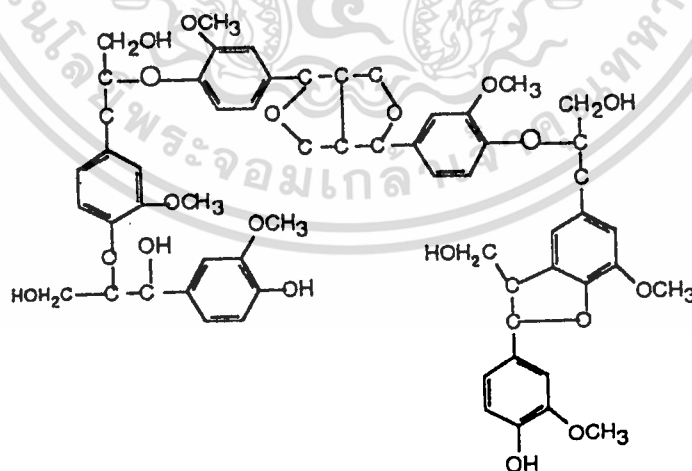
- Toughness
- Dimensional stability
- Creep
- Better aging and weathering resistance

เส้นใยที่จะให้สมบัติเหล่านี้ทั้งหมดควรเป็นเส้นใยยาว (Continuous fibers) ในทางผลิต Mass production เป็นเรื่องยากที่จะผลิตชิ้นงานคอมพิวเตอร์จากเส้นใยแบบนี้ จึงต้องใช้เส้นใยสั้น

ชานอ้อยเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากเกษตรกรรมโดยการบดต้นอ้อยในลูกกลิ้ง เพื่อให้ได้น้ำตาล ชานอ้อยมีหลายสี แต่โดยทั่วไปจะเป็นสีเหลืองเทาหมอง ๆ จนถึงสีเหลืองซีด ซึ่งจัดเป็นสารประกอบประเภทลิกโนเซลลูโลส (สารที่ประกอบด้วยลิกนิน และเซลลูโลส) นอกจากนี้ชานอ้อยมีลักษณะเป็นต้นกะกะไม่เป็นระเบียบ และมีมากมายหลายขนาดขึ้นกับการบด ส่วนประกอบทั่วไปประมาณคือ ความชื้น 49 % ของแข็งที่ละลายได้ 6 % ของแข็งที่ละลายไม่ได้ หรือเส้นใยที่ยังไม่ผ่านกระบวนการ 45 %

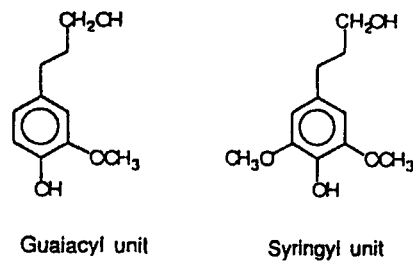


รูปที่ 2.5 แสดงสูตร โครงสร้างของเซลลูโลส<sup>9</sup>



รูปที่ 2.6 แสดงสูตร โครงสร้างของลิกนินของไม้เนื้ออ่อน<sup>10</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงหน่วยที่ซ้ำกันของลิกนิน<sup>10</sup>

### 2.3.1 สมบัติทางกายภาพ<sup>11</sup>

ขานอ้อยประกอบด้วยสองส่วนที่แยกกันอย่างเห็นได้ชัดคือ ส่วนแรกเป็นชั้นผนังหนาและจะค่อนข้างยาวซึ่งเป็นส่วนของเส้นใยที่ได้จากเปลือกนอก และมัดของท่อลำเลียงที่กระจายอยู่ภายในลำต้น ส่วนที่สองเป็นส่วนที่มีความสำคัญที่ได้จากเซลล์ที่มีผนังบางของพarenchyma (Parenchyma) ของลำต้นซึ่งทำหน้าที่เก็บสะสมน้ำตาลอ้อย ส่วนประกอบของทั้งหมดของขานอ้อยในส่วนของเส้นใย และแกนกลาง ได้แสดงในตารางที่ 2.1

เส้นใยอ้อยมีลักษณะคล้ายกับเส้นใยของฝ้าย และขนสัตว์ คือมีลักษณะ โครงสร้างชัดเจน เป็นวง มีความยาวโดยเฉลี่ยประมาณ 1.0 - 4.0 mm และกว้าง 0.010 - 0.04 mm ลักษณะของเส้นใยนั้นขึ้นกับชนิดของขานอ้อย

ตารางที่ 2.1 แสดงการวิเคราะห์ทางเคมีของขานอ้อย<sup>11</sup> (คิดเป็น % เมื่อปราศจากความชื้น)

Constituent	Entire bagasse	Entire bagasse	Bagasse fiber	Bagasse pith
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

### 2.3.2 การนำมาใช้<sup>11</sup>

ขานอ้อยเป็นวัสดุที่สามารถถูกย่อยสลายได้ง่าย ดังนั้นจึงมีการใช้เทคนิคพิเศษในการพัฒนาการเก็บรักษาขานอ้อย วิธีที่ใช้กันโดยทั่วไปคือการไล่ความชื้นออกไปประมาณ 50 %  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของความชื้นที่มีอยู่ และเก็บไว้ที่กลางแข็งที่อากาศถ่ายเทสะดวก ในด้านการเกษตรขนอ้อยถูกใช้เป็นปุ๋ยคลุมดิน แต่อย่างไรก็ตามยังคงเหลือปริมาณขนอ้อยมาก จึงได้มีการพัฒนาขนอ้อยเพื่อใช้ในลักษณะอื่น โดยขนอ้อยที่ถูกบดจะใช้เป็นสารตัวเติมในลักษณะเป็นเศษไม้ และผลิตเป็นกระดาษ เป็นต้น

## 2.4 การตกผลึกในพอลิเมอร์

การตกผลึก (Crystallization) ในพอลิเมอร์เป็นกระบวนการจัดเรียงตัวของโครงสร้างส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ (Disordered phase) โดยปกติจะอยู่ในรูปสถานะที่หลอมเหลว หรือสารละลายเจือจางให้เป็นโครงสร้างที่เป็นระเบียบ ขั้นตอนการตกผลึกในพอลิเมอร์โดยทั่วไปมี 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ได้แก่

1. การเกิดนิวเคลียส (Nucleation) ขั้นตอนนี้เกิดเนื่องจากการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ ซึ่งจะเกิดแนว โนม์ที่ทำให้โมเลกุลที่พันกันอย่างอิสระในพอลิเมอร์หลอมเหลว เริ่มจัดตัวเป็นบริเวณที่มีความเป็นระเบียบเล็ก ๆ ขึ้น ซึ่งเรียกว่า นิวคลีโอ (Nuclei) สำหรับการเกิดนิวเคลียสสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ ได้แก่

1.1. การเกิดนิวเคลียสจากไซโมเลกุลของตัวเอง (Homogeneous nucleation) เกิดจากการที่ไซโมเลกุลมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา จนกระทั่งไซโมเลกุลเข้ามาใกล้กันระยะหนึ่ง จะเกิดแรงดึงดูดกันเกิดเป็นนิวเคลียสพร้อมกับคายพลังงานออกมา

1.2. การเกิดนิวเคลียสโดยอาศัยสารภายนอก (Heterogeneous nucleation) พบมากในพอลิเมอร์ทั่วไป ขั้นตอนการเกิดนิวเคลียสจะใช้สารแปลกปลอม เช่น สารก่อนิวเคลียส (Nucleating agent) สารปนเปื้อน (Impurity) เป็นต้น ทำหน้าที่เป็นนิวเคลียสให้ไซพอลิเมอร์มาชิดเกาะ การเกิดนิวเคลียสแบบนี้เกิดได้ง่ายกว่า เนื่องจากการใช้ซูเปอร์คูลลิ่ง (Supercooling) ที่ลดน้อยลง ซึ่งซูเปอร์คูลลิ่ง หมายถึง ช่วงการให้ความเย็นของพอลิเมอร์หลอมเหลวให้ต่ำกว่าจุดหลอมเหลว โดยปราศจากการเกิดผลึกและในบางครั้งจะเรียกว่าอันเดอร์คูลลิ่ง (Undercooling) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างจุดหลอมเหลวกับอุณหภูมิในการตกผลึก

2. การเติบโต (Growth) ขั้นนี้นิวคลีโอจะมีการขยายตัวเนื่องจากการรวมตัวของสายไซโมเลกุล ซึ่งการขยายตัวจะทำใน 1, 2, 3 มิติก็ได้ ผลึกสามารถเกิดรูป Rods, Disc หรือ Sphere การขยายตัวเนื่องจากการรวมกันของไซโมเลกุลขนาดใหญ่มาจัดเรียงตัวในผลึก ซึ่งเรียกว่าลามลลา (Lamellar) จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงรัศมีของสเฟียรูไลท์ (Spherulite) สัมพันธ์กับเวลาในเชิงเส้นตรงดังสมการ

$$R = Vt$$

เมื่อ V เป็นอัตราการเติบโต (Growth step)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R เป็นรัศมีของสเฟียรูไลท์

t เป็นเวลา

สำหรับอัตราการเติบโตขึ้นกับอุณหภูมิในการตกผลึก (Crystallization temperature,  $T_c$ ) พบว่าอัตราการเติบโตจะมีค่าต่ำเมื่ออุณหภูมิการตกผลึกใกล้เคียงกับอุณหภูมิการหลอมเหลว ( $T_m$ ) ของพอลิเมอร์นั้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการเติบโตจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงค่าสูงสุด จากนั้นก็ลดลงมาอีกครั้งทั้ง ๆ ที่อุณหภูมิการตกผลึกห่างจากอุณหภูมิการหลอมเหลวมากขึ้นที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ความหนืดที่เพิ่มขึ้นทำให้โซโพลกุลเคลื่อนที่มารวมตัวทำให้เกิดการขยายตัวของผลึกลดน้อยลง จึงส่งผลให้อัตราการเติบโตลดลง

การตรวจสอบสเฟียรูไลท์ของพอลิพรอพิลีน โดยใช้ X-ray diffraction พบว่าในผลึกนั้นประกอบด้วย 2 หน่วยเซลล์ได้แก่ หน่วยเซลล์แบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal unit cell) และหน่วยเซลล์แบบโมโนคลีนิก (Monoclinic unit cell) ซึ่งสเฟียรูไลท์ที่สว่างจะเป็นหน่วยเซลล์แบบเฮกซะโกนอล ส่วนสเฟียรูไลท์ที่มืดมักจะเป็นหน่วยเซลล์แบบโมโนคลีนิก

#### 2.4.1 ประเภทและลักษณะสารก่อนิวเคลียส

สารก่อนิวเคลียส เป็นสารเติมแต่งชนิดหนึ่งที่เติมลงไป เพื่อทำให้เกิดนิวเคลียสในการตกผลึกแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous nucleation) สารประเภทนี้เพิ่มอัตราการตกผลึกให้สูงขึ้น ส่งผลให้สเฟียรูไลท์มีขนาดเล็กลงแต่มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปพอลิเมอร์จะเกิดการตกผลึกจากสภาวะการหลอมโดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้

1. ต้องมีโครงสร้างโมเลกุลเอื้ออำนวยในการก่อให้เกิดบริเวณผลึก ถ้าโซโพลกุลหลักมีการเคลื่อนที่ไม่เพียงพอ มีหมู่ข้างเคียงขนาดใหญ่ หรือมีกิ่งก้านสาขามาก จะเป็นการขัดขวางการตกผลึก
2. อุณหภูมิการตกผลึกต้องต่ำกว่าจุดหลอมเหลว แต่ต้องไม่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิการไหลตัวคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) เพราะช่วงนี้โซโพลกุลมีการเคลื่อนที่เพียงพอสำหรับการก่อให้เกิดผลึก
3. การตกผลึกจะต้องเริ่มจากการเกิดนิวเคลียส เพื่อทำให้เกิดบริเวณที่เป็นระเบียบ แล้วจึงขยายตัวให้เป็นสเฟียรูไลท์

สารก่อนิวเคลียส โดยทั่วไปจะต้องมีสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- ถูกดูดซับเข้าไปในเนื้อพอลิเมอร์ได้
- ไม่ละลายในพอลิเมอร์
- มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าพอลิเมอร์ที่นำมาผสม

เอกสารนี้ มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในพอลิเมอร์หลอมเหลว ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามสารก่อนิวเคลียสที่มีประโยชน์ต่อพอลิเมอร์ประเภทพอลิโอเลฟิน คือสารประเภท Organocarboxylic acid salt หรือสารที่มีโครงสร้างที่เรียกว่า Alternative layer ซึ่งโครงสร้างทางเคมีประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่

- กลุ่มสารมีขี้ ทำหน้าที่เพิ่มแรงดึงดูดของผลึกเกลือ ทำให้สารก่อนิวเคลียสไม่ละลายในพอลิเมอร์หลอมเหลว
- กลุ่มสารไม่มีขี้ ทำหน้าที่เป็นส่วนที่ละลายในพอลิเมอร์หลอมเหลว โดยส่วนใหญ่สารกลุ่มนี้มักเป็นสารทางอินทรีย์

สารก่อนิวเคลียสสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ

1. สารเติมแต่งอินทรีย์ เช่น ดินสอพอ ซิลิกา เป็นต้น
2. สารประกอบทางอินทรีย์ เช่น เกลือของโมโนหรือพอลิของกรดคาร์บอกซิลิก (Mono, Poly carboxylic acid) รวมถึงสี (Pigment) ด้วย
3. สารพอลิเมอร์ เช่น เอทิลีน/อะคริลิก เอสเทอร์ โคพอลิเมอร์ เป็นต้น

## 2.5 การปรับสภาพผิวเส้นใย

การปรับสภาพผิวของเส้นใยสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งในที่นี้จะขอกกล่าวถึงวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

### 2.5.1 Maleic anhydride grafted polypropylene (MAPP) หรือ Epolene wax<sup>9</sup>

มาเลอิกแอนไฮไดรด์ ที่อยู่ในสารเติมแต่ง MAPP เป็นสารปรับปรุงการยึดติด (Adhesion) และการกระจาย (Disperse) ของพอลิเมอร์คอมพอลิต ระหว่างพอลิพรอพิลีนที่ไม่มีขี้ (Hydrophobic phase) กับเส้นใยเซลลูโลสที่มีขี้ (Hydrophilic phase) สมบัติดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดสมบัติของคอมพอลิต MAPP เป็นสารที่ไม่เพียงแต่จะทำให้ผิวของพอลิพรอพิลีนมีความแข็งมากขึ้น แต่ยังสามารถเกิดการเชื่อมโยงด้วยพันธะโควาเลนต์กับหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่บนผิวของเส้นใยเซลลูโลส

การเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างมาเลอิกแอนไฮไดรด์และหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยเซลลูโลส ได้ถูกวิเคราะห์โดย IR และ ESCA ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดพันธะโควาเลนต์นี้ สามารถแบ่งออกได้ 2 ขั้นตอนคือ

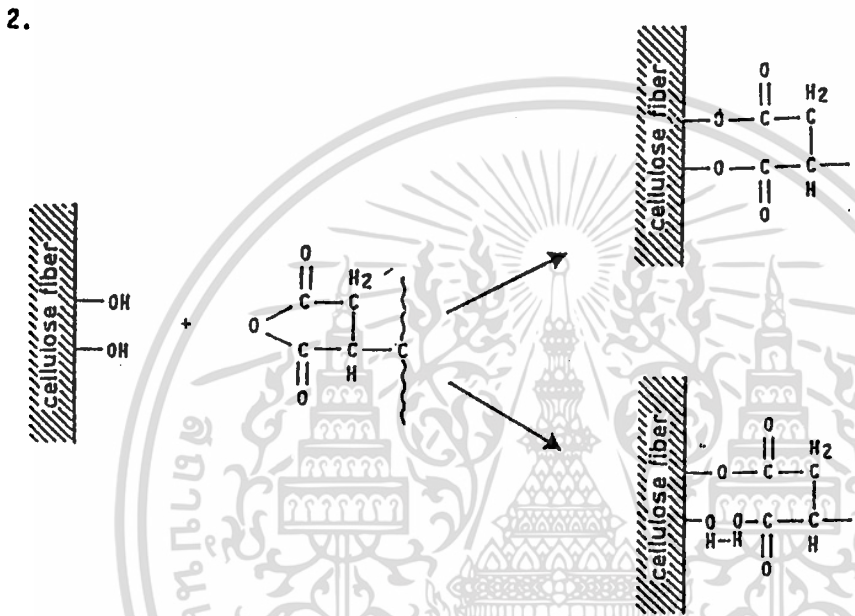
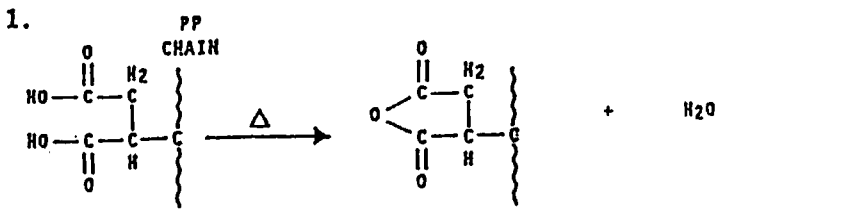
#### ขั้นที่ 1 Activation of the copolymer

โคพอลิเมอร์จะเปลี่ยนรูปไปเป็นแบบ แอนไฮไดรด์ ซึ่งวงไวกว่า

#### ขั้นที่ 2 Esterification of fiber

ทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับเส้นใย ดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



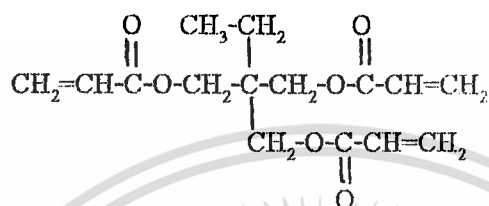
รูปที่ 2.8 แสดงการเกิดปฏิกิริยาของเส้นใยเซลลูโลสที่ทำการปรับสภาพผิวด้วย MAPP<sup>9</sup>

ในการวิจัยครั้งนี้ จะทำการทดลองปรับปรุงการยึดติด และการกระจายของสารตัวเติม โดยใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ต่อกิ่งกับพอลิพรอพิลีนเป็นสารเชื่อมโยงพอลิพรอพิลีนกับเซลลูโลส ซึ่งเมื่อผสมกับเส้นใยเซลลูโลสแล้ว จะสามารถเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยเซลลูโลส และเกิดเป็นพันธะเอสเทอร์ได้

### 2.5.2 Trimethylol propane triacrylate (TMPTA)

เป็นสารประเภท Multifunctional triacrylate มีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา เป็นสารที่ส่งเสริม และเร่งการเกิดพอลิเมอร์ การเชื่อมโยงของสายโซ่พอลิเมอร์กับเซลลูโลสได้ในหลายๆ ตำแหน่ง ซึ่งกลไกการเชื่อมโยงของ TMPTA กับมอนอเมอร์ในการฉายรังสี จะเป็นการต่อกิ่งของโซ่สาขาที่เป็นหมู่ฟังก์ชันหนึ่งของ TMPTA และจะทำพันธะกับพอลิเมอร์โดยการยึดเกาะกันเป็นเอวสายรังสี และสำหรับกรณีเชิงพาณิชย์นั้น เมื่อผู้ผลิตเพิ่มค่าใช้จ่ายในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครึ่งไว้ ต่อมาจะเกิดการแผ่ขยายของสายโซ่ในส่วนปลายด้านอื่นที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นอิสระในการริเริ่มสายโซ่ใหม่โดยผ่าน Scavenging reaction และทำให้เกิดการเชื่อมโยง และเกิดพอลิเมอร์ที่เป็นโซ่สาขาใหม่มากขึ้น โดยสามารถหยุดการเกิดโซ่สาขาใหม่ของพอลิเมอร์ผ่านการเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันในสายโซ่อื่น หรือถูกยึดไว้กับอนุมูลอิสระของ TMPTA สูตรโครงสร้างของ TMPTA มีดังนี้



รูปที่ 2.9 แสดงสูตร โครงสร้างของ TMPTA

## 2.6 กระบวนการฉายรังสี

การแผ่รังสี หมายถึงการนำพาพลังงานทั้งในรูปของคลื่นและอนุภาค ตัวที่นำพาพลังงานในรูปของคลื่นเราเรียกว่า โฟตอน ในการแผ่พลังงานนี้โฟตอนจะประพาดตัวเป็นลักษณะคล้ายคลื่นเมื่อมันเคลื่อนไหว และจะประพาดตัวคล้ายอนุภาคเมื่อถูกดูดกลืนหรือปลดปล่อยโดยอะตอมหรือโมเลกุล

การแผ่รังสีสามารถเกิดได้โดยปฏิกิริยานิวเคลียร์ โดยการเร่ง หรือจากไอโซโทปของธาตุที่แผ่รังสีที่เกิดในธรรมชาติ หรือไอโซโทปที่เกิดจากการสังเคราะห์ แต่แหล่งของการควบคุมการแผ่รังสีคือ ไอโซโทปที่เกิดจากการสังเคราะห์ที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์

รังสีแกมมาเป็นคลื่นรังสีสั้น ๆ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมาก แต่ไม่มีประจุ โฟตอนของรังสีแกมมาสามารถทะลุทะลวงแม้ในสสารที่มีความหนาแน่นมากที่สุด ซึ่งถ้าเราต้องการจะหยุดการทะลุทะลวงของรังสีแกมมาเราต้องใช้คอนกรีตที่มีความหนาแน่นมากกว่า 1 เมตร

พลังงานของแกมมาโฟตอนนั้น จะถูกดูดกลืนได้ใน 3 ทางคือ

1. พลังงานอาจสูญหาย หรือถูกเคลื่อนย้ายไปยังอิเล็กตรอนที่มันเข้าชน และบังคับให้อิเล็กตรอนออกนอกวงโคจร
2. แกมมาโฟตอนอาจแลบเข้าในวงโคจรของอิเล็กตรอน โดยใช้พลังงานเพียงบางส่วน ในขณะที่พลังงานส่วนที่เหลือจะยังคงเคลื่อนที่ต่อไปในทิศทางอื่น
3. แกมมาโฟตอนจะถูกกลบฝังเมื่อมันผ่านเข้าใกล้สนามไฟฟ้าความเข้มสูงของนิวเคลียสหนึ่ง ๆ

ในวิธีสุดท้ายของการสูญเสียพลังงานรังสีแกมมานี้คือ รังสีแกมมาจะถูกสนามไฟฟ้าความเข้มสูงของนิวเคลียสอะตอมล่า ทำให้แกมมาโฟตอนแตกออกเป็นสองอนุภาคที่มีประจุตรงข้ามกัน การดำเนินการนี้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ อิเล็กตรอน และโพซิตรอน ซึ่งโพซิตรอนนี้จะสูญเสียพลังงานอย่างรวดเร็วโดยการชนกับ อิเล็กตรอนในวงโคจร ส่วนอิเล็กตรอนจะถูกกระแทกออกจากวงโคจร ซึ่งทำให้เกิดไอออน และเกิดการกระตุ้นในสสาร

สามารถแบ่งรังสีได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1. รังสีที่ทำให้เกิดไอออน

ธาตุ Cobalt-60, Strontium-90, และ Cesium-137 ซึ่งเป็นธาตุกัมมันตรังสีที่ผลิตรังสีที่ทำให้เกิดไอออน ซึ่งถูกนำมาใช้เนื่องจากสามารถหาได้ง่าย ลักษณะที่มีประโยชน์ มีครึ่งชีวิตที่ยาว และมีราคาที่เหมาะสม ส่วนแหล่งอื่น ๆ ของการแผ่รังสีที่เป็นไอออนที่ถูกนำมาใช้ หรือเผาไหม้คือ Uranium slugs จากกากของเสียในปฏิกิริยาฟิวชั่น

รังสีแกมมาซึ่งได้จาก Co-60 มีอำนาจทะลุทะลวงสูง แต่ก็ไม่ใช่แหล่งที่สำคัญของรังสีที่เป็นไอออนเนื่องจากมีหลาย ๆ เหตุผล กล่าวคือเป็นรังสีที่เคลื่อนที่ช้า และต้องการเวลาหลายชั่วโมงสำหรับการปฏิบัติงาน ควบคุมการเกิดไอโซโทปยาก ไม่สามารถควบคุมการปลดปล่อยของรังสีได้ ต้องการผู้ทำงานที่มีประสบการณ์ และได้รับการฝึกฝนอย่างดี

ตัวเร่งให้เกิดลาของอิเล็กตรอนนั้น เป็นแหล่งที่ทำให้เกิดไอออนชนิดแรก สำหรับการกระบวนกาแผ่รังสี เราสามารถนำพลังงานนี้มาใช้กับพอลิเมอร์โดยตรง

2. รังสีที่ไม่ทำให้เกิดไอออน

ตัวเร่งให้เกิดอิเล็กตรอน ตัวอย่างเช่น Van de graaff generator, Cyclotrons ฯลฯ อิเล็กตรอนจากเครื่องมือต่าง ๆ นั้น มีอำนาจทะลุทะลวงน้อยกว่าการแผ่รังสีจากธาตุกัมมันตรังสี อย่างไรก็ตาม แหล่งนี้สามารถถูกควบคุมได้ง่ายและสามารถหยุดได้เมื่อไม่ต้องการใช้ ซึ่งรังสีอิเล็กตรอนนี้สามารถทะลุทะลวงได้เพียง 2-3 mm ในพลาสติก แต่สามารถแผ่ไปยังผลิตภัณฑ์ในอัตราที่เร็วมาก ตัวอย่างของรังสีประเภทนี้คือ รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีอินฟราเรด และคลื่นไมโครเวฟ

2.6.1 การฉายรังสีในพอลิเมอร์

การเคลื่อนย้ายพลังงานจากแหล่งรังสีไปยังสสาร เพื่อช่วยในการทำลายพันธะ และใช้สำหรับการจัดเรียงตัวของอะตอมให้เป็นโครงสร้างใหม่ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในพันธะ โคเวเลนต์ของสสารซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสมบัติกายภาพ ซึ่งผลกระทบของการฉายรังสีลงบนพลาสติกอาจแบ่งได้เป็น 4 ชนิด

1. การทำลายโดยรังสี
2. การปรับปรุงโดยรังสี
3. การเกิดพอลิเมอร์โดยการฉายรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. การเกิดการตอ่กิ่งโดยการฉายรังสี

##### 1. การทำลายโดยรังสี

การทำลายพันธะโควาเลนต์โดยการฉายรังสีของนิวเคลียสเรียกว่า Scission โดยวิธีนี้จะสลายพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน ซึ่งทำให้เกิดพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลที่ต่ำลง ดังนั้นจะได้พอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงลดลง มีการแตกที่ผิว ความผิดปกติ การเปลี่ยนแปลงสี ความแข็ง ความอ่อนนุ่ม และสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ ที่ไม่พึงปรารถนา รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุล การกระจายของน้ำหนักโมเลกุล กิ่งก้านสาขา ความเป็นผลึก และการเชื่อมโยง

##### 2. การปรับปรุงโดยการฉายรังสี

ในขณะที่พอลิเมอร์ถูกทำลายโดยการฉายรังสีนั้น อาจมีผลดีที่เกิดขึ้นตามมาจากการควบคุมปริมาณของรังสี ตัวอย่างเช่น การเกิดการเชื่อมโยง การเกิดการตอ่กิ่ง และการเกิดกิ่งก้านสาขาของสสารที่เป็นเทอร์โมพลาสติก ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพที่ต้องการ กระบวนการฉายรังสีในปัจจุบันนี้มักจะใช้เครื่องผลิตรังสีอิเล็กตรอน หรือใช้แหล่งที่เป็นไอโซโทปที่แผ่รังสีของธาตุเช่น Cobalt-60 ซึ่งการแผ่รังสีนี้อาจจะเพิ่มมวลโมเลกุลโดยการเกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุลในพอลิเมอร์นั้น ๆ หรืออาจจะลดมวลโมเลกุลโดยการสลายตัวของพันธะก็ได้

##### 3. การเกิดพอลิเมอร์โดยการฉายรังสี

รังสีช่วยให้มอนอเมอร์กลายเป็นพอลิเมอร์ ซึ่งการเกิดพอลิเมอร์และการเชื่อมโยงนั้นถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการทำสารเคลือบผิว และสารยึดติด

##### 4. การตอ่กิ่งโดยการฉายรังสี

การใช้รังสีในการตอ่กิ่งบนพอลิเมอร์ทำให้ได้พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยโมเลกุลที่มีโครงสร้างต่างจากเดิม ซึ่งเป็นการรวมกันของโมเลกุลมหภาค 2 ชนิดขึ้นไป แต่ละส่วนมีสมบัติเป็นเอกลักษณ์ เช่น  $A_nB_m$  สมบัติของ Graft polymer อาจรวมสมบัติของส่วน A และ ส่วน B แต่เป็นการ Random polymer จะแสดงสมบัติระหว่าง A และ B ซึ่งสามารถทำได้โดยการฉายรังสีลงไปบนมอนอเมอร์ชนิดหนึ่งเพื่อให้เกิดพอลิเมอร์ก่อน จากนั้นจึงนำพอลิเมอร์ที่ได้นั้นมาเติมมอนอเมอร์อีกชนิดหนึ่งลงไป และนำมาทำการฉายรังสีอีกครั้ง ดังรูปที่ 2.10 แสดงการเกิดตอ่กิ่งพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA  
 |  
 BBBBBBBBBBBBBB

รูปที่ 2.10 แสดงการเกิดการตอึงของพอลิเมอร์

### 2.6.2 ข้อดีของการฉายรังสี

1. สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าในกระบวนการทางเคมีปกติ
2. สามารถทะลุทะลวงได้อย่างดี ถึงแม้ว่ารังสีแกมมาจาก Cobalt-60 สามารถทะลุทะลวงได้มากถึง 12 นิ้ว (300 mm) แต่จะเคลื่อนที่ในอัตราที่ช้าและใช้เวลานาน ในขณะที่รังสีอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในอัตราที่รวดเร็วมาก แต่สามารถทะลุทะลวงได้ในความหนาเพียง 0.39 นิ้ว (10 mm) ด้วยเหตุนี้ผลิตภัณฑ์จากการฉายรังสี 90 % จึงถูกผลิตโดยการใช้แหล่งอิเล็กตรอนพลังงานสูง
3. มอนอเมอร์สามารถเกิดพอลิเมอร์ได้โดยปราศจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และส่วนประกอบอื่น ๆ ที่อาจก่อให้เกิดสิ่งเจือปนในพอลิเมอร์
4. การฉายรังสีทำให้เกิดปฏิกิริยาที่มีผลกระทบเล็กน้อยต่อการมีรงควัตถุ สารตัวเติม Antioxidant และส่วนประกอบอื่น ๆ ในเรซินหรือพอลิเมอร์
5. การเชื่อมโยงและการตอึงอาจใช้กับส่วนที่มีรูปร่างมาก่อนเช่น ฟิล์ม เป็นต้น และการเคลือบในรูปแบบของมอนอเมอร์ หรืออาจนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการฉายรังสีได้ ซึ่งเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหาในการใช้สารละลาย
6. เป็นการหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากการผสม และการเก็บสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ

### 2.6.3 ข้อเสียของการฉายรังสี

1. ในการติดตั้งเครื่องฉายรังสีแกมมามีราคาแพง
2. ต้องการการดูแลรักษาและบุคลากรผู้ชำนาญงาน โดยเฉพาะในรังสีที่ทำให้เกิดไอออน
3. มีศักยภาพในการเกิดอันตรายสูง เนื่องจากเป็นรังสีที่ทำให้เกิดไอออนและเป็นธาตุกัมมันตรังสี

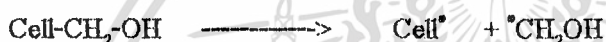
### 2.6.4 การประยุกต์ใช้รังสีกับวัสดุคอมพอลิตจากไม้

การตอึงและการเกิดไฮโปพอลิเมอร์ของมอนอเมอร์หลายชนิดบนกระดาษ และเส้นใย นั้น เป็นการปรับปรุงสมบัติในด้านความใหญ่ทะอะทะ ความยืดหยุ่น ความทนต่อกรด และค่า Tensile strength ซึ่งการฉายรังสีลงบนสิ่งทอที่เป็นเซลลูโลสนั้นสามารถช่วยในการพัฒนาความ (ด้านการค้า) แม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทนต่อแรงอัดของเส้นใยได้ การเลือกมอนอเมอร์ที่เหมาะสมในการต่อกิ่งลงบนโพลีเอทิลีน เส้นใยธรรมชาติ และสิ่งทอที่เป็นพลาสติกนั้น สามารถปรับปรุงสมบัติการทนทานต่อสภาพอากาศ และการเกิดพันธะกับโลหะ การย้อม และการพิมพ์ การใช้รังสีในปริมาณน้อย เพื่อทำลายผิวของพลาสติก จะเป็นการปรับปรุงการยึดติดที่ผิวของหมึกพิมพ์

การจุ่มไม้ กระดาษ คอนกรีต และคอมพอสิต ลงในมอนอเมอร์ สามารถเพิ่มความแข็งแรง ความแข็งแรงดึง และเสถียรภาพของรูปร่างได้หลักจากการทำการฉายรังสี

เมื่อทำการฉายรังสีลงบนเส้นใยเซลลูโลส อาจเกิดปฏิกิริยาดังนี้



ถ้ามีอากาศจะเกิดปฏิกิริยา



ซึ่งทำให้เกิดการออกซิเดชันต่อไปคือ



Hydroperoxide ที่เกิดขึ้น (Cell-OOH) จะเกิดการแตกตัวที่อุณหภูมิของ Extrusion

(-150-200 °C) ให้อนุมูลอิสระดังสมการ



ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ Reactive additive (RA) หรือ Multifunctional monomer ดังสมการ



ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ต่อไป



เทคนิคที่ใช้ แบ่งเป็น 3 ชนิดคือ

1. Preirradiation procedure ( Trapped radicals )
2. Peroxidation process
3. Simultaneous method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Preirradiation procedure จะฉาย Substrate ก่อนในสุญญากาศ หรือ Inert gas เพื่อให้เกิดอนุมูลอิสระ ที่เสถียรพอที่จะทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ที่อุณหภูมิห้อง ข้อดีของวิธีนี้คือ เกิด Homopolymer น้อย

2. Peroxidation process เป็นวิธีที่ใช้บ่อยที่สุด ใน 3 วิธีนี้ Substrate ถูกฉายรังสีในอากาศ หรือในออกซิเจน ทำให้เกิด Peroxide และ Hydroperoxide แล้วควบคุมรักษาให้อยู่ในสภาวะนี้ เพื่อทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ที่ละลายอยู่ในตัวทำละลาย หรือ ไม่ใช้ตัวทำละลาย โดยทำปฏิกิริยาขณะมีออกซิเจนหรือทำปฏิกิริยาในสุญญากาศ แล้วค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิที่ละน้อยเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการต่อกิ่ง ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถเก็บ Intermediate ของ Peroxypolymer ไว้ได้นานก่อนนำไปทำการต่อกิ่ง

3. Simultaneous method substrate ถูกฉายรังสีพร้อมกับสัมผัสโดยตรงกับมอนอเมอร์ ซึ่งอยู่ในสภาพไอ ของเหลว หรือสารละลายโดยขบวนการต่อกิ่ง เกิดผ่านกลไกของอนุมูลอิสระ ซึ่งในการต่อกิ่งโดยวิธีนี้ พบว่าเกิดเป็น Homopolymer ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ แต่มีการค้นพบว่า การเติม Styrene ลงไปจะเป็นการลดการเกิด Homopolymer ได้

ข้อดีของวิธีนี้คือ Substrate และมอนอเมอร์ถูกฉายรังสีไปพร้อมๆกัน นั่นคือทำให้เกิด Active site ของทั้ง 2 ส่วน สำหรับ 2 วิธีแรกนั้นจะเกิดการแตกพันธะซึ่งก่อให้เกิด Radical sites ขึ้นก่อนแล้วจึงตามด้วยการต่อกิ่ง

#### ปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งในระบบ Simultaneous

1. อุณหภูมิที่สูง จะเร่งการแพร่ของมอนอเมอร์ไปยัง Active site ของมอนอเมอร์ ลดความหนืดของระบบ และเป็นการเพิ่มหรือเร่งการเคลื่อนที่ของ Active site ให้มาพบกับมอนอเมอร์มากขึ้น
2. ความเข้มข้นของรังสีและอัตราความเข้มข้นที่สูงขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งลดลง เนื่องจากความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์จะสั้น
3. ตัวทำละลายที่สามารถช่วยทำให้พอลิเมอร์บวมตัว จะช่วยให้มอนอเมอร์แพร่เข้าทำปฏิกิริยากับ Active site ได้ดี
4. สารเติมแต่ง เช่น กรดซัลฟูริก ช่วยให้มอนอเมอร์ที่ไม่มีขั้ว แพร่เข้าทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ เนื่องจากการละลายที่ลดลงของมอนอเมอร์ในสารละลายกรดเข้าแย่งที่ในระบบ ทำให้มอนอเมอร์ไม่ละลายในตัวทำละลายมอนอเมอร์ จึงเข้าทำปฏิกิริยากับ Substrate นอกจากนี้ การเติมเกลือ ควรเติมเกลืออนินทรีย์ หรือสารที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ เช่น Divinyl benzene หรือ TMPTA จะช่วยเสริมเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง
5. ชนิดมอนอเมอร์และปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ปริมาณออกซิเจนจะลดเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออนุมูลอิสระเจอกับออกซิเจนจะเกิด Peroxide ทำให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งลดลง
7. เวลาที่ใช้ควรมาน แต่ Dose rate ต่ำ เพื่อให้หมอนอเมอร์มีโอกาสเกิดอนุมูลอิสระที่จะค่อย ๆ แพร่เข้า Active site ทำให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งต่ำกว่า

### 2.6.5 ประเภทของวัสดุคอมพอลิตจากไม้

การใช้รังสีปรับปรุงคอมพอลิตจากไม้สามารถ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท

1. Impregnated wood – plastic composites
  2. Wood – fiber reinforced plastic composites
  3. Laminar wood – plastic composites
1. Impregnated wood – plastic composites ( WPC ) มีหลักการ คือ
    - นำไม้ใส่ถัง แล้วบีบอากาศออก เพื่อดึงอากาศในเนื้อไม้ออกมา
    - จากนั้นเติมมอนอเมอร์ ซึ่งปกติคือ Vinyl มอนอเมอร์ เช่น MMA , Styrene , Vinyl acetate
    - ทำการไหลมอนอเมอร์ที่ไม่ได้ถูกดูดซับด้วยไม้ ออก ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้
    - นำไม้ไปฉายรังสีแกมมา หรือ รังสีอิเล็กตรอน ที่ความเข้ม 5 – 20 kGy
    - จะได้ชิ้นไม้ที่มีพอลิเมอร์แทรกอยู่ในลักษณะ Interpenetrating network

สมบัติเชิงกลและสมบัติกายภาพของ WPC กล่าวคือ

- Hardness
- Tensile and compressive strength
- Elastic modulus
- Shear strength
- Shrinkage , Dimensional stability distortion และ Resistance to biological degradation ดีขึ้น แต่ Water absorption ลดลง

2. Wood - fiber reinforced Plastic ( WFRP) โคบาย Backland มีหลักการดังนี้

- นำไม้มาทำการฉายรังสีแกมมา หรือรังสีอิเล็กตรอน
- นำไม้ที่ผ่านการฉายรังสีแล้วมาทำการปรับสภาพผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผสมพอลิเมอร์กับ ไม้ใน Brabender
  - พอลิเมอร์ที่ผสมแล้ว นำมาเก็บอยู่ในรูปเม็ดแล้วนำไปขึ้นรูปได้ตามต้องการ
- เราอาจปรับสภาพผิวเทอร์โมพลาสติกด้วยขมวลออลิกแอนไฮดราตต์ เพื่อให้เกิดแรงยึดกับ

เซลล์โลสที่ใช้เป็นสารตัวเติมเสริมแรง

นอกจากนี้อาจทำการปรับสภาพผิวเส้นใยโดยใช้ สาร Coupling agent ได้แก่

- Alkoxy silane
- Vinyl tri(2-methoxy ethoxy) silane
- Silicone acrylate
- Polyphenylisocyanate

ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เคลือบผิวเส้นใยแก้ว สำหรับเป็นสารเสริมแรงในเทอร์โมเซต

อาจมีการเติมสารช่วยในการขึ้นรูป เช่น

- Calcium stearate
- Ethylene wax
- Magnesium stearates

ในทางปฏิบัติ Reactive additive จะใส่ทันทีที่เส้นใยผ่านการฉายแสงในอากาศที่อุณหภูมิห้อง โดยการเอา Reactive additive มาละลายใน Vinyl monomer และตัวทำละลาย เช่น Acetone ให้พ่นหรือจุ่มไม้ลงไป แล้วนำมาผสมกับพลาสติกในเครื่องผสม ข้อควรระวังคือ ถ้าแรง Shear และอุณหภูมิสูงเกินไป รวมทั้งเวลาในการผสมนานเกินไปทำให้เส้นใยอาจถูกทำลายได้

### 3. Laminar wood - plastic composites ( การเคลือบไม้โดยใช้รังสี ) มีหลักการดังนี้

- นำไม้ผสมกับ Multifunction reactive oligomer, Unsaturated oligoester และ Difunctional monomer
- นำส่วนผสมทั้งหมดมาทำการฉายรังสี ซึ่งสามารถฉายได้ 2 แบบ โดยแต่ละแบบมีข้อกำหนดคือ

#### UV

- ต้องมี Photo initiator เพื่อรับพลังงานแสง UV
- ไร้สีดีเมื่อ ไม่มี Pigment ผสมในพอลิเมอร์
- สามารถ Cure พอลิเมอร์ที่ผิวได้

#### Electron Beam

- ไม่ต้องใส่ Photo initiator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Cure พอลิเมอร์ได้ลึกกว่า UV
- ใช้กับพอลิเมอร์มีสีได้

### ข้อดีในการใช้รังสีเคลือบไม้

เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง ไม่ต้องใช้ความร้อน ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อเนื้อไม้ สดมสภาพเนื่องจากการระเหยของตัวทำละลาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การวิจัยและการดำเนินงาน

##### 3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้

1. เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนของ HMC (6331) : บริษัทเสี่ยคเซ็ง จำกัด
2. ซานอ้อย : โรงงานผลิตกระดาษ
3. อีโพลีนแวกซ์ (Epolene wax) : Merck
4. Trimethylol propane triacrylate (TMPTA) : Merck
5. เมทานอล : Merck
6. เอทานอล : Merck

##### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องผสมระบบเปิด Brabender (Plasti - corder PL2100)
2. เครื่องผสมแห้ง (High speed mixer)
3. เครื่องตัดชิ้นงาน CEAST 6052
4. เครื่องทดสอบสมบัติแรงกลด้วยคอมพิวเตอร์ และโปรแกรม WINDAP : LLOYD INSTRUMENTS LTD.
5. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Differential scanning calorimeter, DSC) : Shimadzu Co.,LTD.
6. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analyzer, TGA) รุ่น TGA51
7. เครื่องฉายรังสีแกมมา (Gamma cell 220) : สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ
8. เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Scanning electron microscope, SEM) รุ่น SEM JSM-6400 SCANNING MICROSCOPE : ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9. เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection molding machine) “Cosmo” รุ่น TTI 220/80 : บริษัท ประทานเจริญ จำกัด
10. เครื่องชั่ง
11. ไมโครมิเตอร์
12. เวอร์เนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. เครื่องโพลาริซ์ไมโครสโคป
14. ชุดให้ความร้อนแก่เครื่องมือโพลาริซ์ไมโครสโคป (Hot stage)
15. เครื่องทดสอบ Deflection temperature under load (DTUL)

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมเส้นใยอ้อย

นำขานอ้อยที่ผ่านเครื่องบดรีดเอาน้ำอ้อยออกแล้ว มาตากแดดเพื่อไล่ความชื้นเป็นเวลา 1 สัปดาห์ แล้วนำขานอ้อยมาทำการคัดแยกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยใช้ตะแกรงขนาด 10 mesh ซึ่งจะได้เส้นใยอ้อยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.0 mm แล้วนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งหยาบในปริมาณ 10 % ของน้ำหนักคอมพอลสิต

#### 3.3.2 การปรับสภาพผิวของเส้นใย

##### 3.3.2.1 การใช้ Epolene wax เป็นสารช่วยกระจาย

1. นำเส้นใยอ้อยที่ชั่งน้ำหนักแล้วมาใส่ใน High speed mixer
2. เติม Epolene wax ลงไปบนเส้นใยในปริมาณ 10 % ของน้ำหนักเส้นใย
3. ทำการปั่นผสมด้วยความเร็ว 1500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

##### 3.3.2.2 การใช้วิธีฉายรังสี

นำเส้นใยอ้อยที่ชั่งน้ำหนักแล้วมาทำการฉายรังสีแกมมาที่ความเข้ม 10 kGy

##### 3.3.2.3 การใช้สารเชื่อมใย

1. นำขานอ้อยที่ไม่ฉายรังสีมาชั่งน้ำหนักแล้วมาใส่ใน High speed mixer
2. ชั่ง TMPTA เป็นปริมาณ 10 % ของน้ำหนักเส้นใย นำมาละลายในเมทานอล 100 ml แล้วผสมลงไปบนเส้นใยให้ทั่ว
3. ทำการปั่นผสมด้วยความเร็ว 1500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

##### 3.3.2.4 การฉายรังสีและใช้สารเชื่อมใย

1. นำเส้นใยอ้อยที่ชั่งน้ำหนักแล้วไปทำการฉายรังสีแกมมาที่ความเข้ม 10 kGy ในอากาศ
2. นำเส้นใยอ้อยใส่ในบีกเกอร์ที่มีตัวทำละลาย (เอทานอล) 1000 ml และมี TMPTA 10 % ของน้ำหนักเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ให้ความร้อนแก่เส้นใยที่อยู่ในตัวทำละลายจนถึงจุดเดือดของเอทานอลที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส
4. ปลอຍให้เกิดปฏิกิริยาประมาณ 2 ชั่วโมง
5. เอาออกจาก Hot plate และตั้งไว้ให้เย็น
6. นำเส้นใยออกมาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

### 3.3.3 การผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยอ้อย

ในทุกสูตรมีขั้นตอนการผสมและขึ้นรูปดังนี้

1. ทำการผสมพลาสติกและขึ้นรูปขึ้นงานตัวอย่าง โดยนำพอลิพรอพิลีนและเส้นใยอ้อยในสูตรต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.1 มาผสมกันในเครื่อง High speed mixer ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงสูตรผสมพลาสติกที่ใช้ในการศึกษา

สูตร	% PP	% Fibers (FB)	Fibers treatment		
			10% Epolene wax (EP)	10 kGy Irradiation (IRR)	10% TMPTA
1	100	-	-	-	-
2	90	10	-	-	-
3	90	10	*	-	-
4	90	10	-	*	-
5	90	10	-	-	*
6	90	10	-	*	*

2. นำพลาสติกที่ผสมจากเครื่อง High speed mixer แล้วมาทำการผสมในเครื่องผสมระบบปิด Brabender ซึ่งต่ออยู่กับเครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนอนคู่ (Twin screw extruder) โดยสภาวะที่ใช้มีดังนี้
  - อุณหภูมิที่ใช้ในการผสมเป็น 160 170 170 180 องศาเซลเซียส
  - ความเร็วรอบในการผสม 10 รอบต่อนาที

เอกสารนี้ 3. นำพลาสติกที่ผ่านการผสมแล้วไปเข้าเครื่องบดตัดพลาสติก บดจนขนาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำเม็ดพลาสติกที่ผ่านการบดตัดแล้วมาเข้าเครื่อง Injection molding machine ในแม่พิมพ์รูปดัมเบลล์และ Izod โดยสภาวะที่ใช้แสดงในภาคผนวก ข.

### 3.4 การทดสอบ

#### 3.4.1 สมบัติเชิงกล

##### 1. Tensile properties

สมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ Tensile strength, % Elongation และ Modulus of elasticity โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล และโปรแกรม WINDAP ในการคำนวณ ตามมาตรฐาน ASTM D 638M<sup>12</sup> เตรียมชิ้นงานโดยวิธีการฉีดขึ้นรูป ใช้ชิ้นงานจำนวน 8 ชิ้น และสภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ

Load cell	30 KN
Test speed	25 mm/min
Grammage	1.0 g/m <sup>2</sup>
Cell class	0.5
Guage length	70 mm

##### 2. ความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance)

ทำการทดสอบโดยเครื่อง Yazuda 199311 ตาม ASTM D 256-87<sup>13</sup> Method A (Izod type) เตรียมชิ้นงานโดยวิธีฉีดขึ้นรูป ใช้ชิ้นงานจำนวน 8 ชิ้น กำหนดโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

##### 3. ค่าความแข็ง (Rockwell hardness)

ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Rockwell Hardness Tester ของ Matsuzawa รุ่น DXT ตาม ASTM D 785-89<sup>14</sup> Procedure A วัดโดยใช้ Shore D ลักษณะพื้นผิวของวัสดุที่นำมาทดสอบต้องเรียบ มีความหนาไม่ต่ำกว่า 6 mm โดยทำการทดสอบ 3 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่าง

##### 4. ความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance)

ทำการทดสอบโดยเครื่อง 5130 Abraser ของ Taber ตาม ASTM D 1242-87A<sup>15</sup> Method A ใช้หินขัดละเอียดเบอร์ H-18 น้ำหนัก 500 GR ทำการขัดถู 1000 รอบ เตรียมชิ้นงานโดยใช้เครื่องอัดรีด (แม่พิมพ์หนา 1 mm) แล้วตัดชิ้นงานให้เป็นแผ่นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.15 cm ใช้ชิ้นงานจำนวน 11 ชิ้น ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากดูหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Volume Loss} = (\text{น้ำหนักก่อนจัดถู} - \text{น้ำหนักหลังจัดถู}) / \text{ความหนาแน่น}$$

### 5. ความหนาแน่น

ทำการทดสอบหาความหนาแน่นโดยการชั่งน้ำหนักของวัตถุในอากาศ และในเมทานอล โดยอาศัยหลักการของ Boyence ใช้ชิ้นงานลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาดประมาณ  $2 \times 3 \times 0.2 \text{ cm}^3$  โดยใช้ชิ้นงานจำนวน 3 ชิ้น ซึ่งสามารถคำนวณความหนาแน่นได้จาก

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{(\text{น้ำหนักแห้ง} \times \text{ความหนาแน่นเมทานอล})}{(\text{น้ำหนักแห้ง} - \text{น้ำหนักในเมทานอล})}$$

ซึ่งความหนาแน่นของเมทานอลจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นเมทานอล} = -0.001 T + 0.0812$$

เมื่อ  $T$  คืออุณหภูมิของเมทานอล (ขณะทดลองคือ 28.5 องศาเซลเซียส)

### 3.4.2 สมบัติทางความร้อน

#### 1. Differential scanning calorimeter (DSC)

ชั่งพลาสติกใส่ Pan สำหรับทดสอบด้วยเครื่อง DSC จำนวน 5 - 10 mg ให้ทราบปริมาณสารที่แน่นอน แล้วนำไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC โดยใช้อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิสูงสุด 200 องศาเซลเซียส

จากนั้นนำมาทำการศึกษาอุณหภูมิตกผลึก ( $T_c$ ) อุณหภูมิการหลอมเหลว ( $T_m$ ) และพื้นที่ใต้กราฟ การคำนวณหา Heat of crystallization ( $\Delta H_c$ ) และ Heat of fusion ( $\Delta H_f$ ) ต่อหน่วยสารตัวอย่างดังนี้

$$\Delta H = \frac{\text{พ.ท. ใต้กราฟ (mJ)}}{\text{น.น.สารตัวอย่าง (mg)}}$$

แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาองศาของการเกิดผลึก (Degree of crystallinity) จากสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{Degree of crystallinity} = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_c} \times 100$$

209

#หมายเหตุ# degree of crystallinity ของพอลิพรอพิลีนเป็น 209 จากหนังสืออ้างอิง<sup>16</sup>

## 2. Thermogravimetric analysis (TGA)

ซึ่งตัวอย่างพอลิเมอร์ใส่ Pan สำหรับเครื่อง TGA จำนวน 20 – 30 mg ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA โดยใช้อัตราการให้ความร้อน 20 องศาต่อนาที อุณหภูมิสูงสุด 500 องศาเซลเซียส จากกราฟที่ได้หาค่าอุณหภูมิ T on set

## 3. Deflection temperature under load (DTUL)

ทำการทดสอบตาม ASTM D 648<sup>17</sup> ใช้ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่มีขนาดประมาณ 4 x 127 x 10 mm<sup>3</sup> ใช้จำนวนชิ้นงาน 3 ชิ้น แล้วหาค่าอุณหภูมิ DTUL ที่ชิ้นงานพอลิเมอร์บุ๋มลงไป 0.01 นิ้ว ภายใต้แรงกด 264 psi

### 3.4.3 สัณฐานวิทยา (Morphology)

#### 1. กระบวนการเกิดผลึกของพอลิพรอพิลีนและพอลิพรอพิลีนคอมพอลสิต

ทำการศึกษาความแตกต่างของสเฟียรูไลท์ในระยะเริ่มเกิดผลึก และระยะเติบโตของผลึกพอลิพรอพิลีน และพอลิพรอพิลีนคอมพอลสิต โดยใช้เครื่องโพลาริซ์ไมโครสโคป แบบสภาวะร้อน (Hot stage) โดยใช้อัตราเร็วในการหลอมเหลว 30 องศาเซลเซียสต่อนาที และอัตราเร็วในการตกผลึก 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

#### 2. Scanning Electron Microscope (SEM)

ทำการศึกษาโดยใช้ SEM JSM - 6400 ศึกษาจากภาพตัดขวางลักษณะของพื้นผิวพอลิเมอร์ที่เกิดจากการแตกหักโดยการกระแทก เตรียมตัวอย่างโดยนำพอลิเมอร์ที่ได้จากการแตกหักมาทาดำด้วยคาร์บอน (Carbon-12) จากนั้นนำไปเคลือบด้วยทองคำ

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 การศึกษาสัณฐานวิทยา

1. การศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิพรอพิลีนและคอมพอลสิตด้วย SEM

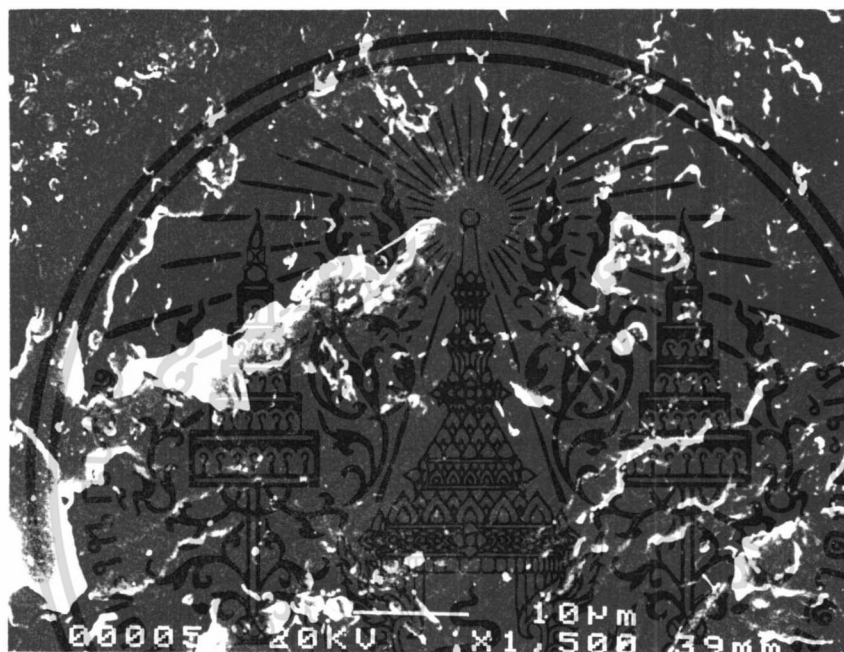
SEM เป็นการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุ ซึ่งจากการศึกษาพื้นผิวที่แตกหักจากแรงกระทำของพอลิพรอพิลีนด้วยกำลังขยาย 1500 เท่า พบว่ามีลักษณะพื้นผิวที่เป็นชั้น ๆ และไม่มีฟองอากาศดังรูปที่ 4.1 สำหรับภาพพื้นผิวของคอมพอลสิตที่มีทานอ้อยที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพผิวกำลังขยาย 800 เท่า พบว่าที่รอยต่อระหว่างวัฏภาคของเส้นใยและพอลิพรอพิลีนนั้นมีการแยกวัฏภาคกันอย่างชัดเจน และลักษณะพื้นผิวของคอมพอลสิตมีลักษณะเดียวกับของพอลิพรอพิลีนดังรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับภาพถ่ายกำลังขยาย 3500 เท่าของคอปอลสิตซึ่งมีทานอ้อยที่ทำการปรับสภาพผิวแล้วดังรูปที่ 4.3

จากภาพถ่ายพื้นผิวกำลังขยาย 3700 ของเส้นใยอ้อยที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพผิวซึ่งผสมอยู่ในพอลิพรอพิลีนพบว่ามีลักษณะผิวที่เป็นชั้น ๆ เนื่องจากมีพอลิพรอพิลีนเคลือบอยู่ดังรูปที่ 4.4 แต่หลังจากทำการปรับสภาพผิวของเส้นใยด้วยการฉายรังสีและต่อกิ่งด้วย TMPTA พบว่าผิวของเส้นใยที่ผสมในพอลิพรอพิลีนมีลักษณะเรียบขึ้นเล็กน้อย แต่คล้ายกับแบบแรกดังรูปที่ 4.5 (กำลังขยาย 10000 เท่า) อาจสันนิษฐานได้ว่าการต่อกิ่งด้วย TMPTA โดยวิธีนี้ไม่สามารถทำได้

2. การศึกษากระบวนการตกผลึกของพอลิพรอพิลีนและพอลิพรอพิลีนคอมพอลสิต

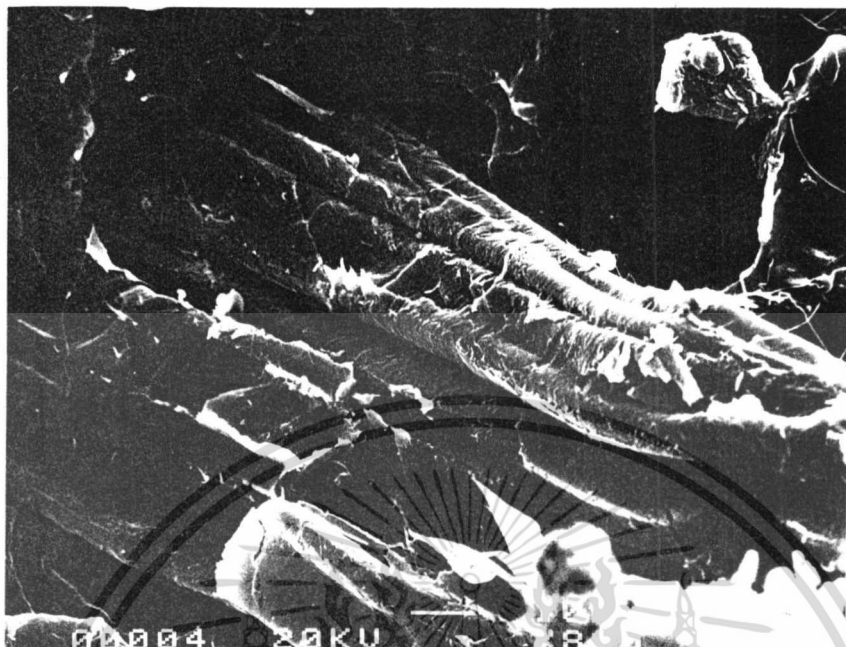
จากรูปที่ 4.7 แสดงลักษณะ Spherulite ของพอลิพรอพิลีนคอมพอลสิต จะเห็นได้ว่าเกิด Transcrystalline ซึ่งจะส่งผลให้ผลึกสามารถยึดเกาะกับเส้นใยได้ดีขึ้น พร้อมกับเสริมสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น

นอกจากนี้ ถ้าสังเกตขนาดผลึกของพอลิพรอพิลีนรูปที่ 4.6 จะพบว่ามีขนาดใหญ่กว่าพอลิพรอพิลีนคอมพอลสิต ซึ่งจะทำให้พอลิเมอร์คอมพอลสิตมีความเหนียวมากขึ้น

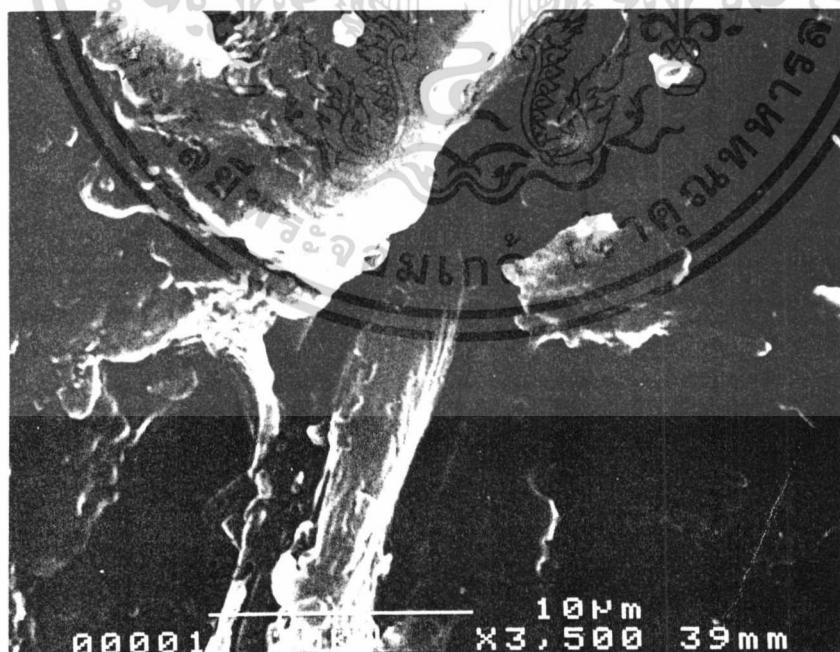


รูปที่ 4.1 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิพรอพิลีนตัวทำสิ่งขยาย 1500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

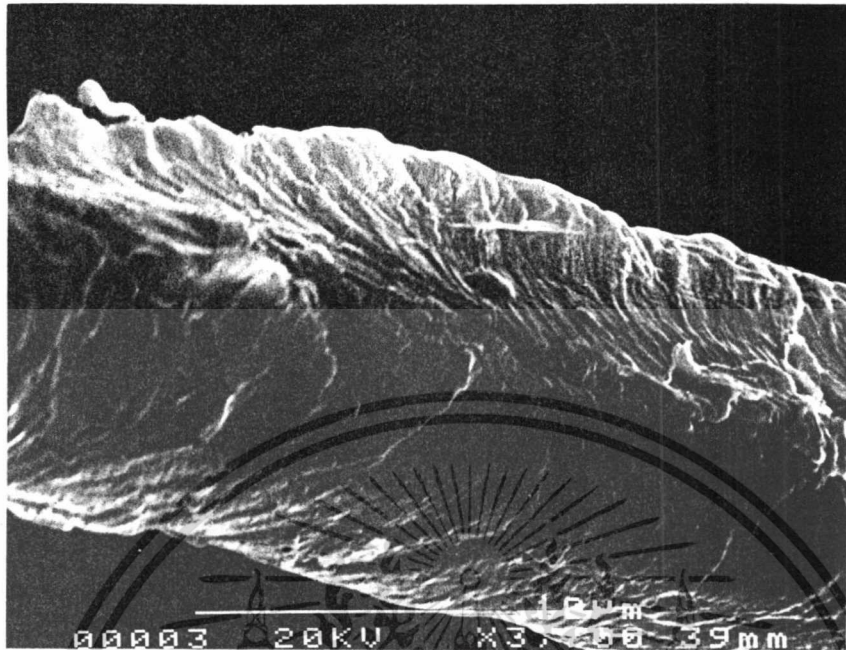


รูปที่ 4.2 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 800 เท่า แสดงลักษณะของพื้นผิวของบอลลินที่มีเส้นใยอ้อยที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพผิว



รูปที่ 4.3 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 3500 เท่า แสดงลักษณะของพื้นผิวของบอลลินที่มี

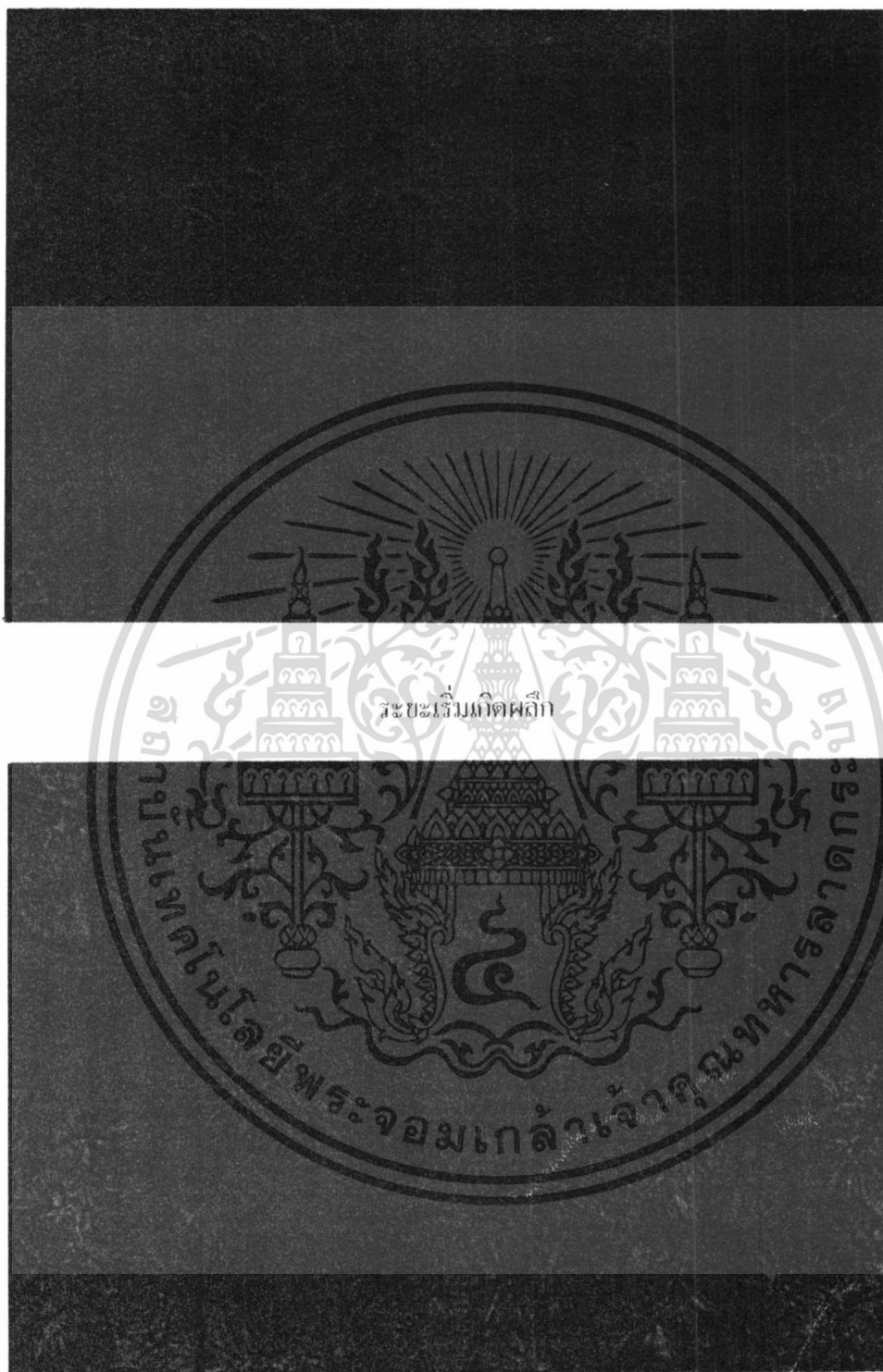
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 เส้นใยอ้อยที่ทำการปรับสภาพผิวด้วยการฉายรังสีและต่อเติมด้วย TMPCa  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 3700 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวของเส้นใยอ้อยที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพผิวที่ผสมในพอลิพรอพิลีน



รูปที่ 4.5 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 10000 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวของเส้นใยอ้อยที่เอกสารนี้เป็นท่าแรกปรับสภาพผิวที่ผสมในพอลิพรอพิลีน เขาเท่านั้น ไม่นุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ระยะเติบโตของผลึก

รูปที่ 4.6 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดโพลาไรซ์กำลังขยาย 10 เท่าแสดงกระบวนการเกิดผลึกของพอลิพรอพิลีน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ระยะเติบโตของผลึก

รูปที่ 4.7 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดโพลาไรซ์กำลังขยาย 10 เท่า แสดงกระบวนการเกิดผลึก

ของคอมพอสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

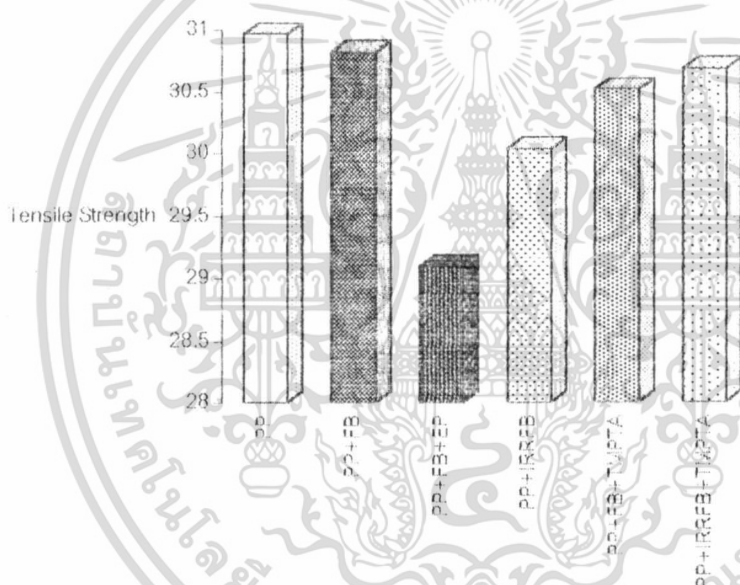
## 4.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตจากเครื่อง Tensile

สูตร	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Modulus (MPa)
1	30.96	11.79	204.7
2	30.82	7.33	390.0
3	29.10	6.55	263.6
4	30.04	6.34	408.6
5	30.52	6.51	396.8
6	30.69	6.71	481.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

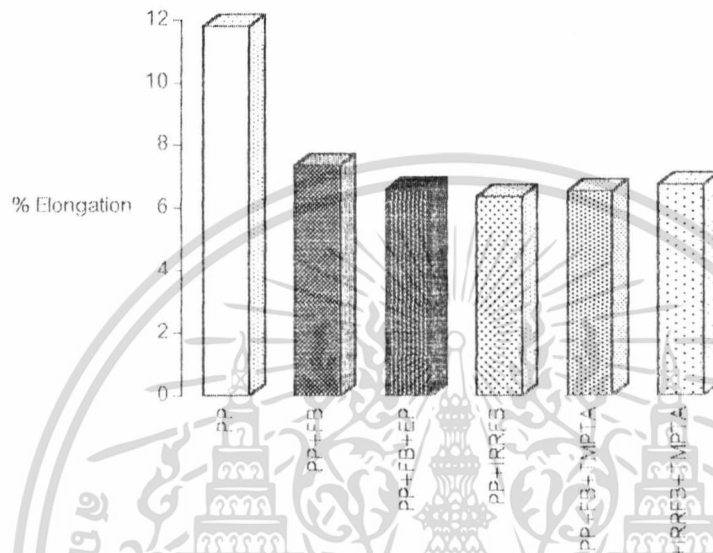
จากรูปที่ 4.8 พบว่าค่า Tensile strength ของคอมพอลิเมอร์ทุกสูตรมีค่าต่ำกว่าพอลิพรอพิลีนเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการเติมเส้นใยลงไปปริมาณ 10 % แทบจะไม่มีผลต่อค่า Tensile strength เลย แต่ในสูตรที่ 3 ซึ่งมี Epolene wax ให้ค่า Tensile strength ต่ำที่สุดอาจเป็นผลจากขั้นตอนการเตรียมเส้นใยซึ่งเส้นใยจะถูกปั่นกวนเพื่อผสมเข้ากับ Epolene wax ใน High speed mixer ก่อนแล้วจึงนำมาผสมกับพอลิเมอร์ เส้นใยจึงถูกทำลายมากกว่าสูตรอื่นและทำให้สามารถทนทานต่อแรงดึงได้ต่ำลง ส่วนในสูตรที่ 5 ซึ่งเส้นใยถูกนำมาปั่นผสมกับสารละลายของ TMPTA ก่อนเช่นกันแต่สาเหตุที่ทำให้ค่า Tensile strength ไม่ต่ำเท่ากับสูตรที่ 3 อาจเนื่องมาจากเส้นใยจะถูกทำให้ชื้นด้วยตัวทำละลายเมทานอล และเมื่อนำมาปั่นจะทำให้เส้นใยไม่ถูกทำลายมากเท่ากับการปั่นเมื่อเส้นใยแห้ง



รูปที่ 4.8 แสดงค่า Tensile strength ของคอมพอลิเมอร์

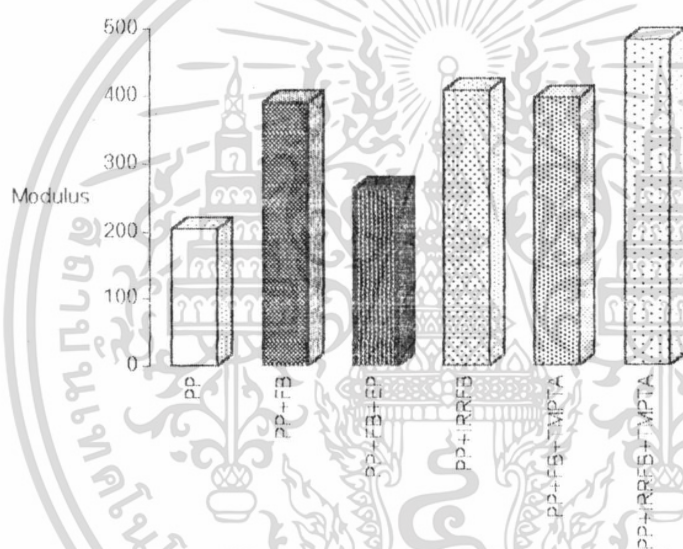
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 พบว่าค่า % Elongation ของคอมพอลิเมอร์มีค่าลดลงประมาณ 40 % เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีน ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยอ้อยจะไปขัดขวางการยืดของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อได้รับแรงดึง นอกจากนี้ผลจาก Spherulite พบว่าเส้นใยก่อให้เกิดผลึกได้เร็วและมีปริมาณผลึกเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้พอลิเมอร์มีความแข็ง (Stiffness) เพิ่มขึ้นจึงยืดได้น้อยลง



รูปที่ 4.9 แสดงค่า % Elongation ของคอมพอลิเมอร์

จากรูปที่ 4.10 แสดงค่า Modulus ของคอมพอลิเมอร์ที่มีค่าสูงกว่าพอลิพรอพิลีน แสดงว่าการเติมเส้นใยอ้อยลงไปในพอลิพรอพิลีนมีผลทำให้คอมพอลิเมอร์มีความแข็ง (Stiffness) เพิ่มขึ้น แต่ในสูตรที่ 3 ซึ่งมี Epolene wax เป็นสารช่วยกระจายนั้น พบว่ามีค่า Modulus ต่ำกว่าคอมพอลิเมอร์ในสูตรอื่น ๆ แต่ยังคงสูงกว่าพอลิพรอพิลีน อาจเป็นผลมาจากการที่เส้นใยถูกทำลายมากกว่าคอมพอลิเมอร์สูตรอื่น ๆ แต่ก็สามารถก่อให้เกิดผลึกมากได้เช่นกัน นอกจากนี้จากภาพถ่าย SEM พบว่ามีพอลิพรอพิลีนเคลือบติดอยู่บนผิวของเส้นใยอ้อยที่ผ่านการฉายรังสีและตอกลงด้วย TMPA ที่อยู่ในคอมพอลิเมอร์สูตรที่ 6 และมีลักษณะผิวที่เรียบกว่าเส้นใยอ้อยที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพผิวที่อยู่ในคอมพอลิเมอร์สูตรที่ 2 ซึ่งอาจจะส่งผลให้เส้นใยอ้อยในสูตรที่ 6 สามารถเกิดแรงยึดและก่อให้เกิดผลึกได้ดีกว่าคอมพอลิเมอร์สูตรที่ 2 จึงมีค่า Modulus สูงที่สุด



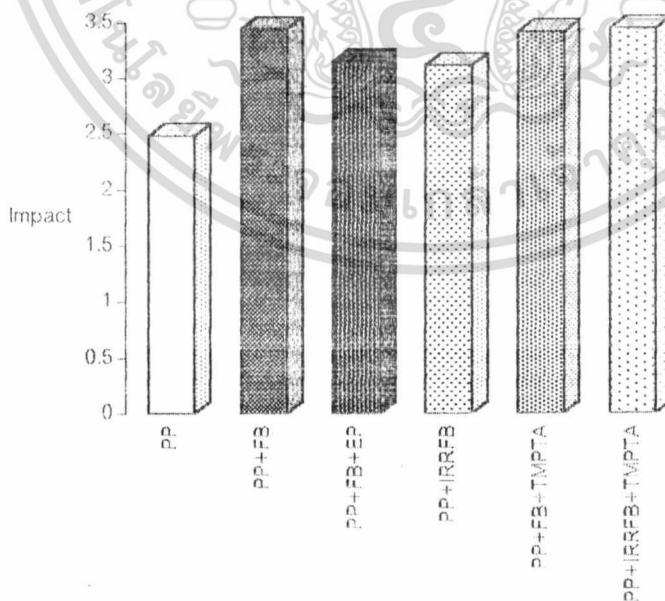
รูปที่ 4.10 แสดงค่า Modulus ของคอมพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 สมบัติเชิงกลอื่น ๆ ของคอมพอสิต

สูตร	Impact strength (Kgf.cm/cm)	Hardness	Abrasion loss (cm <sup>3</sup> /1000 cycles)	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )
1	2.48	66.0	0.0583	0.8149
2	3.44	69.5	0.0312	0.8050
3	3.15	69.0	0.0352	0.8201
4	3.12	68.5	0.0504	0.8317
5	3.42	68.8	0.0466	0.8278
6	3.45	69.5	0.0491	0.8077

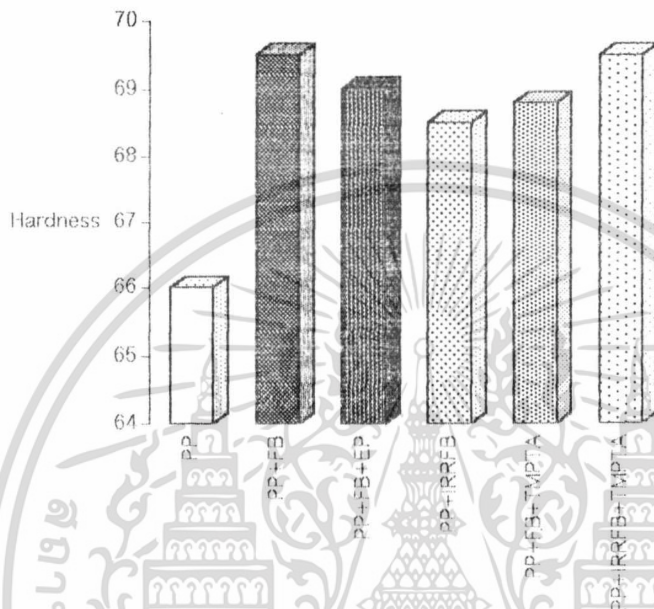
จากรูปที่ 4.11 พบว่าค่า Impact ของคอมพอสิตทุกสูตรมีค่าสูงกว่าพอลิพรอพิลีน และมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงว่าเส้นใยอ้อยกับพอลิพรอพิลีนมีแรงยึดระหว่างกันดี และจากภาพถ่าย SEM ของเส้นใยอ้อยทั้งสองสูตรพบว่าพอลิพรอพิลีนเคลือบติดอยู่ที่ผิวของเส้นใยอ้อย จึงทำให้สามารถส่งผ่านแรงได้ดี นอกจากนี้ผลจาก Spherulite แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์สามารถเกิด Transcrystalline บนเส้นใยได้และคอมพอสิตมีความเหนียวเนื่องจากมีขนาดผลึกที่เล็กลง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าค่า Impact ที่สูงขึ้นเป็นผลเนื่องจากการเติมเส้นใยอ้อยเท่านั้น



รูปที่ 4.11 แสดงค่า Impact ของคอมพอสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

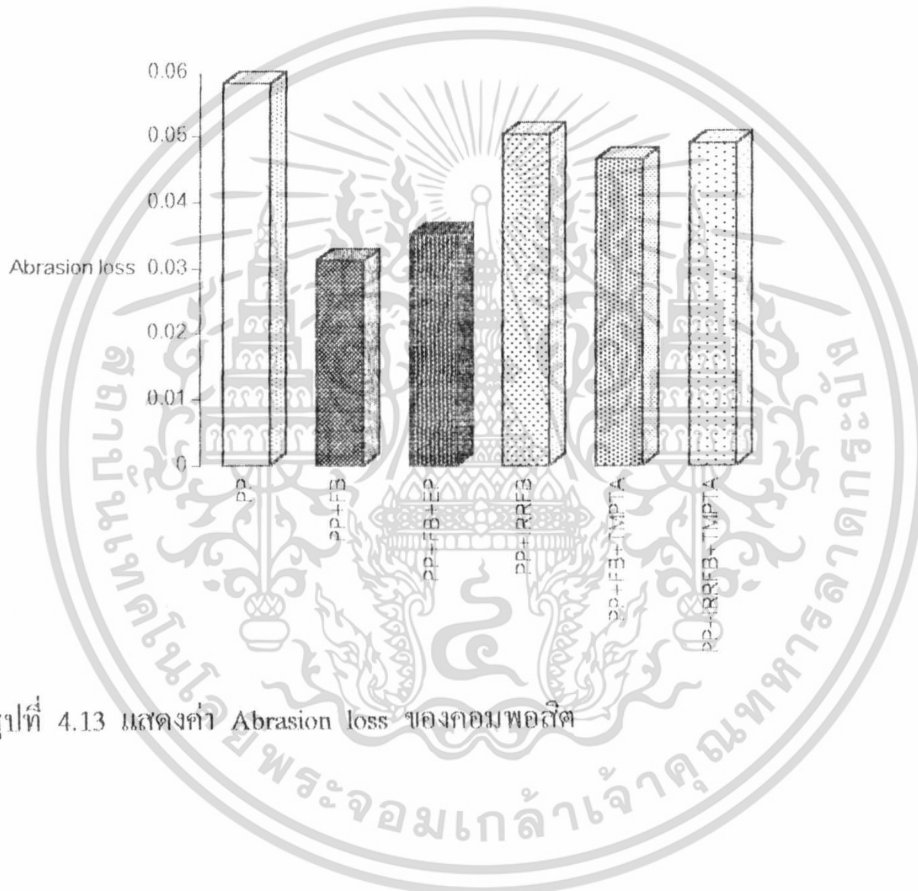
จากรูปที่ 4.12 พบว่าค่า Hardness ของคอมพอลิโตนีมีค่าสูงกว่าพอลิพรอพิลีนและมีค่าใกล้เคียงกันทุกสูตร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเส้นใยอ้อยก่อให้เกิดผลึกและตกผลึกเร็วขึ้น ผลึกมีขนาดเล็กแต่มีปริมาณมาก จึงทำให้ผิวของชิ้นงานพอลิเมอร์มีความแข็ง ซึ่งค่า Hardness ที่สูงขึ้นน่าจะเป็นเนื่องมาจากการเติมเส้นใยอ้อยลงไปในพอลิพรอพิลีน



รูปที่ 4.12 แสดงค่า Hardness ของคอมพอลิโตนี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 พบว่าค่า Abrasion loss ของคอมพอลิเมอร์มีค่าน้อยกว่าพอลิพรอพิลีน ทั้งนี้เนื่องจาก เส้นใยอ้อยก่อให้เกิดผลึกที่ผิวมากและมีแรงยึดเหนี่ยวกับพอลิเมอร์ได้ดี จึงทำให้คอมพอลิเมอร์มีความแข็งที่ผิว สามารถทนทานต่อการขัดถูได้สูงกว่าพอลิพรอพิลีน ซึ่งในสูตรที่ 2 และ 3 จะพบว่าสามารถทนทานต่อการขัดถูได้สูงที่สุด อาจเป็นเพราะว่าเส้นใยอ้อยที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพผิวและที่ทำการปรับสภาพผิวด้วย Epolene wax นั้น สามารถก่อให้เกิดผลึกที่ผิวได้ดีกว่าเส้นใยอ้อยที่ผ่านการฉายรังสี เส้นใยอ้อยที่ผสม TMPTA และเส้นใยอ้อยที่ฉายรังสีตามด้วยการตอ่กึ่งกับ TMPTA ในคอมพอลิเมอร์สูตรที่ 4 5 และ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 แสดงค่า Abrasion loss ของคอมพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

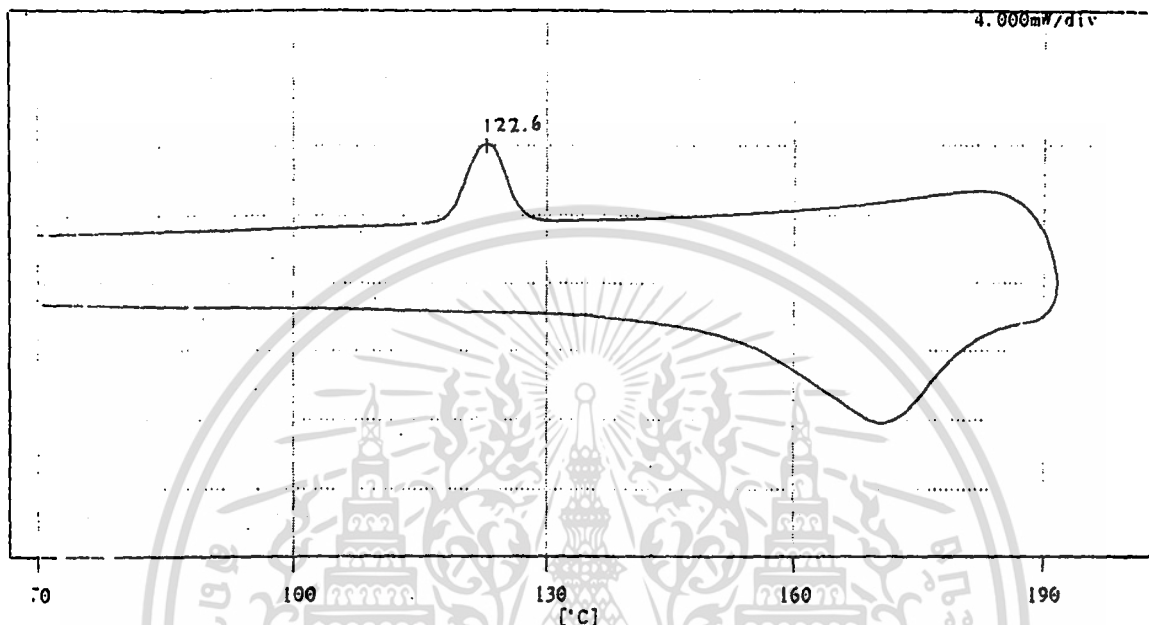
### 4.3 ศึกษาสมบัติทางความร้อน

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของคอมพอลิเมอร์ด้วยเครื่อง DSC

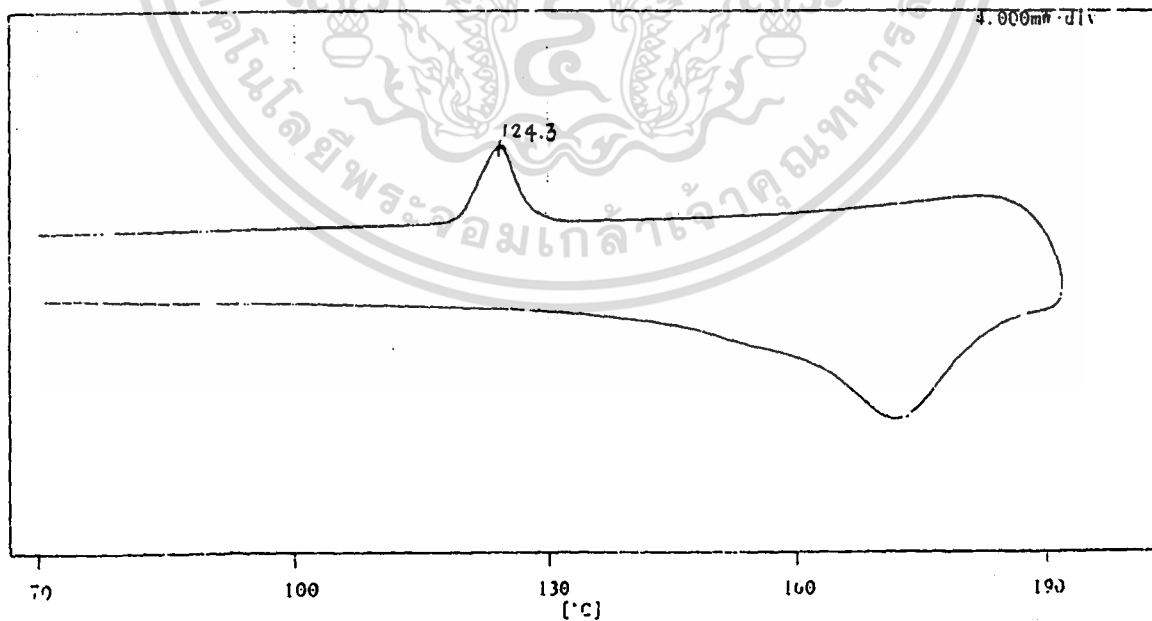
สูตร	อุณหภูมิหลอม เหลว (°C)	อุณหภูมิตกผลึก (°C)	degree of crystallinity ( $\Delta H_f$ )	degree of crystallinity ( $\Delta H_c$ )
1	170.5	122.6	26.87	35.74
2	171.6	124.3	31.01	38.56
3	171.1	125.2	31.16	37.98
4	171.9	124.4	33.03	35.84
5	171.4	125.0	27.51	37.06
6	171.0	124.9	31.82	35.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.14 และ 4.15 พบว่าลักษณะเทอร์โมแกรมของพอลิพรอพิลีนมีลักษณะคล้ายคลึงกับเทอร์โมแกรมของคอมพอสิต แตกต่างกันที่อุณหภูมิเท่านั้น



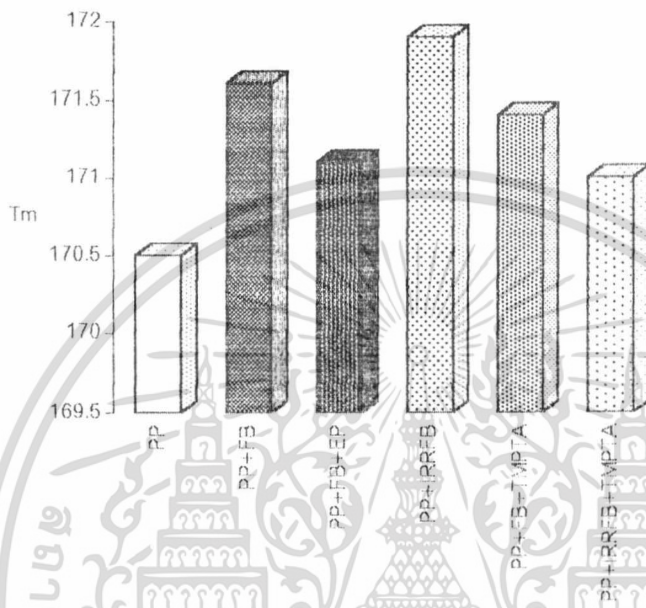
รูปที่ 4.14 แสดงเทอร์โมแกรมของพอลิพรอพิลีนจากเครื่อง DSC



รูปที่ 4.15 แสดงเทอร์โมแกรมของคอมพอสิตที่มีเส้นใยด้อยที่ไม่ได้ทำการรักษาสภาพผิวจากเครื่อง DSC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

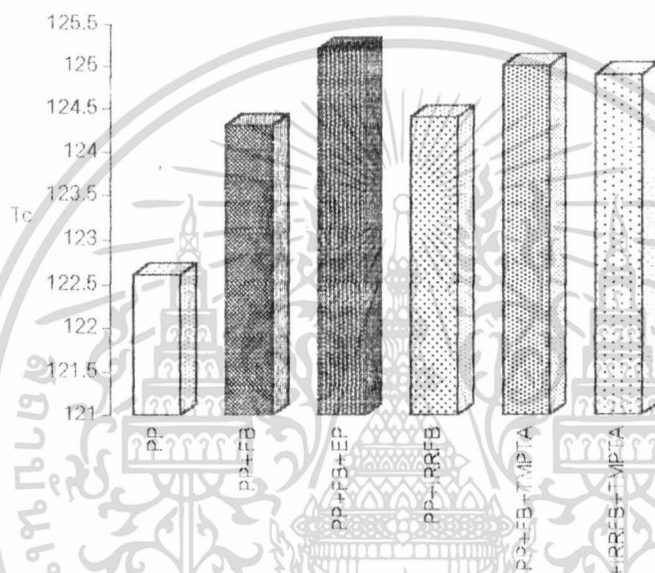
จากรูปที่ 4.16 พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวของคอมพอลิเมอร์มีค่าสูงกว่าพอลิพรอพิลีนเพียงเล็กน้อยและมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากพอลิพรอพิลีนสามารถเกิด Trancrystalline บนผิวของเส้นใยได้ จึงทำให้คอมพอลิเมอร์มีค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวสูงกว่าพอลิพรอพิลีน ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากการเติมเส้นใยอ้อยลงในพอลิพรอพิลีน



รูปที่ 4.16 แสดงค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวของคอมพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

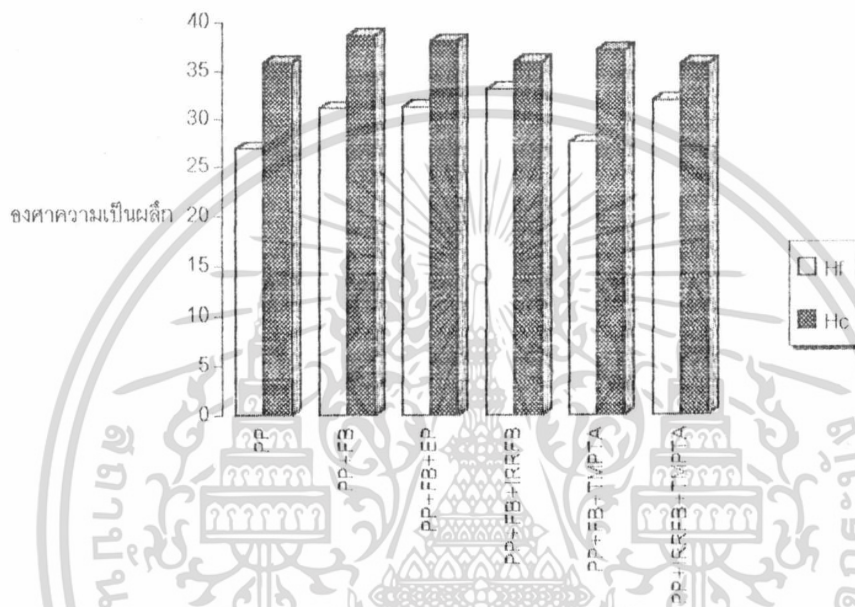
จากรูปที่ 4.17 อุณหภูมิการตกผลึกของคอมพอลิเมอร์มีต่ำกว่าพอลิพรอพิลีน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเส้นใยอ้อยมีสมบัติเป็นสารก่อผลึก (Nucleating agent) ซึ่งสามารถทำให้พอลิพรอพิลีนตกผลึกได้เร็วขึ้น โดยในสูตรที่ 3 5 และ 6 จะสังเกตเห็นว่าสามารถก่อให้เกิดผลึกได้เร็วอาจเป็นเพราะ Epolene wax และ TMPTA มีสมบัติช่วยเพิ่มอัตราเร็วในการตกผลึกของพอลิพรอพิลีน ส่วนในสูตรที่ 2 และ 4 ซึ่งมีอุณหภูมิในการตกผลึกใกล้เคียง ทั้งนี้คาดว่าน่าจะเป็นผลโดยตรงจากการเติมเส้นใยอ้อยลงในพอลิพรอพิลีน



รูปที่ 4.17 แสดงค่าอุณหภูมิการตกผลึกของคอมพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 พบว่า  $\Delta H_f$  และ  $\Delta H_c$  ของพอลิเมอร์คอมพอสิตมีค่าสูงกว่าพอลิพรอพิลีน กล่าวคือพอลิเมอร์คอมพอสิตมีความเป็นผลึกสูงกว่าพอลิพรอพิลีน ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากเส้นใยชื้อซที่เติมลงไปมีสมบัติก่อให้เกิดผลึกเร็ว และมีปริมาณความเป็นผลึกสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้พอลิเมอร์มีความแข็งมากขึ้น



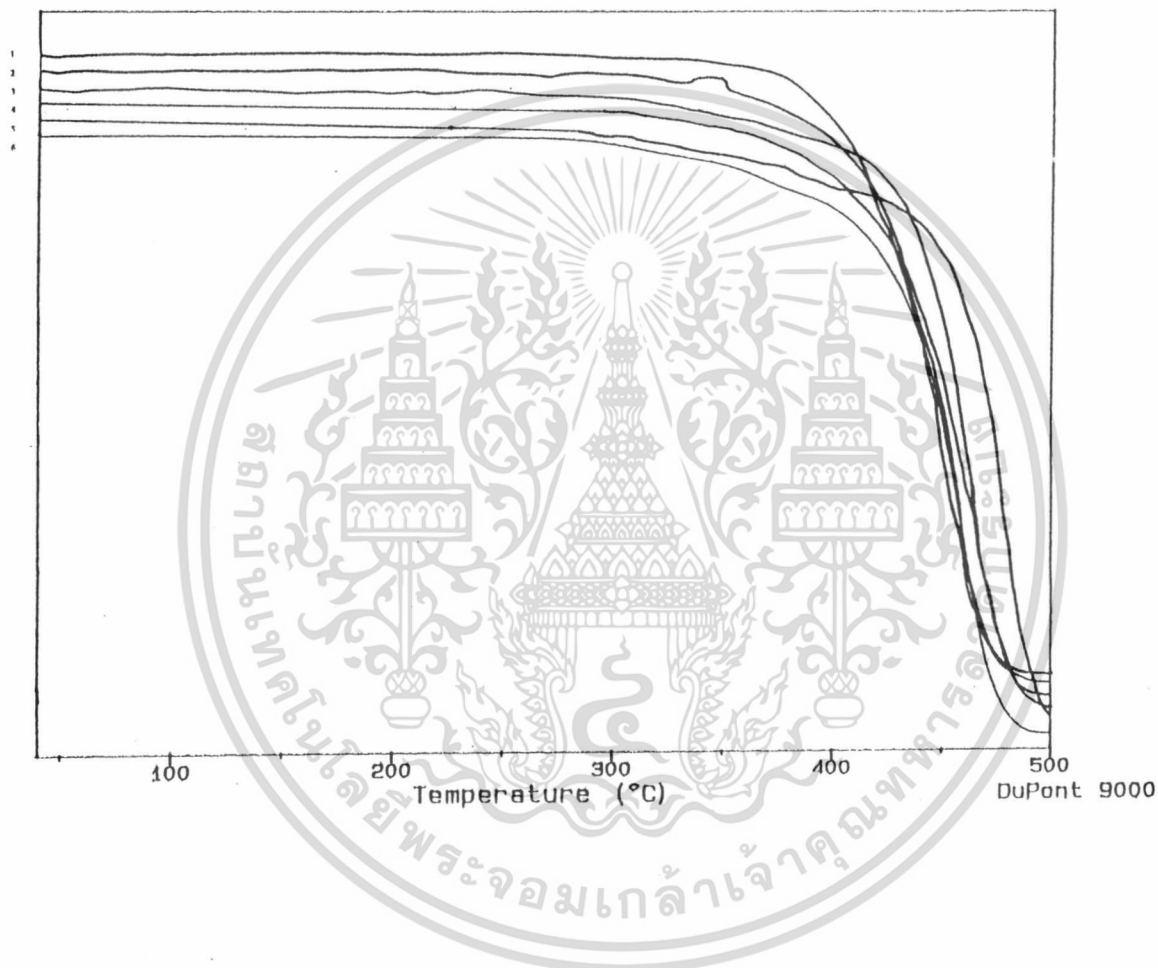
รูปที่ 4.18 แสดงค่าองศาความเป็นผลึกของคอมพอสิต

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง TGA และ DTUL

สูตร	T on set (°C)	DTUL (°C)
1	411	69.37
2	421	70.97
3	429	75.50
4	425	70.03
5	464	78.07
6	427	76.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

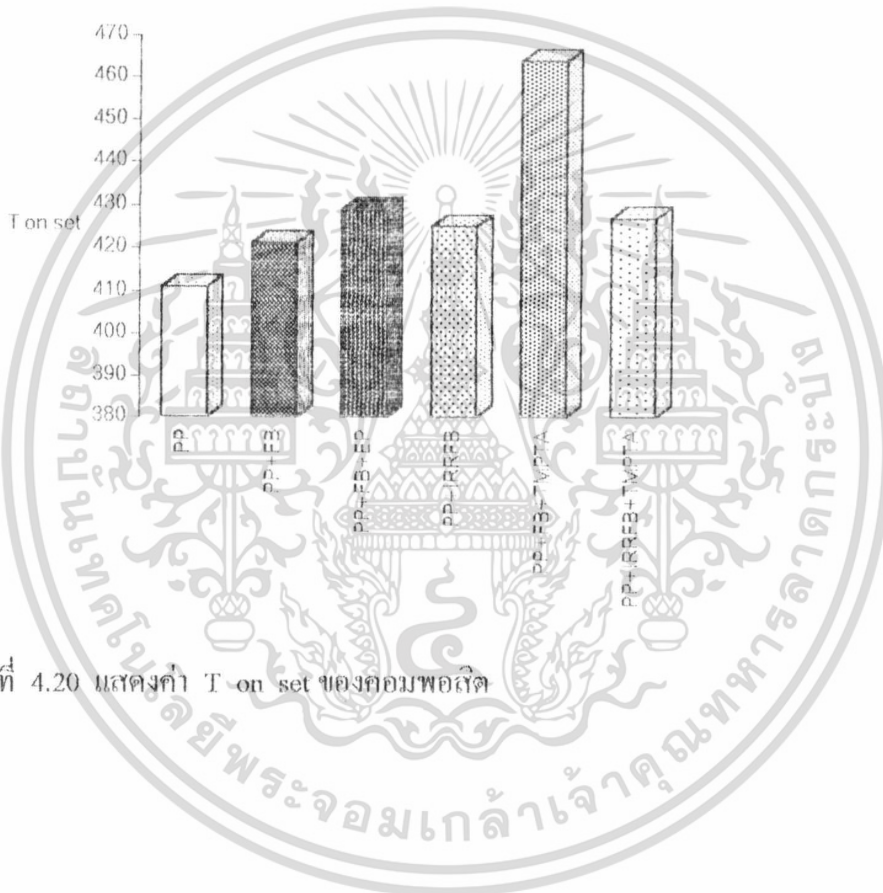
จากรูปที่ 4.19 พบว่าค่าอุณหภูมิที่พอลิพรอพิลีนเริ่มสลายตัวมีค่าต่ำกว่าของคอมพอลิเมอร์ที่มีการ Shift ของอุณหภูมิไปในทางที่สูงขึ้น กล่าวคือสามารถสลายตัวได้ช้ากว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและคงที่



1. PP
2. PP + FB
3. PP + FB + EP
4. PP + IRRFB
5. PP + FB + TMPTA
6. PP + IRRFB + TMPTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้กฎหมายที่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

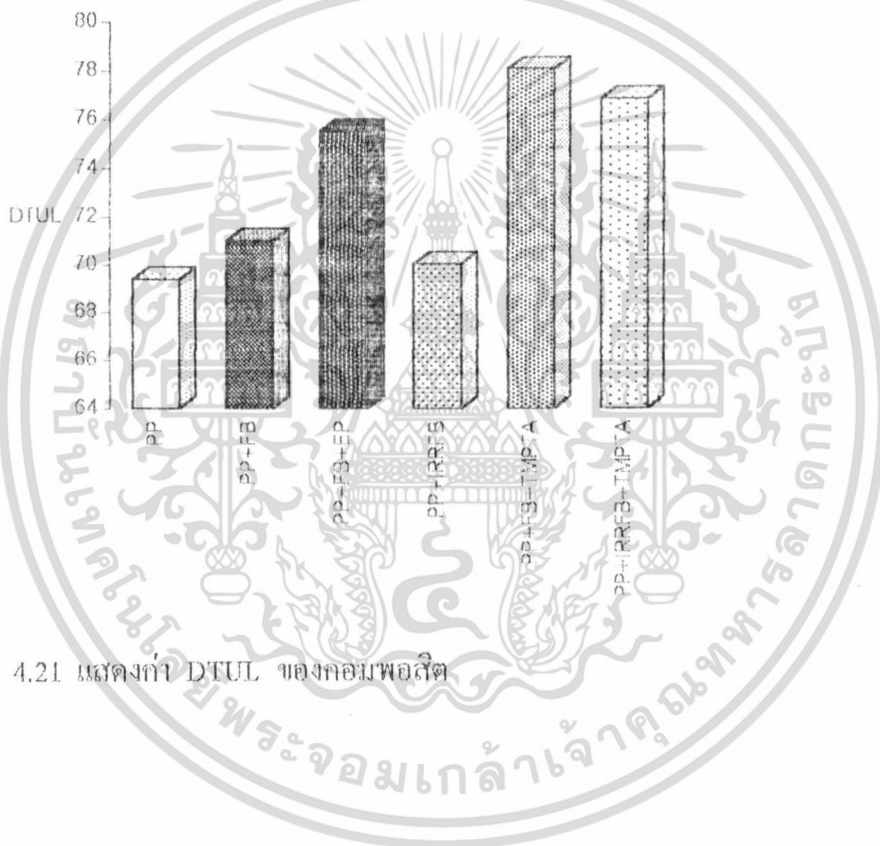
จากรูปที่ 4.20 พบว่า ค่า T on set หรืออุณหภูมิการสลายตัวจากเครื่อง TGA ของคอมพอลิเมอร์ค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคอมพอลิเมอร์สามารถทนทานต่อความร้อนได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยทำให้พอลิพรอพิลีนมีปริมาณความเป็นผลึกที่สูงขึ้น จึงต้องใช้อุณหภูมิในการสลายตัวที่สูงขึ้นด้วย ส่วนในสูตรที่ 5 ซึ่งมีค่าความทนทานต่อการสลายตัวสูงที่สุดนั้น อาจเนื่องมาจากการที่ในระหว่างการผสมใน High speed mixer เส้นใยยังคงมีความชื้นอยู่ จึงทำให้เส้นใยถูกทำลายจากการปั่นผสมน้อย



รูปที่ 4.20 แสดงค่า T on set ของคอมพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.21 ค่า DTUL ซึ่งเป็นการวัดอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิเมอร์ที่กำหนดภายใต้น้ำหนักที่กำหนดคงที่ พบว่าคอมพอสิตสามารถทนทานต่อความร้อนได้สูงกว่าพอลิพรอพิลีน ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยก่อให้เกิดผลึกเร็ว จึงมีขนาดผลึกเล็ก และมีความเป็นอสัณฐานมากขึ้น ซึ่งเป็นผลึกที่ไม่สมบูรณ์ แต่เกิดแรงยึดระหว่างวัฏภาคของเส้นใยกับพอลิพรอพิลีนได้ดี นอกจากนี้การสันนิษฐานว่า Epolene wax และ TMPTA ในสูตรที่ 3 5 และ 6 ในเรื่องของอุณหภูมิการตกผลึก อาจเป็นตัวช่วยในการเร่งอัตราการเกิดผลึกให้เร็วขึ้น ซึ่งทำให้ผลึกที่ได้เป็นผลึกที่ไม่สมบูรณ์และมีความเป็นอสัณฐานมาก จึงเกิดแรงยึดระหว่างวัฏภาคของเส้นใยกับพอลิพรอพิลีนได้ดีกว่าคอมพอสิตในสูตรอื่น ๆ



รูปที่ 4.21 แสดงค่า DTUL ของคอมพอสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้นำพอลิพรอพิลีนซึ่งเป็นพลาสติกที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมาทำเป็นวัสดุคอมพอสิตกับเส้นใยอ้อยซึ่งเป็นกากของเหลือจากการเกษตร โดยนำเส้นใยอ้อยทั้งที่ทำ การปรับและไม่ปรับสภาพผิวมาผสมกับพอลิพรอพิลีนในปริมาณ 10 % โดยน้ำหนักของคอมพอสิต ซึ่งผสมกันโดยใช้ Brabender จากนั้นนำไปทำการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection molding machine จากนั้นนำไปทำการทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า คอมพอสิตที่ได้มีสมบัติเชิงกลโดยรวมอยู่ในระดับที่ดีกว่าพอลิพรอพิลีน และใกล้เคียงกันในแต่ละสูตร ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการเติมเส้นใยอ้อยจะก่อให้เกิดผลึกในปริมาณที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้สมบัติเชิงกลบางอย่างเกี่ยวข้องกับโดยตรงต่อกระบวนการที่ใช้ในการผสม การขึ้นรูป และปริมาณเส้นใยที่เติมลงไป เช่นค่า Tensile strength

ในการทดสอบสมบัติทางความร้อนพบว่า คอมพอสิตมีเสถียรภาพทางความร้อนดีกว่าพอลิพรอพิลีน ทั้งที่เป็นส่วนของเส้นใยที่ทำการปรับและไม่ปรับสภาพผิว และยังพบว่า Epolene wax และ TMPTA อาจช่วยเร่งอัตราการตกผลึกของพอลิพรอพิลีนได้อีกด้วย โดยสังเกตจากการทดสอบด้วยเครื่อง DSC, TGA และ DTUL ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิการตกผลึก อุณหภูมิการสลายตัว และอุณหภูมิการอ่อนตัว จะให้ผลการทดสอบที่เป็นแนวโน้มเดียวกัน และคอมพอสิตสูตรที่ 5 มีสมบัติทางด้านเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีที่สุด

นอกจากนี้ผลจากสัณฐานวิทยายังช่วยส่งเสริมในการอธิบายผลของสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นจากการเติมเส้นใยอ้อย กล่าวคือมีพอลิพรอพิลีนเคลือบติดอยู่ที่ผิวเส้นใยอ้อย ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารในการยึดติดระหว่างวัฏภาคของเส้นใยกับพอลิพรอพิลีน

ดังนั้นการนำเส้นใยอ้อยมาประยุกต์ใช้นั้นอาจไม่จำเป็นที่จะต้องปรับสภาพผิวใด ๆ เลย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเส้นใยอ้อยส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารประเภทลิก โนเซลลูโลสติก ซึ่งสามารถยึดติด และกระจายตัวอยู่ในพอลิเมอร์ได้บ้าง<sup>1</sup> นอกจากนี้ได้มีการศึกษาพบว่า<sup>6</sup> เส้นใยประเภทลิก โนเซลลูโลสติกนั้นไม่เหมาะที่จะนำมาทำการต่อกิ่งด้วยวิธีการฉายรังสี เนื่องจากสารประกอบประเภทนี้อาจเป็นตัวที่จับอนุมูลอิสระที่เกิดจากการฉายรังสีให้การต่อกิ่งไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2. ข้อเสนอแนะ

1. ออานำคอมพอลิตนี้ไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ
2. คอมพอลิตที่ได้มีสมบัติทางความร้อน และสมบัติเชิงกลดีขึ้น ซึ่งออานำไปประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์อื่นที่มีประโยชน์ได้
3. ในการทำการต่อกิ่งโดยวิธีการขยรังสี ควรจะใช้เส้นใยธรรมชาติที่เป็นเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งจะเหมาะสมมากกว่าการใช้เส้นใยประเภทลิกโนเซลลูโลส
4. เนื่องจากสมบัติเชิงกลของคอมพอลิตขึ้นกับกระบวนการที่ใช้ในการผสม และการขึ้นรูป จึงควรศึกษาหาวิธีอื่น ๆ ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้คอมพอลิตที่มีสมบัติดีขึ้น
5. ควรทำการศึกษาลักษณะของเส้นใยหลังจากทำการปรับสภาพผิวด้วยวิธีต่าง ๆ



### ภาคผนวก

#### ก. ตารางแสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

##### พอลิพรอพิลีน

Sample No.	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Modulus (MPa)	Impact strength (Kgf.cm/cm)
1	31.31	9.904	179.7	2.51
2	30.17	9.476	148.3	2.61
3	31.90	14.17	297.4	2.76
4	30.81	10.91	190.1	2.01
5	31.14	13.96	307.3	2.29
6	30.98	12.25	122.5	2.41
7	31.14	11.32	155.7	2.82
8	30.020	12.32	236.7	2.42
average	30.96	11.79	204.72	2.48

##### พอลิพรอพิลีน + เส้นใยอ้อย

Sample No.	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Modulus (MPa)	Impact strength (Kgf.cm/cm)
1	30.56	6.74	349.2	3.77
2	30.38	6.63	418.4	2.87
3	30.39	8.19	368.9	3.32
4	30.95	7.13	419.9	3.05
5	31.33	8.34	403.5	3.47
6	31.53	7.34	382.7	3.60
7	30.72	7.10	392.3	3.12
8	30.69	7.16	385.2	4.32
average	30.82	7.33	390.0	3.44

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิพรอพิลีน + เส้นใยชื้อบ + Epolene wax

Sample No.	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Modulus (MPa)	Impact strength (Kgf.cm/cm)
1	30.38	6.55	370.0	3.12
2	29.70	5.78	285.2	2.57
3	29.47	7.63	233.8	3.20
4	28.69	6.29	226.8	2.41
5	29.36	7.71	351.5	3.48
6	28.33	6.66	282.4	3.34
7	28.57	5.16	172.5	3.91
8	28.28	6.61	187.2	3.13
average	29.10	6.55	263.6	3.15

พอลิพรอพิลีน + เส้นใยชื้อบที่ผ่านการฉายรังสี 10 kGy

Sample No.	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Modulus (MPa)	Impact strength (Kgf.cm/cm)
1	28.05	6.80	426.0	4.04
2	29.71	7.08	433.1	2.87
3	29.94	5.85	336.7	3.45
4	30.49	6.45	435.9	2.13
5	29.40	5.27	381.3	1.98
6	30.89	7.37	459.3	2.40
7	31.08	5.395	377.9	2.25
8	30.76	6.01	387.9	2.25
average	30.04	6.34	408.6	2.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิพรอพิลีน + เส้นใยชื่อย + TMPTA

Sample No.	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Modulus (MPa)	Impact strength (Kgf.cm/cm)
1	3079	7.30	324.8	3.49
2	30.51	7.62	432.6	4.06
3	31.26	6.44	410.1	2.48
4	30.88	7.21	375.4	3.02
5	29.42	5.60	403.5	3.65
6	30.26	5.78	433.1	3.48
7	30.07	5.22	405.6	3.91
8	30.93	7.08	388.8	3.30
average	31.52	6.53	396.8	3.42

พอลิพรอพิลีน + เส้นใยชื่อยที่ผ่านการฉายรังสี 10 kGy + TMPTA

Sample No.	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Modulus (MPa)	Impact strength (Kgf.cm/cm)
1	31.17	6.66	502.4	3.65
2	29.77	6.11	272.5	2.81
3	32.17	7.49	578.8	3.95
4	30.47	5.29	384.8	4.02
5	30.34	7.34	344.2	2.61
6	30.45	6.89	285.6	3.62
7	29.94	6.89	217.1	3.81
8	31.23	7.06	768.6	3.15
average	30.69	6.71	481.8	3.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข. ภาวะที่ใช้ในการจัดป้อนรูปด้วยเครื่อง Injection molding machine

### TIME PROGRAMMING

DIECLS/OPN TIME	: 60	MELTING TIME	: 120
SID ACT TIME	: 0	DECOMPRS TIME	: 2
1 ST STG INJ TIME	: 20	COOLING TIME	: 200
2 ND STG INJ TIME	: 15	EJECTOR COUNT	: 1
3 RD STG INJ TIME	: 10	SCW FWD COUNT	: 0
EJECT FWD DELAY	: 0	SCW BWD COUNT1	: 0
MELTING DELAY	: 0	SWC BWD COUNT2	: 0
EJECT BWD DELAY	: 0	ALARM TIME	: 300

### PRESSURE PROGRAMMING

DIE CLS PRESR	: 40	DECOMP PRESR	: 25
CLS LOW PRESR	: 60	PLUNGER PRESR	: 30
CLS HI PRESR	: 100	EJECTOR PRESR	: 50
DIE OPN PRESR	: 80	SCW-IN PRESR	: 0
1 ST INJ PRESR	: 45	DIE ADJ PRESR	: 80
2 ND INJ PRESR	: 30		
3 RD INJ PRESR	: 25		
MELTING PRESR	: 70		

### PROGRAMMING FLOW SPEED

RAPID CLS SPD	: 30	1 ST STG INJ SPD	: 30
HIGH CLS SPD	: 25	2 ND STG INJ SPD	: 20
CLAMPING SPD	: 15	3 RD STG INJ SPD	: 25
DIE OPN SPD	: 10	MELTING SPD	: 60
RAPID OPN SPD	: 25	DECOMP SPD	: 20
DIE OPN SPD	: 15	EJECTOR SPD	: 20
PLUNGER SPD	: 20	SCREW-IN SPD	: 0
DIE ADJ SPD	: 25	DIE SPD	: 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### PROGRAMMING TEMPERATURES

PROGRAMED TEMP	CURRENT	TEMP
NOZZLE	:	190 (168)
ZONE 1	:	180 (163)
ZONE 2	:	170 (160)
ZONE 3	:	0
ZONE 4	:	0
ZONE 5	:	0
ZONE 6	:	0

#หมายเหตุ# ตัวเลขในวงเล็บเป็นอุณหภูมิของพอลิเมอร์คอมพอสิต

### PROGRAMME OPTIONS

DIE CLS SPD	: 1	1 = HI SPD	2 = FAST SPD	
PLUNGER SPD	: 2	1 = USE	2 = NO USE	
ROBOTS	: 2	1 = USE	2 = NO USE	
SCRW	: 2	1 = USE	2 = NO USE	3 = SID-COR
EJECTOR	: 1	1 = STAL	2 = MUL TI	3 = FIXD NB
SID-COR	: 2	1 = TIME	2 = TRAVEL	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. Sanadi,A.R; Caulfield,D. F; Jacobson,R. E; Rowell,R. M. “Renewable Agricultural Fibers as Reinforcing Fillers in Plastics :Mechanical Properties of Kenaf Fiber-Polypropylene Composites” Ind. Eng. Chem. Res. 34. (1995) : 1889-1896.
2. Kokta,B.V.; Raj,R.G.; Daneault, C. “ Use of Wood Flour as Filler in Polypropylene :Studies on Mechanical Properties ” Polym.-Plast. Technol.Eng. 28(3). (1989) : 247-259.
3. MI, Y. ;Chen, X. ;GUO, Q. “Bamboo Fiber-reinforced Polypropylene Composite :Crystallization and Interfacial Morphology” J. Appl. Polym. Sci. 64. (1997). 1267-1273.
4. Bashar,A.S.; Khan,M.A.; Idriss Ali,K.M. “Bamboo-Plastic composite with MMA” Polym.-Plast. Technol.Eng. 35(4). (1996) : 581-590.
5. Joseph,K.; Thomas,S.; Pavithran,C. “Tensile Properties of Short Sisal Fiber-Reinforced Polyethylene Composites” J. Appl. Polym. Sci. 47(1993) :1731 - 1739.
6. Kessira,L.; Ricard,A. “Thermal Behavior of Ungrafted and Grafted Bagasse and Wood Pulps” J. Appl. Polym. Sci. 49(1993) :1603 - 1614.
7. George,J.; Joseph,K.; Thomas,S.; Bhagavan,S.S. in Mechanical and Viscoelastic Properties of Short Pineapple Fiber Reinforced Low-Density Polyethylene composites ,Polymer Science Recent Advances , (Bharwaj,I.S.ed.) pp. 526-531, Allied Publishers Limited, India, 1994.
8. Khan,M.A.; Idriss Ali,K.M. “Study of Physico-Mechanical Properties of Wood and Wood Plastic Composite” J. Appl. Polym. Sci. 45(1992) : 167-172.
9. ฅกัทรพงษ์ สุวรรณชัย และ ฅฐพร เฅนนินนาท “การใช้ประโยชน์จากเส้นใยสลาบหลวง เป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน” โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2538
10. Banks,W.B; Lawther,J.M. “Derivatization of wood in composites” in Cellulosic Polymers, Blends and Composites. (Gillbert,R.D.ed.) pp. 131-153, Hanser Publishers, New York, 1994.
11. Encyclopedia of Polymer Science and Technology., vol. 2, pp 295-299.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ASTM Committee on standard “Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastics (Metric)” , Philadelphia : American Society for Testing and Materials, 1993.
13. ASTM Committee on standard “Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials” , Philadelphia : American Society for Testing and Materials, 1993.
14. ASTM Committee on standard “Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials” , Philadelphia : American Society for Testing and Materials, 1993.
15. ASTM Committee on standard “Standard Test Methods for Resistance Materials to Abrasion” , Philadelphia : American Society for Testing and Materials, 1993.
16. Halim Hamid,S.; Mohamed,B.; Armin and Ali G.Maadhah in Handbook of Polymer Degradation, pp 62., Marcel Dekker ,Inc.
17. ASTM Committee on standard “Standard Test Methods for Deflection Temperature under load” , Philadelphia : American Society for Testing and Materials, 1993.