สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาผลของรงค์วัตถุอินทรีย์ต่อกระบวนการย่อยสลายโดยแสงในพอลิพรอพิลีน

นายวิโรจน์ จรลีชาญชัย
นางสาวสมรวรรณ ชลประเสริฐ
นางสาวนงนาถ สุนทรปกาสิต

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

ปพ.
วฑ11ก
2539.
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...32030
วัน, เดือน, ปี- 8 ก.พ. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE EFFECTS OF PIGMENTS ON PHOTODEGRADATION OF POLYPROPYLENE

Mr. Wiroj Jhonraleechanchai

Miss Smornwan Cholprasert

Miss Nongnard Sunthonpagasit

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

1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาผลของรงควัตถุอนินทรีย์ต่อกระบวนการย่อยสลายโดยแสงในพอลิพรอพิลีน

โดย นายวิโรจน์ จรลีชาญชัย
นางสาวสมรวรรณ ชลประเสริฐ
นางสาวนงนาถ สุนทรปกาสิต

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....
(ผศ. นงนุช เภตรานุวัฒน์) หัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการโครงงานพิเศษ

.....
(รศ.ดร. สุนิตย์ สุขสำราญ) ประธานกรรมการ

.....
(ดร.อิทธิพล แข็งชัด) กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาผลของรงค์วัตถุอนินทรีย์ต่อกระบวนการย่อยสลายโดยแสงในพอลิพรอพิลีน

นักศึกษา นายวิโรจน์ จรลีชาญชัย
นางสาวสมรวรรณ ชลประเสริฐ
นางสาวนงนาถ สุนทรปกาสิต

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

ปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง (Photooxidation) เป็นปฏิกิริยาสำคัญที่ทำให้เกิดการสลายตัวของโครงสร้างพอลิเมอร์ ส่งผลให้โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลง รงค์วัตถุอนินทรีย์เป็นสารให้สีชนิดหนึ่งอาจมีอิทธิผลต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง จากการทดลองโดยการนำรงค์วัตถุอนินทรีย์ทิทาเนี่ยมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) , อัลตรามารีนบูล (Ultramarine Blue) และแคดเมี่ยมเรด (Cadmium Red) ผสมเข้ากับพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) และพอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม (Random copolymer) ในปริมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet irradiation) ในห้องปฏิบัติการแล้วนำมาทดสอบหาปริมาณหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรเมททรี (FT-IR) , ศึกษาปริมาณความเป็นผลึก (Degree of crystalline) ด้วยเทคนิคทางความร้อน (DSC) และกล้องโพลาไรท์ไมโครสโคป (Polarized microscope) , ค่าการไหลตัว (Melt flow index) , ความคงทนต่อแรงดึง (Tensile strength) และค่าการยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) ที่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการได้รับการฉายแสงอัลตราไวโอเลต จากการทดลองพบว่าพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ มีอัตราการย่อยสลายสูงกว่าชนิดพอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม ส่วนรงค์วัตถุแคดเมี่ยมเรดและทิทาเนี่ยมไดออกไซด์ช่วยหน่วงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง โดยรงค์วัตถุแคดเมี่ยมเรดมีประสิทธิภาพดีที่สุดส่วนรงค์วัตถุอัลตรามารีนบูลให้ผลในทางตรงกันข้าม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title The Effects of Pigments on Photodegration of Polypropylene

Name Mr. Wiroj Chornraleechanchai

Miss Smornwan Cholprasert

Miss Nongnard Sunthonpagasit

Special Project Advisor Asst. Prof. Dr. Malinee Chaisupakitsin

Department Industrial Chemistry

Academic Year 1996

Abstract

The photodegradation of polypropylene and polypropylene - ethylene random copolymer with and without 0.1 % w/w inorganic pigments such as Cadmium Red , Titanium dioxide and Ultramarine Blue has been studied. Physical and chemical properties of samples before and after UV irradiation at various times were measured by DSC , FTIR and Tensile Testing Machine. Carbonyl index which indicates oxidation reaction increased with increasing time , on the other hand , tensile strength and elongation at break were decreased.

It has been found that polypropylene homopolymer shows faster degradation rate than polypropylene - ethylene random copolymer. Cadmium Red and Titanium dioxide were found to be the inhibitors in photodegradation reaction and Cadmium Red exhibits more protective effect than Titanium dioxide. Ultramarine Blue accelerates the photodegradation reaction.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. มาลินี ชัยศุภกิจสินธุ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำและความช่วยเหลือในการดำเนินโครงงานพิเศษนี้มาตลอด

ขอขอบคุณ รศ.ดร.สุนิตย์ สุขสำราญ และ ดร. อิทธิพล แจ้งชัด อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษที่ช่วยกรุณาตรวจทานและแก้ไขโครงงานพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาคที่อนุเคราะห์ในการใช้ตู้ฉายแสงอัลตราไวโอเลต

ขอขอบคุณกองวิเคราะห์เคมีกรมทางหลวงที่อนุเคราะห์เครื่องเร่งสภาพและผลการทดสอบค่าการซึดจางของสี

สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด ทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงลงได้

นอกจากนี้ยังมีบุคคลท่านอื่นๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือซึ่งผู้จัดทำไม่ได้กล่าวถึงทางผู้จัดขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นายวิโรจน์ จรลีชาญชัย
นางสาวสมรวรรณ ชลประเสริฐ
นางสาวนงนาถ สุนทรปกาสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	2
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบข่ายของโครงงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงานวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 กระบวนการย่อยสลายโดยแสง	5
2.2 สเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเลตจากแสงอาทิตย์	5
2.3 กลไกการย่อยสลายโดยแสงของพอลิเมอร์	6
- กระบวนการทางฟิสิกส์ของการดูดกลืนแสง	6
- กลไกการย่อยสลายโดยแสง	11
2.4 การเปลี่ยนแปลงของพอลิเมอร์ภายหลังเกิดกระบวนการย่อยสลายโดยแสง	13
2.5 ผลของรงค์วัตถุต่อกระบวนการย่อยสลายโดยแสง	13
- การแสดงตัวเป็น Photosensitizer ของรงค์วัตถุ	15
- การแสดงตัวเป็น UltravioletScreener หรือ Ultraviolet Absorber ของรงค์วัตถุ	15
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	17
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	17
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	17
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลอง 18
- การเตรียมรงค์วัตถุ 18
- การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผสมรงค์วัตถุ 18
- การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง 19
- การฉายรังสีอัลตราไวโอเลต 20
- การทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมี 20
บทที่ 4 ผลงานวิจัยและวิจารณ์ 22
4.1 ผลการทดสอบทางเคมี 22
4.1.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า Carbonyl index 22
4.2 ผลการทดสอบทางกายภาพ 25
4.2.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางความร้อน 25
- การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอมตัวของผลึก (Tm) 25
- การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในการตกผลึก (Tc) 27
- การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพลังงานคายออกมาในระหว่างการหลอมเหลว (ΔHm) 29
- การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่คายออกมาในระหว่างการตกผลึก(ΔHc) 31
4.2.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกล 33
- การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงดึง 33
- การศึกษาการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด 35
4.2.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการไหล 37
4.2.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่น 39
4.2.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปผลึกสเฟียร์รูไลท์ 43
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 44
ภาคผนวก 45
บรรณานุกรม 150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	แผนการดำเนินงาน	3
ตารางที่ 2.1	พลังงานรังสีที่ความยาวคลื่นต่างๆ	6
ตารางที่ 2.2	ความยาวคลื่นสูงสุดของแสงอัลตราไวโอเลตที่ส่งผลต่อพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	7
ตารางที่ 2.3	spectral และอัตราการเกิดอนุมูลอิสระสำหรับหมู่โครโมฟอร์ที่มีอยู่ในพอลิพรอพิลีนในเชิงการค้า	10
ตารางที่ 2.4	อิทธิพลของรงค์วัตถุต่อเสถียรภาพต่อแสงอัลตราไวโอเลตในพอลิพรอพิลีนที่ไม่เติมสารเสริมเสถียรภาพ	16
ตารางที่ 3.1	สูตรการผสมชิ้นงานตัวอย่าง	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	สเปคตรัมของแสง UV และ Visible ของแสงอาทิตย์	5
รูปที่ 2.2	แผนภาพ Jablonski	7
รูปที่ 2.3	กลไกปฏิกริยาออกซิเดชันโดยแสง (Photooxidation) และกระบวนการย่อยสลายโดยแสง (Photodegradation) ของพอลิเมอร์เมื่อได้รับแสง	8
รูปที่ 2.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Carbonyl index กับเวลาที่ฉายรังสีใน Xenotest - 150	14
รูปที่ 4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Carbonyl index กับเวลาที่ได้รับแสง UV	23
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิหลอมตัวของผลึกกับเวลาที่ได้รับแสง UV	26
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิการตกผลึกกับเวลาที่ได้รับแสง UV	28
รูปที่ 4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกกับเวลาที่ได้รับแสง UV	30
รูปที่ 4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่คายออกมาในระหว่างการตกผลึกกับเวลาที่ได้รับแสง UV	32
รูปที่ 4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงที่จุดขาดกับเวลาที่ได้รับแสง UV	34
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาดกับเวลาที่ได้รับแสง UV	36
รูปที่ 4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Carbonyl index กับค่าความแข็งแรงดึง	37
รูปที่ 4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีการไหลกับเวลาที่ได้รับแสง UV	38
รูปที่ 4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับเวลาที่ได้รับแสง UV	40
รูปที่ 4.11	กราฟแสดงค่าความซีดจางของสีที่มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลาที่ได้รับแสง UV	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ทำจากพอลีพรอพิลีนถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางไม่ว่าจะเป็นบรรจุภัณฑ์หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติคงทน , เบา , ขึ้นรูปง่าย และมีสีสันสวยงาม แต่สมบัติหนึ่งของพอลีพรอพิลีนคือมีความเสถียรต่อแสงอัลตราไวโอเลตต่ำทำให้โครงสร้างและสมบัติเปลี่ยนแปลงไป พอลีพรอพิลีนจึงมีอายุการใช้งานต่ำและไม่เหมาะกับการใช้งานภายนอก

กระบวนการย่อยสลายโดยแสงเป็นกระบวนการสำคัญประการหนึ่งในการทำให้เกิดการย่อยสลายในพลาสติก โดยพลาสติกจะดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตซึ่งมีพลังงานเพียงพอที่ทำให้เกิดการแตกพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมแล้วเกิดอนุมูลอิสระขึ้น ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยง (Crosslink) หรือเกิดการสลายตัวของสายโซ่โมเลกุล (Chain scission) โดยการย่อยสลายขึ้นกับธรรมชาติของพลาสติกและสารเติมแต่งในพลาสติก สารเติมแต่ง ได้แก่ สารต่อต้านออกซิเดชัน (Antioxidant) , สารช่วยในการยืดหยุ่นและอ่อนตัว (Plasticizer) และสารให้สี (Colorant) เป็นต้น

สารให้สีอินทรีย์และอนินทรีย์เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยให้พลาสติกมีสีสันสวยงาม โดยสารให้สีอาจส่งผลช่วยกระตุ้นหรือหน่วงกระบวนการย่อยสลายโดยแสง เนื่องจากบทบาทของสารให้สียังไม่มีการศึกษาค้นคว้ากันอย่างกว้างขวาง การวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของสารให้สีโดยจะทำการศึกษารงค์วัตถุอนินทรีย์ว่าส่งผลอย่างไรต่อสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ ทางความร้อนและทางเชิงกลเมื่อได้รับการฉายแสงอัลตราไวโอเลตในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

พอลิพรอพิลีนเป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สามารถนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายรูปแบบ เช่น เครื่องอุปโภคบริโภคต่างๆที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ขวดน้ำดื่ม , ถังน้ำ เป็นต้น สมบัติหนึ่งของพอลิพรอพิลีนคือมีความเสถียรต่อแสงอัลตราไวโอเลตที่มีอยู่ในแสงแดดต่ำจึงเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่ายและเกิดสีเหลืองขึ้น ทำให้พอลีพรอพิลีนมีอายุการใช้งานต่ำไม่เหมาะกับการใช้งานภายนอก ปัจจุบันจึงมีการศึกษาผลของสารเติมแต่งในการเพิ่มอายุการใช้งานแก่พอลีพรอพิลีน รงค์วัตถุเป็นสารเติมแต่งประเภทหนึ่งที่ทำให้พลาสติกมีสีสันสวยงาม บางชนิดช่วยเพิ่มความเสถียรของพอลีพรอพิลีนต่อรังสีอัลตราไวโอเลต ตัวอย่างเช่น Carbon black เป็นรงค์วัตถุสีดำที่มีประสิทธิภาพในการช่วยเพิ่มอายุการใช้งานเป็นต้น

เนื่องด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงก่อให้เกิดการศึกษาค้นคว้าและวิจัยผลของสารให้สี โดยเลือกศึกษาในกลุ่มของรงค์วัตถุอนินทรีย์ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมได้แก่ Titanium dioxide , Ultramarine Blue และ Cadmium Red ในการช่วยเพิ่มความเสถียรของพอลีพรอพิลีนภายใต้การได้รับแสงอัลตราไวโอเลตเพื่อให้พอลิ พรอพิลีนมีอายุการใช้งานยาวนานและสามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวางขึ้น

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอิทธิพลของรงค์วัตถุต่อกระบวนการย่อยสลายโดยแสง
2. ศึกษาผลของรงค์วัตถุต่อกระบวนการย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างต่างกัน
3. ศึกษาชนิดของรงค์วัตถุต่อสมบัติของพอลิเมอร์ ที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการฉายรังสีอัลตราไวโอเลต
4. ศึกษาสมบัติทางความร้อน , เชิงกลและกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปของพอลิเมอร์ที่ได้รับการฉายแสงอัลตราไวโอเลต

ขอบเขตของการวิจัย

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาผลของรงค์วัตถุต่อกระบวนการย่อยสลายโดยแสงในพอลิพรอพอลีน โดยพอลิพรอพิลีนที่ทำการศึกษามี 2 ชนิด ได้แก่ พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) และโคพอลิเมอร์แบบสุ่มกับเอทธิลีน (Random copolymer) กับรงค์วัตถุอนินทรีย์ 3 ชนิด ได้แก่ Titanium dioxide , Cadmium Red และ Ultramarine Blue โดยทำการผสมเป็น 8 สูตรตัวอย่าง แล้วนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ , ทางความร้อน และทางกล เมื่อทำการฉายแสงอัลตราไวโอเลตทุก 500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

ในการวิจัยนี้จะทำการผสมพอลิพรอพิลีน 2 ชนิดกับรงค์วัตถุ 3 ชนิด ในปริมาณ 0.1% โดยน้ำหนักทำการผสมเป็น 8 สูตรตัวอย่าง ทำการผสมโดยเครื่องผสมชนิดเกลียวหนอนคู่ นำตัวอย่างที่ได้จากเครื่องผสมไปทำการบดและอัดร้อนเป็นแผ่นบาง 0.5 มิลลิเมตร ตัดชิ้นงานเป็นรูปดัมเบลล์ นำไปทำการฉายแสงอัลตราไวโอเลต ทดสอบ แล้วนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง ทำการสรุปผลและวิจัย

แผนงานการทำงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ช่วงเวลาดำเนินงาน
1.คัดขนาดอนุภาคสี	12 มิ.ย.- 28 มิ.ย.
2.หาสภาวะการเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง (เครื่อง Brablender Compression Molding)	29 มิ.ย.- 25 ก.ค.
3.เตรียมชิ้นงานตัวอย่าง	26 ก.ค.- 5 ก.ย.
4.นำชิ้นงานตัวอย่างมาฉายแสง UVในห้องปฏิบัติการ	10 ก.ย.
5.ทดสอบชิ้นงานครั้งที่ 1 (ก่อนการฉายแสง UV)	10 ก.ย.-30 ก.ย.
6.ทดสอบชิ้นงานครั้งที่ 2 (ภายหลังการฉายแสง UV เป็นเวลา 500 ชั่วโมง)	1 ต.ค.- 22 ต.ค.
7.ทดสอบชิ้นงานครั้งที่ 3 (ภายหลังการฉายแสง UV เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง)	23 ต.ค.-13 พ.ย.
8.ทดสอบชิ้นงานครั้งที่ 4 (ภายหลังการฉายแสง UV เป็นเวลา 1500 ชั่วโมง)	14 พ.ย.- 5 ธ.ค.
9.ทดสอบชิ้นงานครั้งที่ 5 (ภายหลังการฉายแสง UV เป็นเวลา 2000 ชั่วโมง)	6ธ.ค.-20 ธ.ค.
10.รวบรวมข้อมูลและสรุปผลการวิจัย	12 ม.ค.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงอิทธิพลของรงค์วัตถุต่อสมบัติของพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)

2. ทราบถึงผลของแสงอัลตราไวโอเลต (UV) ต่อสมบัติของพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน

3.ทราบความเป็นไปได้ในการเลือกใช้ชนิดของรงค์วัตถุอินทรีย์ไปใช้งานตามจุดประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

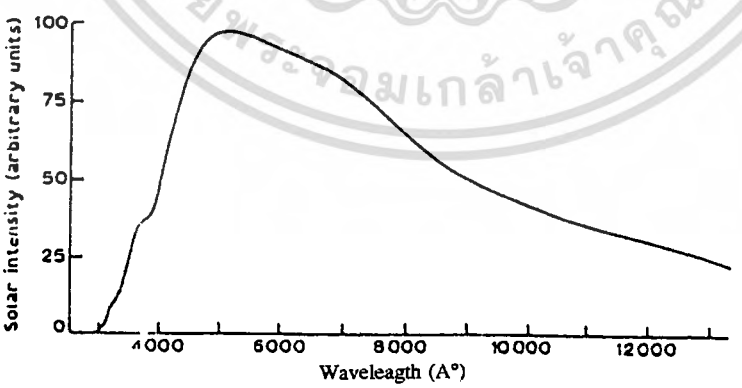
บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

กระบวนการย่อยสลายโดยแสง (Photodegradation)

ปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยแสงเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลง โดยการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตซึ่งมีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้เกิดการแตกพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมและเกิดอนุมูลอิสระขึ้นแล้วทำให้เกิดการเชื่อมโยงพันธะหรือเกิดการย่อยสลาย

สเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ (Ultraviolet spectrum of sunlight)

รังสีที่ออกจากดวงอาทิตย์เป็นสเปกตรัมต่อเนื่อง ช่วงความยาวคลื่น 0.7- 300 นาโนเมตร รังสีที่มีความยาวคลื่นช่วงไกล (Far UV) จะถูกดูดกลืนโดยไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศจะเหลือเฉพาะความยาวคลื่นใกล้ (Near UV) เท่านั้นที่หลุดรอดมาที่ผิวโลก รังสีช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 175 นาโนเมตรจะถูกดูดกลืนโดยออกซิเจนในชั้นบรรยากาศระดับ 100 กิโลเมตรเหนือระดับน้ำทะเล และรังสีช่วง 185-290 นาโนเมตรจะถูกดูดกลืนโดยชั้นโอโซนที่ชั้น Stratosphere ที่ 15 กิโลเมตรเหนือระดับน้ำทะเล รังสีที่หลุดรอดมายังพื้นโลกจะมีความยาวคลื่น 290-3000 นาโนเมตร คิดเป็นแสงช่วง UV 10 % , Visible 50 % และ Infrared 40 % ซึ่งพลังงานช่วง 290-400 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ทำให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยแสงได้ พิจารณาจากพลังงานพันธะที่พบในพอลิเมอร์ทั่วไป ดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงสเปกตรัมของแสง UV และ Visible ของแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงพลังงานรังสีที่ความยาวคลื่นต่างๆ ที่มีผลต่อพลังงานพันธะในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ

Wavelength (nm)	Energy		Bond type	Bond energy
	kJ Einstein^{-1}	kJ mol^{-1}		kJ mol^{-1}
290	100	419	C-H	380-420
300	95	398	C-C	340-350
320	90	375	C-O	320-380
350	81	339	C-Cl	300-340
400	71	300	C-N	320-330

กลไกการย่อยสลายโดยแสงของพอลิเมอร์

กระบวนการทางฟิสิกส์ของการดูดกลืนแสง

แสงที่ตกกระทบบนพอลิเมอร์นั้นอาจเกิดการสะท้อนที่ผิวของพอลิเมอร์ หรือเกิดการดูดกลืนภายในเนื้อพอลิเมอร์ แสงที่ถูกดูดกลืนส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเคมีโดยแสง (Photochemical) ตามกฎของ Stark-Einstein โมเลกุลของพอลิเมอร์จะดูดกลืนแสง 1 ควอนตัมเพื่อให้ขึ้นไปอยู่ในสภาวะเร้าด้วยพลังงาน

$$E = h\nu$$

การเกิดปฏิกิริยาเคมีโดยแสง (Photochemical) ต้องมีการดูดกลืนแสงเกิดขึ้นก่อนเสมอ แต่พอลิเมอร์ที่มีพันธะอิ่มตัวจะไม่ดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลต เช่น พันธะ C-C , C-H , O-H และ C-Cl เป็นต้น สามารถดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 200 นาโนเมตร แต่พอลิเมอร์ในทางการค้าสามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตได้ เพราะมีหมู่ที่สามารถดูดกลืนแสงได้ (Chromophors) ซึ่งอาจเป็นหมู่ คาร์บอนิล , พันธะคู่ หรือไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) ที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิต หรือสารปนเปื้อน เช่น พวกโลหะจากส่วนผสมของพอลิเมอร์เอง โดยความยาว คลื่นแสงที่จะก่อให้เกิดการย่อยสลายขึ้นกับชนิดของพอลิเมอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงความยาวคลื่นสูงสุดของแสงอัลตราไวโอเลตที่ส่งผลต่อพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ

Polymer	Wavelength (nm)	Energy (kcal/mol)
Styrene acrylonitrile copolymer	290,325	99 , 88
Polycarbonate	295,345	97 , 83
Polyethylene	300	96
Polystyrene	318	90
Polyvinyl chloride	320	89
Polyester	325	88
Vinyl chloride-vinyl acetate copolymer	327,364	87 , 79
Polypropylene	370	77

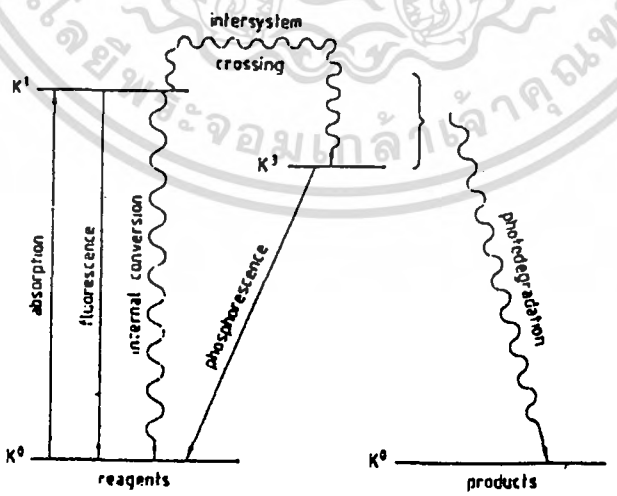
เมื่อเกิดการดูดกลืนโฟตอน จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้นในโมเลกุล ขึ้นกับกระบวนการทางฟิสิกส์ของการดูดกลืนแสง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ก) แสงถูกดูดกลืนโดยพอลิเมอร์

ข) โมเลกุลถูกกระตุ้นขึ้นไปที่สภาวะเร้า

ค) โมเลกุลคายพลังงานออกมา โดยอาจจะอยู่ในรูปของแสง , ความร้อน หรือถ่ายเทพลังงานให้กับสิ่งอื่น

กระบวนการทางฟิสิกส์ของการดูดกลืนแสง สามารถอธิบายด้วยแผนภาพ Jabolonski แสดงดังรูปที่ 2.2



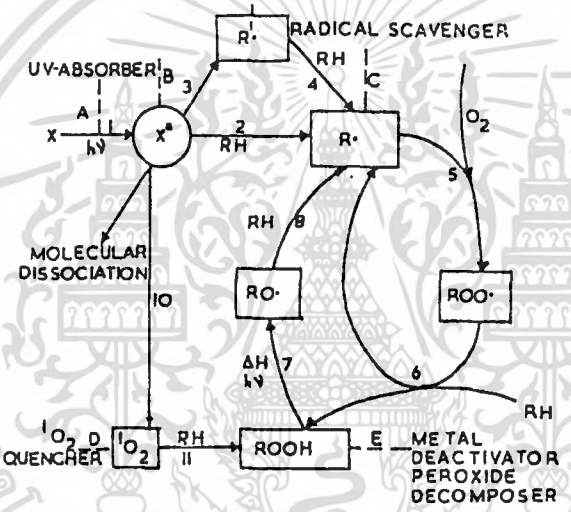
รูปที่ 2.2 แผนภาพ Jabolonski

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อโมเลกุลดูดกลืนแสงโดยหมู่โครโมฟอร์ (Chromophores groups) โมเลกุลจะถูกกระตุ้นไปที่ระดับพลังงานกระตุ้น Singlet states (K_1) ซึ่งอาจเกิด Intercrossing มาที่ระดับพลังงาน Triplet state (K_3) โดยที่ระดับพลังงานกระตุ้น (K_1 , K_3) จะเกิดการคายพลังงานออกมาในรูปต่าง ๆ เช่น Fluorescence , Phosphorescence และ Radiation's decay หรือถ่ายเทพลังงานให้แก่โมเลกุลอื่น โดยที่ช่วงเวลาในการเกิดการคายพลังงานจากระดับพลังงาน Triplet state นั้นมีเวลานาน ซึ่งน่าจะเป็นส่วนสำคัญในการที่จะทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายโดยแสง

กลไกการย่อยสลายโดยแสง

พอลิเมอร์เมื่อได้รับพลังงานแสงจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง (Photooxidation) ส่งผลให้เกิดกระบวนการย่อยสลายโดยแสง (Photodegradation) สามารถแสดงกลไกทั่วไปของปฏิกิริยา (รูปที่ 2.3) ได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 แสดงกลไกปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง (Photooxidation) และกระบวนการย่อยสลายโดยแสง (Photodegradation) ของพอลิเมอร์เมื่อได้รับแสง

พอลิเมอร์สามารถดูดกลืนแสงได้ เนื่องจากมีหมู่ที่สามารถดูดกลืนแสงอยู่ในพอลิเมอร์ ซึ่งจะริเริ่มให้เกิดปฏิกิริยากระบวนการย่อยสลายโดยแสง (Photodegradation) ได้แก่ สารปนเปื้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) และกระบวนการผลิต โดยเชื่อว่าเป็นหมู่ Carbonyl , Hydroperoxide , Oxygen-Polymer charge transfer complex และ Metallic impurity ดังแสดงในตารางที่ 3 ทั้งหมดที่กล่าวมาจะช่วยให้เกิดอนุมูลอิสระ (free radicals) ขึ้นในขั้น Chain initiation ของปฏิกิริยา โดยตัวที่มีความสำคัญหลัก ๆ คือหมู่ Carbonyl และ Hydroperoxide จากที่กล่าวมาสามารถแสดงขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยาจากการริเริ่มด้วยสิ่งเจือปนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chain initiation

Hydroperoxides POOH

Carbonyl compounds $\diagdown$C=O

Catalyst residues (Ti...)

Charge-transfer complexes

$\xrightarrow[Me^{2+}/Me^{3+}]{\Delta\ ,\ h\nu}$ free radicals ($P^{\cdot}$, $PO^{\cdot}$, $HO^{\cdot}$, $POO^{\cdot}$)

Chain propagation

$$P^{\cdot} + O_2 \longrightarrow POO^{\cdot} \quad (1)$$

$$POO^{\cdot} + PH \longrightarrow POOH + P^{\cdot} \quad (2)$$

Chain branching

$$POOH \xrightarrow[Me^{2+}/Me^{3+}]{\Delta \text{ or } h\nu} PO^{\cdot} + {}^{\cdot}OH \quad (3a)$$

$$POOH + PH \xrightarrow[Me^{2+}/Me^{3+}]{\Delta \text{ or } h\nu} PO^{\cdot} + P^{\cdot} + H_2O \quad (3b)$$

$$2\ POOH \xrightarrow[Me^{2+}/Me^{3+}]{\Delta \text{ or } h\nu} POO^{\cdot} + PO^{\cdot} + H_2O \quad (4)$$

$$PO^{\cdot} + PH \longrightarrow POH + P^{\cdot} \quad (5)$$

$$HO^{\cdot} + PH \longrightarrow H_2O + P^{\cdot} \quad (6)$$

Chain termination

$$P^{\cdot} + P^{\cdot} \longrightarrow P\text{-}P \quad (7)$$

$$P^{\cdot} + POO^{\cdot} \longrightarrow POOP \quad (8)$$

$$POO^{\cdot} + POO^{\cdot} \longrightarrow POOP + O_2 \quad (9a)$$

$$PO^{\cdot} + POO^{\cdot} \longrightarrow \text{nonradical products} + O_2 \quad (9b)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงสเปคตรอล (Spectral) และอัตราการเกิดอนุมูลอิสระสำหรับหมู่โครโมฟอร์ที่มีอยู่ในพอลิพรอพิลีนในเชิงการค้า

Chromophores	Approximate concentration (mol/l)	Molecular extinction coefficient E310nm ($l\ mol^{-1}\ cm^{-1}$)	Quantum yield	Rate of free radical formation (natural weathering) (mol/l)
Hydroperoxide ~ $CH_2C(CH_3)CH_2$~ OOH	$5x10^{-3}$ (fiber) 10^{-4} - $5x10^{-4}$ (fiber)	0.4	1 (scission)	~$5x10^{-8}$
Ketone ~ $CH(CH_3)C(CH_3)CH_2CH(CH_3)$ - O	< 10^{-3}	10	0.7(Norrish I)	<10^{-8}
- $CH(CH_3)C(CH_3)CH_3$ - O	< 10^{-3}	10	0.01 and 0.08 (Norrish I and II)	<10^{-8}
Catalyst residues as $TiOCl_2$,$Ti(OBu)_4$	10^{-4} -10^{-3}	10-1300	~0.02	~$6x10^{-8}$
Charge-transfer complexes Polymer.....O_2	-	-	~0.02 (photooxidation)	~$4x10^{-11}$

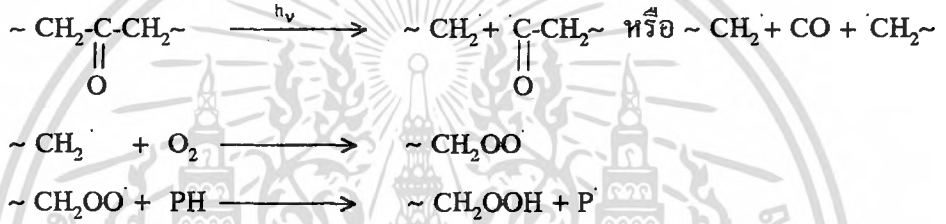
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกการเกิดปฏิกิริยายาขั้น Initiation และ Propagation ใน Polyolefin เนื่องจาก Chromophores ประเภทต่าง ๆ

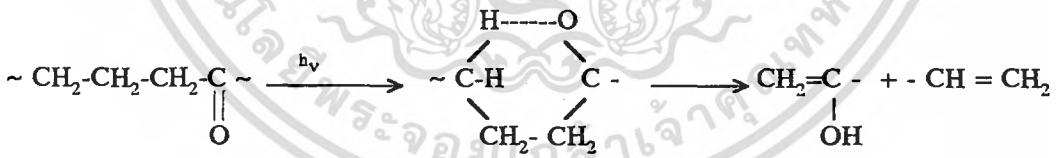
โดยหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl)

Aliphatic lactone และ Aldehydal สามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตย่านใกล้ (Near UV) ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 280-300 นาโนเมตร และเกิดการกระตุ้นจาก $n - \pi^*$ โดยเชื่อว่าผลของการริเริ่มปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง (Photooxidation) ด้วยหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl) จะเกิด 2 กระบวนการหลัก คือ

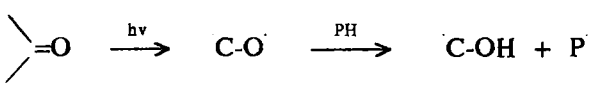
Norrish type I เมื่อหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl) ดูดกลืนแสงทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) ออกมาดังสมการ ซึ่งอนุมูลอิสระที่ได้จะเกิดปฏิกิริยาการรวมตัว (Recombination) หรือเกิด การถ่ายโอนสายโซ่ (Disproportion) ก่อนที่จะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนจึงเป็นตัวที่ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระได้ไม่ดีนัก



Norrish type II จะเกิดลักษณะนี้เมื่อแกรมมาคาร์บอนอะตอม (γ-carbon) มีไฮโดรเจนอะตอมอย่างน้อย 1 ตัว เมื่อหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl) ดูดกลืนแสงจะมีการจัดรูปเป็นรูปวงหกเหลี่ยม (Six-member cyclic) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นหมู่โอลิฟินิค (Olefinic) และอีนอลิค (Enolic) อย่างละ 1 หมู่



จากกระบวนการแบบ Norrish type II จะไม่ได้ผลิตภัณฑ์เป็นอนุมูลอิสระแต่จะได้หมู่คาร์บอนิล ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาให้อนุมูลอิสระต่อได้ ดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>โดยหมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide)</u>

หมู่อัลลิวไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Allyl hydroperoxide) จะดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตย่านไกล (Far UV) ที่ความยาวคลื่นประมาณ 200 นาโนเมตร โดยหมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการสังเคราะห์และขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ มีกลไกดังนี้

Initiation $PH \xrightarrow{\Delta H} P^{\cdot} + {}^{\cdot}H$

Propagation $P^{\cdot} + O_2 \longrightarrow POO^{\cdot}$

$POO^{\cdot} + PH \longrightarrow PO_2H + P^{\cdot}$

Termination $2POO^{\cdot} \longrightarrow P_2O_2 + O_2$

$2POO^{\cdot} \longrightarrow 2PO^{\cdot} + O_2$

เมื่อได้รับการกระตุ้นโดยแสง หมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะให้อนุมูลอิสระของอัลคอกซี (Alkoxy) และไฮดรอกซิล (Hydroxyl) ไปริเริ่มปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงต่อไป

$$PO_2H \xrightarrow{h\nu} PO^{\cdot} + {}^{\cdot}OH$$

<u>โดย Oxygen - Polymer Charge transfer Complex</u>

พอลิเมอร์และก๊าซออกซิเจนสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Complex) ในลักษณะถ่ายโอนประจุ (Charge transfer) เกิดหมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะไปกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระ

$$PH + O_2 \longrightarrow [P\text{-}H\text{-----}O_2] \xrightarrow{h\nu} [PH^{+}\text{----}O_2^{-}]$$

$$[PH^{+}\text{----}O_2^{-}] \longrightarrow POOH \xrightarrow{PH} P^{\cdot} + H_2O$$

<u>โดยสิ่งเจือปนโลหะ (Metallic impurity)</u>

พอลิเมอร์ที่ผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) โดยใช้คะตะลิสต์ Zeigler-Natta จะมีโลหะทรานซิชันหลงเหลืออยู่ ซึ่งยากที่จะทำการกำจัดออก เช่น Fe , Al และ Ti เป็นต้น ซึ่งสิ่งเจือปนโลหะเหล่านี้ (Matallic impurity) สามารถช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงในพอลิโอลิฟิน (Polyolefin) เช่น

$$Fe^{3+} + OH^{-} \xrightarrow{h\nu} Fe^{2+} + {}^{\cdot}OH$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงของพอลิเมอร์ภายหลังเกิดกระบวนการย่อยสลายโดยแสง

ภายหลังที่พอลิเมอร์เกิดกระบวนการย่อยสลายโดยแสงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ได้แก่

1. เกิดการขาดของสายโซ่ (Chain scission) หรือเกิดพันธะเชื่อมโยง (Cross linking)

2. เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง (Photooxidation)

โดยจะทำให้เกิด หมู่คาร์บอนิล , คาร์บอกซิล , ไฮดรอกซิล หรือ เปอร์ออกไซด์ในพอลิเมอร์และส่งผลให้เกิดพันธะเชื่อมโยงหรือเกิดการขาดของสายโซ่ แต่อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงจะเป็นปฏิ กิริยาหลักที่เกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจน จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการย่อยสลายในพอลิเมอร์

การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) , การยืดที่จุดขาด (Elongation) และ ความแข็งแรงต่อการกระแทก (Impack strength) ลดลงอย่างมาก โดยเฉพาะที่ผิวของพอลิเมอร์จะเกิดรอยร้าวเนื่องจากผลของแสงอัลตราไวโอเลต

ผลของรงค์วัตถุ (Pigment) ต่อกระบวนการย่อยสลายโดยแสง

ในทางการค้าผลิตภัณฑ์พลาสติกจะมีการใส่สีลงไปเพื่อเพิ่มความสวยงาม โดยสีที่เติมลงไปนั้นยังไม่มีการค้นคว้าและวิจัยกันอย่างจริงจังว่าส่งผลอย่างไรต่อกระบวนการย่อยสลายโดยแสง แต่พอที่จะสรุปบทบาทของรงค์วัตถุ (Pigment) ต่อกระบวนการย่อยสลายโดยแสงดังนี้

1.แสดงตัวเป็น Photosensitizer

2.แสดงตัวเป็น Ultraviolet screener หรือ Ultraviolet absorber

<u>การแสดงตัวเป็น Photosensitizer ของรงค์วัตถุ</u>

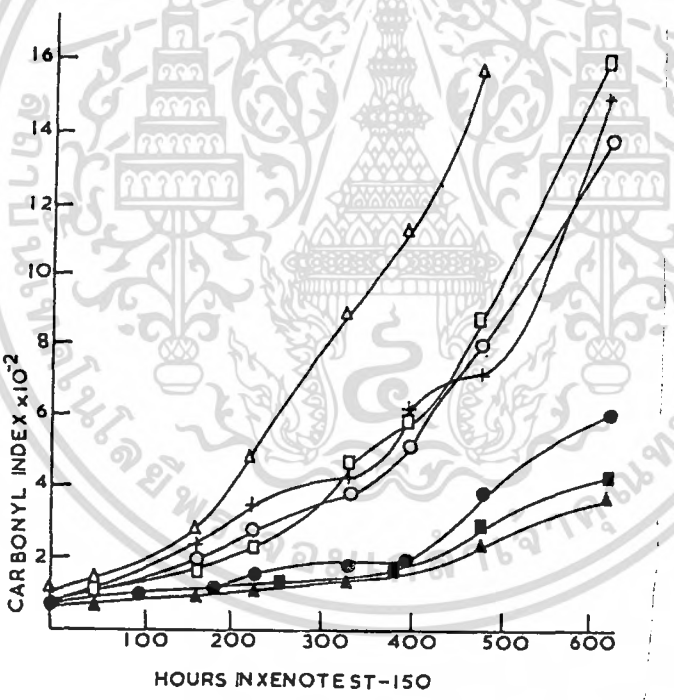
เสถียรภาพต่อแสงของพอลิเมอร์ที่ผสมรงค์วัตถุขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ธรรมชาติของพอลิเมอร์
2. รูปแบบของพอลิเมอร์ เช่น เป็นแผ่น , ฟิลม์และไฟเบอร์ เป็นต้น
3. เสถียรภาพต่อแสงของพอลิเมอร์
4. ธรรมชาติของรงค์วัตถุ
5. ความว่องไวของรงค์วัตถุ
6. ขนาดอนุภาค, สูตรและธรรมชาติของ Surface treatment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยเหล่านี้เป็นตัวควบคุมเสถียรภาพและความว่องไวของรงค์วัตถุ พอลิเมอร์ทางการค้าที่มีการเติมสารเสริมเสถียรภาพและสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น สารเหล่านี้ก็จะมีผลกระทบต่อสมบัติของรงค์วัตถุด้วย การคาดการณ์ที่แน่นอนถึงผลของรงค์วัตถุที่มีสีต่อความว่องไวต่อแสงของพอลิเมอร์ทำได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามอาจกล่าวได้ว่ารงค์วัตถุที่มีสีบางชนิด เช่น Cadmium Yellow , Ultramarine Blue และ Permanent Red 2B เป็นต้น สามารถแสดงตัวเป็นสารเสริมเสถียรภาพต่อแสงได้

การศึกษาความว่องไวต่อแสงของรงค์วัตถุส่วนมากจะศึกษาเกี่ยวกับรงค์วัตถุสีขาว ตัวอย่างเช่น ทิทาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) โดยจะมีรูปผลึก 2 แบบคือ Rutile และ Anatase โดยรูปผลึก Anatase จะว่องไวต่อแสงช่วยกระตุ้นให้เกิดกระบวนการย่อยสลายโดยแสง ส่วนแบบ Rutile จะให้ผลในทางตรงข้าม คือ หน่วงกระบวนการย่อยสลายโดยแสง แสดงด้วยภาพ 2.4 ซึ่งความว่องไวต่อแสงจะเกิดขึ้นที่ผิวของวัสดุเท่านั้น



รูปที่ 2.4 Carbonyl index versus time of irradiation in a Xenotest-150 for polyethylene containing: +, no TiO_2; △, anatase 2%; □, anatase 1%; ○, anatase 0·5%; ▲, rutile 2%; ■, rutile 1%; ●, rutile 0·5%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกการแสดงตัวเป็น Photosensitizer ของรงค์วัตถุทิ ทาเนียมไดออกไซด์ แสดงได้ดังนี้ อะตอมของทิทาเนียมไดออกไซด์เมื่อได้รับพลังงานแสง จะมีการถ่ายโอนอิเลคตรอนให้กับอะตอมของออกซิเจนซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับน้ำเกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งสามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระที่เป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการย่อยสลายโดยแสง

$$TiO_2 + O_2 \longrightarrow TiO_2^{+} + O_2^{-} \quad (I)$$

$$(I) \longrightarrow TiO_2 + {}^1O_2$$

$$(I) + H_2O \longrightarrow TiO_2 + HO^{\cdot} + HOO^{\cdot}$$

$$2HOO^{\cdot} \longrightarrow H_2O_2 + O_2$$

$$RCH_2CH{=}CHR^1 + {}^1O_2 \longrightarrow RCH = CH - \underset{\displaystyle OOH}{\underset{|}{C}}HR^1$$

<u>การแสดงตัวเป็นฉากป้องกันผิวหน้า (Ultraviolet screener) หรือตัวดูดกลืนแสง (Ultraviolet absorber)</u>

การทำให้เกิดสีในพลาสติกอาจทำได้โดยการทาเคลือบที่ผิวนอกหรือผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกับพลาสติก ในอุตสาหกรรมรงค์วัตถุหลายชนิดที่ทึบแสงสามารถแสดงตัวเป็นฉากป้องกันผิวหน้า(Ultraviolet screener)ได้ ตัวอย่างเช่นทิทาเนียมไดออกไซด์ (รูปผลึก Anatase) , ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) , แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) , แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) , เลดคาร์บอเนต ($Pb(CO_3)_2$) และแบเรียมซัลเฟต($BaSO_4$) ซึ่งการสะท้อนแสงอัลตราไวโอเลตของรงค์วัตถุแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันเช่น แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) , คัลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) , แบเรียมซัลเฟต ($BaSO_4$) จะสะท้อนแสงได้ดีในช่วงความยาวคลื่น 300-400 นาโนเมตร แต่ ZnO และ TiO_2จะสะท้อนแสงได้น้อยในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าว

เมื่อเปรียบเทียบกับรงค์วัตถุสีขาว รงค์วัตถุที่มีสีจะมีความสามารถในการสะท้อนแสง UV ได้ต่ำกว่า ดังนั้นรงค์วัตถุจะต้องมีปริมาณมากพอเพื่อที่จะสามารถดูดซับแสง UV ได้โดยปราศจาก Internal scattering

ฉากป้องกันผิวหน้า (Ultraviolet screener) ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดตัวหนึ่งคือคาร์บอนแบลก (Carbon black) และประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับ ปริมาณ,ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวในตัวกลาง ถึงแม้ว่าปริมาณของรงค์วัตถุสูงจะช่วยป้องกันแสงได้ดีแต่อาจจะส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพได้เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และความคงทนต่อแรงกระแทก (Impact strength)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รงค์วัตถุที่ทำหน้าที่เป็นฉากป้องกันผิวหน้าโดยมากจะมีความสามารถในการสะท้อนแสงต่ำและส่งผลต่อ Polyalkene แต่ละชนิดแตกต่างกัน นอกจากยังมีอิทธิพลที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ Process history ซึ่งสามารถเลื่อน Activation spectrum ของพอลิเมอร์ได้

Effect of pigments on the UV stability of unstabilized polypropylene

Pigment, 2%	*UV stability protection power of pigment*	*Screening power of pigments UV-visible absorption spectra-absorbance (μm)*				
		300	*325*	*350*	*375*	*400*
Chromophthal Red 3B	1·0	0·43	0·29	0·10	0·00	0·00
Natural	1·0	—	—	—	—	—
Quinacridone Magenta	1·0	1·00	0·72	0·49	0·18	0·14
Phthalocyanine Blue	3·5	0·34	0·69	0·79	0·49	0·03
Rutile titanium dioxide	2·25	0·92	0·97	1·01	1·09	1·12
Iron oxide Tan	3·25	0·29	0·30	0·32	0·33	0·35
Cadmium Yellow	2·0	0·36	0·36	0·36	0·36	0·36
Phthalocyanine Green	3·5	0·48	0·63	0·54	0·54	0·35
Chromium oxide	2·75	0·05	0·06	0·07	0·08	0·09
Mercadmium Red	2·75	0·26	0·26	0·26	0·26	0·26
Ultramarine Blue	1·75	0·01	0·01	0·01	0·01	0·01
Monarch 71 (Channel Black)	12·0	1·56	1·56	1·56	1·56	1·56

ตารางที่ 2.4 อิทธิพลของรงค์วัตถุต่อเสถียรภาพต่อ UV และ Visible ในพอลิพรอพิลีนที่ไม่ผสมสารเสริมเสถียรภาพ

การศึกษาผลของรงค์วัตถุที่มีสีต่อเสถียรภาพต่อแสงของพอลิเมอร์ ดังตารางที่ 2.4 แสดงผลของรงค์วัตถุชนิดต่างๆต่อฟิล์มพอลิพรอพิลีนที่ไม่ได้ผสมสารเสริมเสถียรภาพ ซึ่งเป็นผลมาจากสมบัติในการดูดซับแสง จากตารางพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับแสงของรงค์วัตถุกับความสามารถในการปกป้องพอลิเมอร์ เช่น อัลตรามารีนบลู มีความสามารถในการดูดซับแสง UV ได้ต่ำที่สุดและให้ผลในการป้องกันต่ำที่สุด ในขณะที่คาร์บอนแบลคมีความสามารถในการดูดซับแสงสูงที่สุดและให้ผลในการป้องดีที่สุด แต่ความสามารถในการดูดซับแสงเพียงอย่างเดียวไม่สามารถที่จะควบคุมผลที่มีต่อเสถียรภาพต่อ UV ของพอลิเมอร์ได้ สมบัติทางเคมีและรูปแบบทางกายภาพก็จะมีผลด้วย

Cadmium Yellow และ Cadmium Red เป็นสารเสริมเสถียรภาพที่ดี จากการศึกษาพบว่า Cadmium Yellow เป็นสารเสริมเสถียรภาพอย่างอ่อนในพอลิเอทธิลีนและยับยั้งการเติบโตของหมู่คาร์บอนิล และหมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ในพอลิเมอร์ในระหว่างการฉายรังสี UV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

1. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1.1 เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนจากบริษัท HMC POLYMER Co,Ltd

1.2 เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนแรนดอมโคพอลิเมอร์จากบริษัท HMC POLYMER Co,Ltd

1.3 รงค์วัตถุแคดเมี่ยมเรด (Cadmium Red)

1.4 รงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู (Ultramarine Blue)

1.5 รงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide)

1.6 เมทานอล (Methanol)

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่อง BRABLENDER Plasti-corder PL 2100 :OHG DUISBURG

2.2 เม็ดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ม.ม.

2.3 ตะแกรงร่อนขนาด 200 mesh

2.4 เครื่องเขย่า

2.5 เครื่องบดผสมแบบลูกบอล

2.6 เครื่องอัดความร้อน LP 20 : Labtech Co.Ltd.

2.7 เครื่องทดสอบแรงดัน 30 kN : LLOYD

2.8 เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน DSC : Shimadzu Co.,Ltd

2.9 กล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป : Nikon

2.10 เครื่องโม่ตัดพลาสติก

2.11 ชุดให้ความร้อนแก่เครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคป (HOT STAGE)

2.12 เครื่องตัดขึ้นรูปชิ้นงาน Tensile Bar : CEAST

2.13 แม่แบบอัดความร้อนขนาด 9x9x0.05 นิ้ว

2.14 เครื่องชั่งแบบแขวนและแบบดิจิตอล

2.15 เครื่องเร่งสภาพการสลายตัว (Weatherometer)

2.16 เครื่องวัดดัชนีการไหล : CEAST

2.17 Fourier Transform Infrared Spectroscropy (FTIR)

2.18 ASEPIC BOX (ตู้อบ UV) : OGAWA SE K CO.,LTD

2.19 หลอดแสง UV ขนาด 15 Watt : TOSHIBA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32030

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 เตรียมรงค์วัตถุ

3.2 เตรียมชิ้นงานตัวอย่าง

3.3 ฉายแสงอัลตราไวโอเลต

3.4 ทดสอบสมบัติเชิงฟิสิกส์และเคมีของชิ้นงานตัวอย่าง

4. วิธีการทดลอง

4.1 <u>การเตรียมรงค์วัตถุ</u>

4.1.1 นำรงค์วัตถุ แคดเมี่ยมเรด , อัลตรามารีนบลู และ ทิทาเนียมไดออกไซด์ มาบดด้วย SIEVE แก้ว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ม.ม. โดยใช้เครื่องบดผสมแบบลูกบอล

4.1.2 คัดขนาดของรงค์วัตถุให้มีขนาด 200 mesh ด้วยตะแกรงร่อน

4.2 <u>การหาสภาวะในการผสมที่เหมาะสม</u>

4.2.1 เครื่องบราเบลนเดอร์

ทำการตั้งอุณหภูมิของเครื่องผสม โดยใช้อุณหภูมิขณะออกจากหัว Die ต่างๆ กันเป็น 175 , 180 , 190 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในโซนถัดไปลดลง 5 องศาเซลเซียส เช่น หัว Die 175 °C โซนที่ 3 = 170 °C , โซนที่ 2 = 165 °C , โซนที่ 1 = 160°C และใช้ความเร็วสกรูต่าง ๆ กันเป็น 10 , 20 ,30 , 40 , 50 , 60 รอบต่อนาที ในการผสมเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผสมโดยให้พลาสติกอยู่ในสกรูนานที่สุดโดยไม่เกิดการเสื่อมสภาพ

4.2.2 เครื่องอัดความร้อน

ชั่งพลาสติกหนัก 40 กรัม ใส่ลงในแม่แบบขนาด 9 x 9 x 0.5 นิ้ว ทำการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนโดยใช้เครื่องอัดความร้อน LP 20ใช้อุณหภูมิในการอัดร้อนเป็น175 ,180 , 185 , 190 °C เวลาในการอัดร้อน 3 , 4 , 5 นาที และเวลาในการหล่อเย็น 3 , 4 , 5 นาที นำชิ้นงานที่ได้มาส่องดูการกระจายของสี และเลือกสภาวะที่ให้การกระจายตัวของสีที่ สม่ำเสมอที่สุด โดยใช้เวลาน้อยที่สุด

4.2.3ตัดพลาสติกที่ได้จากการอัดความร้อนมาทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของพลาสติกผสมด้วยเครื่อง DSC ก่อนทำการฉายรังสี โดยใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที และการใช้อัตราการทำให้เย็นตัว 20 องศาเซลเซียสต่อนาที

- อ่านค่า Tm และ Tc จากกราฟ
- คำนาณ ΔHm และ ΔHc โดยใช้โปรแกรมคำนวณในเครื่อง DSC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 <u>การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง</u>

4.3.1 ทำการผสมเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน ชนิดโฮโมพอลิเมอร์และโคพอลิเมอร์กับรงค์วัตถุในเครื่องบราเบลนเดอร์ ผสมสูตรดังตารางที่ 4 โดยใช้อัตราส่วนรงค์วัตถุต่อเม็ดพลาสติกเป็น 0.1% โดยน้ำหนัก อุณหภูมิในเครื่องบราเบลนเดอร์โซนที่ 1 เป็น 170°C , โซนที่ 2 เป็น 175°C , โซนที่ 3 เป็น 180°C และอุณหภูมิที่หัว die เป็น 185 °C

<u>ตารางที่ 3.1</u> แสดงสูตรการผสมชิ้นงานตัวอย่าง

สูตรที่	ชนิด Polypropylene	รงค์วัตถุ		
		Titanium dioxide	Ultramarine Blue	Cadmium Red
1	6331	-	-	-
2	6331	X	-	-
3	6331	-	X	-
4	6331	-	-	X
5	SW555	-	-	-
6	SW555	X	-	-
7	SW555	-	X	-
8	SW555	-	-	X

<u>หมายเหตุ</u> เม็ดพลาสติกชนิด SW555 คือ เม็ดพลาสติก Polypropylene ชนิด Random copolymer
เม็ดพลาสติกชนิด 6331 คือ เม็ดพลาสติก Polypropylene ชนิด Homopolymer

4.3.2 พลาสติกที่ได้จากเครื่องบราเบลนเดอร์ทิ้งไว้เย็น จากนั้นนำเข้าเครื่องโม่ตัดเพื่อทำการย่อยพลาสติก 2-3 ครั้ง เพื่อให้เม็ดพลาสติกมีขนาดใกล้เคียงกัน

4.3.3 ทำการขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่างโดยขึ้นรูปชิ้นงานเป็น 2 แบบ คือ แบบแผ่นบางเพื่อใช้ในการวิเคราะห์โดยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrophotometry และขึ้นรูปชิ้นงานเป็นรูป Tensile bar เพื่อใช้ในการทดสอบ Tensile

<u>ขึ้นรูปแผ่นบาง</u> ชั่งเม็ดพลาสติกหนัก 40 กรัม ใช้แผ่นเหล็กประกบทั้ง 2 ด้านโดยไม่ใช้แม่แบบทำการอัดความร้อนด้วยเครื่องอัดความร้อน LP20 ใช้อุณหภูมิในการอัดร้อน 190°C เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นหล่อเย็นเป็นเวลา 3 นาที จึงนำออกจากแบบ นำชิ้นงานที่ผ่านการอัดมาตัดเป็นแผ่นขนาด 4 x 2 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นรูป Tensile bar ชั่งเม็ดพลาสติกหนัก 40 กรัม ใส่ลงในแม่แบบรูปสี่เหลี่ยมขนาด 9 x9x0.5 นิ้วทำการอัดความร้อนด้วยเครื่องอัดความร้อน LP20 ใช้อุณหภูมิในการอัดร้อน 190 °C เป็นเวลา 3 นาที หล่อเย็น 3 นาที นำชิ้นงานที่ได้มาตัดขึ้นรูป Tensile bar ตามมาตรฐาน ASTM D 638 M

4.4 การฉายรังสีอัลตราไวโอเลต

นำชิ้นงานพลาสติกที่เตรียมไว้ไปฉายแสงในตู้อบ UV และทำการกลับชิ้นงานทุก 24 ชั่วโมง เก็บชิ้นงานตัวอย่างมาทดสอบหลังจากฉายแสงเป็นเวลา 0 , 500 , 1000 , 1500 และ 2000 ชั่วโมง

4.5 การทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์และเคมี

4.5.1 การทดสอบสมบัติเชิงกล ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (LLOYD) ขนาด 30 kN ตาม ASTM D 638 M โดยใช้ชิ้นงานในแต่ละสูตร 10 ชิ้น สภาวะของเครื่องทดสอบเป็นดังนี้

Load cell	30000.00	N
Test speed	50.000	mm/min
Grammage	1.0	g/m^2
Cell class	0.5	

นำผลที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณหาค่าสมบัติเชิงกลดังนี้

Tensile strength (MPa)

% Elongation at Break (%)

4.5.2 การทดสอบความหนาแน่นโดยชั่งน้ำหนักในเมทานอล

ตัดเศษชิ้นงานที่เหลือจากการขึ้นรูป Tensile bar เป็นแผ่นสี่เหลี่ยม โดยแต่ละสูตรใช้ชิ้นงานตัวอย่างในการทดสอบ 1 ชิ้น ทำการชั่งน้ำหนักที่แน่นอนในอากาศและน้ำหนักที่แน่นอนในเมทานอล นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าความหนาแน่น

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักชิ้นงานตัวอย่าง} * \text{ความหนาแน่นของเมทานอล}}{\text{น้ำหนักชิ้นงานตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักชิ้นงานตัวอย่างที่ชั่งในเมทานอล}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 การทดสอบสมบัติเชิงความร้อนด้วยเครื่องวัดสมบัติทางความร้อน (DSC)

ใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที และอัตราการทำให้เย็นตัวที่ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที

- อ่านค่า Tm และ Tc จากกราฟ
- คำนวณ ΔHm และ ΔHc โดยใช้โปรแกรมการคำนวณในเครื่อง DSC

4.5.4 การทดสอบหาค่าดัชนีการไหลด้วยเครื่องวัดดัชนีการไหล

-ใช้อุณหภูมิในการหลอมเหลวพอลิพรอพิลีน - เอธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม Random copolymer เป็น 175 องศาเซลเซียส

-ใช้อุณหภูมิในการหลอมเหลวพอลิพรอพิลีนโฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) เป็น 175 องศาเซลเซียส

4.5.5 การศึกษาเปรียบขนาดผลึกในแต่ละสูตร โดยใช้กล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป โดยใช้อัตราการเย็นตัว 2 องศาเซลเซียส / นาที หาอุณหภูมิในการตกผลึก (Tc)

4.5.6 การหาปริมาณการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยเทคนิคฟูเรี่ยทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรเมททรี (FTIR)

-วัดในช่วงเลขคลื่น 400 - 4000 cm^{-1} โดยเปรียบเทียบความเข้มของหมู่คาร์บอนิล (ที่เลขคลื่น 1640 -1780 cm^{-1}) ก่อนและหลังการฉายแสง UV และทำการคำนวณหาค่า Carbonyl Index (C.I.)

$$C.I. = [\log (100/\%T)]/d * 100$$

เมื่อ %T = เปอร์เซ็นต์การส่องผ่าน

d = ความหนาของชิ้นงาน (μm)

4.5.7 การทดสองความซีดจางของสีโดยใช้เครื่องวัดค่าสี

นำตัวอย่างที่ผ่านการเร่งสภาพด้วยแสง UV เป็นเวลา 400 ช่วโมงจากเครื่องเร่งสภาพ(Weatherometer) มาทำการวัดค่าสีเทียบกับค่าของสีก่อนได้รับการเร่งสภาพ ความแตกต่างของค่าสีจะบ่งบอกถึงความซีดจางของสี(ΔE^*_{ab})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

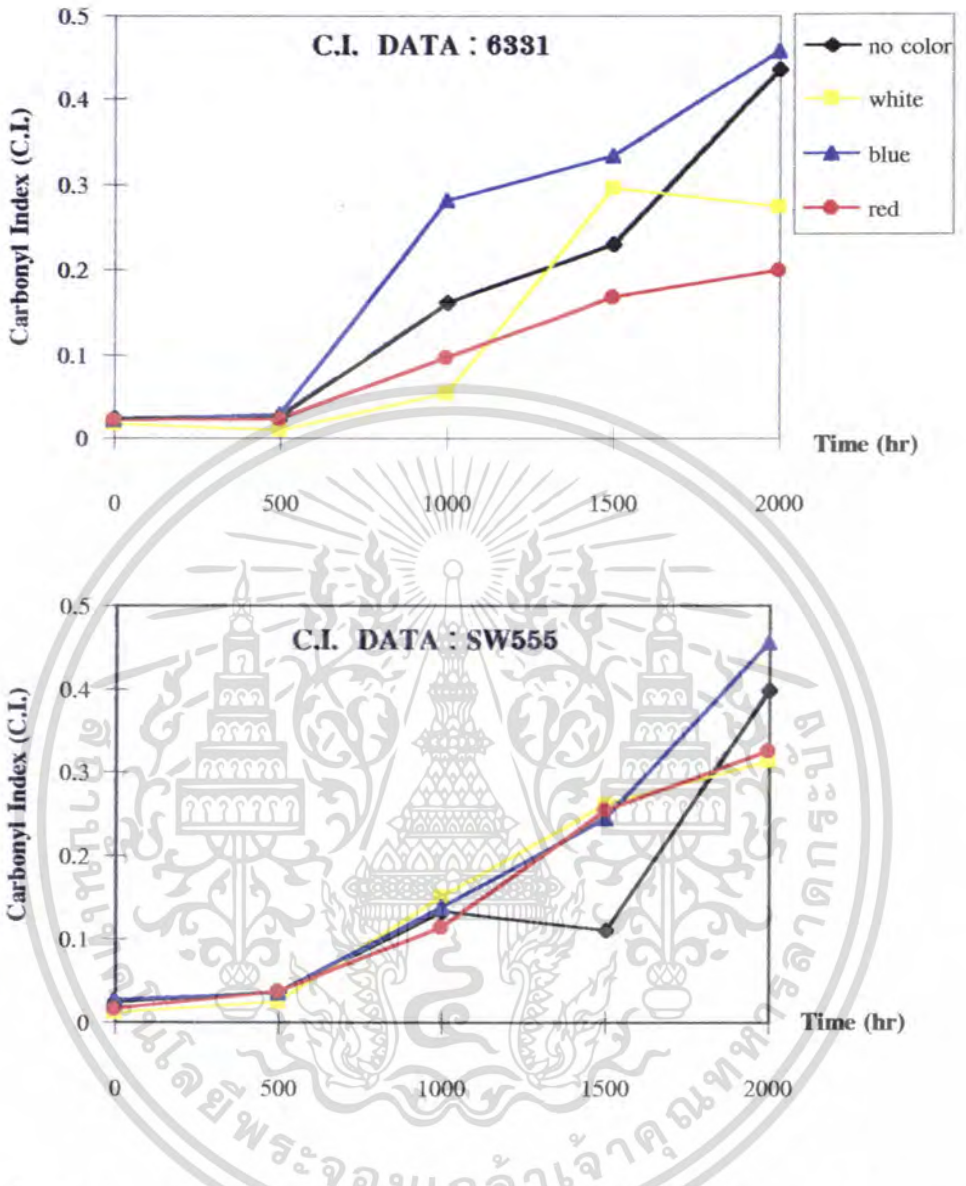
จากการดำเนินงานโครงงานวิจัยศึกษาอิทธิพลของรงค์วัตถุอนินทรีย์ (Inorganic pigment) Titanium dioxide , Cadmium Red และ Ultramarine Blue ต่อกระบวนการย่อยสลายโดยแสงในพรอลิพอพิลีนทั้งชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) และชนิดโคพอลิเมอร์แบบแรนดอมกับเอทธิลีน (SW555) พบการเปลี่ยนแปลงสมบัติของชิ้นงานตัวอย่าง ทั้งทางเคมีและทางกายภาพตามระยะเวลาที่ได้รับการฉายแสงอัลตราไวโอเลต 0 , 500 , 1000 , 1,500 และ 2,000 ชั่วโมง ดังผลการวิจัยดังต่อไปนี้

1. ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

1.1. ผลการวิจัยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl Index : C.I.)

ปริมาณหมู่คาร์บอนิลที่เกิดขึ้นภายหลังการฉายแสงอัลตราไวโอเลตแสดงได้ด้วยค่า Carbonyl index (C.I.) ด้วยเครื่อง FT-IR โดยตำแหน่งการสั่นสะเทือน (Vibration) ของหมู่คาร์บอนิลมีความสัมพันธ์กับค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสง (% Transmittion) ที่เลขคลื่น 1710 cm^{-1} ค่า Carbonyl Index สามารถบ่งบอกถึงปริมาณการย่อยสลายที่เกิดขึ้นในพอลิเมอร์เพราะเป็นตำแหน่งที่ง่ายต่อการแตกของพันธะโดยผ่านกลไกแบบ Norrish type I และ Norrish type II ผลการวิจัยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Carbonyl index และ FT-IR สเปกตรัมได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก และความสัมพันธ์ของปริมาณการเปลี่ยนแปลงของค่า Carbonyl index กับระยะเวลาที่ได้รับการฉายแสงอัลตราไวโอเลตแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Carbonyl index กับช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของตัวอย่างพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) และพอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม (SW555) ที่ผสมรงค์วัตถุสีขาว (Titanium dioxide: —) , สีแดง (Cadmium Red: —) , สีน้ำเงิน (Ultramarine Blue: —) และไม่เติมรงค์วัตถุ (—)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Carbonyl index (C.I.) กับระยะเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV จะเห็นได้ว่าค่า C.I. ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณของหมู่คาร์บอนิลที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงในสภาวะที่มีออกซิเจนนั้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ได้รับการฉายแสงUV โดยในพอริพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า C.I. มากกว่าและเห็นการเปลี่ยนแปลงของค่า C.I. ในระหว่างสีได้ชัดเจนกว่าในพอลิพรอพิลีนชนิดโคพอลิเมอร์แบบสุ่มกับเอทธิลีน (SW555) ซึ่งพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดจะเห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนภายหลังการได้รับการฉายแสง UV ที่ 500 ชั่วโมง ในพอลิพรอพิลีนชนิด 6331 ลำดับอัตราการเพิ่มของค่า C.I. เป็นดังนี้ สีน้ำเงิน > ไม่เติมรงค์วัตถุ >สีขาว >สีแดง แสดงว่าในตัวอย่างสีแดงและสีขาวมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งบ่งบอกถึงอัตราการย่อยสลายต่ำกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่รงค์วัตถุส่วนตัวอย่างสีน้ำเงินให้ผลในทางตรงข้าม ในพอลิพรอพิลีนชนิด SW555 ผลที่ได้สอดคล้องเช่นเดียวกับผลในพอลิพรอพิลีนชนิด 6331 โดยตัวอย่างสีน้ำเงินและที่ไม่เติมรงค์วัตถุอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า C.I. มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยที่ตัวอย่างสีน้ำเงินมีอัตราการเพิ่มที่สูงกว่า ส่วนตัวอย่างสีขาวและตัวอย่างสีแดงมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เติมรงค์วัตถุ นั่นคือตัวอย่างสีน้ำเงินมีความต้านทานต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำและตัวอย่างสีแดงและสีขาวจะมีความทนทานต่อกปฏิกิริยาเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เติมรงค์วัตถุ

จากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการเกิดหมู่คาร์บอนิลของตัวอย่างเมื่อได้รับการฉายแสง UV ชี้ให้เห็นว่าในพอลิพรอพิลีนชนิด 6331 มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าชนิดพอลิพรอพิลีน SW555 แสดงได้จากแนวโน้มของอัตราการเพิ่มของค่า C.I. ในพอลิพรอพิลีนชนิด 6331 สูงกว่าพอลิพรอพิลีนชนิด SW555 เนื่องจาก 6331 เป็นพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์โครงสร้างของสายโซ่โมเลกุลสามารถเกิดอนุมูลอิสระที่เสถียรที่ตำแหน่ง 3° คาร์บอนอะตอม อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจึงค่อนข้างที่จะอยู่กับที่ออกซิเจนสามารถเข้ามาทำปฏิกิริยาเกิดเป็นหมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH) สลายตัวให้หมู่คาร์บอนิล จากนั้นจะเกิดการแตกพันธะแบบ Norrish type I หรือ Norrish type II เมื่อได้รับแสง UV ทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลงส่งผลต่อสมบัติต่างๆซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป ส่วนในพอลิพรอพิลีนชนิด SW555 เป็นโคพอลิเมอร์ที่มีเอทธิลีนปนอยู่แบบสุ่ม ส่วนของเอทธิลีนนี้จะถูกขับออกมาอยู่ในบริเวณอมอร์ฟัส หรือที่บริเวณผิวของชั้นลาเมลลา (lamella) เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลมีเอทธิลีนอยู่ในโครงสร้าง อนุมูลอิสระของเอทธิลีนที่เกิดขึ้นจะว่องไวและไม่อยู่นิ่งอาจเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงสายโซ่หรือถ่ายโอนสายโซ่ขึ้นในโมเลกุลมีผลให้อนุมูลอิสระของระบบลดน้อยลงปฏิกิริยาออกซิเดชันลดน้อยลงทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณหมู่คาร์บอนิลต่ำกว่าในพอลิพรอพิลีนชนิด 6331

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเปรียบเทียบอิทธิพลของชนิดรงค์วัตถุตัวอย่างในพอลิพรอพิลีนทั้ง 2 ชนิดให้ผลสอดคล้องกันคืออัตราการเพิ่มขึ้นของค่า C.I. ในตัวอย่างสีน้ำเงิน > ไม่เติมรงค์วัตถุ > สีขาว > สีแดง นั่นคือ Cadmium Red ซึ่งเป็นรงค์วัตถุในตัวอย่างสีแดงมีสมบัติหน่วงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงได้ดีที่สุด รองลงมาคือ Titanium dioxide ซึ่งเป็นรงค์วัตถุในตัวอย่างสีขาว ในพอลิพรอพิลีนทั้ง 2 ชนิด พบว่า Ultramarine Blue จะเป็นรงค์วัตถุที่ช่วยกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง แสดงได้จากการมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า C.I. มากกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมรงค์วัตถุ

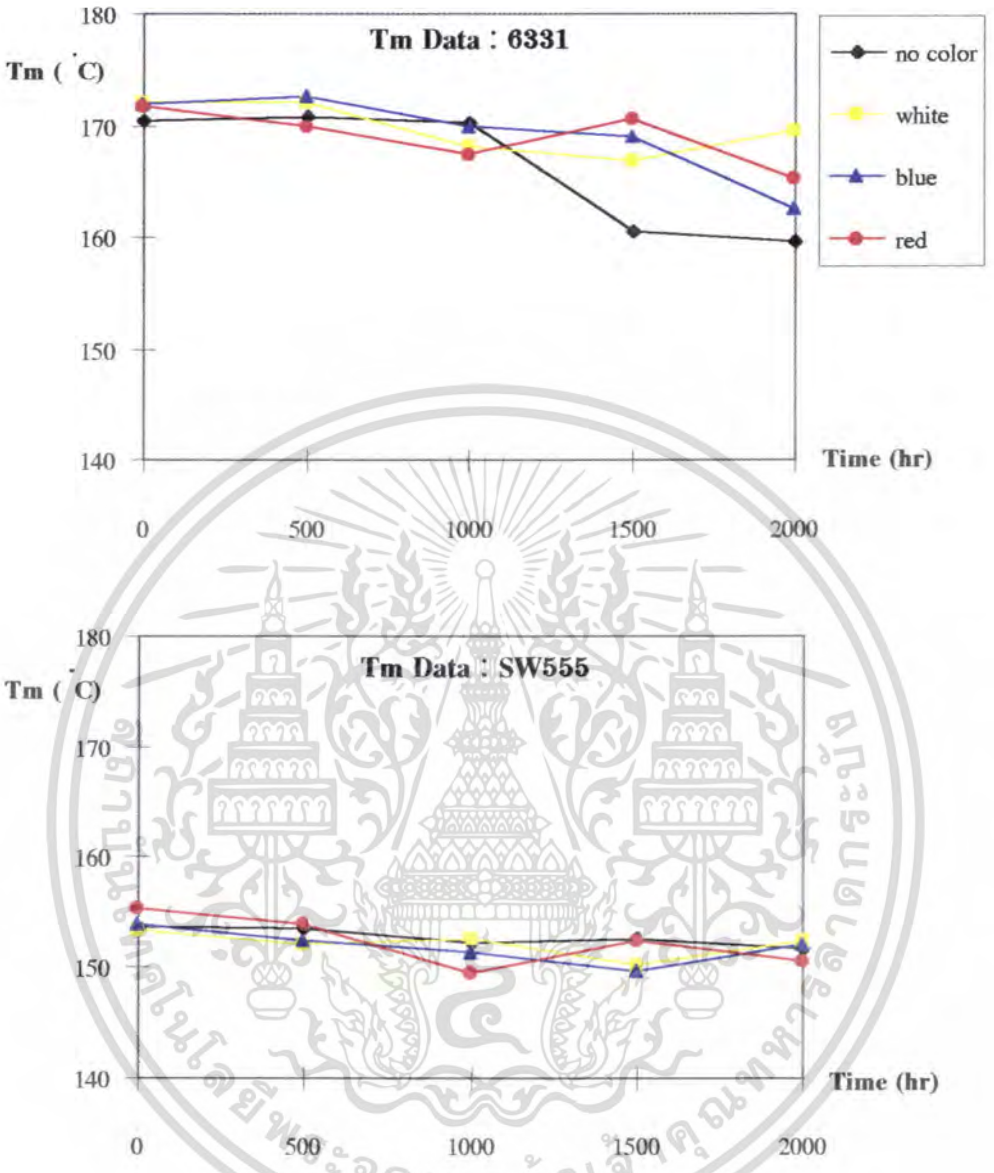
2. ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

2.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางความร้อน

2.1.1 <u>การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอมตัวของผลึก (Tm)</u>

อุณหภูมิหลอมตัวของผลึกสามารถบ่งบอกถึงขนาดความหนาของชั้นผลึกลาเมลลา (lamella) โดยจะแปรผันตามความหนาของชั้นลาเมลลา การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอมตัวของผลึก (Tm) ของตัวอย่างที่ได้รับการฉายแสง UV ทุกๆ 500 ชั่วโมงจะสามารถช่วยในการทำนายถึงบริเวณและปริมาณของการขาดของสายโซ่ โดยผลการวิจัยและเทอร์โมแกรมได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข โดยความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิหลอมตัวของผลึก (Tm) กับเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV แสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิหลอมตัวของผลึก (Tm) กับช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของตัวอย่างพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) และพอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม (SW555) ที่ผสมรงค์วัตถุสีขาว (Titanium dioxide: —) , สีแดง (Cadmium Red: —) , สีน้ำเงิน (Ultramarine Blue: —) และไม่เติมรงค์วัตถุ (—)

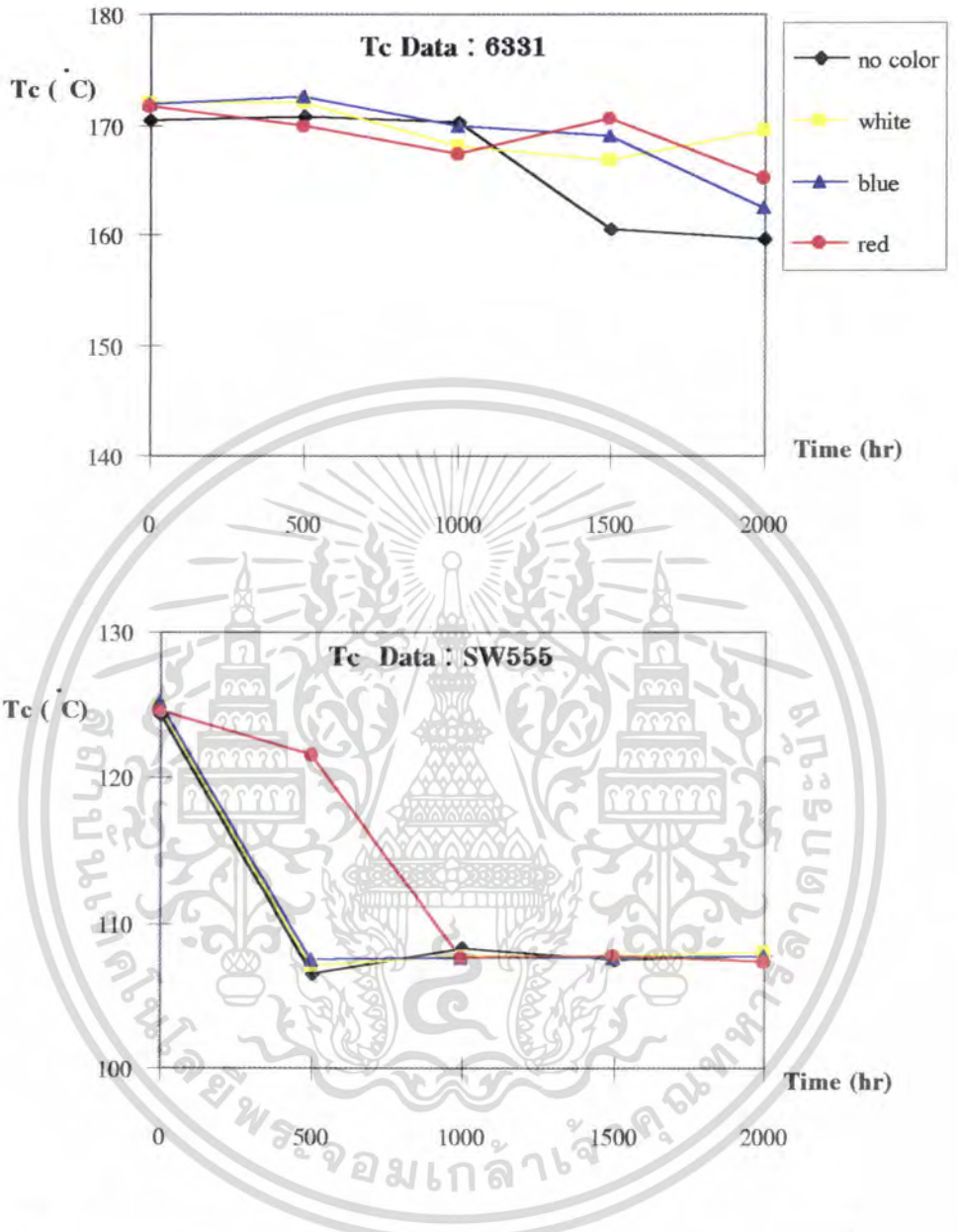
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิหลอมตัวของผลึกกับระยะเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV พบว่าก่อนการฉายแสง UV อุณหภูมิหลอมตัวของผลึกของพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) ในทุกตัวอย่างมีค่าสูงกว่าชนิดพอลิพรอพิลีนชนิดโคพอลิเมอร์แบบสุ่มกับเอทธิลีน (SW555) เนื่องจากพอลิพรอพิลีนชนิด SW555 มีเอทธิลีนปะปนอยู่ในสายโซ่โมเลกุลจะขัดขวางการตกผลึกทำให้ความหนาของชั้นผลึกลาเมลลา (lamella) ลดลง อุณหภูมิหลอมตัวของผลึกจึงมีค่าต่ำกว่าพอลิพรอพิลีนชนิด 6331 อุณหภูมิหลอมตัวของผลึกในพอลิพรอพิลีนทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มลดลงตามเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV เนื่องจากเกิดการแตกพันธะของสายโซ่โมเลกุลที่บริเวณผิวของชั้นผลึกซึ่งอยู่ในชั้นอมอร์ฟัส เมื่อเกิดอนุมูลอิสระออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ โดยในพอลิพรอพิลีนชนิด 6331 อัตราการการลดลงของอุณหภูมิหลอมตัวของผลึกและความแตกต่างของอัตราการลดลงของอุณหภูมิหลอมตัวของผลึกในแต่ละตัวอย่างเห็นชัดเจนกว่าในพอลิพรอพิลีนชนิด SW555 เนื่องจากอิทธิพลของการมีเอทธิลีนในสายโซ่โมเลกุลนั่นเอง พบว่าตัวอย่างสีน้ำเงินและตัวอย่างที่ไม่เติมรงค์วัตถุมีอัตราการลดลงของอุณหภูมิหลอมตัวของผลึกมากกว่าตัวอย่างสีแดงและสีขาว แสดงให้เห็นว่ารงค์วัตถุ Cadmium Red และ Titanium dioxide หน่วงการลดลงของอุณหภูมิหลอมตัวของผลึกซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณการขาดของสายโซ่โมเลกุล ส่วนรงค์วัตถุ Ultramarine Blue ให้ผลในทางตรงข้ามคือช่วยกระตุ้นการขาดของสายโซ่โมเลกุล

2.1.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของการตกผลึก (Tc)

อุณหภูมิของการตกผลึก (Tc) เป็นสมบัติหนึ่งของพอลิเมอร์ ที่แสดงถึงความยากง่ายในการตกผลึกซึ่งอาจแตกต่างกันไปตามชนิดและความยาวของสายโซ่โมเลกุล ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของการตกผลึกในตัวอย่างที่ได้รับการฉายแสง UV ทุกๆ 500 ชั่วโมง และเทอร์โมแกรมจากเครื่องทดสอบทางความร้อน (DSC) ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข และความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของการตกผลึก (Tc) กับระยะเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ได้แสดงไว้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของการตกผลึกกับช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของตัวอย่างพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) และพอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม (SW555) ที่ผสมรงค์วัตถุสีขาว (Titanium dioxide: —) , สีแดง (Cadmium Red: —) , สีน้ำเงิน (Ultramarine Blue: —) และไม่เติมรงค์วัตถุ (—)

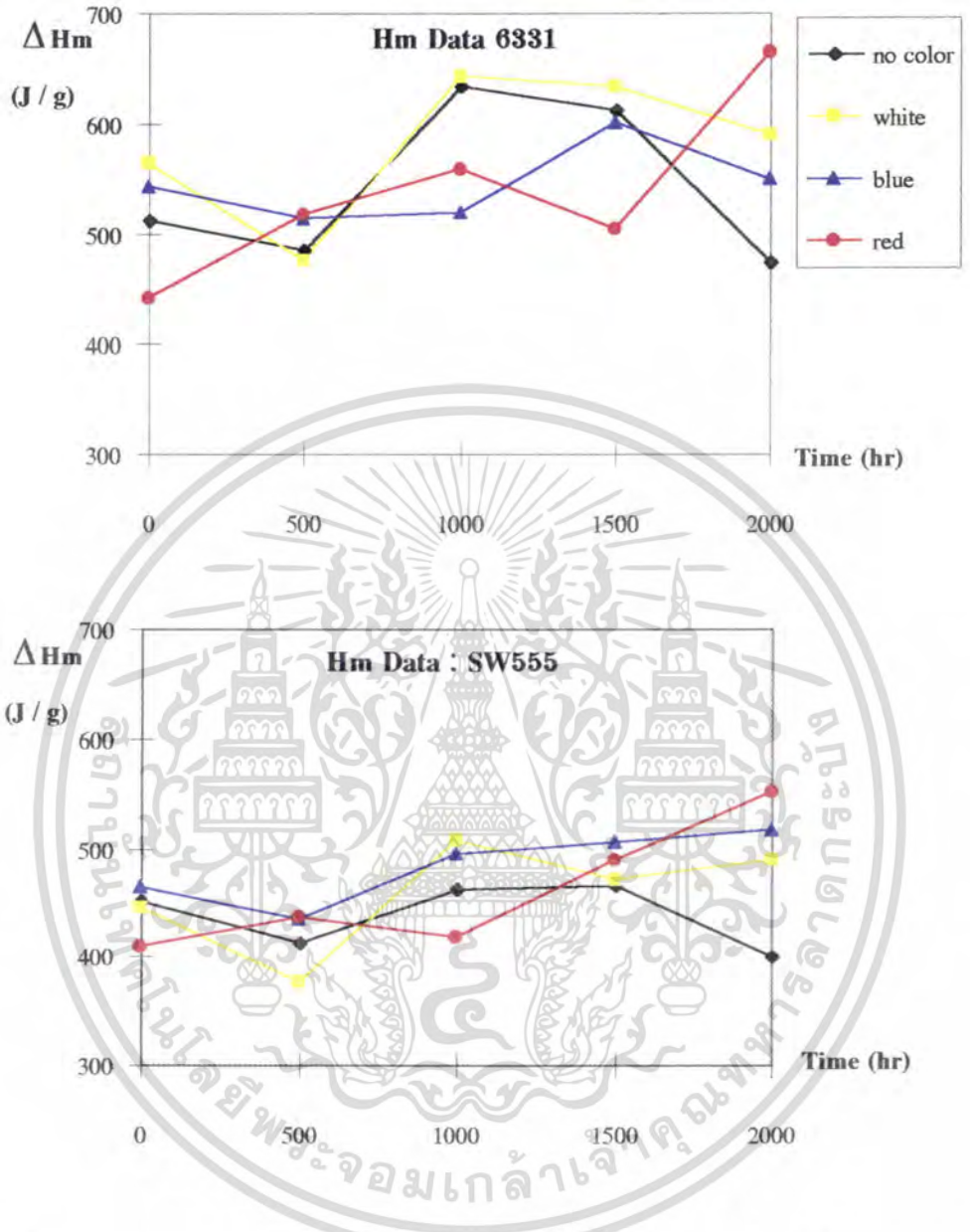
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของการตกผลึก (Tc) กับระยะเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV พบว่าในพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอมตัวของผลึกน้อยมากและอัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างตัวอย่างก็ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากในการตกผลึกพอลิพรอพิลีนชนิด 6331 ซึ่งในโครงสร้างมีเฉพาะโมเลกุลของพรอพิลีน การขัดขวางการตกผลึกจะเกิดจากสายโซ่โมเลกุลเล็กๆที่เกิดจากการขาดของสายโซ่เท่านั้น ทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของการตกผลึกแทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนในพอลิพรอพิลีนชนิดโคพอลีเมอร์แบบสุ่มกับเอทธิลีน (SW555) ซึ่งมีส่วนประกอบของเอทธิลีนอยู่ในโครงสร้าง พบว่าอุณหภูมิหลอมตัวของผลึกเกิดการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 500 ชั่วโมงแรกของการได้รับการฉายแสง UV เมื่อเทียบผลของปริมาณการเกิดหมู่คาร์บอนิลพบว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างเห็นได้ชัดภายหลังการได้รับฉายแสง UV เป็นเวลา 500 ชั่วโมง ซึ่งจะสัมพันธ์กับการขาดของสายโซ่โมเลกุล การมีเอทธิลีนในโครงสร้างจะไปขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในการเกิดผลึกทำให้ตกผลึกได้ช้าลงหรือตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำลง การเปลี่ยนแปลงในแต่ละตัวอย่างจะคล้ายคลึงกันยกเว้นตัวอย่างสีแดงที่ 500 ชั่งโมงจะลดลงเพียงเล็กน้อยและจะลดลงอย่างรวดเร็วช่วง 500-1,000 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่ารงค์วัตถุ Cadmium Red จะช่วยในการหน่วงการขาดของสายโซ่โมเลกุลได้ดีที่ 500 ชั่วโมง ที่ช่วงเวลานี้สายโซ่โมเลกุลยังมีความยาวเพียงพอในการจัดเรียงตัวเกิดเป็นผลึกโดยจะมีอิทธิพลจากการขัดขวางการตกผลึกจากเอทธิลีนน้อยกว่าการจัดเรียงตัวของสายโซ่

2.1.3 <u>การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ใช้ในการหลอมตัวของผลึก(ΔHm)</u>

ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการหลอมตัวของผลึก (ΔHm) แสดงถึงปริมาณผลึกที่มีอยู่ในพอลิเมอร์ ในโครงงานวิจัยนี้ใช้ในการทำนายพฤติกรรมของการขาดของสายโซ่โมเลกุลที่ส่งผลต่อปริมาณผลึกที่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาต่างๆในการได้รับการฉายแสง UV โดยผลการวิจัยและเทอร์โมแกรมได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ในการหลอมตัวของผลึกกับระยะเวลาที่ตัวอย่างได้รับการฉายแสง UV แสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึก (ΔHm) กับช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของตัวอย่างพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) และพอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม (SW555) ที่ผสมรงค์วัตถุสีขาว (Titanium dioxide: —) , สีแดง (Cadmium Red: —) , สีน้ำเงิน (Ultramarine Blue: —) และไม่เติมรงค์วัตถุ (—)

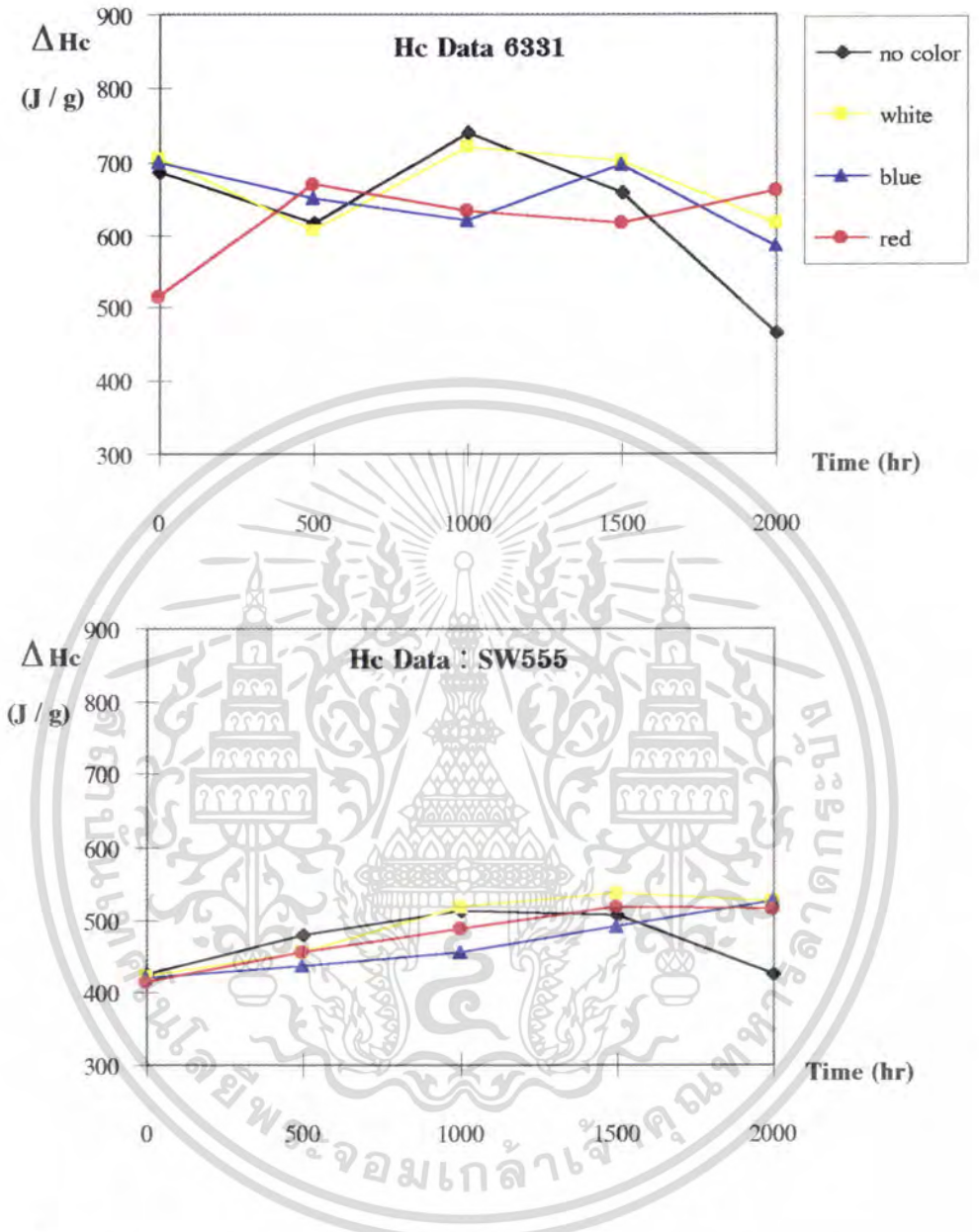
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึก (ΔHm) กับเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกกับระยะเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ในพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) มีลักษณะคล้ายกันกับพอลิพรอพิลีนชนิดโคพอลิเมอรีแบบสุ่มกับเอทธิลีน (SW555) แต่ในพอลิพรอพิลีนชนิด 6331 จะมีปริมาณพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกสูงกว่า เนื่องจากไม่มีเอทธิลีนคอยขัดขวางการตกผลึก ทำให้ในพอลิพรอพิลีนชนิด 6331 มีปริมาณผลึกสูงกว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึก (ยกเว้นตัวอย่างสีแดง) จะมีค่าลดลงในช่วง 500 ชั่วโมงแรกและมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 500-1500 ชั่วโมงหลังจากนั้นกลับมีค่าลดลง สามารถอธิบายได้ว่าในช่วง 500 ชั่วโมงแรกจะเกิดการขาดของสายโซ่โมเลกุลที่บริเวณผิวของผลึก และไทล์โมเลกุล (tie molecule) ทำให้ปริมาณผลึกลดลง ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกจึงลดลง ในช่วง 500-1500 ชั่วโมงสายโซ่โมเลกุลที่บริเวณผิวของผลึกและไทล์โมเลกุล (tie molecules) ที่ถูกตัดขาดสามารถขดตัวเกิดเป็นผลึก ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกจึงเพิ่มสูงขึ้น หลังจากนั้นสายโซ่โมเลกุลถูกตัดสั้นเกินกว่าที่จะขดกันเป็นผลึกอีกปริมาณพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกจึงลดต่ำลงอีกครั้ง ตัวอย่างที่มีพฤติกรรมดังกล่าว (ยกเว้นตัวอย่างสีแดง) พบว่าตัวอย่างสีขาวมีความสามารถในการหน่วงการขาดของสายโซ่โมเลกุลที่เป็นเหตุให้ปริมาณผลึกลดลงมากกว่าตัวอย่างสีน้ำเงินและไม่เติมรงค์วัตถุตามลำดับ ส่วนในตัวอย่างสีแดงมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกต่างจากตัวอย่างสีอื่นๆ คือแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและจะลดลงที่ 2,000 ชั่วโมงจะมีค่าเพิ่มขึ้นนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูง แสดงว่าในตัวอย่างทั้งหมดตัวอย่างสีแดงนอกจากจะมีความสามารถดีที่สุดของตัวอย่างทั้งหมดในการหน่วงการขาดของสายโซ่โมเลกุลที่เป็นเหตุให้ปริมาณผลึกสูงสุด

2.1.4 <u>การศึกษาพลังงานที่คายออกมาในระหว่างการตกผลึก (ΔHc)</u>

พลังงานที่คายออกมาในระหว่างการตกผลึกจะแสดงถึงปริมาณผลึกที่เกิดขึ้นหลังจากการหลอมเหลวใหม่ ผลการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่คายออกมาในระหว่างการตกผลึก เมื่อตัวอย่างได้รับการฉายแสง UV และเทอร์โมแกรมได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่คายออกมาในระหว่างการตกผลึกกับเวลาที่ได้รับการฉายแสงUV แสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่คายออกมาในระหว่างการตกผลึก (ΔHc) กับช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของตัวอย่างพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) และพอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม (SW555) ที่ผสมรงค์วัตถุสีขาว (Titanium dioxide: —) , สีแดง (Cadmium Red: —) , สีน้ำเงิน (Ultramarine Blue: —) และไม่เติมรงค์วัตถุ (—)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

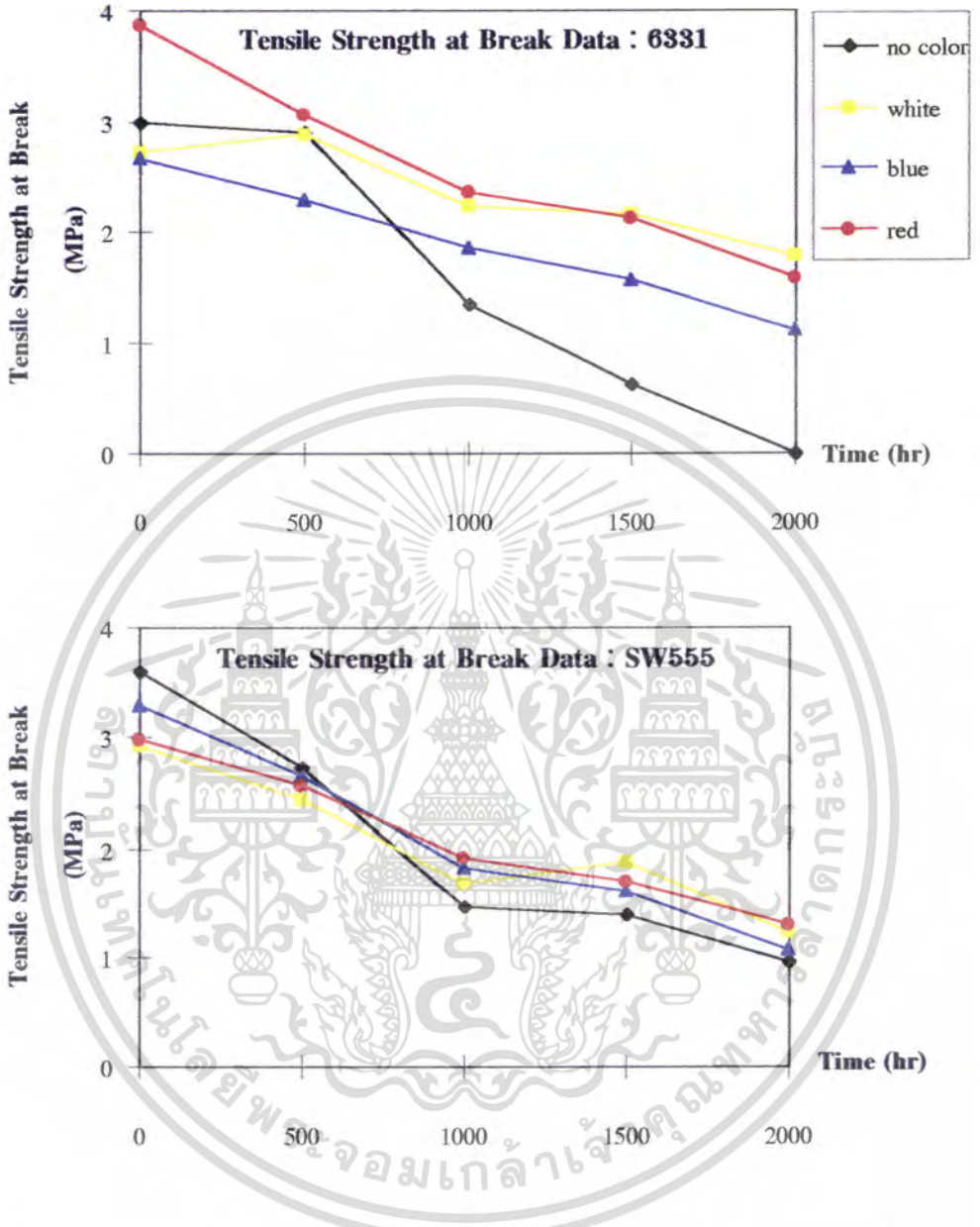
จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่คายออกมาระหว่างการตกผลึกกับเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV พบว่าในพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) มีลักษณะของกราฟคล้ายกับกราฟความสัมพันธ์ของพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึก (ΔHm) ในพอลิพรอพิลีนชนิด 6331 เนื่องจากปริมาณของผลึกที่เกิดขึ้นในเครื่องทดสอบทางความร้อนซึ่งไม่มีผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม ดังนั้นปริมาณของผลึกที่เกิดขึ้นในเครื่องทดสอบทางความร้อน จึงมีแนวโน้มคล้ายกับผลในพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึก (ΔHm) แต่จะมีปริมาณที่มากกว่า ส่วนในพอลิพรอพิลีนชนิดโคพอลิเมอร์แบบสุ่มกับเอทธิลีน (SW555) จากกราฟพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงไม่คล้ายกับกราฟความสัมพันธ์ของพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึก (ΔHm) ในพอลิพรอพิลีนชนิด SW555 ทั้งนี้เนื่องจากมีส่วนของเอทธิลีนคอยขัดขวางการตกผลึก

2.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกล

2.2.1การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแรงดึงที่จุดขาด (Tensile Strength at Break)

ค่าความแข็งแรงดึงที่จุดขาดแสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุที่สามารถทนทานต่อการได้รับแรงก่อนที่จะเกิดการแตกหัก จากงานวิจัยที่ได้ทำการทดสอบสมบัติภายหลังการได้รับรังสี UV ผลการวิจัยได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค และความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงที่จุดขาดเทียบกับระยะเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV แสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงที่จุดขาดกับช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของตัวอย่างพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) และพอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม (SW555) ที่ผสมรงค์วัตถุสีขาว (Titanium dioxide: —) , สีแดง (Cadmium Red: —) , สีน้ำเงิน (Ultramarine Blue: —) และไม่เติมรงค์วัตถุ (—)

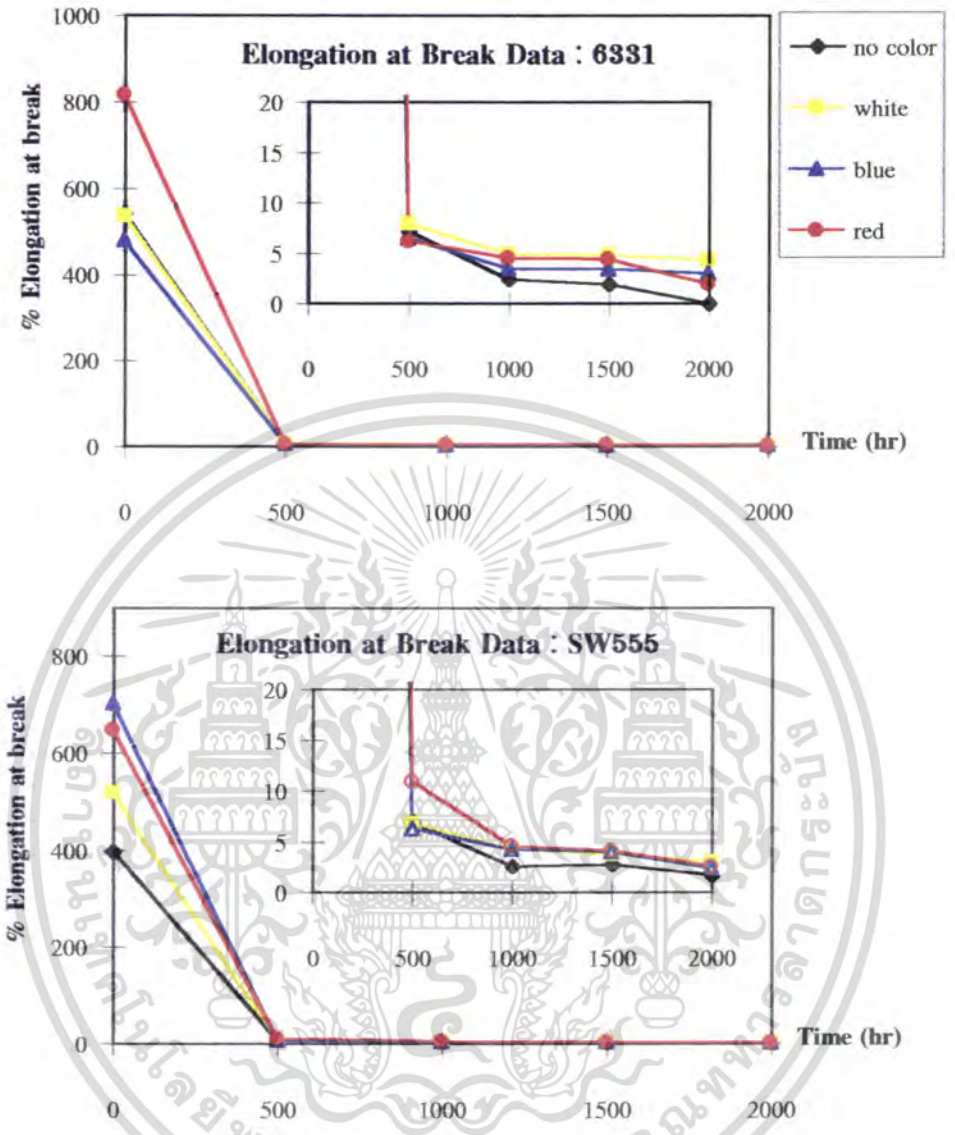
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความสัมพันธ์พบว่าทั้งในพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) และพอลิพรอพิลีนชนิดโคพอลิเมอร์แบบสุ่มกับเอทธิลีน (SW555) ค่าความแข็งแรงดึงที่จุดขาดมีอัตราการเปลี่ยนแปลงลดลงตามเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV เมื่อพิจารณาควบคู่กับค่า Carbonyl index เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลงมีผลต่อการลดลงของค่าความแข็งแรงดึง โดยในพอลิพรอพิลีนชนิด 6331 การเปลี่ยนแปลงของอัตราการลดลงของค่าความแข็งแรงดึงในระหว่างตัวอย่างสีเห็นได้ชัดเจนกว่าในพอลิพรอพิลีนชนิด SW555 ในพอลิพรอพิลีนชนิด 6331 ไม่มีส่วนของเอทธิลีนที่จะทำให้อนุมูลอิสระเกิดการเชื่อมโยงหรือเกิดการถ่ายโอนสายโซ่โมเลกุลซึ่งเป็นการกำจัดอนุมูลอิสระไม่ให้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน จึงทำให้อนุมูลอิสระที่เกิดจากการกระตุ้นของแสง UV และโลหะที่เป็นส่วนประกอบในรงค์วัตถุนั้นมีความเสถียรของอนุมูลอิสระพอที่จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่โมเลกุลส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแรงดึงเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน

2.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด (%Elongation at Break)

ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาดเป็นสมบัติเชิงกลที่แสดงถึงความสามารถในการยืดก่อนที่จะเกิดการขาดอย่างถาวร ความยาวของสายโซ่โมเลกุลเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการบ่งบอกสมบัติดังกล่าว ผลการวิจัยได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาดกับช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV แสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



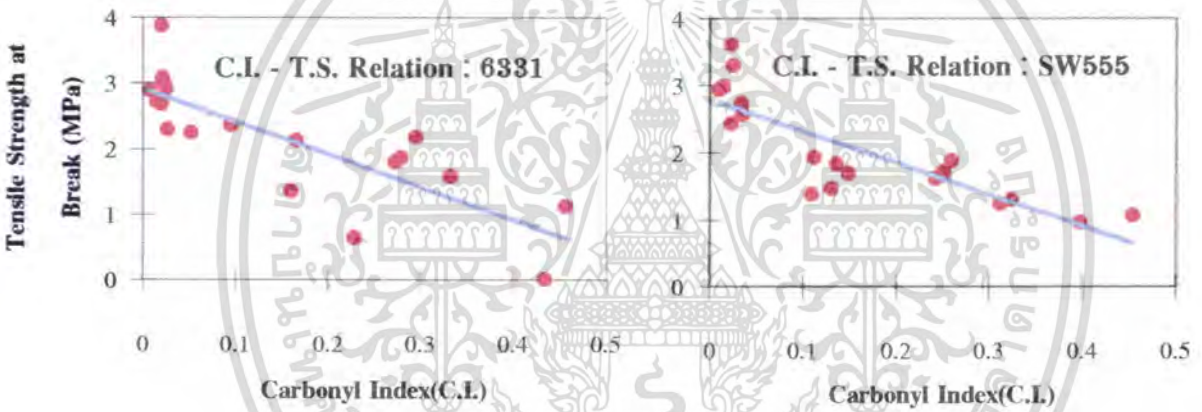
ภาพที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาดกับช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของตัวอย่างพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) และพอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม (SW555) ที่ผสมรงค์วัตถุสีขาว (Titanium dioxide: —) , สีแดง (Cadmium Red: —) , สีน้ำเงิน (Ultramarine Blue: —) และไม่เติมรงค์วัตถุ (—)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาดกับเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV พบว่าในพอลิพรอพิลีนทั้ง 2 ชนิดมีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังจากได้รับการฉายแสง UV เป็นเวลา 500 ชั่วโมง แสดงว่าเกิดการขาดของสายโซ่โมเลกุลที่ช่วงเวลาดังกล่าวซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลการเกิดหมู่คาร์บอนิลซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงเวลาเดียวกัน ในผลการเปลี่ยนแปลงระหว่างตัวอย่างสีเห็นผลได้ไม่ชัดเจน แต่เมื่อดูการเปลี่ยนแปลงในช่วง 20 เปอร์เซ็นต์ของการยืดพบว่าตัวอย่างสีแดงและสีขาวมีการลดลงต่ำกว่าในตัวอย่างสีน้ำเงินและไม่เติมรงค์วัตถุโดยตัวอย่างสีแดงซึ่งมีรงค์วัตถุ Cadmium Red ในส่วนผสมมีประสิทธิภาพในการหน่วงการลดลงของค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด นั่นคือมีสมบัติเชิงกลที่ดีนั่นเอง

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลกับปริมาณหมู่คาร์บอนิล

จากการศึกษาค่าความแข็งแรงดึงที่จุดขาดและค่า Carbonyl index ที่มีการเปลี่ยนแปลงต่อระยะเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV สามารถแสดงความสัมพันธ์ของสมบัติทั้ง 2 ได้ดังนี้



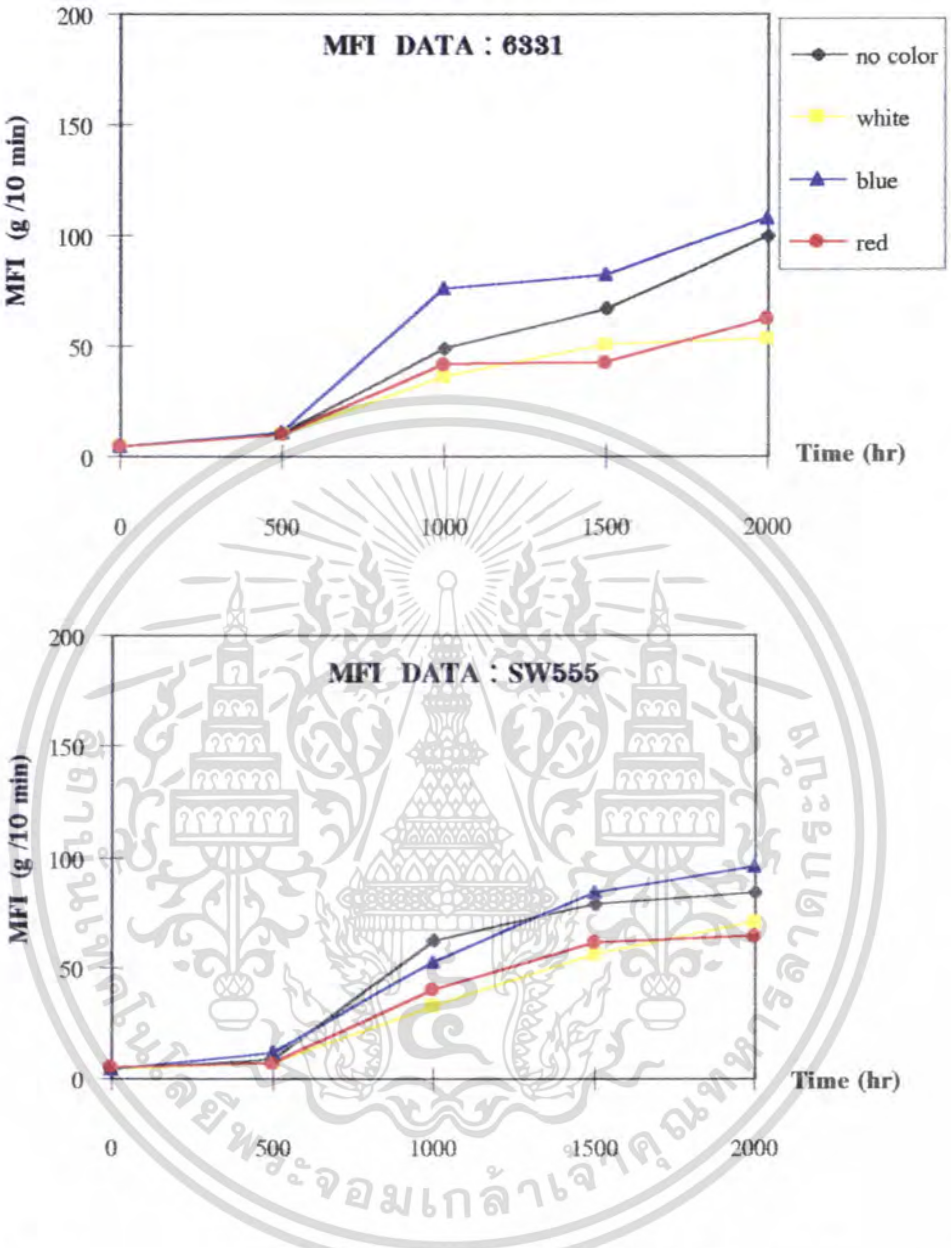
ภาพที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Carbonyl index กับค่าความแข็งแรงดึง

จากกราฟความสัมพันธ์พบว่าสมบัติทั้ง 2 มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงแบบผกผัน โดยในพอลิพรอพิลีนทั้งชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) และโคพอลิเมอร์แบบสุ่มกับเอทธิลีน (SW555) เมื่อค่า Carbonyl index เพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงดึงจะมีแนวโน้มลดต่ำลง แสดงให้เห็นว่าปริมาณหมู่คาร์บอนิลที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ลดต่ำลง

2.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า Melt Flow Index (MFI)

ค่า MFI สามารถแสดงถึงความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเหลวซึ่งเป็นผลมาจากชนิดของพอลิเมอร์และความยาวของสายโซ่โมเลกุล ในโครงงานวิจัยใช้ในการบ่งบอกปริมาณของการขาดของสายโซ่โมเลกุล ผลการวิจัยได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง และความสัมพันธ์ระหว่างค่า MFI กับระยะเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV สามารถแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Melt Flow Index (MFI) กับช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของตัวอย่างพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) และพอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม (SW555) ที่ผสมรงค์วัตถุสีขาว (Titanium dioxide: —) , สีแดง (Cadmium Red: —) , สีน้ำเงิน (Ultramarine Blue: —) และไม่เติมรงค์วัตถุ (—)

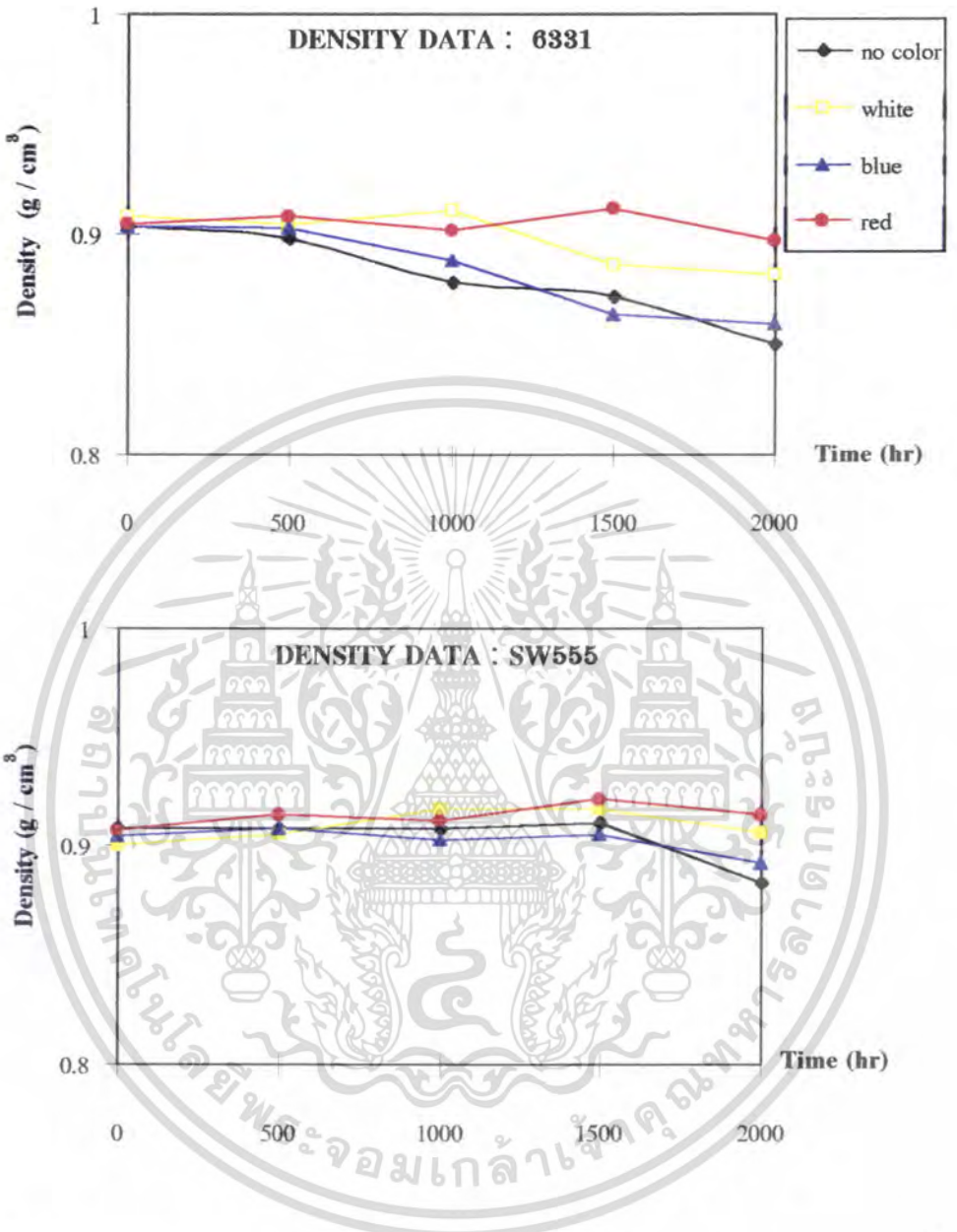
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความสัมพันธ์พบว่าค่า MFI เพิ่มขึ้นตามเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ทั้งในพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) และชนิดโคพอลิเมอร์แบบสุ่มกับเอธิลีน (SW555) โดยมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนหลังการได้รับการฉายแสง UV 500 ชั่วโมง แสดงถึงความหนืดจะมีค่าลดลงตามช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งบ่งบอกถึงความยาวของสายโซ่โมเลกุลเริ่มมีการขาดสั้นลงภายหลังการได้รับการฉายแสง UV เป็นเวลา 500 ชั่วโมง ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลของการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า Carbonyl index และ ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด เมื่อเปรียบเทียบผลอัตราการเปลี่ยนแปลงในพอลิพรอพิลีนทั้ง 2 ชนิด พบว่าตัวอย่างสีน้ำเงินมีอัตราการเพิ่มค่า MFI สูงที่สุดและสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติมรงค์วัตถุ ส่วนตัวอย่างสีขาวและสีแดงมีอัตราการเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันและต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติมรงค์วัตถุ จากผลที่ได้สนับสนุนผลที่แสดงว่ารงค์วัตถุ Cadmium Red และ Titanium dioxide ช่วยหน่วงกระบวนการย่อยสลายโดยแสง ส่วนรงค์วัตถุ Ultramarine Blue ให้ผลในทางตรงกันข้ามคือช่วยกระตุ้นกระบวนการย่อยสลายโดยแสง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลงเป็นเหตุของการลดลงของความหนืดขณะหลอมเหลว

2.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่น

ผลการวิจัยของการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่นเมื่อตัวอย่างได้รับการฉายแสง UV ได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ และความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับเวลาที่ได้รับการฉายแสงUV แสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่น (Density) กับช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ของตัวอย่างพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) และพอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม (SW555) ที่ผสมรงค์วัตถุสีขาว (Titanium dioxide: —) , สีแดง (Cadmium Red: —) , สีน้ำเงิน (Ultramarine Blue: —) และไม่เติมรงค์วัตถุ (—)

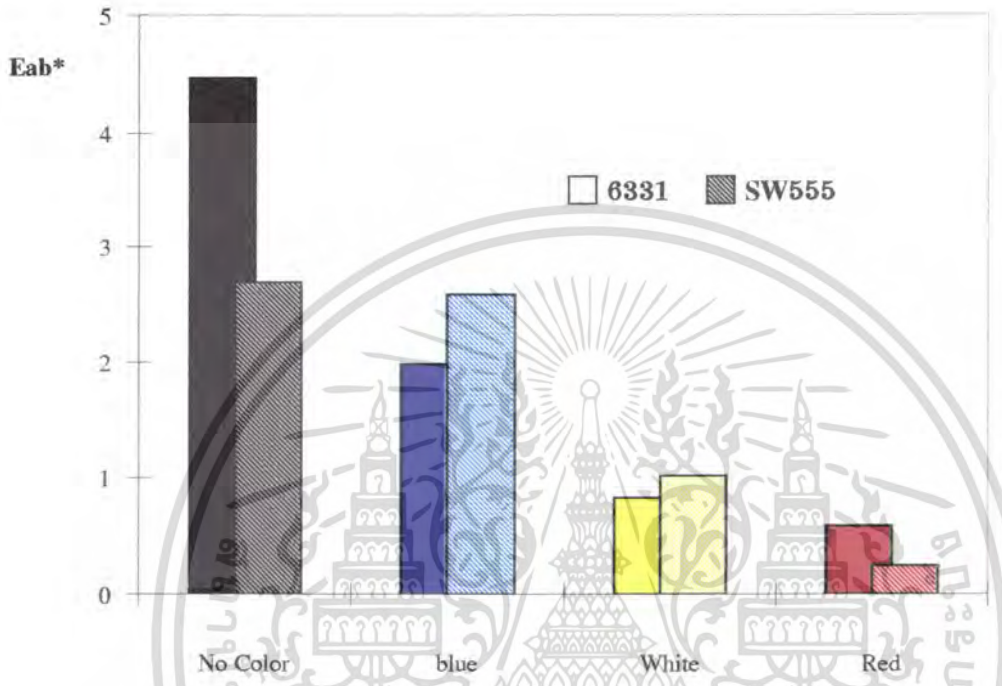
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความสัมพันธ์พบว่าค่าความหนาแน่นมีการเปลี่ยนแปลงลดลงตามเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV ทั้งในพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) และชนิดโคพอลิเมอร์แบบสุ่มกับเอทธิลีน (SW555) เนื่องจากระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงมีผลให้สายโซ่โมเลกุลเกิดการตัดขาดลง ส่งผลให้เกิดโมเลกุลเล็ก ๆ ซึ่งสามารถระเหยออกไปได้ทำให้ความหนาแน่นลดลง โดยในพอลิพรอพิลีนชนิด 6331 มีอัตราการลดลงมากกว่าในพอลิพรอพิลีนชนิด SW555 แสดงให้เห็นว่าในพอลิพรอพิลีนชนิด 6331 สามารถเกิดการย่อยสลายได้ดีกว่าซึ่งสนับสนุนผลการทดลองที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ อันเนื่องจากผลของเอทธิลีนในพอลิพรอพิลีนชนิด SW555 นั่นเอง การแสดงผลของชนิดของรงค์วัตถุอการลดลงค่าความหนาแน่น พบว่าในตัวอย่างสีแดงซึ่งผสมรงค์วัตถุ Cadmium Red ให้อัตราการลดลงต่ำที่สุด รองลงมาคือ ตัวอย่างสีขาวซึ่งผสมรงค์วัตถุ Titanium dioxide จะช่วยหน่วงการขาดของสายโซ่โมเลกุลซึ่งเป็นสาเหตุของการลดลงของค่าความหนาแน่น ส่วนตัวอย่างสีน้ำเงินซึ่งผสมรงค์วัตถุ Ultramarine Blue ให้ผลในทางตรงกันข้าม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การศึกษาความซีดจางของสี

จากผลการวิจัยตัวอย่างที่ได้รับการฉายแสง UV จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปของสีแปรผันตามระยะเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV โดยทำการศึกษาด้วยเครื่องวัดค่าของสีทั้งก่อนและหลังการได้รับการเร่งสภาพ ผลการทดลองได้แสดงผลการวิจัยในภาคผนวก ฉ และสามารถแสดงในรูปกราฟได้ดังนี้



ภาพที่ 4.11 แสดงค่าการซีดจางของสีภายหลังการทดสอบด้วยเครื่องเร่งสภาพในตัวอย่างพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) และพอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม (SW555) ที่ผสมรงค์วัตถุสีขาว (Titanium dioxide: —) , สีแดง (Cadmium Red: —) , สีน้ำเงิน (Ultramarine Blue: —) และไม่เติมรงค์วัตถุ (—)

จากกราฟพบว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติมรงค์วัตถุมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่สีซีดจางมากที่สุดรองลงมาคือตัวอย่างสีน้ำเงิน , สีขาวและสีแดง ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุของการทำให้เกิดการซีดจางลงของสีอาจเกิดจากธรรมชาติของตัวสีเอง , สารเติมแต่งที่มีอยู่ในพอลิเมอร์และตัวของพอลิเมอร์เองก็อาจเป็นสาเหตุหนึ่ง จากผลแสดงให้เห็นว่ารงค์วัตถุ Cadmium Red มีความทนทานต่อการซีดจางของสีดีที่สุด รองลงมาคือ Titanium dioxide และ Ultramarine Blue ตามลำดับ ที่น่าสังเกตคือการซีดจางของสีแปรผันตามความสามารถในการย่อยสลาย ตัวอย่างที่มีอัตราการย่อยสลายต่ำในที่นี้คือตัวอย่างสีแดง (ชี้จากผลการวิจัยที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้) จะมีการซีดจางลงของสีต่ำที่สุด ดังที่ได้แสดงผลในกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปผลึกสเฟียร์รูไลท์

จากการศึกษาด้วยกล้องโพลาไรท์ไมโครสโคป (Polarized microscope) โดยการบันทึกภาพรูปผลึกที่ 0 , 2 และ 4 นาทีหลังจากเริ่มเห็นผลึกดังแสดงที่ภาคผนวก ช จากภาพพบว่ารูปผลึกสเฟียร์รูไลท์ก่อนการฉายแสง UV ในพอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) มีรูปผลึกใหญ่และเห็นรูปผลึกได้ชัดเจนกว่าในชนิดโคพอลิเมอร์แบบสุ่มกับเอทธิลีน (SW555) ที่มีรูปผลึกเล็กมาก เนื่องจากมีส่วนของเอทธิลีนปะปนอยู่ ส่วนของเอทธิลีนนี้จะขัดขวางการตกผลึกแต่หลังจากได้รับการฉายแสง 1,000 ชั่วโมงพอลิพรอพิลีนชนิด SW555 กลับมีรูปผลึกใหญ่ขึ้นมากและใหญ่กว่าพอลิพรอพิลีนชนิด 6331 อาจเนื่องมาจาผลของการมีเอทธิลีนปะปนอยู่ทำให้มีการย่อยสลายต่ำกว่าจึงมีสายโซ่โมเลกุลที่เหมาะสมในการเกิดผลึก โดยจะผลักเอทธิลีนออกมาอยู่ในส่วนของอมอร์ฟัส หลังจาก 2,000 ชั่วโมงรูปผลึกทั้ง 2 ชนิดมีขนาดเล็กลงเนื่องจากพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดเกิดการขาดของสายโซ่สั้นเกินความเหมาะสมที่จะเกิดเป็นผลึก โดยพอลิพรอพิลีนชนิด SW555 มีการเปลี่ยนแปลงของขนาดผลึกน้อยกว่าพอลิพรอพิลีนชนิด 6331 เนื่องจากมีอัตราการขาดของสายโซ่โมเลกุลต่ำกว่า ส่วนความแตกต่างในระหว่างตัวอย่างสีรูปผลึกเห็นการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจนแสดงถึงรงค์วัตถุไม่ส่งผลต่อขนาดผลึกสเฟียร์รูไลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การเกิดกระบวนการย่อยสลายโดยแสง (Photooxidation) บนพอลิเมอร์จะส่งผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ทั้งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งเป็นเหตุให้พอลิเมอร์เกิดการเสื่อมสภาพ โดยปัจจัยสำคัญของการเสื่อมสภาพอยู่ที่ชนิดของพอลิเมอร์และสารเติมแต่งที่ผสมเข้าไปในพอลิเมอร์

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ (6331) สามารถเกิดอนุมูลที่เสถียรจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงได้ง่ายกว่าพอลิพรอพิลีนชนิดโคพอลิเมอร์แบบสุ่มกับเอทธิลีน(SW555) ซึ่งเกิดอนุมูลอิสระที่ว่องไว ทำให้พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์เกิดการเสื่อมสภาพโดยแสงได้ง่ายกว่าพอลิพรอพิลีนชนิดโคพอลิเมอร์แบบสุ่มกับเอทธิลีน

รงค์วัตถุอนินทรีย์แคดเมียมเรด (Cadmium Red) และทิทาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) มีบทบาทในการช่วยหน่วงปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง โดยรงค์วัตถุแคดเมียมเรดมีประสิทธิภาพดีที่สุด ส่วนรงค์วัตถุอัลตรามารีนบูล (Ultramarine Blue) ให้ผลในทางตรงกันข้าม คือช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง โดยบทบาทของรงค์วัตถุจะแสดงโดยโลหะที่เป็นส่วนประกอบ ซึ่งสามารถแสดงกลไกได้ดังนี้

$$ROOH + M^{n+} \longrightarrow RO^{\cdot} + M^{(n+1)+} + OH^{-}$$

$$ROOH + M^{(n+1)+} \longrightarrow ROO^{\cdot} + M^{n+} + H^{+}$$

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำตัวอย่างเป็นฟิลม์บางเนื่องจากการย่อยสลายโดยแสงจะเกิดที่บริเวณผิวจะทำให้ได้ผลที่ถูกต้องยิ่งขึ้น โดยไม่มีผลกระทบจากส่วนที่ไม่ได้รับแสงและผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ทั้งยังประหยัดเวลาในการทดสอบ
2. ในการศึกษาควรแปรค่าปริมาณสีเพื่อศึกษาผลของปริมาณสีที่แตกต่างกัน
3. ควรทำการขยายขอบเขตการวิจัยให้ครอบคลุมถึงสารให้สีอินทรีย์
4. ควรใช้เทคนิคทาง GPC ศึกษาการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อจะได้ผลที่ละเอียดและถูกต้องยิ่งขึ้น
5. ควรทำการศึกษาในสภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับสภาวะการใช้งานของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก : FTIR สเปคตรา

ภาคผนวก ข : เทอร์โมแกรมจากเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงคาลอริมิเตอร์

ภาคผนวก ค : กราฟความเค้น - ความเครียดจากเครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง

ภาคผนวก ง : ผลการศึกษาดัชนีการไหล

ภาคผนวก จ : ผลการศึกษาค่าความหนาแน่น

ภาคผนวก ฉ : ผลการศึกษาค่าความซีดจางของสี

ภาคผนวก ช : ผลการศึกษารูปผลึกสเฟียร์รูไลท์

ภาคผนวก ซ : ข้อมูลทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก : FTIR สเปคตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

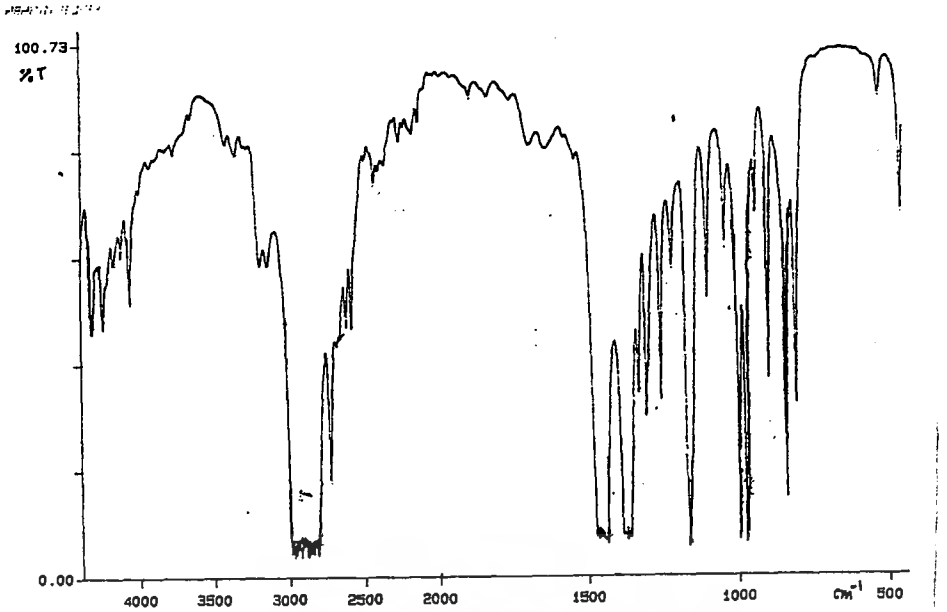
ข้อมูลผลการเปลี่ยนแปลงของการเพิ่มขึ้นของค่า Carbonyl Index

Sample6331	Time (hr)	Thickness (μm)	%Transmittion (%T)	Carbonyl Index (C.I.)
No Color	0	400.00	80.60	0.0234
	500	350.00	80.60	0.0267
	1000	350.00	27.20	0.1615
	1500	400.00	12.00	0.2302
	2000	350.00	3.00	0.4351
Red	0	350.00	84.10	0.0214
	500	400.00	81.00	0.0229
	1000	350.00	46.00	0.0964
	1500	350.00	26.00	0.1671
	2000	350.00	20.00	0.1997
White	0	400.00	86.00	0.0164
	500	400.00	92.00	0.0090
	1000	400.00	61.00	0.0536
	1500	400.00	6.10	0.3036
	2000	400.00	8.00	0.2742
Blue	0	300.00	86.20	0.0215
	500	350.00	79.50	0.0285
	1000	350.00	14.40	0.2805
	1500	300.00	10.00	0.3333
	2000	350.00	2.50	0.4577

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

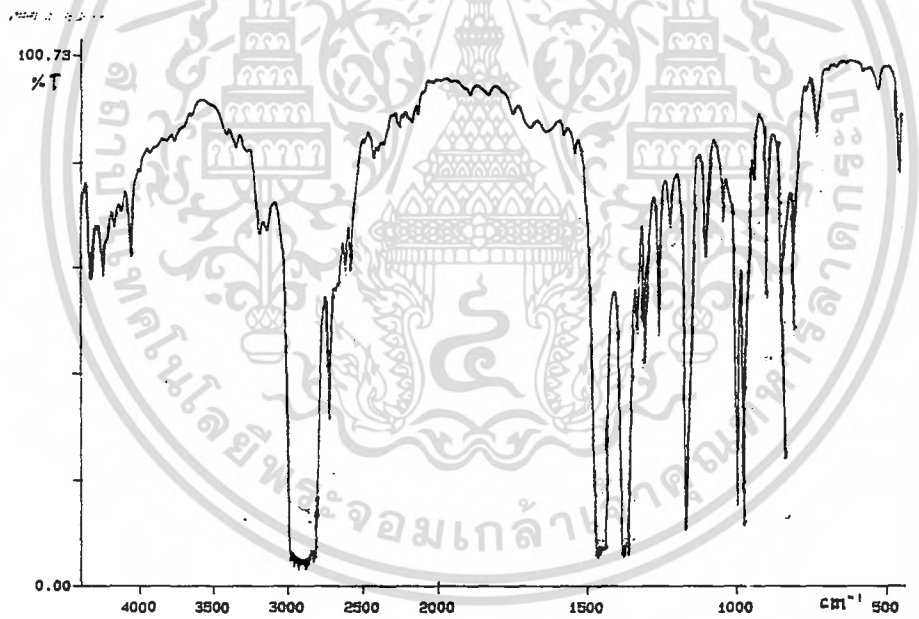
Sample SW555	Time (hr)	Thickness (μm)	%Transmittion (%T)	Carbonyl Index (C.I.)
No Color	0	250.00	86.80	0.0246
	500	300.00	78.00	0.0359
	1000	300.00	40.00	0.1326
	1500	400.00	36.00	0.1109
	2000	350.00	4.00	0.3990
Red	0	400.00	86.00	0.0164
	500	400.00	71.00	0.0372
	1000	400.00	35.00	0.1139
	1500	350.00	13.00	0.2531
	2000	400.00	5.00	0.3253
White	0	350.00	91.00	0.0117
	500	350.00	82.00	0.0246
	1000	400.00	25.00	0.1505
	1500	400.00	9.00	0.2614
	2000	350.00	8.00	0.3134
Blue	0	300.00	83.00	0.0269
	500	400.00	72.00	0.0357
	1000	450.00	24.00	0.1377
	1500	350.00	14.00	0.2439
	2000	350.00	2.50	0.4577

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ไม่ผสมรงค์วัตถุ

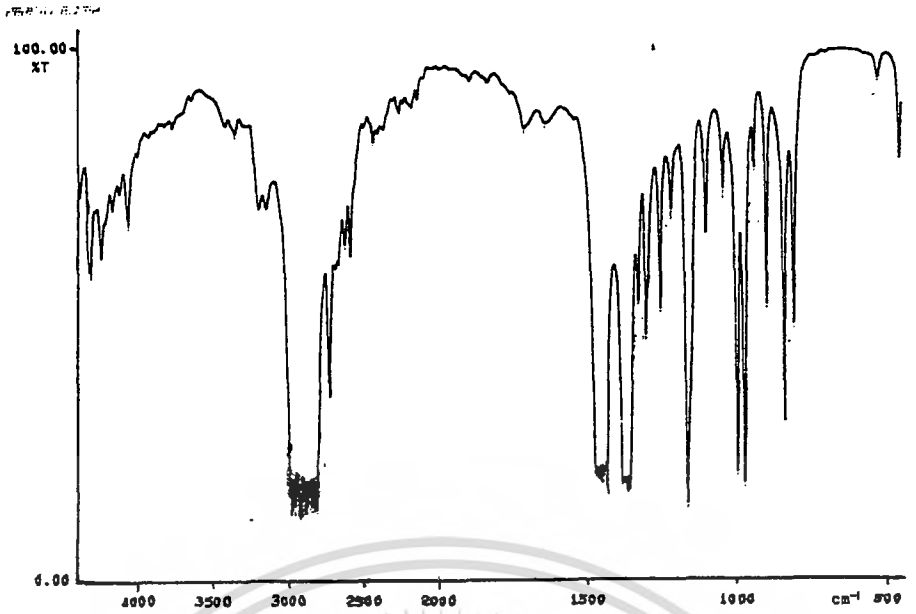
ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)



พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มไม่ผสมรงค์วัตถุ

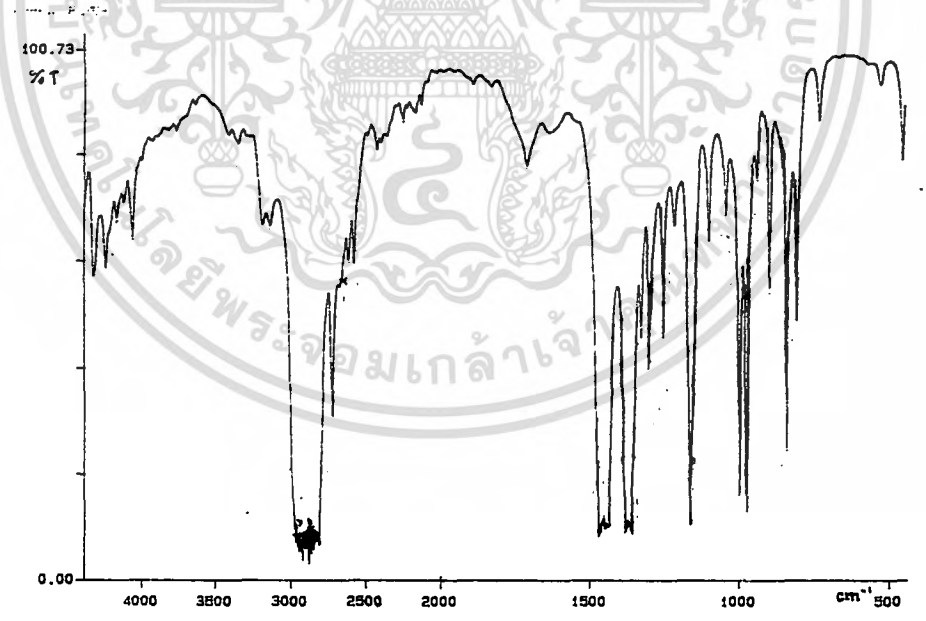
ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ไม่ผสมรงค์วัตถุ

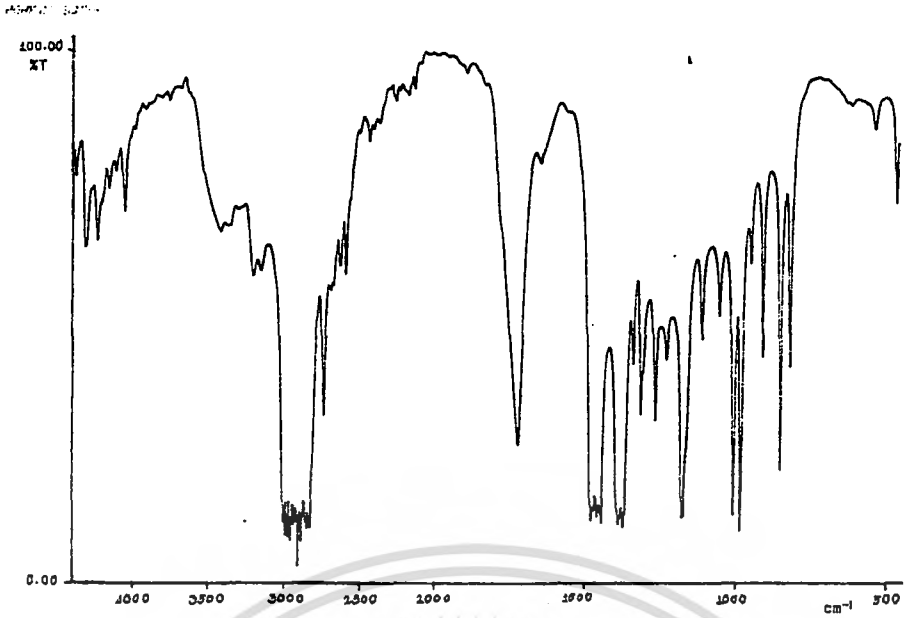
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง



พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มไม่ผสมรงค์วัตถุ

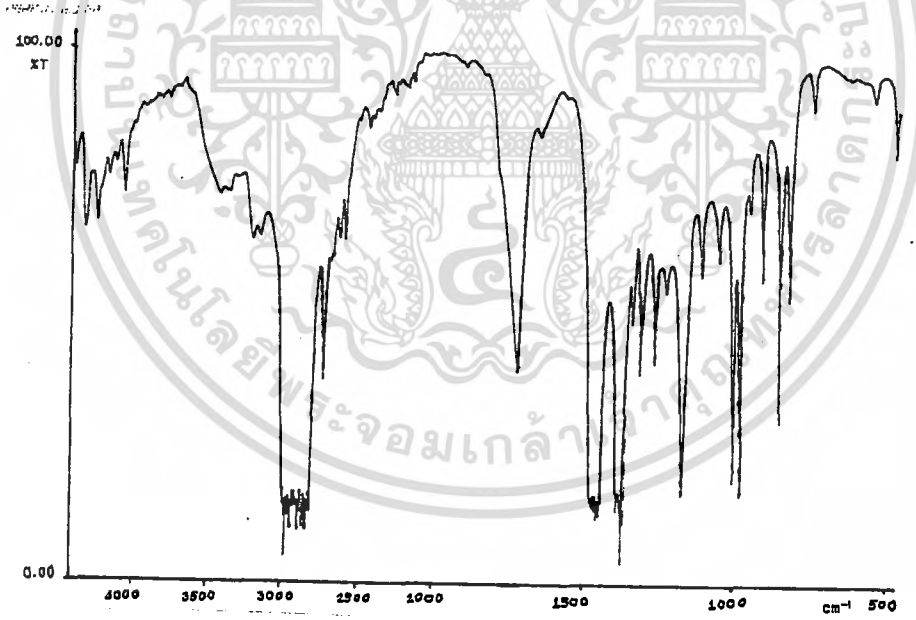
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ไม่ผสมรงค์วัตถุ

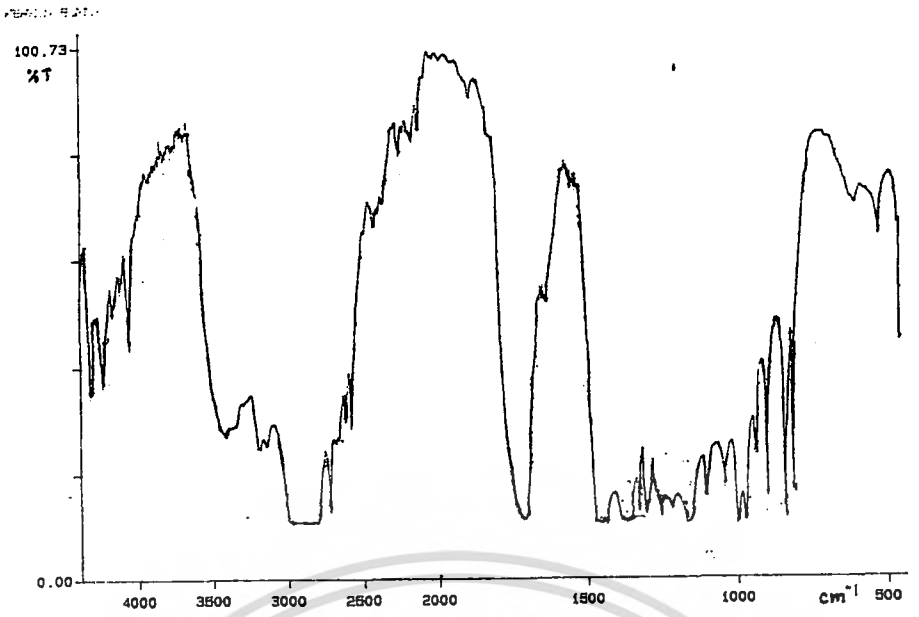
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง



พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มไม่ผสมรงค์วัตถุ

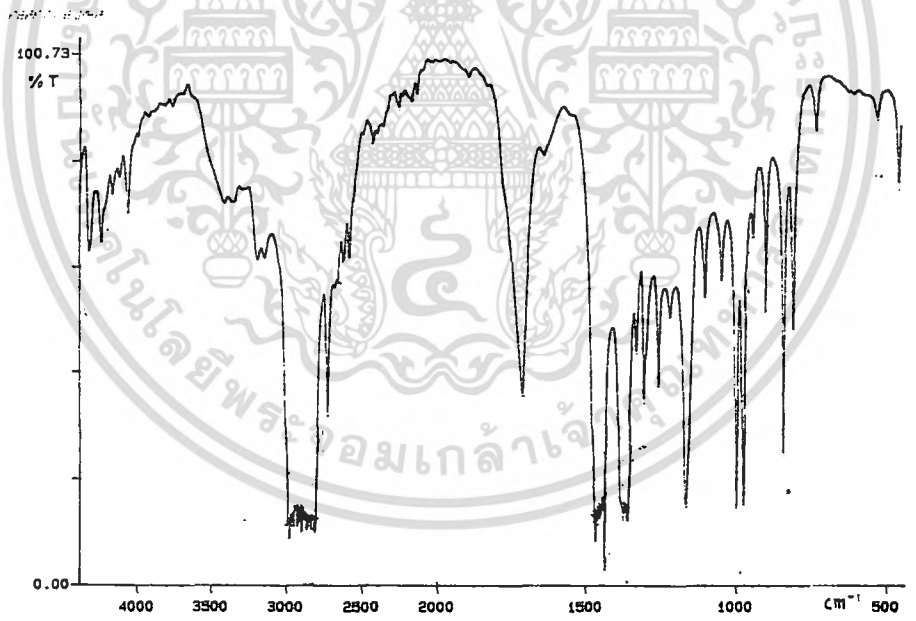
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ไม่ผสมรงค์วัตถุ

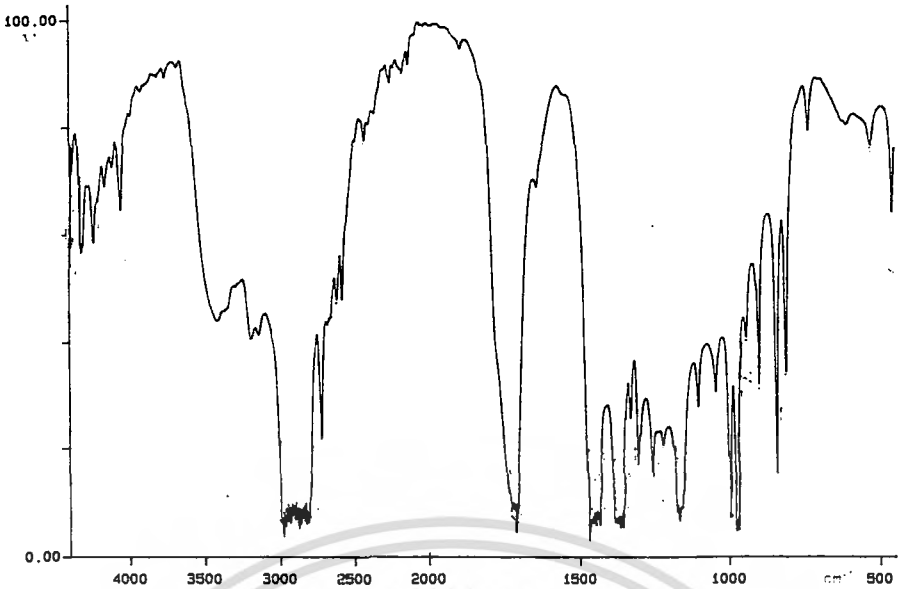
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง



พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มไม่ผสมรงค์วัตถุ

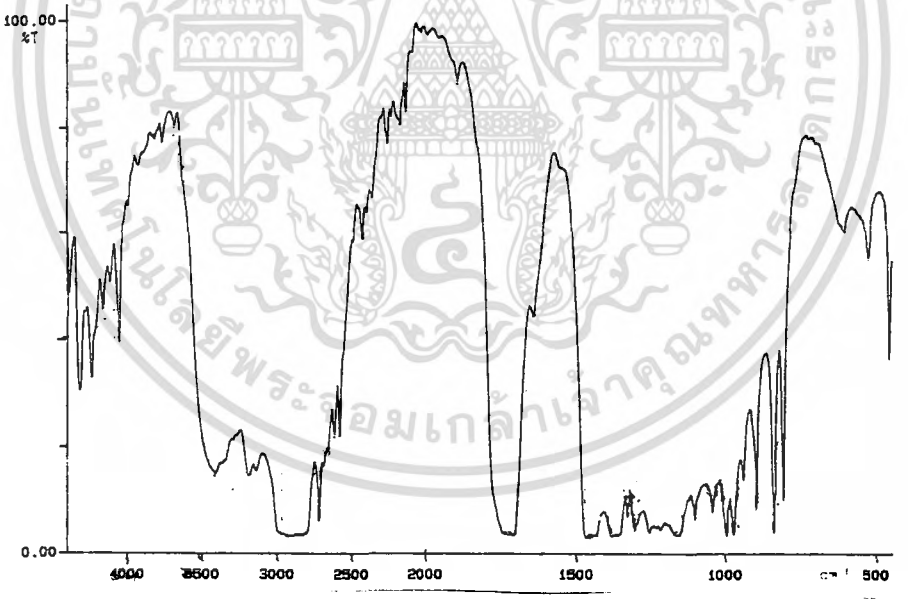
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ไม่ผสมรงค์วัตถุ

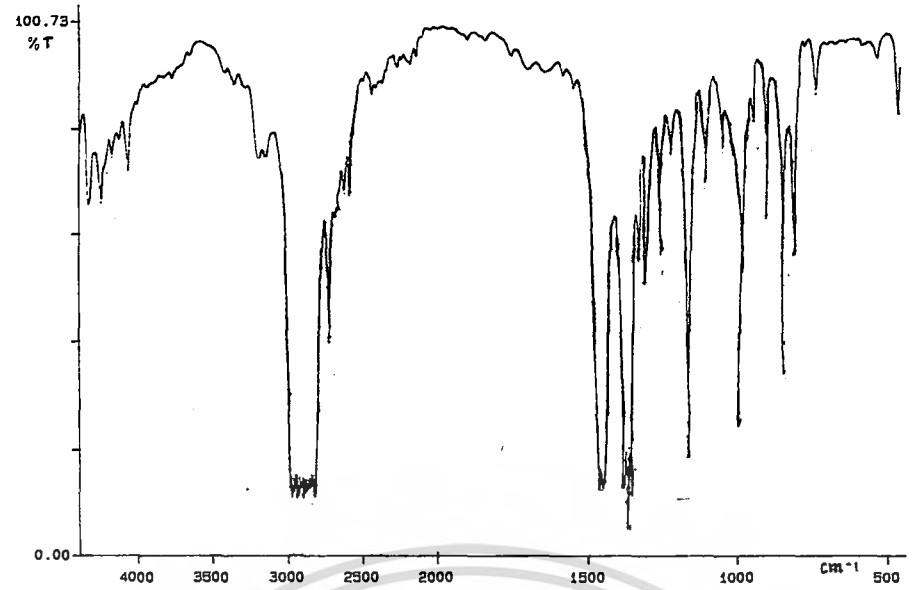
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง



พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มไม่ผสมรงค์วัตถุ

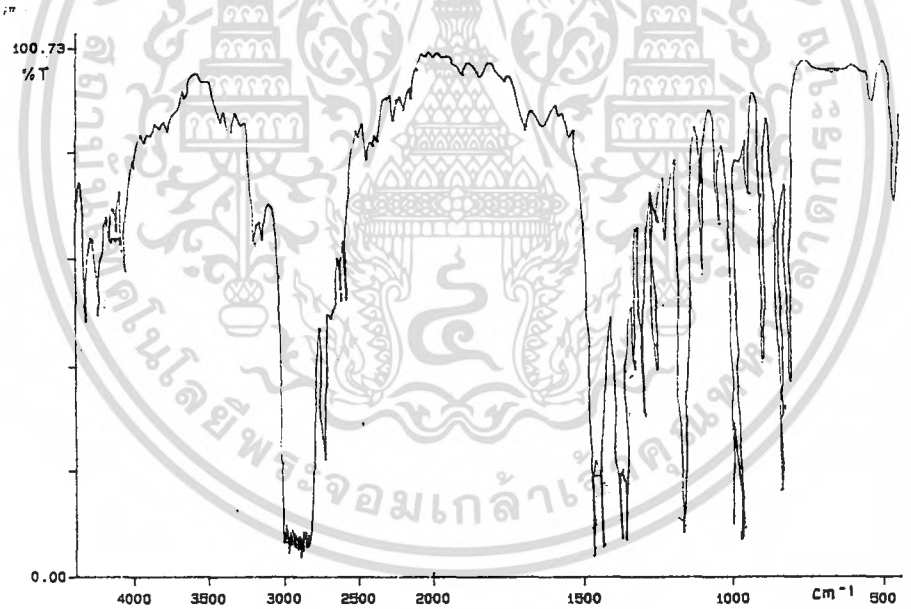
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์

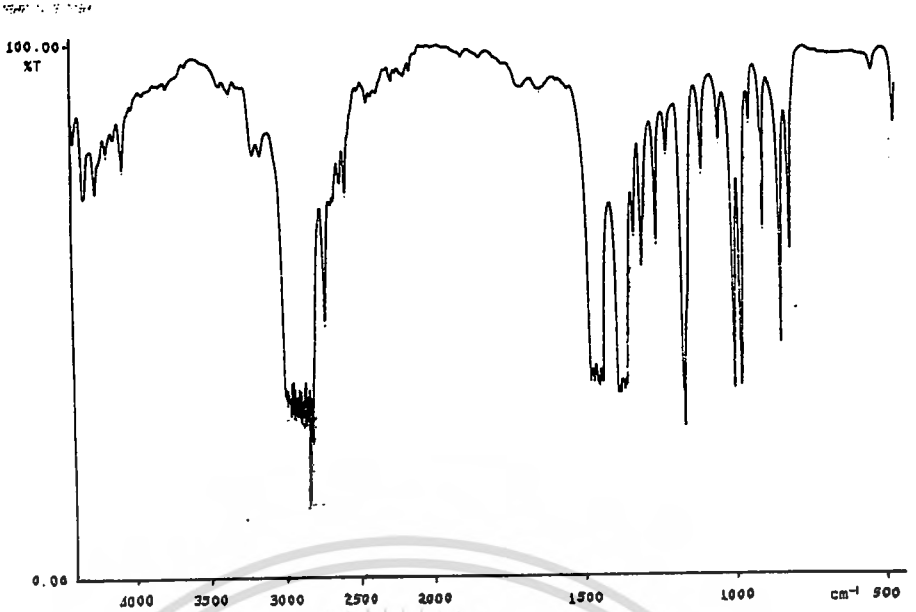
ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)



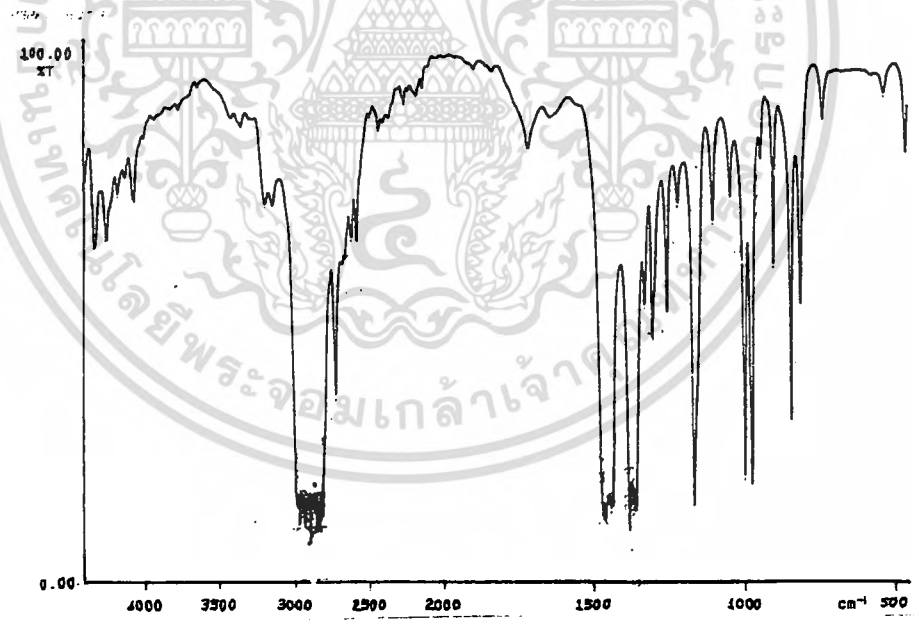
พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์

ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

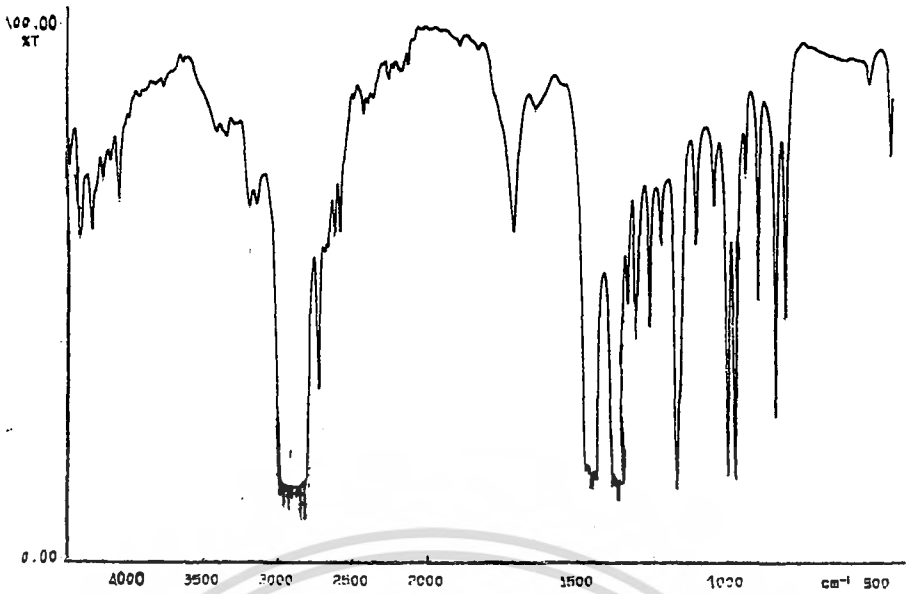


พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง

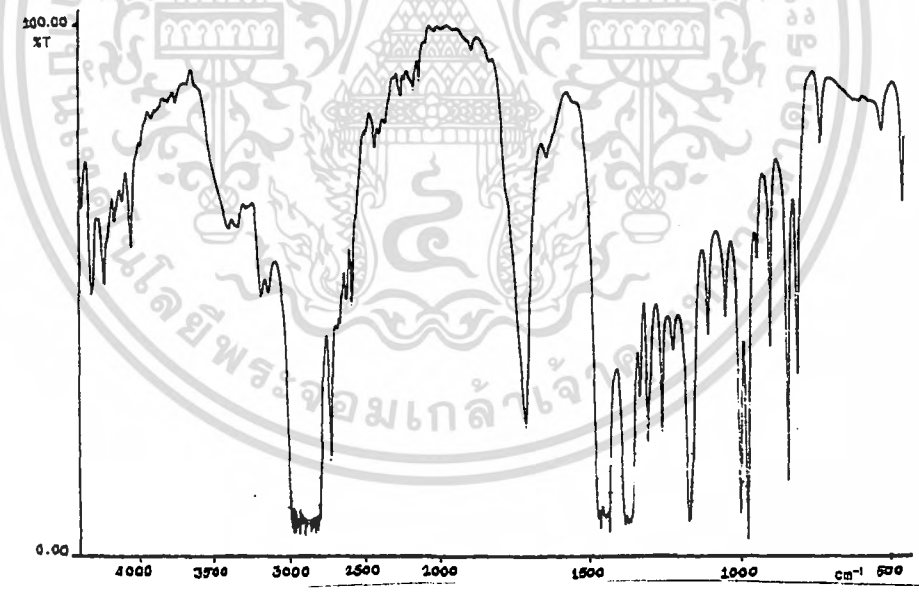


พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

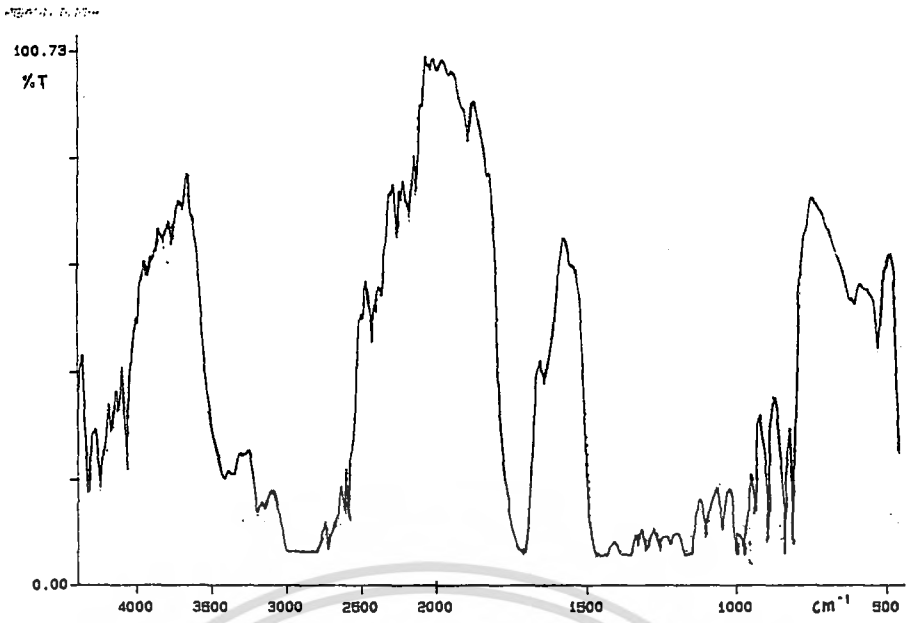


พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง

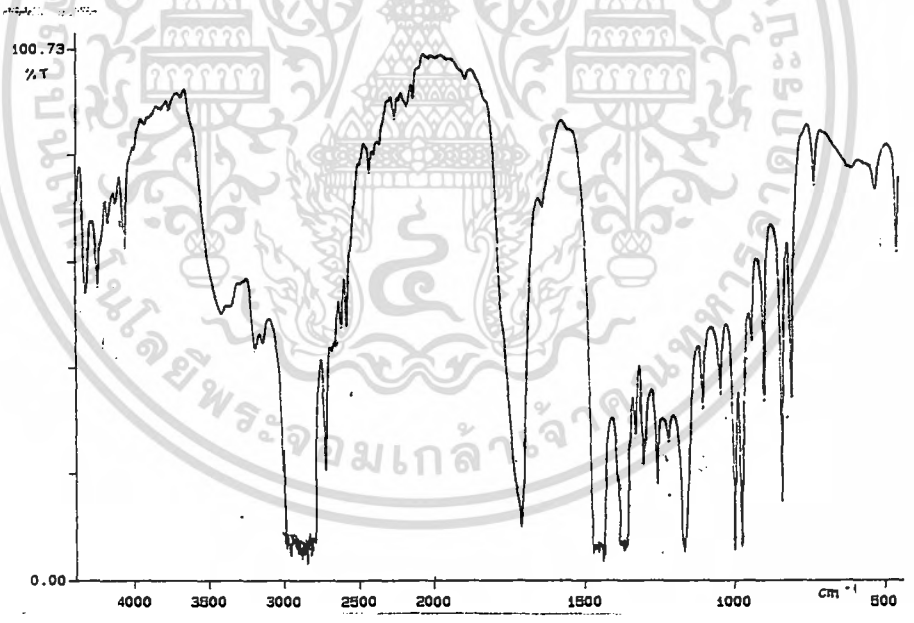


พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

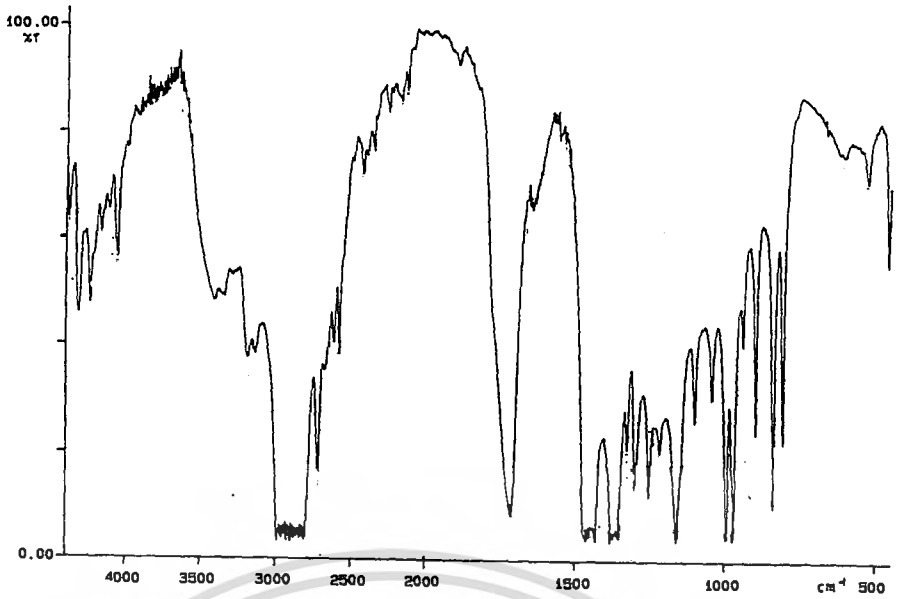


พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง

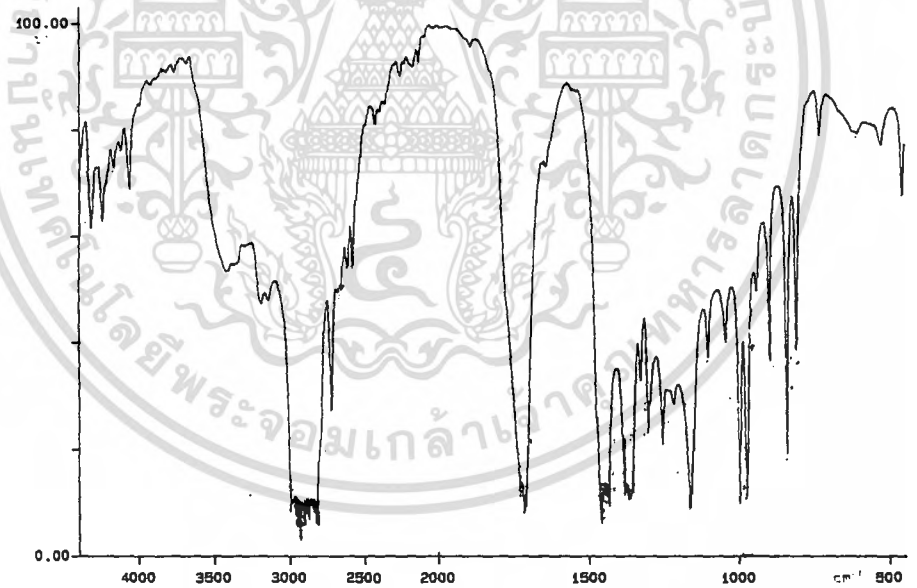


พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

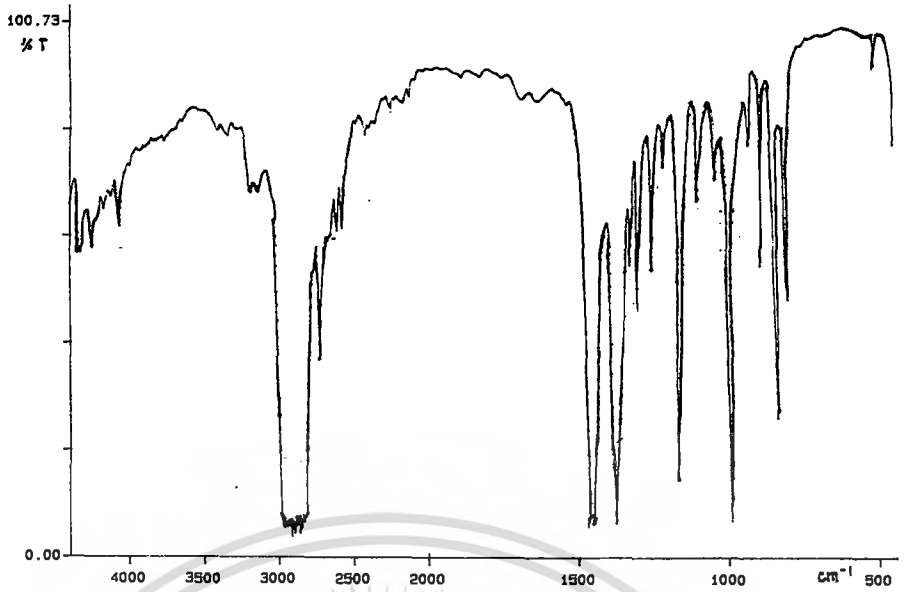


พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง



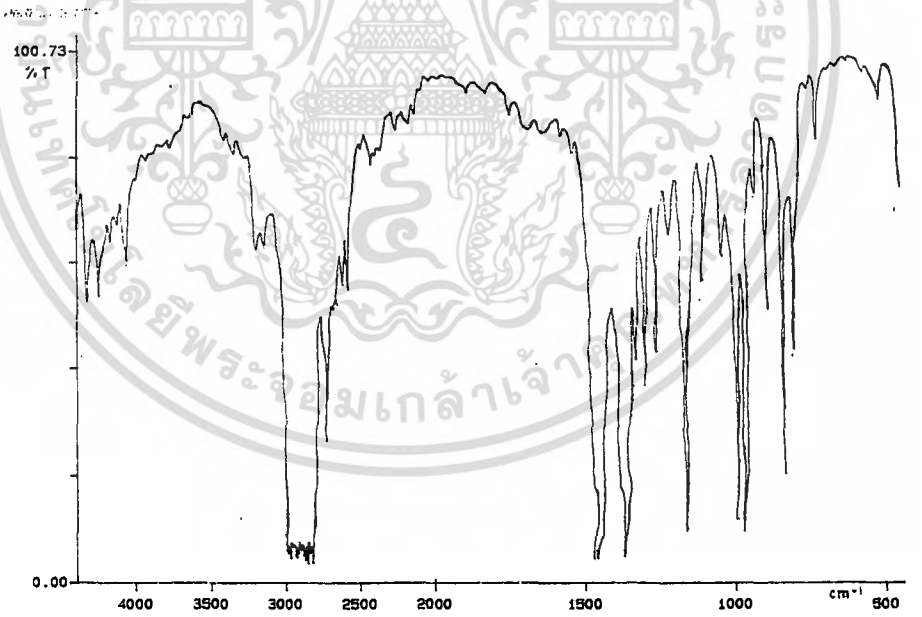
พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

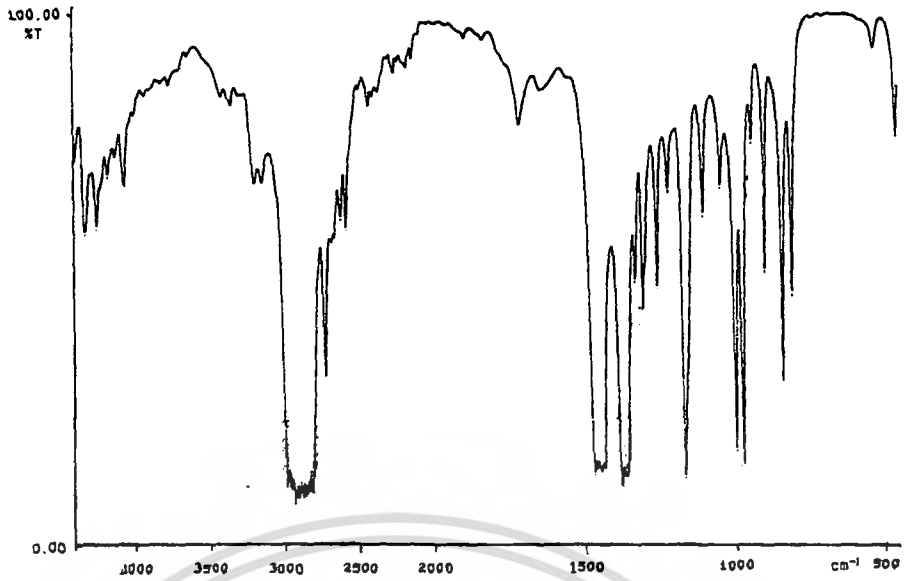
ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)



พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

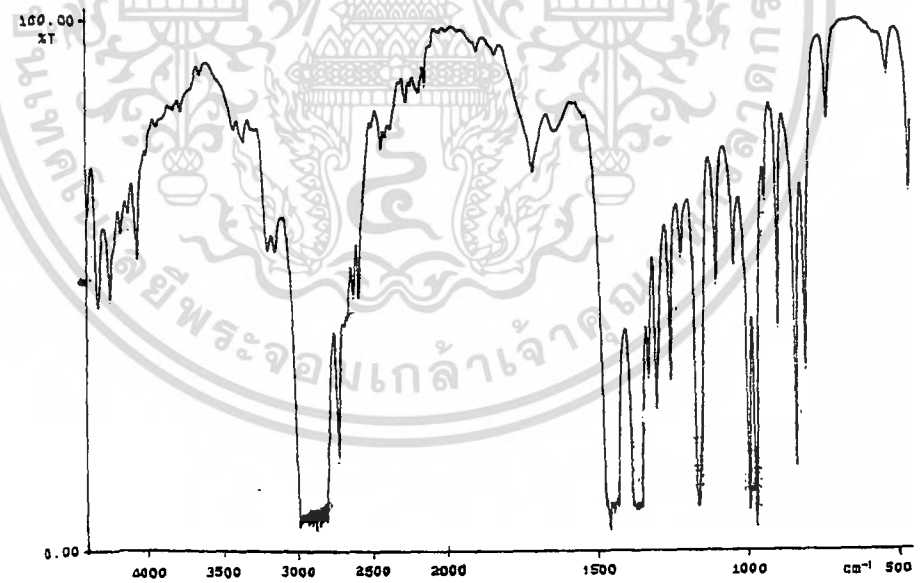
ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

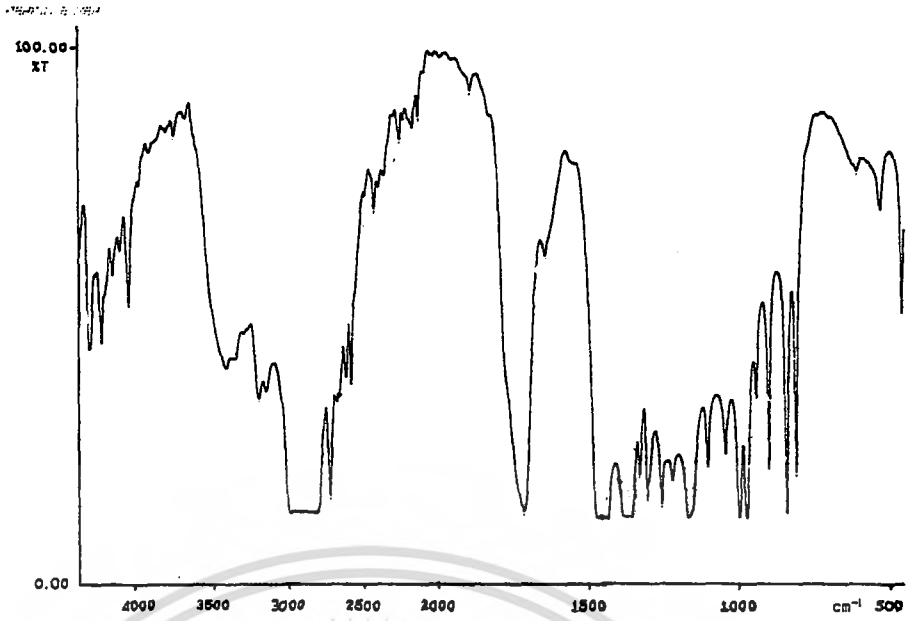
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง



พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

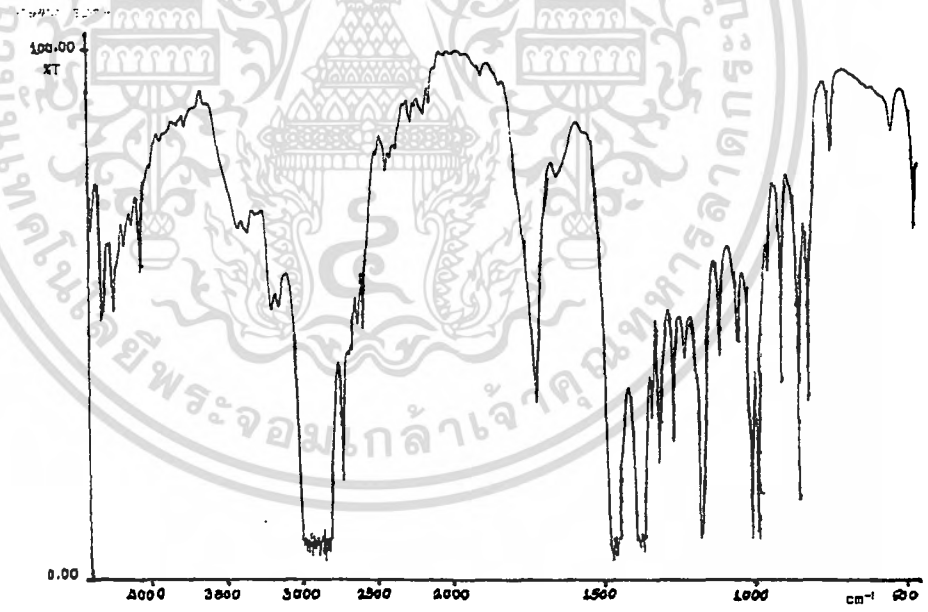
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

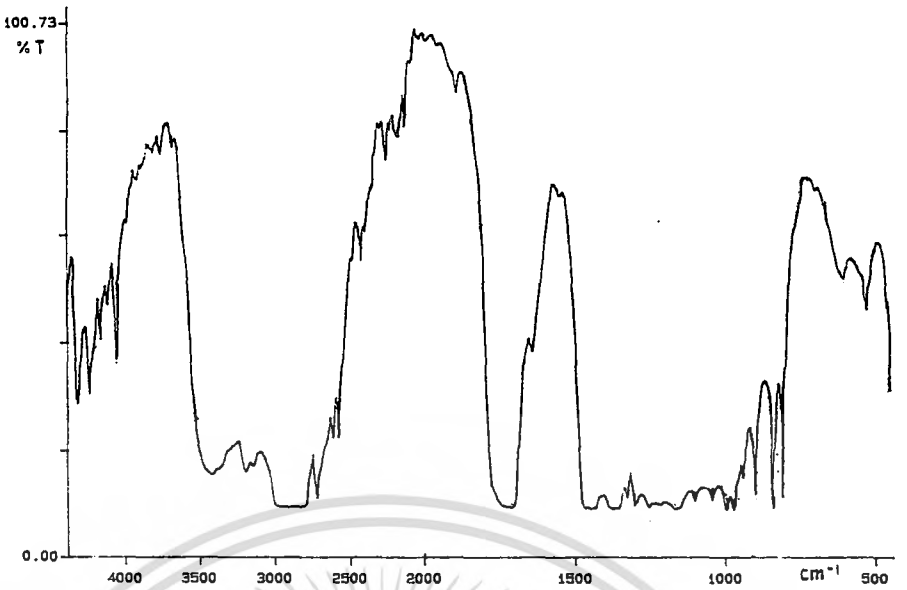
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง



พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

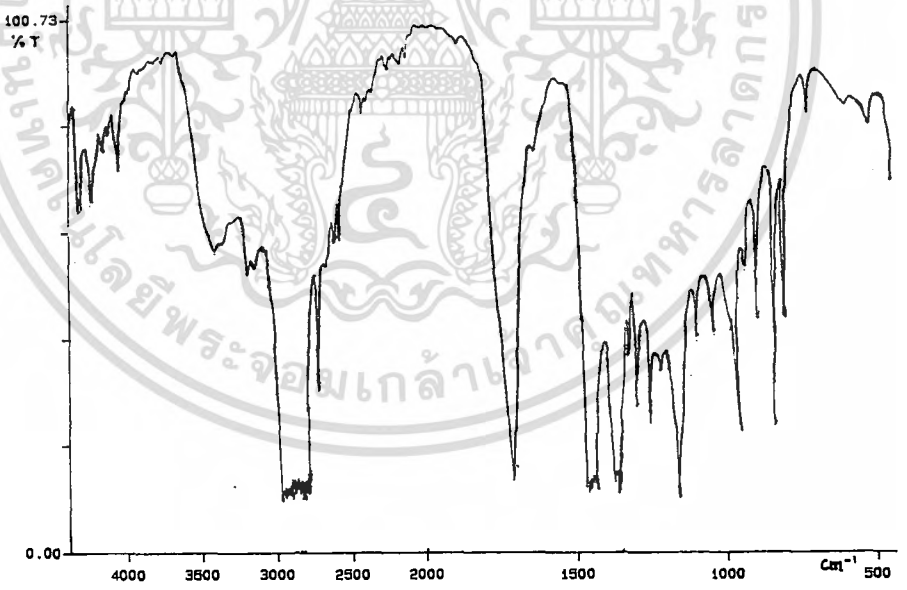
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

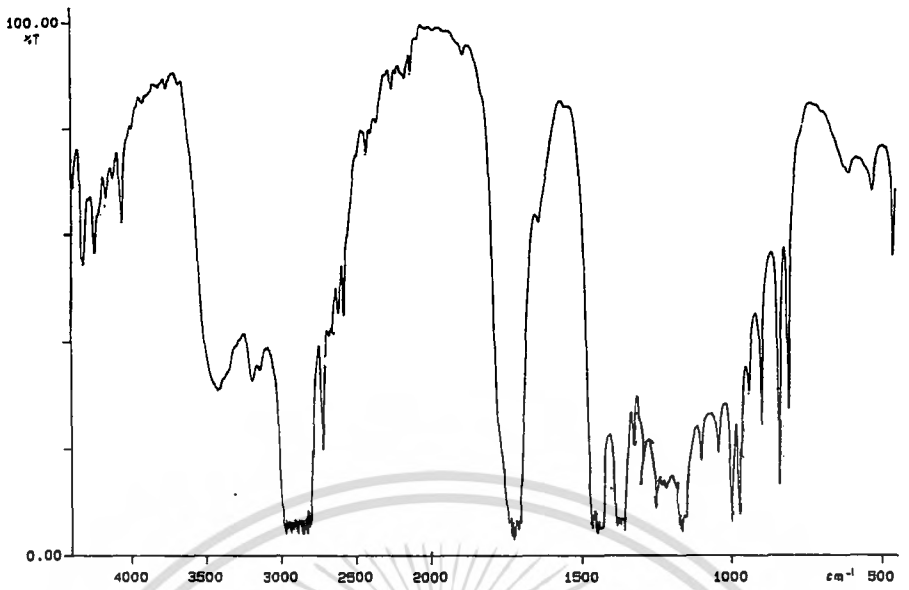
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง



พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

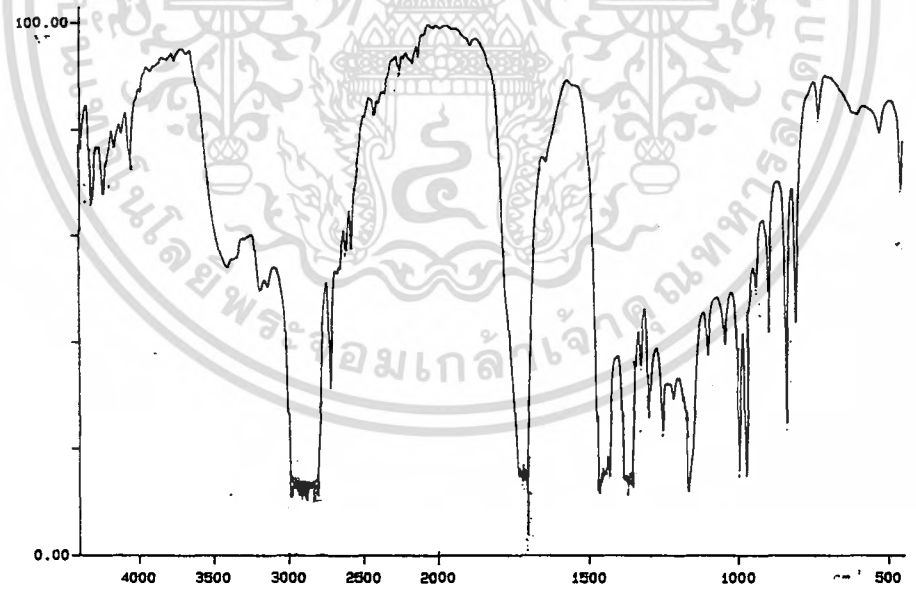
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

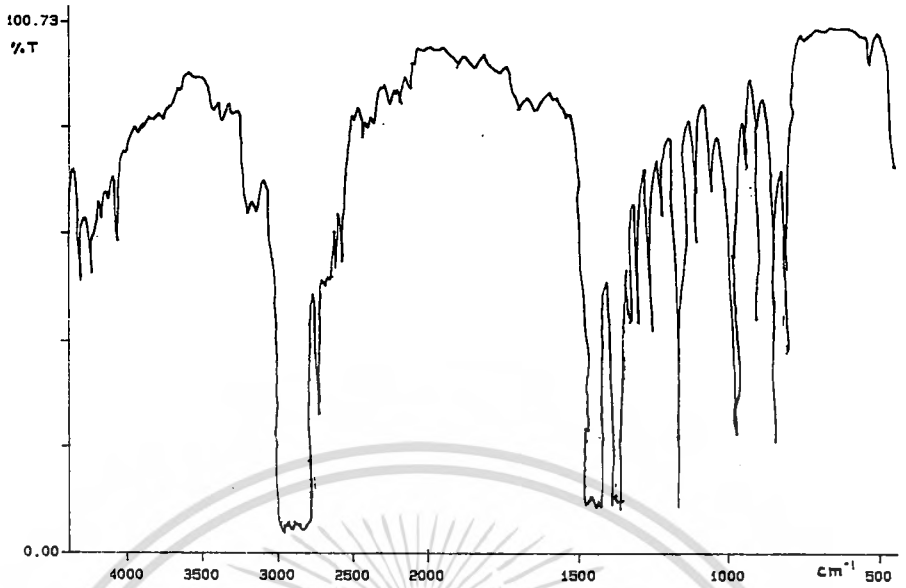
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง



พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

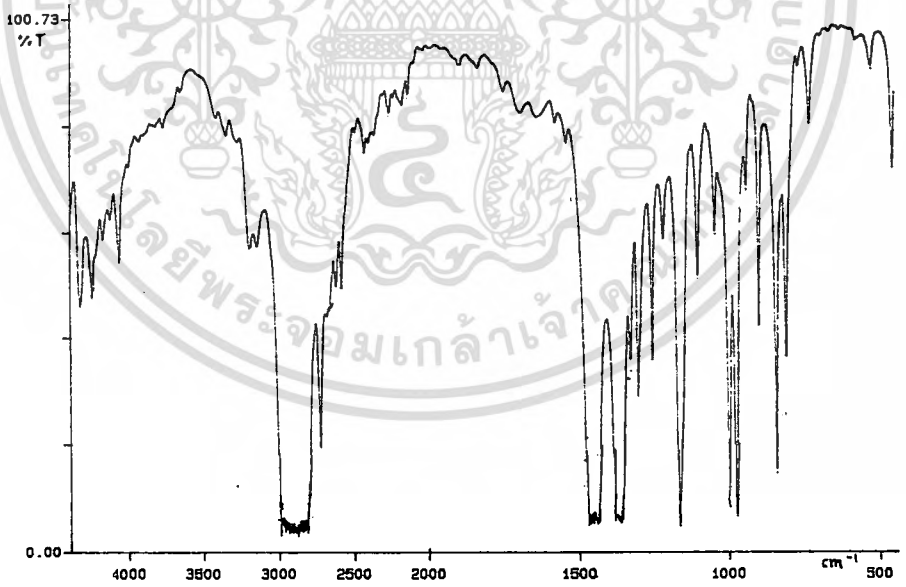
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

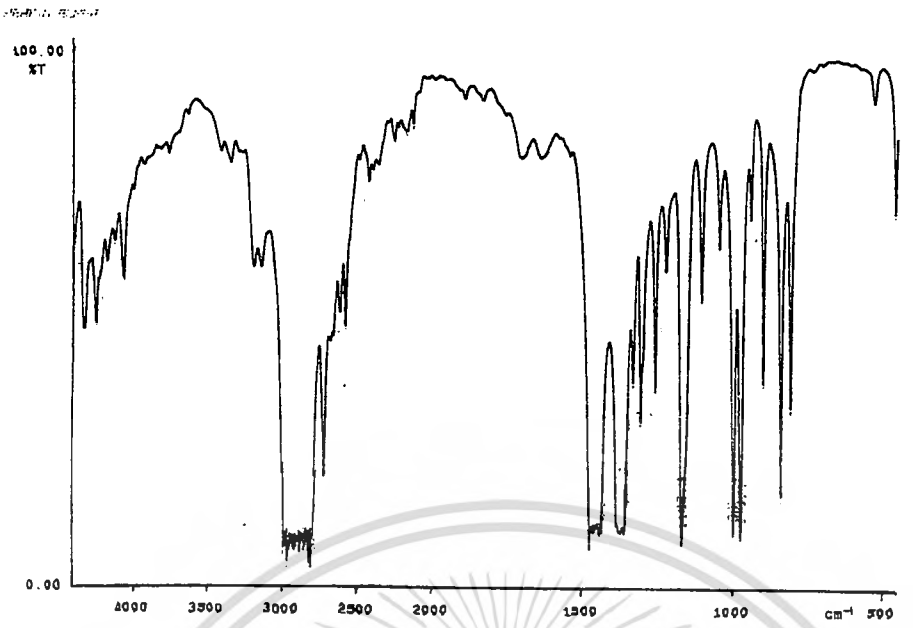
ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)



พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

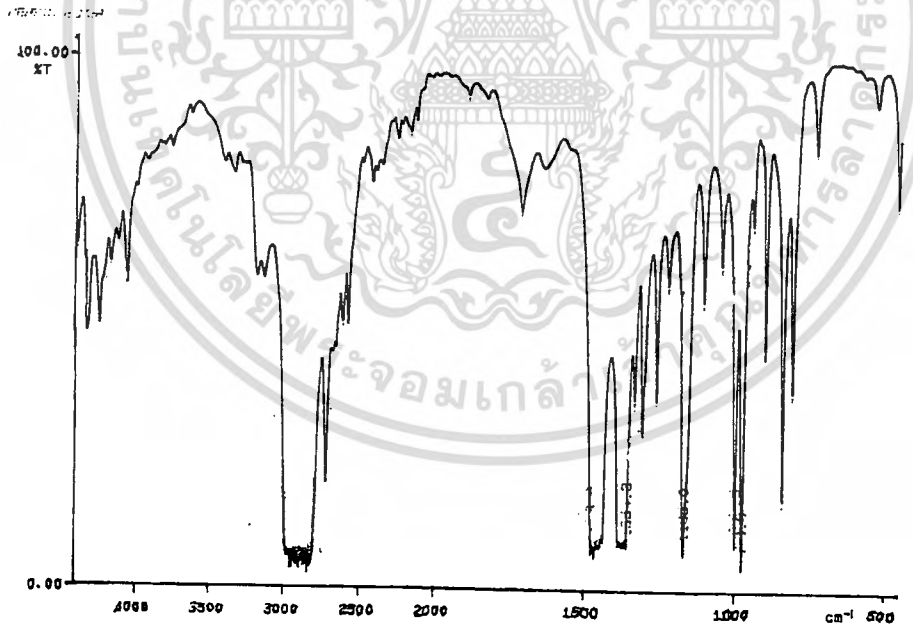
ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

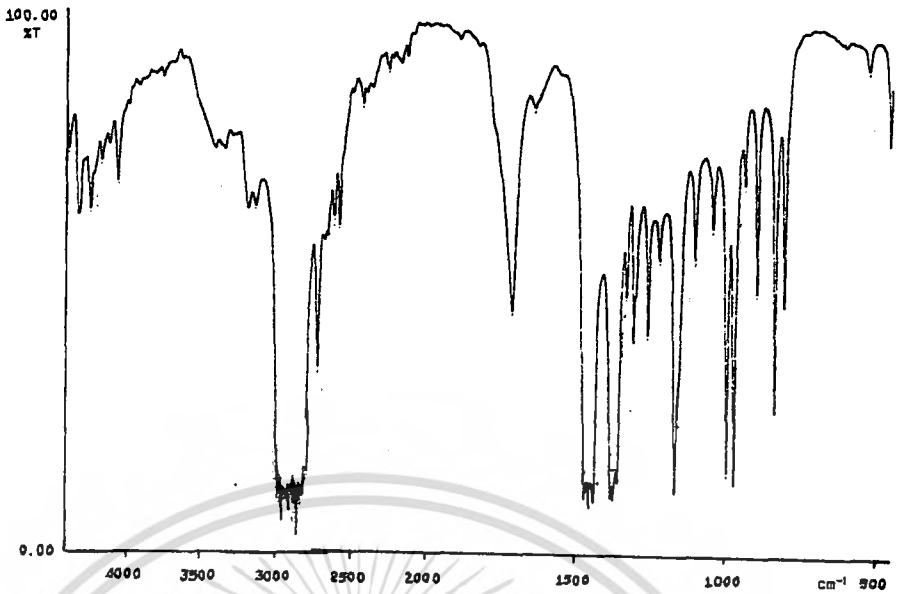
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง



พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

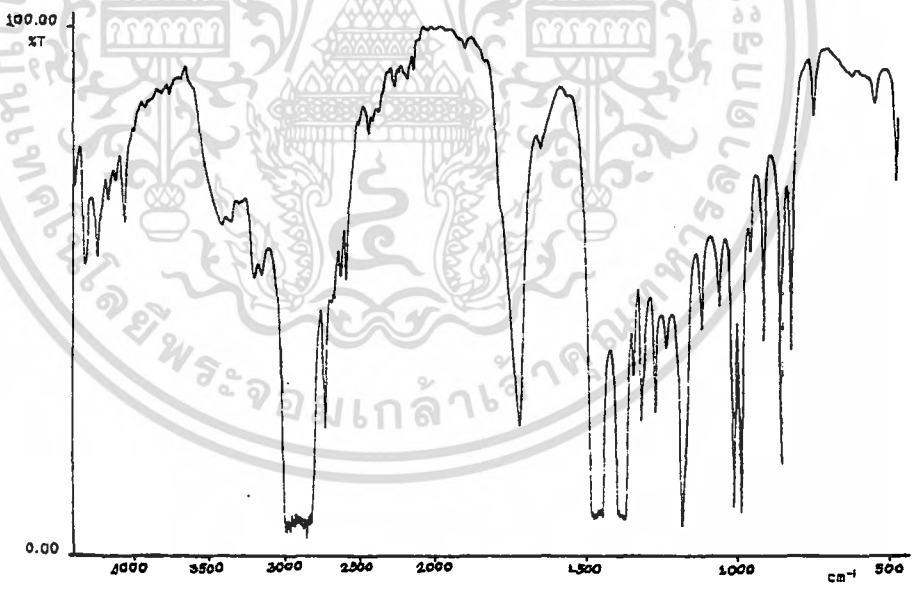
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

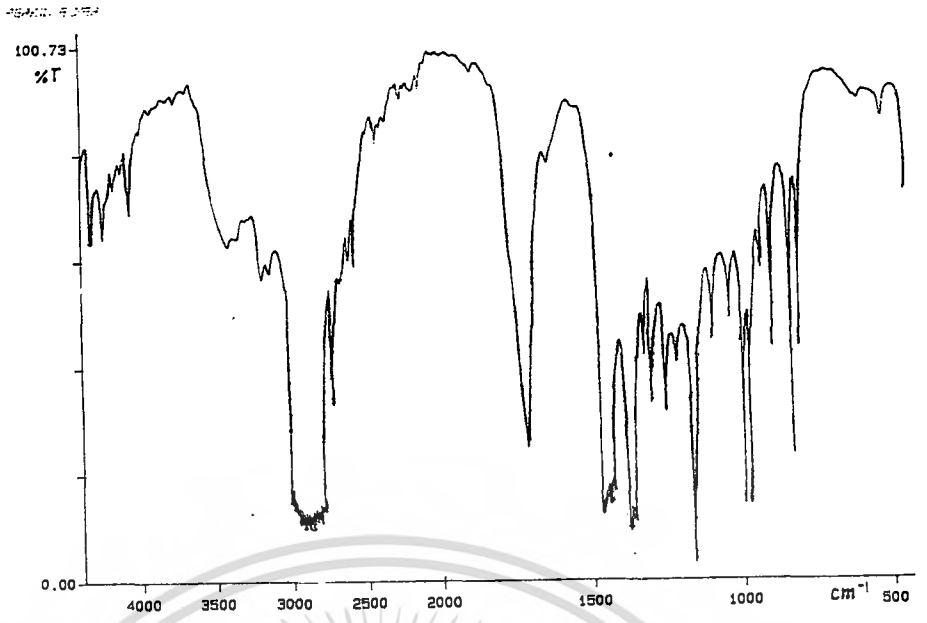
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง



พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

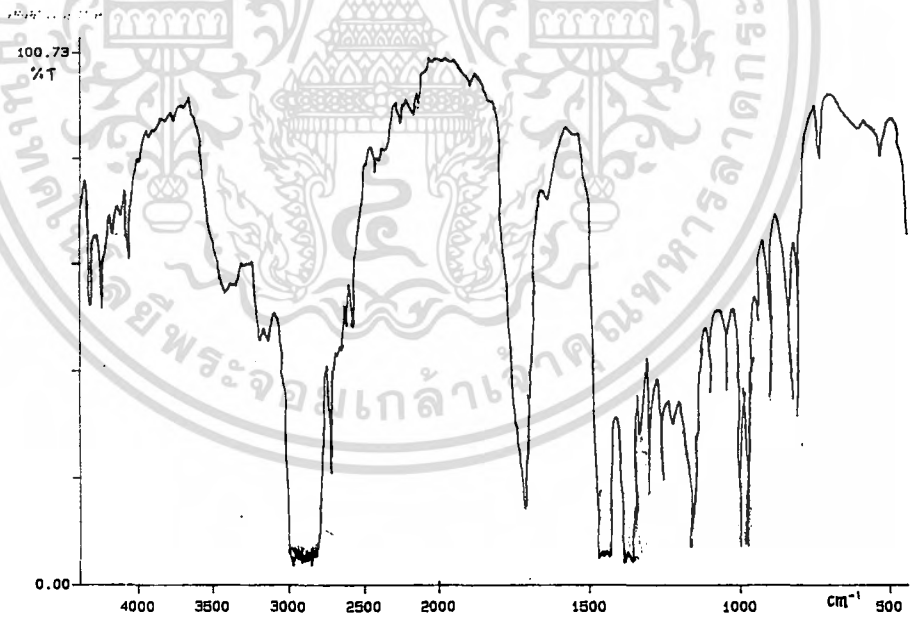
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

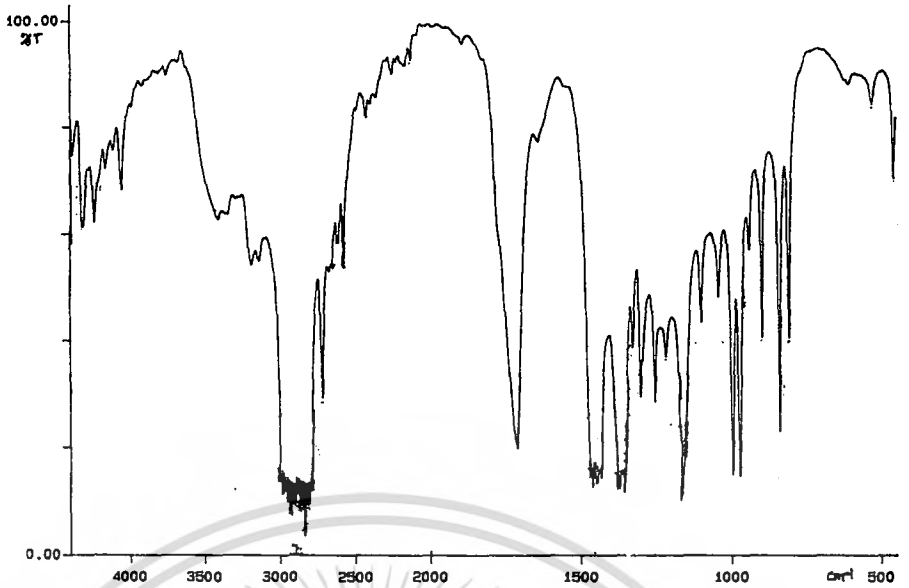
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง



พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

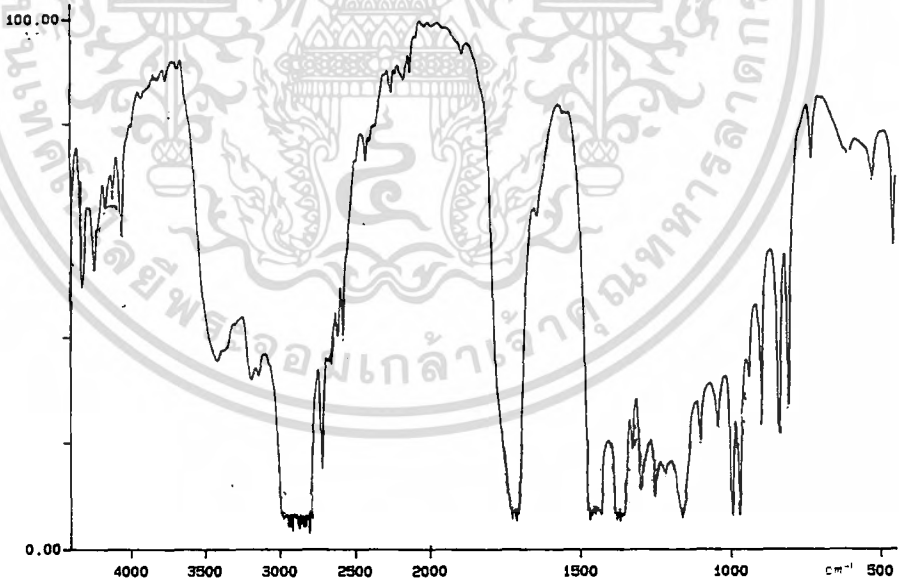
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง



พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข : เทอร์โมแกรมจากเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงคาลอริมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

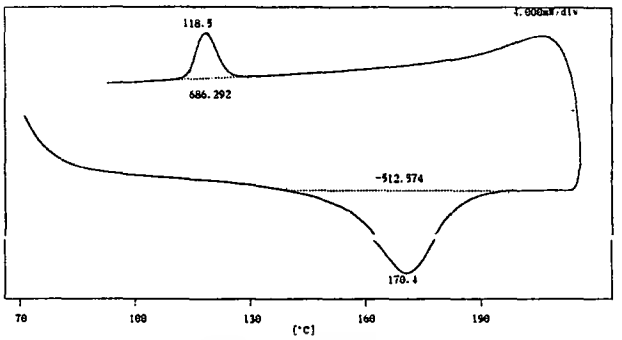
ข้อมูลที่ได้จากเครื่องทดสอบทางความร้อน (DSC)

Sample 6331	Exposure Time (hr)	Tm (C)	Tc (C)	ΔHm (J / g)	ΔHc (J / g)
No Color	0	170.400	118.500	512.574	686.292
	500	170.800	119.000	484.859	618.429
	1000	170.200	118.400	633.724	740.120
	1500	160.600	118.400	613.487	659.060
	2000	159.700	117.800	474.259	466.178
White	0	172.000	118.800	566.182	704.116
	500	172.100	117.600	475.622	605.900
	1000	168.100	119.900	643.304	719.706
	1500	166.800	119.100	633.715	702.724
	2000	169.500	119.200	590.976	617.030
Red	0	171.700	118.200	442.675	513.681
	500	169.990	118.200	517.430	669.729
	1000	167.300	117.700	559.583	632.851
	1500	170.700	116.600	505.447	617.296
	2000	165.300	118.800	665.813	660.502
Blue	0	171.900	119.900	543.610	697.745
	500	172.600	119.400	514.364	650.215
	1000	170.000	118.100	519.347	619.540
	1500	169.000	118.100	601.447	697.016
	2000	162.600	118.200	550.620	586.412

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample SW555	Exposure Time (hr)	Tm (C)	Tc (C)	ΔHm (J / g)	ΔHc (J / g)
No Color	0	153.60	124.3	451.226	425.16
	500	153.40	106.5	413.477	478.739
	1000	152.20	108.3	462.031	512.215
	1500	152.50	107.5	466.59	506.473
	2000	151.70	107.8	399.552	425.166
White	0	153.30	124.8	446.813	422.548
	500	152.00	107.1	376.152	454.469
	1000	152.60	107.8	507.319	517.149
	1500	150.20	107.8	472.472	537.053
	2000	152.40	108.1	489.305	525.084
Red	0	155.20	124.6	409.872	419.216
	500	153.80	121.5	436.216	436.039
	1000	149.40	107.6	418.224	456.357
	1500	152.30	107.8	490.294	491.988
	2000	150.60	107.4	551.99	527.711
Blue	0	153.80	125.1	463.896	414.479
	500	152.40	107.5	436.039	456.671
	1000	151.20	107.6	496.018	488.236
	1500	149.60	107.6	506.757	517.331
	2000	152.00	107.8	518.031	514.864

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

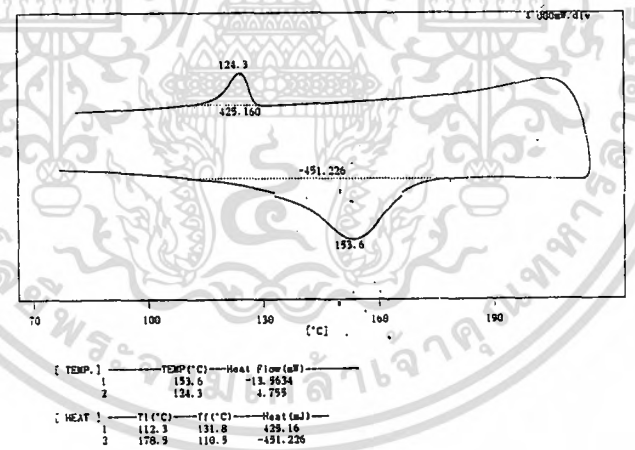


[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	170.4	-19.696
2	118.5	6.5685

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	106.7	129.3	686.292
2	197	139.3	-512.574

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ไม่ผสมรงค์วัตถุ

ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)



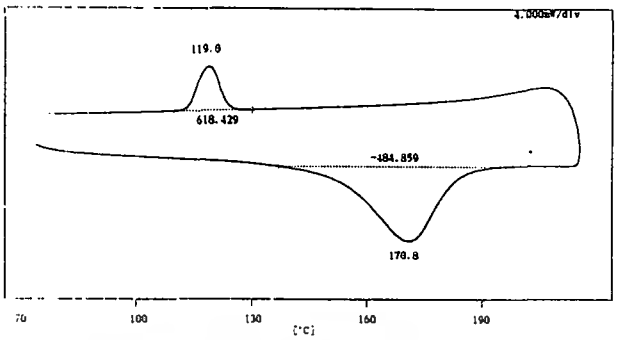
[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	153.6	-13.9634
2	124.3	4.755

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	112.3	131.8	425.16
2	178.9	110.5	-451.226

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มไม่ผสมรงค์วัตถุ

ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

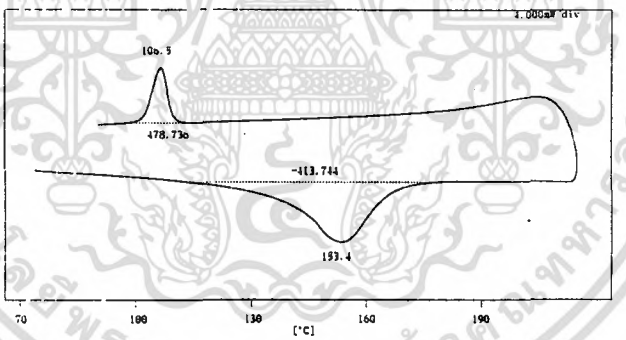


TEMP.		TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
	1	178.8	-13.37
	2	119	5.7669

HEAT		Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
	1	189.7	130.1	618.429
	2	195.6	137	-484.859

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ไม่ผสมรงค์วัตถุ

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง



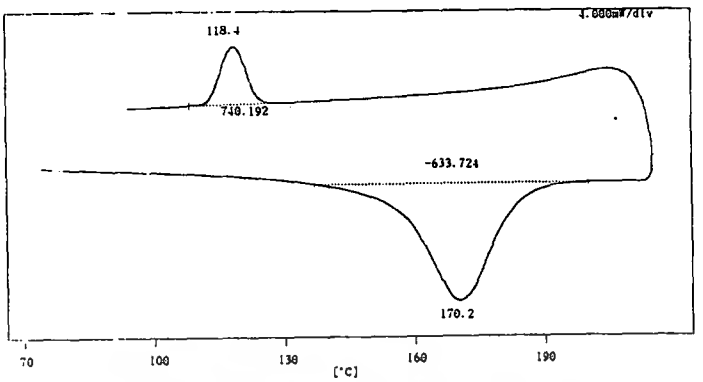
TEMP.		TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
	1	193.4	-12.141
	2	106.5	7.8223

HEAT		Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
	1	98.3	114.5	478.736
	2	178.3	114.2	-413.744

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มไม่ผสมรงค์วัตถุ

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



[TEMP.] ---------TEMP(°C)---Heat Flow(mW)---------

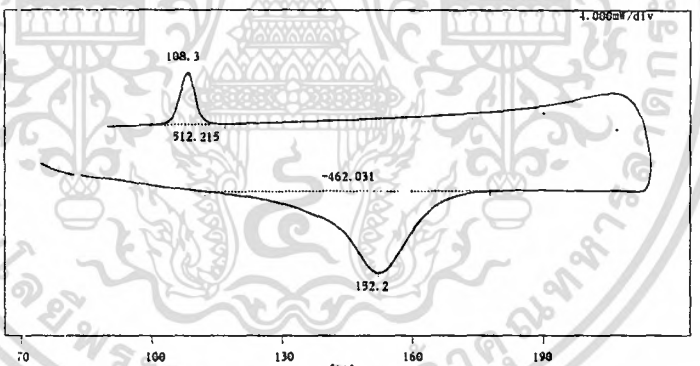
1	170.2	-18.2803
2	118.4	6.6409

[HEAT] ----Ti(°C)----Tf(°C)-----Heat(mJ)----

1	108.3	131.6	740.192
2	200	137.1	-633.724

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ไม่ผสมรงค์วัตถุ

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง



[TEMP.] ---------TEMP(°C)---Heat Flow(mW)---------

1	152.2	-13.7626
2	108.3	5.9223

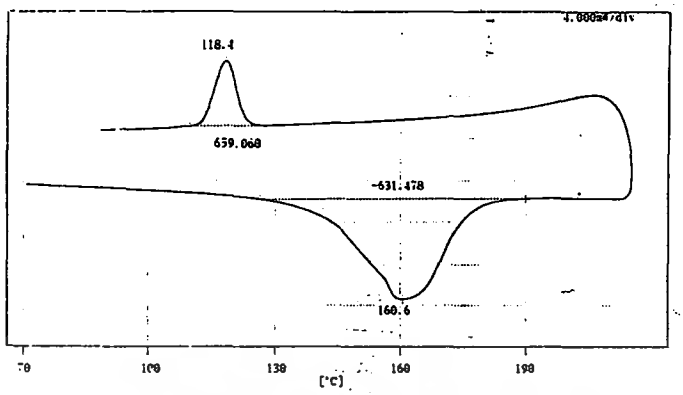
[HEAT] ----Ti(°C)----Tf(°C)-----Heat(mJ)----

1	99.8	116.7	512.215
2	177.7	112.4	-462.031

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มไม่ผสมรงค์วัตถุ

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

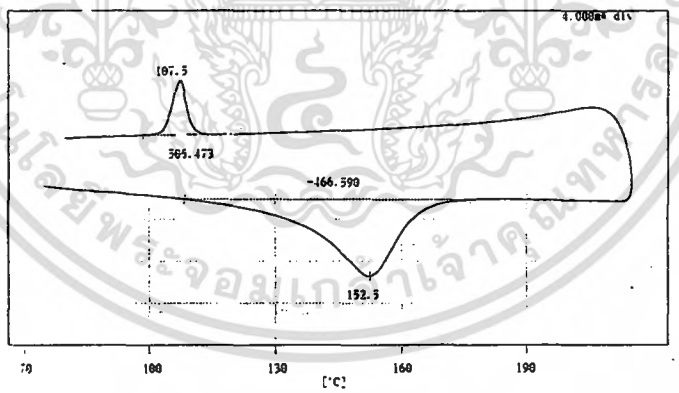


[TEMP.] ————TEMP(°C)——Heat Flow(mW)————
1 160.6 -13.5197
2 118.4 7.2523

[HEAT] ——Ti(°C)——Tf(°C)——Heat(mJ)——
1 189.9 129.6 659.06
2 189.8 126.4 -631.478

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ไม่ผสมรงค์วัตถุ

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง



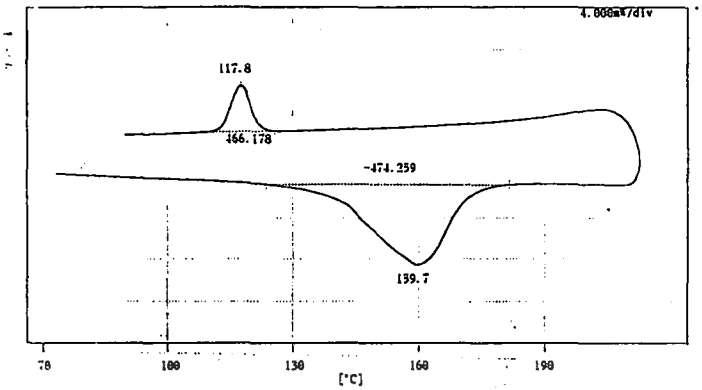
[TEMP] ————TEMP(°C)— Heat Flow(mW)————
1 152.5 12.6262
2 107.5 6.0031

[HEAT] ——Ti(°C)——Tf(°C)——Heat(mJ)——
1 98.3 119.2 386.473
2 176.3 108.6 -466.59

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มไม่ผสมรงค์วัตถุ

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

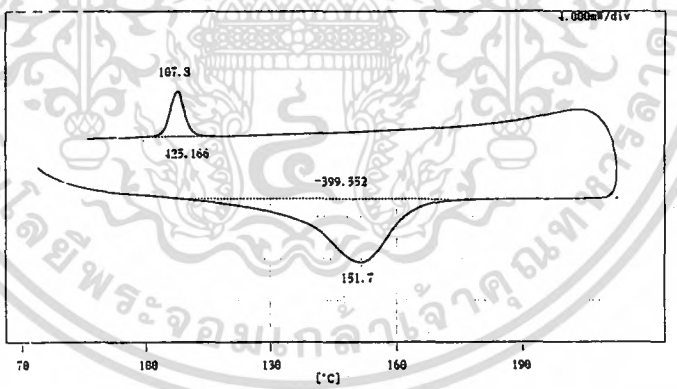


[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	159.7	-12.0321
2	117.8	5.1039

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	165.9	125.7	466.178
2	181.8	123.7	-474.259

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ไม่ผสมรงค์วัตถุ

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง



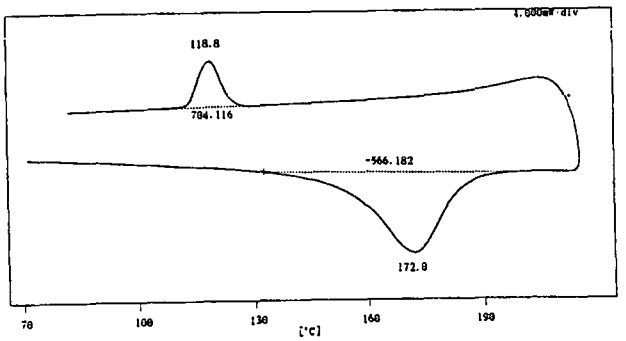
[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	151.7	-11.5056
2	107.8	5.1935

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	99.4	118.3	425.166
2	183.4	168.2	-399.532

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มไม่ผสมรงค์วัตถุ

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง

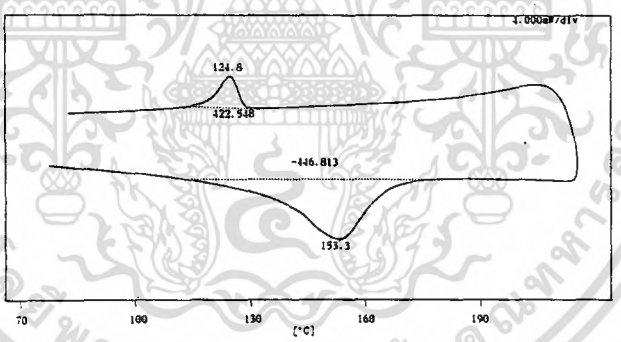
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	172	-15.615
2	118.8	6.888

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	106.8	129.1	704.116
2	197.9	132.5	-566.182

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)

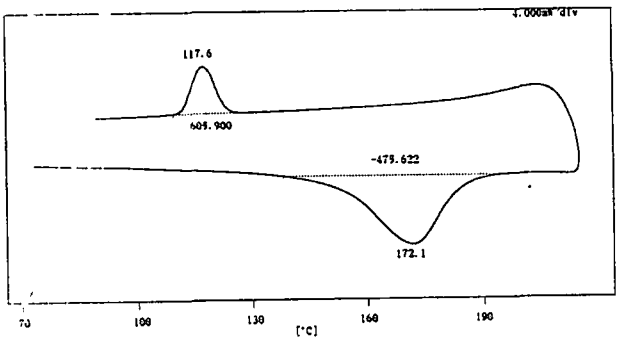


[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	153.3	-13.5254
2	124.8	4.694

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	112.7	133.8	422.548
2	179	113.1	-446.813

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)

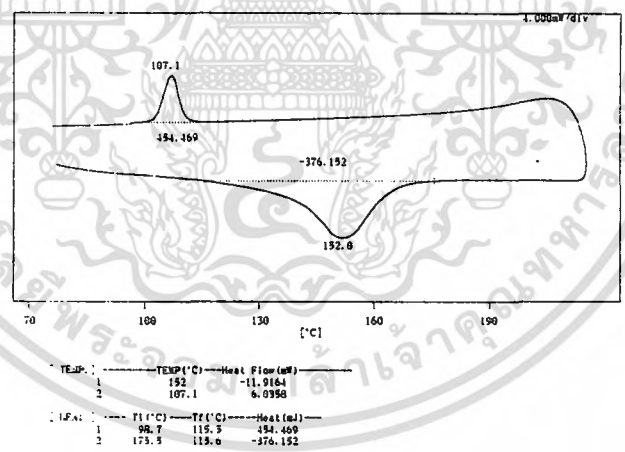
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TEMP.		TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
	1	172.1	-13.9648
	2	117.6	6.1276

AREA		T1(°C)	T2(°C)	Heat(mJ)
	1	109.5	127.5	605.9
	2	195.5	138.1	-475.622

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง

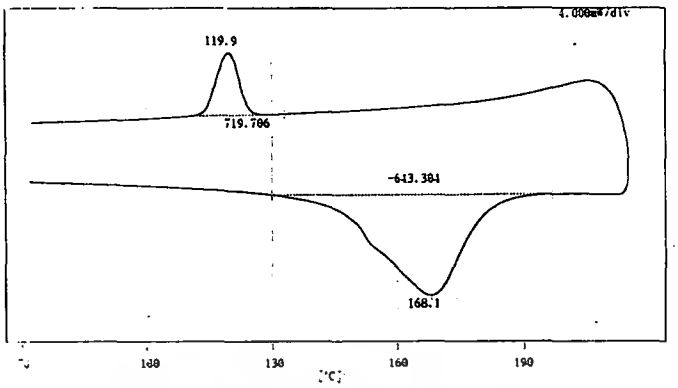


TEMP.		TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
	1	152	-11.9164
	2	107.1	6.0358

AREA		T1(°C)	T2(°C)	Heat(mJ)
	1	98.7	115.5	454.469
	2	175.5	119.6	-376.152

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง

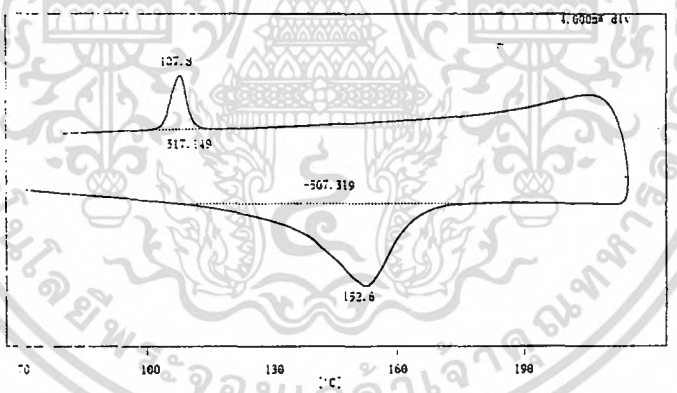
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TEMP	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	168.1	-16.2042
2	119.9	7.2578

HEAT	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	116.5	133.1	719.706
2	196.9	129.9	-643.304

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง

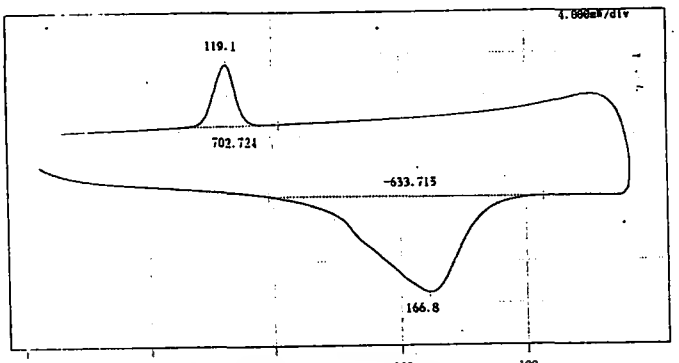


TEMP	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	152.6	-14.1789
2	127.8	6.6696

HEAT	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	100.7	117	517.149
2	177.4	137.4	-507.319

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง

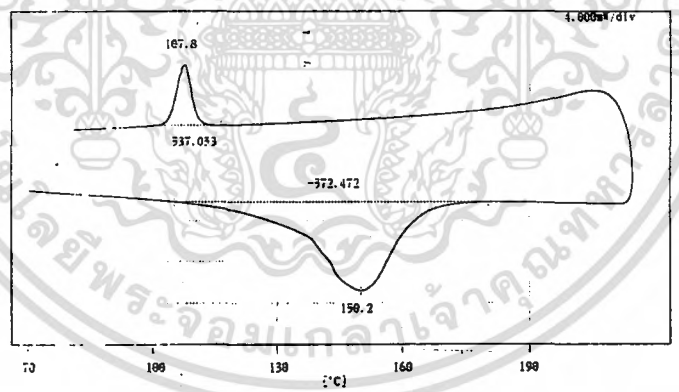
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TEMP.	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	166.8	-15.0609
2	119.1	6.9867

HEAT	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	107.5	131.5	702.724
2	194.2	128.9	-633.715

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง

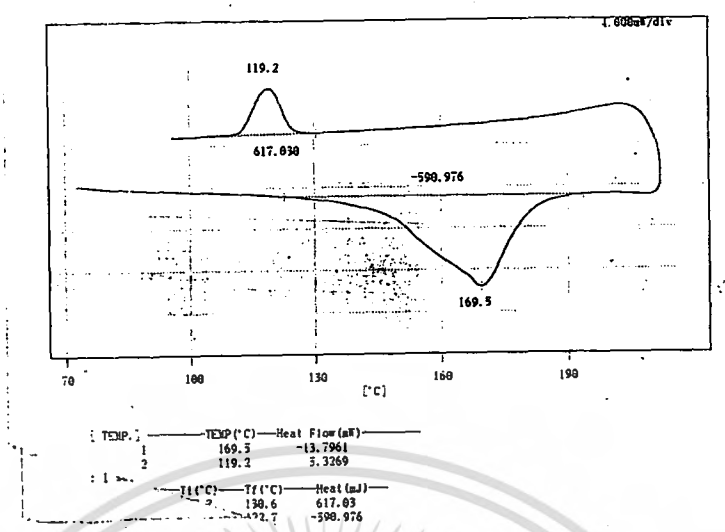


TEMP.	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	150.2	-14.9888
2	167.8	6.6192

HEAT	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	190.9	116.5	537.053
2	180.2	105.4	-372.472

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง

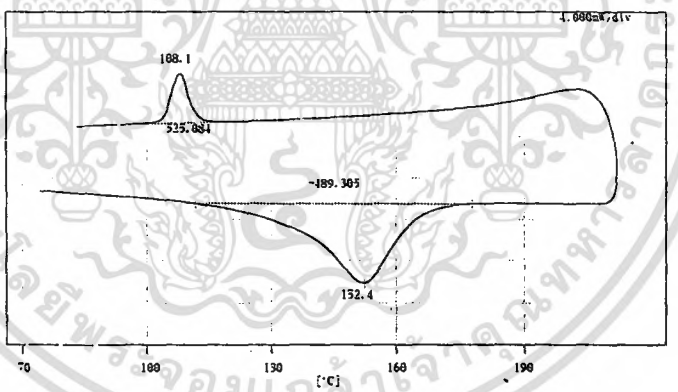
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TEMP.	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	169.5	-13.7961
2	119.2	3.3269

	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
2	130.6		617.03
	192.7		-598.976

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง

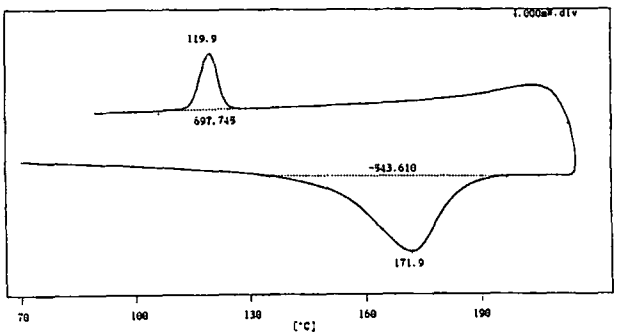


TEMP.	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	132.4	-14.9549
2	108.1	5.3675

HEAT	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	97.9	119	525.684
2	177.8	111.7	-489.305

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์
ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

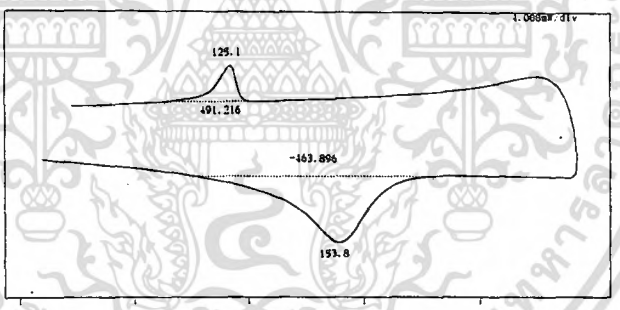


[TEMP.] ----------TEMP(°C)---Heat Flow(mW)----------
1 171.9 -19.1568
2 119.9 7.1339

[HEAT] ------Ti(°C)------Tf(°C)------Heat(mJ)---
1 106.5 132.1 697.745
2 196.7 135.1 -543.61

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)



[TEMP.] ----------TEMP(°C)---Heat Flow(mW)----------
1 153.8 -14.6592
2 125.1 5.2164

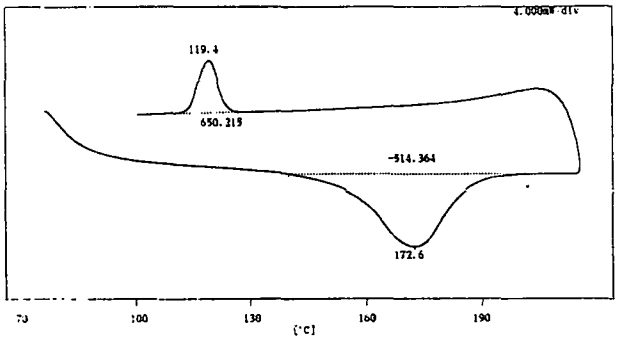
[HEAT] ------Ti(°C)------Tf(°C)------Heat(mJ)---
1 107.8 135.3 491.216
2 177.9 115.3 -463.896

165

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)

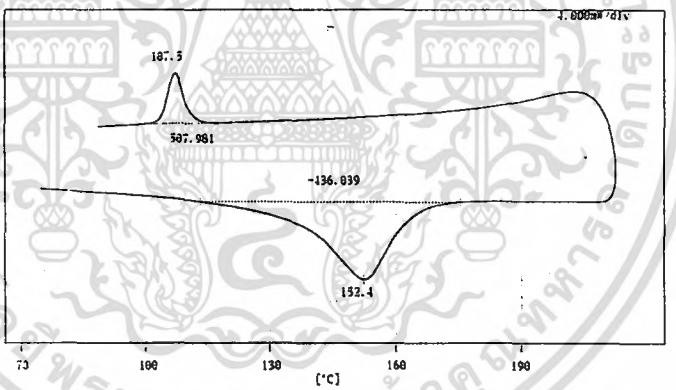
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TEMP.		TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
	1	172.6	-13.9967
	2	119.4	6.9082

HEAT		T1(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
	1	109	132.2	650.215
	2	201.1	139.8	-514.364

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง

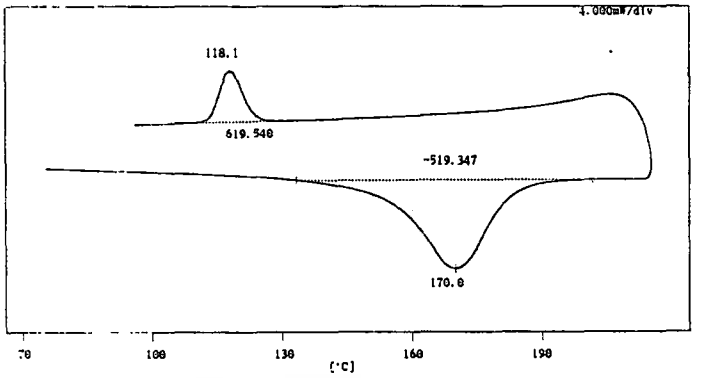


TEMP.		TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
	1	152.4	-14.0512
	2	187.5	5.8387

HEAT		T1(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
	1	99.7	120.8	507.981
	2	175.4	113.5	-436.039

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



[TEMP.] ----------TEMP(°C)---Heat Flow(mW)----------

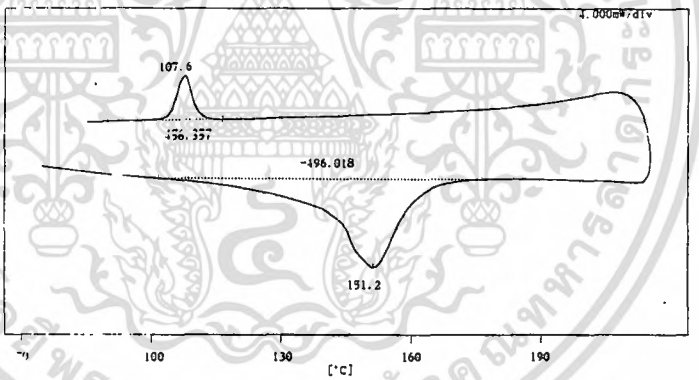
1	170	-13.6289
2	118.1	5.8358

[HEAT] -----Ti(°C)----Tf(°C)-----Heat(mJ)---

1	108.8	133.6	619.54
2	201.4	133.3	-519.347

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง



[TEMP.] ----------TEMP(°C)---Heat Flow(mW)----------

1	151.2	-13.6806
2	107.6	5.0788

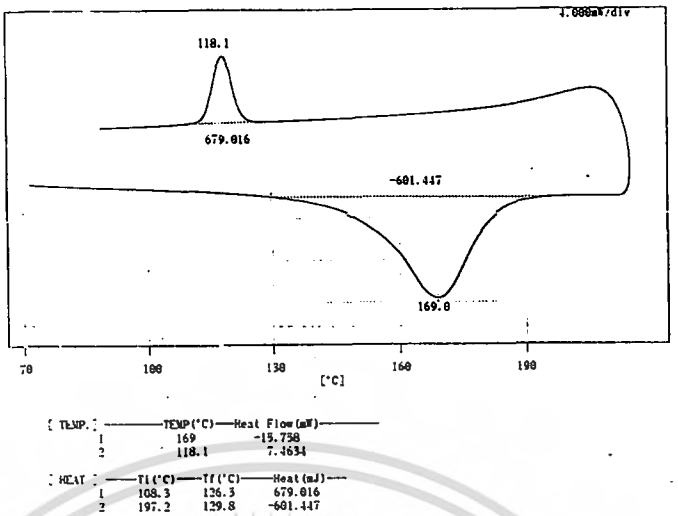
[HEAT] -----Ti(°C)----Tf(°C)-----Heat(mJ)---

1	97.9	116.5	456.357
2	176.4	101.6	-496.018

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

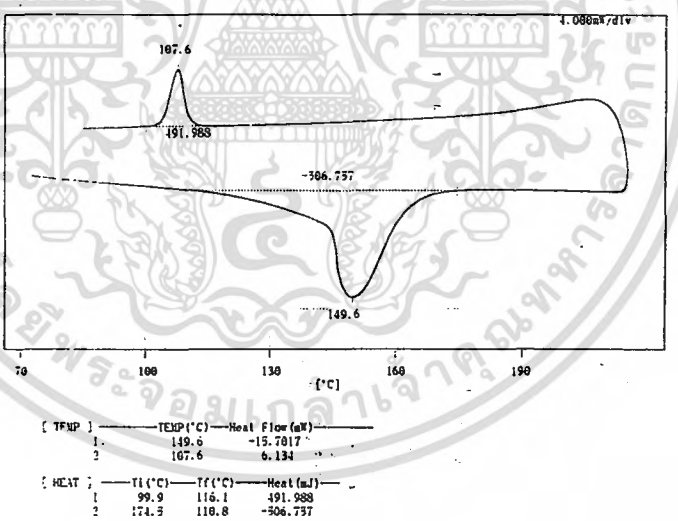


TEMP.		TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
	1	169	-15.758
	2	118.1	7.4634

HEAT		Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
	1	108.3	126.3	679.016
	2	197.2	129.8	-601.447

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง



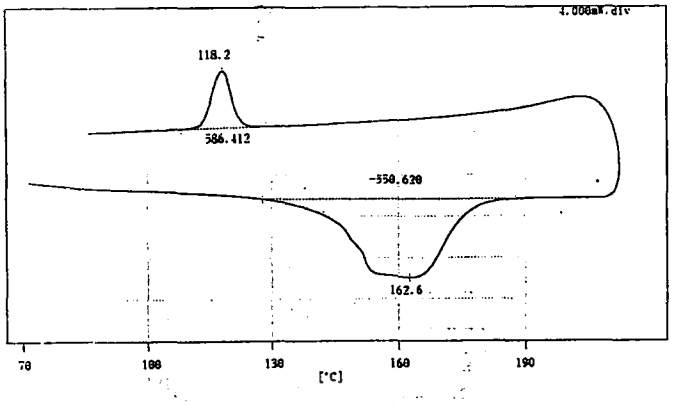
TEMP		TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
	1	149.6	-15.7017
	2	167.6	6.134

HEAT		Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
	1	99.9	116.1	491.988
	2	174.9	110.8	-306.737

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

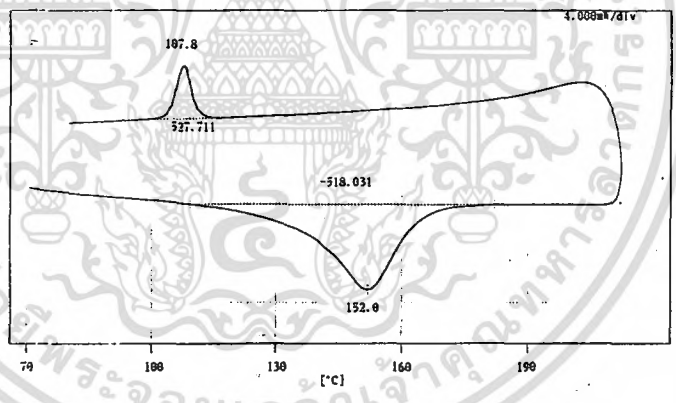


TEMP.	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	162.6	-13.5068
2	118.2	6.3786

HEAT	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	108.1	128.9	586.412
2	187.6	127.8	-550.62

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง



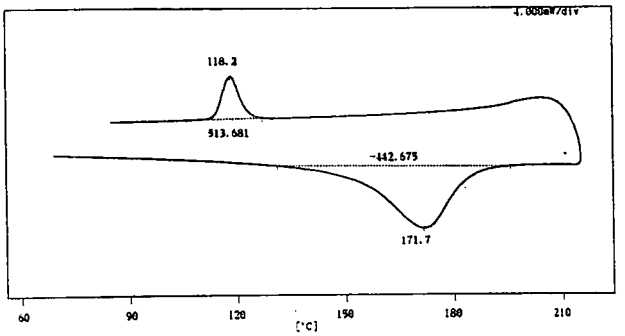
TEMP.	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	152	-15.4492
2	187.8	6.1693

HEAT	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	97.8	119	527.711
2	182	189.2	-518.031

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

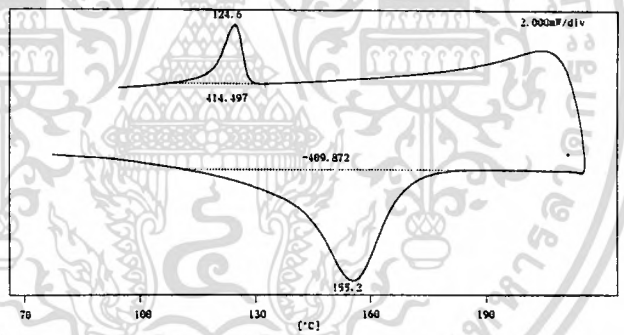


[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	171.7	-11.6892
2	118.2	5.2922

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	105.9	127.1	513.681
2	131.3	155.6	-442.675

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)



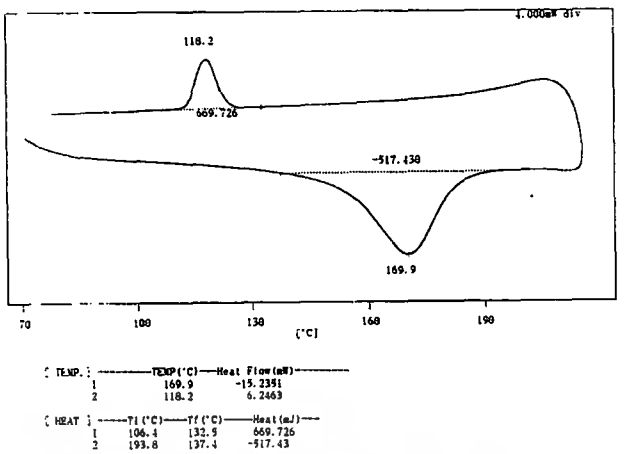
[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	155.2	-10.4109
2	124.6	3.9787

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	108.1	132.3	414.497
2	184.2	111.6	-409.872

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

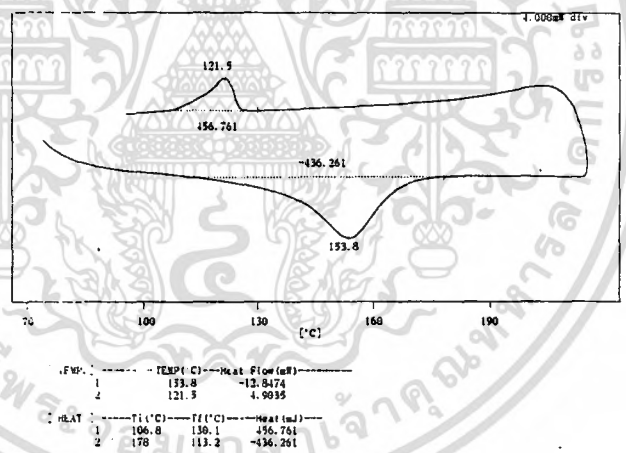


[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	169.9	-15.2351
2	118.2	6.2463

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	106.4	132.5	669.726
2	193.8	137.4	-517.43

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง



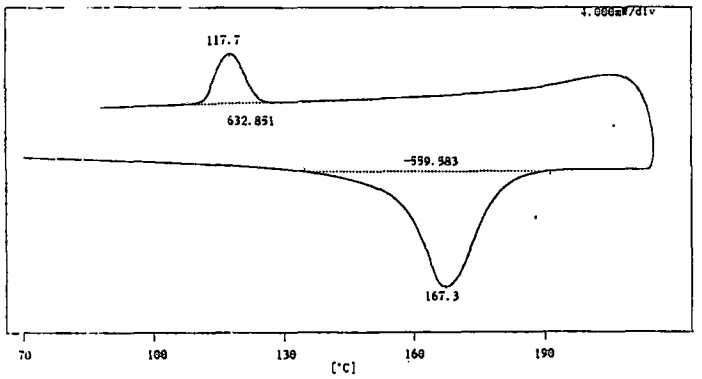
[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	153.8	-13.8474
2	121.5	4.9035

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	106.8	130.1	456.761
2	178	113.2	-436.261

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



[TEMP.] ----------TEMP(°C)---Heat Flow(mW)----------

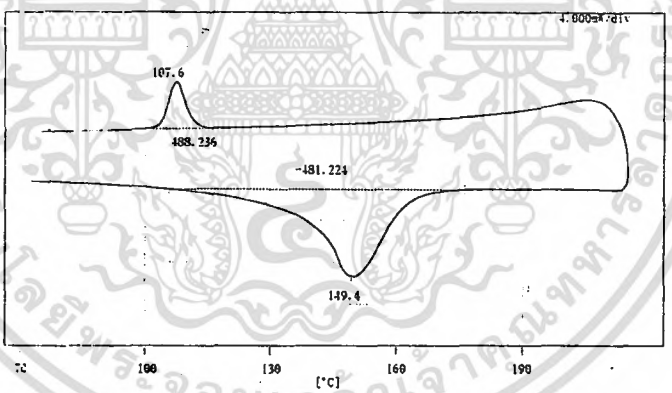
1	167.3	-17.1371
2	117.7	5.9595

[HEAT] -----Ti(°C)----Tf(°C)-----Heat(mJ)---

1	108	134.6	632.851
2	191.2	134.8	-559.583

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง



[TEMP.] ----------TEMP(°C)---Heat Flow(mW)----------

1	149.4	-13.4714
2	107.6	5.2214

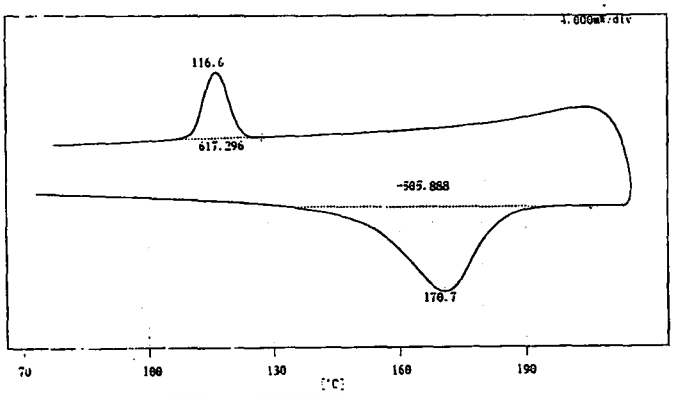
[HEAT] -----Ti(°C)----Tf(°C)-----Heat(mJ)---

1	97.4	122.1	488.236
2	176.3	165.8	-481.224

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

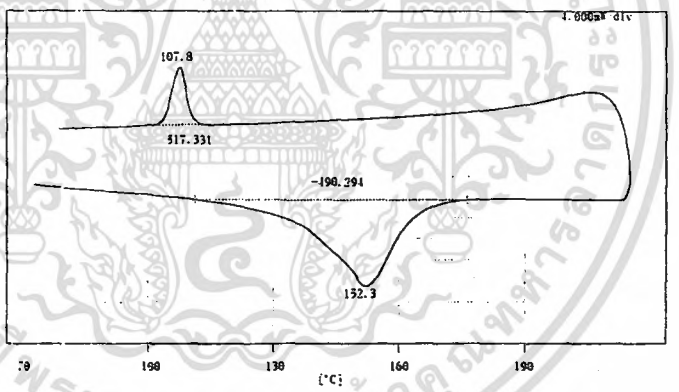


[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	170.7	-13.6435
2	116.6	7.4916

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	106.3	127.5	617.296
2	134.5	133.3	-505.838

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง



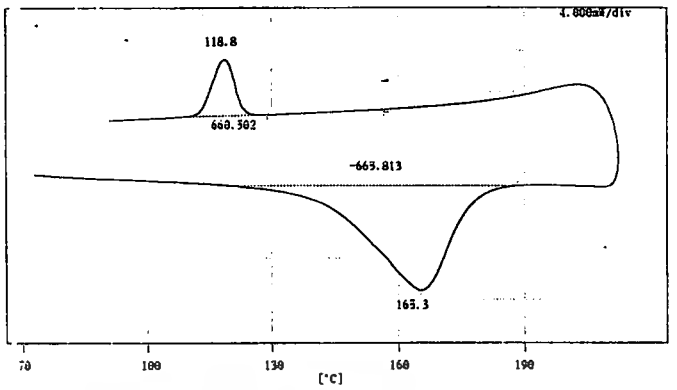
[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	132.3	-14.607
2	107.8	6.3388

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	98.9	114.4	517.331
2	176.1	111.4	-190.294

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



[TEXP.]

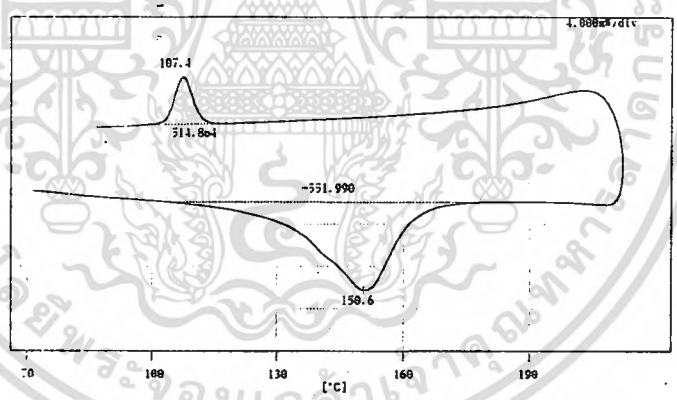
	TEXP(°C)	Heat Flow(mW)
1	165.3	-15.8096
2	118.8	6.4437

[HEAT]

	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	109	129	668.502
2	188.3	119.4	-665.813

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง



[TEXP.]

	TEXP(°C)	Heat Flow(mW)
1	150.6	-14.9399
2	107.4	5.5158

[HEAT]

	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	99.1	117.3	514.864
2	178.2	183.3	-551.99

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค : กราฟความเค้น - ความเครียด จากเครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R-555				R-6331			
exposure time (hr.)	No.	properties		exposure time (hr.)	No.	properties	
		stress at break (kgf/ mm)	%E at break (%)			stress at break (kgf/ mm)	%E at break stress at break
0	1	2.939	648.4	0	1	3.872	817.8
	2	2.754	687.1		2	4.103	673.5
	3	2.955	665.6		3	4.075	779.2
	4	3.107	596.7		4	3.658	821.7
	5	2.893	672.3		5	3.689	807.6
	mean	2.922	652.8		mean	3.879	780
500	1	2.534	12.1	500	1	2.902	5.496
	2	2.391	10.78		2	3.181	8.127
	3	2.525	10.88		3	3.275	5.834
	4	2.811	10.06		4	2.912	5.033
	5	2.589	10.98		5	3.087	6.693
	mean	2.57	10.96		mean	3.071	6.237
1000	1	1.82	4.75	1000	1	2.537	4.042
	2	1.661	5.032		2	2.639	5.086
	3	1.731	4.369		3	2.018	3.471
	4	1.79	4.74		4	2.297	5.195
	5	1.693	4.528		5	2.301	4.929
	mean	1.739	4.684		mean	2.36	4.545
1500	1	1.279	3.973	1500	1	2.647	4.759
	2	1.612	4.149		2	1.089	3.926
	3	1.256	3.97		3	2.302	5.229
	4	1.485	4.397		4	2.86	4.265
	5	1.415	4.222		5	1.695	4.064
	mean	1.409	4.142		mean	2.119	4.449
2000	1	1.016	3.26	2000	1	1.372	2.48
	2	10117	1.794		2	1.552	2.169
	3	1.249	3.538		3	0.879	1.557
	4	0.964	2.731		4	0.707	2.373
	5	0.651	1.604		5	0.724	1.497
	mean	0.999	2.585		mean	1.047	2.015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W-555				W-6331			
exposure time	No.	properties		exposure time	No.	properties	
(hr.)		stress at break	%E at break	(hr.)		stress at break	%E at break
		(kgf/ mm)	(%)			(kgf/ mm)	(%)
0	1	2.929	581.3	0	1	2.715	536.4
	2	2.896	603.4		2	2.81	540.1
	3	2.835	562.5		3	2.676	505.1
	4	3.107	611.2		4	2.862	571.6
	5	2.876	549.1		5	2.637	542.5
	mean	2.911	581.5		mean	2.74	539.1
500	1	2.619	7.166	500	1	2.89	9.804
	2	2.618	6.876		2	3.05	9.387
	3	2.357	6.468		3	2.842	8.411
	4	2.046	4.038		4	2.605	5.76
	5	2.54	9.647		5	3.01	6.48
	mean	2.436	6.839		mean	2.879	7.968
1000	1	1.635	4.457	1000	1	2.388	5.36
	2	1.78	4.546		2	2.053	4.678
	3	1.831	4.405		3	2.03	4.773
	4	1.625	4.36		4	2.458	5.067
	5	1.577	4.837		5	2.263	4.937
	mean	1.69	4.521		mean	2.238	4.963
1500	1	1.874	3.408	1500	1	1.941	4.037
	2	1.825	5.008		2	2.676	5.14
	3	1.935	2.93		3	2.029	5.107
	4	1.915	4.937		4	2.096	4.85
	5	1.842	2.627		5	2.107	4.813
	mean	1.879	3.782		mean	2.17	4.789
2000	1	1.192	3.229	2000	1	1.891	4.719
	2	1.194	2.737		2	1.87	3.669
	3	1.258	3.755		3	1.86	4.099
	4	1.239	3.079		4	1.604	4.186
	5	1.307	2.799		5	1.726	5.127
	mean	1.238	3.12		mean	1.79	4.36

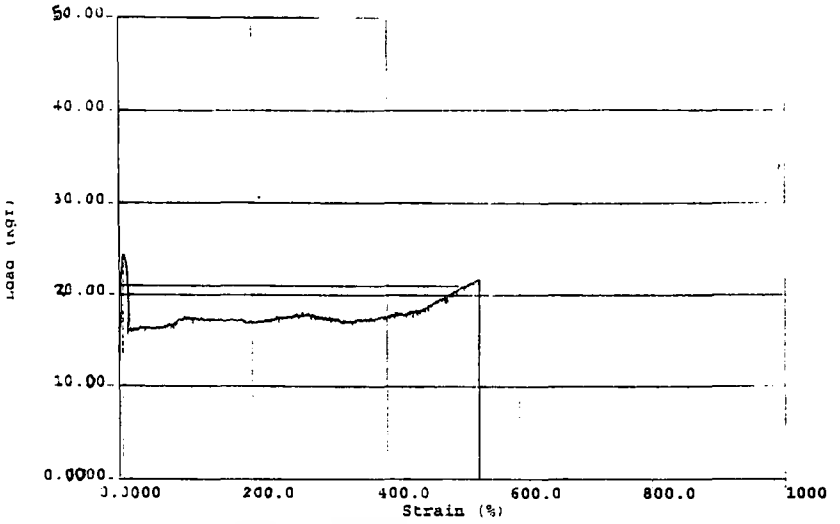
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B-555				B-6331			
exposure time (hr.)	No.	properties		exposure time (hr.)	No.	properties	
		stress at break (kgf/ mm)	%E at break (%)			stress at break (kgf/ mm)	%E at break (%)
0	1	3.032	668.9	0	1	2.675	480
	2	3.291	702.3		2	2.816	457.8
	3	3.438	698.7		3	3.807	465.1
	4	3.016	639.2		4	2.593	521.3
	5	3.197	711.4		5	2.67	546.2
	mean	3.195	683.7		mean	2.712	494.1
500	1	2.73	6.521	500	1	3.257	5.975
	2	2.619	7.029		2	3.352	6.353
	3	2.702	7.858		3	3.326	6.555
	4	2.627	6.018		4	3.307	7.192
	5	2.619	5.878		5	3.354	6.346
	mean	2.659	6.661		mean	3.319	6.484
1000	1	2.115	4.149	1000	1	1.982	3.226
	2	1.846	4.248		2	1.695	3.742
	3	1.605	4.479		3	1.627	3.333
	4	1.836	4.053		4	1.633	3.699
	5	1.711	4.885		5	2.382	3.488
	mean	1.823	4.363		mean	1.853	3.498
1500	1	1.545	3.648	1500	1	1.425	3.568
	2	1.68	3.819		2	1.571	4.47
	3	1.8	4.431		3	1.728	3.232
	4	1.575	4.482		4	1.577	2.919
	5	1.459	4.485		5	1.572	2.904
	mean	1.612	4.173		mean	1.575	3.465
2000	1	0.9125	3.669	2000	1	1.152	2.117
	2	1.178	3.148		2	0.9523	1.692
	3	0.8938	2.861		3	0.7353	1.712
	4	1.424	3.771		4	1.351	5.316
	5	0.9821	2.18		5	1.411	4.322
	mean	1.077	3.106		mean	1.12	3.032

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N-555				N-6331			
exposure time (hr.)	No.	properties		exposure time (hr.)	No.	properties	
		stress at break (kgf/ mm)	%E at break (%)			stress at break (kgf/ mm)	%E at break (%)
0	1	3.607	777.8	0	1	3.000	541.2
	2	2.489	573.4		2	3.075	574.4
	3	2.848	632.2		3	2.964	516.0
	4	3.101	659.8		4	2.877	544.1
	5	2.859	598.8		5	3.071	583.2
	mean	2.980	648.4		mean	2.997	551.8
500	1	2.729	6.967	500	1	2.963	7.364
	2	2.619	11.13		2	2.919	6.215
	3	2.713	8.961		3	2.867	6.972
	4	2.698	10.224		4	2.829	8.157
	5	2.674	7.525		5	2.948	7.130
	mean	2.687	8.901		mean	2.905	7.159
1000	1	1.303	2.611	1000	1	1.212	2.169
	2	1.381	3.192		2	1.400	2.401
	3	1.293	2.493		3	1.312	2.554
	4	1.834	3.557		4	1.537	2.528
	5	1.560	2.783		5	1.297	2.418
	mean	1.474	2.927		mean	1.352	2.414
1500	1	1.331	2.923	1500	1	1.636	1.901
	2	1.089	3.047		2	0.547	1.873
	3	1.502	2.894		3	0.652	2.005
	4	1.325	3.166		4	0.721	1.984
	5	1.687	1.761		5	0.642	1.892
	mean	1.387	2.758		mean	0.64	1.931
2000	1	0.651	1.133	2000	1	1.503	1.275
	2	1.000	2.051		2	1.542	1.527
	3	1.167	2.215		3	1.855	1.336
	4	1.000	1.347		4	1.241	1.241
	5	1.000	1.707		5	1.759	1.358
	mean	0.964	1.691		mean	1.580	1.387

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

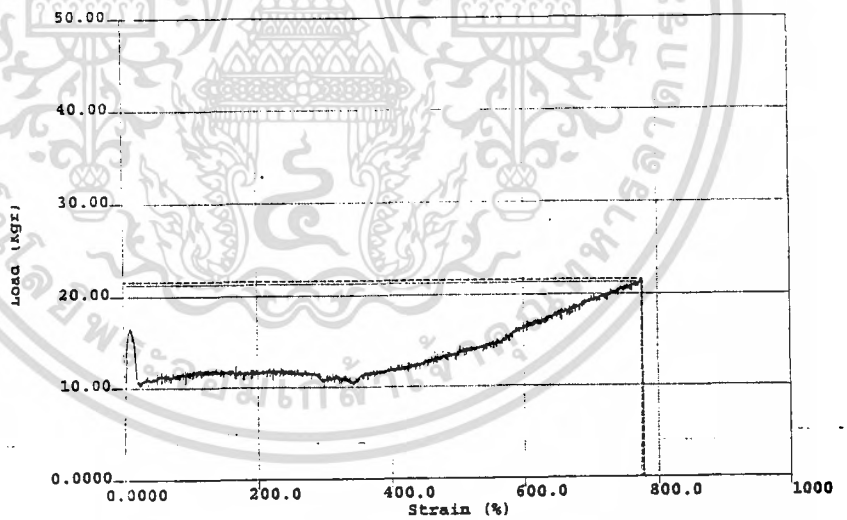


Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
24.58	3.518	3.986	7.247	20.96	3.000	297.6	541.2

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
538.3	5286	105.8	39.68	4049	33.84	6.07500	1.15000

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ไม่ผสมรงค์วัตถุ

ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)



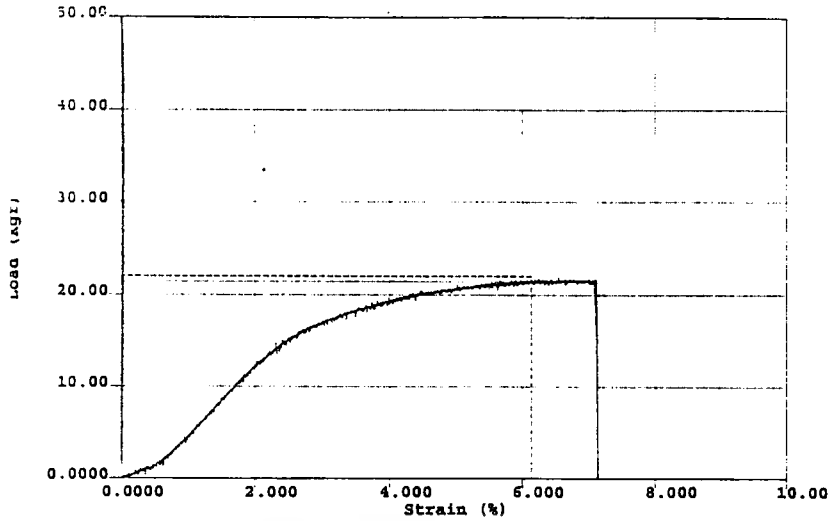
Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
21.63	3.666	426.6	775.7	21.28	3.607	427.8	777.8

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
773.0	5886	75.12	35.95	3669	35.37	5.90000	1.00000

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มไม่ผสมรงค์วัตถุ

ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

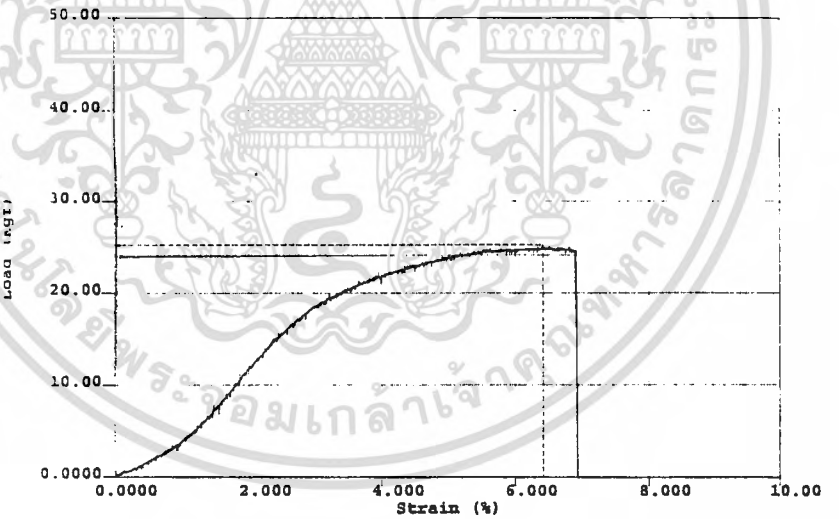


Fm	Rm	Ext @ Break	At	Work Done	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	mm
22.01	3.221	4.727	7.130	72.10	33.04	35.53	6.07500

Sample Thick'
mm
1.12500

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ไม่ผสมรงค์วัตถุ

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง



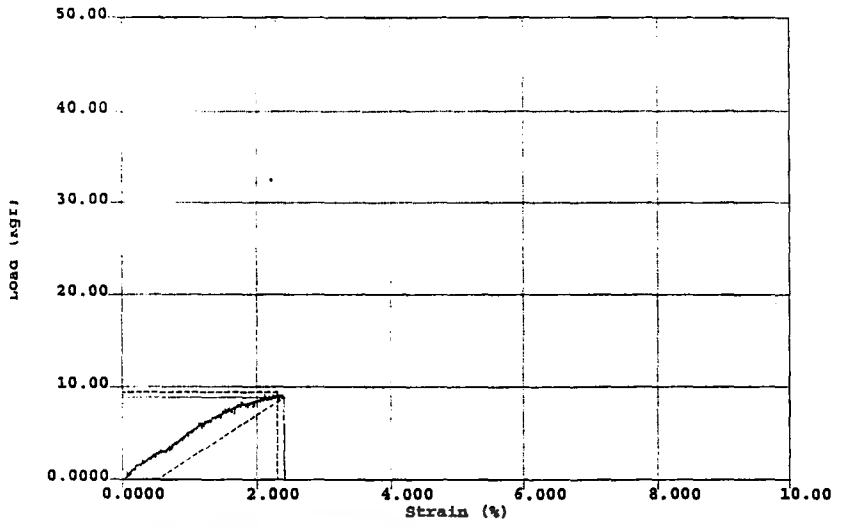
Fm	Rm	Ext @ Break	At	Work Done	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	mm
25.27	3.013	4.586	6.927	76.41	44.48	40.63	6.10000

Sample Thick'
mm
1.37500

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มไม่ผสมรงค์วัตถุ

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

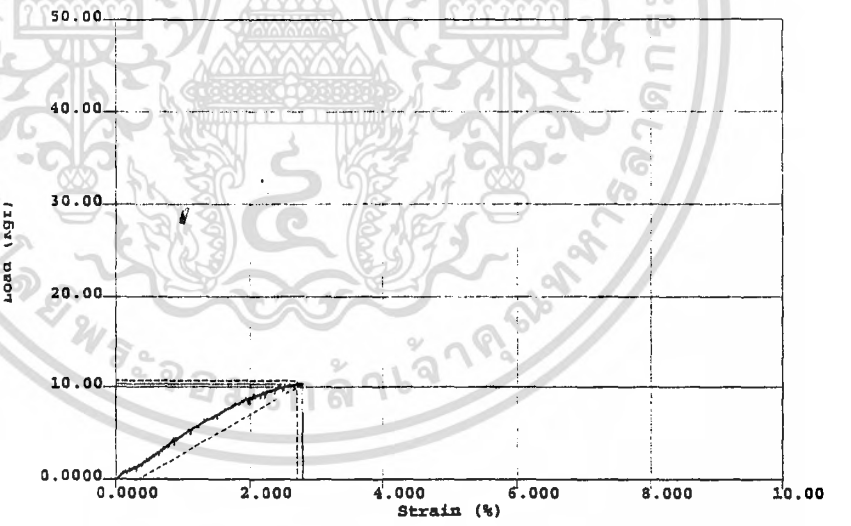


Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
9.465	1.492	1.267	2.303	8.882	1.400	1.320	2.401

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
0.5139	7.278	74.22	15.73	1605	14.76	5.90000	1.07500

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ไม่ผสมรงค์วัตถุ

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง



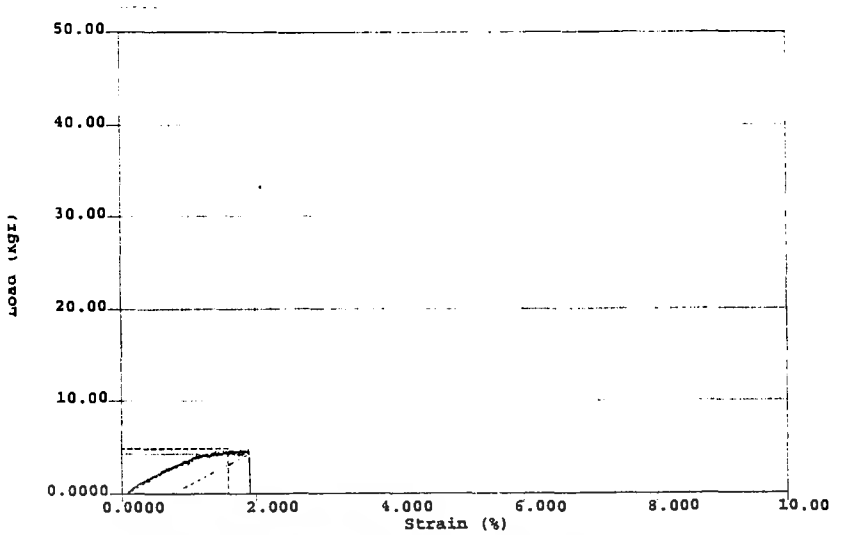
Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
10.69	1.613	1.487	2.704	10.34	1.560	1.531	2.783

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
0.3391	9.311	63.84	17.40	1775	16.83	6.02500	1.10000

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มไม่ผสมรงค์วัตถุ

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

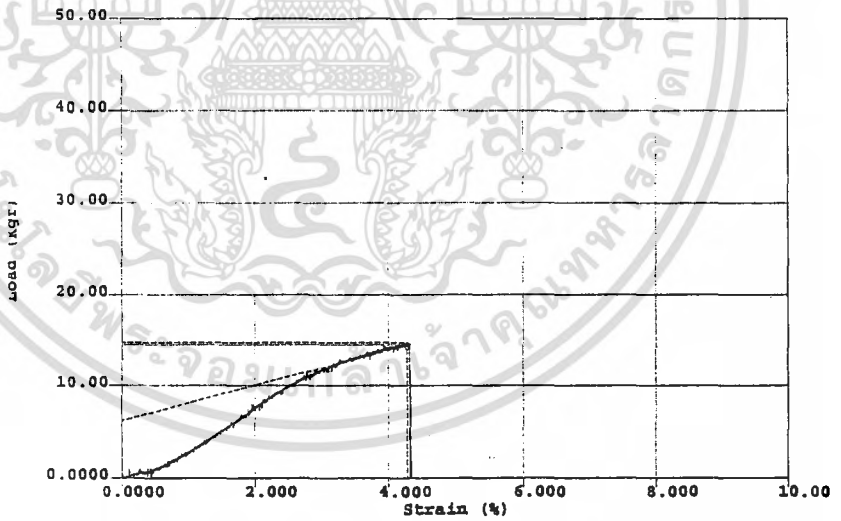


Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
4.934	0.7220	0.8734	1.588	4.351	0.6366	1.045	1.901

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length @ Break	Strength	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
0.7434	3.172	55.00	7.965	812.8	7.023	6.07500	1.12500

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ไม่ผสมรงค์วัตถุ

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง



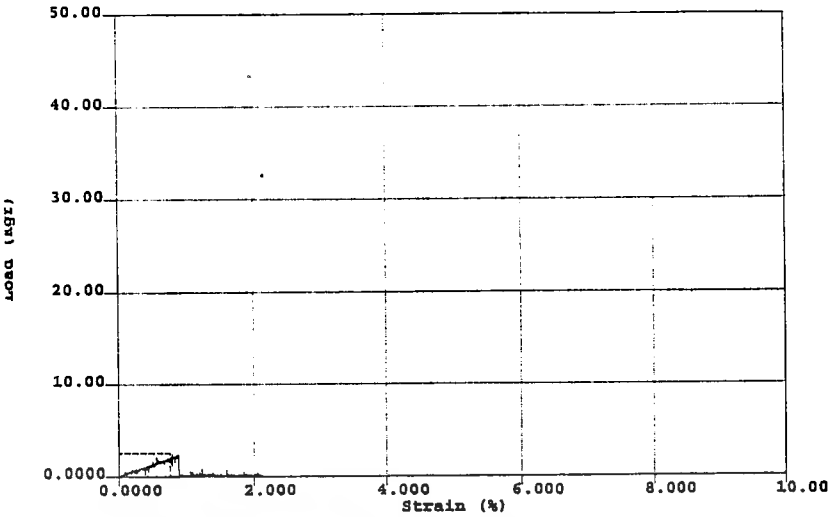
Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
14.74	2.118	2.353	4.279	14.50	2.084	2.373	4.315

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length @ Break	Strength	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
-3.259	18.51	27.52	23.89	2437	23.51	6.05000	1.15000

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มไม่ผสมรงค์วัตถุ

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

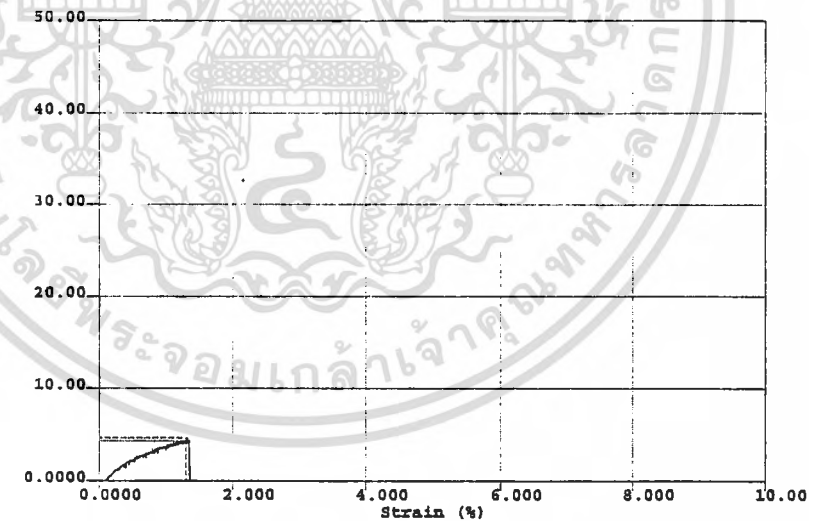


Fm	Rm	Ext @ Break	At	Work Done	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	mm
2.475	0.3496	0.0000	0.0000	0.5932	36.58	4.028	6.02500

Sample Thick'
mm
1.17500

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ไม่ผสมรงค์วัตถุ

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง



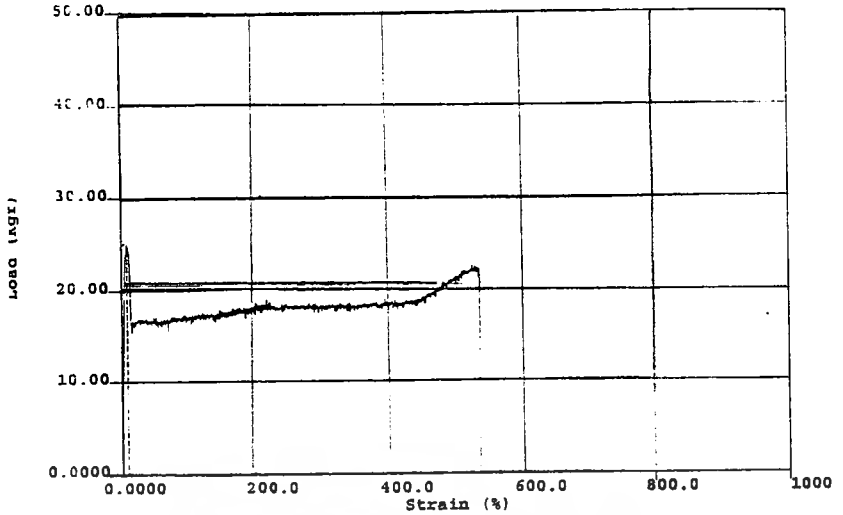
Fm	Rm	Ext @ Break	At	Work Done	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	mm
4.643	0.6646	0.7410	1.347	1.882	67.68	7.495	6.07500

Sample Thick'
mm
1.15000

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มไม่ผสมรงค์วัตถุ

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง

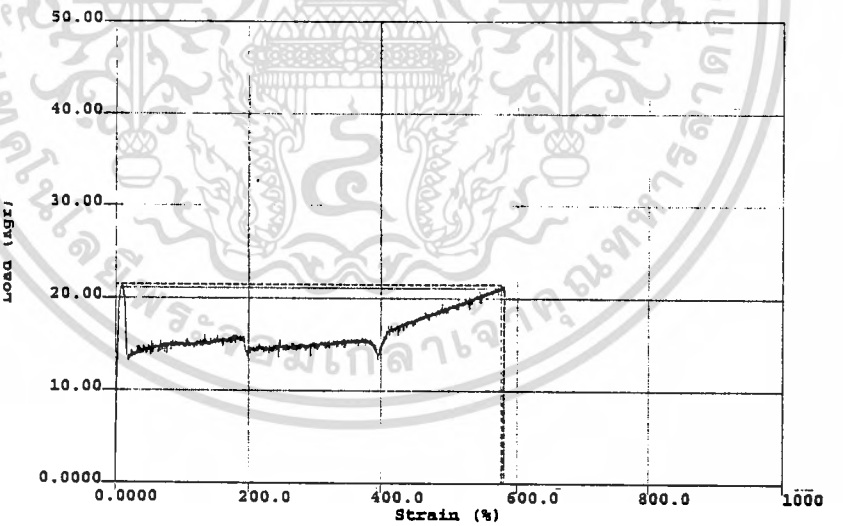
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
25.05	3.293	4.412	8.022	20.62	2.715	295.0	536.4

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
533.7	5397	100.5	40.44	4127	33.28	6.07500	1.25000

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)

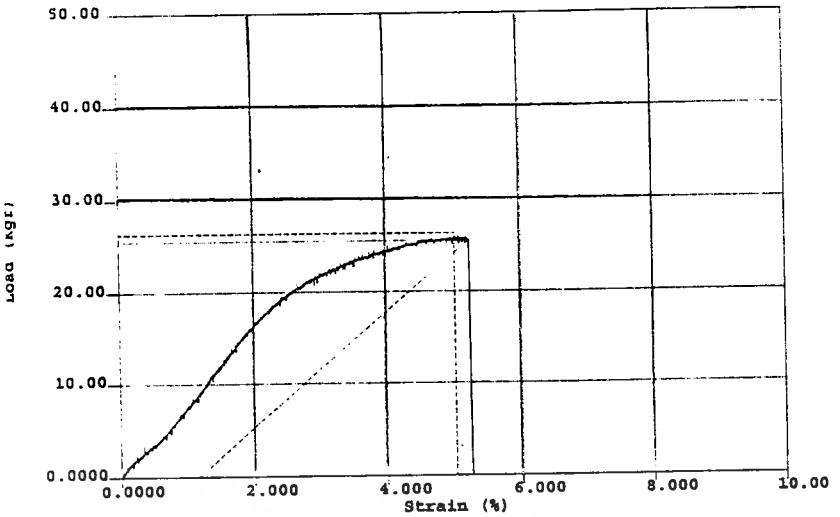


Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
21.43	2.977	316.9	576.3	21.08	2.929	319.7	581.3

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
577.8	5163	82.97	35.77	3650	35.18	5.87500	1.22500

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

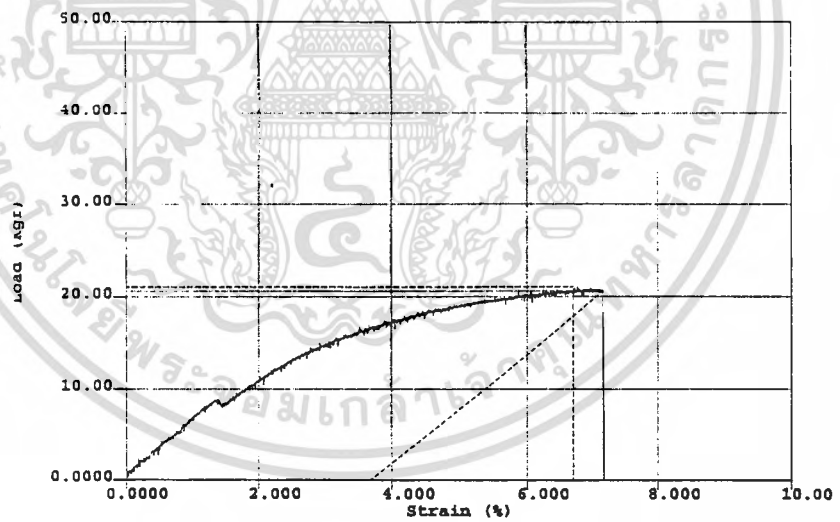


Fm	Rm	Agt	Stress @ Break	At	A	Work Done	E
kgf	kgf/mm²	%	kgf/mm²	%	%	kgf-mm	kgf/mm²
26.37	3.106	5.023	3.010	5.235	1.162	60.68	73.90

Tensile Strength	Breaking Length	Sample Width	Sample Thick'
kN/m	km	mm	mm
41.88	4274	6.17500	1.37500

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง



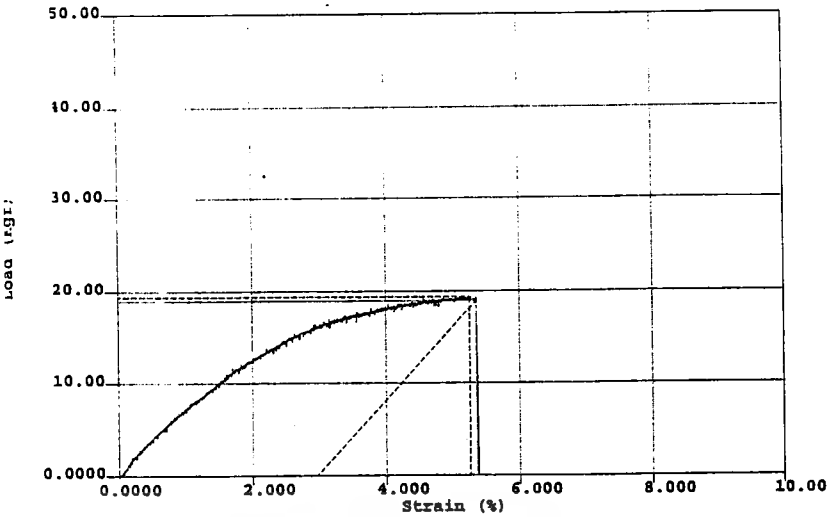
Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
21.06	2.678	3.686	6.702	20.60	2.619	3.941	7.166

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
3.673	56.83	74.98	34.14	3484	33.39	6.05000	1.30000

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

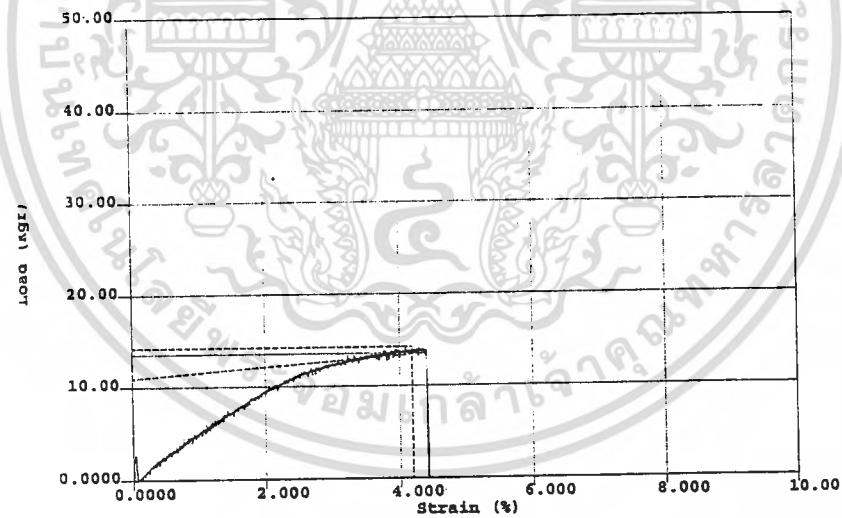


Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
19.40	2.447	2.889	5.253	18.94	2.388	2.948	5.360

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
2.965	39.06	99.74	31.19	3183	30.44	6.10000	1.30000

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง



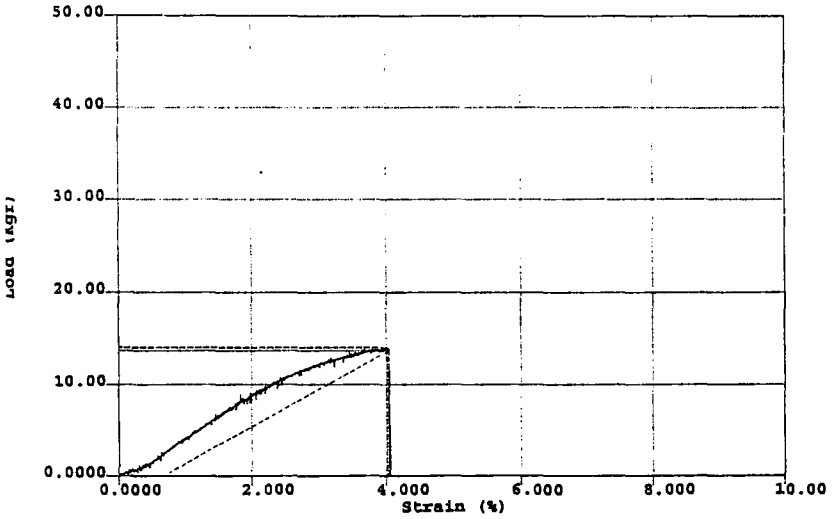
Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
14.26	1.926	2.302	4.186	13.56	1.831	2.423	4.405

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
-18.76	21.75	7.904	23.61	2409	22.45	5.92500	1.25000

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง

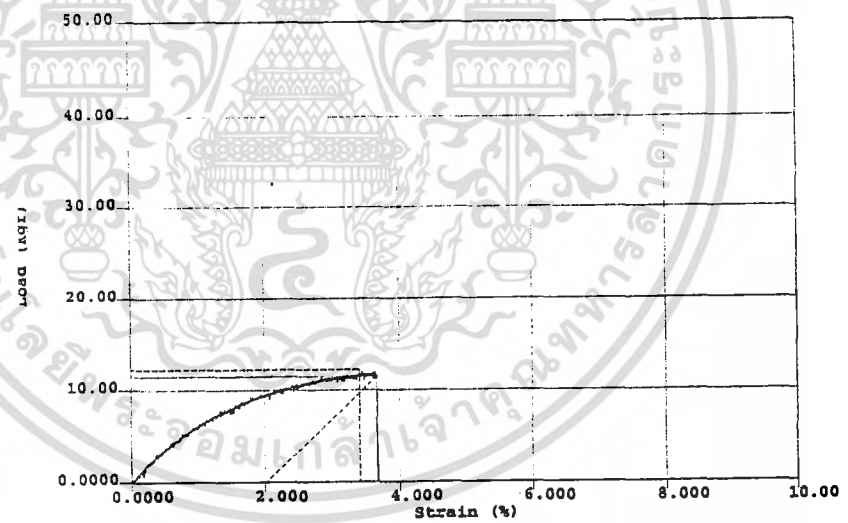
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
14.09	1.991	2.205	4.009	13.74	1.941	2.220	4.037

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
0.6766	18.02	57.77	23.43	2391	22.85	5.90000	1.20000

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง

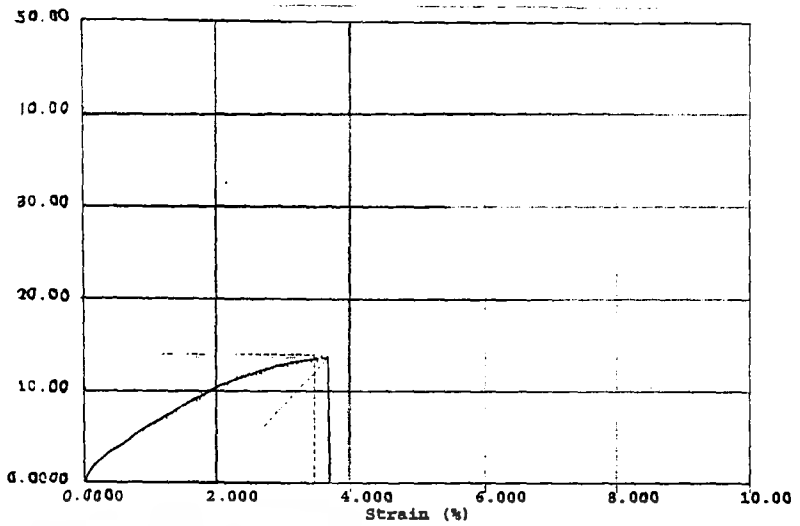


Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
12.18	1.659	1.874	3.408	11.48	1.564	2.014	3.663

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
2.015	16.14	94.92	20.34	2075	19.17	5.87500	1.25000

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง

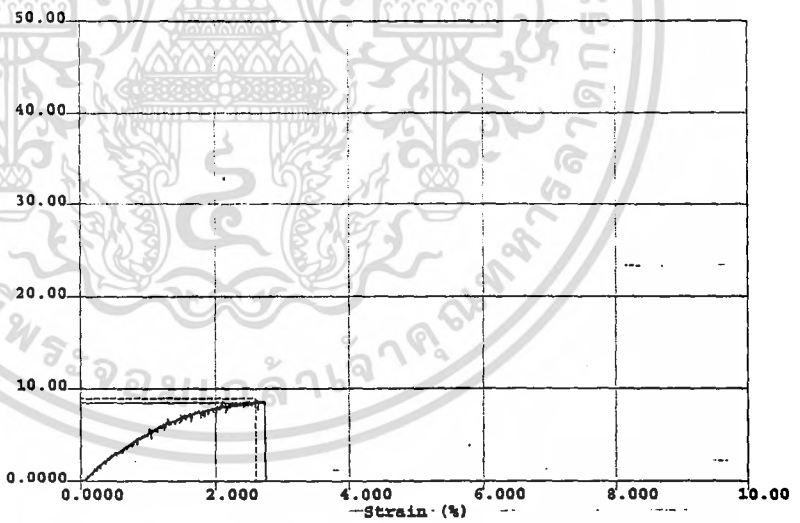
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
14.03	1.918	1.906	3.466	13.68	1.870	2.018	3.669

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
1.936	17.99	107.9	23.51	2399	22.93	5.85000	1.25000

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง

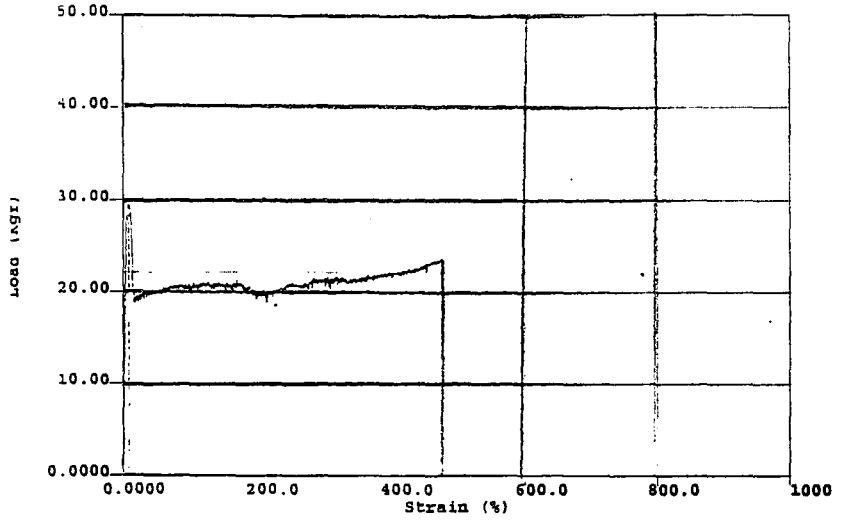


Fm	Rm	Ext @ Break	At	Work Done	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	mm
9.000	1.250	1.759	2.737	10.07	83.08	14.71	6.00000

Sample Thick'
mm
1.20000

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุทิทาเนียมไดออกไซด์ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

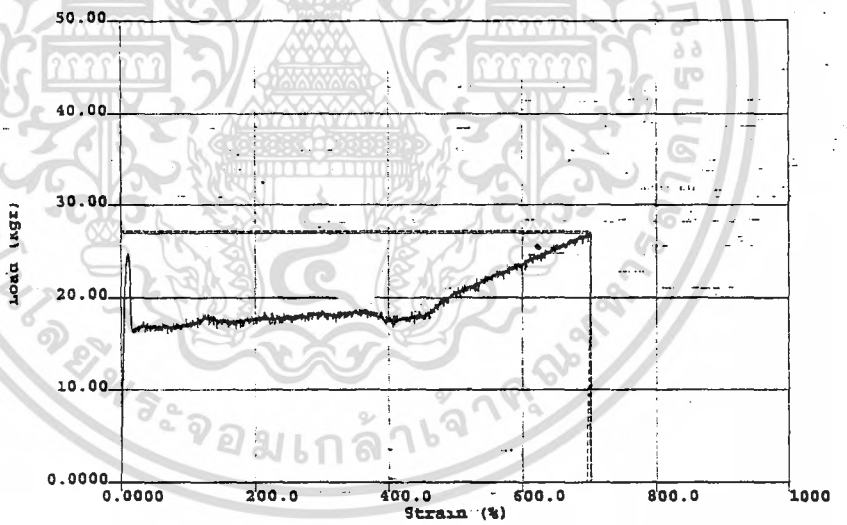


Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
29.68	3.593	4.891	8.893	22.09	2.675	264.0	480.0

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
475.7	5546	62.64	49.33	5034	36.73	5.90000	1.40000

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)



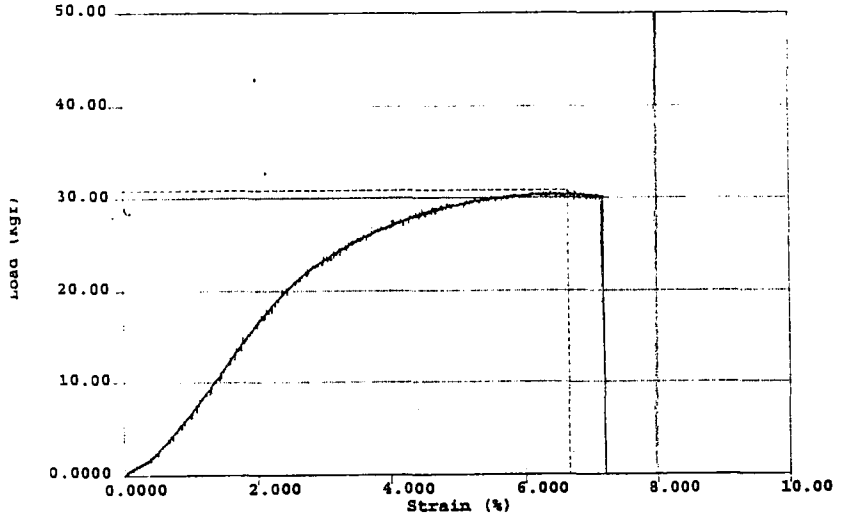
Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
27.11	3.319	385.7	701.2	26.88	3.291	386.3	702.3

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
695.8	7529	50.63	43.94	4484	43.56	6.05000	1.35000

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

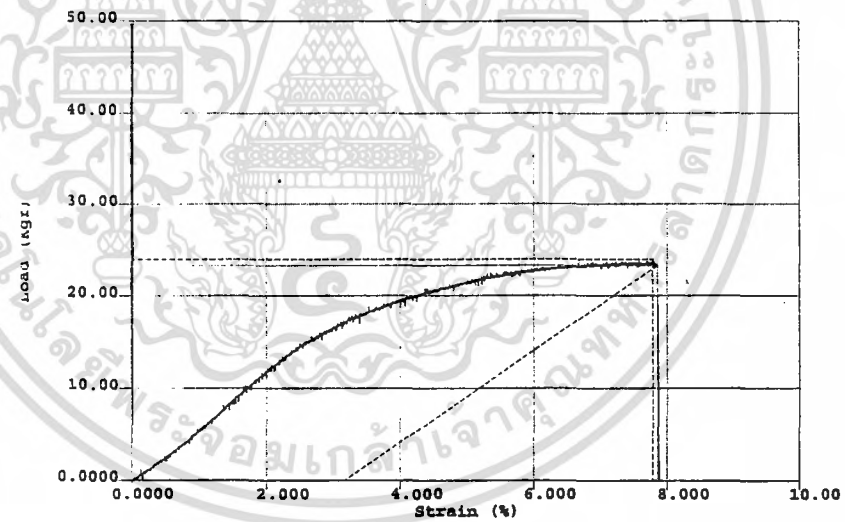


Fm	Rm	Ext @ Break	At	Work Done	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	mm
30.91	3.406	4.797	7.192	103.0	44.06	50.10	6.05000

Sample Thick'
mm
1.50000

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง



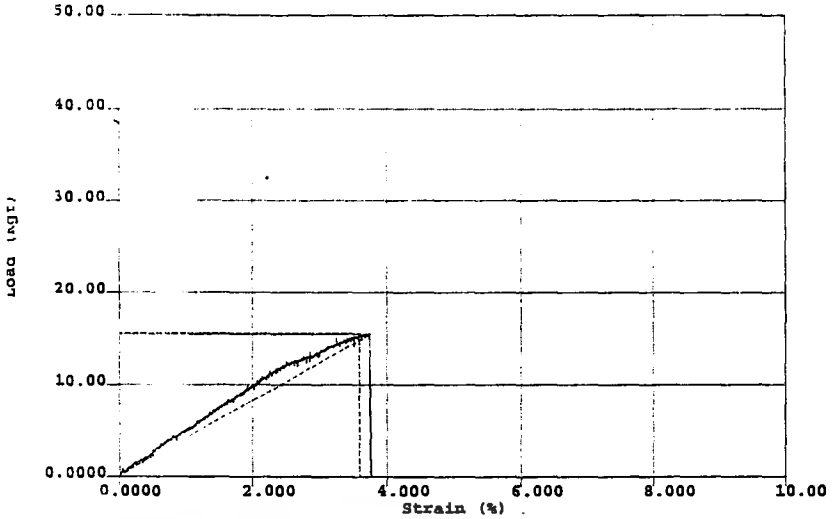
Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
23.97	2.784	4.282	7.785	23.27	2.702	4.322	7.858

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
3.153	71.20	57.44	38.22	3900	37.10	6.15000	1.40000

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

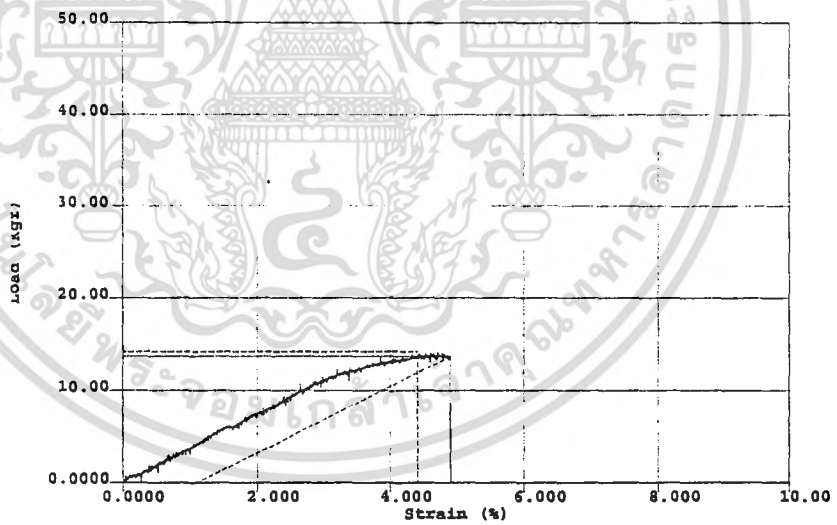


Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
15.50	1.708	1.971	3.584	15.38	1.695	2.058	3.742

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length @ Break	Strength	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
-0.0349	18.11	44.89	24.71	2521	24.52	6.15000	1.47500

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง



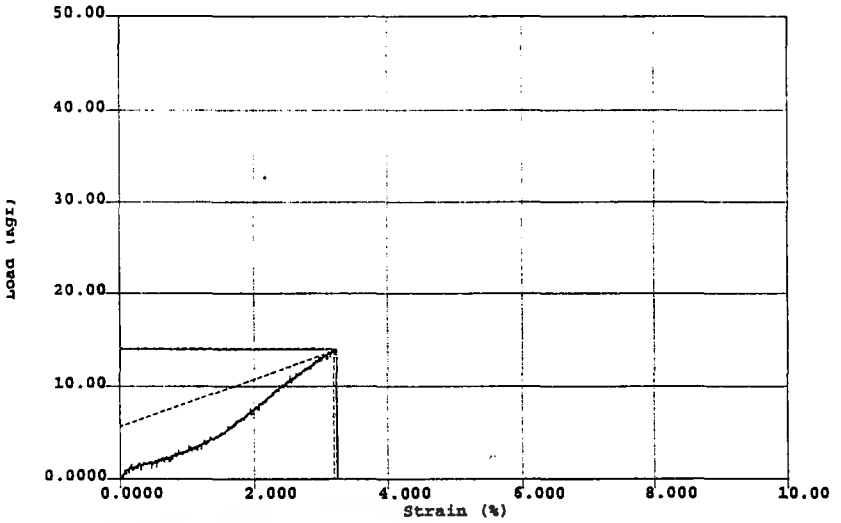
Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
14.23	1.817	2.430	4.418	13.76	1.757	2.697	4.903

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length @ Break	Strength	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
1.111	22.79	46.34	23.16	2363	22.40	6.02500	1.30000

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

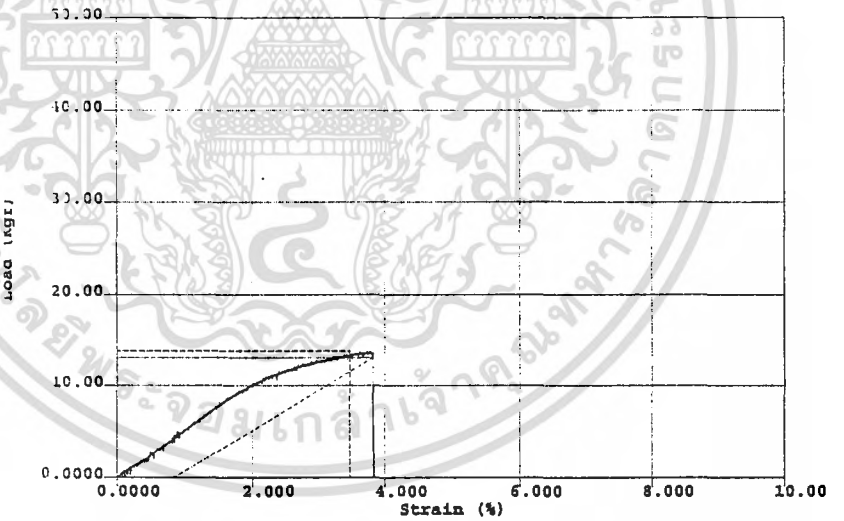


Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
14.06	1.743	1.756	3.193	13.94	1.728	1.778	3.232

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length @ Break	Strength	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
-2.197	11.25	31.84	23.07	2354	22.88	5.97500	1.35000

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง



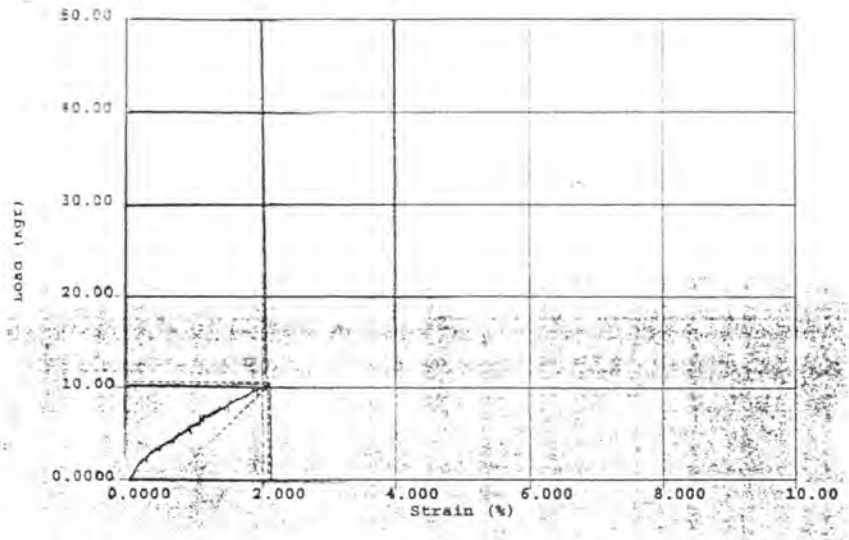
Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
13.82	1.772	1.909	3.470	13.12	1.682	2.100	3.819

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length @ Break	Strength	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
0.8365	17.99	56.40	22.59	2305	21.44	6.00000	1.30000

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

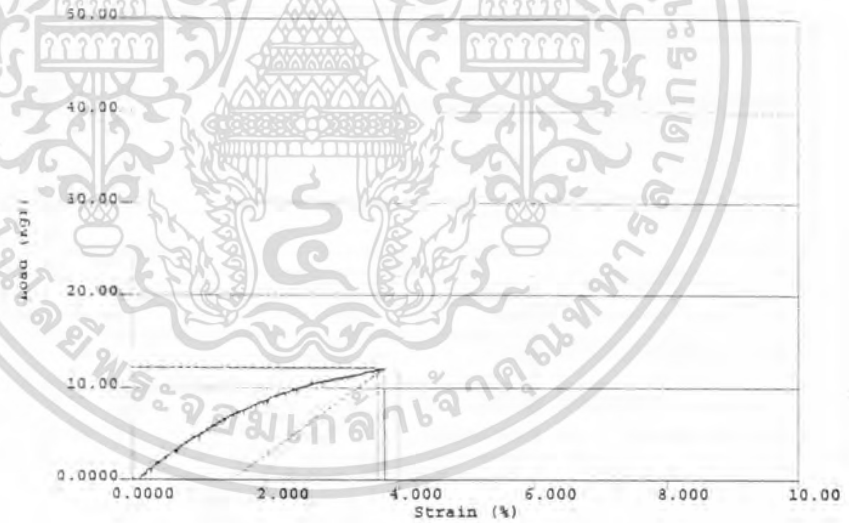


Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
10.63	1.178	1.146	2.083	10.40	1.152	1.164	2.117

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length @ Break	Strength	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
0.5716	7.011	79.72	16.75	1709	16.38	6.22500	1.45000

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง



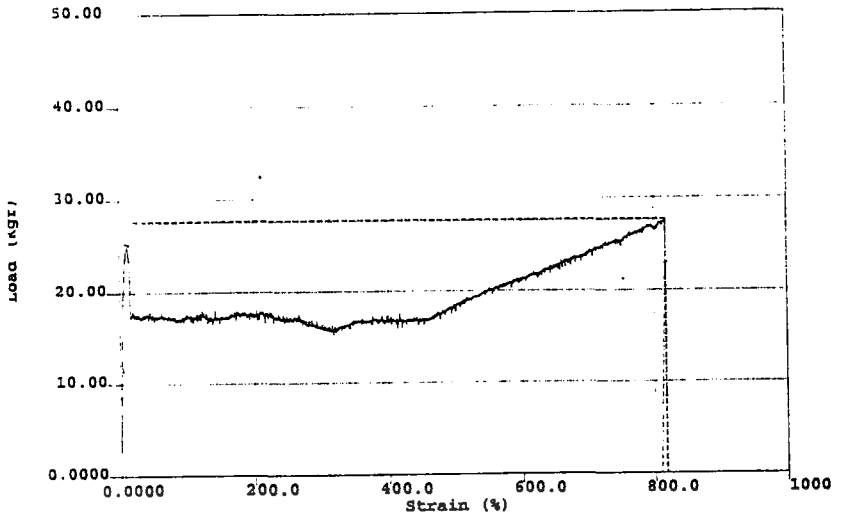
Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
12.30	1.437	2.019	3.672	12.18	1.424	2.074	3.771

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length @ Break	Strength	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
1.472	15.59	61.93	20.44	2086	20.25	5.90000	1.45000

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุอัลตรามารีนบลู

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง

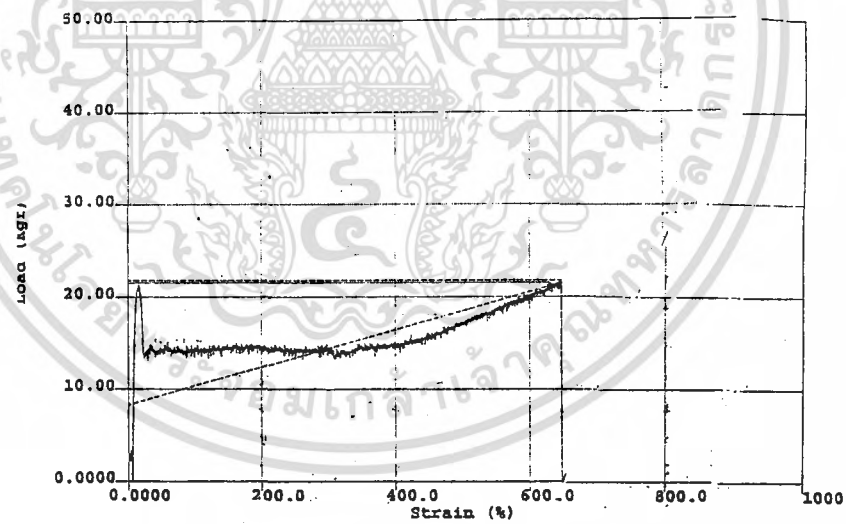
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
27.74	3.888	449.3	816.8	27.63	3.872	449.8	817.8

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
809.4	8713	46.35	46.71	4766	46.51	5.82500	1.22500

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)

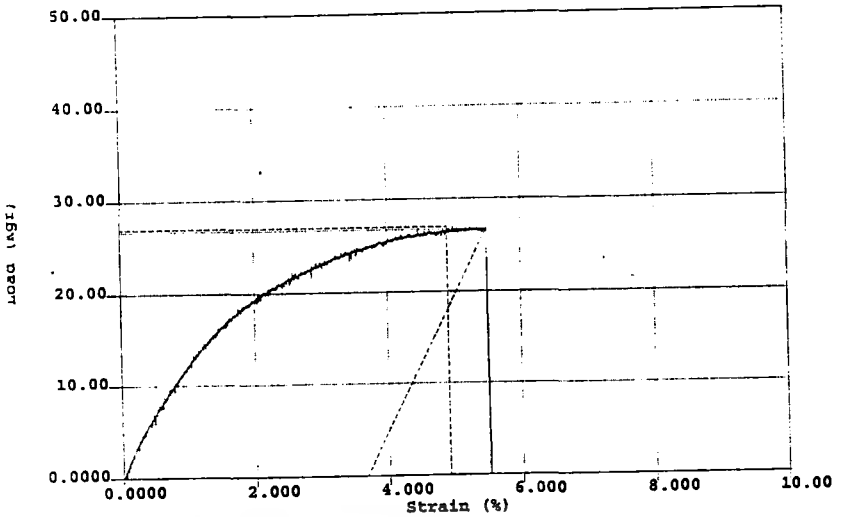


Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
21.74	2.970	356.3	647.8	21.51	2.939	356.6	648.4

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
-412.2	5563	0.2771	34.96	3567	34.58	6.10000	1.20000

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด ไม่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

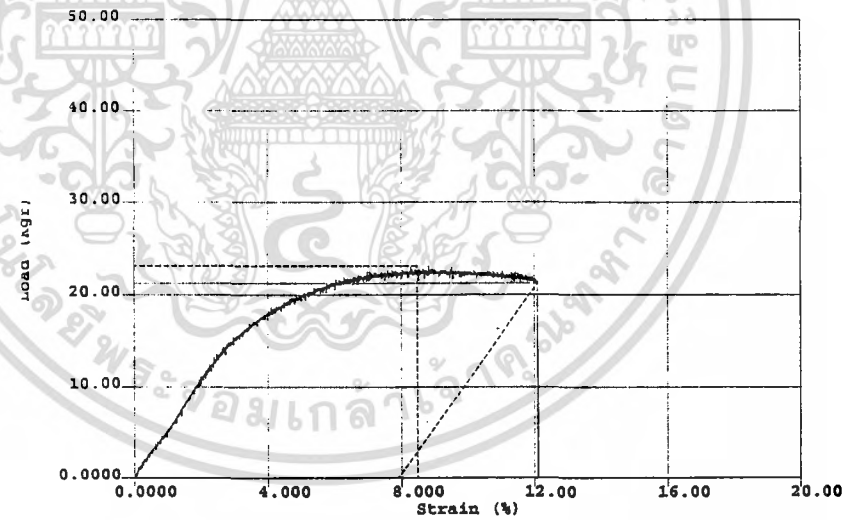


Fm	Rm	Agt	Stress @ Break	At	A	Work Done	E
kgf	kgf/mm²	%	kgf/mm²	%	%	kgf-mm	kgf/mm²
26.99	2.928	4.905	2.902	5.496	3.662	69.05	158.3

Tensile Strength	Breaking Length	Sample Width	Sample Thick'
kN/m	km	mm	mm
42.35	4322	6.25000	1.47500

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง



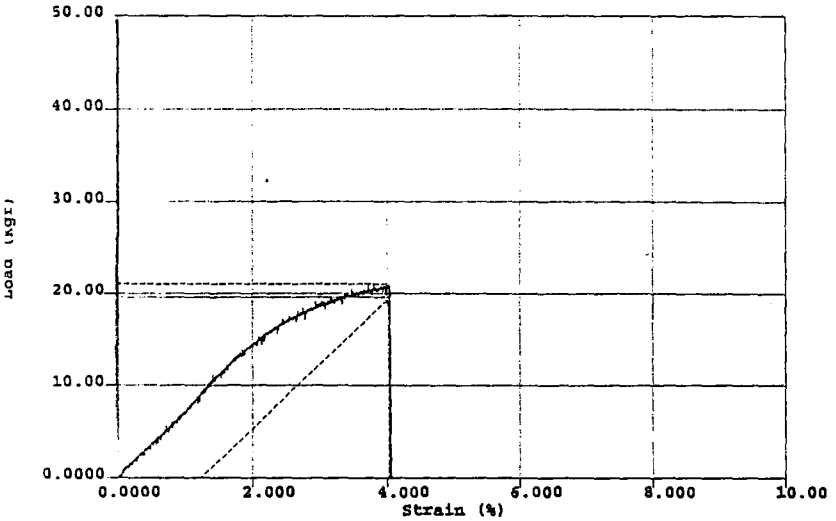
Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
23.12	2.756	4.660	8.473	21.25	2.534	6.656	12.10

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
7.895	118.0	60.24	37.17	3793	34.17	6.10000	1.37500

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

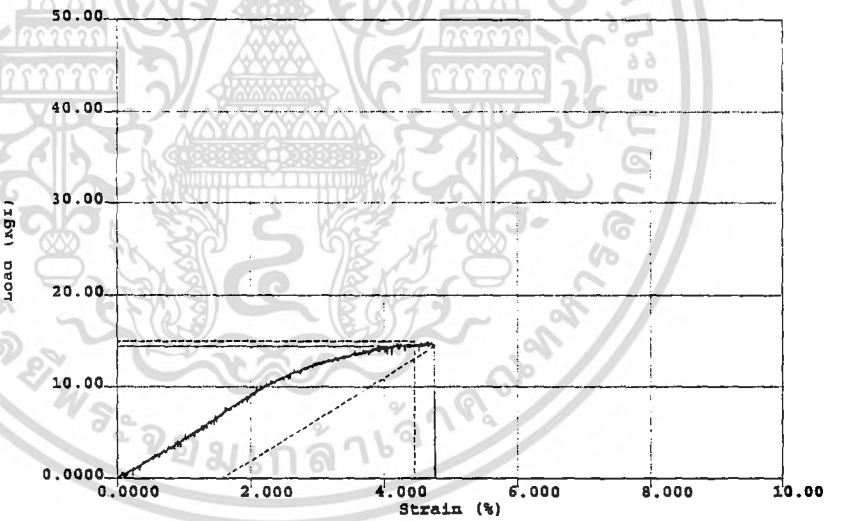


Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
21.08	2.733	2.213	4.023	19.57	2.537	2.223	4.042

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
1.233	28.75	90.29	34.18	3488	31.72	6.05000	1.27500

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง



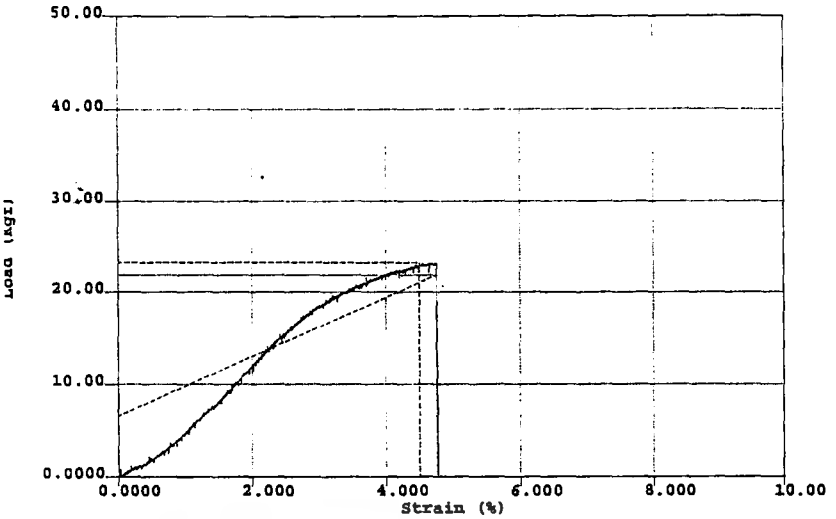
Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
15.01	1.893	2.451	4.456	14.43	1.820	2.613	4.750

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
1.571	24.38	57.24	24.13	2463	23.20	6.10000	1.30000

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

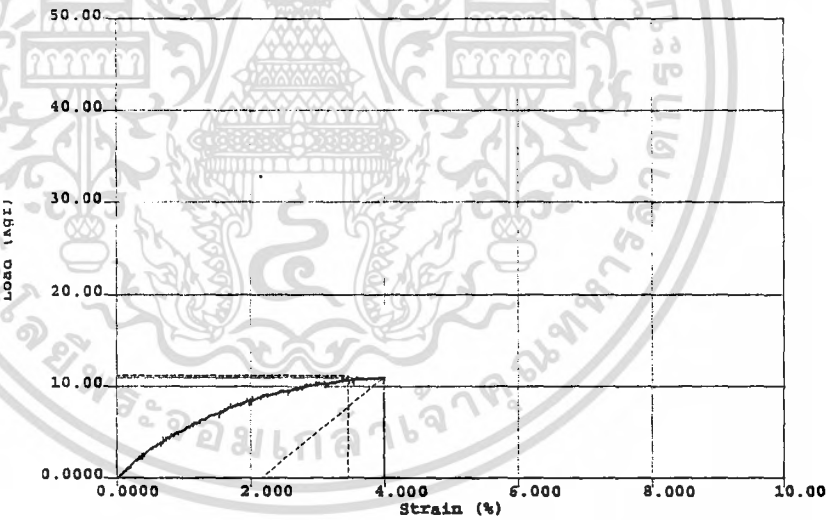


Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
23.24	2.817	2.477	4.504	21.84	2.647	2.617	4.759

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
-2.082	34.76	38.70	36.61	3735	34.40	6.22500	1.32500

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง



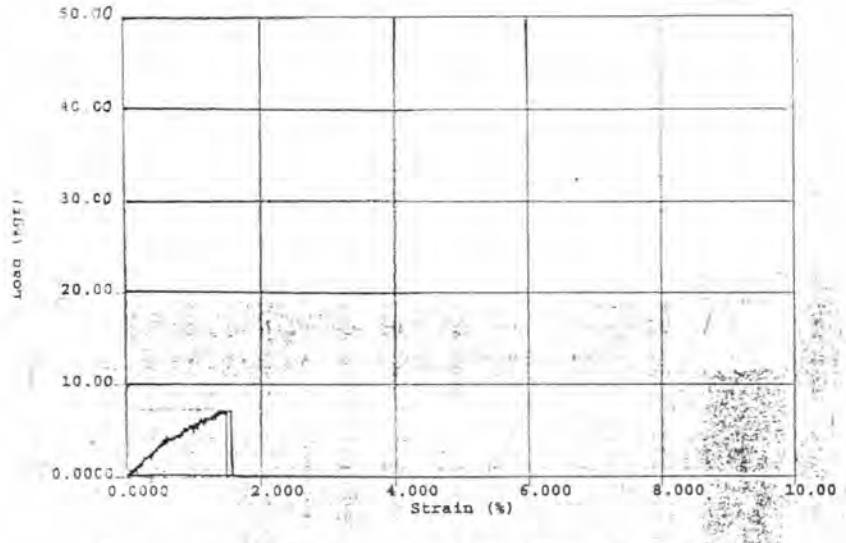
Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
11.21	1.306	1.898	3.451	10.98	1.279	2.188	3.978

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
2.156	16.47	70.20	18.25	1863	17.87	6.02500	1.42500

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 1,500 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

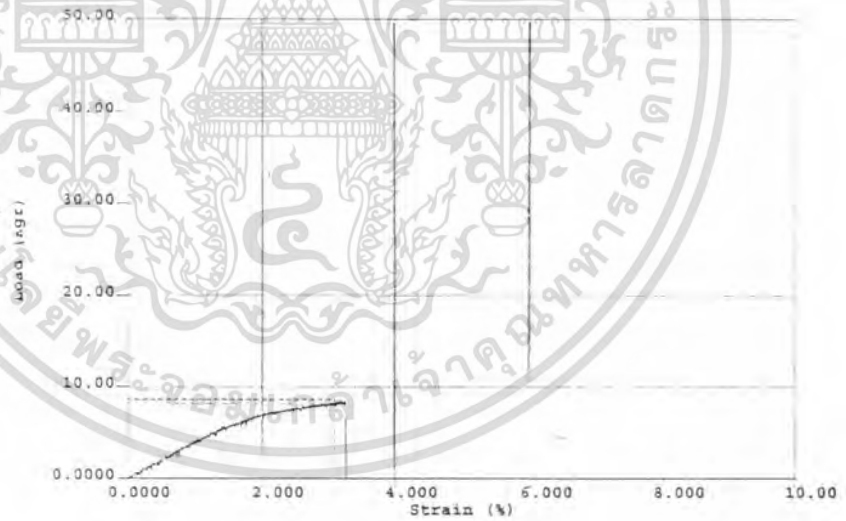


Fm	Rm	Ext @ Max Load	Agt	Load @ Break	Stress @ Break	Ext @ Break	At
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf	kgf/mm²	mm	%
7.321	0.9076	0.8209	1.493	7.087	0.8786	0.8561	1.557

A	Work Done	E	Tensile Strength	Breaking Length	Strength @ Break	Sample Width	Sample Thick'
%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	km	kN/m	mm	mm
0.4611	3.657	80.21	12.02	1226	11.63	5.97500	1.35000

พอลิพรอพิลีนชนิดโฮโมพอลิเมอร์ผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง



Fm	Rm	Ext @ Break	At	Work Done	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm²	mm	%	kgf-mm	kgf/mm²	kN/m	mm
8.642	1.058	1.793	3.260	9.551	46.03	14.01	6.05000

Sample Thick'
mm
1.35000

พอลิพรอพิลีน - เอทธิลีนโคพอลิเมอร์แบบสุ่มผสมรงค์วัตถุแคดเมียมเรด

ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (UV) 2,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง : ผลการศึกษาดัชนีการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองหาค่าดัชนีการไหล

Sample 6331	ExposureTime (hr)	Melt flow index [MFI] (g/10min)	Sample SW555	ExposureTime (hr)	Melt flow index [MFI] (g/10min)
No color	0	4.2630	No Color	0	4.8858
	500	10.6109		500	8.9498
	1000	49.3000		1000	62.7000
	1500	67.0000		1500	78.6000
	2000	100.0000		2000	84.6000
Red	0	4.5714	Red	0	4.9650
	500	10.1076		500	7.6691
	1000	36.1990		1000	32.8000
	1500	51.1759		1500	55.7000
	2000	53.8712		2000	71.0000
White	0	4.4140	white	0	4.5975
	500	10.7103		500	11.5170
	1000	76.8000		1000	52.7000
	1500	83.0000		1500	84.6000
	2000	108.0000		2000	95.5000
Blue	0	4.5002	Blue	0	5.1157
	500	10.1027		500	6.9646
	1000	41.4000		1000	40.0000
	1500	42.8159		1500	61.7000
	2000	63.0000		2000	64.7000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ : ผลการศึกษาค่าความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 6331	Exposure Time (hr)	Weight (g)	Weight in MeOH (g)	Density (g/cm3)
No Color	0	0.8704	0.7466	0.9035
	500	0.8725	0.8270	0.8981
	1000	0.8021	0.7024	0.8786
	1500	0.8751	0.6875	0.8718
	2000	0.8146	0.7410	0.8505
White	0	0.9735	0.8995	0.9077
	500	1.0959	0.8296	0.9049
	1000	0.8872	0.8737	0.9107
	1500	0.9643	0.8018	0.8864
	2000	0.8600	0.7628	0.8816
Red	0	0.9437	0.8890	0.9048
	500	1.0459	0.7881	0.9078
	1000	0.9722	0.8264	0.9019
	1500	1.0557	0.9276	0.9117
	2000	0.7996	0.7758	0.9871
Blue	0	0.9690	0.7500	0.9036
	500	1.0459	0.7881	0.9029
	1000	1.1496	0.9054	0.8883
	1500	1.0840	0.9578	0.8641
	2000	1.1286	0.7551	0.8592

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample SW555	Exposure Time (hr)	Weight (g)	Weight in MeOH (g)	Density (g/cm3)
No Color	0	0.8704	0.7466	0.9035
	500	0.8725	0.827	0.8918
	1000	0.8021	0.7024	0.8786
	1500	0.8751	0.6875	0.8718
	2000	0.8635	0.741	0.8505
White	0	0.9735	0.8995	0.9077
	500	1.0959	0.8296	0.9049
	1000	0.8872	0.8737	0.9107
	1500	0.9643	0.081	0.8864
	2000	0.8615	0.7628	0.8816
Red	0	0.9437	0.889	0.9048
	500	1.0459	0.7881	0.9078
	1000	0.9722	0.8264	0.9019
	1500	1.0557	0.9276	0.9117
	2000	0.7996	0.7758	0.9871
Blue	0	0.969	0.75	0.9036
	500	1.0459	0.7881	0.9029
	1000	1.1496	0.9054	0.8883
	1500	1.084	0.9578	0.8641
	2000	1.1286	0.7551	0.8592

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ : ผลการศึกษาค่าความชัดจางของสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample	6331	Y	L*	a*	b*	^L*	^a*	^b*	^Ea*b*
No Color	A(ref..)	54.3100	78.6700	-0.0500	1.7400				
	B	61.4300	82.6100	-0.0800	1.9300	3.9400	-0.0300	0.1900	3.9447
	C	63.4200	83.6600	0.0200	1.9300	4.9900	0.0700	0.1900	4.9941
	D	54.4800	78.7400	-0.0500	2.1900	0.0700	0.0000	0.4500	0.4554
								average	4.4694
White	A(ref..)	62.1400	82.9900	-0.0160	1.4600				
	B	61.4900	82.6400	-0.1700	2.2000	-0.3500	-0.0100	0.7400	0.8187
	C	64.1600	84.0500	-0.0900	1.3600	1.0600	0.0700	-0.1000	1.0670
	D	61.0100	82.3900	-0.2400	2.0500	-0.6000	-0.0800	0.5900	0.8453
								average	0.8320
Red	A(ref..)	45.8200	73.4300	5.8700	5.5000				
	B	46.4500	73.8400	5.2600	5.3000	0.4100	-0.6100	-0.2000	0.6717
	C	45.6500	73.3200	5.3400	5.3600	-0.1100	-0.5300	-0.1400	0.5591
	D	46.1000	73.6100	5.2900	5.4800	0.1800	-0.5800	-0.0200	0.6076
								average	0.5834
Blue	A(ref..)	55.0700	79.0800	-0.0200	0.5900				
	B	55.3400	79.2400	0.0800	-0.2200	0.1600	0.1000	-0.8100	0.8317
	C	58.5100	81.0200	0.0900	0.5100	1.9400	0.1100	-0.0800	1.9448
	D		81.0500	0.0400	0.2400	1.9700	0.0600	-0.3500	2.0017
								average	1.4733

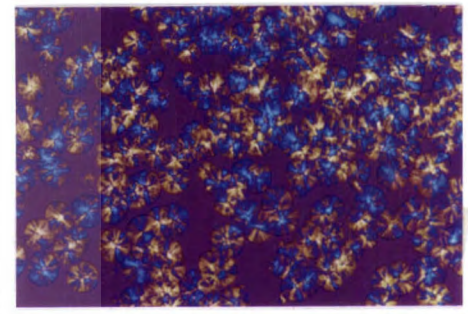
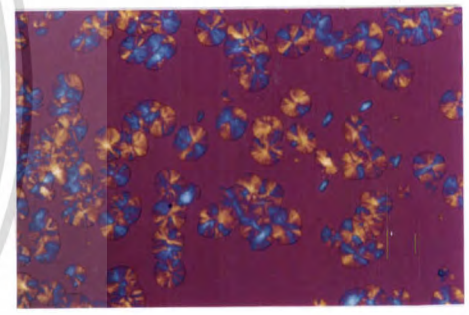
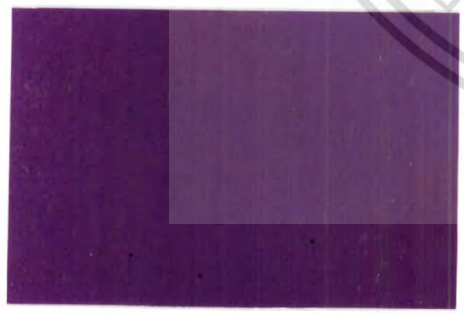
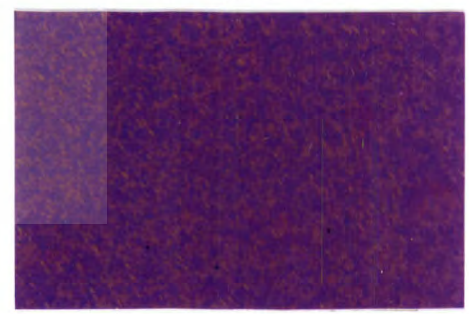
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample	SW555	Y	L*	a*	b*	^L*	^a*	^b*	^Ea*b*
No Color	A(ref..)	45.5600	73.2600	0.2400	2.1700				
	B	49.3800	75.6800	0.0900	2.0800	2.4200	-0.1500	-0.0900	2.4263
	C	50.2400	76.2200	0.0300	2.0200	2.9600	-0.2100	-0.1500	2.9712
	D	47.2500	74.3500	0.3200	1.9500	1.0900	0.0800	-0.2200	1.1149
								average	2.6988
White	A(ref..)	62.7800	83.3300	-0.2600	1.1300				
	B	61.1200	82.4400	-0.2300	1.6800	-0.8900	0.0300	0.5500	1.0467
	C	61.1600	82.4700	-0.2400	1.6600	-0.8600	0.0200	0.5300	1.0104
	D	59.6500	81.6500	-0.1100	1.6200	-1.6800	0.1500	0.4900	1.7564
								average	1.0286
Red	A(ref..)	46.8700	74.1100	5.5700	5.5500				
	B	46.5200	73.8800	5.3900	5.5000	-0.2300	-0.1800	-0.0500	0.2963
	C	46.4500	73.8300	5.2000	5.3200	-0.2800	-0.3700	-0.2300	0.5179
	D	46.6300	73.9500	5.5000	5.4400	-0.1600	-0.0700	-0.1100	0.2064
								average	0.2514
Blue	A(ref..)	62.3500	83.1000	-0.1600	1.1000				
	B	58.0000	80.7400	-0.0700	0.5200	-2.3600	0.0900	-0.5800	2.4319
	C	59.2700	81.4400	0.0200	0.2400	-1.6600	0.1800	-0.8600	1.8782
	D	57.6700	80.5600	0.0400	0.1200	-2.5400	0.2000	0.9800	2.7298
								average	2.5809

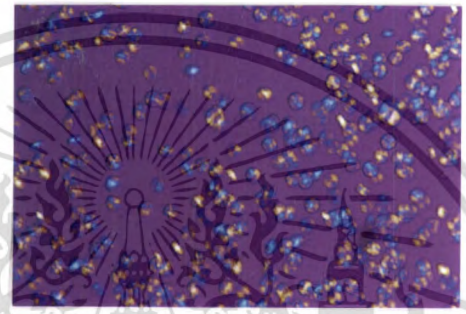
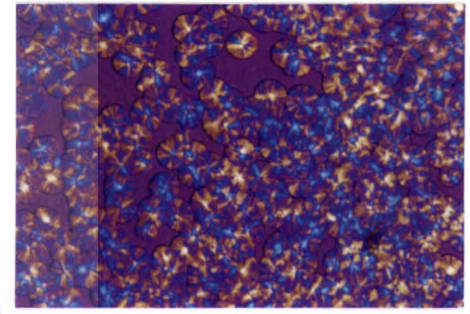
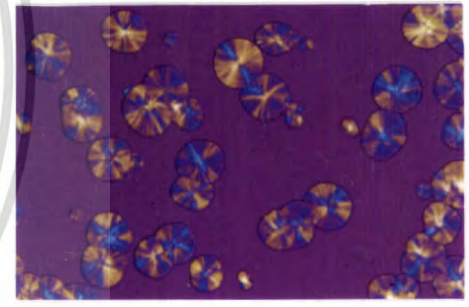
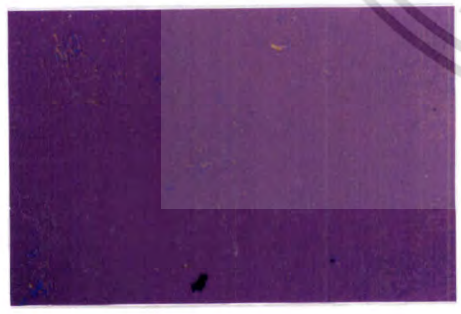
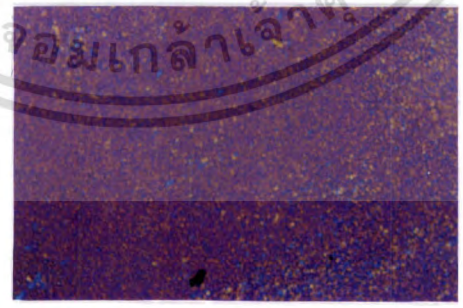
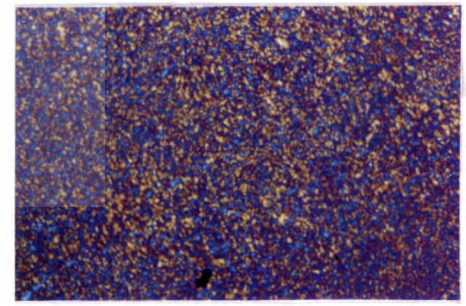
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช : รูปผลึกสเฟียร์รูไลท์

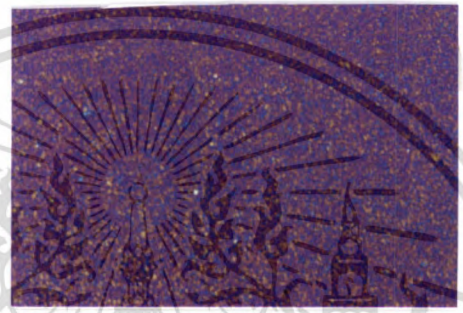
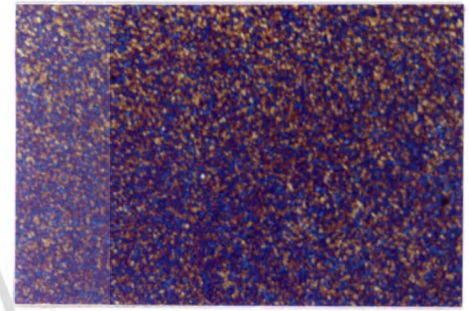
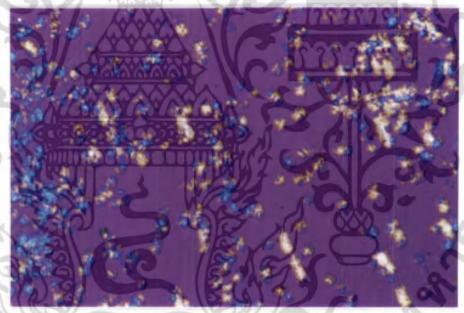
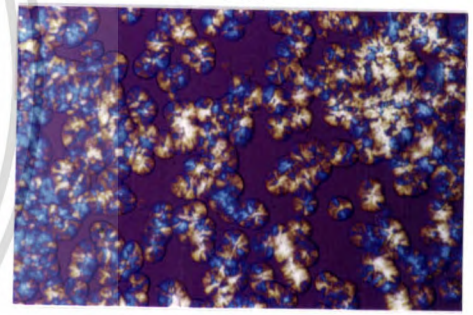
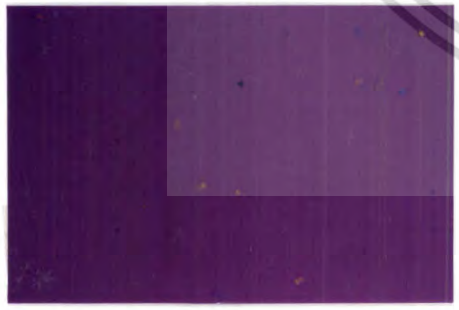
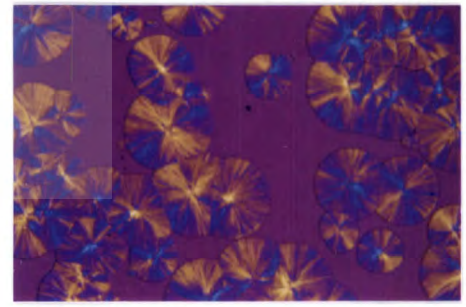
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพแสดงรูปผลึกสเฟียรูไลท์ / 6331 : No Color			
ช่วงเวลาที่ได้รับการ	เวลาบันทึกภาพภายหลังการตกผลึก (นาที)		
การฉายแสง UV(ช.ม.)	0	2	4
0	T = 136.7 °C	T = 132.7 °C	T = 128.7 °C 
1000	T = 136.5 °C	T = 132.5 °C	T = 128.5 °C 
2000	T = 136.1 °C 	T = 132.1 °C	T = 128.1 °C 

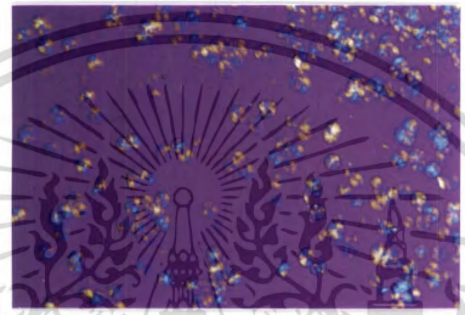
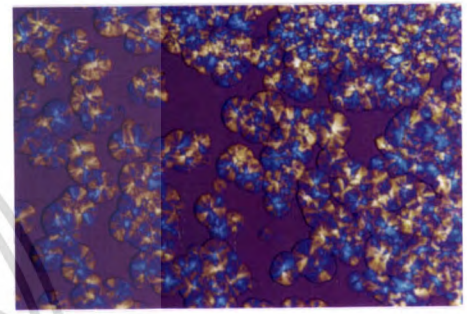
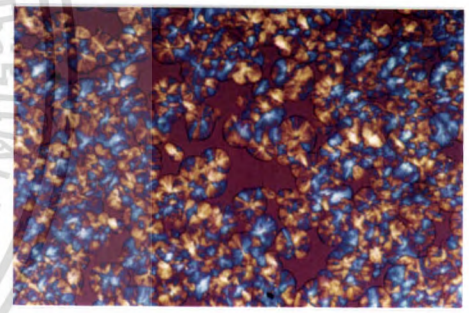
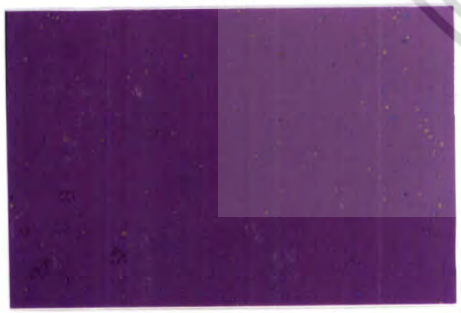
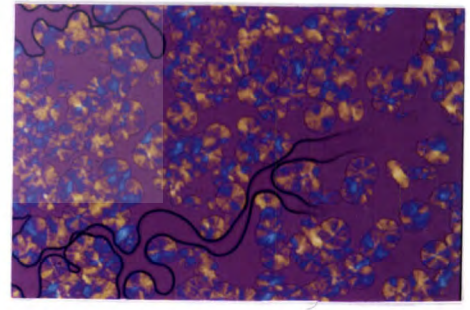
ภาพแสดงรูปผลึกสเฟียรูไลท์ของตัวอย่าง 6331:No Color ที่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการได้รับการฉายแสง UV ที่เวลา 0,1000 และ 2000 ชั่วโมง

ภาพแสดงรูปผลึกสเฟียรูไลท์ / 6331 : White			
ช่วงเวลาที่ได้รับการ	เวลาบันทึกภาพภายหลังการตกผลึก (นาที)		
การฉายแสง UV(ช.ม.)	0	2	4
0	T = 136.3 °C	T = 132.3 °C 	T = 128.3 °C 
1000	T = 135.4 °C	T = 131.4 °C	T = 127.4 °C 
2000	T = 128.6 °C 	T = 124.6 °C 	T = 120.6 °C 

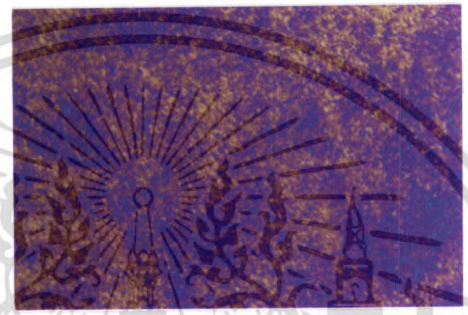
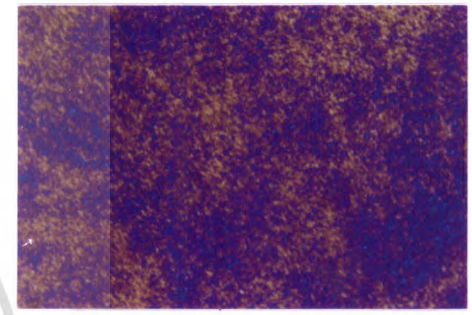
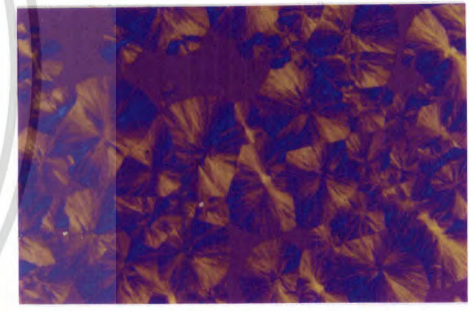
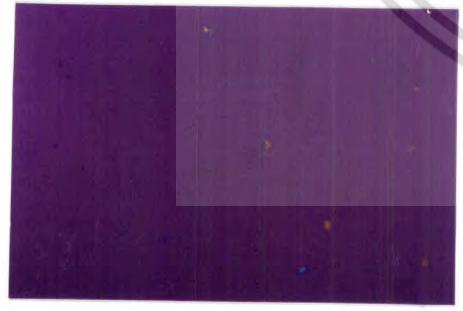
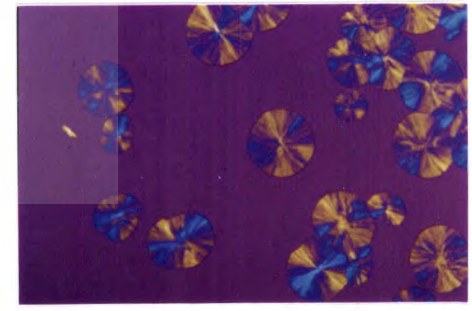
ภาพแสดงรูปผลึกสเฟียรูไลท์ของตัวอย่าง 6331: White ที่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการได้รับการฉายแสง UV ที่เวลา 0,1000 และ 2000 ชั่วโมง

ภาพแสดงรูปผลึกสเฟียรูไลท์ / 6331 : Blue			
ช่วงเวลาที่ได้รับการ	เวลาบันทึกภาพภายหลังการตกผลึก (นาที)		
การฉายแสง UV(ช.ม.)	0	2	4
0	T = 140.0 °C	T = 136.0 °C 	T = 132.0 °C 
1000	T = 133.9 °C	T = 129.9 °C 	T = 125.9 °C 
2000	T = 140.7 °C 	T = 136.7 °C	T = 132.7 °C 

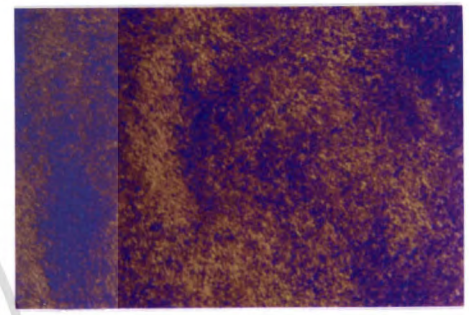
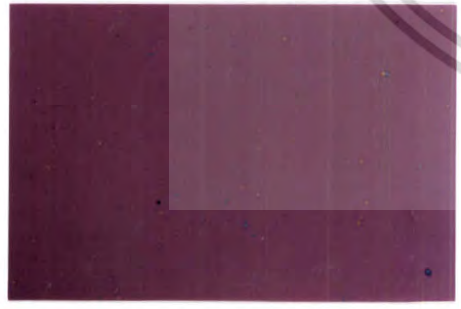
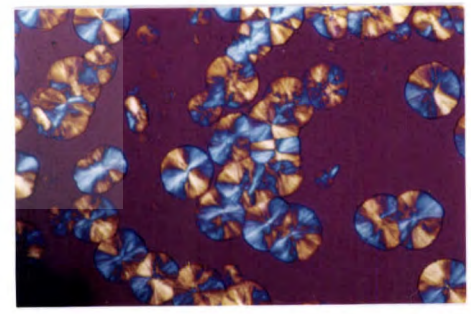
ภาพแสดงรูปผลึกสเฟียรูไลท์ของตัวอย่าง 6331: Blue ที่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการได้รับการฉายแสง UV ที่เวลา 0,1000 และ 2000 ชั่วโมง

ภาพแสดงรูปผลึกสเฟียรูไลท์ / 6331 : Red			
ช่วงเวลาที่ได้รับการ	เวลาบันทึกภาพภายหลังการตกผลึก (นาที)		
การฉายแสง UV(ช.ม.)	0	2	4
0	T = 138.2 °C	T = 134.2 °C 	T = 130.2 °C 
1000	T = 137.7 °C	T = 133.7 °C	T = 129.7 °C 
2000	T = 136.7 °C 	T = 132.7 °C	T = 128.7 °C 

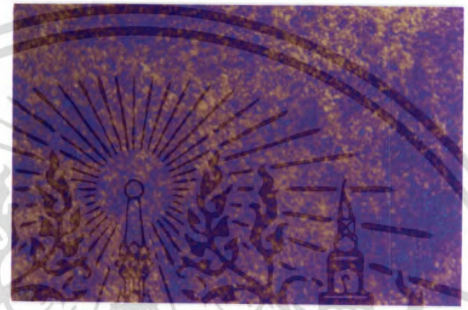
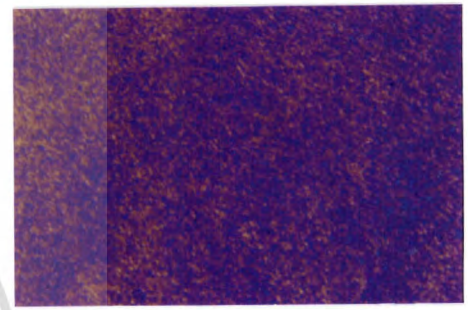
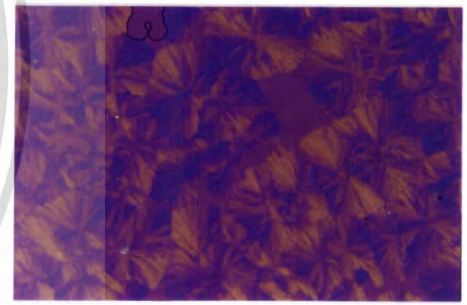
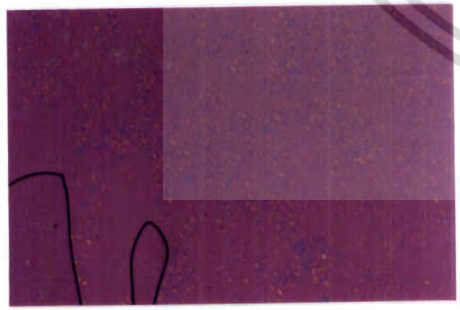
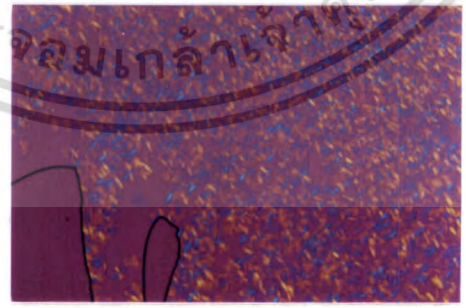
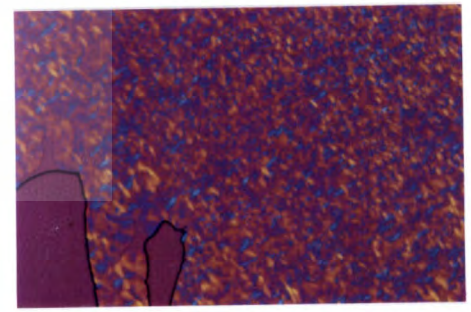
ภาพแสดงรูปผลึกสเฟียรูไลท์ของตัวอย่าง 6331: Red ที่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการได้รับการฉายแสง UV ที่เวลา 0,1000 และ 2000 ชั่วโมง

ภาพแสดงรูปผลึกสเฟียรูไลท์ / SW555 : No Color			
ช่วงเวลาที่ได้รับการ	เวลาบันทึกภาพภายหลังการตกผลึก (นาที)		
การฉายแสง UV(ช.ม.)	0	2	4
0	T = 127.9 °C	T = 123.9 °C 	T = 119.9 °C 
1000	T = 120.4 °C	T = 116.4 °C	T = 112.4 °C 
2000	T = 112.2 °C 	T = 108.2 °C	T = 104.2 °C 

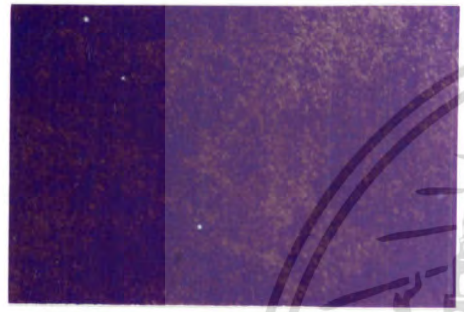
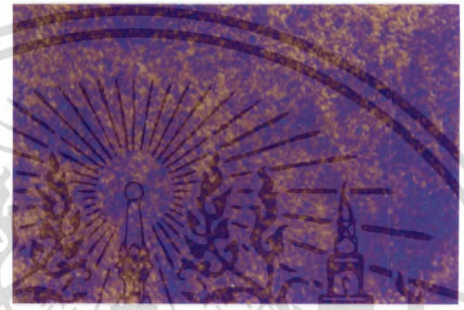
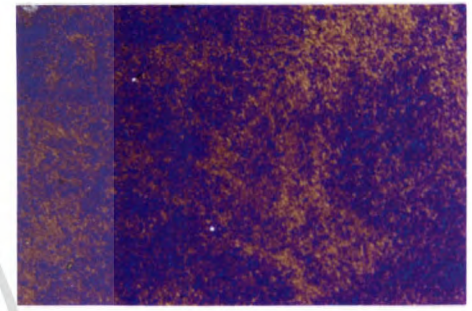
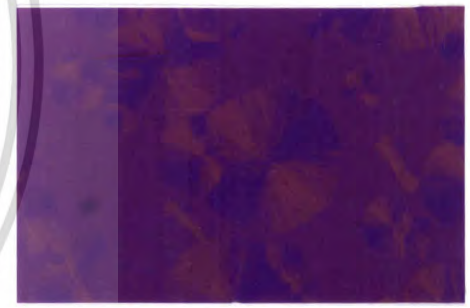
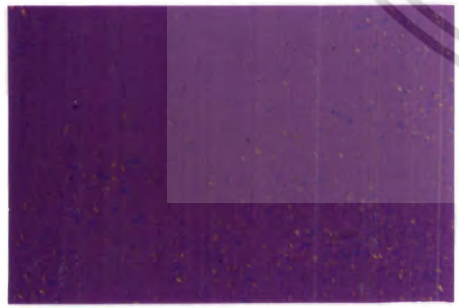
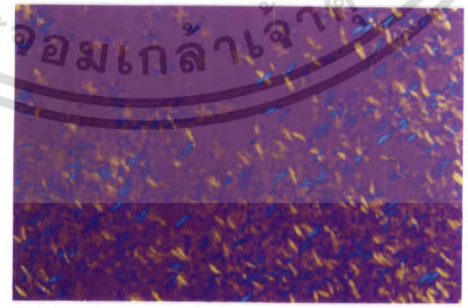
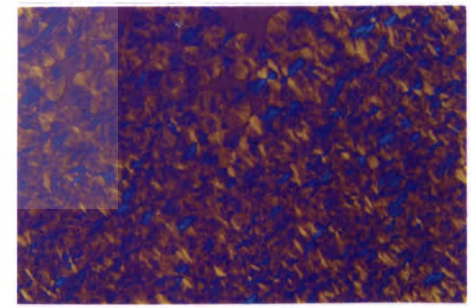
ภาพแสดงรูปผลึกสเฟียรูไลท์ของตัวอย่าง SW555 : No Color ที่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการได้รับการฉายแสง UV ที่เวลา 0,1000 และ 2000 ชั่วโมง

ภาพแสดงรูปผลึกสเฟียรูไลท์ / SW555 : White			
ช่วงเวลาที่ได้รับการ	เวลาบันทึกภาพภายหลังการตกผลึก (นาที)		
การฉายแสง UV(ช.ม.)	0	2	4
0	T = 127.5 °C	T = 123.5 °C	T = 119.5 °C 
1000	T = 120.8 °C	T = 116.8 °C	T = 112.8 °C
2000	T = 123.5 °C 	T = 119.5 °C	T = 115.5 °C 

ภาพแสดงรูปผลึกสเฟียรูไลท์ของตัวอย่าง SW555 : White ที่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการได้รับการฉายแสง UV ที่เวลา 0,1000 และ 2000 ชั่วโมง

ภาพแสดงรูปผลึกสเฟียรูไลท์ / SW555 : Blue			
ช่วงเวลาที่ได้รับการฉายแสง UV(ช.ม.)	เวลาบันทึกภาพภายหลังการตกผลึก (นาที)		
	0	2	4
0	T = 128.8 °C	T = 124.8 °C 	T = 120.8 °C 
1000	T = 120.7 °C	T = 116.7 °C	T = 112.7 °C 
2000	T = 124.7 °C 	T = 120.7 °C 	T = 116.7 °C 

ภาพแสดงรูปผลึกสเฟียรูไลท์ของตัวอย่าง SW555 : Blue ที่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการได้รับการฉายแสง UV ที่เวลา 0,1000 และ 2000 ชั่วโมง

ภาพแสดงรูปผลึกสเฟียรูไลท์ / SW555 : Red			
ช่วงเวลาที่ได้รับการ	เวลาบันทึกภาพภายหลังการตกผลึก (นาที)		
การฉายแสง UV(ช.ม.)	0	2	4
0	T = 128.8 °C 	T = 124.8 °C 	T = 120.8 °C 
1000	T = 119.0 °C	T = 115.0 °C	T = 111.0 °C 
2000	T = 127.7 °C 	T = 123.7 °C 	T = 119.7 °C 

ภาพแสดงรูปผลึกสเฟียรูไลท์ของตัวอย่าง SW555 : Red ที่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการได้รับการฉายแสง UV ที่เวลา 0,1000 และ 2000 ชั่วโมง

ภาคผนวก ซ : ข้อมูลทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRO-FAX 6331

General-Purpose Polypropylene

With Improved Processability

Character:

-General-purpose Homopolymer resin

-Meet all requirements of the U.S. Food and Drug Administration as specified in the Code of Federal Regurations,Titlee 21,Section 77.1520 ,covering safe use of Polyolefin articles and components of articles intended for food contact uses .

-TSCA Registry: CAS # 9003-07-0

Suggested uses:

-Closures.

-Housewares.

-Toys.

-Games.

-Pillboxes .

-Containers.

Advantages:

-Reduced molding cycle time.

-Improved shrinkage control(minimal voids).

-Better see-through clarity.

-Improved processibility .

-Increased stiffness .

-Increased heat-deflection temperature.

-Protection from dust pickup.

Fabrication

-Equippent-ram-or screw-injection machines

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Resins properties(a)	Pro-Fax6331	ASTM method(b)
Melt flow rate,g/10 min	12	D1238
Density, g/cm^3	0.903	D792A-2
Notched Izod Impact Strength at 73°F,ft-lbs/in	0.5	D256A
Tensile strength at Yield,Psi	5000	D638
Elongation at Yield, %	10	D638
Flexural Modulus, Psi	235000	D790B
Rockwell Hardness,R scale	97	D786A
Deflection Temperature at 66 Psi,°F	205	D648
Environmental Stress-Cracking, hrs	>500,no failure	D1693

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRO-FAX SW555M

Super High Clarity Polypropylene

Random Copolymer Resin

Character :

-Clarified Random Copolymer Resin

-Base Polymer meet all requirements of the U.S. food and drug administration as specified in the code of federal regulations , title 21 ,section 177.520(a)(3)(1) ,and (C)3.1 and 3.2 (a). All other ingredient used in PRO-FAX SW555M Resin meet their respective FDA regulation and 21 CFR177.1520(b) . However due to the limitations of one ingredient , PRO-FAX SW555M resin meets the FDA requirements covering the safe use of polyolefin articles and components of article intended for food-contact use ,excepted for cooking applications .

-TSCA Registry, CAS #9010-79-1 .

Advantages:

-Excellent clarity .

-Good rigidity and impact registant for strong containers.

-Good surface finish and color .

-Dishwasher-safe .

-Improved resistance to yellowing.

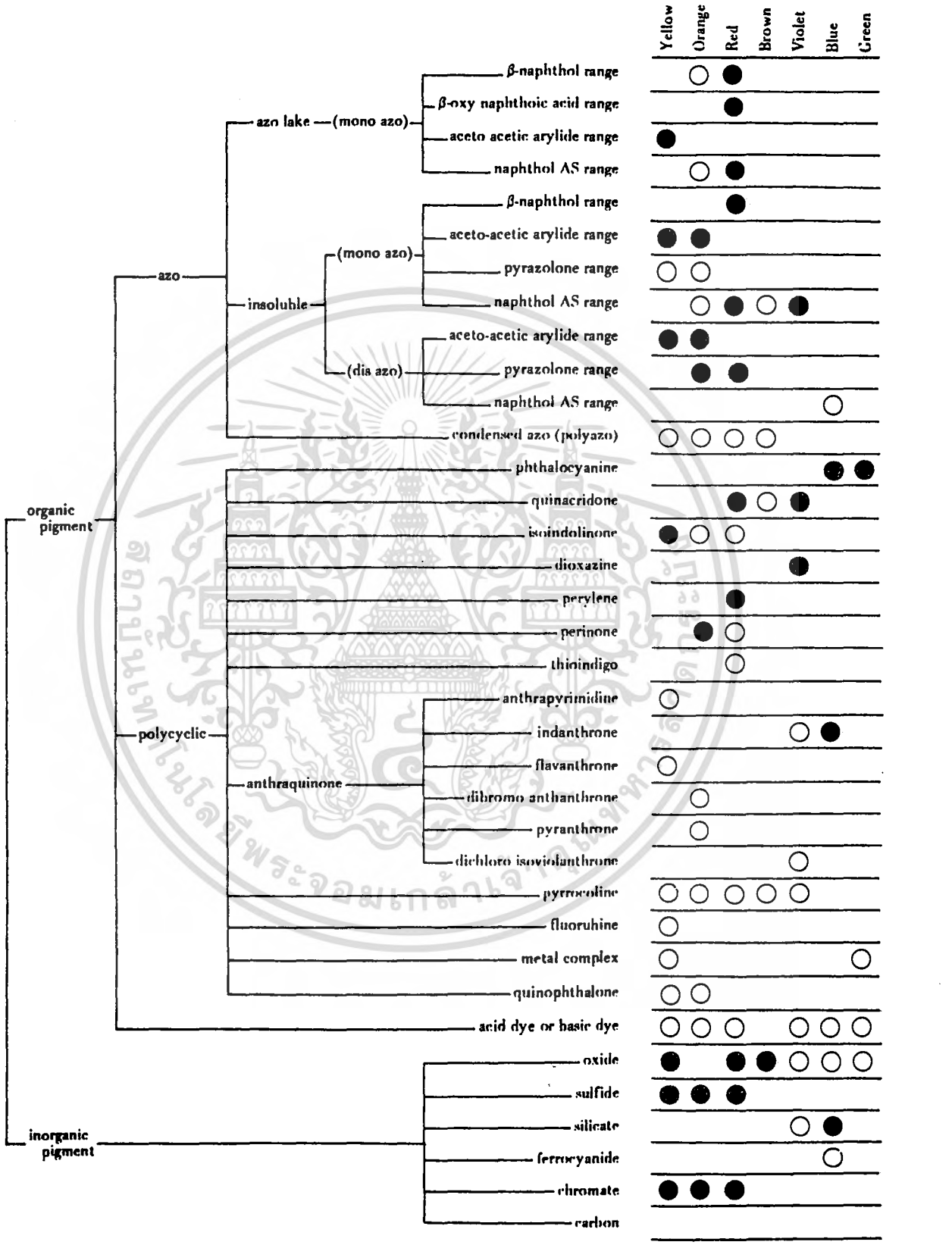
-Microwavable(except for cooking).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

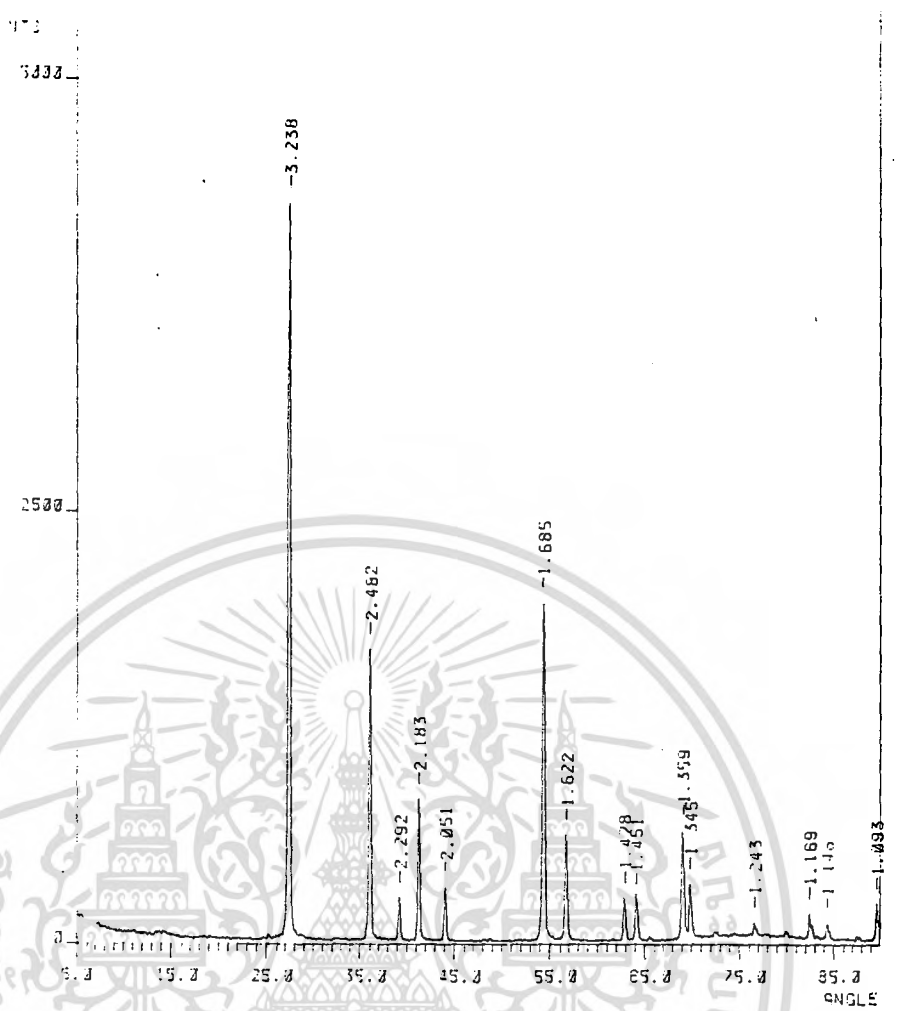
Typical Resins properties(a)	Pro-Fax6331	ASTM method(b)
Melt flow rate,g/10 min	12	D1238
Density, g/cm^3	0.903	D792A-2
Notched Izod Impact Strength at 73°F,ft-lbs/in	0.6	D256A
Tensile strength at Yield,Psi	4000	D638
Elongation at Yield, %	13	D638
Flexural Modulus, Psi	170000	D790
Rockwell Hardness,R scale	88	D785A
Deflection Temperature at 66 Psi,°F	177	D648
Environmental Stress-Cracking, hrs	-	D1693

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Classification of Pigments



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช



Measure condition		
Sample	7102	
Target	Cu	
kV	45.0	kV
mA	30.0	mA
Start angle	5.00	deg.
Stop angle	90.00	deg.
Step angle	0.040	deg.
M. time	1.50	sec.
Operator		
Memo		

2θ	d	I	I/I0
22.52	3.238	4292	100
36.16	2.482	1715	40
39.28	2.292	389	8
41.32	2.183	846	22
44.12	2.051	322	8
54.40	1.685	1975	46
56.72	1.622	635	15
62.84	1.478	269	6
64.12	1.451	289	7
69.08	1.359	654	15
69.68	1.345	348	8
76.60	1.243	124	3
82.40	1.169	177	4
84.32	1.148	121	3
89.60	1.093	237	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Sheet 4-182

Identity data for principal component

Colour Index — Generic name	C. I. Pigment White 6	Formula & composition	TiO_2
Colour Index — Constitution number	C. I. 77891		TiO_2 80 - 99.9%
Common names	Titanium Dioxide, Anatase, Rutile		(Al, Si, or Zn)O 0 - 20
Chemical type	☐ Organic ☒ Inorganic — Data table 20a		
Chemical class	Opaque White		
Chemical description	Titanium dioxide produced from ferrous ilmenite by the sulfate process or from rutile ore by the chloride process. Anatase and rutile differ in crystal structure. May be surface treated with certain oxides.	CAS Registry Number & CA Index Name	13463-67-7 Titanium oxide (TiO_2)
Hue	White	Empirical formula (CAS)	O_2Ti — M.W. 80

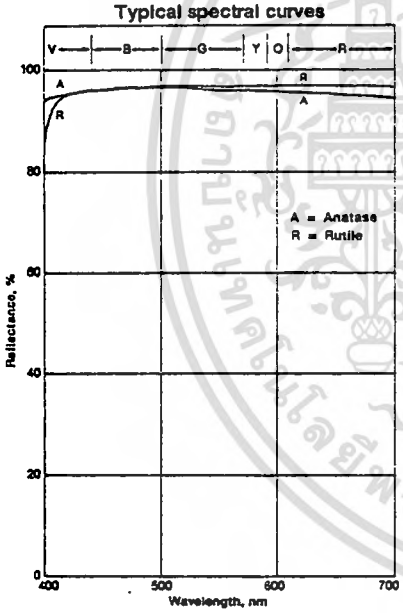
Regulatory data

Regulated constituents (molecular)	Titanium dioxide 80-100 % *See Preface and Table A2*	EPA Solid waste restrictions RCRA-40 CFR 261.24	NA ppm @ pH 5	Additional regulatory concerns	CWA: Contact supplier for zinc content, if any. FDA permits coating and other uses.
		EPA Priority pollutants CWA PL 95-217	NA		
Controlling OSHA Standard 8 hr t.w.a. 29 CFR 1910.1000	Nuisance dust 15 mg/m³	EEC Label Directive 77/728/EEC	NA %	References to safety and health data	Table B2, B3, B4, B5, B6

Commercial product data

Entries represent data compiled for dry powders without resination or other surface treatment. Data are intended solely as a general guide. See manufacturers' literature for properties of specific products.

Typical spectral curves



Spectral curves are provided for qualitative color description only and are not to be interpreted as specifications.

Physical data

Specific gravity	Ana 3.8 - 4.1 Rut 3.9 - 4.2	(H_2O=1)	
Solid bulk density	Ana 32 - 34 Rut 33 - 35	lb/US gal	
Melting point	1800	°C	
Particle shape	Cubic,spheric,some rodlike (rutile more closely packed)		
Particle size, mean	Ana 0.3 Rut 0.2 - 0.3	micrometers	
325-Mesh retention	0.1 - 0.2	% >44 μ	
Surface area		m²/g	
pH	6.5 - 10.5	(10% slurry)	
Hiding power	☒ Opaque* ☐ Semi-opaque ☐ Transparent		
Oil absorption	Ana 18 - 30 Rut 16 - 48	wt/100 wt	

Fastness data*

Acid	Hydrochloric acid, 5%	N	Oxygenated solvents	Ethyl alcohol	N
	Lactic acid, 3%	N		Ethyl acetate	N
	Acetic acid, 2%	N		Diethylene glycol	N
Alkali	Sodium hydroxide, 2%	N		Methyl ethyl ketone	N
	Sodium carbonate, 5%	N		Lacquer solvent, DCMA	N
Water	20°C	N	Other	DOP 20°C	N
	100°C	N		175°C	N
	Process sterilization	N		Oils, fats & greases	N
Hydrocarbons	Mineral spirits	N		Paraffin wax, 80°C	N
	Xylene	N		Soap sandwich	N

Color permanency*

Indoor (Fadeometer)	Change at 72-80 hrs	N	(full)	N	(tint)	Max. tol.	250 hrs (full)	250	hrs (tint)
Outdoor (Florida 45°S)	Change at 12 months	N	(full)	N	(tint)	Max. tol.	> 12 mos (full)	> 12	mos (tint)
Baking (Tin plate)	Change at 150°C (300°F)	N	(15')	N	(30')	Max. tol.	> 250 °C (10')	> 250	°C (30')

* *Key to fastness and permanency ratings: N—no bleed or discoloration; S—slight; A—appreciable; '—ratings vary by source. Key to permanency failures: F—fades; D—darkens; L—loses gloss; B—turns bluer; G—turns grayer or greener; Y—turns yellower; Z—bronzes.*

Other data

Refractive index 2.76 (rutile), 2.55 (anatase). Hardness 6-7½ moh (rutile), 5-6 (anatase). Most important opaque white pigment in current use. Inert, soluble only in hot conc. sulfuric and hydrofluoric acids. Specifications are given in ASTM D-476. Available in numerous grades with improved chalk resistance, dispersibility or other properties.

Applications data

Major usage	Paints (55%). Paper (20%). Printing inks. Many other industrial applications. Artists' colors.	Major weaknesses	Anatase: Lesser opacity. Rutile: Abrasiveness. Yellowish undertone.

Available physical forms

Number of manufacturers who supply the following grades						Total companies *List is given in Appendix*
Anatase (Type I)			Rutile (Types II, III, IV)			
Uncoated	Coated	Slurries	Uncoated	Coated	Slurries	
5	5	3	5	8	6	10

The information given on this Data Sheet was compiled from sources considered reliable; however, users are advised to test and analyze the pigment for specific applications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TECHNICAL DATA SHEET

PIGMENT NAME : CADMIUM PIGMENT LANGDOPEC RED 37

CHEMICAL FORMULA :	CADMIUM SULFOSELENIDE
COLOR INDEX :	C.I. 77202 / RED 108
CAS N° :	58339-34-7
EINCS N° :	261-2181
DENSITY : (ISO 787/10)	from 5,0 to 5,5 g/cm^3
APPARENT DENSITY : (ISO 787/11)	from 0,8 to 0,95 g/cm^3
OIL ABSORPTION : (ISO 787/5)	from 16 to 23 ml/100 g
MOISTURE CONTENT : (ISO 787/2)	0,5 % max.
SIEVE RESIDUE (45 µ) 325 mesh : (ISO 787/7)	0,5 % max.
RESISTANCE TO :	
- ACID	Good
- ALKALI	Excellent
WEATHERABILITY :	Very good
LIGHTFASTNESS :	
- MASSTONE	Excellent
- TINT	Good
BLEED IN :	
- WATER	None
- SOLVENTS	None
THERMAL STABILITY :	≤ 600°C

HEAVY METALS ANALYSIS :

- CADMIUM	< 0,01 %	- ANTIMONY	< 0,001 %
- SELENIUM	< 0,01 %	- ARSENIC	< 0,0001 %
- BARIUM	< 0,01 %	- LEAD	< 0,001 %
		- CHROMIUM	< 0,0001 %
		- MERCURY	< 0,0001 %

COLOUR DATA

ILLUMINANT D65, 10°, SPECULAR EXCLUDED

MASS TONE (0,4% IN LDPE)	Δ E < 1,5 CIELAB
TINT TONE (0,1% PIGMENT - 0,4% TiO_2 in LDPE)	Δ E < 1,0 CIELAB (/APPROVED STANDARD)
COLOUR STRENGTH	± 2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Sheet 4-124

Identity data for principal component

Colour Index — Generic name	C. I. Pigment Red 108	Formula & composition	$CdS \cdot xCdSe$
Colour Index — Constitution number	C. I. 77202		Light red / Maroon CdS 65-87% / 35-51% CdSe 13-33 / 48-65 Other 0-2 / 0-2
Common names	Pure Cadmium Red, Cadmium Sulfoselenide Red		
Chemical type	☐ Organic ☒ Inorganic — Data table 16b		
Chemical class	Cadmium		
Chemical description	Calcined co-precipitate (solid solution) of cadmium sulfide and cadmium selenide. Hue becomes redder with increasing CdSe and degree of calcination. Orange grades are P.Orange 20.	CAS Registry Number	58339-34-7 C.I. Pigment Red 108
Hue	Yellowish red to maroon	Empirical formula (CAS)	M.W.

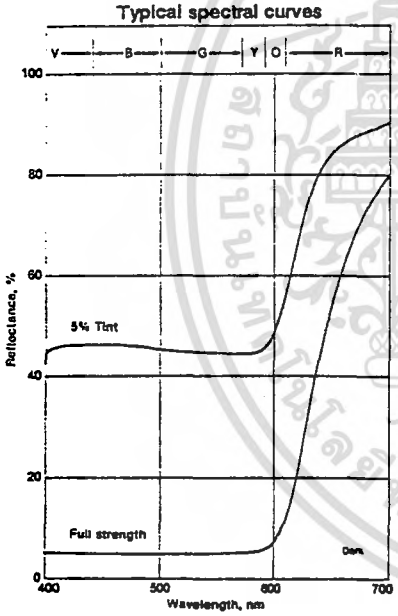
Regulatory data

Regulated constituents (molecular)	Cadmium 61-69 % Selenium 5-24 % *See Preface and Table A2*	EPA Solid waste restrictions RCRA-40 CFR 261.24	Cadmium 1 ppm Selenium 1 ppm @ pH 5	Additional regulatory concerns	Cd and Se do not comply with ANSI Z66.1.
		EPA Priority pollutants CWA PL 95-217	Cadmium · Selenium	References to safety and health data	Table B2, B5, B6, B8
Controlling OSHA Standard 8 hr t.w.a. 29 CFR 1910.1000	Cadmium 0.2 mg/m³ Cd(ceiling) 0.6 mg/m³	EEC Label Directive 77/728/EEC	Cadmium 0.1 %		

Commercial product data

Entries represent data compiled for dry powders without resination or other surface treatment. Data are intended solely as a general guide. See manufacturers' literature for properties of specific products.

Typical spectral curves



Spectral curves are provided for qualitative color description only and are not to be interpreted as specifications.

Physical data

Specific gravity	4.2 - 5.3	(H_2O=1)
Solid bulk density	35.0 - 44.1	lb/US gal
Melting point		°C
Particle shape		
Particle size, mean	1.0	micrometers
325-Mesh retention	0.1 - 0.5	% >44μ
Surface area		m^2/g
pH	6 - 7.5	(10% slurry)
Hiding power	☒ Opaque ☐ Semi-opaque ☐ Transparent	
Oil absorption	12 - 32	wt/100 wt

Fastness data*

Acid	Hydrochloric acid, 5%	A'	Oxygenated solvents	Ethyl alcohol	N
	Lactic acid, 3%	N		Ethyl acetate	N
	Acetic acid, 2%	N		Diethylene glycol	N
Alkali	Sodium hydroxide, 2%	N		Methyl ethyl ketone	
	Sodium carbonate, 5%	N		Lacquer solvent, DCMA	N
Water	20°C	N	Other	DOP 20°C	N
	100°C			175°C	
	Process sterilization			Oils, fats & greases	N
Hydrocarbons	Mineral spirits	N		Paraffin wax, 50°C	N
	Xylene	N		Soap sandwich	N

Color permanency*

Indoor (Fadeometer)	Change at 72-80 hrs	N (full)	N (tint)	Max. tol.	500 hrs (full)	200^{GF}	hrs (tint)
Outdoor (a) (Florida 45°S)	Change at 12 months	N (full)	A (tint)	Max. tol.	$12\text{-}18^{D}$ mos (full)	$6\text{-}8^{GF}$	mos (tint)
Baking (Tin plate)	Change at 150°C (300°F)	N (15')	N (30')	Max. tol.	> 500 °C (10')	500	°C (30')

** Key to fastness and permanency ratings: N—no bleed or discoloration; S—slight; A—appreciable; '—ratings vary by source. Key to permanency failures: F—fades; D—darkens; L—loses gloss; B—turns bluer; G—turns grayer or greener; Y—turns yellower; Z—bronzes.*

Other data

Unique combination of properties: bright, clean; intense colors of high hiding power, excellent stability to alkali, solvents, heat and light (with P.Red 113, most lightfast pigments in their shade range). Lightfastness requires protection from moisture.
a-Specimens for outdoor tests were prepared with moisture-barrier vehicle.

Applications data

Major usage	Plastics (85). Artists' colors. Ceramics. Baked enamels. Highly durable industrial finishes and opaque printing inks. Rubber goods, leather goods, coated fabrics.	Major weaknesses	Fades in presence of light and moisture, lighter colors and tints being more susceptible. Sensitive to mineral acids. Discolored by lead and other dark-sulfide producing metals.

Available physical forms

Number of manufacturers who supply the following grades							Total companies *List is given in Appendix*
Dry full strength			Dry reduced		Wet		
No surface treatment	Resinated	Special surface treatment	Lake (Al)	Extended with polymers	Presscake	Flushes and dispersions	
9		2		1		1	10

The information given on this Data Sheet was compiled from sources considered reliable; however, users are advised to test and analyze the pigment for specific applications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TECHNICAL DATA SHEET

Ultramarine Blue Grade 21

IDENTITY

Chemical	-	Sodium Alumino Sulphosilicate
C.A.S. No.	-	57455-37-5
Colour Index No.	-	PIGMENT BLUE 29: 77007.

SPECIFICATION

Colour - (reduced with TiO_2 in oil against standard)

DL	-	± 0.3 CIELAB max
DH	-	± 1.0 CIELAB max
DC	-	± 1.3 CIELAB max
DE	-	3.0 FMC II UNITS max
MATTER volatile at 105°C		1.5% max
Water Soluble matter		1.0% max
Sieve residue (45 µm)		0.1% max

TYPICAL DATA

Tinting strength	-	145
Chromaticity values (mass tone)	-	x 0.164 Y 5.9% y 0.088
Specific gravity	-	2.35
Tap density (g/cm^3)	-	0.53
Oil absorbtion (%)	-	30
Mean particle size (µm)	-	1.75
Cube (for shipping)(m^3)	-	1.699
Free sulphur	-	0.5% max

Heavy metals content :-

	Typical Content (p.p.m.)								
	Pb	Cd	Cr	Co	Cu	Hg	As	Ni	Se
Total content	17	<0.5	12	<9	20	<1	<3	6	<1

FASTNESS PROPERTIES

Heat (pigment in air) greater than 350°C

Light (xenon lamp and daylight)

mass tone	-	excellent ; 7/8 (woolscale)
reduced shade	-	excellent ; 7/8
Acids	-	Poor
Alkalis	-	Good

HEALTH AND SAFETY

Ultramarine is one of the safest pigments available to industry.

Acute oral toxicity (LD 50 rats)	-	greater than 10.000 mg/kg
Skin irritation	-	non irritant, non sensitizing
Eye irritation	-	none
Threshold limit value	-	10 mg/m^3 total dust

STORAGE, STABILITY AND HANDLING

Transport and storage	-	do not store near acids
Incompatible substances	-	acids
Hazardous decomposition products	-	hydrogen sulphide released with acid contact
Protective and special measures	-	none: avoid excessive dust
Action after spillage	-	clean quickly; avoid flushing large quantities. Dispose according to local regulations

Regulations

Cosmetics

Conforms to the following regulations:
EEC - EEC Directive 76/768 EEC of 27 July 1976 and all subsequent amendments, listed in Annex 3 part 2
U.S.A. - Federal Regulations, Title 21, 73.2725.
Other Countries - Conforms to regulations in most countries of the world.

Toys, artists material etc

Conforms to the following regulations:
EEC - Draft Directive Safety of Toys ENV/9/79. Proposed CEN standard EN 71 safety of Toys Part 3.
U.S.A. - The American Standard Specification to minimise Hazards to Children from Residual Surface Coating materials.
Also, Federal Register 42 (170) 44193-44201 (1977).
Other countries - Conforms to regulations in most countries of the world.

FOOD CONTACT PLASTICS

Conforms to regulations in most countries of the world.

Data Sheet 4-24

Identity data for principal component

Colour Index — Generic name	C. I. Pigment Blue 29	Formula & composition	$Na_{6-8}Al_6Si_6O_{24}S_{2-4}$
Colour Index — Constitution number	C. I. 77007		
Common names	Ultramarine Blue, Laundry Blue		
Chemical type	☐ Organic ☒ Inorganic — Data table 16c		
Chemical class	Silicate		
Chemical description	Sodium sulfosilicate prepared from lapis lazuli ore or synthetically by calcining white clay, soda ash and other appropriate materials. Violet grades are P.Violet 15.	CAS Registry Number	57455-37-5 C.I. Pigment Blue 29
Hue	Bright blue (light, medium and dark)	Empirical formula (CAS)	M.W. 916-1026

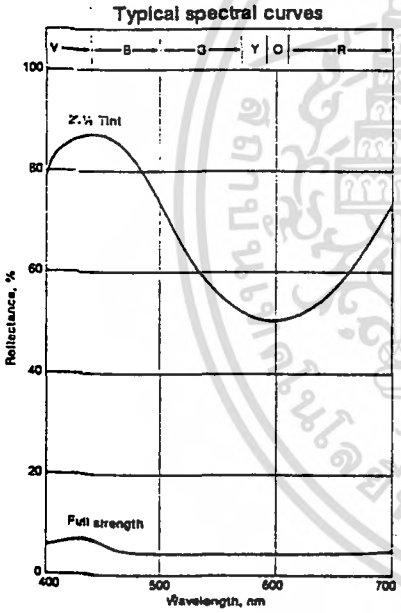
Regulatory data

Regulated constituents (molecular)	None *See Preface and Table A2*	EPA Solid waste restrictions RCRA-40 CFR 261.24	NA ppm @ pH 5	Additional regulatory concerns	FDA permits use in certain food and cosmetics.
		EPA Priority pollutants CWA PL 95-217	NA		
Controlling OSHA Standard 8 hr t.w.a. 29 CFR 1910.1000	Nuisance dust 15 mg/m³	EEC Label Directive 77/728/EEC	NA %	References to safety and health data	Table B2

Commercial product data

Entries represent data compiled for dry powders without resination or other surface treatment. Data are intended solely as a general guide. See manufacturers' literature for properties of specific products.

Typical spectral curves



Spectral curves are provided for qualitative color description only and are not to be interpreted as specifications.

Physical data

Specific gravity	2.3 - 2.4	(H_2O = 1)
Solid bulk density	19.1 - 20.0	lb/US gal
Melting point		°C
Particle shape	Cubic (zeolite structure)	
Particle size, mean	Light 0.5 - 1.0 Dark 3.0 - 5.0	micrometers
325-Mesh retention		% > 44 μ
Surface area		m²/g
pH		(10% slurry)
Hiding power	☒ Opaque in water ☐ Semi-opaque ☒ Transparent	
Oil absorption	28 - 31	wt/100 wt

Fastness data*

Acid	Hydrochloric acid, 5%	A	Oxygenated solvents	Ethyl alcohol	N
	Lactic acid, 3%	A		Ethyl acetate	N
	Acetic acid, 2%	A		Diethylene glycol	N
Alkali	Sodium hydroxide, 2%	N		Methyl ethyl ketone	N
	Sodium carbonate, 5%	N		Lacquer solvent, DCMA	N
Water	20°C	N	Other	DOP 20°C	N
	100°C			175°C	
	Process sterilization			Oils, fats & greases	
Hydrocarbons	Mineral spirits	N		Paraffin wax, 80°C	N
	Xylene	N		Soap sandwich	N

Color permanency*

Indoor (Fadeometer)	Change at 72-80 hrs	N (full)	N (tint)	Max. tol.	> 240 hrs (full)	> 240	hrs (tint)
Outdoor (Florida 45°S)	Change at 12 months	(full)	(tint)	Max. tol.	mos (full)		mos (tint)
Baking (Tin plate)	Change at 150°C (300°F)	N (15')	N (30')	Max. tol.	> 300 °C (15')	> 300	°C (30')

* *Key to fastness and permanency ratings: N—no bleed or discoloration; S—slight; A—appreciable; *—ratings vary by source. Key to permanency failures: F—fades; D—darkens; L—loses gloss; B—turns bluer; G—turns greyer or greener; Y—turns yellower; Z—bronzes.*

Other data

Oldest and most brilliant of blue pigments; outstanding heat and lightfastness.
Color can be varied by control of composition and particle size.
Reacts with metals to form sulfides, turns white in presence of calcium ions.

Applications data

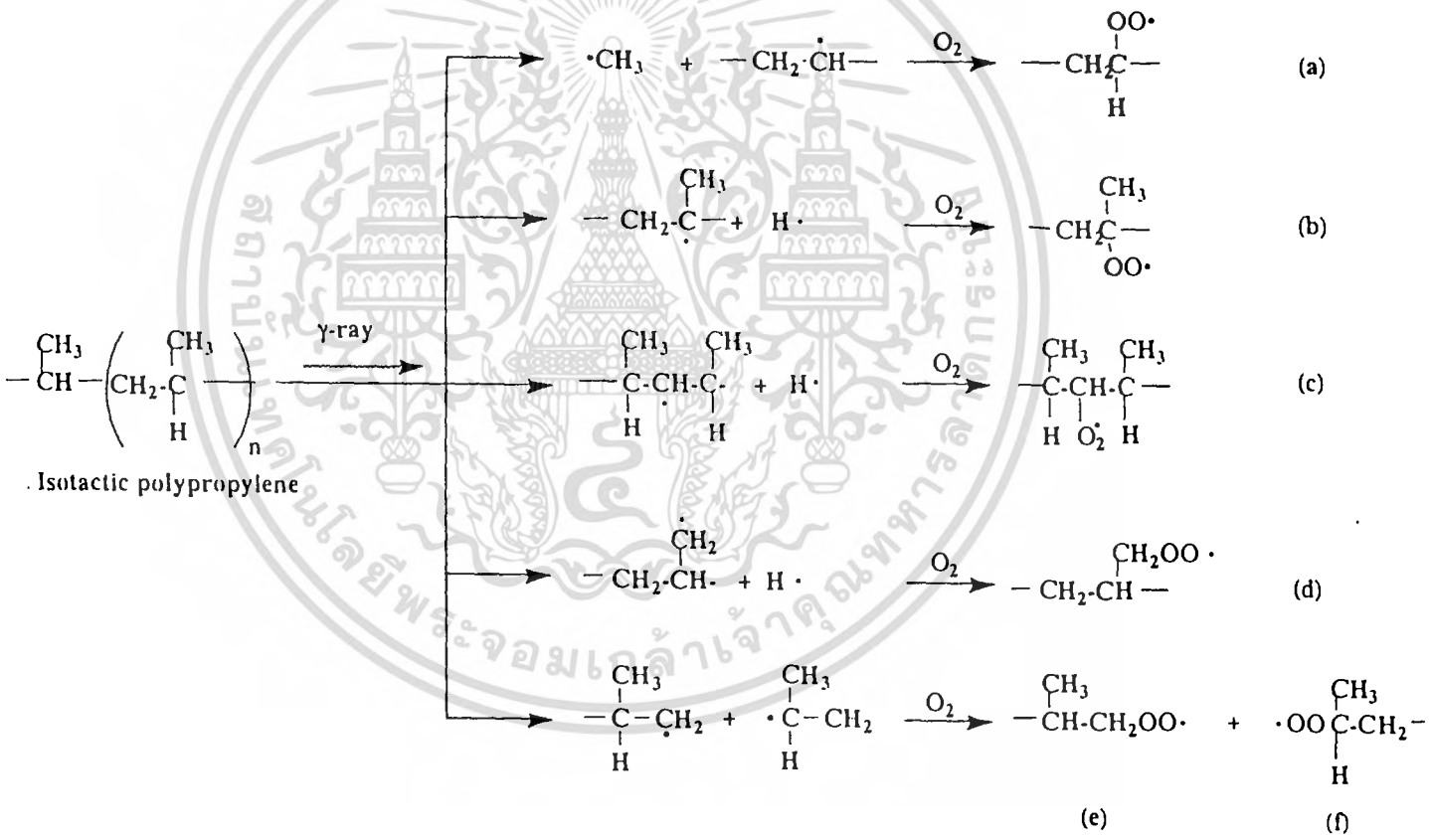
Major usage	Toning of hi-bake white enamels and plastics to counteract yellowing on heating. Artists' colors. Permanent printing inks. Cosmetics. Roofing.	Major weaknesses	Low tinting strength [use in inks replaced by Phthalo Blue (P.Blue 15's)]. Very poor acid resistance. Discolored by metal sulfides, alkaline calcium ions.

Available physical forms

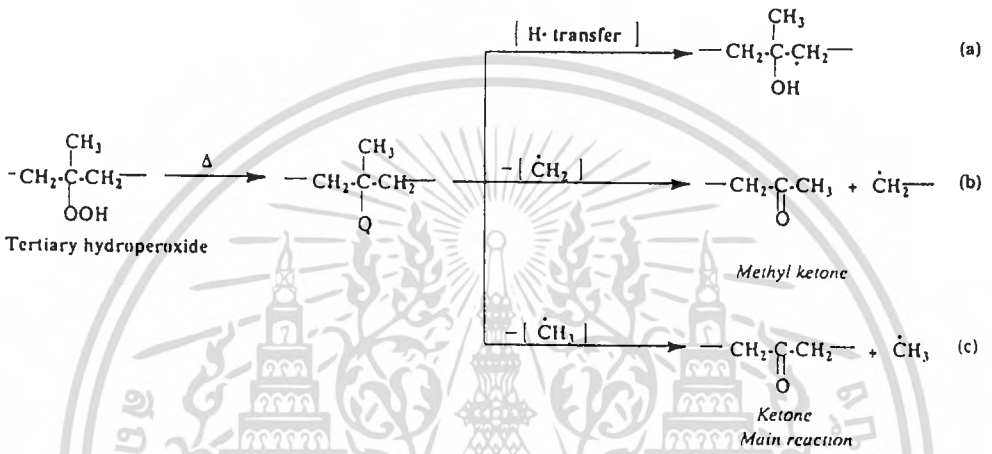
Number of manufacturers who supply the following grades							Total companies *List is given in Appendix*
Dry full strength			Dry reduced		Wet		
No surface treatment	Resinated	Special surface treatment	Lake (Al)	Extended	Presscake	Flushes and dispersions	
4							4

The information given on this Data Sheet was compiled from sources considered reliable; however, users are advised to test and analyze the pigment for specific applications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

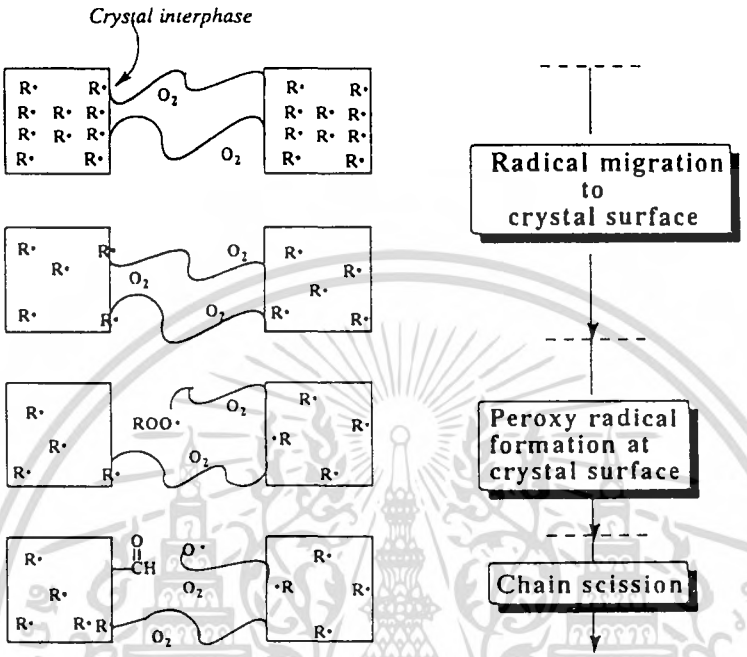


Scheme 1. Several radical species possibly generated from polypropylene upon γ-irradiation.



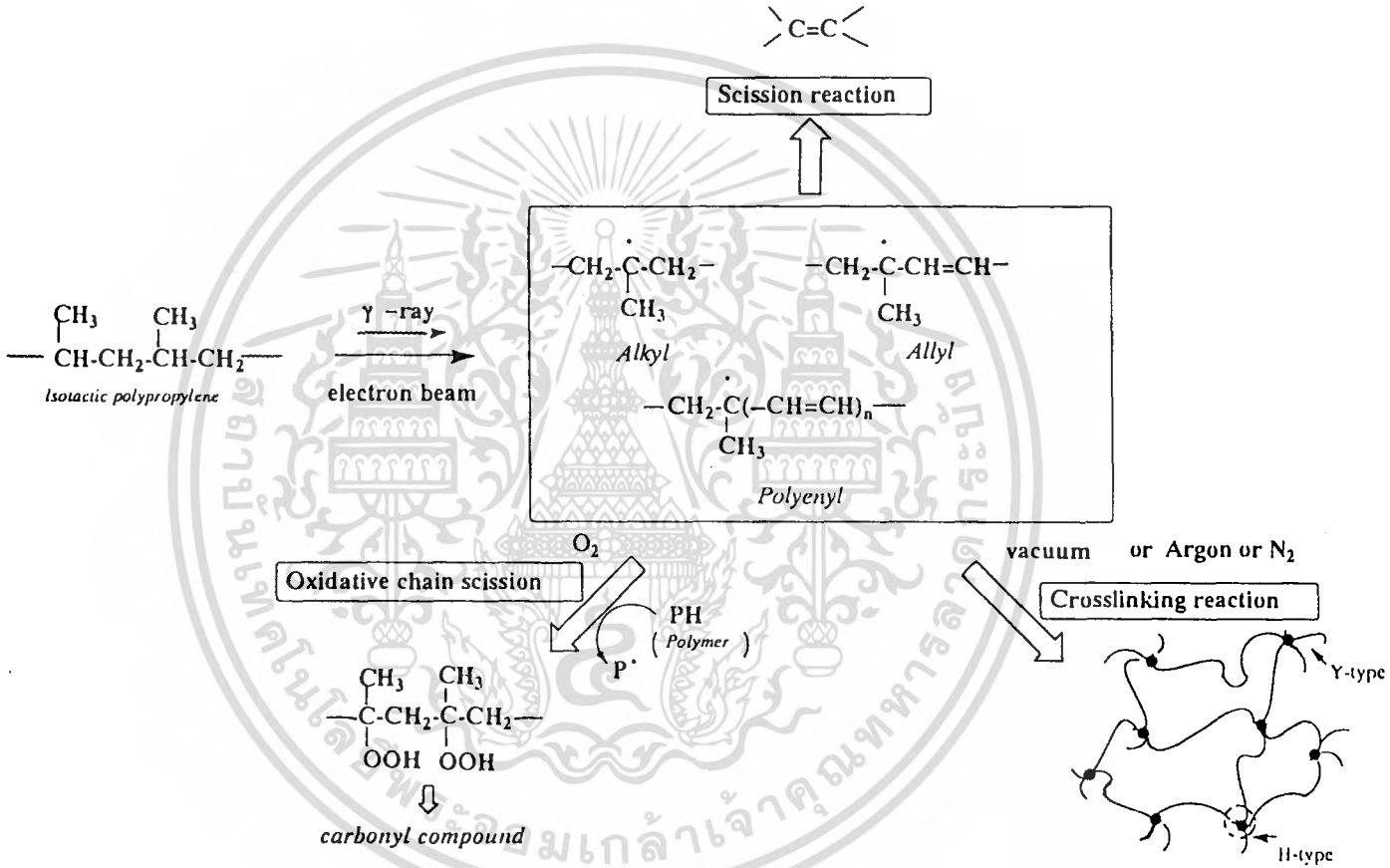
Scheme 1. Thermal decomposition of hydroperoxides via β-scission.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A model for radical migration from the interior to the surface of crystal phase.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Scheme 1. Radiation chemical reaction pathways of polypropylene.

บรรณานุกรม

1.Gordienko,V.P.;Dmitriev,Yu.A. *Polymer Degradation and Stability* ; **1996** , 53 , 79-87.

2.Mckellar,J.F.;Allen,N.S. *Photochemistry of Man-made Polymers* , **1979** , 27-299.

3.Mimeault,V.J. *Additive forPlastics* , **1978** , 2 , 113-122.

4.Jighe,B.J. *Polymer Surfaces* , **1978** , 269-369.

5.Gachter/Muller. *Plastics Additive* , **1967** , 131-149.

6.Webber,T.G.*Chloring of Plastic;* 1-55

7.Bremer,W.B.*Polymer Plastic Technology Engineer;* 1982,18(2),137-148

*8.*Muller.*Plastic Additive;* 195-225

9.Thomas.*Coloring of Plastic;* 137-142

10.Rabek,J.F.*Polymer Photodegradation Mechanism and Experimental Method, 5' 'Chapman & Hall;*1995,354-363

11.Makhlis,J.F. *Radiation Physics and Chemistry of Polymer;*238-263

*12.*Huck,K *Polymer Stabilization and Design;* 359-371

13.Chen Wenxiv, Yu Shui; "Radiation Effect on the Morphology of Polypropylene with Some Additive " .*Radiation Physics and Chemical,* 4 (1993), 42, 207-210

14.Gordienko,V.P.; Demitriev, Yu A. " The degradation and stability of polyethylene with small addtion of metal oxides under uv-irradiation ." *Polymer Degradation and Stability;* 1996, 53, 79-87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้