สำนักหอสมุดกลาง_พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลและโครงสร้างของพอลิพรอพิลีน ผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการฉายรังสี

นางสาวชัชวลัย ธรรมมิตร
นายชัยวัฒน์ เตชะเกียรติกูร

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2540

ปพ.
ช357ค
2540
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 32015
วัน, เดือน, ปี - 8 ก.พ. 2542

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical Properties - Structure Relationship

in

Blends of PP with Irradiated HDPE

Miss Chachvalai Thammamitra

Mr.Chaiwat Tachakritikul

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลและโครงสร้างของพอลิพรอพิลีนผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการฉายรังสี

นักศึกษา นางสาวชัชวลัย ธรรมมิตร

นายชัยวัฒน์ เตชะเกียรติกูร

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... หัวหน้าภาคเคมี

(ผศ.นงนุช เกตรานุวัฒน์)

..... ประธานกรรมการ

(ดร.ต้องจิตต์ คิดชอบ)

..... กรรมการ

(ดร.อิทธิพล แจ้งชัด)

..... กรรมการ

(ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	**ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลและโครงสร้างของพอลิพรอพิลีนผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการฉายรังสี**
นักศึกษา	**นส.ชัชวลัย ธรรมมิตร**
	นายชัยวัฒน์ เตชะเกียรติกูร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2540

บทคัดย่อ

การฉายรังสีแกมมาเป็นการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสม (Polymer blends) วิธีหนึ่ง พอลิเมอร์ที่ทำการฉายรังสีคือพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ได้จากขวดน้ำดื่มที่ใช้แล้ว เมื่อทำการฉายรังสีจะเกิดอนุมูลอิสระขึ้น อนุมูลอิสระจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการตัดทอนสายโซ่และปฏิกิริยาพันธะเชื่อมโยง การตัดทอนสายโซ่ทำให้น้ำหนักโมเลกุลและความทนทานต่อความร้อนลดลง และทำให้พอลิเมอร์สามารถละลายได้ด้วย ส่วนพันธะเชื่อมโยงนั้นให้ผลในทางตรงกันข้าม

ระบบพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ในการศึกษานี้คือพอลิพรอพิลีนผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยฉายรังสีพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์ (kGy) ใช้อัตราส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็น 70:30 และ 30:70 ทำการผสมโดยใช้เครื่องผสมหลอมเหลวระบบปิดแบบเกลียวหนอนคู่ (Brabender) ที่ตั้งความเร็วรอบไว้เท่ากับ 50 รอบต่อนาที จากนั้นนำพอลิเมอร์ผสมไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และทดสอบปริมาณการเกิดเจล พบว่าที่ความเข้มของรังสี 30 kGy จะมีปริมาณเจลมากที่สุด พอลิเมอร์ผสมอัตราส่วน 70:30 ที่มีความเข้มของรังสี 10 kGy และอัตราส่วน 30:70 ที่มีความเข้มของรังสี 30 kGy จะมีสมบัติทนความร้อนได้สูงสุด เฉพาะที่อัตราส่วน 30:70 เท่านั้นที่สมบัติเชิงกลจะดีขึ้นตามความเข้มของรังสีที่เพิ่มขึ้น ส่วนพอลิเมอร์ผสมอัตราส่วน 70:30 สมบัติเชิงกลที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Mechanical Properties - Structure Relationship in Blends of PP with irradiated HDPE
Name	Miss Chachvalai Thammamitra
	Mr.Chaiwat Tachakritikul
Special Project Advisor	Assist.Prof.Dr.Malinee Chaisupakitsin
Department	Chemistry
Academic Year	1997

ABSTRACT

Gamma irradiation is kind of the methods to improve properties of PP-HDPE polymer blends. In this study, HDPE from wastes water bottle were irradiated by gamma ray before mixing with PP. The irradiation initiated free radicals in HDPE which caused the chain scission and crosslink reaction. Chain scission decreased the molecular weight, heat resistance and caused the polymers soluble. On the other hand, crosslinking showed the opposite results.

The mechanical properties, thermal properties and gel content of PP-irradiated HDPE blends were studied. HDPE was gamma irradiated in air with the dose range of 10-30 kGy. The ratios of polymer blends of 70:30 and 30:70 were mixed by a brabender plasticorder at speed of 50 rpm. Irradiated HDPE with 30 kGy showed the highest gel content. The blends ratio of 70PP:30HDPE (10 kGy) and 30PP:70HDPE (30 kGy) gave the highest heat resistance. With increasing the radiation doses, only the ratio of 30PP:70HDPE improved the mechanical properties of the blends.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ สั่งสอน และให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ต้องจิตต์ คิดชอบ และ ดร.อิทธิพล แจ้งชัด คณะกรรมการทั้งสองท่าน ที่ได้กรุณาแก้ไข ตรวจสอบโครงงานพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ และ เจ้าหน้าที่ธุรการภาคเคมีทุกท่าน ที่ได้ให้ความสะดวกในการทำโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณ รุ่นพี่ รุ่นน้อง และ เพื่อน ๆ ทุกคน ที่คอยให้กำลังใจ คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือจนโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี

นางสาวชัชวลัย ธรรมมิตร
นายชัยวัฒน์ เตชะเกียรติกูร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	
— ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
— วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	2
— ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
— ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
— ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
— Polymer blends	3
— ชนิดของรังสี	4
— การฉายรังสีกับพอลิเมอร์	6
— ประโยชน์ของการฉายรังสี	11
— ผลของรังสีต่อการเปลี่ยนแปลงของพอลิโอลิฟิน	12
— ผลของรังสีที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์	13
— การเกิดออกซิเดชันของพอลิเมอร์เมื่อทำการฉายรังสี	14
— พอลิเอทิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นสูง	15
— พอลิพรอพิลีน	16
บทที่ 3 การวิจัยและผลการทดลอง	
การทดลอง	
1. วัสดุและเครื่องมือ	17
2. การเตรียม Irradiated-HDPE	18
3. ขั้นตอนการทดลอง	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาด้วยเทคนิค Infrared Spectroscopy (IR) 22

การหาเปอร์เซนต์การเกิดพันธะเชื่อมโยง (%Gel) 25

การศึกษาสมบัติทางความร้อน

1. การศึกษาด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) 28
2. การศึกษาด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) 31
3. การศึกษาด้วยเทคนิค Deflection Temperature Under Load (DTUL) 34

การศึกษาสมบัติเชิงกล

4. การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก 37
5. การศึกษาด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง 40

บทที่ 5 สรุปการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ

Pure PP และ Pure HDPE 44

ระบบพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30 44

ระบบพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70 45

ข้อเสนอแนะ 45

เอกสารอ้างอิง 46

ภาคผนวก 47

ก. ผลของ Infrared Spectroscopy

ข. ผลของการทดสอบสมบัติทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่1 แสดงผลการศึกษาด้วยเทคนิค IR ของ Pure PP และ Pure HDPE 22

ตารางที่2 แสดงผลการศึกษาด้วยเทคนิค IR ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE
ที่มีอัตราส่วน 70:30 22

ตารางที่3 แสดงผลการศึกษาด้วยเทคนิค IR ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE
ที่มีอัตราส่วน 30:70 23

ตารางที่4 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดพันธะเชื่อมโยงของ Pure PP และ Pure HDPE 25

ตารางที่5 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดพันธะเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE
ที่มีอัตราส่วน 70:30 25

ตารางที่6 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดพันธะเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE
ที่มีอัตราส่วน 30:70 25

ตารางที่7 แสดงผลการศึกษาด้วย DSC ของ Pure PP และ Pure HDPE 29

ตารางที่8 แสดงผลการศึกษาด้วย DSC ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE
ที่มีอัตราส่วน 70:30 29

ตารางที่9 แสดงผลการศึกษาด้วย DSC ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE
ที่มีอัตราส่วน 30:70 29

ตารางที่10 แสดงผลการศึกษาด้วย TGA ของ Pure PP และ Pure HDPE 31

ตารางที่11 แสดงผลการศึกษาด้วย TGA ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE
ที่มีอัตราส่วน 70:30 32

ตารางที่12 แสดงผลการศึกษาด้วย TGA ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE
ที่มีอัตราส่วน 30:70 32

ตารางที่13 แสดงผลการศึกษาด้วย DTUL ของ Pure PP และ Pure HDPE 34

ตารางที่14 แสดงผลการศึกษาด้วย DTUL ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE
ที่มีอัตราส่วน 70:30 34

ตารางที่15 แสดงผลการศึกษาด้วย DTUL ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE
ที่มีอัตราส่วน 30:70 35

ตารางที่16 แสดงผลการศึกษาความทนทานต่อแรงกระแทกของ Pure PP และ Pure HDPE 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่17 แสดงผลการศึกษาความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30 37
ตารางที่18 แสดงผลการศึกษาความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70 38
ตารางที่19 แสดงผลของค่า Rm, Stress at break, % Elongation และ Modulus ที่ได้จากการทดสอบของเครื่อง Tensile testing machine ของ Pure PP และ Pure HDPE 41
ตารางที่20 แสดงผลของค่า Rm, Stress at break, % Elongation และ Modulus ที่ได้จากการทดสอบของเครื่อง Tensile testing machine ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30 41
ตารางที่21 แสดงผลของค่า Rm, Stress at break, % Elongation และ Modulus ที่ได้จากการทดสอบของเครื่อง Tensile testing machine ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่1 แสดงสมบัติต่ออัตราส่วนของพอลิเมอร์ใน Polyblends 4

รูปที่2 Degradation by irradiation 6

รูปที่3 Formation of free radicals through irradiation 7

รูปที่4 Linear structure of plastics with missing atom. The vacancy in the crystalline structure is a potential site for radical attachment 8

รูปที่5 Oxidation (radical attachment of oxygen) of polybutadiene. This crosslinking results in a rapid aging effect with loss of elastic strain 8

รูปที่6 Changes in materials properties caused by radiation. Controlled use of radiation can be beneficial 9

รูปที่7 Branching of polyethylene 10

รูปที่8 In graft polymerization, a monomer of one type (B) is grafted onto a polymer of a different (A) . Because graft copolymers contains long sequences of two different monomer units some unique properties result 11

รูป4-1 แสดงผลที่ได้จาก IR ของ Pure PP และ Pure HDPE ที่ไม่ผ่านการฉายรังสี 23

รูป4-2 แสดงผลที่ได้จาก IR ของ Pure HDPE ที่ผ่านการฉายรังสี 24

รูป4-3 แสดงผลที่ได้จาก IR ของพอลิเมอร์ผสมที่มี Irradiated-HDPE 24

รูป4-4 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดพันธะเชื่อมโยงของ Pure HDPE ที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ 26

รูป4-5 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดพันธะเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30 26

รูป4-6 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดพันธะเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70 27

รูป4-7 แสดงค่าอุณหภูมิการตกผลึก T_c (°C) ที่ได้จาก DSC 30

รูป4-8 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของ Pure PP และ Pure HDPE 32

รูป4-9 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30 33

รูป4-10 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70 33

รูป4-11 แสดงผลที่ได้จาก DTUL ของ Pure PP และ Pure HDPE 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป4-12 แสดงผลที่ได้จาก DTUL ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30 36
รูป4-13 แสดงผลที่ได้จาก DTUL ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70 36
รูป4-14 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของ Pure PP และ Pure HDPE 38
รูป4-15 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30 39
รูป4-16 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70 39
รูป4-17 แสดงผลค่า Rm, Stress at break, % Elongation และ Modulus ของ Pure PP และ Pure HDPE 42
รูป4-18 แสดงผลค่า Rm, Stress at break, % Elongation และ Modulus ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30 43
รูป4-19 แสดงผลค่า Rm, Stress at break, % Elongation และ Modulus ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ปัจจุบันนี้ทั่วโลกมีการใช้พลาสติกเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย ซึ่งพลาสติกนั้นมีคุณสมบัติในการนำไปใช้งานหลาย ๆ ลักษณะ และที่สำคัญคือมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆได้ดีและสลายตัวได้ยาก จึงทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้น ส่วนแนวทางในการลดปริมาณขยะพลาสติกมีอยู่หลายแนวทางด้วยกันเช่น ใช้วัสดุธรรมชาติทดแทน ใช้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ หรือการนำพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ โดยแนวทางในการนำกลับมาใช้ใหม่มีหลายลักษณะคือ

- การนำกลับมาใช้ใหม่โดยตรง
- นำกลับมาใช้เป็นพลาสติกที่มีคุณภาพด้อยกว่าเดิม
- เปลี่ยนพลาสติกให้เป็นสารเคมีชนิดอื่น
- นำไปเผาเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน

นอกจากนี้ยังมีอีกแนวทางหนึ่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่างๆที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือระบบพอลิเมอร์ผสม (Polymer blends) ซึ่งระบบพอลิเมอร์ผสมจะเป็นการนำข้อดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกันเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้แทนพอลิเมอร์ที่มีราคาสูง และที่สำคัญคือเป็นการนำพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์ แต่ปัญหาที่พบมากคือพอลิเมอร์จะไม่สามารถผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีเนื่องจากมีโครงสร้างต่างกัน ทำให้แรงยึดติดระหว่างผิวน้อยซึ่งจะส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลลดลง

แนวทางหนึ่งที่ใช้ในการเพิ่มคุณสมบัติต่าง ๆ ในระบบพอลิเมอร์ผสมที่ในปัจจุบันเริ่มเป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้นคือ การฉายรังสี (Radiation) ซึ่งการใช้รังสีมีข้อดีหลายประการเช่น รังสีก่อให้เกิดปฏิกิริยาในวัตถุโดยไม่ส่งผลต่อสี สารตัวเติมหรือองค์ประกอบอื่นๆที่เติมในพอลิเมอร์ สามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงและการต่อกิ่งได้แม้ว่าพอลิเมอร์ถูกขึ้นรูปชิ้นงานแล้ว ฯลฯ รังสีที่ใช้จะช่วยให้เกิดแรงกระทำระหว่างโซ่ของพอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบ

พลาสติกที่ใช้กันอย่างมากในปัจจุบันเช่น พอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน ฯลฯ ซึ่งย่อยสลายได้ยาก ดังนั้นในโครงงานวิจัยนี้จะนำพลาสติกพอลิพรอพิลีนนำมาผสมกับพลาสติกที่ใช้แล้ว (HDPE) ที่ผ่านการฉายรังสี เพื่อศึกษาผลของรังสีที่ใช้ต่อระบบพอลิเมอร์ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2<u>วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ</u>

โครงงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆดังต่อไปนี้

1.เพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงพันธะ (Crosslink) จากการฉายรังสีแกมมาลงบน HDPE ที่ความเข้มของรังสีต่างๆ

2.เพื่อศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP และ Irradiated-HDPE ที่ความเข้มของรังสีและอัตราส่วนการผสมที่ต่างกัน

1.3<u>ขอบเขตของโครงงานพิเศษ</u>

โครงงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณความเข้มของรังสีต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติด้านต่าง ๆ ของระบบพอลิเมอร์ผสมดังนี้

1.การทดสอบสมบัติเชิงกล

2.การทดสอบสมบัติทางความร้อน

3.การหาปริมาณการเกิดเจล (พันธะเชื่อมโยง)

1.4 <u>ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ</u>

1.ทำให้ทราบถึงความเข้มของรังสีที่เหมาะสมที่ทำให้ระบบพอลิเมอร์ผสมมีสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงความร้อนดีที่สุด

2.เป็นแนวทางในการใช้รังสีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงโครงร่างแหแทนการใช้สารเคมี

3.เป็นแนวทางเพื่อใช้ในการลดปริมาณขยะพลาสติก

4.ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการได้

1.5 <u>ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน</u>

ในงานวิจัยนี้จะทำการผสมพอลิเมอร์ระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณความเข้มของรังสีต่าง ๆ ทำการผสมโดยใช้เครื่องผสมหลอมเหลวระบบปิดแบบเกลียวหนอนคู่ (Brabender) จากนั้นนำไปศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและหาปริมาณการเกิดเจล (พันธะเชื่อมโยง) แล้วนำผลที่ได้มาทำการสรุปผลและวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

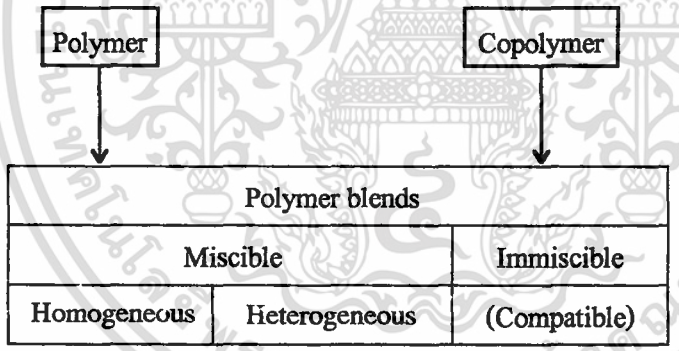
ทฤษฎีและหลักการ

Polymer blends

หลักการของการผสมทางกายภาพของพอลิเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปนั้นเพื่อจะให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่โดยจะไม่เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างกันซึ่งจะเป็นการปรับปรุงสมบัติต่างๆให้ดีขึ้น

Polymer blends หรือที่เรียกว่า "Polyblends" และบางครั้งอาจเรียกว่า "Alloys" การผสมพอลิเมอร์มีจุดมุ่งหมายที่จะนำคุณสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกันและทำให้ระบบพอลิเมอร์ผสมมีสมบัติที่ดีขึ้นเช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ความเหนียว (Ductivity) ความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact strength) ความทนทานต่อการเสียดสี (Abrasion resistance) อุณหภูมิที่ทำให้เสียสภาพ (Heat defection temperature) ฯลฯ

ระบบพอลิเมอร์ผสมสามารถสรุปเป็นแผนภาพง่าย ๆ ดังนี้



อัตราส่วนของพอลิเมอร์ใน Polyblends จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป (ดังรูปที่ 1)

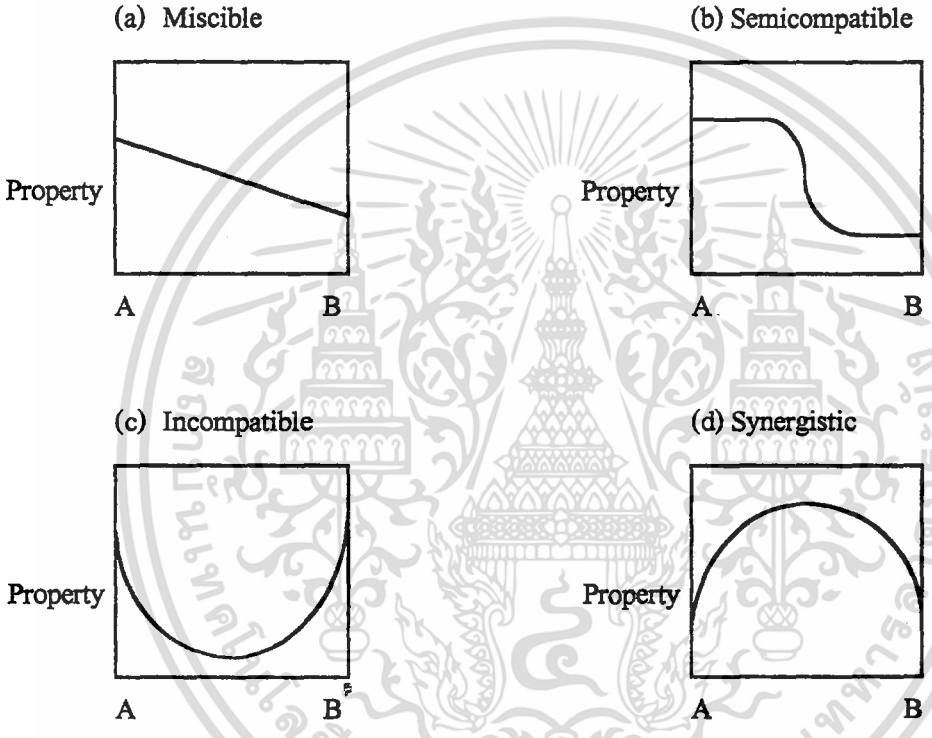
ในกรณีที่ผสมรวมตัวกันอย่างสมบูรณ์ (รูปที่ 1a) คุณสมบัติจะมากหรือน้อยขึ้นกับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ ซึ่งการผสมแบบนี้สามารถเลือกคุณสมบัติตามต้องการได้ง่าย อย่างไรก็ตามการผสมรวมตัวกันอย่างสมบูรณ์นั้นพอลิเมอร์ต้องมีความเป็นขั้วใกล้เคียงกัน มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีพันธะไฮโดรเจนหรือแรงระหว่างโมเลกุลสูง

พอลิเมอร์ที่ผสมกันส่วนมากจะไม่ผสมรวมตัวกันอย่างสมบูรณ์ พลังงานอิสระของการผสมจะมีค่าเป็นบวกจึงมีการแยกเฟสเป็น 2 เฟส กราฟที่ได้จะเป็นรูปตัว S (รูปที่ 1b) Polyblends ทางการค้าส่วนใหญ่จะเป็นแบบนี้ โดยคุณสมบัติส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มไปในทางพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อการผสมเป็นแบบผสมรวมตัวกันได้เล็กน้อยจะทำให้เกิดการแยกเฟสอย่างชัดเจนและแรงยึดติดระหว่างผิวจะมีค่าต่ำลง ทำให้คุณสมบัติลดลงต่ำกว่าพอลิเมอร์แต่ละชนิดนั้น ลักษณะของกราฟจะเป็นรูปตัว U (รูปที่ 1 c)

ส่วนกราฟแบบที่ 4 จะเป็นแบบ Synergistic behavior (รูปที่ 1d) ในกรณีนี้จะทำให้คุณสมบัติดีขึ้น แต่พบได้น้อยมากในระบบพอลิเมอร์ผสม การเกิดในลักษณะนี้ยังไม่เป็นที่เข้าใจมากนัก



รูปที่ 1 แสดงคุณสมบัติต่ออัตราส่วนของพอลิเมอร์ใน Polyblends [5]

ชนิดของรังสี

การฉายรังสีหมายถึงพลังงานที่ส่งผ่านจากคลื่นหรืออนุภาค การส่งผ่านพลังงานจากคลื่นเรียกว่าโฟตอน เมื่อโฟตอนเคลื่อนที่จะมีลักษณะเป็นคลื่น และจะเป็นอนุภาคเมื่อถูกอะตอมหรือโมเลกุลดูดกลืน

รังสีแกมมา (γ)

รังสีแกมมาเป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง $3x10^{-11}$ ถึง $3x10^{-13}$ เมตร ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับพลังงานดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = hc/\lambda = h\upsilon$$

โดย h = ค่าคงที่ของ Planck = 6.62×10^{-27} เออร์ก-วินาที

c = ความเร็วแสง

λ = ความยาวคลื่น

υ = ความถี่ของคลื่นรังสี (วินาที$^{-1}$)

หรือ $E(eV) = 1.24 \times 10^{-6} / \lambda$ (m)

ความยาวคลื่นระหว่าง 3×10^{-11} ถึง 3×10^{-13} เมตรจะทำให้มีค่าพลังงานระหว่าง 40 keV ถึง 4 MeV

รังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง ไม่มีประจุไฟฟ้า แกมมาโฟตอนสามารถทะลุทะลวงวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงได้ การที่จะหยุดยั้งรังสีแกมมาต้องใช้วัสดุคอนกรีตที่มีความหนามากกว่า 1 เมตร

พลังงานของแกมมาโฟตอนจะถูกดูดกลืนหรือสูญเสียในวัสดุได้นั้นมี 3 แนวทางคือ

1.พลังงานจะสูญเสียเมื่ออิเลกตรอนถูกชนให้หลุดออกจากวงโคจร

2.แกมมาโฟตอนจะชนอิเลกตรอนที่โคจรอยู่โดยใช้พลังงานเล็กน้อย ส่วนพลังงานที่เหลือจะใช้สำหรับการเคลื่อนที่ในทิศทางใหม่

3.รังสีแกมมาจะถูกทำลายเมื่อผ่านเข้าไปในสนามไฟฟ้าของนิวเคลียสที่มีพลังงานสูง

<u>รังสีอัลฟา</u> (α)

เป็นอนุภาคที่มีมวลมาก เคลื่อนที่ช้า โดยจะมีประจุบวกคู่ (2 โปรตอนและ 2 นิวตรอน) เมื่ออนุภาคอัลฟาชนอะตอมอื่น ประจุบวกคู่จะทำให้อิเลกตรอน 1 ตัวหรือหลายตัวหลุดออกไป ทำให้อะตอมหรือโมเลกุลอยู่ในลักษณะ Ionized state

<u>รังสีเบตา</u> (β)

เป็นอนุภาคอิเลกตรอนที่หลุดออกจากนิวเคลียสของอะตอมด้วยความเร็วสูง เคลื่อนที่ได้เร็วกว่าและมีอำนาจทะลุทะลวงมากกว่าอนุภาคอัลฟา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

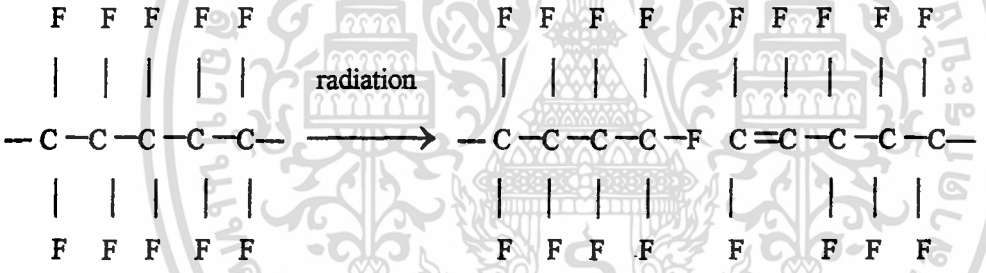
การฉายรังสีกับพอลิเมอร์

แหล่งกำเนิดรังสีจะส่งผ่านพลังงานไปยังวัสดุพอลิเมอร์ซึ่งจะทำให้เกิดการสลายพันธะและจะเกิดการจัดเรียงอะตอมเป็นโครงสร้างชนิดใหม่ การเปลี่ยนแปลงของสารที่มีพันธะโควาเลนต์จะส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพอย่างมาก ผลของการฉายรังสีต่อพอลิเมอร์อาจเกิดได้ 4 ลักษณะคือ

1. การสลายพันธะจากการฉายรังสี (Damage by radiation)
2. การปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ จากการฉายรังสี (Improvements by radiation)
3. การพอลิเมอร์ไรเซชันจากการฉายรังสี (Polymerization by radiation)
4. การต่อกิ่งจากการฉายรังสี (Grafting by radiation)

การสลายพันธะจากการฉายรังสี (Damage by radiation)

การสลายของพันธะโควาเลนต์เนื่องจากการฉายรังสี เรียกว่า Scission ซึ่งการสลายพันธะของ C-C จะทำให้น้ำหนักโมเลกุลต่ำลง รูปที่2 แสดงผลของการฉายรังสีที่มีต่อพอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน (PTFE) ที่มีโมเลกุลยาว จะเกิดการสลายของพันธะทำให้ความแข็งแรงลดลง



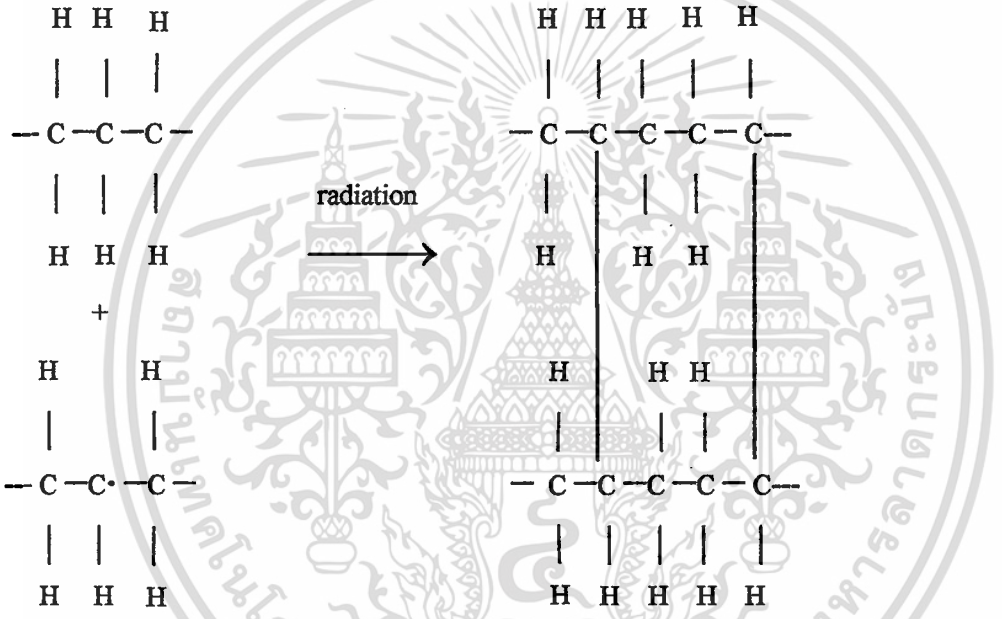
รูปที่ 2 Degradation by irradiation [4]

การสลายพันธะทำให้มีผลกระทบเช่น การแตกร้าว การเปลี่ยนสี ความเปราะ ความอ่อนตัว และสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ เกี่ยวกับน้ำหนักโมเลกุล การกระจายน้ำหนักโมเลกุล การเกิดไซ่กิ่ง ความเป็นผลึก และการเชื่อมโยงโครงร่างแห

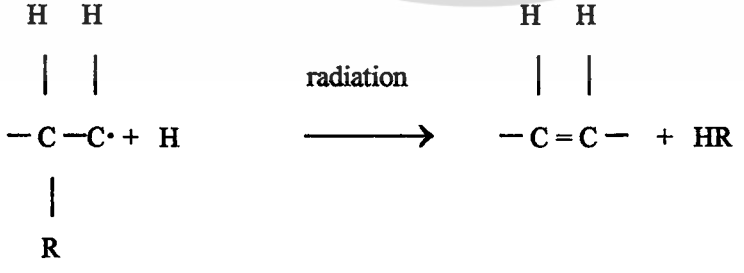
การควบคุมปริมาณรังสีต่อพอลิเอทิลีนจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงโครงร่างแห ทนต่อการละลายและเป็นวัสดุที่ทนต่อความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสลายพันธะของ C-C อาจทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้น ซึ่งสามารถทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงโครงร่างแห การเกิดโซ่กิ่ง การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน หรือเกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเป็นก๊าซ ดังรูปที่ 3A แสดงผลของรังสีที่ทำให้อนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันและเกิดการเชื่อมโยงโครงร่างแห รูปที่ 3B แสดงผลของรังสีทำให้เกิดก๊าซขึ้น อนุมูลอิสระอาจจะเป็น H F Cl และ อื่น ๆ การฉายรังสีอาจทำให้อะตอมหลุดออกจากวัสดุของแข็ง ทำให้เกิดที่ว่างขึ้นในโครงสร้างโมเลกุล ช่องว่างในโครงสร้างผลึกและการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลทำให้สมบัติเชิงกลลดลง สมบัติทางเคมี และสมบัติทางไฟฟ้าของพอลิเมอร์เปลี่ยนไป (รูปที่4)



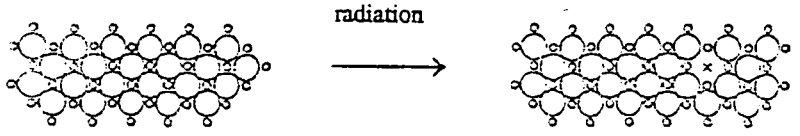
(A) Recombination leading to polymerization or crosslinking of hydrocarbon radicals



(B) Gaseous product formed by radiation

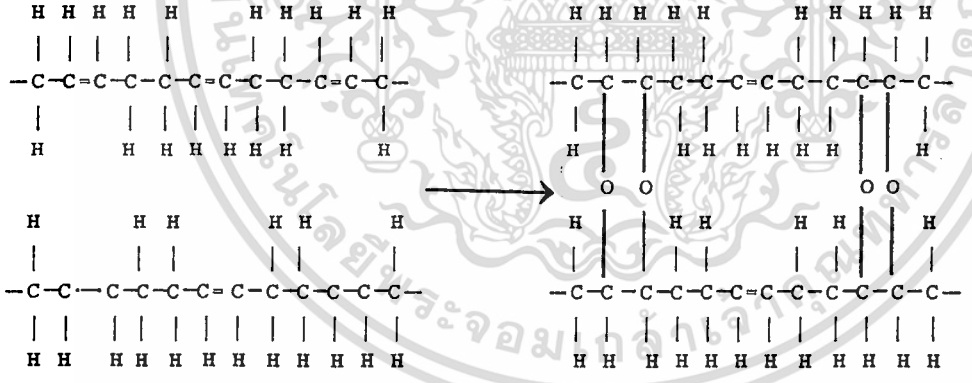
<u>รูปที่ 3</u> Formation of free radicals through irradiation [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 Linear structure of plastics with missing atom. The vacancy in the crystalline structure is a potential site for radical attachment [4]

อีลาสโตเมอร์ที่เกิดการเชื่อมโยงโครงร่างแหอาจเกิดความเสียหายได้ ตัวอย่างเช่น ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ที่มีการเชื่อมโยงโครงร่างแหหรือการเกิดโซ่กิ่งจะทำให้เกิดความแข็งและความเปราะมาก (รูปที่ 5 และรูปที่ 6)



รูปที่ 5 Oxidation (radical attachment of oxygen) of polybutadiene. This crosslinking results in a rapid aging effect with loss of elastic strain [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NEUTRON/CM^3 DOSEAGE	
10^{21} --	-- Stainless steels --- ductility reduced -- Aluminium alloys --- ductility reduced
10^{20} --	-- Carbon steels --- severe loss of ductility -- All plastics --- unusable as structural materials
10^{19} --	-- Ceramics --- reduction in density, thermal conductivity and crystallinity -- Carbon steel --- reduction in impact strength and increase in yield strength
10^{18} --	-- Polystyrene --- loss of tensile strength -- Natural and synthetic elastomers --- hardener
10^{17} --	-- Polyethylene --- loss of tensile strength -- Organic liquids --- gassing
10^{16} --	-- Natural and synthetic elastomers --- loss of elasticity -- Cellulosics --- loss of tensile strength
10^{15} --	-- Polytetrafluoroethylene --- loss of tensile strength -- Silica glass --- coloring
10^{14} --	-- Germanium transistors --- loss of amplification

รูปที่ 6 Changes in materials properties caused by radiation. Controlled use of radiation can be beneficial [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

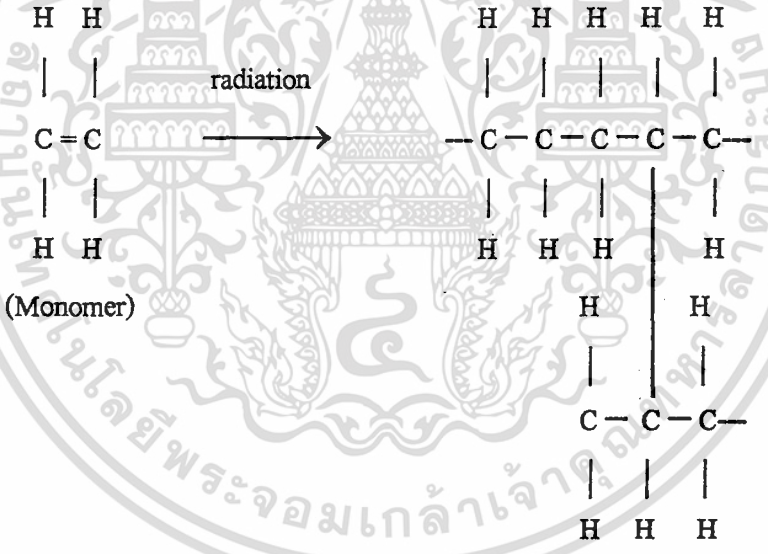
<u>การปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ จากการฉายรังสี</u> (Improvements by radiation)

พอลิเมอร์บางชนิดอาจเกิดความเสียหายได้ แต่ก็มีพอลิเมอร์บางชนิดที่เกิดผลดีเมื่อทำการควบคุมเงื่อนไขการฉายรังสี เทอร์โมพลาสติกที่เกิดการเชื่อมโยงโครงร่างแห การต่อกิ่งและการเกิดโซ่กิ่ง ทำให้สมบัติทางกายภาพเหมือนกับพลาสติกชนิดเทอร์โมเซต

พอลิเอทิลีนเป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่ได้รับผลดีจากการฉายรังสีเมื่อควบคุมปริมาณรังสีที่ใช้ การฉายรังสีทำให้พันธะสลายและเกิดการจัดเรียงอะตอมใหม่เป็นแบบโซ่กิ่ง ซึ่งโซ่กิ่งของพอลิ-เอทิลีนนี้จะทำให้อุณหภูมิการอ่อนตัวเพิ่มสูงขึ้น แต่การฉายรังสีปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดผลตรงข้ามกัน โดยเกิดการขัดขวางการเชื่อมโยงสายโซ่

<u>การพอลิเมอร์ไรเซชันจากการฉายรังสี</u> (Polymerization by radiation)

ในระหว่างที่เกิดการสลายพันธะโควาเลนต์จากการฉายรังสีจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระเหล่านี้จะรวมตัวกันอีกโดยจะเกิดการเชื่อมโยงโครงร่างแหและเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน (รูปที่7)



<u>รูปที่ 7</u> Branching of polyethylene [4]

การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันและการเกิดพันธะเชื่อมโยงโครงร่างแห สามารถนำไปใช้งานเกี่ยวกับการเคลือบผิวและการทำกาว ปริมาณของรังสี (Mrads) ที่ทำให้พอลิเมอร์เกิดการเชื่อมโยงโครงร่างแหขึ้นในพอลิเมอร์เช่น ใช้ปริมาณรังสี 20-30 Mrads สำหรับ PE 5-8 Mrads สำหรับ PVC 8-16 Mrads สำหรับ PVDF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>การเกิดการต่อกิ่งจากการฉายรังสี</u> (Grafting by radiation)

เมื่อมอนอเมอร์ชนิดหนึ่งเกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันและมอนอเมอร์อีกชนิดหนึ่งเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันบนโซ่หลัก จะได้กราฟท์โคพอลิเมอร์ รังสีสามารถทำให้เกิดกราฟท์โคพอลิเมอร์ขึ้นได้ โดยฉายรังสีให้กับพอลิเมอร์และเติมมอนอเมอร์ต่างชนิดกัน และทำการฉายรังสีอีกครั้งก็จะได้กราฟท์โคพอลิเมอร์ โครงสร้างของกราฟท์โคพอลิเมอร์แสดงดังรูปที่ 8 กราฟท์โคพอลิเมอร์อาจทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติเฉพาะของพอลิเมอร์สูงขึ้น การฉายรังสีอาจทำให้การกราฟท์เกิดขึ้นที่ผิวบาง ๆ หรือเกิดการกราฟท์ได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงานของพอลิเมอร์

AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA

|

BBBBBBBBBB

<u>รูปที่ 8</u> In graft polymerization, a monomer of one type(B) is grafted onto a polymer of a different type(A). Because graft copolymers contains long sequences of two different monomer units some unique properties result [4]

<u>ประโยชน์ของการฉายรังสี</u>

การฉายรังสีนั้นมีข้อเสียคือราคาแพง แต่ก็มีข้อดีหลาย ๆ ประการ ดังนี้

1. **ปฏิกิริยาเริ่มต้นสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่ากระบวนการทางเคมี**
2. **มีอำนาจทะลุทะลวงสูงซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ทั่งถึงตลอดชิ้นงาน แต่รังสีแกมมาจากโคบอลท์-60 แม้ว่าจะสามารถทะลุทะลวงได้ดี แต่ต้องใช้เวลาในกระบวนการมาก ซึ่งการใช้ Electron beam จะรวดเร็วกว่าแม้ว่าอำนาจทะลุทะลวงจะต่ำกว่า**
3. **มอนอเมอร์สามารถเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันได้โดยไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และอื่น ๆ ซึ่งอาจเป็นสิ่งเจือปน (Impurity) ในพอลิเมอร์**
4. **สารเติมแต่งต่าง ๆ เช่น สารตัวเติม แอนติออกซิแดนซ์ และอื่น ๆ ในพอลิเมอร์ จะมีผลต่อปฏิกิริยาน้อย เมื่อทำการฉายรังสี**
5. **ทำให้เกิดการเชื่อมโยงโครงร่างแห การต่อกิ่ง**
6. **ไม่ต้องใช้สารเคมีในการผสมในกระบวนการผลิต จึงไม่เปลืองเนื้อที่ในการเก็บ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของรังสีต่อการเปลี่ยนแปลงของพอลิโอลิฟิน

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นการเชื่อมโยงโครงร่างแหหรือการสลายของโมเลกุลขึ้นอยู่กับ

- โครงสร้างทางเคมี
- ความเสถียรของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นระหว่างการฉายรังสี
- สภาวะทางกายภาพของพอลิเมอร์เช่น ของเหลว ของแข็ง

ในกลุ่มของพอลิโอลิฟินนั้น พอลิเอทิลีนมีแนวโน้มที่จะเกิดการเชื่อมโยงโครงร่างแหมาก ในขณะที่พอลิบิวทิลีนจะเกิดการเสื่อมสลาย (Degrade) สำหรับพอลิพรอพิลีนอาจเกิดการเชื่อมโยงโครงร่างแหได้เท่า ๆ กับเกิดการเสื่อมสลาย ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของรังสีที่ใช้ ดังนั้นพารามิเตอร์เพียง 1 หรือ 2 อย่างไม่อาจนำมาอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นในวัสดุที่ได้รับการฉายรังสี

การเปลี่ยนแปลงต่อไปนี้จะช่วยอธิบายผลที่เกิดขึ้นในวัสดุได้

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

สิ่งที่เกิดขึ้นควบคู่ไปกับการฉายรังสีต่อโซ่พอลิเมอร์คือการเกิดก๊าซไฮโดรเจน การเกิดพันธะไม่อิ่มตัวและการเปลี่ยนแปลงความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ สิ่งเหล่านี้เป็นผลเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงโครงร่างแหหรือการเสื่อมสลาย เช่น การเกิดก๊าซไฮโดรเจนของพอลิเอทิลีน เพื่อสร้างพันธะเชื่อมโยงโครงร่างแห การเกิดพันธะไม่อิ่มตัวของไอโซบิวทิลีน

การฉายรังสีต่อพอลิเอทิลีน

การฉายรังสีมีผลในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนเช่นทนความร้อนได้สูงขึ้น เพิ่มค่าความแข็งแรงดึง นอกจากนี้การปรับปรุงนี้ยังสามารถทำได้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ต้องหลอมพอลิเอทิลีนหรือเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุซึ่งเป็นข้อสำคัญในอุตสาหกรรม

เมื่อหลอมพอลิเอทิลีนที่ผ่านการฉายรังสีพบว่ามีสมบัติยืดหยุ่นคล้ายยาง ถ้านำพอลิ-เอทิลีนมาเติมมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน CH≡CH จะเป็นการเพิ่มจำนวนพันธะเชื่อมโยงโครงร่างแห

การออกซิเดชันที่เกิดขึ้นจากการฉายรังสีในอากาศ อาจหลีกเลี่ยงหรือทำให้ลดลงโดยการ Annealing (ในสุญญากาศ) วัสดุที่ผ่านการฉายรังสี เพราะวิธีนี้จะช่วยเร่ง R· ที่เกิดขึ้นให้ทำปฏิกิริยารวมกัน หรือทำได้โดยเตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เพราะ R· สามารถเคลื่อนที่ได้คล่องตัวกว่าและโอกาสในการรวมกันมีมากกว่าในพอลิเอทิลีนที่มีความเป็นผลึกสูง

พอลิเอทิลีนชนิดเดียวกันถ้าความเป็นผลึกต่ำจะเกิดการเชื่อมโยงโครงร่างแหได้มากกว่า ขนาดของ Lamella ลดลงก็จะส่งผลให้ Amorphous มากขึ้นทำให้เกิดการเชื่อมโยงโครงร่างแหมากเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของรังสีที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์

- ผลที่มีต่อความหนาแน่นและความเป็นผลึก

พอลิเมอร์ที่ผ่านการฉายรังสีและมีพันธะเชื่อมโยงโครงร่างแหเกิดขึ้น เมื่อนำพอลิเมอร์มาทำให้หลอมเหลวและการทำให้เย็นอีกครั้งหนึ่งจะเกิดผลึกได้ยากเพราะพันธะเชื่อมโยงโครงร่างแหจะขัดขวางการจัดเรียงตัวของโมเลกุลพอลิเมอร์ ด้วยเหตุนี้องศาการเกิดผลึก (Degree of crystallinity) จะลดลงมาก

- ผลที่มีต่อ T_m และ T_c

อุณหภูมิการหลอมตัว (T_m) และอุณหภูมิที่ทำให้เกิดผลึก (T_c) จะลดลงตามปริมาณพันธะเชื่อมโยงโครงร่างแหที่เพิ่มขึ้น บางครั้งอาจจะเกิด Chain branching ซึ่งจัดเป็น Defects ของพอลิเมอร์

ในกรณีฉายรังสีความเข้มสูงในสุญญากาศ (การเชื่อมโยงโครงร่างแหมาก) เมื่อนำพอลิเมอร์มาทำการหลอม พอลิเมอร์อาจจะไม่หลอมเพียงแต่เปลี่ยนสภาพไปคล้ายยางซึ่งจะเกิดการอ่อนตัวเพราะการเชื่อมโยงโครงร่างแหจะยึดโซ่พอลิเมอร์ไว้ไม่ให้แยกจากกันเป็นการปรับปรุงสมบัติด้านการทนทานต่อความร้อน (Heat resistance)

- ผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์

รังสีก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพอันเป็นสาเหตุให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ด้อยลง แต่การควบคุมปริมาณการเชื่อมโยงโครงร่างแหจะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ เช่น HDPE ที่ผ่านการฉายรังสีจะทำให้ความเปราะลดลงและทำให้พอลิเมอร์เหนียวขึ้นแสดงว่าการเชื่อมโยงโครงร่างแหทำให้ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันถ้าความเป็นผลึกลดลง (โดยการให้ความร้อน) พอลิเมอร์ก็จะมีค่าการยืด (Elongation) ได้บ้างแต่ค่ามอดูลัสจะต่ำ

การเลือกระดับความเข้มของรังสีที่เหมาะสม อุณหภูมิในขณะฉายรังสี และเงื่อนไขอื่น ๆ (เช่น Morphology) จะทำให้สามารถกำหนดสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ได้ตามต้องการ ปริมาณการเชื่อมโยงโครงร่างแหที่ต้องการหากมีมากเกินไปจะทำให้สมบัติเชิงกลมีผลตรงกันข้ามเช่น ค่าการยืดและค่าความแข็งแรงดึงจะลดลง การลดลงของเปอร์เซ็นต์การยืดมีความสัมพันธ์กับความหนืดของพอลิเมอร์ การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักโมเลกุลเนื่องจากการเชื่อมโยงโครงร่างแหจะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลง

-ผลของรังสีในด้านอื่น ๆ (Micellaneous)

การเกิดพันธะเชื่อมโยงโครงร่างแหในพอลิเมอร์ที่ผ่านการฉายรังสีมีข้อดีคือรูปร่างของพอลิเมอร์ตัวอย่างไม่มีการเปลี่ยนแปลง ตัวอย่างอื่น ๆ เช่น พอลิเอทิลีนจะเกิด Memory effect ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะนี้นำไปประยุกต์กับพลาสติกที่หดตัวได้เมื่อถูกความร้อน และการนำความร้อนของพอลิเมอร์จะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์

นอกจากนี้ยังสามารถเตรียมพอลิเอทิลีนที่มีความใสมาก ๆ โดยการฉายรังสีต่อพอลิ-เอทิลีนในขณะที่หลอมเหลวอยู่ เพราะในขณะหลอมเหลวจะไม่มีผลึกอยู่และเมื่อทำให้พอลิเมอร์ดังกล่าวเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ขนาดของผลึกจะมีขนาดเล็กและไม่สมบูรณ์เนื่องจากมีการเชื่อมโยงโครงร่างแหอยู่ด้วย

<u>การเกิดออกซิเดชันของพอลิเมอร์เมื่อทำการฉายรังสี</u>

เนื่องจากในอุตสาหกรรม Radiation processing ทำในบรรยากาศที่มีออกซิเจนอยู่ อนุมูลอิสระเปอร์ออกซีจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดควบคู่ไปกับปฏิกิริยา Radiolytic oxidation โดยเกิดจากออกซิเจนทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของคาร์บอน

- กลไกการเกิดปฏิกิริยา เช่นพอลิเอทิลีน

1.<u>การเกิดอนุมูลอิสระ</u>

$$\text{▪▪▪▪}CH_2{-}CH_2{-}CH_2\text{▪▪▪▪} \xrightarrow{\gamma} \text{▪▪▪▪}CH_2{-}\dot{C}H{-}CH_2\text{▪▪▪▪}$$

2.<u>การรวมตัวของอนุมูลเพื่อเกิดการเชื่อมโยงโครงร่างแห</u>

$$R\cdot + R\cdot \longrightarrow R{-}R$$

3.<u>ปฏิกิริยาของออกซิเจนกับอนุมูลอิสระเกิดเป็นเปอร์ออกซีแรดิคอล</u>

$$R\cdot + O_2 \longrightarrow ROO\cdot$$

4.<u>ปฏิกิริยาการดึงไฮโดรเจนของ ROO· จากพอลิเมอร์อื่น</u>

$$ROO\cdot + R'H \longrightarrow ROOH + R'\cdot$$

5.<u>Bimolecular decay ของอนุมูลอิสระ</u>

$$ROO\cdot + R'\cdot \longrightarrow ROOR'$$

$$ROO\cdot + R'OO\cdot \longrightarrow ROOR + O_2$$

6.<u>การเกิด radiolytic products จากไฮโดรเปอร์ออกไซด์</u>

$$R{-}OOH \longrightarrow R{=}O + R_mCOOH + R_nCOOH$$

$$R\text{-}OOH \longrightarrow RO\cdot + \cdot OH$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมปริมาณแรดิคอลที่เกิดขึ้นหรือการทำลาย Radical intermediates ($R^{\cdot}$, $RO_2^{\cdot}$) จะเป็นการลดการเกิดการเสื่อมสภาพ แรดิคอลที่ถูกจับอยู่ในพอลิเมอร์มีชีวิตอยู่ได้นาน ขึ้นอยู่กับความสามารถของแรดิคอลที่จะเคลื่อนย้ายตัวเองใน Matrix ประกอบกับการแพร่ของออกซิเจนเข้าไปในพอลิเมอร์ ปฏิกิริยาออกซิเดชันนำไปสู่การสลายพันธะ (Scission) และเป็นสาเหตุให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์เสียไป การสลายตัวของเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ดังนั้นพอลิเมอร์ที่ผ่านการฉายรังสีจะค่อย ๆ สลายตัวอย่างช้า ๆ ที่อุณหภูมิห้อง แต่จะเกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

นอกจากนี้ในระหว่างการฉายรังสีจะมีโมเลกุลเล็ก ๆ เกิดขึ้นเช่น CH_4 CO CO_2 หรือมอนอเมอร์ โมเลกุลเล็ก ๆ พวกนี้จะถูกจับอยู่ในส่วนของ Amorphous และส่วนของผลึก เป็นสาเหตุทำให้เกิด Internal stress ซึ่งนำไปสู่การแตกร้าวและเกิดรอยย่นที่ผิวของวัสดุพอลิเมอร์เมื่อใช้ไปเป็นเวลานาน ๆ

การเกิดออกซิเดชันของพอลิเมอร์ขึ้นกับเงื่อนไขของการฉายรังสีเช่น บรรยากาศ หรือสุญญากาศ ความดัน ความเข้มของรังสี อุณหภูมิ และรูปร่างของชิ้นงานพอลิเมอร์ และขึ้นกับ Morphology ของพอลิเมอร์เช่น Amorphous หรือ Crystalline ความหนาของชิ้นงาน Rate of oxygen diffusion

<u>พอลิเอทิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นสูง</u> (High Density Polyethylene)

พอลิเมอร์นี้อาจเรียกว่าพอลิเอทิลีนเชิงเส้นตรงเพราะพอลิเมอร์มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงเกือบตลอด (มีโซ่สาขาบ้างแต่น้อยมาก) หรืออาจเรียกว่าพอลิเอทิลีนความดันต่ำ เพราะกระบวนการเตรียมพอลิเมอร์นี้โดยทั่วไปจะใช้ความดันต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการเตรียมพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ พอลิเอทิลีนชนิดที่มีความแน่นสูงนี้ผลิตขึ้นในเชิงการค้าตั้งแต่ปี ค.ศ. 1955

<u>สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์</u>

เนื่องจากพอลิเมอร์ที่ได้มีโครงสร้างเชิงเส้นตรงเกือบตลอด โซ่พอลิเมอร์จึงมีความเป็นระเบียบมาก ทำให้พอลิเมอร์นี้มีความเป็นผลึกสูง (มากกว่า 90%) ความหนาแน่นและจุดหลอมตัวก็สูงกว่าพอลิเอทิลีนที่เตรียมโดยกระบวนการใช้ความดันสูง โดยทั่วไปมีความหนาแน่น 0.95-0.97 g/cm^3 มีจุดหลอมตัว 135°C ความเหนียว ความแข็งและแรง Tensile ก็สูงกว่าด้วย

พอลิเอทิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นสูงปริมาณมากกว่า 40% ใช้ในการผลิตขวดพลาสติกและภาชนะบรรจุของอื่น ๆ เช่น ภาชนะบรรจุกรดและเบส เคมีภัณฑ์ สารชำระล้าง อีกประมาณร้อยละ 20 ใช้ทำของใช้ในครัวและของเด็กเล่น ส่วนที่เหลือใช้ทำฟิล์มเพื่อห่อหุ้มของและอาหาร ถุงพลาสติก (ถุงร้อน) หุ้มสายไฟฟ้า ทำสายยางและอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิพรอพิลีน (Polypropylene)

พอลิพรอพิลีนไม่สามารถเตรียมจากพรอพิลีนโดยวิธีพอลิเมอร์ไรเซชัน ไม่ว่าจะเป็นแบบอนุมูลอิสระและแบบอิออนิก การนำพรอพิลีนมาพอลิเมอร์ไรเซชันโดยวิธีการข้างต้นได้ผลิตผลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเท่านั้น จนกระทั่งการค้นพบตัวเร่งซีเกลอร์-แนตตา ในปี ค.ศ. 1953 และในปี ค.ศ. 1954 แนตตาก็พบความสำเร็จในการเตรียมพอลิพรอพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีโครงสร้างเป็นไอโซแทกติกด้วยตัวเร่งซีเกลอร์-แนตตานี้เอง

สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์

ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างเชิงเส้นตรงโดยตลอดปราศจากโซ่สาขา มีความเป็นผลึกสูง มีจุดหลอมตัว 165°C พอลิเมอร์นี้ถือได้ว่าเป็นพลาสติกที่เบาที่สุด มีความหนาแน่นเพียง 0.905 g/cm^3 และเนื่องจากความเป็นผลึกสูงนี้เองเป็นเหตุให้พอลิเมอร์นี้มีสมบัติเชิงกลดีมาก เช่น ความเหนียว แข็งแกร่ง และมีแรง Tensile สูง จุดหลอมตัวก็สูงกว่าพอลิเอทิลีน ทำให้พอลิพรอพิลีนเหมาะสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า วัตถุที่ทำจากพอลิพรอพิลีนยังคงรักษาความแข็งแกร่งและรูปทรงไว้ได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 140°C

สมบัติการละลายได้ของพอลิพรอพิลีนคล้ายกับพอลิเอทิลีน กล่าวคือ ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายใด ๆ ทั้งสิ้น ณ อุณหภูมิห้อง แต่จะละลายได้ในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนและคลอริเนเตดไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80°C ทำนองเดียวกับกรณีของพอลิเอทิลีน พอลิเมอร์นี้ทนต่อกรดและเบสเป็นอย่างดีและเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีทั่วไป อย่างไรก็ตามเสถียรภาพของพอลิเมอร์นี้ต่อความร้อน แสง และตัวออกซิไดส์ มีน้อยกว่าพอลิเอทิลีน เพราะโซ่ของพอลิพรอพิลีนมี H อะตอมเกิดพันธะกับคาร์บอนองศา 3 (3° หรือ Tertiary carbon)

ประมาณกึ่งหนึ่งของพอลิพรอพิลีนที่ผลิตขึ้นนำไปทำเป็นส่วนประกอบและชิ้นส่วนของรถยนต์และอุปกรณ์เครื่องใช้งานในบ้าน ส่วนที่เหลือใช้ในรูปของเส้นใย (เชือก) และฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง_พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3

การวิจัยและดำเนินงาน

การทดลอง

1. วัสดุและเครื่องมือ

1. High Density Polyethylene (HDPE) (ขวดน้ำพลาสติกชนิดขุ่น)
2. Polypropylene (PP) บริษัท TPE
3. Xylene
4. Antioxidant
5. ตะแกรงลวดทองเหลือง
6. ถุงพลาสติกสีดำ
7. ชุดสกัด Gel Fraction
8. เครื่องบดตัด (รุ่น NEMA A600)
9. เครื่องตัดชิ้นงานรูป Dumbell ด้วยลม (บริษัท Ceast)
10. เครื่องฉายรังสีแกมมา (ทำการฉายรังสีที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ)
11. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder)
12. เครื่องผสมหลอมเหลวระบบปิดแบบเกลียวหนอนคู่ (Brabender รุ่น PL 2100 Plasti-corder)
13. เครื่องอัดร้อนและเครื่องอัดเย็น (Compression Molding)
14. เครื่อง Infrared Spectroscope (IR)
15. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณความร้อนเชิงผลต่าง (Differential Scanning Calorimeter, DSC)
16. เครื่อง Thermogravimetric Analyser (TGA)
17. เครื่องทดสอบอุณหภูมิในการแอ่นตัว (Deflection Temperature Under Load, DTUL)
18. เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Tester, รุ่น Yasuda)
19. เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile tester, รุ่น LLOYD instruments LR 30 K)
20. เตาให้ความร้อน (Hot Plate)
21. แม่แบบอัดความร้อน
22. เทอร์โมมิเตอร์
23. ตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32015

24. เครื่องชั่งแบบดิจิตอล

25. ตู้เย็น

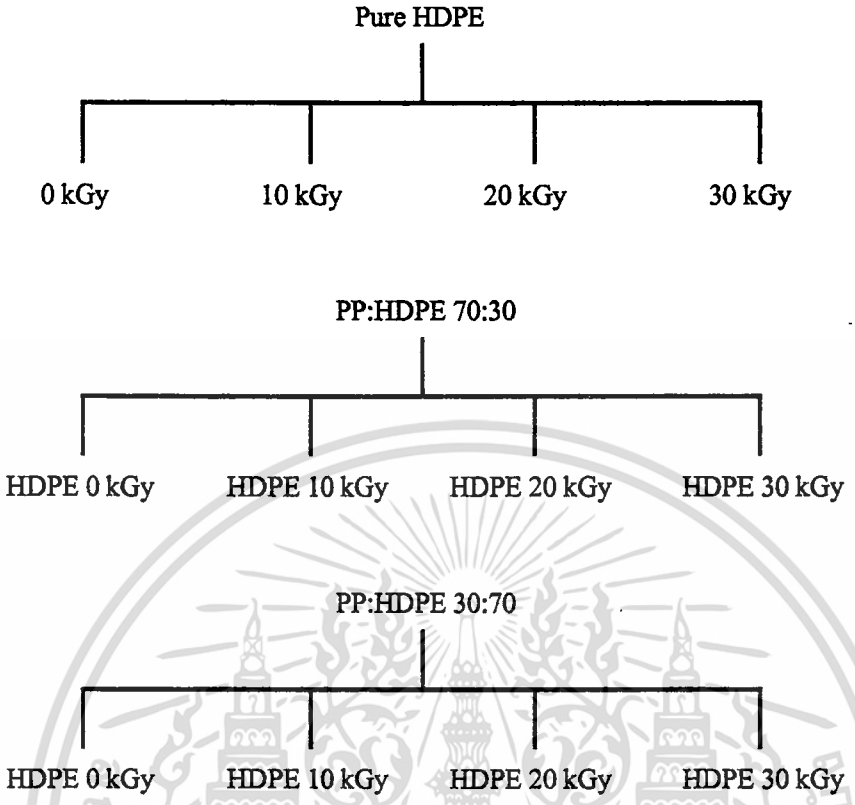
2. การเตรียม Irradiated-HDPE

- ล้างขวดน้ำดื่มพลาสติกให้สะอาดแล้วทิ้งไว้ให้แห้ง
- นำไปตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ด้วยเครื่องบดตัด
- นำมาหลอมรวมกันด้วย Extruder อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเม็ดพลาสติกเท่ากับ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส
- ตัดเป็นเม็ดพลาสติกเก็บใส่ในถุงดำ แล้วนำไปฉายรังสีแกมมาในอากาศ โดยให้มีความเข้มรวมเป็น 10 kGy, 20 kGy และ 30 kGy
- เม็ดพลาสติกที่ผ่านการฉายรังสีแล้ว เก็บไว้ในตู้เย็น

3. ขั้นตอนการทดลอง

- เม็ดพลาสติกที่ผ่านการฉายรังสี นำมาอบที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น
- แบ่งเม็ดพลาสติกส่วนหนึ่งไว้ เพื่อศึกษา Gel fraction
- ผสมเม็ดพลาสติกเข้าด้วยกันด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง แล้วนำไปผสมด้วยเครื่อง Brabender อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเป็น 160 170 180 และ 180 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของเกลียวหมุนเท่ากับ 50 rpm อัตราส่วนในการผสมแสดงดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3.1 การวิเคราะห์ IR

นำแต่ละอัตราส่วนไปวิเคราะห์ IR โดยการอัดเม็ดพลาสติกเป็นแผ่นเรียบด้วยเครื่อง Compressor ใช้อุณหภูมิในการอัด 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที เวลาในการอัดเย็น 5 นาที

3.2 การศึกษาการเกิดพันธะเชื่อมโยง (Crosslinking)

- การหาเปอร์เซ็นต์การเกิดเจล (Gel Fraction)

นำเม็ดพลาสติกที่แบ่งไว้แต่ละอัตราส่วน นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 0.5 กรัม ใส่ลงในแผ่นตะแกรงทองเหลืองขนาด 1.5 x 2 นิ้ว ที่ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว พับขอบตะแกรงลวดทองเหลืองให้ปิดชิ้นงานห่อเป็นรูปสี่เหลี่ยม ชั่งน้ำหนักห่อลวดที่มีเม็ดพลาสติกบรรจุอยู่ภายใน ใส่ห่อลวดลงใน Reactor เติมสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidant) ปริมาณเล็กน้อย (ปลายช้อนตักสาร) เติมตัวทำละลายไซลีน (Xylene) ให้ท่วมชิ้นตัวอย่าง (ประมาณ 300 มิลลิลิตร) ทำการสกัดเป็นเวลาทั้งหมด 72 ชั่วโมง โดยเปลี่ยนตัวทำละลายทุก 6 ชั่วโมง เมื่อครบ 36 ชั่วโมงแล้วจึงนำออกจาก Reactor นำห่อลวดที่ได้ไปอบแห้งในตู้อบสุญญากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นจึงทำการสกัดต่อจนกระทั่งน้ำหนักสารที่เหลืออยู่คงที่ นำค่าของน้ำหนักที่ชั่งได้ ไปทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์การเกิดเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

3.3.1 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC โดยมีสภาวะเครื่องทดสอบดังนี้

Heating rate	=	20 °C/min
Cooling rate	=	20 °C/min
Initial temperature	=	40 °C
Final temperature	=	200 °C

- อ่านค่า T_m และ T_c จากกราฟ
- คำนวณ ΔH_m และ ΔH_c โดยใช้โปรแกรมการคำนวณในเครื่อง DSC

3.3.2 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA โดยมีสภาวะเครื่องทดสอบดังนี้

Heating rate	=	20 °C / min
Maximum temperature	=	700 °C

3.3.3 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DTUL โดยมีสภาวะเครื่องทดสอบดังนี้

ตัดชิ้นงานให้ได้ตามมาตรฐาน ASTM D-648 โดยให้มีขนาดยาว 127 มิลลิเมตร หนา 13 มิลลิเมตร กว้าง 3-13 มิลลิเมตร ผิดพลาด $\pm$ 0.13 มิลลิเมตร

Initial temperature	=	35 °C
Heating rate	=	120 °C / hour
น้ำหนักที่กดชิ้นงาน	=	4.6 kg / cm^2
ขนาดที่ชิ้นงานแอ่นตัว	=	0.254 มิลลิเมตร

3.4 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกล

3.4.1 ทดสอบด้วยเครื่อง Impact (Impact strength)

อัดเม็ดพลาสติกโดยใช้แม่แบบสำหรับชิ้นงาน Impact สภาวะการอัด เหมือนกับการทดสอบ Tensile strength

ขั้นตอนในการทดสอบ มีดังนี้

1. วัดความหนาและความกว้างของชิ้นงานที่จะนำมาทดสอบ ชิ้นงานละ 3 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ย
2. ตรวจสอบสภาพของแท่งเหวี่ยง (Pendulum) โดยทดลองเหวี่ยงขณะไม่มีชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ยกแท่งเหวี่ยงขึ้น แล้วยึดติดกับแท่งยึดด้านบน
4. ใส่ชิ้นงานที่ฐานยึดด้านล่าง
5. ปล่อยแท่งเหวี่ยงให้เหวี่ยงลงมาตีชิ้นงาน แล้วรับแท่งเหวี่ยงที่จะเหวี่ยงกลับหลังจากตีชิ้นงานแล้ว เพื่อไม่ให้ค่ามุมที่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลง
6. นำชิ้นงานออกจากฐานยึดด้านล่าง ยกแท่งเหวี่ยงขึ้นด้านบนแล้วล็อคไว้กับตัวยึด
7. อ่านค่าการทนแรงกระแทกที่ได้ หน่วยเป็น kJ/m^2

3.4.2 ทดสอบด้วยเครื่อง Tensile testing machine (Tensile strength)

อัดเม็ดพลาสติกที่ได้แต่ละอัตราส่วน ด้วยเครื่อง Compressor ใช้แม่แบบหนา 2 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนักเม็ดพลาสติกอัตราส่วนละ 30 กรัม (แม่แบบเล็ก) และ 45 กรัม (แม่แบบใหญ่) อุณหภูมิในการอัดร้อน 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที เวลาในการอัดเย็น 5 นาที นำชิ้นงานที่ผ่านการอัดขึ้นรูปมาตัดเป็นชิ้นงานรูปดัมเบลล์ (Dumbell)

สภาวะของเครื่องทดสอบเป็นดังนี้

Crosshead speed	=	25 mm/min
Gauge length	=	25 mm
Load cell	=	30,000 N

นำผลที่ได้มาทำการคำนวณหาค่าสมบัติเชิงกลดังต่อไปนี้

- การคำนวณ

Tensile Strength at Yield, Rm	= Force (N) / Area (mm^2)
Stress at Break	= Force at Break (N) / Area (mm^2)
% Elongation at Break	= (Δ Length / Original length) x 100
Modulus	= Stress / Strain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลอง

1. การศึกษาด้วยเทคนิค Infrared Spectroscopy (IR)

จากการศึกษาด้วย IR พบว่า Pure HDPE ที่ผ่านการฉายรังสีความเข้มต่าง ๆ ไม่พบพีกของหมู่คาร์บอนิลและไฮโดรเปอร์ออกไซด์

ตารางที่1 แสดงผลการศึกษาด้วยเทคนิค IR ของ Pure PP และ Pure HDPE

สารตัวอย่าง	ความเข้มรังสีที่ฉายผ่าน HDPE (kGy)	ผลการทดลอง
PP	-	-
HDPE	- 10 20 30	ไม่พบพีกของหมู่คาร์บอนิลและไฮโดรเปอร์ออกไซด์

ตารางที่2 แสดงผลการศึกษาด้วย IR ของ PP:HDPE Blend ที่มีอัตราส่วน 70:30

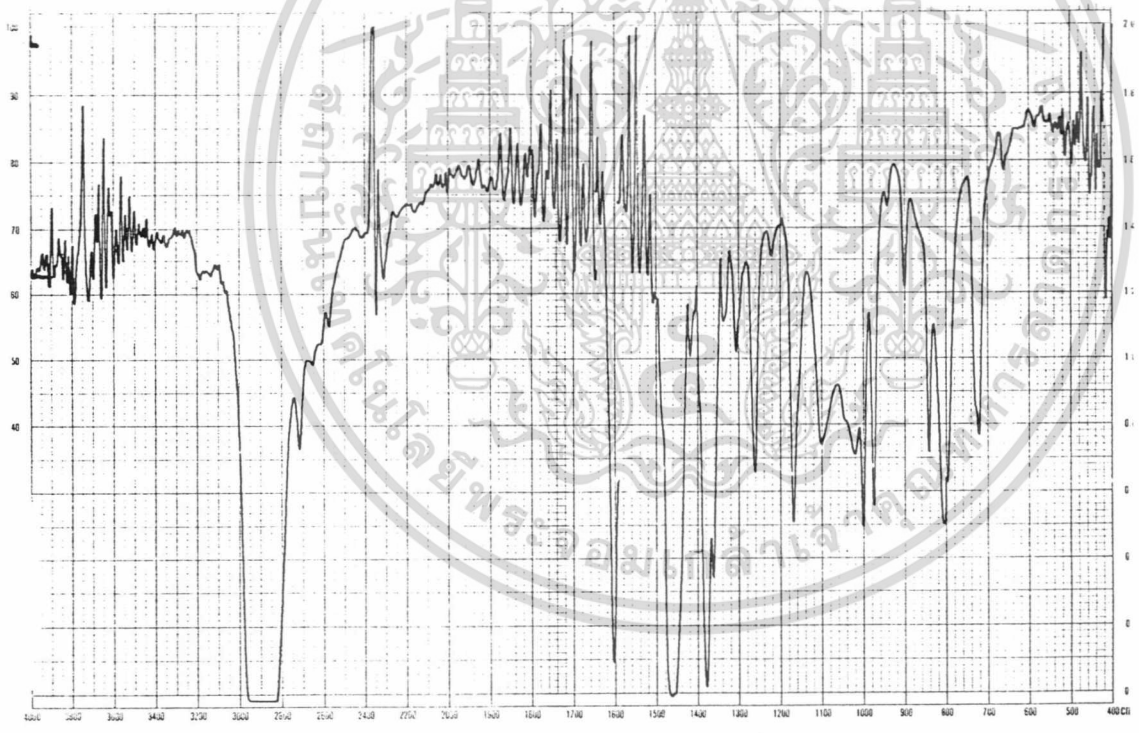
สารตัวอย่าง	ความเข้มรังสีที่ฉายผ่าน HDPE (kGy)	ผลการทดลอง
PP:HDPE 70:30	- 10 20 30	ไม่พบพีกของหมู่คาร์บอนิลและไฮโดรเปอร์ออกไซด์

หมายเหตุ เครื่องหมาย - แสดงตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

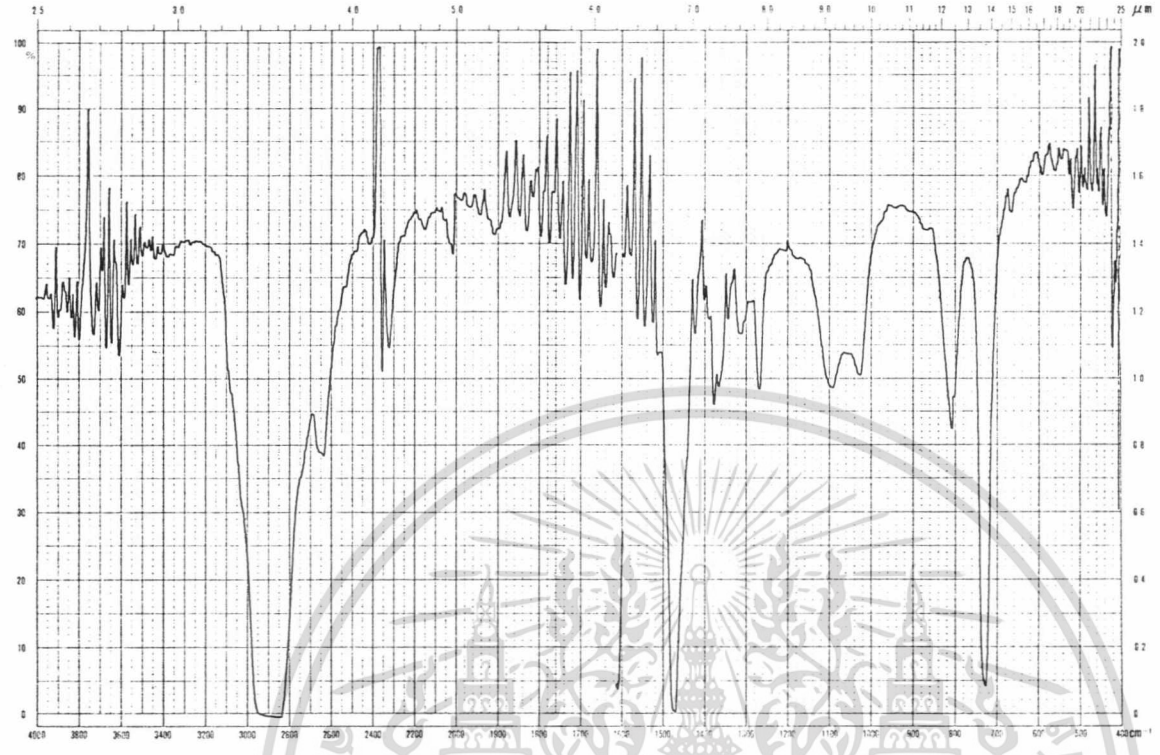
ตารางที่3 แสดงผลการศึกษาด้วย IR ของ PP:HDPE Blend ที่มีอัตราส่วน 30:70

สารตัวอย่าง	ความเข้มรังสีที่ฉายผ่าน HDPE (kGy)	ผลการทดลอง
PP:HDPE 30:70	-	ไม่พบพีกของหมู่คาร์บอนิลและไฮโดรเปอร์ออกไซด์
	10	
	20	
	30	

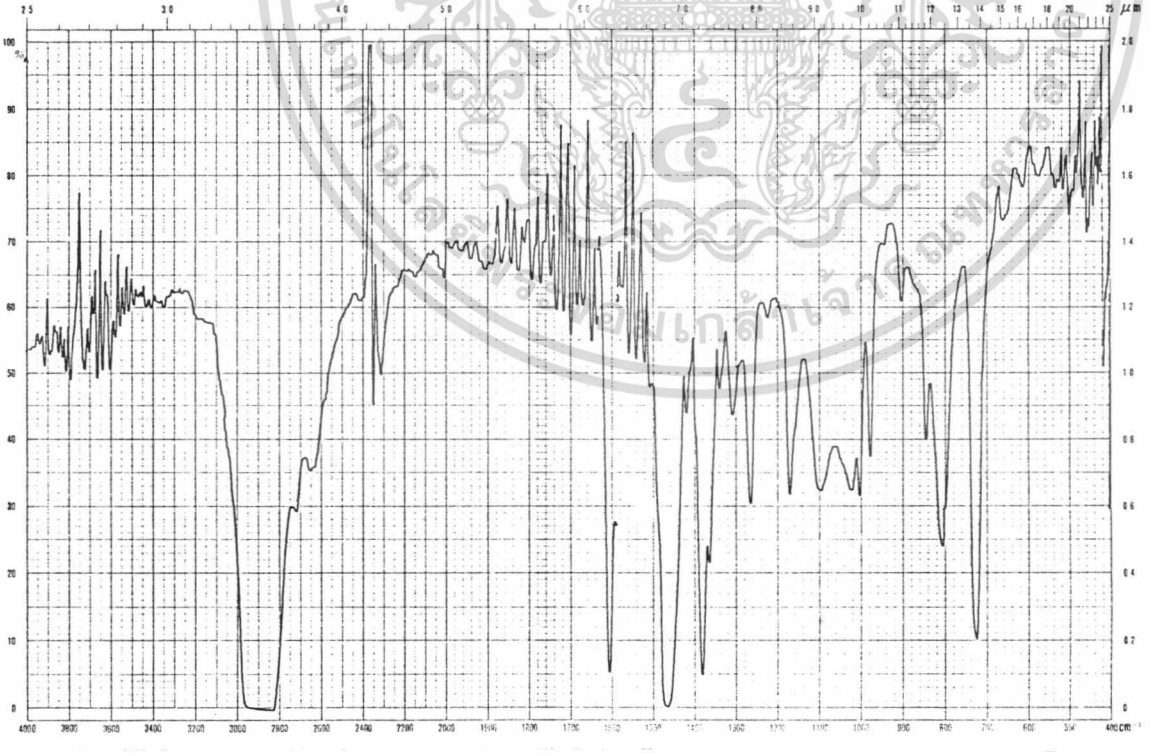


รูป4-1 แสดงผลที่ได้จาก IR ของ Pure HDPE ที่ไม่ผ่านการฉายรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป4-2 แสดงผลที่ได้จาก IR ของ Pure HDPE ที่ผ่านการฉายรังสี



รูป4-3 แสดงผลที่ได้จาก IR ของพอลิเมอร์ผสมที่มี Irradiated-HDPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การหาเปอร์เซ็นต์การเกิดพันธะเชื่อมโยง (% Gel)

จากการทดลองพบว่า Pure HDPE ที่ผ่านการฉายรังสีความเข้มต่าง ๆ จะมีเจลเกิดขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มของรังสีขึ้น % การเกิดเจลก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อทำการผสมระหว่าง PP กับ HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30 และ 30:70 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มจะทำให้ % การเกิดเจลเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

ตารางที่4 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดพันธะเชื่อมโยงของ Pure PP และ Pure HDPE

สารตัวอย่าง	ความเข้มรังสีที่ฉายผ่าน HDPE (kGy)	% Gel
Pure PP	-	-
Pure HDPE	-	-
	10	16.12
	20	16.17
	30	23.61

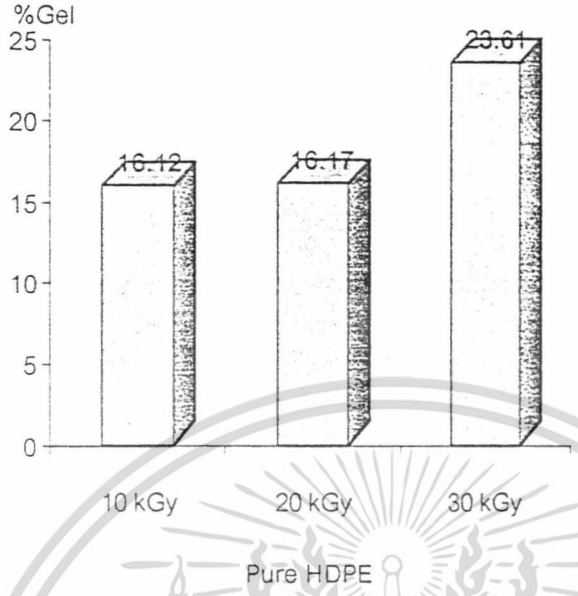
ตารางที่5 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดพันธะเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30

สารตัวอย่าง	ความเข้มรังสีที่ฉายผ่าน HDPE (kGy)	% Gel
PP:HDPE 70:30	-	-
	10	1.71
	20	3.82
	30	3.94

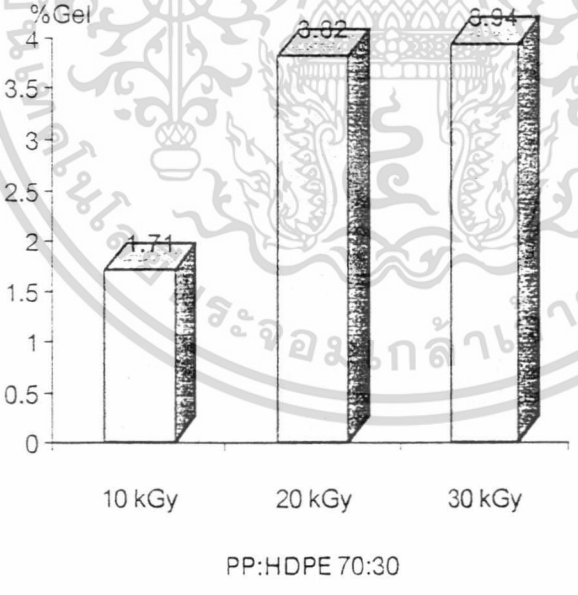
ตารางที่6 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดพันธะเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70

สารตัวอย่าง	ความเข้มรังสีที่ฉายผ่าน HDPE (kGy)	% Gel
PP:HDPE 30:70	-	-
	10	5.05
	20	14.10
	30	14.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

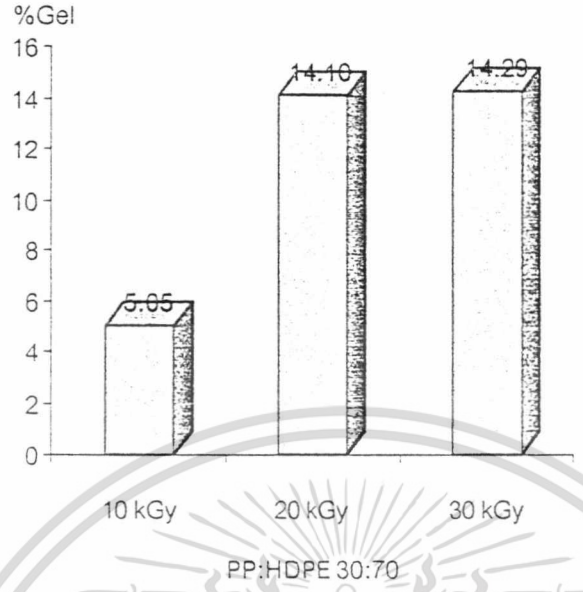


รูป4-4 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดพันธะเชื่อมโยงของ Pure HDPE ที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ



รูป4-5 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดพันธะเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป4-6 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดพันธะเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.การศึกษาสมบัติทางความร้อน

3.1 การศึกษาด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Pure PP และ Pure HDPE

จากผลของ DSC พบว่า Pure HDPE ที่ผ่านการฉายรังสีความเข้มต่าง ๆ จะมีค่า Melting temperature (T_m) สูงกว่า HDPE ที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสี ส่วนค่า Crystallinity temperature (T_c) ของ PP และ HDPE ที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสีจะเกิดการตกผลึกที่จุดเดียวกัน และ HDPE ที่ผ่านการฉายรังสีจะมีค่า T_c ลดต่ำลงเมื่อเพิ่มความเข้มของรังสี

สำหรับค่า ΔH_m และ ΔH_c ของ HDPE จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มของรังสีขึ้น แสดงว่ามีพันธะเชื่อมโยงเกิดขึ้นซึ่งจะขัดขวางการตกผลึกของ HDPE

PP:HDPE Blend ที่มีอัตราส่วน 70:30

จากผลของ DSC เมื่อทำการผสมระหว่าง PP กับ HDPE ที่ผ่านการฉายรังสีความเข้มต่าง ๆ พบว่าค่า T_m ของ PP และ HDPE ไม่ต่างจาก HDPE ที่ไม่ได้ฉายรังสีมากนัก แต่ตัวอย่างแต่ละชนิดจะมีค่า T_m ต่ำกว่า T_m ของ Pure PP และ Pure HDPE ส่วนค่า T_c นั้น ในกรณีของ HDPE ที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสีจะเกิดการตกผลึกร่วมกัน (Co-crystallinity) กับ PP แต่ HDPE ที่ผ่านการฉายรังสีความเข้ม 10 kGy จะเกิดการแยกวัฏภาค ซึ่งจะเห็นพีกของ T_c แยกเป็น 2 พีก เนื่องจากพันธะเชื่อมโยงใน HDPE ปริมาณเล็กน้อยนี้จะไม่ส่งผลต่อการตกผลึกของ PP แต่จะทำให้ค่า T_c ของ HDPE ต่ำลง จึงเห็นพีก T_c ของ HDPE แยกจากพีก T_c ของ PP เมื่อความเข้มของรังสีเพิ่มขึ้น พันธะเชื่อมโยงที่เพิ่มขึ้นจะทำหน้าที่เป็นตัวหน่วง (Retarder) ทำให้ PP ตกผลึกช้าลง เกิดรวมเป็นพีกเดียวกันอีกครั้ง

PP:HDPE Blend ที่มีอัตราส่วน 30:70

จากผลของ DSC เมื่อทำการผสมระหว่าง PP กับ HDPE ที่ผ่านการฉายรังสีความเข้มต่าง ๆ พบว่าค่า T_m ของ HDPE ที่ผ่านการฉายรังสีในพอลิเมอร์ผสมจะสูงกว่า HDPE ที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสี แต่มีแนวโน้มลดลงตามความเข้มของรังสีที่เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นเช่นเดียวกับ HDPE ที่ฉายรังสีความเข้มเดียวกันแต่ไม่ได้ทำการผสม ส่วนค่า T_m ของ PP ในพอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย สำหรับค่า T_c นั้นมีแนวโน้มตรงข้ามกับพอลิเมอร์ผสมของ PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30 กล่าวคือ HDPE ที่ผ่านการฉายรังสีนั้นเมื่อความเข้มของรังสีเพิ่มขึ้นจะเกิดการแยกวัฏภาคอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าปริมาณพันธะเชื่อมโยงของ HDPE ที่ฉายรังสีเป็นส่วนสำคัญอย่างมากที่จะทำให้เกิดการแยก PP ออกจาก HDPE ได้ง่ายขึ้น พีกที่ได้จึงแยกออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่7 แสดงผลการศึกษาด้วย DSC ของ Pure PP และ Pure HDPE

สารตัวอย่าง	ความเข้มรังสีที่ฉายผ่าน HDPE (kGy)	T_m (°C)	T_c (°C)	ΔH_m (J/g)	ΔH_c (J/g)
Pure PP	-	174.5	121.9	57.15	75.24
Pure HDPE	-	142.1	120.3	115.91	142.84
	10	152.4	119.0	142.25	138.37
	20	153.1	118.8	120.31	138.35
	30	148.1	118.3	113.31	130.13

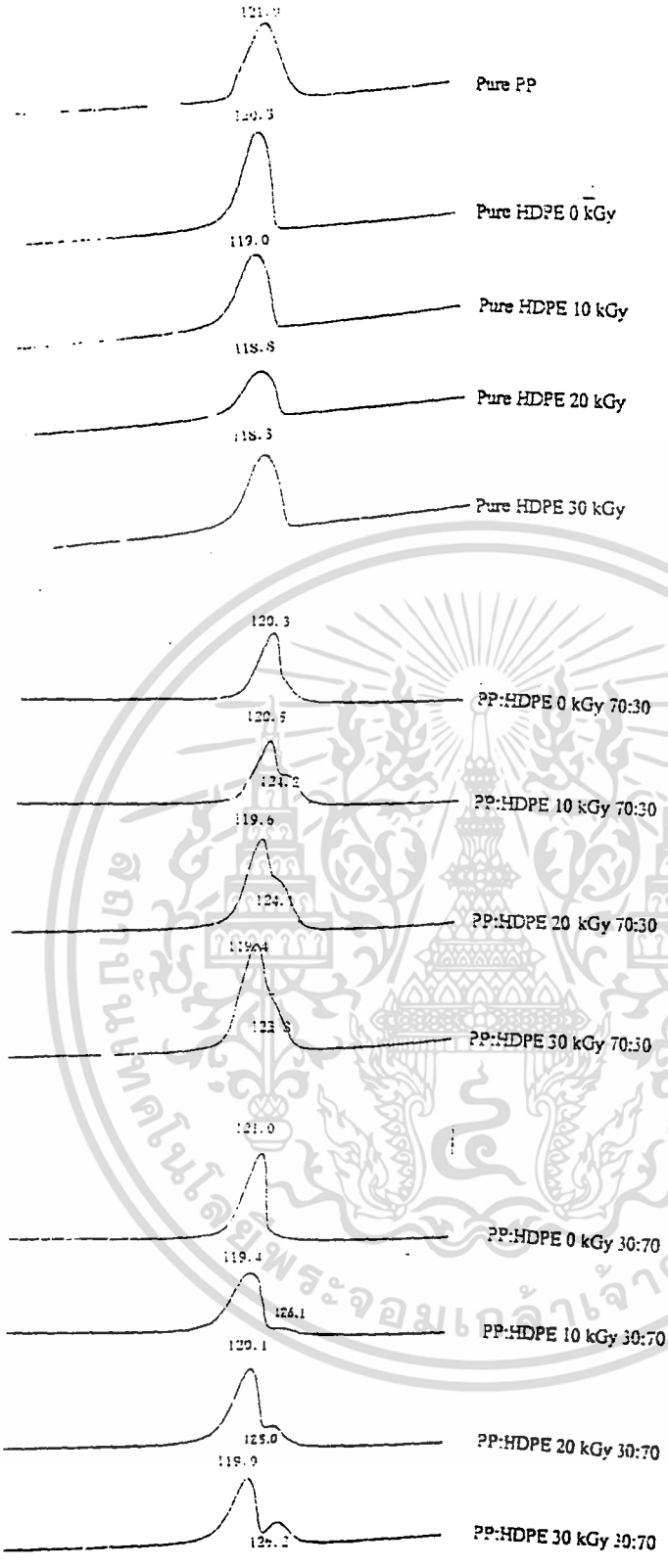
ตารางที่8 แสดงผลการศึกษาด้วย DSC ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30

สารตัวอย่าง	ความเข้มรังสีที่ฉายผ่าน HDPE (kGy)	T_m (°C)		T_c (°C)		ΔH_m (J/g)		ΔH_c (J/g) (รวม PP และ HDPE)
		PP	HDPE	PP	HDPE	PP	HDPE	
PP:HDPE	-	170.0	139.6	120.3	120.3	19.24	36.37	90.81
70:30	10	171.9	139.8	124.2	120.5	31.06	27.44	95.50
	20	170.5	139.2	124.1	119.6	24.33	34.19	87.99
	30	172.8	138.4	123.8	119.4	35.66	21.30	89.62

ตารางที่9 แสดงผลการศึกษาด้วย DSC ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70

สารตัวอย่าง	ความเข้มรังสีที่ฉายผ่าน HDPE (kGy)	T_m (°C)		T_c (°C)		ΔH_m (J/g)		ΔH_c (J/g) (รวม PP และ HDPE)
		PP	HDPE	PP	HDPE	PP	HDPE	
PP:HDPE	-	169.2	140.7	121.0	121.0	10.61	60.48	95.97
30:70	10	168.5	146.5	126.1	119.4	0.46	91.08	131.37
	20	169.3	143.8	125.0	120.1	5.48	80.12	129.18
	30	170.2	141.7	126.2	119.9	7.92	64.01	108.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป4-7 แสดงค่าอุณหภูมิการตกผลึก T_c (°C) ที่ได้จาก DSC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การศึกษาด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA)

Pure PP และ Pure HDPE

จากผลของ TGA พบว่า Pure HDPE จะทนความร้อนได้สูงกว่า PP เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง HDPE ที่ผ่านการฉายรังสีและไม่ได้ผ่านการฉายรังสี จะเห็นว่า ที่ 10 และ 20 kGy จะทนความร้อนได้มากขึ้น แต่ที่ 30 kGy กลับทนความร้อนได้น้อยลง อาจเนื่องจากเกิด Chain scission ขึ้นแข่งขันกับการเกิดพันธะเชื่อมโยงทำให้ทนความร้อนได้น้อยลง

PP:HDPE Blend ที่มีอัตราส่วน 70:30

จากผลของ TGA พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มี HDPE ที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสีจะทนความร้อนได้ต่ำที่สุด ส่วนอัตราส่วนที่มี HDPE ที่ผ่านการฉายรังสีผสมอยู่ จะช่วยทำให้ PP ทนความร้อนได้สูงขึ้น แต่เมื่อความเข้มของรังสีเพิ่มขึ้นกลับมีแนวโน้มที่จะทนความร้อนได้ต่ำลง อาจเนื่องจากอนุมูลอิสระที่ค้างอยู่ใน HDPE และไม่ได้เกิดพันธะเชื่อมโยง เมื่อนำมาทำการผสมกับ PP อนุมูลอิสระจะทำให้เกิดปฏิกิริยา Scission ใน PP ทำให้ PP สลายตัวได้เร็วขึ้น

PP:HDPE Blend ที่มีอัตราส่วน 30:70

จากผลของ TGA พบว่าเมื่อพอลิเมอร์ผสมมี PP เป็นส่วนน้อยจะทำให้ HDPE ทนความร้อนได้ต่ำลง สำหรับส่วนผสมที่มี HDPE ที่ผ่านการฉายรังสีจะทนต่อการสลายตัวเนื่องจากความร้อนได้สูงขึ้นตามความเข้มรังสีที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณพันธะเชื่อมโยงที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่10 แสดงผลการศึกษาด้วย TGA ของ Pure PP และ Pure HDPE

สารตัวอย่าง	ความเข้มรังสีที่ฉายผ่าน HDPE (kGy)	$T_{(onset)}$ (°C)
Pure PP	-	289
Pure HDPE	-	436
	10	451
	20	456
	30	438

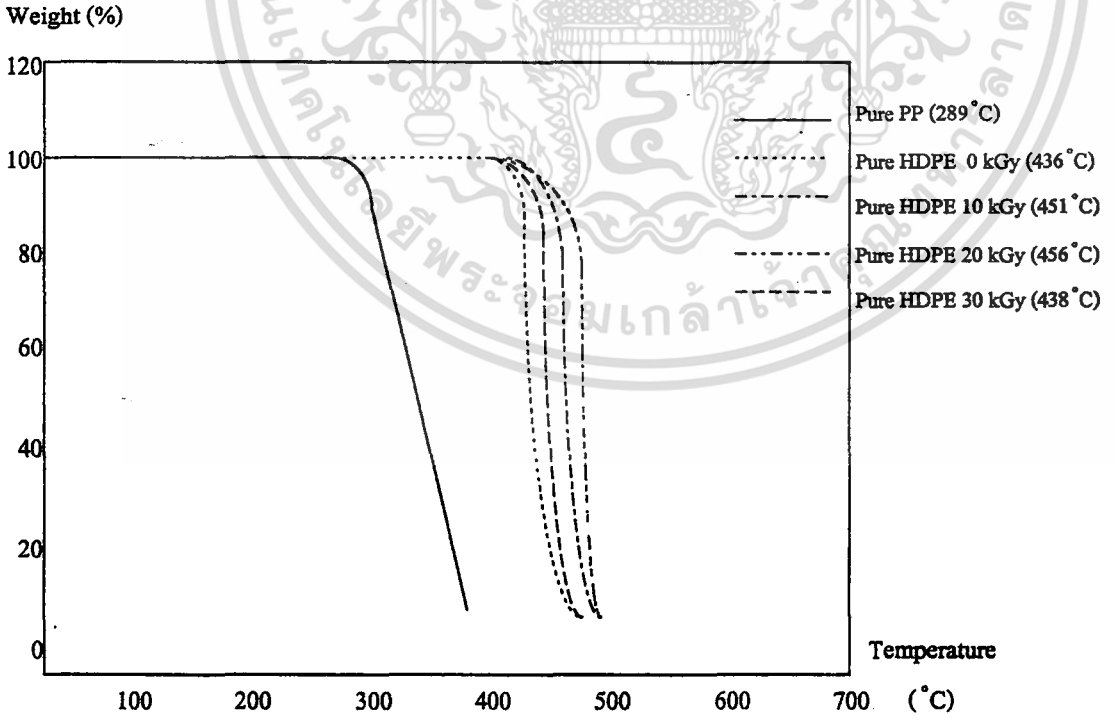
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่11 แสดงผลการศึกษาด้วย TGA ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30

สารตัวอย่าง	ความเข้มรังสีที่ฉายผ่าน HDPE (kGy)	$T_{(onset)}$ (°C)
PP:HDPE 70:30	-	270
	10	319
	20	295
	30	279

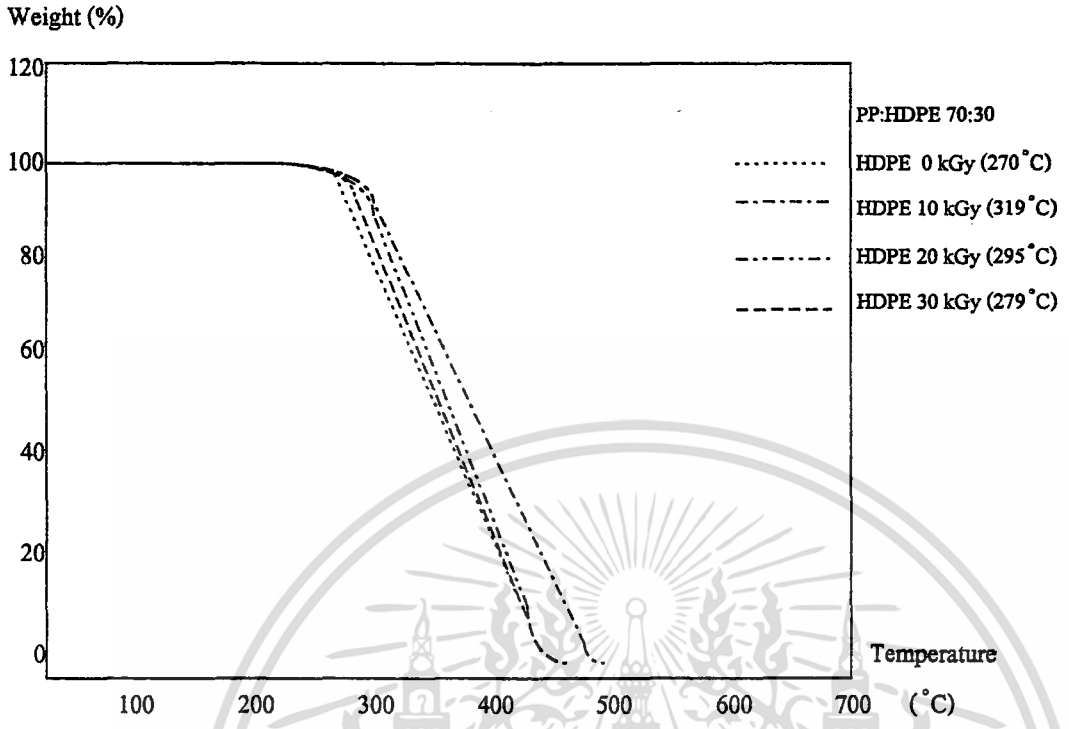
ตารางที่12 แสดงผลการศึกษาด้วย TGA ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70

สารตัวอย่าง	ความเข้มรังสีที่ฉายผ่าน HDPE (kGy)	$T_{(onset)}$ (°C)
PP:HDPE 70:30	-	357
	10	394
	20	440
	30	446

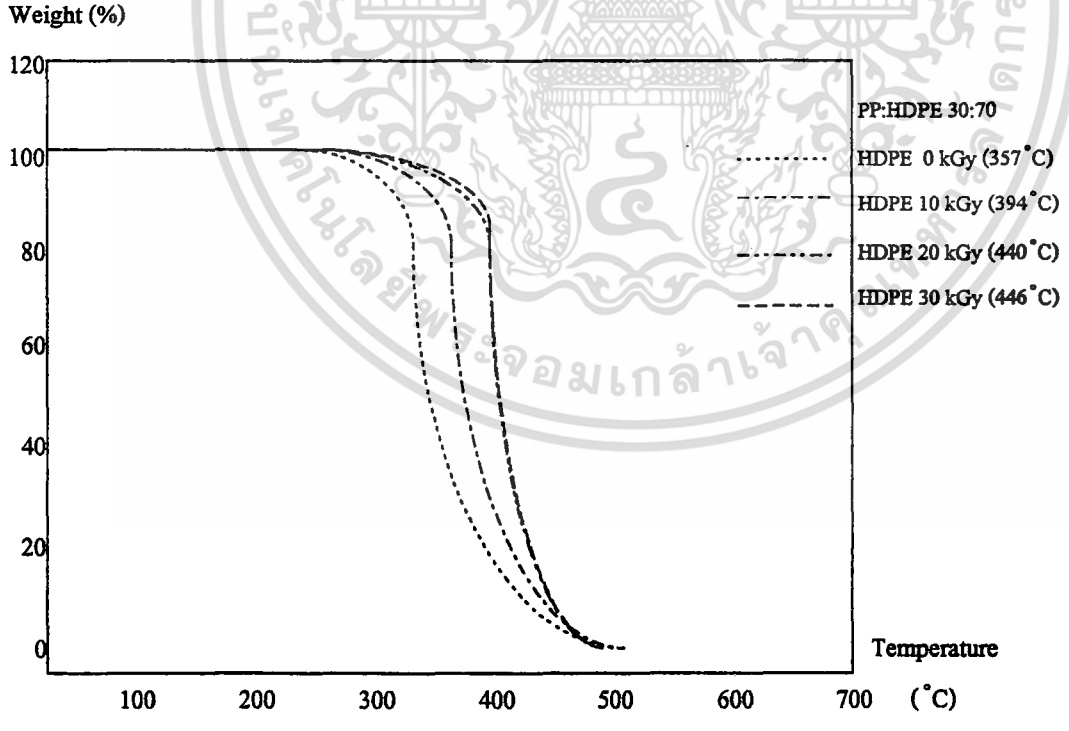


รูป4-8 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของ Pure PP และ Pure HDPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป4-9 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30



รูป4-10 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การศึกษาด้วยเทคนิค Deflection Temperature Under Load (DTUL)

Pure PP และ Pure HDPE

จากผลของ DTUL พบว่า PP จะทนต่ออุณหภูมิที่ทำให้แอ่นตัวได้สูงกว่าของ HDPE แสดงว่า PP มีค่า Glass transition temperature (T_g) สูงกว่า HDPE

PP:HDPE Blend ที่มีอัตราส่วน 70:30

จากผลของ DTUL พบว่าพอลิเมอร์ผสมจะมีค่า DTUL อยู่ระหว่าง DTUL ของ PP และ HDPE และเมื่อผสม PP กับ HDPE ที่ผ่านการฉายรังสีจะทำให้ค่า DTUL สูงกว่า HDPE ที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสี แต่เมื่อความเข้มของรังสีเพิ่มขึ้น ค่า DTUL จะลดลงเรื่อย ๆ

PP:HDPE Blend ที่มีอัตราส่วน 30:70

จากผลของ DTUL พบว่าพอลิเมอร์ผสมจะมีค่า DTUL อยู่ระหว่าง DTUL ของ PP และ HDPE โดยอัตราส่วนนี้มี HDPE เป็นหลัก ค่า DTUL จึงใกล้กับค่า DTUL ของ Pure HDPE และเมื่อผสม PP กับ HDPE ที่ผ่านการฉายรังสี ทุกความเข้มของรังสีจะทำให้ค่า DTUL สูงกว่า HDPE ที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสี

ตารางที่13 แสดงผลการศึกษาด้วย DTUL ของ Pure PP และ Pure HDPE

สารตัวอย่าง	DTUL (°C)
Pure PP	87.8
Pure HDPE	59.2

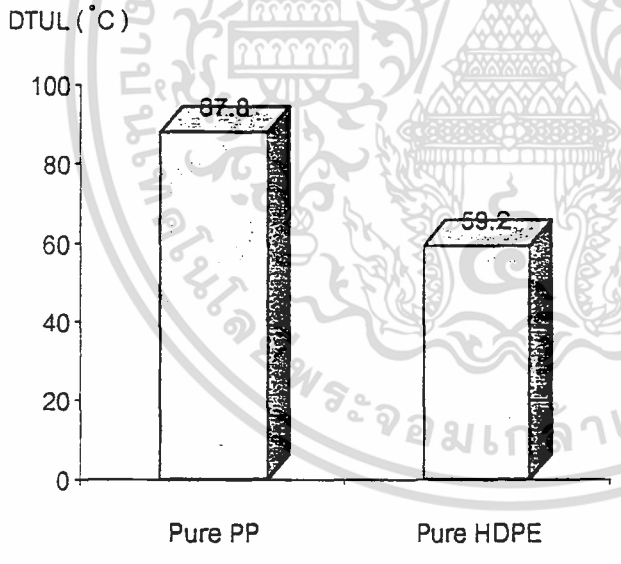
ตารางที่14 แสดงผลการศึกษาด้วย DTUL ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30

สารตัวอย่าง	ความเข้มรังสีที่ฉายผ่าน HDPE (kGy)	DTUL (°C)
PP:HDPE 70:30	-	74.5
	10	79.3
	20	76.5
	30	73.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

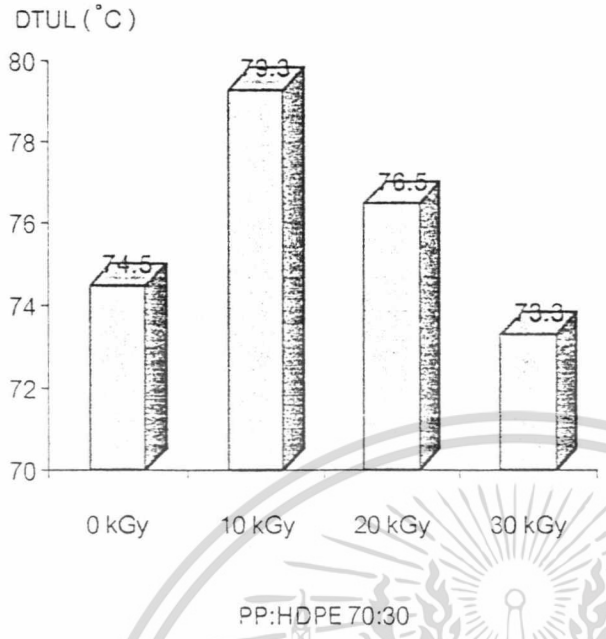
ตารางที่15 แสดงผลการศึกษาด้วย DTUL ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70

สารตัวอย่าง	ความเข้มรังสีที่ฉายผ่าน HDPE (kGy)	DTUL (°C)
PP:HDPE	-	63.5
30:70	10	70.0
	20	64.5
	30	66.9

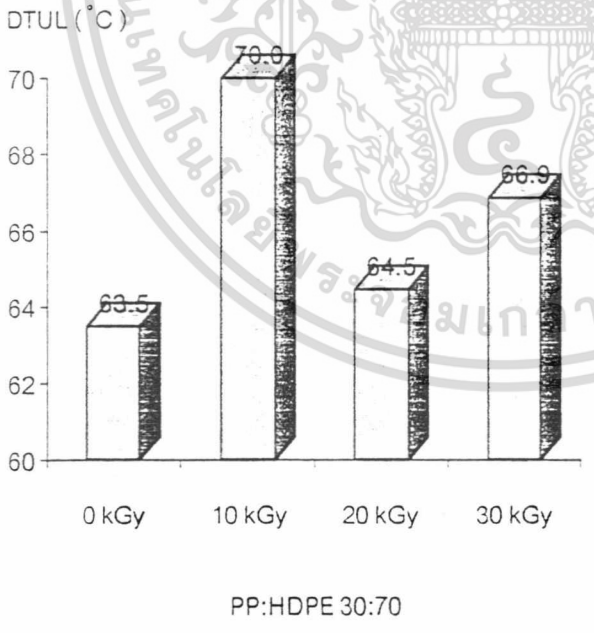


รูป4-11 แสดงผลที่ได้จาก DTUL ของ Pure PP และ Pure HDPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป4-12 แสดงผลที่ได้จาก DTUL ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30



รูป4-13 แสดงผลที่ได้จาก DTUL ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การศึกษาสมบัติเชิงกล

4.1 การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Resistance)

Pure PP และ Pure HDPE

จากผลการทดสอบพบว่า HDPE จะมีความทนทานต่อแรงกระแทกสูงกว่า PP

PP:HDPE Blend ที่มีอัตราส่วน 70:30 และ 30:70

จากผลการทดสอบพบว่า ความทนทานต่อแรงกระแทกในอัตราส่วนที่มี HDPE ปริมาณมากกว่า จะให้ค่าสูงกว่าในอัตราส่วนที่มี HDPE น้อยแสดงว่าความทนทานต่อแรงกระแทกขึ้นกับปริมาณพอลิเมอร์ที่มีสภาพหยุ่นตัวได้ดีกว่า เช่น HDPE แต่เมื่อผสม HDPE ที่ผ่านการฉายรังสีความเข้มต่าง ๆ ลงใน PP พบว่า ไม่ว่าในอัตราส่วนใด ความทนทานต่อแรงกระแทกในพอลิเมอร์ผสมจะลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจาก การกระจายตัวของ HDPE ใน PP ไม่ดี ทำให้เกิดการแยกวัฏภาคขึ้น

ตารางที่16 แสดงผลการศึกษาความทนทานต่อแรงกระแทกของ Pure PP และ Pure HDPE

สารตัวอย่าง	Impact Strength(kJ/m^2)
Pure PP	1.7
Pure HDPE	16.9

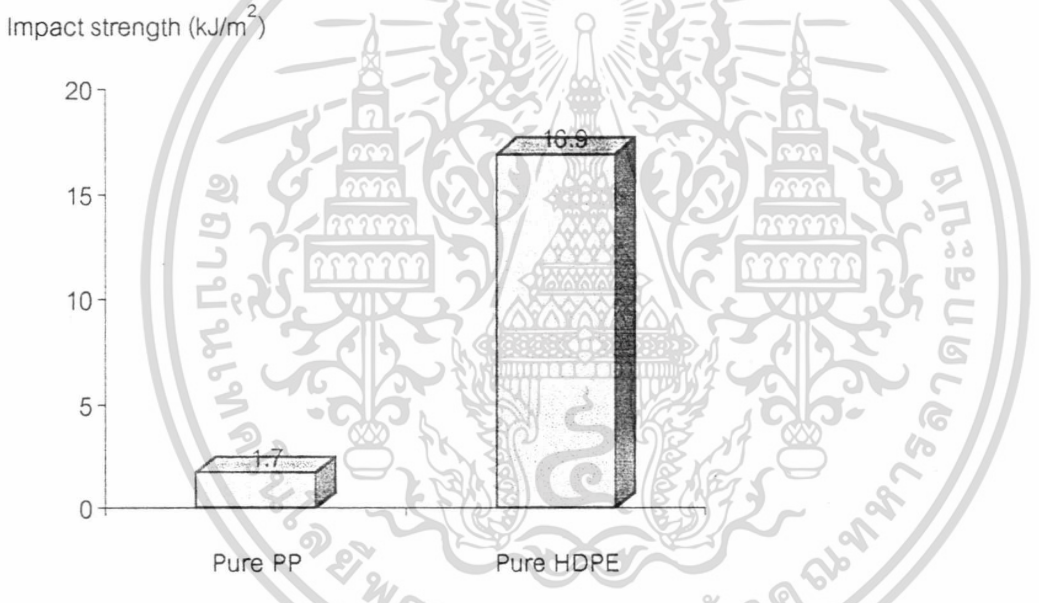
ตารางที่17 แสดงผลการศึกษาความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30

สารตัวอย่าง	ความเข้มรังสีที่ฉายผ่าน HDPE (kGy)	Impact Strength (kJ/m^2)
PP:HDPE	–	1.9
70:30	10	1.7
	20	1.5
	30	1.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

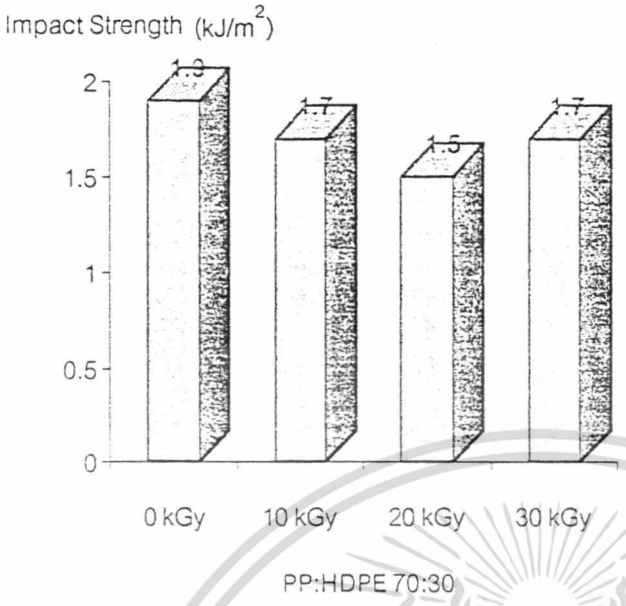
ตารางที่18 แสดงผลการศึกษาความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70

สารตัวอย่าง	ความเข้มรังสีที่ฉายผ่าน HDPE (kGy)	Impact Strength (kJ/m^2)
PP:HDPE	-	4.3
30:70	10	3.7
	20	3.0
	30	3.3

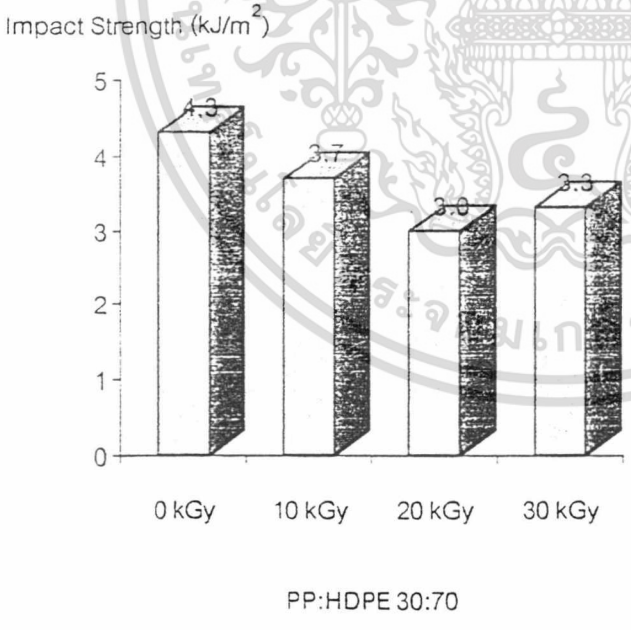


รูป4-14 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของ Pure PP และ Pure HDPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4-15 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม **PP:HDPE** ที่มีอัตราส่วน **70:30**



รูป4-16 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบความทนทานต่อแรงดึงด้วยเครื่อง Tensile Testing Machine

4.2.1 ค่า Rm (Tensile Strength at Yield)

Pure PP และ Pure HDPE

จากผลการทดสอบพบว่า PP จะมีค่า Rm สูงกว่า HDPE

PP:HDPE Blend ที่มีอัตราส่วน 70:30

จากการผลการทดสอบพบว่า ค่า Rm มีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มของรังสีเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากอนุมูลอิสระที่อยู่ใน HDPE ทำให้ PP เกิด Chain scission ขึ้น

PP:HDPE Blend ที่มีอัตราส่วน 30:70

จากผลการทดสอบพบว่าค่า Rm ของอัตราส่วนที่มี HDPE ที่ผ่านการฉายรังสีเพิ่มขึ้นตามความเข้มของรังสีที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าพันธะเชื่อมโยงใน HDPE มีผลต่อ Rm ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าความทนทานต่อแรงกระแทก

4.2.2 ค่า Stress at Break

Pure PP และ Pure HDPE

จากผลการทดสอบพบว่า PP จะมีค่า Stress at break สูงกว่า HDPE

PP:HDPE Blend ที่มีอัตราส่วน 70:30

จากผลการทดสอบพบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่า Rm

PP:HDPE Blend ที่มีอัตราส่วน 30:70

จากผลการทดสอบพบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่า Rm

4.2.3 ค่า % การยืด (% Elongation at Break)

Pure PP และ Pure HDPE

จากผลการทดสอบพบว่า HDPE จะมีค่า % การยืดสูงกว่า PP

PP:HDPE Blend ที่มีอัตราส่วน 70:30

จากผลการทดสอบพบว่า ค่า % การยืดจะต่ำลงเมื่อความเข้มของรังสีเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากอนุมูลอิสระใน HDPE ทำให้ PP เกิด Chain scission ขึ้น % การยืด จึงลดลง

PP:HDPE Blend ที่มีอัตราส่วน 30:70

จากผลการทดสอบพบว่า ค่า % การยืดมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มของรังสีเพิ่มขึ้น แสดงว่าพันธะเชื่อมโยงจะทำให้ % การยืดลดลง

4.2.4 ค่า Modulus (N/mm^2)

Pure PP และ Pure HDPE

จากผลการทดสอบพบว่า PP จะมีค่า Modulus สูงกว่า HDPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PP:HDPE Blend ที่มีอัตราส่วน 70:30

จากผลการทดสอบพบว่า ค่า Modulus มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากแนวโน้มในการลดลงของค่า % การยืดที่แต่ละความเข้มของรังสีมีมากกว่าการลดลงของค่า Stress จึงทำให้ค่า Modulus ที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

PP:HDPE Blend ที่มีอัตราส่วน 30:70

จากผลการทดสอบพบว่า ค่า Modulus มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของค่า Stress และค่า % การยืดที่แต่ละความเข้มของรังสี จึงทำให้ค่า Modulus เพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่19 แสดงผลของค่า Rm, Stress at break, % Elongation และ Modulus ที่ได้จากการทดสอบของเครื่อง Tensile Testing Machine ของ Pure PP และ Pure HDPE

สารตัวอย่าง	Rm (N/mm^2)	Stress at Break (N/mm^2)	% Elongation	Modulus (N/mm^2)
Pure PP	31.85	29.26	13.53	686.53
Pure HDPE	21.38	2.85	64.44	110.01

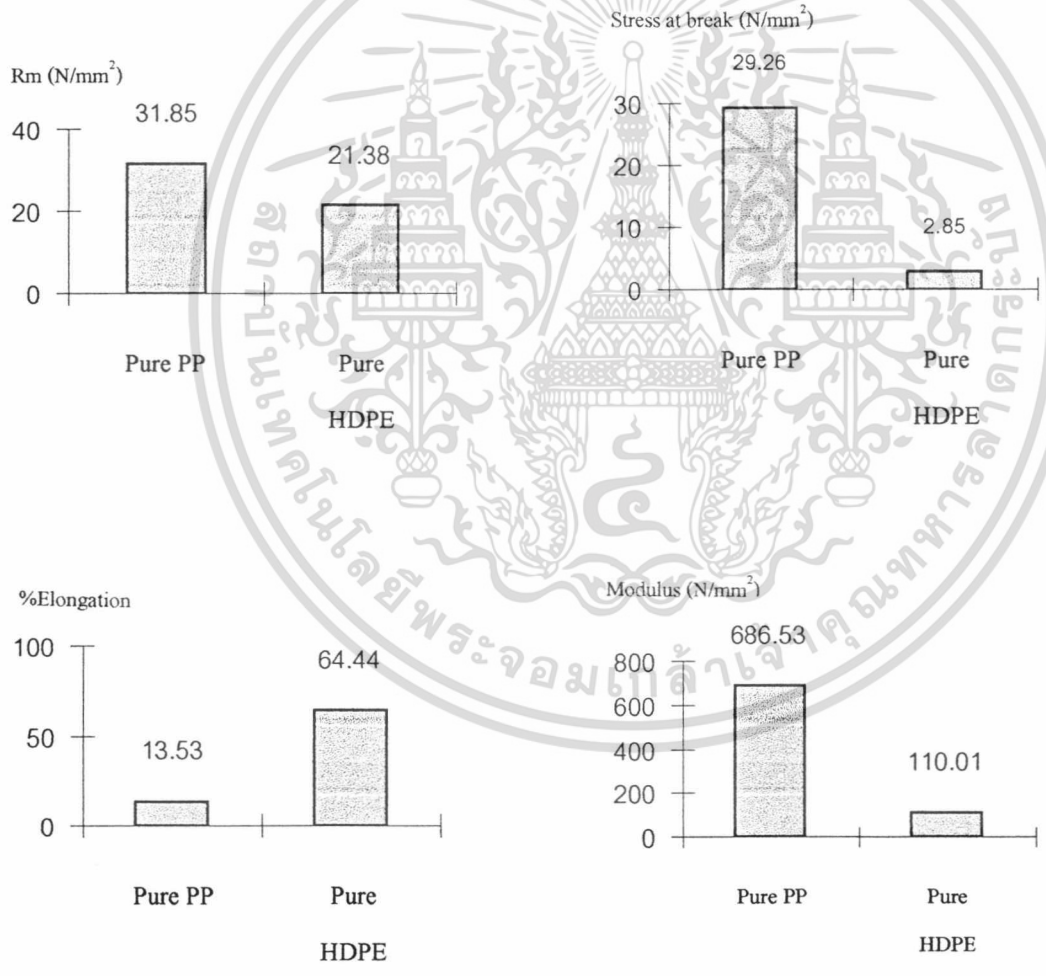
ตารางที่20 แสดงผลของค่า Rm, Stress at break, % Elongation และ Modulus ที่ได้จากการทดสอบของเครื่อง Tensile Testing Machine ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30

สารตัวอย่าง	ความเข้มรังสีที่ฉายผ่านHDPE (kGy)	Rm (N/mm^2)	Stress at Break (N/mm^2)	% Elongation	Modulus (N/mm^2)
PP:HDPE	0	22.47	19.14	6.81	802.7
70:30	10	19.51	14.37	5.15	805.3
	20	17.50	15.45	3.94	830.3
	30	16.30	11.68	3.78	885.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

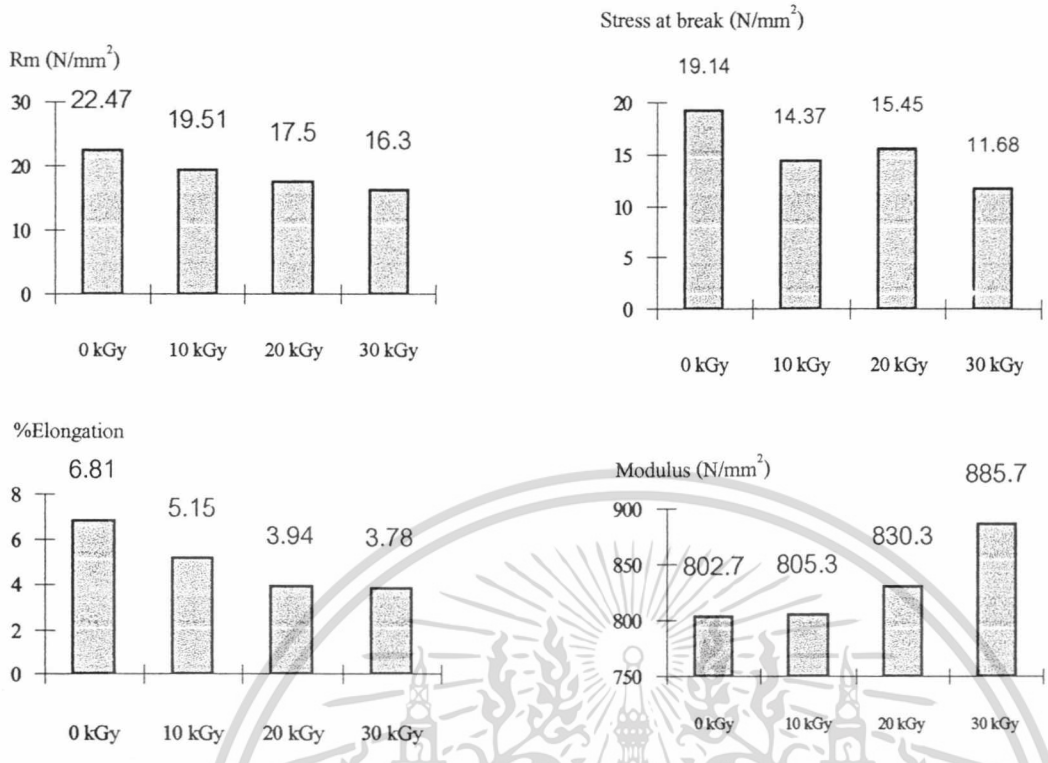
ตารางที่21 แสดงผลของค่า Rm, Stress at break, %Elongation และ Modulus ที่ได้จากการทดสอบของเครื่อง Tensile Testing Machine ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70

สารตัวอย่าง	ความเข้มของรังสีที่ฉายผ่าน HDPE (kGy)	Rm (N/mm^2)	Stress at Break (N/mm^2)	% Elongation	Modulus (N/mm^2)
PP:HDPE	-	20.31	5.49	8.92	509.5
70:30	10	16.07	9.64	4.60	415.1
	20	17.30	16.76	4.09	474.2
	30	20.49	20.16	5.25	542.8

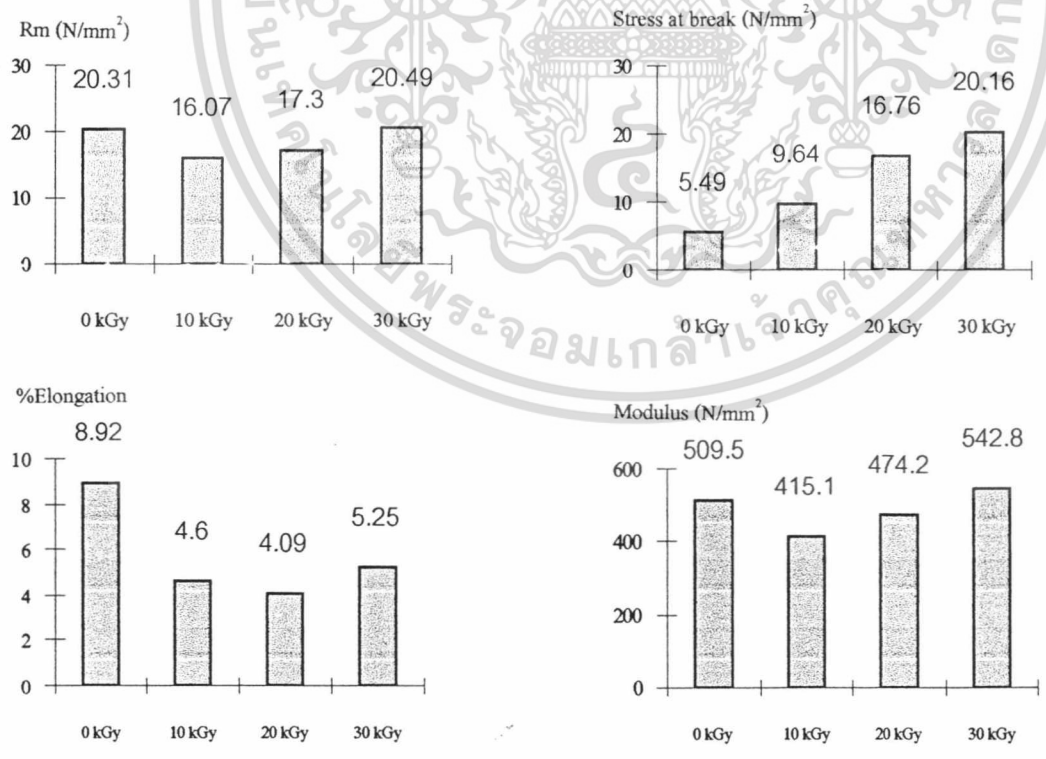


รูป4-17 แสดงผลค่า Rm, Stress at break, %Elongation และ Modulus ของ Pure PP และ Pure HDPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป4-18 แสดงผลค่า Rm, Stress at break, %Elongation และ Modulus ของพอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วน 70:30



รูป4-19 แสดงผลค่า Rm, Stress at break, %Elongation และ Modulus ของพอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วน 30:70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปการดำเนินการวิจัย

5.1.1 Pure PP และ Pure HDPE

เมื่อพิจารณาผลการทดลองทั้งหมดแล้ว สามารถสรุปโดยรวมได้ดังนี้คือ รังสีจะทำให้ HDPE เกิดอนุมูลอิสระขึ้น โดยอนุมูลอิสระบางส่วนนั้นจะทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นพันธะเชื่อมโยงขึ้น และมีบางส่วนถูกกักขังอยู่ในบริเวณผลึกของ HDPE พีกของ IR ไม่พบหมู่คาร์บอนิลและไฮโดรเปอร์ออกไซด์ แสดงว่าไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน อาจเนื่องจากความเป็นผลึกของ HDPE ที่จะกักขังอนุมูลอิสระไว้และจากสารต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidant) ที่ปนอยู่ในขวด HDPE ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาขึ้น เมื่อความเข้มของรังสีเพิ่มขึ้นจะทำให้อนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น โอกาสเกิดพันธะเชื่อมโยงมีมากขึ้น พิจารณาได้จากผลของการหา % เจล

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนจะพบว่าปริมาณพันธะเชื่อมโยงที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่า Melting temperature (T_m) สูงขึ้น และพันธะเชื่อมโยงจะขัดขวางการตกผลึก ทำให้ค่า Crystallinity temperature (T_c) ลดต่ำลง ส่วนความสามารถในการทนความร้อนจะสูงขึ้นเมื่อปริมาณพันธะเชื่อมโยงมีมากขึ้น และเมื่อเกิด Chain scission ขึ้น ความทนทานต่อความร้อนจะลดลง

5.1.2 ระบบพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 70:30

เมื่อพิจารณาผลการทดลองทั้งหมดแล้ว สรุปโดยรวมได้ว่า สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมที่มี HDPE ที่ผ่านการฉายรังสีความเข้ม 10 kGy จะทนความร้อนได้มากที่สุด เมื่อเพิ่มความเข้มของรังสีขึ้น จะทำให้ PP เกิดการสลายตัวเร็วขึ้นเนื่องจากอนุมูลอิสระที่ค้างอยู่ใน HDPE ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จาก DTUL คือ ที่ความเข้มของรังสี 10 kGy พบว่ามีอุณหภูมิในการแอ่นตัวสูงที่สุด

สำหรับสมบัติเชิงกลนั้น ค่า Rm และ Stress at break จะลดลงเมื่อความเข้มของรังสีเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุมูลอิสระที่ค้างอยู่ใน HDPE จะทำให้ PP เกิดการสลายพันธะ ทำให้ความทนทานต่อแรงดึงลดลง ซึ่งผลที่ได้จะคล้ายกับค่าความทนทานต่อแรงกระแทก ซึ่งเกิดจากการกระจายตัวของ HDPE ใน PP ไม่ดี ดังนั้นรังสีจึงไม่ช่วยให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 <u>ระบบพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 30:70</u>

เมื่อพิจารณาผลการทดลองทั้งหมดแล้ว สรุปได้ว่า HDPE ที่ผ่านการฉายรังสีความเข้ม 30 kGy จะมีความทนทานต่อความร้อนได้สูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณพันธะเชื่อมโยงมาก และผลของรังสีจะช่วยให้อุณหภูมิการแอ่นตัวสูงกว่าที่ไม่ได้ฉายรังสี

สำหรับสมบัติเชิงกลนั้น ค่า Rm และ Stress at break ของ HDPE ที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสีจะสูงกว่าที่ฉายรังสี 10 kGy แต่เมื่อความเข้มของรังสีเพิ่มขึ้นเป็น 20 และ 30 kGy ตามลำดับ สมบัติเชิงกลจะดีขึ้นตามปริมาณพันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นใน HDPE

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ควรทำการศึกษาอัตราความเข้มของรังสีเพิ่มขึ้นอีกเพื่อดูแนวโน้มของการเกิดพันธะเชื่อมโยงว่าที่ความเข้มของรังสีเท่าใดจะทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงมากที่สุด
- ขวดน้ำพลาสติกที่ทำการเก็บมาทดลอง ควรเก็บขวดที่ผลิตจากบริษัทเดียวกัน เพื่อที่จะให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องยิ่งขึ้น
- ควรทำการศึกษาอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่มีอัตราส่วน 50:50 เพื่อจะได้เห็นผลของความเข้มของรังสีชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ดรินทร อินญาญานยศ อมรพันธุ์ จันทร์มังคละกุล และ อรรถวุฒิ คุ้มครอง "การปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ผสมโดยรังสีพลังงานสูง" โครงงานพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2538
2. ดร.ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์ "เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน" พิมพ์ครั้งที่ 1 โอเดียนสโตร์ 2527
3. E. Reichmanis, C. W. Frank and J. H. O'Donnell in Irradiation of Polymeric Materials, Washington : American Chemical Society, pp.1-7, 1993
4. L. Richardson in Industrial Plastics : Theory and Application, 2nd ., pp. 407-145, 521, Delmar Publishes Inc., 1989
5. M. Chanda and S. K. Roy in Plastic Technology Handbook, 2nd ., pp. 561-564, 823, New York, Mancel Dekker, 1993
6. G. Spadaro, D. Acierno, C. Dispenza, E. Calderaro and A. Valenza, Radiat. Phys. Chem., vol. 48, No. 2, pp. 207-216, 1996
7. R. S. Stein in Emerging Technology in Plastic Recycling, Washington : American Chemical Society, pp. 39-48, 258-263, 1992

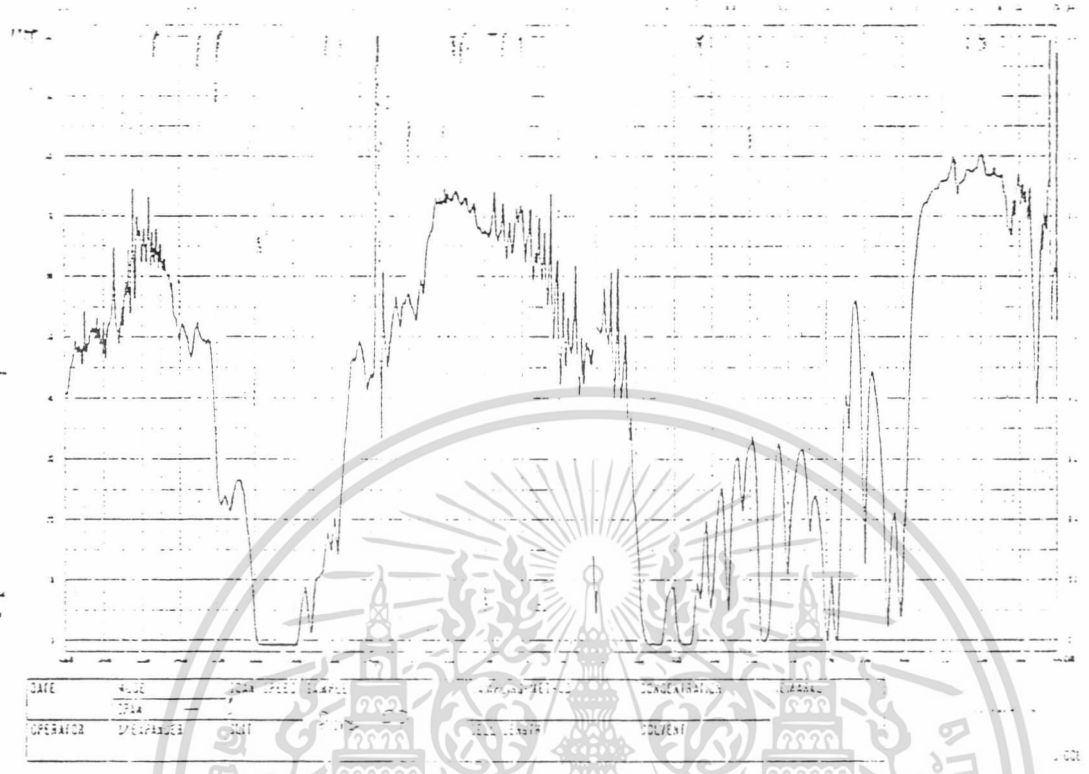
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

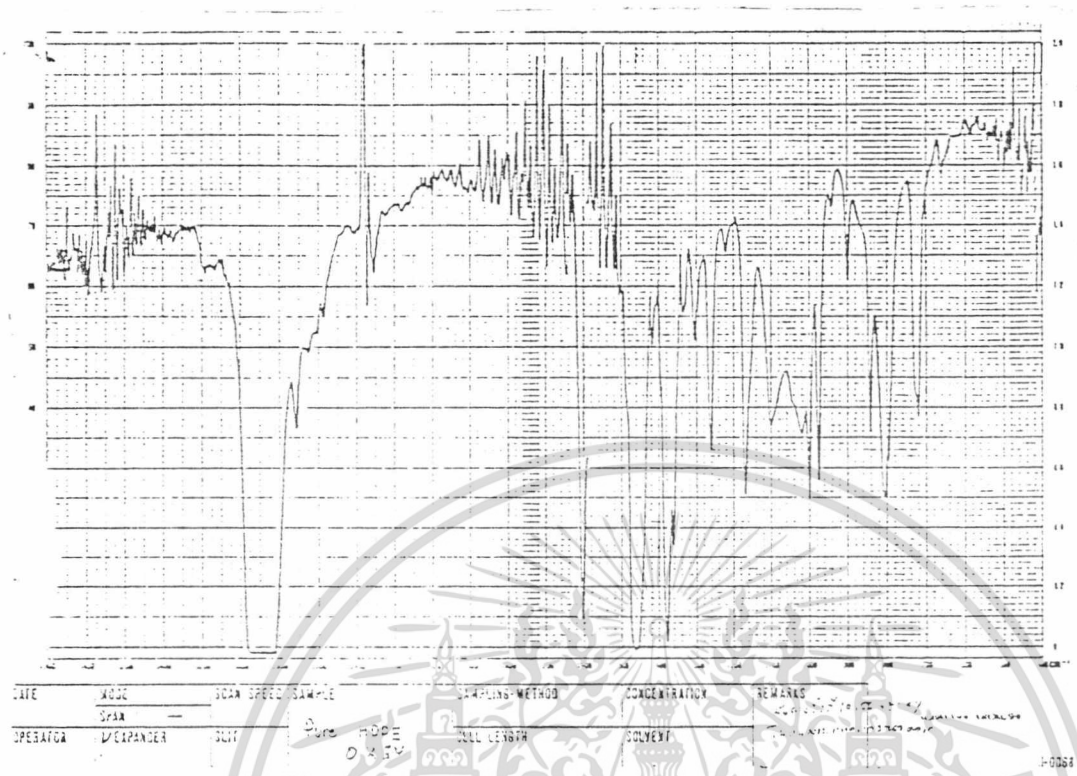
ก. ผลของ Infrared Spectroscopy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

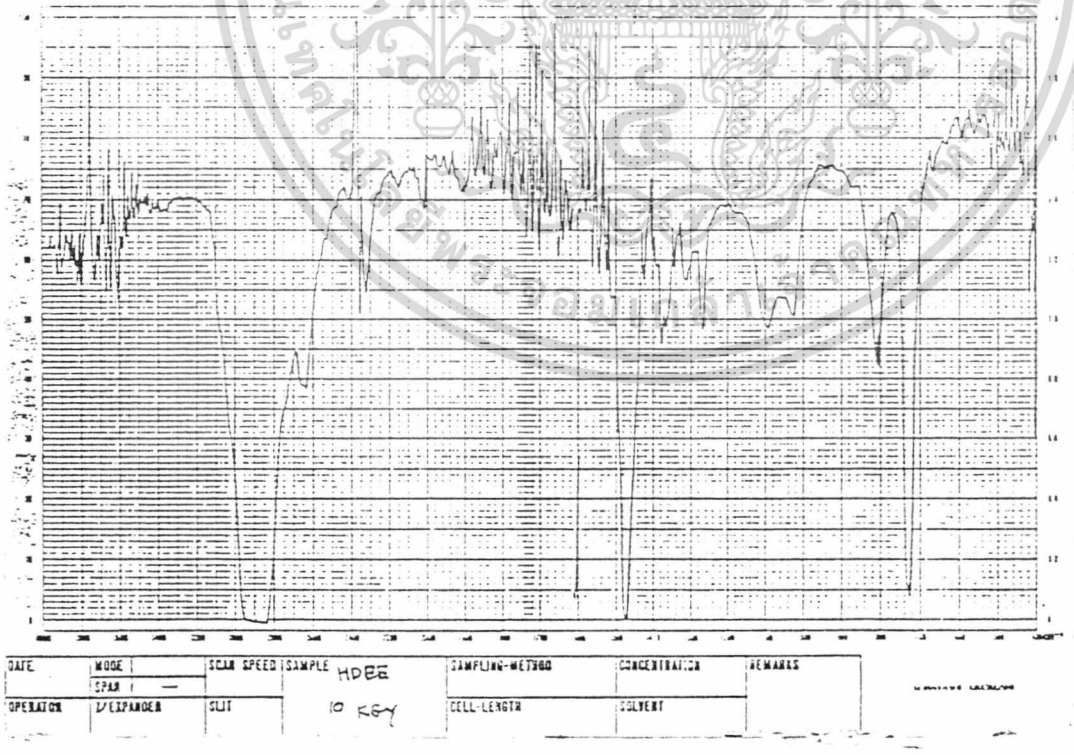


รูปก-1 แสดงผลที่ได้จาก IR ของ Pure PP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

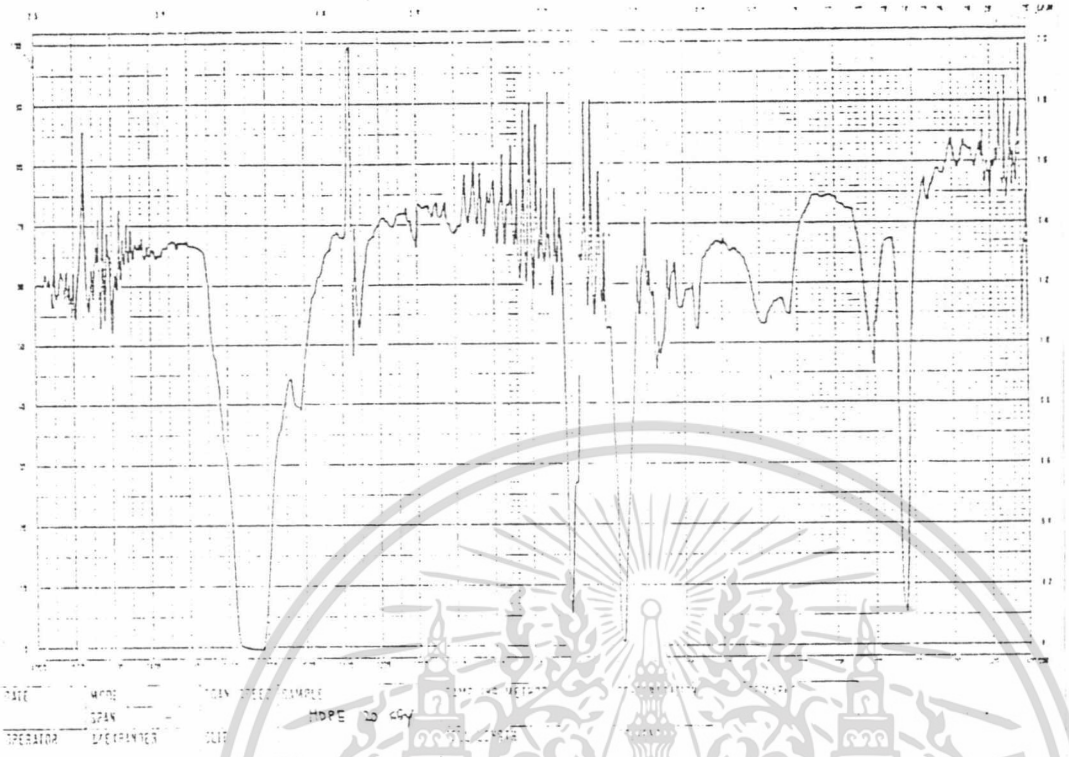


รูปก-2 แสดงผลที่ได้จาก IR ของ Pure HDPE ที่ไม่ผ่านการฉายรังสี

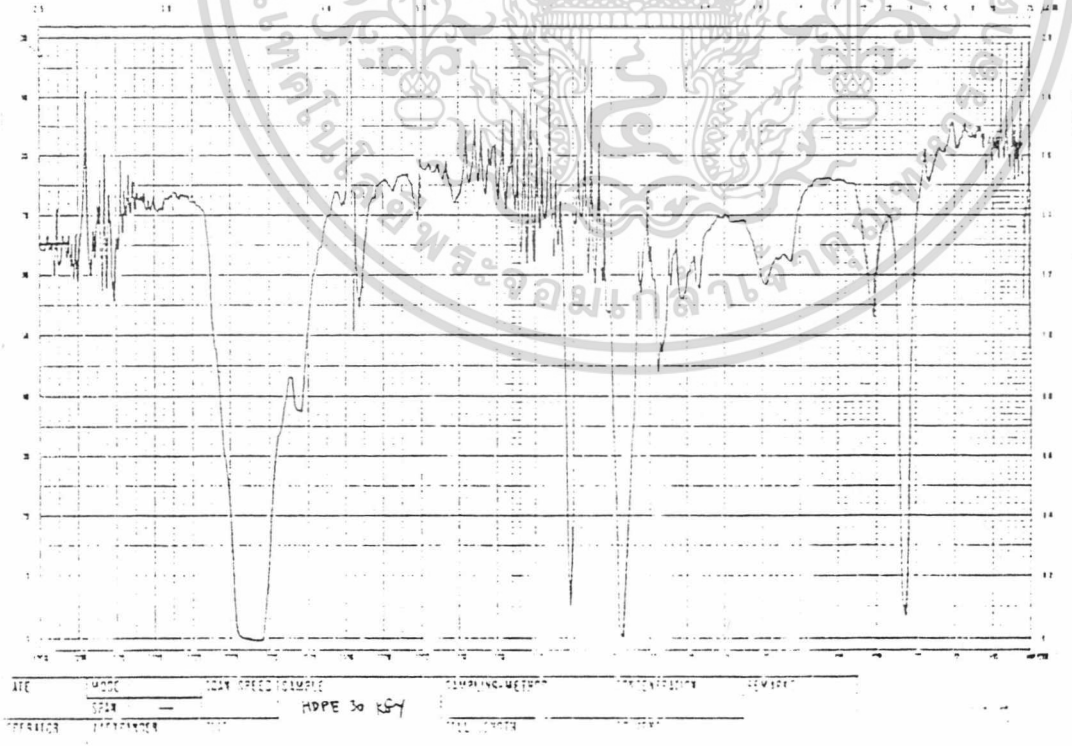


รูปก-3 แสดงผลที่ได้จาก IR ของ Pure HDPE ฉายรังสี 10 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

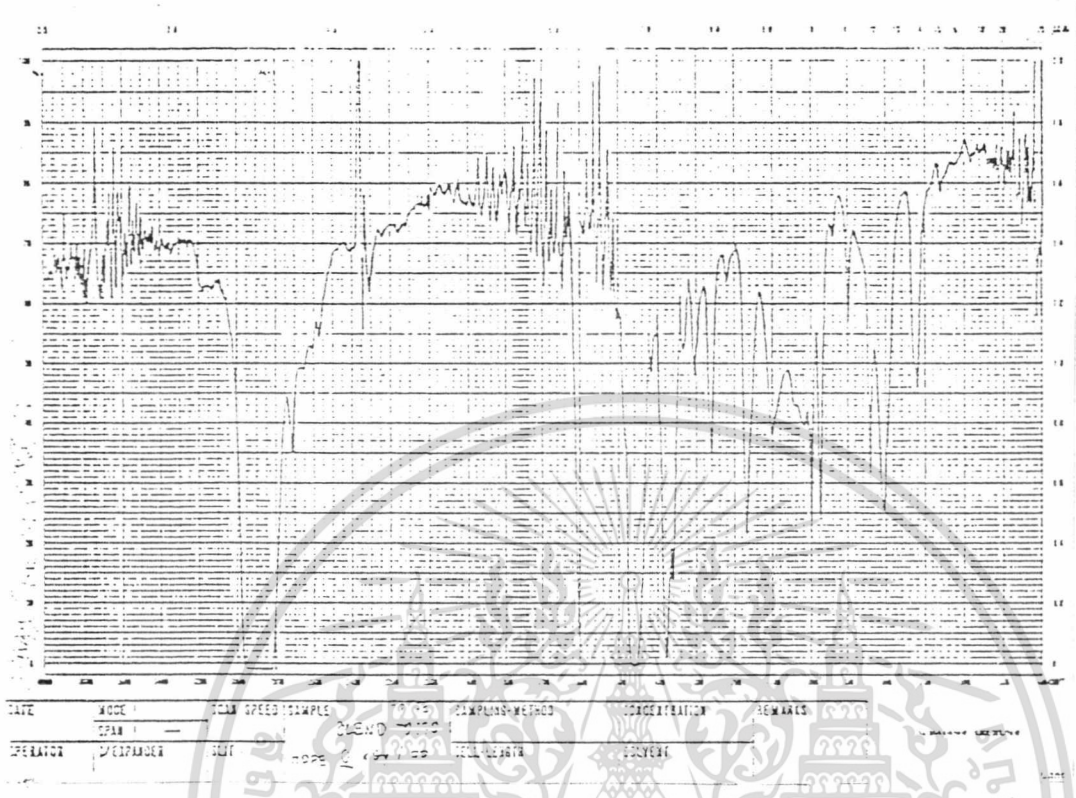


รูปก-4 แสดงผลที่ได้จาก IR ของ Pure HDPE ฉายรังสี 20 kGy

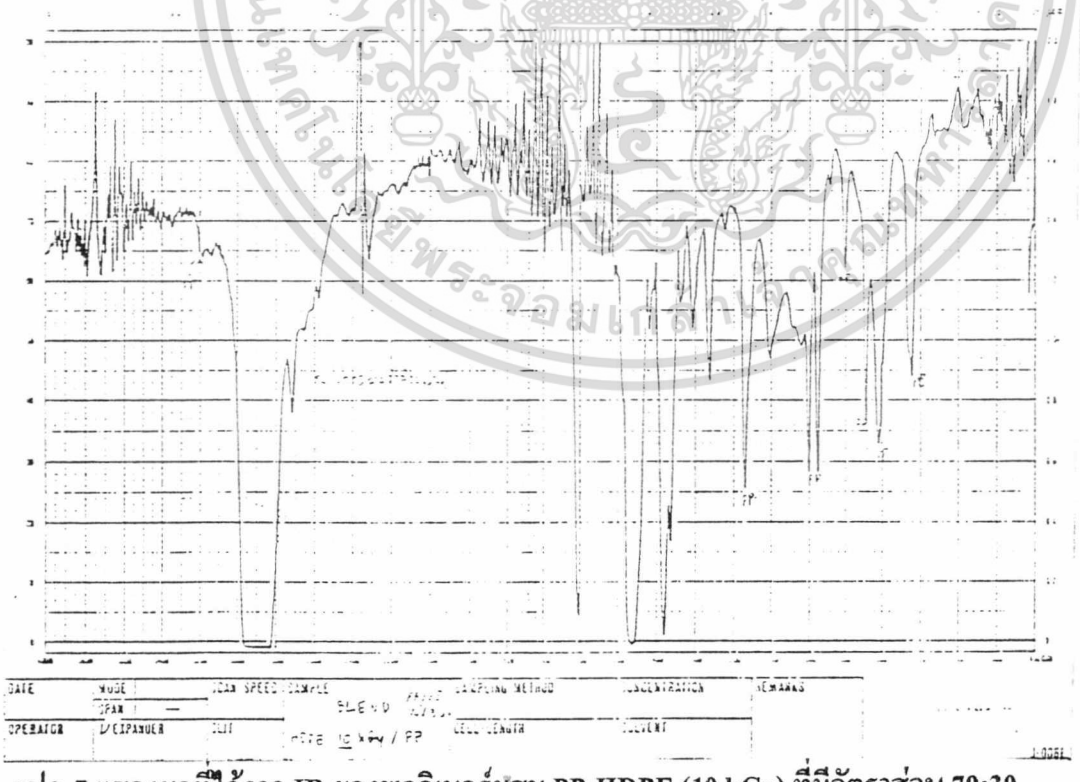


รูปก-5 แสดงผลที่ได้จาก IR ของ Pure HDPE ฉายรังสี 30 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

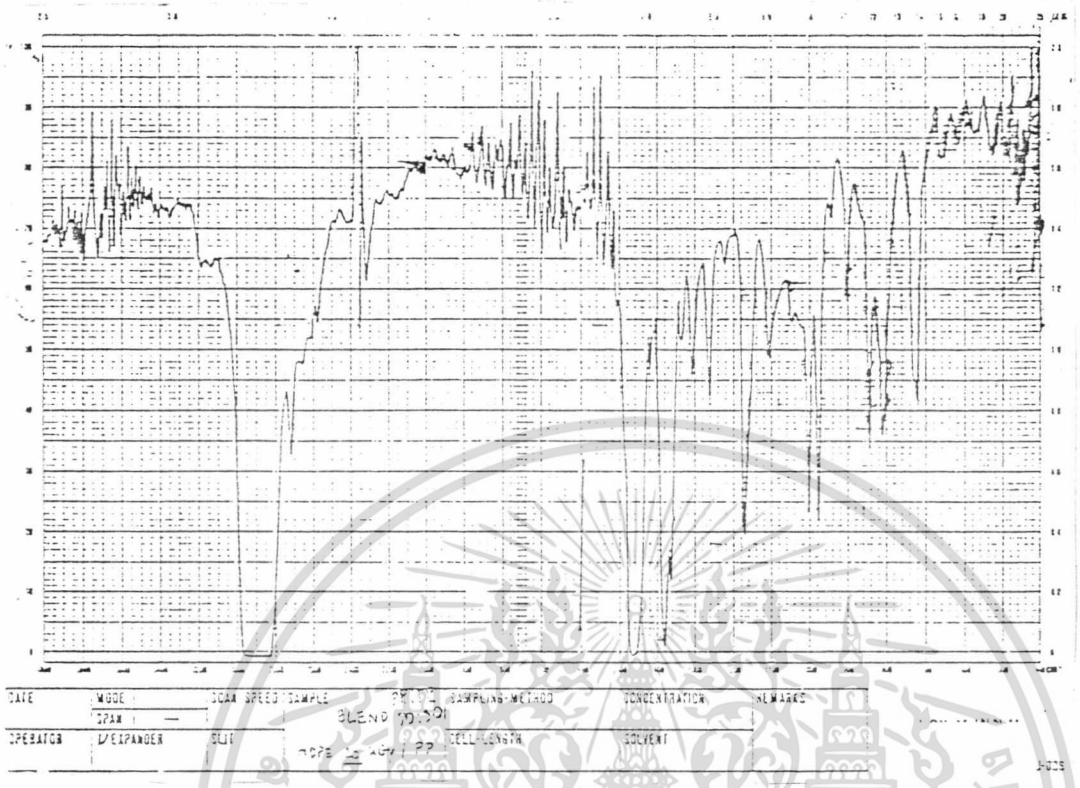


รูปก-6 แสดงผลที่ได้จาก IR ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (non irradiated) ที่มีอัตราส่วน 70:30

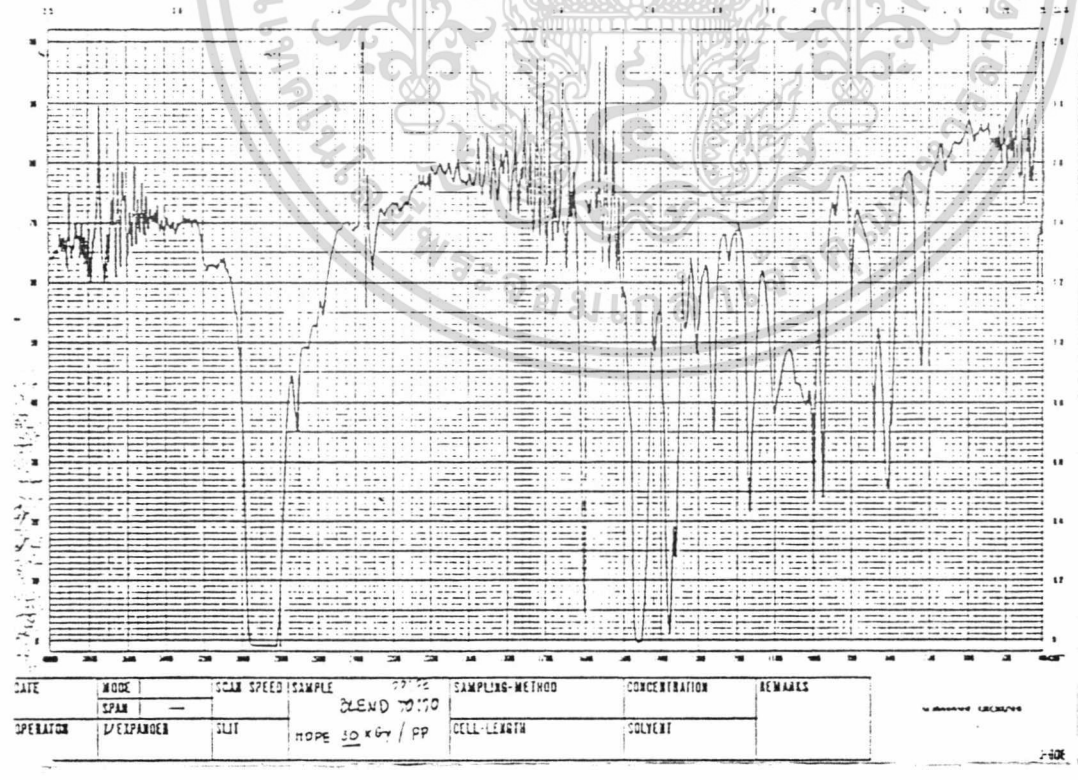


รูปก-7 แสดงผลที่ได้จาก IR ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (10 kGy) ที่มีอัตราส่วน 70:30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

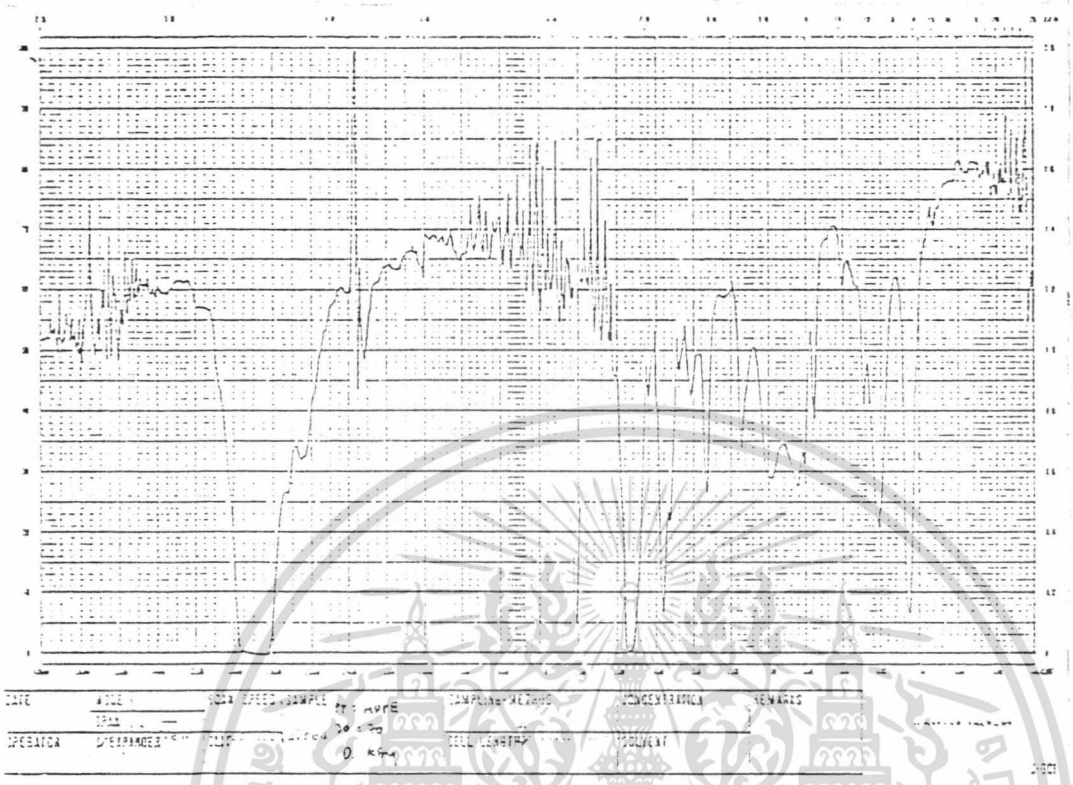


รูปก-8 แสดงผลที่ได้จาก IR ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (20 kGy) ที่มีอัตราส่วน 70:30

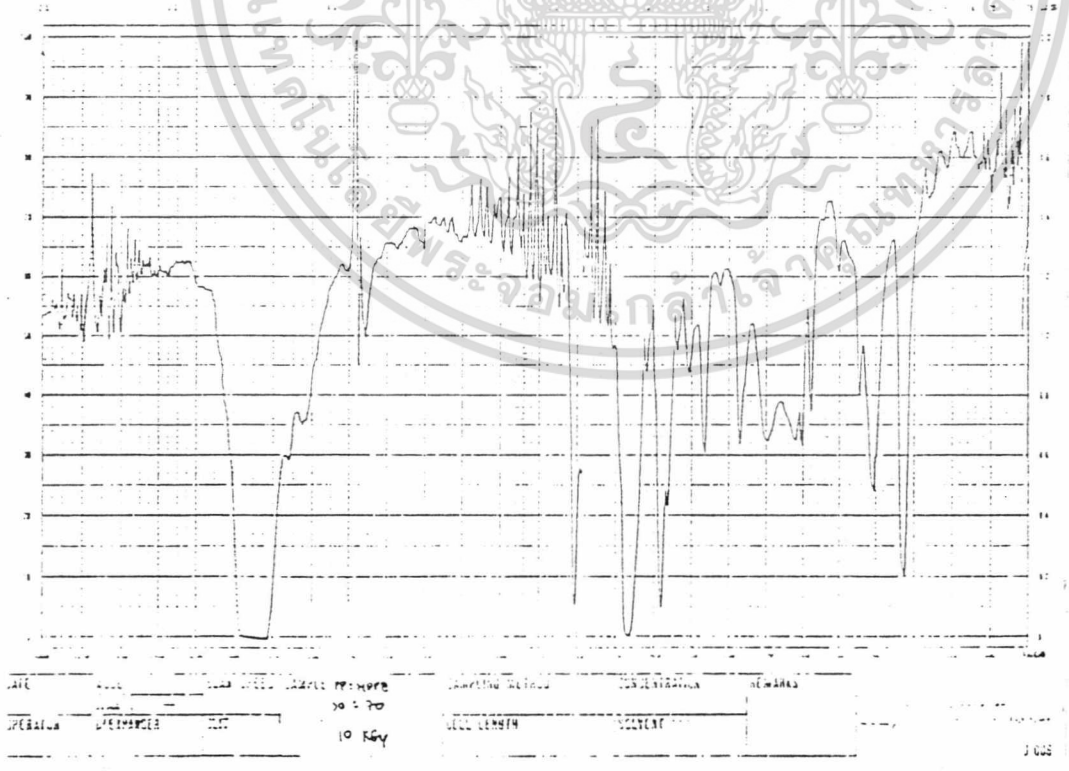


รูปก-9 แสดงผลที่ได้จาก IR ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (30 kGy) ที่มีอัตราส่วน 70:30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

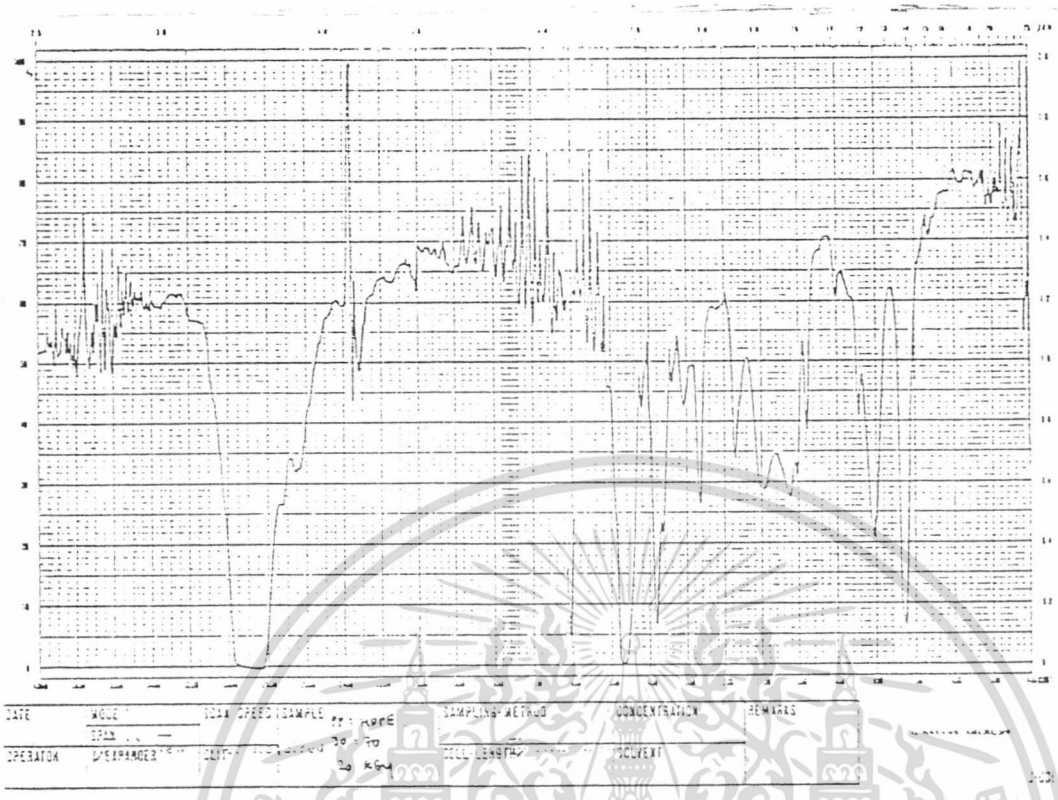


รูปก-10 แสดงผลที่ได้จาก IR ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (non irradiated) ที่มีอัตราส่วน 30:70

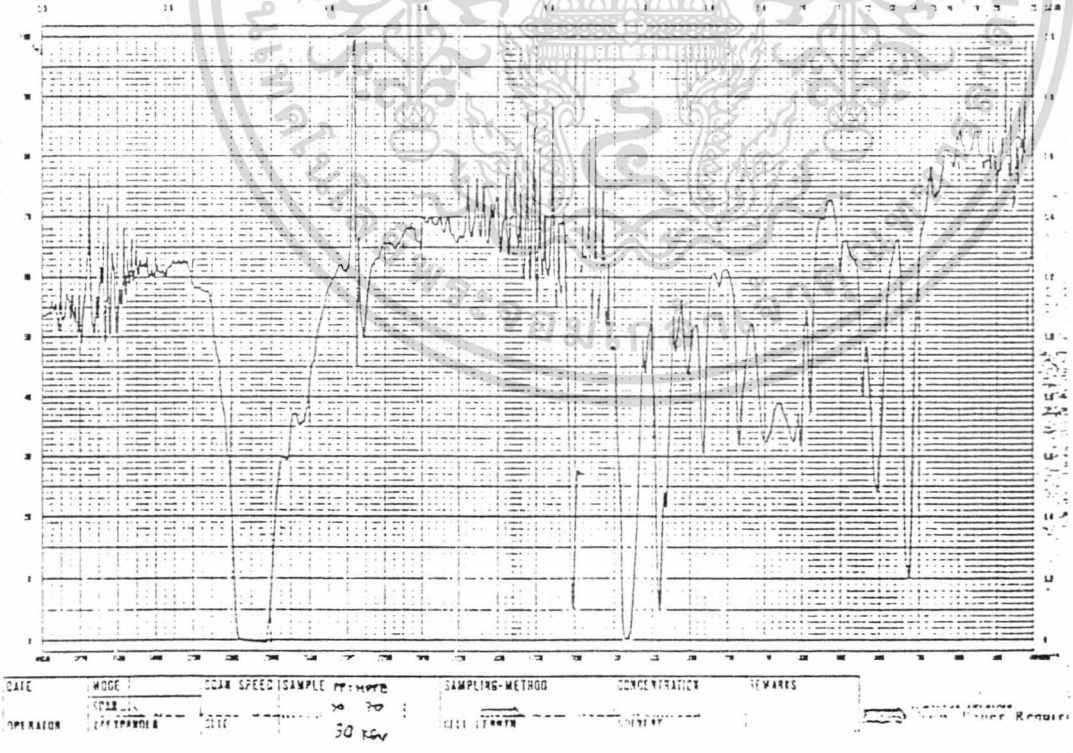


รูปก-11 แสดงผลที่ได้จาก IR ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (10 kGy) ที่มีอัตราส่วน 30:70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปก-12 แสดงผลที่ได้จาก IR ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (20 kGy) ที่มีอัตราส่วน 30:70

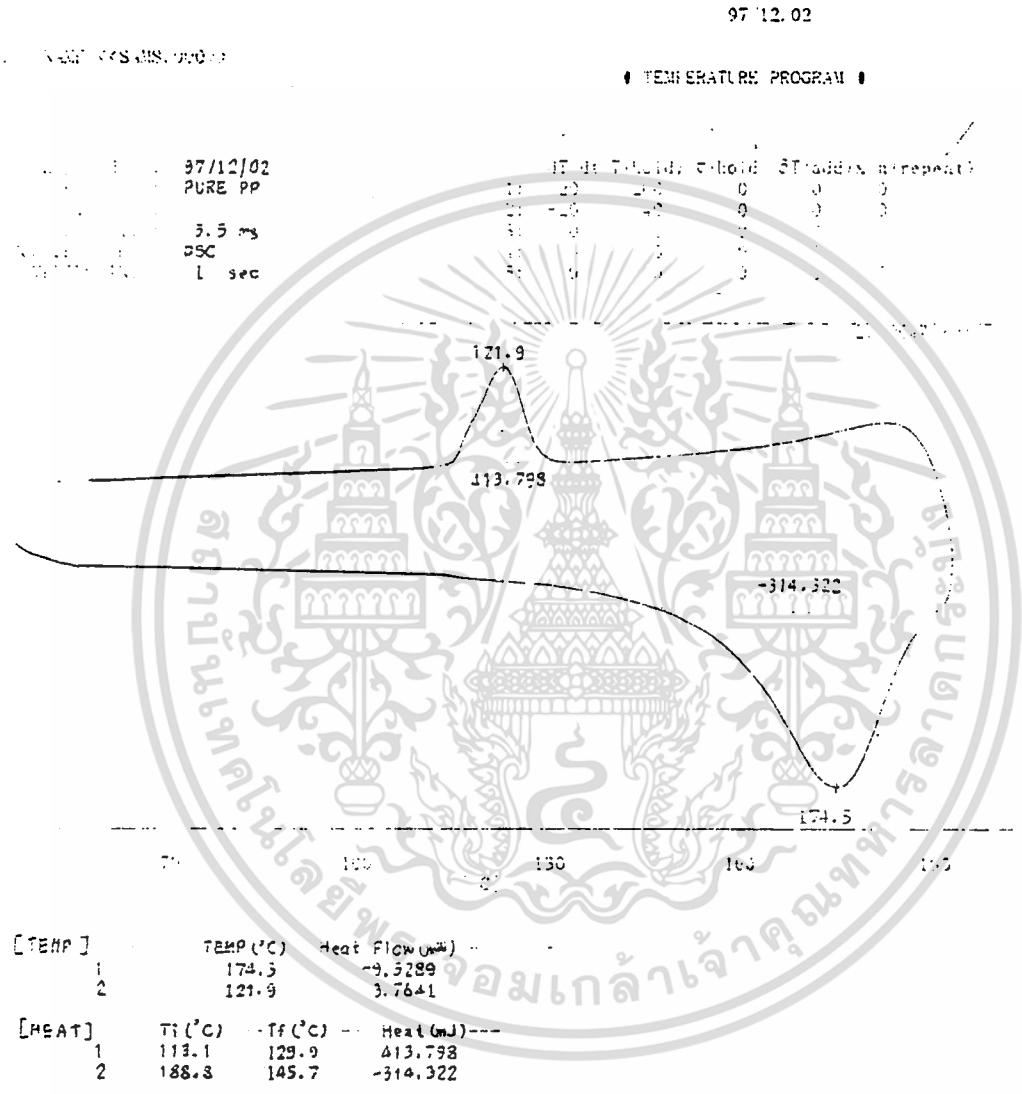


รูปก-13 แสดงผลที่ได้จาก IR ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (30 kGy) ที่มีอัตราส่วน 30:70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

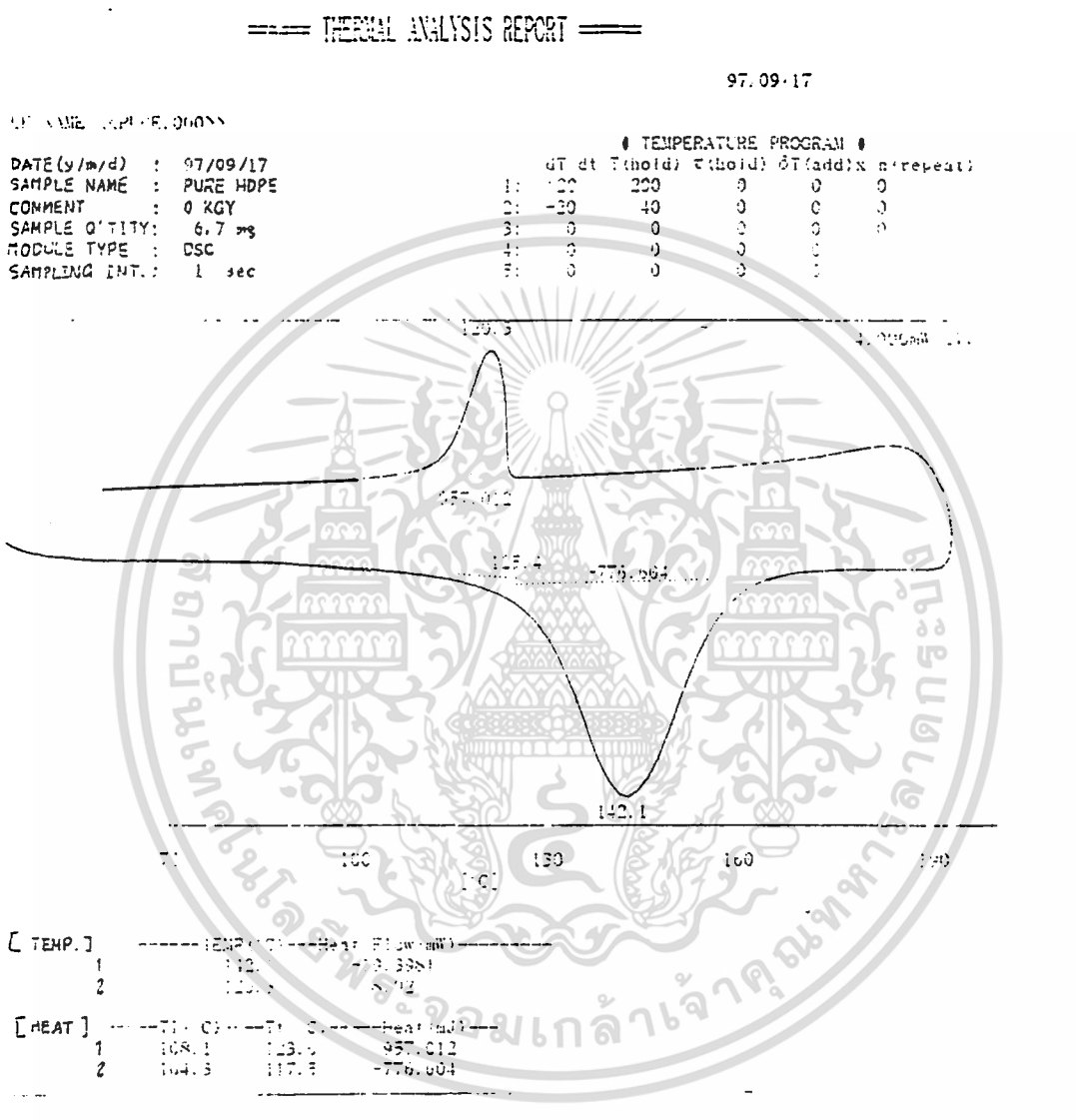
ข. ผลของการทดสอบสมบัติทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปข-1 แสดงผลที่ได้จาก DSC ของ Pure PP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=== THERMAL ANALYSIS REPORT ===

97.09.17

DATE(y/m/d) : 97/09/17
SAMPLE NAME : PURE HDPE
COMMENT : 0 KGY
SAMPLE Q'TITY: 6.7 mg
MODULE TYPE : DSC
SAMPLING INT.: 1 sec

◆ TEMPERATURE PROGRAM ◆

	dT	dt	T(hold)	T(hold)	δT(add)x	n(repeat)
1:	100	200	0	0	0	
2:	-30	40	0	0	0	
3:	0	0	0	0	0	
4:	0	0	0	0		
5:	0	0	0	1		

957.012

142.1

100 130 160

[TEMP.]

1	112.	-13.3991
2	123.	-5.112

[HEAT]

1	108.1	123.6	957.012
2	104.3	117.3	-776.004

รูปข-2 แสดงผลที่ได้จาก DSC ของ Pure HDPE ที่ไม่ผ่านการฉายรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL ANALYSIS REPORT

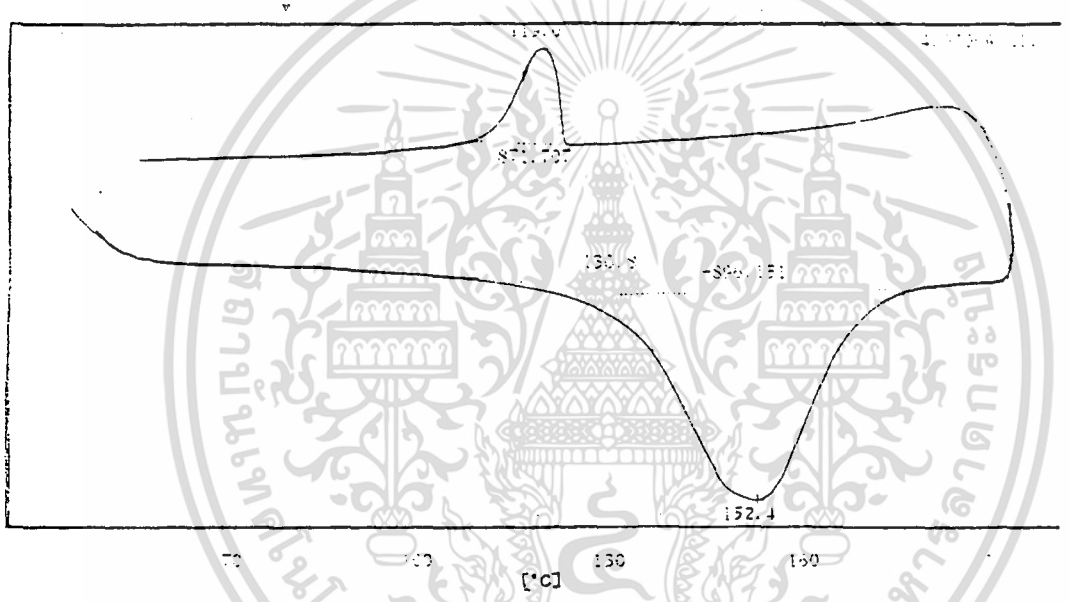
97/09/17

FILE NAME (<PURE1.000>)

DATE (y/m/d)	: 97/09/17
SAMPLE NAME	: PURE HDPE
[illegible]	: 10 KGY
[illegible]	: 6.3 mg
[illegible]	: DSC
[illegible]	: 1 sec

* TEMPERATURE PROGRAM *

	dT/dt	T(hold)	t(hold)	dT/[illegible]	[illegible]
1:	20	200	0	0	0
2:	-20	40	0	0	0
3:	0	0	0	0	0
4:	0	0	0	0	0
5:	0	0	0	0	0



[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	152.4	-21.2938
2	119	7.3569

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	107.6	123.6	871.707
2	177.1	122.1	-896.151

รูปข-3 แสดงผลที่ได้จาก DSC ของ Pure HDPE ฉายรังสีความเข้ม 10 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

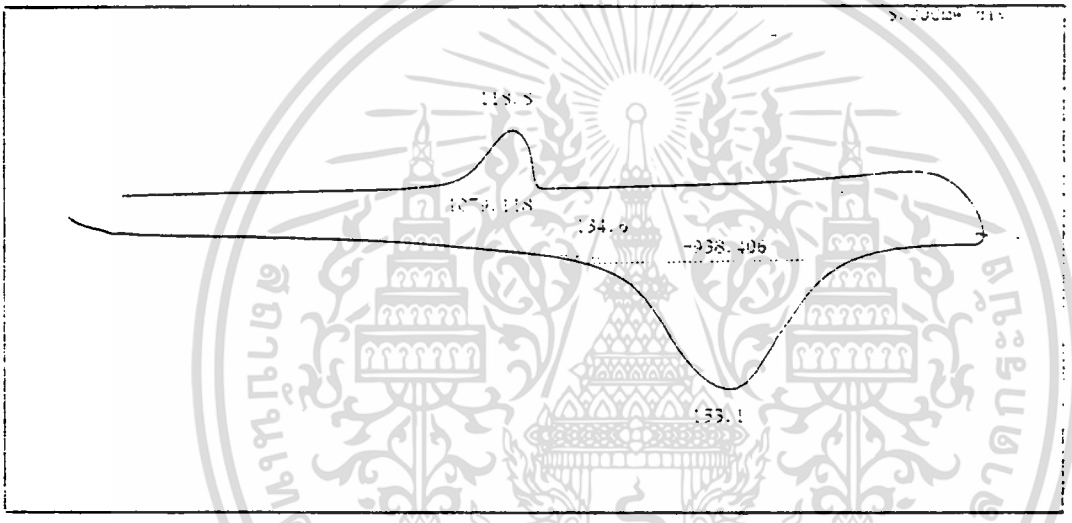
===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

97.09.17

97/09/17
PURE HDPE
20 KGY
7.8 mg
DSC
1 sec

♦ TEMPERATURE PROGRAM ♦

	dT	dt	T(hold)	T(hold)	dT(rate)	n(repeat)
1:	30	200	-5	0	0	
2:	-20	40	0	0	0	
3:	0	0	0	0	0	
4:	0	0	0	0	0	
5:	0	0	0	0	0	



[TEMP] TEMP(°C) Heat Flow(mW)

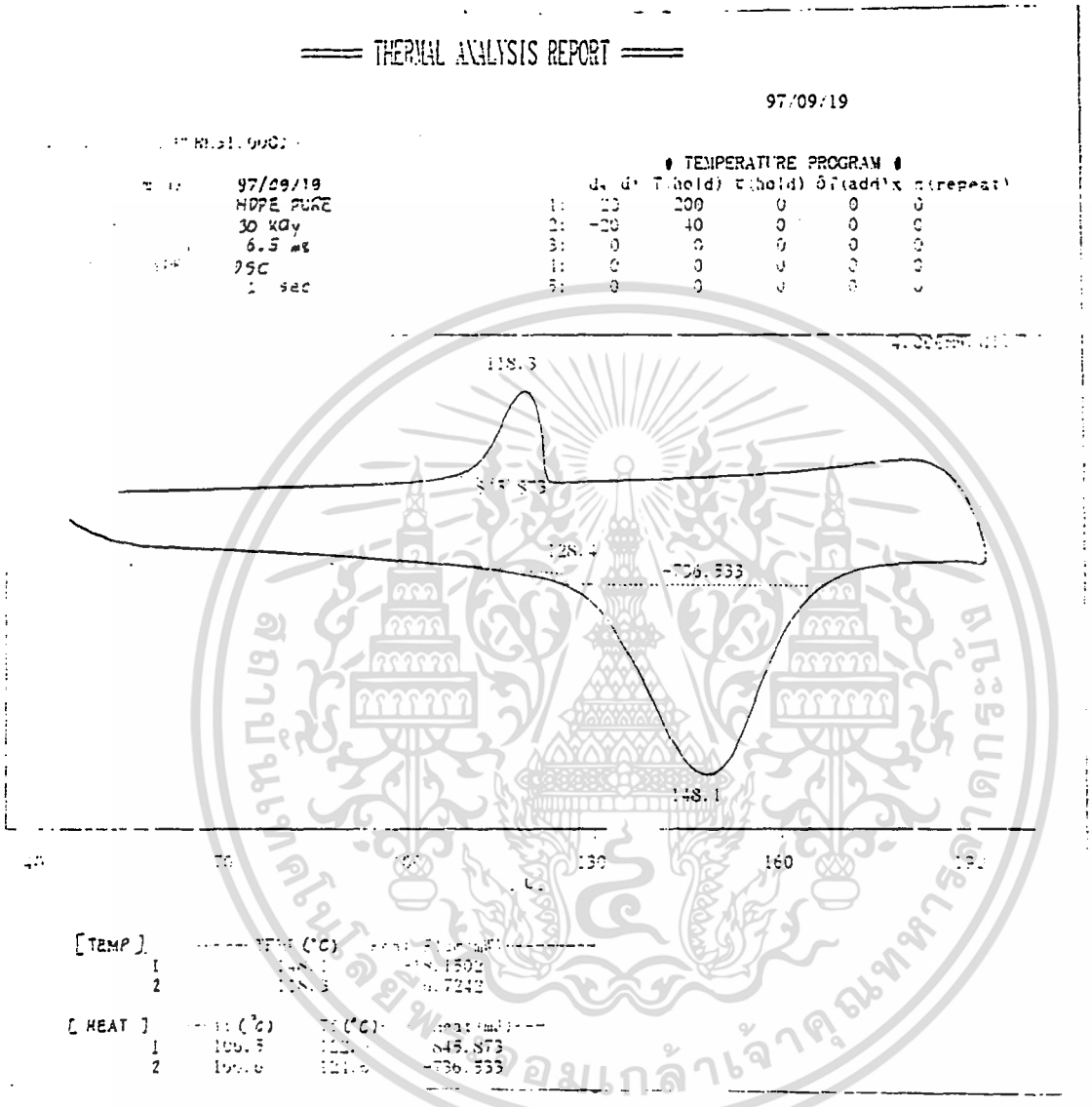
1	153.1	-24.4176
2	118.3	8.266

[HEAT]

	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	107.3	122.9	1079.118
2	172.2	130.0	-938.406

รูปข-4 แสดงผลที่ได้จาก DSC ของ Pure HDPE ฉายรังสีความเข้ม 20 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปช-5 แสดงผลที่ได้จาก DSC ของ Pure HDPE ฉายรังสีความเข้ม 30 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL ANALYSIS REPORT

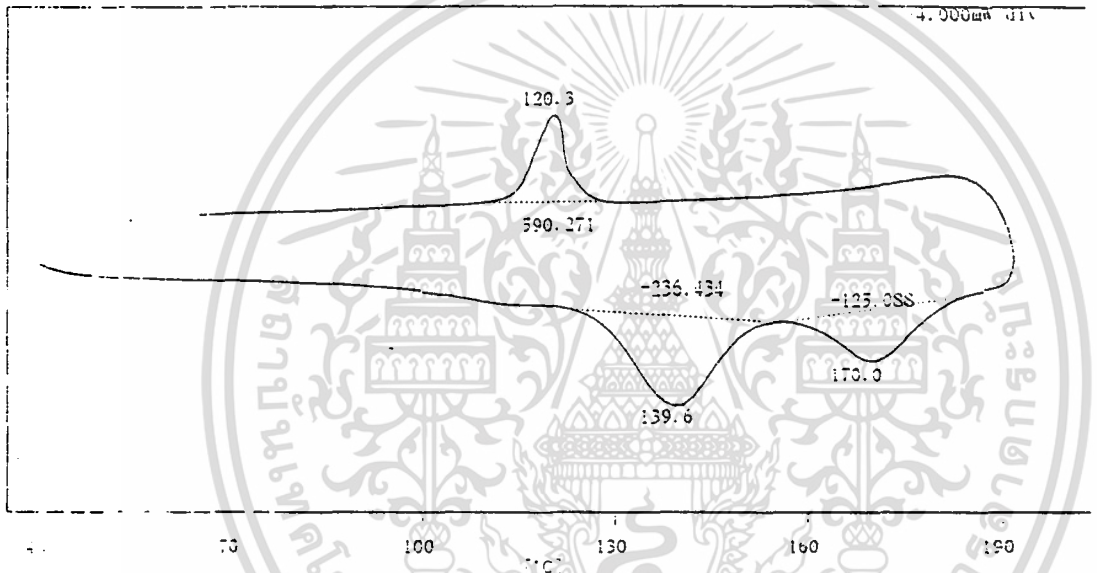
03/03/41

FILE NAME <<RE02.000>>

DATE(y m d) : 98/01/08
SAMPLE NAME : PP/HDPE 70/30
COMMENT : 0 kGy
SAMPLE QUTITY: 6.5 mg
MODULE TYPE : DSC
SAMPLING INT.: 1 sec

♦ TEMPERATURE PROGRAM ♦

	dT/dt	T(hold)	t(hold)	δT(add)x	n(repeat)
1:	20	200	0	0	0
2:	-20	40	0	0	0
3:	0	0	0	0	0
4:	0	0	0	0	0
5:	0	0	0	0	0



[TEMP.]

	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	139.6	-11.5824
2	170	-8.8159
3	120.3	6.6484

[HEAT]

	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	123.1	155.5	-236.434
2	155.5	184.2	-125.088
3	128.4	109.5	590.271

รูป-6 แสดงผลที่ได้จาก DSC ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (non irradiated) ที่มีอัตราส่วน 70:30

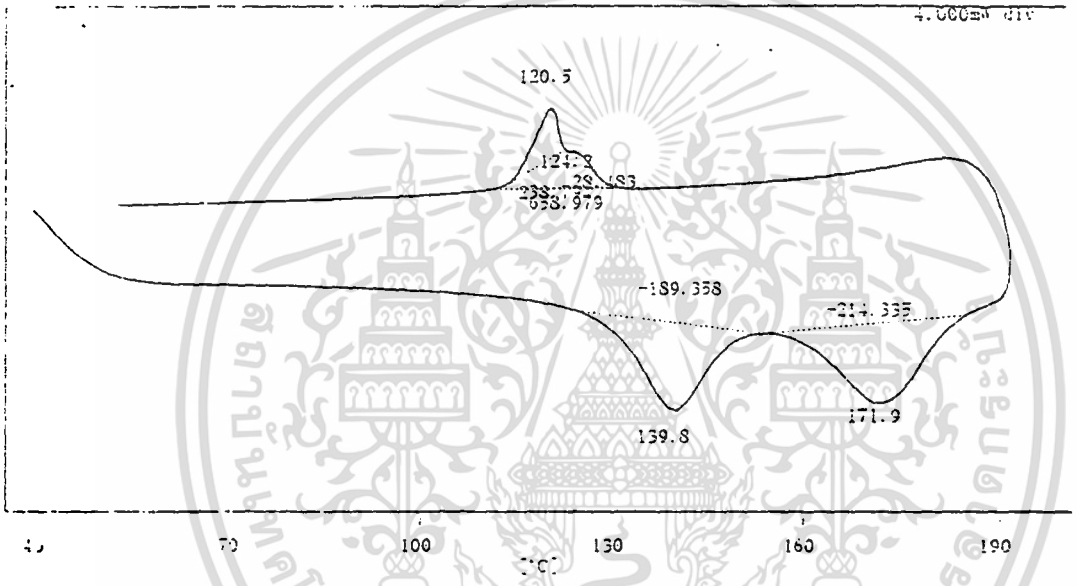
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL ANALYSIS REPORT

03/03/41

FILE NAME <<RE03.000>>

			TEMPERATURE PROGRAM				
DATE(y m d)	: 98/01/08		dT/dt	T(hold)	τ(hold)	δT(add)x	n(repeat)
SAMPLE NAME	: PP HDPE 70 30	1:	20	200	0	0	0
COMMENT	: 10 kGy	2:	-20	40	0	0	0
SAMPLE QUANTITY	: 6.9 mg	3:	0	0	0	0	0
MEASURE TYPE	: DSC	4:	0	0	0	0	0
SAMPLING INT.	: 1 sec	5:	0	0	0	0	0



TEMP.	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	139.8	-12.6244
2	171.9	-12.1656
3	124.2	3.6333
4	120.5	6.4151

HEAT	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	124.8	153.6	-189.358
2	153.6	184.9	-214.335
3	130.9	111.2	658.979
4	114.2	122.8	238.794
5	122.8	129	28.483

รูปข-7 แสดงผลที่ได้จาก DSC ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (10 kGy) ที่มีอัตราส่วน 70:30

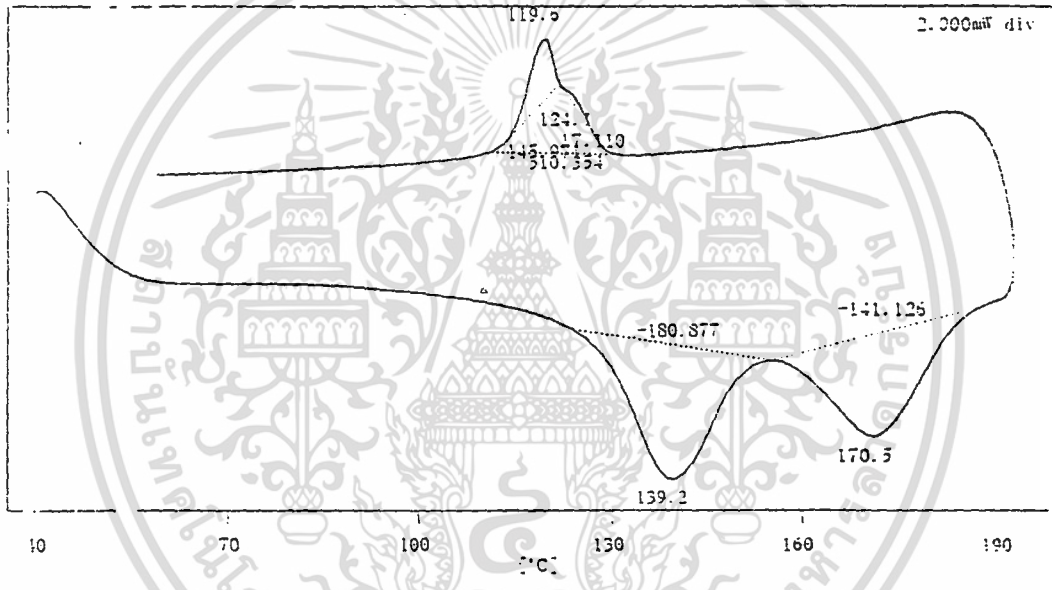
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL ANALYSIS REPORT

03/03/41

FILE NAME <<RE05.000>>

DATE (y.m.d)	: 98.01.08		♦ TEMPERATURE PROGRAM ♦			
SAMPLE NAME	: PP HDPE 70:30		dT/dt	T(hold)	t(hold)	δT(add)x n(repeat)
COMMENT	: 20 kGy	1:	20	200	0	0 0
SAMPLE QUANTITY	: 5.8 mg	2:	-20	40	0	0 0
MODULE TYPE	: DSC	3:	0	0	0	0 0
SAMPLING INT.	: 1 sec	4:	0	0	0	0 0
		5:	0	0	0	0 0



[PEAK]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	139.2	-9.4332
2	170.5	-8.0752
3	124.1	2.6934
4	119.6	4.5421

[HEAT]		Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
	1	123.8	155.4	-180.877
	2	155.4	186.8	-141.126
	3	130.3	110.7	510.354
	4	113.4	121.8	145.971
	5	121.8	128.4	17.11

รูปช-8 แสดงผลที่ได้จาก DSC ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (20 kGy) ที่มีอัตราส่วน 70:30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL ANALYSIS REPORT

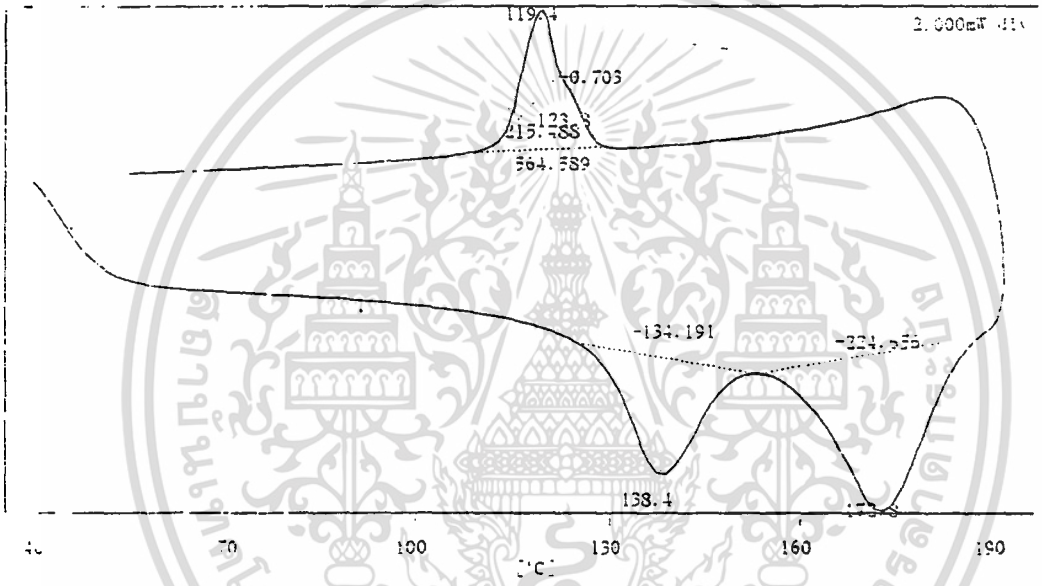
03/03/41

FILE NAME <<SAM3.000>>

DATE & TIME	: 97 11 11
SAMPLE NAME	: PP:HD 70:30
COMMENT	: 30 KGy
SAMPLE QUANTITY	: 6.3 mg
MODULE TYPE	: DSC
SAMPLING INT.	: 1 sec

♦ TEMPERATURE PROGRAM ♦

	dT	dt	T(hold)	t(hold)	δT(add)x	n(repeat)
1:	20		200	0	0	0
2:	-20		40	0	0	0
3:	0		0	0	0	0
4:	0		0	0	0	0
5:	0		0	0	0	0

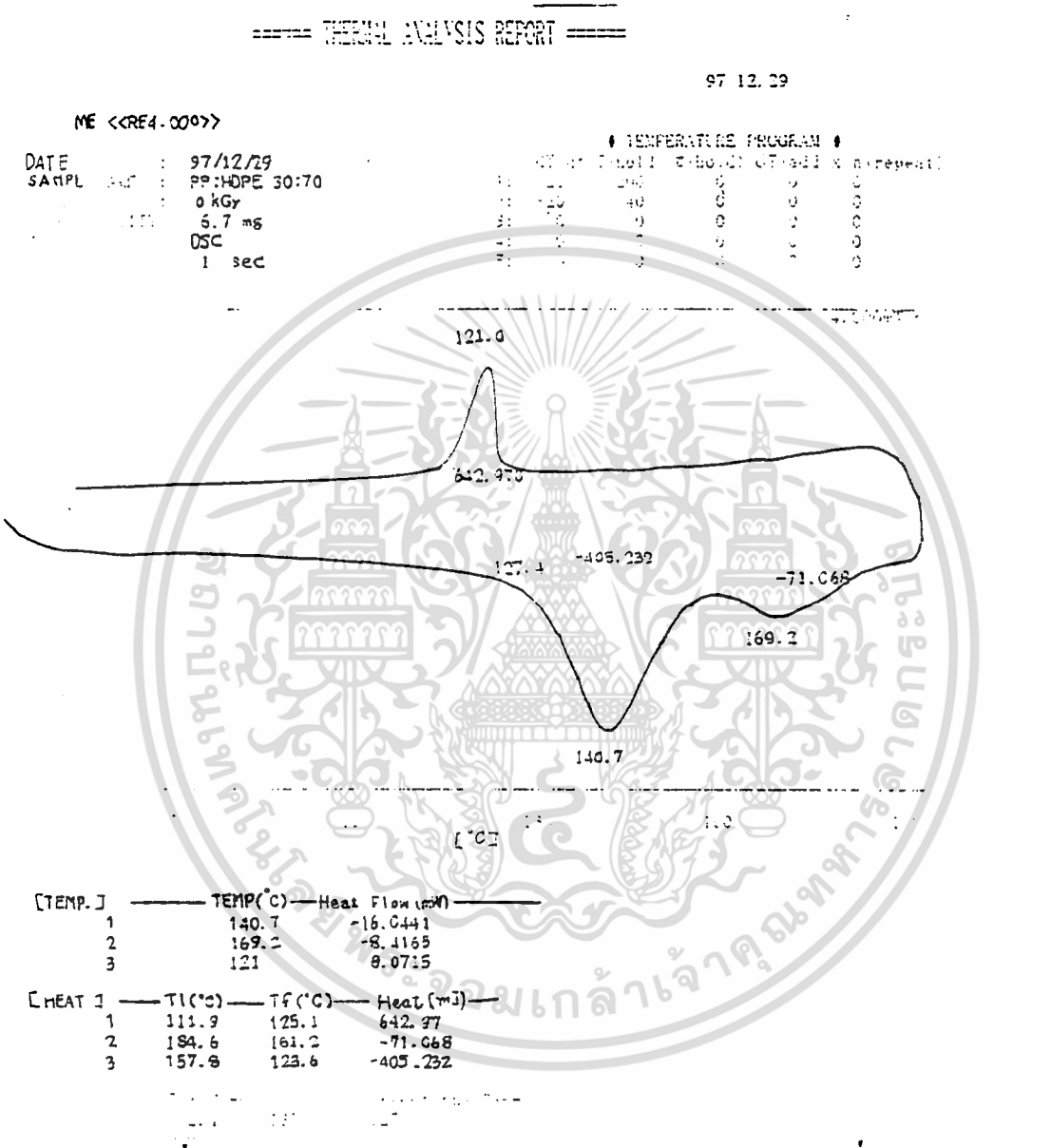


TEMP.	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	138.4	-9.2923
2	172.8	-10.419
3	123.8	2.8057
4	119.4	5.3806

HEAT	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	125	153.2	-134.191
2	153.2	188	-224.656
3	129.3	108.7	564.589
4	113.3	122.2	215.488
5	122.2	127.6	-0.703

รูปข-9 แสดงผลที่ได้จาก DSC ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (30 kGy) ที่มีอัตราส่วน 70:30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข-10 แสดงผลที่ได้จาก DSC ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (non irradiated) ที่มีอัตราส่วน 30:70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL ANALYSIS REPORT

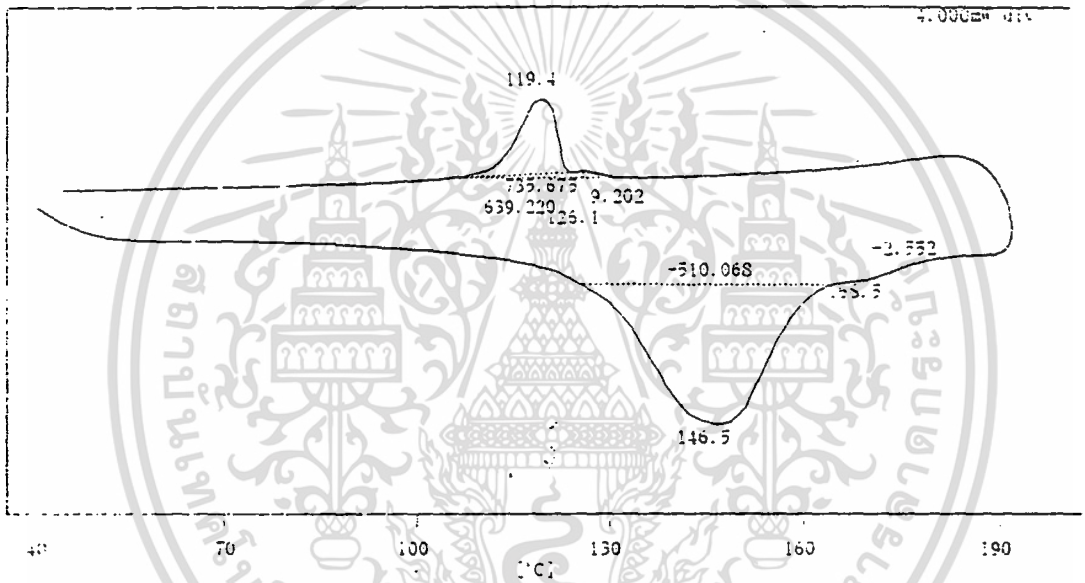
98/03/02

FILE NAME <<PP_PE.000>>

DATE(y m d) : 00.00/00
SAMPLE NAME : PP/HDPE 30/70
COMMENT : 10 KGY
SAMPLE Q'TITY : 5.6 mg
MODULE TYPE : DSC
SAMPLING INT. : 1 sec

♦ TEMPERATURE PROGRAM ♦

	dT/dt	T(hold)	t(hold)	ΔT(add)x	n(repeat)
1:	20	200	0	0	0
2:	-20	40	0	0	0
3:	0	0	0	0	0
4:	0	0	0	0	0
5:	0	0	0	0	0



[TEMP.]

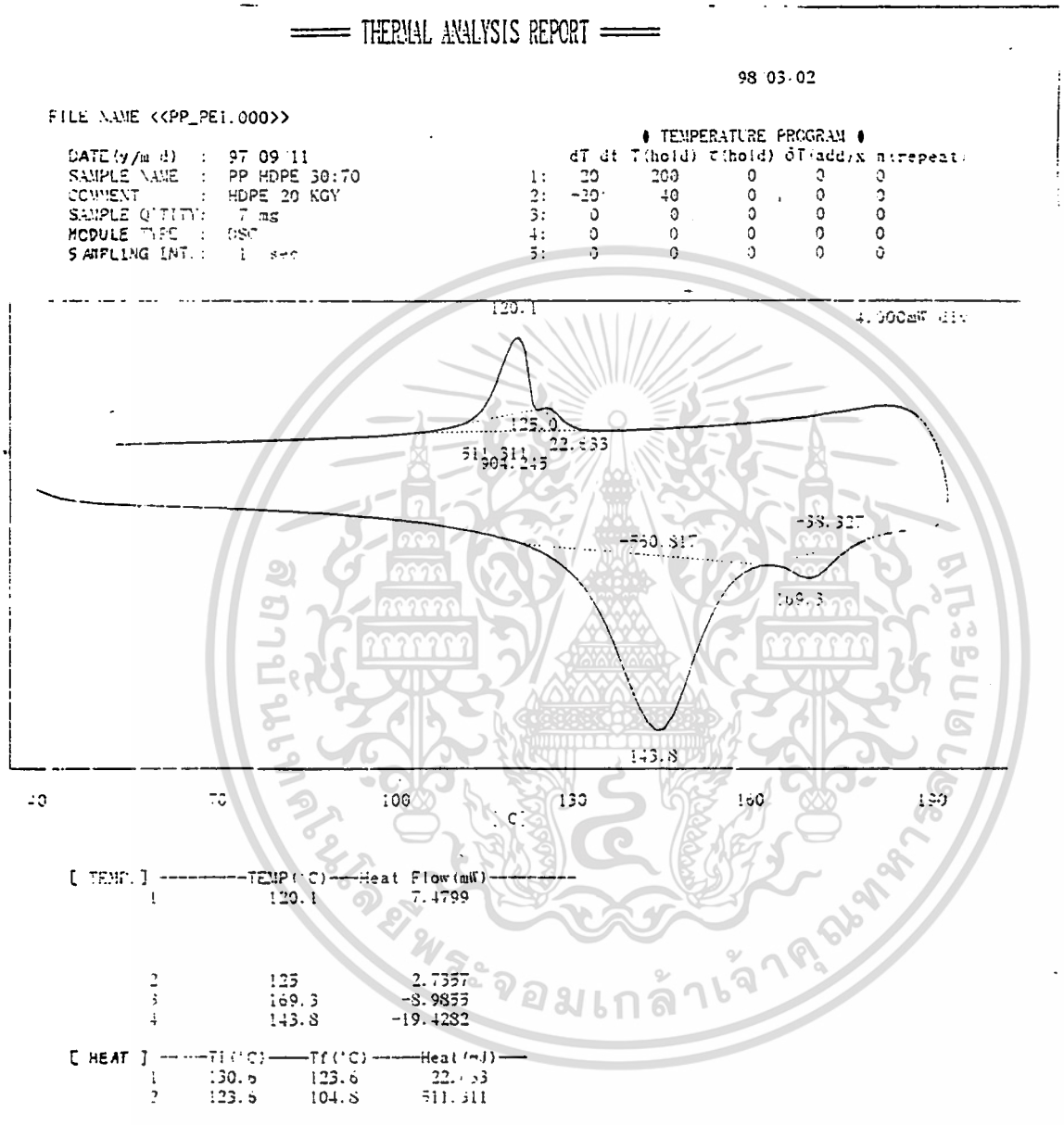
	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	146.5	-14.7102
2	168.5	-5.6068
3	126.1	1.3502
4	119.4	5.7988

[HEAT]

	Ti(°C)	Tf(°C)	Hea. mJ)
1	105.1	131.6	735.675
2	131.6	124.3	9.202
3	124.3	105.5	639.22
4	125.7	164.3	-310.068
5	164.3	180.2	-2.552

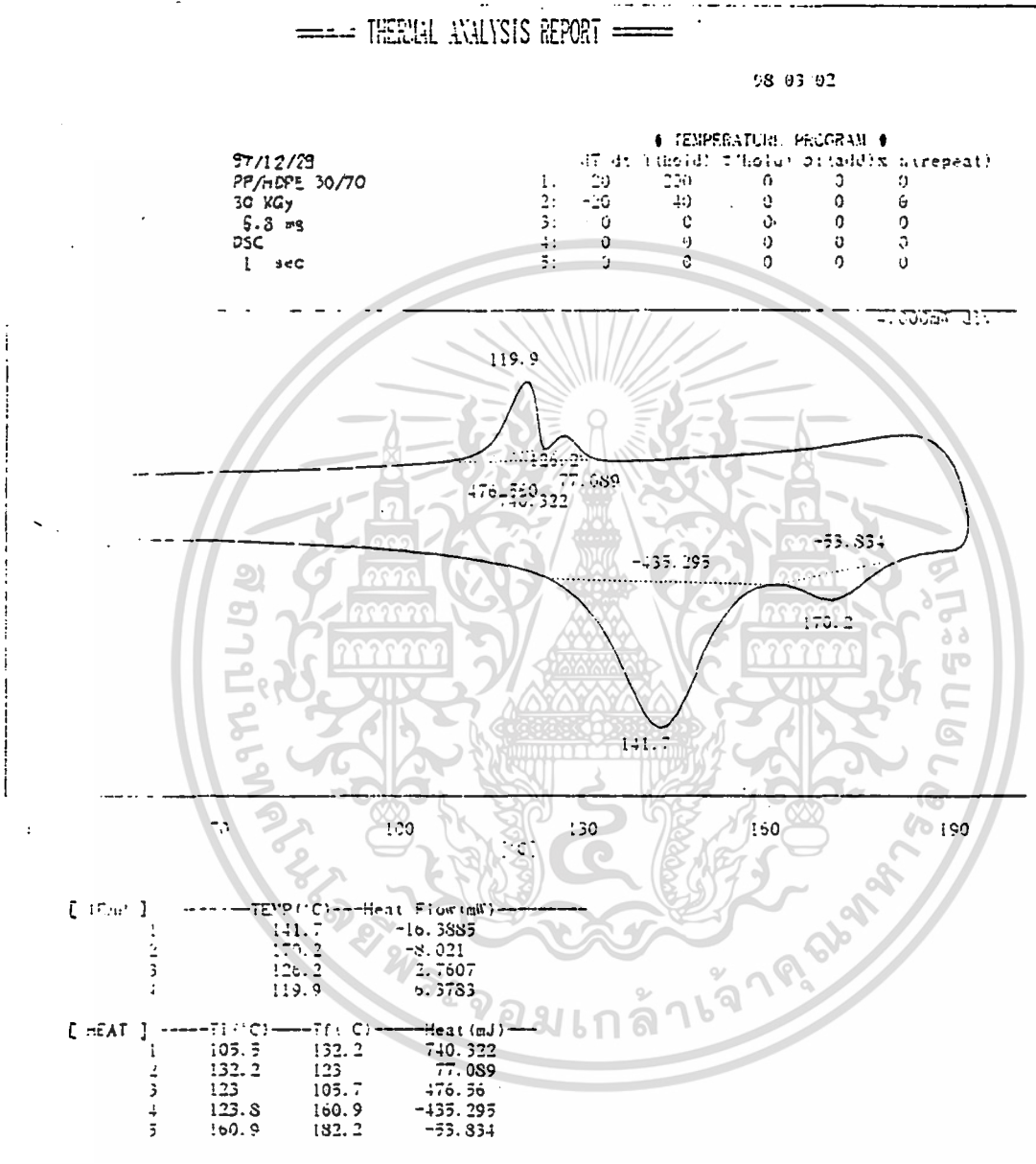
รูปข-11 แสดงผลที่ได้จาก DSC ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (10 kGy) ที่มีอัตราส่วน 30:70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



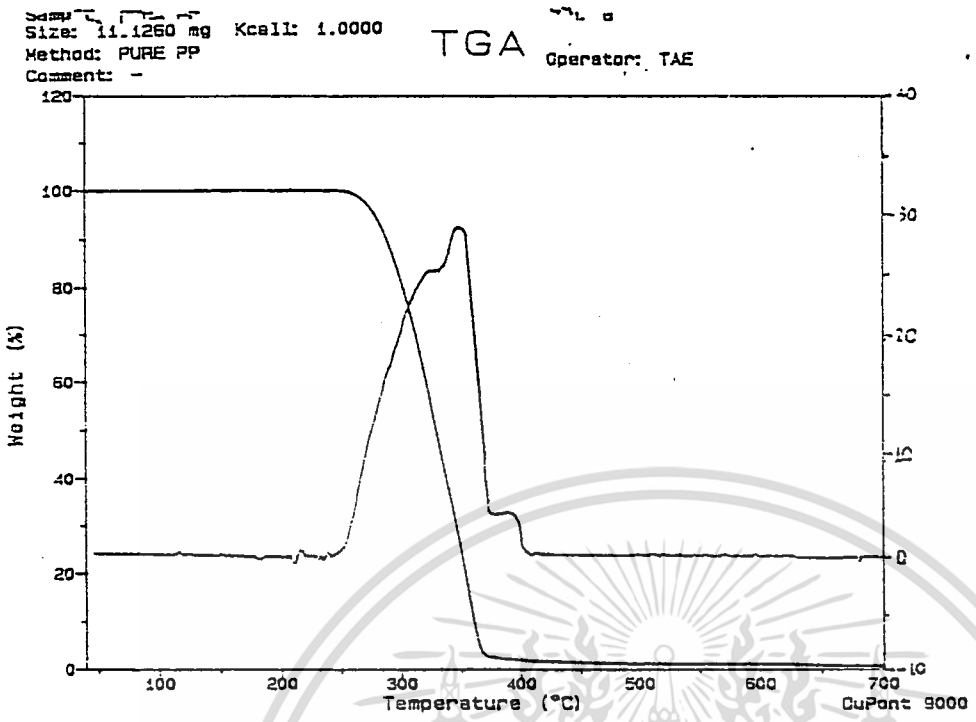
รูปช-12 แสดงผลที่ได้จาก DSC ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (20 kGy) ที่มีอัตราส่วน 30:70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

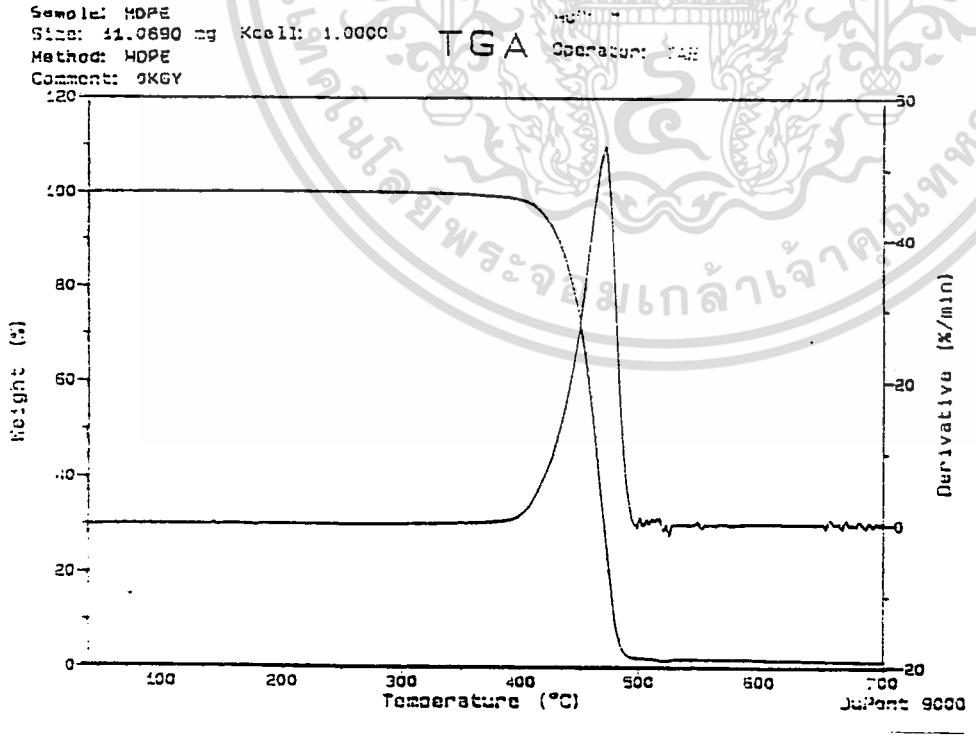


รูปช-13 แสดงผลที่ได้จาก DSC ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (30 kGy) ที่มีอัตราส่วน 30:70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

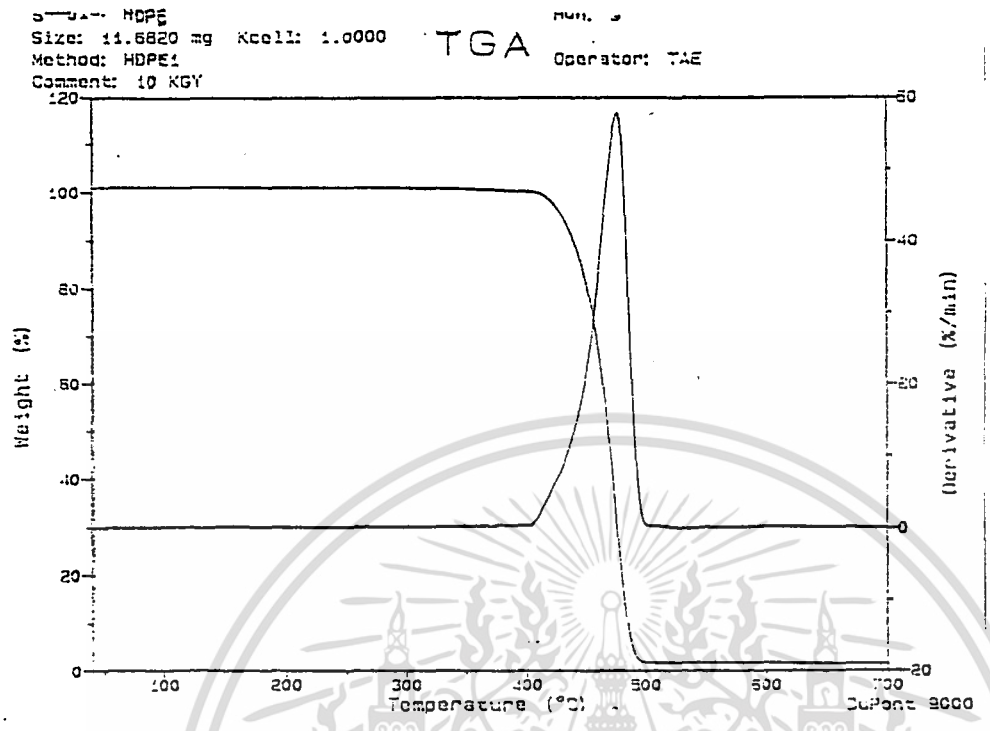


รูปข-14 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของ Pure PP

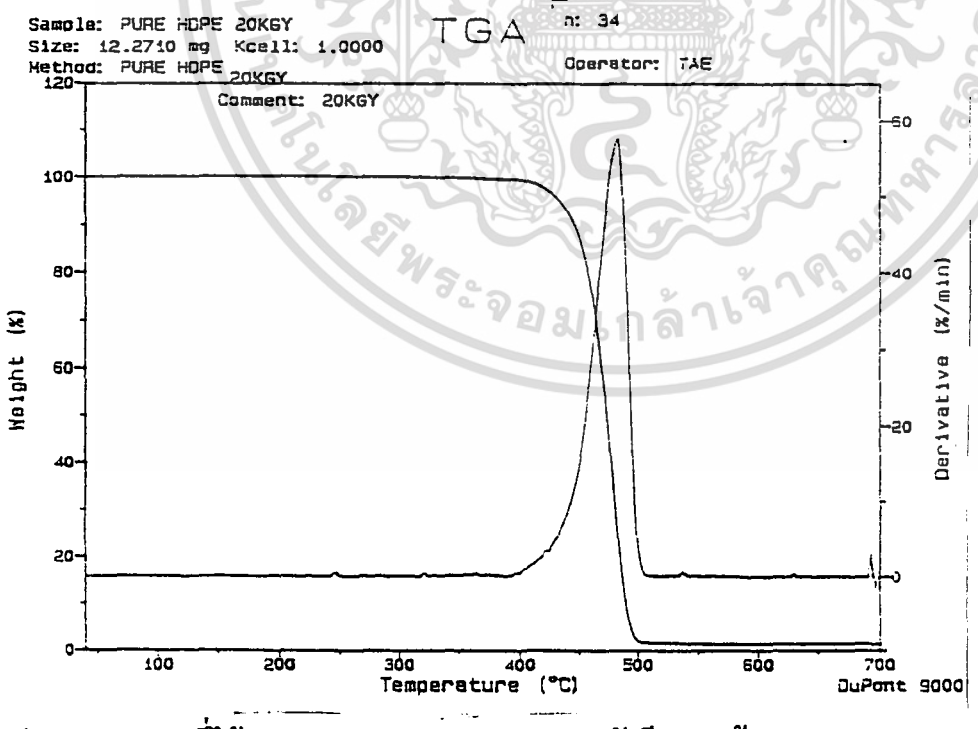


รูปข-15 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของ Pure HDPE ที่ไม่ผ่านการฉายรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

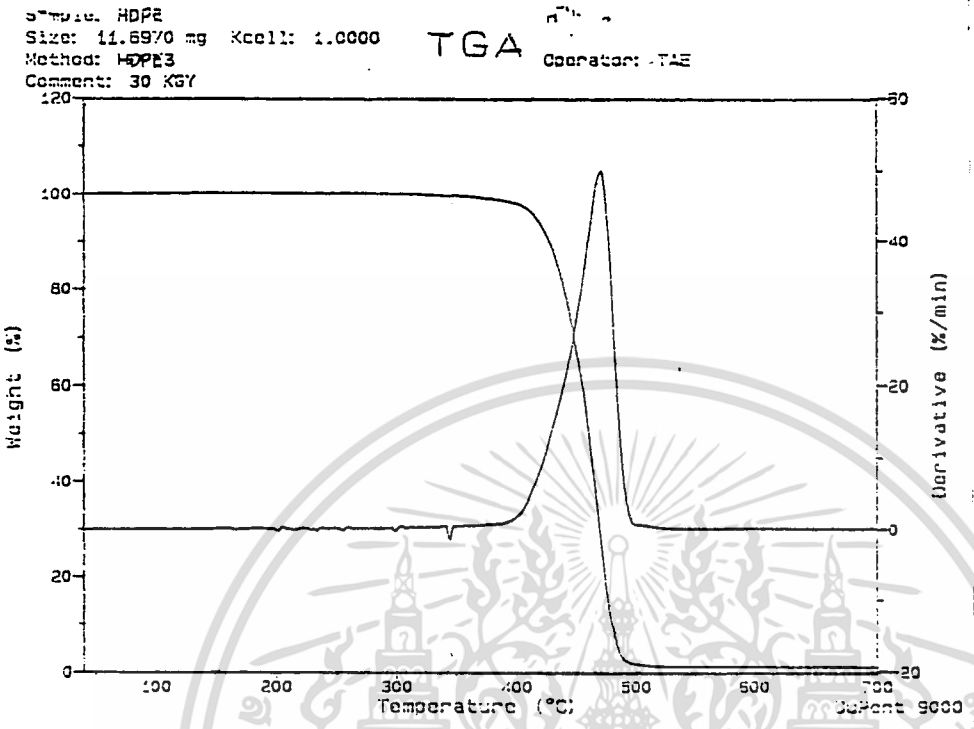


รูปข-16 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของ Pure HDPE ฉายรังสีความเข้ม 10 kGy

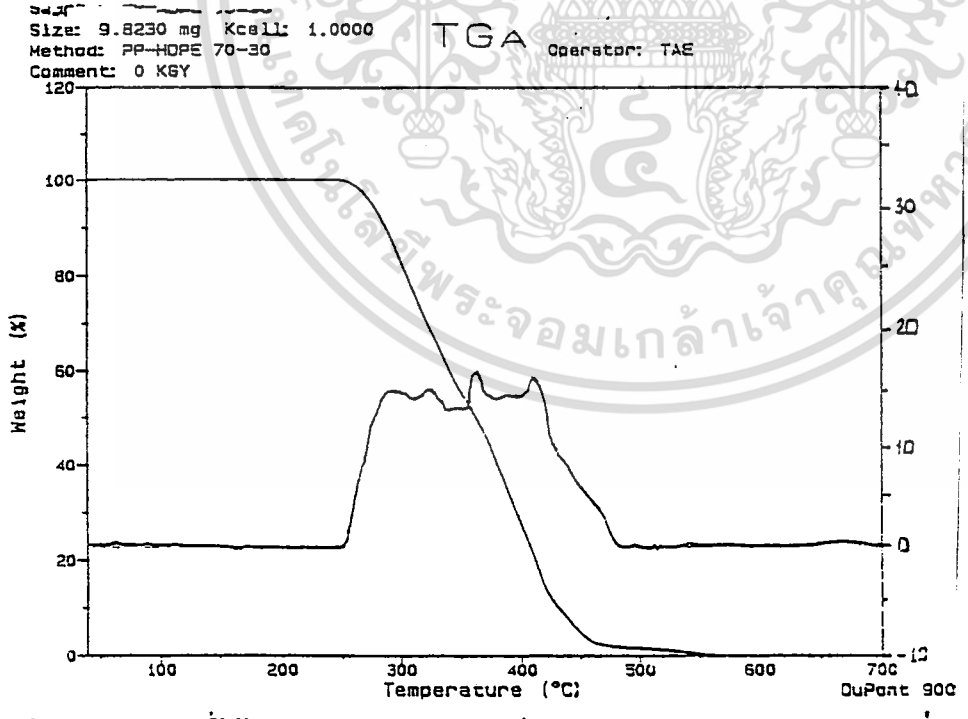


รูปข-17 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของ Pure HDPE ฉายรังสีความเข้ม 20 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

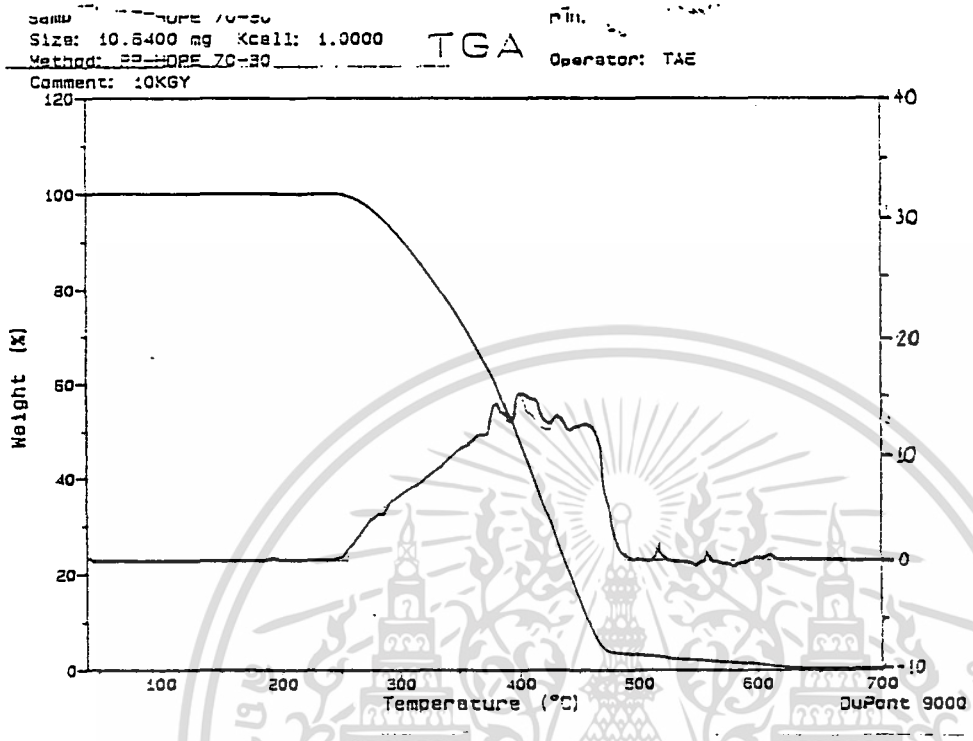


รูปข-18 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของ Pure HDPE ฉายรังสีความเข้ม 30 kGy

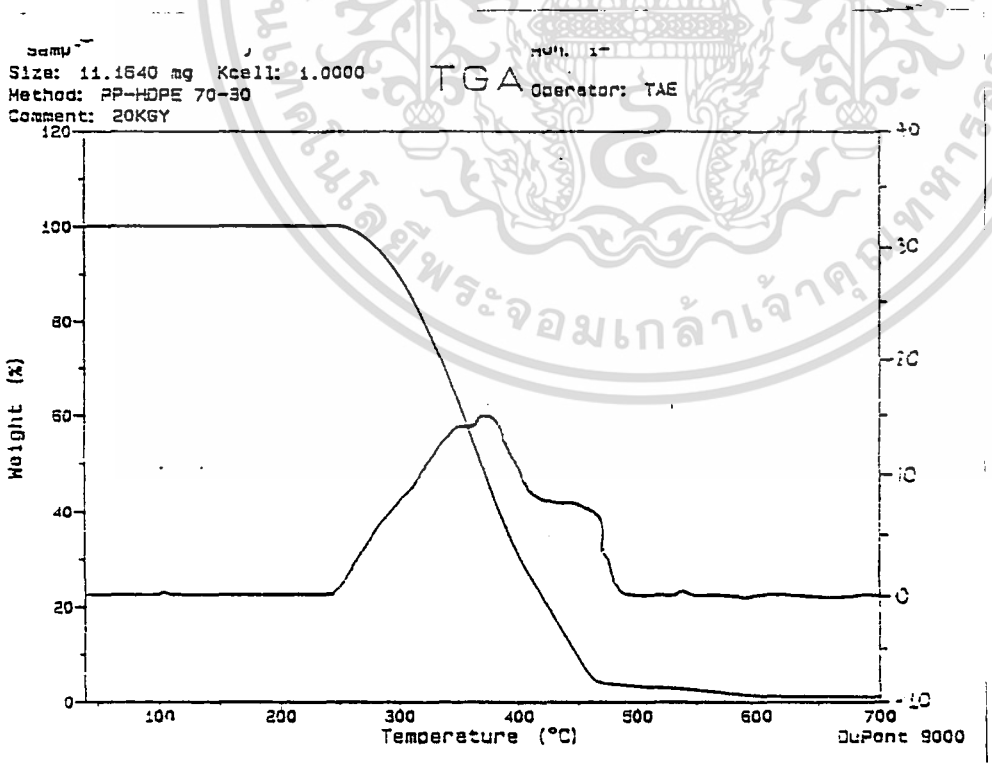


รูปข-19 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (non irradiated) ที่มีอัตราส่วน 70:30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

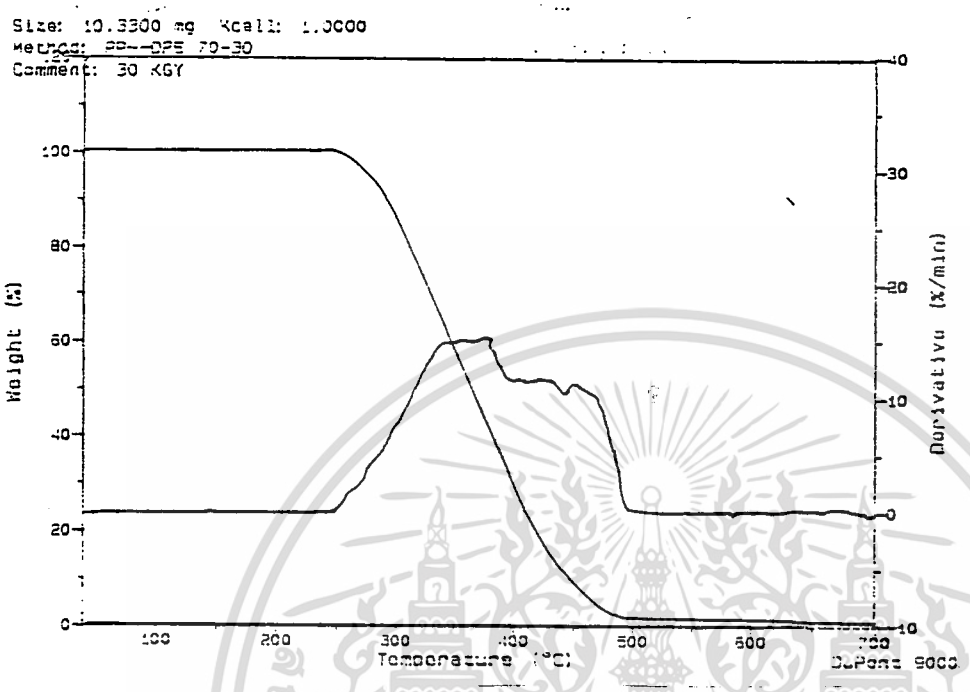


รูปข-20 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (10 kGy) ที่มีอัตราส่วน 70:30

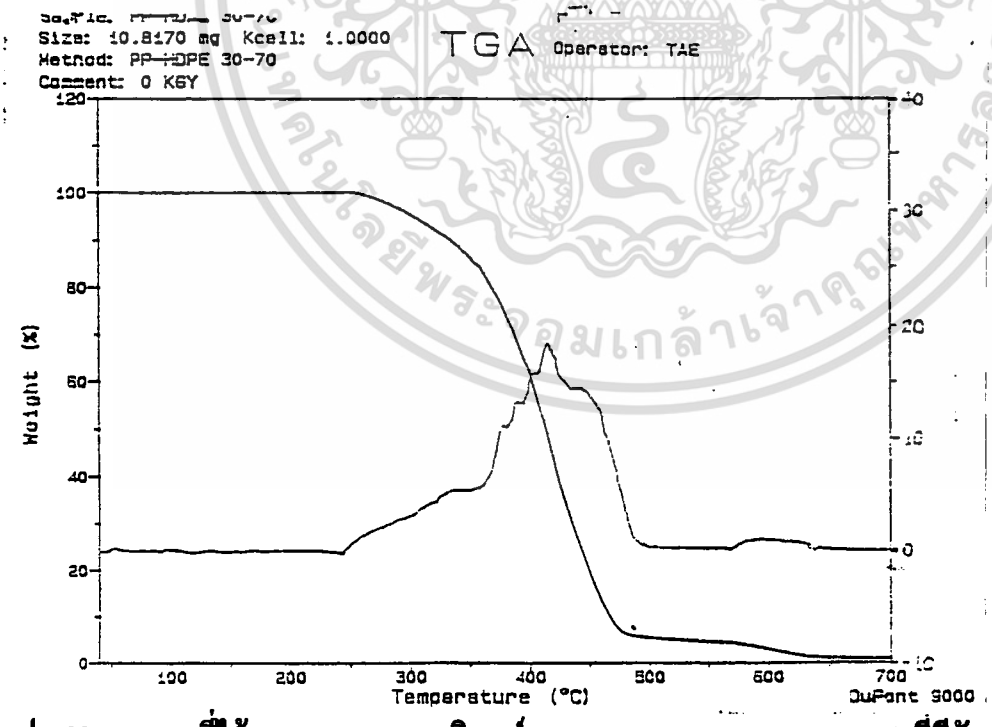


รูปข-21 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (20 kGy) ที่มีอัตราส่วน 70:30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

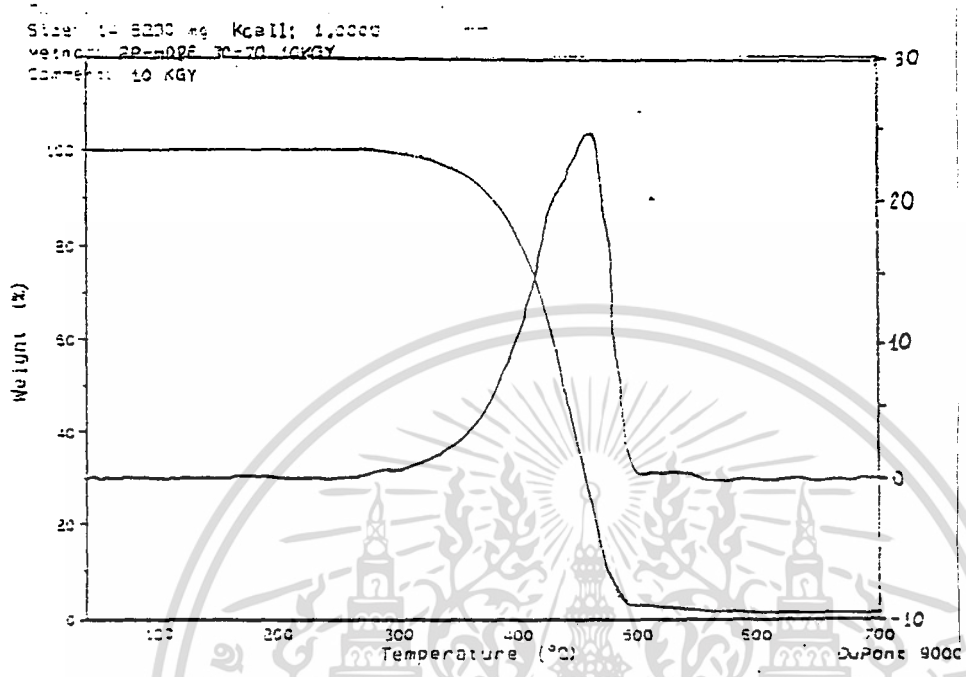


รูปข-22 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (30 kGy) ที่มีอัตราส่วน 70:30

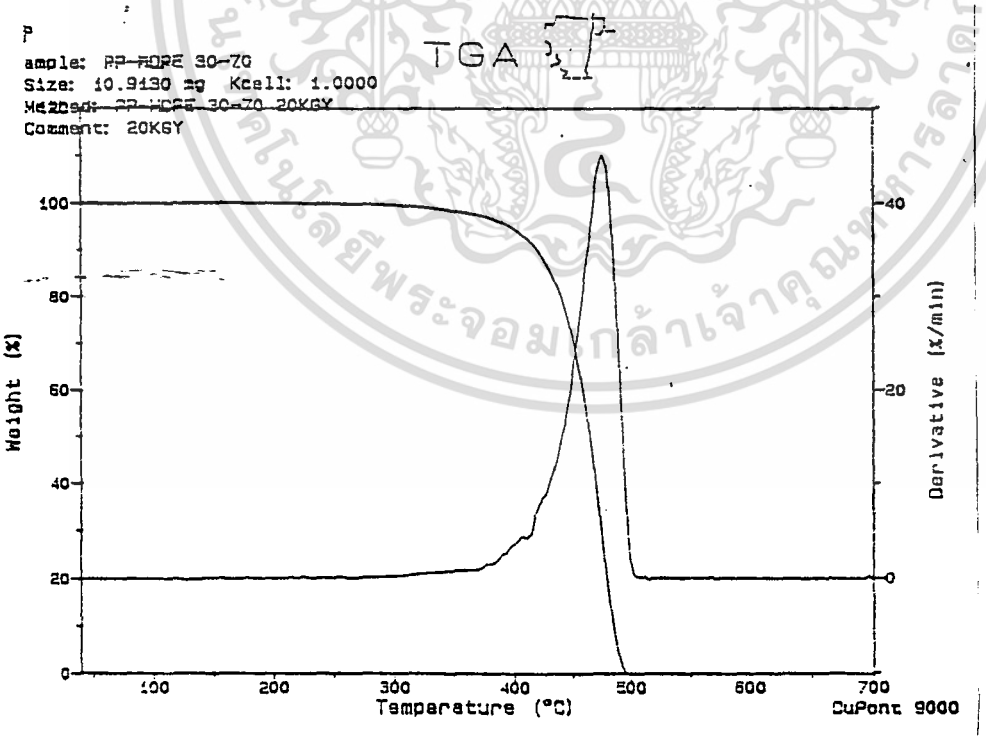


รูปข-23 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (non irradiated) ที่มีอัตราส่วน 30:70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

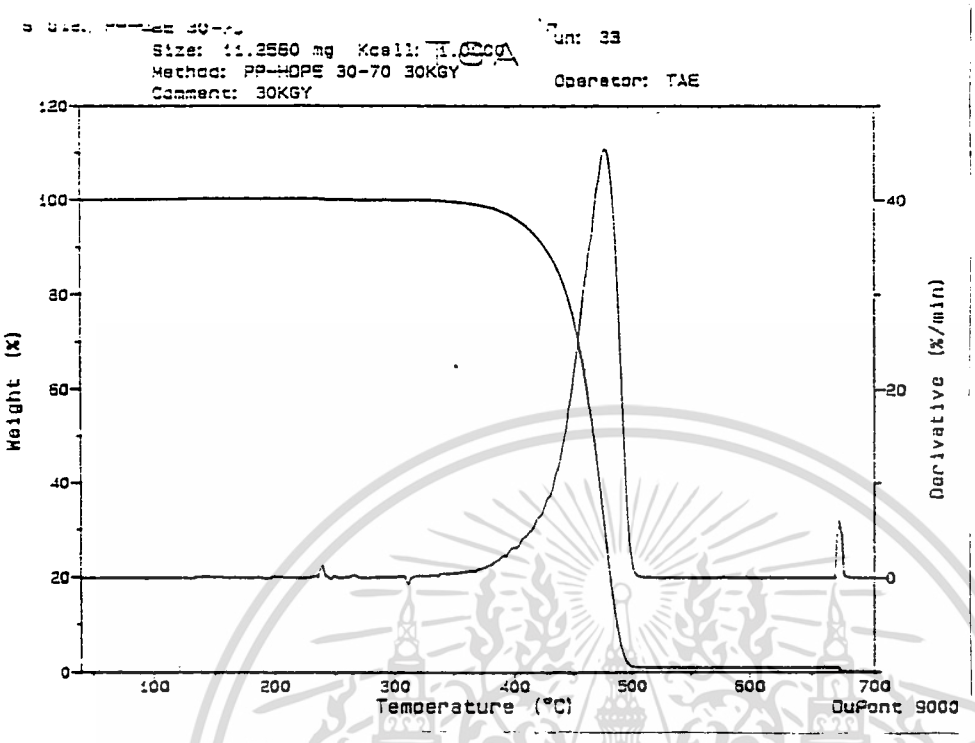


รูปข-24 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (10kGy) ที่มีอัตราส่วน 30:70



รูปข-25 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (20kGy) ที่มีอัตราส่วน 30:70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปข-26 แสดงผลที่ได้จาก TGA ของพอลิเมอร์ผสม PP:HDPE (30kGy) ที่มีอัตราส่วน 30:70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้