

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

## คำนำ

รายงานผลการวิจัยเรื่องการใช้รังสีปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเบสทินจากขยะพลาสติกกับเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ แบ่งออกเป็นสองตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การใช้รังสีปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเบสทินระหว่างพอลิโอลิฟินและพอลิสไตรีน มีนางสาวสุดกมล สุวรรณพะโยม เป็นผู้ช่วยวิจัย

ตอนที่ 2 การใช้รังสีปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเบสทินระหว่างพอลิโอลิฟินผสม มีนางสาวกฤษณา มีสวัสดิ์ เป็นผู้ช่วยวิจัย

ในการทดลองจะใช้พลาสติกใหม่แต่เลือกชนิดที่นิยมใช้กันมากในชีวิตประจำวัน แทนการเก็บพลาสติกจากขยะ ผลการทดลองที่ได้จึงเป็นข้อมูลที่ช่วยให้เห็นแนวทางการเป็นไปได้ในการนำรังสีแกมมาไปปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพลาสติกจากขยะ

คณะผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้เงินอุดหนุนการวิจัยปีงบประมาณ 2539-2540

คณะผู้ทำวิจัย

ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์

นางสาวสุดกมล สุวรรณพะโยม

นางสาวกฤษณา มีสวัสดิ์

RCH

OD

382

85

ม 497 จ

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 34415

วัน, เดือน, ปี..... 1 พ.ย. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ตอนที่ 1

## การใช้รังสีปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเบส ระหว่างพอลิโอเลฟินกับพอลิสไตรีน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ พอลิพรอพิลีน กับพอลิสไตรีน โดยศึกษาปรับปรุงการรวมเป็นเนื้อเดียวกันด้วยการเติมสารช่วยผสมสไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน (SBS) เอทิลีนไวนิลแอสีเตต (EVA) และการฉายรังสีแกมมา ที่มีต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางสัณฐานวิทยา รวมทั้งการศึกษาผลของสารตัวเติม  $\text{CaCO}_3$  ผลการศึกษาพบว่า การเติมสารช่วยผสม SBS EVA ให้เปอร์เซ็นต์การตั้งยัด ณ จุดขาด ความทนทานต่อแรงกระแทกดีขึ้นตามปริมาณสารช่วยผสม โดยเฉพาะ SBS เมื่อเทียบกับไม่เติมสารช่วยผสม และการฉายรังสีแกมมาในช่วงความเข้มรังสี 40-180 kGy ให้ความทนแรงดึง และมอดุลัสดีขึ้นเมื่อเทียบกับไม่ฉายรังสีแกมมา การศึกษาโดยหาเปอร์เซ็นต์เจลยืนยันว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ พอลิพรอพิลีน และสารช่วยผสมเกิดการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นตามความเข้มรังสี โดยที่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเกิดการเชื่อมโยงได้มากกว่าสารช่วยผสม และพอลิพรอพิลีน ตามลำดับ ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนโดย DSC พบว่าในระบบไม่มีสารช่วยผสม  $T_m$ ,  $T_c$ ,  $\Delta H_m$  และ  $\Delta H_c$  ลดลงตามปริมาณ PS ที่เพิ่มขึ้น และในระบบมีสารช่วยผสม  $T_m$ ,  $T_c$  เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย  $\Delta H_m$ ,  $\Delta H_c$  ลดลงตามปริมาณสารช่วยผสมที่เพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วย SEM พบว่าการเติมสารช่วยผสมทำให้ภูมิภาคกระจายตัวมีขนาดเล็กลง และมีการกระจายดีขึ้น ขณะที่การฉายรังสีไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่เด่นชัด การศึกษาผลของการเติม  $\text{CaCO}_3$  พบว่าในระบบไม่มีสารช่วยผสม ที่ปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  สูงกว่า 12% โดยน้ำหนักสมบัติเชิงกลลดลงตามปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  ที่เพิ่มขึ้น และในระบบมีสารช่วยผสม SBS  $\text{CaCO}_3$  จะทำให้บทบาทของ SBS ต่อสมบัติเชิงกลในพอลิเมอร์ผสมลดลงตามปริมาณ SBS

## ABSTRACT

The immiscible blends of low density polyethylene, polypropylene and polystyrene were investigated. In this study, the immiscibility of polymer blends was improved by the addition of compatibilizers, i.e., styrene-butadiene-styrene (SBS) and ethylene vinyl acetate (EVA). The effect of gamma-ray irradiation and  $\text{CaCO}_3$  on morphology, thermal and mechanical properties were investigated. The results showed that the compatibilizers improved both elongation at break and impact strength of the blends, particularly in the system containing SBS. On the other hand, radiation in the dose range of 40-180 kGy improved both tensile strength and modulus of polymer blends. Gel content indicated that degree of crosslinking in LDPE was higher than in compatibilizers and PP.

With increasing of the irradiation dose, the results of thermal properties from DSC showed that  $T_m$ ,  $T_c$ ,  $\Delta H_m$  and  $\Delta H_c$  of the system without compatibilizers decreased with increasing of PS content. The system with compatibilizers displayed the small change of  $T_m$  and  $T_c$  while  $\Delta H_m$  and  $\Delta H_c$  decreased with increasing of compatibilizers. SEM analysis illustrated that the addition of compatibilizers lead to a finer and more dispersed phase morphology, whereas morphology did not change under the radiation technique.

In the case of the system without compatibilizers,  $\text{CaCO}_3$  content more than 12% by weight reduced mechanical properties of the blends. On the other hand, the mechanical properties of the system with SBS plus  $\text{CaCO}_3$  decreased with the increasing of SBS content.

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	6
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	6
บทที่ 2 วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.2 พอลิเมอร์เบสและพอลิเมอร์อัลลอยด์.....	13
2.3 วิธีการเตรียมพอลิเมอร์ผสม.....	15
2.3.1 การผสมทางเชิงกล.....	15
2.3.2 การผสมโดยใช้ตัวทำละลาย.....	15
2.4 ประเภทของพอลิเมอร์ผสม.....	15
2.4.1 พอลิเมอร์ผสมที่เป็นเนื้อเดียวกัน.....	15
2.4.2 พอลิเมอร์ผสมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน.....	16
2.4.3 พอลิเมอร์ผสมที่เป็นเนื้อเดียวกันบางส่วน.....	17
2.5 การรวมเข้ากันได้ทางอุณหพลศาสตร์.....	17
2.6 การรวมเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมทางเชิงกลและทางเคมี.....	21
2.6.1 การรวมเข้ากันทางเชิงกล.....	21
2.6.2 การรวมเข้ากันทางเคมี.....	23
2.7 สารช่วยผสม.....	23
2.7.1 ประเภทของสารช่วยผสม.....	24
2.7.2 น้ำหนักโมเลกุลและรูปร่างของสารช่วยผสม.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 การวัดความสามารถในการผสมเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม.....	28
2.8.1 ปฏิกิริยาการเกิดที่เกี่ยวกับแสง.....	29
2.8.2 อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว.....	29
2.8.3 เทคนิค นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์และอินฟราเรด สเปกโตรสโกปี.....	31
2.8.4 ไมโครสโกปี.....	32
2.9 เทคนิคการฉายรังสี.....	33
2.9.1 ประเภทของการฉายรังสี.....	33
2.9.2 หน่วยวัดปริมาณรังสี.....	34
2.9.3 ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงเมื่อฉายรังสี.....	35
2.9.4 ผลของรังสีที่มีต่อพอลิเมอร์.....	35
2.9.5 ข้อดีข้อเสียของการฉายรังสี.....	38
2.9.6 ผลของรังสีที่มีต่อพอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน และพอลิสไตรีน.....	39
2.9.7 การฉายรังสีพอลิเมอร์ผสม.....	41
2.10 สารตัวเติมในพอลิเมอร์ผสม.....	41
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	43
3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	43
3.1.1 พอลิเมอร์หลัก.....	43
3.1.2 สารช่วยผสม.....	44
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้.....	44
3.3 การดำเนินงานวิจัย.....	45
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	49
4.1 สมบัติเชิงกล.....	49
4.2 เปอร์เซ็นต์เจล.....	77
4.3 สมบัติทางความร้อน.....	80
4.4 สมบัติทางสัณฐานวิทยา.....	82
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	91
5.1 ระบบพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีสารช่วยผสม.....	91
5.2 ระบบพอลิเมอร์ผสมที่มีสารช่วยผสม.....	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 ระบบพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีสารช่วยผสมเมื่อผ่านการฉายรังสี.....	93
5.3 ระบบพอลิเมอร์ผสมที่มีสารช่วยผสมเมื่อผ่านการฉายรังสี.....	93
เอกสารอ้างอิง.....	99



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VI อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงชนิดและปริมาณพลาสติกที่ใช้ในประเทศไทย.....	1
1.2 แสดงแผนผังวิธีการนำเอาพลาสติกกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่.....	2
2.1 แสดงโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์เบลิน.....	13
2.2 แสดงความสัมพันธ์ของพอลิเมอร์เบลินและพอลิเมอร์อัลลอยด์.....	14
2.3 แสดงโครงสร้างจุลภาคของการผสมพอลิเมอร์ A และพอลิเมอร์ B.....	16
2.4 แสดงการสร้างสัมพันธ์ของ SP จากสัมพันธ์ของ SS และ PP.....	19
2.5 แสดงปัจจัยที่ช่วยในการรวมเข้ากันได้ที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม.....	22
2.6 แสดงโครงสร้างจุลภาคของสไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน.....	26
2.7 แสดงการแพร่ของสารช่วยผสมที่มีโครงสร้างต่างกัน.....	28
2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วกับองค์ประกอบ ในพอลิเมอร์ผสม.....	30
2.9 แสดงความสามารถในการแยกของเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ตรวจวัดความเป็นเนื้อเดียวกัน.....	33
2.10 แสดงผลของรังสีที่ทำให้เกิดจุดบกพร่องในโครงสร้างหลักของพอลิเมอร์.....	35
2.11 แสดงการเชื่อมโยงของพอลิบิวทาไดอีน.....	36
2.12 แสดงผลของรังสีที่ทำให้เกิดการต่อกิ่งของมอนอเมอร์ (B) กับพอลิเมอร์ชนิดที่ต่างกัน (A).....	36
2.13 แสดงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของพอลิเมอร์.....	37
4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ .....	49
4.2 แสดงความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	51
4.3 แสดงมอดุลัสของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ .....	52
4.4 แสดงความทนทานต่อแรงกระทำของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	53
4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อฉายรังสีที่ความเข้ม 10, 20 และ 30 kGy.....	55
4.6 แสดงความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อฉายรังสี ที่ความเข้ม 10, 20 และ 30 kGy.....	56

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 แสดงมอดูลัสของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อฉายรังสีที่ความเข้ม 10, 20 และ 30 kGy.....	57
4.8 แสดงความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อฉายรังสีที่ความเข้ม 10, 20 และ 30 kGy.....	58
4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PS/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อฉายรังสีที่ความเข้ม 10, 20 และ 30 kGy.....	59
4.10 แสดงความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PS/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อฉายรังสีที่ความเข้ม 10, 20 และ 30 kGy.....	60
4.11 แสดงมอดูลัสของพอลิเมอร์ผสม PS/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อฉายรังสีที่ความเข้ม 10, 20 และ 30 kGy.....	61
4.12 แสดงความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PS/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อฉายรังสีที่ความเข้ม 10, 20 และ 30 kGy.....	62
4.13 แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE 50/50 ที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ .....	63
4.14 แสดงความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE 50/50 ที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ .....	64
4.15 แสดงมอดูลัสของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE 50/50 ที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ .....	65
4.16 แสดงความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE 50/50 ที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ.....	66
4.17 แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PS/PP 50/50 ที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ .....	67
4.18 แสดงความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PS/PP 50/50 ที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ .....	68
4.19 แสดงมอดูลัสของพอลิเมอร์ผสม PS/PP 50/50 ที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ .....	69
4.20 แสดงความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PS/PP 50/50 ที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ.....	70
4.21 แสดงความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE เมื่อฉายรังสีในอากาศ และสุญญากาศที่ความเข้ม 10 kGy.....	72
4.22 แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE 50/50 เมื่อมีการเติม CaCO <sub>3</sub> ในปริมาณต่าง ๆ .....	73

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 แสดงความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE 50/50 เมื่อมีการเติม $\text{CaCO}_3$ ในปริมาณต่าง ๆ .....	73
4.24 แสดงมอดุลัสของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE 50/50 เมื่อมีการเติม $\text{CaCO}_3$ ในปริมาณต่าง ๆ .....	74
4.25 แสดงความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE 50/50 เมื่อมีการเติม $\text{CaCO}_3$ ในปริมาณต่าง ๆ .....	74
4.26 แสดงเปอร์เซ็นต์เจลของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่ไม่มี และมีสารช่วยผสม เมื่อฉายรังสีในอากาศ ที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ.....	77
4.27 แสดงเปอร์เซ็นต์เจลของพอลิเมอร์ผสม PS/PP ที่ไม่มี และมีสารช่วยผสม เมื่อฉายรังสีในอากาศ ที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ .....	78
4.28 แสดงสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ .....	80
4.29 แสดงสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE 50/50 ที่ไม่มี และมีสารช่วยผสม .....	81
4.30 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	82
4.31 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PS/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	83
4.32 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วน 50/50 เมื่อไม่มี และมีสารช่วยผสม SBS .....	84
4.33 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วน 50/50 เมื่อไม่มี และมีสารช่วยผสม EVA.....	85
4.34 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PS/PP ที่อัตราส่วน 50/50 เมื่อไม่มี และมีสารช่วยผสม SBS.....	86
4.35 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วน 50/50 เมื่อฉายรังสีที่ความเข้มต่าง ๆ .....	87
4.36 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PS/PP ที่อัตราส่วน 50/50 เมื่อฉายรังสีที่ความเข้มต่าง ๆ .....	88
4.37 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE/SBS 50/50/30 เมื่อไม่ฉาย และฉายรังสี 10 kGy.....	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.38 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE/EVA 50/50/30 เมื่อไม่ฉาย และฉายรังสีที่ 10 kGy.....	89
4.39 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PS/PP/SBS 50/50/30 เมื่อไม่ฉาย และฉายรังสี.....	90
5.1 แสดงโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE.....	91
5.2 แสดงโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ในระบบที่มีสารช่วยผสม SBS และEVA.....	92



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงการปรับปรุงและพัฒนาสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ผสม.....	4
2.1 แสดงการเลือกใช้สารช่วยผสมกับระบบต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ผสม.....	24
2.2 แสดงผลของรังสีที่มีต่อพอลิเมอร์ประเภทออลาสโตเมอร์.....	37
2.3 แสดงผลของรังสีที่มีต่อพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก.....	38
3.1 แสดงสมบัติของพอลิเมอร์หลัก.....	43
3.2 แสดงสมบัติของสารช่วยผสม.....	44
4.1 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE 50/50 เมื่อไม่มีและมีแคลเซียมคาร์บอเนต 4% และ 12% โดยน้ำหนัก.....	76

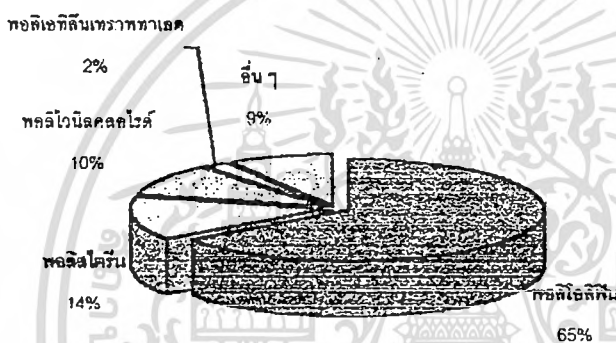


# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีการส่งเสริมอุตสาหกรรมปิโตรเคมีอย่างมาก จึงก่อให้เกิดการพัฒนาอุตสาหกรรมทางด้านพลาสติกเพิ่มมากขึ้น พลาสติกที่ถูกนำมาใช้มากได้แก่พลาสติกประเภทพอลิโอเลฟิน [ พอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน ] 65 % และพอลิสไตรีน 14 % ดังแสดงในรูปที่ 1.1

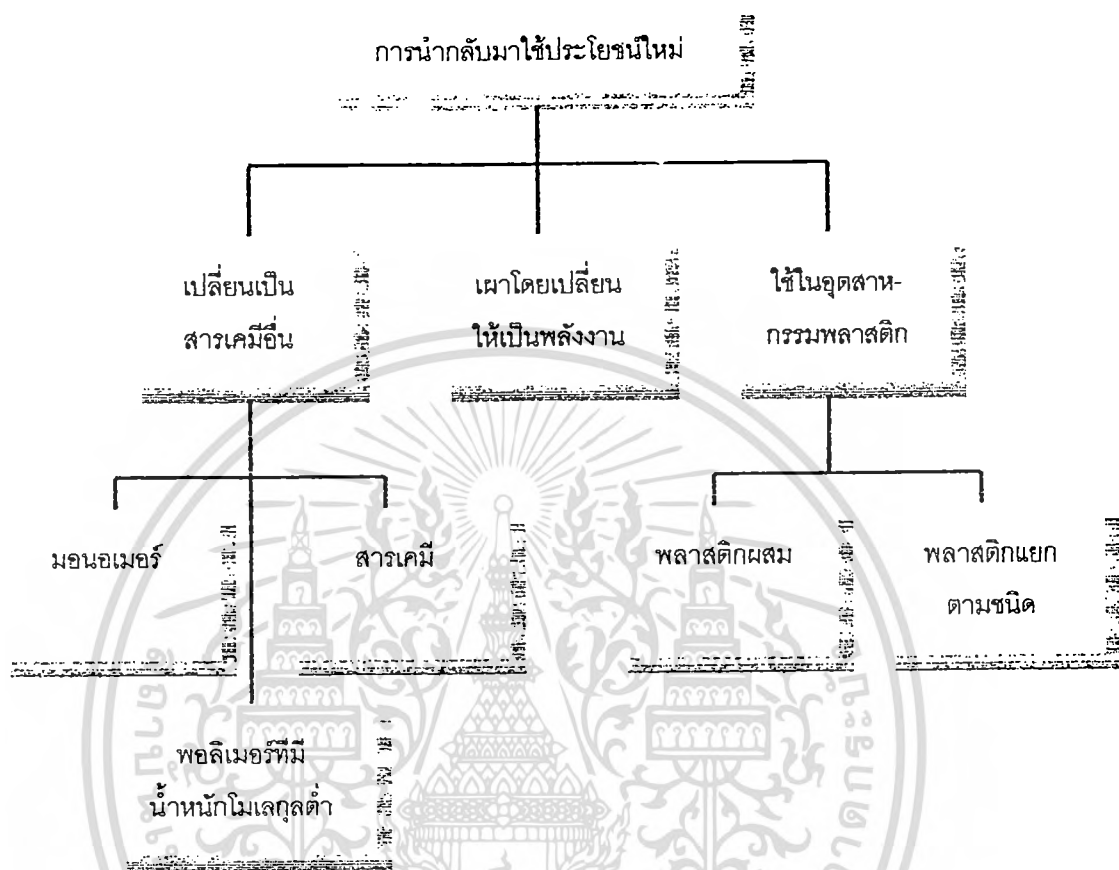


รูปที่ 1.1 แสดงชนิดและปริมาณพลาสติกที่ใช้ในประเทศไทย

ซึ่งพลาสติกเหล่านี้นำมาใช้มากในรูปพลาสติกบรรจุภัณฑ์ เช่น ขวดบรรจุแก๊ส ขวดน้ำดื่ม ชนิดขุ่น (พอลิเอทิลีน) ถ้วยและชามเบะหมี่สำเร็จรูป (พอลิพรอพิลีน) กล่องโฟม ถ้วยน้ำในห้างสรรพสินค้า ถ้วยไอศกรีม และขวดโยเกิร์ต (พอลิสไตรีน) ฯลฯ ปัจจุบันพลาสติกบรรจุภัณฑ์เหล่านี้ได้กลายเป็นปัญหาขยะที่สำคัญยิ่งของเมืองใหญ่ ๆ เนื่องจากพลาสติกสลายตัวในธรรมชาติได้ช้า แนวทางหนึ่งที่ใช้บรรเทาปัญหามลพิษล้นเมืองคือการนำพลาสติกเหล่านี้กลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ การใช้วิธีการแยกประเภทขยะแล้วนำกลับมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อีกครั้งหนึ่ง ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกันกับสมบัติเชิงกลของพลาสติกเดิม แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการแยกประเภทของพลาสติก ดังนั้นวิธีการนี้จึงไม่เป็นที่น่าสนใจมากนัก อีกวิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจในการนำเอาพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ คือการผสมพลาสติกซึ่งเป็นการนำพลาสติกมาใช้โดยไม่แยกประเภท เพราะนอกจากเป็นการใช้ทรัพยากรจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีอย่างคุ้มค่าแล้วยังลดต้นทุนการผลิต และสามารถขยายประเภทของสินค้าให้ได้ผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติกที่มีสมบัติแตกต่างจากพลาสติกเดิม ซึ่งสมบัติดังกล่าวเป็นการรวมเอาสมบัติที่ดีของไฮโมพอลิเมอร์แต่ละชนิดเข้าด้วยกัน



รูปที่ 1.2 แสดงแผนผังวิธีการนำพลาสติกกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ [1]

ในประเทศไทยพอลิเมอร์ผสมเริ่มมีการศึกษามาตั้งแต่ปลายปี พ.ศ. 2523 คิดเป็นพอลิเมอร์ผสมของ พอลิโอฟีนประมาณ 60-70% พอลิเมอร์ชนิดอื่นประมาณ 23% และมีการพัฒนาเป็นอย่างมากจนสามารถผลิตจำหน่ายเชิงพาณิชย์ได้ในปี พ.ศ. 2530 โดยที่อัตราการใช้พอลิเมอร์ผสมอยู่ระหว่าง 9-11% และอัตราการใช้พอลิเมอร์ผสมในเชิงวิศวกรรมมีประมาณ 13-17% ต่อปี ในขณะที่อัตราการใช้ไฮโมพอลิเมอร์ในอุตสาหกรรม มีเพียง 2-4% ต่อปี อุตสาหกรรมพอลิเมอร์มีแนวโน้มมุ่งไปยังระบบที่มีความสลับซับซ้อนมากขึ้น เพื่อที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติสูงสุดตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน [2] ปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนาโดยการปรับปรุงการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะพอลิเมอร์ผสมของพอลิโอฟีนและพอลิสไตรีน เพราะนอกจากจะเป็นการพัฒนาพอลิเมอร์ที่มีสมบัติจำเพาะแล้วยังเป็นแนวทางในการนำพลาสติกเหลือใช้หรือขยะพลาสติกที่มีในปริมาณมากกลับมาใช้ใหม่ได้อีกทางหนึ่งด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### จุดประสงค์ของการผสมพอลิเมอร์

- เพื่อขยายขีดความสามารถของพอลิเมอร์ที่มีราคาถูกให้มีสมบัติทางวิศวกรรมเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เป็นพอลิเมอร์ที่มีราคาแพง
- เพื่อปรับปรุงวัสดุให้มีสมบัติตามต้องการ เช่น การทนต่อแรงกระแทก การทนทานต่อสภาวะอากาศ และอุณหภูมิ
- เพื่อเป็นการนำพลาสติกที่เหลือใช้แล้วทิ้ง หรือเศษพลาสติกกลับมาใช้ให้คุ้มค่า
- เพื่อปรับปรุงประกอบของการผสมผสานตามความต้องการของลูกค้า และสร้างวัสดุที่มีเอกลักษณ์พิเศษเหมาะที่จะนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์

โดยทั่วไปแล้วพอลิเมอร์ผสมจะไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ( immisible blend ) คือมีการแยกวัฏภาคของพอลิเมอร์ที่ทำการผสม เพราะแรงยึดระหว่างผิวของพอลิเมอร์แต่ละชนิดหรือแรงกระทำระหว่างกันมีน้อยมาก ส่งผลให้สมบัติเชิงกลต่ำกว่าพอลิเมอร์ก่อนนำมาผสม ดังนั้นการปรับปรุงแรงยึดระหว่างผิวจึงเป็นสิ่งสำคัญในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้มีสมบัติที่ดีตามต้องการ การปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถทำได้ดังนี้

- เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของพอลิเมอร์ใดพอลิเมอร์หนึ่งหรือพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดก่อนที่จะนำมาผสมกัน โดยอาศัยเทคนิคการกราฟท์-พอลิเมอร์ไอโซไซม์ร่วม หรือใส่สารที่ช่วยในการเกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อให้พอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้มากขึ้น
- เติมสารช่วยผสมเพื่อช่วยละลาย และลดแรงตึงผิว ( surface tension ) ระหว่างวัฏภาคที่แยกกันอยู่ของพอลิเมอร์หลัก และทำให้ขนาดอนุภาคของวัฏภาคกระจายตัวลดลง ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมกันดียิ่งขึ้น
- การใช้รังสีพลังงานสูง เช่นรังสีแกมมา และรังสีอิเล็กตรอน ปรับปรุงแรงยึดระหว่างพอลิเมอร์ผสม เนื่องจากเมื่อได้รับพลังงานสูงจะเกิดการรวมตัวของอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 1.1 แสดงการปรับปรุงและการพัฒนาสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ผสม [3]

ลำดับที่	สมบัติของพอลิเมอร์	พอลิเมอร์หลัก	พอลิเมอร์ที่เติมเพื่อปรับปรุงพอลิเมอร์หลัก
1	ความทนทานต่อแรงกระแทก	PVC, PP, PE, PC, PA, PPE, TPE PS PVC ABS	ABS, ASA, SBS, EPR, EPDM, PBR, SAN, Polyolefin, HIPS Rubber CPE, EVA, NBR, ABS, Acrylic PVC, PC
2	การเปลี่ยนแปลงเนื่อง จากความร้อน ความ แข็งตึง	PC, PA ABS, SAN	TPE, PPE PC, CPE
3	ความทนทานต่อการ ติดไฟ	ABS, Acrylics, PE	PVC, CPE CPE
4	ความทนทานต่อตัว ทำละลาย และสาร เคมี	PC, PA, PPE PP	TPE Butyl, EPDM
5	การรับแรง	Polyolefins	PA, EVOH,
6	กระบวนการผลิต	PPE HT thermoplastics PET, PA, PC PVC	Styrenics LCP, TPU PE, PB, MBS, EVOH CPE, Acrylics
7	ความต้านทานต่อการ ขีดถู	ABS Acetal, PC, Nylon 66	PUR PTFE
8	ลดต้นทุนการผลิต	PMMA PC	PET ABS, PET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หมายเหตุ

ABS	อะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน โคพอลิเมอร์
ASA	อะครีโลไนไตรล์-สไตรีน-อะครีเลต โคพอลิเมอร์
CPE	คลอริเนต พอลิเอทิลีน
EPDM	เอทิลีน-พรอพิลีน เทอร์พอลิเมอร์
EPR	ยางเอทิลีน-พรอพิลีน
EVA	เอทิลีน-ไวนิลแอสีเตต โคพอลิเมอร์
EVOH	เอทิลีน-ไวนิลแอลกอฮอล์ โคพอลิเมอร์
HIPS	พอลิสไตรีนทนต่อแรงกระแทกสูง
MBS	เมทิลเมทราอะครีเลต-บิวทาไดอีน-สไตรีน โคพอลิเมอร์
NBR	ยางไนไตรล์
PA	พอลิเอไมด์
PC	พอลิคาร์บอเนต
PE	พอลิเอทิลีน
PET	พอลิเอทิลีนเทราฟทาเลต
PMMA	พอลิเมทิลเมทราอะครีเลต
PP	พอลิพรอพิลีน
PS	พอลิสไตรีน
PTFE	พอลิเตตราฟลูออโรเอทิลีน
PUR	พอลิยูรีเทน
PVC	พอลิไวนิลคลอไรด์
SAN	สไตรีน-อะครีโลไนไตรล์ โคพอลิเมอร์
SBS	สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน บล็อก โคพอลิเมอร์
TPE	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อเสนอแนะแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาขยะเนื่องจากพลาสติก โดยอาศัยหลักการของเทคนิคพอลิเมอร์ผสม และเทคโนโลยีการฉายรังสีมาประยุกต์ใช้เข้าด้วยกัน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำรังสีแกมมาไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงแรงยึดระหว่างพอลิเมอร์ผสมแทนการใช้สารเคมี
- 1.2.3 เพื่อพัฒนาพลาสติกที่มีสมบัติเชิงกลหลากหลายจากเดิม สามารถเลือกใช้ได้ตามวัตถุประสงค์
- 1.2.4 เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุง และเพิ่มมูลค่าให้กับขยะพลาสติกที่จะนำมาแปรสภาพเป็นผลิตภัณฑ์ใช้อีกครั้งหนึ่ง

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาผลของอัตราส่วนผสม
- 1.3.2 ศึกษาชนิด และปริมาณสารช่วยผสมของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ
- 1.3.3 ศึกษาเปรียบเทียบผลของความเข้มรังสีแกมมาที่ 10, 20, และ 30 kGy เมื่อมี และไม่มีสารช่วยผสม ในทุกอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม
- 1.3.4 ศึกษาเปรียบเทียบผลของความเข้มรังสีแกมมาในช่วง 10 - 240 kGy ที่อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม 50/50
- 1.3.5 ศึกษาเปรียบเทียบผลของการฉายรังสีในสถานะที่ไม่มี และมีออกซิเจน ที่ความเข้มรังสีแกมมา 10 kGy
- 1.3.6 ศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้สารช่วยผสมกับการใช้รังสีแกมมา
- 1.3.7 ศึกษาผลสารตัวเติมเมื่อไม่มี และมีสารช่วยผสมในอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม 50/50

## บทที่ 2

# วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ปีพ.ศ. 2342 Gupta และ Purwar ศึกษาถึงพอลิเมอร์ผสมของพอลิพรอพิลีนกับ 10% โดยน้ำหนักของพอลิสไตรีน พบว่ามอดุลัส และความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อบริการกับพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ ขณะที่ความทนแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง Mucha สันนิษฐานว่าพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวมีแรงกระทำระหว่างกัน เพราะอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิสไตรีนเพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว และอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีนลดลง [4]

ปีพ.ศ. 2516 Locke C.E. และ Paul D.R. ศึกษาถึงการปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิสไตรีนกับพอลิเอทิลีน โดยเติมพอลิเมอร์ร่วมที่ผ่านการดอ้งของพอลิเมอร์ผสมดังกล่าว และผ่านกระบวนการฉายรังสีที่ความเข้ม 0.5 Mrad จากการทดลองทำการผสมพอลิเมอร์ที่อัตราส่วน 50/50 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ให้สมบัติเชิงกลต่ำสุดในเครื่องผสมระบบปิด (Brabender) ที่อุณหภูมิ 170°C ความเร็วรอบ 20 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยวิธีดังกล่าว มีความแข็งแรง และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มมากขึ้น [5]

ปีพ.ศ. 2517 Spenadel ได้รายงานผลของรังสีที่ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยง เนื่องจากรังสีของพอลิเมอร์ผสมของพอลิพรอพิลีนกับยางเอทิลีน-พรอพิลีน (PP/EPR) พบว่ารังสีทำให้เกิดการเชื่อมโยงภายในพอลิเมอร์มากกว่าการตัดขาดของสายโซ่ และเมื่อเติมไตรเมทิลอัลโพรเพน ไตรเมทิลอะโครเลต (TMPT) และเซมาต้าทำให้การเชื่อมโยง และความทนแรงดึงสูงขึ้น ส่วนการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นระหว่างพอลิเอทิลีนกับยางเอทิลีน-พรอพิลีน (PE/EPR) มีค่าความต้านทานต่อการบิดเบี้ยวเนื่องจากความร้อนสูงขึ้น ซึ่งนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ และอุปกรณ์ด้านทานกระแสไฟฟ้า [6]

ปีพ.ศ. 2519 Schultz และ Mankin ศึกษาการฉายรังสีพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมทิลเมทาโครเลต (PMMA) กับพอลิสไตรีน พบว่า อัตราการตัดขาดของสายโซ่ PMMA ในพอลิเมอร์ผสมมีค่าใกล้เคียงกับ PMMA บริสุทธิ์ แต่เมื่อนำพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวมาผ่านกระบวนการทำให้แห้งโดยใช้ความเย็น (freeze drying) อัตราการตัดขาดของสายโซ่จะลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากวิภาคของพอลิเมอร์ผสมมีความใกล้ชิดกันมากขึ้น Garrett และคณะได้ทำการทดลองโดยใช้คู่พอลิเมอร์ผสมเดียวกัน พบว่าพอลิสไตรีนจะทำหน้าที่ป้องกันรังสีที่ก่อให้เกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัดขาดของสายโซ่ PMMA และลดลงตามปริมาณพอลิสไตรีนที่เพิ่มขึ้น และมีการทดลองปรับปรุงแรงยึดระหว่างผิวโดยใช้รังสีแกมมาของพอลิเมอร์ผสมของ PS/LDPE และ PS/EPDM ที่อัตราส่วน 80/20 ผสมพอลิเมอร์โดยเครื่องอัดฉีดแบบเกลียวหนอนคู่ ศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย SEM พบว่ารังสีทำให้พอลิเมอร์ผสมของ PS/LDPE และ PS/EPDM เกิดการเชื่อมโยงที่วัฏภาคของ LDPE หรือ EPDM ซึ่งองศาการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อความเข้มรังสีมากกว่าหรือเท่ากับ 500 kGy แต่ที่ความเข้มนี้วัฏภาค PS เกิดการเสื่อมสภาพ การเชื่อมโยงระหว่างคู่พอลิเมอร์ผสมมีน้อย เนื่องจากพอลิสไตรีนเสถียรต่อรังสี ทำให้ไม่มีแรงกระทำภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์ผสม จากผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Garrett ที่กล่าวไว้ข้างต้น และพอลิเมอร์ผสมที่มีพอลิสไตรีนเป็นองค์ประกอบหลัก สัณฐานวิทยาจะเสถียรที่ความเข้มของรังสีต่ำ ในกรณีมีสารช่วยผสม สารช่วยผสมจะทำหน้าที่ป้องกันการแยกวัฏภาคระหว่างคู่พอลิเมอร์ผสม ทำให้สัณฐานวิทยาเสถียร ตัวอย่างเช่นการเชื่อมโยงในพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อคของ SB ทำให้ลักษณะทางสัณฐานวิทยามีความเสถียรสูงกว่าในพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีสารช่วยผสม ภายใต้สภาวะการทดลองเดียวกัน สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PS/EPDM/SB ที่ได้รับรังสีที่ความเข้มต่าง ๆ ภายหลังจากทำการฉีดขึ้นรูปมีความแตกต่างขององศาการเชื่อมโยงน้อยมาก ( องศาการเชื่อมโยงของ EPDM สูงสุดประมาณ 55% ) สมบัติความทนทานต่อแรงกระทำของพอลิเมอร์ผสม PS/EPDM/SB เมื่อได้รับรังสีเพิ่มขึ้นตามความเข้มของรังสีคือเพิ่มขึ้นจาก 5 สูงสุดที่ 14 kJ/m<sup>2</sup> ซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของแรงยึดระหว่างผิว ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากเกิดพันธะเคมีของบิวทาไดอีนใน SB กับ EPDM ที่มีการเชื่อมโยงแล้ว [6]

ปีพ.ศ. 2524 Lindsey และคณะ ศึกษาพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิสไตรีน โดยมีพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อคของ SEBS เป็นสารช่วยผสม ทำการผสมพอลิเมอร์ด้วยเครื่องผสมระบบปิด ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที พบว่า สารช่วยผสมทำให้ความสามารถดึงเป็นเส้นได้ ( ductility ) เพิ่มขึ้น แต่ความแข็งแรง และมอดุลัสลดลง [7]

ปีพ.ศ. 2526 Rizzo และคณะ ได้ศึกษาผลรังสีแกมมาในสภาวะสุญญากาศของพอลิเมอร์ผสมของพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ พบว่าความเข้มรังสีในช่วง 300-1500 kGy มีการเชื่อมโยงของทั้งพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ [8] และในปีเดียวกัน เขาได้ศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมไอโซเทกติกพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเมื่อได้รับรังสี พอลิเมอร์ผสมเตรียมในเครื่องผสมระบบปิด ( Haake Plasticorder ) ที่อุณหภูมิ 200 °C และความเร็วรอบ 30, 60 และ 120 รอบ/นาที ศึกษาถึงการทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิต่างกันโดย ใส่น้ำแข็ง ( ice-quenched ) และปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ( air-cooled ) พบว่าในช่วงความเข้มรังสี 25-100 kGy เปรอเซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นตามความเข้มรังสี ตัวอย่างที่ใส่น้ำแข็งลดลงเร็วกว่าตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ปล่อยให้อยู่ที่อุณหภูมิห้อง และลดลงมากเมื่อพอลิเมอร์ผสมมีไอโซเทคติกพอลิพรอพิลีนเป็นองค์ประกอบหลัก ในขณะที่เมื่อมีพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเป็นองค์ประกอบหลัก (มากกว่า 30% โดยน้ำหนัก) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มรังสีในช่วงนี้ทำให้ไอโซเทคติกพอลิพรอพิลีนเกิดการตัดขาดของสายโซ่ และขณะเดียวกันก็ทำให้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเกิดการเชื่อมโยง ซึ่งมีผลให้ความทนแรงดึง และมอดุลัสเปลี่ยนแปลงน้อยต่อการฉายรังสีในช่วงนี้ อุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิการตกผลึกเมื่อรับรังสีพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีค่าคงที่ ส่วนไอโซเทคติกพอลิพรอพิลีนลดลงมากตามความเข้มรังสี แสดงให้เห็นว่ารังสีมีผลต่อไอโซเทคติกพอลิพรอพิลีนมากกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ [8]

ปีพ.ศ. 2527 Nguyen และ Kaush ได้ศึกษาคู่พอลิเมอร์ที่รวมเป็นเนื้อเดียวกันของ PMMA กับสไตรีน-อะโครไลโนไครล์ (SAN) ในอัตราส่วน 50/50 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อฉายรังสีแกมมาในสภาวะสุญญากาศ อัตราการตัดขาดของสายโซ่ PMMA ลดลงจากที่ไม่ผสม SAN [6]

ปีพ.ศ. 2530 Liu Dogyuan และคณะ ได้ศึกษาการฉายรังสีแกมมาบนฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง หนา 3 มิลลิเมตร พบว่า ปริมาณของส่วนที่ไม่ละลาย (gel fraction) เพิ่มขึ้นตามความเข้มรังสี ส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น แต่ความเป็นผลึกลดลง ปริมาณของส่วนที่ไม่ละลายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ความเข้มรังสีต่ำกว่า 100 kGy และคงที่เมื่อความเข้มรังสีสูงกว่า 100 kGy สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเพิ่มขึ้นที่ความเข้มรังสีต่ำ และลดลงที่ความเข้มรังสีสูง ส่วนค่าดัชนีการละลาย (melt index) ลดลง พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงให้สมบัติเชิงกลสูงสุดที่ความเข้มของรังสี 180 kGy [9]

ปีพ.ศ. 2530 Tomas และคณะ ได้ศึกษาผลของรังสีแกมมาที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนไวนิลเอซีเตตกับพอลิพรอพิลีน พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีองค์ประกอบของพอลิพรอพิลีนมากกว่า 50% โดยน้ำหนัก จะเกิดการตัดขาดของสายโซ่ ทำให้สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง ในขณะที่พอลิเมอร์ผสมที่มีองค์ประกอบของเอทิลีนไวนิลเอซีเตตมากกว่า 70% โดยน้ำหนัก จะมีปฏิกิริยาแข่งขันกันระหว่างการเชื่อมโยงของภูมิภาคเอทิลีนไวนิลเอซีเตต และการตัดขาดสายโซ่ของพอลิพรอพิลีน เป็นผลให้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นที่ความเข้มรังสีต่ำ และคงที่หรือลดลงเล็กน้อยที่ความเข้มรังสีสูง [6]

ปีพ.ศ. 2533 Wenig และ Colleagues ได้ศึกษาผลศาสตร์การตกผลึกของพอลิเมอร์ผสมของพอลิสไตรีนกับพอลิพรอพิลีน พบว่าความหนาแน่นของนิวเคลียสที่ก่อให้เกิดผลึกลดลงเมื่อพอลิสไตรีนเพิ่มขึ้น และอัตราการเติบโตของสเฟียรูไลท์พอลิพรอพิลีนเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย [4]

ปีพ.ศ. 2534 Lopez D. และ Burillo G. ได้ศึกษาผลของรังสีแกมมาที่มีต่อพอลิเอสไตรีนเมื่อเติมสารช่วยผสมของมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันนัลหลายหมู่ โดยทำการทดลองกับสารช่วยผสม 2 กลุ่ม คือ กลุ่มของหมู่ไวนิลฟังก์ชันนัล ได้แก่ ไตรเมทิลโพรเพน ไตรเมทาโครเลท (TMPTM) และกลุ่มของอัลลิล คาร์บอเนต ได้แก่ ไดเอทิลดีนไกลคอล บิส-อัลลิล คาร์บอเนต (DEGBAC) และพอลิดีนไกลคอล บิส-อัลลิล คาร์บอเนต (PGBAC) พบว่าเมื่อเทียบที่อัตราความเข้มรังสีเท่ากัน พอลิเอสไตรีนให้ค่าความเข้มรังสีต่ำสุดที่ทำให้เกิดเจล (incipient gel;  $rg$ ) สูงกว่าพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอสไตรีนกับสารช่วยผสม กล่าวคือ  $rg$  ของพอลิเอสไตรีนเกิดที่ 270 kGy วัดการเชื่อมโยงของโมเลกุลได้ 0.03 ในขณะที่  $rg$  ของพอลิเอสไตรีนกับสารช่วยผสม PGBAC, DGBAC, และ TMPTM ให้ค่า  $rg$  ที่ต่ำกว่า ตามลำดับ และต่ำลงตามปริมาณสารช่วยผสมที่เพิ่มขึ้น [10]

ปีพ.ศ. 2536 Wu C. J. และคณะ ได้ศึกษาถึงการปรับปรุงพอลิเมอร์ร่วมแบบ 3 บล็อกของ SEBS ด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์ จากนั้นนำมาใช้เป็นสารช่วยผสมของพอลิเมอร์ของไนลอน-6 กับ SEBS พบว่าสัณฐานวิทยา ความทนทานต่อแรงกระแทกขึ้นกับ ปริมาณ และอัตราส่วนการต่อกิ่งของมาลิกแอนไฮไดรด์บน SEBS พอลิเมอร์ผสมที่มีสารช่วยผสม ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงกว่าไนลอน 6 ประมาณ 30 เท่า [11]

ปีพ.ศ. 2537 Hlavata และ Horak ใช้เทคนิค WAXD และ SAXD ศึกษาความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมของพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทกสูง พบว่า ความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนในพอลิเมอร์ผสมมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และลดลงเมื่อเติมองค์ประกอบที่ 3 ของ SB หรือ SBS [4]

ปีพ.ศ. 2537 Changhail. และคณะ ได้ศึกษาการใช้รังสีแกมมาปรับปรุงแรงระหว่างผิวของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันของไอโซเทกติกพอลิพรอพิลีนกับ ซิส 1,4-พอลิบิวทาไดอีน โดยเติม TAIC พอลิเมอร์ผสมเตรียมโดยใช้ two-roll mixer ที่อุณหภูมิ 180 °C พบว่าที่ความเข้มรังสี 10 kGy ต่อชั่วโมง มอนอเมอร์ TAIC เกิดการเชื่อมโยง หรือเกิดการต่อกิ่งขึ้นระหว่าง TAIC กับไอโซเทกติกพอลิพรอพิลีน และซิส 1,4-พอลิบิวทาไดอีน ทำให้แรงยึดติดระหว่างพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นตามความเข้มรังสี [12]

ปีพ.ศ. 2538 Molina และคณะ ได้ศึกษาการใช้ พอลิไวนิลอิมิดาโซล เป็นสารช่วยผสมในพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนกับพอลิเอสไตรีน พบว่าในสภาวะการหลอมเหลว พอลิไวนิลอิมิดาโซลช่วยให้พอลิเมอร์ผสมกันได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพอลิเมอร์ผสมมีปริมาณพอลิเอทิลีนสูง และในทางตรงกันข้าม ในสภาวะที่เป็นของแข็งพอลิไวนิลอิมิดาโซลไม่ช่วยปรับปรุงการเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ผสม Hlavata และคณะ ได้ศึกษาการผสมเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทกสูง (ที่มีพอลิบิวทาไดอีนเป็นองค์ประกอบ) โดยใช้ SB และ SBS เป็นสารช่วยผสม พบว่า สารช่วยผสมที่เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบ 3 บล็อก มีผลต่อการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างชั้นระหว่างผิว ( interfacial layer ) มากกว่าพอลิเมอร์ร่วมแบบ 2 บล็อก และพอลิเมอร์ร่วมแบบ 3 บล็อก ยังช่วยปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทก และการดึงยึดที่จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมอีกด้วย พอลิวิทาไดอินที่มีอยู่ในพอลิสไตรีนทนต่อแรงกระแทกสูง สามารถเข้ากันได้ดีกับสารช่วยผสมทั้งสอง นอกจากนี้ส่วนของพอลิวิทาไดอินยังทำหน้าที่ปรับปรุงความเหนียวในภูมิภาคของสไตรีน หรืออาจกล่าวได้ว่าพอลิวิทาไดอินมีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม [13]

ปีพ.ศ. 2538 Topolkaraev ได้ศึกษาการใช้พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกของพอลิสไตรีนและพอลิวิทาไดอิน หรือพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกของพอลิวิทาไดอินที่เติมไฮโดรเจนกับพอลิสไตรีนเป็นสารช่วยผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น กับพอลิสไตรีน โดยแบ่งชนิดของสารช่วยผสม เป็นสารช่วยผสมที่มีความเป็นผลึก ได้แก่ SEB และ SEBS กับสารช่วยผสมที่ไม่มีความเป็นผลึก ได้แก่ SB และ SBS เตรียมพอลิเมอร์ผสมในเครื่องผสมระบบปิด ที่อุณหภูมิ 175 °C ความเร็วรอบ 52 รอบ/นาที พบว่าสารช่วยผสมพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกช่วยปรับปรุงความทนต่อแรงเค้น แรงเครียด และเพิ่มแรงยึดติดระหว่างภูมิภาคของ LLDPE กับ PS เมื่อเติมสารช่วยผสม SEB หรือ SEBS มีผลทำให้ขนาดอนุภาคของ PS ลดลงมากกว่าเมื่อเติมสารช่วยผสม SB หรือ SBS [14]

ปีพ.ศ. 2539 Mitsuyoshi ได้ศึกษาการผสมแบบหลอมเหลวของไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน (iPP) กับพอลิสไตรีน 0-3% โดยน้ำหนัก 3 ชนิดคือ ชนิดที่มีค่าดัชนีการไหล ต่ำกว่า, เท่ากัน และสูงกว่าพอลิพรอพิลีน การผสมใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป อุณหภูมิกระบอกฉีด 200-280°C พบว่าอุณหภูมิความเป็นผลึก และความร้อนแฝงของความเป็นผลึกลดลงเมื่อปริมาณพอลิสไตรีนเพิ่มขึ้นมอดูลัสของการโค้งงอ และความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิกระบอกฉีดลดลง อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวเนื่องจากความร้อน ( heat distortion temperation ;HDT ) เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิกระบอกฉีดลดลง และเมื่ออุณหภูมิกระบอกฉีดต่ำ HDT เพิ่มขึ้นสูงสุดที่พอลิสไตรีน 5% โดยน้ำหนัก และจะลดลงตามพอลิสไตรีนที่เพิ่มขึ้น ในกรณีที่อุณหภูมิกระบอกฉีดสูง พอลิเมอร์จะมีการหดตัวน้อยและลดลงเมื่อผสมพอลิสไตรีน ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมของพอลิสไตรีนกับพอลิพรอพิลีนลดลงตามปริมาณพอลิสไตรีนที่เพิ่มขึ้น [4]

ปีพ.ศ. 2540 Kroeze และคณะ ได้สังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกของพอลิวิทาไดอินและพอลิสไตรีน ได้แก่ EB โดยส่วนที่เป็นพันธะคู่ของพอลิวิทาไดอินได้รับการเติมไฮโดรเจน จากนั้นนำมาใช้เป็นสารช่วยผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับพอลิสไตรีนที่อัตราส่วน 10/90 โดยน้ำหนัก เตรียมพอลิเมอร์ผสมในเครื่องอัดเกลียวหนอนคู่ขนาน ที่อุณหภูมิ 160 °C ความเร็วของสกรู 75 รอบ/นาทีเป็นเวลา 5 นาที พบว่า เมื่อเติมสารช่วยผสมที่ได้จากการสังเคราะห์เพียง 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสามารถปรับปรุงสมบัติความทนแรงดึง และแรงเครียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของพอลิเมอรัสมได้ และเมื่อเติมสารช่วยผสม 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถปรับปรุงความเหนียวของพอลิเมอรัสมนี้ได้ถึง 10 เท่าเทียบกับเมื่อไม่เติมสารช่วยผสม [15]

ปีพ.ศ. 2540 เสาวรพย์ และคณะ ได้ศึกษาพอลิเมอรัสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเมอรัสมล็กเลท โดยใช้ SEBS เป็นสารช่วยผสม พอลิเมอรัสมเตรียมได้โดยใช้เครื่องอัดเกลียวหนอนคู่ขนาน ทำให้เป็นเม็ดอัดผ่านแล้วทำให้เป็นฟิล์ม พบว่าการใช้สารช่วยในการผสมช่วยให้มอดุลัสสูงขึ้นโดยใช้เทคนิคทางอินฟราเรด ในการวัดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลเกิดขึ้น [16]

ปี พ.ศ. 2540 Hayashi S. และคณะ ได้ศึกษาผลของสารตัวเติมที่มีต่อพอลิเมอรัสมที่เป็นเนื้อเดียวกันของยางธรรมชาติกับยาง SBR พบว่าการเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอรัสมที่มีเขม่าดำ หรือซิลิกา สัมพันธ์กับโครงสร้างทางจุลภาคของยาง SBR และจะเปลี่ยนไปตามชนิดของสารตัวเติมที่ใช้ [17]

ปีพ.ศ. 2540 จันทิมา ประทีปแสง และคณะ ได้ศึกษาความสามารถของสารช่วยผสมของ SBS สำหรับพอลิเมอรัสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิสไตรีนใช้แล้วองค์ประกอบทั้งหมดนำมาผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดสกรูคู่แบบหมุนตามกัน ( $L/D=30$ ) ผลการศึกษาความสามารถในการไหลของพอลิเมอรัสมหลอมเหลว พบว่าค่าดังกล่าวลดลงเมื่อปริมาณ SBS เพิ่มขึ้น การศึกษาโดย FTIR ยืนยันว่าไม่มีพันธะเคมีในพอลิเมอรัสมทั้งคู่ที่ไม่มี และมี SBS ผลการศึกษาโดย DSC ไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิสไตรีน อุณหภูมิหลอมเหลว และปริมาณผลึกของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงในพอลิเมอรัสมทั้งคู่ที่ไม่มี และมี SBS จากการวิเคราะห์ด้วย SEM พบว่า การเติม SBS ทำให้วัฏภาคกระจายตัวมีขนาดเล็กลง และการกระจายดีขึ้น การทดสอบโดยการดึงแสดงให้เห็นว่าค่ามอดุลัสของความยืดหยุ่นสำหรับพอลิเมอรัสมทุกชุดลดลงเมื่อมีการเติม SBS เพิ่มขึ้น พอลิเมอรัสมบางชุดแสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติจากเปราะไปเป็นอ่อนเหนียว โดยมีค่าความเครียดที่จุดแตกหักเพิ่มขึ้น 300-400 % [18]

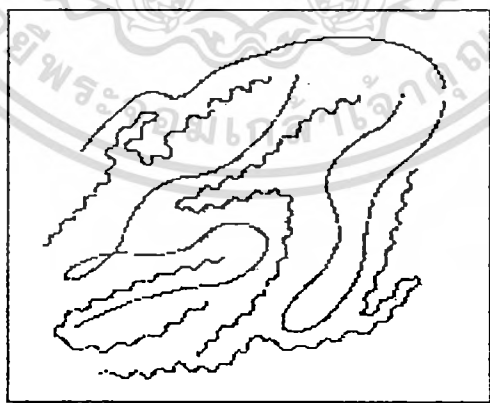
ปี พ.ศ. 2540 วิไลพร และคณะ ได้พัฒนาการผลิตสารประกอบพีวีซีที่มีสมบัติคล้ายยาง จากการผสมพีวีซีกับยางไนไตรล์ (NBR) เข้าด้วยกัน แล้วให้สมบัติที่ดีกว่าพีวีซีชนิดนี้ โดยศึกษาถึงผลของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีต่อสารประกอบพีวีซี พบว่าการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตช่วยให้การไหลของสารประกอบพีวีซีดีขึ้น เปอร์เซ็นต์การบวมที่หัวฉีดลดลงตามปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับสมบัติเชิงกล ค่าความแข็งวัดในหน่วย Shore A และเปอร์เซ็นต์การกัดตัว ที่ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต 30% โดยน้ำหนัก ความทนแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดจะให้ค่าสูงสุด [19] Fellahi และคณะ ได้ศึกษาการทำฟิล์มที่มีสมบัติคล้ายกระดาษจากพอลิเมอรัสมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับพอลิสไตรีน โดยศึกษาถึงปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการเป่าฟิล์ม เช่น อัตราส่วนเป่าขยาย (BUR) และ อัตราส่วนดึงลด (DDR) ที่มีต่อสมบัติเชิงกล กระบวนการผสม และสารช่วยผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความเค้นที่จุดขาด ให้ผลตรงข้ามกับเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และความทนต่อแรงกระแทก กล่าวคือ ความเค้นที่จุดขาดลดลง เมื่อ BUR เพิ่มขึ้น และDDR ลดลง ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และความทนต่อแรงกระแทกลดลง เมื่อ BUR ลดลง และDDR เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อเพิ่ม DDR มากขึ้นทำให้การจัดเรียงตัวของอะตอมภายในโมเลกุลเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลให้ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรงมากขึ้น สมบัติเชิงกลอีกประการหนึ่งที่ได้ทำการทดสอบ คือความต้านทานการฉีกขาด ซึ่งได้มีการพิจารณาทั้งในทิศเดียวกัน และทิศตั้งฉากกับการขึ้นรูป พบว่าความต้านทานการฉีกขาดในทิศเดียวกันกับการขึ้นรูป มีค่าน้อยกว่าความต้านทานการฉีกขาดในทิศตั้งฉาก และเพิ่มขึ้น เมื่อ BUR เพิ่มขึ้นและDDR ลดลง และเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ที่ผ่านกระบวนการผสมซ้ำ 3 ครั้งในเครื่องอัดรีด จะให้ความทนแรงดึง ความทนต่อแรงกระแทก และความต้านทานการฉีกขาด สูงกว่าพอลิเมอร์ที่ผ่านกระบวนการผสมเพียง 1 ครั้ง และจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเติมสารช่วยผสม คาร์บอน (Kraton G 1701) ในปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก [20]

## 2.2 พอลิเมอร์เบลิน และพอลิเมอร์อัลลอยด์

พอลิเมอร์ผสม (พอลิเมอร์เบลิน) หมายถึงพอลิเมอร์ หรือโคพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมเข้าด้วยกัน โดยที่พอลิเมอร์ หรือโคพอลิเมอร์ในองค์ประกอบของพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณน้อยจะต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าสองเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสม โครงสร้างของพอลิเมอร์หลักที่นำมารวมกันนี้อยู่รวมกันโดยที่ไม่เกิดพันธะโคเวเลนต์ระหว่างกัน แสดงได้ดังรูปที่ 2.1



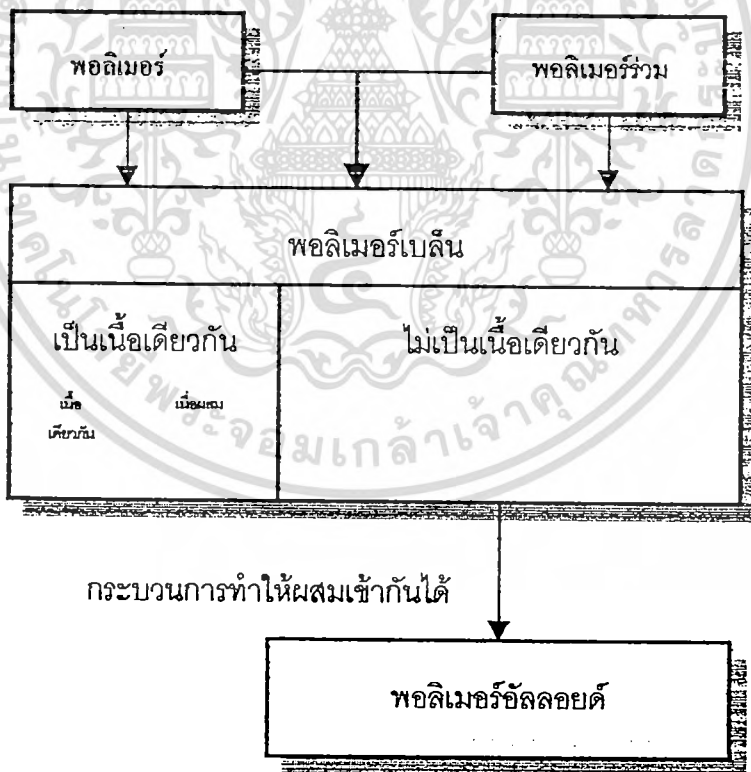
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์เบลิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์ผสมมีทั้งที่ผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และเป็นเนื้อเดียวกัน พอลิเมอร์ผสมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันเมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงแรงยึดระหว่างผิว หรือปรับปรุงลักษณะทางสัณฐานวิทยาแล้วจะทำให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น เรียกพอลิเมอร์ผสมนี้ว่า พอลิเมอร์อัลลอยด์ คำว่า พอลิเมอร์เบล็น และ พอลิเมอร์อัลลอยด์ แตกต่างกันทั้งทางด้านความสามารถในการรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันทางอุณหพลศาสตร์ ( thermodynamic ) และสมบัติของผลิตภัณฑ์ ความสัมพันธ์ของพอลิเมอร์เบล็น และอัลลอยด์ แสดงได้ดังรูปที่ 2.2

พอลิเมอร์อัลลอยด์ เป็นพอลิเมอร์ผสมที่มีการรวมกันแบบเสริมกัน คือรวมเอาสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดเข้าไว้ด้วยกัน การรวมเป็นเนื้อเดียวกันทางอุณหพลศาสตร์ระหว่างพอลิเมอร์สูง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสูง และให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วเพียงค่าเดียว

สำหรับพอลิเมอร์เบล็น การรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ในทางอุณหพลศาสตร์ระหว่างพอลิเมอร์น้อยกว่าพอลิเมอร์อัลลอยด์ ให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วหลายค่า และโดยทั่วไปแล้วสมบัติของพอลิเมอร์เบล็นจะขึ้นกับสัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่นำมาผสม [21, 22]



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของพอลิเมอร์เบล็น และพอลิเมอร์อัลลอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 วิธีการเตรียมพอลิเมอร์ผสม

2.3.1 การผสมทางเชิงกล ( mechanical blending ) เป็นการผสมที่นำพอลิเมอร์มาหลอมรวมกัน พอลิเมอร์ที่นำมาใช้จะมีลักษณะเป็นเม็ด หรือเป็นผงก็ได้ ในการหลอมพอลิเมอร์เข้าด้วยกัน กรณีที่พอลิเมอร์เป็นอสังฐานอุณหภูมิที่ใช้ต้องสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( Tg ) และกรณีที่พอลิเมอร์เป็นกึ่งผลึก อุณหภูมิที่ใช้ต้องสูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลว ( Tm ) วิธีนี้เป็นที่นิยมมาก ทั้งนี้เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ค่าใช้จ่ายน้อย และไม่มีการปนเปื้อน แต่ข้อเสียของวิธีนี้ คือพอลิเมอร์อาจเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้ค่อนข้างสูง ซึ่งส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดต่ำลง

2.3.2 การผสมโดยใช้ตัวทำละลาย ( solvent blending ) เป็นการผสมที่นำพอลิเมอร์ที่จะมาผสมละลายในตัวทำละลายโดยใช้อุณหภูมิ และแรงเฉือนต่ำ จากนั้นกำจัดตัวทำละลายออกทำเป็นแผ่นฟิล์ม ส่วนใหญ่แล้วจะใช้ในการผสมที่ต้องการผลิตภัณฑ์ปริมาณน้อย หรือใช้กับคู่พอลิเมอร์ที่ไม่สามารถผสมแบบเชิงกลได้ ซึ่งอาจจะทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันสามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ เนื่องจากความสามารถของการละลายในตัวทำละลายของคู่พอลิเมอร์ผสมแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนชนิดของตัวทำละลาย หรือตกตะกอนพอลิเมอร์ผสมในตัวทำละลาย วิธีนี้จะลดการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ แต่ก็อาจจะมีการปนเปื้อนจากตัวทำละลาย [2, 23]

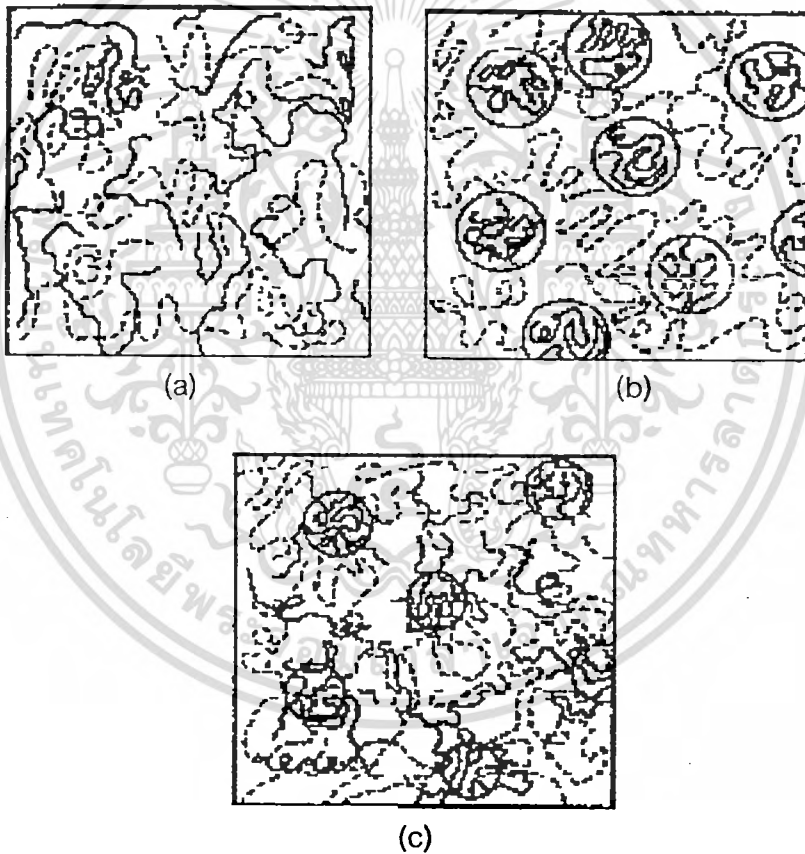
## 2.4 ประเภทของพอลิเมอร์ผสม

พิจารณาตามลักษณะสังฐานวิทยา ได้แก่ องค์การกระจายตัวของวัฏภาคหลัก รูปร่าง และขนาดของอนุภาคที่กระจายตัวในพอลิเมอร์ผสม ซึ่งลักษณะดังกล่าวขึ้นอยู่กับสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ และลักษณะการไหลตัว ( rheological characteristic ) ของพอลิเมอร์หลักที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ผสม รวมถึงวิธีการผสม สภาพะในการผสม สารช่วยผสม และกระบวนการขึ้นรูป สามารถแบ่งประเภทของพอลิเมอร์ผสมในทางสังฐานวิทยาได้ 3 ประเภท

2.4.1 พอลิเมอร์ผสมที่เป็นเนื้อเดียวกัน ( miscible polymer blend ) พอลิเมอร์จะละลายเข้าด้วยกัน คือสามารถผสมรวมกันได้ในระดับของโมเลกุล พอลิเมอร์ 2 ชนิดอาจมีหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างพอลิเมอร์นั้นๆ พอลิเมอร์ผสมจะปรากฏให้เห็นเป็นระบบที่มี 1 วัฏภาค ดังรูปที่ 2.3 (a) แสดงโมเลกุลของพอลิเมอร์ชนิด A ที่ผสมรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกับโมเลกุลของพอลิเมอร์ชนิด B พอลิเมอร์ผสมชนิดนี้มีลักษณะเหมือนกับพอลิเมอร์รวม

แบบแรนคอม ตัวอย่างเช่น พอลิเมอร์ผสมของ พอลิสไตรีน กับ พอลิ ( 2,6-ไดเมททิล 1,4-พีนิลีน ออกไซด์ )

2.4.2 พอลิเมอร์ผสมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ( immiscible polymer blend ) พอลิเมอร์ ไม่ละลายเข้าด้วยกัน พอลิเมอร์ผสมปรากฏให้เห็นเป็นระบบที่มี 2 วัฏภาค ดังรูปที่ 2.3 (b) แสดง โมเลกุลของพอลิเมอร์ชนิด A ที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับโมเลกุลของพอลิเมอร์ชนิด B ตัวอย่างเช่น พอลิเมอร์ผสมของ ไนลอน กับ พอลิ (อะโครโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน ) หรือ พอลิสไตรีนกับ พอลิเอทิลีน ซึ่งพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวมีแรงยึดเหนี่ยว ( interaction ) และแรงยึดติดระหว่างผิว ( interfacial adhesive ) ของพอลิเมอร์แต่ละชนิดน้อยมาก โดยที่พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งมีลักษณะ เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง ( continuous phase หรือ external phase ) และมีพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งเป็น วัฏภาคกระจายตัว ( disperse phase ) กระจายตัวอยู่ภายในวัฏภาคต่อเนื่องอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างจุลภาคของการผสมพอลิเมอร์ A และพอลิเมอร์ B

(a) ของผสมที่เป็นเนื้อเดียวกัน

(b) ของผสมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

(c) ของผสมที่เป็นเนื้อเดียวกันบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 พอลิเมอร์ผสมที่เป็นเนื้อเดียวกันบางส่วน ( partially miscible polymer blend ) เป็นพอลิเมอร์ผสมที่อยู่ระหว่าง 2.3.1 และ 2.3.2 บางส่วนของพอลิเมอร์หนึ่งละลายได้ในบางส่วนของอีกพอลิเมอร์หนึ่ง พอลิเมอร์ผสมจะเป็นเนื้อเดียวกันต่อเมื่ออุณหภูมิของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมมีขนาดเล็ก แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนในการผสมด้วยเช่นกัน พอลิเมอร์ผสมปรากฏให้เห็นเป็น 2 ภูมิภาค ดังรูปที่ 2.3 (c) แสดงโมเลกุลของพอลิเมอร์ชนิด A ทั้งที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และไม่เป็นเนื้อเดียวกับโมเลกุลของพอลิเมอร์ชนิด B

## 2.5 การรวมเข้ากันได้ทางอุณหพลศาสตร์

การที่พอลิเมอร์จะผสมเป็นเนื้อเดียวกัน หรือไม่เป็นเนื้อเดียวกันนั้น ขึ้นกับหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น จลนพลศาสตร์ ( kinetics ) ของกรรมวิธีในการผสม อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการผสม ตลอดจนการเติมสารเติมแต่งอื่นๆ อย่างไรก็ตามหลักเบื้องต้นที่ควรนำมาพิจารณาถึงการผสมเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ คือ อุณหพลศาสตร์ ซึ่งได้อธิบายถึงกระบวนการที่สามารถเกิดขึ้นได้เองที่อุณหภูมิ และความดันคงที่ โดยใช้พลังงานอิสระของการผสม ดังสมการ

$$\Delta G_{mix} = \Delta H_{mix} - T\Delta S_{mix} \leq 0 \quad (2.1)$$

เมื่อ  $\Delta G_{mix}$  เป็นพลังงานอิสระของการผสม

$\Delta H_{mix}$  เป็นเอนทัลปีของการผสม

$\Delta S_{mix}$  เป็นเอนโทรปีของการผสม

นั่นคือการผสมจะเข้ากันได้ดีถ้าผลต่างระหว่าง  $\Delta H_{mix}$  และ  $T\Delta S_{mix}$  มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์ ซึ่งเป็นไปได้ 2 กรณีคือ

กรณีที่ 1 ถ้าค่าเอนโทรปีของการผสมมีค่าสูงหรือเป็นค่าบวก ค่าเอนทัลปีของการผสมจะต้องมีค่าเป็นศูนย์ ติดลบ หรือเป็นบวก แต่  $|\Delta H_{mix}| < |T\Delta S_{mix}|$

กรณีที่ 2 ถ้าค่าเอนโทรปีของการผสมมีค่าต่ำมากหรือเป็นค่าติดลบ ค่าเอนทัลปีของการผสมจะต้องมีค่าเป็นค่าติดลบ และ  $|\Delta H_{mix}| > |T\Delta S_{mix}|$

## ทฤษฎีของ ฟลอรีและฮักกินส์

เป็นทฤษฎีใช้อธิบาย การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีและเอนทัลปีในการผสมระหว่างตัวทำละลาย กับพอลิเมอร์ และสามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้ได้กับพอลิเมอร์ผสม โดยกำหนดให้โมเลกุล พอลิเมอร์มีเซกเมนต์ที่โค้งงอได้ และแต่ละเซกเมนต์มีขนาดเท่ากับโมเลกุลของตัวทำละลาย ทฤษฎีของฟลอรีและฮักกินส์ มีพื้นฐานมาจากทฤษฎี รีกูลาร์ โซลูชัน ที่อธิบายถึงการเปลี่ยนแปลง เอนโทรปี และเอนทัลปีในการผสมระหว่างตัวทำละลายกับโมเลกุลขนาดเล็ก

ค่าเอนโทรปี เป็นพลังงานในการผสมระหว่างตัวทำละลายกับพอลิเมอร์ แสดงถึงการจัดเรียง ตัวของโมเลกุล เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\Delta S_{\text{mix}} = -R (n_s \ln \phi_s + n_p \ln \phi_p) \quad (2.2)$$

เมื่อ  $\phi_s$  และ  $\phi_p$  เป็นสัดส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลาย และพอลิเมอร์  
 $n_s$  และ  $n_p$  เป็นจำนวนโมลของตัวทำละลาย และพอลิเมอร์

เศษส่วนโดยปริมาตรของพอลิเมอร์

$$\phi_p = \frac{n_p M V_s}{n_p M V_s + n_s V_s} = \frac{n_p M}{n_p M + n_s} \quad (2.3)$$

เศษส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลาย

$$\phi_s = \frac{n_s V_s}{n_s V_s + n_p M V_s} = \frac{n_s}{n_s + n_p M} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $M$  เป็นจำนวนเซกเมนต์ในแต่ละสายโซ่พอลิเมอร์

$V_s$  เป็นปริมาตรของแต่ละเซกเมนต์

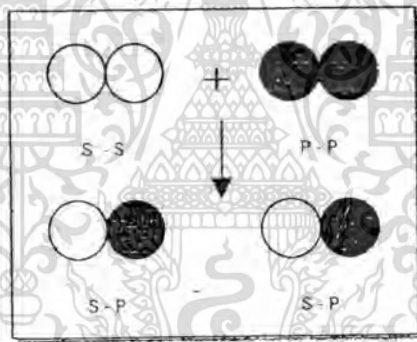
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเอนทัลปี เป็นพลังงานในการผสมระหว่างตัวทำละลายกับพอลิเมอร์ แสดงถึงการเกิดอันตรกิริยาของโมเลกุลระหว่างกรรมวิธีการผสม ในพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด จะมีการสัมผัสกัน 3 แบบ คือ S-S, P-P และ S-P ดังรูปที่ 2.4 และให้อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นเป็น  $\epsilon_{SS}$ ,  $\epsilon_{PP}$  และ  $\epsilon_{SP}$  ตามลำดับ

$$\Delta\epsilon_{SP} = [\epsilon_{SP} - (\epsilon_{SS} + \epsilon_{PP}) / 2] \quad (2.5)$$

จำนวนของการสัมผัสระหว่างเซกเมนต์และโมเลกุลของตัวทำละลายมีค่าเท่ากับ  $z n_s \phi_p$  เมื่อ  $z$  เป็น coordination number

$$\Delta H_{mix} = z \Delta\epsilon_{SP} n_s \phi_p \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.4 แสดงการสร้างสัมผัสของ SP จากสัมผัสของ SS และ PP

ให้  $\chi_{SP}$  เป็นพารามิเตอร์ในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างตัวทำละลายกับพอลิเมอร์

$$\chi_{SP} = z \Delta\epsilon_{SP} / RT \quad (2.7)$$

$$\Delta H_{mix} = RT n_s \phi_p \chi_{SP} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพลังงานอิสระ ในการผสมระหว่างตัวทำละลายกับพอลิเมอร์

$$\Delta G_{\text{mix}} = RT [n_s \ln \phi_s + n_p \ln \phi_p + n_s \phi_p \chi_{sp}] \quad (2.9)$$

ค่าพลังงานอิสระของพอลิเมอร์ผสม โดยทั่วไปในพอลิเมอร์ผสม การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของการผสมคิดต่อหน่วยปริมาตร  $\Delta G_{\text{mix}}^v$  และพลังงานในการเกิดอันตรกิริยาต่อหน่วยปริมาตร  $B_{12}$  ดังสมการ

$$\Delta G_{\text{mix}}^v \equiv \Delta G_{\text{mix}} / V \equiv \Delta G_{\text{mix}} / (n_1 V_1 + n_2 V_2) \quad (2.10)$$

$$B_{12} \equiv RT \chi_{12} / V_1 \quad (2.11)$$

เมื่อ  $V$  เป็นปริมาตรของของผสม

$V_i$  เป็น molar volume ขององค์ประกอบ  $i$

สมการการเปลี่ยนแปลงของพลังงานอิสระของพอลิเมอร์ผสม เขียนได้ดังนี้

$$\Delta G_{\text{mix}}^v = RT [(\phi_1 / V_1) \ln \phi_1 + (\phi_2 / V_2) \ln \phi_2] + B_{12} \phi_1 \phi_2 \quad (2.12)$$

สำหรับพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง อัตราส่วนของ  $\phi_1 / V_1$  และ  $\phi_2 / V_2$  มีค่าน้อยมาก ทำให้เอนโทรปีของการผสมมีค่าน้อย (สองเทอมแรกในสมการ) ตัดทิ้งได้ ดังนั้นความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมจะขึ้นกับพารามิเตอร์ในการเกิดอันตรกิริยาเท่านั้น ดังสมการ

$$\Delta G_{\text{mix}}^v = B_{12} \phi_1 \phi_2 \quad (2.13)$$

พอลิเมอร์จะรวมเข้ากันได้ก็ต่อเมื่อ พารามิเตอร์ในการเกิดอันตรกิริยามีค่าเป็นลบ แต่โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างของพอลิเมอร์ไม่มีขั้ว (เป็นไฮโดรคาร์บอน) ทำให้ดึงดูดซึ่งกันและกันได้ไม่ดี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจะไม่ดึงดูดกับพอลิเมอร์ที่มีขั้ว ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ในการเกิดอันตรกิริยาจึงเป็นบวก พอลิเมอร์ผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน พอลิเมอร์ส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ในชีวิตประจำวันเป็นพอลิเมอร์ชนิดนี้ ดังนั้นจึงเป็นปัญหาในการใช้เทคนิคพอลิเมอร์ผสมแก้ปัญหายุขะพลาสติก แต่เมื่อมีการเติมสารช่วยผสมประเภทพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกที่มีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนคู่พอลิเมอร์ผสมลงไปเป็นพอลิเมอร์ผสม การหลอมเข้าในบางส่วนของสารช่วยผสมกับพอลิเมอร์ผสมทำให้ค่าพารามิเตอร์  $B_{12}$  เป็นลบ ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

สำหรับโครงสร้างพอลิเมอร์ที่มีขั้ว ในทางอุณหพลศาสตร์แตกต่างจากพอลิเมอร์หลักที่ไม่มีขั้ว โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่มีขั้วอาจจะมีหมู่ฟังก์ชันหลาย ๆ หมู่ฟังก์ชัน ด้วยเหตุนี้จึงมีแรงยึดเหนี่ยวจำเพาะ ( specific-interaction ) ได้แก่ แรงยึดเหนี่ยวไดโพล-ไดโพล ( dipole-dipole interaction ) แรงยึดเหนี่ยวไดโพล-ไอออน ( ion-dipole interaction ) พันธะไฮโดรเจน ( hydrogen bonding ) ปฏิกิริยากรด-เบส ( acid-base reaction ) หรือ การถ่ายโอนประจุ ( charge ) ทำให้สามารถดึงดูดกับพอลิเมอร์อื่นในการผสมได้ดี  $B_{12}$  ของพอลิเมอร์ผสมมีค่าเป็นลบ ดังนั้นพอลิเมอร์ผสมที่มีองค์ประกอบหลักเป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้วจึงผสมเป็นเนื้อเดียวกัน [24, 27]

## 2.6 การรวมเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมทางเชิงกลและทางเคมี

การผสมเป็นเนื้อเดียวกันขึ้นกับกระบวนการผสม การไหลขององค์ประกอบ แรงดึงระหว่างผิวของการหลอมเหลว ที่เหมาะสมในแต่ละคู่พอลิเมอร์ผสม จากปัจจัยดังกล่าวจะนำไปสู่การปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิว ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกลขององค์ประกอบพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันให้มีสมบัติเชิงกลตรงตามความต้องการ แสดงได้ดังรูปที่ 2.5 [28]

2.6.1 กระบวนการช่วยการรวมเข้ากันทางเชิงกล วิธีนี้เป็นการพัฒนาลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต ได้แก่การปรับเปลี่ยนเครื่องมือที่ใช้ในการผสม เช่น เครื่องผสมภายใน เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ สภาพที่ใช้ในการผสม เช่น ความเร็วรอบ อุณหภูมิ เวลา และความดันที่ใช้ในการผสม วิไลพร และคณะ ได้ศึกษาถึงเวลาที่ใช้ในการผสมและชนิดของเครื่องมือที่ใช้ในการผสมที่วิธีกับยางไนไตรล์ พบว่าเวลาที่ใช้ในการผสมมีผลต่อสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม และสมบัติเชิงกลจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการผสม นอกจากนี้พบว่าการใช้เครื่องผสมแบบบานบุรี จะให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าการผสมโดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ [19] ทั้งนี้พอลิเมอร์ผสมจะต้องมีอัตราส่วนในการผสมโดยน้ำหนักใกล้เคียงกัน ตัวอย่างเช่นพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีน กับพอลิสไตรีน ที่อัตราส่วน 50/50 การเกี่ยวพันทางเชิงกลส่งผลให้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาเสถียรที่  $180^{\circ}\text{C}$  กระบวนการนี้เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

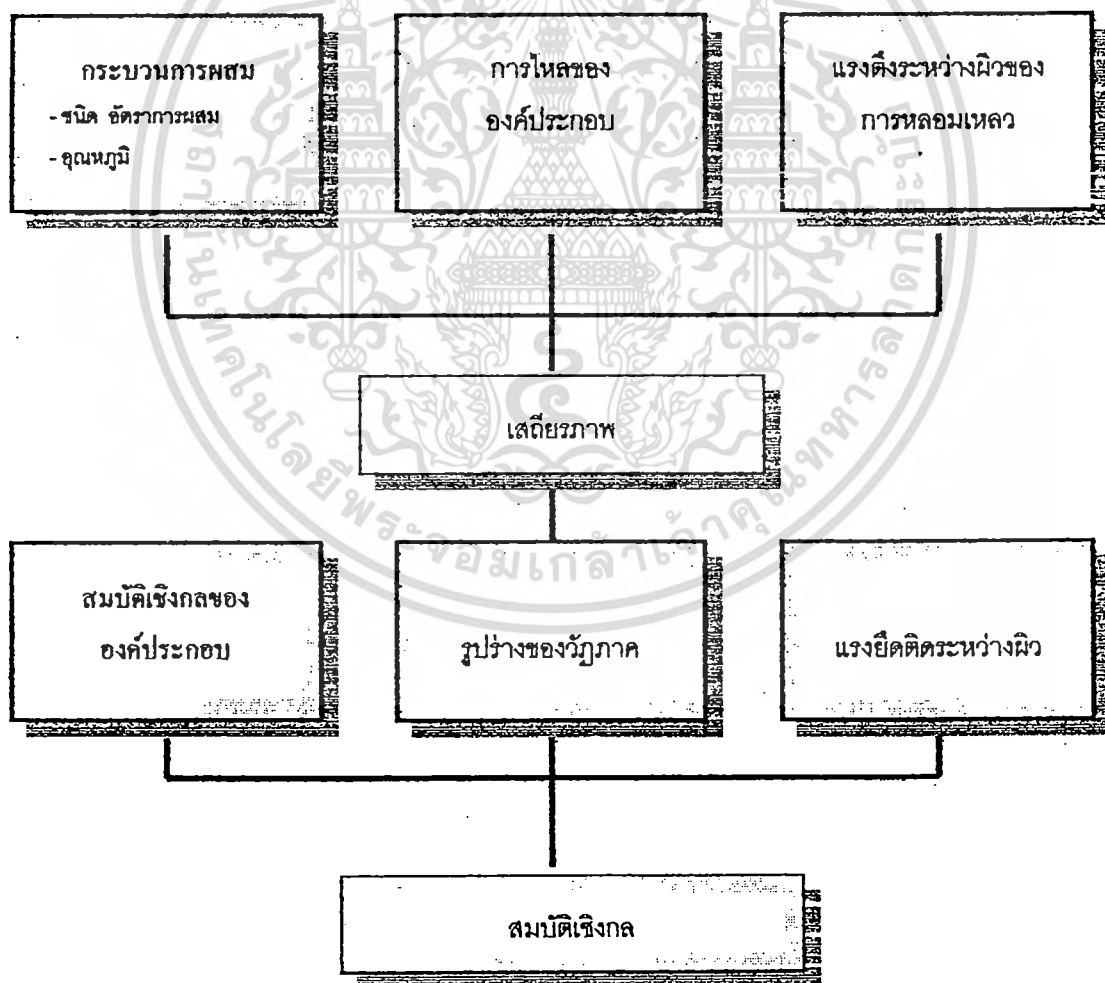
$$\frac{\phi_1}{\phi_2} = \frac{\eta_1}{\eta_2} = \lambda \quad (2.14)$$

เมื่อ  $\phi_1$  และ  $\phi_2$  เป็นเศษส่วนปริมาตรในการผสมของพอลิเมอร์ที่ 1 และ 2

$\eta_1$  และ  $\eta_2$  เป็นความหนืดของพอลิเมอร์ที่ 1 และ 2

$\lambda$  เป็นอัตราส่วนความหนืดของพอลิเมอร์ที่ 1 และ 2

จากเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้น จะทำให้สัณฐานวิทยาเสถียรได้ก็ต่อเมื่อเลือกใช้ความหนืด และอัตราส่วนของเศษส่วนปริมาตรใกล้เคียงกันระหว่างพอลิเมอร์หลัก และพอลิเมอร์ที่เป็นวัฏภาคกระจายตัว



รูปที่ 2.5 แสดงปัจจัยที่ช่วยในการรวมเข้ากันได้ที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6.2 การรวมเข้ากันทางเคมี

อันตรกิริยาทางเคมีจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการทำปฏิกิริยาทางเคมีของหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมการยึดติดของสองภูมิภาคโดยอาศัยปฏิกิริยาทั่วไป เช่นปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่าง พอลิเอสเทอร์ กับ พอลิเอไมด์ การรวมกันของสองพอลิเมอร์ดังกล่าวจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงแบบร่างแห (interpenetrating network) ที่เสถียร หรือเกิดการเชื่อมโยงทางเคมี (chemical crosslink) ทำให้มีการสร้างพอลิเมอร์ร่วม หรือมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นระหว่างพอลิเมอร์หนึ่งกับอีกพอลิเมอร์หนึ่ง

ตัวอย่าง ปฏิกิริยาทางเคมีที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างการผสมได้แก่

- การสร้างพอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟท์ หรือแบบบล็อก ด้วยพันธะเคมี โดยการเติมสารเริ่มต้นที่เป็นอนุมูลอิสระลงไปโนพอลิเมอร์ผสม
- การสร้างพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก ด้วยการทำปฏิกิริยาระหว่างสายโซ่หลักของพอลิเมอร์ที่มีขั้ว (intercharge reaction)
- การผสมที่มีการใช้แรงเฉือนสูง อาจจะทำให้บางสายโซ่ของพอลิเมอร์แตกออกจากกัน และสามารถรวมกันเป็นโครงสร้างใหม่โดยอาศัยกลไกของอนุมูลอิสระ ผลที่เกิดขึ้นมีลักษณะเช่นเดียวกับการผสมพอลิโอฟีนในสถานะการผสมที่รุนแรง [29]

## 2.7 สารช่วยผสม

สารช่วยผสม หมายถึง สารที่ผสมลงไปโนพอลิเมอร์เพื่อช่วยในการละลาย และลดแรงตึงผิวระหว่างภูมิภาคที่แยกกันอยู่ของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิด ทำให้ขนาดของอนุภาคในภูมิภาคกระจายตัวลดลง ส่งผลให้พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดผสมเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่เสถียร ไม่มีการแยกภูมิภาคระหว่างการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และให้สมบัติเชิงกลดีขึ้นเมื่อเทียบกับระบบพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นการปรับปรุงแรงยึดระหว่างผิวโดยเติมสารช่วยผสม จึงเป็นสิ่งสำคัญในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม การเติมสารช่วยผสม เป็นวิธีที่นิยมกันมาก เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้สะดวก และให้สมบัติตรงตามความต้องการในการนำไปใช้ประโยชน์ ตัวอย่างเช่น การเติมพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก หรือกราฟท์ที่มีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกับพอลิเมอร์ผสม ทำให้เกิดการยึดเกาะด้วยพันธะเคมีระหว่างภูมิภาค ความหนาของชั้นที่พื้นผิวเพิ่มขึ้น หรือการเติมสารที่มีองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งที่ว่องไวต่อปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ จะไปช่วยส่งเสริมการเป็นเนื้อเดียวกัน ตัวอย่างสารช่วยผสม แสดงไว้ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงการเลือกใช้สารช่วยผสมกับระบบต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ผสม

พอลิเมอร์ผสม		สารช่วยผสม
พอลิเมอร์ A	พอลิเมอร์ B	
HDPE	PBT	PEI
	PC	SEBS
	PEC	SEBS
	PET	EVA
		SEBS
	PP	EPR
		SEBS
		PE-g-PP
	PS	SEBS
PS_PET	SEBS	
LDPE	PA-6	PP-g-MA
		EMA
	PP	EPR
	PS	PE-g-PS
NBR	PP	PP-g-NBR
PA-6	EPDM	EPDM-g-MA
	PP	PP-g-AA
		PP-g-MAA
		PHFA
	PS	PHFA
		PS-g-MA
PBT	PS	PS-b-PBT
	PPO	PS-b-PBT
PP	PS	SEBS
PPO	PEEK-C	PEO-PS-PEO
	PS	SEBS

### 2.7.1 ประเภทของสารช่วยผสม แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้ดังนี้

2.7.1.1 พอลิเมอร์ร่วมที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับพอลิเมอร์หลักในพอลิเมอร์ผสม มีโครงสร้างทางเคมีเช่นเดียวกับพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิด เช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกของ A-B โดยที่ บล็อก A จะละลายอยู่ในพอลิเมอร์ A ส่วน บล็อก B จะละลายอยู่ในพอลิเมอร์ B ทำให้แทรกเข้าไปอยู่ได้ทั้งสองภูมิภาค และทำตัวเป็นสะพานเชื่อมระหว่างภูมิภาคทั้งสอง ที่นิยมนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง ได้แก่ สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน สไตรีน-(เอทิลีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน) ซึ่งใช้เป็นสารช่วยผสม ระหว่างพอลิสไตรีน กับพอลิเอทิลีน หรือพอลิสไตรีน กับพอลิพรอพิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์รวมอื่น ๆ ที่มีโครงสร้างทางเคมีแตกต่างจากพอลิเมอร์ที่นำมาผสมก็มีประสิทธิภาพช่วยในการผสมได้ดีเช่นเดียวกัน ถ้าพอลิเมอร์รวมเหล่านั้นมีแรงยึดเหนี่ยวจำเพาะที่สามารถรวมเข้ากันได้กับพอลิเมอร์หลักเพียงหนึ่งหรือสองชนิด

2.7.1.2 พอลิเมอร์รวมที่ทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์หลักในพอลิเมอร์ผสม เช่น พอลิเมอร์รวมของ C-D ในพอลิเมอร์ผสมของ A-B พอลิเมอร์รวมของ C-D จะทำปฏิกิริยาในแต่ละพอลิเมอร์ ถ้า C รวมเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ A D จะรวมเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ B ซึ่งถือได้ว่า เป็นสารช่วยผสมที่มีประสิทธิภาพมาก ทั้งนี้เพราะเมื่อผ่านกรรมวิธีการขึ้นรูปจะทำให้สัณฐานวิทยาของการผสมมีความเสถียร สารที่มีสมบัติช่วยผสมแบบนี้จะก่อให้เกิดโครงสร้างแหหรือวัลคาไนซ์ ในการผสม ทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีความแข็งแรงและมีเสถียรภาพสูง ทั้งนี้ขึ้นกับพอลิเมอร์หลักในพอลิเมอร์ผสม พอลิเมอร์รวมในกลุ่มนี้ได้แก่

- พอลิเมอร์รวมที่มีหมู่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาต่ออยู่ในโครง หรือ ปลายสายโซ่ของพอลิเมอร์รวม ตัวอย่างหมู่ว่องไว ได้แก่ มาลิกิกแอนไฮไดรด์ ไวนิลแอซีเตต กรดฟูมาริก กรดคาร์บอกซิลิก โครงสร้างพอลิเมอร์รวมแบบนี้ทั้งที่เป็นพอลิเมอร์รวมแบบบล็อก และแบบแรนดอม เช่น สไตรีน-มาลิกิกแอนไฮไดรด์ และเอทิลีนไวนิล-แอซีเตต เป็นสารช่วยผสมระหว่างพอลิสไตรีน กับพอลิเอทิลีน เอทิลีน-พรอพิลีน เทลพอลิเมอร์เป็นสารช่วยผสมระหว่างพอลิเอทิลีน กับพอลิพรอพิลีน และเอทิลีน-พรอพิลีน เทลพอลิเมอร์ ที่ผ่านการต่อกิ่งกับมาลิกิกแอนไฮไดรด์ เป็นสารช่วยผสมระหว่างพอลิเมอร์มีขั้ว กับไม่มีขั้ว

- พอลิเมอร์รวมที่ผ่านการต่อกิ่งกับมอนอเมอร์ เตรียมได้โดยการเติมตัวริเริ่ม โดยทั่วไปใช้เปอร์ออกไซด์ ทำให้เกิดอนุมูลอิสระบนพอลิเมอร์หลักหนึ่ง หรือสองชนิดที่นำมาผสมกัน จากนั้นเติมมอนอเมอร์ลงไปต่อกิ่งกับอนุมูลอิสระของพอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาข้างต้น [30]

สารที่มีสมบัติช่วยผสมในการทำวิทยานิพนธ์ ได้แก่

พอลิสไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน

SBS เป็นเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ซึ่งมีโครงสร้างเป็น 3 บล็อก ประกอบด้วย 2 ภูมิภาค ได้แก่ ภูมิภาคแข็ง และภูมิภาคอ่อน ส่วนของพอลิสไตรีน ( ภูมิภาคแข็ง ) มีประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 10,000 - 30,000 และอยู่ด้านข้างทั้งสองด้านของภูมิภาคอ่อน ส่วนของ 1,4-พอลิบิวทาไดอีน ( ภูมิภาคอ่อน ) มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 30,000 - 100,000 ภูมิภาคแข็งมีรูปร่างทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.01-0.03 ไมครอน ( รูปร่างที่มีลักษณะเป็นแท่งกลมและเป็นแผ่นก็พบอยู่ด้วย ) ทำหน้าที่เชื่อมโยงทางกายภาพให้เกิดโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอทิลีน-ไวนิลแอสีเตต เตรียมได้จากพอลิเมอไรเซชันร่วมระหว่างเอทิลีน กับไวนิลแอสีเตต ซึ่งโดยทั่วไปเป็นการพอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระ ใช้สารตั้งต้นเป็นเปอร์ออกไซด์ หรือ เปอร์เอสเตอร์ เอทิลีน-ไวนิลแอสีเตต มีหลายเกรดแตกต่างกันในเรื่องปริมาณไวนิลแอสีเตต ซึ่งอยู่ในช่วง 5 - 50% ปริมาณของไวนิลแอสีเตตเป็นตัวบ่งบอกว่าพอลิเมอร์จะมีสมบัติอยู่ในช่วงของเทอร์โมพลาสติก หรืออีลาสโตเมอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิโอเลฟินอื่น เช่น LDPE EVA จะมีความเหนียว ความโค้งงอ ลักษณะของการยึดติด และการทนทานต่อการแตกหักได้ดีกว่า EVA มีความเป็นขั้วมากแต่มีความเป็นผลึกน้อย นำมาใช้ในรูปภาชนะบรรจุหีบห่อ หุ้มลวด หุ้มสายเคเบิล ใช้ในงานเคลือบและใช้ในกระบวนการผสมสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการฉีด และการเป่า เอทิลีน-ไวนิลแอสีเตต สามารถใช้ผสมในพอลิเอทิลีน โดยจะมีประโยชน์ช่วยเพิ่มความสามารถในการโค้งงอ และมีความยืดหยุ่น [32, 33]

## 2.7.2 น้ำหนักโมเลกุลและรูปร่างของสารช่วยผสม

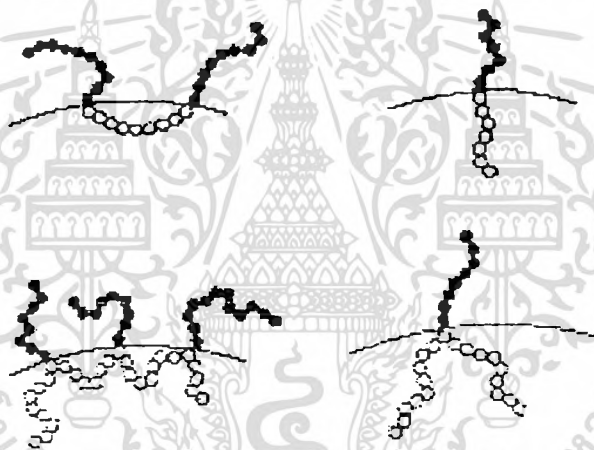
สารช่วยผสมมีมากมาย การเลือกจะต้องพิจารณาถึง น้ำหนักโมเลกุล ปริมาณ และลักษณะรูปร่างโมเลกุล

2.7.2.1 ผลของน้ำหนักโมเลกุล เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการพิจารณาเลือกใช้สารช่วยผสม เพราะมีผลต่อการรวมเข้ากันได้ กล่าวคือ พอลิเมอร์ร่วมที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถจะแทรกเข้าไปในแต่ละวัฏภาคได้ง่าย แต่ทั้งนี้ความยาวของสายโซ่ของพอลิเมอร์ร่วมนั้นต้องพอเพียงที่จะก่อให้เกิดการเกี่ยวพันกับโมเลกุลขององค์ประกอบหลักในพอลิเมอร์ผสม ( ความยาว  $\approx 15-20$  mer ) และน้ำหนักโมเลกุลของสารช่วยผสมมีผลต่อความหนืดในการหลอมเหลว กล่าวคือ ถ้าน้ำหนักโมเลกุลสูง ความหนืดมาก และถ้าน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ความหนืดน้อย ดังนั้นสารช่วยผสมที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีการกระจายของวัฏภาคหนึ่งไปอีกวัฏภาคหนึ่งเพิ่มมากขึ้น และมีการกระจายขนาดอนุภาคอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้แล้วยังต้องคำนึงถึงเวลาในการแพร่ไปอยู่ระหว่างผิวของพอลิเมอร์ผสมด้วย ซึ่งสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ต้องใช้เวลาในการแพร่ช้ากว่าสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ฉะนั้นในการพิจารณาเลือกน้ำหนักโมเลกุลของสารช่วยผสมต้องสมดุลกับเวลาที่ใช้ในการผสม

2.7.2.2 ลักษณะรูปร่างของโมเลกุล สารช่วยผสมต้องรวมเข้ากับองค์ประกอบของแต่ละวัฏภาคของพอลิเมอร์ผสมได้ เช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก หรือกราฟท์ที่มีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกับองค์ประกอบของพอลิเมอร์ผสม ลักษณะรูปร่างที่แตกต่างกันของพอลิเมอร์ร่วมดังกล่าวจะส่งผลต่อสมบัติเชิงกล และความสามารถในการแพร่เข้าไปอยู่ระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์ผสมแตกต่างกันไปด้วย

Fayt ศึกษาการใช้พอลิเมอร์ร่วมที่มีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกับองค์ประกอบของพอลิเมอร์ผสม เป็นสารช่วยผสมของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีน กับพอลิสไตรีน พบว่าพอลิเมอร์ร่วมแบบ 2 บล็อก แบบใช้ตรงจะช่วยเสริมสมบัติเชิงกล สมบัติการยึดติดระหว่างวัฏภาค และสามารถแพร่เข้าไปอยู่ระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์ผสมได้อย่างรวดเร็ว พอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟท์ จะช่วยเสริมสมบัติเชิงกล สมบัติการยึดติดระหว่างวัฏภาคต่ำกว่าแบบ 3 บล็อก และพอลิเมอร์ร่วมแบบสตาร์

Leibler ศึกษาพอลิเมอร์ร่วมแบบ 2 บล็อก ที่มีโครงสร้างสมมาตรกับไม่สมมาตรเป็นสารช่วยผสม พบว่า พอลิเมอร์ร่วมแบบ 2 บล็อก ที่มีโครงสร้างสมมาตรให้ผลการยึดติดระหว่างวัฏภาคแข็งแรงกว่าโครงสร้างที่ไม่สมมาตร แต่เมื่อมีการบ่ม (cure) พอลิเมอร์ร่วมแบบ 2 บล็อก ที่มีโครงสร้างสมมาตรจะมีการเคลื่อนตัวออกจากบริเวณระหว่างผิว ขณะที่โครงสร้างที่ไม่สมมาตรจะอยู่ในรูปของไมเซล ซึ่งสามารถกระจายตัวไปยังองค์ประกอบอื่นได้ [29, 30]



รูปที่ 2.7 แสดงการแพร่ของสารช่วยผสมที่มีโครงสร้างต่างกัน

## 2.8 การวัดความสามารถในการผสมเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม

การตรวจวัดองค์ประกอบของการเข้ากันได้ และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างวัฏภาคมีความสำคัญมากต่อสมบัติ และพฤติกรรมของพอลิเมอร์ผสม เทคนิคโดยทั่วไปจะศึกษาถึงสัณฐานวิทยา และการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจวัดความขุ่น ถ้าของผสมขุ่นแสดงว่าระบบมีการแยกออกจากกันเป็นหลายวัฏภาค เทคนิคที่อาศัยการกระเจิงแสง ตรวจวัดได้ในระดับโครงสร้างโมเลกุล ใช้ความยาวคลื่นสั้น ประมาณ 0.1-0.3 นาโนเมตร ได้แก่ เอกซ์-เรย์ เทอมัล นิวตรอน เทคนิคสมอล-แองเจิล เอกซ์-เรย์ สเปกเทอริง (SAXS) และ สมอล-แองเจิล นิวตรอน สเปกเทอริง (SANS) สามารถวัดได้ในระดับ 5 และ 50 นาโนเมตร ตามลำดับ และเทคนิค ไวต์-แองเจิล เอกซ์-เรย์ สเปกเทอริง (WAXS) สามารถวัดได้ละเอียดระดับโมเลกุล (0.1-1 nm)

**2.8.1 ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับแสง** เป็นการทดสอบที่อาศัยการตรวจวัดค่าดัชนีหักเห (refractive indices :  $n$ ) ตรวจวัดได้ละเอียดระดับไมครอน พอลิเมอร์ผสมเป็นเนื้อเดียวกันจะมีดัชนีหักเหเพียง 1 ค่า แต่ถ้าพอลิเมอร์ผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน กล่าวคือ พอลิเมอร์หนึ่งมีลักษณะเป็นวัฏภาคที่กระจายตัวอยู่ในอีกพอลิเมอร์หนึ่ง ทำให้เกิดการกระเจิงแสงของอนุภาคกระจายตัว ส่งผลให้มีค่าดัชนีหักเหมากกว่า 1 ค่า การทดสอบวิธีนี้อาจทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันมีลักษณะเหมือนเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจาก

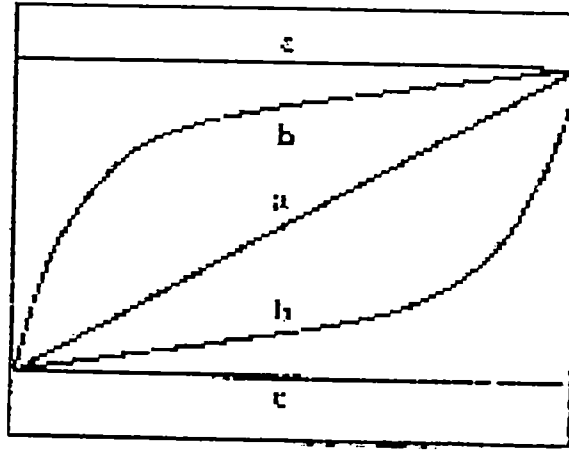
- ฟิล์มที่ทดสอบมีลักษณะบางมาก
- อนุภาคของพอลิเมอร์ที่กระจายตัวมีขนาดเล็กมาก ทำให้การกระเจิงแสงลดลง
- พอลิเมอร์ในพอลิเมอร์ผสมมีดัชนีหักเหเหมือนกัน แต่การกระเจิงแสงไม่เท่ากัน

### 2.8.2 อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว : $T_g$

อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์ คือ อุณหภูมิที่โมเลกุลของสายโซ่เกิดการสั่นเมื่อได้รับพลังงานอย่างพอเพียง และตำแหน่งของอุณหภูมิขึ้นกับธรรมชาติของพอลิเมอร์ เทคนิคที่ใช้วัดอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ได้แก่ ไดอิเล็กทริก รีแล็กเซชัน การทดสอบเชิงกล นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริเมทรี และดิฟเฟอเรนเชียล เทอมัล อแนลไลซิส ซึ่งจำกัดในการวัดอยู่ในช่วง 2-15 นาโนเมตร ถ้าในระบบพอลิเมอร์ผสม ปรากฏเห็นค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว 2 ค่า แสดงว่าพอลิเมอร์ผสมแยกออกเป็น 2 วัฏภาค ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วกับองค์ประกอบของพอลิเมอร์แสดงดังรูปที่ 2.8 ความแตกต่างของอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $\Delta T_g$ ) มีความสำคัญมาก ดังนั้นเทคนิคการวัดอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วจะไม่นำมาใช้กับระบบพอลิเมอร์ผสมที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วต่างกันเพียง 20 °K ความกว้างของอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม คือในระบบของผสมที่สามารถเข้ากันได้จะให้ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วแคบ ขณะที่ในระบบของผสมที่เข้ากันไม่ได้จะให้ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว : Tg



องค์ประกอบในพอลิเมอร์ผสม

รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วกับองค์ประกอบ

ในพอลิเมอร์ผสม

เมื่อ A แทนพอลิเมอร์ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน B แทนพอลิเมอร์ผสมเป็นเนื้อเดียวกันบางส่วน

C แทนพอลิเมอร์ผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

สมการแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วของผสมที่เป็นเนื้อเดียวกัน และอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วของแต่ละองค์ประกอบ ( Fox equation ) ดังนี้

$$\frac{1}{T_g} = \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{T_{g_i}} \quad (2.15)$$

เมื่อ  $w_i$  เป็นสัดส่วนโดยมวลขององค์ประกอบ  $i$

$n$  เป็นจำนวนองค์ประกอบ

สมการของ Utracki และ Jukes กล่าวไว้ดังนี้

$$\frac{\ln T_g}{T_g} = \sum_{i=1}^n \frac{w_i \ln T_{g_i}}{T_i} \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parada และ Perces กล่าวหาของผสมที่เข้ากันได้จะให้ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสูงกว่าค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของแต่ละองค์ประกอบ ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงระหว่างโมเลกุลของแต่ละองค์ประกอบ

**2.8.3 เทคนิค นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ และอินฟราเรด สเปกโตรสโกปี**  
จะตรวจวัดได้ในระดับโมเลกุล

**2.8.3.1 นิวเคลียร์แมกเนติก สเปกโตรสโกปี** เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการวัดระดับพลังงานที่แตกต่างกันของนิวเคลียสที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็ก ใช้ในการศึกษาสูตรโครงสร้างของสาร พารามิเตอร์ที่ใช้ตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ผสม ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของครึ่งชีวิตของกระบวนการ สปิน-แลตทิซ รีแล็กซชัน เรียกว่า  $T_1$  และของ สปิน-สปิน รีแล็กซชัน เรียกว่า  $T_2$  โดยที่  $T_1$  หมายถึง นิวคลีโอที่มีพลังงานสูงเกิดการสูญเสียพลังงานแก่สิ่งแวดล้อม  $T_2$  หมายถึง นิวคลีโอที่มีพลังงานสูงเกิดการสูญเสียพลังงานโดยส่งผ่านไปยังนิวเคลียสข้างเคียงที่มีค่า  $\Delta E$  เท่ากันจึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงประชากรในสถานะของสปินทั้งสอง การจัดเรียงตัวของโมเลกุลจะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของการส่งผ่านพลังงานด้วยกระบวนการ สปิน-แลตทิซ รีแล็กซชัน ตัวอย่างเช่น การจัดเรียงตัวของโมเลกุลค่อนข้างอิสระ การส่งผ่านพลังงานด้วยกระบวนการ สปิน-แลตทิซ รีแล็กซชัน ไม่มีประสิทธิภาพ  $T_1$  จะมาก ทำให้ นิวเคลียร์แมกเนติก สเปกตรัม มีฟีกของการดูดกลืนคมชัดดี ในขณะที่โมเลกุลอยู่อย่างไม่อิสระจะทำให้  $T_1$  น้อย ฟีก นิวเคลียร์แมกเนติก สเปกตรัมกว้าง จากหลักการดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ผสมได้

**2.8.3.2 อินฟราเรด สเปกโตรสโกปี** เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของสาร อินฟราเรดสเปกตรัม ขึ้นกับธรรมชาติของโมเลกุล และอนุภาคที่มีอันตรกิริยาเฉพาะระหว่างหมู่ฟังก์ชันของคู่พอลิเมอร์ ดังนั้นในการตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ผสม จึงสังเกตได้จากการเปลี่ยนตำแหน่ง และลักษณะของฟีกการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ที่เกิดจากการแกว่งไปมาของการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ขั้วคู่ของโมเลกุล ตัวอย่างการตรวจสอบการดูดกลืนหมู่คาร์บอนิล ใน พอลิเอสเทอร์ กรณีที่เกิดพันธะไฮโดรเจนกับพอลิเมอร์อื่น เป็นผลให้ค่าคงที่แรงของพันธะ C=O ลดลง และความถี่ของการดูดกลืนหมู่คาร์บอนิลก็ลดลงด้วย และในกรณีที่หมู่คาร์บอนิลรวมตัวกันเองได้แก่ คาร์บอกซิลิกเอซิด หรือรวมกับหมู่ฟังก์ชันอื่นในพอลิเมอร์ ได้แก่ C=O...HN ในพอลิเอไมด์ ผลการเปลี่ยนตำแหน่งในการดูดกลืนหมู่คาร์บอนิลจะขึ้นกับจำนวน และชนิดของการเกิดอันตรกิริยา

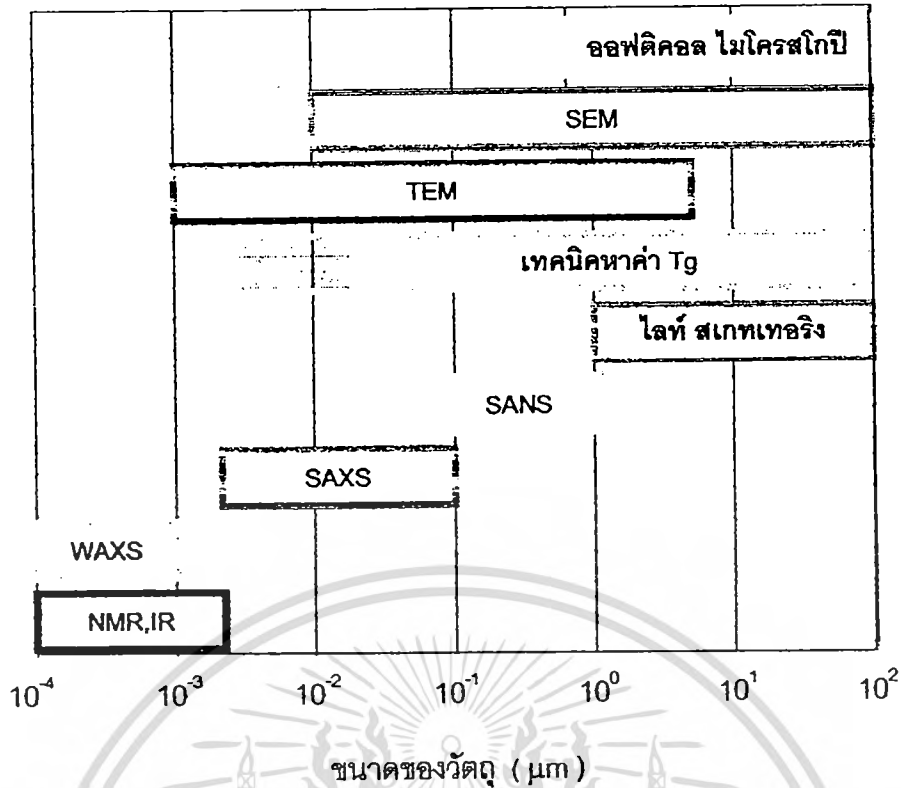
2.8.4 ไมโครสโกปี เป็นวิธีที่สำคัญและนิยมใช้ในการทำนายสมบัติของพอลิเมอร์ผสม วิธีนี้เหมาะสำหรับพอลิเมอร์ผสมที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ซึ่งถือได้ว่าพอลิเมอร์ผสมนี้มีลักษณะพิเศษ เพราะการใช้วิธีอื่นที่กล่าวไว้ในข้างต้นอาจจะทำให้เข้าใจผิดได้ว่าเป็นพอลิเมอร์ผสมที่ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แบ่งได้เป็น ออฟทิกัล หรือ ไลท์ ไมโครสโกปี ( OM ) สแกนนิ่ง อิเล็กตรอน ไมโครสโกปี ( SEM ) และ ทรานสมิสชัน อิเล็กตรอน ไมโครสโกปี ( TEM )

2.8.4.1 ออฟทิกัล ไมโครสโกปี เป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจสอบขนาดของวัฏภาค และการกระจายวัฏภาค แต่ไม่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับอันตรกิริยาระหว่างผิว และความสามารถในการเข้ากันได้ของ 2 วัฏภาค การเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทำได้ง่าย แต่เทคนิคนี้ไม่มีประสิทธิภาพพอเพียงในการตรวจวัดวัฏภาคที่มีอนุภาคขนาดเล็ก หรือพอลิเมอร์ผสมในระดับอนุภาค อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของวิธีนี้ยังขึ้นกับเทคนิคต่าง ๆ ได้แก่ โพลาริซ-ไลท์ เฟสคอนทราสต์ ดิฟเฟอเรนเชียล อินเทอเฟส คอนทราสต์ และ ฟลูออเรสเซนซ์

2.8.4.2 สแกนนิ่ง อิเล็กตรอน ไมโครสโกปี เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัฏภาคพอลิเมอร์ ข้อมูลที่ได้จะปรากฏให้เห็นที่บริเวณพื้นผิวของตัวอย่าง มีกำลังขยาย  $20-10^5$  เท่า ความสามารถในการแยกประมาณ 20 นาโนเมตร ซึ่งสูงกว่า ออฟทิกัล ไมโครสโกปี ถึง 50 เท่า และง่ายต่อการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

2.8.4.3 ทรานสมิสชัน อิเล็กตรอน ไมโครสโกปี เป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจสอบโครงสร้างผลึก การจัดเรียงตัว และลักษณะสัณฐานวิทยา โดยใช้  $OsO_4$  และ  $RuO_4$  เป็นตัวย้อมสี ทำให้เห็นการแยกของวัฏภาคชัดเจนขึ้น ความสามารถในการแยกอยู่ในช่วง 2-3 นาโนเมตร ซึ่งสูงกว่า ออฟทิกัล ไมโครสโกปี และ สแกนนิ่ง อิเล็กตรอน ไมโครสโกปี การเตรียมตัวอย่างจะต้องเตรียมเป็นฟิล์มบางน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร

ความสามารถในการเข้ากันได้ และ อันตรกิริยาระหว่างผิว อาจตรวจวัดได้โดยใช้เทคนิค ไมโครสโกปีรวมกับการใช้เทคนิคอื่น Ultracki ได้ประมาณช่วงในการใช้เทคนิคเหล่านี้ศึกษา สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม แสดงได้ดังรูปที่ 2.9 [34, 36]



รูปที่ 2.9 แสดงความสามารถในการแยกของเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ตรวจวัดความเป็นเนื้อเดียวกัน

## 2.9 เทคนิคการฉายรังสี

การนำรังสีพลังงานสูงมาใช้ประโยชน์เป็นเทคนิคที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพราะเป็นการนำพลังงานที่ธาตุกัมมันตรังสีปล่อยออกมาใช้อย่างคุ้มค่าเกิดประโยชน์สูงสุด พลังงานจากรังสีก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของวัสดุ การใช้รังสีเป็นการลดการใช้สารเคมีจึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย นอกจากนี้เทคนิคการฉายรังสีสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วซึ่งเทคนิคอื่นไม่อาจทำได้

### 2.9.1 ประเภทของการฉายรังสี แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.9.1.1 รังสีที่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน ( ionizing radiation ) เกิดจากไอโซโทปรังสี ได้แก่ โคบอล-60 สทรอนเดียม-90 และซีเซียม-137 พลังงานในกลุ่มนี้ได้แก่

- รังสีแกมมาเป็นพลังงานที่แผ่ออกจากนิวเคลียสของอะตอมธาตุกัมมันตภาพรังสีในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ โมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่รังสีผ่านจะแตกตัวเป็นไอออนได้มาก มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง แต่ไม่นิยมใช้เนื่องจากแหล่งกำเนิดรังสีควบคุมยาก เวลาในการใช้งานนาน

- ตัวเร่ง ลำอิเล็กตรอน เป็นเครื่องมือที่ก่อให้เกิดการแตกตัวอีกชนิดหนึ่ง เกิดจากการให้ความร้อนกับแผ่นโลหะจันอิเล็กตรอนหลุดออกมา สามารถควบคุมปริมาณของอิเล็กตรอนและใช้สะดวกกว่ารังสีแกมมา นิยมนำมาใช้ในงานด้านพอลิเมอร์

2.9.1.2 รังสีที่ไม่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน ( nonionizing radiation ) เกิดจากเครื่องเร่งอิเล็กตรอน ได้แก่ เรโซแนนท์ ทราנסฟอรมเมอร์ อิเล็กตรอนจากเครื่องเหล่านี้มีอำนาจในการทะลุทะลวงน้อยกว่ารังสีไอโซโทป แต่จะควบคุมการทำงานได้ง่ายกว่า และสามารถปิดเครื่องได้เมื่อไม่ต้องการใช้งาน โดยทั่วไปแล้วนำมาใช้ในงานที่ต้องการความรวดเร็วในการผลิต เช่น การให้ความร้อน การทำให้แห้ง และการบ่มพลังงานในกลุ่มนี้ได้แก่

- รังสีอัลตราไวโอเล็ต ต้นกำเนิดของรังสี ได้แก่ พลาสมา-อาร์ค คาร์บอน-อาร์ค และหลอดทั้งสเทน มีพลังงานในการทะลุทะลวงพอเพียงสำหรับแผ่นฟิล์มบาง และบริเวณพื้นผิวของพลาสติกเท่านั้น ใช้ในงานเคลือบและงานพิมพ์
- รังสีอินฟราเรด หรือพลังงานความร้อนนำมาใช้ในงาน เทอโมฟอร์มิง การอัดรีดแผ่นฟิล์ม การจัดเรียงตัว สามีเนติง การทำให้แห้ง และการบ่ม
- พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า นำมาใช้ในงานเชื่อมผลิตภัณฑ์ ให้ความร้อนแก่พลาสติกผสมโลหะก่อนผ่านกระบวนการผลิต การบ่มเพื่อการยึดติด
- พลังงานความถี่คลื่นวิทยุ นำมาใช้ในงาน ให้ความร้อนพลาสติกก่อนผ่านกระบวนการผลิต การบ่มเรซิน การขยายตัวเม็ดพอลิสไตรีน การหลอม หรือ การยึดติดพลาสติกด้วยความร้อน และการทำให้แห้ง
- ไมโครเวฟ นำมาใช้ในงาน การบ่ม การให้ความร้อนก่อนผ่านกระบวนการผลิต การหลอม และการทำให้แห้ง [36]

2.9.2 หน่วยวัดปริมาณรังสี ปริมาณรังสีหมายถึงพลังงานรังสีที่ถูกดูดกลืนต่อหน่วยมวลสารของตัวกลางหรือวัตถุที่ได้รับรังสี เรียกว่า แอพซอพโดส หรือ โดส มีหน่วยเป็น แรด ( rad ) วัตถุใดได้รับรังสีแล้วรังสีนั้นถ่ายเทพลังงานให้แก่วัตถุมีค่าเท่ากับ 100 เจริก ( erg ) ต่อกรัมของวัตถุ หมายความว่าวัตถุนั้นได้รับรังสี 1 แรด หรือ ในหน่วย S.I. เรียกว่า เกรย์ ( gray )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งหมายถึง การถ่ายเทพลังงานของรังสีให้แก่วัตถุมีค่าเท่ากับ 1 จูล ( joule ) ต่อมวลสาร 1 กิโลกรัม [38]

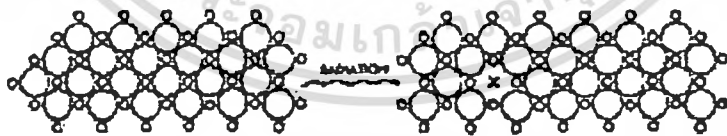
- 1,000 แรด เท่ากับ 1.0 กิโลแรด ( krad )
- 100 กิโลแรด เท่ากับ 1.0 กิโลเกรย์ ( kGy )
- 1 กิโลเกรย์ เท่ากับ 0.1 เมกกะแรด ( Mrad )

### 2.9.3 ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงเมื่อฉายรังสี

- ความเข้มของรังสีที่ใช้
- ปริมาณก๊าซออกซิเจนขณะทำการฉายรังสี
- เสถียรภาพของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นระหว่างการฉายรังสี
- โครงสร้างทางเคมีและสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์

### 2.9.4 ผลของการฉายรังสีที่มีต่อพอลิเมอร์

2.9.4.1 ทำลายโครงสร้างของพอลิเมอร์ และการเสื่อมสภาพ การฉายรังสีทำให้พันธะโคเวเลนต์ในโซ่พอลิเมอร์ เกิดการแตกหัก ( cracking ) เกิดการแตกร้าว ( crazing ) เกิดสีซีดจาง ( discoloration ) แข็ง ( hardening ) เปราะ ( embrittlement ) และทำให้สมบัติอื่น ๆ ลดลง เช่น มวลโมเลกุล การกระจายมวลโมเลกุล ไซกิงสาขา ความเป็นผลึก แต่การละลายเพิ่มขึ้น หรือการฉายรังสีอาจมีผลทำให้อะตอมหลุดออกจากวัสดุที่เป็นของแข็ง เป็นเหตุให้เกิดการแทนที่ที่ว่างด้วยอะตอมอื่น เกิดจุดบกพร่องในโครงสร้างโมเลกุลหลัก เป็นการทำลายโครงสร้างของพอลิเมอร์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล เคมี และทางไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงผลของรังสีที่ทำให้เกิดจุดบกพร่องในโครงสร้างหลักของพอลิเมอร์

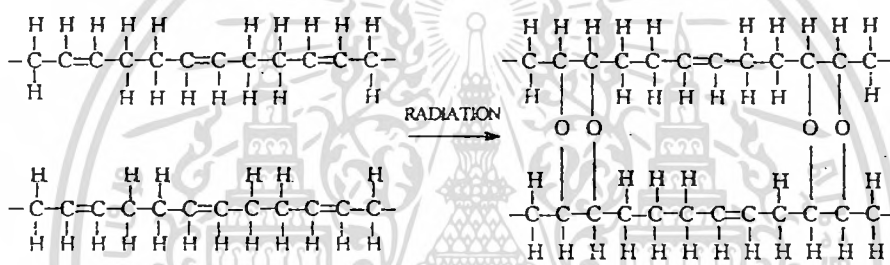
2.9.4.2 การฉายรังสีช่วยปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ ทำได้โดยควบคุมปริมาณวิธี และเทคนิคการฉายรังสี ทำให้อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากการแตกหักของพันธะคาร์บอนเกิดการเชื่อมโยง และเกิดไซกิงสาขา ผลดีที่เกิดจากพันธะเชื่อมโยง ได้แก่ ความทนทานต่อความร้อน เสถียรต่ออนุมูลอิสระใช้งานสูงขึ้น และมีการไหลเย็น การแตกหักเนื่องจากความเค้น ( stress

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cracking) การแตกหักเนื่องจากอุณหภูมิ ( temperature cracking ) ลดลง สำหรับโมเลกุลอิลาสโตเมอร์เกิดการเชื่อมโยง หรือเกิดโซ่กิ่งสาขาต่างๆทำให้สูญเสียสภาพยืดหยุ่นพอลิเมอร์แข็ง และเปราะ สมบัติทางกายภาพของวัสดุเทอร์โมพลาสติกเมื่อผ่านการฉายรังสีคล้ายคลึงกับวัสดุเทอร์โมเซต ดังตารางที่ 2.11 ปริมาณรังสีที่ช่วยให้พอลิเมอร์เกิดการเชื่อมโยงขึ้นกับชนิดของพอลิเมอร์ เช่น พอลิเอทิลีน 20 - 30 Mrads พอลิไวนิลคลอไรด์ 5 - 8 Mrads พอลิไวนิลดีนคลอไรด์ 8 - 16 Mrads เอทิลีนไวนิลแอซีเตต 10 - 15 Mrads และ เอทิลีนคลอโรไตรฟลูออโรเอทิลีน 6 - 10 Mrads

2.9.4.3 การฉายรังสีทำให้เกิดพอลิเมอร์เชชัน เมื่อได้รับรังสีพันธะโคเวเลนต์

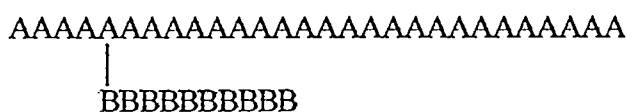
จะเกิดการแตกหักให้อนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระเหล่านี้เกิดการรวมตัวเป็นพอลิเมอร์ นิยมนำมาใช้กับงานปั๊ม งานเคลือบ และงานยึดติด



รูปที่ 2.11 แสดงการเชื่อมโยงของพอลิเอทิลีน

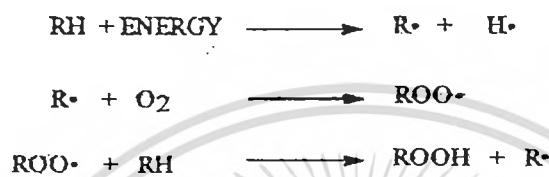
2.9.4.4 การฉายรังสีทำให้เกิดการตอกลง ทำได้โดยการฉายรังสีพอลิเมอร์หลักจาก

นั้นเติมมอนอเมอร์ที่ต่างชนิดกับพอลิเมอร์หลัก แล้วทำการฉายรังสีอีกครั้งหนึ่ง ตัวอย่างเช่นการฉายรังสีช่วยให้เกิดการตอกลงของมอนอเมอร์ชนิดหนึ่ง ( B ) บนสายโซ่หลัก ( A ) ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งพอลิเมอร์ที่ผ่านการตอกลงจะมีสมบัติผสมของ A และ B และถ้าเลือกชนิดและความเข้มของรังสีที่เหมาะสม การฉายรังสีอาจทำให้ปฏิกิริยาการตอกลงเกิดที่พื้นผิวบาง ๆ หรืออาจเกิดการตอกลงอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน



รูปที่ 2.12 แสดงผลของรังสีที่ทำให้เกิดการตอกลงของมอนอเมอร์(B) กับ พอลิเมอร์ชนิดที่ต่างกัน(A)

2.9.4.5 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของพอลิเมอร์ พอลิเมอร์สามารถสลายตัวได้ ที่ความเข้มของรังสีสูงในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน และการสลายตัวของพอลิเมอร์จะเกิดขึ้นได้เร็วเมื่อมีออกซิเจน เนื่องจากพอลิเมอร์สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเร่งด้วยตัวเอง ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเริ่มต้นจะเกิดขึ้นในอัตราช้า แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นที่ละน้อยจนกระทั่งมีค่าคงที่ กล่าวคือเมื่อพอลิเมอร์ได้รับพลังงานจะเกิดการสลายพันธะให้พอลิเมอร์อนุมูลอิสระ ซึ่งสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้เปอร์ออกซิอนุมูลอิสระ ( $ROO\cdot$ ) และเปอร์ออกซิอนุมูลอิสระจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องกับพอลิเมอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของพอลิเมอร์

ตารางที่ 2.2 แสดงผลของรังสีที่มีต่อพอลิเมอร์ประเภทโพลีเอทิลีน

ชนิดของพอลิเมอร์	ปริมาณความเข้มของรังสีที่ทำให้พอลิเมอร์เริ่มเสื่อมสภาพ (Mrad)	ปริมาณความเข้มของรังสีที่ทำให้พอลิเมอร์เสื่อมสภาพ 25% (Mrad)
Polyacrylic	2-4	10-15
Butyl	2-3	10
Chlorosulfonated polyethylene	-	30
EPDM (ethylene-propylene-diene)	10	100+
Fluoroelastomer	5	50-70
Natural	10	100-200
Nitrile	-	100
Polychloroprene (Neoprene)	6	50
Silicones	-	50-100
Styrene-butadiene	6-8	100+
Urethane	20	600-800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงผลของรังสีที่มีต่อพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก

ชนิดของพอลิเมอร์	ความเสถียรต่อรังสี	ปริมาณความเข้มของรังสีที่ทำให้พอลิเมอร์เสื่อมสภาพ ( Mrads )
ABS	ดี	100
Acetals	ไม่ดี	1-2
Acrylics		
PMMA	ปานกลาง	5
Others	ปานกลาง	10
Amides		
Aliphatic	ปานกลาง	50-100
Aromatic	ดีมาก	1000
Cellulosics	ปานกลาง	20
Polycarbonate	ดี	100+
Polyesters (aromatic)	ดี	100
Polyolefins		
Polyethylene	ดี	100
Polypropylene	ปานกลาง	10
Polymethylpentene	ดี	30-50
Copolymer	ดี	50
Polystyrene	ดีมาก	1000
Copolymer	ดี	100-500
Polysulfones	ดีมาก	1000
Polyvinyls		
PVC	ดี	50-100
Copolymer	ปานกลาง	10-40

## 2.9.5 ข้อดี-ข้อเสียของการฉายรังสี

### 2.9.5.1 ข้อดีของการฉายรังสี

- ปฏิกริยาเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าการใช้กระบวนการทางเคมี
- ปฏิกริยาเกิดขึ้นได้ที่สภาวะปกติ ความดันบรรยากาศ
- มอนอเมอร์เกิดการพอลิเมอไรเซชันได้โดยไม่ต้องใช้ตัวเร่ง สารกระตุ้น หรือ องค์ประกอบทางเคมีอื่น ที่อาจเป็นผลทำให้พอลิเมอร์ไม่บริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

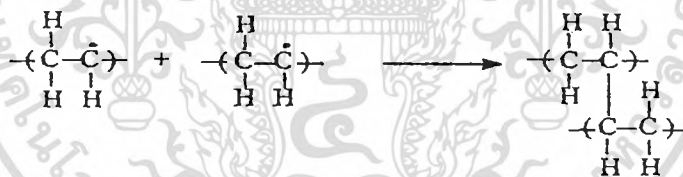
- ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นถูกรบกวนเล็กน้อยจาก สี สารตัวเติม สารต้านออกซิเจน และสารประกอบอื่นที่เติมลงไปในพอลิเมอร์
- การเชื่อมโยง และการต่อกิ่งสามารถทำได้โดยตรงหลังจากขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เป็น ฟิล์ม ท่อ และ อื่นๆ ง่ายต่อการทำให้เกิดปฏิกริยาที่ผิวของวัสดุ
- ไม่มีภาวะผสมของสารเคมีในผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์

### 2.9.5.2 ข้อเสียของการฉายรังสี

- ราคาค่าก่อสร้างแพง
- ต้องมีการควบคุม และป้องกันอันตรายที่เกิดจากรังสีอย่างเคร่งครัด รวมทั้งต้องมีบุคลากรที่มีความชำนาญ และเพิ่มความระมัดระวังในการใช้เครื่องควบคุมต้นกำเนิดรังสี [37]

### 2.9.6 ผลของรังสีที่มีต่อพอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน และพอลิสไตรีน

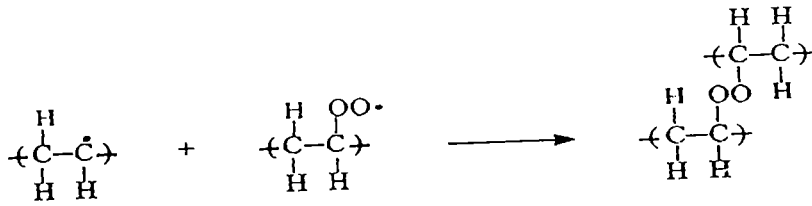
พอลิเอทิลีน เกิดการเชื่อมโยงได้เมื่อมีการควบคุม และจำกัดปริมาณออกซิเจนในขณะฉายรังสี หรือฉายรังสีที่ความเข้มสูง และเกิดการแตกหักของสายโซ่เมื่อฉายรังสีที่ความเข้มต่ำในสภาวะมีออกซิเจน ปฏิกริยาการรวมตัวของอนุมูลอิสระ ( recombination ) ก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยง



การฉายรังสีพอลิเอทิลีนที่ความเข้มต่ำ ทำให้เกิดเปอร์ออกไซด์มากกว่าเกิดปฏิกริยาการรวมตัว

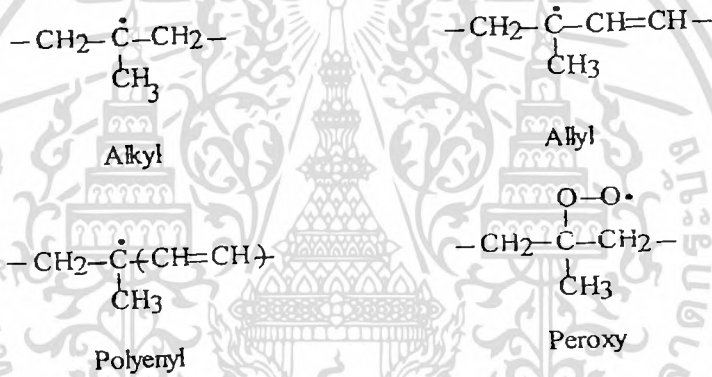


การฉายรังสีที่ความเข้มสูง จะเกิดการแข่งขันกันระหว่างปฏิกริยาการรวมตัวกับการเกิดเปอร์ออกไซด์ และเกิดปฏิกริยาใหม่ขึ้นระหว่างอนุมูลอิสระของพอลิเอทิลีนกับอนุมูลอิสระของเปอร์ออกไซด์

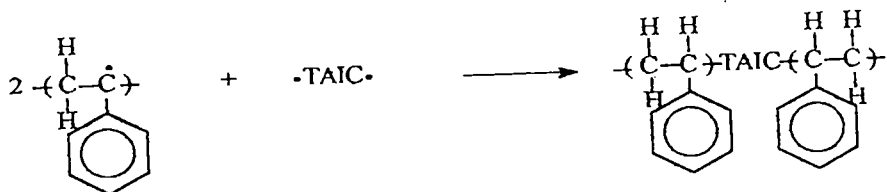


อย่างไรก็ตามที่ความเข้มรังสีสูง ปฏิกิริยาการรวมตัวจะเกิดขึ้นในปริมาณมากกว่า เนื่องจากออกซิเจนแพร่เข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระได้ช้า ปริมาณอนุมูลอิสระของเปอร์ออกไซด์จึงลดลง ดังนั้นจะได้ว่าพันธะเชื่อมโยงของพอลิเอทิลีนเพิ่มขึ้นตามความเข้มรังสีที่เพิ่มขึ้น

**พอลิพรอพิลีน** เกิดการเชื่อมโยงได้เท่ากับการแตกสลายพันธะของสายโซ่ โดยขึ้นกับความเข้มรังสีที่ใช้ การเชื่อมโยงเกิดขึ้นลักษณะเดียวกับพอลิเอทิลีน และการแตกสลายพันธะเกิดจากการสลายตัวของอนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเมื่อผ่านการฉายรังสีแสดงได้ดังนี้



**พอลิสไตรีน** มีสมบัติทนรังสีค่อนข้างสูง พิจารณาจากตารางที่ 2.1 เนื่องจากมีอะโรมาติก พอลิสไตรีนเสื่อมสลายได้เมื่อฉายรังสีที่ความเข้มสูงในอากาศ และเกิดการเชื่อมโยงภายในโมเลกุลเมื่อฉายรังสีในสุญญากาศ (ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นลักษณะเดียวกับพอลิเอทิลีน) หรือเกิดการเชื่อมโยงเมื่อมีการเติมสารประเภทสารช่วยในการเชื่อมโยง เช่น ไทรอซิลิล ไอโซไซยานูเรท (TAIC) แสดงได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9.7 การฉายรังสีพอลิเมอร์ผสม

2.9.7.1 การฉายรังสีพอลิเมอร์ผสมที่เป็นเนื้อเดียวกัน การรวมเป็นเนื้อเดียวกัน มีขีดจำกัดในช่วงของ องค์ประกอบ อุณหภูมิ หรือความดัน ดังนั้นในการฉายรังสีจึงเป็นการขยาย ช่วงของการรวมเป็นเนื้อเดียวกันให้กว้างขึ้น หรือสมบูรณ์มากขึ้น โดยการทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยง ภายในพอลิเมอร์หนึ่งในสองพอลิเมอร์ที่นำมาผสม Nishi และ Kwei ศึกษาพอลิเมอร์ผสม ระหว่างพอลิไวนิลเมทิลอีเทอร์ ( PVME ) กับ พอลิสไตรีน ที่อัตราส่วน 50/50 โดยใช้รังสีแกมมา ทำให้เกิดการเชื่อมโยงภายในสายโซ่ PVME พบว่า คู่พอลิเมอร์ผสมสามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างขึ้น

2.9.7.2 การฉายรังสีพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นการปรับปรุง สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม โดยทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยง การศึกษาฉายรังสีพอลิเมอร์ผสมของ พอลิเอทิลีนกับอิลาสโตเมอร์ พบว่าทำให้การแยกตัวภาวลดลง ความแข็งแรง และความทนทาน ต่อความร้อนเพิ่มขึ้น

## 2.10 สารตัวเติมในพอลิเมอร์ผสม

พอลิเมอร์ก่อนที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ตามต้องการนิยมผสมด้วยสารเติมแต่งต่างๆ เพื่อช่วยในการผลิต เพิ่มสีส่น และเพิ่มสมบัติบางประการให้เหมาะต่อการใช้งาน เช่น ทำให้ แข็งขึ้น ยึดหยุ่นได้ ราคาถูกลง ป้องกันการย่อยสลาย ช่วยให้กระบวนการแปรรูปง่ายขึ้น เป็นต้น สารเติมแต่งมีหลายประเภท เช่น

สารตัวเติม ( fillers ) ได้แก่ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ที่ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มความหนืด ลดต้นทุน ลดการหดตัวในแม่พิมพ์ และปรับปรุงสมบัติอีกหลายด้าน ขนาด รูปร่างของสารตัวเติม มีอิทธิพลต่อพอลิเมอร์อย่างมาก สารตัวเติมที่เป็นแผ่น และแท่ง มีค่าอัตราส่วนของความยาวต่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง ( aspect ratio ) ต่ำ จึงขัดขวางการจัดตัวของพอลิเมอร์ สารตัวเติมที่เป็น เส้นใยมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวสูง ให้ความแข็งแรงสูงขึ้น และมีสมบัติเป็น แอนไอโซโทรปิก สารตัวเติมทรงกลมไม่มีอัตราส่วนของความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง ทำให้ พอลิเมอร์มีสมบัติเป็นไอโซโทรปิก สารตัวเติมในอุตสาหกรรมพลาสติกจัดเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ หลายเกรด แต่ละเกรดมีความแตกต่างกันดังนี้

- ขนาดอนุภาค และการกระจาย อนุภาคขนาดเล็กทำให้วัสดุมีสมบัติทนต่อแรงดึง ค้ำมอดูลัส และความแข็งแกร่งสูง อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ทำให้วัสดุมีความแข็งแรง น้อยกว่าก่อนการผสมสารตัวเติม
- รูปร่างของอนุภาค และความพรุน ตัวอย่างเช่น ดินเหนียวมีลักษณะเป็นแผ่นจึงทำให้ ผลิตภัณฑ์เป็นแอนไอโซโทรปิก ส่วนอนุภาคที่มีผิวเรียบยากที่จะยึดติดกับพอลิเมอร์ อนุภาคที่มีรูพรุนสามารถที่จะดูดซับสารตัวเติมชนิดอื่นที่ผสมอยู่ในพอลิเมอร์ไว้ทำให้ ประสิทธิภาพของสารตัวเติมเหล่านั้นลดลง
- ธรรมชาติทางเคมี พื้นผิวของสารตัวเติมมีความสำคัญมาก สารตัวเติมชนิดแร่ ( mineral filler ) มีหมู่ที่มีขั้ว เช่นไฮดรอกซิลทำให้สามารถดึงดูดกับน้ำได้ดี แต่รวมกับ พอลิเมอร์ยากจึงต้องนำมาปรับผิวเสียก่อน ตัวอย่างเช่น แคลเซียมคาร์บอเนตเคลือบ ผิวด้วยกรดสเตียริก หมู่คาร์บอกซิลิกของกรดสเตียริกจะทำปฏิกิริยากับสารตัวเติม ส่วนด้านที่เป็นอะลิฟาติกของกรดสเตียริกจะทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์
- สิ่งปนเปื้อน ตัวอย่างเช่น ซีลีเนียม และไอออนของโลหะ เช่น Cu, Mg, Fe อาจก่อให้เกิด ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่วน Pb สามารถทำปฏิกิริยากับสารเติมแต่งที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ ประกอบได้ทำให้พลาสติคมีสีซีดจาง

สามารถแบ่งสารตัวเติมตามสมบัติของวัสดุหลังการผสมเป็น 2 ประเภท ได้แก่

- สารตัวเติมที่มีสมบัติช่วยเสริมแรง ใช้เพื่อลดต้นทุน เพิ่มความแข็งแรง ความทนทาน ต่อแรงกระแทก และความแข็งดึง เช่น เซมาด้าที่ผสมในยาง
- สารตัวเติมที่ไม่มีสมบัติช่วยเสริมแรง ใช้เพิ่มปริมาณเพื่อลดต้นทุนการผลิต เพิ่มค่า มอดูลัส ความแข็งแกร่ง ทำให้พอลิเมอร์มีสี ปรับปรุงความเป็นฉนวนไฟฟ้า และช่วย ให้กระบวนการผลิตทำได้ง่าย รวมทั้งยังทำให้ผลิตภัณฑ์น่าใช้ เช่น แคลเซียม คาร์บอเนต ดินเหนียวซึ่งใช้ลดการยึดเกาะ ( tack ) ของยาง [39]

# บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีรายละเอียด ดังนี้

3.1.1 พอลิเมอร์หลัก ได้แก่ พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และ พอลิพรอพิลีน

พอลิสไตรีน

STYRON 656D

บริษัท PACIFIC PLASTICS (THAILAND) Co. LTD.

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ POLENE JJ 4324 บริษัท TPI. Co. LTD.

พอลิพรอพิลีน

General-Purpose Polypropylene: PRO-FAX 6331

บริษัท HMC. Co. LTD.

ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติของพอลิเมอร์หลัก

สมบัติที่ทดสอบ	ชนิดของพอลิเมอร์	พอลิสไตรีน	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	พอลิพรอพิลีน
Melt Flow Rate, g/10min		8.0	5.5	
Melt Flow Index 2.16kg/190°C,g/10min				12
Vicat Softening Temperature, °C		99	95	-
Tensile Strength at Break ,N/mm <sup>2</sup>		6100	> 11	
Tensile Strength at Yield ,psi (MPa)				5,000 (34)
Elongation at Break ,%		> 150	>600	
Elongation at Yield ,%				10
Notched Izod Impact Strength, ft·lbs/in (J/m)		-	-	0.5 (25)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 สารช่วยผสม ได้แก่ สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน (SBS) และ พอลิเมออร์ร่วมของ เอทิลีน - ไวนิลแอซีเตต (EVA)

สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน CARIFLEX TR-1101 บริษัท SHELL ELASTOMER Co. LTD.

เอทิลีน-ไวนิลแอซีเตต Ethylene-Vinyl Acetate Copolymer บริษัท NIPPON UNICAR Co. LTD.

ตารางที่ 3.2 แสดงสมบัติของสารช่วยผสม

สมบัติที่ทดสอบ	สารช่วยผสม	สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน	เอทิลีน-ไวนิลแอซีเตต
Melt Index , g/cc			2.0
Melt Flow rate, 200 <sup>o</sup> /5kg:g/10min		< 1	
Modulus 300% : Mpa		2.9	
Stiffness Modulus, kg/cm <sup>2</sup>			500
Tensile Strength, Mpa		33	
Tensile Strength, kg/cm <sup>2</sup>			150
Elongation, %		880	650
Hardness Shore A		72	92
Shore D		-	33
Vicat Softening Temperature, <sup>o</sup> C		-	61

### 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องผสมระบบปิด ( Brabender Plasti Corder ) รุ่น PL 2100  
บริษัท BRABENDER OHG DUISBURG Co. LTD.
2. เครื่องฉีดขึ้นรูป ( Injection Molding ) รุ่น COSMO  
บริษัท WELLTEC INDUSTRIAL EQUIPMENT Co. LTD.
3. เครื่องทดสอบแรงดึง 30 kN รุ่น LR 30K บริษัท LLOYD INSTRUMENTS Co. LTD.
4. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน ( Differential Scanning Colorimeter: DSC )  
รุ่น DSC-50 บริษัท SHIMADZU Co., LTD.
5. เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) : รุ่น JSM6400  
บริษัท JEOL Co. LTD. จากศูนย์เครื่องมือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

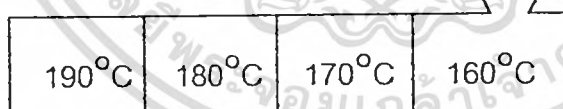
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก  
บริษัท YASUDA SEIKI SEISAKUSHO Co. LTD.
7. เครื่องฉายรังสีแกมมา รุ่น GAMMACELL 220  
บริษัท NORDION INTERNATIONAL INC จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
8. เครื่องไม้ตัดพลาสติก บริษัท BOSCO ENGINEERING Co. LTD.
9. เครื่องแยกขนาด ( Test Sevea ) บริษัท RETSCH Co. LTD.
10. เครื่องชั่งสกัดหาเปอร์เซ็นต์เจล

### 3.3 การดำเนินงานวิจัย

#### ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม

1. เตรียมพอลิเมอร์ผสมของ PS/LDPE ที่มีอัตราส่วนของพอลิเมอร์ ดังนี้
  - ระบบพอลิเมอร์ผสมของ PS/LDPE 100/0, 70/30, 50/50, 30/70 และ 0/100
  - ระบบพอลิเมอร์ผสมที่มีสารช่วยผสม SBS หรือ EVA ทำได้โดยเติมสารช่วยผสม 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนักลงไปในทุกอัตราส่วนของพอลิเมอร์
2. ผสมพอลิเมอร์ในข้อ 1 ในเครื่องผสมระบบปิด โดยใช้เครื่อง Brabender Plasticorder ซึ่งต่ออยู่กับเครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนคู่ ( twin screw extruder ) สภาวะที่ใช้ในการผสมเป็นดังนี้ อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม



ความเร็วรอบในการผสม 10 รอบ/นาที  
เมื่อพลาสติกออกจากเครื่องผสม ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาเข้าเครื่องไม้ตัด เพื่อย่อยให้พลาสติกมีขนาดเล็กกลง และใกล้เคียงกัน

3. นำพลาสติกที่ได้มาจัดขึ้นรูปชิ้นงาน เป็นรูปดัมเบลล์สำหรับทดสอบความทนต่อแรงดึง และรูปชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงกระแทก โดยใช้เครื่องจัดขึ้นรูป

## ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของรังสี

นำชิ้นงานพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 1 และชิ้นงานพอลิเมอร์ผสม PS/PP จากโครงการพิเศษเรื่องการใช้สารช่วยผสมในการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ผสม [28] ฉายรังสีที่ปริมาณความเข้มรังสี และสภาวะที่แตกต่างกัน ดังนี้

### 1. สภาวะที่มีอากาศ

- ฉายรังสีทุกอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE และ PS/PP โดยใช้ความเข้มรังสีที่ 10, 20 และ 30 kGy.

- ฉายรังสีพอลิเมอร์ผสมเฉพาะที่อัตราส่วนของพอลิเมอร์หลัก PS/LDPE และ PS/PP เป็น 50/50 โดยใช้ความเข้มรังสีที่ 40, 50, 60, 120, 180 และ 240 kGy.

### 2. สภาวะสุญญากาศ

- ฉายรังสีชิ้นงานพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE เฉพาะตัวอย่างที่ใช้ทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก โดยใช้ความเข้มรังสีต่ำ ที่ 10 และ 30 kGy.

## ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาผลของปริมาณสารตัวเติมในพอลิเมอร์ผสม

1. เตรียมพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วน 50/50 โดยเติมสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (sevea 230 mesh) ลงไปในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนี้ 4, 12, 20, 28, 36 และ 44% โดยน้ำหนัก

2. เตรียมพอลิเมอร์ผสมที่มีสารช่วยผสม SBS และ EVA ในอัตราส่วนเช่นเดียวกับข้อ 1 ในขั้นตอนที่ 1 จากนั้นเติมสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 4 และ 12% โดยน้ำหนัก

3. นำพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากข้อ 1 และ 2 ในขั้นตอนที่ 3 นี้ ฉีดขึ้นรูปโดยใช้สภาวะเช่นเดียวกับข้อ 2 ในขั้นตอนที่ 1

## ขั้นตอนที่ 4 ศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ชิ้นงานที่เตรียมในขั้นตอนที่ 1, 2 และ 3 นำมาทดสอบดังต่อไปนี้

### ทดสอบสมบัติเชิงกล

1. ทดสอบความทนแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และ ค่ามอดุลัส ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ตาม ASTM D 638M ใช้ชิ้นงานในการทดสอบของแต่ละระบบ 4 ชิ้น สภาวะของเครื่องทดสอบเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Load cell : 30 kN

Test speed : 5 mm/min

-Gauge length : 70 mm

คำนวณค่าสมบัติเชิงกล จากสมการ

$$\text{ความทนแรงดึง} = F / A$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด} = 100 \times (L - L_0) / L_0$$

$$\text{มอดุลัสเริ่มต้น} = \frac{F / A}{\Delta L / L_0}$$

เมื่อ F เป็นแรงที่อ่านได้ ณ จุดขาด

A เป็นพื้นที่หน้าตัดของชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบ

$L_0$  เป็นความยาวเริ่มต้นของชิ้นตัวอย่าง

L เป็นความยาวที่จุดขาด

2. ทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก ตาม ASTM D256 ทำการทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกของแต่ละระบบ โดยใช้ชิ้นงานในการทดสอบระบบละ 4 ชิ้น

ทดสอบสมบัติทางความร้อน

นำพอลิเมอริซึมที่เตรียมได้มาทำการทดสอบสมบัติทางความร้อน ด้วยเครื่อง DSC อัตราการให้ความร้อนที่  $10^\circ\text{C}/\text{min}$  และอัตราการทำให้เย็น  $10^\circ\text{C}/\text{min}$  ศึกษาพอลิเมอริซึมทั้งก่อนและหลังฉายรังสี โดยเลือกศึกษาเฉพาะที่ความเข้มของรังสีที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด

-อ่านค่า  $T_m$  และ  $T_c$  จากกราฟ

-คำนวณ  $\Delta H_m$  และ  $\Delta H_c$  โดยใช้โปรแกรมการคำนวณในเครื่อง DSC

ทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา

นำชิ้นงานที่แตกหักจากการทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก ทดสอบด้วยเครื่อง SEM เพื่อดูพื้นผิวที่แตกหัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนที่ 5 การหาเปอร์เซ็นต์เจล

นำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี หลังจากทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก มาทดสอบหาเปอร์เซ็นต์เจลระบบละ 1 ชิ้น ทำการชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง ไม่เกินกว่า 0.5 กรัม ใส่ลงในแผ่นตะแกรงทองเหลืองขนาด  $1.5 \times 2$  นิ้ว แล้วพับขอบปิดชิ้นงานห่อเป็นรูปสี่เหลี่ยม ชั่งน้ำหนักห่อตะแกรงที่มีสารตัวอย่างบรรจุอยู่ภายใน ใส่ลงในขวดก้นกลม เติมสารต้านออกซิเจนจำนวนเล็กน้อย ( ปลายช้อนตักสาร ) เติมตัวทำละลายไซลีนให้ท่วมชิ้นตัวอย่าง สกัดเป็นเวลา 18 ชั่วโมง แล้วจึงนำออกจากขวดก้นกลม นำห่อตะแกรงที่ได้ไปอบให้แห้งในตู้อบสุญญากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนัก เวลาที่ใช้สกัดรวมทั้งหมด 72 ชั่วโมง โดยเปลี่ยนตัวทำละลายทุก 18 ชั่วโมง ทำการสกัดซ้ำและอบแห้งหลายๆครั้ง จนกระทั่งน้ำหนักสารที่เหลืออยู่คงที่ นำค่าของน้ำหนักที่ชั่งได้ไปคำนวณเปอร์เซ็นต์การเกิดเจล ดังนี้

$$\% \text{เจล} = 100 \times \frac{[A + C] - [(A + B) - B]}{B}$$

- เมื่อ A เป็น น้ำหนักตะแกรง  
 B เป็น น้ำหนักพอลิเมอร์ก่อนสกัด  
 C เป็น น้ำหนักพอลิเมอร์หลังสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

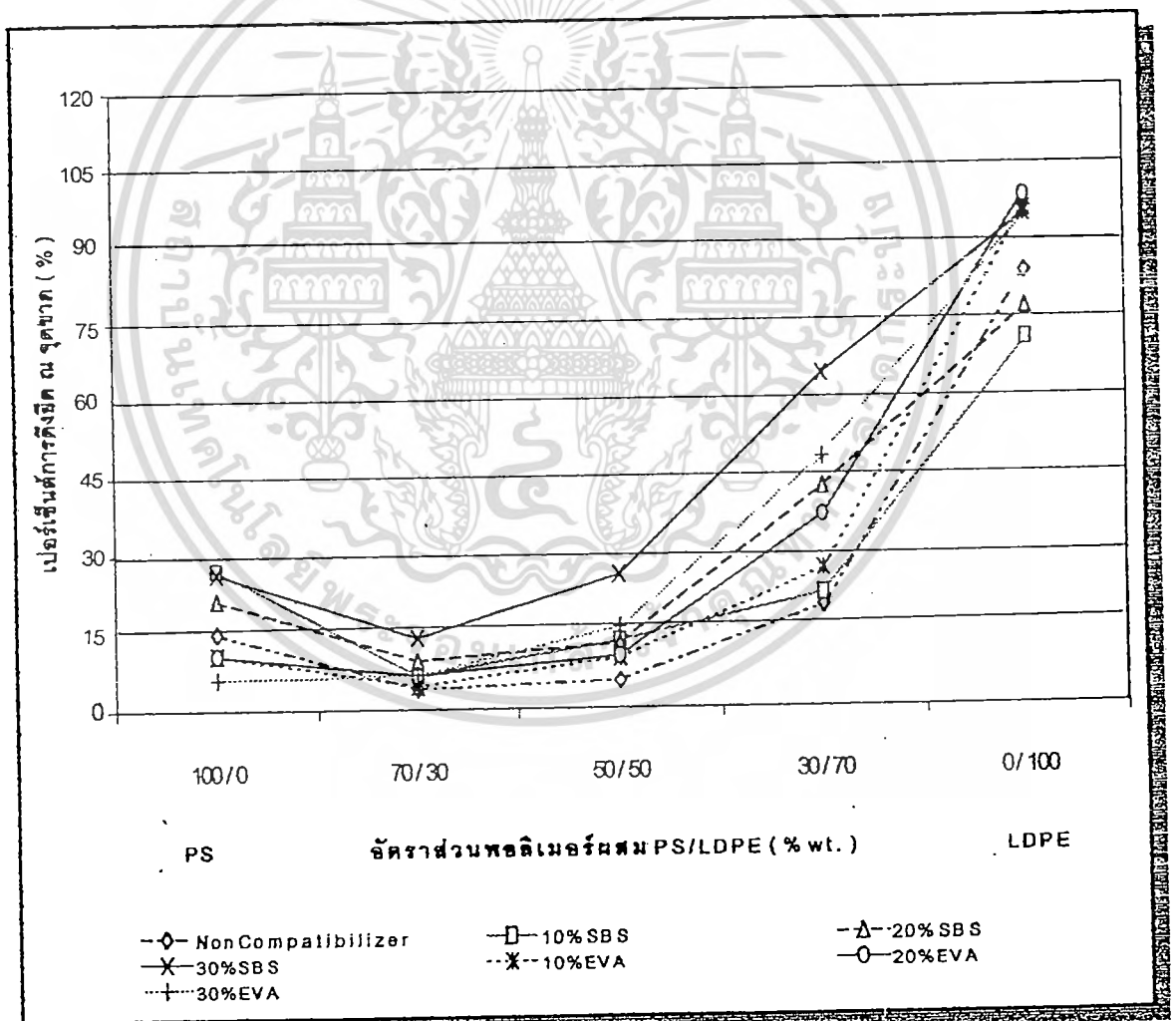
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ศึกษาถึงผลของรังสีแกมมา และสารเติมแต่งที่มีต่อพอลิเมอร์ผสม แบ่งตามสมบัติที่ทำการทดสอบ ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางสิ่งแวดล้อมวิทยา

#### 4.1 สมบัติเชิงกล

##### 4.1.1 ผลของอัตราส่วน ชนิด และปริมาณของสารช่วยผสม ที่มีต่อพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE



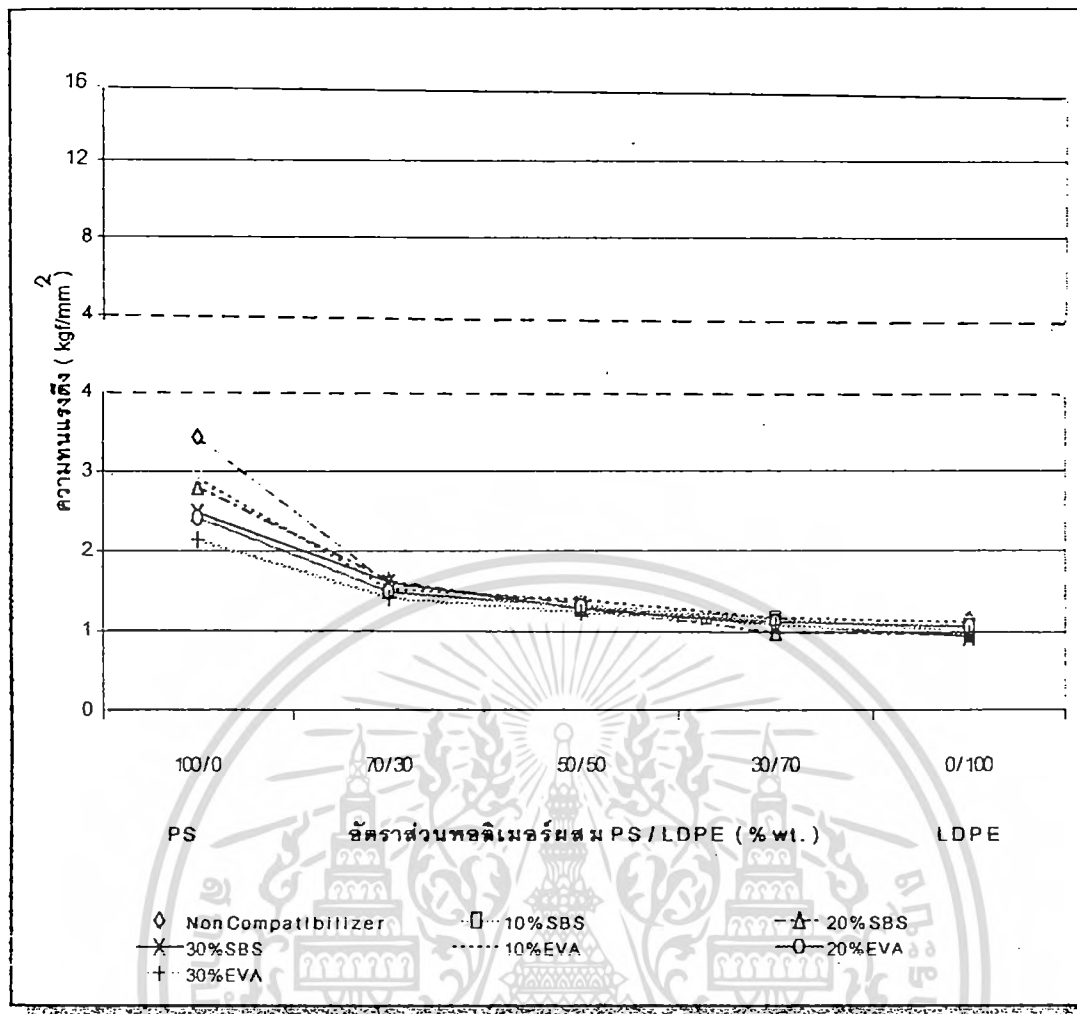
รูปที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีเพียง 2 องค์ประกอบ ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมเมื่อมีสารช่วยผสม SBS และ EVA เป็นองค์ประกอบ และพอลิเมอร์ผสมที่มี LDPE เป็นองค์ประกอบหลักจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดสูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่มี PS เป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจาก LDPE เป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (semi-crystalline polymer) สามารถยืดตัวออกได้มาก แต่เมื่อเติมองค์ประกอบอื่นลงไปเป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง เนื่องจากพอลิเมอร์อื่นที่ไม่ใช่องค์ประกอบหลักเข้าไปขัดขวางการยืดตัวขององค์ประกอบหลักในขณะที่ถูกดึง ทำให้เปอร์เซ็นต์การดึงยืดลดลง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารช่วยผสม SBS และ EVA พบว่า เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มใกล้เคียงกันในทุกอัตราส่วน และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นตามปริมาณ SBS และ EVA ที่เพิ่มขึ้นจาก 10%, 20% และ 30% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากส่วนของบิวทาไดอีน ใน SBS และส่วนของเอทิลีน ใน EVA เป็นส่วนที่ยืดตัวได้เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณ SBS และ EVA ที่ใช้

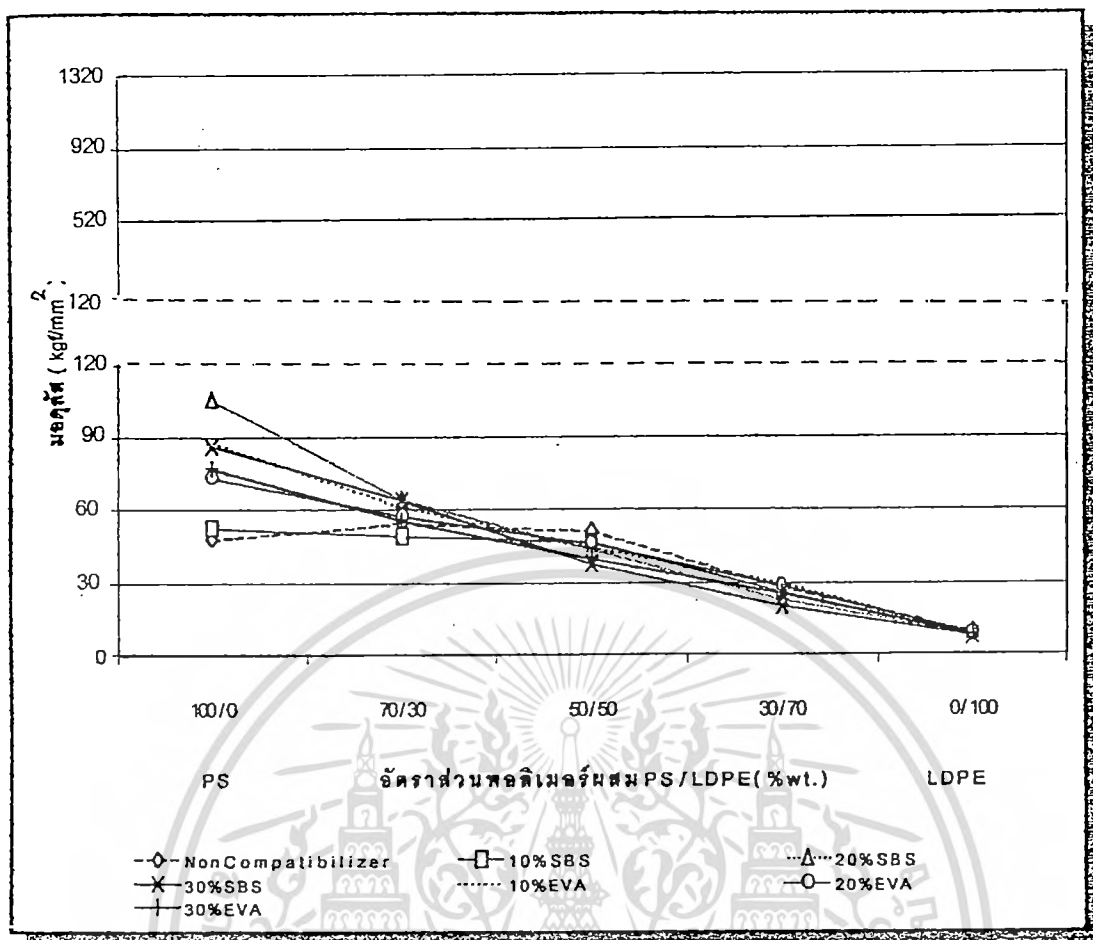
ในกรณีของพอลิเมอร์ผสมที่มี PS เป็นองค์ประกอบหลัก จะเห็นว่าเมื่อมีการเติม EVA เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นน้อยมาก แม้ว่าจะเติม EVA มากถึง 30% เนื่องจาก EVA ไม่สามารถรวมเข้ากันได้กับ PS ดังนั้นเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดที่อ่านได้จึงเป็นเปอร์เซ็นต์การดึงยืดที่ได้จาก PS ในพอลิเมอร์ผสม



รูปที่ 4.2 แสดงความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

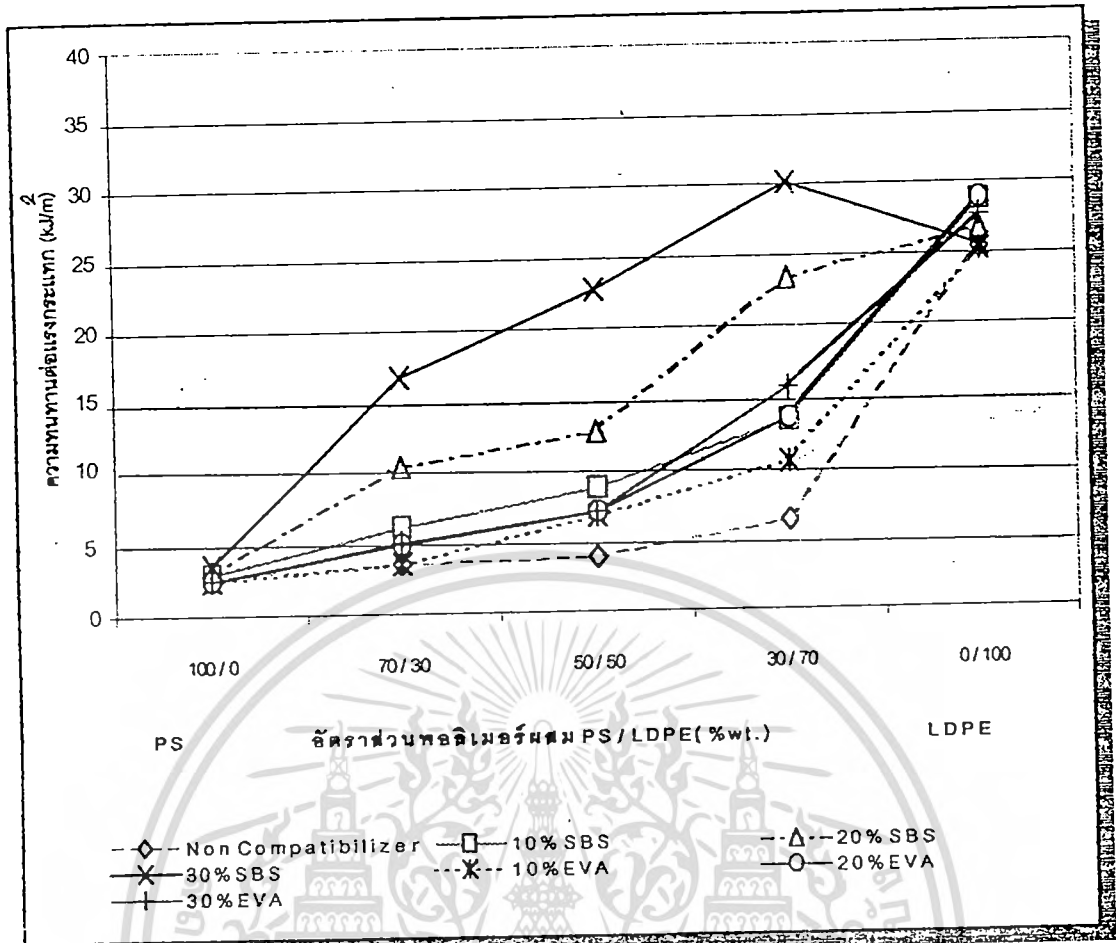
จากรูปที่ 4.2 พบว่าความทนแรงดึงลดลงตามปริมาณ LDPE ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความทนแรงดึงเริ่มต้นของพอลิเมอร์ออสฐานมีค่ามากกว่าพอลิเมอร์ที่เป็นกิ่งผลึก

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารช่วยผสม SBS และ EVA พบว่าที่ทุกอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติม SBS และ EVA จะให้ความทนแรงดึงใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับเมื่อไม่เติมสารช่วยผสม ยกเว้น เมื่อมี PS เป็นองค์ประกอบหลักจะมีค่าลดลงตามปริมาณ SBS และ EVA ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติม SBS และ EVA มีสมบัติเป็นอิลาสโตเมอร์ จึงลดความแข็งแรงกระด้างของ PS ลง แต่จะส่งผลเพียงเล็กน้อยเมื่อมี LDPE เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ผสม



รูปที่ 4.3 แสดงมอดุลัสของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.3 พบว่ามอดุลัสให้ผลใกล้เคียงกับความทนแรงดึง กล่าวคือพอลิเมอร์ผสมที่มี PS เป็นองค์ประกอบหลักจะให้มอดุลัสสูงกว่าเมื่อมี LDPE เป็นองค์ประกอบ และจะลดลงตามปริมาณ LDPE ที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเติม SBS และ EVA มอดุลัสมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ SBS และ EVA ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าการเติมสารช่วยผสมที่มีสมบัติเป็นอีลาสโตเมอร์ลงในพอลิเมอร์อสังฐาน ช่วยให้พอลิเมอร์ผสมมีการยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น มอดุลัสจึงลดลง



รูปที่ 4.4 แสดงความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.4 พบว่าระบบของพอลิเมอร์ผสมให้ความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณ LDPE และสารช่วยผสม ที่เพิ่มมากขึ้น โดยที่ในระบบมีสารช่วยผสมให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจะสูงกว่าระบบไม่มีสารช่วยผสม เนื่องจาก LDPE และสารช่วยผสม เหนียว มีสมบัติในการรับแรงที่ดี

เมื่อเปรียบเทียบสารช่วยผสม SBS และ EVA พบว่า ระบบที่มี SBS ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงกว่าระบบที่มี EVA เนื่องจาก SBS มีส่วนของพอลิซิสไดรีน 2 ส่วน กระจายตัวอยู่ใน PS ของพอลิเมอร์ผสม และมีส่วนบิวทาไดอินกระจายตัวอยู่ใน LDPE ของพอลิเมอร์ผสม จึงอาจกล่าวได้ว่าพอลิเมอร์ผสมนี้มีการกระจายตัวได้ดี โดยที่ยึดติดกันด้วยส่วนที่รับแรง ( butadiene ) ดังนั้นจึงสามารถรับและกระจายแรงได้ดี ในขณะที่ EVA มีเพียงส่วนของพอลิเอทิลีนที่กระจายตัวใน LDPE พอลิเมอร์จึงแยกออกเป็น 2 ส่วน โดยมีส่วนของ PS ที่ไม่สามารถรับ และกระจายแรงได้ ดังนั้นระบบที่มี SBS จึงรับ และกระจายแรงได้ดีกว่าระบบที่มี EVA ให้ความทนทานต่อแรงกระแทกสูงกว่าระบบที่มี EVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่เติมสารช่วยผสม ลงใน PS หรือ LDPE ความทนทานต่อแรงกระแทกเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับเมื่อไม่เติมสารช่วยผสม เนื่องจากการเติมสารช่วยผสมเพียง 10, 20 และ 30% โดยน้ำหนักลงไป ในพอลิเมอร์ที่มีเพียง 1 ภูมิภาค ความทนทานต่อแรงกระแทกที่อ่านได้ยังคงเป็นความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์หลักชนิดนั้น ๆ

สรุป ผลของอัตราส่วน ชนิด และปริมาณสารช่วยผสมต่อพอลิเมอร์ผสมของ PS/LDPE ดังนี้

อัตราส่วนมีผลมากต่อสมบัติเชิงกล กล่าวคือ ระบบที่มี PS เป็นองค์ประกอบหลัก ให้เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ความทนทานต่อแรงกระแทกต่ำ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณ LDPE ที่เพิ่มขึ้น ส่วนความทนแรงดึง และ มอดุลัสสูง มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ LDPE ที่เพิ่มขึ้น

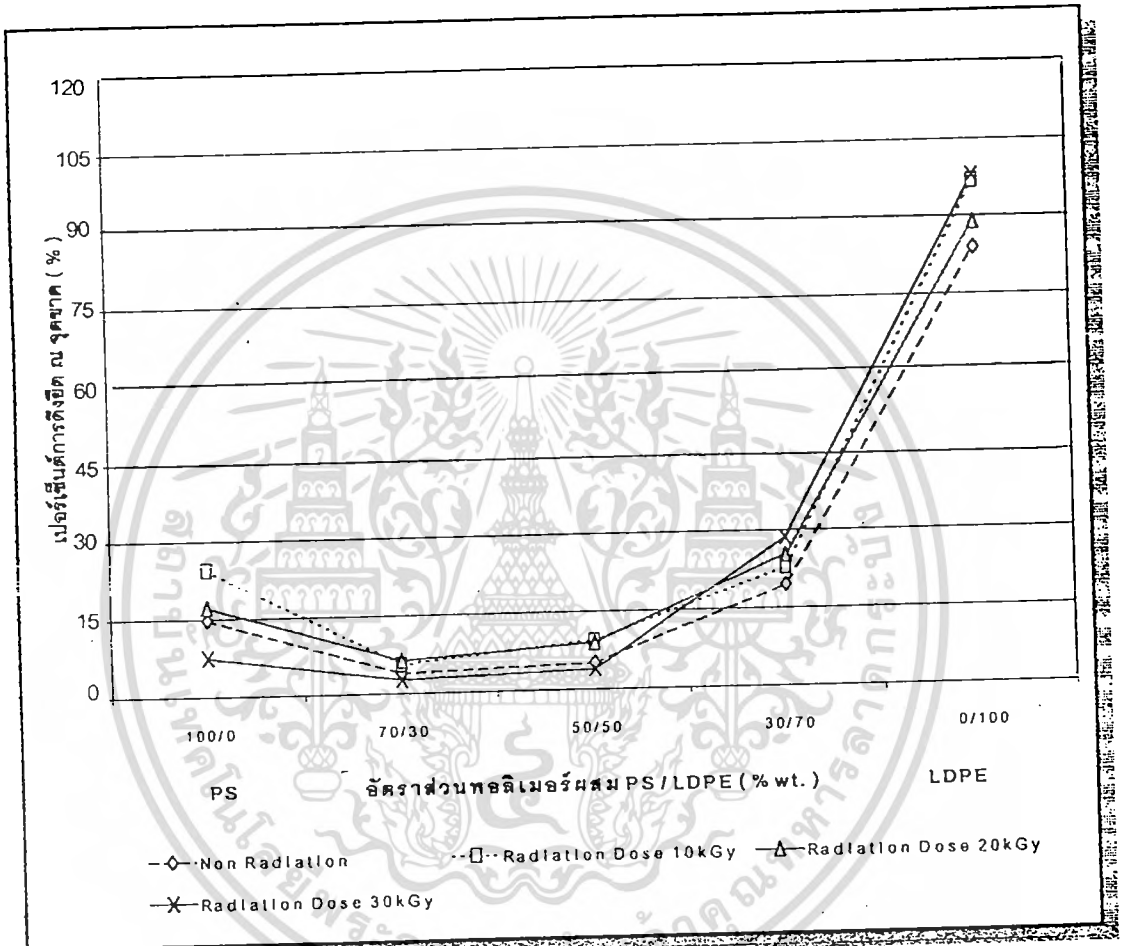
ชนิด และปริมาณสารช่วยผสมมีผลมากต่อสมบัติเชิงกล กล่าวคือ ระบบมีสารช่วยผสม SBS และ EVA เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ความทนทานต่อแรงกระแทกสูงกว่าระบบไม่มีสารช่วยผสม และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณ SBS และ EVA ที่เพิ่มขึ้น ส่วนความทนแรงดึง มอดุลัสต่ำกว่าระบบที่ไม่มีสารช่วยผสม และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณ SBS และ EVA ที่เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาผลของอัตราส่วน ชนิด และปริมาณสารช่วยผสม จะได้ว่าพอลิเมอร์ผสมของ PS/LDPE/SBS ที่อัตราส่วน 30/70/30 ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงสุด

## 4.1.2 ผลของรังสี

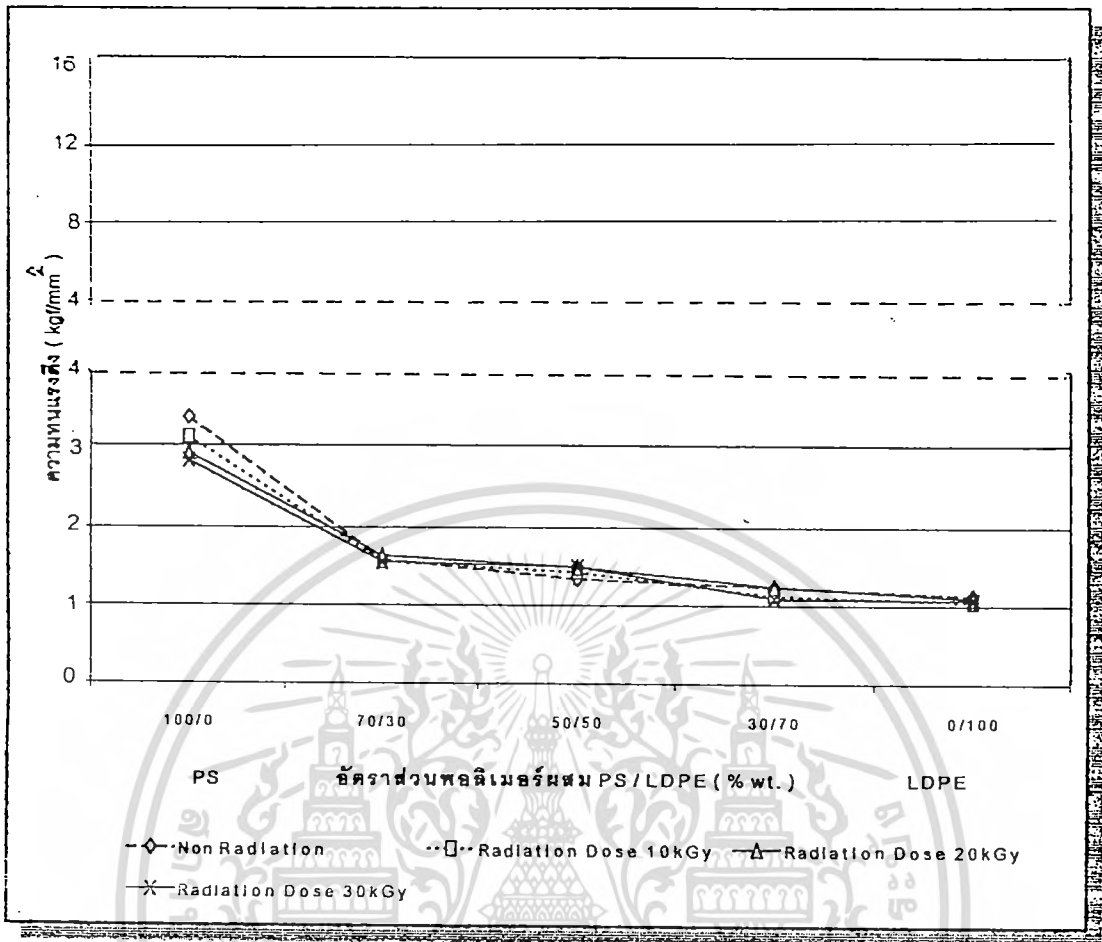
### 4.1.2.1 ผลการฉายรังสีในอากาศของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE และ PS/PP เมื่อไม่มีสารช่วยผสม ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

- กรณีของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE



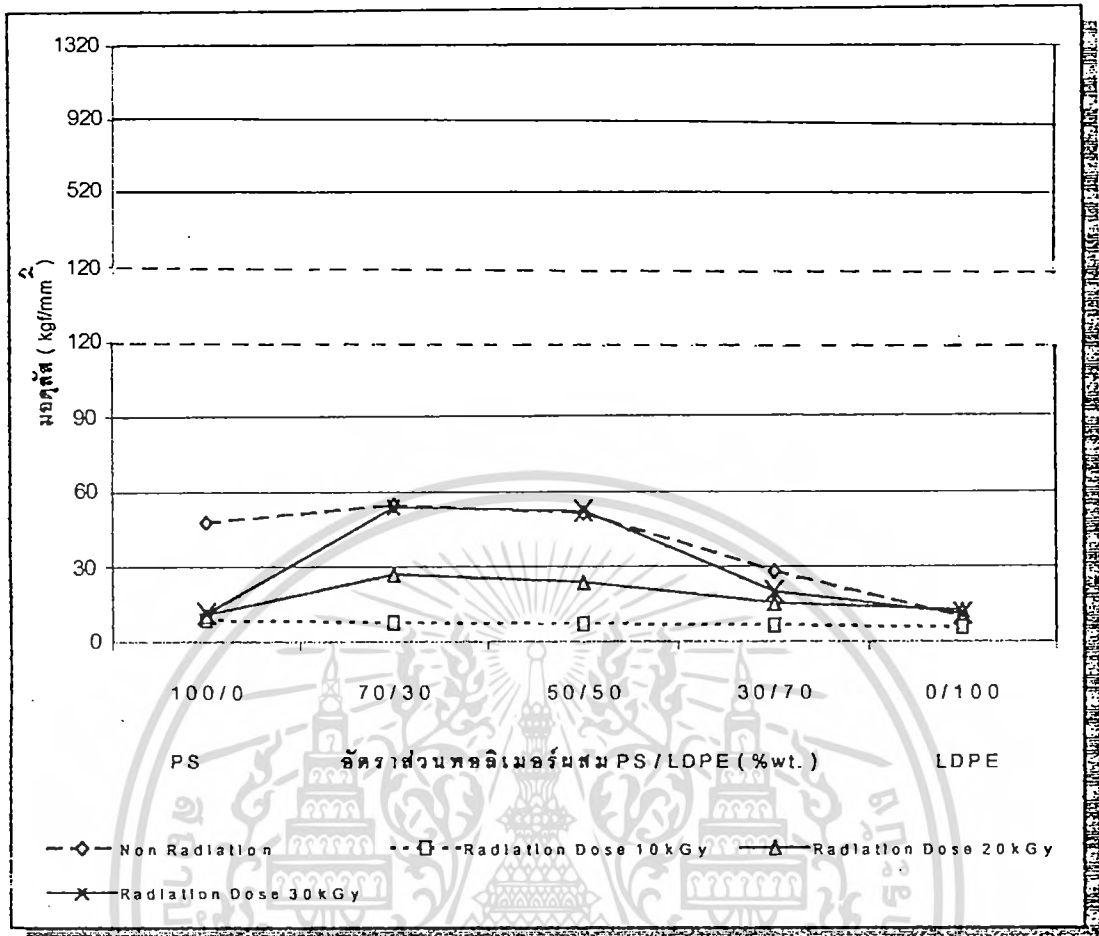
รูปที่ 4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์การดิ่งยัด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อฉายรังสีที่ความเข้ม 10, 20 และ 30 kGy

จากรูปที่ 4.5 พบว่า ที่ความเข้มรังสี 10, 20 และ 30 kGy ในทุกอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม เปอร์เซ็นต์การดิ่งยัด ณ จุดขาด ให้ค่าใกล้เคียงกับเมื่อไม่ฉายรังสี แสดงว่าที่ความเข้มรังสีดังกล่าว ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในโมเลกุลของ PS และ LDPE



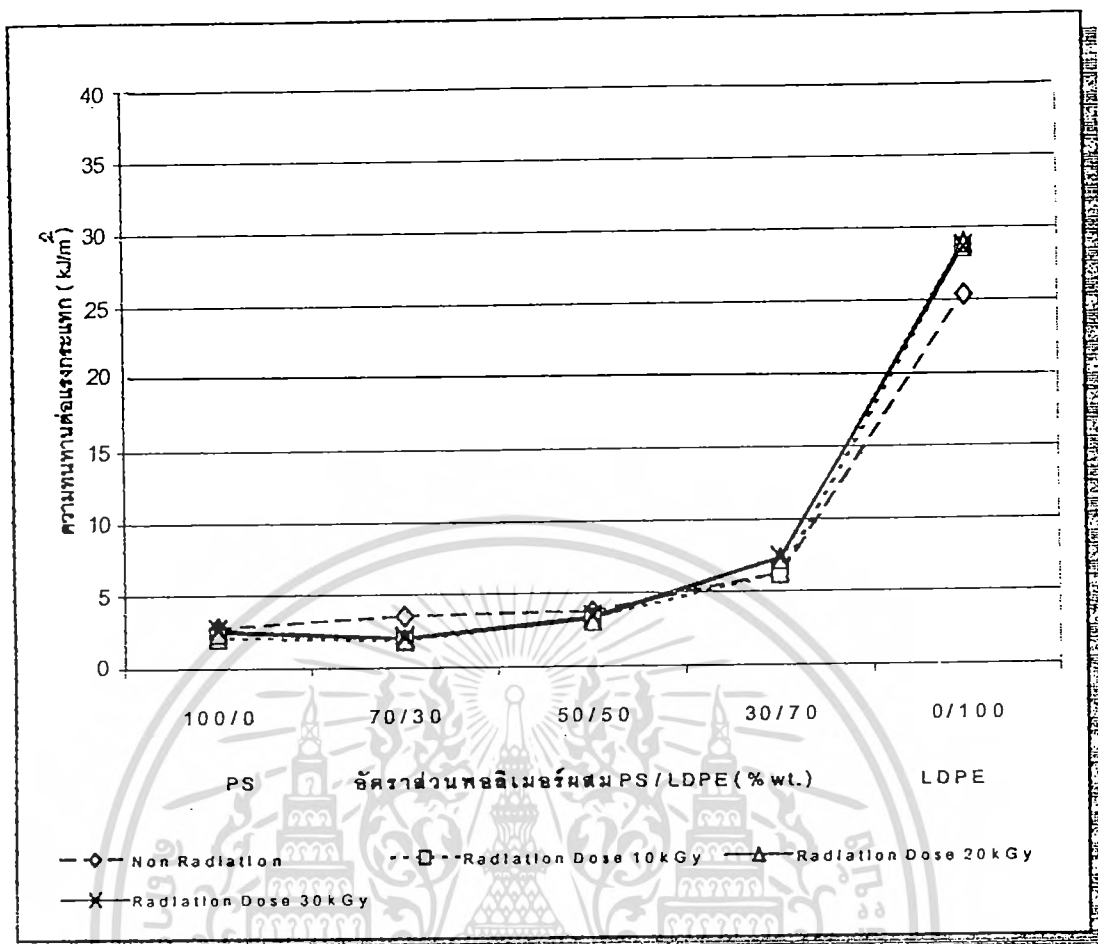
รูปที่ 4.6 แสดงความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อฉายรังสีที่ความเข้ม 10, 20 และ 30 kGy

จากรูปที่ 4.6 พบว่า ให้ผลเช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด กล่าวคือ ที่ความเข้มรังสี 10, 20 และ 30 kGy ในทุกอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม ความทนแรงดึงให้ค่าใกล้เคียงกับเมื่อไม่ฉายรังสี)



รูปที่ 4.7 แสดงมอดุลัสของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อฉายรังสีที่ความเข้ม 10, 20 และ 30 kGy

จากรูปที่ 4.7 พบว่า มอดุลัสของ PS จะลดลงเมื่อได้รับรังสี แสดงว่าที่ความเข้มดังกล่าวรังสีทำให้ความเครียดของ PS เปลี่ยนแปลงมาก ในขณะที่มอดุลัสของ LDPE ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง นั่นคือ การเปลี่ยนแปลงของความเค้นต่อความเครียดคงที่



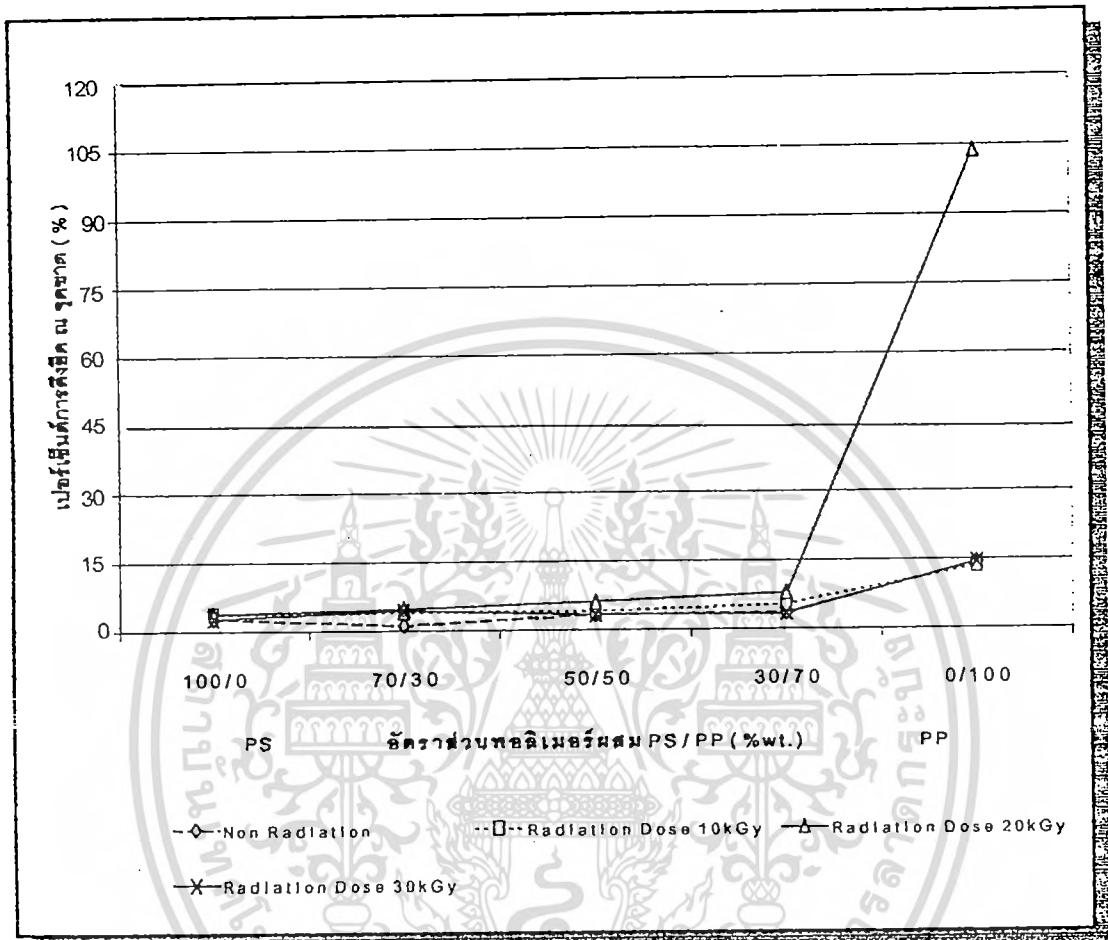
รูปที่ 4.8 แสดงความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อฉายรังสีที่ความเข้ม 10, 20 และ 30 kGy

จากรูปที่ 4.8 พบว่า ให้ผลเช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์การดัดยัด ณ จุดขาด ความทนแรงดึง และมอดุลัส กล่าวคือ ที่ความเข้มรังสี 10, 20 และ 30 kGy ในทุกอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม ความทนทานต่อแรงกระแทกให้ค่าใกล้เคียงกับเมื่อไม่ฉายรังสี

สรุป ความเข้มรังสีต่ำ อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE มีผลน้อยต่อ เปอร์เซ็นต์การดัดยัด ณ จุดขาด ความทนแรงดึง และความทนทานต่อแรงกระแทก แต่มีผลมากกับมอดุลัส เมื่อเทียบกับไม่ฉายรังสี

ผลของรังสีที่มีต่อสารช่วยผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับเมื่อไม่เติมสารช่วยผสม ( พิจารณาได้จากภาคผนวก ข )

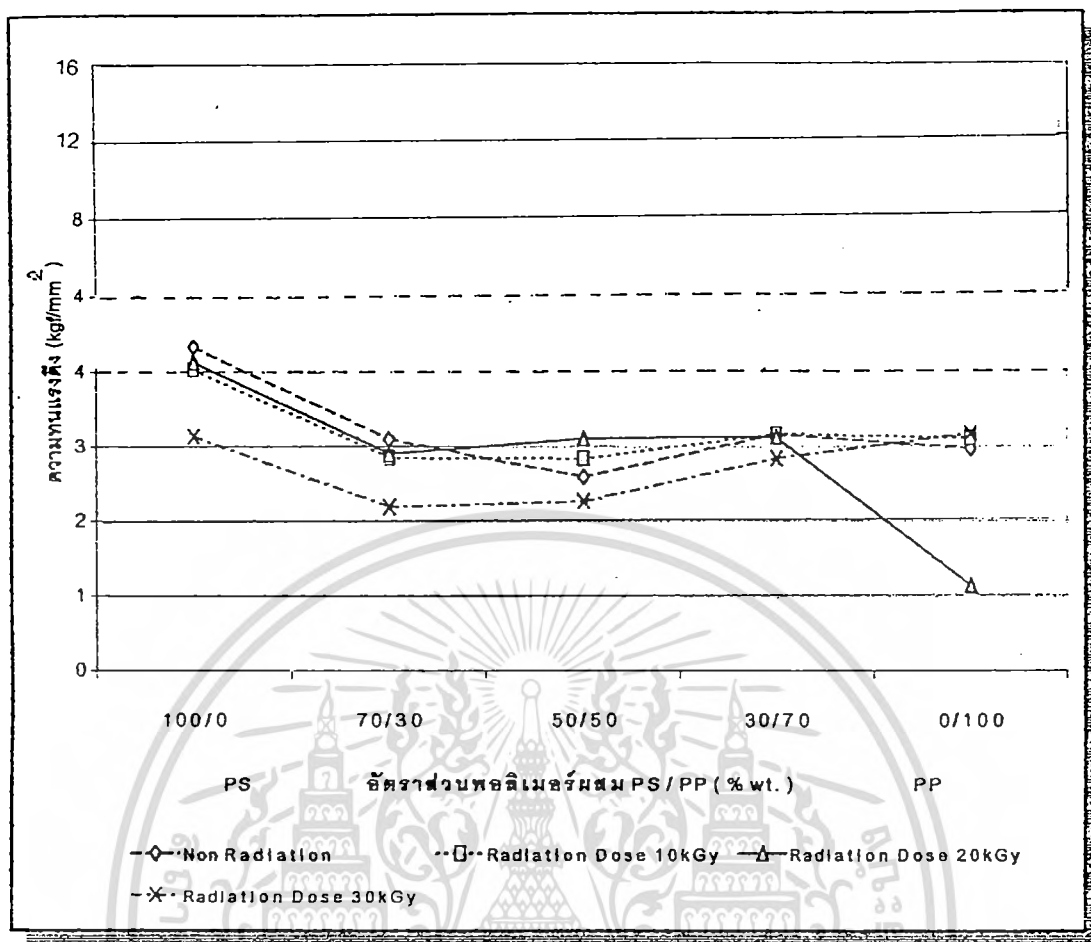
- กรณีของพอลิเมอร์ผสม PS/PP (คุณสมบัติในการผสมต่างจาก PS/LDPE)



รูปที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การดิ่งยัด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PS/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อฉายรังสีที่มีความเข้ม 10, 20 และ 30 kGy

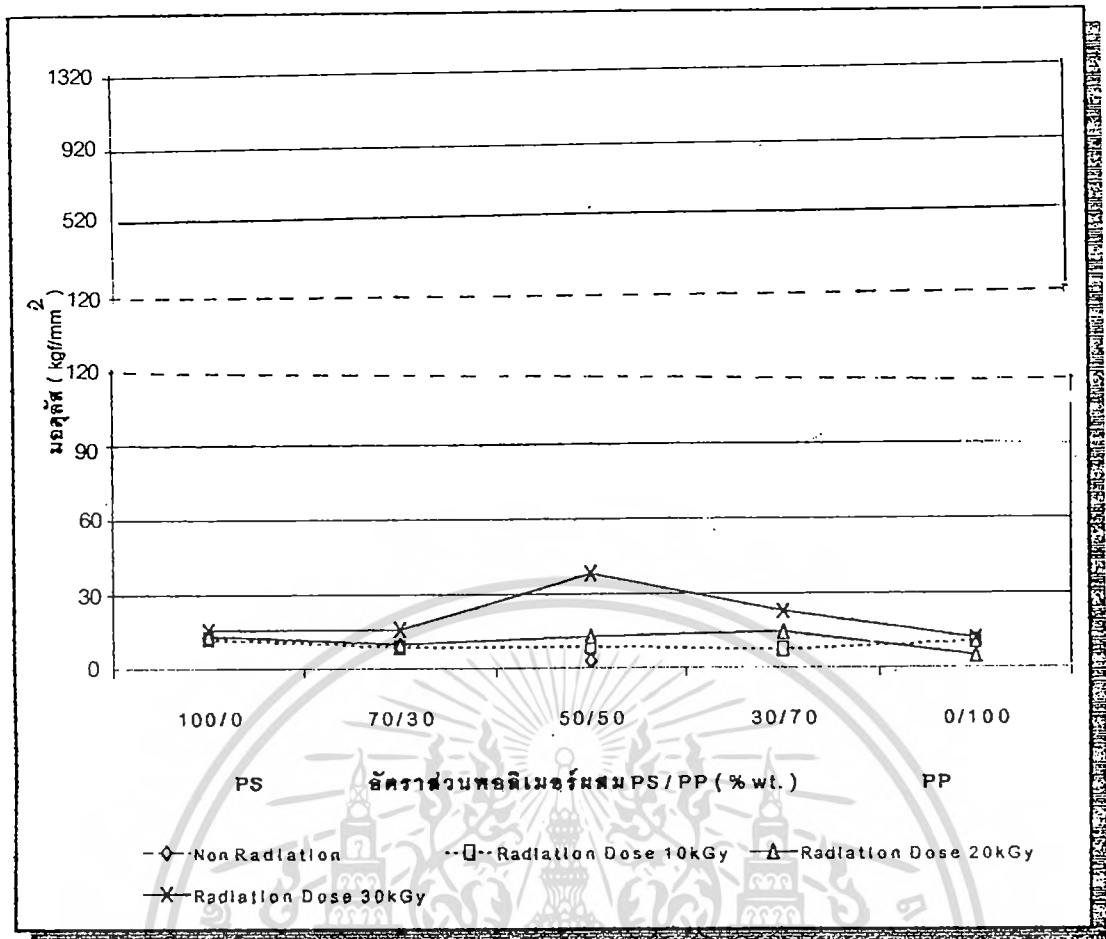
จากรูปที่ 4.9 พบว่า ที่ความเข้มรังสี 10, 20 และ 30 kGy ในทุกอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม เปอร์เซ็นต์การดิ่งยัด ณ จุดขาด ให้ค่าใกล้เคียงกับเมื่อไม่ฉายรังสี แสดงว่าที่ความเข้มรังสีดังกล่าว ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในโมเลกุลของ PS และ PP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



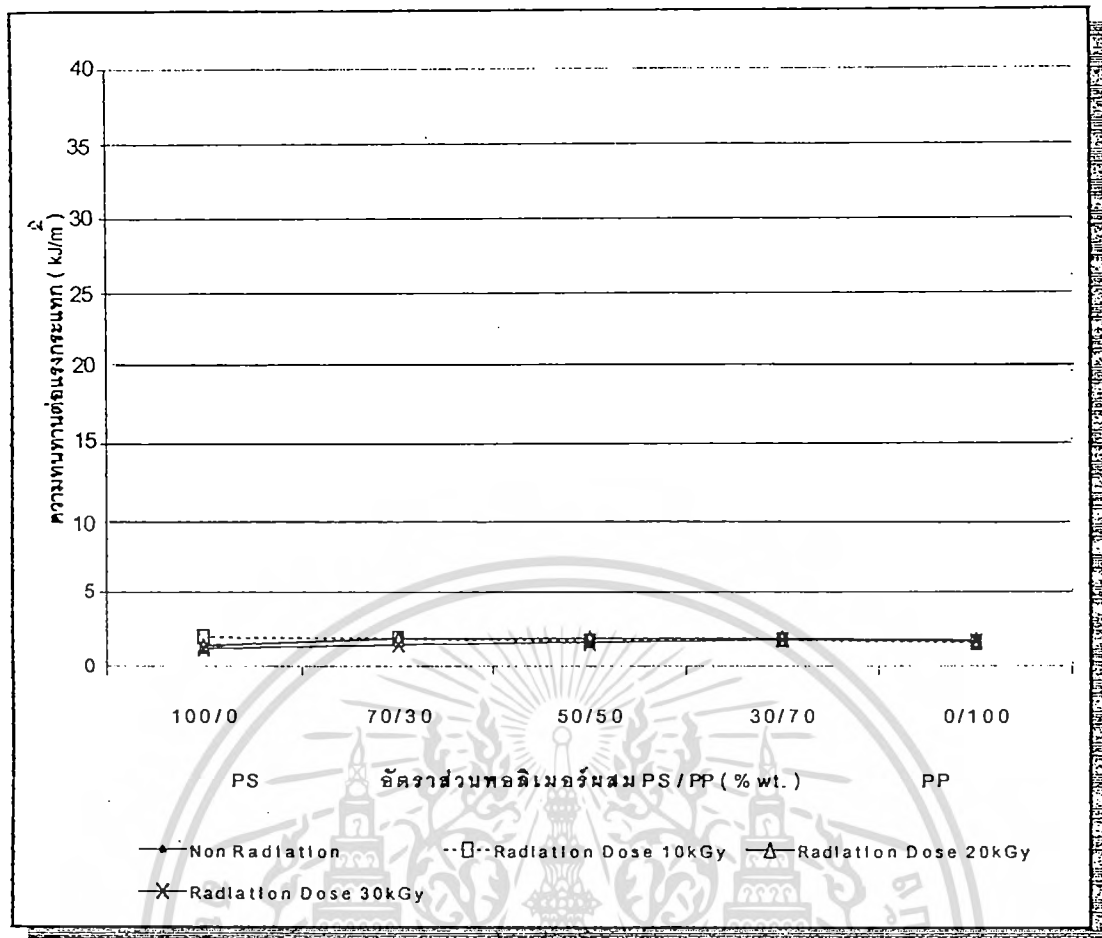
รูปที่ 4.10 แสดงความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PS/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อฉายรังสี ที่ความเข้ม 10, 20 และ 30 kGy

จากรูปที่ 4.10 พบว่า ให้ผลเช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด กล่าวคือ ที่ความเข้มรังสี 10, 20 และ 30 kGy ในทุกอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม ความทนแรงดึงให้ค่าใกล้เคียงกับเมื่อไม่ฉายรังสี



รูปที่ 4.11 แสดงมอดุลัสของพอลิเมอร์ผสม PS/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อฉายรังสีที่ความเข้ม 10, 20 และ 30 kGy

จากรูปที่ 4.11 พบว่า ให้ผลเช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และความทนแรงดึง กล่าวคือ ที่ความเข้มรังสี 10, 20 และ 30 kGy ในทุกอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม มอดุลัสให้ค่าใกล้เคียงกับเมื่อไม่ฉายรังสี



รูปที่ 4.12 แสดงความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PS/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อฉายรังสีที่ความเข้ม 10, 20 และ 30 kGy

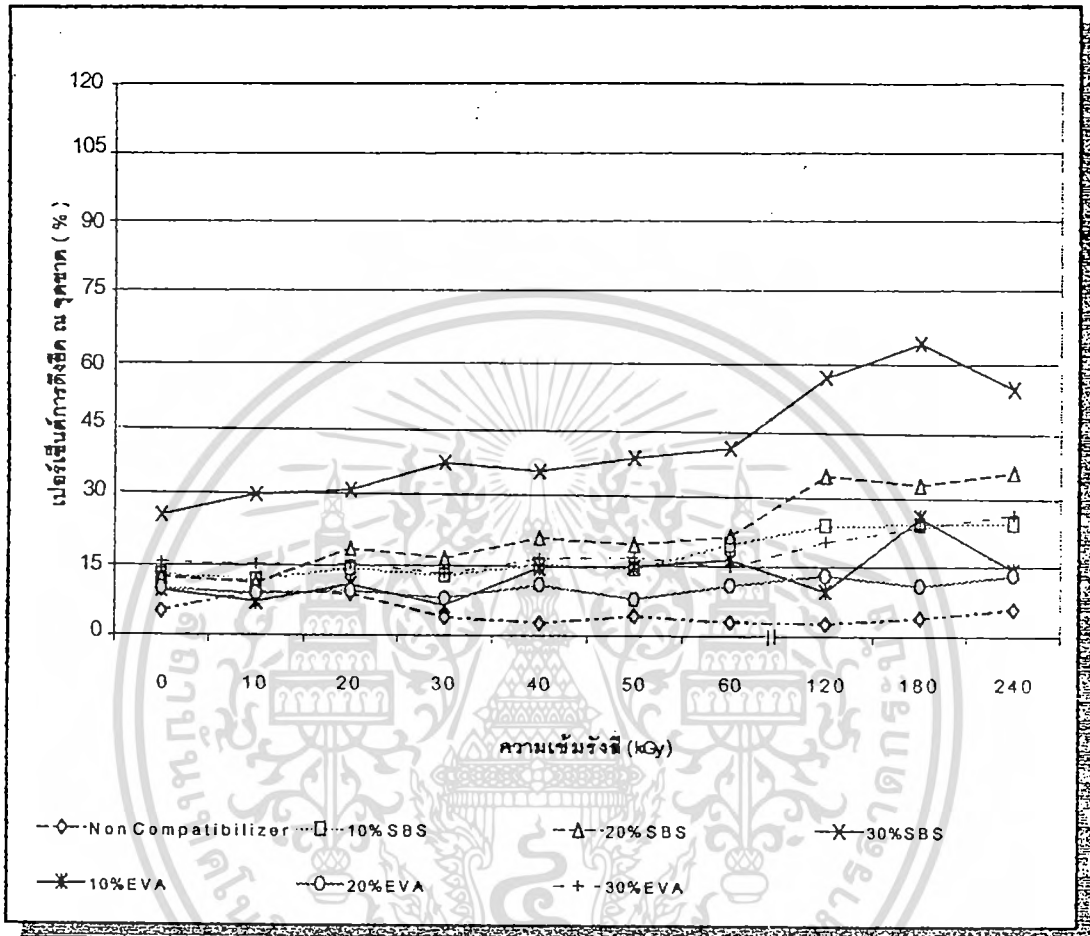
จากรูปที่ 4.12 พบว่า ให้ผลเช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์การดิ่งยัด ณ จุดขาด ความทนแรงดึง และ มอดุลัส กล่าวคือ ที่ความเข้มรังสี 10, 20 และ 30 kGy ในทุกอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม ความทนทานต่อแรงกระแทกให้ค่าใกล้เคียงกับเมื่อไม่ฉายรังสี

สรุป ความเข้มรังสีต่ำ อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม PS/PP มีผลน้อยต่อ เปอร์เซ็นต์การดิ่งยัด ณ จุดขาด ความทนแรงดึง มอดุลัส และความทนทานต่อแรงกระแทก เมื่อเทียบกับเมื่อไม่ฉายรังสี

ผลของรังสีที่มีต่อสารช่วยผสม PS/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับเมื่อไม่เติม สารช่วยผสม ( พิจารณาได้จากภาคผนวก ข )

#### 4.1.2.2 ผลของการฉายรังสีในอากาศตั้งแต่ความเข้ม 0-240 kGy ที่มีต่อชนิด และปริมาณสารช่วยผสม PS/LDPE และ PS/PP ที่อัตราส่วน 50/50

- กรณีของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE

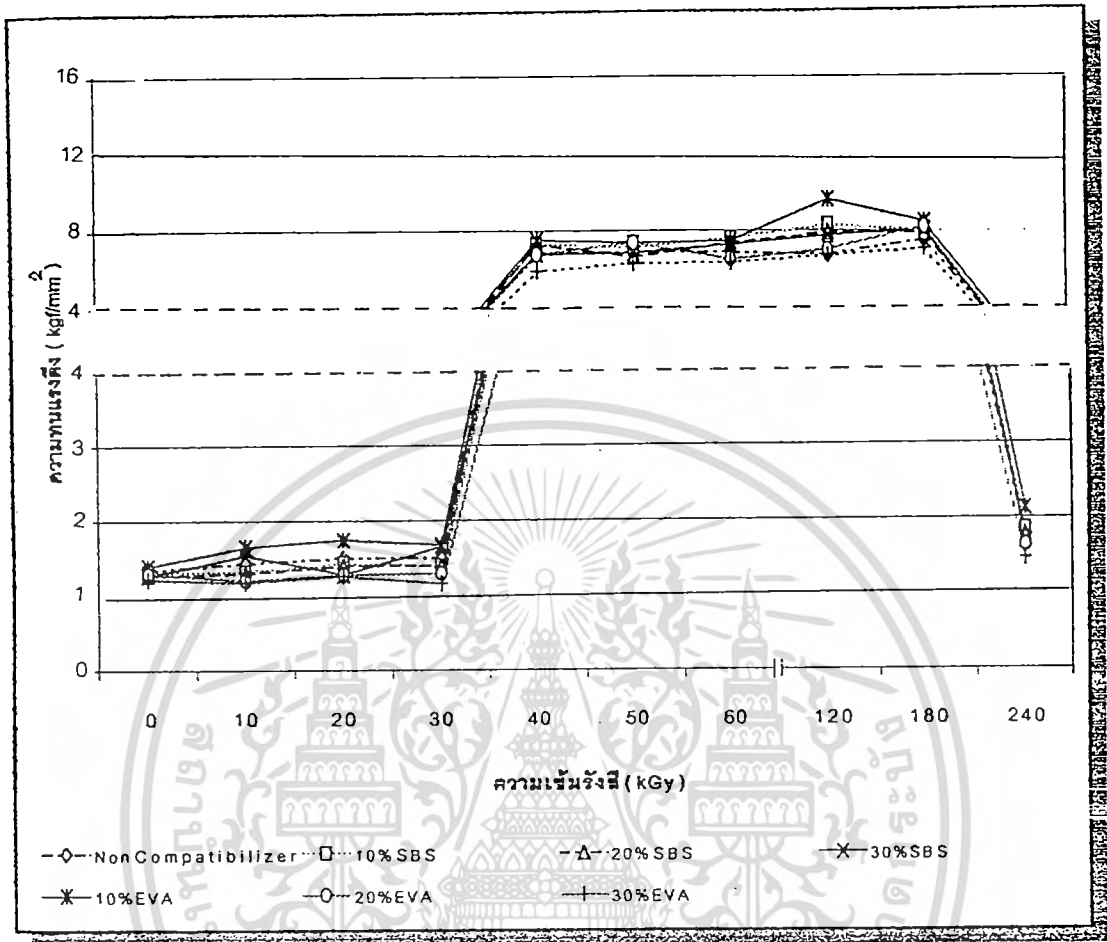


รูปที่ 4.13 แสดงเปอร์เซ็นต์การดิ่งยึด ณ จุดขาดของ PS/LDPE 50/50 ที่ความเข้มรังสีต่างๆ

รูปที่ 4.13 พบว่าในระบบไม่มี และมีสารช่วยผสม EVA ความเข้มรังสีมีผลน้อยต่อเปอร์เซ็นต์การดิ่งยึด ณ จุดขาด แต่ในระบบที่มีสารช่วยผสม SBS ที่ความเข้มรังสีเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การดิ่งยึด ณ จุดขาดเพิ่มตามปริมาณสารช่วยผสมที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าในระบบที่ไม่มี และมีสารช่วยผสม EVA มีการเชื่อมโยงของ LDPE, LDPE-EVA และ EVA-EVA ตามลำดับ ซึ่งการเชื่อมโยงดังกล่าว ทำให้แรงยึดระหว่างสายโซ่แข็งแรงมากขึ้น แต่พอลิเมอร์ผสมยังคงแยกเป็น 2 ภูมิภาค คือ ภูมิภาคของ PS และภูมิภาคที่เกิดการเชื่อมโยง ดังนั้นความเข้มรังสีจึงไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การดิ่งยึด ณ จุดขาดเปลี่ยนแปลงไปจากเมื่อไม่ฉายรังสี ในขณะที่ระบบที่มีสารช่วยผสม SBS การเชื่อมโยงที่เกิดจาก LDPE LDPE-SBS หรือ SBS-SBS ทำให้พอลิเมอร์มีแรงยึดระหว่างสายโซ่ทั่วทั้ง

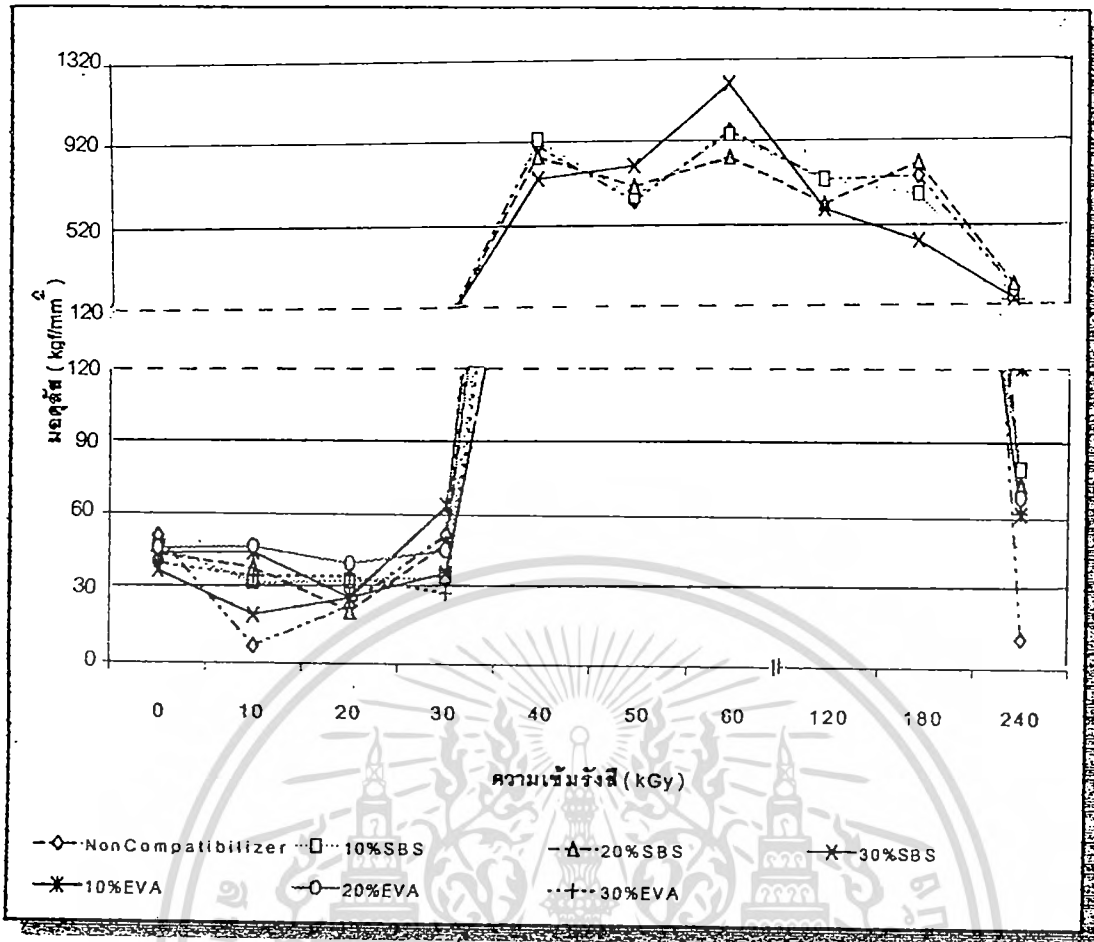
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบ พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้มากขึ้น และส่วนของบิวทาไดอิน ที่ทำหน้าที่ประสานระหว่างสายโซ่ ยังทำให้การดึงยืดสูงขึ้นตามปริมาณ SBS ที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย



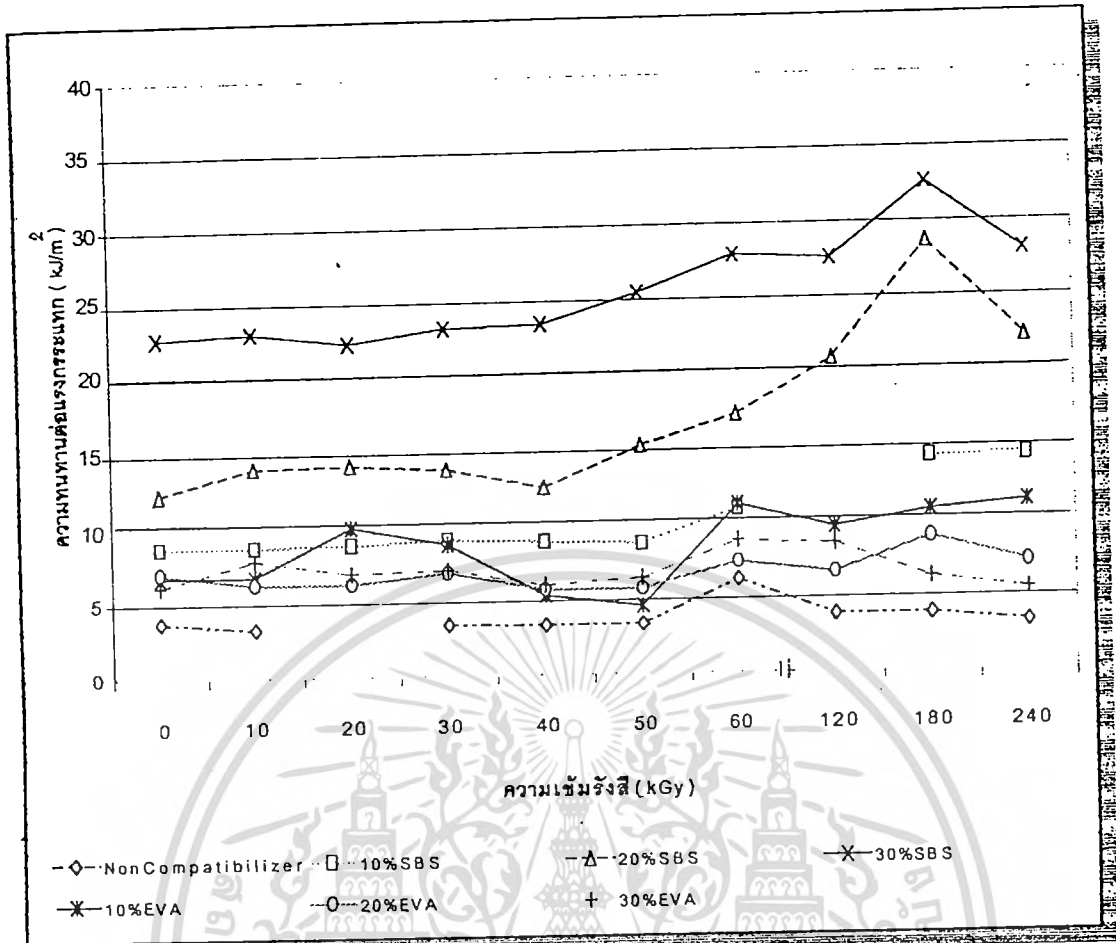
รูปที่ 4.14 แสดงความทนแรงดึงของ PS/LDPE 50/50 ที่ความเข้มรังสีต่างๆ

รูปที่ 4.14 พบว่าในทุกะบบของพอลิเมอร์ผสม ที่ความเข้มรังสีต่ำ ( 10-30 kGy) ความทนแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลงจากเมื่อไม่ฉายรังสี แต่จะเพิ่มขึ้นมากที่ความเข้มรังสีในช่วง 40-180 kGy จากนั้นลดลงที่ความเข้มสูงกว่า 180 kGy แสดงว่าที่ความเข้มรังสีต่ำ พอลิเมอร์ไม่เกิดการเชื่อมโยง ในขณะที่ความเข้มรังสีในช่วง 40-180 kGy เกิดการเชื่อมโยงของ LDPE, EVA และ SBS เพิ่มขึ้น ทำให้ความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น แต่ความทนแรงดึงจะไม่เพิ่มขึ้นตามการเชื่อมโยง เนื่องจาก LDPE, EVA และ SBS สามารถดึงยืดได้ ดังนั้นความแข็งแรงที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมโยงจะหักล้างกับความสามารถในการดึงยืดที่เพิ่มขึ้น และที่ความเข้มสูงกว่า 180 kGy เกิดการเชื่อมโยงมากจนทำให้พอลิเมอร์เปราะ ความทนแรงดึงจึงลดลงมาก



รูปที่ 4.15 แสดงมอดุลัสของ PS/LDPE 50/50 ที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.15 พบว่ามอดุลัสให้ลักษณะเส้นกราฟใกล้เคียงกับความทนแรงดึง กล่าวคือ ในทุกระบบพอลิเมอร์ผสม ที่ความเข้มรังสีต่ำ ( 10-30 kGy ) มอดุลัสไม่เปลี่ยนแปลงจากเมื่อไม่ฉายรังสี และเพิ่มขึ้นมากที่ความเข้มรังสีในช่วง 40-180 kGy แสดงว่าความเข้มรังสีในช่วง 40-180 kGy ค่าความทนแรงดึงเปลี่ยนแปลงมากกว่าการดึงยึด ณ จุดขาด แต่ลดลงตามสสารช่วยผสม จากนั้นลดลงที่ความเข้มรังสีสูงกว่า 180 kGy แสดงว่าเมื่อเกิดการเชื่อมโยงของ SBS หรือ EVA ส่วนของบิวทาไดอีน และเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ มีความยืดหยุ่นทำให้มอดุลัสลดลง และพบว่า SBS ให้มอดุลัสน้อยกว่า EVA แสดงว่า ส่วนบิวทาไดอีนให้ความยืดหยุ่นมากกว่าเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์



รูปที่ 4.16 แสดงความทนทานต่อแรงกระแทกของ PS/LDPE 50/50 ที่ความเข้มรังสีต่างๆ

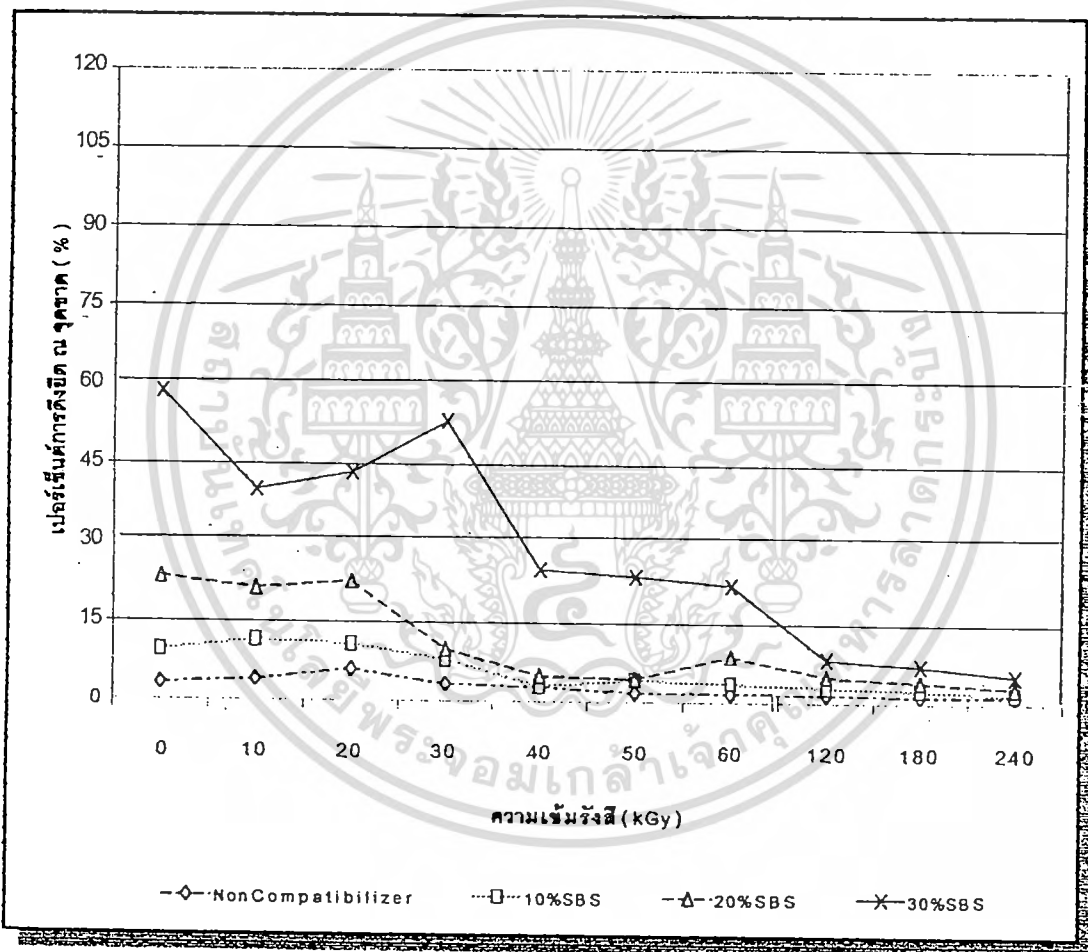
จากรูปที่ 4.16 พบว่าในระบบที่ไม่มี และมีสารช่วยผสม EVA ความเข้มรังสีมีผลน้อยต่อความทนทานต่อแรงกระแทก และในระบบมีสารช่วยผสม SBS ความเข้มรังสีเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นตามปริมาณ SBS แสดงว่าในกรณีใช้ SBS PS/LDPE กระจายตัวเข้ากันได้ดี เมื่อความเข้มรังสีเพิ่มขึ้น และเกิดการเชื่อมโยงของ LDPE, LDPE-SBS และ SBS-SBS ร่วมด้วย ส่งผลให้มีการยึดระหว่างสายโซ่แข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นจึงสามารถรับและกระจายแรงได้ดีขึ้น ขณะที่ในระบบไม่มี และมีสารช่วยผสม EVA การเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นไม่ได้ทำให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ ยังคงแยกออกเป็น 2 ภูมิภาค ทำให้การรับ และกระจายแรงไม่ดีเท่ากับระบบที่มีสารช่วยผสม SBS

สรุป ความเข้มรังสีมีผลน้อยมากต่อเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และความทนทานต่อแรงกระแทก โดยเฉพาะในระบบที่ไม่มีสารช่วยผสม และที่ความเข้มรังสี 10, 20 และ 30 kGy ไม่มีผลต่อความทนแรงดึง และมอดุลัส ความเข้มรังสีในช่วง 40-180 kGy ความทนแรงดึง และ

มอดูลัสสูงชันมากอยู่ในระดับเดียวกัน แต่ที่ความเข้มรังสีสูงกว่า 180 kGy ความทนแรงดึง และมอดูลัสลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว (ใกล้เคียงกับเมื่อไม่ฉายรังสี)

ที่ทุกความเข้มรังสี ชนิด และปริมาณสารช่วยผสม มีผลมากต่อเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ความทนทานต่อแรงกระแทก และเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารช่วยผสม SBS ให้ค่าสูงกว่า EVA แต่มีผลน้อยต่อความทนแรงดึง ส่วนที่ความเข้มต่ำ (10-30 kGy) และความเข้มรังสีสูงกว่า 180 kGy มีผลน้อยต่อมอดูลัส ความเข้มรังสีในช่วง 40-180 kGy ทำให้มอดูลัสเพิ่มขึ้น แต่จะลดลงตามปริมาณสารช่วยผสม และ EVA ให้มอดูลัสสูงกว่า SBS

● กรณีของพอลิเมอร์ผสม PS/PP

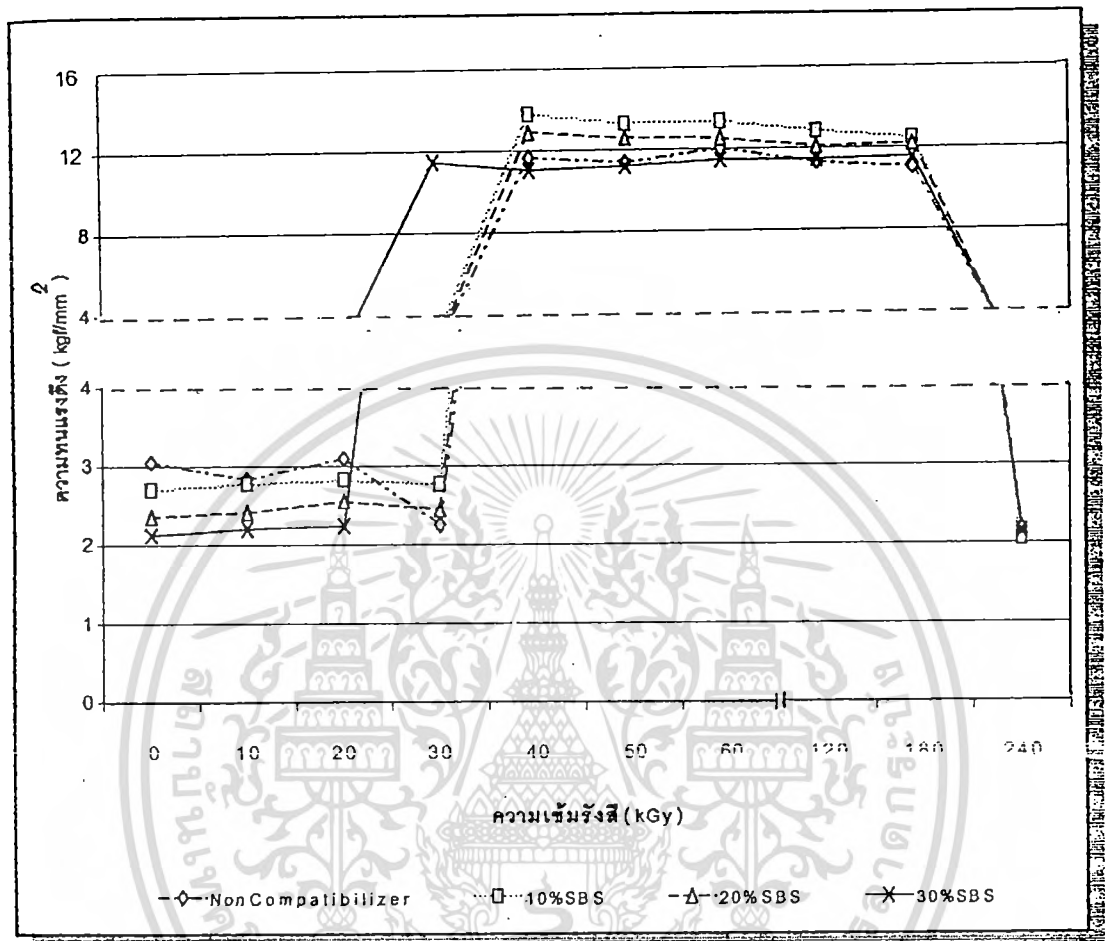


รูปที่ 4.17 แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด PS/PP ที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.17 พบว่าในทุกระบบพอลิเมอร์ผสม ที่ความเข้มรังสีเพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง และเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารช่วยผสม SBS แสดงว่าที่ความเข้มรังสีเพิ่มขึ้น PP และ SBS เกิดการเชื่อมโยงมากขึ้น แรงยึดระหว่างสายโซ่แข็งแรงขึ้น ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

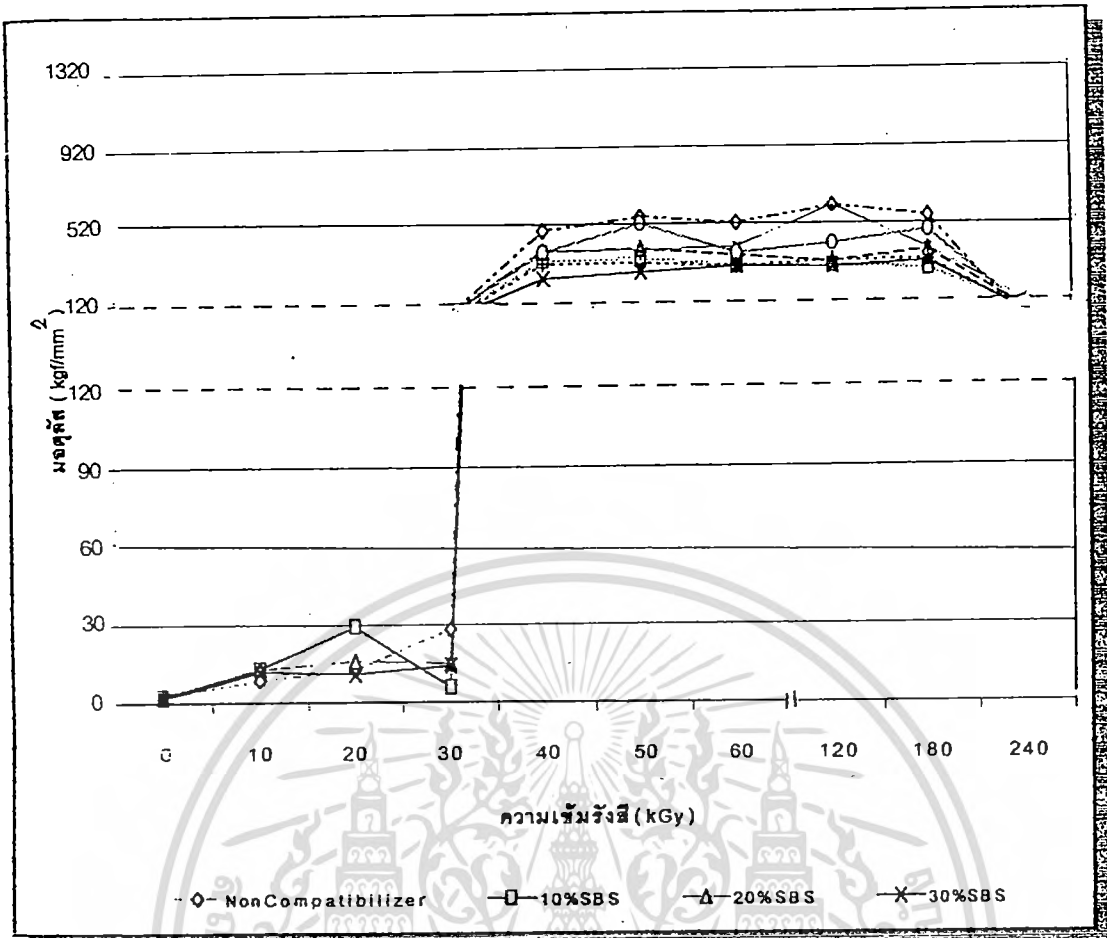
เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดลดลง แต่ในกรณีมี SBS ความแข็งแรงที่เกิดจากแรงยึดระหว่างสายโซ่จะหักล้างกับความสามารถในการดึงยึดของบิวทาไดอีน ทำให้เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด สูงขึ้นตามปริมาณ SBS



รูปที่ 4.18 แสดงความทนแรงดึงของ PS/PP 50/50 ที่ความเข้มรังสีต่างๆ

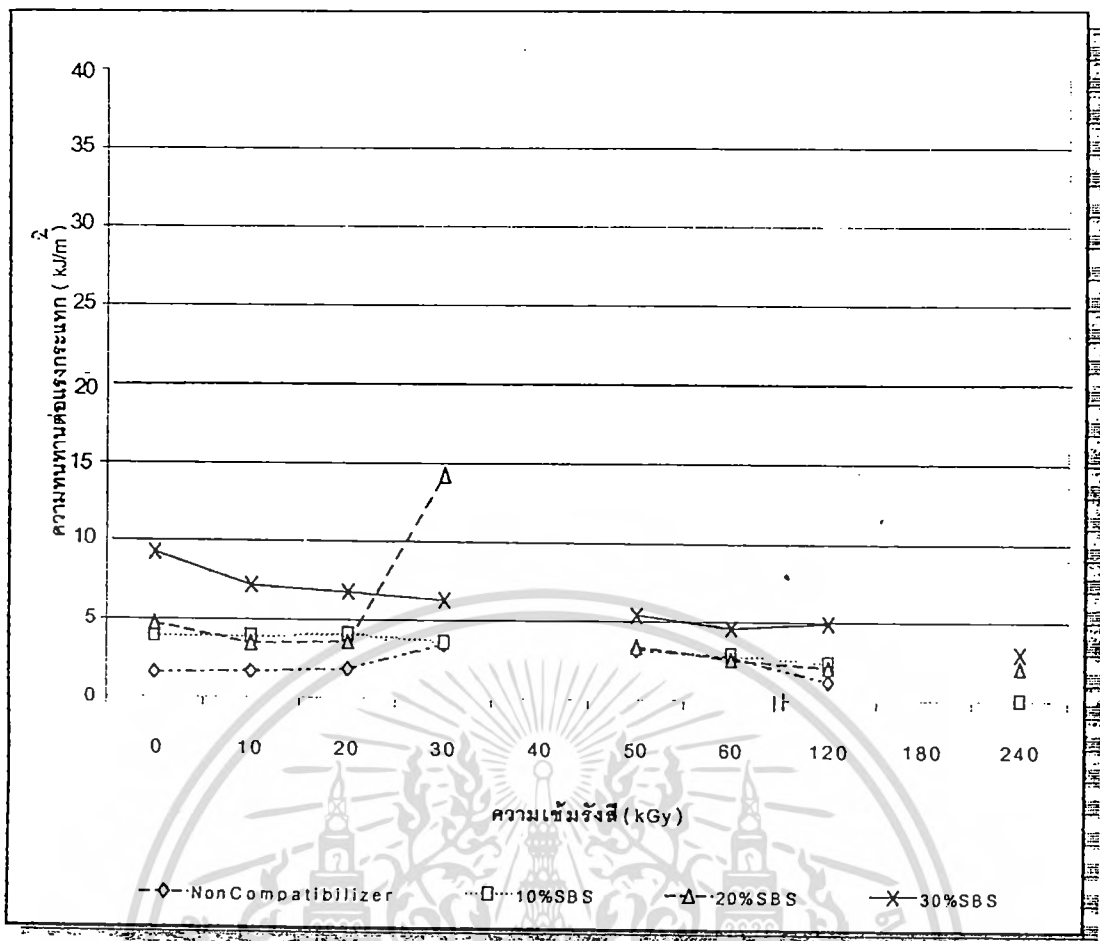
จากรูป 4.18 พบว่าในทุกระบบพอลิเมอร์ผสม ที่ความเข้มรังสีต่ำ ( 10-30 kGy ) มีผลน้อยมากต่อความทนแรงดึง ที่ความเข้มรังสีในช่วง 40-180 kGy ความทนแรงดึงเพิ่มขึ้นมากแต่ลดลงตามปริมาณ SBS ที่เพิ่มขึ้น จากนั้นลดลงที่ความเข้มรังสีสูงกว่า 180 kGy แสดงว่าที่ความเข้มรังสีต่ำ PP และ SBS ไม่เกิดการเชื่อมโยง ส่งผลให้ความทนแรงดึงเท่ากับเมื่อไม่ฉายรังสี ในขณะที่ความเข้มรังสีในช่วง 40-180 kGy SBS และ PP เกิดการเชื่อมโยง แรงยึดระหว่างสายโซ่เพิ่มขึ้น ความทนแรงดึงจึงเพิ่มสูงขึ้นมาก และที่ความเข้มสูงกว่า 180 kGy เกิดการเชื่อมโยงมาก ทำให้พอลิเมอร์ผสมเปราะ ความทนแรงดึงจึงลดลงมาก แต่ในกรณีมี SBS ความแข็งแรงที่เกิดจากแรงยึดระหว่างสายโซ่จะหักล้างกับความสามารถในการดึงยึดของบิวทาไดอีน ทำให้เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด ต่ำลงตามปริมาณ SBS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 แสดงมอดุลัสของ PS/PP 50/50 ที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.19 พบว่ามอดุลัสให้เส้นกราฟใกล้เคียงกับความทนแรงดึง กล่าวคือในทุกระบบ พอลิเมอร์ผสม ที่ความเข้มรังสีต่ำ ( 10-30 kGy ) มอดุลัสไม่เปลี่ยนแปลงจากเมื่อไม่ฉายรังสี และเพิ่มขึ้นจากที่ความเข้มรังสีในช่วง 40-180 kGy แต่ลดลงตามสารช่วยผสม SBS จากนั้นลดลงที่ความเข้มรังสีสูงกว่า 180 kGy แสดงว่าเมื่อเกิดการเชื่อมโยงของ SBS ส่วนของบิวทาไดอีน มีความยืดหยุ่นทำให้มอดุลัสลดลง



รูปที่ 4.20 แสดงความทนทานต่อแรงกระแทกของ PS/PP 50/50 ที่ความเข้มรังสีต่างๆ

จากรูปที่ 4.20 พบว่าความทนทานต่อแรงกระแทกให้ลักษณะเส้นกราฟใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์การดัดยัด ณ จุดขาด กล่าวคือที่ความเข้มรังสีเพิ่มขึ้น ความทนทานต่อแรงกระแทกลดลง แสดงว่าที่ความเข้มรังสีเพิ่มขึ้น PP และ SBS เกิดการเชื่อมโยง แรงยึดระหว่างโมเลกุลแข็งแรงขึ้น การรับแรงไม่ดี ความทนทานต่อแรงกระแทกจึงลดลง

สรุป ผลของความเข้มรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การดัดยัด ณ จุดขาด และความทนทานต่อแรงกระแทก พบว่าพอลิเมอร์ผสม PS/PP 50/50 มีแนวโน้มตรงกันข้ามกับ PS/LDPE ที่อัตราส่วนเดียวกัน กล่าวคือระบบของพอลิเมอร์ผสม PS/PP เปอร์เซ็นต์การดัดยัด ณ จุดขาด และความทนทานต่อแรงกระแทกลดลงตามความเข้มรังสีที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ระบบพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE เปอร์เซ็นต์การดัดยัด ณ จุดขาด และความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นตามความเข้มรังสีที่เพิ่มขึ้น ส่วนผลของความเข้มรังสีต่อสมบัติความทนแรงดึง และมอดุลัส พบว่าพอลิเมอร์ทั้งสองระบบมีแนวโน้มเหมือนกัน กล่าวคือ ที่ความเข้มรังสีต่ำ (10-30 kGy) ความทนแรงดึง และมอดุลัสไม่เปลี่ยนแปลงจากเมื่อไม่ฉายรังสี ที่ความเข้มรังสี 40-180 kGy ความทนแรงดึง และมอดุลัส

สูงสุดอยู่ในระดับเดียวกัน และที่ความเข้มมากกว่า 180 kGy ความทนแรงดึง และมอดุลัสลดลง (ใกล้เคียงกับเมื่อไม่ฉายรังสี) ทั้งนี้จากกล่าวได้ว่าการเชื่อมโยงที่เกิดจาก LDPE และ PP ส่งผลต่อความทนแรงดึง และมอดุลัสคล้ายกัน แต่การเชื่อมโยงที่เกิดจาก PP ให้ความทนแรงดึง และมอดุลัสสูงกว่า LDPE

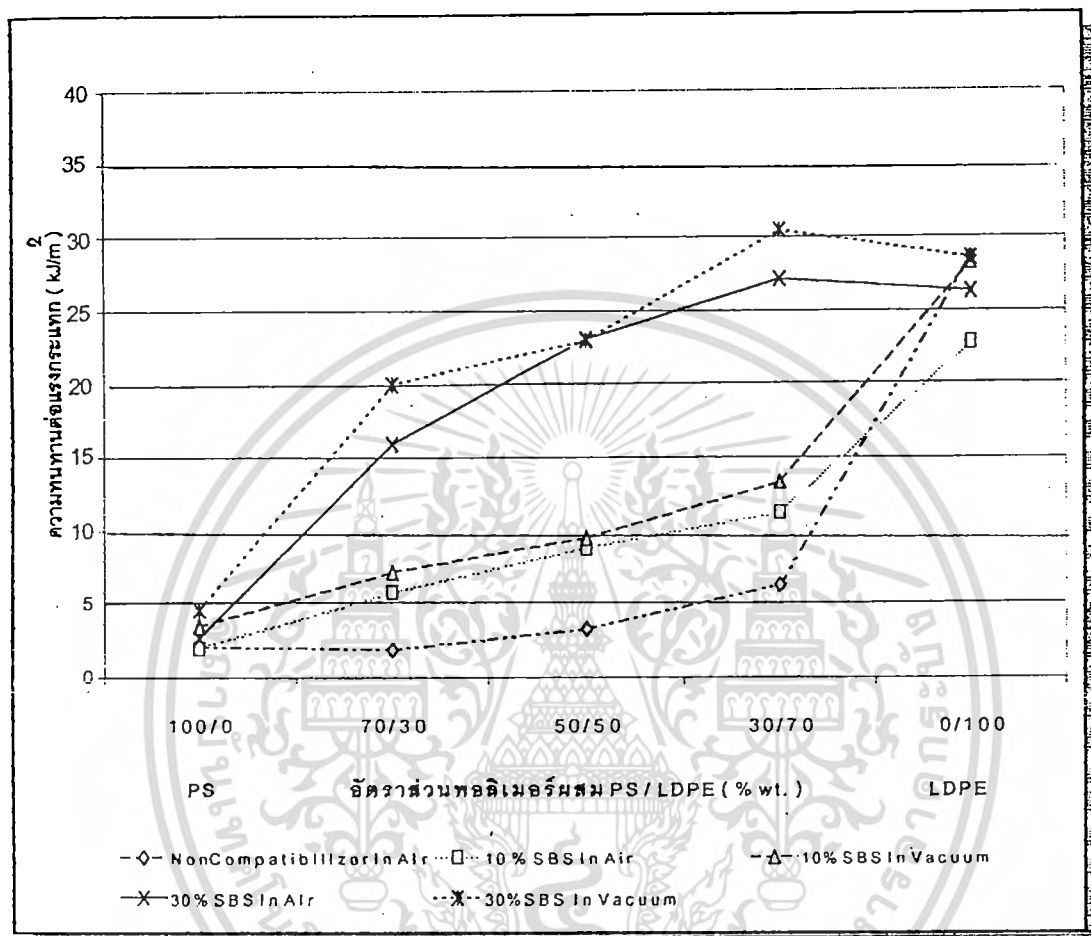
ผลของปริมาณสารช่วยผสมของ PS/PP ที่ทุกความเข้มรังสี ให้ผลเช่นเดียวกับ PS/LDPE กล่าวคือ เมื่อปริมาณสารช่วยผสมเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มสูงขึ้น และผลที่มีต่อความทนแรงดึง และมอดุลัส ก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน แต่ PS/PP จะให้ผลที่เด่นชัดกว่า กล่าวคือ ปริมาณสารช่วยผสมไม่มีผลที่ความเข้มรังสีต่ำ (10-30 kGy) และที่ความเข้มรังสีสูงกว่า 180 kGy แต่มีผลที่ความเข้มรังสีในช่วง 40-180 kGy คือมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณสารช่วยผสมที่เพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2.4 ศึกษาอิทธิพลของออกซิเจน โดยฉายรังสีในอากาศ และสุญญากาศ ของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่ความเข้มรังสีต่ำ

- เปรียบเทียบการฉายรังสีในอากาศกับสุญญากาศของทุกอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม

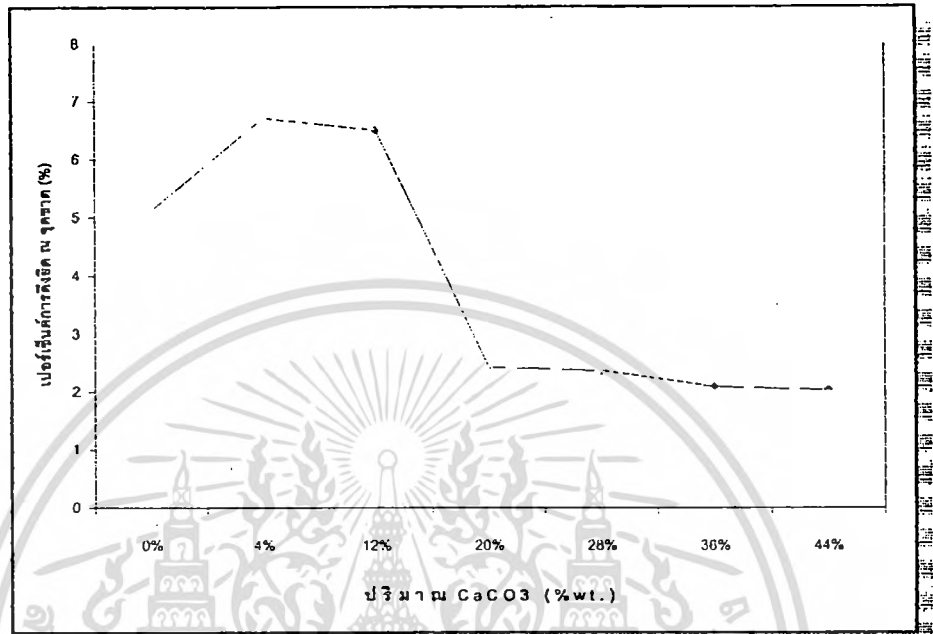


รูปที่ 4.21 แสดงความทนทานต่อแรงกระทำของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE เมื่อฉายรังสีในอากาศ และสุญญากาศ ที่ความเข้มรังสี 10 kGy

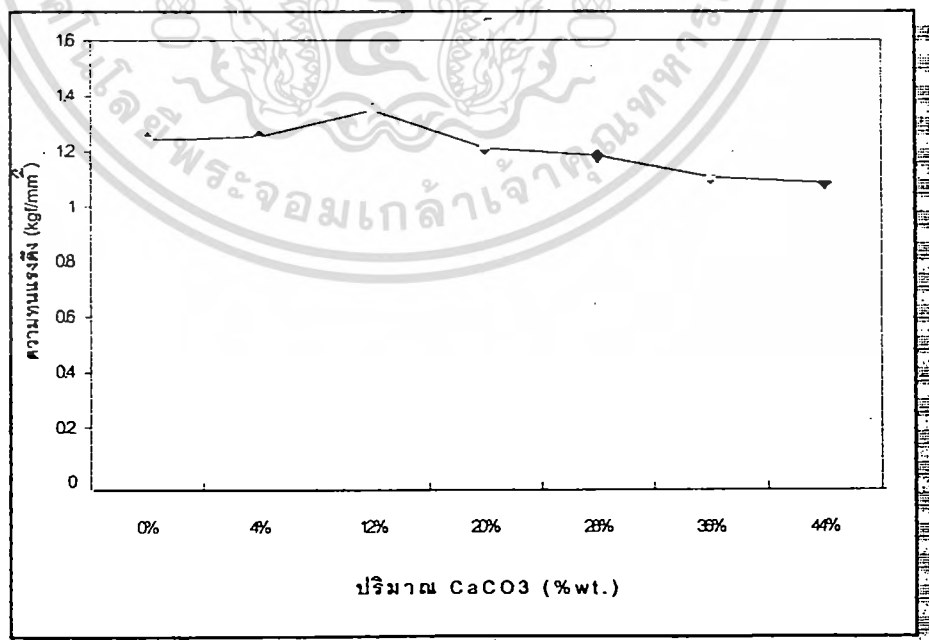
จากรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่อฉายรังสีในสุญญากาศให้ความทนทานต่อแรงกระทำสูงกว่าเมื่อฉายรังสีในอากาศ เนื่องจากการฉายรังสีในสุญญากาศจะหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยังช่วยเร่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นให้สามารถเคลื่อนที่ได้คล่องตัวกว่า โอกาสในการรวมกันของอนุมูลอิสระจึงมากกว่าด้วย

### 4.1.3 ผลของสารตัวเติม

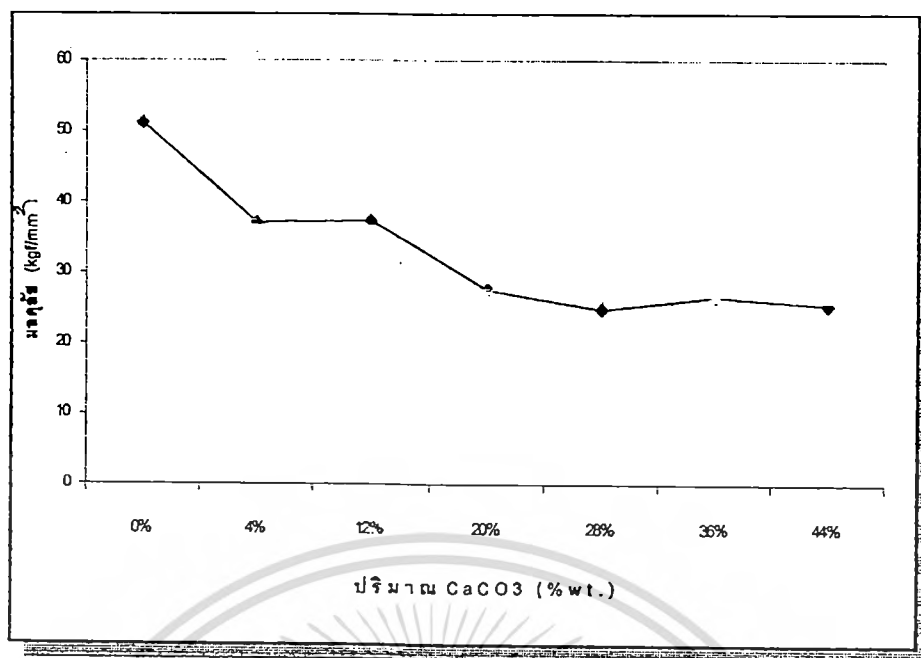
#### 4.1.3.1 ผลของปริมาณ $\text{CaCO}_3$ ต่อพอลิเมอร์ผสมของ PS/LDPE ที่อัตราส่วน 50/50



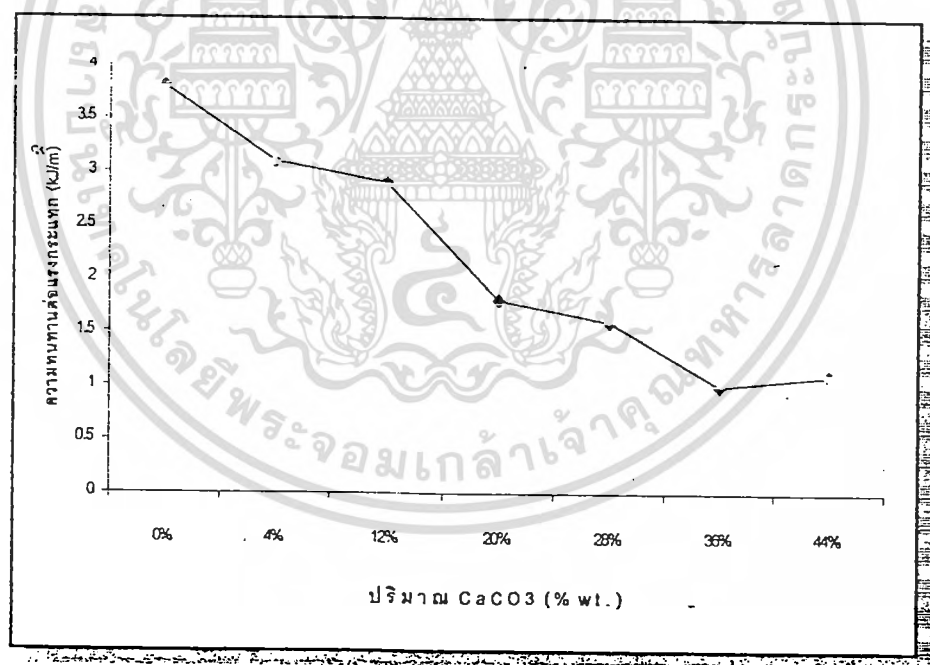
รูปที่ 4.22 แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE 50/50 เมื่อมีการเติม  $\text{CaCO}_3$  ในปริมาณต่าง ๆ



รูปที่ 4.23 แสดงความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE 50/50 เมื่อมีการเติม  $\text{CaCO}_3$  เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ในปริมาณต่าง ๆ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 แสดงมอดุลัสของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE 50/50 เมื่อมีการเติม  $\text{CaCO}_3$  ในปริมาณต่าง ๆ



รูปที่ 4.25 แสดงความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE 50/50 เมื่อมีการเติม  $\text{CaCO}_3$  ในปริมาณต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.22-4.25 พบว่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด ความทนแรงดึง มอดุลัส และความทนทานต่อแรงกระแทกลดลงตามปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  ที่เพิ่มขึ้น และลดลงมากที่ปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  สูงกว่า 12% โดยน้ำหนัก เนื่องจาก  $\text{CaCO}_3$  จะขัดขวางการเคลื่อนไหวภายในโมเลกุลพอลิเมอร์ จึงทำให้พอลิเมอร์แข็ง ซึ่งผลของ  $\text{CaCO}_3$  ที่มีต่อพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดที่นำมาผสมกันแตกต่างกัน คือ  $\text{CaCO}_3$  ทำให้ PS ซึ่งเป็นพอลิเมอร์อัสฐานที่เคลื่อนที่ยาก มีสมบัติแข็งและเปราะ เป็นพอลิเมอร์ที่เปราะมากขึ้น ในขณะที่ทำให้ LDPE ซึ่งอ่อนนุ่ม เป็นพอลิเมอร์ที่แข็งขึ้น ดังนั้น ผลของ  $\text{CaCO}_3$  ต่อพอลิเมอร์ผสมสองชนิดดังกล่าว คือเพิ่มความแข็ง และเปราะ จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด และความทนทานต่อแรงกระแทกลดลงตามปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  ที่เพิ่มขึ้น แต่  $\text{CaCO}_3$  ที่เพิ่มขึ้นไม่ได้ทำให้ความทนแรงดึงเปลี่ยนแปลงมากนัก ในขณะที่ทำให้มอดุลัสลดลงเป็นเพราะ เมื่อ  $\text{CaCO}_3$  มากกว่า 12 % โดยน้ำหนัก เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดลดลงอย่างมาก ดังนั้นค่ามอดุลัสจึงลดลงตามปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  ที่เพิ่มขึ้นดังกล่าว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.3.2 ผลของ $\text{CaCO}_3$ ที่มีต่อพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE 50/50 เมื่อไม่มี และมี มีสารช่วยผสม

ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE 50/50 เมื่อไม่มี และมี  $\text{CaCO}_3$  4% และ 12 % โดยน้ำหนัก

สมบัติเชิงกล ปริมาณ $\text{CaCO}_3$ (%wt.)	พอลิเมอร์ผสม PS/LDPE	เปอร์เซ็นต์การ ดึงยืด ณ จุด ขาด (%)	ความทนแรงดึง ( kgf/mm <sup>2</sup> )	มอดุลัส ( kgf/mm <sup>2</sup> )	ความทนทาน ต่อแรงกระแทก ( kJ/m )
ไม่มี $\text{CaCO}_3$	ไม่เติมสารช่วย ผสม	5.12	1.34	51.21	3.80
	10 % SBS	12.92	1.32	46.60	8.80
	30 % SBS	25.86	1.27	37.01	22.80
4 %	ไม่เติมสารช่วย ผสม	6.72	1.25	37.02	3.10
	10 % SBS	10.72	1.27	30.37	7.20
	30 % SBS	15.38	1.07	35.17	18.00
12 %	ไม่เติมสารช่วย ผสม	6.51	1.35	37.38	2.90
	10 % SBS	9.75	1.27	45.73	5.30
	30 % SBS	19.41	1.15	45.47	19.30

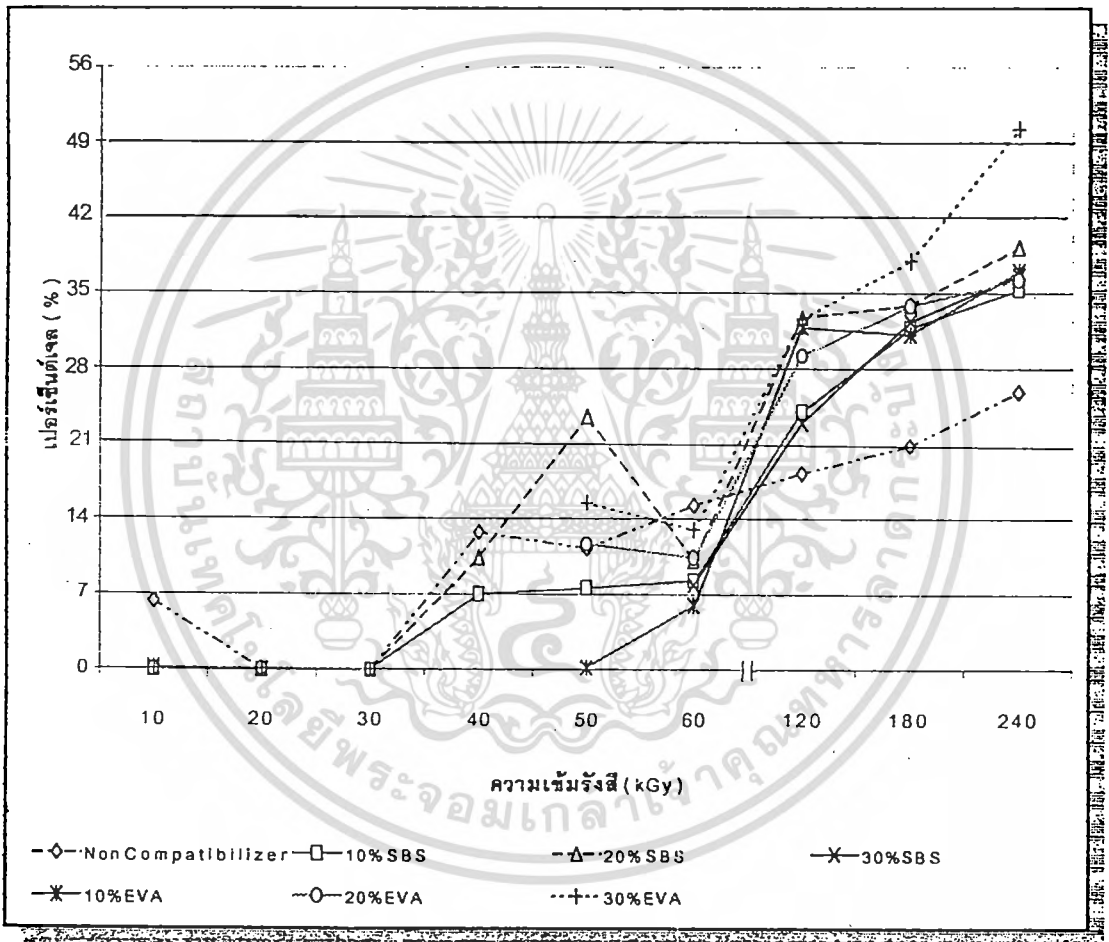
จากตารางที่ 4.1 พบว่าในทุกสมบัติเชิงกล เมื่อมี  $\text{CaCO}_3$  ในพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE 50/50 จะทำให้สมบัติของ SBS ในพอลิเมอร์ผสมลดลงตามปริมาณ SBS หรือตรงข้ามกับก่อนใส่  $\text{CaCO}_3$  ทั้ง 4% และ 12 % โดยน้ำหนัก แสดงว่า  $\text{CaCO}_3$  จะไปขัดขวางการกระจายตัวของ SBS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป พอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วน 50/50 เปรอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ความทนแรงดึง มอดุลัส และความทนทานต่อแรงกระแทกลดลงตามปริมาณ CaCO<sub>3</sub> ยกเว้นที่ปริมาณ CaCO<sub>3</sub> 12% โดยน้ำหนักก็มีผลน้อยต่อสมบัติเชิงกลดังกล่าว และถ้าเติม CaCO<sub>3</sub> ลงในพอลิเมอร์ผสมที่มีสารช่วยผสม เช่น SBS ทำให้บทบาทของ SBS ในพอลิเมอร์ผสมลดลง

### 4.2 เปรอร์เซ็นต์เจล

#### 4.2.1 เปรอร์เซ็นต์เจลของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วน 50/50

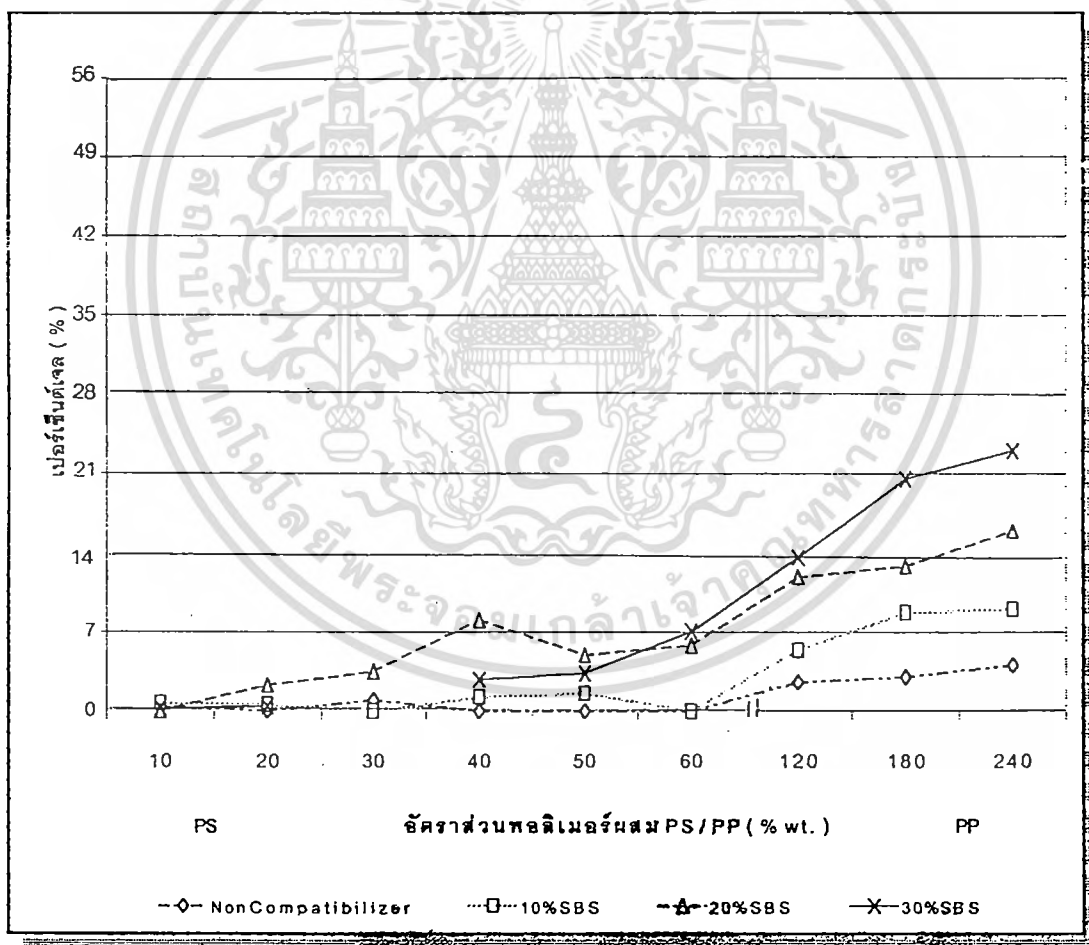


รูปที่ 4.26 แสดงเปอร์เซ็นต์เจลของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่ไม่มี และมีส่วนช่วยผสม เมื่อฉายรังสีในอากาศ ตั้งแต่ความเข้มรังสีต่าง ๆ

จากรูป 4.26 พบว่าที่ความเข้มรังสีสูงกว่า 30 kGy ในทุกระบบพอลิเมอร์ผสม เปรอร์เซ็นต์เจลเพิ่มขึ้นตามความเข้มรังสี และมีผลน้อยต่อสารช่วยผสม ยกเว้นที่ความเข้มรังสีสูงกว่า 120 kGy ในระบบไม่มีสารช่วยผสม เปรอร์เซ็นต์เจลต่ำที่สุด และระบบมีส่วนช่วยผสม EVA 30 % โดยน้ำหนัก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์เจลสูงสุด กล่าวคือเปอร์เซ็นต์เป็นตัวบ่งบอกถึงการเชื่อมโยง เมื่อเปอร์เซ็นต์เจลมากการเชื่อมโยงมาก แสดงว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น ทำให้โอกาสในการเกิดการเชื่อมโยงสูงขึ้น และที่ความเข้มข้นสูงกว่า 120 kGy ระบบไม่มีสารช่วยผสมเกิดการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นในอัตราต่ำกว่าในทุกระบบ แสดงว่าอนุมูลอิสระ LDPE ลดน้อยลง ส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงในอัตราที่น้อยลง ในขณะที่ระบบมีสารช่วยผสมมีอนุมูลอิสระของ LDPE และสารช่วยผสมจึงเกิดการเชื่อมโยงในอัตราที่มากกว่า โดยเฉพาะสารช่วยผสม EVA EVA มีความเป็นผลึกมาก อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมีโอกาสเกิดการเชื่อมโยงได้สูง และสามารถเกิดการเชื่อมโยงกับ LDPE ได้อีกทางหนึ่งด้วย ทำให้ในระบบที่มี EVA เกิดการเชื่อมโยงในอัตราที่สูงตามปริมาณ EVA และสูงกว่าในระบบไม่มี และมีสารช่วยผสม SBS

4.2.2 เปอร์เซ็นต์เจลของพอลิเมอร์ผสม PS/PP ที่อัตราส่วน 50/50



รูปที่ 4.27 แสดงเปอร์เซ็นต์เจลของพอลิเมอร์ผสม PS/PP ที่ไม่มี และมีสารช่วยผสม เมื่อฉายรังสีในอากาศ ตั้งแต่ความเข้มข้นต่าง ๆ

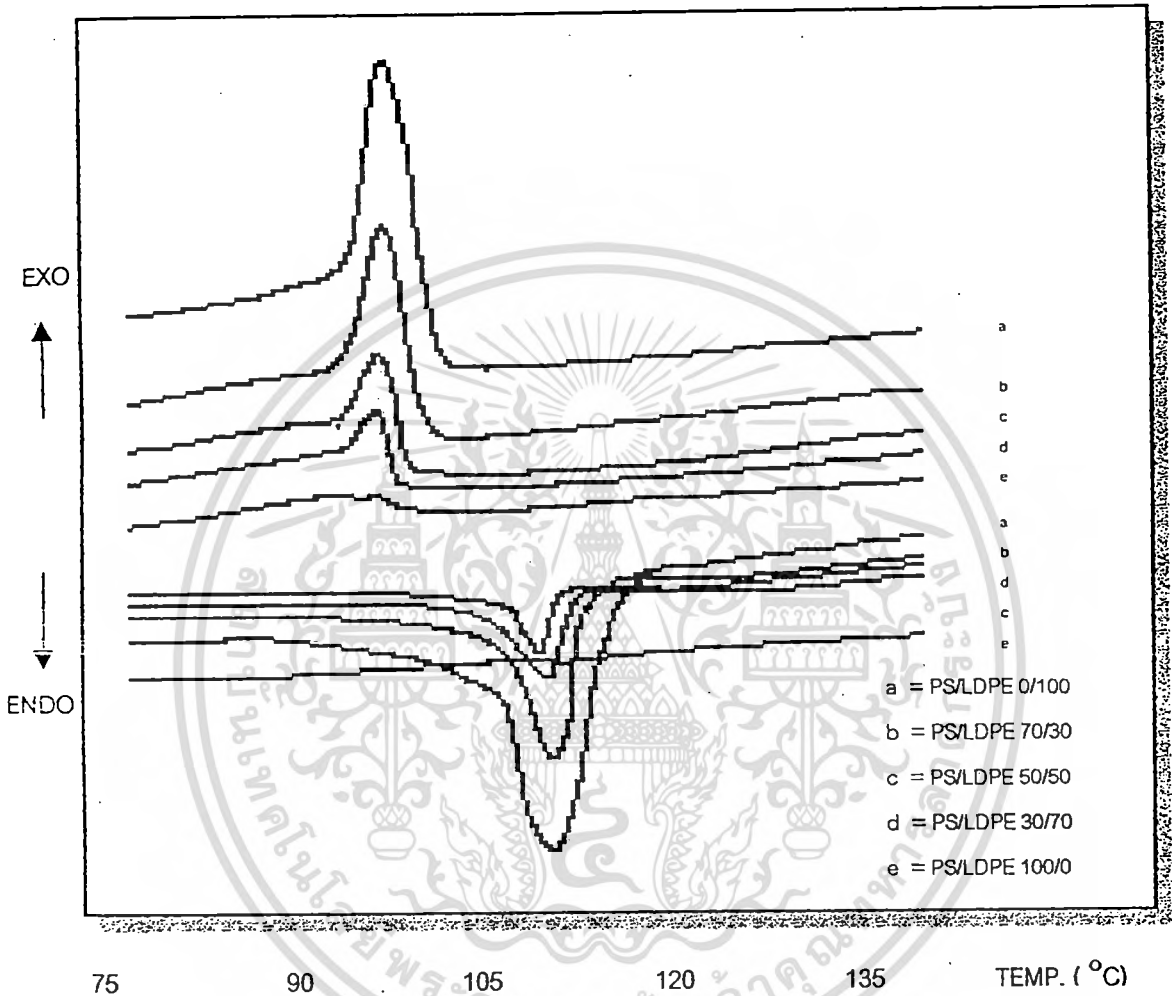
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.27 พบว่าในทุกระบบพอลิเมอร์ผสม เปอร์เซ็นต์เจลเพิ่มขึ้นตามความเข้มรังสี และปริมาณสารช่วยผสม SBS แสดงว่าเมื่อความเข้มรังสีเพิ่มขึ้น เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น ทำให้โอกาสในการเกิดการเชื่อมโยงสูงขึ้น และในระบบ SBS มีทั้งอนุมูลอิสระของ PP และ SBS จึงเกิดการเชื่อมโยงในอัตราที่มากกว่า

สรุป เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์เจลของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE กับ PS/PP ที่อัตราส่วน 50/50 พบว่า PS/LDPE ให้เปอร์เซ็นต์เจลที่สูงกว่า PS/PP มาก และในระบบของ PS/LDPE ความเข้มรังสีมีผลน้อยต่อเปอร์เซ็นต์เจลในสารช่วยผสม ยกเว้นที่ความเข้มรังสีสูงกว่า 120 kGy รังสีมีผลต่อสารช่วยผสม ซึ่งพิจารณาได้จาก ระบบไม่มีสารช่วยผสม ให้เปอร์เซ็นต์เจลต่ำสุด และระบบมีสารช่วยผสม EVA เปอร์เซ็นต์เจลสูงกว่า SBS แสดงว่าความเข้มรังสีสูงกว่า 120 kGy EVA เกิดพันธะเชื่อมโยงได้ดีกับ EVA หรือ LDPE ในขณะที่ระบบ PS/PP แม้ว่าเปอร์เซ็นต์เจลเพิ่มขึ้นตามปริมาณ SBS แต่ยังไม่พอกว่าระบบ PS/LDPE แสดงว่าที่ความเข้มรังสีเดียวกัน LDPE มีส่วนทำให้เกิดการเชื่อมโยงมากกว่า SBS และ PP ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากความเป็นอสัณฐาน หรือมีโซ่กิ่งของ LDPE

### 4.3 สมบัติทางความร้อน

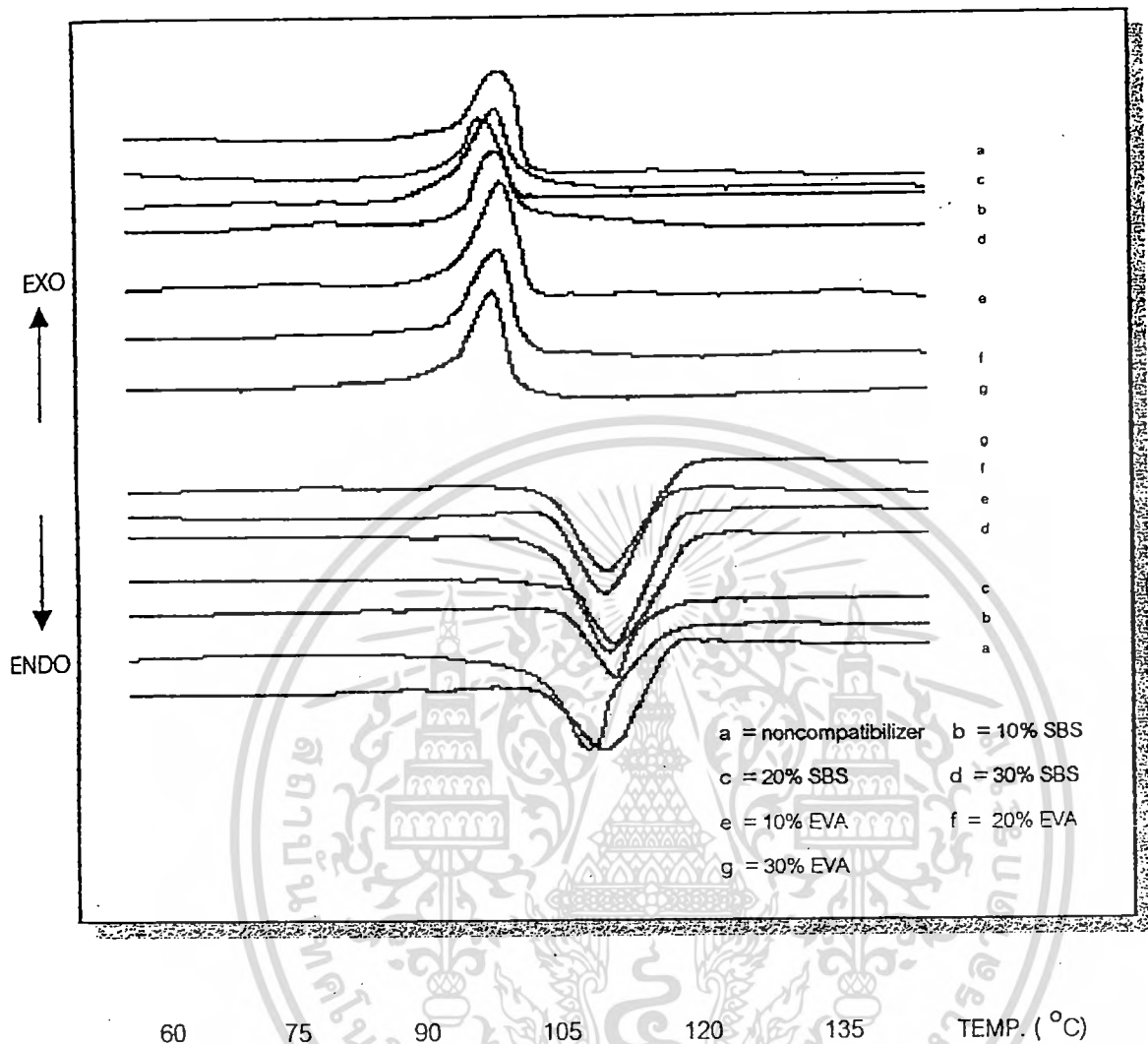
#### 4.3.1 ผลของอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE



รูปที่ 4.28 แสดงสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.28 พบว่า PS จะไม่ปรากฏพีก เนื่องจากพอลิเมอร์ดังกล่าวเป็นอสัณฐาน ดังนั้น พีกที่ปรากฏจึงเป็นพีกของ LDPE  $T_m$ ,  $T_c$  และ  $\Delta H_m$ ,  $\Delta H_c$  ที่ทุกอัตราส่วนมีค่าลดลงตามปริมาณ PS ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่า PS จะขัดขวางการตกผลึกของ LDPE

### 4.3.2 ผลของชนิด และปริมาณสารช่วยผสมของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วน 50/50



รูปที่ 4.29 แสดงสมบัติทางความร้อนของ PS/LDPE 50/50 ที่ไม่มี และมีสารช่วยผสมต่าง ๆ

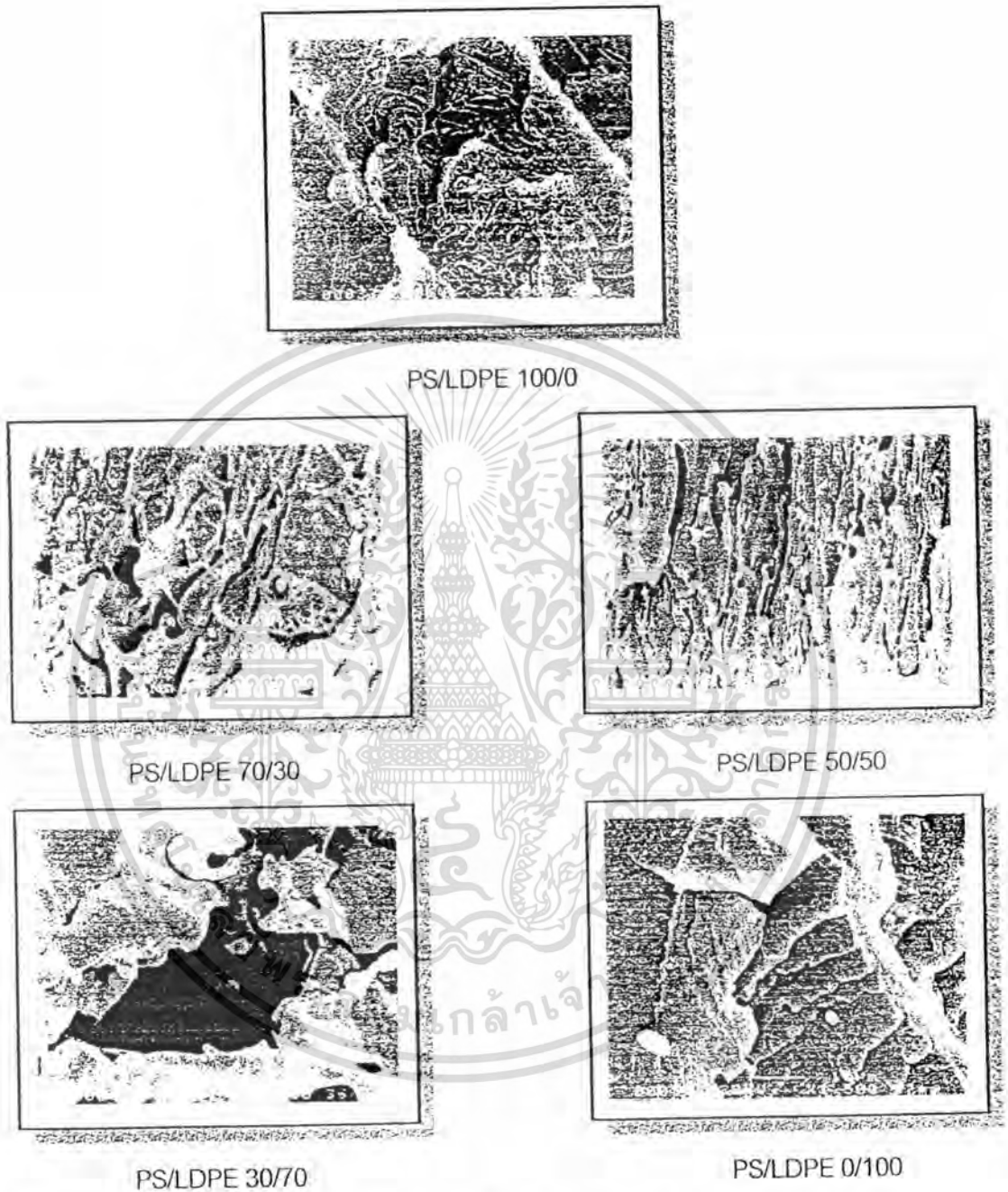
จากรูปที่ 4.29 พบว่า สารช่วยผสม SBS จะไม่ปรากฏทีก เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์อสังฐาน และ  $T_m$ ,  $T_c$  ของระบบมีสารช่วยผสมให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน และใกล้เคียงกับระบบไม่มีสารช่วยผสม  $\Delta H_m$  และ  $\Delta H_c$  ของระบบไม่มีสารช่วยผสมมีค่ามากกว่าระบบมีสารช่วยผสม และมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณสารช่วยผสมที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าสารช่วยผสมจะไปขัดขวางการตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม

สรุป ในระบบไม่มีสารช่วยผสม  $T_m$ ,  $T_c$  และ  $\Delta H_m$ ,  $\Delta H_c$  ของ LDPE ที่ทุกอัตราส่วน มีค่าลดลงตามปริมาณ PS ที่เพิ่มขึ้น และในระบบมีสารช่วยผสม SBS และ EVA มีผลน้อยต่อ  $T_m$ ,  $T_c$  แต่จะมีผลทำให้  $\Delta H_m$ ,  $\Delta H_c$  มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณสารช่วยผสมที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4 สมบัติทางสัณฐานวิทยา

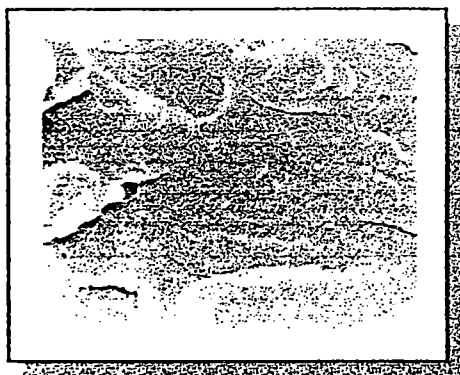
### 4.4.1 ผลของอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมที่มีต่อสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม



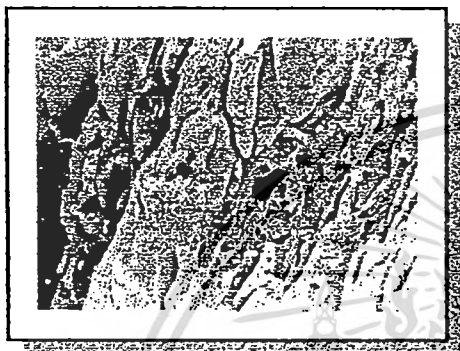
รูปที่ 4.30 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.30 พบว่าในระบบพอลิเมอร์ที่มีสององค์ประกอบ ปรากฏเห็นการกระจายตัวอยู่อย่างหลวม ๆ ของสองวัสดุ คือวัสดุที่มองเห็นเป็นส่วนแข็งของ PS และวัสดุที่มองเห็นเป็นแผ่นของ LDPE โดยที่พอลิเมอร์ที่มีอยู่ในปริมาณมากจะทำหน้าที่เป็นวัสดุต่อเนื่อง และพอลิเมอร์ที่มีปริมาณน้อยเป็นวัสดุกระจายตัว

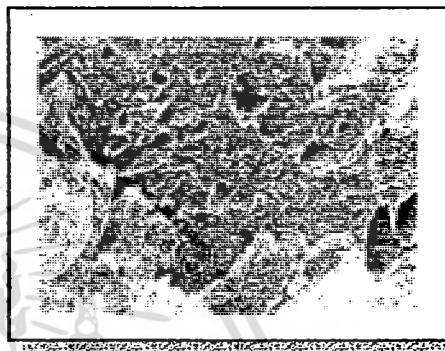
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PS/PP 100/0



PS/PP 70/30



PS/PP 50/50



PS/PP 30/70

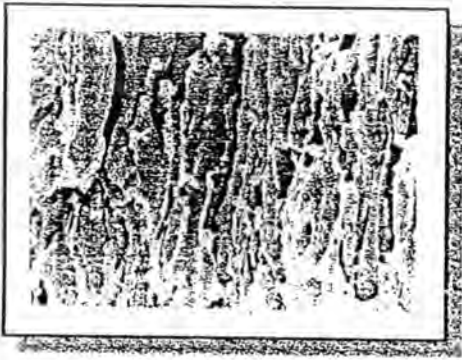


PS/PP 0/100

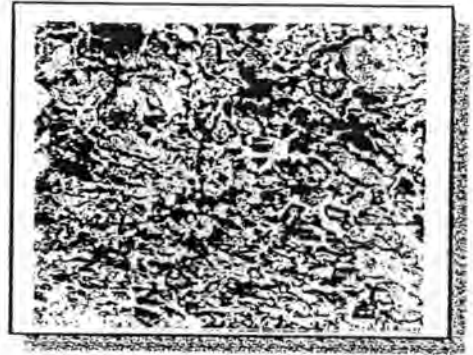
รูปที่ 4.31 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PS/PP ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.31 พบว่าในระบบพอลิเมอร์ที่มีสององค์ประกอบ ปรากฏเห็นการกระจายตัวอยู่อย่างหลวม ๆ ของสองวัฏภาค คือวัฏภาคที่มองเห็นเป็นส่วนแข็งของ PS และวัฏภาคที่มองเห็นเป็นแผ่นกระด้างของ PP โดยที่พอลิเมอร์ที่มีอยู่ในปริมาณมากจะทำหน้าที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง และพอลิเมอร์ที่มีปริมาณน้อยเป็นวัฏภาคกระจายตัว

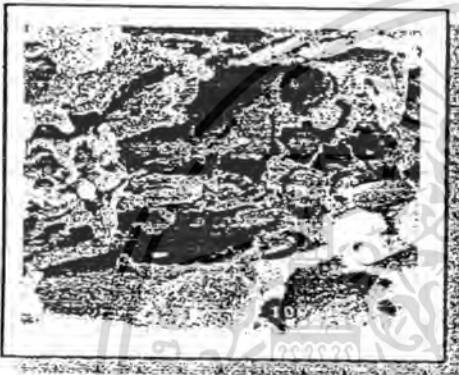
#### 4.4.2 ผลของชนิด และปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม



PS/LDPE/SBS 50/50/0



PS/LDPE/SBS 50/50/10



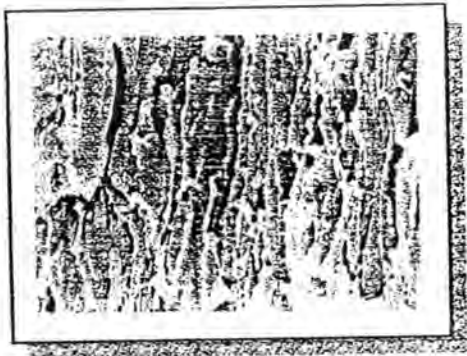
PS/LDPE/SBS 50/50/20



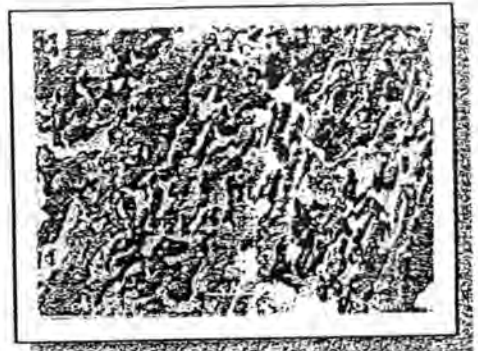
PS/LDPE/SBS 50/50/30

รูปที่ 4.32 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของระบบพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน PS/LDPE 50/50 ที่ไม่มี และมีสารช่วยผสม SBS

จากรูปที่ 4.32 พบว่า เมื่อเติม SBS มีผลทำให้ภูมิภาคกระจายตัวมีขนาดเล็กลง สามารถกระจายตัวได้ดีขึ้นตามปริมาณ SBS ที่เพิ่มขึ้น



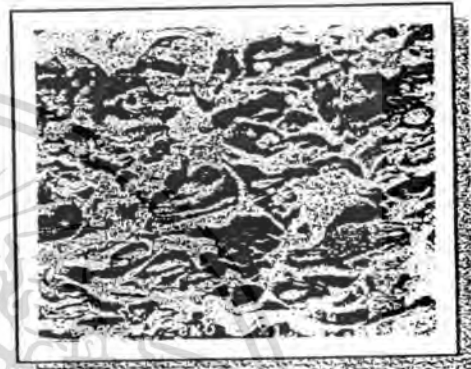
PS/LDPE/EVA 50/50/0



PS/LDPE/EVA 50/50/10



PS/LDPE/EVA 50/50/20



PS/LDPE/EVA 50/50/30

รูปที่ 4.33 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของระบบพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน PS/LDPE 50/50 ที่ไม่มี และมีสารช่วยผสม EVA

จากรูปที่ 4.33 พบว่ามีลักษณะทางสัณฐานวิทยาเช่นเดียวกับเมื่อเติม SBS กล่าวคือ มีผลทำให้ภูมิภาคกระจายตัวมีขนาดเล็กลง และสามารถกระจายตัวได้ดีขึ้นตามปริมาณ EVA ที่เพิ่มขึ้น

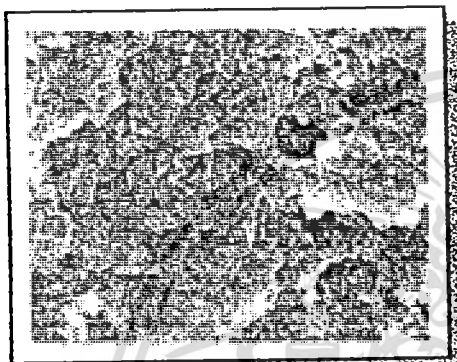
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



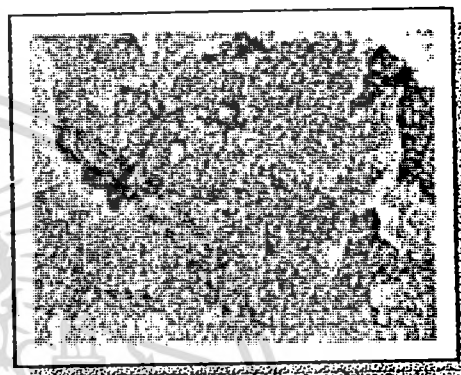
PS/PP/SBS 50/50/0



PS/PP/SBS 50/50/10



PS/PP/SBS 50/50/20

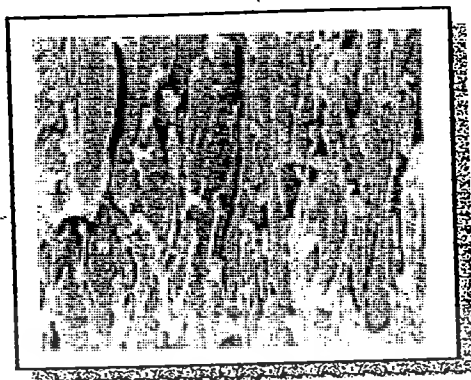


PS/PP/SBS 50/50/30

รูปที่ 4.34 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของระบบพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน PS/PP 50/50 ที่ไม่มีและมีสารช่วยผสม SBS

จากรูปที่ 4.34 พบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาเช่นเดียวกับในระบบพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE กล่าวคือ มีผลทำให้ภูมิภาคกระจายตัวมีขนาดเล็กลง และสามารถกระจายตัวได้ดีขึ้นตามปริมาณ SBS ที่เพิ่มขึ้น

#### 4.4.3 ผลของปริมาณความเข้มข้นที่มีต่อสัณฐานวิทยาของระบบพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เติมสารช่วยผสม



PS/LDPE 50/50 0 kGy



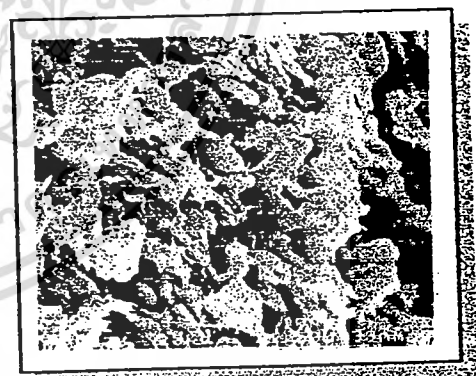
PS/LDPE 50/50 50kGy



PS/LDPE 50/50 120kGy



PS/LDPE 50/50 180kGy



PS/LDPE 50/50 240kGy

รูปที่ 4.35 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE 50/50 เมื่อฉายรังสีที่มีความเข้มต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.35 พบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาปรากฏการเปลี่ยนแปลงไม่เด่นชัด มีแนวโน้มของการเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น แต่ยังคงเห็นเป็น 2 ภูมิภาคเช่นเดียวกับเมื่อไม่ฉายรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PS/PP 50/50 0 kGy



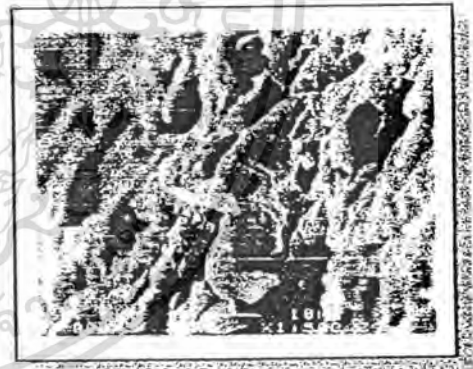
PS/PP 50/50 50kGy



PS/PP 50/50 120kGy



PS/PP 50/50 180kGy



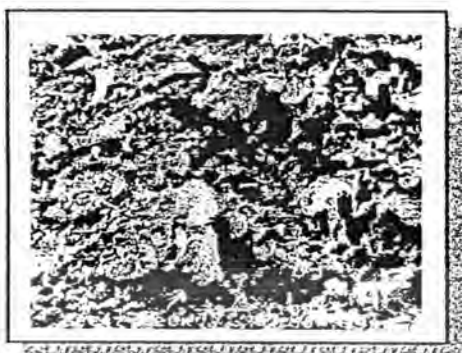
PS/PP 50/50 240kGy

รูปที่ 4.36 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PS/PP 50/50 เมื่อฉายรังสีที่  
ความเข้มต่าง ๆ

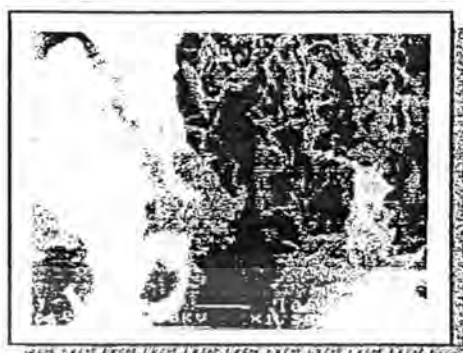
จากรูปที่ 4.36 พบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ผสมของ PS/LDPE  
กล่าวคือ ไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงที่เด่นชัด มีแนวโน้มของการเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น แต่ยังคง  
เห็นเป็น 2 วัฏภาคเช่นเดียวกับเมื่อไม่ฉายรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.4 ผลของรังสีที่มีต่อสัณฐานวิทยาของระบบพอลิเมอร์ผสมที่เติมสารช่วยผสม

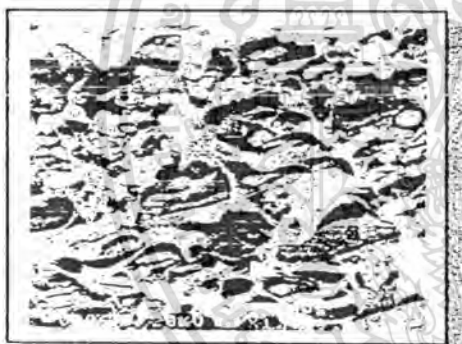


PS/LDPE/SBS 50/50/30 0kGy

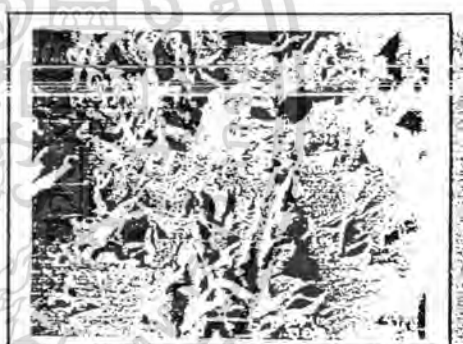


PS/LDPE/SBS 50/50/30 10kGy

รูปที่ 4.37 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE/SBS 50/50/30 เมื่อไม่ฉาย และฉายรังสี



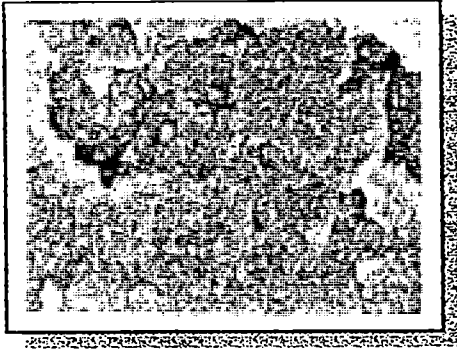
PS/LDPE/EVA 50/50/30 0kGy



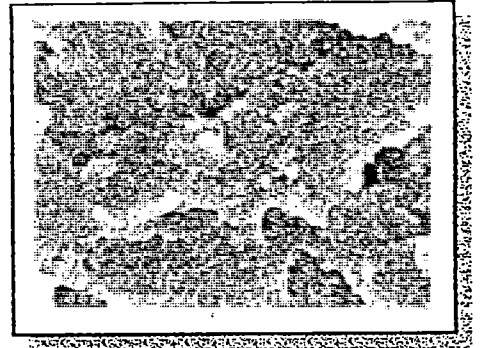
PS/LDPE/EVA 50/50/30 20kGy

รูปที่ 4.38 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE/EVA 50/50/30 เมื่อไม่ฉายและฉายรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



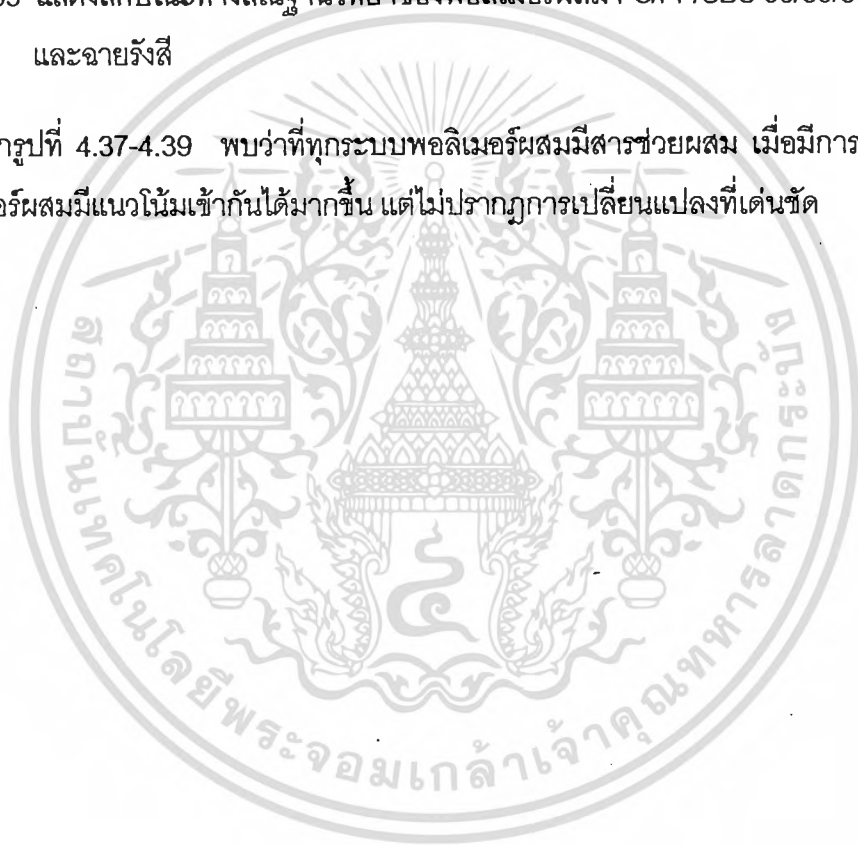
PS/PP/SBS 50/50/30 0kGy



PS/PP/SBS 50/50/30 20kGy

รูปที่ 4.39 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PS/PP/SBS 50/50/30 เมื่อไม่ฉายและฉายรังสี

จากรูปที่ 4.37-4.39 พบว่าที่ทุกระบบพอลิเมอร์ผสมมีสารช่วยผสม เมื่อมีการฉายรังสีทำให้พอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มเข้ากันได้มากขึ้น แต่ไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงที่เด่นชัด



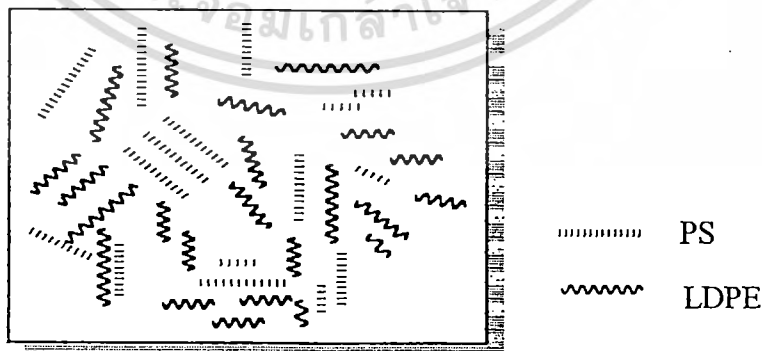
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การศึกษาการรวมเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิสไตรีนกับพอลิโพลิฟิน โดยการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิว ด้วยสารช่วยผสม และรังสีแกมมา ซึ่งในงานวิจัยได้ศึกษาถึง อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม ชนิด ปริมาณสารช่วยผสม และปริมาณความเข้มรังสีที่มีต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และลักษณะทางสัณฐานวิทยา สรุปได้ดังนี้

### 5.1 ระบบพอลิเมอร์ผสมไม่มีสารช่วยผสม

สมบัติเชิงกลขึ้นกับสมบัติเฉพาะด้านของพอลิเมอร์ที่นำมาผสม กล่าวคือ เปรอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ความทนทานต่อแรงกระแทก เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความทนแรงดึง และมอดุลัสลดลงตามปริมาณ LDPE ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของ LDPE มีลักษณะเป็นกิ่งผลึก ดังนั้นจึงมีการจัดเรียงตัวของโซ่โมเลกุลอย่างเป็นระเบียบ แน่นหนา ทำให้เกิดการโค้งงอ หรือมีความยืดหยุ่น ส่วนโครงสร้างของพอลิสไตรีนมีลักษณะเป็นอสัณฐาน การจัดเรียงตัวของโซ่โมเลกุลไม่เป็นระเบียบ แข็ง และเปราะ สมบัติทางความร้อนจาก DSC Thermogram  $T_m$ ,  $T_c$  และ  $\Delta H_c$   $\Delta H_m$  ของพอลิเมอร์ผสม จะลดลงตามปริมาณพอลิสไตรีนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิสไตรีนจะไปขัดขวางการตกผลึกของพอลิเอทิลีน สมบัติทางสัณฐานวิทยา สนับสนุนผลจาก DSC ที่ว่าพอลิเมอร์ผสมทั้งสองชนิดเข้ากันไม่ได้ กล่าวคือ จะปรากฏให้เห็นวัฏภาคเป็นสองวัฏภาคอย่างชัดเจน ดังนี้

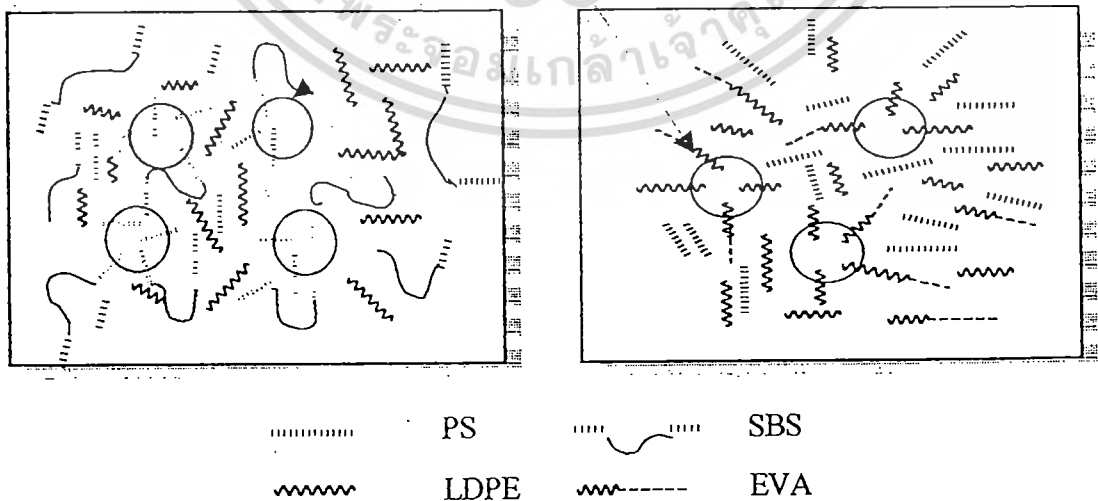


รูปที่ 5.1 แสดงโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE

## 5.2 ระบบพอลิเมอร์ผสมที่มีสารช่วยผสม

สมบัติเชิงกลขึ้นกับสมบัติเฉพาะของพอลิเมอร์ที่นำมาผสม เช่นเดียวกับระบบที่ไม่มีสารช่วยผสม แต่จะให้ เปรอ์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มสูงขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณ SBS, EVA ที่เพิ่มมากขึ้น ความทนแรงดึง มอดุลัสต่ำลง และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณ SBS, EVA ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก SBS และ EVA มีส่วนที่มีโครงสร้างเหมือนกับพอลิเมอร์หลักในพอลิเมอร์ผสมจึงทำให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้มากขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็มีส่วนของบิวทาไดอีน ใน SBS และส่วนของเอทิลีน ใน EVA ที่ นิ่ม ยืดตัวได้เพิ่มขึ้นมาในพอลิเมอร์ผสม โดยที่ SBS จะมีผลต่อสมบัติเชิงกลมากกว่า EVA เนื่องจาก SBS เข้ากันได้กับพอลิเมอร์ผสมดีกว่า และส่วนของบิวทาไดอีนก็ยืดตัวได้มากกว่า EVA พอลิเมอร์ผสมของ PS/LDPE/SBS ที่อัตราส่วน 30/70/30 ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงสุด สมบัติทางความร้อน  $T_m$  และ  $T_c$  ของระบบมีสารช่วยผสมให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน และใกล้เคียงกับระบบที่ไม่มีสารช่วยผสม ส่วน  $\Delta H_m$  และ  $\Delta H_c$  ในระบบไม่มีสารช่วยผสมมีค่ามากกว่าระบบที่มีสารช่วยผสม และมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณสารช่วยผสมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารช่วยผสมจะไปขัดขวางการตกผลึกของพอลิเอทิลีนเช่นเดียวกับพอลิสไตรีน ลักษณะทางสัณฐานวิทยาจะสังเกตเห็นการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมมากขึ้นเมื่อมีการเติมสารช่วยผสม เนื่องจาก SBS และ EVA จะทำหน้าที่คล้ายเป็นตัว physical crosslink ช่วยในการเชื่อมโยงระบบ ทำให้เกิดการกระจายระหว่างภูมิภาคทั้งสองชนิดได้ดีขึ้น ดังนี้

PHYSICAL CROSSLINK DOMAIN



รูปที่ 5.2 แสดงโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ในระบบที่มีสารช่วยผสม SBS และ EVA เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 ระบบพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีสารช่วยผสมเมื่อผ่านการฉายรังสี

ระบบพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่ไม่มีสารช่วยผสมเมื่อมีการฉายรังสี เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด และความทนทานต่อแรงกระแทก ไม่เปลี่ยนแปลง หรือลดลงเล็กน้อยที่ทุกความเข้มรังสี ความทนแรงดึง และมอดุลัสไม่เปลี่ยนแปลงที่ความเข้มรังสีต่ำ ( 10-30 kGy ) และเพิ่มขึ้นมากที่ความเข้มรังสีในช่วง 40-180 kGy จากนั้นลดลงที่ความเข้มรังสีสูงกว่า 180 kGy เนื่องจากรังสีทำให้เกิดการเชื่อมโยงขึ้นภายใน LDPE ทำให้พอลิเมอร์ผสมแข็งแรงมากขึ้น และการเชื่อมโยงจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มรังสีที่เพิ่มขึ้น การเชื่อมโยงเกิดขึ้นมากที่ความเข้มรังสีสูงกว่า 180 kGy ทำให้พอลิเมอร์ผสมเปราะ สมบัติเชิงกลทั้งหมดของพอลิเมอร์ผสมลดลง ซึ่งสามารถยืนยันการเกิดการเชื่อมโยงได้จากเปอร์เซ็นต์เจล กล่าวคือเปอร์เซ็นต์เจลที่ความเข้มรังสีต่ำมีค่าน้อยมาก และจะสูงขึ้นตามความเข้มรังสีที่เพิ่มขึ้น ลักษณะทางสัณฐานวิทยาเมื่อมีการฉายรังสีไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่เด่นชัด แต่มีแนวโน้มของการเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบการปรับปรุงการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างการเติมสารช่วยผสมกับการฉายรังสี พบว่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด ความทนทานต่อแรงกระแทกของระบบที่มีสารช่วยผสมให้ค่ามากกว่าระบบที่ไม่มีสารช่วยผสมเมื่อมีการฉายรังสี ส่วนความทนแรงดึง และมอดุลัสให้ผลที่ตรงกันข้าม เปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่าระบบที่มีสารช่วยผสมมีความเข้ากันได้มากกว่าระบบพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีสารช่วยผสมเมื่อมีการฉายรังสี กล่าวคือสารช่วยผสมทำให้ภูมิภาคกระจายตัวมีขนาดเล็กลง ในขณะที่รังสีปรากฏให้เห็นลักษณะของการเข้ากันได้ไม่เด่นชัด

ระบบพอลิเมอร์ผสม PS/PP ที่ไม่มีสารช่วยผสมเมื่อมีการฉายรังสี สมบัติเชิงกล และลักษณะทางสัณฐานวิทยาให้ผลเช่นเดียวกับระบบพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE

### 5.4 ระบบพอลิเมอร์ผสมที่มีสารช่วยผสมเมื่อผ่านการฉายรังสี

ระบบพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่มีสารช่วยผสมเมื่อมีการฉายรังสี เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด และความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น ตามความเข้มรังสีที่เพิ่มขึ้น ความทนแรงดึง และมอดุลัส ให้ผลเช่นเดียวกับการฉายรังสีระบบที่ไม่มีสารช่วยผสม เนื่องจาก SBS และ EVA เกิดการเชื่อมโยงร่วมกับ LDPE หรือเกิดการเชื่อมโยงกับตัวมันเองมากขึ้นเมื่อความเข้มรังสีเพิ่มขึ้น สายโซ่ที่ยาวขึ้น และมีส่วนของบิวทาไดอีน หรือส่วนเอทิลีนไวนิลเอซีเตตภายในสายโซ่ จะส่งผลให้สมบัติดังกล่าวเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณสารช่วยผสมที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ SBS จะให้ค่า

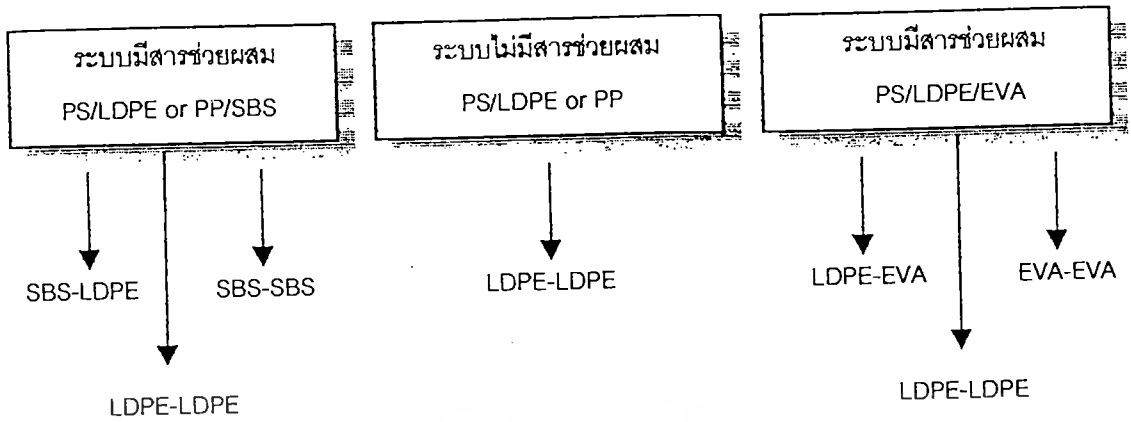
สูงกว่า EVA เนื่องจากส่วนของบิวทาไดอีนใน SBS ช่วยในการเชื่อมโยงมากกว่าเอทิลีนไวนิล-แอซีเตต การเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นจากสารช่วยผสมจะไม่ทำให้ความทนแรงดึง มอดุลัสเพิ่มขึ้น เนื่องจากในสารช่วยผสมมีส่วนประกอบของส่วนที่ยืดหยุ่นได้ ดังนั้นความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นจากการเชื่อมโยงจะหักล้างกับความสามารถในการดึงยืดของสารช่วยผสม ดังนั้นจะได้ว่าในระบบมีสารช่วยผสม ความเข้มรังสีที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อความทนแรงดึง และมอดุลัสน้อยมาก ซึ่งสามารถยืนยันการเกิดการเชื่อมโยงได้จากเปอร์เซ็นต์เจล

เมื่อเปรียบเทียบการปรับปรุงการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมด้วยการเติมสารช่วยผสมร่วมกับ การฉายรังสี พบว่าสมบัติเชิงกลทั้งหมดให้ค่ามากกว่าระบบพอลิเมอร์ผสมเดียวกันที่ไม่ผ่านการฉายรังสี เนื่องจากภายในการเข้ากันได้ของทั้งสองวัฏภาคยังมีการเชื่อมโยงเกิดขึ้นด้วย ดังนั้นจึงทำให้มีการเกี่ยวพันกันมากขึ้น โมเลกุลของพอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้มากยิ่งขึ้น เปรียบเทียบ ลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่ามีการเข้ากันได้มากขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง อย่างเด่นชัด

ระบบพอลิเมอร์ผสม PS/PP มีสารช่วยผสมเมื่อมีการฉายรังสี สมบัติเชิงกลของเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ความทนทานต่อแรงกระแทกลดลงตามความเข้มรังสีที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้ตรงข้ามกับระบบพอลิเมอร์ผสมของ PS/LDPE เนื่องจากการเชื่อมโยงระหว่างสารช่วยผสมกับ PP ทำให้พอลิเมอร์แข็งแรงมาก จึง PP ทำหน้าที่ขัดขวางการยึดตัวของสารช่วยผสม ในขณะที่การเชื่อมโยงระหว่างสารช่วยผสมกับ LDPE จะส่งเสริมการเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ผสม ส่วนความทนแรงดึง มอดุลัส และลักษณะทางสัณฐานวิทยาให้ผลเช่นเดียวกับระบบพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE

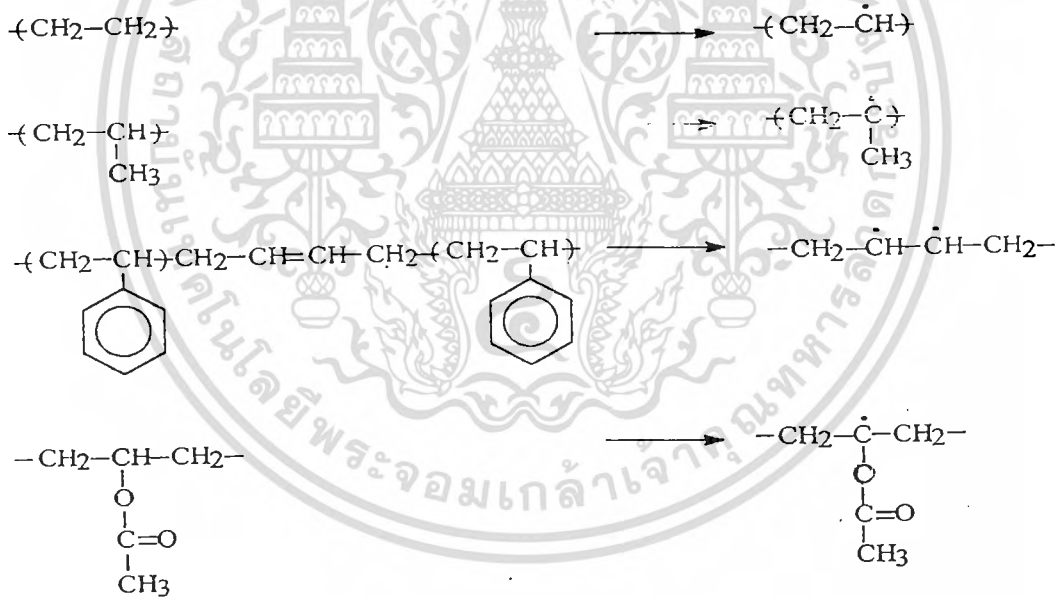
ผลจากการปรับปรุงความเข้ากันได้โดยใช้รังสีนั้น พบว่าความเข้มรังสีที่ใช้เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงและให้สมบัติเชิงกลที่ดีเมื่อมีการฉายรังสีในอากาศค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงได้ศึกษาถึงการฉายรังสีในสุญญากาศเพื่อต้องการให้เกิดการเชื่อมโยงที่ความเข้มรังสีต่ำ จากการศึกษาที่ความเข้มรังสีเดียวกัน การฉายรังสีในสุญญากาศให้ความทนทานต่อแรงกระแทกดีกว่าการฉายรังสีในอากาศในทุกอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม เนื่องจากการฉายรังสีในสุญญากาศจะหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ และยังช่วยเร่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นให้สามารถเคลื่อนที่ได้คล่องตัวกว่า โอกาสในการรวมกันของอนุมูลอิสระจึงมากกว่า

กลไกการเกิดการเชื่อมโยงภายในพอลิเมอร์ผสมเมื่อมีการฉายรังสี

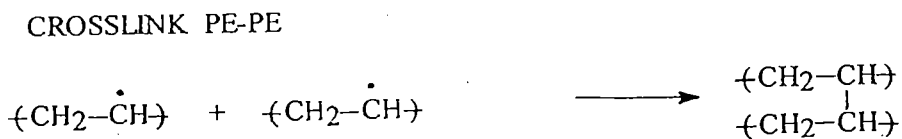


รูปที่ 5.3 แสดงความเป็นไปได้ในการเกิดการเชื่อมโยงของแต่ละระบบพอลิเมอร์ผสมเมื่อได้รับรังสี

การเกิดอนุมูลอิสระ

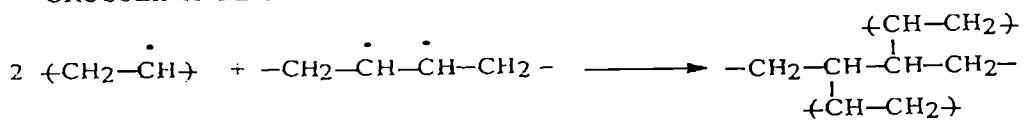


การเกิดการเชื่อมโยง

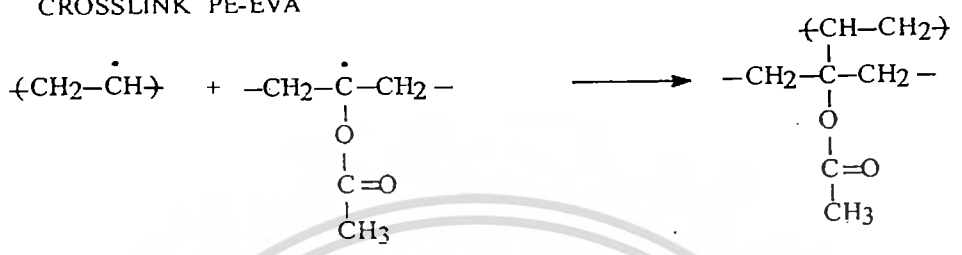


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CROSSLINK PE-SBS



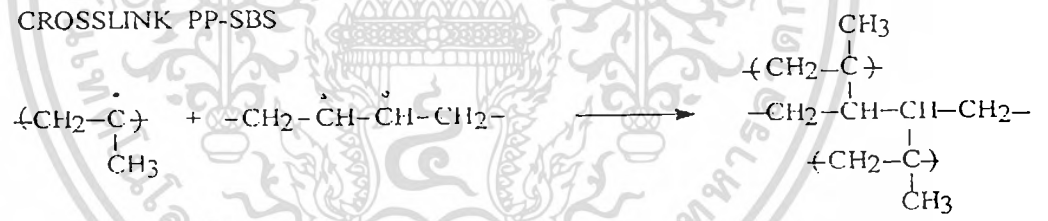
CROSSLINK PE-EVA



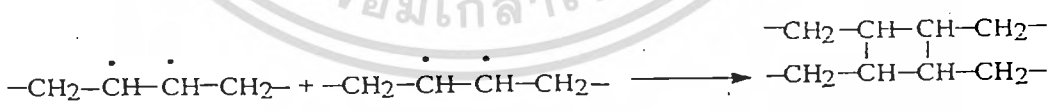
CROSSLINK PP-PP



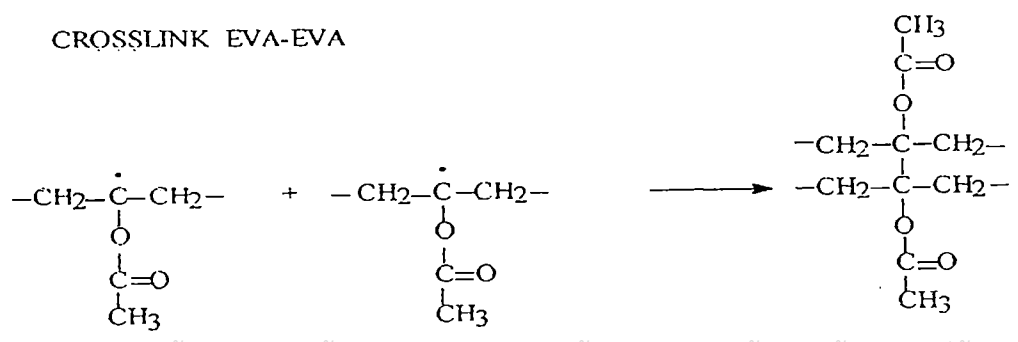
CROSSLINK PP-SBS



CROSSLINK SBS-SBS



CROSSLINK EVA-EVA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการศึกษาปรับปรุงการเข้ากันของพอลิเมอร์ผสมด้วยการเติมสารช่วยผสม และการฉายรังสีแล้ว การศึกษาถึงผลของ  $\text{CaCO}_3$  ต่อสมบัติเชิงกลก็เป็นสิ่งสำคัญในการนำพอลิเมอร์ที่ได้ไปใช้งานอย่างคุ้มค่า  $\text{CaCO}_3$  ทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม PS/LDPE ที่อัตราส่วน 50/50 ลดลงตามปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก  $\text{CaCO}_3$  จะขัดขวางการเคลื่อนไหวภายในโมเลกุลพอลิเมอร์ ให้อยู่นิ่งมากขึ้น ทำให้ PS ซึ่งเป็นพอลิเมอร์อสังฐานที่เคลื่อนที่ยาก มีสมบัติแข็ง และเปราะ เป็นพอลิเมอร์ที่เปราะมากขึ้น ในขณะที่ทำให้ LDPE ซึ่งอ่อนนุ่ม เป็นพอลิเมอร์ที่แข็งขึ้น ยกเว้น  $\text{CaCO}_3$  12% โดยน้ำหนัก ซึ่งถือได้ว่าเป็นปริมาณที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน กล่าวคือ จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับเมื่อไม่เติม  $\text{CaCO}_3$  / ส่วนผลของ  $\text{CaCO}_3$  ในพอลิเมอร์ผสมที่มีสารช่วยผสม SBS ส่งผลให้บทบาทของ SBS ในพอลิเมอร์ผสมลดลง หรือตรงข้ามกับเมื่อไม่เติม  $\text{CaCO}_3$  แสดงว่า  $\text{CaCO}_3$  จะขัดขวางการกระจายตัวของ SBS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้ GPC เพื่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์หลักก่อน และหลังการฉายรังสี เพื่อยืนยันการเกิดการเชื่อมโยง และการสลายพันธะภายในโมเลกุลพอลิเมอร์ผสม
2. ควรผลิตพอลิเมอร์ผสมโดยใช้สภาวะที่ได้จากการทดลองครั้งนี้. จากขยะพลาสติก เพื่อดูแนวโน้ม และความเป็นไปได้ในการนำเทคนิคพอลิเมอร์ผสม และเทคนิคการฉายรังสีมาใช้กับพลาสติกเหลือใช้แล้วทิ้งให้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล. ปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2537.
2. Coran A.Y. "Polymer Blends and Alloys." Polymer Blends Toward 2000. August, 1997. p. 1.
3. Finlayson K., Deanin R.D. Advances in Polymer Blends and Alloys Technology. New York : Technomic. 1992.
4. Fujuyama M. "Structure and Properties of Injection Moldings of Polypropylene/ Polystyrene Blend." Plastics Research Laboratory. July, 1996. pp. 1015-1027.
5. Lock C.E. and Paul D.R. "Graft Copolymer Modification of Polyethylene-Polystyrene Blends. II. Properties of Modified Blends." J. Appl. Polym. Sci. vol. 17, 1973. pp. 2791-2800.
6. Singh A. and Siliverman J., Gisbergen J. and Overbergh N. Radiation Processing of Polymers. New York : Hanser. 1992.
7. Lindsey C.R., Paul D.R. and Bralow J.W. "Mechanical Properties of HDPE-PS-SEBS Blends." J. Appl. Polym. Sci. vol. 26, 1981. pp. 1-8.
8. Rizzo G., Spadaro G. and Aeierno D. "Physico Chemical Properties of  $\gamma$ -Irradiated LDPE-iPP Blends." Radiat. Phys. Chem. vol. 21, 1983. pp. 349-353.
9. Dongyuan L. "The Effect of Radiation Cross-linking on the Mechanical Properties of Polyethylene Sheets." Radiat. Phys. Chem. vol. 29, 1987. pp. 175-177.
10. Lopez D. and Burillo G. Radiation Effects on Polymers. Washington, DC : American Chemical Society. 1991.
11. Wu C., Ku J.F. and Cy. C. "Rubber-Toughened Polyamide-6 The Influences of Compatibilizer on Morphology and Impact Properties." Polym. Eng. Sci. vol. 33, 1993. pp. 1329-1335.
12. Changhai L., Huili Y. and Changchun X. J. "Enhanced Interfacial Radiation-induced Reaction for Improving the Interfacial Adhesion of Incompatible Polymer Blends PP/BR." Symposium on Radiation Chemistry. November, 1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. Jesus M.N., Morales E. and La Mantia F.P. "Characterization of Blend of Polyethylene/Polystyrene/Polyvinylimidazole." Polym. Networks. Blends. vol. 5, 1995. pp. 141-145.
14. Topolkaev T. "Block Copolymers as Compatibilizers of Blends of Linear Low Density Polyethylene and Polystyrene." J. Polym. Sci. Part B : Polym. Phys. vol. 33, 1995. pp. 667-683.
15. Kroeze E., Ten Brinke G. and Hadziioannu. "Compatibilization of Low-Density Polyethylene/polystyrene Blends by Segmented EB(PS-block-EB)<sub>n</sub> Block Copolymer." Polym. Bulletin. vol. 38, 1997. pp. 203-210.
16. Limcharoen S.B. "Thermoplastics-Liquid Crystalline Polymer Blend : Processing, Characterisation and Properties of in situ. Composite Films." Polymer Blends Toward 2000. August, 1997. pp. 95-105.
17. Hayashi S. "The Compatibility of SBR with NR." Polymer Blends Toward 2000. August, 1997. pp. 88.
18. จันทิมา ประทีปเสน, วรกฤษ สิงห์เสนี, พรรรัตน์ รุ่งเรืองจิตติสุข และสลักใจ เมืองน้อย. "การศึกษาความสามารถในการเป็นสารประสานของสไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน ไตรบล็อคโคโพลิเมอร์ สำหรับพอลิเมอร์ผสมระหว่างโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและโพลีสไตรีนที่ใช้แล้ว." การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23. ตุลาคม 2540. หน้า 312-313.
19. Chetanehan W., Sulthitavil W. and Chantasatrasumy N. "The Effect of Composition and Mixing type on Morphology of PVC/NBR Blends." Polymer Blends Toward 2000. August, 1997. pp. 58-70.
20. Said F., Saadi B. and Ammar B. "Use of Particular Rheological Composition Concept for the Development of Industrial LDPE/PS Blends." Advanced in Polymer Blend and Alloys Technology. n.d. pp. 117-131.
21. Utracki L.A. Polymer Alloys and Blends. New York : Hanser. 1990.
22. Raymond B.S. and Charles E.C. Polymer Chemistry. 2nd ed. New York : Marcel Dekker. 1987.

23. ปิยะลักษณ์ เตรียมพาณิชย์กุล, วิภา ฐานานุกัณฑ์ และอมรรัตน์ ศรีไพจิตร. "พอลิเอทิลีนผสม." วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2534.
24. Kroschwitz J. High Performance Polymer and Composites. New York : Wiley-Interscience. 1987.
25. Andrews G.D. and Subramanian P.M., Stein R.S. Emerging Technologies in Plastics Recycling. Washington DC : American Chemical Society. 1992.
26. Petr M. Introduction to Macromolecular Science. Texas : Austin. 1989.
27. Paul C.P. and Michael M.C. Fundamentals of Polymer Science. Pennsylvania : Lancaster. 1994.
28. จิราพร เมฆบริสุทธิ, นรินทร์ สาระภิมย์ และศศิวิมล เรืองสา. "การใช้สารช่วยผสม (Compatibilizer) ในการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ผสม." วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2539.
29. Rungruangpompompong N. "Effect of Compatibilisers on the Mechanical Properties and Morphology of PP/HDPE Blends." M.D.Thesis of University of Mahidol. 1997.
30. Cheremisinoff N.P., Markham R.L. Elastomer Technology Handbook. New Jersey : Morganville. 1993.
31. Walker B.M. Handbook of Thermoplastic Elastomer. 2 nd ed. New York : Van Nostrand Reinhold. 1992.
32. Edenbaum J. Plastics Additives and Modifiers Handbook. New York : Van Nostrand Reinhold. 1992.
33. Henderson A.M. "Ethylene-Vinyl Acetate (EVA) Copolymer : A General Review." Electrical Insulation Magazine. vol. 9, 1993. pp. 30-38.
34. Manson J.A. and Sperling L.H. Polymer Blends and Composites. New York : Plenum Press. 1976.
35. Gedde U.W. Polymer Physics. 2 nd ed. Sweden : Stockholm. 1996.
36. แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์. 2535.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

37. Singh A. and Silverman J. Radiation Processing of Polymer. New York : Hanser. 1992.
38. ชูชีพร เปรมพิรกุล. "การวัดการกระจายของปริมาณรังสีภายในภาชนะฉายรังสีจากต้นกำเนิดรังสีแกมมาโคบอลต์-60 ด้วยสารละลายสีเรดิโอโครมิก." วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2527.
39. มาลินี ชัยสุภกิจสินธ์. เคมีพอลิเมอร์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2540.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตอนที่ 2

# การใช้รังสีปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเบสทิน ระหว่างพอลิโอลิฟินผสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ พอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น และพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ใช้วิธีการผสมแบบหลอมเหลวด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ และเติมพอลิเมอร์ร่วมระหว่างพรอพิลีนกับเอทิลีนแบบบล็อกและแบบสุ่มและการฉายรังสีเพื่อปรับปรุงการเข้ากันได้ พบว่าสมบัติเชิงกลจะขึ้นอยู่กับชนิดและอัตราส่วนของการผสม ในอัตราส่วนผสมพอลิพรอพิลีนร้อยละ 30 กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำหรือพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงสุด การเติมสารช่วยผสมไม่ว่าจะเป็นแบบบล็อกหรือแบบสุ่มหรือการฉายรังสีที่ความเข้มต่ำ 10-30 กิโลเกรย์จะไม่ช่วยในการปรับปรุงสมบัติเชิงกล ในขณะที่รังสีความเข้มสูง 50-250 กิโลเกรย์ จะทำให้สมบัติเชิงกลลดลงและทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงของพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีน อย่างไรก็ตามความเข้มรังสีที่ 150 กิโลเกรย์จะให้ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และผู้ใช้อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ABSTRACT

In this work, mechanical properties of polypropylene with low-density polyethylene, linear low density polyethylene and high density polyethylene were investigated. The samples were prepared by melt blending in a twin-screw extruder followed by injection molding. The compatibilization of polymer blend is accomplished through the addition of Poly (propylene-block-ethylene) copolymer, Poly (propylene-random-ethylene) copolymer and gamma irradiation. The result shows the mechanical properties depend on the type and the ratio of Polymer blends. The sample of PP30/LDPE70 and PP30/LLDPE70 corresponded to a maximum impact strength. Both copolymer and the radiation dose range of 10-30 kGy do not improved the mechanical properties of the blends. The radiation dose range of 50-250 kGy produced crosslinking. The tensile strength, impact strength and elongation at break decrease because of higher crosslink density. The suitable dose to give the maximum modulus of PP50/LDPE50 was 150 kGy.

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2 พอลิเมอร์ผสม.....	7
2.2.1 วัตถุประสงค์ของการผสมพอลิเมอร์.....	7
2.2.2 วิธีการเตรียมพอลิเมอร์ผสม.....	9
2.2.3 ประเภทของพอลิเมอร์ผสม.....	10
2.2.4 การพิจารณาการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม.....	11
2.3 พอลิเอทิลีน.....	14
2.4 พอลิพรอพิลีน.....	16
2.5 เครื่องมือและหลักการทำงาน.....	17
2.5.1 เครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่.....	17
2.5.2 เครื่องอัดฉีด.....	18
2.6 การปรับปรุงการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม.....	20
2.6.1 การปรับเปลี่ยนกระบวนการผสม.....	20
2.6.2 สารช่วยผสม.....	21

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 กระบวนการฉายรังสี.....	22
2.7.1 หน่วยวัดปริมาณรังสี.....	23
2.7.2 ผลของรังสีที่มีต่อพอลิเมอร์.....	23
2.7.3 ประโยชน์ของรังสีต่ออุตสาหกรรมพอลิเมอร์.....	25
2.7.4 ผลของรังสีต่อพอลิพรอพิลีน.....	26
2.7.5 ผลของรังสีต่อพอลิเอทิลีน.....	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	29
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	29
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	29
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	35
4.1 ศึกษาผลของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสารช่วยผสม.....	35
4.2 ศึกษาผลของพอลิเมอร์ผสมเมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มต่ำ.....	64
4.3 ศึกษาผลของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 50/50 เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มสูง.....	72
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	81
5.1 ระบบพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีสารช่วยผสม.....	81
5.2 ระบบพอลิเมอร์ผสมที่มีสารช่วยผสม.....	82
5.3 ระบบพอลิเมอร์ผสมเมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มต่ำ.....	82
5.4 ระบบพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 50/50 เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มสูง.....	83
เอกสารอ้างอิง.....	84

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด.....	11
2.2 แสดงลักษณะโครงสร้างพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ.....	15
2.3 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอัดรีด.....	18
2.4 แสดงส่วนประกอบของเครื่องฉีด.....	19
2.5 แสดงชนิดของอนุภาคลิขิตะที่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อพอลิพรอพิลีนผ่านการฉายรังสี.....	26
4.1 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	35
4.2 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	35
4.3 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	36
4.4 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	37
4.5 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	37
4.6 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	38
4.7 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	39
4.8 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	40
4.9 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	40
4.10 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	41
4.11 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	42
4.13 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	43
4.14 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	44
4.15 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	44
4.16 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	45
4.17 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	46
4.18 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	46
4.19 แสดงค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	47
4.20 แสดงค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	48
4.21 แสดงค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	49
4.22 แสดงค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก.....	49
4.23 แสดงอุณหภูมิหลอมผลึกและตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ.....	51
4.24 แสดงอุณหภูมิหลอมผลึกและตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ.....	52
4.25 แสดงอุณหภูมิหลอมผลึกและตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ.....	53
4.26 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ.....	54
4.27 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.28 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่างๆ.....	57
4.29 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมพอลิเมอร์ร่วมระหว่างพรอพิลีนกับเอทิลีนแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก.....	58
4.30 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมพอลิเมอร์ร่วมระหว่างพรอพิลีนกับเอทิลีนแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก.....	59
4.31 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมพอลิเมอร์ร่วมระหว่างพรอพิลีนกับเอทิลีนแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก.....	60
4.32 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมพอลิเมอร์ร่วมระหว่างพรอพิลีนกับเอทิลีนแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก.....	61
4.33 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมพอลิเมอร์ร่วมระหว่างพรอพิลีนกับเอทิลีนแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก.....	62
4.34 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมพอลิเมอร์ร่วมระหว่างพรอพิลีนกับเอทิลีนแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก.....	63
4.35 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์.....	64
4.36 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์.....	64
4.37 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์.....	65
4.38 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.39 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์.....	66
4.40 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์.....	67
4.41 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์.....	68
4.42 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์.....	68
4.43 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์.....	69
4.44 แสดงค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์.....	70
4.45 แสดงค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์.....	70
4.46 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP50/LDPE50 PP50/LLDPE50 และPP50/HDPE50 เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 50 100 150 200 และ 250 กิโลเกรย์....	72
4.47 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP50/LDPE50 PP50/LLDPE50 และ PP50/HDPE50 เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 50 100 150 200 และ 250 กิโลเกรย์.....	73
4.48 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP50/LDPE50 PP50/LLDPE50 และ PP50/HDPE50 เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 50 100 150 200 และ 250 กิโลเกรย์.....	74
4.49 แสดงค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PP50/LDPE50 PP50/LLDPE50 และ PP50/HDPE50 เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 50 100 150 200 และ 250 กิโลเกรย์.....	75
4.50 แสดงอุณหภูมิหลอมผลึกและตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม PP50/LDPE50 เมื่อผ่าน การฉายรังสีที่ความเข้มต่างๆ.....	76
4.51 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน PP50/LDPE50 เมื่อผ่านการฉาย รังสีที่ความเข้มสูง.....	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.52 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน PP50/LLDPE50 เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มสูง.....	78
4.53 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน PP50/HDPE50 เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มสูง.....	79
4.54 แสดงเปอร์เซ็นต์เจลของพอลิเมอร์ผสม PP50/LDPE50 PP50/LLDPE50 และ PP50/HDPE50 เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มสูง.....	80



# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงชนิดของพอลิเมอร์ผสมแบ่งตามชนิดของภูมิภาคและสมบัติที่ได้รับการปรับปรุง.....	11
2.2 แสดงการแบ่งชนิดของพอลิเอทิลีนตามลักษณะโครงสร้าง.....	14
2.3 แสดงปริมาณความเข้มของรังสีที่มีผลต่อพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ.....	24
3.1 แสดงคุณลักษณะของพอลิเมอร์.....	30



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลาสติกถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ อุตสาหกรรมรถยนต์ งานก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ไฟฟ้า เพื่อทดแทนโลหะ แก้ว เซรามิกส์ กระดาษ ไม้และเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งหาได้ยากในปัจจุบัน [1] เนื่องจากสมบัติที่ดีหลายประการของพลาสติก เช่น น้ำหนักเบา ราคาถูก ทนต่อการแตกหัก สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างยุ่งยากซับซ้อนได้ง่าย มีความทนทานต่อสารเคมี นำมาใช้ได้กับงานหลายประเภท ทำให้พลาสติกเป็นที่นิยมใช้และเริ่มเข้ามามีบทบาทในประเทศมากขึ้น ช่วงระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมาคนไทยมีการใช้พลาสติกในอัตราเฉลี่ยคนละ 5 กิโลกรัมต่อปี และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนในปัจจุบันมีการใช้พลาสติกกันถึงคนละ 16 กิโลกรัมต่อปี ซึ่งมีการคาดการณ์ว่าอีก 5 ปีข้างหน้าคนไทยจะใช้พลาสติกคนละ 25 กิโลกรัมต่อปี [2] โดยจะเป็นประเภทพอลิเอทิลีนร้อยละ 65 พอลิสไตรีนร้อยละ 14 พอลิไวนิลคลอไรด์ร้อยละ 10 พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตร้อยละ 2 และอื่นๆ อีกร้อยละ 9 เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่คงทน เสื่อมสลายช้า มีอายุการใช้งานนาน จึงกำจัดได้ยาก วิธีที่ใช้ในการกำจัดขยะพลาสติกมีหลายวิธี เช่น การฝังกลบ การเผา และการนำพอลิเมอร์ที่ใช้แล้วกลับมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อนำมาใช้ใหม่ ซึ่งวิธีนี้ปัจจุบันเริ่มเป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้นเนื่องจากไม่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการศึกษาหาวิธีที่เหมาะสมที่จะนำพอลิเมอร์แต่ละประเภทกลับมาใช้ใหม่

พอลิเมอร์ที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่สามารถจัดแบ่งได้ 2 ประเภท [3] ได้แก่

1. พอลิเมอร์ที่แยกประเภทแล้ว นำมาผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดสามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้อีก แต่จะเสียค่าใช้จ่ายสูง ในการแยกประเภทของพอลิเมอร์อาจจะใช้แรงงานคนหรือใช้เครื่องจักรโดยพิจารณาจากสมบัติของพอลิเมอร์ เช่น ความหนาแน่น หรือพิจารณาจากรหัสที่ติดบนพอลิเมอร์แต่ละประเภท ซึ่งในปี พ.ศ. 2535 Phillip S.B. [4] ได้ทำการศึกษาสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้วโดยนำมาขึ้นรูปด้วยการฉีดและเป่าอีกครั้ง ปรากฏว่าสมบัติที่ได้ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผลิตขึ้นใหม่

2. พอลิเมอร์ที่ปนกันอยู่ยังไม่แยกประเภท จะมีอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากในทางปฏิบัติการแยกประเภทของพอลิเมอร์มีขั้นตอนซับซ้อนและสิ้นเปลือง

ดังนั้นจึงมีผู้สนใจศึกษาการผสมของพอลิเมอร์ประเภทต่างๆ เข้าด้วยกัน และพบว่าเมื่อผสมพอลิเมอร์ต่างประเภทเข้าด้วยกันจะเกิดการแยกวัฏภาคขึ้น เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของพอลิเมอร์ดังกล่าวมีค่าต่ำส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมด้อยกว่าพอลิเมอร์ก่อนการผสม ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการศึกษาปรับปรุงเปลี่ยนแปลงเพื่อลดการแยกกันของวัฏภาคและเพิ่มความแข็งแรงระหว่างผิวของพอลิเมอร์ ด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น

1. เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งหรือทั้งสองชนิดโดยใช้เทคนิคปฏิกิริยาการกราฟท์หรือพอลิเมอไรเซชันร่วม เพื่อให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้มากขึ้น

2. เติมสารเชื่อมระหว่างผิว (interfacial agent) โดยใช้พอลิเมอร์ร่วมที่เป็นแบบไดบล็อก (diblock copolymer) ของพอลิเมอร์ที่จะนำมาผสมกัน เช่น  $A_mB_n$  บล็อกของพอลิเมอร์ A จะรวมเข้าไปอยู่ในวัฏภาคของพอลิเมอร์ชนิด A และบล็อกของพอลิเมอร์ B จะรวมเข้าไปอยู่ในวัฏภาคของพอลิเมอร์ B ทำให้วัฏภาคของพอลิเมอร์ชนิด A และชนิด B มีแรงยึดกันมากขึ้น ซึ่งพอลิเมอร์ร่วมนี้ทำหน้าที่เหมือนอิมัลซิไฟเออร์ในสารแขวนลอย

3. ใช้สารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อให้ผิวของแต่ละองค์ประกอบยึดติดกัน เช่น ใช้สารที่ทำให้เกิดการกราฟท์หรือเกิดอันตรกิริยาขั้นทุติยภูมิทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนหรือทำการถ่ายโอนประจุ

จะเห็นได้ว่า ปัญหาที่สำคัญในการผสมพอลิเมอร์ต่างประเภทเข้าด้วยกัน คือการที่พอลิเมอร์ไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ ทำให้สมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ลดลงไปกว่าเดิม การเติมสารช่วยผสม (compatibilizer) ที่เหมาะสมจะช่วยให้ได้สมบัติที่ดีตรงตามความต้องการ นอกจากนี้การใช้รังสีพลังงานสูงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ซึ่งผลส่วนใหญ่จะคล้ายกับการใช้สารช่วยผสม

ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ ได้แก่ ชนิดความหนาแน่นสูง ชนิดความหนาแน่นต่ำ และชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นกับพอลิพรอพิลีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีปริมาณมากในขยะ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการนำพอลิเมอร์จากขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่โดยไม่ต้องแยกพอลิเมอร์ออกจากกัน โดยใช้สารช่วยผสมซึ่งเป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกและแบบสุ่มระหว่างพอลิฟินกับเอทิลีนที่มีปริมาณเอทิลีนเพียงเล็กน้อย และรังสี แกมมาในการปรับปรุงสมบัติเชิงกล

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดปริมาณขยะพลาสติก โดยนำพลาสติกที่ผ่านการใช้แล้วประเภทพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่
2. ศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม (Polymer blend) โดยใช้สารช่วยผสม
3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำรังสีแกมมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม แทนการใช้สารเคมี เพื่อลดการตกค้างของสารเคมี

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆ
2. ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกและแบบส้อมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเอทิลีนในปริมาณต่างๆ
3. ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีแกมมาที่ความเข้มต่ำ ( 10 20 และ 30 กิโลเกรย์ (kGy) ) ในสภาวะที่มีออกซิเจน
4. ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนพอลิพรอพิลีนร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก กับพอลิเอทิลีนร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เมื่อผ่านการฉายรังสีแกมมาที่ความเข้มสูง ( 50 100 150 200 และ 250 กิโลเกรย์ ) ในสภาวะที่มีออกซิเจน

## บทที่ 2

# วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

พอลิเมอร์ผสมได้รับความสนใจมาหลายสิบปีจากนักวิทยาศาสตร์และนักธุรกิจเนื่องจากการพัฒนาพอลิเมอร์ประเภทใหม่ๆ ที่มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการ โดยไม่ต้องสังเคราะห์ขึ้นใหม่ซึ่งเป็นวิธีที่ยุ่งยาก ใช้ต้นทุนต่ำ แต่อย่างไรก็ตามนักวิทยาศาสตร์ต้องทำการศึกษถึงการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ในแต่ละประเภท [5]

ในปี พ.ศ.2525 Bratlett D.W. และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านกระบวนการฉีดและกระบวนการอัดโดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนกัน พบว่าสมบัติเชิงกล เช่น ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสมีความสัมพันธ์กับกระบวนการผสม และเมื่อเติมเอทิลีน-พรอพิลีน อีลาสโตเมอร์ลงในพอลิเมอร์ดังกล่าว จะช่วยเพิ่มความอ่อนนุ่มแต่จะลดค่าความแข็งแรงและค่ามอดุลัส

ในปี พ.ศ.2526 Teh J.W. [7] ได้ทำการศึกษาโครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ พบว่าพฤติกรรมการผสมเป็นไปตามกฎของการผสม (rule of mixture) โดยที่ค่ามอดุลัสจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ เมื่อเติมพอลิพรอพิลีนลงไป ในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเพิ่มขึ้นแต่ค่าการยืด ๓ จุดขาดลดลง จากการศึกษาด้วยเครื่อง WAXD, hot stage microscope และ DSC ซึ่งให้เห็นว่าไม่มีอันตรกิริยาเกิดขึ้นระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับพอลิพรอพิลีน นอกจากนี้ยังพบว่าโครงสร้างผลึกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิพรอพิลีนที่ผสมกันอยู่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากก่อนการผสมแต่ขนาดสเฟียรูไลท์ของพอลิพรอพิลีนลดลงทำให้ความหนาแน่นของนิวเคลียสเพิ่มขึ้น และในปี 2526 นี้ Rizzo G. และคณะ [8] ได้ทำการศึกษาผลของรังสีแกมมาที่มีต่อพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำพบว่าจะมีเจลเกิดขึ้นในพอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และในพอลิเมอร์ผสมซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของรังสี นอกจากนี้ยังพบว่าการฉายรังสีจะไม่ทำให้เกิดผลึกร่วมในพอลิเมอร์ผสม

ในปี พ.ศ.2527 Dumoulin M.M. และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาสมบัติของการไหลและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นกับพอลิพรอพิลีน โดยมีการเติมพอลิเมอร์ร่วมเอทิลีน-พรอพิลีนแบบบล็อก พอลิเมอร์ผสมถูกเตรียมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่ แล้วนำมาอัดขึ้นรูป พบว่าการเติมพอลิเมอร์ร่วมเอทิลีน-พروفิลีนแบบ บล็อกลงไป จะเพิ่มความแข็ง (rigid) ความแข็งแรง (strength) และความเปราะ (brittleness) ให้กับ พอลิเมอร์ผสมโดยที่น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ร่วมไม่มีบทบาทต่อสมบัติเชิงกล และจากการ ศึกษาค่าการไหลของพอลิเมอร์ผสมทั้งที่มีการเติมและไม่มีการเติมพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก พบ ว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นกับพอลิพروفิลีนมีบางส่วนที่ สามารถเข้ากันได้

ในปี พ.ศ.2528 Wen-Yen C. และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและสัญญาณ วิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพروفิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยเติมสาร ช่วยให้เกิดการเชื่อมโยง เช่น เปอร์ออกไซด์ หรือเติมพอลิเมอร์ร่วมระหว่างพروفิลีนและเอทิลีนที่ เป็นแบบบล็อกและแบบสุ่ม เพื่อปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวของพอลิเมอร์ผสม เมื่อใช้เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้งช่วยในการผสมเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 2 โดยนำน้ำหนักลงในพอลิเมอร์ผสม พบว่า พอลิเมอร์ผสมมีค่าความแข็งแรงดิ่งสูงที่สุดแต่ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกต่ำสุด แต่เมื่อผสม พอลิเมอร์ด้วยวิธีอัดรีด ค่าความแข็งแรงดิ่งลดลงตามปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิด การเสื่อมสภาพ (degradation) สำหรับการเติมพอลิเมอร์ร่วมของพروفิลีนกับเอทิลีนแบบบล็อก และแบบสุ่มในอัตราส่วน 10:90 (พอลิเมอร์ร่วม:พอลิเมอร์ผสม) นอกจากจะช่วยปรับปรุงแรงยึด เหนี่ยวระหว่างผิวของพอลิพروفิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแล้วยังเพิ่มค่าการทน ทานต่อแรงกระแทกด้วย

ในปี พ.ศ.2529 Novakovic Lj. [11] ได้ศึกษาผลของรังสีแกมมาที่มีต่อพอลิเอทิลีนชนิด ความหนาแน่นต่ำ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ปริมาณการเกิดเจลและค่ามอดูลัสยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นรังสีการเติมสารต้านออกซิเดชันลงในพอลิเมอร์จะมีผลทำให้ปริมาณเจลและค่ามอดูลัสยืดหยุ่นลดลง

ในปี พ.ศ.2533 Cheung P.[12] ได้ทำการศึกษาถึงความสามารถเข้ากันได้ของพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นกับพอลิพروفิลีนที่มีตัวริเริ่มคือ 2,5-dimethyl-2,5bis(t-butylhydroxyl) hexyne-3 ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่ ยวที่ต่อเข้ากับเครื่องผสม 2 ตัว ใช้อัตราส่วน ในการผสม LLDPE50/PP50 ปรากฏว่าค่าการยึดเพิ่มขึ้นร้อยละ 37 แต่ค่าการทนทานต่อแรง กระแทกลดลงร้อยละ 17 และค่าความแข็งแรงลดลงร้อยละ 54 โดยที่ค่ามอดูลัสไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เนื่องจากพอลิพروفิลีนเกิดการเสื่อมสภาพ ในขณะที่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิง เส้นมีขนาดของโมเลกุลเพิ่มขึ้น

ในปี พ.ศ.2535 Gupta A.K. และคณะ [13] ได้ศึกษาพฤติกรรมผลึกของพอลิเมอร์ผสม ระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นด้วยวิธี

การหลอมเหลวแล้วดูพฤติกรรมของผลึกโดยเครื่อง differential scanning calorimetry และเครื่อง X-ray diffraction พบว่าในทุกอัตราส่วนของการผสมจะมีการหลอมผลึกและตกผลึกร่วมกัน

ในปี พ.ศ.2537 Yu D.W. และคณะ [14] ได้ทำการศึกษาสมบัติการไหล สมบัติเชิงกล และโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิพรอพิลีน โดยใช้เปอร์ออกไซด์ (ความเข้มข้นที่ใช้คือ ร้อยละ 0.1 และ 1 โดยน้ำหนัก) และรังสีแกมมา (ปริมาณความเข้มที่ใช้คือ 30 kGy และ 100 kGy) ผลปรากฏว่าทั้งเปอร์ออกไซด์และรังสีแกมมาจะมีผลต่อพอลิพรอพิลีนทำให้เกิดการเสื่อมสภาพในพอลิพรอพิลีนและเกิดการเชื่อมโยงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ จากการวัดความหนืดแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้เปอร์ออกไซด์การเสื่อมสภาพของพันธะในพอลิพรอพิลีนจะมากกว่าการเกิดพันธะเชื่อมโยงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ สำหรับการฉายรังสีจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมากกว่าการเสื่อมสภาพของพอลิพรอพิลีน นอกจากนี้ Bains M. และ Balke S.T.[15] ได้ศึกษาการผสมกันระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น พบว่าถ้าเลือกความหนืดของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมให้มีค่าใกล้เคียงกันจะช่วยให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมดีขึ้น จากการทดลองพบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 50

ในปี พ.ศ.2538 Jabarin S.A. และ Bhakkad V.V.[16] ได้ศึกษาสัณฐานวิทยาและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในอัตราส่วน PET80/HDPE20 พบว่าสภาวะของการผสม เช่น อุณหภูมิ ความเร็วของสกรู มีผลอย่างมากต่อสัณฐานวิทยาของวัสดุ การเติมพอลิโอฟีนที่ถูกกราฟท์ด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (maleic-anhydride grafted polyolefin) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักจะทำให้การทนทานต่อแรงกระแทกของ PET/HDPE ดีขึ้นมาก

ในปี พ.ศ.2539 Tzankova Dintcheva N. และคณะ [17] ได้นำขยะพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์ที่ผสมกันระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น มาศึกษาถึงวิธีการผสมพบว่าวิธีการผสมที่ใช้อุณหภูมิและแรงเฉือนสูงจะทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมลดลงเนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพ แต่ก็สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ด้วยการเติมสารเติมแต่ง เช่น สารต้านการเกิดออกซิเดชัน ถึงอย่างไรก็ตามสมบัติเชิงกลที่ได้ก็ยังคงต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ใช่ขยะ แต่จะดีกว่าในด้านของต้นทุนการผลิตที่ถูกลงกว่า ในปีเดียวกันนี้ Eleonora V. [18] ได้ศึกษาปรับปรุงความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนที่ถูกใช้แล้วกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ถูกใช้แล้วเช่นกัน โดยใช้สารช่วยผสมพอลิพรอพิลีน-มาเลอเท และพอลิเอทิลีน-มาเลอเท พบว่าการเติมสารช่วยผสมลงไปร้อยละ 25 จะทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากสารช่วยผสมช่วยในการกระจายตัวและปรับปรุงการยึดติดระหว่างสองวัสดุ

นอกจากนี้ Blom H.P. และคณะ [19] ได้ศึกษาถึงการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงซึ่งเป็นคู่พอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถเข้ากันได้ โดยศึกษาในอัตราส่วนผสมพอลิพรอพิลีนร้อยละ 90 โดยน้ำหนักกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงร้อยละ 10 โดยน้ำหนักและใช้สารช่วยผสมคือเอทิลีน-พรอพิลีน-ไดอีนมอนอเมอร์ หรือ พอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีน-ไวนิลอะซิเตด พบว่าการใช้ เอทิลีน-พรอพิลีน-ไดอีนมอนอเมอร์จะช่วยปรับปรุงการทนทานต่อแรงกระแทก ในขณะที่การใช้ พอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีน-ไวนิลอะซิเตด จะช่วยเพิ่มการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม นอกจากนี้ Wei Z. [20] ได้ศึกษาฐานฐานวิทยาและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พบว่าความทนแรงดึงและค่าการยืด ณ จุดขาดของพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงมีค่าสูงกว่าพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เนื่องจากพอลิเอทิลีนมีความเป็นผลึกน้อยกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงทำให้สามารถเข้าไปเกี่ยวพันในวัฏภาคของพอลิพรอพิลีนได้มาก ซึ่งยืนยันได้จากภาพทางสัณฐานวิทยาที่มีลักษณะค่อนข้างเป็นเนื้อเดียวกัน

## 2.2 พอลิเมอร์ผสม [21] (Polymer blends)

พอลิเมอร์ผสม หมายถึงพอลิเมอร์หรือโคพอลิเมอร์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิดหรือมากกว่ามาผสมกันทางกายภาพด้วยวิธีต่างๆ โดยไม่เกิดพันธะโคเวเลนต์ ทั้งนี้องค์ประกอบที่เป็นส่วนน้อยต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์โดยการอัดรีด (extrusion) หรือขึ้นรูป (molding) พอลิเมอร์หรือโคพอลิเมอร์ที่ผสมกันแล้ว อาจจะรวมเข้ากันได้ (miscible) หรือเข้ากันไม่ได้ (immiscible) พอลิเมอร์ที่เข้ากันไม่ได้สามารถปรับปรุงการเข้ากันได้โดยเติมสารช่วยผสม (compatibilization)

### 2.2.1 วัตถุประสงค์ของการผสมพอลิเมอร์ [22]

1. เพื่อพัฒนาวัสดุที่มีอยู่ให้มีสมบัติตรงตามความต้องการโดยไม่ต้องคิดค้นวิธีการสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่
  2. เพื่อเพิ่มราคาของวัสดุที่มีราคาถูกให้มีราคาแพงขึ้น
  3. เพื่อปรับเปลี่ยนองค์ประกอบให้ตรงความต้องการของลูกค้า
  4. เพื่อนำเศษพลาสติกหรือพลาสติกที่ใช้แล้วทิ้งกลับมาใช้ใหม่
- สมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้รับการปรับปรุงหลังจากนำพอลิเมอร์มาผสมกัน ได้แก่
1. เพื่อเพิ่มสมบัติด้านการไหลเมื่อหลอมตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมพอลิเมอร์จะปรับปรุงการไหลเมื่อหลอมตัวของพอลิเมอร์โดยเพิ่มช่วงการหลอมตัวและความยืดหยุ่นสำหรับพอลิเมอร์ที่ต้องขึ้นรูปด้วยการเป่า (blow molding) และขึ้นรูปด้วยความร้อน (thermoforming) ตัวอย่างเช่น การเติม อะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene) ลงในยางพอลิยูรีเทน (polyurethane rubber) จะลดความยืดหยุ่นและทำให้การไหลของพอลิเมอร์สม่ำเสมอ

## 2. เพื่อเพิ่มค่ามอดุลัส

การเติมพลาสติกบางชนิดลงในอีลาสโตเมอร์ จะทำให้ยางมีความเหนียวมากขึ้น เช่นการเติมพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride) ลงไปในยางอะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน (Acrylonitrile-Butadiene rubber)

## 3. เพื่อลดค่ามอดุลัส

ทำได้ด้วยการเติมอีลาสโตเมอร์ลงในพลาสติกโดยที่อีลาสโตเมอร์ทำหน้าที่คล้ายพลาสติกไซเซออร์ (plasticizers) แต่จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าและมีความคงทนถาวรมากกว่า เช่น การเติม คลอรีเนต พอลิเอทิลีน (Chlorinated Polyethylene) ลงในพอลิไวนิลคลอไรด์

## 4. เพื่อเพิ่มความแข็งแรง

การเติมพอลิพรอพิลีนลงใน เอทิลีน-พรอพิลีน-ไดอีน-เทอร์มอนอเมอร์ (ethylene-propylene-Diene Termonomer) หรือเติมพอลิไวนิลคลอไรด์ลงในยางไนไตรล์จะได้พลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่มีความแข็งแรง การเติมพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-บิวทาไดอีน หรือ ฟีนอลิกเรซินลงในยางในระหว่างการผสมจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความเหนียว ซึ่งเป็นการเสริมแรงให้กับยาง ถ้าเติมอะคริลิกแบบโครงร่างแหชนิดสอดประสาน (IPN of acrylic) ลงในพอลิเอสเตอร์และพอลิยูรีเทน จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงดัง

## 5. เพื่อช่วยในการหล่อลื่น

สามารถเพิ่มความหล่อลื่นให้กับพลาสติกจำพวกวิศวกรรมที่ใช้สำหรับทำเกียร์และฝาประกอบเพลา (bearing) ได้ด้วยการเติมผงพอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoro ethylene) ลงไปประมาณร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนัก ลงในอะซีตัล (Acetal) หรือ พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate) หรือ ไนลอน 66

## 6. เพื่อเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำ

พอลิพรอพิลีนถูกปรับปรุงให้สามารถทนต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำได้โดยใช้ยางบิวทิล (butyl rubber) หรือ เอทิลีน-พรอพิลีน-ไดอีน-เทอร์มอนอเมอร์

## 7. เพื่อหน่วงการติดไฟ

โดยการเติมพอลิเมอร์ที่มีความสามารถในการทนต่อการติดไฟมากกว่าลงไป เช่น การเติม คลอรีเนต พอลิเอทิลีน ลงในพอลิเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8. เพื่อเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทก

การเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทกสามารถทำได้ด้วยการเติมพอลิเมอร์  
 อัดพื้นฐานซึ่งจะทำหน้าที่รับแรงกระแทก

## 9. เพื่อเพิ่มความต้านทานการขีดถู

10. เพื่อเพิ่มอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วและเพิ่มอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงเนื่องจาก  
 ความร้อน (Heat Deflection Temperature)

## 11. เพื่อช่วยเพิ่มความใส

โดยการเติมพอลิเมอร์ประเภทอะคริลิก เช่น พอลิเมทิล เมทาไครเลตลงในพอลิ  
 ไวนิลิดีนฟลูออไรด์ เพื่อลดความเป็นผลึก

## 12. เพื่อเพิ่มการทนทานต่อสารเคมี

## 13. เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต

### 2.2.2 วิธีการเตรียมพอลิเมอร์ผสม [23]

พอลิเมอร์ผสมสามารถเตรียมได้หลายวิธี ดังนี้

1. Mechanical blends เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก พอลิเมอร์ที่ผสมอาจอยู่ในลักษณะที่เป็นผงหรือเป็นเม็ด อาจเติมสารช่วยผสมเพื่อป้องกันการแยกของวัสดุภาคทำให้สมบัติทางกายภาพและเชิงกลดีขึ้นนำมาหลอมรวมกันโดยใช้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) ของพอลิเมอร์อัดพื้นฐานและสูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) ของพอลิเมอร์ที่ผลิต ข้อดีของวิธีนี้คือค่าใช้จ่ายถูกเพราะไม่ต้องใช้ตัวทำละลาย ไม่ต้องเสียเวลาในการกำจัดสารละลาย และไม่เกิดการปนเปื้อน ข้อเสียคือต้องใช้อุณหภูมิสูงถ้าไม่มีการควบคุมอุณหภูมิอย่างระมัดระวัง อาจทำให้พอลิเมอร์เสื่อมสภาพ เปลี่ยนสี และสมบัติเชิงกลลดลง

2. Mechanochemical blends พอลิเมอร์จะถูกผสมด้วยแรงเฉือนที่มากพอทำให้พอลิเมอร์เสื่อมสภาพ (degradation) ทำให้เกิดอนุมูลอิสระจากนั้นจะผสมรวมกันได้เป็นสารประกอบของบล็อกและกราฟท์

3. Solution blends พอลิเมอร์จะละลายในตัวทำละลายโดยใช้อุณหภูมิและแรงเฉือนต่ำ จากนั้นทำการกำจัดตัวทำละลายออก วิธีนี้จะช่วยลดการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ เนื่องจากความร้อนและแรงจากเชิงกล แต่จะมีการปนเปื้อนจากตัวทำละลายที่ใช้ในการตกตะกอนซึ่งอาจจะเป็นอันตราย

4. Latex blends วิธีนี้อนุภาคเล็ก ๆ ของพอลิเมอร์ต่างชนิดกันจะเกิดการแพร่กระจาย (dispersion) ในน้ำ และเกิดการผสมกัน จากนั้นก็จะจับกันเป็นกลุ่มก้อน

5. Chemical blends แบ่งได้ 4 ลักษณะ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Interpenetrating polymer networks (IPN) พอลิเมอร์ที่มีพันธะเชื่อมโยงเกิดการรวมกับมอนอเมอร์ที่ต่างชนิด จากนั้นมอนอเมอร์จะเกิดพอลิเมอร์โซ่และเกิดการเชื่อมโยงสอดประสานกับพอลิเมอร์เชื่อมโยงที่มีอยู่เดิม

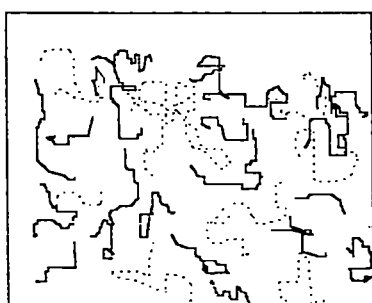
- Simultaneous interpenetrating polymer networks (SIN) มอนอเมอร์ต่างชนิดจะผสมกัน จากนั้นจะเกิดโซ่พอลิเมอร์โซ่และเกิดการเชื่อมโยงแต่ไม่เกิดอันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน

- Semiinterpenetrating polymer networks (semi-IPN) มอนอเมอร์ที่มีหลายหมู่ฟังก์ชันถูกผสมกับเทอร์โมพลาสติก จากนั้นมอนอเมอร์จะเกิดพอลิเมอร์โซ่ได้เป็นพอลิเมอร์เชื่อมโยง

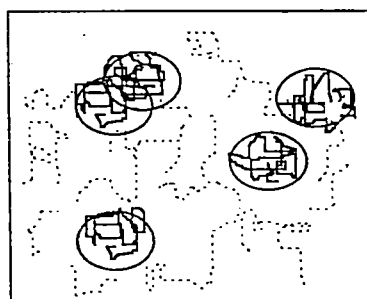
- Interpenetrating elastomeric networks (IEN) คือพอลิลาเท็กซ์ที่เกิดการเชื่อมโยงหลังจากเกิดการจับเป็นกลุ่มก้อน

### 2.2.3 ประเภทของพอลิเมอร์ผสม [24]

ก. แบ่งตามสัณฐานวิทยาได้ 3 ประเภท ดังรูปที่ 2.1 ได้แก่ 1. พอลิเมอร์ที่ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (miscible (รูป a)) โมเลกุลของพอลิเมอร์ A และพอลิเมอร์ B จะอยู่รวมกันมองเห็นเป็นวัฏภาคเดียว ในโมเลกุลของพอลิเมอร์ A จะมีหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างจากโมเลกุลของพอลิเมอร์ B ทำให้เกิดแรงดึงดูดกัน สมบัติของพอลิเมอร์ผสมประเภทนี้จะมีลักษณะคล้ายกับพอลิเมอร์รวมแบบสุ่ม ซึ่งพอลิเมอร์ผสมประเภทนี้มีน้อย เช่น ยางธรรมชาติกับพอลิบูตาไดอีน 2. พอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (immiscible (รูป b)) พอลิเมอร์ผสมประเภทนี้จะแยกออกจากกันเป็น 2 วัฏภาคอย่างเห็นได้ชัดโดยที่พอลิเมอร์ที่มีปริมาณน้อยจะเป็นวัฏภาคกระจาย พอลิเมอร์ที่มีปริมาณมากจะเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง พอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่จัดอยู่ในประเภทนี้ เช่น พอลิสไตรีนกับพอลิเอทิลีน 3. พอลิเมอร์ผสมที่สามารถเข้ากันได้บางส่วน (partially miscible (รูป c)) พอลิเมอร์ผสมประเภทนี้อาจรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ถ้ามีปริมาณของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งน้อยกว่า ถ้าอัตราส่วนเท่ากันจะแยกออกเป็นวัฏภาค พอลิเมอร์ A อาจจะไปแทรกอยู่ในระหว่างผิวหน้าพอลิเมอร์ B ซึ่งช่วยให้วัฏภาคมีแรงยึดเหนี่ยวที่มากขึ้น ทำให้พอลิเมอร์ผสมประเภทนี้มีสมบัติที่ดี เช่น พอลิเอทิลีนกับพอลิไอโซบิวทิลีน

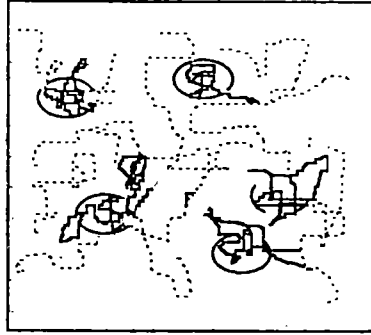


(a) miscible



(b) immiscible

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c) partially miscible

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด

ข. แบ่งตามลักษณะของวิฏภาคที่นำมาผสมกันสามารถแบ่งได้ดังตาราง 2.1[25]

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของพอลิเมอร์ผสมแบ่งตามชนิดของวิฏภาคและสมบัติที่ได้รับการปรับปรุง

วิฏภาคต่อเนื่อง	วิฏภาคกระจาย	ใช้ในการปรับปรุง
แข็ง (Rigid)	อ่อน (Soft)	เพิ่มความเหนียว
แข็ง (Rigid)	แข็ง (Rigid)	เพิ่มการไหล
อ่อน (Soft)	อ่อน (Soft)	เพิ่มระยะเวลาในการใช้งาน
อ่อน (Soft)	แข็ง (Rigid)	ค่ามอดุลัสสูง

#### 2.2.4 การพิจารณาความสามารถเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม

ความสามารถเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม สามารถพิจารณาจากหลักเกณฑ์ต่อไปนี้

##### ก. อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics of polymer blends)

พอลิเมอร์ 2 ชนิดจะผสมเป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น จลนพลศาสตร์ของกระบวนการผสม อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม และตัวทำละลายหรือสารเติมแต่งต่างๆ ที่ใส่ลงไป อย่างไรก็ตามสิ่งแรกที่ใช้พิจารณาการรวมเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ 2 ชนิด คือ อุณหพลศาสตร์ (thermodynamic) ซึ่งอธิบายกระบวนการที่สามารถเกิดขึ้นได้เองที่อุณหภูมิและความดันคงที่โดยใช้พลังงานอิสระของกิบส์ การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์ในการผสม ( $\Delta G_m$ ) จะสัมพันธ์กับเอนทัลปี ( $\Delta H_m$ ) และเอนโทรปี ( $\Delta S_m$ ) ของการผสมดังสมการต่อไปนี้

$$\Delta G_m = \Delta H_m - T\Delta S_m \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่าเอนโทรปีของการผสมหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$\Delta S_m = -R (n_1 \ln x_1 + n_2 \ln x_2) \quad (2.2)$$

โดยที่  $n_1$  และ  $n_2$  เป็นจำนวนโมลของทั้งสององค์ประกอบ และ  $x_1$  และ  $x_2$  เป็นสัดส่วนโมล ดังนั้น เทอมของ  $x_i$  มีค่าเท่ากับ 1 หรือน้อยกว่า 1 จึงทำให้  $\ln x_i$  มีค่าเป็นศูนย์หรือเป็นลบ ดังนั้นค่า  $\Delta S_m$  จะมีค่าเป็นบวก จากสมการที่ 1 ถ้า  $\Delta S_m$  มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า  $\Delta G_m$  จะลดลงซึ่งจะนำไปสู่การละลาย หรือการผสมเข้ากันได้ สมการที่ 1 คิดว่าทุกโมเลกุลมีขนาดเท่ากันซึ่งไม่เป็นจริงสำหรับพอลิเมอร์ผสม ฟลอรี (Flory) ได้เสนอสมการใหม่ ดังนี้

$$\Delta S_m = -R (n_1 \ln \phi_1 + n_2 \ln \phi_2) \quad (2.3)$$

โดยที่  $\phi$  เป็นสัดส่วนโดยปริมาตร ซึ่งจะเท่ากับสัดส่วนโมล ส่วนจำนวนโมลขององค์ประกอบ  $i$  หาได้จากสมการ

$$n_i = w_i / M_i \quad (2.4)$$

เมื่อ  $w_i$  เป็นน้ำหนักและ  $M_i$  เป็นน้ำหนักโมเลกุล

สำหรับพอลิเมอร์  $M$  จะมีค่ามาก  $n$  จะมีค่าน้อย ดังนั้นค่า  $\Delta S_m$  ของพอลิเมอร์ผสมจะมีค่าน้อยกว่า  $\Delta S$  ของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่นำมาผสมกัน การที่พอลิเมอร์ผสมจะรวมเป็นเนื้อเดียวกันจึงขึ้นอยู่กับ  $\Delta H_m$  ทฤษฎี  $\Delta H_m$  ถูกเสนอโดย Scatchard และ Hildebrand แสดงดังสมการ

$$\Delta H_m = RT \chi n_1 \phi_2 \quad (2.5)$$

$\chi$  คือ พารามิเตอร์แสดงอันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์ 1 และ 2

ซึ่งเทอมของ  $\chi$  จะสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ของการละลาย  $\delta$  จึงอาจเขียนสมการได้อีกแบบหนึ่งดังนี้

$$\chi = (V_1/RT) (\delta_1 - \delta_2)^2 \quad (2.6)$$

ถ้าค่า  $\delta_1$  และ  $\delta_2$  มีความแตกต่างกันมาก ค่า  $\Delta H_m$  ก็จะเป็นบวกมากทำให้ความสามารถในการเข้ากันได้ลดลง ดังนั้นการที่พอลิเมอร์แต่ละชนิดสามารถผสมเข้ากันได้ต้องมีพารามิเตอร์ของการละลายที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งพอลิเมอร์ส่วนใหญ่มีค่าการละลายต่างกันมาก

ถ้า  $\Delta G_m$  มีค่าเป็นบวก ที่สมดุลอุณหภูมิศาสตร์ของพอลิเมอร์ผสมทุก ๆ อัตราส่วนจะแยกเป็นสองวัฏภาค พอลิเมอร์ผสมจะรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ต่อเมื่อ  $\Delta G_m$  มีค่าเป็นลบ

ข. อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass-transition Temperature ( $T_g$ ))

อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์คืออุณหภูมิที่โมเลกุลของสายโซ่เกิดการสั่นเมื่อได้รับพลังงานอย่างเพียงพอ ตำแหน่งของ  $T_g$  จะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของพอลิเมอร์ พอลิเมอร์ผสมที่รวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันมีวัฏภาคเดียวจะให้ค่า  $T_g$  เพียงค่าเดียว ในขณะที่พอลิเมอร์ผสมที่มี 2 วัฏภาคจะให้ค่า  $T_g$  2 ค่า ซึ่งเป็นค่า  $T_g$  ของแต่ละวัฏภาค การวัดค่า  $T_g$  ด้วยวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ทางความร้อน ในบางครั้งค่า  $T_g$  อาจซ้อนทับกันไม่สามารถแยกออกจากกันได้และปรากฏให้ค่า  $T_g$  เพียงค่าเดียว โดยปกติค่า  $T_g$  จะวัดด้วยเทคนิค DSC ซึ่งเป็นเทคนิควิเคราะห์เชิงความร้อนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของความร้อนที่ดูดเข้าไปหรือปล่อยออกมาของสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับสารอ้างอิงภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด อุณหภูมิของสารตัวอย่างและสารอ้างอิงจะเพิ่มขึ้นในอัตราคงที่ ความร้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้โมเลกุลเกิดการเคลื่อนไหวจึงปรากฏค่า  $T_g$  ในระบบอุดมคติพอลิเมอร์ผสมที่เป็นเนื้อเดียวกันและเป็นอิสระกันค่า  $T_g$  สามารถทำนายโดยใช้สมการ Gordon - Taylor expression ดังนี้

$$T_g = W_a \cdot T_{ga} + W_b \cdot T_{gb} \quad (2.7)$$

$T_g$  = อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์ผสม

$T_{ga}$  = อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์ A

$T_{gb}$  = อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์ B

$W_a$  = สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ A

$W_b$  = สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ B

Fox ได้พัฒนาสมการ Gordon-Taylor และนำมาใช้ทำนายอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม ได้ดังนี้

$$\frac{1}{T_g} = \frac{W_a}{T_{ga}} + \frac{W_b}{T_{gb}} \quad (2.8)$$

ค่า  $T_g$  ที่คำนวณได้จากสมการของ Fox จะให้ค่าที่ต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้จากสมการ Gordon-Taylor ทั้งนี้เกิดเนื่องมาจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล

ในระบบที่พอลิเมอร์ผสมไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกันจะได้  $T_g$  2 ค่าโดยแต่ละค่าจะมีค่าใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ของตัวเอง สำหรับพอลิเมอร์ที่ผสมเข้ากันได้บางส่วนจะให้  $T_g$  ที่ได้จะเหมือนกับพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกันคือมี  $T_g$  2 ค่า โดยที่พอลิเมอร์ที่มีค่า  $T_g$  สูงกว่าอีกตัวหนึ่งเมื่อผสมแล้วจะให้ค่า  $T_g$  ที่ต่ำกว่าค่าเดิม ในขณะที่พอลิเมอร์ที่มีค่า  $T_g$  ต่ำกว่าพอลิเมอร์อีกตัวหนึ่งเมื่อผสมแล้วจะให้ค่า  $T_g$  ที่สูงกว่าค่าเดิม

## 2.3 พอลิเอทิลีน [26] (Polyethylene,PE)



พอลิเอทิลีนเกิดจากการพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนมอนอเมอร์โดยใช้กระบวนการที่แตกต่างกัน ทำให้ได้พอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ จุดหลอมเหลวของพอลิเมอร์ที่ได้จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ที่อุณหภูมิห้องพอลิเอทิลีนไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ แต่ถ้าให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง พอลิเมอร์สามารถพองตัวและละลายได้ใน พารา-ไซลีน (p-Xylene), ไตรคลอโรเบนซีน (trichlorobenzene), เดคาเคน (decane) และเดคาลิน (decalin) ทนต่อกรด ด่าง และสารออกซิไดส์ แต่ไม่ทนกับสภาพแวดล้อม อุณหภูมิสูงและรังสี เมื่อขีดข่วนสามารถเกิดรอยได้ พอลิเอทิลีนเป็นวัสดุไม่มีขั้วจึงไม่นำไฟฟ้า สามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้ 3 แบบ ดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงการแบ่งชนิดของพอลิเอทิลีนตามลักษณะโครงสร้าง

	โครงสร้างของสายโซ่	ความเป็นผลึก	กระบวนการผลิต	ความหนาแน่น
LDPE	เชิงเส้น/มีโซ่กิ่งมาก	~50%	ใช้ความดันสูง	0.912-0.94
LLDPE	เชิงเส้น/มีโซ่กิ่งเล็กน้อย	>50%	ใช้ความดันต่ำ	0.92-0.94
HDPE	เชิงเส้น	<90%	ใช้ความดันต่ำ	>0.958

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene,LDPE)

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผลิตจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันเอทิลีนแบบอนุโมลอิสระ โดยใช้ความดันสูง อุณหภูมิ 150-200°C บางครั้งเรียกว่าพอลิเอทิลีนความดันสูง พอลิเมอร์ที่ได้จะมีโซ่กิ่งเป็นจำนวนมาก ทำให้พอลิเอทิลีนชนิดนี้มีความเป็นผลึกน้อยความหนาแน่นต่ำ จุดหลอมเหลวต่ำและมีช่วงกว้าง 80-110°C มีความอ่อนนุ่ม โค้งงอง่าย

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear Low Density Polyethylene,LLDPE)

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นผลิตจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบ Ziegler-Natta หรือแบบ Phillips โดยใช้ความดันต่ำ ในกระบวนการผลิตจะมีการใส่โคมอนอเมอร์จำพวก 1-alkene เช่น butene-1 (นิยมใช้กันมากและราคาถูก), hexene-1, octene-1 หรือ 4-methylpentene-1 ลงไปประมาณร้อยละ 10 ทำให้มีสายโซ่คาร์บอนสั้น ๆ เกิดขึ้นที่พอลิเมอร์หลัก นอกจากนี้ยังมีผลทำให้ความสม่ำเสมอของโมเลกุลและความเป็นผลึกลดลง สมบัติโดยทั่วไปคล้ายพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ แต่มีความแข็งแรงมากกว่าจึงนิยมใช้ในการผลิตฟิล์ม

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE)

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผลิตได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบ Ziegler-Natta หรือ Phillips หรือ Standard Oil โดยใช้ความดันต่ำ บางครั้งเรียกว่าพอลิเอทิลีนความดันต่ำ มีโครงสร้างแบบเชิงเส้นที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลอย่างสม่ำเสมอมีโซ่กิ่งน้อยและสั้นจึงมีความเป็นผลึกและจุดหลอมเหลวสูงประมาณ  $120-135^{\circ}\text{C}$  เมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดอื่น มีความแข็งแรงมาก นิยมใช้ในการเป่าขวดและบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ทำฟิล์ม ท่อ และขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีด

โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.2



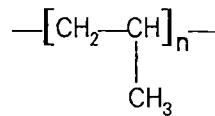
(ค) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะโครงสร้างพอลิเอทิลีนชนิดต่าง ๆ (ก) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (ข) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (ค) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 พอลิพรอพิลีน [27] (Polypropylene,PP)

สูตรโครงสร้าง



พอลิพรอพิลีนสามารถเตรียมได้จากหลายวิธี วิธีที่ได้ผลดีคือการใช้ Ziegler-Natta ซึ่งให้พอลิพรอพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงอยู่ในช่วง 60,000-200,000 และมีโครงสร้างเป็นแบบไอโซแทกติกสูงถึงร้อยละ 90-95 พอลิพรอพิลีนมีความหนาแน่น 0.90 g/cm<sup>3</sup> มีจุดหลอมเหลวประมาณ 164-170 องศาเซลเซียสที่อุณหภูมิห้องไม่ละลายในตัวทำละลายทุกชนิด แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องสามารถละลายได้ในไฮโดรคาร์บอน อะโรมาติกและคลอริเนตไฮโดรคาร์บอน ทนกรดทนเบส ไม่ทนต่อแสงถูกออกซิไดส์ได้ง่ายจึงมีการเติมสารต้านออกซิเดชันลงในผลิตภัณฑ์ พอลิพรอพิลีนส่วนมากจะนำมาทำเป็น ถุงร้อน กล่องเบตตอร์ ชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น เราสามารถแบ่งประเภทพอลิพรอพิลีนตามชนิดของมอนอเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบได้ 3 ประเภท คือ

1. โพลิพรอพิลีน (PP homopolymer) สายโซ่พอลิเมอร์จะประกอบไปด้วยมอนอเมอร์ของพรอพิลีนเพียงอย่างเดียว
2. พอลิพรอพิลีนชนิดทนแรงกระแทก (PP impact copolymer) สายโซ่พอลิเมอร์จะมีมอนอเมอร์ที่มีสมบัติเป็นยาง ประกอบอยู่ร้อยละ 5-25 เช่น ethylene/propylene rubbers
3. พอลิเมอร์ร่วมพอลิพรอพิลีน (PP copolymer) เป็นพอลิเมอร์ร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนโดยจะมีปริมาณพอลิเอทิลีนแตกต่างกันไปแล้วแต่จุดประสงค์การใช้งาน

พอลิพรอพิลีนสามารถแบ่งตามสเตอริโอเคมีได้ 3 แบบ

### 1. แบบไอโซแทกติก (Isotactic)

เกิดจากมอนอเมอร์พรอพิลีนจัดเรียงตัวแบบหัวต่อหาง หมู่เมทิลที่เกาะอยู่กับอะตอมคาร์บอนบนโครงของพอลิเมอร์ (back bone) จะอยู่ด้านเดียวกับระนาบ การจัดเรียงตัวแบบนี้ทำให้พอลิพรอพิลีนมีความเป็นผลึกสูง

### 2. แบบซินดิโอแทกติก (Syndiotactic)

เกิดจากมอนอเมอร์พรอพิลีนจัดเรียงตัวแบบหัวต่อหางเช่นเดียวกับแบบไอโซแทกติก แต่หมู่เมทิลที่เกาะอยู่กับอะตอมคาร์บอนบนโครงหลักของพอลิเมอร์ จะอยู่กันคนละด้านของระนาบ สลับกันไปอย่างเป็นระเบียบ

### 3. แบบอะแทกติก (Atactic)

เกิดจากมอนอเมอร์พรอพิลีนมีการจัดเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ หมู่เมทิลอยู่ด้านเดียวกันบ้าง คนละด้านกันบ้าง ไม่แน่นอนการจัดเรียงตัวแบบนี้พอลิพรอพิลีนจะไม่มีความเป็นผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 เครื่องมือและหลักการทำงาน

### 2.5.1 เครื่องอัดรีดเกลียวทวนคู่ (Twin-Screw Extruders)

เครื่องอัดรีดเกลียวทวนคู่ จะประกอบไปด้วยเกลียวทวน (Screws) 2 ตัวซึ่งมีลักษณะและทิศทางในการหมุนแตกต่างกัน หมุนอยู่ในกระบอกสูบ (Barrel) ที่เป็นท่อโลหะหนาและติดเครื่องให้ความร้อน พอลิเมอร์ที่เป็นผงหรือเม็ดจะถูกใส่ทางกรวยเติม จากนั้นเกลียวทวนจะทำการผสมพอลิเมอร์ให้เข้ากันโดยการหมุนและใช้ความร้อนจากกระบอกสูบทำให้เกิดการหลอมตัว พอลิเมอร์จะกลายเป็นของเหลวหนืดแล้วถูกดันออกมาสู่แม่แบบ (Die) ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะยาวต่อเนื่อง

Twin-Screw Extruders สามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ

1. Counter-rotating Intermeshing Twin-screw Extruders
2. Counter-rotating Non-Intermeshing Twin-screw Extruders
3. Co-rotating Intermeshing Twin-screw Extruders
4. Co-rotating Non-Intermeshing Twin-screw Extruders

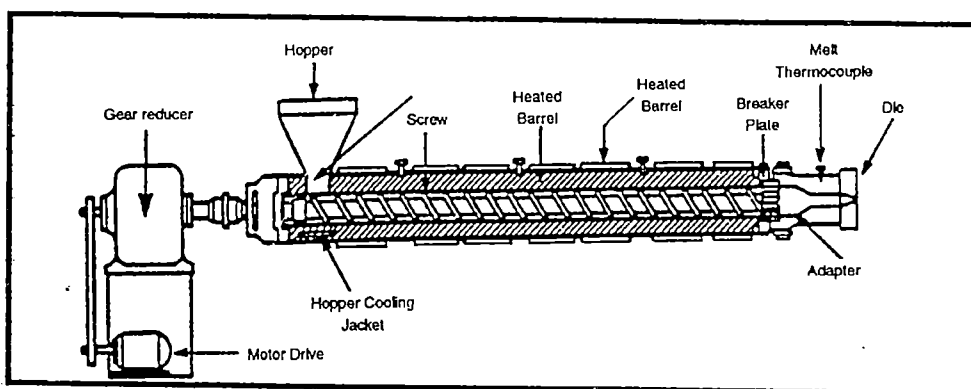
การหมุนของเกลียวทวนที่ไปในทิศทางเดียวกัน (Co-rotating) พอลิเมอร์จะถูกทำให้เคลื่อนตัวในหลายลักษณะทำให้มีการผสมที่ดี ในขณะที่เกลียวทวนที่สวนทางกัน (Counter-rotating) พอลิเมอร์จะเคลื่อนตัวมาที่ระหว่างเกลียวทำให้เกิดการผสมของพอลิเมอร์อยู่ตรงกลาง และจะนำพอลิเมอร์เข้าในลักษณะบังคับ ในการผสมพอลิเมอร์แต่ละชนิดจะใช้เกลียวทวนที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้แรงหมุนที่มีกำลังเพียงพอและไม่เกิดความร้อนสะสม ส่วนใหญ่นิยมใช้เกลียวทวนชนิดที่ 1 และ 3 พอลิเมอร์ที่ใช้ในงานอัดรีดจะต้องมีความหนืดค่อนข้างสูงเพราะจะได้สามารถคงรูปอยู่ได้เมื่อออกจากแม่แบบ

เครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนคู่จะมีราคาแพงกว่าเครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนเดี่ยว (Single-Screw Extruders) และเกลียวทวนสั้นกว่า มีแรงเฉือนที่ต่ำ ใช้ได้กับงานเฉพาะอย่าง

ขั้นตอนในการอัดรีดสามารถแบ่งได้เป็น 6 ขั้นตอน คือ

1. การนำพอลิเมอร์เข้า เกิดจากการหมุนของเกลียวทวนทำให้พอลิเมอร์เคลื่อนตัวไปข้างหน้า
2. การอัดพอลิเมอร์ เป็นการไล่อากาศที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดพอลิเมอร์
3. การหลอมพอลิเมอร์
4. การผสมพอลิเมอร์ที่หลอมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน
5. การนำพอลิเมอร์เข้าสู่หัวดาย
6. ทำการหล่อเย็นแล้วตัดตามขนาดที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอัดรีด [28]

### ข้อดีของการอัดรีด

1. ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะยาว
2. หัวตายราคาถูก
3. สามารถทำการผลิตได้อย่างต่อเนื่อง
4. สามารถผลิตได้ทั้งชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่และเล็ก

### ข้อเสียของเครื่องอัดรีด

1. ไม่สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้
2. ราคาในการติดตั้งสูง
3. มีขนาดด้านตัดขวางคงที่

### 2.5.2 เครื่องฉีด (Injection Molding)

การฉีดพลาสติก เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากสามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ยืดหยุ่น ยาก ซ้ำซ้อนได้ง่าย ลักษณะของพอลิเมอร์ที่นำมาผลิตสามารถเป็นได้ทั้งเม็ดและผงนอกจากนี้ยังใช้ได้กับพอลิเมอร์ทุกประเภท เช่น เทอร์โมพลาสติก เทอร์โมเซต และอีลาสโตเมอร์

โครงสร้างของเครื่องฉีดประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ

1. ชุดฉีด (Injection Unit) จะทำหน้าที่ในการดึงพอลิเมอร์เข้ากระบอฉีด โดยอาศัยการหมุนของเกลียวหนอน จากนั้นจะทำการหลอมเหลวและหมุนส่งพอลิเมอร์ที่ถูกหลอมเหลวแล้วไปยังด้านหน้าของปลายเกลียวหนอน เมื่อได้พอลิเมอร์ตามต้องการแล้วเกลียวหนอน จะหยุดหมุน แล้วเคลื่อนที่ไปด้านหน้าตามแนวแกนเพื่อฉีดพอลิเมอร์เข้าสู่แม่พิมพ์และค้างอยู่เพื่อให้เนื้อพอลิเมอร์แน่นเต็มแม่พิมพ์

2. ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit) หน้าที่คือ ยึดแม่พิมพ์ทั้ง 2 ส่วน เคลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ ให้แรงในการปิดล็อกแม่พิมพ์ หล่อชิ้นงานให้เย็น และทำการปลดชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ฐานเครื่อง (Base) ทำหน้าที่รับน้ำหนักของชุดฉีด และ ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ และเป็นที่ยึดบรรจุน้ำมัน

จังหวะในการทำงานของเครื่องฉีด เครื่องฉีดทุกเครื่องจะมีความทำงานเป็นวัฏจักรที่เหมือนกันจะแตกต่างกันที่รายละเอียดปลีกย่อยเท่านั้น คือจะเริ่มจาก

จังหวะที่ 1 แม่พิมพ์เคลื่อนที่ปิด

จังหวะที่ 2 ชุดฉีดเคลื่อนที่เข้าหาแม่พิมพ์

จังหวะที่ 3 เกลียวนหนอนฉีดพอลิเมอร์เหลวเข้าแม่พิมพ์

จังหวะที่ 4 ย้ำรักษาความดันพอลิเมอร์เหลวที่อยู่ในแม่พิมพ์

จังหวะที่ 5 หล่อเย็นชิ้นงานที่อยู่ในแม่พิมพ์

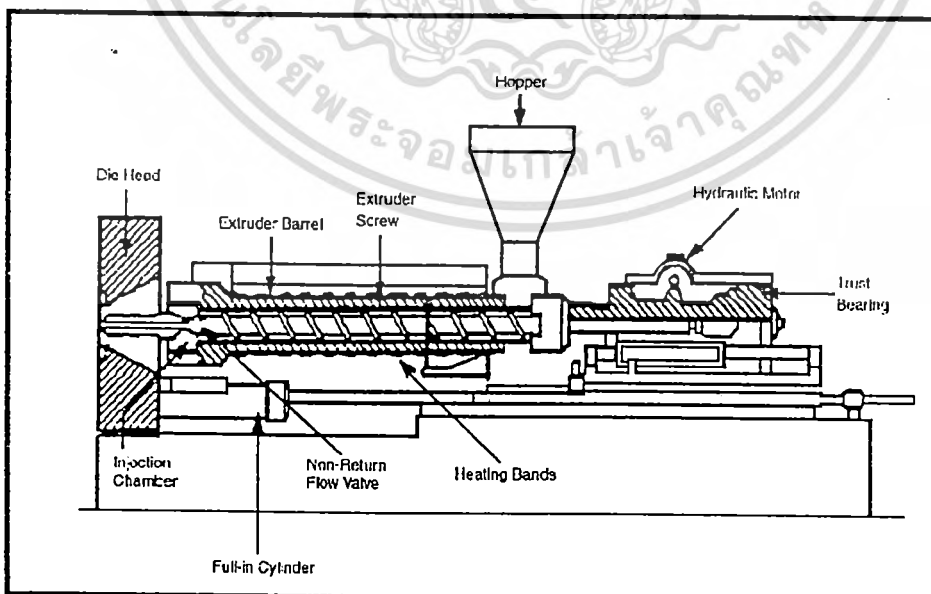
จังหวะที่ 6 หลอมและป้อนพอลิเมอร์ไปด้านหน้าปลายเกลียวหนอน

จังหวะที่ 7 ชุดฉีดถอยหลังกลับ

จังหวะที่ 8 แม่พิมพ์เปิดออก

จังหวะที่ 9 ปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

ซึ่งในแต่ละจังหวะการทำงานจะใช้เวลาแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของพอลิเมอร์ที่นำมาใช้ นอกจากนี้การเลือกใช้ความดันฉีด อุณหภูมิ และความเร็วของการทำงานในแต่ละจังหวะก็มีผลต่อชิ้นงาน พอลิเมอร์ที่มีความหนืดสูงควรใช้ความดันในการฉีดสูงกว่าพอลิเมอร์ที่มีความหนืดต่ำ การเลือกใช้อุณหภูมิสูงหรือต่ำนั้นขึ้นกับความเหมาะสมในการทำงานแต่ไม่ควรสูงมากจนทำให้พอลิเมอร์เกิดการเสื่อมสภาพ ส่วนความเร็วของการทำงานในแต่ละจังหวะจะส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการทำงาน



รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบของเครื่องฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข้อดีของการฉีดขึ้นรูป

1. ใช้เวลาในการผลิตสั้น
2. สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้
3. สามารถควบคุมขนาดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์ได้อย่างถูกต้อง

### ข้อเสียของการฉีดขึ้นรูป

1. ต้องใช้ความดันในการผลิตสูง
2. เครื่องมือที่ใช้มีราคาแพง
3. ไม่สามารถผลิตชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ได้
4. ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีผนังบาง

## 2.6 การปรับปรุงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม [29]

วิธีที่จะทำให้พอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันมีลักษณะฐานวิทยาและสมบัติตามความต้องการอาจทำได้ 2 วิธี คือ

1. ปรับเปลี่ยนกระบวนการผสม
2. เติมสารช่วยผสม (compatibilizer)

ผลที่ได้รับจากวิธีการดังกล่าวข้างต้นมีดังนี้

1. ลดพลังงานระหว่างผิว
2. ทำให้อนุภาคมีการกระจายตัวที่ดีในระหว่างกระบวนการผสม
3. ปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิว
4. ป้องกันการแยกกันของวัฏภาคตลอดการผลิตจนถึงผลิตภัณฑ์สุดท้าย

### 2.6.1 การปรับเปลี่ยนกระบวนการผสม

กระบวนการผสมมีความสำคัญมากต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผสม คือ

1. เวลาในการผสม

Teyssie และคณะ[29]ได้ทำการศึกษาผลของเวลาที่มีต่อการผสมของพอลิสไตรีนกับพอลิเอทิลีนและ polystyrene-block-ethylene ซึ่งเป็นสารช่วยผสม โดยใช้ลูกกลิ้งหรือเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่ พบว่าพอลิเมอร์ที่ผสมด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่จะเกิดการแยกวัฏภาค ในขณะที่การใช้ลูกกลิ้งพอลิเมอร์ผสมจะไม่มีเกิดการแยกวัฏภาค ผู้ทำวิจัยเสนอว่าความแตกต่างเกิดขึ้น

จากเวลาที่ใช้ในการผสมด้วยลูกกลิ้งนานกว่าเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่ ทำให้สารช่วยผสมสามารถแพร่กระจายมายังชั้นระหว่างผิวได้สมบูรณ์กว่า

## 2. แรงเฉือน

Utracki[29] สามารถอธิบายถึงผลที่เกิดจากการใช้แรงเฉือนสูงโดยใช้ Maxwell normal stress extruder พบว่าการใช้แรงเฉือนสูงทำให้เกิดวัฏภาคร่วมต่อเนื่องกัน (co-continuous phases)

## 3. ลำดับในการผสม

ลำดับในการผสมองค์ประกอบแต่ละชนิดเข้าด้วยกันจะมีผลต่อประสิทธิภาพของสารช่วยผสม เพราะสารช่วยผสมอาจจะเกิดอันตรกิริยากับวัฏภาคของพอลิเมอร์ชนิดที่ใส่ลงไปก่อนเมื่อเติมพอลิเมอร์อีกชนิดลงไปก็จะไม่เกิดอันตรกิริยา

## 4. ความหนืดขององค์ประกอบ

ความหนืดของแต่ละองค์ประกอบจะมีผลต่อการกระจายตัวในขณะผสม ถ้าการกระจายตัวไม่ได้สมบัติของการผสมก็จะไม่ดีด้วย ดังนั้นจึงควรเลือกคู่พอลิเมอร์ที่มีความหนืดใกล้เคียงกัน

### 2.6.2 สารช่วยผสม

หมายถึงสารที่เติมลงไปในพอลิเมอร์ผสมเพื่อลดแรงตึงผิว (interfacial tension) ช่วยให้พอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันสามารถรวมกันได้มากขึ้น ทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้นกว่าเดิม แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

#### 1. สารช่วยผสมที่สามารถทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ผสม

ส่วนใหญ่เป็นสารเคมี เช่น เปอร์ออกไซด์ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ กรดฟูมาริก ทำให้เกิดการเชื่อมโยงหรือการวัลคาไนซ์

#### 2. สารช่วยผสมที่ไม่ทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ผสม

จะเป็นพอลิเมอร์ร่วมของพอลิเมอร์หลักที่ผสมกัน โดยจะจัดตัวในลักษณะต่างๆ เช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก แบบสุ่ม และแบบกราฟท์ โดยพอลิเมอร์ร่วมจะแทรกตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสมทำหน้าที่คล้ายเป็นสะพานเชื่อมระหว่างผิวเพิ่มแรงยึดติดของทั้ง 2 วัฏภาคเข้าด้วยกัน สารช่วยผสมประเภทนี้นิยมใช้คือพอลิเมอร์ร่วมแบบไดบล็อก (diblock) แต่พอลิเมอร์ร่วมที่เป็นแบบหลายบล็อก (multiblock) จะให้ประสิทธิภาพมากกว่า

#### 3. สารช่วยผสมที่มีทั้งส่วนที่สามารถทำปฏิกิริยาและไม่ทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ผสม

ในงานวิจัยนี้ใช้สารช่วยผสมที่ไม่ทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ผสม คือพอลิเมอร์ร่วมระหว่างพรอพิลีนกับเอทิลีน ที่มีการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์ต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่

- Poly (propylene-random-ethylene) copolymer โดยมีปริมาณเอทิลีนผสมอยู่ร้อยละ 8-9  
โดยน้ำหนัก

- Poly (propylene-block-ethylene) copolymer มีปริมาณเอทิลีนผสมอยู่ร้อยละ 3  
โดยน้ำหนัก

## 2.7 กระบวนการฉายรังสี (Radiation Processes)

การฉายรังสีเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นการนำพลังงานมาใช้อย่างคุ้มค่า มีมลภาวะต่ำ และสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้ว กระบวนการฉายรังสีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพันธะเคมีและปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของวัสดุหรือสารประกอบ สามารถแบ่งประเภทรังสีได้เป็น 2 ประเภทคือ

### รังสีที่ไม่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุ (Nonionizing Radiation)

สามารถผลิตได้จากเครื่องเร่งอิเล็กตรอน เช่น Van de Graaff generators cyclotron และ resonant transformers อิเล็กตรอนจากเครื่องเหล่านี้จะมีอำนาจในการทะลุทะลวงน้อยกว่ารังสีจากธาตุไอโซโทป แต่จะควบคุมการทำงานได้ง่ายกว่าและสามารถปิดเครื่องได้เมื่อไม่ต้องการใช้งาน พลังงานรังสีในกลุ่มนี้ได้แก่

รังสีอัลตราไวโอเล็ต แหล่งกำเนิดรังสี เช่น plasma arcs, tungsten filaments และ carbon arc รังสีชนิดนี้มีอำนาจการทะลุทะลวงเพียงพอสำหรับแผ่นฟิล์ม และผิวหน้าของพลาสติกเท่านั้น

รังสีอินฟราเรด เป็นรังสีที่ใช้ในงาน thermoforming, film extrusion, orientation, embossing, coating, laminating, drying และ curing processes

พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ใช้ในงานเชื่อมและยึดติดของผลิตภัณฑ์

พลังงานความถี่คลื่นวิทยุ ใช้สำหรับงานให้ความร้อนแก่พลาสติกเพื่อให้เกิดการหลอมตัวและง่ายต่อการเชื่อมติด นอกจากนี้ยังทำให้สารเคลือบผิวแห้งเร็ว

ไมโครเวฟ ช่วยเร่งการบ่ม (curing) ให้เร็วขึ้น ช่วยในการหลอมตัวและทำให้แห้ง.

### รังสีที่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุ (Ionizing Radiation)

เกิดจาก Electron beam accelerators หรือไอโซโทปรังสี (radioisotope) ซึ่งในเชิงพาณิชย์ใช้กันมาก ได้แก่ โคบอลต์ -60 (Cobalt-60), สตรอนเทียม-90 (Strontium-90) และซีเซียม-137 (Cesium-137) โดยเป็นแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา

Electron beam accelerators ที่นำมาใช้งานด้านพอลิเมอร์ มีข้อดีคือสามารถควบคุมปริมาณของอิเล็กตรอนและใช้สะดวกกว่ารังสีแกมมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รังสีแกมมา[30]เป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับแสงและรังสีเอกซ์ แต่ว่ามีพลังงานสูงกว่า กำเนิดจากนิวเคลียสของสารกัมมันตรังสี เนื่องจากนิวเคลียสของสารกัมมันตรังสีอยู่ในสภาวะไม่เสถียรหรือสภาวะตื่นตัว นิวเคลียสจะปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปอนุภาค เช่น เบตา แอลฟา หรือแกมมา รังสีแกมมาไม่มีประจุและไม่มีมวลจึงไม่ทำให้เกิดขบวนการแตกตัวโดยตรง แต่เกิดทางอ้อมโดยผ่านอันตรกิริยา 3 ชนิด คือ โฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบคอมป์ตัน และการเกิดผลผลิตคู่ (Pair Production) รังสีแกมมามีความสามารถในการทะลุทะลวงสูง แต่ (ในทางอุตสาหกรรมรังสีแกมมาไม่ค่อยนิยมใช้ เนื่องจากเวลาในการทำงานนาน แหล่งกำเนิดรังสีควบคุมยาก และต้องใช้ผู้มีความรู้ความชำนาญชำนาญในการควบคุมสารกัมมันตรังสี

### 2.7.1 หน่วยวัดปริมาณรังสี

หน่วยที่นิยมใช้ในการวัดปริมาณรังสีคือ เกรย์ (gray,Gy) โดยที่ 1Gy หมายถึงพลังงานรังสีที่ถูกดูดกลืน 1 จูลต่อมวลสาร 1 กิโลกรัม (1J/kg) หน่วยเกรย์จะสัมพันธ์กับหน่วยเรด (rad) ซึ่งเป็นหน่วยที่นิยมใช้กันในสมัยก่อน ดังนี้

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

$$10 \text{ GY} = 1 \text{ krad}$$

$$1 \text{ kGy} = 100 \text{ krad}$$

$$10 \text{ kGy} = 1 \text{ Mrad}$$

### 2.7.2 ผลของรังสีที่มีต่อพอลิเมอร์

การถ่ายเทของพลังงานจากแหล่งกำเนิดรังสีไปยังวัสดุพอลิเมอร์ก่อให้เกิดการแตกหักของพันธะโคเวเลนต์และเกิดการจัดเรียงตัวของอะตอมเป็นโครงสร้างใหม่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของพันธะโคเวเลนต์จะส่งผลอย่างมากต่อสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ พอลิเมอร์แต่ละชนิดจะทนทานต่อรังสีได้ไม่เท่ากันดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงปริมาณความเข้มของรังสีที่มีผลต่อพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ

Polymer	Radiation Resistance	Radiation Dose for Significant Damage (Mrads)
ABS	Good	100
EP	Excellent	100-10,000
FEP	Fair	20
PC	Good	100+
PCTFE	Fair	10-20
PE	Good	100
PI	Excellent	100-10,000
PMMA	Fair	5
Polyesters(aromatic)	Good	100
Polyesters(unsaturated)	Good	1,000
Polymethylpenten	Good	30-50
PP	Fair	10
PS	Excellent	1,000
PSO	Excellent	1,000
PTFE	Poor	1
PU	Excellent	1,000+
PVC	Good	50-100
UF	Good	500

การฉายรังสีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในพอลิเมอร์ดังนี้

1. ทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างของพอลิเมอร์

การฉายรังสีทำให้พันธะโคเวเลนต์แตกสลายเกิดการแยกกันของอะตอมคาร์บอนทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลง สิ่งที่ช่วยบอถึงการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์คือ การแตกหัก การแตกราน (crazing) การขีดจางของสี ความแข็ง ความเปราะ ความยืดหยุ่น และสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ที่ไม่เป็นที่ต้องการ เช่น มีการกระจายของมวลโมเลกุลและความเป็นผลึกมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ช่วยในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์

การฉายรังสีไม่ได้จะทำลายพันธะของพอลิเมอร์อย่างเดียวแต่ยังมีประโยชน์ถ้ามีการควบคุมปริมาณของรังสี คือทำให้เกิดการเชื่อมโยง การต่อกิ่ง และทำให้เทอร์โมพลาสติกมีสมบัติทางกายภาพคล้ายกับเทอร์โมเซต

## 3. ช่วยให้เกิดพอลิเมอร์ไซโซ

พันธะโคเวเลนต์ที่เกิดการแตกสลายเนื่องจากการฉายรังสีจะให้อนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้จะรวมตัวเกิดเป็นพอลิเมอร์

## 4. ทำให้เกิดการกราฟท์

พอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟท์ที่เกิดจากการฉายรังสีสามารถทำได้โดยฉายรังสีลงบนพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นโซ่หลักก่อนจากนั้นเติมมอนอเมอร์ที่ต่างชนิดกับพอลิเมอร์หลักลงไปหรืออาจทำการฉายรังสีพอลิเมอร์หลักกับมอนอเมอร์พร้อมกัน

### 2.7.3 ประโยชน์ของรังสีที่มีต่ออุตสาหกรรมพอลิเมอร์

1. ฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่ากระบวนการทางเคมี

2. รังสีมีความสามารถในการทะลุทะลวงดีทำให้เกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วทั่วถึงและสม่ำเสมอทั้งชิ้นงาน

3. มอนอเมอร์สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไซโซได้โดยไม่ต้องใช้ตัวเร่งหรือสารเคมีทำให้ปราศจากสิ่งเจือปนในพอลิเมอร์

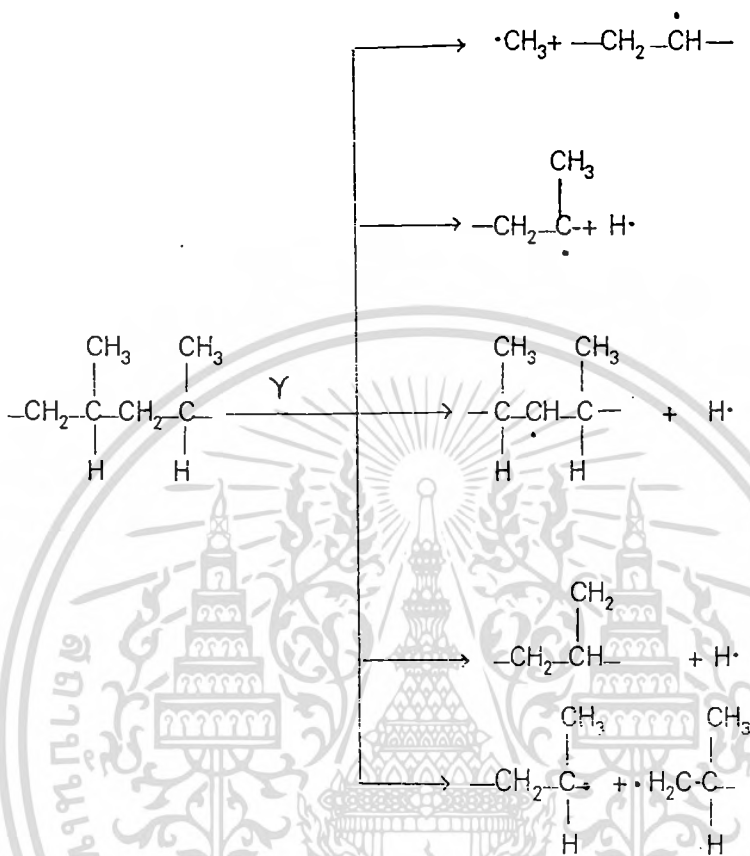
4. ปฏิกิริยาที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของรังสีจะถูกควบคุมเพียงเล็กน้อยจาก ดี สารเพิ่มปริมาณสารต้านการเกิดออกซิเดชัน และองค์ประกอบอื่น ๆ ในเรซินหรือพอลิเมอร์

5. การสร้างพันธะเชื่อมโยงและการต่อกิ่งสามารถเกิดหลังการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์

6. ไม่ต้องเตรียมสถานที่เก็บสารเคมีเพื่อใช้ในกระบวนการทางเคมี

2.7.4 ผลของรังสีที่มีต่อพอลิพรอพิลีน

พอลิพรอพิลีนเมื่อผ่านการฉายรังสีจะทำให้เกิดการแตกสลายพันธะของสายโซ่ โดยเริ่มจากการเกิดอนุมูลอิสระชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในแผนภาพต่อไปนี้

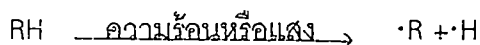


รูปที่ 2.5 แสดงชนิดของอนุมูลอิสระที่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อพอลิพรอพิลีนผ่านการฉายรังสี

ในสภาวะที่มีออกซิเจนรวมอยู่ด้วยพอลิพรอพิลีนอาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นได้ กลไกของปฏิกิริยาแสดงได้(32) ดังนี้

กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและแตกสลายพันธะจะเกิดขึ้น 3 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นเริ่มต้น



เมื่อ RH คือพอลิพรอพิลีน



ถ้าใช้ปริมาณความเข้มข้นต่ำจะเกิดการแตกสลายพันธะ แล้วเกิดการรวมตัวกับออกซิเจน  
ดังสมการ



เมื่อ R· แทนพอลิเอทิลีนที่สูญเสียไฮโดรเจนอะตอม

เมื่อความเข้มข้นของรังสีเพิ่มขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาแข่งขันกันระหว่างการเกิดพันธะเชื่อมโยงและการแตก  
สลายพันธะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (G 2855 จากบริษัท TPI)
2. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (J 4324 จากบริษัท TPI)
3. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (L2009F จากบริษัท TPE)
4. เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน (1100 NK จากบริษัท TPI)
5. เม็ดพลาสติกพอลิเมอร์ร่วมระหว่างพรอพิลีนกับเอทิลีนแบบบล็อก ที่มีเอทิลีนอยู่ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก (2300 K จากบริษัท TPI)
6. เม็ดพลาสติกพอลิเมอร์ร่วมระหว่างพรอพิลีนกับเอทิลีนแบบสุ่ม ที่มีเอทิลีนอยู่ร้อยละ 8-9 โดยน้ำหนัก (3300 M จากบริษัท TPI)
7. ไซลีน : Merck
8. สารต้านออกซิเดชัน

#### 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผสมระบบปิด Brabender (Plasti-Corder PL 2000)
2. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection moulding): Cosmo
3. เครื่องไม้ตัดพลาสติก
4. เครื่องฉายรังสีแกมมา (10 kGy/h): Gamma cell 220 Nordion Canada
5. เครื่องวัดความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance): Yasuda
6. เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) JSM-6400: JEOL
7. เครื่องทดสอบแรงดึง 30 kN: LLOYD
8. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Colorimeter) : DSC-50 Shimadzu
9. ชุดสกัดหาปริมาณเจล (Gel Extraction)

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณลักษณะของพอลิเมอร์

ประเภทของพอลิเมอร์	ดัชนีการไหล (g/10min)	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )
พอลิพรอพิลีน	11	0.910
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง	0.35	0.955
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	2.5	0.921
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น	0.9	0.920
พอลิเมอร์ร่วมระหว่างพรอพิลีนและเอทิลีนแบบบล็อก	4.0	0.910
พอลิเมอร์ร่วมระหว่างพรอพิลีนและเอทิลีนแบบสุ่ม	9.0	-

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมชิ้นงาน

ตอนที่ 1 ศึกษาผลของสารช่วยผสม

1. ทำการผสมเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีน ในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในข้อ 1.1 1.2 และ 1.3 ลงในเครื่องผสม (brabender) แบบเกลียวหนอนคู่ (twin-screw extruder) สภาวะที่ใช้ในการผสมมีดังนี้

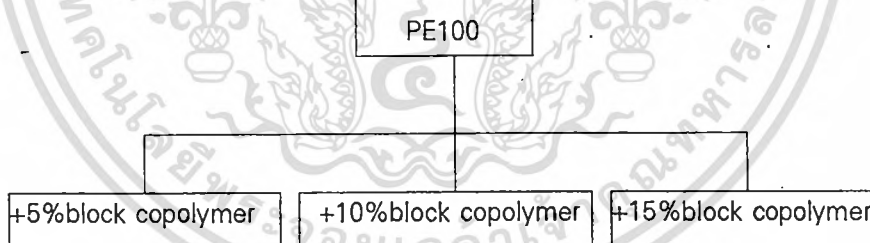
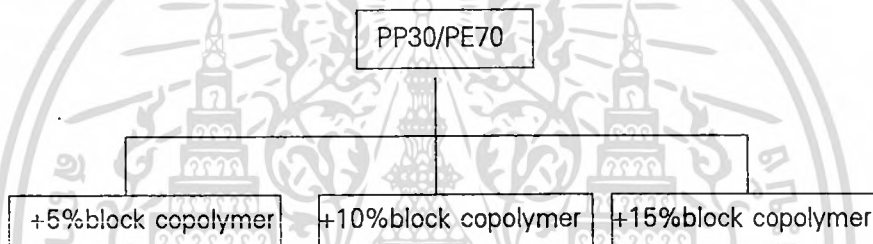
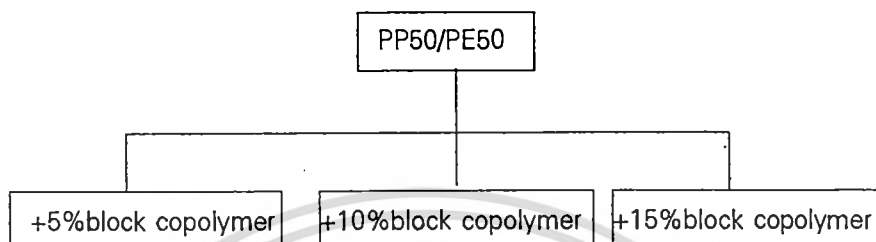
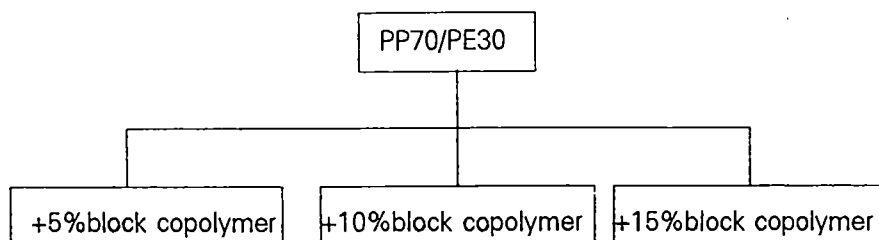
- อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม เริ่มจากส่วนป้อนเม็ดพลาสติก 160 170 180 และ 180 องศาเซลเซียส
- ความเร็วรอบในการหมุนสกรู 10 รอบต่อนาที

1.1 PP100 PP70/PE30 PP50/PE50 PP70/PE30 PE100

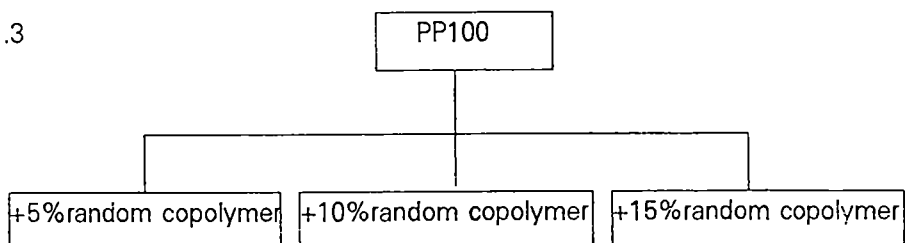
1.2

```

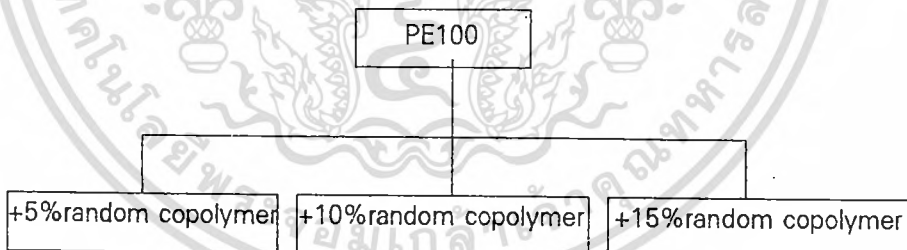
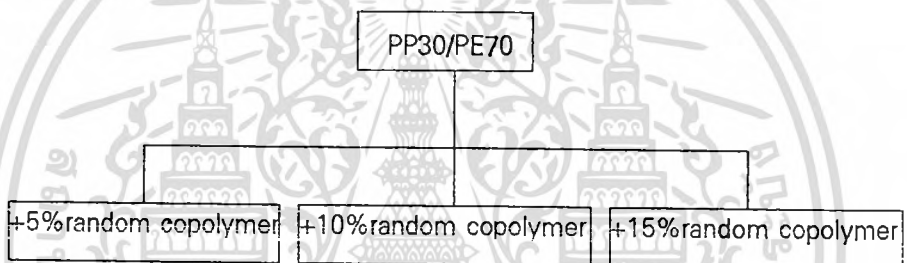
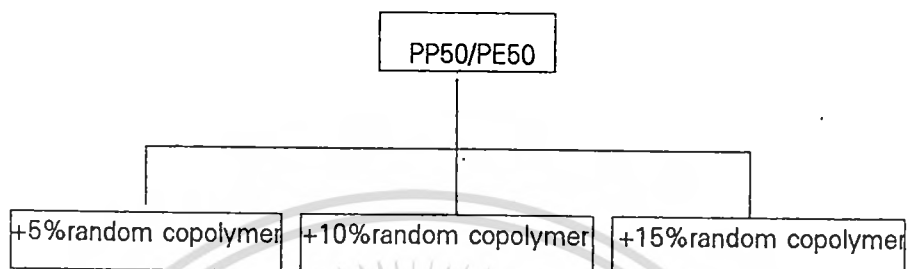
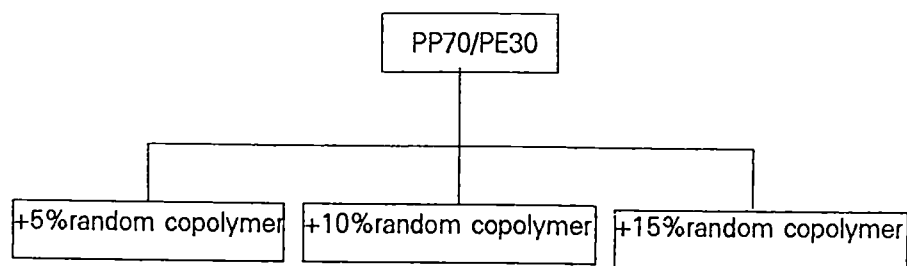
graph TD
    A[PP100] --- B[+5%block copolymer]
    A --- C[+10%block copolymer]
    A --- D[+15%block copolymer]
  
```



1.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2. นำพอลิเมอร์ที่ผ่านการผสมแล้วมาทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นตัดเป็นเม็ดด้วยเครื่องมือตัด
3. นำเม็ดที่ได้จากการตัด มาฉีดขึ้นรูป โดยใช้แม่พิมพ์รูป Tensile bar และ Impact bar

ตอนที่ 2 ศึกษาผลของรังสีแกมมา

1. นำพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการฉีดขึ้นรูปในอัตราส่วนผสมดังข้อ 1.1 ตอนที่ 1 มาฉายรังสีแกมมา ด้วยความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการฉีดขึ้นรูปจากข้อที่ 1.1 ตอนที่ 1 ในอัตราส่วน PP50/PE50 มาฉายรังสีแกมมาที่ความเข้ม 50 100 150 200 และ 250 กิโลเกรย์

หมายเหตุ PE ที่ใช้คือ LDPE HDPE และ LLDPE

### 3.3.2 การทดสอบชิ้นงาน

นำชิ้นงานที่ได้จากตอนที่ 1 และตอนที่ 2 มาทดสอบสมบัติดังนี้

#### 3.3.2.1 ทดสอบสมบัติเชิงกล

- ทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance) โดยใช้เครื่อง impact tester
- ทดสอบสมบัติแรงดึง (Tensile property) ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (LLOYD) ขนาด 30 kN ใช้ความเร็วในการดึง 25 มิลลิเมตรต่อนาที ผลที่ได้นำมาคำนวณ

1. หาค่าความทนทานแรงดึง จากสมการ

$$\text{Tensile strength} = F/A \quad (\text{N/mm}^2)$$

2. หาค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด จากสมการ

$$\% \text{ Elongation at break} = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \quad (\%)$$

3. หาค่ามอดุลัสจากสมการ

$$\text{Modulus of elasticity} = \text{stress/strain} \quad (\text{N/mm}^2)$$

F = แรงกระทำสูงสุดที่วัดได้

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน

L = ความยาวสุดท้ายของชิ้นงาน

L<sub>0</sub> = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน

#### 3.3.2.2 ตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา

นำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกไปศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง Scanning electron microscope

#### 3.3.2.3 ตรวจสอบอุณหภูมิหลอมผลึก (T<sub>m</sub>) อุณหภูมิตกผลึก (T<sub>c</sub>) เอนทัลปีของการ

หลอมผลึก (ΔH<sub>f</sub>) และเอนทัลปีของการตกผลึก (ΔH<sub>c</sub>) ของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่องวิเคราะห์เชิงความร้อน

นำพอลิเมอร์ผสมที่ขึ้นรูปเพื่อทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ชั่งน้ำหนักให้อยู่ในช่วง 5-10 มิลลิกรัม จากนั้นมาทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC โดยใช้อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส/นาที และอัตราการเย็นตัว 10 องศาเซลเซียส/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2.4 การหาเปอร์เซ็นต์เจล

นำชิ้นงานที่ผ่านการฉายรังสีมาตัดและชั่งน้ำหนักที่แน่นอนไม่มากกว่า 0.5 กรัม ใส่ลงในแผ่นตะแกรงทองเหลืองขนาด 1.5 x 2 นิ้ว แล้วพับขอบปิดชิ้นงานห่อเป็นรูปสี่เหลี่ยม ชั่งน้ำหนักห่อตะแกรงที่มีสารตัวอย่างบรรจุอยู่ภายใน ใส่ลงในขวดก้นกลม เติมน้ำด้านออกซิเดชันจำนวนเล็กน้อย (ปลายช้อนตักสาร) เติมหวดให้ละลายให้ท่วมชิ้นตัวอย่างสกัดเป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยเปลี่ยนตัวทำละลายทุก ๆ 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำออกจากขวดก้นกลม นำห่อตะแกรงที่ได้ไปอบให้แห้งในตู้อบสูญญากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนัก ทำการสกัดซ้ำและอบแห้ง จนกระทั่งน้ำหนักสารที่เหลืออยู่คงที่ นำค่าของน้ำหนักที่ชั่งได้ไปคำนวณเปอร์เซ็นต์การเกิดเจล ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์เจล} = \frac{\text{น้ำหนักพอลิเมอร์หลังสกัด}}{\text{น้ำหนักพอลิเมอร์ก่อนสกัด}} \times 100$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

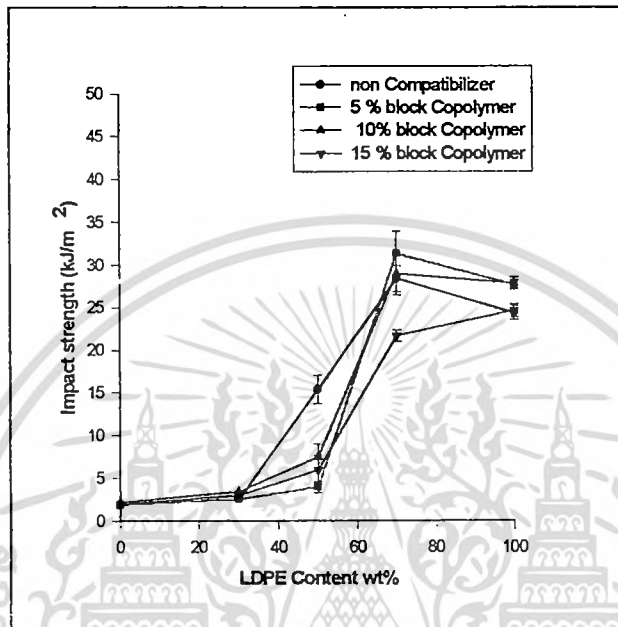
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

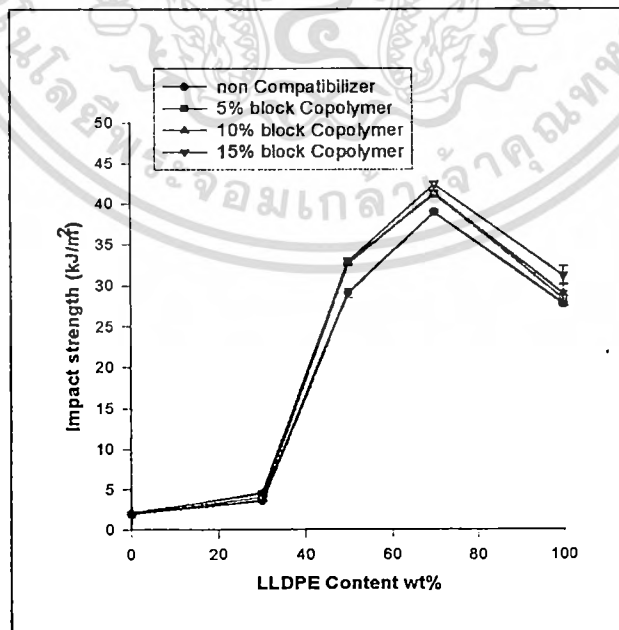
#### 4.1 ศึกษาผลของพอลิเมอร์ผสมเมื่อมีสารช่วยผสม

##### 4.1.1 ผลการศึกษาความทนทานต่อแรงกระแทก

###### ก. เมื่อใช้สารช่วยผสมแบบบล็อก



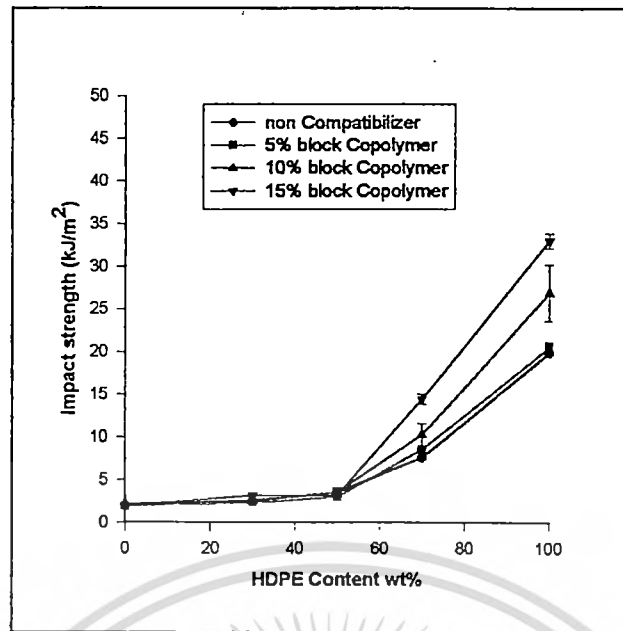
รูปที่ 4.1 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.2 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ

เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูาตไหนาไปไซประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

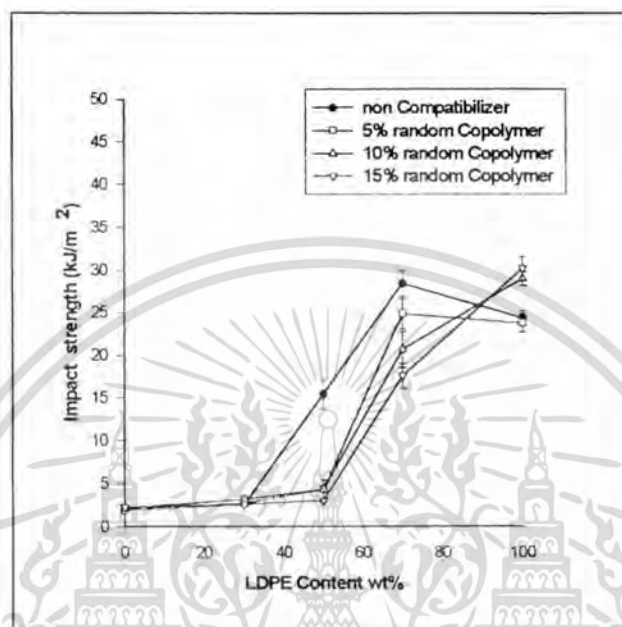
จากรูปที่ 4.1 พบว่าค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีความสามารถในการรับแรงกระแทกได้ดี และในอัตราส่วน PP30/LDPE70 จะให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงที่สุดในระบบที่มีแต่พอลิพรอพิลีนเมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกลงไปจะไม่พบการเปลี่ยนแปลงของค่าความทนทานต่อแรงกระแทกเลยจะเริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความทนทานต่อแรงกระแทกยังขึ้นกับปริมาณสารช่วยผสมด้วยดังนี้ 5% > 10% > 15% อย่างไรก็ตามค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของกลุ่มนี้ก็ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของการผสม

จากรูปที่ 4.2 พบว่าค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นที่เพิ่มขึ้น และในอัตราส่วน PP30/LLDPE70 จะให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงที่สุด เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกลงไปค่าความทนทานต่อแรงทนทานต่อแรงกระแทกจะสูงขึ้นเล็กน้อยโดยที่ 15~10% > 5% ในอัตราส่วนที่มีพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นผสมอยู่ และไม่เปลี่ยนแปลงเลยในระบบที่มีแต่พอลิพรอพิลีน

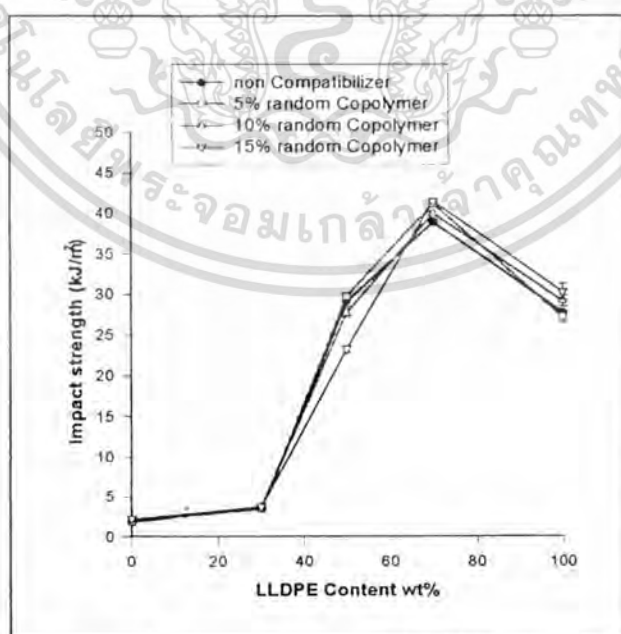
จากรูปที่ 4.3 พบว่าค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE มีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยในระบบที่มีแต่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงที่สุด เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกลงไป

จะช่วยให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกมีแนวโน้มสูงขึ้นโดยปริมาณสารช่วยผสม 15% > 10% > 5% ในอัตราส่วนที่มีพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในปริมาณมาก

ข. เมื่อใช้สารช่วยผสมแบบสุ่ม



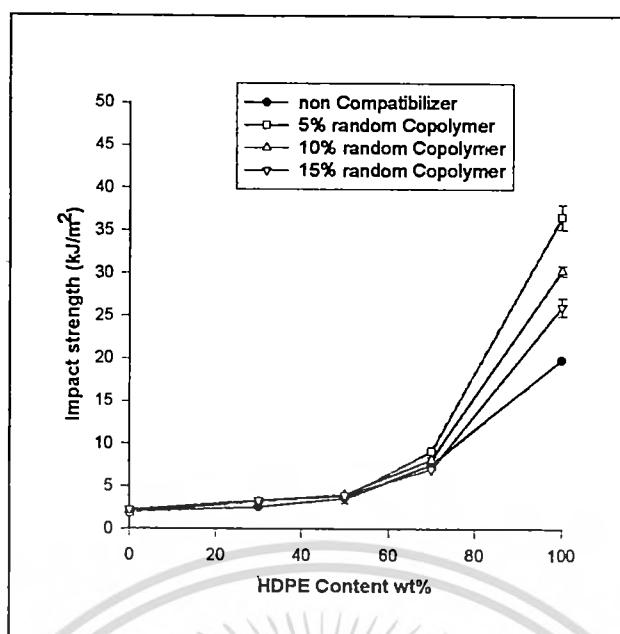
รูปที่ 4.4 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่มใน ปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.5 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ

เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่มในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่มใน ปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่มลงในพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE จะให้ผลค่าความทนทานต่อแรงกระแทกแนวโน้มเช่นเดียวกันกับการเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก ยกเว้นในอัตราส่วน PP30/LDPE70 ที่ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณสารช่วยผสมที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าสารช่วยผสมแบบสุ่มที่มีปริมาณพอลิพรอพิลีนมากเข้าไปขัดขวางการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม

จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่มลงในพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE จะให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกใกล้เคียงกันในทุกอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมและคล้ายคลึงกับการเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก

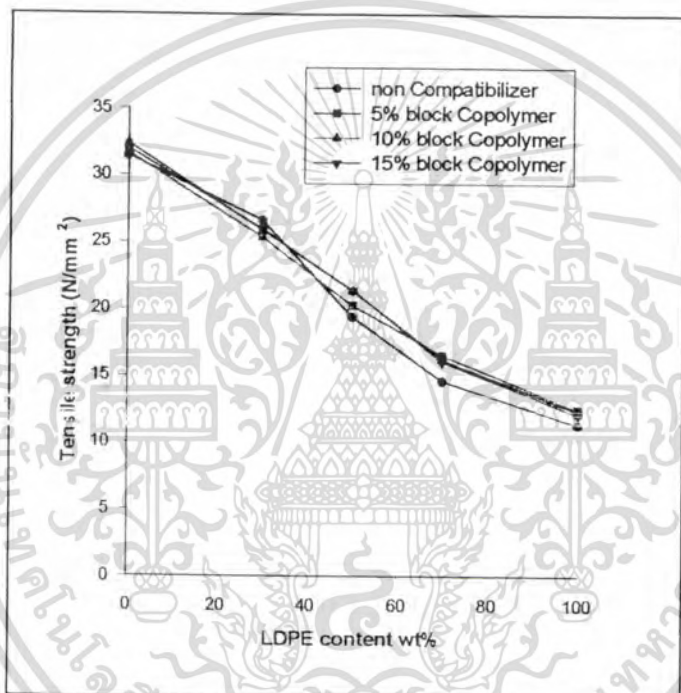
จากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่มลงในพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE จะทำให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกในระบบที่มีพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นองค์ประกอบหลักเพิ่มขึ้น โดยปริมาณ 5% > 10% > 15% ซึ่งค่าที่ได้นี้ตรงข้ามกับผลการทดลองเมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกส่วนในอัตราส่วนอื่นๆ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

สรุป ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจะขึ้นอยู่กับชนิดและอัตราส่วนของคู่พอลิเมอร์ผสม โดยคู่พอลิเมอร์ผสมพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นให้ค่าสูงสุด รองลงมาเป็นพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง การเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกหรือแบบสุ่มจะไม่ทำให้ค่าความทนทานต่อ

แรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมในระบบที่มีพอลิพรอพิลีนเป็นองค์ประกอบหลักเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสารช่วยผสมมีปริมาณของพอลิฟิลีนอยู่ในปริมาณมากอยู่แล้ว แต่จะส่งผลต่อพอลิเอทิลีน การทดลองพบว่า สารช่วยผสมแบบผสมปริมาณน้อยๆ ทำให้ความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับการใช้สารช่วยผสมแบบบล็อกปริมาณมากๆ

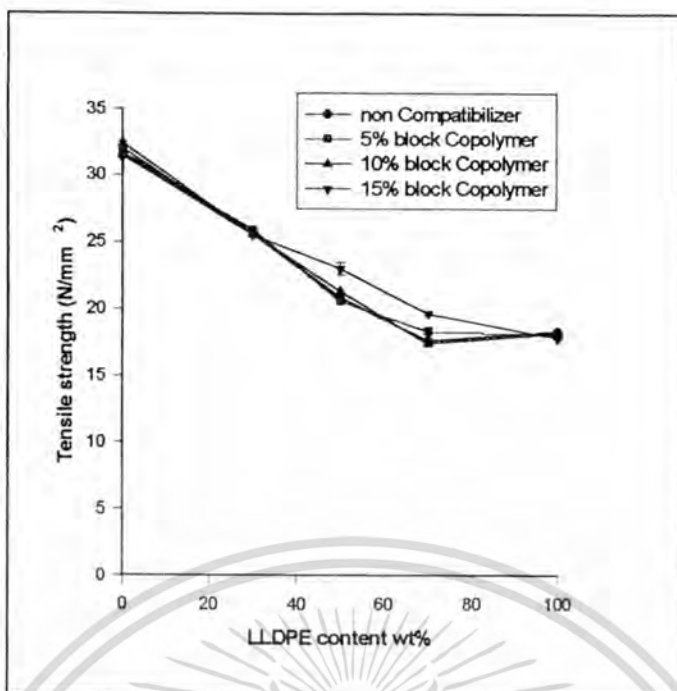
4.1.2 ศึกษาผลของความทนแรงดึง

ก. เมื่อใช้สารช่วยผสมแบบบล็อก

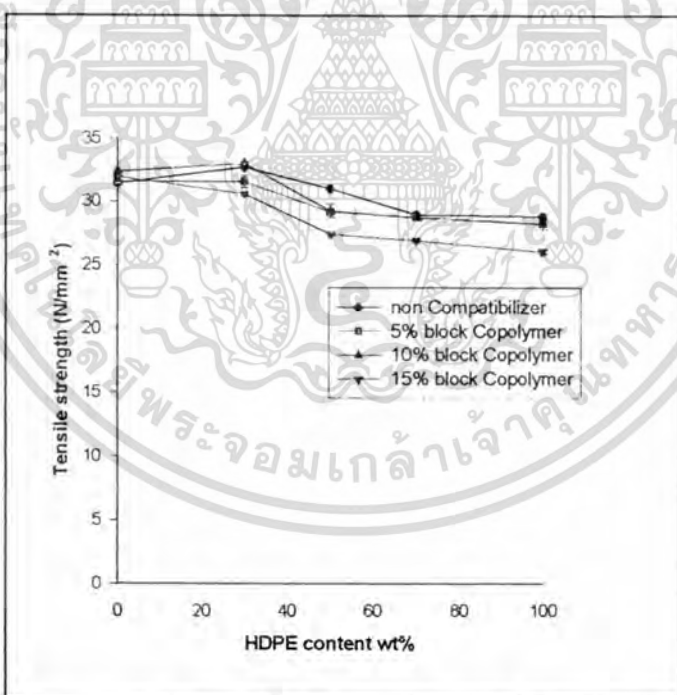


รูปที่ 4.7 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผสมสารช่วยผสมแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.9 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

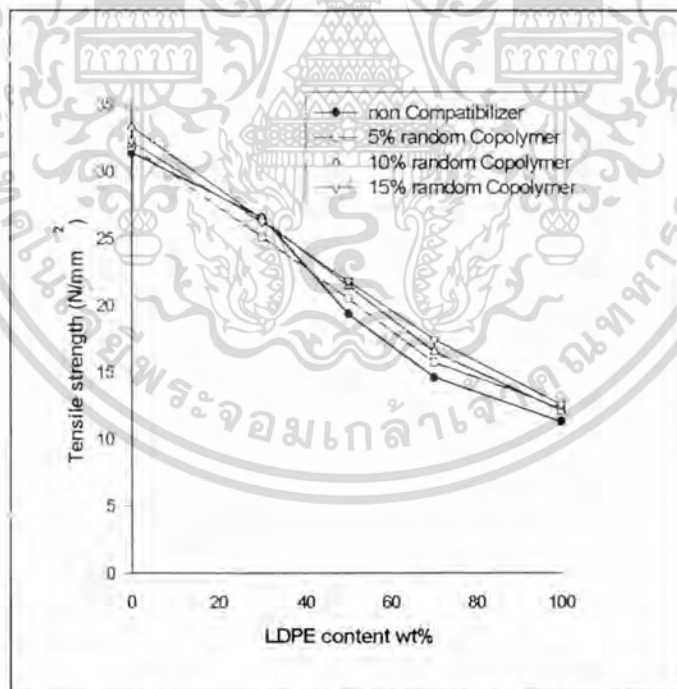
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 พบว่าค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่เพิ่มขึ้น เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกลงไปค่าความทนแรงดึงในทุกอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมสูงขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ 4.8 พบว่าค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE มีลักษณะเช่นเดียวกับ PP/LDPE คือมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกพบว่า ปริมาณสารช่วยผสมร้อยละ 15 ทำให้ความทนแรงดึงสูงขึ้นเล็กน้อย โดยเฉพาะอัตราส่วน PP50/LLDPE50 และ PP30/LLDPE70

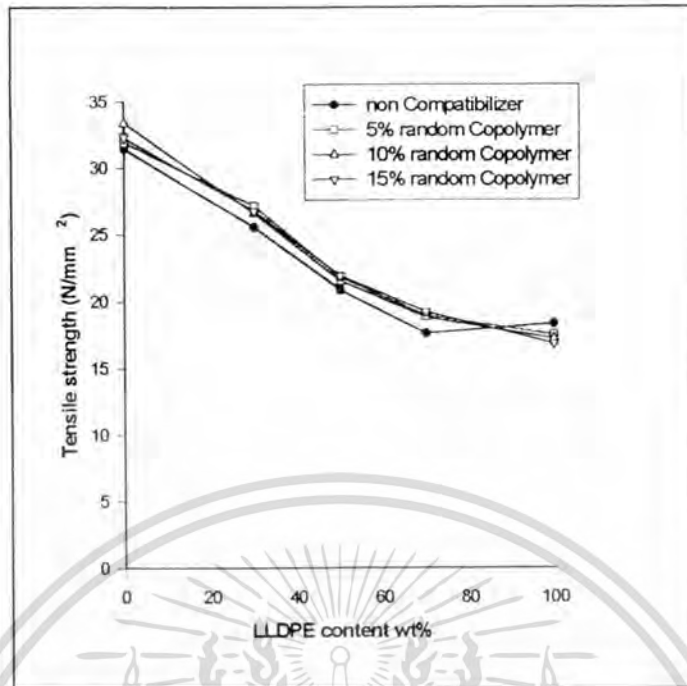
จากรูปที่ 4.9 พบว่าค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่างๆ มีค่าลดลงเล็กน้อยตามปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีค่าความทนแรงดึงใกล้เคียงกัน การเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกลงไปจะทำให้ค่าความทนแรงดึงในทุกอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมลดลง โดยเฉพาะเมื่อมีสารช่วยผสมอยู่ร้อยละ 15

ข. เมื่อใช้สารช่วยผสมแบบสุ่ม

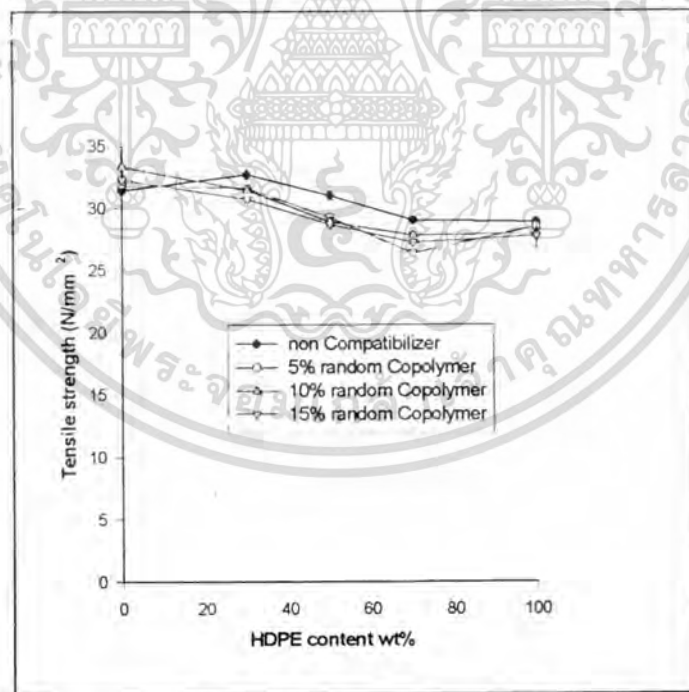


รูปที่ 4.10 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/LLPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.12 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 พบว่าค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่มจะให้ผลเช่นเดียวกันกับการเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกคือลดลงตามปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่เพิ่มขึ้น

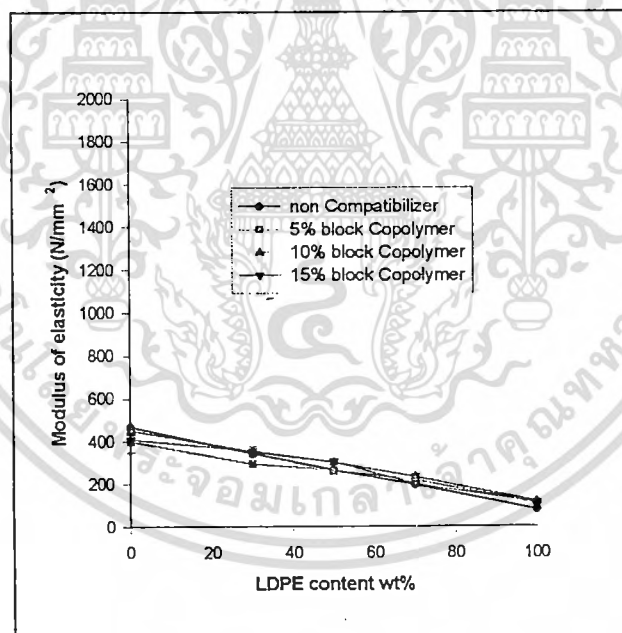
จากรูปที่ 4.11 พบว่าค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกันกับการเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก

จากรูปที่ 4.12 พบว่าค่าความทนแรงดึงเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกันกับการเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก

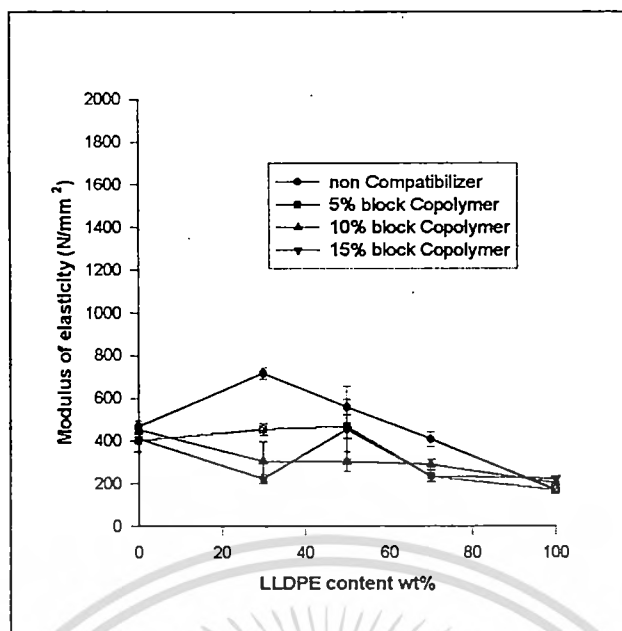
สรุป การเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกหรือแบบสุ่มไม่ช่วยปรับปรุงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีน

#### 4.1.3 ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น

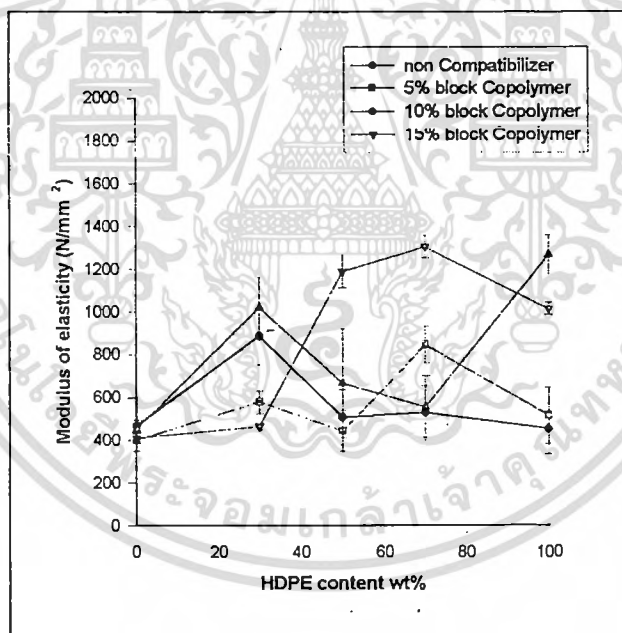
ก. เมื่อใช้สารช่วยผสมแบบบล็อก



รูปที่ 4.13 แสดงค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.14 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.15 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

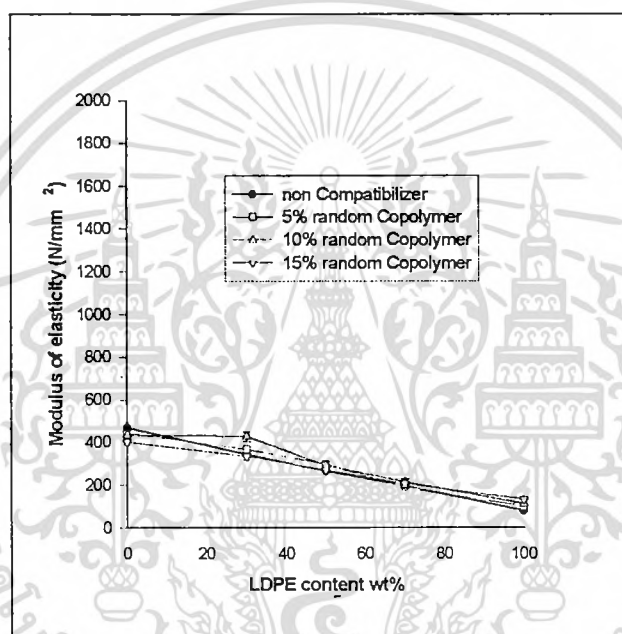
จากรูปที่ 4.13 พบว่าค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่เพิ่มขึ้น การเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกลงไปจะไม่ทำให้ค่ามอดุลัสเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

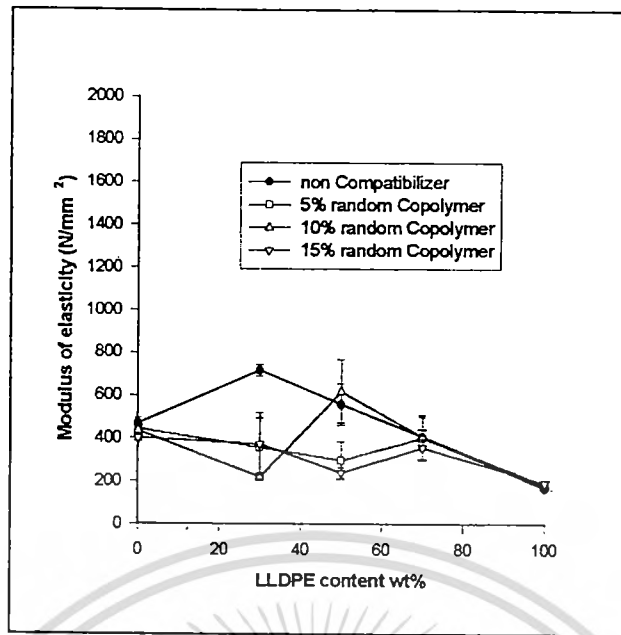
จากรูปที่ 4.14 พบว่าค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นที่เพิ่มขึ้น การเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกทำให้ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นลดลง

จากรูปที่ 4.15 พบว่าค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นในอัตราส่วน PP70/HDPE30 ที่ให้ค่ามอดุลัสสูงที่สุด การเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกส่งผลให้ค่ามอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

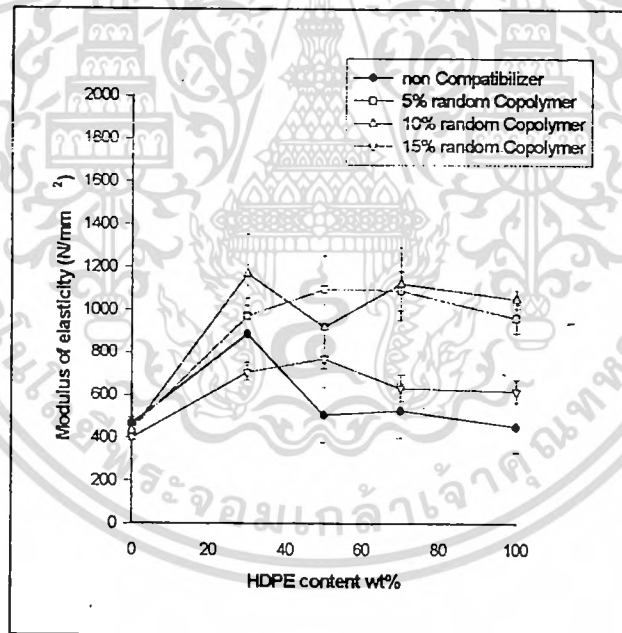
ข. เมื่อใช้สารช่วยผสมแบบสุ่ม



รูปที่ 4.16 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่มในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.17 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่มในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.18 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่มในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.16 พบว่าการเติมสารช่วยผสมแบบสุ่มลงในพอลิเมอร์ผสม PP/LLDE จะไม่ทำให้ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับการเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก

จากรูปที่ 4.17 พบว่าการเติมสารช่วยผสมแบบสุ่มลงในพอลิเมอร์ผสม PP/LLDE จะทำให้ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับการเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก

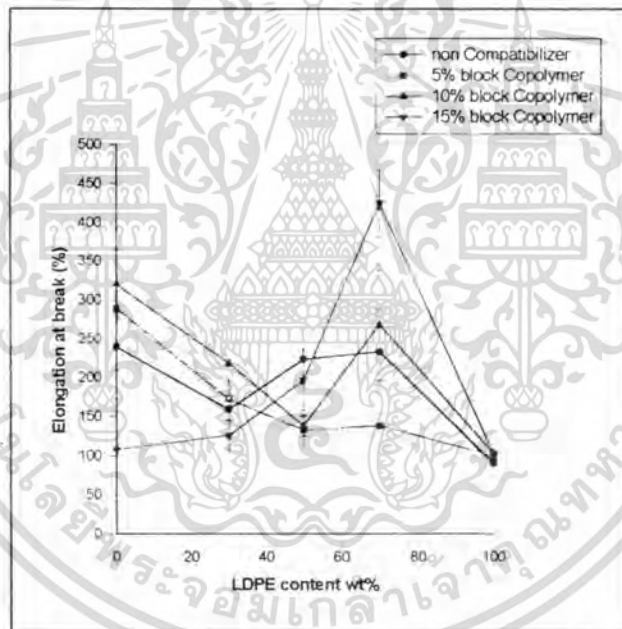
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 พบว่าการเติมสารช่วยผสมแบบสุมลงในพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE จะส่งผลให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

สรุป ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่เพิ่มขึ้น การเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกหรือแบบสุมจะไม่ทำให้ค่ามอดูลัสเปลี่ยนแปลง ส่วนพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE การเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกหรือแบบสุม ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่เมื่อเติมสารช่วยผสมลงใน PP/HDPE ทำให้ค่ามอดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

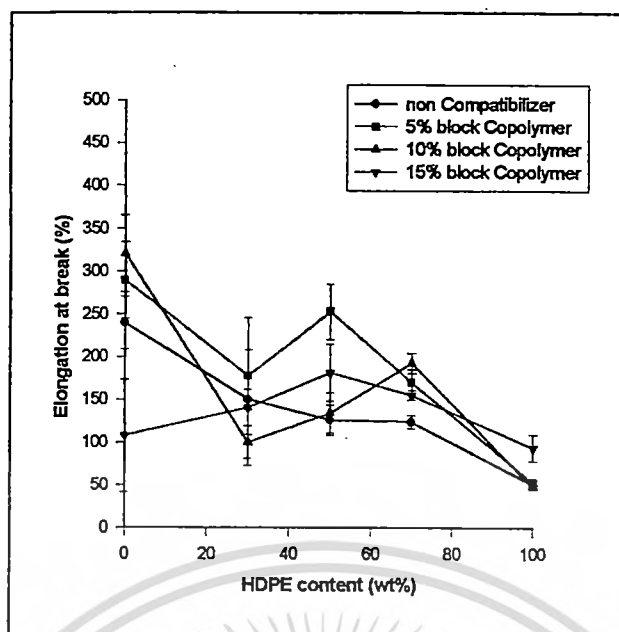
#### 4.1.4 ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด

##### ก. เมื่อใช้สารช่วยผสมแบบบล็อก



รูปที่ 4.19 แสดงค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

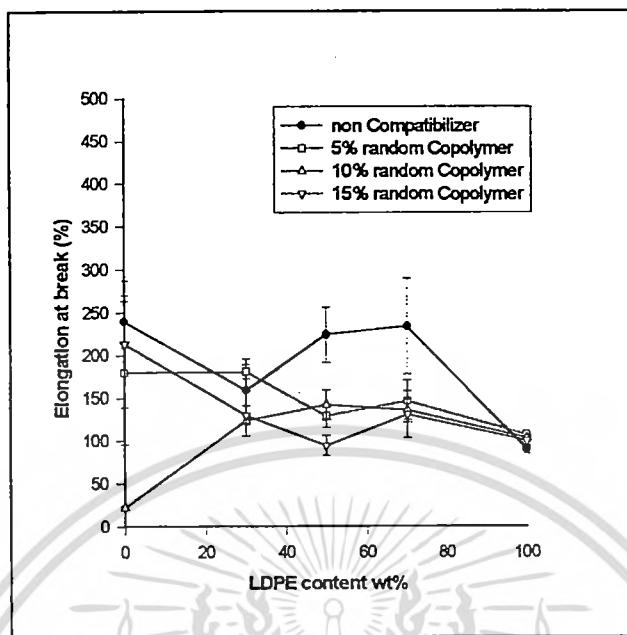
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



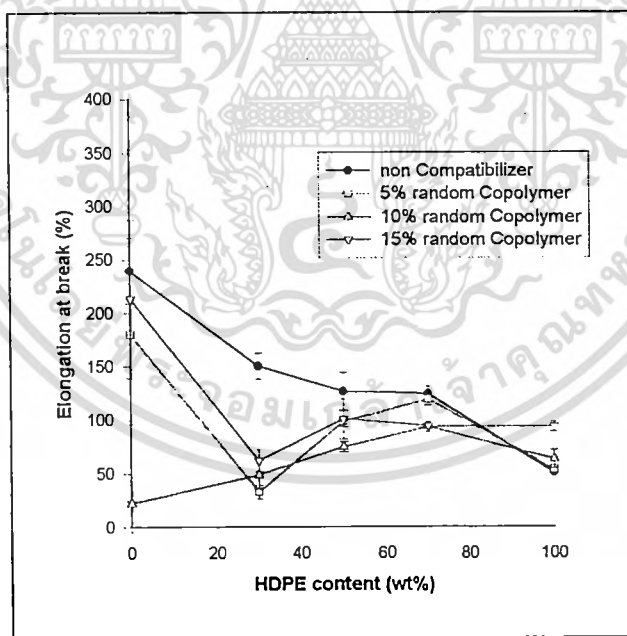
รูปที่ 4.20 แสดงค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.19 และ 4.20 พบว่าค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มลดลงตามพอลิเอทิลีนที่เพิ่มขึ้น การเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก ส่งผลต่อค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดในลักษณะต่างๆ กับขึ้นอยู่กับพอลิเมอร์ผสม และปริมาณสารช่วยผสม สำหรับคู่พอลิเมอร์ผสม PP30/LDPE70 เมื่อมีสารช่วยผสมร้อยละ 15 จะให้ค่าร้อยละการยืดสูงสุด และคู่พอลิเมอร์ผสม PP50/HDPE50 เมื่อมีสารช่วยผสมร้อยละ 5 จะให้ค่าร้อยละการยืดสูงสุด

ข. เมื่อใช้สารช่วยผสมแบบสุ่ม



รูปที่ 4.21 แสดงค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่มในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.22 แสดงค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PP /HDPE ในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่มในปริมาณร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.21 และ 4.22 พบว่าการเติมสารช่วยผสมแบบสุ่มจะทำให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลง โดยเฉพาะในอัตราส่วนที่มีพอลิพรอพิลีนผสมอยู่

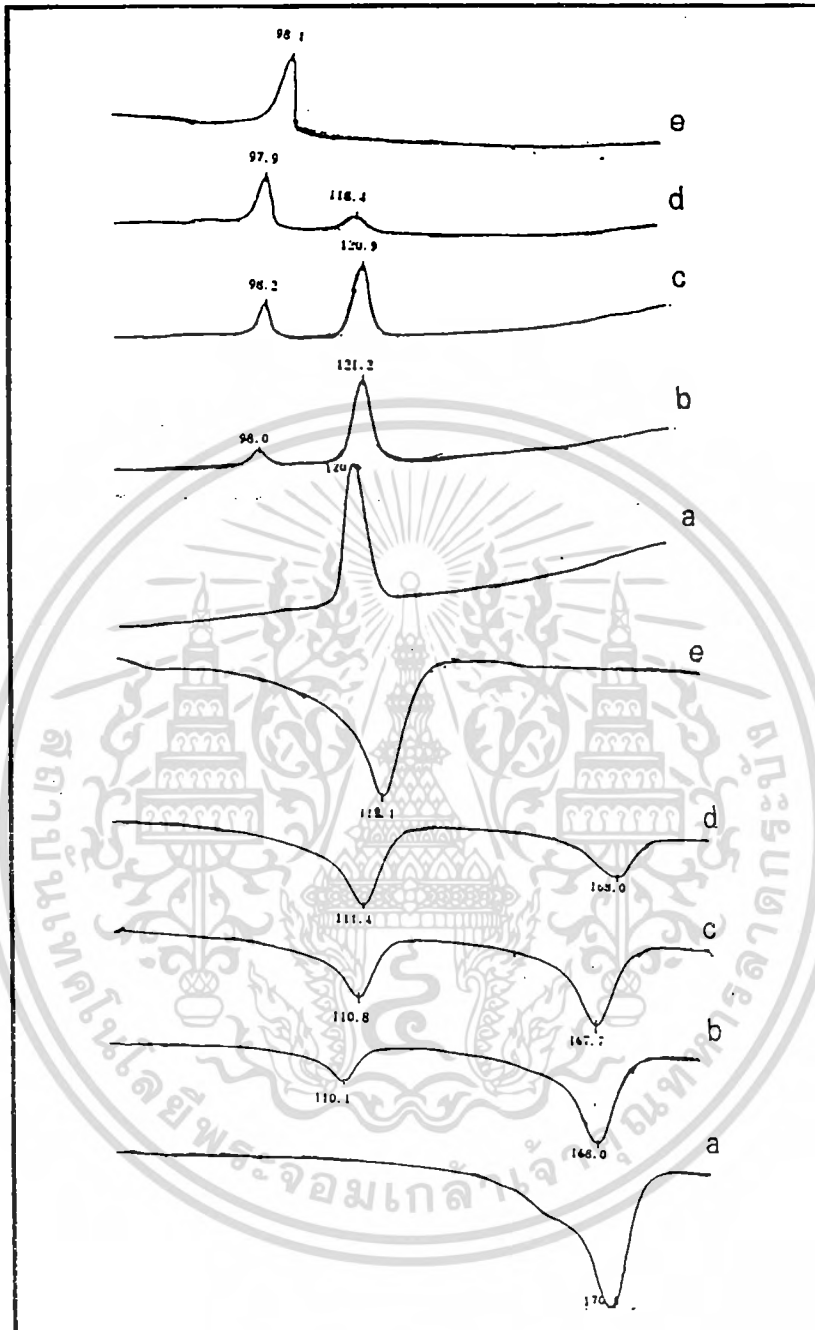
สรุป การเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกจะทำให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น และการเติมสารช่วยผสมแบบสุ่มจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดลดลง

สำหรับคู่พอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดมากกว่า 500 ไม่ว่าจะเติมหรือไม่เติมสารช่วยผสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.5 ศึกษาสมบัติทางความร้อน

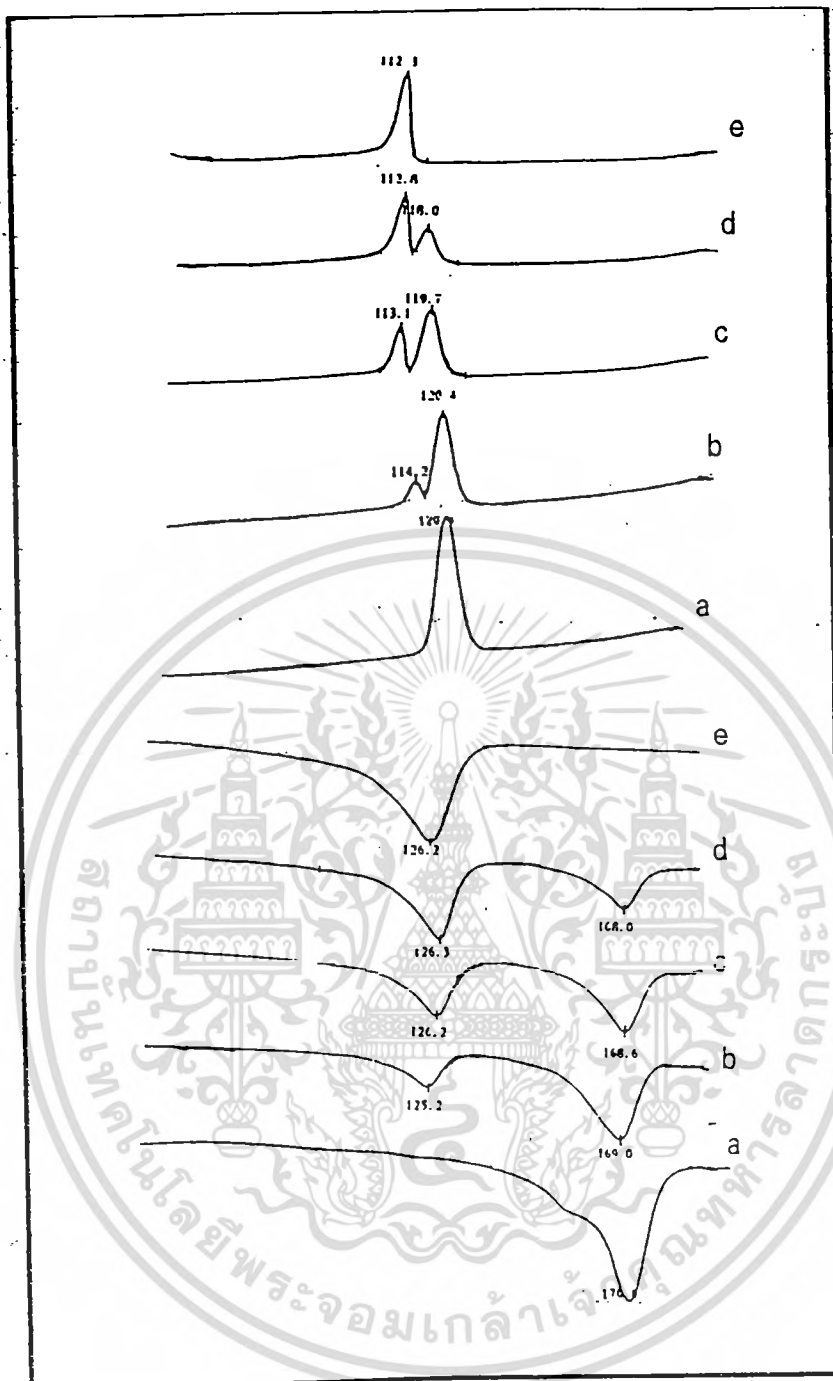


รูปที่ 4.23 แสดงอุณหภูมิหลอมผลึกและตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่างๆ

(a) PP100 (b) PP70/LDPE30 (c) PP50/LDPE50 (d) PP30/LDPE70 (e) LDPE100

จากรูปที่ 4.23 จะพบว่าอุณหภูมิหลอมผลึกและอุณหภูมิตกผลึกของทั้งพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อมีการผสมกัน แสดงว่าพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนไม่มีอันตรกิริยาเกิดขึ้นเห็นได้จากมี 2 พีกของอุณหภูมิอย่างเด่นชัด

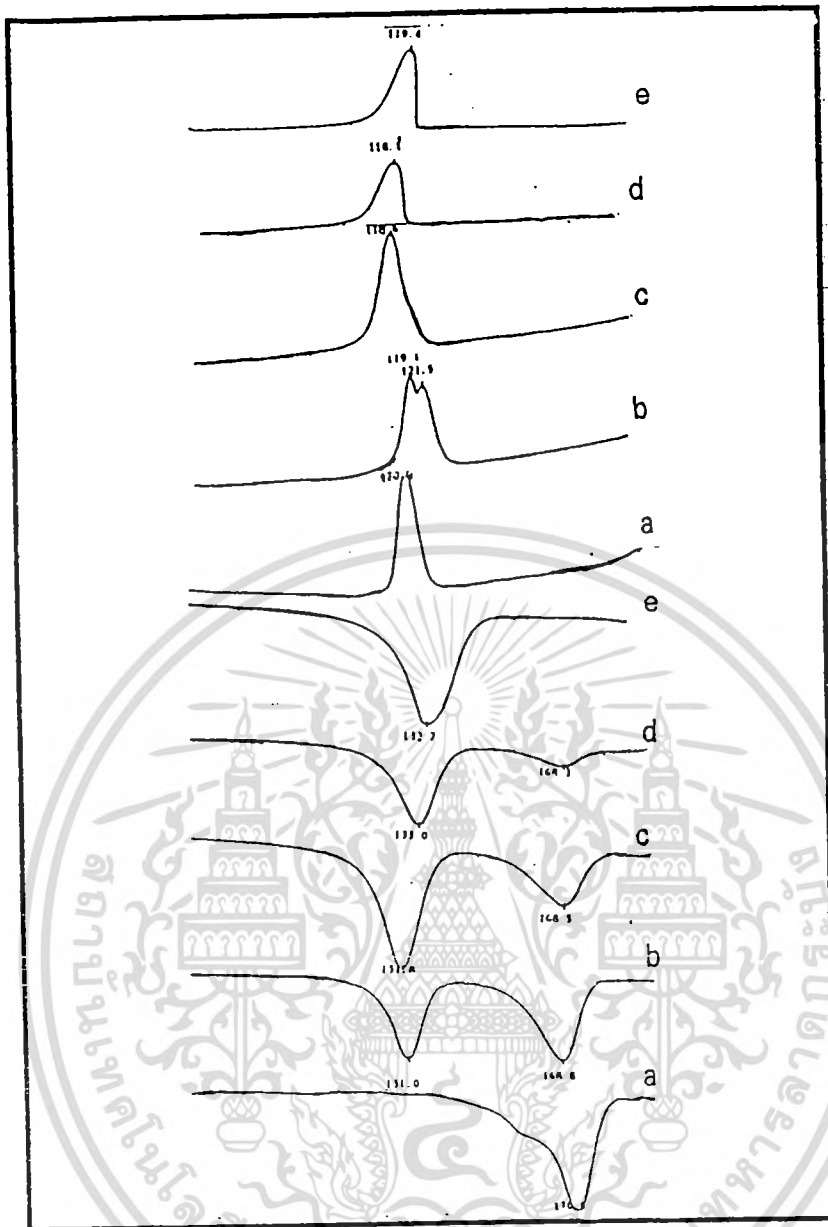
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 แสดงอุณหภูมิหลอมผลึกและอุณหภูมิตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่างๆ (a) PP100 (b) PP70/LLDPE30 (c) PP50/LLDPE50 (d) PP30/LLDPE70 (e) LLDPE100

จากรูปที่ 4.24 พบว่าอุณหภูมิหลอมผลึกและอุณหภูมิตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE มีลักษณะเช่นเดียวกับของ PP/LDPE คือไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อผสมพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 แสดงอุณหภูมิหลอมผลึกและตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่างๆ

(a) PP100 (b) PP70/HDPE30 (c) PP50/HDPE50 (d) PP30/HDPE70 (e) HDPE100

จากรูปที่ 4.25 พบว่าอุณหภูมิการหลอมผลึกของพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงไม่เปลี่ยนแปลง แต่อุณหภูมิการตกผลึกเกิดการเปลี่ยนแปลง คือมีอุณหภูมิของการตกผลึกเพียงจุดเดียวแสดงว่ามีการตกผลึกร่วมกันเกิดขึ้น

สรุป การผสมกันของพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนจะไม่ทำให้อุณหภูมิของการหลอมผลึกและตกผลึกเกิดการเปลี่ยนแปลง ยกเว้นในกรณีของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเกิดการตกผลึกร่วมกับพอลิพรอพิลีน

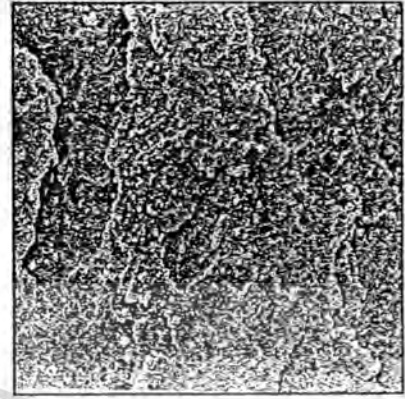
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.6 ผลการศึกษาสัณฐานวิทยา

##### ก. เมื่อไม่มีสารช่วยผสม



(a) PP100



(b) PP70/LDPE30



(c) PP50/LDPE50



(d) PP30/LDPE70



(e) LDPE100

รูปที่ 4.26 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมPP/LDPEในอัตราส่วนต่างๆ กำลังขยาย1,500เท่า

(a) PP100 (b) PP70/LDPE30 (c) PP50/LDPE50 (d) PP30/LDPE70 (e) LDPE100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.26 แสดงให้เห็นสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกซึ่งมีลักษณะต่าง ๆ กันตามอัตราส่วนในการผสม พอลิพรอพิลีน (a) จะมีลักษณะเป็นแผ่น ๆ แข็ง ในขณะที่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (e) มีลักษณะยืดออกเป็นแผ่นบาง ส่วนในอัตราส่วนที่มีปริมาณพอลิพรอพิลีนผสมอยู่มาก (b) จะเห็นลักษณะเป็นแผ่น ๆ ของพอลิพรอพิลีนอย่างเด่นชัดโดยที่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจะมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วไป สำหรับอัตราส่วนที่มีปริมาณพอลิพรอพิลีนเท่ากับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (c) จะเห็นลักษณะของพอลิพรอพิลีนที่เป็นแผ่นถูกเชื่อมโยงด้วยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มีลักษณะเป็นคล้ายเส้นใยและในอัตราส่วนที่มีพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำอยู่ในปริมาณมาก (d) จะเห็นเส้นใยของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำปกคลุมพอลิพรอพิลีนอยู่ ซึ่งลักษณะนี้ทำให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมมีค่าเพิ่มขึ้น

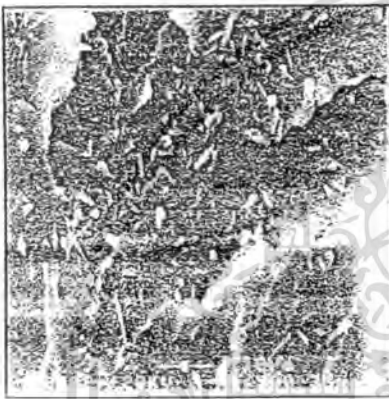
ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสารช่วยผสม (แสดงในภาคผนวก ง) สารช่วยผสมที่เป็นแบบลึอกจะมีสัณฐานวิทยาเหมือนกับการผสมกันของพอลิพรอพิลีนร้อยละ 70 โดยน้ำหนักกับพอลิเอทิลีนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และสารช่วยผสมแบบสุ่มจะมีสัณฐานวิทยาเหมือนกับพอลิพรอพิลีน



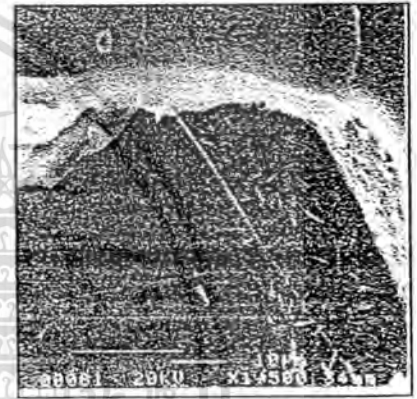
(a) PP70/LLDPE30



(b) PP50/LLDPE50



(c) PP30/LLDPE70



(d) LLDPE100

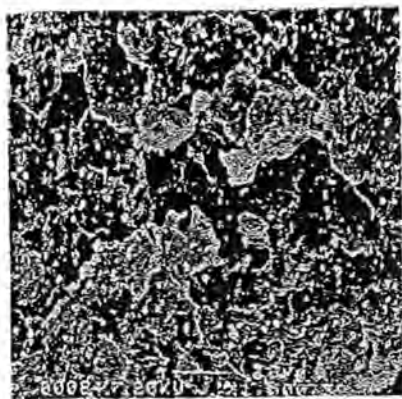
รูปที่ 4.27 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมของ PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ

กำลังขยาย 1,500 เท่า (a) PP70/LLDPE30 (b) PP50/LLDPE50 (c) PP30/LLDPE70

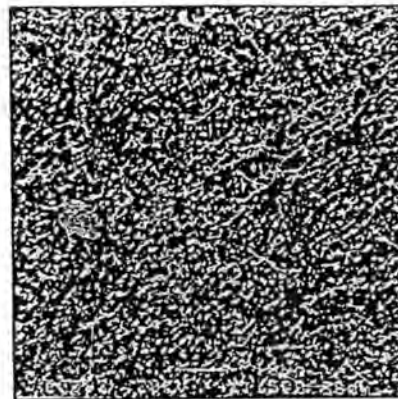
(d) LLDPE100

จากรูปที่ 4.27 แสดงให้เห็นลักษณะพื้นผิวของ PP/LLDPE ที่ได้จากการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก ซึ่งในอัตราส่วนที่มีปริมาณพอลิพรอพิลีนอยู่มาก (a) ก็จะมีลักษณะแผ่นของพอลิพรอพิลีนอย่างเด่นชัดและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นกระจายตัวคล้ายฟองอากาศอยู่ ในอัตราส่วนที่มีพอลิพรอพิลีนเท่ากับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (b) จะมีลักษณะคล้ายเส้นใยคือส่วนที่ยืดออกก่อนขาดของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ส่วนในอัตราส่วนที่มีพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นอยู่ในปริมาณมาก (c) และ (d) ก็จะมีลักษณะส่วนที่ยืดออกก่อนขาดของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นอย่างเด่นชัด ลักษณะพื้นผิวแบบ (c) ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงสุด

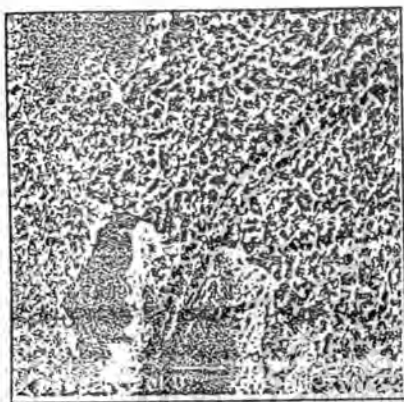
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



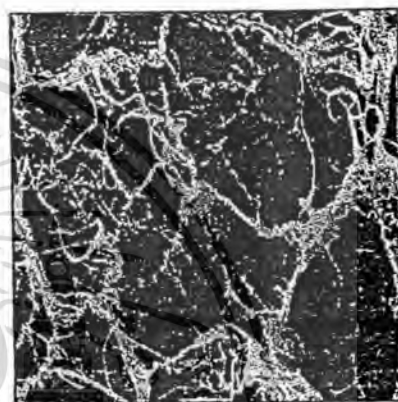
(a) PP70/HDPE30



(b) PP50/HDPE50



(c) PP30/HDPE70



(d) HDPE100

รูปที่ 4.28 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ กำลังขยาย 1,500 เท่า (a) PP70/HDPE30 (b) PP50/HDPE50 (c) PP30/HDPE70 (d) HDPE100

จากรูปที่ 4.28 แสดงลักษณะพื้นผิวของ PP/HDPE ที่ได้จากการทดสอบความทนต่อแรงกระแทก พบว่าลักษณะพื้นผิวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (d) ให้ลักษณะรอยแตกคล้ายเส้นใย เมื่อมีปริมาณของพอลิพรอพิลีนผสมอยู่ในปริมาณเล็กน้อย (c) ลักษณะคล้ายเส้นใย จะมีการกระจายมากขึ้นขนาดเล็กลง ในอัตราส่วนที่มีพอลิพรอพิลีนเท่ากับ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (b) ก็จะมีลักษณะการกระจายของพอลิเมอร์ทั้งสองละเอียดขึ้นอยู่รวมกันเป็นกลุ่มเล็กๆ ส่วนอัตราส่วนที่มีพอลิพรอพิลีนผสมอยู่ในปริมาณมาก (a) จะเห็นพอลิพรอพิลีนเป็นแผ่นอยู่เป็นจำนวนมากและมีเส้นใยของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงแทรกตัวอยู่เล็กน้อย ลักษณะพื้นผิวแบบ (d) ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงสุด

สรุป ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของคู่พอลิเมอร์และปริมาณที่ใช้

#### ในการผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

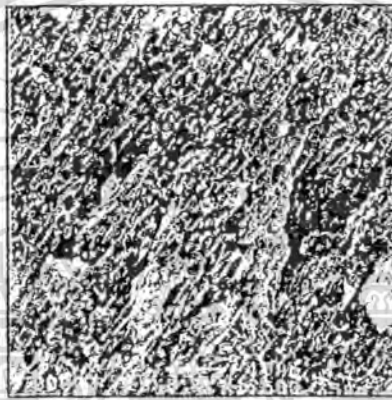
ข. เมื่อมีสารช่วยผสมแบบบล็อก



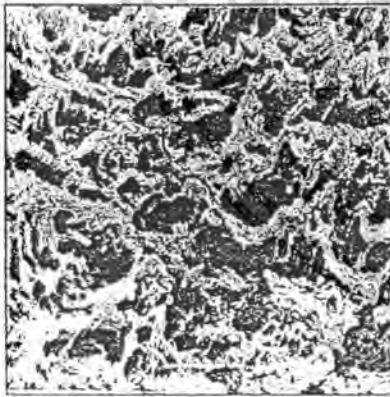
(a)



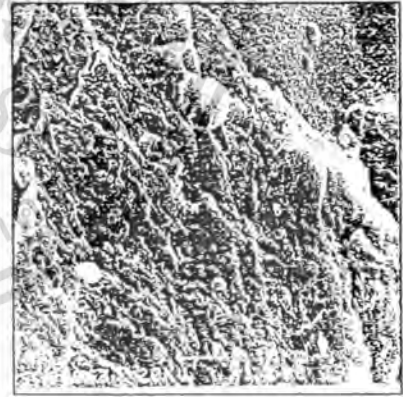
(b)



(c)



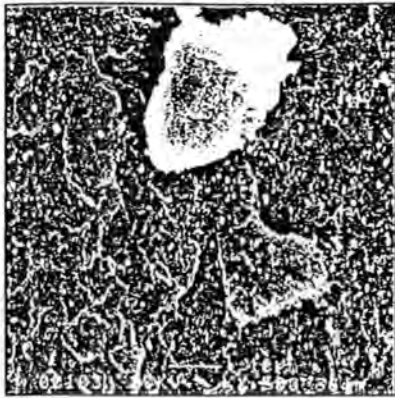
(d)



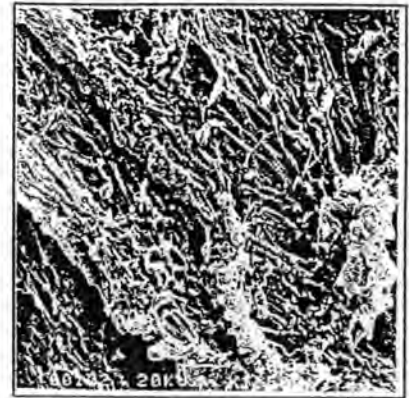
(e)

รูปที่ 4.29 แสดงลักษณะฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมพอลิเมอร์ร่วมระหว่างพหุฟิล์มกับเอทิลีนแบบบล็อกในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 1,500 เท่า (a) PP100+5%block copolymer (b) PP70/LDPE30+5%block copolymer (c) PP50/LDPE50+5%block copolymer (d) PP30/LDPE70+5%block copolymer (e) LDPE100+5%block copolymer

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความทนทานต่อแรงกระแทกลักษณะฐานวิทยาแบบ (d) ให้ค่าสูงสุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



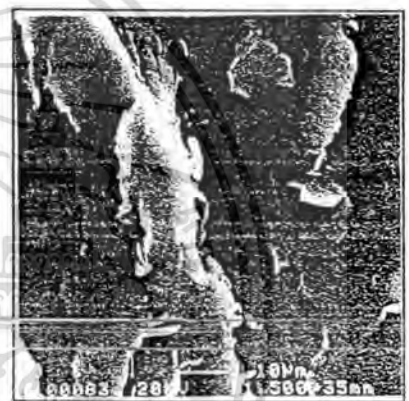
(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 4.30 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมพอลิเมอร์ระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเอทิลีนแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (a) PP70/LLDPE30+5% block copolymer (b) PP50/LLDPE50+5% block copolymer (c) PP30/LLDPE70+5% block copolymer (d) LLDPE100+5% block copolymer

สำหรับคุณสมบัติของ PP/LLDPE นี้ พบว่าลักษณะพื้นผิวแบบ (c) ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงที่สุด

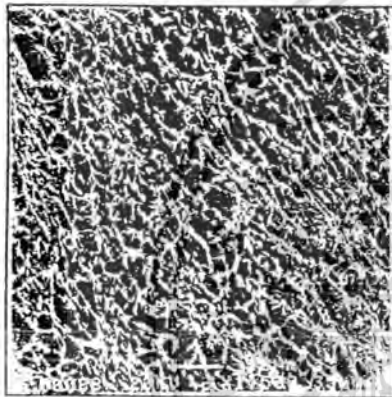
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



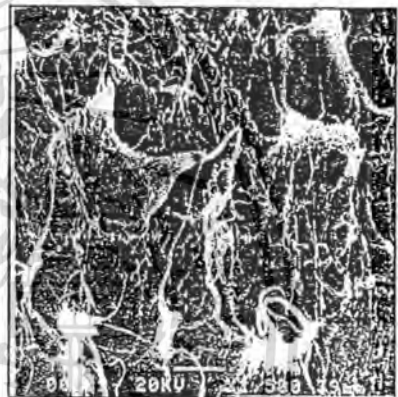
(a)



(b)



(c)



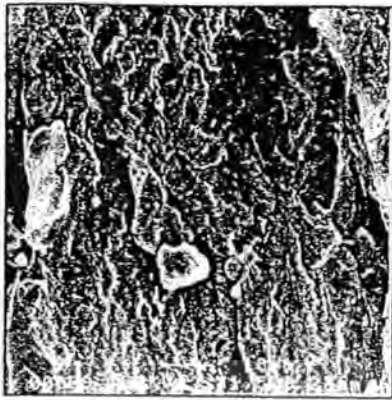
(d)

รูปที่ 4.31 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมพอลิเมอร์ระหว่างพอฟิลินกับเอทิลีนแบบบล็อก ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (a) PP70/HDPE30+5% block copolymer (b) PP70/HDPE30+5% block copolymer (c) PP70/HDPE30+5% block copolymer (d) HDPE100+5% block copolymer

สำหรับคู่ผสม PP/HDPE เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก สัณฐานวิทยาแบบ (d) ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

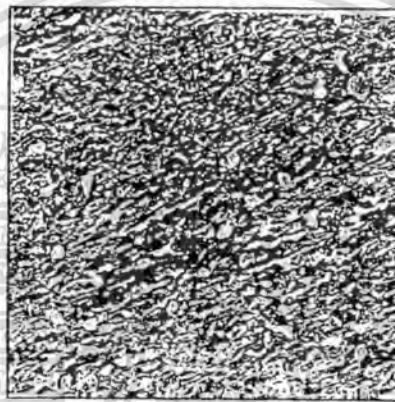
ค. เมื่อเติมสารช่วยผสมแบบสุ่ม



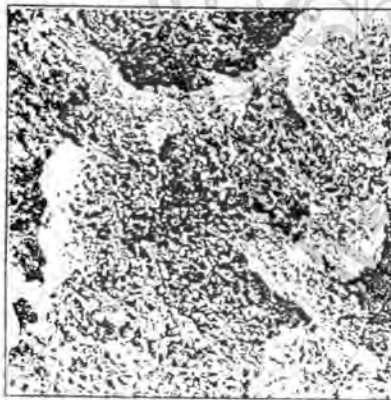
(a)



(b)



(c)



(d)



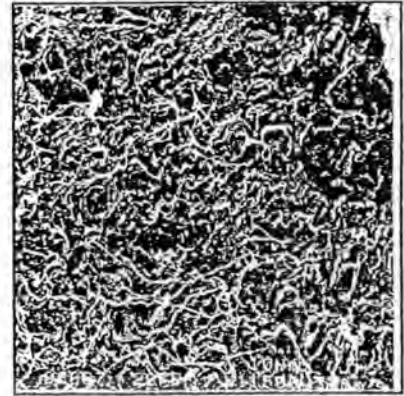
(e)

รูปที่ 4.32 แสดงลักษณะฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมพอลิเมอร์ระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเอทิลีนแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักกำลังขยาย 1,500 เท่า (a) PP100+5% random copolymer (b) PP70/LDPE30+5% random copolymer (c) PP50/LDPE50+5% random copolymer (d) PP30/LDPE70+5% random copolymer (e) LDPE100+5% random copolymer

ในกลุ่มนี้ พบว่าลักษณะฐานวิทยาแบบ (d) ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงสุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

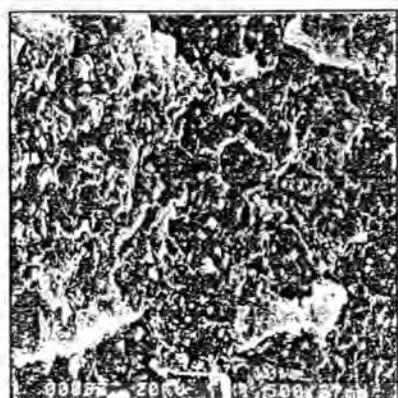


(d)

รูปที่ 4.33 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมพอลิเมอร์ระหว่างพรีพอลิเมอร์กับเอทิลีนแบบสุ่มในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (a) PP70/LLDPE30+5% random copolymer (b) PP50/LLDPE50+5% random copolymer (c) PP30/LLDPE70+5% random copolymer (d) LLDPE100+5% random copolymer

จากรูปที่ 4.33 พบว่าลักษณะพื้นผิวแบบ (c) ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงสุด

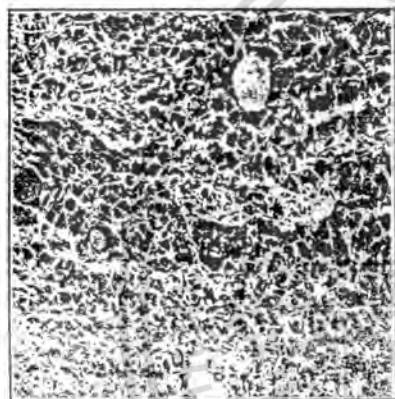
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)



(d)

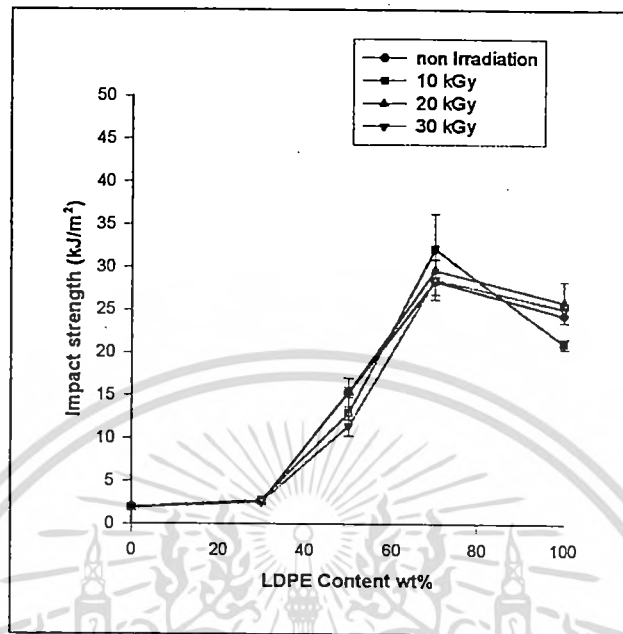
รูปที่ 4.34 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเติมสารช่วยผสมพอลิเมอร์ร่วมระหว่างพอลิเมอร์กับเอทิลีนแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (a) PP70/HDPE30+5% random copolymer (b) PP50/HDPE50+5% random copolymer (c) PP30/HDPE70+5% random copolymer (d) HDPE100+5% random copolymer

จากรูปที่ 4.34 พบว่าลักษณะพื้นผิวแบบ (d) ที่มีลักษณะคล้ายเส้นใยให้ความความทนทานต่อแรงกระแทกสูงสุด

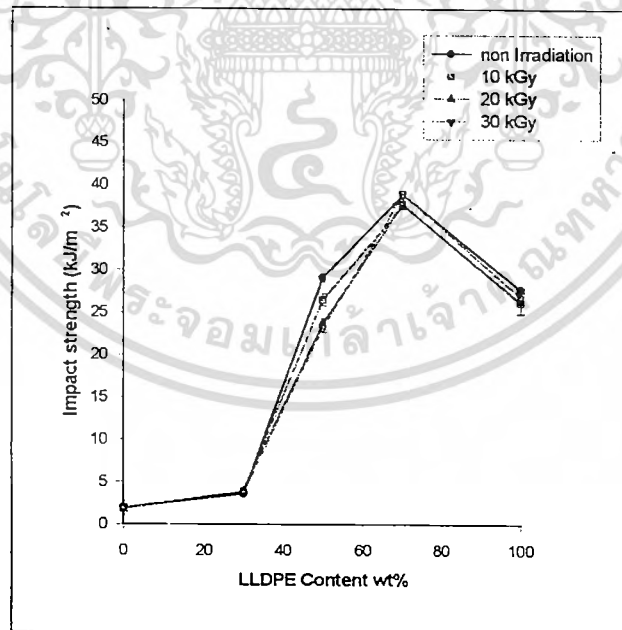
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ศึกษาผลของพอลิเมอร์ผสมเมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มต่ำ

### 4.2.1 ศึกษาผลของความทนทานต่อแรงกระแทก

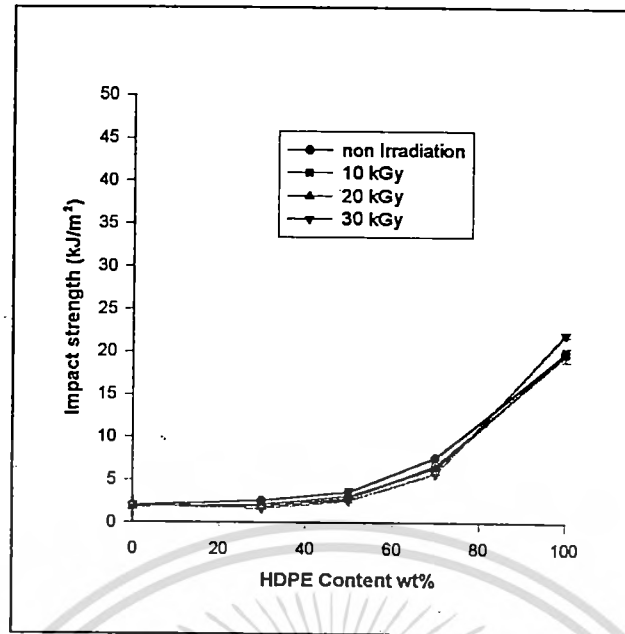


รูปที่ 4.35 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์



รูปที่ 4.36 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์

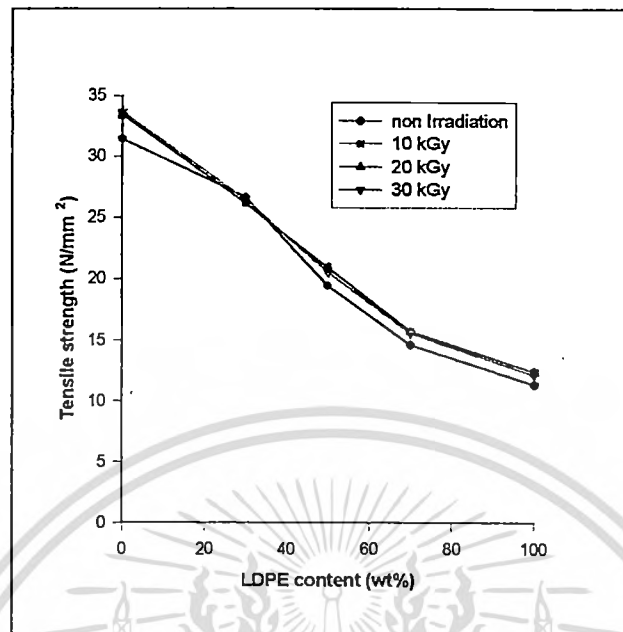
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



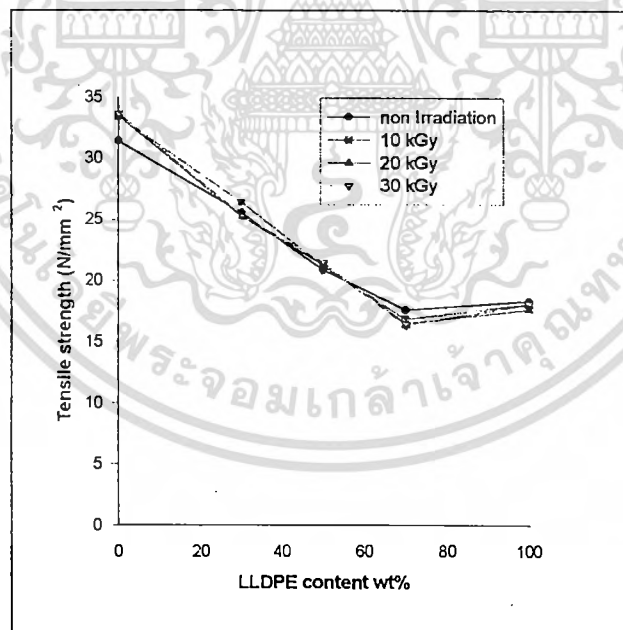
รูปที่ 4.37 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีด้วยความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.35 4.36 และ 4.37 พบว่าค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการฉายรังสีด้วยความเข้มต่ำในช่วง 10-30 กิโลเกรย์ จะแตกต่างกัน โดยค่าที่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของการผสมและประเภทของคู่พอลิเมอร์ผสม

#### 4.2.2 ศึกษาผลของความทนแรงดึง

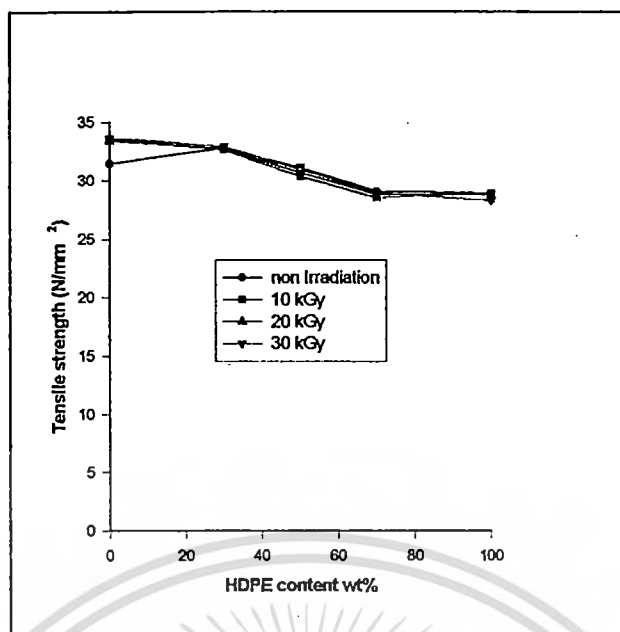


รูปที่ 4.38 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์



รูปที่ 4.39 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

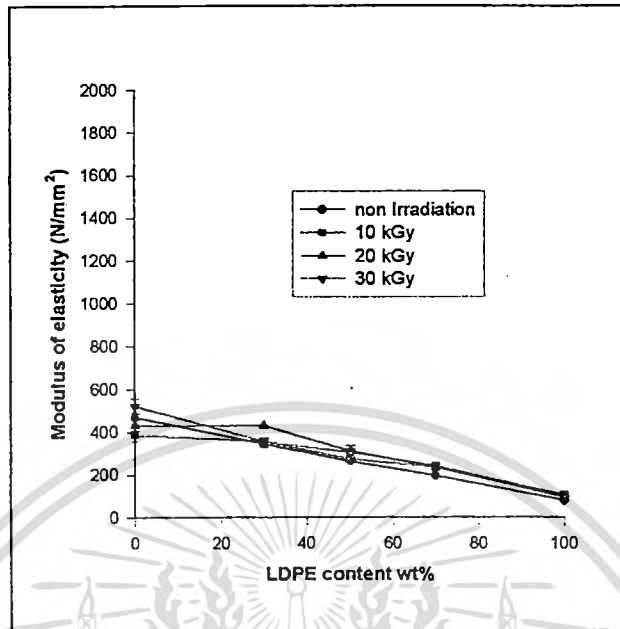


รูปที่ 4.40 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ

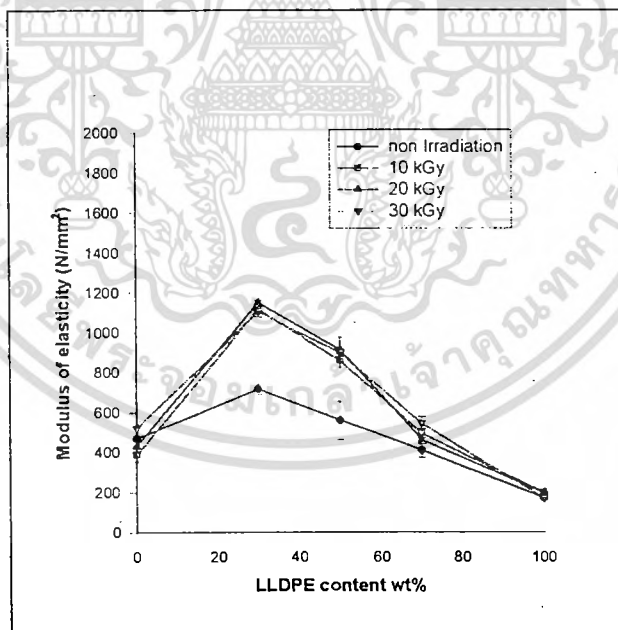
เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.38 4.39 และ 4.40 พบว่าให้ผลเช่นเดียวกันกับค่าความทนทานต่อแรง  
กระแทกคือค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมจะเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม  
แต่จะไม่มีเปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มต่ำในช่วง 10-30 กิโลเกรย์

### 4.2.3 ศึกษาผลของมอดุลัสยืดหยุ่น

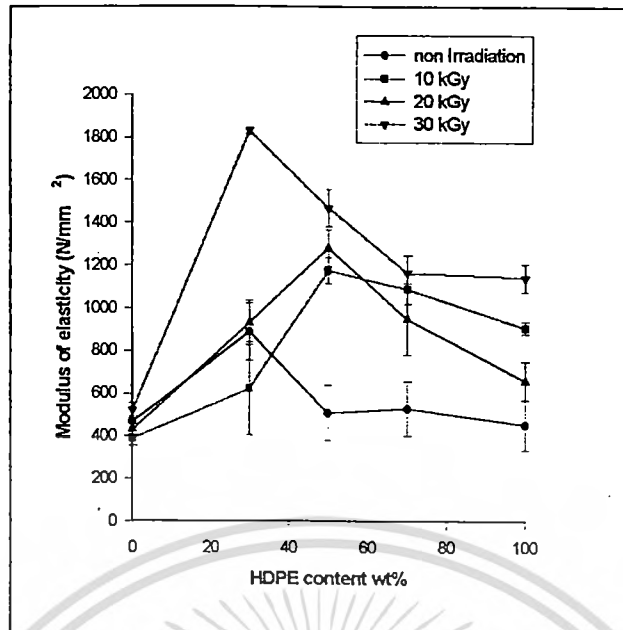


รูปที่ 4.41 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่มีความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์



รูปที่ 4.42 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่มีความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



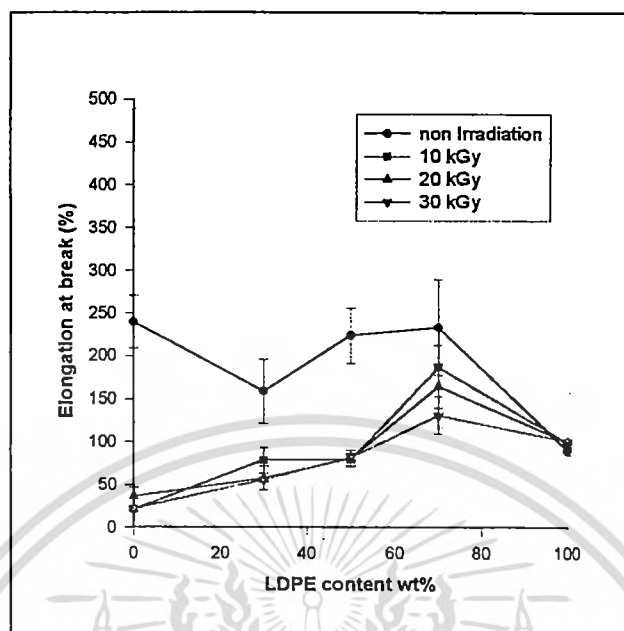
รูปที่ 4.43 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.41 พบว่าค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ลดลงตามปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่เพิ่มขึ้นและไม่แตกต่างกันเมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มต่ำ

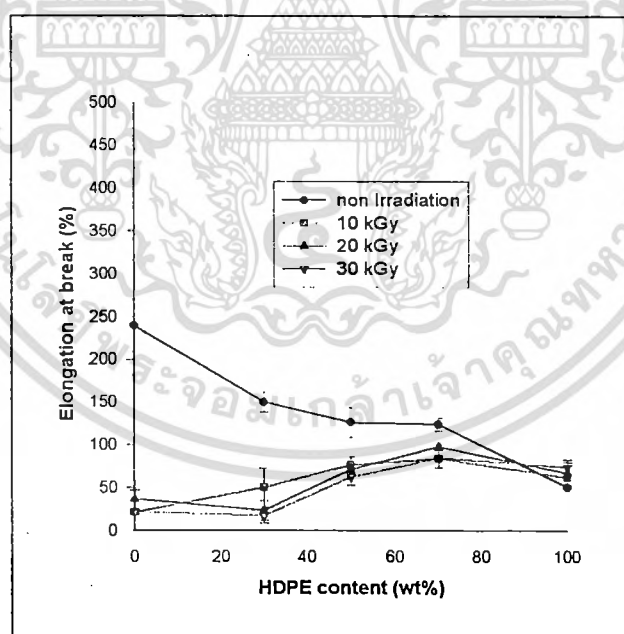
จากรูปที่ 4.42 ในระบบที่มีแต่พอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นเมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มต่ำจะไม่มีเปลี่ยนแปลงค่ามอดุลัสยืดหยุ่น ในกรณีพอลิเมอร์ผสม พบว่า PP70/LLDPE30 ให้ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นสูงและยิ่งสูงขึ้นเมื่อได้รับการฉายรังสี

จากรูปที่ 4.43 พบว่าค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE เมื่อได้รับการฉายรังสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกอัตราส่วน ยกเว้นในระบบที่มีแต่พอลิพรอพิลีนที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่ามอดุลัสยืดหยุ่น

#### 4.2.4 ศึกษาผลของร้อยละการยืด ณ จุดขาด



รูปที่ 4.44 แสดงค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสี 10 20 และ 30 กิโลเกรย์



รูปที่ 4.45 แสดงค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE ในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 10 20 และ 30 กิโลเกรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.44 พบว่าค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PP/LDPE มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่เพิ่มขึ้น เมื่อผ่านการฉายรังสี พบว่าพอลิพรอพิลีนให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดต่ำสุด เมื่อผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำลงในพอลิพรอพิลีนค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดสูงขึ้น โดยเฉพาะอัตราส่วน PP30/LDPE70 แต่ไม่มีความแตกต่างระหว่างความเข้ม 10-30 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.45 พบว่าค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE มีลักษณะเช่นเดียวกับ PP/LDPE

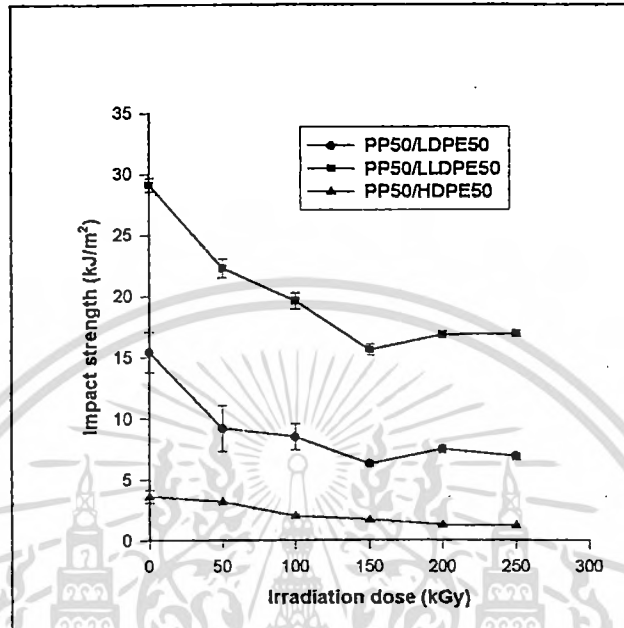
ส่วนพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ไม่สามารถหาค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดได้ เนื่องจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น สามารถยืดยาวได้มากจนไม่ขาด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ศึกษาผลของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน50/50เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มสูง

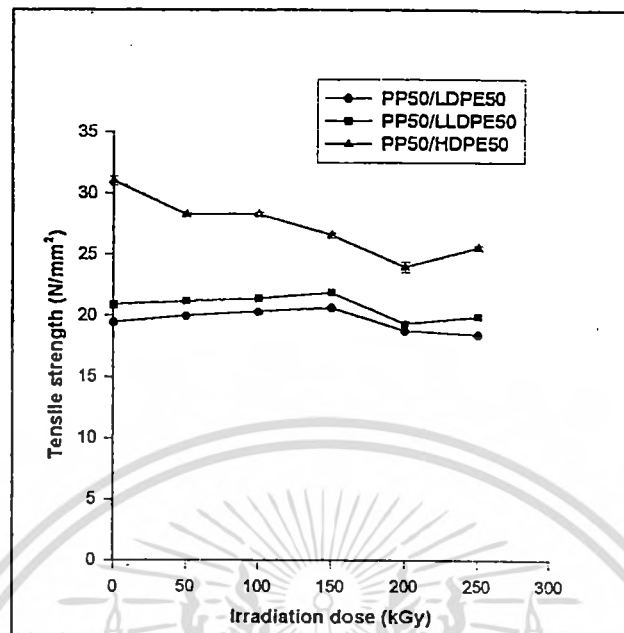
#### 4.3.1 ศึกษาผลของความทนทานต่อแรงกระแทก



รูปที่ 4.46 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PP50/LDPE50 PP50/LLDPE50 และ PP50/HDPE50 เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 50 100 150 200 และ 250 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.46 ก่อนการฉายรังสี พบว่าค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มลดลงตามชนิดของพอลิเอทิลีนดังนี้ HDPE>LDPE>LLDPE เมื่อฉายรังสีพบว่าปริมาณความเข้มรังสีที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกลดลงอาจเนื่องมาจากรังสีทำให้พอลิพรอพิลีนสลายตัวเกิดผลึกเพิ่มขึ้นและส่วนของพอลิเอทิลีนเกิดพันธะเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการรับแรงลดลง ในกรณีพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE พบว่ามีการลดลงน้อยที่สุด เพราะพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงรับแรงกระแทกได้น้อยอยู่แล้ว จึงมองเห็นการลดลงไม่ชัดเจน ส่วน PP/LLDPE และ PP/LDPE ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกลดลงใกล้เคียงกันในทุกความเข้มรังสี แสดงให้เห็นว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีความทนทานต่อรังสีมากกว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น

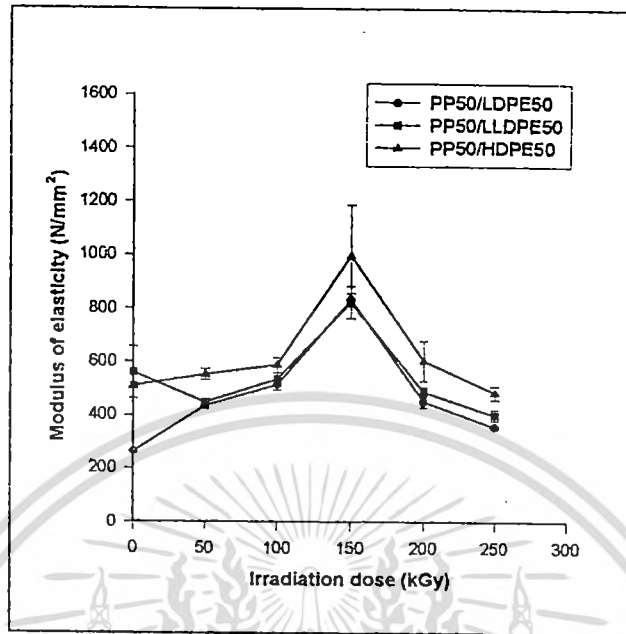
### 4.3.2 ศึกษาผลของความทนแรงดึง



รูปที่ 4.47 แสดงค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน PP50/LDPE50 PP50/LLDPE50 และ PP50/HDPE50 เมื่อผ่านการฉายรังสีที่มีความเข้ม 50 100 150 200 และ 250 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.47 ก่อนฉายรังสี พบว่าค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PP/HDPE มีค่าสูงสุดเนื่องจากสมบัติของ HDPE และลดลงตามความเข้มรังสีที่เพิ่มขึ้น ส่วนการเปลี่ยนแปลงของ PP/LLDPE และ PP/LDPE คล้ายกันโดยที่ความทนแรงดึงเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อความเข้มรังสีเพิ่มขึ้น

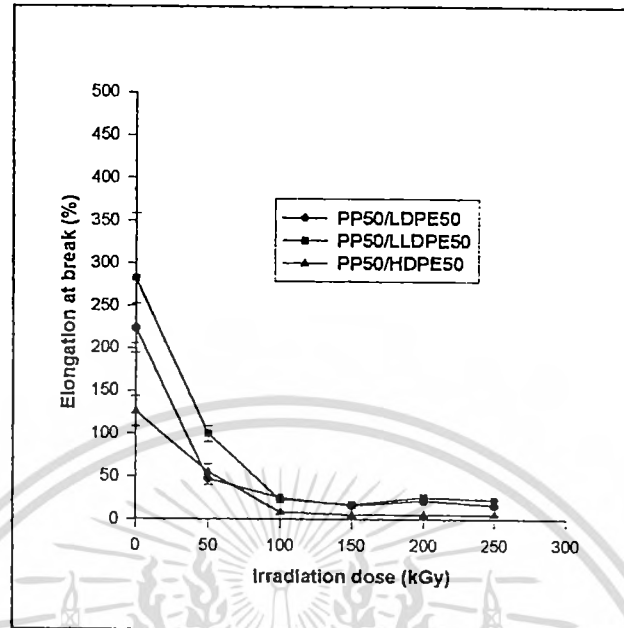
### 4.3.3 ศึกษาผลของมอดุลัสยืดหยุ่น



รูปที่ 4.48 แสดงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน PP50/LDPE50 PP50/LLDPE50 และ PP50/HDPE50 เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 50 100 150 200 และ 250 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.48 พบว่าค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณความเข้มรังสีที่เพิ่มขึ้นและให้ค่าสูงที่สุดที่ความเข้มรังสี 150 กิโลเกรย์ เนื่องมาจากการเกิดพันธะเชื่อมโยงในพอลิเอทิลีนทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนตัวยาก จากนั้นค่ามอดุลัสยืดหยุ่นลดต่ำลง คาดว่าเกิดจากการเสื่อมสลายพันธะของพอลิพโรพิลีน

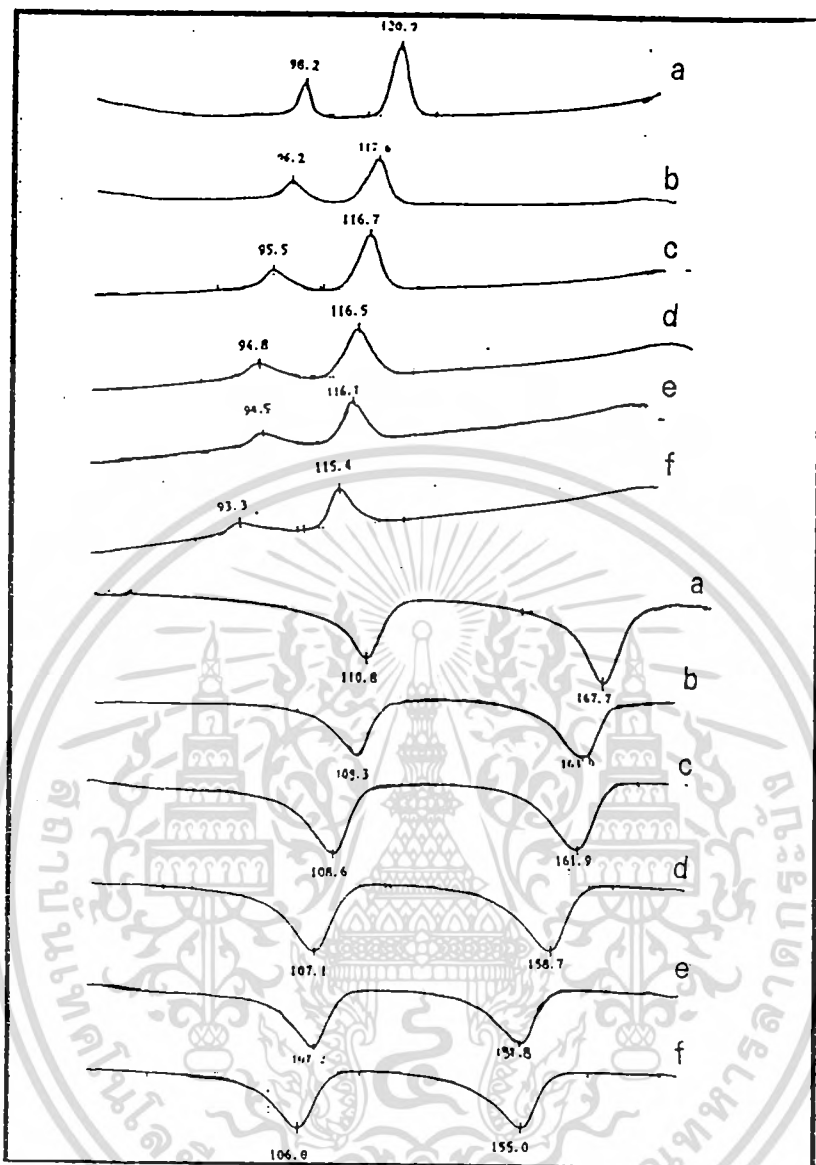
#### 4.3.4 ศึกษาผลของร้อยละการยืด ณ จุดขาด



รูปที่ 4.49 แสดงค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน PP50/LDPE50 PP50/LLDPE50 และ PP50/HDPE50 เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 50 100 150 200 และ 250 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.49 พบว่าค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 50 กิโลเกรย์และที่ความเข้มรังสีสูงกว่า 100 กิโลเกรย์ขึ้นไปค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดค่อนข้างคงที่เนื่องจากเกิดพันธะเชื่อมโยงโครงร่างแหทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนตัวยืดออกได้ยาก

### 4.3.5 ศึกษาสมบัติทางความร้อน



รูปที่ 4.50 แสดงอุณหภูมิหลอมผลึกและอุณหภูมิตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม PP50/LDPE50

เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มต่างๆ (a) 0 กิโลเกรย์ (b) 50 กิโลเกรย์ (c) 100 กิโลเกรย์ (d) 150 กิโลเกรย์ (e) 200 กิโลเกรย์ (f) 250 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.50 พบว่าพอลิเมอร์ผสม PP50/LDPE50 เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มสูงจะทำให้อุณหภูมิหลอมผลึกของพอลิพรอพิลีนลดลงอย่างเด่นชัด ในขณะที่อุณหภูมิหลอมผลึกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แสดงว่าผลึกของพอลิพรอพิลีนถูกทำลายเมื่อพิจารณาอุณหภูมิตกผลึก พบว่าทั้งพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนมีอุณหภูมิตกผลึกลดลงเรื่อยๆ ตามความเข้มของรังสีที่เพิ่มขึ้น ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุจากการเกิดพันธะเชื่อมโยงในพอลิเมอร์ทั้งสองหน่วยการตกผลึก สำหรับคู่พอลิเมอร์ผสม PP50/LLDPE50 และ PP50/HDPE50

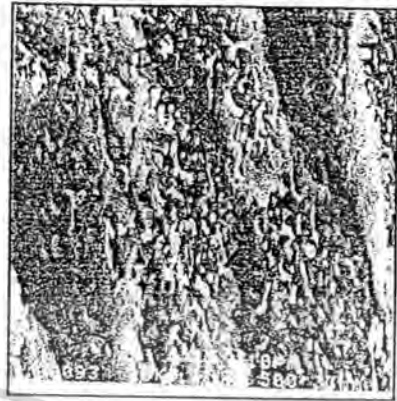
คาดว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับ PP50/LDPE50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ซึ่งขึ้นชื่อเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

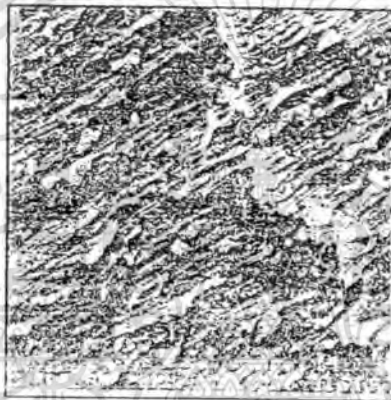
#### 4.3.6 ศึกษาผลของสัณฐานวิทยา



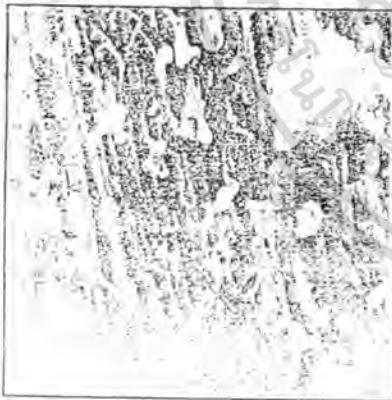
(a) PP50/LDPE50 50kGy



(b) PP50/LDPE50 100kGy



(c) PP50/LDPE50 150kGy



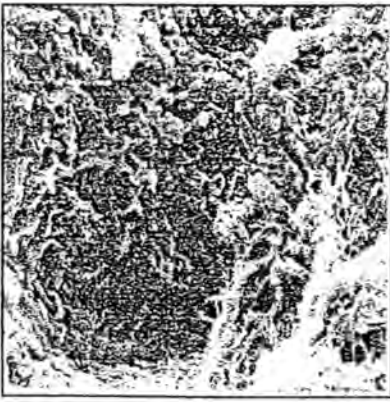
(d) PP50/LDPE50 200kGy



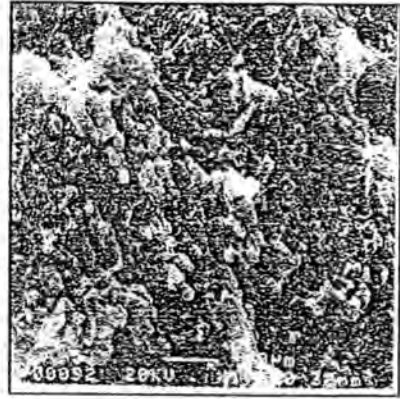
(e) PP50/LDPE50 250kGy

รูปที่ 4 51 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน PP50/LDPE50 เมื่อผ่านการฉายรังสีที่มีความเข้มสูง (a) 50 กิโลเกรย์ (b) 100 กิโลเกรย์ (c) 150 กิโลเกรย์ (d) 200 กิโลเกรย์ (e) 250 กิโลเกรย์

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความทนทานต่อแรงกระแทก พบว่าสัณฐานวิทยาแบบ (a) ให้ค่าสูงสุด ในขณะที่แบบ (e) ให้ค่าต่ำที่สุด งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



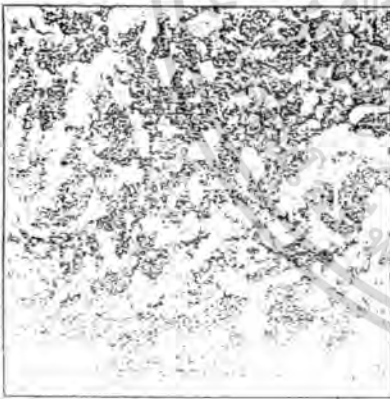
(a) PP50/LLDPE50 50kGy



(b) PP50/LLDPE50 100kGy



(c) PP50/LLDPE50 150kGy



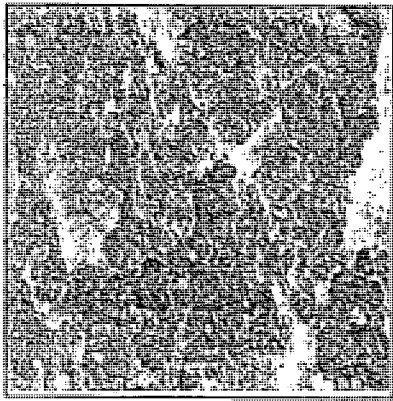
(d) PP50/LLDPE50 200kGy



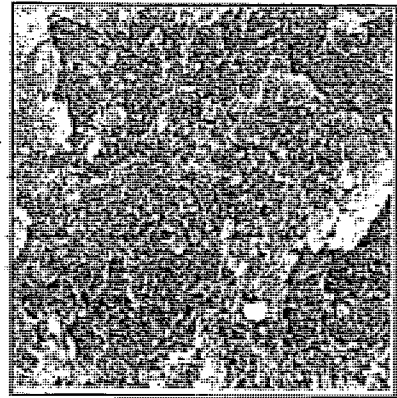
(e) PP50/LLDPE50 250kGy

รูปที่ 4.52 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน PP50/LLDPE50 เมื่อผ่านการฉายรังสีด้วยความเข้มสูง (a) 50 กิโลเกรย์ (b) 100 กิโลเกรย์ (c) 150 กิโลเกรย์ (d) 200 กิโลเกรย์ (e) 250 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.52 พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาแบบ (a) ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงสุดและสัณฐานวิทยาแบบ (e) ให้ค่าต่ำสุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



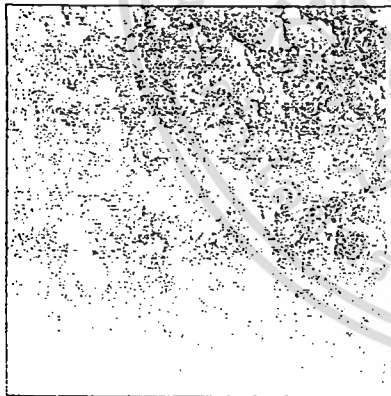
(a) PP50/HDPE50 50kGy



(b) PP50/HDPE50 100kGy



(c) PP50/HDPE50 150kGy



(d) PP50/HDPE50 200kGy



(e) PP50/HDPE50 250kGy

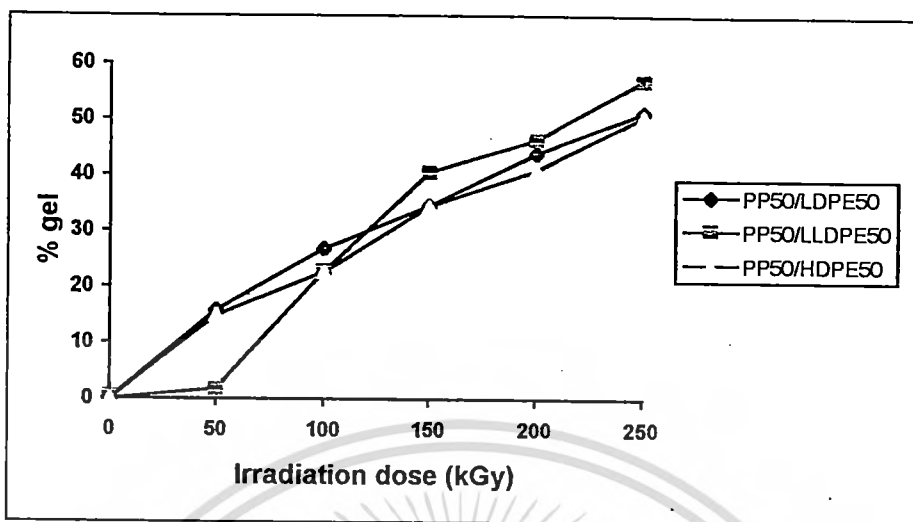
รูปที่ 4.53 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน PP50/HDPE50 เมื่อผ่านการฉาย

รังสีที่มีความเข้มสูง (a) 50 กิโลเกรย์ (b) 100 กิโลเกรย์ (c) 150 กิโลเกรย์ (d) 200 กิโลเกรย์  
(e) 250 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.53 พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาแบบ (a) ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก  
สูงสุดและสัณฐานวิทยาแบบ (e) ให้ค่าต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.7 ศึกษาผลของเปอร์เซ็นต์เจล



รูปที่ 4.54 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์เจลของพอลิเมอร์ผสม PP50/LDPE50 PP50/LLDPE50 และ PP50/HDPE50 เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มสูง 50 100 150 200 และ 250 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.54 พบว่าพอลิเมอร์ผสม PP50/LDPE50 PP50/LLDPE50 และ PP50/HDPE50 จะเริ่มมีพันธะเชื่อมโยงเกิดขึ้นเมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 50 กิโลเกรย์ และเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณความเข้มรังสีที่เพิ่มขึ้น ที่ความเข้มรังสีที่ 250 กิโลเกรย์จะพบว่ามีพันธะเชื่อมโยงเกิดขึ้นทั้งในพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีน

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนเป็นคู่พอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ จึงใช้สารช่วยผสมและรังสีเพื่อช่วยในการเข้ากัน โดยเตรียมด้วยเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่ แล้วนำมาศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยาจากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

### 5.1 ระบบพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีสารช่วยผสม

#### - พอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมจะขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะตัวของพอลิเมอร์ที่นำมาผสม ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่เพิ่มขึ้น และให้ค่าสูงสุดในอัตราส่วน PP30/LDPE70 ค่าความทนแรงดึง ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดจะลดลงตามปริมาณพอลิเอทิลีนที่เพิ่มขึ้น สมบัติทางความร้อนจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของพอลิเมอร์ผสม

#### - พอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม PP/LLDPE ให้ผลเช่นเดียวกับ PP/LDPE คือมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นค่าความทนทานต่อแรงกระแทกที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยาขึ้นอยู่กับลักษณะของพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น

#### - พอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่เพิ่มขึ้น ค่าความทนแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนการผสม ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลง สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยาขึ้นอยู่กับพอลิเมอร์ที่ผสมกัน

## 5.2 ระบบพอลิเมอร์ผสมที่มีสารช่วยผสม

### - พอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

การเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกหรือแบบผสมจะไม่ทำให้สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนแปลง ยกเว้นร้อยละการยืด ณ จุดขาดที่ลดลงเมื่อเติมสารช่วยผสมแบบผสมและเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อก

### - พอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น

การเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกและแบบผสมจะไม่ทำให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก ค่าความทนแรงดึงเปลี่ยนแปลง แต่ทำให้ค่ามอดุลัสลดลง สมบัติทางความร้อน และลักษณะทางพื้นฐานวิทยาไม่แตกต่างจากก่อนการเติมสารช่วยผสม

### - พอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

การเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกและแบบผสมจะทำให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระบบที่มีพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นองค์ประกอบหลัก ค่าความทนแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลง ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารช่วยผสมแบบบล็อกและลดลงเมื่อเติมสารช่วยผสมแบบผสม สมบัติทางความร้อนและพื้นฐานวิทยาไม่ต่างไปจากก่อนเติมสารช่วยผสม

## 5.3 ระบบพอลิเมอร์ผสมเมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มต่ำ

### - พอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

การฉายรังสีที่ความเข้มต่ำจะไม่ทำให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก ค่าความทนแรงดึง และค่ามอดุลัสเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่จะทำให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลง

### - พอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น

การฉายรังสีที่ความเข้มต่ำจะไม่ทำให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก ค่าความทนแรงดึงเปลี่ยนแปลง ส่วนค่ามอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

### - พอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

การฉายรังสีที่ความเข้มต่ำจะให้ผลเช่นเดียวกับ PP/LLDPE ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความทนทานต่อแรงกระแทกและค่าความทนแรงดึง ค่ามอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 ระบบพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 50/50 เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มสูง

ระบบของพอลิเมอร์ผสม PP50/LDPE50 PP50/LLDPE50 และ PP50/HDPE50 เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มสูง จะให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด อุณหภูมิการหลอมผลึกของพอลิพรอพิลีนลดลง ค่าความทนแรงดึง PP/HDPE ลดลง แต่ PP/LLDPE PP/LDPE ไม่ลดลงค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมทุกชนิดสูงสุดที่ความเข้ม 150 กิโลเกรย์ นอกจากนี้ยังพบการเกิดพันธะเชื่อมโยงทั้งในพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีน

จากการศึกษาจะพบว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เติมสารช่วยผสมแบบบล็อกหรือแบบสุ่ม ในปริมาณร้อยละ 5 10 15 โดยน้ำหนัก คล้ายกับสมบัติเชิงกลเมื่อฉายรังสี 10 20 และ 30 กิโลเกรย์ ที่อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมเดียวกัน ดังนั้นเราสามารถใช้อัตราส่วนเติมสารช่วยผสมดังกล่าวได้ เพื่อเป็นการนำพลังงานมาใช้ให้เป็นประโยชน์ การเติมสารช่วยผสมไม่ช่วยให้ร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นแต่รังสีช่วยให้ร้อยละการยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นตามปริมาณพอลิเอทิลีนที่เพิ่มขึ้น ผลที่ได้จากการศึกษาอาจนำไปใช้ในการกำจัดขยะได้โดยไม่จำเป็นต้องแยกชนิดของขยะพลาสติกแต่ต้องควบคุมปริมาณของพลาสติกที่จะนำมาผสมกัน นอกจากนี้เราสามารถทำการฉายรังสีอุปกรณ์ที่ผลิตจากพอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีนหรือพอลิพรอพิลีนผสมกับพอลิเอทิลีนได้โดยใช้ความเข้มรังสีต่ำ 10-30 กิโลเกรย์ ซึ่งเป็นช่วงที่สมบัติเชิงกลไม่เปลี่ยนแปลง

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรจะศึกษาผลของสารเติมแต่ง เช่น สี สารต้านการเกิดออกซิเดชัน สารตัวเติม ที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม
2. ควรจะทำการทดลองกับพลาสติกที่ผ่านการใช้แล้ว โดยใช้เงื่อนไขเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลอง

## เอกสารอ้างอิง

1. Rudolph D.D. Advances in Polymer Blends and Alloy Technology. Technomic : Pennsylvania. 1992.
2. โสภณ จินพงษ์. "พลาสติกกับสิ่งแวดล้อม." วารสารความรู้อุตสาหกรรมปิโตรเคมี. ฉบับที่ 15, พฤศจิกายน 2537-มกราคม 2538. หน้า 8.
3. Stein R.S. "Miscibility in Polymer Recycling." Emerging Technologies in Plastics Recycling. Washington, DC. : American Chemical Society. 1992.
4. Blatz P.S. "Properties of High-Density Polyethylene from Postconsumer Recycled Containers." Emerging Technologies in Plastics Recycling. Washington, DC. : American Chemical Society. 1992.
5. Mark, H.F. Encyclopedia of polymer science and engineering. 2 nd ed. New York : John Wiley & sons. 1988.
6. Bartlett D.W. et. al. "Mechanical properties of Blends Containing HDPE and PP." J.Appl.poly.Sci. Vol.27, 1982. pp.2351-2360.
7. Tew J.W. "Structure and Properties of Polyethylene-polypropylene Blend." J.Appl.poly.Sci. Vol.28, 1983. pp.605-618.
8. Rizzo G. et. al. "Physico-Chemical Properties of  $\gamma$ -irradiated LDPE-iPP Blends." Radiat.Phys.Chem. Vol.21, no.4, 1983. pp.349-353.
9. Dumoulin M.M. et. al. "Rheological and Mechanical Properties of Ternary Blends of Linear-Low-Density Polyethylene/Polypropylene/Ethylene-Propylene Block polymer." Polym.Eng.Sci. Vol.24, no.17, 1984. pp.1319-1329.
10. Chiu W.Y. and Fang S.J. "Mechanical Properties and Morphology of Crosslinked PP/PE Blends and PP/PE/Propylene-Ethylene Copolymer Blends." J.Appl.poly.Sci. Vol.30, 1985. pp.1473-1481.
11. Novakovic LJ. et. al. "Thermo mechanical Behaviour of Stabilized Polyethylene Irradiated with Gamma Rays." Radiat.Phys.Chem. Vol.27, no.1, 1986. pp.1-5.
12. Cheung P. et. al. "The Reactive Extrusion of Polyethylene/Polypropylene Blends." Polym.Eng.Sci. Vol.30, no17, 1990. pp.1063-1072.
13. Gupta A.K. et. al. "Crystallization Behavior of High-Density Polyethylene/Linear-Low-Density Polyethylene Blend." J.Appl.poly.Sci. Vol.44, 1992. pp.719-726.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกขาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. Yu D.W. et. al. "LDPE/PP Blends Modified by Peroxide and Radiation Induced Reaction." J.Appl.poly.Sci. Vol.52, 1994. pp.99-105.
15. Bain M. and Baika S.T. "The compatibility of Linear-Low Density Polyethylene-Polypropylene Blends:Viscosity Ratio Plots." Polym.Eng.Sci. Vol.34, 1994. pp.1260-1268.
16. Jabarin S.A.J. and Bhakkad V.V. "Morphology and Properties of Poly(ethyleneterephthalate)-High-Density Polyethylene Blends." Plastic,Rubber and Paper Recycling. Washington,DC :American Chemical Society. 1995.
17. Tzankova Dintcheva N. et. al. "Recycling of plastic from packaging." Polymer Degradation and Stability. Vol.57, 1997. pp.191-203.
18. Eleomora V. et. al. "Yield Strength of Low-Density Polyethylene-Polypropylene Blends." J.Appl.poly.Sci.Vol.63, 1997. pp.275-281.
19. Blom H.P. et. al. "iPP/HDPE Blends. II. Modification with EPDM and EVA." J.Appl.poly.Sci. Vol.60, 1996. pp.1405-1417.
20. Wei Z. et. al. "Morphology and Mechanical Properties of PP/HMWPE Blende." J.Macromol.Sci.-Phys. B35 Vol.5, 1996. pp.795-805.
21. Utracki L.A. Polymer Alloy and Blends. New York : Hanser. 1989.
22. Hamid H.S. and Atiqullah M. "Role of Blending in Polyethylene Recycling." J.M.S.-Rev.Macromol.Chem.Phys. C35 Vol.3, 1995. pp.495-515.
23. Kiewzle S.Y. Advances in Polymer Blends and Alloy Technology. Pennsylvania : Technomic. 1988.
24. Fox D.W. and allen R.B. High Performance and Composited Encyclopedia. New York : John Wiley & sons. 1991.
25. Ulrich H. Introduction to Industrial Polymer 2 nd ed. Germny : Hanser. 1993.
26. Joseph C.S., editor Polymeric Material encyclopedia. Vol.8 Boca Raton : CRC Press. 1994.
27. Joseph C.S., editor Polymeric Material encyclopedia. Vol.9 Boca Raton : CRC Press. 1996.
28. Peggy M., editor. Structural Analysis of Thermoplastic Components. New York : McGraw-Hill. 1994
29. Markham R.L. Elastomer Technology Handbook. Boca Raton :CRC Press. 1993.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30. สมพร จงคำ "อันตรกิริยาของรังสีต่อสสาร" การฝึกอบรมหลักสูตรพลังงานนิวเคลียร์และการใช้ประโยชน์. สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.  
28 มี.ค.-1 เม.ย.2537 หน้า 2.3-2.5.
31. More E.P., editor, Polypropylene Handbook. New York :Hanser. 1996. .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้