

การเสื่อมสภาพทางความร้อนและทางแสงของพอลิเมอร์  
คอมพอสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขวด HDPE ที่ใช้แล้ว  
ผสมกับชานอ้อย



นางสาวกาญจนา เอี้ยวสุวรรณ รหัส 38054205  
นางสาวเต็มสิริ หวังทวีทรัพย์ รหัส 38054221

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาเคมี.

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 33489

วัน, เดือน, ปี 13 ส.ค. 2542

ขอสงวนลิขสิทธิ์ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Thermal and Photodegradation of PP / Recycled  
HDPE / Bagasse Fibers Composites**



Miss Kanchana Eawsuwan

Miss Temsiri Wangtaveesab

**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the  
Requirement for the Degree of Bachelor of Science**

**Department of Chemistry**

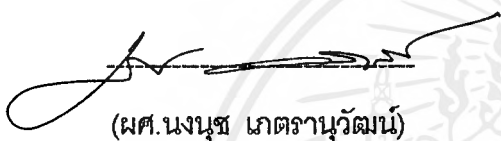
**Faculty of Science**

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

**1998**

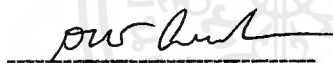
หัวข้อโครงการพิเศษ การเสื่อมสภาพทางความร้อนและทางแสงของพอลิเมอร์คอมพอสิต  
ระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขวด HDPE ที่ใช้แล้วผสมกับขาน้อย  
นักศึกษา นางสาวกาญจนา เขียวสุวรรณ  
นางสาวเต็มสิริ หวังทวีทรัพย์  
ภาควิชา เคมี  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติ  
ให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต


  
(ผศ. นงนุช เกตรานูวัฒน์)

หัวหน้าภาควิชาเคมี


คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ

  
(ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

ประธานกรรมการ

  
(ดร. ต๋องจิตต์ คิตชอบ)

กรรมการ

  
(ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเชื่อมสภาพทางความร้อนและแสงของพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่าง พอลิพรอพิลีนกับซวด HDPE ที่ใช้แล้วผสมกับชานอ้อย	
นักศึกษา	นางสาวกาญจนา เขียวสุวรรณ	
	นางสาวเต็มสิริ	หวังทวีทรัพย์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.มาลินี	ชัยศุภกิจสินธุ์
ภาควิชา	เคมี	
ปีการศึกษา	2541	

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการย่อยสลายโดยแสงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP/PE โดยใช้ชานอ้อยเป็นสารตัวเติม จากการทดลองโดยนำชานอ้อยที่มีปริมาณต่าง ๆ กัน คือ 0%, 1%, 5% และ 10% โดยน้ำหนัก มาผสมกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP/PE ในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) จากนั้นนำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection molding machine) และนำไปฉายแสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet Irradiation) แล้วตรวจสอบสมบัติทางเคมี สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และสัณฐานวิทยา

จากผลการทดลองพบว่า ชานอ้อยไม่ส่งผลเร่งหรือหน่วงเหนี่ยวปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยแสง แต่จะส่งผลช่วยในด้านสมบัติเชิงกลหลังเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว ทำให้สมบัติเชิงกลดีกว่าที่ไม่ได้เติมชานอ้อย โดยปริมาณชานอ้อย 5% โดยน้ำหนัก เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด ส่วนสมบัติด้านอื่นแม้ว่าจะเติมหรือไม่เติมชานอ้อยหลังผ่านการฉายแสง UV แล้ว ก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก

Special Project Title      Thermal and Photodegradation of PP / Recycled  
 HDPE / Bagasse Fibers Composites

Name                              Miss Kanchana Eawsuwan  
    Miss Temsiri      Wangtaveesab

Special Project Advisor      Assist.Prof. Dr. Malinee Chaisupakitsin

Department                      Chemistry

Academic Year                  1998

#### Abstract

The photodegradation of polymer blend PP/PE with bagasse fibers as a filler has been studied. The bagasse fibers along with polymer blend PP/PE were mixed with single screw extruder and then injected with injection molding machine. The fiber loading were 0,1,5 and 10 wt% . The chemical , mechanical, thermal, physical and morphology properties of samples before and after UV irradiation at various time were investigated.

It has been found that bagasse fibers has not result in accelerator or inhibitor of photodegradation reaction, but has an effect on mechanical properties after oxidation. Therefore, the mechanical properties are better than one without filling bagasse fibers, especially 5 wt% of bagasse. Despite UV irradiation, filling and unfilling bagasse fibers are not influence on other properties.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย และ ดร.ต้องจิตต์ คิศจอบ อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่กรุณาช่วยตรวจทาน และแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายขอขอบคุณ พี่ ๆ น้อง ๆ เพื่อน ๆ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้

นอกเหนือจากนี้หากยังมีบุคคลท่านอื่น ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำไม่ได้กล่าวถึงทาง ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาว กาญจนา เอื้อสุวรรณ  
นางสาว เต็มสิริ หวังทวีทรัพย์

## สารบัญ

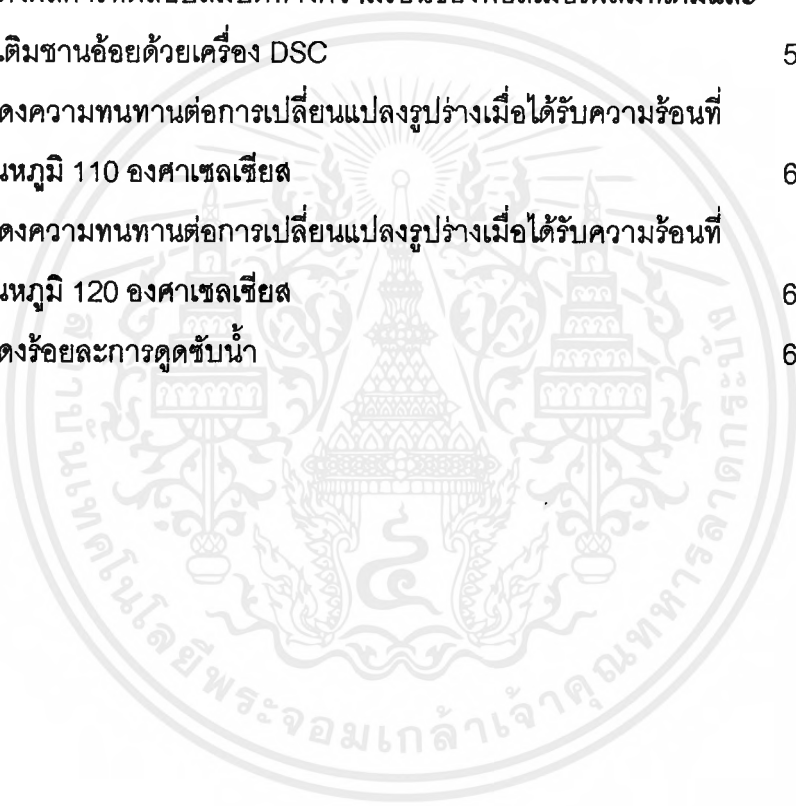
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	2
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ</b>	<b>5</b>
2.1 พอลิเมอร์ผสม	5
2.2 พอลิเมอร์คอมพอลสิต	6
2.3 พอลิพรอพิลีน	7
2.4 พอลิเอทิลีน	9
2.5 ชานอ้อย	10
2.6 กระบวนการย่อยสลายโดยแสงและความร้อน	11
<b>บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน</b>	<b>18</b>
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	18
3.2 อุปกรณ์	18
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	19
3.4 วิธีการทดสอบ	19
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์</b>	<b>23</b>
4.1 ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเกิดออกซิเดชัน	23

4.2 ผลการวิจัยการศึกษาระดับปริญญาตรี	26
4.3 ผลการวิจัยการศึกษาระดับปริญญาโท	31
4.4 ผลการวิจัยการศึกษาระดับปริญญาเอก	37
4.5 ผลการวิจัยการศึกษาระดับปริญญาเอก	38
4.6 ผลการวิจัยการศึกษาระดับปริญญาเอก	43
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	48
5.1 สรุปผลการทดลอง	48
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
<b>ภาคผนวก</b>	50
ภาคผนวก ก	51
ภาคผนวก ข	54
ภาคผนวก ค	64
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 การวิเคราะห์ทางเคมีของชานอ้อย	11
ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณการเกิดออกซิเดชัน	55
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เต็มและไม่เต็ม ชานอ้อย	57
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบสมบัติความแข็ง	58
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมที่เต็มและ ไม่เต็มชานอ้อยด้วยเครื่อง DSC	59
ตารางที่ 4.5 แสดงความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อได้รับความร้อนที่ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส	61
ตารางที่ 4.6 แสดงความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อได้รับความร้อนที่ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส	62
ตารางที่ 4.7 แสดงร้อยละการดูดซับน้ำ	63



## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	แสดงลักษณะฐานวิทยาที่เป็นไปได้เมื่อนำพอลิเมอร์สองชนิดผสมกัน	5
รูปที่ 2.2	แสดงประเภทของสารตัวเติมในคอมพอสิต	7
รูปที่ 2.3	แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิพรอพิลีน	7
รูปที่ 2.4	แสดงโครงสร้างของไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน	8
รูปที่ 2.5	แสดงโครงสร้างของซินไดโอแทคติกพอลิพรอพิลีน	9
รูปที่ 2.6	แสดงโครงสร้างของอะแทคติกพอลิพรอพิลีน	9
รูปที่ 2.7	แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน	9
รูปที่ 2.8	แสดงลักษณะ unit cell ของพอลิเอทิลีน	9
รูปที่ 2.9	แสดงกลไกของปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยแสงและความร้อน	12
รูปที่ 4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณหมู่คาร์บอนิลและเปอร์ออกไซด์ กับช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV	24
รูปที่ 4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับช่วงเวลาที่ได้รับการ ฉายแสง UV	26
รูปที่ 4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยึดที่จุดขาดกับช่วงเวลา ที่ได้รับการฉายแสง UV	27
รูปที่ 4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV	28
รูปที่ 4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทกกับช่วงเวลาที่ได้รับ การฉายแสง UV	29
รูปที่ 4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกับช่วงเวลาที่ได้รับการฉาย แสง UV	30
รูปที่ 4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิหลอมตัวของผลึกของ PE และ PP กับช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV	31
รูปที่ 4.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการตกผลึกของ PE และ PP กับ เวลาที่ได้รับการฉายแสง UV	33
รูปที่ 4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกของ PE และ PP กับช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV	35

รูปที่ 4.10 แสดงขนาดของชิ้นงาน Izod	37
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำที่ก่อนและหลังการฉายแสง (2,500 ชม.) กับจำนวนวันที่ทำการทดลอง	38
รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการดูดซับน้ำที่จำนวนวันต่างๆ กัน กับช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของพอลิเมอร์ผสมที่เติมชานอ้อย 0% และ 1% โดยน้ำหนัก	40
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการดูดซับน้ำที่จำนวนวันต่างๆ กัน กับช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของพอลิเมอร์ผสมที่เติมชานอ้อย 5% และ 10% โดยน้ำหนัก	41
รูปที่ 4.14 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่แตกหักของ PP/PE ที่ไม่ผ่านการฉายแสง	44
รูปที่ 4.15 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่แตกหักของ PP/PE ที่ผ่านการฉายแสง 3,000 ชม.	44
รูปที่ 4.16 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่แตกหักของ PP/PE/10% ที่ไม่ผ่านการฉายแสง	45
รูปที่ 4.17 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่แตกหักของ PP/PE/10% ที่ผ่านการฉายแสง 3,000 ชม.	45
รูปที่ 4.18 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่เป็นแผ่นฟิล์มของ PP/PE ที่ไม่ผ่านการฉายแสง	46
รูปที่ 4.19 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่เป็นแผ่นฟิล์มของ PP/PE ที่ผ่านการฉายแสง 3,000 ชม.	46
รูปที่ 4.20 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่เป็นแผ่นฟิล์มของ PP/PE/10% ที่ไม่ผ่านการฉายแสง	47
รูปที่ 4.21 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่เป็นแผ่นฟิล์มของ PP/PE/10% ที่ผ่านการฉายแสง 3,000 ชม.	47
รูปที่ 4.22 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการส่องผ่านของแสงของพอลิเมอร์ PP/PE เมื่อเติมชานอ้อย 0% , 1% , 5% และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ไม่ได้ผ่านการฉายแสง	65
รูปที่ 4.23 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการส่องผ่านของแสงของพอลิเมอร์ PP/PE เมื่อเติมชานอ้อย 0%, 1%, 5% และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการฉายแสง 3,000 ชม.	66

- รูปที่ 4.24 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการส่องผ่านของแสงของพอลิเมอร์ PP/PE เมื่อผ่านการฉายแสง 0 ชม. 1,500 ชม. และ 3,000 ชม. 67
- รูปที่ 4.25 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการส่องผ่านของแสงของพอลิเมอร์ PP/PE/1% เมื่อผ่านการฉายแสง 0 ชม. 1,500 ชม. และ 3,000 ชม. 68
- รูปที่ 4.26 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการส่องผ่านของแสงของพอลิเมอร์ PP/PE/5% เมื่อผ่านการฉายแสง 0 ชม. 1,500 ชม. และ 3,000 ชม. 69
- รูปที่ 4.27 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการส่องผ่านของแสงของพอลิเมอร์ PP/PE/10% เมื่อผ่านการฉายแสง 0 ชม. 1,500 ชม. และ 3,000 ชม. 70

## บทที่ 1

### บทนำ

ปัจจุบันพอลิเมอร์คอมพอสิตถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตต่ำ และมีสมบัติที่ดีในการนำไปใช้งานได้หลายอย่าง พอลิเมอร์เมตริกซ์ส่วนใหญ่ที่นิยมนำมาใช้คือ พอลิพรอพิลีน เนื่องจากมีสมบัติคงทน เบา และขึ้นรูปได้ง่าย แต่พอลิพรอพิลีนมีข้อด้อย เนื่องจากมีความเสถียรต่อแสงอัลตราไวโอเล็ตต่ำ ทำให้โครงสร้างและสมบัติเปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้มีอายุการใช้งานต่ำและไม่เหมาะกับการใช้งานภายนอก ดังนั้นจึงมีการนำพลาสติกอีกชนิดหนึ่งมาทำการผสมกับพอลิพรอพิลีน เพื่อให้ได้สมบัติที่ดีขึ้น โดยในการวิจัยนี้เลือกใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ได้จากขวดบรรจุน้ำดื่ม และใช้ชานอ้อยเป็นสารตัวเติม

กระบวนการย่อยสลายโดยแสงเป็นกระบวนการสำคัญประการหนึ่ง ในการทำให้เกิดการย่อยสลายในพอลิเมอร์คอมพอสิต โดยพอลิเมอร์คอมพอสิตจะดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งมีพลังงานเพียงพอที่ทำให้เกิดการแตกพันธะระหว่าง คาร์บอนอะตอมแล้วเกิดอนุมูลอิสระขึ้น ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยง (Crosslink) หรือเกิดการสลายตัวของสายโซ่โมเลกุล (Chain scission) และอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้พอลิเมอร์คอมพอสิตเกิดการย่อยสลายได้คือการได้รับความร้อน ซึ่งทำให้คอมพอสิตเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและรูปร่างไปจากเดิม

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า แสงอัลตราไวโอเล็ตและความร้อน เป็นปัจจัยที่สำคัญซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งานของพอลิเมอร์คอมพอสิตที่ใช้เส้นใยธรรมชาติมาเป็นสารตัวเติม การวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของชานอ้อยที่อาจส่งผลช่วยกระตุ้นหรือหน่วงกระบวนการย่อยสลายของพอลิเมอร์คอมพอสิต โดยทำการศึกษามิติทางกายภาพ ทางความร้อน และทางเชิงกลทั้งก่อนและหลังการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต

## 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านให้ความสนใจในการศึกษาค้นคว้าการนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ร่วมกับพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้ว รวมทั้งศึกษาผลจากแสงอัลตราไวโอเล็ต ที่มีต่อการย่อยสลายของพลาสติก

Rodeney, J. และ Susan, E.<sup>1</sup> ได้ทำการศึกษาสสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมพอสิต ที่ได้มาจากขวดพลาสติกพอลิพรอพิลีนชนิด multilayer และ wood fiber โดยทำการเปรียบเทียบผลกับพอลิเมอร์คอมพอสิตที่ทำจากเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนใหม่ ทำการผสมใน Twin screw extruder ใช้ปริมาณของ wood fiber 0,30,40 และ 50% โดยน้ำหนัก นำมาเปรียบเทียบผลในสภาวะเดียวกัน พบว่าพอลิเมอร์คอมพอสิตที่เตรียมได้จากการนำขวดพลาสติกพอลิพรอพิลีน กลับมาใช้ใหม่ จะมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าพอลิเมอร์คอมพอสิตที่เตรียมจาก เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนใหม่ แต่ถ้าเติม wood fiber ไปมากกว่า 30% โดยน้ำหนัก จะทำให้สมบัติความทนแรงดึงและการยืดออก ณ.จุดขาดลดลง เนื่องจากสารเติมแต่งที่มีอยู่ในขวดพลาสติกพอลิพรอพิลีนชนิด multilayer จะไปช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างส่วนที่เป็นเมตริกซ์กับ wood fiber มากขึ้น

Sanchez, A. และ Estrada, M.R.<sup>2</sup> ได้ทำการศึกษามลของทรายที่มีต่อการสลายตัวด้วยแสง (Photodegradation) ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยใช้ทรายจากแหล่งต่างกัน คือ ทรายที่ได้จากเหมืองกับทรายที่ได้จากชายหาด และใช้เวลาในการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตแตกต่างกัน ทำการศึกษากลไกที่เกิดขึ้นด้วย GPC และ FTIR จากผลการทดลองพบว่า ทรายจะไปช่วยยับยั้งการเกิดการสลายตัวเนื่องจากแสงของพอลิเมอร์ โดยทรายที่ได้จากเหมืองจะต้านทานแสงอัลตราไวโอเล็ต ได้ดีกว่าทรายที่ได้จากชายหาด ซึ่งดูได้จากสมบัติเชิงกลที่เพิ่มขึ้น และพบว่าคอมพอสิตที่เติมทรายทั้งสองชนิด เมื่อฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตไปจนถึง 300 ชั่วโมง จะทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลงจากเดิม เนื่องจากเกิดการย่อยสลาย

วิโรจน์ จรลีชาญชัย และคณะ<sup>3</sup> ได้ทำการศึกษามลของรงควัตถุอินทรีย์ต่อกระบวนการย่อยสลายโดยแสงในพอลิพรอพิลีน โดยศึกษารงควัตถุอินทรีย์ ทิทาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) อัลตรามารีน บลู (Ultramarine blue) และแคดเมียม เรด (Cadmium red) ผสมกับพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) และโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม (Random copolymer) ของพรอพิลีนกับเอทิลีนโดยใช้สีในปริมาณ 0.1 % โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ จากนั้นทำการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต ด้วยเวลาที่ต่างกัน แล้วนำมาทดสอบโดยใช้ FTIR และ DSC จากผลการทดลองพบว่า พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์มีอัตราการย่อยสลายสูงกว่าชนิดโคพอลิเมอร์ ส่วนรงควัตถุแคดเมียม เรด และทิทาเนียมไดออกไซด์ช่วยหน่วงการเกิด ปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสง โดยรงควัตถุแคดเมียม เรดมีประสิทธิภาพพดดีที่สุด ส่วนรงควัตถุอัลตรา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มารีเนบลูให้ผลในทางตรงกันข้าม

คณะกรรพวงษ์ สุวรรณชัย และณัฐพร เต๋นนินนาท<sup>1</sup> ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากเส้นใยสลาบล หลวง เป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน โดยทำการศึกษาถึงผลของสารตัวเติม และสารเชื่อมโยง ต่างชนิดกัน คือ silane A-174 และ MAH ในปริมาณ 0, 4 และ 6% โดยน้ำหนักของเส้นใย จากผลการทดลองพบว่า สมบัติทางความร้อนและทางเชิงกลโดยรวมของพอลิพรอพิลีนคอมพอสิต ทั้งที่มีการใช้และไม่ใช้สารเชื่อมโยง จะให้ประสิทธิภาพที่ลดลง เมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีนที่ไม่มีเส้น ใยสลาบลหลวงเป็นสารตัวเติม ส่วนผลของแสงอัลตราไวโอเล็ตต่อการสลายตัวของพอลิเมอร์คอมพอสิตพบว่า ปริมาณสารตัวเติมรวมทั้งชนิดและปริมาณของสารเชื่อมโยงในพอลิพรอพิลีนคอมพอสิต ไม่มีผลช่วยป้องกันการสลายตัวของพอลิเมอร์โดยแสงอัลตราไวโอเล็ต เมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีน

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอายุการใช้งานของพอลิเมอร์คอมพอสิตที่มีชานอ้อยเป็นสารตัวเติม
2. ศึกษาผลของชานอ้อยที่มีต่อสมบัติเชิงกลทั้งก่อนและหลังการทดลองฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต
3. เพื่อเป็นแนวทางลดปริมาณการใช้พอลิเมอร์เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาขอบเขตการย่อยสลายโดยแสงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ได้จากขบวนการจุ่มน้ำต้ม
2. ศึกษาผลของชานอ้อยที่มีต่อขอบเขตการย่อยสลายโดยแสงในพอลิเมอร์ผสมเปรียบเทียบผลปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยผสมชานอ้อยในปริมาณ 0, 1,5 และ 10 % โดยน้ำหนัก เมื่อทำการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต และไม่ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตทุกๆ 500 ชั่วโมง
3. ทดสอบสมบัติทางกายภาพ และทางกลของชิ้นงานตัวอย่างก่อนและหลังการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต
4. ศึกษาผลของความร้อนที่มีอิทธิพลต่อพอลิเมอร์เมื่อเติมและไม่เติมชานอ้อย โดยศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงสีและรูปร่าง

## 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

1. ศึกษาบทบาทของแสงอัลตราไวโอเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.1 รวบรวมขวดน้ำดื่ม พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และเก็บขาน้อยมาล้างทำความสะอาด แล้วนำมาอบให้แห้ง
- 1.2 ทำการผสมขวดน้ำดื่ม กับพอลิพรอพิลีน (PP) ในอัตราส่วน (1:1) โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคนเดียว
- 1.3 นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ ไปผสมกับขาน้อยด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวอีกครั้ง
- 1.4 นำพอลิเมอร์ไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงานดัมเบลล์และ Izod โดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป
- 1.5 นำชิ้นงานไปเข้าตู้ที่มีหลอดไฟให้แสงอัลตราไวโอเล็ต และเก็บตัวอย่างทุก 500 ชั่วโมง
- 1.6 ทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อน
- 1.7 นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงและทำการสรุปผลและวิจัย
2. ศึกษาผลทางความร้อน
  - 2.1 นำชิ้นงาน Izod ที่ได้จากข้อ 1 มาหาสภาวะที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง
  - 2.2 นำชิ้นงาน Izod เข้าตู้อบให้ความร้อน
  - 2.3 รวบรวมข้อมูลและสรุปผลการวิจัย

### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงอิทธิพลของขาน้อยที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมพอสิตที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังจากฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต
2. ทราบถึงความสามารถในการนำวัสดุที่ผ่านกระบวนการใช้แล้ว มาใช้ทำพอลิเมอร์คอมพอสิต
3. ทราบถึงผลของความร้อนและแสงอัลตราไวโอเล็ต ที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายของพอลิเมอร์คอมพอสิต
4. ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะนำพอลิเมอร์คอมพอสิตที่เตรียมได้ ไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

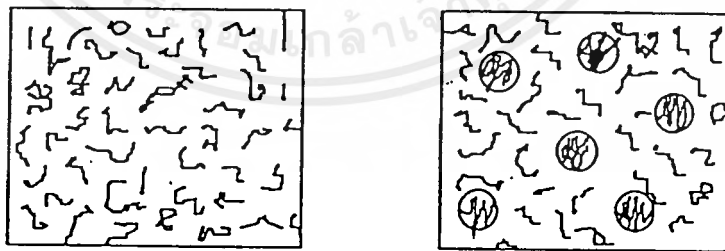
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 พอลิเมอร์ผสม ( Polymer blend )

พอลิเมอร์ผสม เป็นการนำพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป มาผสมเข้าด้วยกัน โดยโครงสร้างของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิดนี้จะอยู่รวมโดยไม่เกิดพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) ระหว่างกัน ซึ่งสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะขึ้นกับความสามารถในการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ( miscibility ) และสัณฐานวิทยาของระบบผสมนั้น ๆ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อต้องการที่จะได้พอลิเมอร์ที่มีสมบัติพิเศษ โดยรวมเอาสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละตัวเข้ามาไว้ด้วยกันในพอลิเมอร์ผสม

โดยทั่ว ๆ ไป พอลิเมอร์ผสมแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ พอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถรวมเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกัน ( immiscible blend ) ซึ่งจะปรากฏให้เห็นเป็นระบบที่มีหลายวัฏภาค และพอลิเมอร์ที่สามารถรวมเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกัน ( miscible blend ) ซึ่งจะมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดรวมกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1



(a) Miscible

(b) Immiscible

รูปที่ 2.1 สัณฐานวิทยาที่เป็นไปได้เมื่อนำพอลิเมอร์สองชนิดผสมกัน<sup>5</sup>

## วัตถุประสงค์ของการผสมพอลิเมอร์

1. เพื่อปรับปรุงให้พอลิเมอร์มีสมบัติที่ดีขึ้น ในราคาที่เหมาะสม โดยสมบัติที่ต้องการปรับปรุง ได้แก่ สมบัติในการต้านทานแรงกระแทก (impact resistance) และการทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ (weather resistance) เป็นต้น
2. เป็นการขยายขีดความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ของพอลิเมอร์
3. เป็นการนำพลาสติกที่ใช้แล้ว หรือเศษพลาสติกกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์
4. เพื่อสร้างวัสดุที่มีเอกลักษณ์พิเศษ เหมาะสมที่จะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

## 2.2 พอลิเมอร์คอมพอสิต (Polymer Composite)

พอลิเมอร์คอมพอสิต คือ ของผสมของวัสดุ 2 ชนิดหรือมากกว่ามาผสมเข้าด้วยกัน และแยกเป็นคนละวัฏภาคกัน โดยในส่วนของประกอบของพอลิเมอร์คอมพอสิตนั้นจะต้องมีอย่างน้อยหนึ่งส่วนเป็นพอลิเมอร์ เรียกว่าเมตริกซ์ (matrix) และอีกส่วนเป็นวัสดุอื่น โดยคอมพอสิตสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดตามวัสดุที่ผสมหรือลักษณะการขึ้นรูป [รูปที่ 2] ดังนี้

### 1. คอมพอสิตแบบอนุภาค

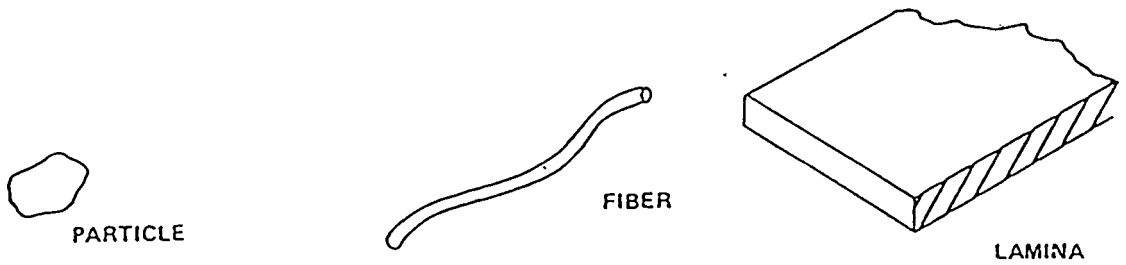
เป็นคอมพอสิตที่เกิดจากการกระจายอนุภาคในเมตริกซ์ ซึ่งอนุภาคจะมีรูปร่างการจัดเรียงตัวและขนาดต่าง ๆ กัน อาจเป็นผง เมล็ด หรือผลึก

### 2. คอมพอสิตแบบลามินาร์

เป็นคอมพอสิตที่เกิดจากการยึดติดระหว่างแผ่นวัสดุกับเมตริกซ์ ในลักษณะคล้ายแซนวิชยึดด้วยความดันสูง ซึ่งจะได้เป็นชั้น ๆ

### 3. คอมพอสิตแบบเส้นใย

เกิดจากเส้นใยเสริมแรงในเมตริกซ์ ซึ่งเส้นใยอาจเป็นเส้นใยคาร์บอน (Carbon fibers) เส้นใยอินทรีย์ (Organic fibers) เส้นใยอารามิด (Aramid fibers) เส้นใยแก้ว (Glass fibers) หรือเส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) แสดงในรูปที่ 2.2

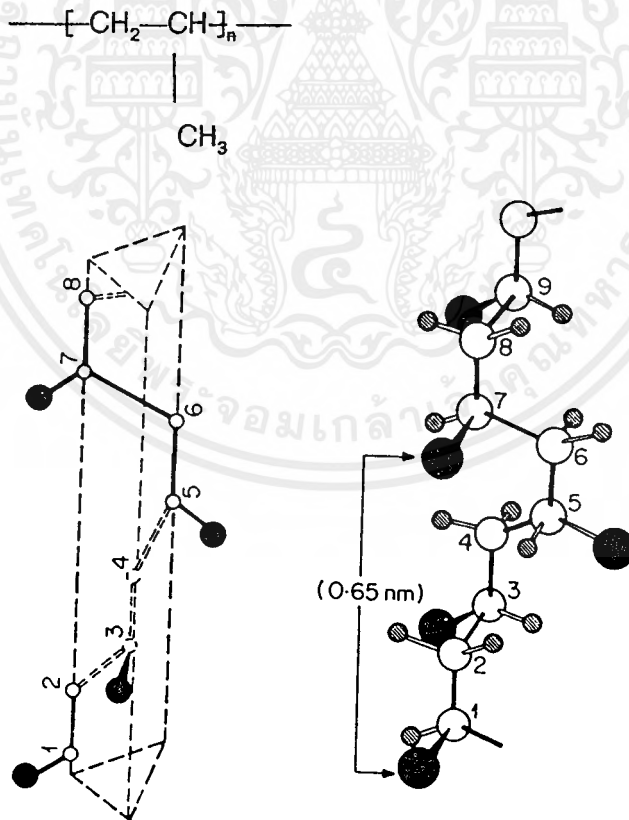


รูปที่ 2.2 ประเภทของสารตัวเติมในคอมพอสิต<sup>6</sup>

วัตถุประสงค์โดยทั่วไปของการทำ พอลิเมอร์คอมพอสิตเพื่อปรับปรุงความแข็งแรง ความยืดหยุ่น ความเหนียว ความเสถียรทางรูปร่าง และลดต้นทุนในการผลิต

### 2.3 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP)

พอลิพรอพิลีน เป็นเทอร์โมพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีสูตรโครงสร้าง ดังนี้

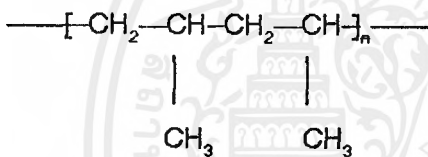


รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิพรอพิลีน<sup>7</sup>

พอลิพรอพิลีนฟิล์มที่ใช้กันอยู่ทั่วไปนี้จะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 60,000-200,000 ความหนาแน่น  $0.90 \text{ g/cm}^3$  อุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ )  $164-170^\circ\text{C}$  พอลิพรอพิลีนจะไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ ที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าอุณหภูมิเกินกว่า  $80^\circ\text{C}$  ขึ้นไปจะละลายในไฮโดรคาร์บอน อะโรมาติก และ คลอริเนตไฮโดรคาร์บอน

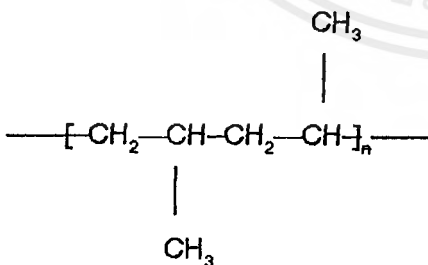
พอลิพรอพิลีนสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลบนโซ่โมเลกุลหลักได้แก่

1. ไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน (Isotactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิล (Methyl group) ด้านเดียวกันบนโซ่โมเลกุลหลัก ลักษณะเช่นนี้โครงสร้างโมเลกุลมีความเป็นระเบียบสูง ส่งผลให้พอลิเมอร์มีความเป็นระเบียบสูง มีการตกผลึกดีที่สุดที่แสดงสูตรโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.4



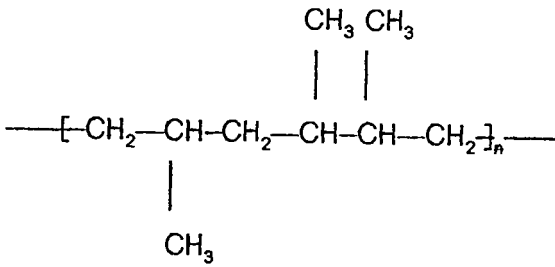
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน <sup>7</sup>

2. ซินดิโอแทคติกพอลิพรอพิลีน (Syndiotactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิล (Methyl group) สลับกันบนโซ่พอลิเมอร์หลักอย่างเป็นระเบียบ ลักษณะเช่นนี้ทำให้โครงสร้างมีความเป็นระเบียบลดลง ซึ่งจะส่งผลให้การตกผลึกลดลงด้วย โดยโครงสร้างของซินดิโอแทคติกพอลิพรอพิลีน แสดงสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของซินดิโอแทคติกพอลิพรอพิลีน <sup>7</sup>

3. อะแทคติกพอลิพรอพิลีน (Atactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิล (Methyl group) บนโซ่พอลิเมอร์หลักอย่างไม่เป็นระเบียบ ลักษณะเช่นนี้ทำให้มีการตกผลึกน้อยที่สุด โดยโครงสร้างของอะแทคติกพอลิพรอพิลีนแสดงดังรูปที่ 2.6

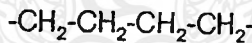


รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของอะแทคติกพอลิพรอพิลีน<sup>7</sup>

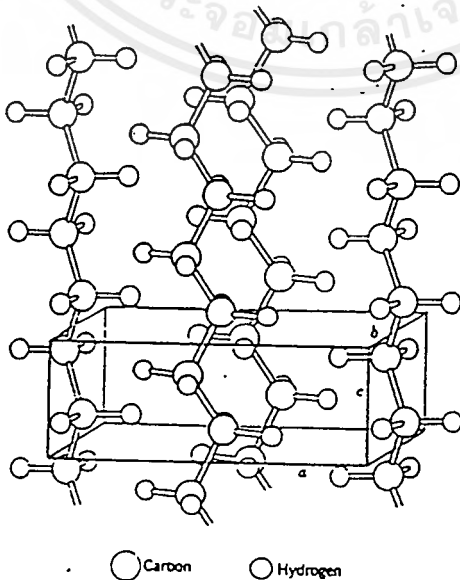
พอลิพรอพิลีนทนกรด เบส และเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีทั่วไป อย่างไรก็ตามเสถียรภาพทางความร้อน แสง และตัวออกซิไดซ์ของพอลิพรอพิลีนมีน้อยกว่าพอลิเอทิลีน ทั้งนี้เพราะโซ่ของพอลิพรอพิลีนมีไฮโดรเจนอะตอมเกิดพันธะกับคาร์บอนตติยภูมิ ดังนั้นควรเติมแชนติออกซิแดนท์ก่อนนำพอลิพรอพิลีนไปใช้งาน

### 2.4 พอลิเอทิลีน(Polyethylene, PE)

พอลิเอทิลีนเป็นพอลิเมอร์พวกเทอร์โมพลาสติกซึ่งหลอมแล้วสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ประกอบด้วยโซ่โมเลกุลของคาร์บอนและไฮโดรเจน ซึ่งเกิดจากมอนอเมอร์ของเอทิลีน มีน้ำหนักโมเลกุล 28 เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบรวมตัว (addition polymerization) ได้พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 15,400 เป็นอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาวมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.7 และ 2.8



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน<sup>8</sup>



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะ unit cell ของพอลิเอทิลีน<sup>8</sup>

พอลิเอทิลีนเกิดจากพอลิเมอร์ไฮดรอกซีของเอทิลีนตั้งแต่น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ( มีลักษณะเป็น  
ไข ) จนถึงน้ำหนักโมเลกุลสูงและความเป็นผลึกสูง ซึ่งพอลิเอทิลีนทั่ว ๆ ไปมีคุณสมบัติดังนี้<sup>9</sup>

ความถ่วงจำเพาะ	0.94-0.97
เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก	80-95
อุณหภูมิของการหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	127-135
ค่าความแข็งแรงดึง (Mpa <sup>a</sup> )	21-38
ค่าความแข็งแรง (Gpa <sup>b</sup> )	0.41-1.24
เปอร์เซ็นต์การยืด ณ.จุดขาด	20-130
ค่าความแข็งแรงกระแทก (มีรอยบาก) (Jm <sup>-1</sup> ) <sup>c</sup>	27-1068
อุณหภูมิเบี่ยงเบนเมื่อได้รับความร้อน (°C, at 455 kPa)	60-88

หมายเหตุ <sup>a</sup> To convert MPa to psi. multiply by 145

<sup>b</sup> To convert GPa to psi. multiply by  $1.45 \times 10^5$

<sup>c</sup> To convert Jm<sup>-1</sup> to lbf in.<sup>-1</sup> divide by 53.38

พอลิเอทิลีนสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ตามความหนาแน่นได้ดังนี้

LDPE โครงสร้างมีโซกิ่งสาขายาว มีความหนาแน่นต่ำ (0.91-0.92 g/cm<sup>3</sup>)

HDPE มีโซกิ่งสาขาน้อยแต่มีความเป็นผลึก และความหนาแน่นสูงกว่าพวก LDPE (0.941-0.965 g/cm<sup>3</sup>) HDPE เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ได้รับความสนใจมาก เนื่องจากมีลักษณะเด่นคือ ขึ้นรูปได้ง่าย ความต้านทานไฟฟ้าต่ำ ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ ทนต่อสารเคมีและสภาวะแวดล้อม

LLDPE มีโซกิ่งแต่น้อยและสั้น ๆ ความหนาแน่น(0.916-0.930 g/cm<sup>3</sup>) เกิดจากพอลิเอทิลีนทำปฏิกิริยากับแอลฟาโอเลฟินมอนอเมอร์

UHMWPE น้ำหนักโมเลกุลสูงมากจึงมักเกิดลักษณะเกาะเกี่ยวพันกัน(entanglement) มีจุดหลอมเหลว 130°C พอลิเมอร์ไม่หลอมแต่มีลักษณะคล้ายยางมากกว่าของเหลว ซึ่งทำให้ทำการขึ้นรูปทำได้ยาก

## 2.5 ชานอ้อย (Bagasse)

ชานอ้อย คือ ส่วนของอ้อยที่เหลืออยู่หลังจากการหีบนำอ้อยออก ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารเสริมแรงในพลาสติกได้ และพบว่าชานอ้อยเป็นวัสดุที่มีมาก หาได้ง่าย ราคาถูก และมีส่วนประกอบทางเคมีที่เหมาะสมสำหรับผสมกับพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชานอ้อยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเส้นใยประมาณ 42-43 % ความชื้น 46-52 % และส่วนอื่น ๆ ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล 2-8 % ส่วนประกอบทางเคมีของชานอ้อยประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินและสารพอลิเมอร์ธรรมชาติ เซลลูโลสในชานอ้อยเป็นไฮโมพอลิเมอร์ประเภท ดี - กลูโคส พอลิเมอร์ของเฮมิเซลลูโลสเป็นประเภท ดี-ไซเลนและลิกนินเป็นประเภทฟีนอลิกธรรมชาติ [ ตารางที่ 1.1 ]

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ทางเคมีของชานอ้อย<sup>7</sup>

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

## 2.6 กระบวนการย่อยสลายโดยแสงและความร้อน

### 2.6.1 กระบวนการย่อยสลายโดยแสง (Photodegradation)

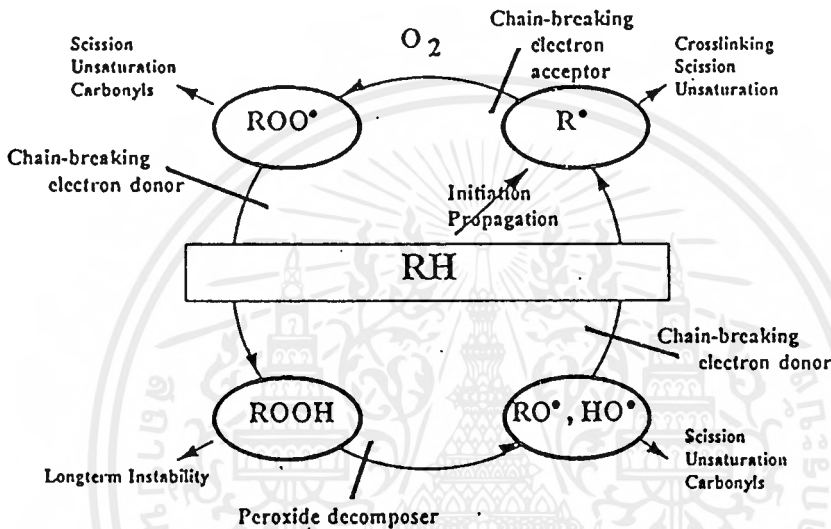
ปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยแสงเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลง โดยการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งมีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้เกิดการแตกพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมและเกิดอนุมูลอิสระขึ้นแล้วทำให้เกิดการเชื่อมโยงพันธะหรือเกิดการย่อยสลาย

### 2.6.2 กระบวนการย่อยสลายโดยความร้อน (Thermodegradation)

เอกสารนี้เป็นการสลายตัวทางความร้อนของพอลิเมอร์ สามารถเกิดขึ้นได้ในขั้นของการผลิต และขั้นสุดท้าย การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท้ายของการกำจัด โดยพอลิโอฟีนจะเกิดการย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว ในช่วงกระบวนการหลอม (melt processing) ความร้อนและออกซิเจนที่มีอยู่ในกระบวนการผลิตจะไปทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยความร้อน (Thermooxidation)

กลไกการออกซิเดชันโดยแสงและความร้อนมีลักษณะคล้ายกันดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กลไกของปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยแสงและความร้อน<sup>10</sup>

พอลิเมอร์สามารถที่จะดูดกลืนแสงและความร้อนได้ เนื่องจากมีหมู่ที่สามารถดูดกลืนแสงอยู่ในพอลิเมอร์ ซึ่งจะริเริ่มให้เกิดปฏิกิริยากระบวนการย่อยสลาย ได้แก่ สารปนเปื้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างขบวนการพอลิเมอไรเซชัน และขบวนการผลิตโดยเชื่อว่าเป็นหมู่คาร์บอนิล ไฮโดรเปอร์ออกไซด์, Oxygen-Polymer charge transfer Complex และ Metallic Impurity ซึ่งจะช่วยให้เกิดอนุมูลอิสระ (free radicals) ขึ้นในขั้นริเริ่มปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยตัวที่มีความสำคัญหลัก ๆ คือ หมู่คาร์บอนิล และไฮโดรเปอร์ออกไซด์ จากที่กล่าวมาสามารถแสดงขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยาจากการริเริ่มด้วยสิ่งเจือปนดังนี้

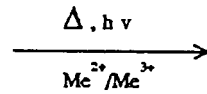
### Chain initiation

Hydroperoxides POOH

Carbonyl compounds

Catalyst residues(Ti...)

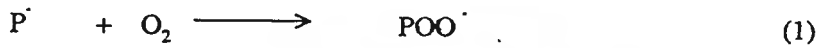
Charge-transfer complexes



free radicals

(P·, PO·, HO·, POO·)

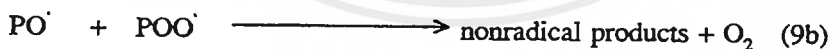
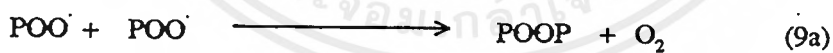
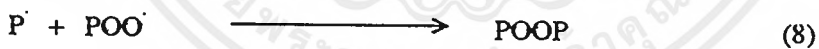
### Chain propagation



### Chain branching



### Chain termination



## ผลที่เปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแสงและความร้อน

พอลิโพลิฟินโดยทั่วไป เมื่อได้รับแสงหรือความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลง 2 แบบ คือ

### 1. เกิดการขาดของสายโซ่ (Chain scission) หรือ พันธะเชื่อมโยง (Cross-linking)

#### 1.1 การตัดสายโซ่ (Chain scission)

การตัดสายโซ่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโมเลกุล โดยจะทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง กลไกการตัดสายโซ่ มี 2 แบบดังนี้

##### 1.1.1 Oxidative scission

เป็นการตัดสายโซ่โดยตรงที่ตำแหน่ง  $\beta$  ของหมู่ peroxy radicals กลไกนี้จะใช้พลังงานกระตุ้นต่ำ และ อุณหภูมิปานกลาง หรือ ภายใต้สภาวะที่มีปริมาณ oxygen มาก

##### 1.1.2 Thermal scission

เป็นการตัดสายโซ่ที่ตำแหน่ง  $\beta$  ของ alkyl radical secondary alkyl radical ที่ได้จะเปลี่ยนไปเป็น vinyl group และ alkyl radical กลไกนี้ไม่ต้องการ oxygen แต่จะใช้พลังงานกระตุ้นสูงกว่า oxidative scission

#### 1.2 การเชื่อมโยงสายโซ่ (Chain cross-linking)

การเชื่อมโยงสายโซ่ จะทำให้น้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น โดยกลไกนี้เกิดจากการรวมตัวกันของ alkyl radical ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ พอลิโพลิฟิน จะเกิดการเชื่อมโยง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดการแตกสายโซ่

### 2. เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง และโดยความร้อน

โดยจะทำให้เกิด หมู่คาร์บอนิล คาร์บอกซิล ไฮดรอกซิล หรือ เปอร์ออกไซด์ในพอลิเมอร์ และจะส่งผลให้เกิดการแข่งขันระหว่างการเกิดพันธะเชื่อมโยงหรือเกิดการขาดของสายโซ่ แต่อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงจะเป็นปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจน จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่จะทำให้เกิดการย่อยสลายในพอลิเมอร์

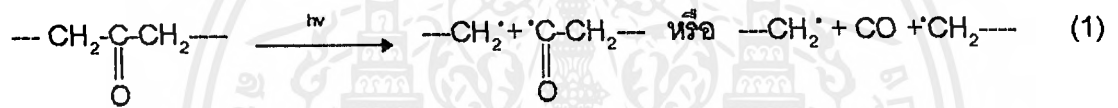
การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) การยืดที่จุดขาด (Elongation) และ ความทนทานต่อการกระแทก (Impact strength) ลดลงอย่างมาก โดยเฉพาะที่ผิวของพอลิเมอร์จะเกิดรอยร้าวเนื่องจากผลของแสงอัลตราไวโอเล็ต

กลไกการเกิดปฏิกิริยาขั้น Initiation และ Propagation ใน พอลิโพลิฟินเป็องจาก chromophore ประเภทต่าง ๆ<sup>3</sup>

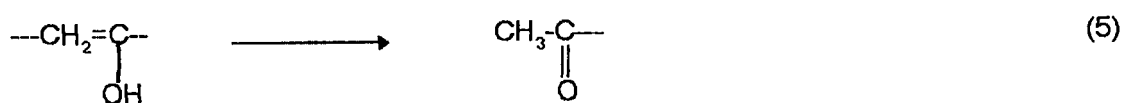
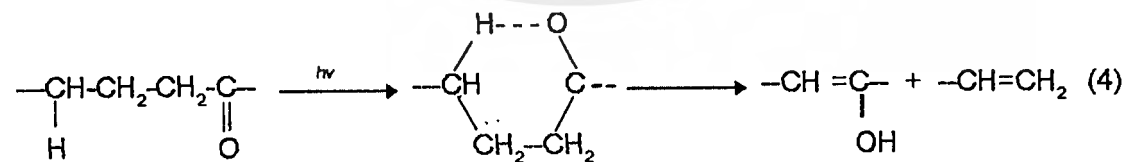
-โดยหมู่คาร์บอนิล

Aliphatic lactone และ aldehyde สามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตย่านใกล้ (Near UV) ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 280-300 นาโนเมตร และเกิดการกระตุ้นด้วยหมู่คาร์บอนิลจาก  $n - \pi^*$  โดยเชื่อว่าผลของการริเริ่มปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง จะเกิด 2 กระบวนการหลัก คือ

Norrish type I เมื่อหมู่คาร์บอนิล ดูดกลืนแสงจะสลายตัวให้หมู่คาร์บอนิลและให้ออนุมูลอิสระ ออกมาดังสมการ ซึ่งอนุมูลอิสระที่ได้จะเกิดปฏิกิริยาการรวมตัว (Recombination) หรือ การถ่ายโอนสายโซ่ (Disproportion) ก่อนที่จะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนจึงเป็นตัวที่ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระได้ไม่คืนัก

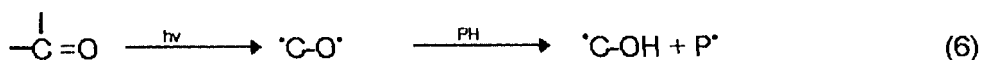


Norrish type II จะเกิดลักษณะนี้เมื่อแกมมาคาร์บอนอะตอม ( $\gamma$ -carbon) มีไฮโดรเจนอะตอมอย่างน้อย 1 ตัว เมื่อหมู่คาร์บอนิล ดูดกลืนแสงจะมีการจัดรูปเป็นรูปวงหกเหลี่ยม (six-membered cycle) ได้ผลิตภัณฑ์ เป็นหมู่โพลิฟินิค (Olefinic) และอินอลิค (Enolic) อย่างละ 1 หมู่



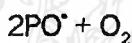
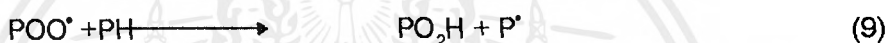
จากขบวนการแบบ Norrish type II จะไม่ได้ ผลิตภัณฑ์เป็นอนุมูลอิสระแต่จะได้หมู่คาร์บอนิล ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาให้ออนุมูลอิสระต่อได้ ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

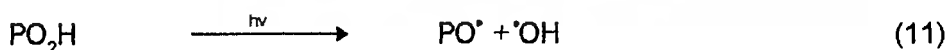


### -โดยอนุมูลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide)

อนุมูลลิไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Allyl hydroperoxide) จะดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตย่านไกล (Far ultraviolet) ที่ความยาวคลื่นประมาณ 200 นาโนเมตร ต่อเนื่องโดยอนุมูลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการสังเคราะห์และขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ มีกลไกดังนี้

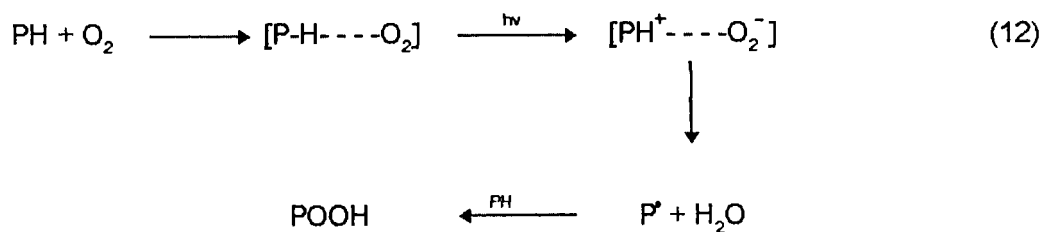


เมื่อได้รับการกระตุ้นโดยแสง อนุมูลไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะให้อนุมูลอิสระของอัลคอกซี (Alkoxy) และไฮดรอกซิล (Hydroxyl) ไปริเริ่มปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงต่อไป



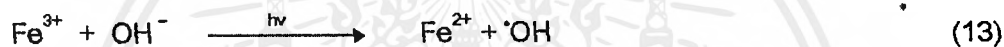
### -โดย Oxygen - Polymer Charge transfer Complex

พอลิเมอร์และก๊าซออกซิเจนสามารถที่จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Complex) ในลักษณะถ่ายโอนประจุ (Charge transfer) จะเกิดอนุมูลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะไปกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระ



**-โดยสิ่งเจือปนโลหะ (Metallic impurity)**

พอลิเมอร์ที่ผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) โดยใช้ คะตะลิสต์ Zeigler-Natta จะมีโลหะทรานซิชันหลงเหลืออยู่ ซึ่งยากที่จะทำการกำจัดออก เช่น Fe, Al, Ti ซึ่งสิ่งเจือปนโลหะเหล่านี้ สามารถ ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงในพอลิเอทิลีน ได้ดังสมการ



### บทที่ 3

#### การวิจัยและการดำเนินงาน

#### 3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 1.1 เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน ของบริษัท TPI LOT NO. 9606064,2300 K
- 1.2 ขวดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
- 1.3 ชานอ้อยจากโรงงานผลิตกระดาษ

#### 3.2 อุปกรณ์

- 2.1 เครื่องผสม Single screw extruder
- 2.2 เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection molding machine) “Cosmo” รุ่น TTI 220/80: บริษัทประทานเจริญ จำกัด
- 2.3 เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยคอมพิวเตอร์และโปรแกรม WINDAP : LLOYD Instruments LTD
- 2.4 เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Impact tester) : Yasuda 199311
- 2.5 เครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness tester) : SOCIETA PER AZIONI รุ่น alsfaar
- 2.6 เครื่องอัดความร้อน LP 20 : Labtch Co. Ltd.
- 2.7 เครื่องผสมแห้ง (High speed mixer)
- 2.8 เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Differential scanning calorimeter, DSC) : Shimazu Co., LTD
- 2.9 เครื่อง IR spectrophotometer
- 2.10 ตู้อบแสงอัลตราไวโอเล็ต
- 2.11 หลอดแสงอัลตราไวโอเล็ต
- 2.12 เครื่องชั่งแบบดิจิตอล
- 2.13 ตู้อบแบบอากาศร้อน ยี่ห้อ MEMMERT รุ่น UM 400
- 2.14 เครื่องตัดชิ้นงาน CEAST 6052
- 2.15 แม่แบบอัดความร้อน
- 2.16 เครื่องสแกนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Scanning electron microscope, SEM) รุ่น SEM ISM-6400 SCANNING MICROSCOPE : ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 ชุดอุปกรณ์พลาสติกทดสอบสมบัติการดูดน้ำ

2.2 ไมโครมิเตอร์

2.3 เวอร์เนีย

### 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 เก็บขวดพลาสติกชนิดขุ่น และเก็บชานอ้อย ล้างทำความสะอาดแล้วตากแห้ง

3.2 ผสมขวดพลาสติก และชานอ้อย ในอัตราส่วนต่าง ๆ และเตรียมชิ้นงานตัวอย่างด้วยวิธีฉีดขึ้นรูป

3.3 ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต

3.4 การทดสอบและตรวจวิเคราะห์

3.5 สรุปผลการทดลอง

### 3.4 วิธีการทดสอบ

4.1 การเตรียมชานอ้อย

นำชานอ้อยที่ได้จากโรงงานผลิตกระดาษมาคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 มิลลิเมตร แล้วนำมาล้างน้ำให้สะอาด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C

4.2 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง

4.2.1 นำขวดน้ำดื่มพลาสติกมาล้างให้สะอาด แล้วตากให้แห้ง จากนั้นนำเข้าเครื่องฉีดเพื่อทำการย่อยพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง

4.2.2 นำเม็ดพลาสติกที่ได้จากข้อ 4.2.1 มาผสมกับพอลิพรอพทิลีนในอัตราส่วน 1:1 ในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยใช้อุณหภูมิของการผสมในสี่บริเวณเป็น 140,150,160 และ 170 °C ตามลำดับ

4.2.3 นำพลาสติกที่ได้จากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ผสมให้เข้ากันกับชานอ้อยที่เตรียมได้ ด้วยอัตราส่วน 0,1,5 และ 10% โดยน้ำหนัก ในเครื่องผสมแห้ง ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

4.2.4 นำวัสดุที่ได้จากข้อ 4.2.3 มาทำการผสมในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยสภาวะที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ -อุณหภูมิที่ใช้ในการผสมเป็น 140,150, 160 และ 170°C นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ความเร็วรอบในการผสม 60 rpm

4.2.5 ทำการขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่างโดยขึ้นรูปชิ้นงานเป็น 2 แบบ คือ แบบแผ่นบางเพื่อใช้ในการวิเคราะห์โดยใช้ IR และขึ้นรูปชิ้นงานเป็นรูป Tensile bar เพื่อใช้ในการทดสอบ Tensile

-ขึ้นรูปแผ่นบาง ซึ่งเม็ดพลาสติกหนัก 40 กรัม ใช้แผ่นเหล็กประกบทั้งสองด้าน โดยไม่ใช้แม่แบบทำการ อดความร้อนด้วยเครื่องอดความร้อน ใช้อุณหภูมิในการอดร้อน 170 °C เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปหล่อเย็น เป็นเวลา 3 นาที จึงนำออกจากแบบ นำชิ้นงานที่ผ่านการอดมาตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม

-ขึ้นรูป Tensile bar โดยใช้เครื่อง Injection molding machine สภาวะที่ใช้แสดงในภาคผนวก ก

#### 4.3 การฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต

นำชิ้นงานพลาสติกที่เตรียมไว้ไปฉายแสงในตู้อบ UV และทำการกลับชิ้นงานทุก 72 ชั่วโมง โดยเก็บชิ้นงานตัวอย่างหลังจากการฉายแสงเป็นเวลา 0 , 500 , 1000 , 1500 , 2000 , 2500 และ 3000 ชั่วโมง

#### 4.4 การทดสอบ

##### 4.4.1. สมบัติเชิงกล

##### 1. สมบัติความแข็งแรงดึง

สมบัติที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด ค่าความคงรูปร่าง โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล และโปรแกรม WINDAP ในการคำนวณตามมาตรฐาน ASTM D 638<sup>11</sup> เตรียมชิ้นงานโดยวิธีการฉีดขึ้นรูป ใช้ชิ้นงานจำนวน 8 ชิ้น และสภาวะที่ใช้ในการทดลอง คือ

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)

ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Yazuda 199311 ตาม ASTM D 256-7<sup>12</sup> Method A (Izod type) เตรียมชิ้นงานโดยวิธีฉีดขึ้นรูป ใช้ชิ้นงานจำนวน 8 ชิ้น คำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

### 3. ค่าความแข็ง ( Hardness )

ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Hardness Tester ของ SOCIETA PER AZIONI รุ่น alsfar ตาม ASTM 2440<sup>13</sup> Procedure A วัดโดยใช้ Shore D ลักษณะพื้นผิวของวัสดุที่นำมาทดสอบต้องเรียบ มีความหนาไม่ต่ำกว่า 6 mm โดยทำการทดสอบ 3 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่าง

#### 4.4.2 สมบัติทางความร้อน

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

ซึ่งพลาสติกใน Pan สำหรับทดสอบด้วยเครื่อง DSC จำนวน 5 - 10 mg ให้ทราบปริมาณสารที่แน่นอน แล้วนำไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC โดยใช้อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิสูงสุด 200 องศาเซลเซียส และให้อัตราการให้ความเย็น 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

จากนั้นนำมาทำการศึกษาอุณหภูมิตกผลึก ( $T_c$ ) อุณหภูมิการหลอมเหลว ( $T_m$ ) และพื้นที่ใต้กราฟ การคำนวณหา และ Heat of fusion ( $H_f$ ) ต่อน้ำหนักสารตัวอย่างดังนี้

$$\Delta H_f = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ (mJ)}}{\text{น.น.สารตัวอย่าง (mg)}}$$

#### 4.4.3 สมบัติทางกายภาพ

##### 1. ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อได้รับความร้อน

ทำการทดสอบโดยนำชิ้นงาน Impact เข้าตู้อบแบบอากาศร้อน ที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อหาสถานะที่ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลงสีและรูปร่าง แล้วจึงนำชิ้นงาน Impact สูตรละ 2 ชิ้น เข้าตู้อบแบบอากาศร้อน ในสถานะที่หาได้ ดูผลการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานที่เวลาต่างๆ กัน

##### 2. การดูดซับน้ำ (Water absorption)

ตัดเศษชิ้นงานที่เหลือจากการทดสอบ Impact เป็นแผ่นสี่เหลี่ยม โดยนำชิ้นงานในแต่ละตัวอย่างมา 4 ชิ้น แล้วนำไปอบให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำชิ้นงานไปแช่ในน้ำ โดยชิ้นงานเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องจมน้ำไปในน้ำ ตัวอย่างทั้งหมดจะถูกนำมาวัดปริมาณน้ำที่ดูดซับที่เวลาต่าง ๆ กันเป็น 5 ช่วงเวลา ปริมาณน้ำที่ดูดซับคำนวณได้จากสูตร

$$W_g = \frac{(W_e - W_o)}{W_o} * 100$$

$W_o$

เมื่อ  $W_g$  คือ ร้อยละการดูดซับน้ำ

$W_e$  คือ น้ำหนักหลังการดูดซับน้ำ

$W_o$  คือ น้ำหนักก่อนการดูดซับน้ำ

#### 4.4.4 การหาปริมาณการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation)

นำตัวอย่างที่เป็นแผ่นบางที่เตรียมไว้ มาตรวจวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง IR spectrophotometer ในช่วงเลขคลื่น  $4000-400 \text{ cm}^{-1}$  โดยเปรียบเทียบความเข้มของหมู่คาร์บอนิลที่เลขคลื่น  $1780 \text{ cm}^{-1}$  และหมู่ไฮดรอกซี ที่เลขคลื่น  $3400 \text{ cm}^{-1}$  ทั้งก่อนและหลังการฉายแสง และ เปรียบเทียบกับเลขคลื่น  $2840 \text{ cm}^{-1}$

#### 4.4.5 สัณฐานวิทยา (Morphology)

##### 1. ศึกษาโดยใช้กล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป

ใช้ตัวอย่างที่เป็นแผ่นฟิล์ม โดยทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มที่ผ่านการฉายแสงเป็นเวลาต่าง ๆ

##### 2. ศึกษาโดยใช้สแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป

ทำการศึกษาโดยใช้ SEM JSM -6400 ศึกษาจากภาพตัดขวางและลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่เกิดจากการแตกหักด้วยการกระแทก เตรียมตัวอย่างโดยนำพอลิเมอร์ที่ได้จากการแตกหักและที่เตรียมเป็นแผ่นฟิล์มมาเคลือบด้วยทองคำ

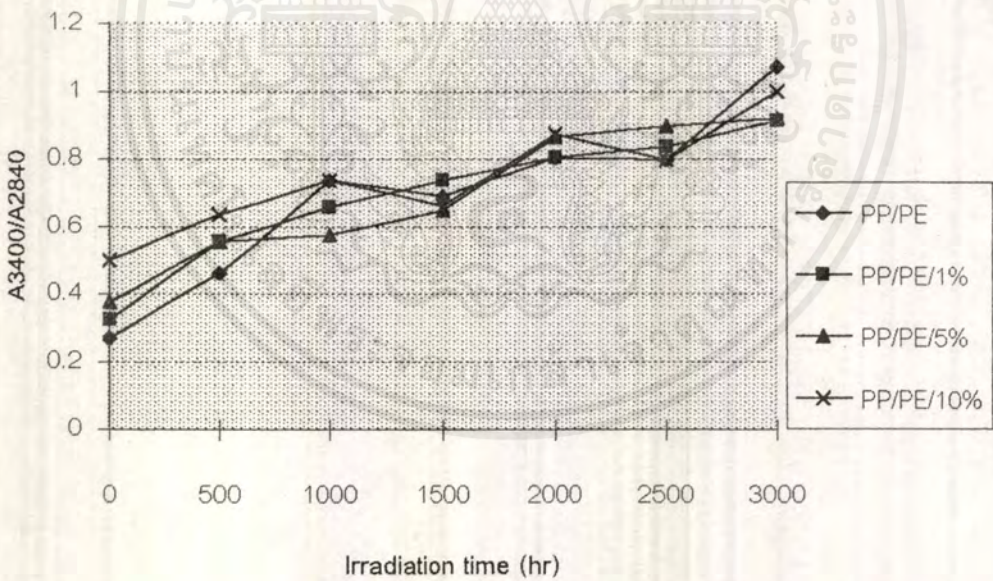
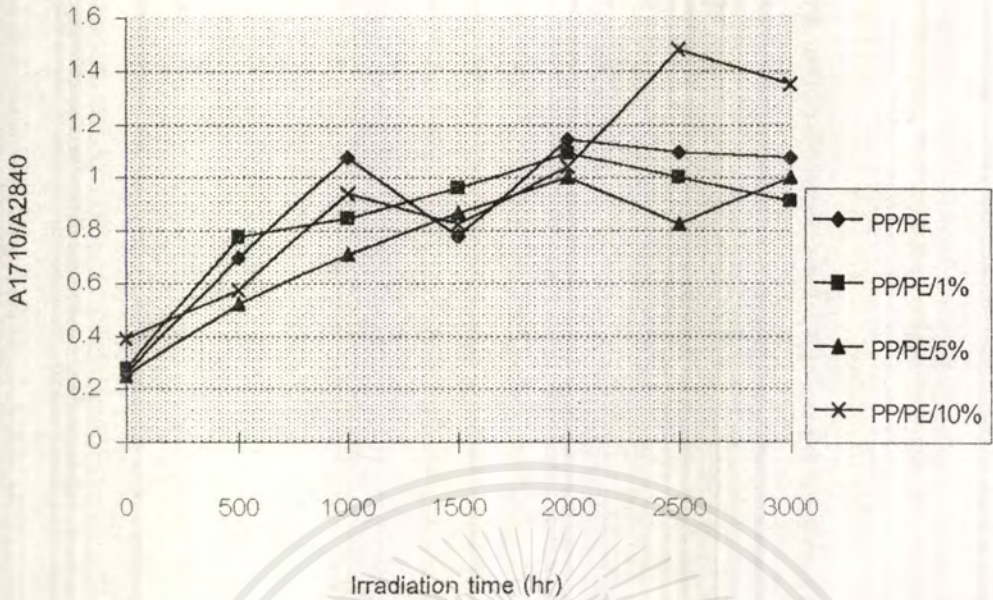
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการดำเนินงานโครงการวิจัยศึกษาผลของชานอ้อย ต่อกระบวนการย่อยสลายโดยแสงใน พอลิเมอร์ผสมของ PP/PE พบการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของชิ้นงานตัวอย่าง ทั้งทางเคมีและ ทางกายภาพต่อระยะเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV เป็นเวลา 0 , 500 , 1000 , 1,500 , 2,000 , 2,500 และ 3,000 ชั่วโมง ดังผลการวิจัยต่อไปนี้

#### 4.1 ปริมาณการเกิดออกซิเดชัน

ปริมาณหมู่คาร์บอนิล และเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายหลังการฉายแสง UV แสดงได้โดยหา อัตราส่วนของค่าการดูดกลืนแสงที่เลขคลื่น  $1,710\text{ cm}^{-1}$  และ  $3,400\text{ cm}^{-1}$  ตามลำดับ โดยเทียบกับ ค่าการดูดกลืนแสงของพันธะ C - H ที่เลขคลื่น  $2,840\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงปริมาณการย่อย สลายที่เกิดขึ้นในพอลิเมอร์เพราะจะเป็นตำแหน่งที่ง่ายต่อการแตกของพันธะ โดยผลการทดลองที่ได้ แสดงไว้ในตารางภาคผนวก ข และสเปกตรัมจากเครื่อง IR spectrophotometer แสดงไว้ในภาค ผนวก ค และสามารถแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณการเปลี่ยนแปลงของหมู่คาร์บอนิล และเปอร์ ออกไซด์ที่เกิดขึ้น เทียบกับเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณหมู่คาร์บอนิลและเปอร์ออกไซด์กับเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของพอลิเมอร์ PP/PE ที่เติมปริมาณขาน้อย 0%, 1%, 5% และ 10% โดยน้ำหนัก

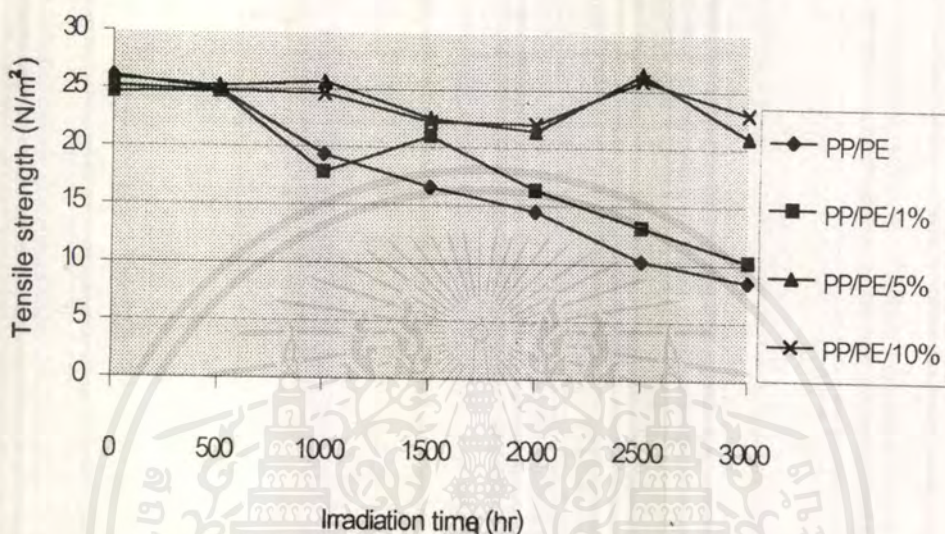
จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของ PP/PE ที่ไม่เติมและเติมขานอ้อย กับเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV พบว่าคอมพอลิเมอร์จะมีค่าการดูดกลืนแสงซึ่งแสดงถึงปริมาณหมู่คาร์บอนิลและหมู่เปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาของการฉายแสง และจะเริ่มคงที่ที่ช่วง 2,000 ชม. เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมเมื่อผ่านการฉายแสงจะเกิดอนุมูลอิสระ ทำให้ออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยาเกิดเป็นหมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งสลายตัวให้หมู่คาร์บอนิล โดยจะเกิดการแตกพันธะแบบ Norrish type I และ II เมื่อได้รับแสง และจากกราฟ พบว่าปริมาณขานอ้อยไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงเพราะตัวอย่างที่ไม่เติมและเติมขานอ้อยให้หมู่คาร์บอนิลและไฮโดรเปอร์ออกไซด์ใกล้เคียงกัน ในทุก ๆ ช่วงเวลาของการทดลอง ส่วนกราฟแสดงปริมาณหมู่เปอร์ออกไซด์ก็มีลักษณะเดียวกัน เหตุผลดังที่ได้แสดงไว้แล้ว



## 4.2 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกล

### 4.2.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแรงดึงที่จุดขาด

ค่าความแข็งแรงดึงที่จุดขาดแสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุที่สามารถทนทานต่อการได้รับแรงก่อนที่จะเกิดการแตกหักจากงานวิจัยที่ได้ทำการทดสอบสมบัติภายหลังการได้รับแสง UV ผลการวิจัยแสดงไว้ในภาคผนวก ข และสามารถแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเวลาที่ได้รับแสง UV ได้ดังนี้



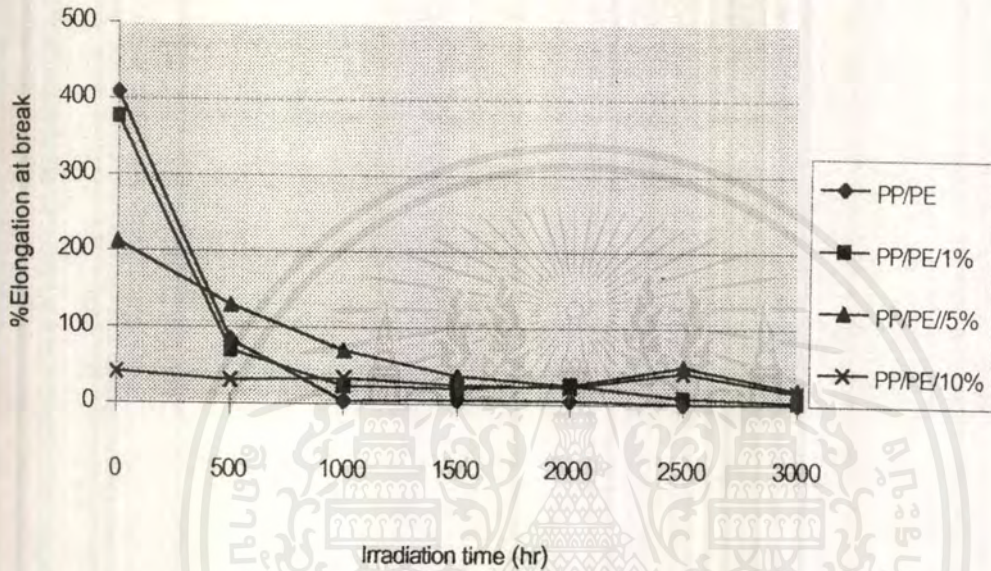
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ ช่วงเวลาที่ได้รับแสง UV ของพอลิเมอร์ PP/PE ที่เติมปริมาณขาน้อยในปริมาณ 0%, 1%, 5% และ 10% โดยน้ำหนัก

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ เวลาที่ได้รับแสง UV พบว่าค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลงตามเวลาที่ฉายแสง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลง มีผลต่อการลดลงของค่าความแข็งแรง ทำให้ทนแรงดึงได้น้อยลง

เมื่อพิจารณาถึงผลของปริมาณขาน้อยที่เติม พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของคอมพอสิตก่อนการฉายแสงในแต่ละสูตรจะมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าการเติมขาน้อยไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง แต่จะมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของคอมพอสิตหลังผ่านการฉายแสงมีค่าลดต่าลงน้อยกว่าที่ไม่ได้เติมขาน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจาก พอลิเมอร์คอมพอสิตที่ผ่านการฉายแสงจะเกิดอนุมูลอิสระกลายเป็นหมู่มีซิว ซึ่งอาจสามารถเกิดแรงกระทำระหว่างผิวกับขาน้อย ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดต่าลงไม่มากนัก นอกจากนี้จะเห็นว่าปริมาณขาน้อยที่มีปริมาณ 5% และ 10% จะมีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าที่ 0% และ 1% เนื่องจากปริมาณขาน้อยที่มากจะทำตัวเป็นนิวเคลียสให้พอลิเมอร์เกิดผลึกมาก ส่งผลให้ผลึกมีขนาดเล็ก คอมพอสิตมีความเหนียวมากขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงจึงสูงกว่าที่ 0% และ 1% ขาน้อย

#### 4.2.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด

ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาดเป็นสมบัติเชิงกลที่แสดงถึงความสามารถในการยืดก่อนที่จะเกิดการขาดอย่างถาวรความยาวของสายโซ่โมเลกุลเป็นปัจจัยที่บ่งบอกสมบัติดังกล่าว ผลการวิจัยได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข และสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาดกับช่วงเวลาที่ได้รับแสง UV ได้ดังนี้

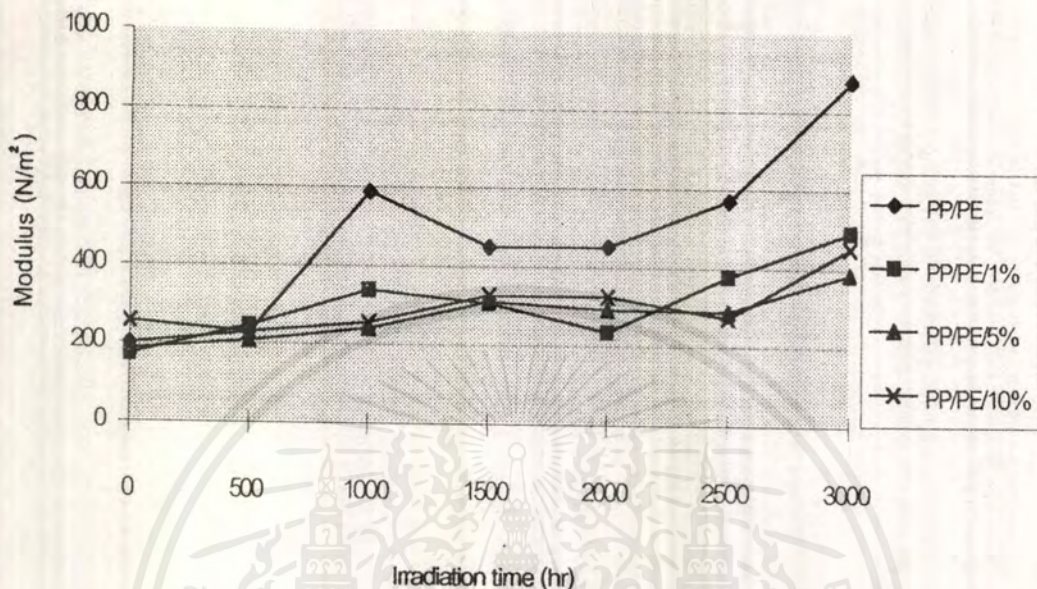


รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด กับ ช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของพอลิเมอร์ PP/PE ที่เติมปริมาณขานอ้อยในปริมาณ 0%, 1%, 5% และ 10% โดยน้ำหนัก

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาดกับเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาดของคอมพอลิเมอร์ที่ไม่ได้ผ่านการฉายแสงจะมีค่าลดลงตามปริมาณของขานอ้อยที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากขานอ้อยจะไปขัดขวางการยืดของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อได้รับแรงดึง ถ้ายังมีปริมาณมากก็จะยิ่งไปขัดขวางการยืดมาก และเมื่อพิจารณาคอมพอลิเมอร์ผ่านการฉายแสง พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาดจะมีค่าลดลงตามเวลาการฉายแสงเช่นกัน แต่ลดลงน้อยกว่าเมื่อไม่มีขานอ้อย และที่เวลาการฉายแสงตั้งแต่ 1000 ชม. จนถึง 3000 ชม. เปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ก็ยังพบว่าคอมพอลิเมอร์ที่มีขานอ้อยอยู่มากจะยืดยาวได้ดีกว่าที่ไม่มีขานอ้อย แสดงว่าพอลิเมอร์สลายตัวภายใต้แสง UV และส่วนที่ขาดของโซ่นั้นเกิดเกาะเกี่ยวกันได้ดีกับขานอ้อยจะช่วยในเรื่องการยืดตัวของคอมพอลิเมอร์

### 4.2.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแรง

ค่าความแข็งแรง เป็นสมบัติเชิงกลของวัสดุที่แสดงถึงความคงรูปร่างของชิ้นงานเมื่อได้รับแรง ผลการวิจัยได้แสดงให้เห็นในภาคผนวก ข และสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรง กับ ช่วงเวลาที่ได้รับแสง UV ได้ดังนี้

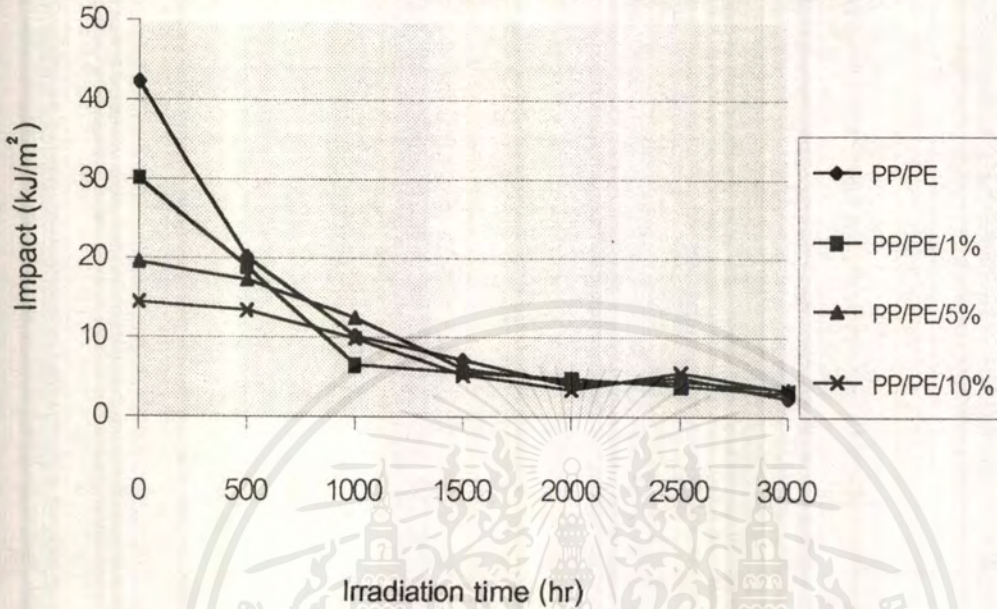


รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัส กับ ช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของพอลิเมอร์ PP/PE ที่เติมปริมาณขาน้อยในปริมาณ 0%, 1%, 5% และ 10% โดยน้ำหนัก

จากกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV พบว่าคอมพอสิตเมื่อผ่านการฉายแสงมากขึ้นค่ามอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุก ๆ สูตร เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของคอมพอสิตเกิดการตัดขาดส่งผลให้คอมพอสิตมีความแข็งแรงมากขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ก่อนการฉายแสง พบว่าความแข็งแรงของคอมพอสิตจะเพิ่มตามปริมาณขาน้อยที่มากขึ้นเมื่อผ่านการฉายแสงนานขึ้น พบว่าค่ามอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เติมขาน้อยจะมีค่ามอดุลัสสูงกว่าที่เติมขาน้อย อาจเนื่องจากสายโซ่ที่ถูกตัดขาดก่อตัวเป็นผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ผสมที่มีขาน้อยให้ค่ามอดุลัสต่ำกว่า เนื่องจากขาน้อยไปทำให้ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ผสมมีขนาดเล็กลงคอมพอสิตจึงมีความเหนียวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่งผลให้ค่ามอดุลัสของคอมพอสิตมีค่าต่ำกว่า

#### 4.2.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความทนแรงกระแทก

ค่าความทนแรงกระแทก เป็นสมบัติเชิงกลที่แสดงความทนต่อการได้รับแรงกระแทกโดยฉับพลันของวัสดุ ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรง ผลการวิจัยได้แสดงให้เห็นในภาคผนวก ข และสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทกกับ ช่วงเวลาที่ได้รับแสง UV ได้ดังนี้

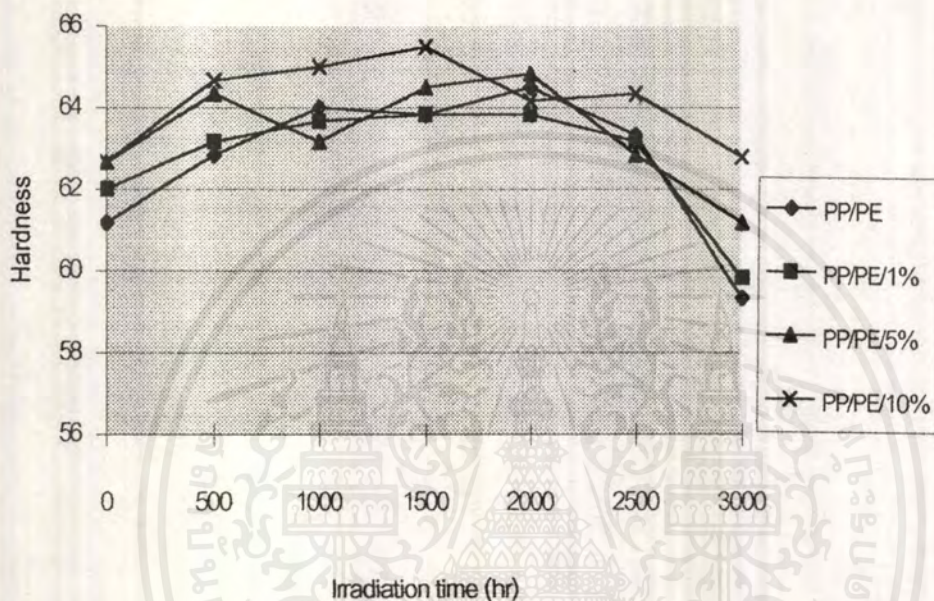


รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทก กับ ช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของพอลิเมอร์ PP/PE ที่เติมปริมาณขานอ้อยในปริมาณ 0%, 1%, 5% และ 10% โดยน้ำหนัก

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทก กับเวลาที่ได้รับการฉายแสง พบว่าค่าความทนแรงกระแทกของคอมพอสิตก่อนการฉายแสงมีค่าลดลงตามปริมาณขานอ้อยที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยอ้อยกับพอลิเมอร์ผสมมีแรงยึดระหว่างกันไม่ดี ดังจะเห็นได้จากภาพถ่าย SEM ของพื้นผิวพอลิเมอร์คอมพอสิตที่ได้จากการหัก แสดงว่าพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดไม่สามารถผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ และเมื่อพิจารณาถึงผลของการฉายแสงจะพบว่า ค่าความทนแรงกระแทกจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 500-1,000 ชม. เนื่องมาจากการตัดขาดของสายโซ่ออกเป็นสายสั้น ๆ ทำให้พอลิเมอร์คอมพอสิตรับแรงกระแทกอย่างฉับพลันได้ไม่ดี โดยพบว่าพอลิเมอร์คอมพอสิตที่มีปริมาณขานอ้อยมาก จะมีค่าความทนแรงกระแทกลดลงน้อยกว่าคอมพอสิตที่มีปริมาณขานอ้อยน้อยกว่าตามเวลาของการฉายแสง

#### 4.2.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งที่พื้นผิว

ค่าความแข็งที่พื้นผิว เป็นสมบัติเชิงกลที่แสดงถึงความแข็งที่ผิวชั้นงานของวัสดุ ผลการวิจัยได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งที่พื้นผิวกับ ช่วงเวลาที่ได้รับแสง UV ได้ดังนี้



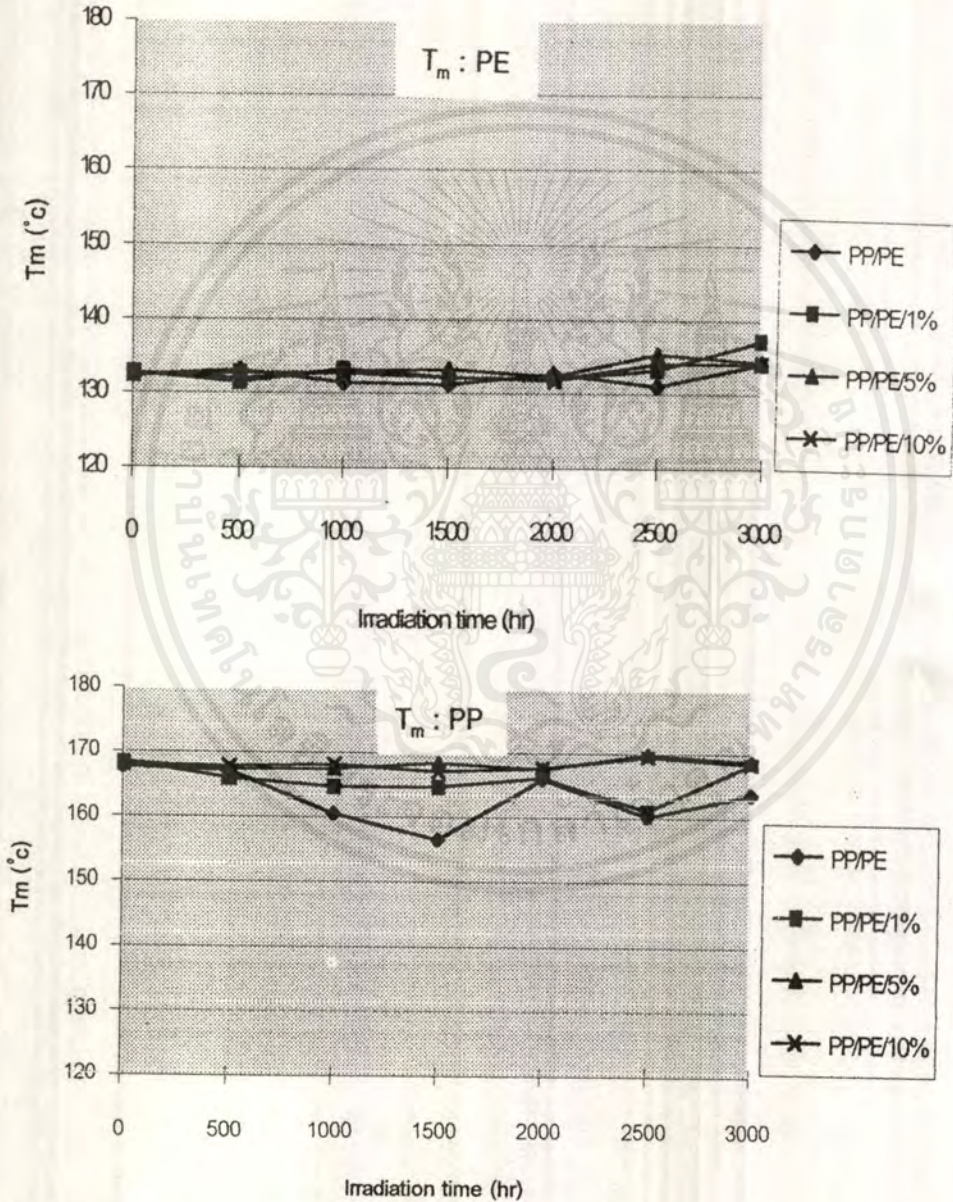
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง กับ ช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของพอลิเมอร์ PP/PE ที่เติมปริมาณขาน้อยในปริมาณ 0%, 1%, 5% และ 10% โดยน้ำหนัก

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับเวลาที่ได้รับการฉายแสง พบว่าค่าความแข็งของพอลิเมอร์ที่ผสมขาน้อย 5% และ 10% ก่อนการฉายแสงจะให้ค่าความแข็งสูงกว่า พอลิเมอร์ที่มีขาน้อย 1% และไม่มีขาน้อย และคอมพอลสิตที่ผ่านการฉายแสงจนถึง 1,500 ชม. ค่าความแข็งจะมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากสายโซ่ยังเกิดการตัดขาดไม่มากนัก สายโซ่ที่ถูกตัดขาดบ้างบางส่วนยังสามารถจัดตัวเป็นผลึกได้ จึงทำให้คอมพอลสิตแข็งขึ้น แต่เมื่อพิจารณาหลังการฉายแสงเกิน 1,500 ชม.ไปแล้ว พบว่าค่าความแข็งเริ่มลดลง เนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นมากที่บริเวณผิวหน้าของชิ้นทดสอบ อย่างไรก็ตามหลังจากฉายแสง 3,000 ชม. พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีขาน้อยอยู่ 10% ยังคงมีผิวที่แข็งกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่เติมขาน้อย แสดงว่าความแข็งที่ผิวของชิ้นทดสอบลดลงน้อยเมื่อมีขาน้อย

### 4.3 ผลการวิจัยการศึกษาสมบัติทางความร้อน

#### 4.3.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิของการหลอมตัวของผลึก

อุณหภูมิหลอมตัวของผลึกสามารถบ่งบอกถึงขนาดความหนาของชั้นผลึกลามลลา (lamella) โดยจะแปรผันตามความหนาของชั้นลามลลา การศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหลอมตัวของผลึกจะบ่งบอกถึงบริเวณและปริมาณของการขาดของสายโซ่โดยผลการวิจัยได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข โดยความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิหลอมตัวของผลึกกับเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ดังนี้



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิหลอมตัวของผลึกของ PE และ PP กับ ช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของพอลิเมอร์ PP/PE ที่เติมปริมาณขาน้อยในปริมาณ 0%, 1%, 5% และ 10% โดยน้ำหนัก

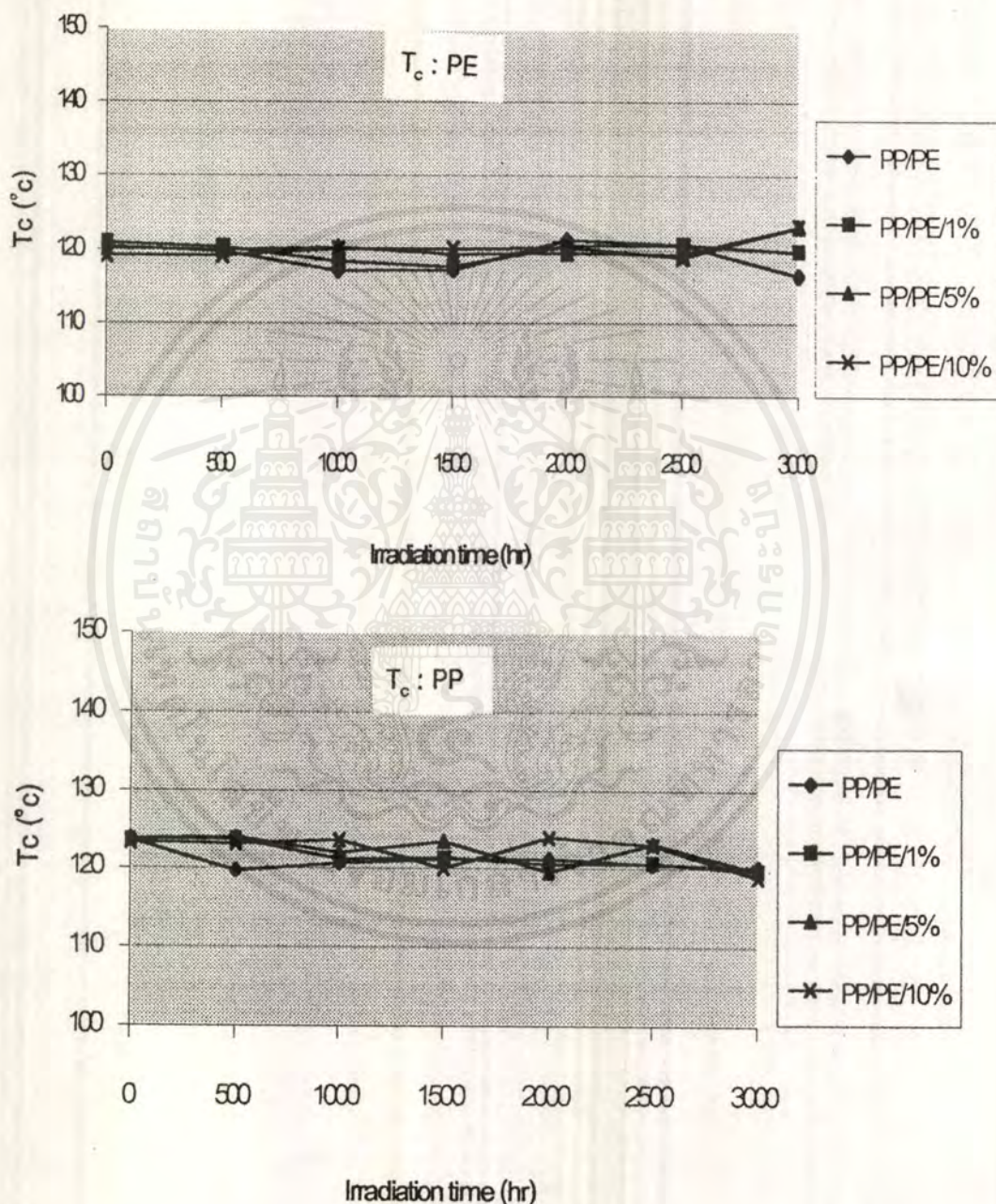
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิหลอมตัวของผลึกของ PE ในคอมพอสิตกับเวลาที่ได้รับการฉายแสง พบว่าเมื่อฉายแสงจนถึง 3,000 ชม. ค่าอุณหภูมิในการหลอมผลึกของ PE ไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อพิจารณาถึงผลของปริมาณขานอ้อย พบว่าปริมาณขานอ้อยไม่มีผลต่ออุณหภูมิในการหลอมผลึกของ PE ที่ผ่านการฉายแสงเช่นเดียวกัน และจากการศึกษากราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิหลอมตัวของผลึกของ PP ในคอมพอสิตกับเวลาที่ได้รับการฉายแสง พบว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกับของ PE ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น



#### 4.3.2. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิการตกผลึก

อุณหภูมิของการตกผลึกสามารถแสดงถึงความยากง่ายในการตกผลึกซึ่งอาจแตกต่างกันไปตามชนิดและความยาวของสายโซ่โมเลกุล ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของการตกผลึกแสดงไว้ในภาคผนวก ข และสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการตกผลึกกับเวลาที่ได้รับแสง UV ดังนี้

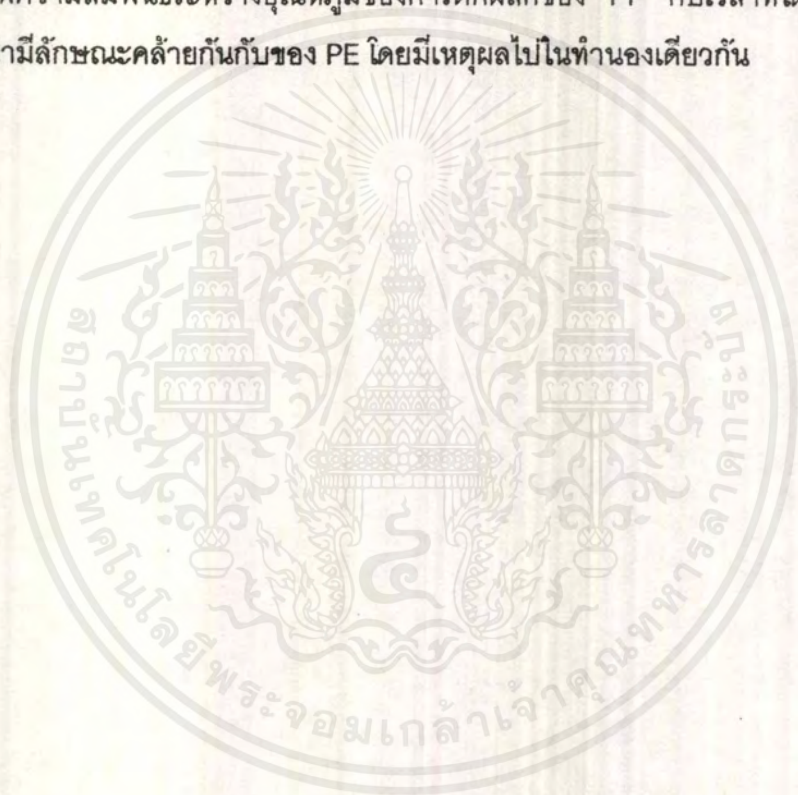


รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของการตกผลึก ของ PE และ PP กับเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของพอลิเมอร์ PP/PE ที่เติมปริมาณขานอ้อยในปริมาณ 0%, 1%, 5% และ 10% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

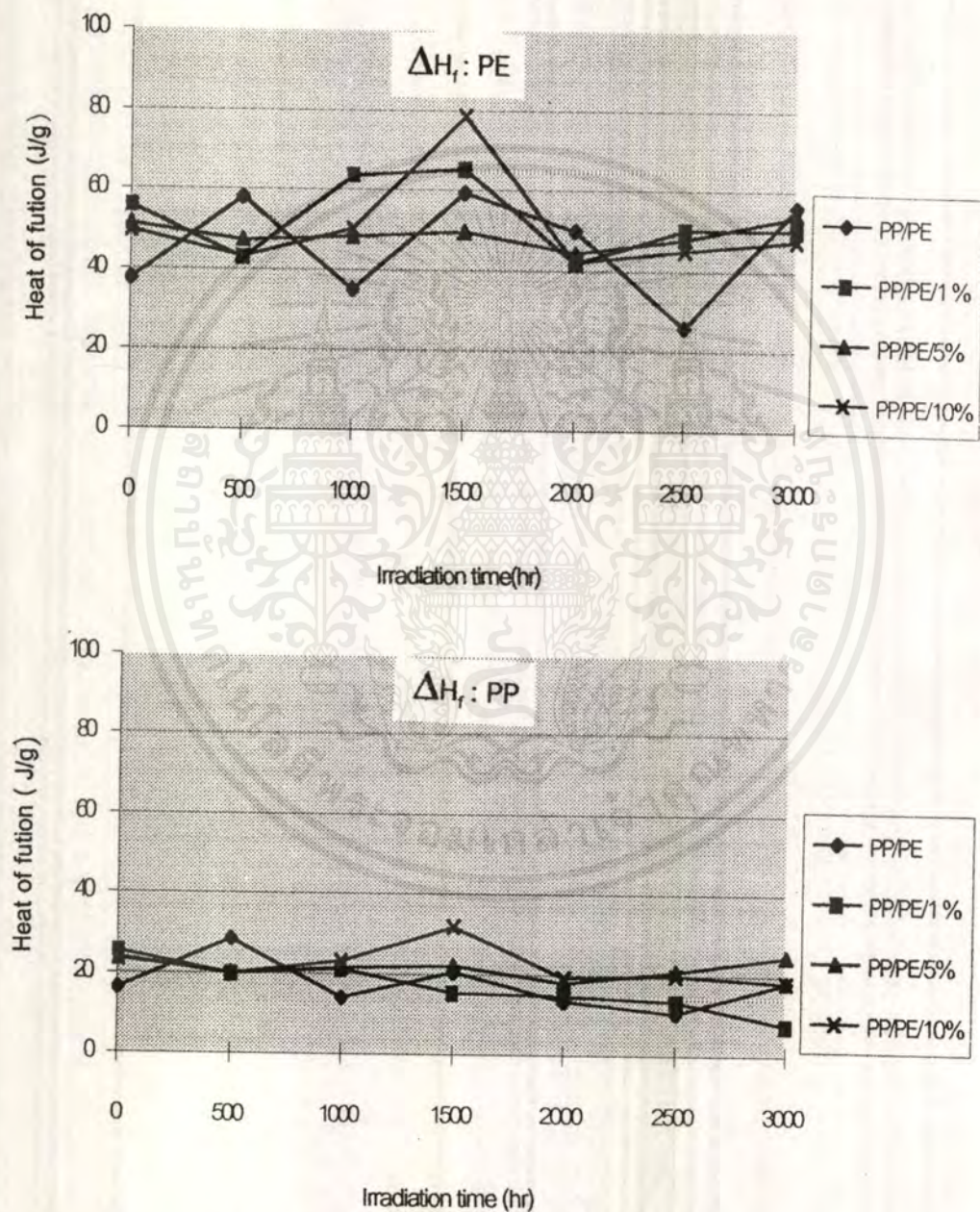
จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของการตกผลึกของ PE กับเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV พบว่าในตัวอย่างแต่ละสูตรมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของการตกผลึกน้อยมาก และอัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างตัวอย่างก็ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจาก PE และ PP ผสมรวมกันได้ไม่ดีนัก โครงสร้างของ PP จึงไม่ไปขัดขวางการตกผลึกของ PE การขัดขวางการตกผลึกจึงเกิดจากสายโซ่โมเลกุลเล็ก ๆ ของ PP ที่เกิดจากการขาดของสายโซ่เท่านั้น ทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของการตกผลึกแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลง และจากกราฟจะพบว่าขานอ้อยไม่ช่วยหรือหน่วงเหนี่ยวอุณหภูมิในการตกผลึก ดังจะเห็นได้จากกราฟแต่ละเส้นไม่แตกต่างจากพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้ใส่ขานอ้อยหรือใส่ขานอ้อยในปริมาณต่างกัน

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของการตกผลึกของ PP กับเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV พบว่ามีลักษณะคล้ายกันกับของ PE โดยมีเหตุผลไปในทำนองเดียวกัน



### 4.3.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึก

ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกสามารถบ่งบอกถึงปริมาณผลึกที่มีอยู่ในพอลิเมอร์ จึงใช้ในการทำนายพฤติกรรมของการขาดของสายโซ่ที่ส่งผลต่อปริมาณผลึกที่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาต่าง ๆ ในการได้รับการฉายแสง UV โดยผลการวิจัยได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข และความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ในการหลอมตัวของผลึกกับเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV แสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกของ PE และ PP

กับช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของพอลิเมอร์ PP/PE ที่เติมขานอ้อยในปริมาณ 0%, 1%, 5% และ 10% โดยน้ำหนัก

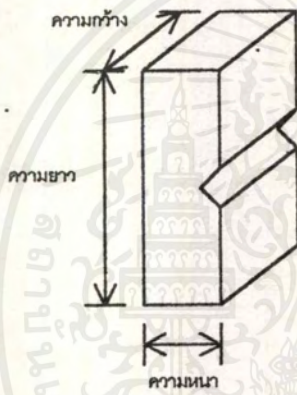
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกของ PE ทั้งที่มีและไม่มี  
 ชานอ้อย กับช่วงเวลาที่ได้รับแสง พบว่าค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกเปลี่ยนแปลง  
 เล็กน้อยตามระยะเวลาที่ฉายแสง และเมื่อพิจารณาถึงผลของชานอ้อย พบว่าชานอ้อยไม่มีผล  
 ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึก ดังจะเห็นได้จากกราฟที่ไม่แตกต่างกัน  
 มากนัก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกของ PP ก็มีลักษณะเหมือนกันกับ  
 PE ดังได้อธิบายในข้างต้นแล้ว



#### 4.4 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ

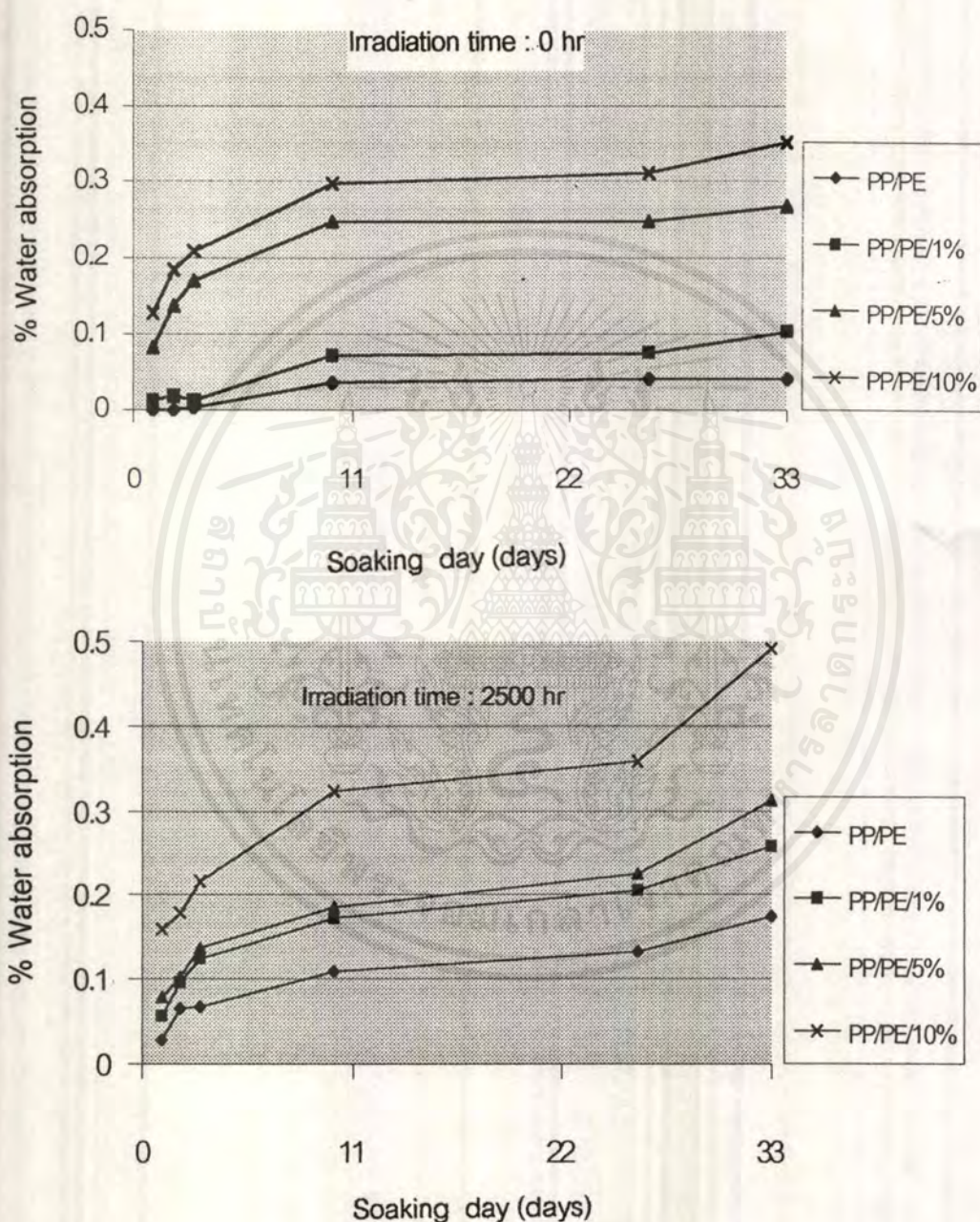
การศึกษาผลของความร้อนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิเมอร์ผสม PP/PE ทั้งที่เติมและไม่เติมซานอ้อย โดยนำชิ้นงาน Izod เข้าทดสอบแบบอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 110 และ 120 องศาเซลเซียสพบว่าชิ้นงาน Izod จะมีความหนาเพิ่มขึ้น ขณะที่ความกว้าง และความยาวลดลง เนื่องมาจากความร้อนจะทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์บริเวณที่เป็นอสัณฐานเกิดจัดเรียงตัวกันใหม่ทำให้เกิดความเป็นระเบียบมากขึ้น ส่งผลให้ความหนาของชิ้นงานเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.10 แสดงขนาดของชิ้นงาน Izod

#### 4.5 ผลการศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ

สมบัติการดูดซับน้ำแสดงถึงความสามารถของคอมพอลิเมอร์ที่สามารถดูดซับน้ำเข้าไปในช่องว่างภายในตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งแสดงว่ามีหมู่ที่ชอบน้ำ โดยผลการวิจัยแสดงไว้ในภาคผนวก ข ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำกับเวลาที่ตัวอย่างได้รับแสง UV แสดงได้ดังนี้

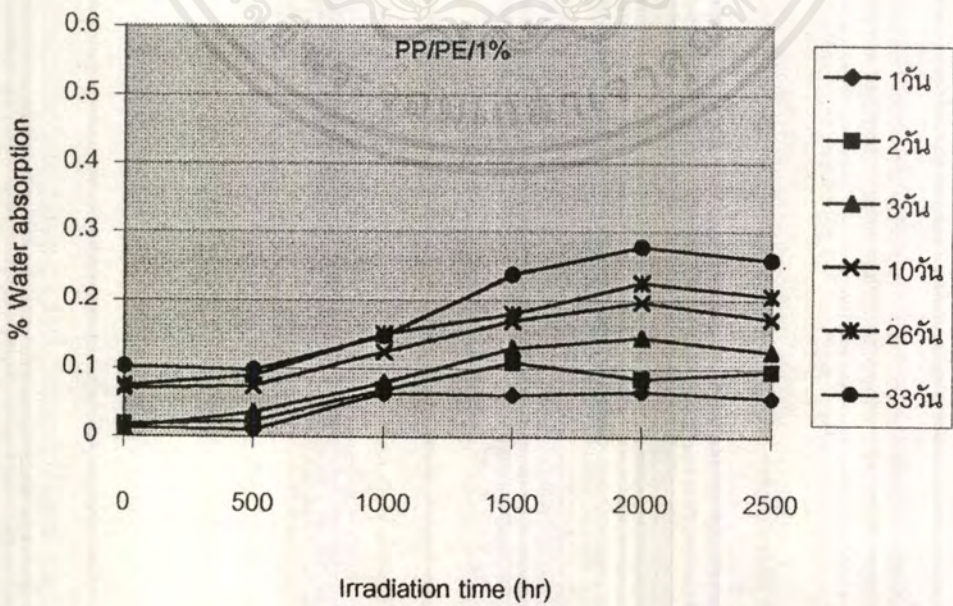
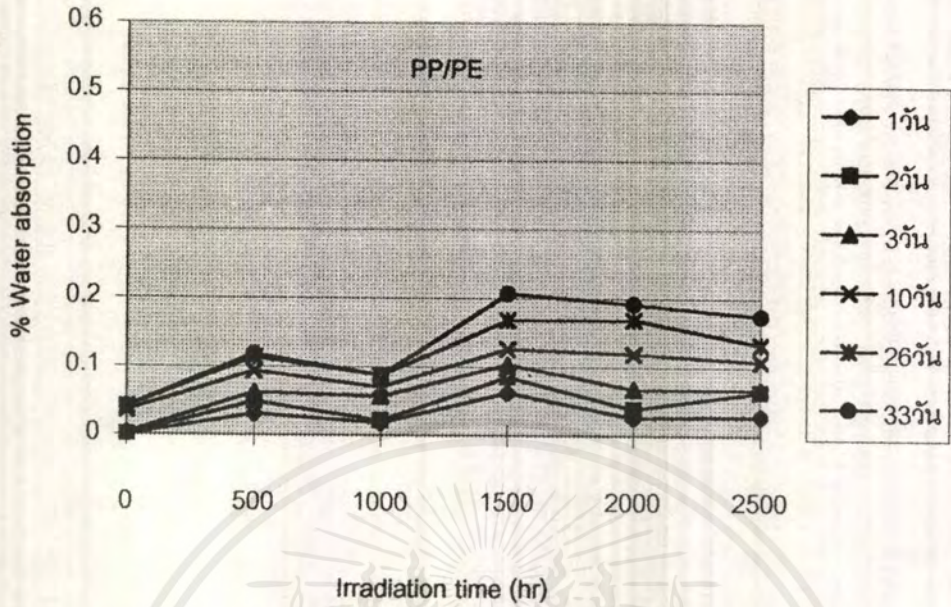


รูปที่ 4. 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละ การดูดซับน้ำที่ก่อนและหลังการฉายแสง (2,500 ชม.) กับจำนวนวันที่ทำการทดลองของพอลิเมอร์ PP/PE ที่เติมขานอ้อยในปริมาณ 0%, 1%, 5% และ 10% โดยน้ำหนัก

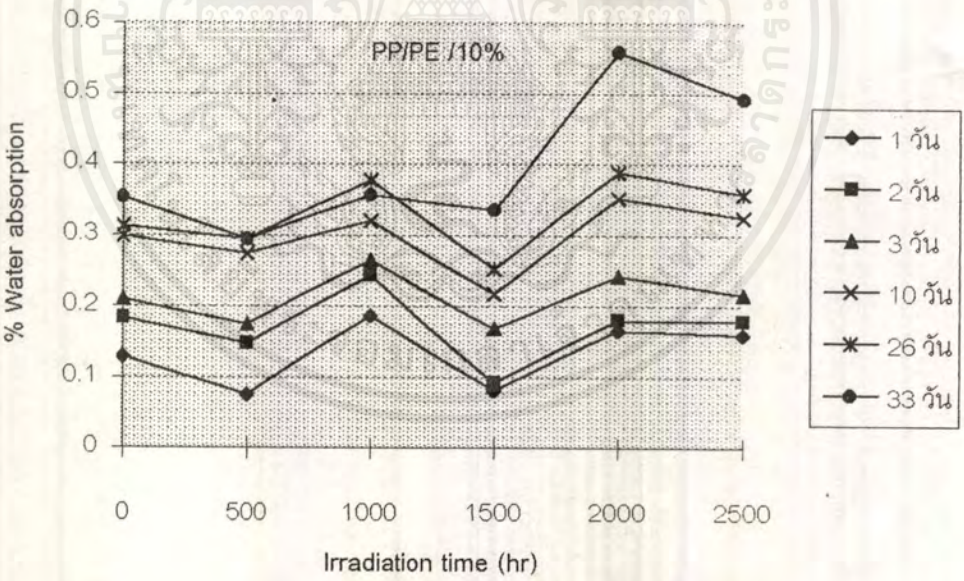
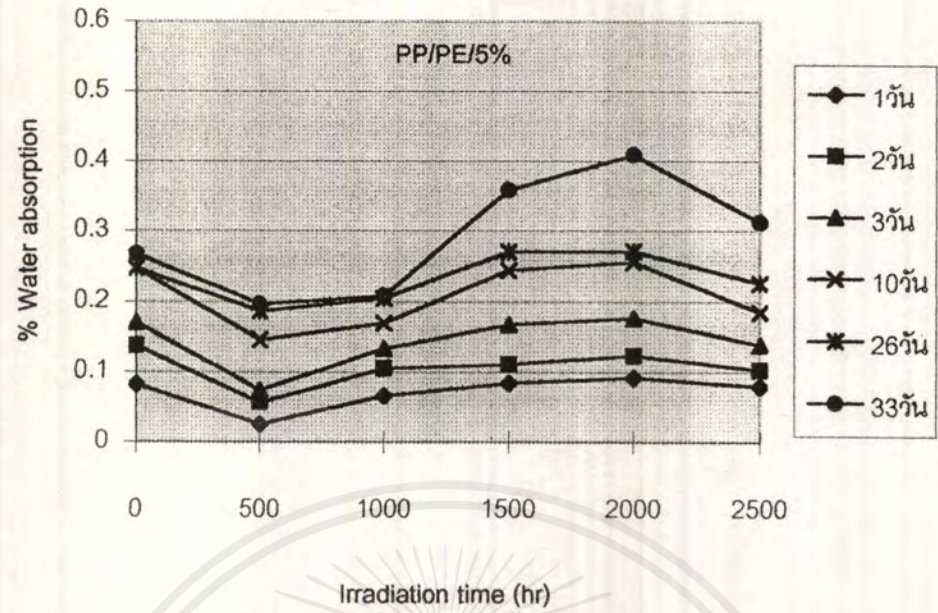
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำที่ก่อนและหลังการฉายแสงกับจำนวนวันที่ทำการทดลอง [รูปที่ 4.11 และ 4.12] พบว่า พอลิเมอร์คอมพอสิตที่ผ่านการฉายแสง 2,500 ชม. จะมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำสูงกว่าที่ไม่ได้ผ่านการฉายแสง เนื่องจากเมื่อผ่านการฉายแสงมากขึ้นจะทำให้สายโซ่เกิดอนุมูลอิสระ ออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ ทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันมากขึ้นคือหมู่คาร์บอนิล และหมู่เปอร์ออกไซด์ซึ่งสามารถดูดซับน้ำได้มาก และพบว่าพอลิเมอร์คอมพอสิตที่ผ่านการฉายแสง UV นานขึ้น จะมีค่าการดูดซับน้ำจึงสูงขึ้นตามไปด้วย





รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละการดูดซับน้ำที่จำนวนวันต่าง ๆ กัน กับช่วงเวลาที่ได้ออกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงาน ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า รับการฉายแสง UV ของพอลิเมอร์ชนิดที่เติมขานอ้อย 0% และ 1% โดยน้ำหนัก ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละการดูดซับน้ำที่จำนวนวันต่าง ๆ กัน กับช่วงเวลาที่ได้รับ การฉายแสง UV ของพอลิเมอร์ผสมที่เติมขานอ้อย 5% และ 10% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำกับช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV [รูปที่ 4.12-4.13] พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณขานอ้อยเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากการใส่ปริมาณขานอ้อยมากขึ้นจะทำให้พื้นผิวชิ้นงานขรุขระ ไม่เรียบ เกิดเป็นช่องว่างมาก น้ำจึงแพร่เข้าไปในชิ้นงานได้มาก และจากการที่ขานอ้อยเป็นพวกหมู่มีซัลฟิวรีนจึงทำให้พอลิเมอร์คอมพอสิตจะมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณขานอ้อย



#### 4.6 ผลการศึกษาสัณฐานวิทยา

##### 4.6.1 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์คอมพอสิต ด้วย SEM (กำลังขยาย 160 เท่า)

SEM เป็นการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของวัสดุ โดยทำการศึกษาแยกเป็น 2 แบบ -ศึกษาพื้นผิวจากชิ้นงานที่ได้จากการแตกหัก

โดยใช้กำลังขยาย 160 เท่า จากรูป 4.14 เป็นชิ้นงานของ PP/PE ที่ไม่เติมชานอ้อย และไม่ได้ผ่านการฉายแสง พบว่าพอลิเมอร์ทั้งสองไม่สามารถผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ เห็นได้จากลักษณะพื้นผิวที่แยกเป็นชั้น ๆ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับรูป 4.15 ซึ่งเป็นชิ้นงานที่ผ่านการฉายแสงเป็นเวลา 3,000 ชม. พบว่าลักษณะพื้นผิว ณ.บริเวณที่หักจะแตกออกเป็นขุยเนื่องมาจากพอลิเมอร์เกิดการย่อยสลายโดยแสงเกิดเป็นสายโซ่สั้น ๆ

รูป 4.16 เป็นรูปของพอลิเมอร์คอมพอสิต ที่เติมชานอ้อย 10% พบว่ารอยต่อระหว่างวัฏภาคของเส้นใยและพอลิเมอร์ผสม แยกวัฏภาคกันอย่างชัดเจน ซึ่งแสดงว่าชานอ้อยยึดจับกับพอลิเมอร์ไม่ค่อยดี และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับรูป 4.17 ซึ่งผ่านการฉายแสงเป็นเวลา 3,000 ชม. จะเห็นได้ว่า เส้นใยแยกออกจากพอลิเมอร์อย่างชัดเจน โดยพอลิเมอร์จะถูกย่อยสลายแตกออกเป็นขุย

-ศึกษาพื้นผิวจากชิ้นงานที่เตรียมจากแผ่นฟิล์ม

ทำการศึกษาดูพื้นผิวของแผ่นฟิล์มด้วยกำลังขยาย 160 เท่า จากรูป 4.18 เป็นแผ่นฟิล์มของ PP/PE ที่ไม่เติมชานอ้อย และไม่ได้ผ่านการฉายแสง เมื่อเทียบกับรูป 4.19 ซึ่งเป็นแผ่นฟิล์มที่ผ่านการฉายแสงเป็นเวลา 3,000 ชม. พบว่าแผ่นฟิล์มที่ผ่านการฉายแสงจะเกิดรอยแตกที่พื้นผิว และเมื่อพิจารณาผลของชานอ้อย ที่ไม่ได้ผ่านการฉายแสง และผ่านการฉายแสงเป็นเวลา 3,000 ชม. ดังรูป 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ จะพบว่ามึรอยแตกมากที่บริเวณรอบ ๆ ชานอ้อย แสดงให้เห็นว่าชานอ้อยไม่สามารถผสมเข้ากันกับพอลิเมอร์ได้ดี และอาจเป็นบริเวณที่เกิดออกซิเดชันก่อนส่วนอื่น

##### 4.6.2 การศึกษาลักษณะพื้นผิวแผ่นฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดโพลาไรซ์ (กำลังขยาย 10 เท่า)

โดยทำการเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการฉายแสงระหว่าง 0 ชม. และ 3,000 ชม. พบว่าพื้นผิวของคอมพอสิตที่ผ่านการฉายแสงเป็นเวลา 3,000 ชม. จะเกิดรอยแตกที่พื้นผิวอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาที่พื้นผิวทำให้ความแข็งแรงที่พื้นผิวลดน้อยลง

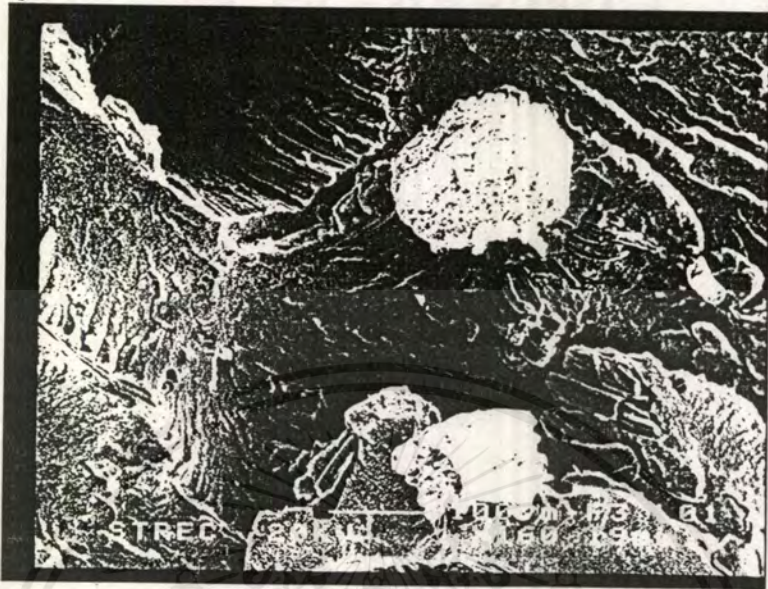


รูปที่ 4.14 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่แตกหักของ PP/PE  
ที่ไม่ได้ผ่านการฉายแสง กำลังขยาย 160 เท่า



รูปที่ 4.15 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่แตกหักของ PP/PE  
ที่ผ่านการฉายแสง 3,000 ชม. กำลังขยาย 160 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่แตกหักของ PP/PE/10%  
ที่ไม่ได้ผ่านการฉายแสง กำลังขยาย 160 เท่า



รูปที่ 4.17 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่แตกหักของ PP/PE/10%  
ที่ผ่านการฉายแสง 3,000 ชม. กำลังขยาย 160 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

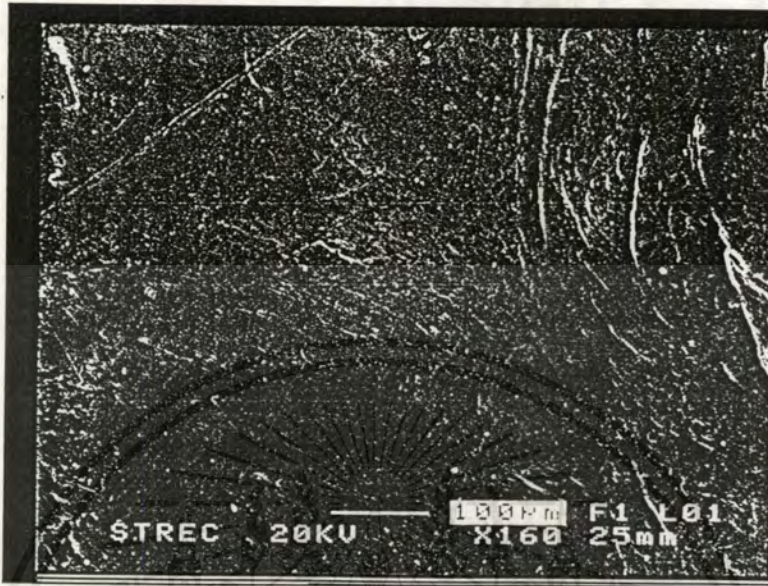


รูปที่ 4.18 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่เป็นแผ่นฟิล์มของ PP/PE ที่ไม่ได้ผ่านการฉายแสง กำลังขยาย 160 เท่า



รูปที่ 4.19 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่เป็นแผ่นฟิล์มของ PP/PE ที่ผ่านการฉายแสง 3,000 ชม.กำลังขยาย 160 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่เป็นแผ่นฟิล์มของ PP/PE/10%  
ที่ไม่ได้ผ่านการฉายแสง กำลังขยาย 160 เท่า



รูปที่ 4.21 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่เป็นแผ่นฟิล์มของ PP/PE/10%  
ที่ผ่านการฉายแสง 3,000 ชม. กำลังขยาย 160 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การเกิดกระบวนการย่อยสลายโดยแสง ( Photodegradation ) บนพอลิเมอร์จะส่งผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ทั้งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และทางเคมี ซึ่งเป็นสาเหตุให้พอลิเมอร์เกิดการเสื่อมสภาพโดยปัจจัยสำคัญของการเสื่อมสภาพจะอยู่ที่ชนิดของพอลิเมอร์และสารเติมแต่ง ที่ใช้ผสมเข้าไปในพอลิเมอร์

เมื่อพิจารณาผลการทดลองทั้งหมดแล้วสามารถสรุปได้ดังนี้คือ

##### 5.1.1 สมบัติทางด้านออกซิเดชัน

จากการศึกษาพบว่า ขาน้อยไม่ส่งผลเร่งหรือหน่วงเหนี่ยวปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดบนพอลิเมอร์ผสม. พิจารณาจากปริมาณหมู่คาร์บอนิลและไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นไม่ต่างจากก่อนผสม ขาน้อย แต่ขาน้อยจะมีผลต่อขนาดของผลึกสเฟียรูไลต์ ที่เกิดขึ้นหลังจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

##### 5.1.2 สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลโดยรวมของพอลิเมอร์ผสมที่เติมและไม่เติมขาน้อย เมื่อผ่านการฉายแสง UV สมบัติเชิงกลจะลดลง ตามระยะเวลาการฉายแสง โดยพอลิเมอร์ผสมที่เติมขาน้อยมีอัตราการลดลงน้อยกว่าที่ไม่เติมขาน้อย ทั้งนี้เนื่องจากขาน้อยทำตัวเป็นนิวเคลียสให้พอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการฉายแสง UV เกิดผลึก ทำให้มีสมบัติเชิงกลดีกว่าเมื่อไม่เติมขาน้อย นอกจากนี้ขาน้อยยังช่วยให้พอลิเมอร์ผสม PP/PE แข็งขึ้นตามปริมาณขาน้อย

##### 5.1.3 สมบัติทางความร้อน

พอลิเมอร์ผสม PP/PE ที่เติมและไม่เติมขาน้อย เมื่อผ่านการฉายแสง UV ในช่วงเวลาที่ทำ การทดลอง พบว่าไม่ทำให้อุณหภูมิการหลอมผลึก อุณหภูมิการตกผลึก และพลังงานความร้อน

ในการหลอมผลึกเปลี่ยนแปลงไปจากก่อนการฉายแสง UV มากนัก อาจเป็นเพราะระยะเวลาที่ทำการทดสอบไม่เพียงพอ

#### 5.1.4 สมบัติทางกายภาพ

จากการศึกษา พบว่าพอลิเมอร์ผสม PP/PE ที่เต็มและไม่เต็มชานอ้อย เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กน้อย โดยความหนาจะเพิ่มขึ้น ส่วนความกว้างและความยาวจะลดลงเล็กน้อย

#### 5.1.5 สมบัติการดูดซับน้ำ

พอลิเมอร์ผสม PP/PE จะมีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณชานอ้อย และพบว่าเมื่อผ่านการฉายแสง UV แล้วจะมีค่าการดูดซับน้ำสูงขึ้นตามระยะเวลาการฉายแสง

#### 5.1.6 สมบัติทางสัณฐานวิทยา

จากผลการทดลอง SEM และกล้องจุลทรรศน์ชนิดโพลาไรซ์ แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างชานอ้อยกับพอลิเมอร์ จึงสรุปได้ว่าชานอ้อยไม่สามารถยึดจับกันได้ดีกับพอลิเมอร์ผสม PP/PE

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรทำตัวอย่างเป็นฟิล์มให้บางขึ้นเนื่องจากการย่อยสลายโดยแสงจะเกิดที่บริเวณผิวทำให้ได้ผลที่ถูกต้องยิ่งขึ้น โดยไม่มีผลกระทบจากส่วนที่ไม่ได้รับแสงและผิวที่ไม่สม่ำเสมอและประหยัดเวลาในการทดสอบ

5.2.2 ควรทำการศึกษาในสภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับสภาวะการใช้งานของวัสดุ

5.2.3 ควรทำการศึกษาถึงผลของขนาดอนุภาคของชานอ้อย

5.2.4 ควรทำการศึกษาถึงอัตราส่วนผสมระหว่าง HDPE : PP

### ภาคผนวก

ภาคผนวก ก : สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection molding machine

ภาคผนวก ข : ตารางแสดงผลการศึกษาในด้านต่าง ๆ

ภาคผนวก ค : สเปกตร้าจากเครื่อง IR spectrophotometer

## ภาคผนวก ก

สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection molding machine



### TIME PROGRAMMING

DIE CLS/OPN TIME	: 30	MELTING TIME	: 100
STD COR ACT TIME	: 20	DECOMPRS TIME	: 2
1 ST STG INJ TIME	: 20	COOLING TIME	: 200
2 ND STG INJ TIME	: 30	EJECTOR COUNT	: 2
3 RD STG INJ TIME	: 40	SCW FWD TIME	: 0
EJE FWD DLY	: 0	SCW BWD TIME1	: 0
MELTING DLY	: 0	SCW BWD TIME2	: 0
EJE BKD DLY	: 0	ALARM TIME	: 350

### PRESSURE PROGRAMMING

DIE CLS PRESR	: 40	DECOMP PRESR	: 40
CLS LOW PRESR	: 20	PLUNGER PRESR	: 25
CLS HI PRESR	: 20	EJECTOR PRESR	: 20
DIE OPN PRESR	: 40	SCW - IN PRESR	: 0
1 ST INJ PRESR	: 60	DIE ADJ PRESR	: 60
2 ND INJ PRESR	: 55		
3 RD INJ PRESR	: 45		
MELTING PRESR	: 50		

### PROGRAMMING FLOW SPEED

RAPID CLS SPD	: 40	1 ST STG INJ SPD	: 40
HIGH CLS SPD	: 25	2 ND STG INJ SPD	: 30
CLAMPING SPD	: 25	3 RD STG INJ SPD	: 20
DIE OPN SLW 1	: 13	MELTIMG SPD	: 50
RAPID OPN SPD	: 30	DECOMP SPD	: 40
DIE OPN SWL 2	: 20	EJECTOR SPD	: 15
PLUNGER SPD	: 50	SCREW - IN	: 0
DIE ADJ SPD	: 40	DIE CHANGE SPD	: 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PROGRAMMING TEMPERATURE

PROGRAMED TEMP	CURRENT TEMP
NOZZLE :	170
ZONE 1 :	160
ZONE 2 :	150
ZONE 3 :	0
ZONE 4 :	0
ZONE 5 :	0
ZONE 6 :	0

	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 = MULTI 3 = FIXD NB
SID - COR : 2	1 = TIME	2 = TRAVEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### ตารางแสดงผลการศึกษาในด้านต่าง ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 การศึกษาปริมาณการเกิดออกซิเดชัน

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณการเกิดออกซิเดชัน

จำนวน ชม.	เปอร์เซ็นต์ ซันอ้อย	ความหนา (mm)	A <sub>1710</sub>	A <sub>2840</sub>	A <sub>3400</sub>	A <sub>1710</sub> A <sub>2840</sub>	A <sub>3400</sub> A <sub>2840</sub>
0	0	0.45	0.3925	1.523	0.4089	0.2577	0.2685
	1	0.43	0.3565	1.3010	0.4202	0.2740	0.3230
	5	0.37	0.3279	1.3010	0.4881	0.2520	0.3752
	10	0.50	0.5086	1.3010	0.6478	0.3909	0.4979
500	0	0.44	0.9393	1.3468	0.6198	0.6974	0.4602
	1	0.46	1.0458	1.3468	0.7447	0.7765	0.5529
	5	0.38	0.6990	1.3468	0.7447	0.5190	0.5529
	10	0.47	0.7447	1.3010	0.8239	0.5724	0.6333
1000	0	0.52	1.3979	1.3010	0.9586	1.0745	0.7368
	1	0.58	1.0969	1.3010	0.8539	0.8431	0.6563
	5	0.42	0.9208	1.3010	0.7447	0.7078	0.5724
	10	0.42	1.2218	1.3010	0.9586	0.9391	0.7368
1500	0	0.37	1.1871	1.5229	1.0458	0.7795	0.6867
	1	0.42	1.3979	1.4559	1.0706	0.9602	0.7354
	5	0.43	1.2596	1.4559	0.9393	0.8652	0.6452
	10	0.42	1.1549	1.3979	0.9208	0.8264	0.6587
2000	0	0.48	1.6021	1.3979	1.1249	1.1461	0.8047
	1	0.45	1.5229	1.3979	1.1249	1.0894	0.8047
	5	0.42	1.4559	1.4559	1.2596	1.0000	0.8652
	10	0.47	1.4559	1.3979	1.2218	1.0415	0.8740

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางต่อ

จำนวนชั้น โมง	เปอร์เซ็นต์ ชันน้อย	ความหนา ( mm )	A1710	A2840	A3400	A1710	A3400
						A2840	A2840
2500	0	0.42	2.0000	1.8239	1.4559	1.0966	0.7982
	1	0.55	1.8239	1.8239	1.5229	1.0000	0.8350
	5	0.40	1.3979	1.6990	1.5229	0.8228	0.8964
	10	0.41	2.6990	1.8239	1.4559	1.4798	0.7982
3000	0	0.52	1.8239	1.6990	1.8239	1.0735	1.0735
	1	0.58	1.8239	2.0000	1.8239	0.9119	0.9119
	5	0.49	1.5229	1.5229	1.3979	1.0000	0.9179
	10	0.57	2.6990	2.0000	2.0000	1.3495	1.0000



## 4.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เติมและไม่เติม

ชานอ้อย

จำนวนชั่วโมง (ชม.)		0	500	1000	1500	2000	2500	3000
ตัวอย่าง	สมบัติ							
PP/PE	Tensile strength	26.12	24.88	19.37	16.56	14.48	10.26	8.51
	%Elongation	409.18	84.38	3.76	5.24	4.99	0.97	1.13
	Modulus	199.28	227.47	588.14	449.71	452.18	571.29	878.29
	Hardness	61.17	62.83	64.00	63.83	64.15	63.33	59.33
PP/PE/ 1%	Tensile strength	24.68	24.77	17.83	16.66	16.32	13.10	10.20
	%Elongation	376.42	70.49	23.66	21.01	25.95	8.11	3.78
	Modulus	171.76	245.40	337.30	306.74	234.64	378.28	491.77
	Hardness	62.00	63.17	63.67	63.83	63.83	63.17	59.83
PP/PE/5 %	Tensile strength	25.89	25.23	25.67	22.50	21.41	26.44	20.94
	%Elongation	212.07	129.34	70.09	36.54	25.26	49.90	19.21
	Modulus	184.60	207.49	240.95	310.54	292.84	288.65	385.64
	Hardness	62.67	64.33	63.17	64.50	64.83	62.83	61.17
PP/PE/ 10%	Tensile strength	25.21	24.82	24.60	22.24	22.01	25.89	22.97
	%Elongation	40.86	30.84	33.42	25.30	22.79	41.62	16.07
	Modulus	255.9	228.90	255.22	326.45	326.07	273.38	452.00
	Hardness	62.67	64.67	65.00	65.50	64.17	64.33	62.8

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบสมบัติความแข็ง (Impact)

จำนวนรวม. ตัวอย่าง	0	500	1000	1500	2000	2500	3000
PP/PE	42.31	20.15	10.10	7.10	3.80	4.95	2.30
PP/PE/1%	30.20	19.00	6.42	5.50	4.75	3.79	2.90
PP/PE/5%	19.60	17.25	12.50	5.93	4.25	4.43	3.35
PP/PE/10 %	14.40	13.40	9.90	5.30	3.36	5.50	3.30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ศึกษาสมบัติทางความร้อน

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมที่เต็มและไม่เต็ม  
ชานอ้อยด้วยเครื่อง DSC

ตัวอย่าง	0 ซม.						500 ซม.					
	Tm		Tc		$\Delta H_f$		Tm		Tc		$\Delta H_f$	
	PE	PP	PE	PP	PE	PP	PE	PP	PE	PP	PE	PP
PP/PE	132.3	167.6	120.3	123.6	37.71	16.22	133.1	167.1	119.7	119.7	57.97	28.61
PP/PE/1%	132.7	168.3	120.8	123.7	65.99	25.51	131.5	166.0	120.4	123.8	42.90	20.01
PP/PE/5%	132.6	168.4	120.1	123.8	51.20	23.40	131.9	167.3	119.9	124.0	47.54	20.13
PP/PE/10%	132.3	168.0	119.2	123.3	49.61	23.73	132.7	167.9	119.2	123.2	43.05	19.95

ตารางต่อ

ตัวอย่าง	1000 ซม.						1500 ซม.					
	Tm		Tc		$\Delta H_f$		Tm		Tc		$\Delta H_f$	
	PE	PP	PE	PP	PE	PP	PE	PP	PE	PP	PE	PP
PP/PE	131.5	160.5	117.0	120.7	35.07	13.86	131.3	156.6	117.3	121.2	59.44	20.47
PP/PE/1%	133.2	164.7	118.3	121.2	63.78	21.12	132.1	164.8	117.6	121.4	65.14	15.26
PP/PE/5%	132.8	167.4	120.3	122.0	48.39	21.61	133.3	168.3	119.4	123.4	49.71	22.10
PP/PE/10%	132.6	168.1	120.2	123.6	50.35	23.07	132.2	167.1	120.1	120.1	78.64	32.04

## ตารางต่อ

ตัวอย่าง	2000ซม.						2500ซม.					
	Tm		Tc		$\Delta H_f$		Tm		Tc		$\Delta H_f$	
	PE	PP	PE	PP	PE	PP	PE	PP	PE	PP	PE	PP
PP/PE	132.7	166.0	121.2	121.2	49.99	13.28	131.0	160.2	120.6	120.6	25.86	10.57
PP/PE/1%	132.0	166.2	120.5	120.5	41.90	14.76	133.3	161.1	120.7	120.7	50.37	13.25
PP/PE/5%	132.4	167.4	119.5	119.5	44.63	17.99	135.4	169.8	119.3	123.1	48.16	20.86
PP/PE/10%	131.8	167.6	120.3	124.0	42.25	19.10	134.2	169.5	118.9	123.0	45.06	19.95

## ตารางต่อ

ตัวอย่าง	3000 ซม.					
	Tm		Tc		$\Delta H_f$	
	PE	PP	PE	PP	PE	PP
PP/PE	134.1	163.7	116.4	120.2	56.27	18.30
PP/PE/1%	137.2	168.3	119.7	119.7	50.47	7.55
PP/PE/5%	134.4	168.8	123.1	119.8	53.86	24.72
PP/PE/10%	134.2	168.3	123.1	119.0	47.57	18.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ 4.5 แสดงความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อได้รับความร้อน ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	จำนวนวัน	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2
PP/PE	0	0.284x1.260x6.340	0.280x1.250x6.320
	7	0.284x1.260x6.330	0.280x1.250x6.314
	14	0.284x1.240x6.330	0.280x1.250x6.314
	21	0.280x1.240x6.290	0.290x1.250x6.290
	28	0.290x1.240x6.290	0.290x1.250x6.290
PP/PE/1%	0	0.286x1.270x6.314	0.280x1.266x6.324
	7	0.286x1.260x6.300	0.280x1.250x6.300
	14	0.286x1.250x6.300	0.280x1.250x6.290
	21	0.270x1.250x6.280	0.280x1.250x6.280
	28	0.290x1.250x6.280	0.290x1.250x6.280
PP/PE/5%	0	0.284x1.264x6.330	0.284x1.270x6.320
	7	0.290x1.250x6.310	0.290x1.250x6.310
	14	0.290x1.250x6.290	0.290x1.250x6.290
	21	0.290x1.250x6.280	0.290x1.250x6.290
	28	0.290x1.250x6.280	0.300x1.250x6.290
PP/PE/10%	0	0.286x1.260x6.360	0.286x1.270x6.350
	7	0.290x1.250x6.350	0.290x1.270x6.330
	14	0.290x1.250x6.330	0.290x1.250x6.320
	21	0.290x1.250x6.320	0.290x1.250x6.310
	28	0.290x1.240x6.320	0.290x1.250x6.310

ตารางที่ 4.6 แสดงความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อได้รับความร้อนที่ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	จำนวนวัน	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2
PP/PE	0	0.280x1.270x6.330	0.290x1.260x6.340
	7	0.290x1.250x6.330	0.290x1.260x6.316
	14	0.290x1.250x6.330	0.290x1.260x6.310
	21	0.290x1.250x6.300	0.290x1.260x6.290
	28	0.290x1.250x6.290	0.290x1.260x6.290
PP/PE/1%	0	0.290x1.250x6.330	0.280x1.250x6.330
	7	0.290x1.250x6.300	0.290x1.250x6.300
	14	0.290x1.250x6.290	0.290x1.250x6.300
	21	0.300x1.250x6.280	0.290x1.250x6.300
	28	0.300x1.250x6.280	0.290x1.250x6.280
PP/PE/5%	0	0.290x1.264x6.310	0.290x1.260x6.310
	7	0.290x1.260x6.296	0.290x1.260x6.300
	14	0.290x1.250x6.290	0.290x1.250x6.300
	21	0.300x1.250x6.290	0.295x1.250x6.290
	28	0.300x1.250x6.280	0.233x1.250x6.290
PP/PE/10%	0	0.290x1.260x6.380	0.290x1.270x6.344
	7	0.290x1.260x6.310	0.290x1.260x6.320
	14	0.290x1.260x6.310	0.290x1.260x6.320
	21	0.270x1.250x6.300	0.300x1.260x6.310
	28	0.300x1.250x6.300	0.300x1.260x6.310

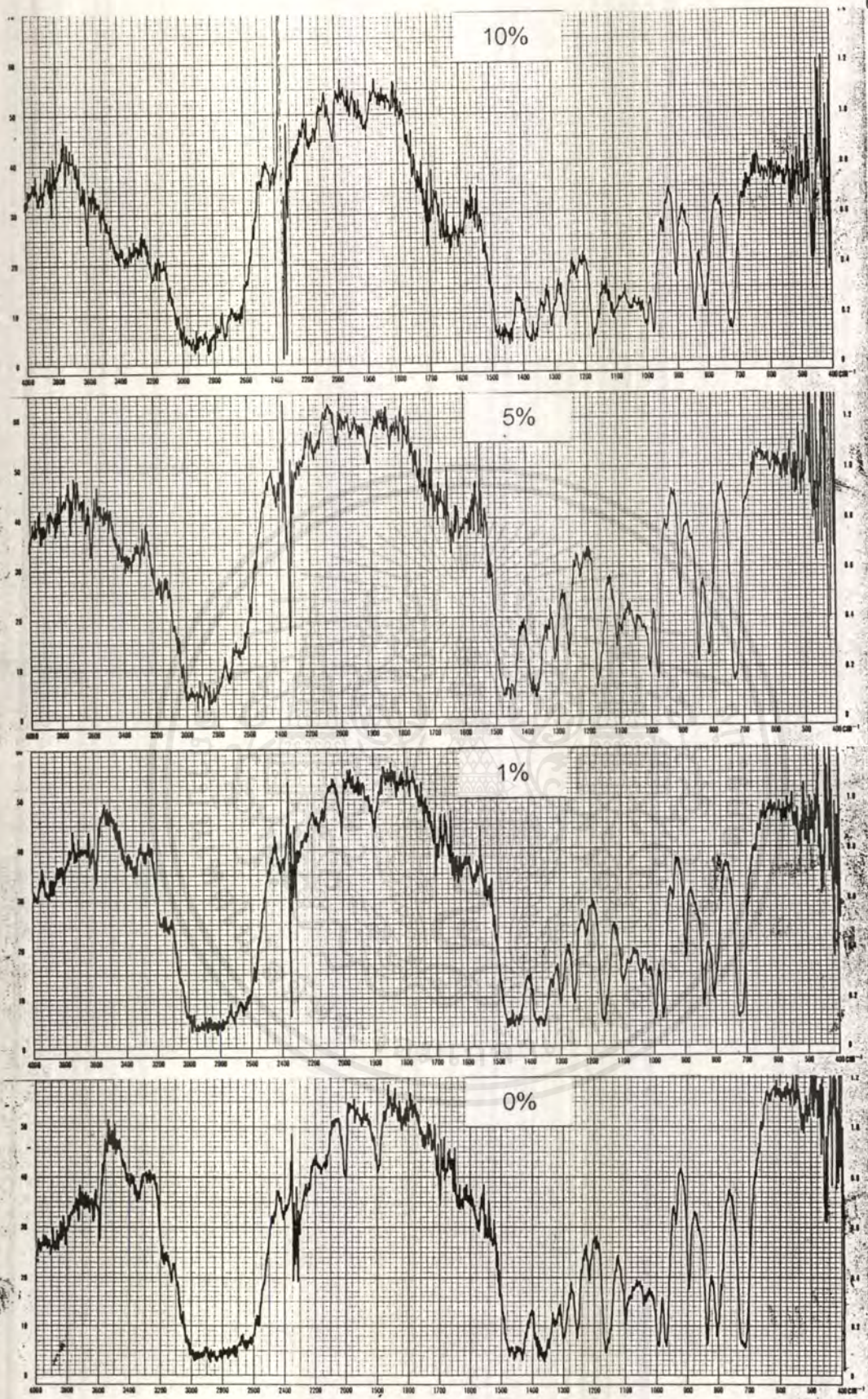
## 4.5 ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ

ตารางที่ 4.7 แสดง ร้อยละการดูดซับน้ำ

จำนวน ชม.	%ชาน อ้อย	1 วัน	2 วัน	3 วัน	10 วัน	26 วัน	33 วัน
0	0	0	0	0.003	0.036	0.041	0.041
	1	0.013	0.018	0.013	0.072	0.075	0.103
	5	0.083	0.137	0.170	0.247	0.247	0.268
	10	0.128	0.184	0.209	0.297	0.312	0.352
500	0	0.031	0.049	0.062	0.093	0.114	0.119
	1	0.010	0.023	0.036	0.076	0.091	0.099
	5	0.026	0.056	0.074	0.146	0.187	0.197
	10	0.075	0.147	0.174	0.273	0.293	0.293
1000	0	0.019	0.021	0.057	0.070	0.088	0.088
	1	0.065	0.070	0.081	0.124	0.150	0.148
	5	0.067	0.105	0.133	0.169	0.205	0.208
	10	0.186	0.243	0.265	0.319	0.377	0.355
1500	0	0.062	0.085	0.104	0.127	0.169	0.207
	1	0.063	0.110	0.130	0.170	0.180	0.237
	5	0.085	0.111	0.167	0.244	0.271	0.359
	10	0.082	0.092	0.169	0.217	0.253	0.334
2000	0	0.026	0.039	0.068	0.120	0.169	0.192
	1	0.068	0.086	0.145	0.198	0.266	0.278
	5	0.092	0.123	0.177	0.256	0.272	0.410
	10	0.165	0.180	0.241	0.352	0.387	0.559
2500	0	0.028	0.065	0.067	0.108	0.134	0.175
	1	0.057	0.097	0.125	0.172	0.206	0.258
	5	0.080	0.103	0.139	0.185	0.226	0.313
	10	0.159	0.179	0.216	0.323	0.358	0.492

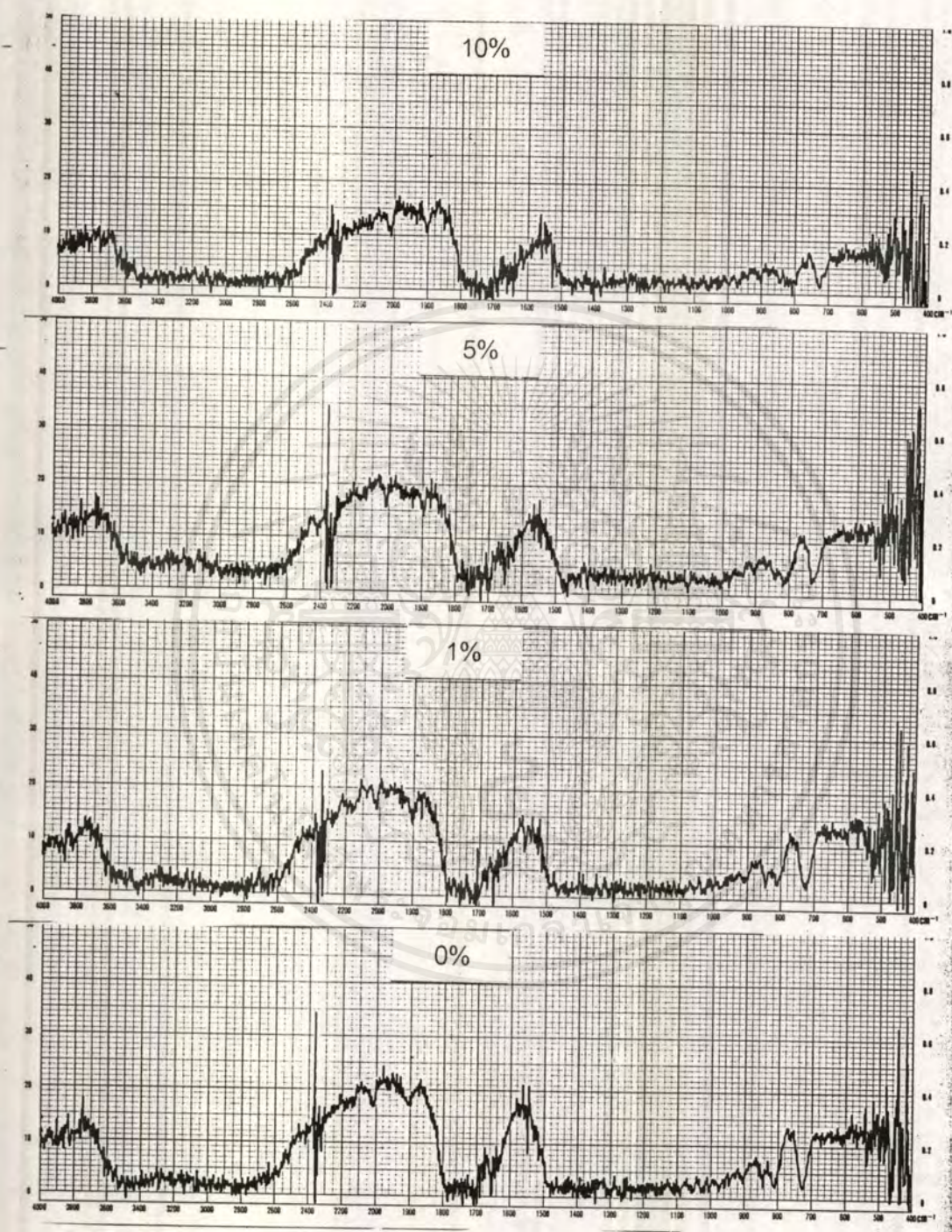
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





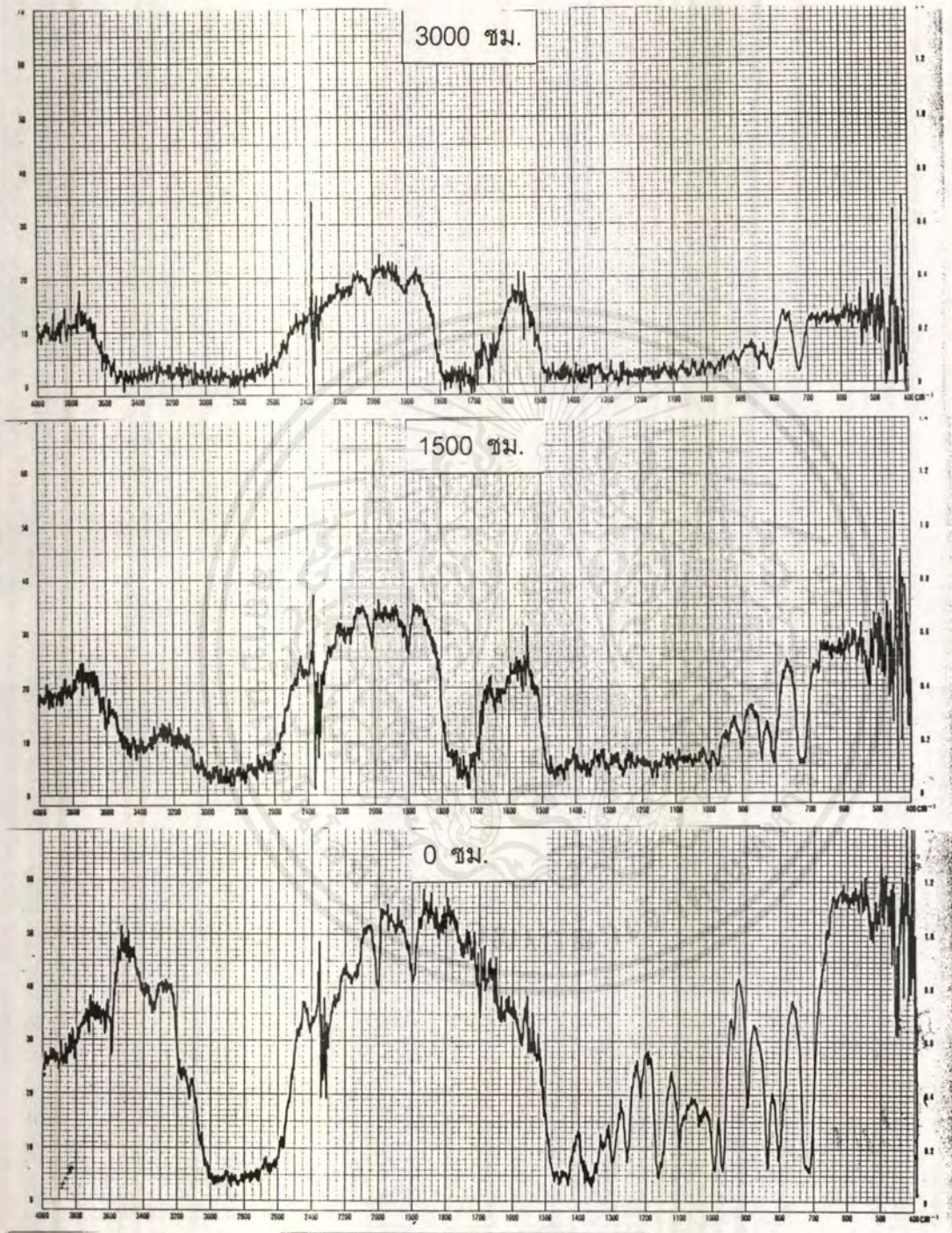
รูปที่ 4.22 สเปกตรัมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการส่องผ่านของแสงของพอลิเมอร์ PP/PE เมื่อเติมขานอ้อย 0%,1%,5% และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ไม่ได้ผ่านการฉายแสง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



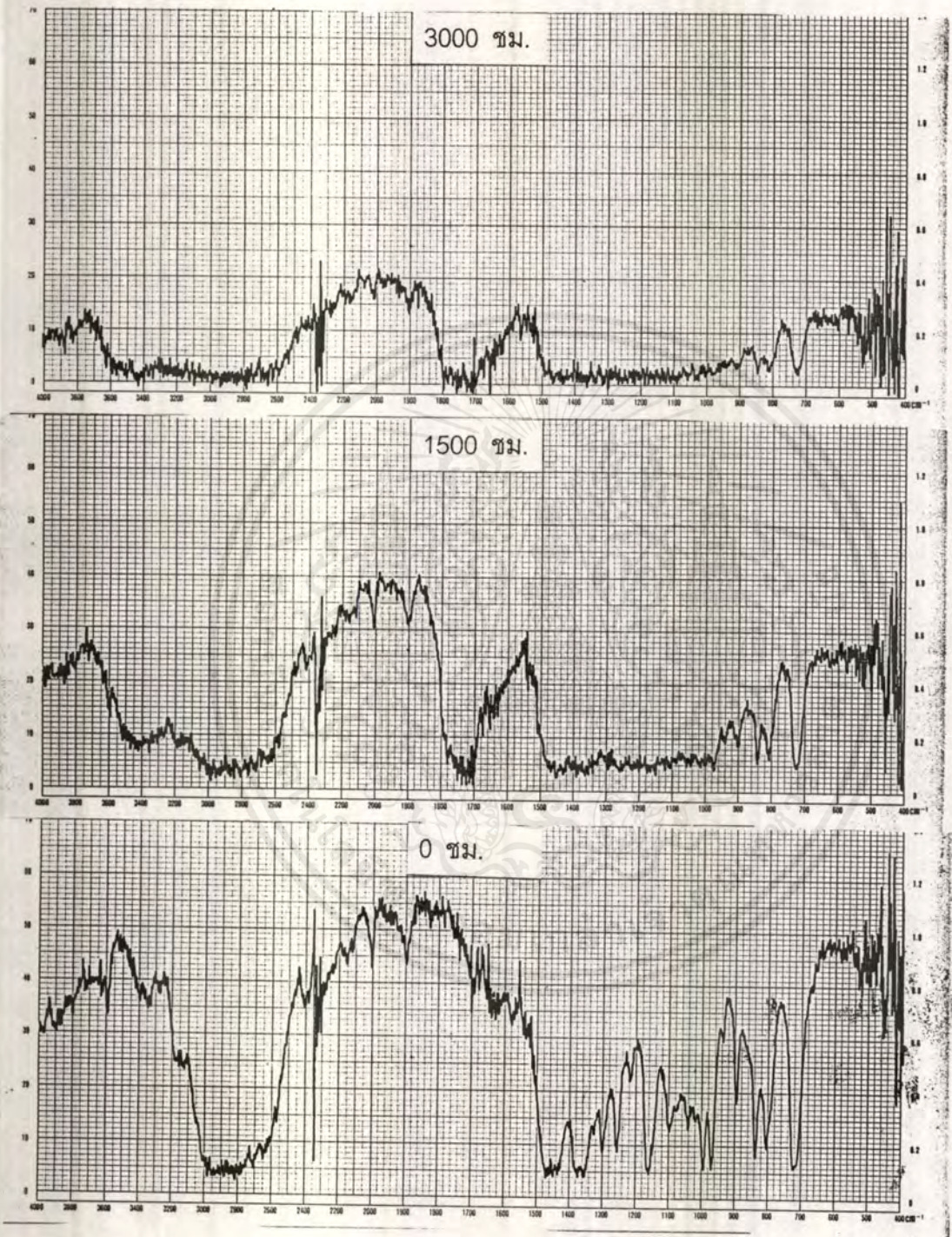
รูปที่ 4.23 สเปกตรัมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการส่องผ่านของแสงของพอลิเมอร์ PP/PE เมื่อเติมขานอ้อย 0%, 1%, 5% และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการฉายแสง 3,000 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



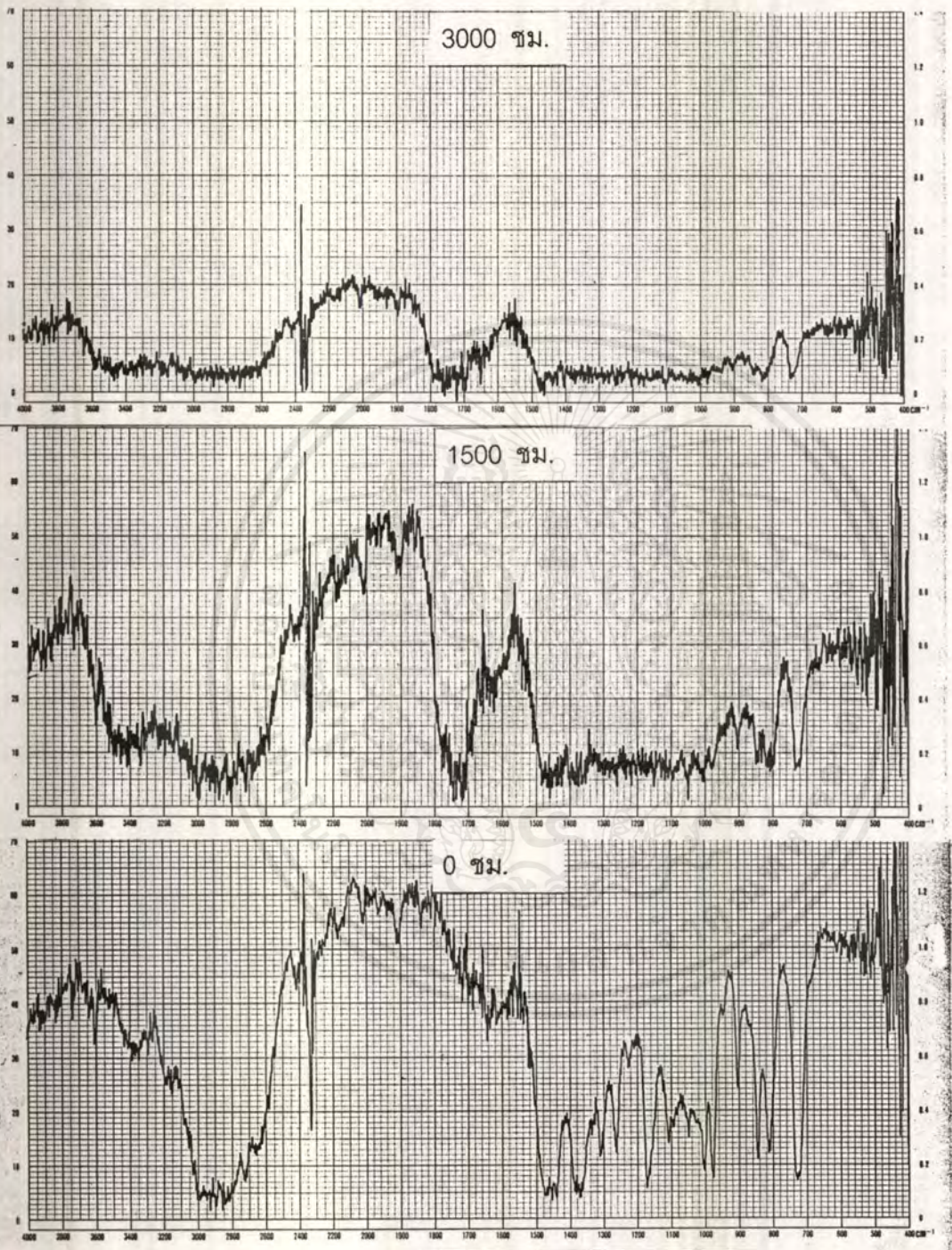
รูปที่ 4.24 สเปกตรัมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการส่งผ่านของแสงของพอลิเมอร์ PP/PE เมื่อผ่านการฉายแสง 0 ซม. 1,500 ซม. และ 3,000 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



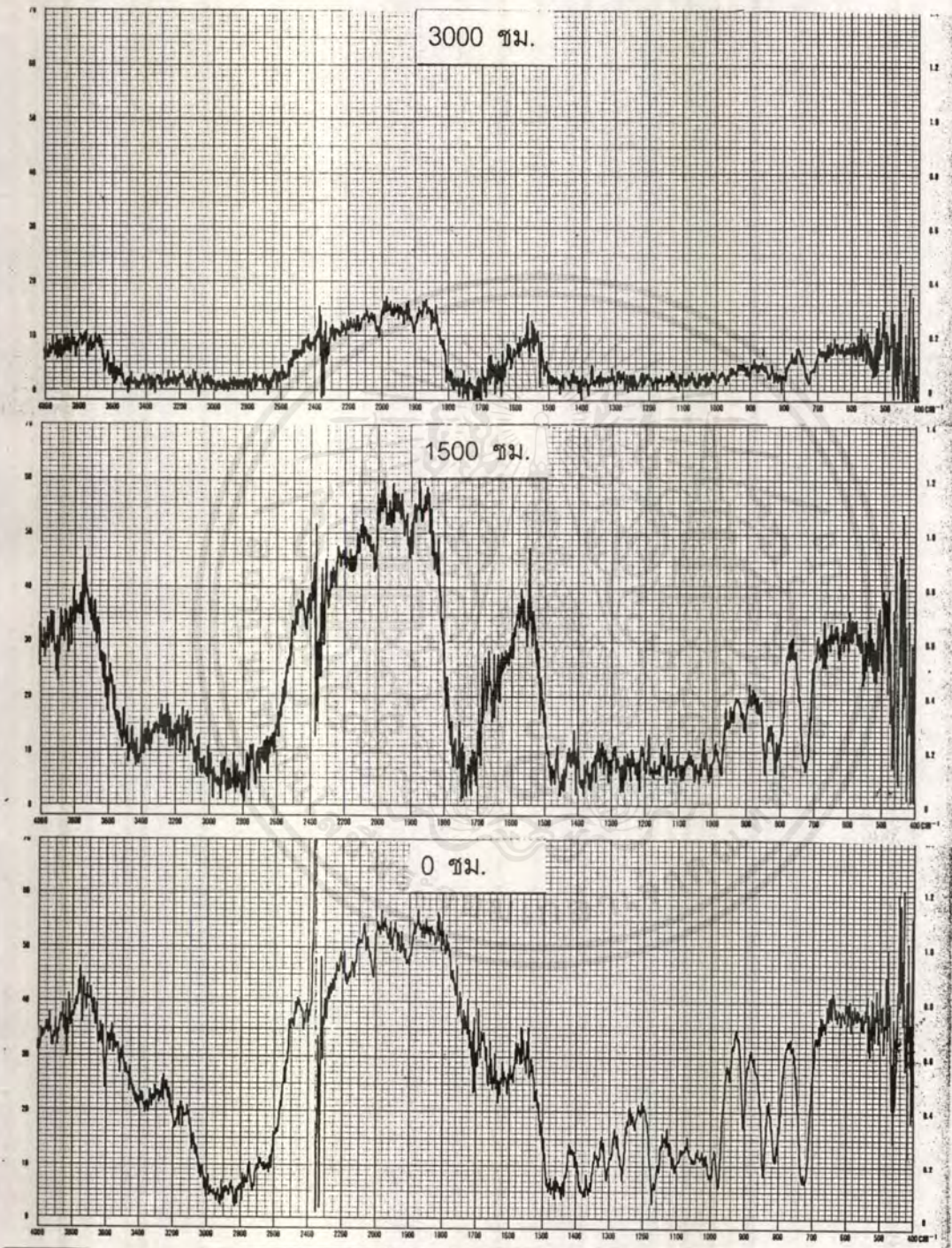
รูปที่ 4.25 สเปกตรัมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการส่งผ่านของแสงของพอลิเมอร์  
PP/PE /1% เมื่อผ่านการฉายแสง 0 ซม. 1,500 ซม. และ 3,000 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 สเปกตรัมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการส่องผ่านของแสงของพอลิเมอร์  
PP/PE /5% เมื่อผ่านการฉายแสง 0 ซม. 1,500 ซม. และ 3,000 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 สเปกตรัมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการส่องผ่านของแสงของพอลิเมอร์  
PP/PE /10% เมื่อผ่านการฉายแสง 0 ซม. 1,500 ซม. และ 3,000 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. Rodney J.S; Susan E.S. "Composite Materials from Recycled Miltilayer Polypropylene Bottles and Wood Fibers " in American Chemical Society. pp. 232-240,1992.
2. Sanchez,A;Estrada,M.R. "On the influence of sands on low density polyethylene photodegradation" Polymer Degradation and Science.52.(1996):305-309.
3. วิโรจน์ จรลีชาญชัย และคณะ " การศึกษาผลของรังสีวัตตอุอินทรีย์ต่อกระบวนการย่อยสลาย โดยแสงในพอลิพรอพิลีน" โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2539.
4. ณะภัทรพงษ์ สุวรรณชัย และณัฐพร เด่นนินนาท " การใช้ประโยชน์จากเส้นใยสลาบลวงเป็น สารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน" โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2538.
5. จิราพร เมฆบริสุทธิ และคณะ " การใช้สารช่วยผสมในการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของ พอลิเมอร์ผสม " โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2539.
6. วชิร อธิปัญญาสุทธิ และคณะ " การศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติ (ชานอ้อย) เพื่อให้ประโยชน์ในพอลิเมอร์คอมพอสิต " โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2540.
7. นันทพร พันธุ์ภักดี และ เรวดี สกุลอาริยะ " วัสดุคอมพอสิตจากพอลิพรอพิลีนและเส้นใยอ้อย "โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2540.
8. มาลินี ชัยศุกภิกจสินธ์ " เคมีพอลิเมอร์" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2540.
9. พีรพล บุญยีน และภุพัฒน์ ตภรณ์สุวรรณ "การศึกษาพฤติกรรมการดึงยึดของเส้นใยเดี่ยว PE " โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2538.
10. Robert,T.J;Evelyn,J.M."Thermal Scission and Cross-linking during Polyethylene Melt Processing" in American Chemical Society ,pp.653,1996.
11. ASTM Committee on Standard "Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic(Matric)" Philadephia:American Society for Testing and Materials,1993.

12. ASTM Committee on Standard "Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials", Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1993.
13. ASTM Committee on Standard "Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Plastic and Electrical Insulating Materials", Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1993.

