

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การไฮโดรจิเนชันยางไอโซพรีนเพื่อใช้เป็นตัวช่วยผสมใน  
พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน



นายชูเกียรติ                      กรීธาดำรงเดช  
นางสาวพรพรรณ                  ปิ่นจันทร์  
นายภักดี                              รัตนจันทร์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

นพ.

๖๕๒๓ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

๒๕๔๑

ปีการศึกษา ๒๕๔๑

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 33501

วัน, เดือน, ปี 13 ส.ค. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **Hydrogenated Polyisoprene as a Compatibiliser in the Immiscible Blends of Polyethylene/Polypropylene**



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

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkút's Institute of Technology Ladkrabang

1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การไฮโดรจิเนชันยางไอโซพรีนเพื่อใช้เป็นตัวช่วยผสมในพอลิ-  
เมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน

นักศึกษา

นายชูเกียรติ กริธาดำรงเดช  
นางสาวพรพรรณ ปิ่นจันทร์  
นายภักดี รัตนจันทร์

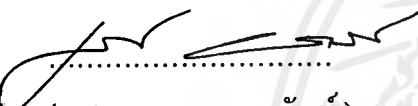
ภาควิชา

เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

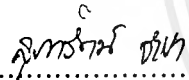
ดร.ตะวัน สุขน้อย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
.....  
(ผศ.นงนุช เกตรานูวัฒน์)

หัวหน้าภาควิชาเคมี


คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ

  
.....  
(ดร.สุภารัตน์ จำปา)

ประธานกรรมการ

  
.....  
(รศ.ดร.ศักดิ์ ไตรศักดิ์)

กรรมการ

  
.....  
(ดร.ตะวัน สุขน้อย)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การไฮโดรจีเนชันยางไอโซพรีนเพื่อใช้เป็นตัวช่วยผสมในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน
นักศึกษา	นายชูเกียรติ กริธาดำรงเดช นางสาวพรพรรณ ปิ่นจันทร์ นายภักดี รัตนจันทร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ตะวัน สุขน้อย
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2541

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการไฮโดรจีเนชันยางไอโซพรีน ในสารละลายคลอโรฟอร์มและแอซีโตน โดยมีสารเชิงซ้อนพัลลาเดียมแอซีเตท (Palladium(II) acetate) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในภาวะสังเคราะห์ความดันสูง แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้และยางไอโซพรีนมาใช้เป็นตัวช่วยผสมระหว่างพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีนที่อัตราส่วนต่างๆกัน คือ 0% 0.5% 1.0% และ 1.5% โดยน้ำหนักของตัวช่วยผสมต่อน้ำหนักของพอลิเมอร์ระหว่างพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีนด้วยเทคนิคสารละลาย (solvent casting) จากนั้นนำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection molding machine) แล้วนำไปตรวจสอบคุณสมบัติความร้อน พบว่าไฮโดรจีเนตไอโซพรีน ช่วยทำให้การผสมของพอลิเมอร์ผสมได้ดีขึ้น ตรวจพบได้จากการลดลงของอุณหภูมิการตกผลึก และจากการตรวจสอบสมบัติเชิงกล พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีตัวช่วยผสมจะให้ค่าความทนต่อแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่ามอดุลัส และค่าทนต่อแรงกระแทกที่สูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีตัวช่วยผสม ซึ่งสารช่วยผสมจำนวน 1 % เป็นปริมาณที่ให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมดีที่สุด

<b>Special Project Title</b>	Hydrogenated isoprene as a compatibiliser in the immisible blends of poly(ethylene/propylene)
<b>Name</b>	Mr. Chukiat Krithadamrongdej Miss Pornphan Pinchan Mr. Pukdee Rattanachan
<b>Special Project Advisor</b>	Dr. Tawan Sooknoi
<b>Department</b>	Chemistry
<b>Academic Year</b>	1998

### Abstract

Hydrogenated polyisoprene was prepared by homogeneous hydrogenation of isoprene rubber in chloroform/acetone using palladium (II) acetate as catalyst. The hydrogenated polyisoprene and polyisoprene, which was supplied from industrial sources, were then used as compatibiliser in immiscible blends of polyethylene/polypropylene. The composites were prepared by solvent casting technique with various contents of compatibiliser from 0.5 wt% to 1.5 wt%. The effect of the addition of compatibiliser on thermal, optical and mechanical properties were investigated.

From thermal and optical tests, it was found that blends containing polyisoprene and hydrogenated polyisoprene have shown entanglements of compatibiliser with the polypropylene phase, resulting in shift of the transition temperature of polypropylene. Mechanical properties of the blends, namely tensile and impact tests, show improvement in modulus, tensile strength, elongation at break and impact strength, when compatibiliser were used, as compared to those with no compatibiliser.

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. วีรวัฒน์ มงคลอัศวรัตน์ ดร. ตะวัน สุขน้อย ดร. สุภารัตน์ จำปา ดร. สมศักดิ์ วัฒนมงคลชัย ดร. ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และดร. อธิธิพล แจ่มชัด ที่กรุณาให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษมาโดยตลอด

รศ.ดร. ศักดา ไตรศักดิ์ และอาจารย์คณะกรรมกรตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจทานและแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณกนกพร คุณสุวิวัฒน์ และคุณกฤษณะ ที่ช่วยหาเครื่องมือเครื่องแก้ว และสารเคมีต่าง ๆ

ขอขอบคุณ กุ้ง จีบ กาญ หนิง ชู นาย เอ โกโร่ บอย ค้วง ชีพ เม่น เจริญ พิชัย และเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและกำลังใจตลอดมา

นายชูเกียรติ กริธาดำรงเดช  
นางสาวพรพรรณ ปิ่นจันทร์  
นายภักดี รัตนจันทร์  
5 เมษายน 2542

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ โครงการงานพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อ โครงการงานพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของการวิจัย	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.5 ขั้นตอนวิจัยและการดำเนินงาน	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ไฮโดรจิเนชัน	3
2.2 ยางไอโซพรีน	10
2.3 พอลิเอทิลีน	11
2.3.1 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ	11
2.4 พอลิพรอพิลีน	13
2.5 พอลิเมอร์ผสม	14
2.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	16
2.6.1 เครื่อง DSC	16
2.6.2 เครื่อง Polarised light microscope	16
2.6.3 เครื่อง NMR	17
2.6.4 เครื่องฉีดขึ้นรูป	18

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การทดลอง	20
3.1 แผนงานการศึกษา	20
3.2 สารเคมี	20
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ	21
3.4 วิธีการทดลอง	21
บทที่ 4 ผลการทดลอง	26
4.1 การศึกษาโครงสร้างของยางไอโซพรีน	26
4.2 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม	29
4.3 การศึกษาสมบัติทางแสง	33
4.4 การศึกษาสมบัติเชิงกล	36
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก	

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สภาวะการไฮโดรจีเนชันของสารประกอบโอเลฟิน	4
ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การไฮโดรจีเนชันกับอัตราส่วนไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวต่อไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว	9
ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติบางประการของพอลิเมอร์ที่ใช้	13
ตารางที่ 2.4 แสดงค่าความสามารถในการละลายของพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน (Solubility Parameter)	15
ตารางที่ 3.1 แสดงสภาวะและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	22
ตารางที่ 3.2 แสดงการเตรียมพอลิเมอร์ผสม	23
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการไฮโดรจีเนชัน	28
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลอง DSC	31
ตารางที่ 4.3 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม	40

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของ Palladium (II) acetate	6
รูปที่ 2.2 แสดงกลไกปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนของ Palladium (II) acetate	7
รูปที่ 2.3 กราฟหาเปอร์เซ็นต์การไฮโดรจิเนชัน	10
รูปที่ 2.4 แสดงค่าพลังงานอิสระในการผสมสองส่วนประกอบเข้าด้วยกัน	15
รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติความทนต่อแรงดึง	24
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติความทนต่อแรงกระแทก	24
รูปที่ 4.1 แสดงผล $^1\text{H}$ NMR ของยางไอโซพรีน	26
รูปที่ 4.2 แสดงผล $^{13}\text{C}$ NMR ของยางไอโซพรีน	27
รูปที่ 4.3 แสดงผลความถี่ของ $^1\text{H}$ ของยางไอโซพรีน	27
รูปที่ 4.4 แสดงผลของ DSC	29
รูปที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิการตกผลึกของพอลิเมอร์บริสุทธิ์กับพอลิเมอร์ผสม	32
รูปที่ 4.6 แสดงสเปกตรัมไลท์ของ LDPE	33
รูปที่ 4.7 แสดงสเปกตรัมไลท์ของ PP	34
รูปที่ 4.8 แสดงสเปกตรัมไลท์ของ LDPE+PP	34
รูปที่ 4.9 แสดงสเปกตรัมไลท์ของ LDPE+ PP+ 0.5% Isoprene	35
รูปที่ 4.10 แสดงสเปกตรัมไลท์ของ LDPE+PP +0.5% Hydrogenated isoprene	35
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับพอลิเมอร์บริสุทธิ์	36
รูปที่ 4.12 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม	37
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับพอลิเมอร์บริสุทธิ์	37
รูปที่ 4.14 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม	38
รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบค่ามอดูลัสระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับพอลิเมอร์บริสุทธิ์	38
รูปที่ 4.16 แสดงค่ามอดูลัสของพอลิเมอร์ผสม	39
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบความทนต่อแรงกระแทกระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับพอลิเมอร์บริสุทธิ์	39
รูปที่ 4.18 แสดงค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม	40

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาของงานวิจัย

ในปัจจุบันมีผู้นำพอลิเมอร์ผสมมาใช้กันมากขึ้น เพราะพอลิเมอร์แต่ละตัวมีคุณสมบัติด้านต่าง ๆ เช่น คุณสมบัติทางเคมี ทางเชิงกล และ ทางความร้อนไม่เหมือนกันทั้งหมด ซึ่งมีทั้งสมบัติเด่น และสมบัติด้อย การนำพอลิเมอร์มาผสมกันเพื่อที่จะเสริมคุณสมบัติที่ด้อยอยู่แล้ว และลดคุณสมบัติด้อยของพอลิเมอร์แต่ละตัวที่มีอยู่ จึงเป็นจุดสนใจจุดหนึ่งของผู้เกี่ยวข้องทางอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ และก็เป็นจุดสนใจให้ทีมงานวิจัยนี้ขึ้นมาโดยทำการศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับพอลิพรอพิลีน (PE/PP) เนื่องจากพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีนมีการใช้กันมาก ราคาถูก และ โครงสร้างคล้าย ๆ กัน ข้อดีของพอลิเอทิลีน คือ เป็นฉนวน สามารถทนความชื้นและสารเคมี ใช้บรรจุอาหารได้ดี และมีราคาถูก แต่มีข้อเสียคือ ขยายตัวมากเมื่อได้รับความร้อน และแตกหัก ยากที่จะเชื่อมต่อ ส่วนข้อดีของพอลิพรอพิลีน คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ ทนต่อแรงเค้นสูง และมีความโค้งงอดีเยี่ยม ข้อเสีย คือ สลายตัวต่อรังสี UV และไม่ทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ แต่พอลิเมอร์ทั้งสองไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ เนื่องจากพอลิเมอร์ทั้งสองมีค่าการละลายต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารช่วยผสม ซึ่งสารช่วยผสมที่ดีต้องมีคุณสมบัติ คือ เป็นสารที่มีโครงสร้างคล้ายกับพอลิเมอร์ทั้งสอง ซึ่งสามารถช่วยให้การผสมของพอลิเมอร์ทั้งสองได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นจึงเลือกพอลิไอโซพรีนมาใช้เป็นตัวช่วยผสมเพราะมีโครงสร้างคล้ายกับเอทิลีนกับพรอพิลีนเชื่อมต่อกัน ต่างกันตรงที่ไอโซพรีนมีพันธะคู่ จึงต้องทำการกำจัดพันธะคู่โดยการไฮโดรจิเนชัน ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะทรานซิชัน ยางไอโซพรีนที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันคาดว่าจะเป็นตัวช่วยผสมที่ดีในพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน

### 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. B. Susmita,R.Padmavathy,B.Anil,and A.Bhola ทำการศึกษาการไฮโดรจิเนชันโคพอลิเมอร์ชนิด triblock ของ styrene-isoprene-styrene (SIS) โดยใช้ Pd (II) acetate เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเลือกไฮโดรจิเนชันที่พันธะคู่ ที่อุณหภูมิ 60°C ความดัน 1.4 MPa ในสารละลายคลอโรฟอร์มและเอซิโตน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 40 มิลลิกรัม และพอลิเมอร์หนัก 2 กรัม แล้วตรวจสอบผลที่ได้ด้วยเครื่องอินฟราเรดและนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์พบว่าที่ตำแหน่งไอโซพรีนถูกทำการไฮโดรจิเนชันซึ่งได้เปอร์เซ็นต์การไฮโดรจิเนชันเท่ากับ 99% [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการไฮโดรจิเนชันของไอโซพรีน
2. เพื่อศึกษาผลของไฮโดรจิเนตพอลิไอโซพรีนที่มีต่อพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน
3. เพื่อปรับปรุงการผสมเข้ากันของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน

### 1.4 ขอบเขตงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการไฮโดรจิเนชันของไอโซพรีนและนำไปใช้เป็นตัวช่วยผสม ในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล

### 1.5 ขั้นตอนวิจัยและดำเนินงาน

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการไฮโดรจิเนชันของไอโซพรีนและใช้เป็นตัวช่วยผสม ในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน โดยการนำไอโซพรีนมาไฮโดรจิเนชัน และตรวจสอบผลที่ได้โดยใช้เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear Magnetic Resonance) จากนั้นนำมาเป็นตัวช่วยผสมระหว่างพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีนแล้วทำการฉีดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine) ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อน

### 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบผลการไฮโดรจิเนชันของไอโซพรีนและลักษณะของไอโซพรีนที่ผ่านการไฮโดรจิเนชัน
2. ทราบผลการใช้ไอโซพรีนเป็นตัวช่วยผสมระหว่างพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน
3. ทราบผลการใช้ไอโซพรีนที่ไฮโดรจิเนชันเป็นตัวช่วยผสมระหว่างพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) [2]

ไฮโดรจิเนชันเป็นวิธีการที่มีประโยชน์มากในการเตรียมอัลเคน และเป็นวิธีทั่วไปที่ใช้ในการเปลี่ยนพันธะไม่อิ่มตัวของคาร์บอน-คาร์บอน เป็นพันธะอิ่มตัวของคาร์บอน-คาร์บอน ซึ่งใช้ได้กับสารประกอบเกือบทุกชนิดที่เราต้องการ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและสภาวะที่เหมือนกัน ซึ่งสามารถเปลี่ยนอัลคีนเป็นอัลเคน แอลกอฮอล์ไม่อิ่มตัวเป็นแอลกอฮอล์อิ่มตัว และเอสเตอร์ไม่อิ่มตัวเป็นเอสเตอร์อิ่มตัว การไฮโดรจิเนชันโอเลฟินมักต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอาจจะเป็น Ni, Pt และ Pd โดยทั่วไปความดันที่ใช้ต้องไม่สูงมาก เว้นแต่การไฮโดรจิเนชันเกิดได้ช้า โอเลฟินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ เช่น เอทิลีน พรอพิลีน บิวทิลีน เพนเทน และเฮกเซน มักจะไฮโดรจิเนตได้อย่างรวดเร็วในสภาวะไอ โดยผ่านโอเลฟินและไฮโดรเจนบน Ni-containing catalyst ที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิประมาณ 100-200°C และต้องควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพราะที่อุณหภูมิสูงๆ จะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงที่เกี่ยวข้องกับการแตกพันธะของไฮโดรคาร์บอนได้ ส่วนโอเลฟินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า จะไฮโดรจิเนตได้ในสภาวะของเหลว อุณหภูมิที่ใช้ 150-200°C เช่น พอลิบิวตะไดอิน (Polybutadiene) ไฮโดรจิเนตโดยใช้ Ni เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 260°C จะได้ hydrorubber (hydropol) ที่มีการปรับเปลี่ยนองศาความไม่อิ่มตัวได้ ซึ่งยางมีคุณสมบัติเด่นเหมือนเทอร์โมพลาสติก โดยเฉพาะคุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำ ความทนน้ำมัน และความแข็งแรงดี

สารพวกโอเลฟินส่วนใหญ่ไฮโดรจิเนตได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 150-200°C ถ้าใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ว่องไว (active) และความดันไฮโดรเจนในช่วง 100-200 atm



อุณหภูมิห้องถึง  $150^{\circ}\text{C}$  นิกเกิลและทองแดง ใช้ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ  $150-200^{\circ}\text{C}$  และออกไซด์ของโลหะ ใช้ที่  $250-400^{\circ}\text{C}$

## 2. ความดัน

คล้ายกับอุณหภูมิ ซึ่งมีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความดัน เพราะในสถานะก๊าซและเพิ่มความดัน เป็นการเพิ่มความเข้มข้น

## 3. เวลา

โดยปกติเวลาที่ใช้ในการไฮโดรจิเนชัน คือประมาณ 2-5 ชั่วโมง ขึ้นกับปริมาณของสารตั้งต้นก่อนไฮโดรจิเนชัน ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และความดัน

## 4. สถานะของการเกิดปฏิกิริยา

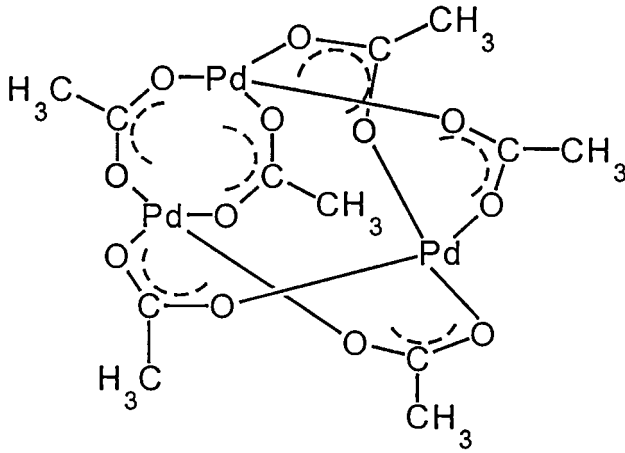
สถานะของเหลว (liquid phase) เหมาะสำหรับสารตั้งต้นที่จะไฮโดรจิเนชัน นอกจากนี้โอกาสของการสัมผัสโดยตรงของตัวเร่งปฏิกิริยาและไฮโดรเจน ทำได้โดยการเขย่าหรือใช้ก๊าซไฮโดรเจนผ่านลงในของเหลว การเพิ่มความดันจะช่วยให้ก๊าซไฮโดรเจนละลายได้มากขึ้นด้วย

การไฮโดรจิเนชันแบ่งได้ 2 ชนิด [3]

1. Heterogeneous hydrogenation เป็นวิธีดั้งเดิม ซึ่งในปัจจุบันใช้กันอย่างแพร่หลาย ตัวเร่งปฏิกิริยาส่วนใหญ่เป็นโลหะ เช่น พัลลาเดียม แพลททินัม นิกเกิล สารละลายของอัลคีนจะถูกเขย่าภายใต้ความดันของก๊าซไฮโดรเจนที่เบาบาง และมีตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่เล็กน้อย ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและไม่รุนแรง เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกกรองออกจากสารละลายได้ง่าย

2. Homogeneous hydrogenation เป็นวิธีการใหม่ที่ปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้สามารถเลือกตำแหน่งไฮโดรจิเนชันที่ต้องการได้ ซึ่ง Heterogeneous hydrogenation ทำไม่ได้ ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของสารอินทรีย์กับโลหะทรานซิชัน ซึ่งจะละลายในสารละลายอินทรีย์ ปฏิกิริยาจะเกิดในวัฏภาคเดียวกัน แต่มีข้อจำกัด คือ การแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ทำได้ยาก

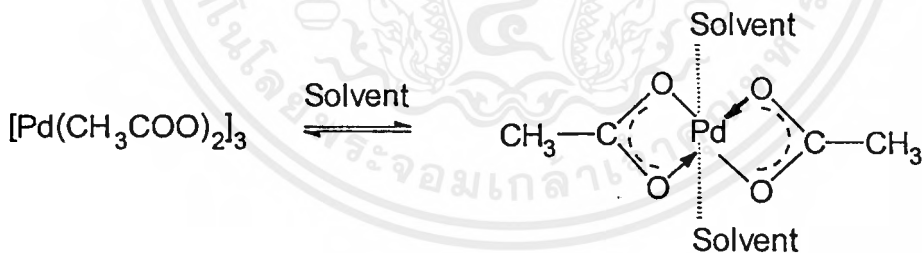
ในที่นี้ เราใช้ Homogeneous catalyst โดยใช้ Palladium (II) acetate เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วยโลหะ 3 อะตอมล้อมรอบด้วย 6 ลิแกนด์ (acetate group) ดังรูปที่ 2.1



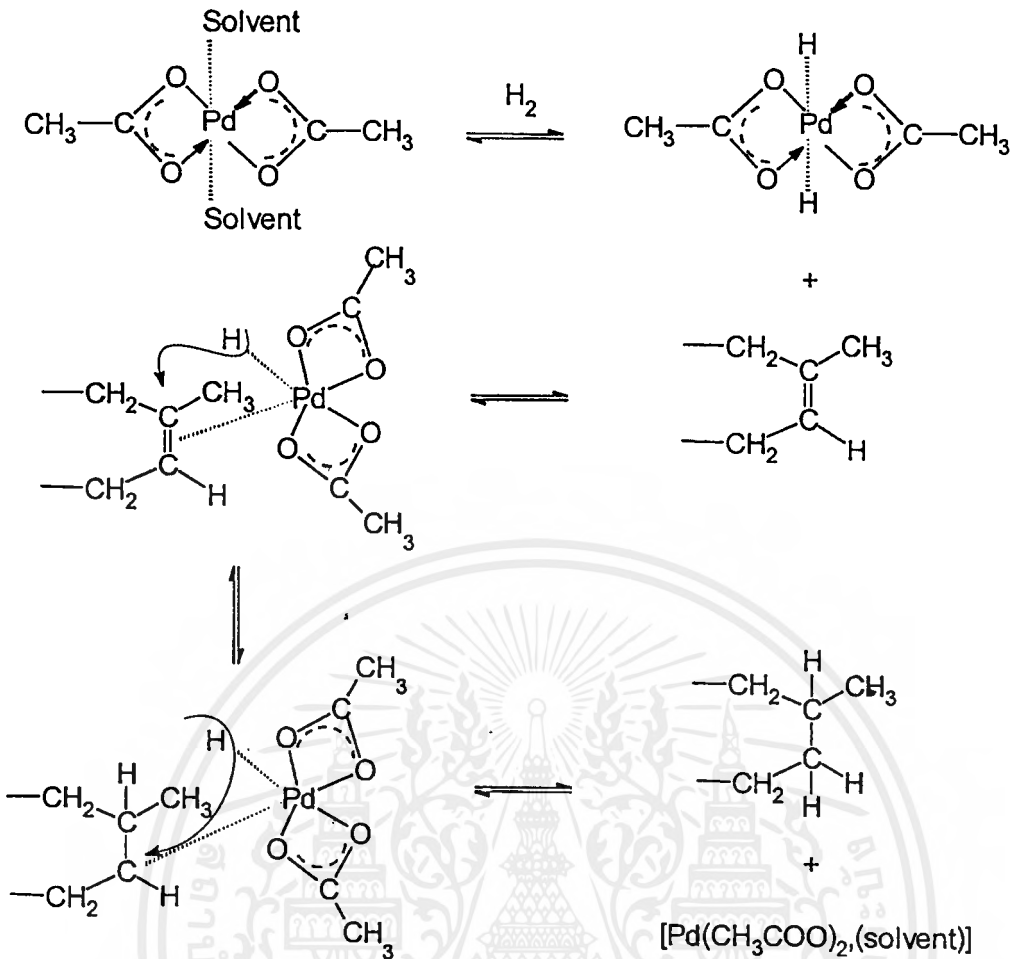
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของ Palladium (II) acetate

### กลไกการเกิดไฮโดรจินเนชันโดยใช้ Palladium (II) acetate [1]

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า Palladium (II) acetate มีโครงสร้างที่ผิดปกติ ประกอบด้วยโลหะ 3 อะตอมอยู่เป็นสามเหลี่ยมที่มี 6 ลิแกนด์ (acetate group) เมื่อสารเชิงซ้อนละลายในตัวทำละลาย Palladium (II) acetate จะแยกตัวออกมาจัดตัวเป็น monomeric species การแยกตัวจะเกิดขึ้นได้ง่ายขึ้น ในตัวทำละลายที่มี donor atom และสารละลายจะเข้าแทนที่ตำแหน่งว่างของอะตอมโลหะดังปฏิกิริยา



ตัวเร่งที่ว่องไวนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเพื่อจัดตัวเป็น metal hydride complex ตามลำดับ และเกิด olefinic bond กับโลหะ และ hydride transfer ไปที่พันธะคู่พร้อมกันเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่อิ่มตัว เมื่อ complex แยกตัวออกไปแล้ว ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการ acetone เป็นตัวทำละลายที่ให้อิเล็กตรอนที่ดีกว่า ethyl acetate ดังนั้นองศาของการไฮโดรจินเนชันจึงสูงกว่าในสารละลาย acetone ดังปฏิกิริยา

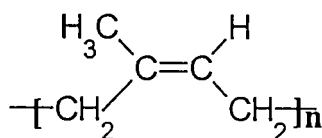


รูปที่ 2.2 แสดงกลไกปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนของ Pallidium (II) acetate [4]

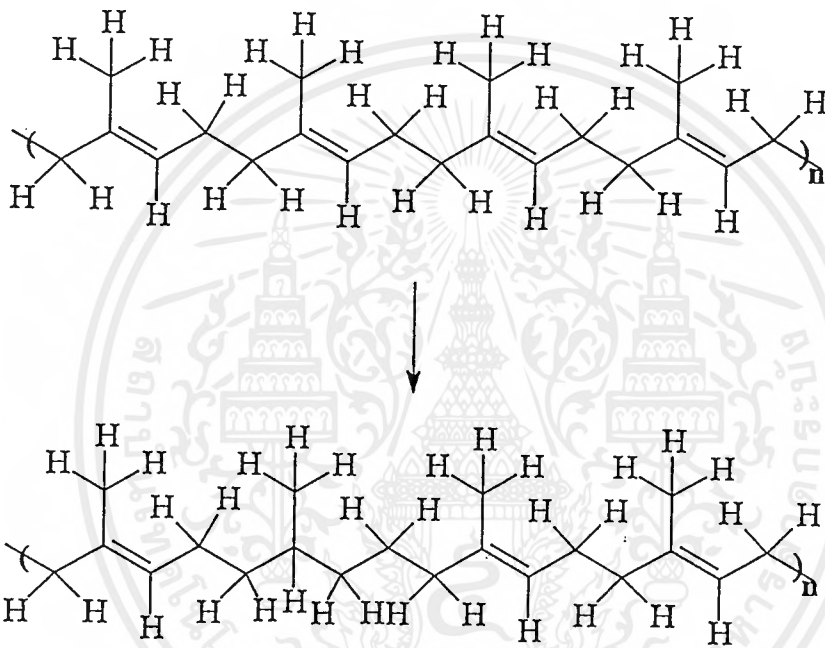
### การหาเปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจนชั้นของยางไอโซพรีน

เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจนชั้นหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การไฮโดร-  
 จินชั้นกับอัตราส่วนไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว(Saturated hydrogen )ต่อไฮโดรเจนของ  
 ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว( Unsaturated hydrogen )

ยางไอโซพรีนมีโครงสร้างคือ



จากรูปจะเห็นว่าในหนึ่งหน่วยของยางไอโซพรีนจะมีอัตราส่วนไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวต่อไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวเท่ากับ 7:1 แสดงว่าเมื่อไม่มีการไฮโดรจิเนชัน ไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวต่อไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวเท่ากับ 7:1 ถ้าทำการไฮโดรจิเนชันไป 25% แสดงว่าทุกๆ 4 หน่วยของยางไอโซพรีนจะถูกทำการไฮโดรจิเนชัน 1 หน่วย ซึ่งจะเห็นว่าจำนวนของไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวจะลดลง 1 อะตอมและไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวจะเพิ่มขึ้น 3 อะตอมทำให้มีอัตราส่วนไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวต่อไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวเท่ากับ 31:3



และในทำนองเดียวกันที่ไฮโดรจิเนชันไป 50% และ 75% จะมีอัตราส่วนไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวต่อไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวเท่ากับ 17:1 และ 37:1 ตามลำดับ ส่วนที่ทำการไฮโดรจิเนชัน 100% นั้นจำนวนไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวจะเท่ากับ 0 ทำให้อัตราส่วนไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวต่อไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวมีค่าอนันต์ ดังนั้นจะได้รับความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การไฮโดรจิเนชัน กับอัตราส่วนไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวต่อไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การไฮโดรจิเนชัน กับอัตราส่วนไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวต่อไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว

%การไฮโดรจิเนชัน	Saturated H/ Unsaturated H
0	7
25	31/3
50	17
75	37
100	$\infty$

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแก้สมการเพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การไฮโดรจิเนชัน กับอัตราส่วนไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวต่อไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวโดยใช้สมการ 2.1

$$(y-100)(x-a) = b \quad \dots\dots(2.1)$$

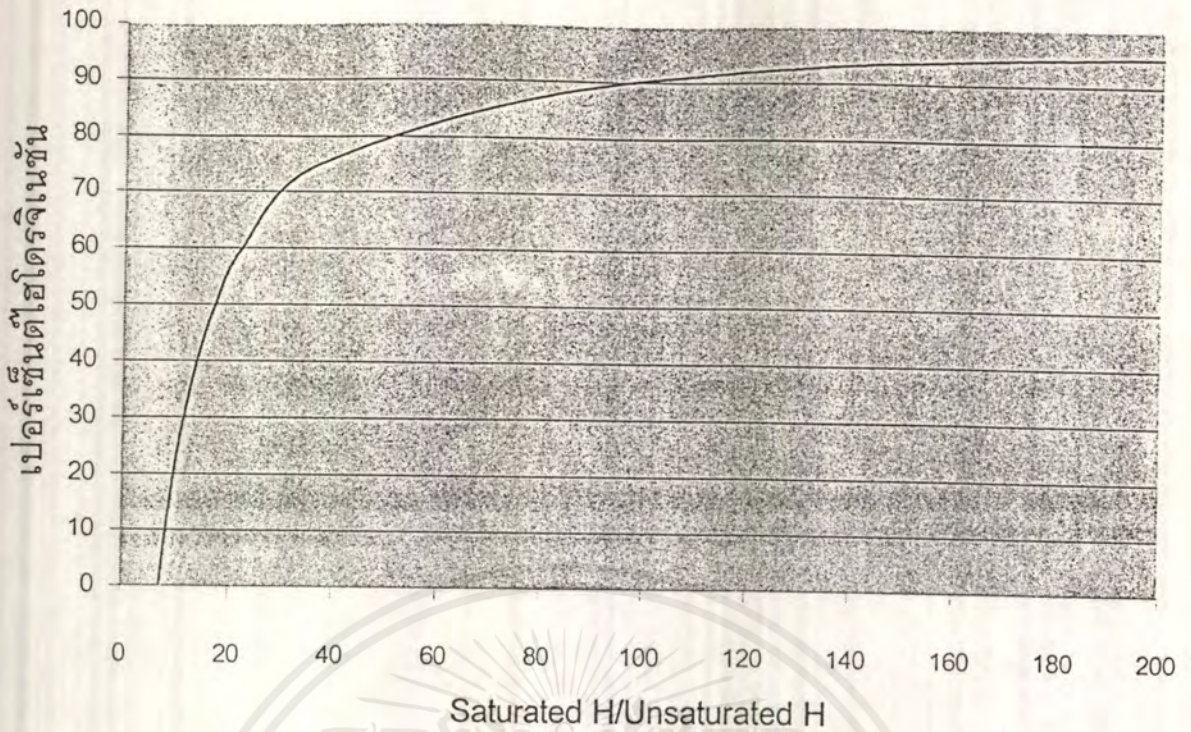
เมื่อ  $y$  คือเปอร์เซ็นต์การไฮโดรจิเนชัน

$x$  คืออัตราส่วนไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวต่อไฮโดรเจนของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว

เมื่อแทนค่า  $x$  และ  $y$  จะได้สมการ

$$y = 100 - 1000/x+3 \quad \dots\dots(2.2)$$

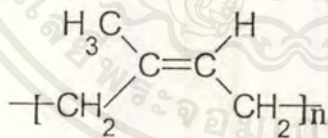
จากสมการนี้สามารถนำไปสร้างกราฟได้ดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟหาเปอร์เซ็นต์การไฮโดรจีนชั้น

## 2.2 ยางไอโซพรีน (Isoprene Rubber, IR) [5]

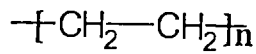
พอลิไอโซพรีนเป็นยางที่ใช้ในจุดประสงค์ทั่วไป มีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงที่ไม่อ้อมตัวคล้ายกับยางธรรมชาติ ดังนี้



เนื่องจากยางไอโซพรีนมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้เกิดการพันกันของสายโซ่มาก และส่งผลให้มีการละลายต่ำ แต่จะสามารถละลายได้ในของเหลวที่มีค่าการละลายใกล้เคียงกัน และสามารถทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่มีความว่องไวต่อพันธะคู่ได้ มีโซ่หลักที่ยืดหยุ่นได้มาก จึงทำให้อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) มีค่าต่ำประมาณ  $-73^\circ\text{C}$  ซึ่งเป็นผลมาจาก stiffening ของกลุ่ม methyl ที่ต่ออยู่กับโซ่หลัก และมีค่าอุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) ประมาณ  $25^\circ\text{C}$

## 2.3 พอลิเอทิลีน (Polyethylene , PE)

สูตรโครงสร้าง



ลักษณะโดยทั่วไปคือเหนียว ดูดซึมความชื้นได้น้อยมาก ทนทานต่อสารเคมีได้ดีมาก เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม มีสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานต่ำและขึ้นรูปด้วยกระบวนการต่าง ๆ ได้ง่าย พอลิเอทิลีนได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันเอทิลีน โดยพอลิเอทิลีนที่ผลิตขึ้นในทางการค้าครั้งแรกเป็นพอลิเอทิลีนแบบความหนาแน่นต่ำ ในปัจจุบันมีพอลิเอทิลีนเกรดต่าง ๆ ตามโครงสร้างโมเลกุลและลักษณะสมบัติตลอดจนการใช้งานได้เป็นกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้ [6]

- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

ความหนาแน่น 0.915 – 0.935 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE)

ความหนาแน่น 0.910 – 0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)

ความหนาแน่น 0.941 – 0.967 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมาก (VLDPE)

ความหนาแน่น 0.880 – 0.912 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

- พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูง (HMWPE)

น้ำหนักโมเลกุล 200,000 – 500,000

- พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก (UHMWPE)

น้ำหนักโมเลกุล 3,000,000

นอกจากนี้ยังมีพอลิเอทิลีนชนิดเชื่อมโซ่คลอโรซัลโฟเนตพอลิเอทิลีน และ โคพอลิเมอร์ต่าง ๆ ของเอทิลีนด้วย

### 2.3.1. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene , LDPE)

ในปี ค.ศ. 1930 เริ่มมีการผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ครั้งแรกซึ่งเป็น

เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดแรกที่นำมาใช้ในทางการค้า กระบวนการผลิตและลักษณะโดยทั่วไปของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีดังนี้ [7]

- ความดันที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะสูงมาก 1,000 – 3,000 บรรยากาศ (15,000– 45,000 psi)
- อุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน 200 – 400 องศาเซลเซียส
- พอลิเอทิลีนที่ได้มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.019 – 0.925 กรัม/ลบ.ซม. การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้างและมีกิ่งก้านสาขาภายในโมเลกุลมาก
- ขบวนการที่ใช้ในการผลิตในปัจจุบันมีสองกระบวนการ
  1. Autoclave Process ของ ICI
  2. Tubular Process ของ UCC

ซึ่งทั้งสองกระบวนการจะให้โครงสร้างโมเลกุลที่แตกต่างกันแต่จะสามารถผลิต LDPE

ที่มีช่วงความหนาแน่นและช่วงของครรชนีการไหลเหมือนกันคือ

ความหนาแน่น 0.915 – 0.930 กรัม/ลบ.ซม.

ครรชนีการไหล 0.1 – 50 กรัม/10 นาที

### สมบัติทั่วไป

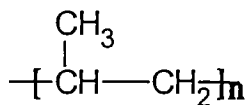
- ยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้เนื่องจากมีส่วนของอสัณฐานซึ่งมีปริมาตรอิสระยอมให้มีการเคลื่อนไหวยของโมเลกุลได้ จึงมีช่องว่างพอที่จะให้โมเลกุลของก๊าซซึมผ่านได้
- การไหลตัวดี
- ช่วงอุณหภูมิในการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจาก LDPE แคบ โดยมีอุณหภูมิในการหลอมตัวอยู่ในช่วง 98 - 120°C
- มีค่าความต้านทานแรงกระแทกดีพอสมควร
- เป็นตัวกันความชื้นได้ดี
- ฟิล์มที่แปรรูปมาจาก LDPE จะมีความเป็นเงามันดีและมีสีน้ำตาล
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ค่อนข้างดี

### การนำไปใช้งาน

- ฟิล์มและงานเคลือบหลาย ๆ ชั้น (lamination) เช่น ฟิล์มหดหุ้ม (shrinkwrap) หรือถุงที่ต้องการความใสมาก ๆ
- งานฉีดแบบ (injection moulding)
- งานเป่าแบบ (blow moulding)
- อื่น ๆ เช่น ฟิล์มหลายชั้น (coextrusion) งานรีดท่อ (pipe extrusion) งานเคลือบสายไฟฟ้าและสายเคเบิล (wire and cable coating)

## 2.4 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP)

สูตรโครงสร้าง



สมบัติทั่วไป [8]

- มีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรง เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักเบา จุดหลอมเหลวปานกลาง อยู่ในช่วง 164 – 170°C
- มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 60000 – 200000 ความหนาแน่น 0.9 กรัม/ลบ.ซม.
- ไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ ที่อุณหภูมิห้อง
- เนื่องจากความเป็นผลึกสูงทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติเชิงกลที่ดี
- สามารถทนต่อกรดและเบสเป็นอย่างดี เจือต่อปฏิกิริยาเคมีทั่วไปแต่ทนต่อความร้อน แสง และตัวออกซิไดส์น้อยกว่าพอลิเอทิลีน

การนำไปใช้งาน

- ชิ้นส่วนของรถยนต์
- อุปกรณ์เครื่องใช้ในบ้าน
- ใช้ในรูปเส้นใยและฟิล์ม
- พอลิพรอพิลีนที่ใช้ในทางการค้ามาผสมด้วยสารเติมแต่ง เช่น สี ผงคาร์บอนดำ ไบแก๊ว และแอนติออกซิแดนท์ เป็นต้น เพื่อให้สมบัติดีขึ้นเหมาะกับการใช้งาน

ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติบางประการของพอลิเมอร์ที่ใช้ [9]

สมบัติ	LDPE	PP
Specific Gravity	0.91-0.93	0.90-0.91
Crystallinity %	50-70	82
Melt Temperature °C	98-120	165-171
Tensile Strength MPa	4.1-16	31-41
Tensile Modulus GPa	0.10-0.26	1.10-1.55
Elongation to break %	90-800	100-600
Impact Strength	no break	21-53
Heat Deflection Temperature °C	38-49	225-250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend)

พอลิเมอร์ผสมเป็นการนำพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมเข้าด้วยกัน โดยโครงสร้างของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิดที่นำมารวมกันอยู่ร่วมกันโดยไม่เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างกัน ซึ่งสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้นี้จะแตกต่างจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักที่นำมาผสมกัน

พอลิเมอร์ผสมจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ พอลิเมอร์ที่สามารถรวมเข้ากันเป็นเนื้อเดียว (miscible blend) และ พอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ (immiscible blend) การผสมเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมสามารถดูได้จากค่าความสามารถในการละลาย (Solubility parameter) ซึ่งเป็นตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ มีหน่วยเป็น  $J^{1/2}cm^{-3/2}$  อาจหาได้จากการคำนวณหรือจากการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2.4

ถ้าค่า solubility parameter มีค่าใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน จะทำให้ค่า  $\Delta H_m = 0$  ดังสมการ (2.3)

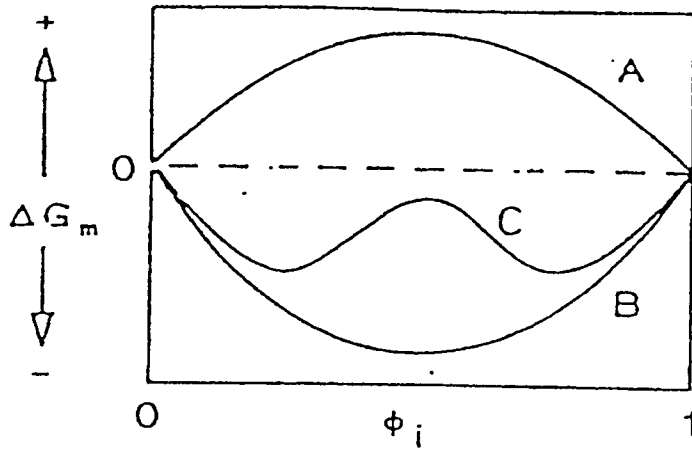
$$\Delta H_m = \phi_1\phi_2(\delta_1-\delta_2)^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

- |                    |     |   |
|--------------------|-----|---|
| เมื่อ $\Delta H_m$ | คือ | เอนทาลปี                                      |
| $\phi_1$           | คือ | สัดส่วนปริมาตรของพอลิเมอร์ชนิดที่ 1           |
| $\phi_2$           | คือ | สัดส่วนปริมาตรของพอลิเมอร์ชนิดที่ 2           |
| $\delta_1$         | คือ | ค่าความสามารถของการละลายของพอลิเมอร์ชนิดที่ 1 |
| $\delta_2$         | คือ | ค่าความสามารถของการละลายของพอลิเมอร์ชนิดที่ 2 |

และจากสมการ (2.4)

$$\Delta G = \Delta H_m - T\Delta S_m \dots\dots\dots (2.4)$$

เมื่อ  $\Delta H_m = 0$  จะทำให้ค่า  $\Delta G$  เป็นลบ แสดงว่าพอลิเมอร์สามารถผสมเข้ากันได้ดี ในทางกลับกันถ้าค่า  $\delta_1-\delta_2$  แตกต่างกันมาก จะทำให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันไม่ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงค่าพลังงานอิสระในการผสมสองส่วนประกอบเข้าด้วยกัน [10]

เมื่อ A แสดงถึงความเข้ากันไม่ได้ของพอลิเมอร์

B แสดงถึงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์

C แสดงถึงความเข้ากันได้บางส่วนของพอลิเมอร์

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าความสามารถในการละลายของพอลิเอทีลีนและพอลิพรอพิลีน ( Solubility Parameter ) [11]

พอลิเมอร์	$\delta$ exp. ( $J^{1/2}/cm^{3/2}$ )	$\delta$ calc. ( $J^{1/2}/cm^{3/2}$ )
พอลิเอทีลีน	15.8-17.1	16.0
พอลิพรอพิลีน	16.8-18.8	17.0

วัตถุประสงค์ของพอลิเมอร์ผสม

1. เพื่อปรับปรุงให้มีสมบัติดีขึ้นในราคาที่เหมาะสม โดยเป็นการขยายขีดความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ของพอลิเมอร์ที่มีราคาแพง
2. เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

## 2.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

### 2.6.1 เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)

เทคนิค DSC เป็นเทคนิคการวิเคราะห์สารด้วยความร้อนที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง เครื่อง DSC-50 ที่ใช้วิเคราะห์ในโครงการนี้เป็นชนิด Heat Flux DSC ที่มีหลักการการทำงานเช่นเดียวกับ Differential Thermal Analysis (DTA) สารตัวอย่างและสารอ้างอิงจะอยู่บนเทอร์โมคัพเพิลที่ต่อกับเตาเผา เมื่อให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างและสารอ้างอิงที่เฉื่อยหรือทำให้สารเย็นลง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในสารตัวอย่าง ทำให้อุณหภูมิของสารตัวอย่าง ( $T_s$ ) และสารอ้างอิง ( $T_r$ ) แตกต่างกัน เมื่อวัดความแตกต่างของอุณหภูมิ ( $T_s - T_r$ ) แล้วพล็อตเทียบกับเวลาหรืออุณหภูมิ จะได้เส้นกราฟของ DSC ค่าความแตกต่างของอุณหภูมินี้จะเป็นส่วน สัดส่วนกับความแตกต่างของความร้อนที่ไหลสู่ตัวอย่างและสารอ้างอิง เมื่อพล็อตค่าความร้อนในหน่วย mW (mJ/sec; 1 mJ/sec = 0.21 mCal/sec) กับอุณหภูมิ พิกที่อยู่นิ่งเหนือแกนแสดงถึงการคายความร้อน และพิกที่อยู่นิ่งใต้แกนแสดงถึงการดูดกลืนความร้อน โดยปริมาณความร้อนคำนวณได้จากพื้นที่ใต้พิก

### 2.6.2 เครื่อง Polarised Light Microscope

เป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาพอลิเมอร์ที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ที่ง่าย ราคาถูกและไม่ทำลายคุณสมบัติของชิ้นงาน สามารถแยกวัตถุที่มีขนาด 1  $\mu\text{m}$  ออกจากกันได้ เมื่อชิ้นงานมีขนาดเท่ากับชิ้นงานที่นำมาตรวจสอบควรมีความบาง แต่เนื่องจากยากที่จะเตรียมความหนาที่ใช้จะอยู่ในช่วง 5 – 10  $\mu\text{m}$  ชิ้นงานจะถูกปิดทับด้วยตัวกลางที่แสงผ่านได้ซึ่งใช้แก้ว ลักษณะของชิ้นงานควรจัดให้มีความสมดุลระหว่างความคมชัดของภาพและความแตกต่างของสี

#### เทคนิคที่ใช้ในการแยกวัตถุภาค

1.Polarise light contrast สามารถใช้แยกวัตถุที่มีการจัดเรียงตัวต่างกัน เช่น ออสัณฐาน หรือ ความเป็นผลึก แต่ไม่เหมาะกับระบบที่มีการจัดเรียงตัวมากกว่า 1 วัตถุภาค ใช้ได้ดีกับพวก เส้นใย และใช้ร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ ได้

2.Phase contrast เหมาะกับชิ้นงานที่มีความบาง (< 10 nm) และ การเปรียบเทียบค่า โดยความแตกต่างของสีปรากฏที่บริเวณขอบ

3.Differential interference contrast ใช้การเปรียบเทียบระหว่างวัตถุภาค มีความสามารถในการแยกได้ดี เหมาะกับวัตถุที่เป็น birefringent

4.Fluorescence เป็นเทคนิคที่มีความไวใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีได้ เช่นการเกิดการเปลี่ยนสภาพ ทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยว ซึ่งทำให้อิเลคตรอนเคลื่อนที่

2.6.3 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี (NMR) [12]

นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี เป็นเทคนิคที่วัดระดับพลังงานที่แตกต่างกันของนิวเคลียสที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็ก

นิวคลีไอ (nuclei) ของธาตุบางชนิดมีสมบัติของแม่เหล็ก เนื่องจากตัวมันมีประจุและประพดิตัวเหมือนกับหมุนอยู่ตลอดเวลา เราสามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแม่เหล็กของนิวคลีไอเหล่านี้ได้เมื่อนำนิวคลีไอไปวางในสนามแม่เหล็ก ตัวอย่างของนิวคลีไอที่มีสมบัติแม่เหล็กได้แก่  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$ ,  $^{15}\text{N}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{31}\text{P}$  เป็นต้น

ตัวอย่างที่เห็นชัดที่สุด คือ นิวคลีไอ  $^1\text{H}$  และ  $^{13}\text{C}$  ซึ่งนิวคลีไอเหล่านี้จะประพดิตัวเหมือนกับเป็นแม่เหล็กอันเล็กๆในสนามแม่เหล็ก และจะจัดเรียงตัวอยู่ในแนวของเส้นแรงแม่เหล็ก แต่เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านควอนตัมของนิวคลีไอทำให้การจัดตัวนิวคลีไอ  $^1\text{H}$  และ  $^{13}\text{C}$  อยู่ในลักษณะที่เป็นไปได้ 2 แบบ คือ จัดตัวตามทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็ก (พวกที่มีพลังงานต่ำ) หรือจัดตัวทิศทางตรงข้ามกับสนามแม่เหล็ก(พวกที่มีพลังงานสูง)

เนื่องจากนิวคลีไอของ  $^1\text{H}$  แต่ละตัวในสารตัวอย่างอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน จึงทำให้มีความหนาแน่นของอิลেকตรอนแตกต่างกัน ดังนั้น  $^1\text{H}$  เหล่านี้จะไม่เกิดเรโซแนนซ์ที่ 100MHz เท่ากันทุกตัวแต่จะเกิดเรโซแนนซ์ที่ความถี่คลื่นวิทยุแตกต่างจาก 100 MHz เล็กน้อย ซึ่งเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า chemical shift โดยทั่วไปการบอก chemical shift ใน NMR นั้นมักบอกโดยการเทียบกับความถี่ของสารมาตรฐาน เช่น เทตระเมทิลไซเลน (tetramethyl silane,  $\text{Me}_4\text{Si}$ ) ใช้ตัวย่อว่า TMS หรือเกลือโซเดียมของ 4,4-ไดเมทิล-4-ซิลาเพนเทนซัลโฟนิค แอซิด (4,4-dimethyl-4-silapentane sulphonic acid) ใช้ตัวย่อว่า DDS

TMS นิยมใช้ในตัวอย่างละลายที่ไม่ใช้น้ำ และสามารถใช้ได้เป็นสารมาตรฐานได้ทั้ง  $^1\text{H}$  และ  $^{13}\text{C}$  หมู่เมทิลทั้งหมดจะเกิดเรโซแนนซ์ที่เดียวกัน แม้จะใช้ในปริมาณที่น้อยก็สามารรถเห็นสัญญาณได้อย่างชัดเจนแล้ว นอกจากนี้พีคของ TMS ยังอยู่ห่างจากพีคของโปรตอนส่วนใหญ่ และเกิดเรโซแนนซ์ที่สนามแม่เหล็กมีค่าสูงกว่าโปรตอนในสารประกอบอินทรีย์ส่วนมาก นอกจากนี้ TMS ยังเป็นสารเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารอินทรีย์ส่วนอื่นๆ และ TMS มีจุดเดือดต่ำ สามารถกำจัดออกจากสารละลายได้ง่าย จึงทำให้ TMS เป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป และกำหนดให้พีคของ TMS เป็น 0 ppm

## การหาค่า $\delta$

$$\delta = \frac{\text{chemical shift in Hz from TMS}}{\text{Spectrometer Frequency in Hz}} \times 10^6$$

สำหรับโปรตอนส่วนใหญ่ ค่า  $\delta$  จะอยู่ในช่วงจาก 0 ถึงประมาณ 20 ppm

นิวคลีไอที่เกิดปรากฏการณ์ทาง NMR ได้ต้องเป็นนิวคลีไอที่มีสปินควอนตัมเต็มเบอร์  $I$  มากกว่า 0 ซึ่งสปินควอนตัมเต็มเบอร์  $I$  นี้มีความสัมพันธ์กับเลขมวล (mass number) และเลขอะตอม (atomic number) ของนิวคลีไอดังต่อไปนี้

เลขมวล	เลขอะตอม	สปินควอนตัมเต็มเบอร์
เลขคี่	เลขคี่หรือเลขคู่	$1/2, 3/2, 5/2, \dots$
เลขคู่	เลขคู่	0
เลขคู่	เลขคี่	$1, 2, 3, \dots$

### 2.6.4 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding)

การฉีดขึ้นรูปเป็นเทคโนโลยีการแปรรูปที่สำคัญ และใช้กันอย่างกว้างขวาง มีความสะดวกในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติก ข้อดีของการฉีดขึ้นรูป เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีการแปรรูปชนิดอื่นๆ ก็คือความสามารถในการผลิตชิ้นงานพลาสติกที่มีขนาดต่างๆ ไม่ว่าจะมียุทธศาสตร์เล็กหรือใหญ่ โดยใช้เครื่องฉีดพลาสติกที่สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ และมีความสะดวกในการป้อนวัตถุดิบ จึงทำให้กระบวนการฉีดขึ้นรูปสามารถทำการผลิตได้ในอัตราสูง

การฉีดขึ้นรูปเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดพลาสติกหลอมในปริมาณที่กำหนด จากนั้นจะทำการฉีดพลาสติกหลอมเข้าไปในแม่พิมพ์ เพื่อทำให้เกิดเป็นรูปร่างของชิ้นงานตามที่ต้องการ หลังจากหล่อเย็นชิ้นงานแล้ว แม่พิมพ์จะเปิดออก และชิ้นงานจะถูกกระทุ้งออกมา จากนั้นแม่พิมพ์จะปิดอีกครั้งหนึ่ง เพื่อเตรียมเริ่มวัฏจักรใหม่ของการฉีดขึ้นรูปต่อไป

เครื่องฉีดพลาสติกจะใช้เกลียวหนอนในการควบคุมการหลอมพลาสติกก่อนที่จะทำการฉีดเข้าไปยังช่องว่างของแม่พิมพ์ เกลียวหนอนจะหมุนเพื่อลำเลียงและหลอมพลาสติกที่ถูกส่งมาจากกรวยป้อนเม็ดพลาสติก พลาสติกหลอมจะถูกสะสมอยู่ด้านหน้าของกระบอกฉีด จากนั้นเกลียวหนอนจะเคลื่อนที่ถอยหลังจนกระทั่งได้น้ำหนักของการฉีดพลาสติกหลอมตามต้องการ และการฉีดพลาสติกหลอมจะเริ่มขึ้นในขณะที่เกลียวหนอนเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

พลาสติกหลอมจะถูกฉีดผ่านหัวฉีดที่ประกอบติดกับตอนปลายของกระบอกฉีดผ่านเข้าไปยังช่องทางเข้าของแม่พิมพ์ แม่พิมพ์จะยึดติดอยู่บนแท่นยึดแม่พิมพ์ซึ่งด้านหนึ่งจะถูกยึดติดอยู่กับที่

ในขณะที่อีกด้านหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระตามเพลลา ทำให้แม่พิมพ์สามารถปิดและเปิด  
ออกได้

การหล่อเย็นแม่พิมพ์จะเกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากพอลิเมอร์หลอมผ่านผนังของแม่  
พิมพ์ที่เย็น ซึ่งจะทำให้พลาสติกเย็นตัวลง และแข็งตัวถึงจุดที่จะสามารถกระทุ้งออกจากแม่พิมพ์  
ได้ การเย็นตัวของพลาสติกที่แตกต่างกัน จะทำให้เกิดการจัดเรียงโครงสร้างในโมเลกุลแตกต่างกัน



## บทที่ 3

### การทดลอง

#### 3.1 แผนงานการศึกษา

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาและวิจัยผลของการไฮโดรจิเนชันยางไอโซพรีนซึ่งนำไปใช้เป็นตัวช่วยผสมในพอลิผสมระหว่างพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน โดยมีขอบเขตดังนี้

##### ตอนที่ 1 การไฮโดรจิเนชันยางไอโซพรีน

1. ศึกษาการไฮโดรจิเนชันยางไอโซพรีน
2. ศึกษาสัณฐานวิทยาและโครงสร้างของยางไอโซพรีนก่อนและหลังการทำไฮโดรจิเนชัน

##### ตอนที่ 2 พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน

1. เพื่อศึกษาปริมาณตัวช่วยผสมที่เหมาะสม
2. ศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม
3. ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม

#### 3.2 สารเคมี

1. ยางไอโซพรีน (Isoprene rubber)
2. พอลิเอทิลีน (Polyethylene) ชนิดความหนาแน่นต่ำ
3. พอลิพรอพิลีน (Polypropylene)
4. พัลลาเดียม (II) แอซิเตต (Pd (II) acetate)
5. คลอโรฟอร์ม (Chloroform)
6. แอซิโตน (Acetone)
7. ไซลีน (Xylene)
8. เมทานอล (Methanol)
9. แคลเซียมคลอไรด์ที่ปราศจากน้ำ (Anhydrous  $\text{CaCl}_2$ )
10. ไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen)
11. ก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen gas)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ภาชนะสังเคราะห์ความดันสูง
2. ตู้อบ
3. ตู้อบสุญญากาศ
4. บีกเกอร์
5. เครื่องชั่ง
6. ช้อนตักสาร
7. ชุดกรองลดความดัน
8. กระจกนาฬิกา
9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (Scanning Electron Microscope)
10. เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรมิเตอร์ (Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer)
11. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter)
12. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine)
13. เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile tester)
14. เครื่องวัดแรงกระแทก (Izod Impact tester)
15. ขวดรูปชมพู่
16. เทอร์โมมิเตอร์
17. เครื่องเขย่า
18. เครื่องปั่นกวนและแท่งแม่เหล็ก
19. เครื่อง Polarised Light Microscope

### 3.4 วิธีการทดลอง

#### 1. การไฮโดรจีเนชัน

##### 1.1 การเตรียมตัวทำละลาย

แอซิโตนและคลอโรฟอร์มที่ใช้ในการทดลอง ต้องทำให้ปราศจากน้ำโดยการเติม Anhydrous  $\text{CaCl}_2$  ที่มากเกินไปแล้วกรอง  $\text{CaCl}_2$  ออก

##### 1.2 การทำยางให้บริสุทธิ์

ยางไอโซพรีนที่ใช้ในการทดลองจะต้องนำมาทำให้บริสุทธิ์ โดยละลายในคลอโรฟอร์ม แล้วตกตะกอนในเมทานอล นำไปอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ  $80^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 การทำปฏิกิริยา

ละลายยางที่ทำให้บริสุทธิ์แล้ว ( 2 กรัม) ในแอซิโตนและคลอโรฟอร์ม (50+50 มิลลิลิตร) จากนั้นเติมฟัลลาเดียม (II) แอซิเตด (40 มิลลิกรัม) นำสารละลายผสมที่ได้ใส่ในภาชนะสังเคราะห์ ความดันสูง(autoclave) ดูดอากาศภายในออกโดยปั๊มสุญญากาศ แล้วอัดก๊าซไฮโดรเจน นำไปเขย่า ด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 60 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที โดยอุณหภูมิและความดันที่ใช้ในปฏิกิริยากำหนดดังตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสถานะและสารเคมีที่ใช้ในการไฮโดรจิเนชันยางไอโซพรีน

ตัวอย่างที่	น้ำหนักยาง(g)	น้ำหนักCat.(mg)	เวลา(min)	อุณหภูมิ(°C)	ความดัน(bar)	Solvent
1	2	40	60	60	14	Chloroform
2	2	40	60	60	14	Chloroform
3	2	40	60	60	7	Chloroform +Acetone
4	2	40	60	40	14	Chloroform +Acetone
5	2	40	60	60	14	Chloroform +Acetone
6	2	40	60	60	7	Chloroform +Acetone

จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ค่อยๆปล่อยก๊าซไฮโดรเจนออก กรองตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารละลาย แล้วนำสารละลายที่ได้ตกตะกอนด้วยเมทานอล นำตะกอนไปอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

### 2. การเตรียมพอลิเมอร์ผสม

ซึ่งพอลิเมอร์และยางตามปริมาณที่แสดงดังตารางที่ 3.2 ใส่ในถังปฏิกรณ์ขนาด 2 ลิตร เติมไซลีน 1 ลิตร ทำการปั่นกวน และให้ความร้อน 100 °C จนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นระเหยตัวทำละลายออก นำไปอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งพอลิเมอร์ที่ได้จะนำไปฉีดขึ้นรูปเพื่อทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป

ตารางที่ 3.2 แสดงการเตรียมพอลิเมอร์ผสม

สูตรที่	PP (g)	LDPE (g)	Isoprene (g)	Hydrogenated isoprene (g)
1	100	100	0	0
2	99.5	99.5	1	0
3	99.0	99.0	2	0
4	98.5	98.5	3	0
5	97.5	97.5	5	0
6	95.0	95.0	10	0
7	99.5	99.5	0	1
8	99.0	99.0	0	2
9	98.5	98.5	0	3

### 3. การเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบสมบัติต่างๆ

#### 3.1 NMR

นำตัวอย่างยางไปวิเคราะห์ด้วย NMR โดยใช้ Deterated chloroform ( $CDCl_3$ ) เป็นตัวทำละลาย

#### 3.2 ทดสอบด้วยเครื่อง DSC

ซึ่งพลาสติกใน pan สำหรับทดสอบด้วยเครื่อง DSC จำนวน 5 – 10 mg ให้ทราบปริมาตรที่แน่นอน แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC โดยใช้อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียส / นาที อุณหภูมิสูงสุด 200 องศาเซลเซียส และอัตราให้ความเย็น 20 องศาเซลเซียส / นาที

จากนั้นทำการศึกษาอุณหภูมิการตกผลึก ( $T_c$ ) อุณหภูมิการหลอมเหลว ( $T_m$ ) และพื้นที่ใต้กราฟ การคำนวณหาความร้อนของการตกผลึก ( $H_c$ ) และ ความร้อนของการหลอมเหลว ( $H_f$ ) ต่อนักสารตัวอย่าง ดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (% Crystallinity) สามารถคำนวณได้จาก

$$\% \text{ Crystallinity} = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^0} \times 100$$

โดย  $\Delta H_f$  คือ ความร้อนในการหลอมผลึกตัวอย่าง

$\Delta H_f^0$  คือ ความร้อนในการหลอมผลึกพอลิเมอร์บริสุทธิ์

เมื่อพอลิเอทิลีนที่มีความเป็นผลึก 100% ซึ่งมีค่า 293 J/g [13]

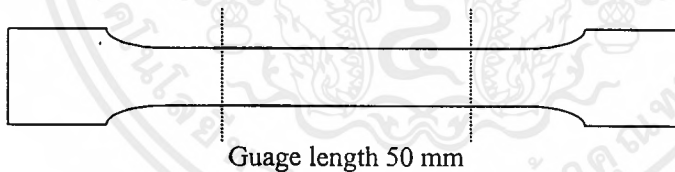
และพอลิพรอพิลีนที่มีความเป็นผลึก 100% ซึ่งมีค่า 163 J/g

### 3.3 ทดสอบด้วยเครื่อง Polarised Light Microscope

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์รูปร่างและขนาดของ สเฟียรูไลต์ของพอลิเมอร์ โดยตั้งอุณหภูมิของ Hot Plate 180 องศาเซลเซียส นำแผ่นพอลิเมอร์บาง ๆ ที่ตัดไว้ วางบนแผ่น สไลด์และปิดทับด้วย Cover slip รอกจนกระทั่งพอลิเมอร์หลอมตัว ไล่ปลายนิ้วแตะบน Cover slip ทิ้งไว้ให้เกิดการเย็นตัว เพื่อให้เกิดแผ่นฟิล์มที่บางที่สุด แล้วนำมาถ่ายภาพโดยปรับเปลี่ยนระยะเพื่อให้ภาพคมชัดที่สุด ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D2117-82

### 3.4 สมบัติความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength)

นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปฉีดขึ้นรูป dumbbell ดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติความทนต่อแรงดึง



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติความทนต่อแรงกระแทก

ด้วยเครื่องฉีดพลาสติก ( Injection molding machine, Cosmo รุ่น TTI 220/80 HITEC; Welltec Industrial Equipment ) เป็นชิ้นงานในการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile tester ,LLOYD รุ่น LR 30 K;LLOYD Instrument) ใช้ความเร็วในการดึง 300 mm./min ระยะของการจับชิ้นงาน( Gauge length) 50 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิห้องตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D638-87b เพื่อหาค่า Yield Strength Young's Modulus at 1% Elongation

### 3.5 สมบัติความทนต่อแรงกระแทก(Impact Strength)

นำชิ้นงานที่เตรียมเป็นรูป notch izod ดังรูปที่ 3.2 มาทดสอบด้วยเครื่องวัดแรงกระแทก ( Izod impact tester, Yasuda รุ่น 7697 ; Yasuda Seiki Seisakusho ) จะได้ค่าความทนต่อแรงกระแทกในหน่วย  $\text{kJ/m}^2$  ที่อุณหภูมิห้องตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D256-87



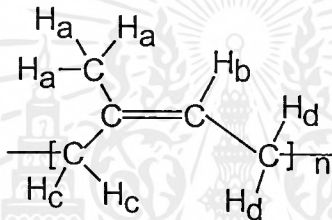
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

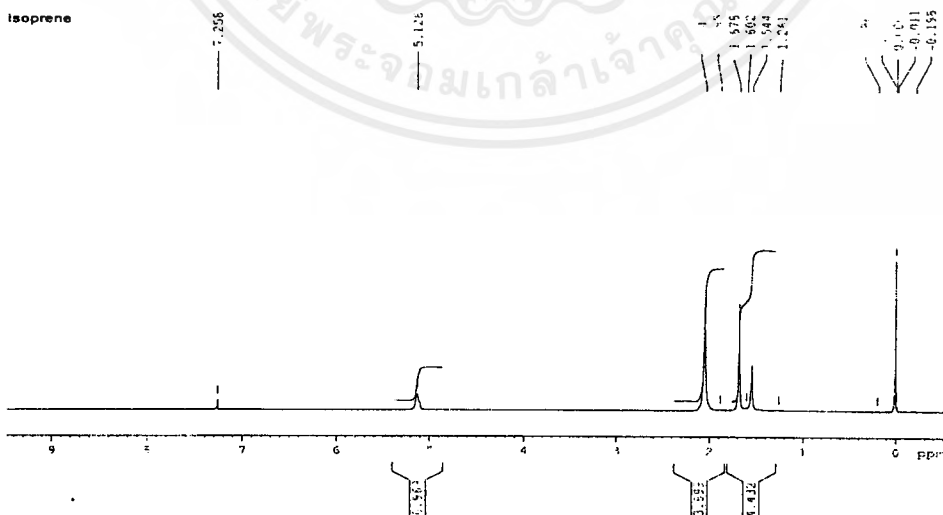
เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมเป็นการนำเอาพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันมาผสมกัน โดยไม่เกิดพันธะเคมีต่อกัน ซึ่งความสามารถในการเข้ากันได้นั้น สามารถพิจารณาได้จากค่า solubility parameter ซึ่งพบว่าพอลิเมอร์ผสมยังเข้ากันได้ไม่ตีพอ ) ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงการเข้ากันของพอลิเมอร์ผสม โดยเติมสารช่วยผสม จากการทดลองสามารถแบ่งผลการทดลองได้ดังนี้

#### 4.1 การศึกษาโครงสร้างของยางไอโซพรีน

จากสูตรโครงสร้างของไอโซพรีน

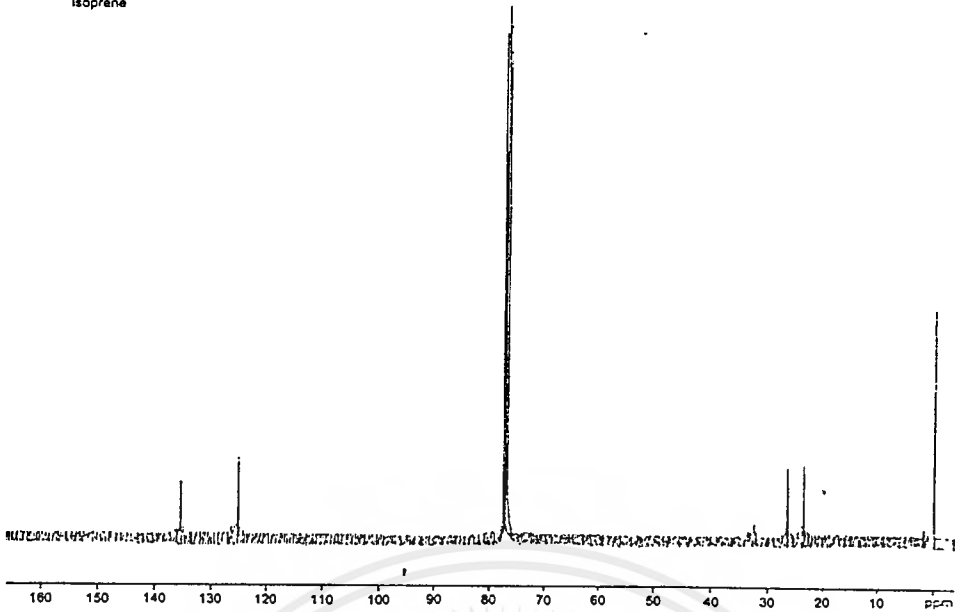


เมื่อนำไปทดสอบด้วย NMR จะพบ chemical shift ที่ 5.1 ppm ซึ่งเป็นของโปรตอนที่อยู่กับพันธะคู่ ( $H_b$ ) และที่ 1.6-2.0 ppm ( $H_a, H_c, H_d$ ) เป็นของโปรตอนที่อยู่กับคาร์บอนที่อิ่มตัวรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงผล  $^1\text{H}$  NMR ของยางไอโซพรีน

Isoprene



รูปที่ 4.2 แสดงผล <sup>13</sup>C NMR ของยางไอโซพรีน

DU=u, USER=service, NAME=isoprene, EXPNO=2, PROCNO=1  
 F1=11.000ppm, F2=-1.000ppm, MI=0.00cm, MAXI=10000.00cm, PC=1.000

#	ADDRESS	FREQUENCY [Hz]	[PPM]	INTENSITY	HISTOGRAM
1	7265.5	2178.417	7.2582	1.12	*
2	14260.9	1538.485	5.1261	2.97	**
3	24384.6	612.369	2.0403	9.50	*****
4	24895.0	565.678	1.8848	0.15	
5	25572.2	503.734	1.6784	12.50	*****
6	25824.0	480.693	1.6016	0.42	
7	26012.2	463.480	1.5443	1.12	*
8	26943.0	378.333	1.2606	0.12	
9	30435.1	58.879	0.1962	0.06	
10	31030.4	4.413	0.0147	2.48	**
11	31078.7	0.000	0.0000	18.06	*****
12	31115.0	-3.317	-0.0111	0.62	*
13	31728.3	-59.426	-0.1980	0.09	

รูปที่ 4.3 แสดงผลความถี่ของ <sup>1</sup>H ของยางไอโซพรีน

และสามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การไฮโดรจิเนชันได้จากสมการ (2.2) คือ

$$y = 100 - \frac{1000}{x+3}$$

เมื่อ  $y = \% \text{ Hydrogenation}$

$x = \text{จำนวนโปรตอนของพันธะอิมิตัวต่อจำนวนโปรตอนของพันธะคู่}$

จากรูปที่ 4.3 จำนวนโปรตอนของพันธะอิมิตัวต่อจำนวนโปรตอนของพันธะคู่เท่ากับ  $22.57 : 2.97 \cong 7$  เมื่อนำไปแทนในสมการ 2.2 จะได้ค่า  $y$  เท่ากับ 0 ซึ่งถือว่าไม่มีการไฮโดรจิเนชัน แสดงว่าเป็นยางไอโซพรีน ผลการไฮโดรจิเนชันคำนวณได้ดังตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการไฮโดรจิเนชัน

ตัวอย่าง	กรอง	สี	%ไฮโดรจิเนชัน
1	ไม่ได้	ดำ	29.7
2	ไม่ได้	ดำ	26.5
3	ไม่ได้	ดำ	28.0
4	ไม่ได้	ดำ	20.4
5	ได้	ขาว	24.8
6	ได้	ขาว	26.0

จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างที่ 1-4 ไม่สามารถนำมาใช้ได้ เพราะไม่สามารถแยก Pd ออกมาได้ เมื่อนำไปใช้เป็นตัวช่วยผสมอาจทำให้เกิดผลข้างเคียงได้ ซึ่งตัวอย่างที่เราสามารถใช้ได้ก็คือ ตัวอย่างที่ 5 และ 6 ซึ่งตัวอย่างที่ 6 ให้เปอร์เซ็นต์การไฮโดรจิเนชันมากกว่าคือ 26 % จึงนำไปใช้เป็นตัวช่วยผสมในพอลิเมอร์

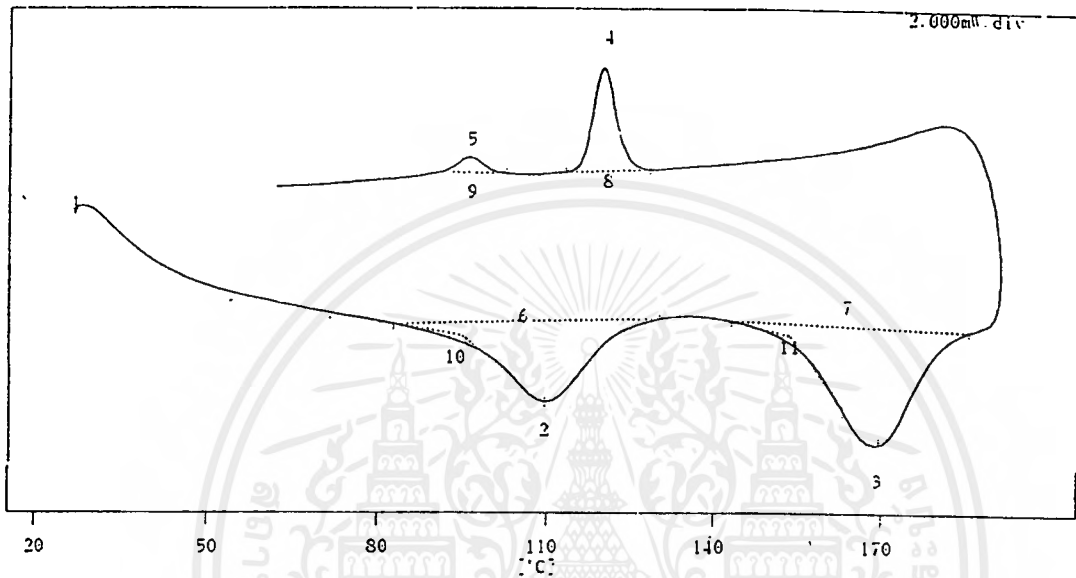
## 4.2 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม

จากการทดลองด้วย DSC จะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.4

DATE(y.m.d) : 99/02/18  
 SAMPLE NAME : 0;IR  
 COMMENT :  
 SAMPLE Q'TITY: 7.2 mg  
 MODULE TYPE : DSC  
 SAMPLING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

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



[ TEMP. ]	TEMP (°C)	Heat Flow (mW)
1	26.7	-0.4932
2	109.4	-6.615
3	169.4	-8.0356
4	119.8	4.1179
5	95.7	1.229

[ HEAT ]	Ti (°C)	Tf (°C)	Heat (mJ)
6	82.6	130.1	-149.348
7	143	183.5	-200.57
8	128.1	112.9	283.316
9	102.4	90	70.474

[ TANGENT ]	Ti (°C)	Tf (°C)	Intersection (°C)
10	71.6	104.1	94.3
11	143.6	162.8	153.4

10	143.3	163.1	154.2
----	-------	-------	-------

รูปที่ 4.4 แสดงผลของ DSC

จาก DSC Thermogram สามารถหาเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก ได้จากสมการ 4.1

$$\% \text{ Crystallinity} = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^0} \times 100 \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

ซึ่ง  $\Delta H_f$  ของ PE = 293 J/g  
 $\Delta H_f$  ของ PP = 163 J/g

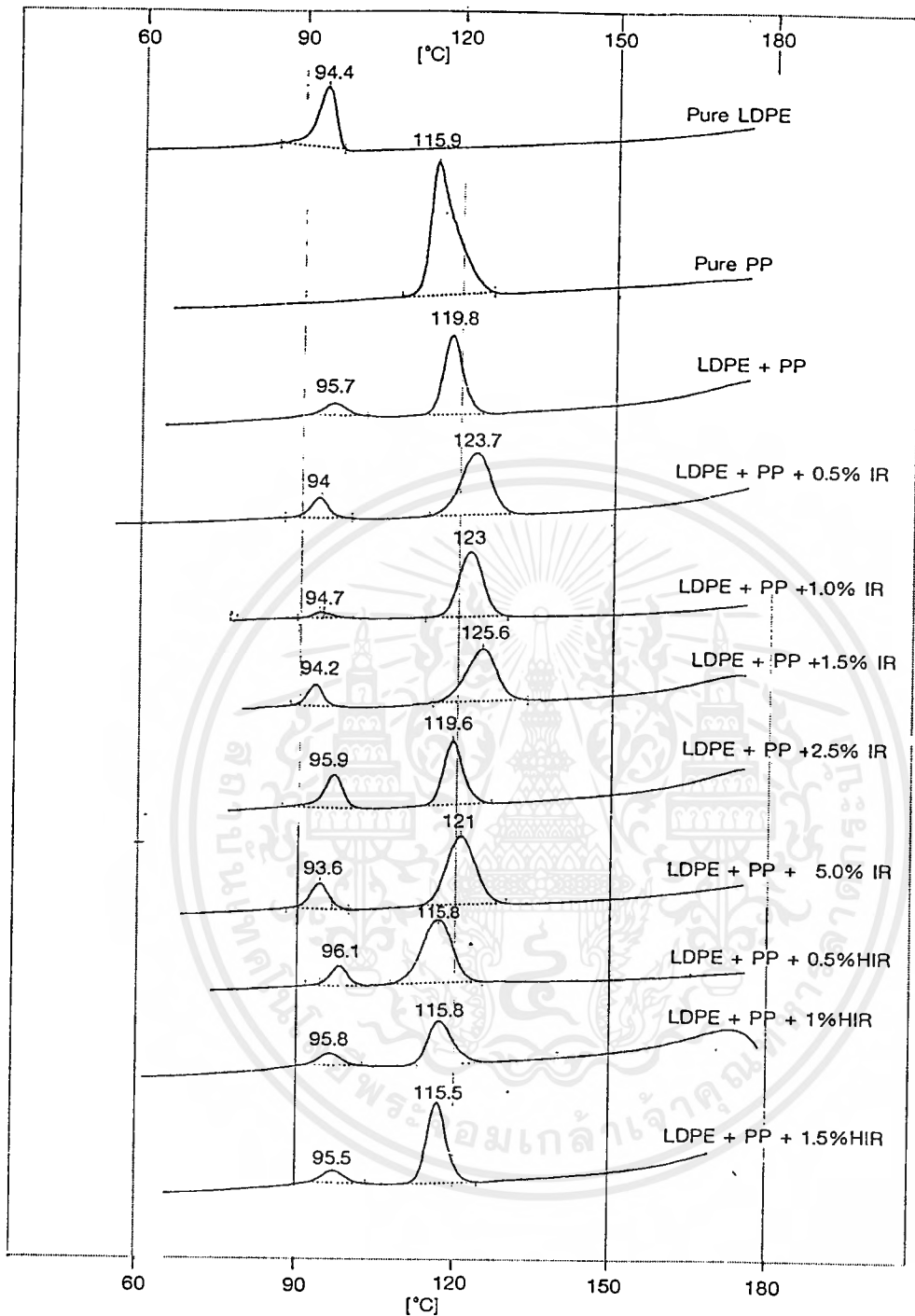
คำนวณได้ดังนี้จากตาราง 4.2 ตัวอย่าง LDPE

$$\begin{aligned} \% \text{ crystallinity} &= 387.97 \times 100/293 \\ &= 17 \% \end{aligned}$$



ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลอง DSC

Sample	T <sub>m</sub> (°C)		Weight (mg)		Heat f (mJ)		H <sub>f</sub> (J/g)		T <sub>c</sub> (°C)		Heat c (mJ)		H <sub>c</sub> (J/g)		%Crys. Of LDPE		%Crys. Of PP	
	LDPE	PP	LDPE	PP	LDPE	PP	LDPE	PP	LDPE	PP	LDPE	PP	LDPE	PP	Melt	Recrys.	Melt	Recrys.
LDPE	108	0	7.8	0	-387.97	0	-49.74	0	94.4	0	301.25	0	38.622	0	17	13	0	0
PP	0	172.7	0	7.8	0	-540.6	0	-69.31	0	115.9	0	643.91	0	82.552	0	0	42.5	50.6
LD+PP	109.4	169.4	3.6	3.6	-149.3	-200.4	-41.49	-55.66	95.7	119.8	70.474	283.32	19.576	78.699	14.16	6.68	34.1	48.3
0.50%	107.2	168.9	3.73	3.73	-112.6	-226.9	-30.18	-60.82	94	123.7	96.743	312.15	25.936	83.685	10.3	8.85	37.3	51.3
1%	107.7	168.4	3.663	3.663	-37.02	-174.6	-10.11	-47.67	94.7	123	28.108	253.04	7.6735	69.079	3.45	2.62	29.24	42.39
1.50%	108.5	168.4	3.69	3.69	-127.5	-166.2	-34.54	-45.04	94.2	125.6	90.93	261.48	24.642	70.861	11.8	9.36	27.6	43.47
2.50%	111.5	169.7	3.6	3.6	-190.3	-173.5	-52.86	-48.2	95.9	119.6	183.16	232.39	50.878	64.554	18	17.36	29.57	39.6
5%	108.1	167.8	3.96	3.96	-134.5	-198.3	-33.97	-50.07	93.6	121	104.71	280.74	26.442	70.893	11.59	9.02	30.67	43.49
H 0.5%	107.7	168.7	3.88	3.88	-145.8	-167.1	-37.59	-43.08	96.1	115.8	94.176	324.16	24.272	83.546	12.8	8.28	26.4	51.25
H 1%	107.8	167.9	3.61	3.61	-147.4	-181.9	-40.83	-50.38	95.8	115.8	107	273.26	29.639	75.696	13.93	10.11	30.9	46.43
H 1.5%	108.2	168.5	4.18	4.18	-191.6	-256.1	-45.83	-61.28	95.5	115.5	126.46	305.71	30.253	73.137	15.64	10.32	37.6	44.87

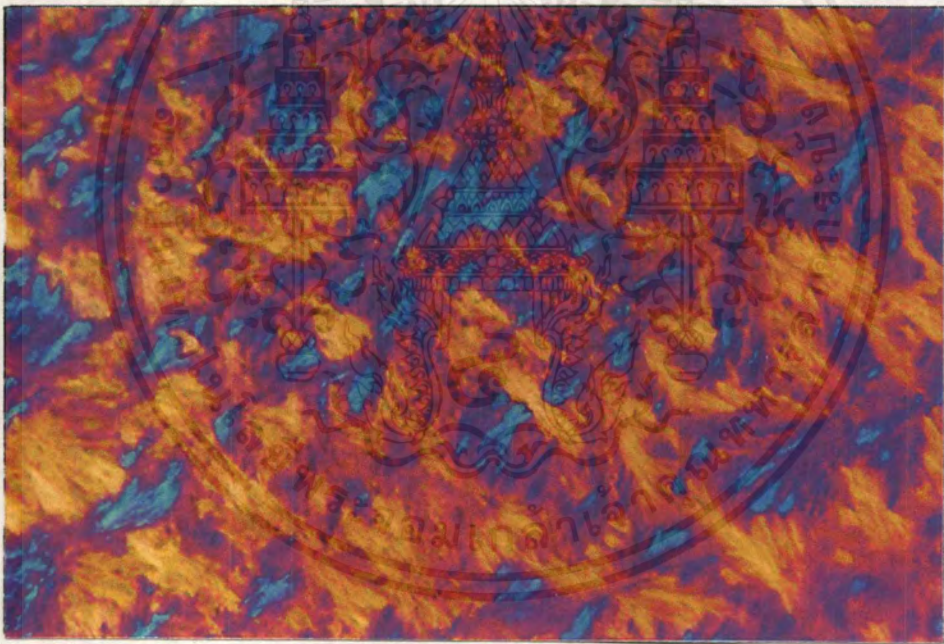


รูปที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิการตกผลึกของพอลิเมอร์บริสุทธิ์กับพอลิเมอร์ผสม

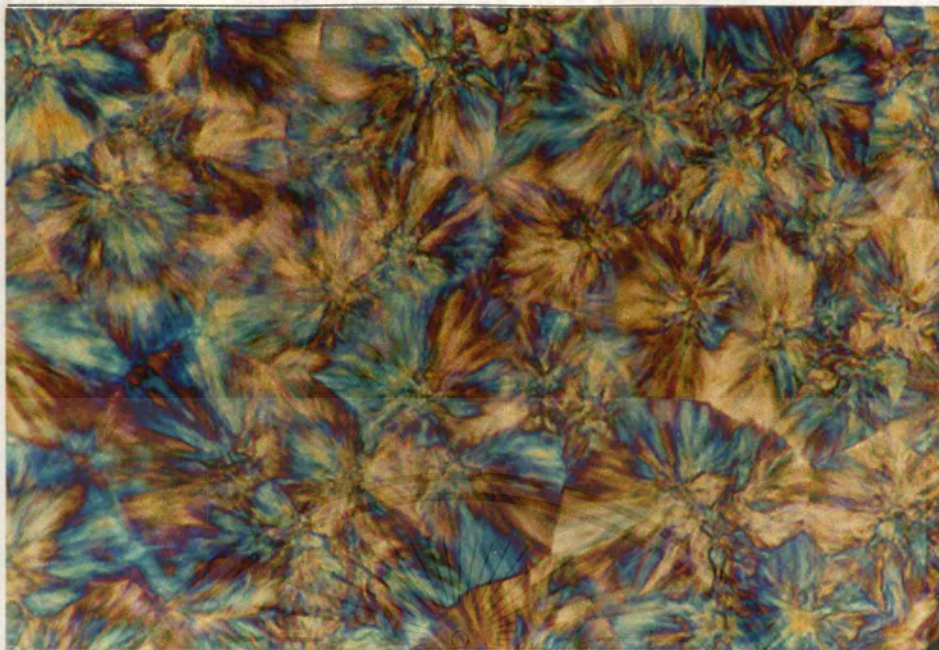
จากรูปที่ 4.5 จากการทดสอบพบว่า การใส่ยางไอโซพรีนเป็นสารช่วยผสมยิ่งทำให้ค่า  $T_c$  ของ PP มากขึ้น เนื่องจากเมื่อใส่ยางไอโซพรีนลงไปในพอลิเมอร์ผสมเหมือนเป็นการเติมสิ่งแปลกปลอมลงไป ซึ่งไปทำหน้าที่เป็น nucleating agent ทำให้ตกผลึกได้ง่ายขึ้น แต่เมื่อใส่ยางไอโซพรีนที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันเป็นตัวช่วยผสมพบว่าค่า  $T_c$  ของ PP มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีตัวช่วยผสม ซึ่งแสดงว่ายางไอโซพรีนที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันจะมีโครงสร้างที่เหมือนกับ PE ต่อกับ PP ทำให้มีการเกี่ยวพันกันของสายโซ่ระหว่างตัวช่วยผสมกับพอลิเมอร์ผสม จึงทำให้วัสดุภาค PP มีการตกผลึกได้ช้าลง

#### 4.3 การศึกษาสมบัติทางแสง

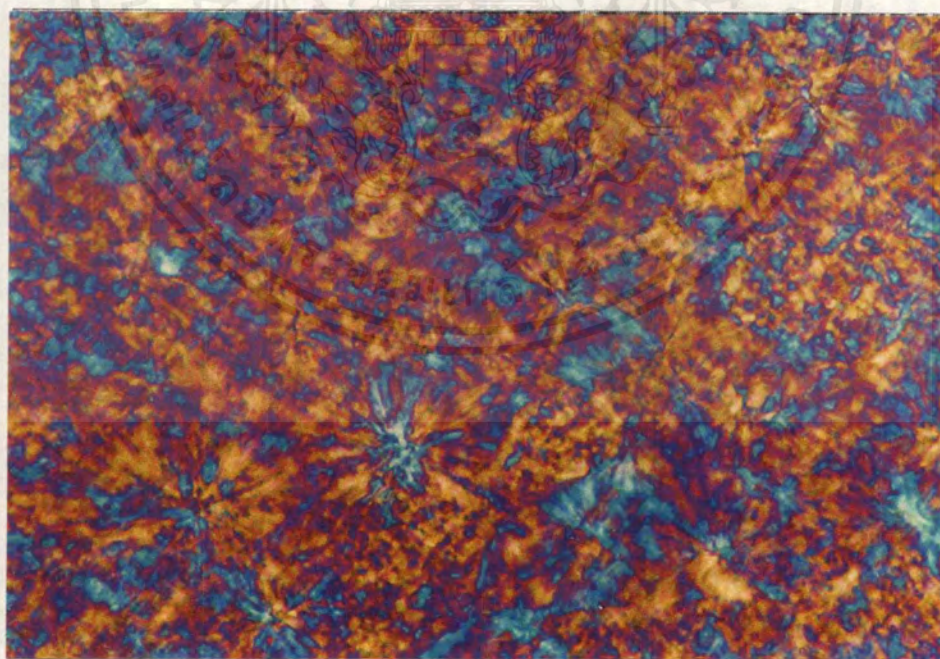
เมื่อทำการศึกษาด้วยเครื่อง Polarised Light Microscope จะได้ผลดังนี้



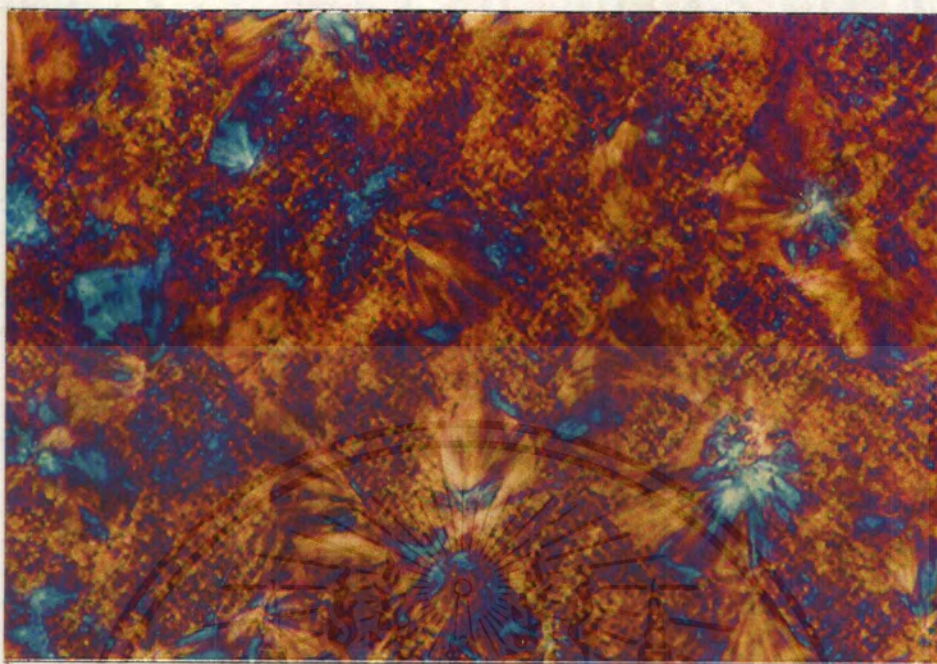
รูปที่ 4.6 แสดงสเฟียรูไลท์ของ LDPE



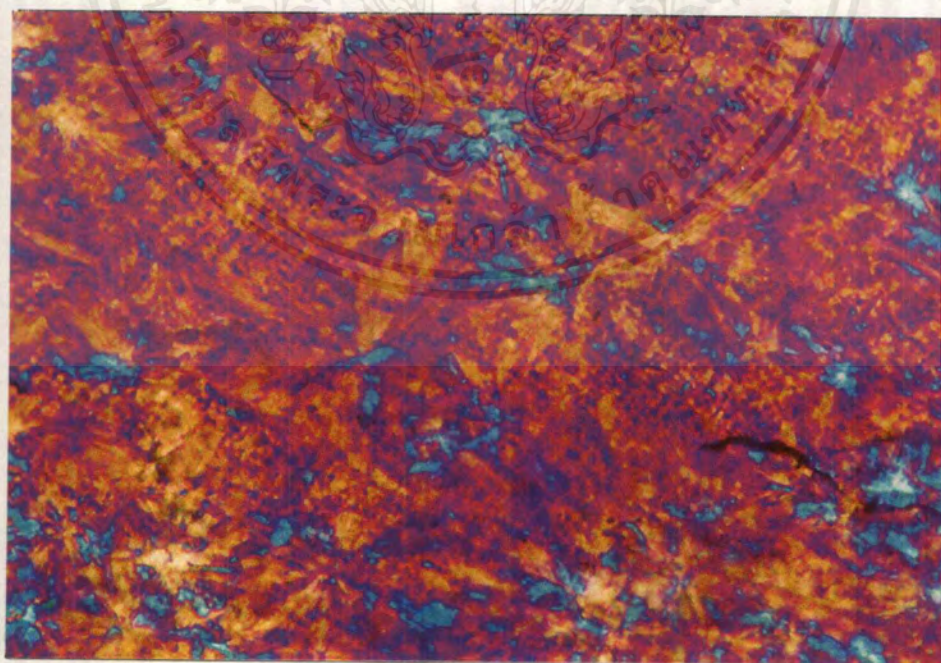
รูปที่ 4.7 แสดงสเฟียรูไลต์ของ PP



รูปที่ 4.8 แสดงสเฟียรูไลต์ของ LDPE+ PP



รูปที่ 4.9 แสดงสเฟียรูไลต์ของ LDPE+ PP+ 0.5% Isoprene

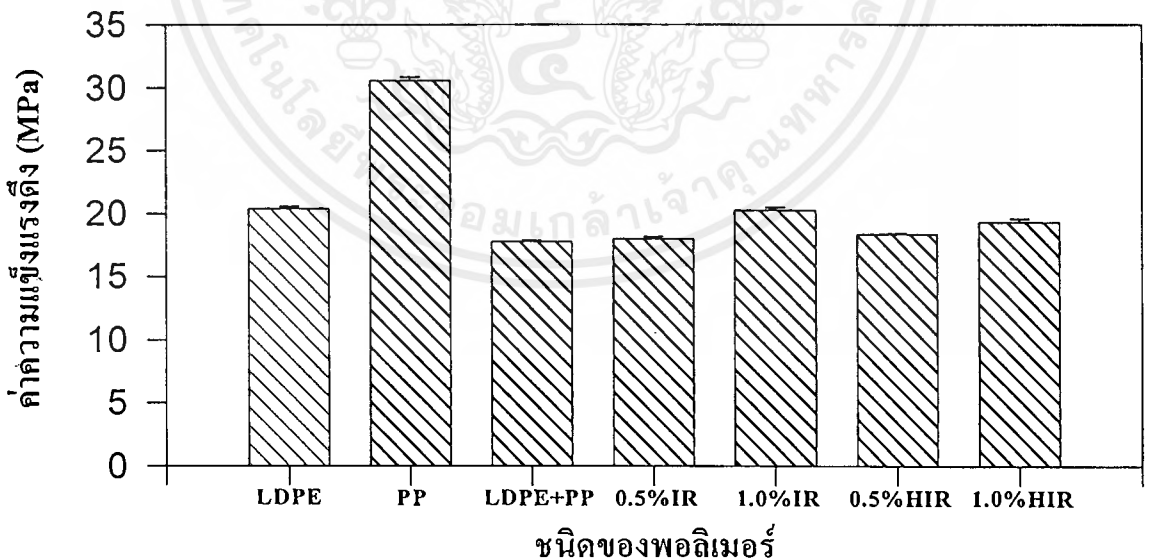


รูปที่ 4.10 แสดงสเฟียรูไลต์ของ LDPE+ PP+ 0.5% Hydrogenated isoprene

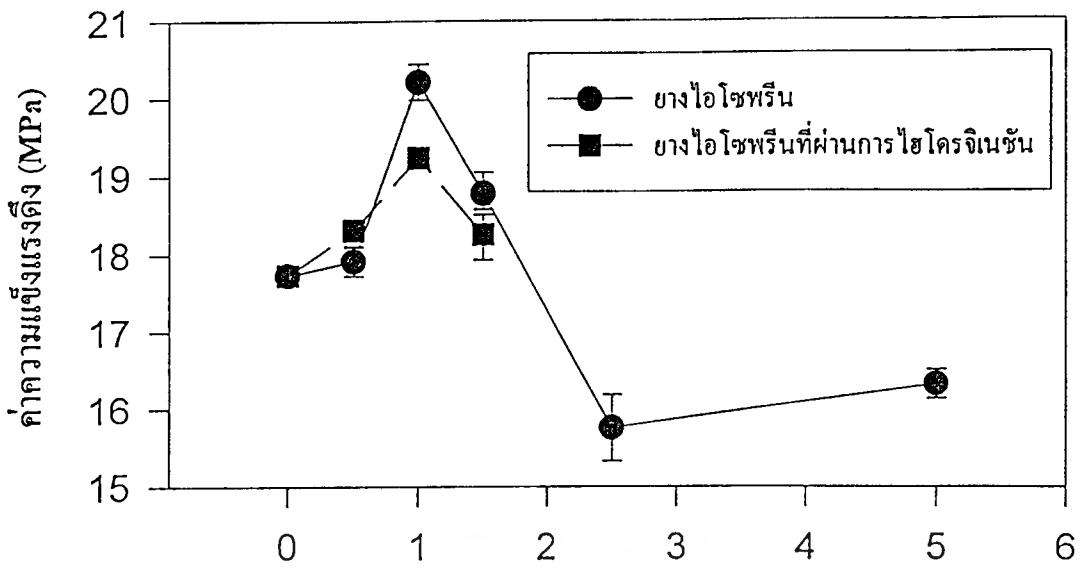
จากรูปจะเห็นลักษณะสเฟียรูไลท์ของ LDPE เป็นรีวี่ว่ส่วนของ PP จะมีลักษณะเป็นทรงกลมมีขนาดใหญ่กว่าของ LDPE เมื่อทำการผสมระหว่าง LDPE กับ PP จะพบว่ามีการกระจายตัวของ LDPE กับ PP โดยจะมีลักษณะการจับตัวเป็นกลุ่มของตัวเอง และพบว่าขนาดของผลึก LDPE กับ PP ที่ทำการผสมจะมีขนาดเล็กกว่า LDPE กับ PP ที่บริสุทธิ์ เมื่อทำการผสมระหว่าง LDPE กับ PP โดยใส่ยางไอโซพรีน 0.5% พบว่ามีการเกิดผลึกเล็กๆอยู่ทั่วไปซึ่งสอดคล้องกับผล DSC และที่มีการเพิ่มขึ้นของ  $T_c$  ซึ่งแสดงถึงการตกผลึกที่เร็วขึ้น เมื่อทำการผสมระหว่าง LDPE กับ PP โดยใส่ยางไอโซพรีนที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันแล้ว 0.5% พบว่ามีการกระจายตัวกันของวัฏภาค LDPE และ PP เนื่องจากยางไอโซพรีนที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันช่วยในการผสมของ LDPE และ PP ได้ดียิ่งขึ้น

#### 4.4 การศึกษาสมบัติเชิงกล

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม พบว่ามีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน กล่าวคือพอลิเมอร์ผสมที่มีสารช่วยผสมจะให้สมบัติเชิงกล (ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มอดูลัส และความทนต่อแรงกระแทก) ที่สูงกว่า ดังแสดงในรูป 4.11-4.18

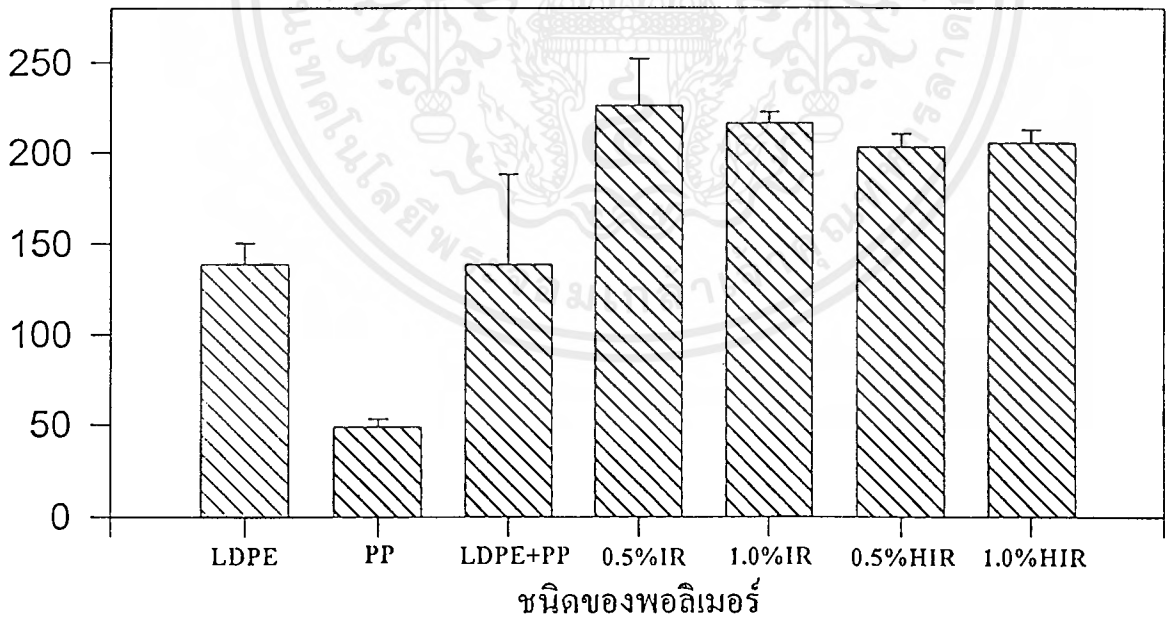


รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับพอลิเมอร์บริสุทธิ์

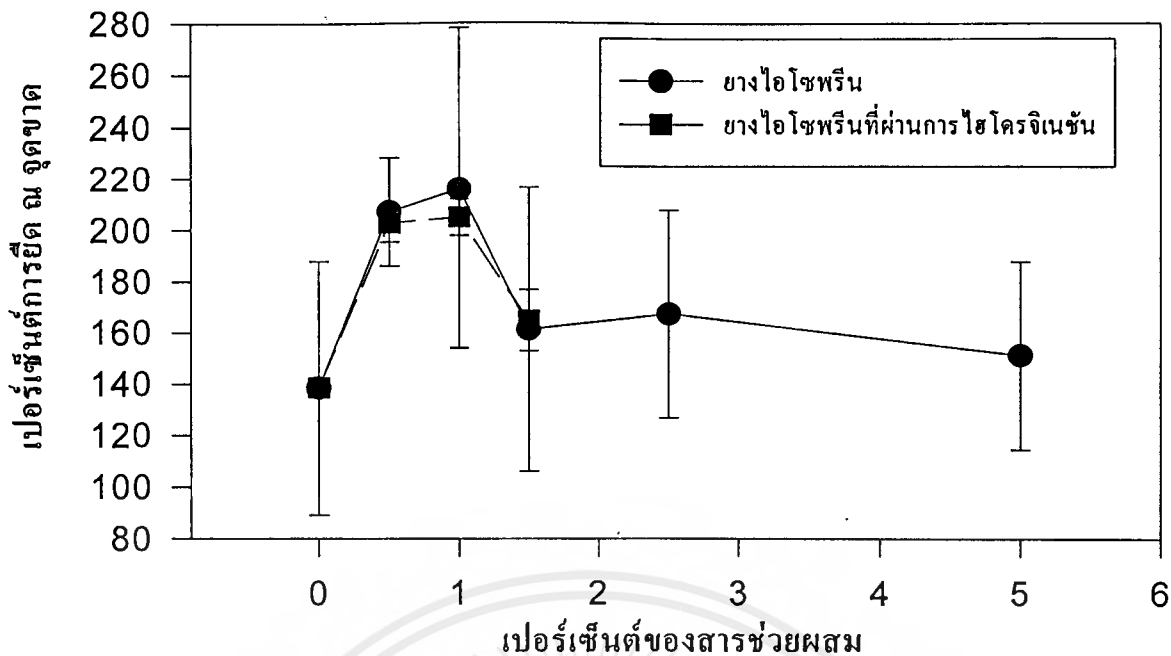


เปอร์เซ็นต์ของสารช่วยผสม

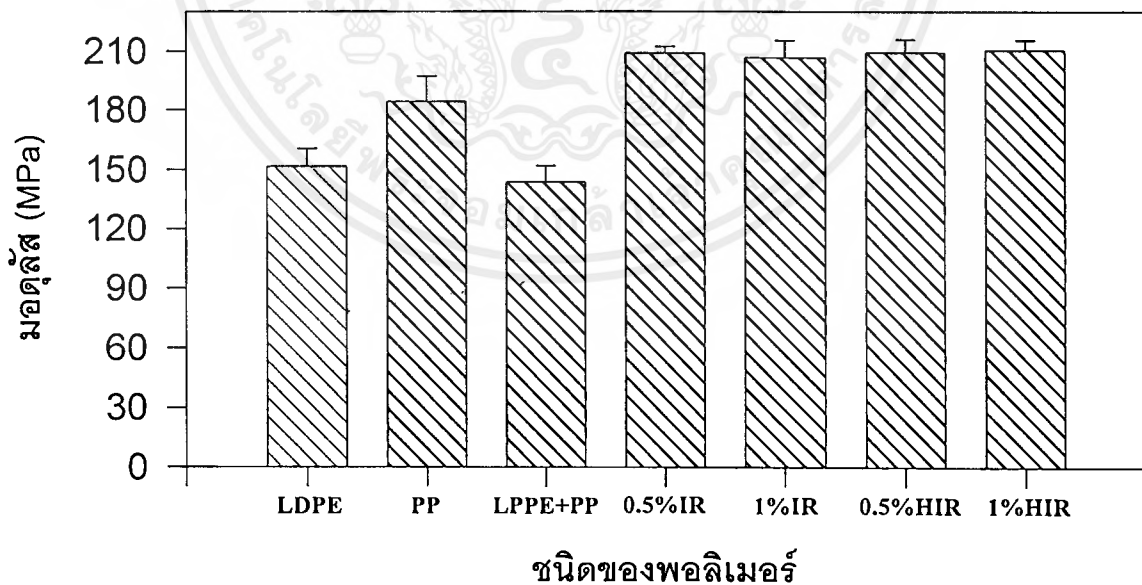
รูปที่ 4.12 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม



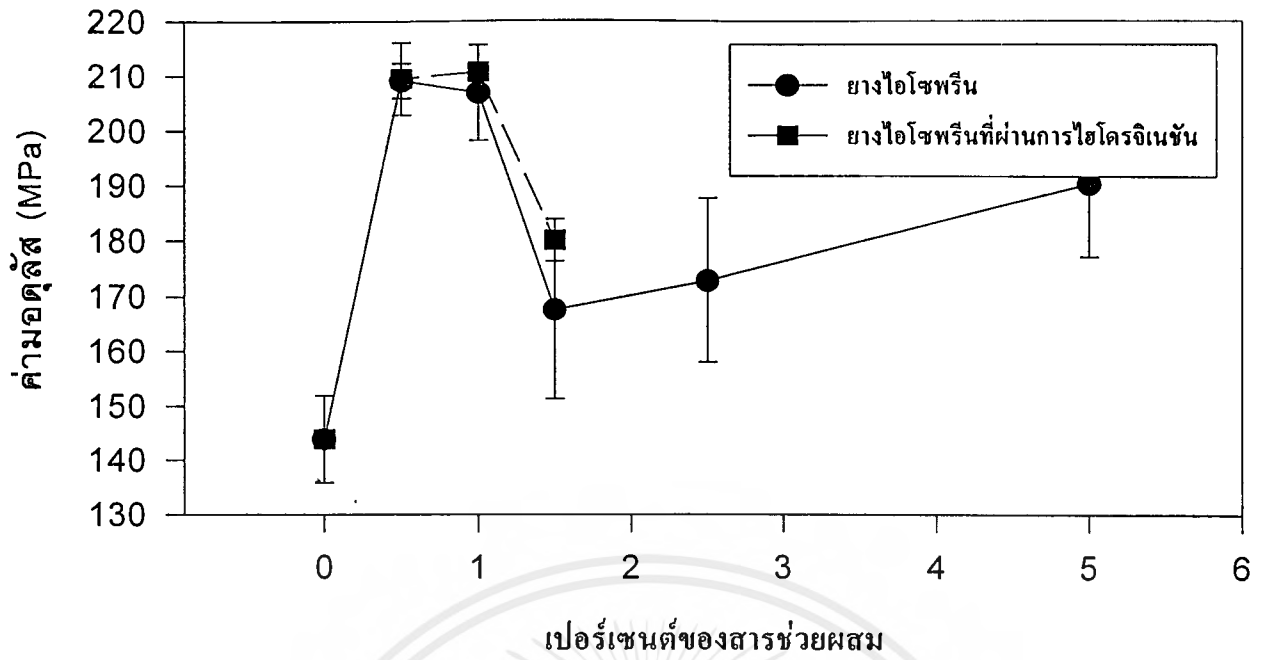
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับพอลิเมอร์บริสุทธิ์



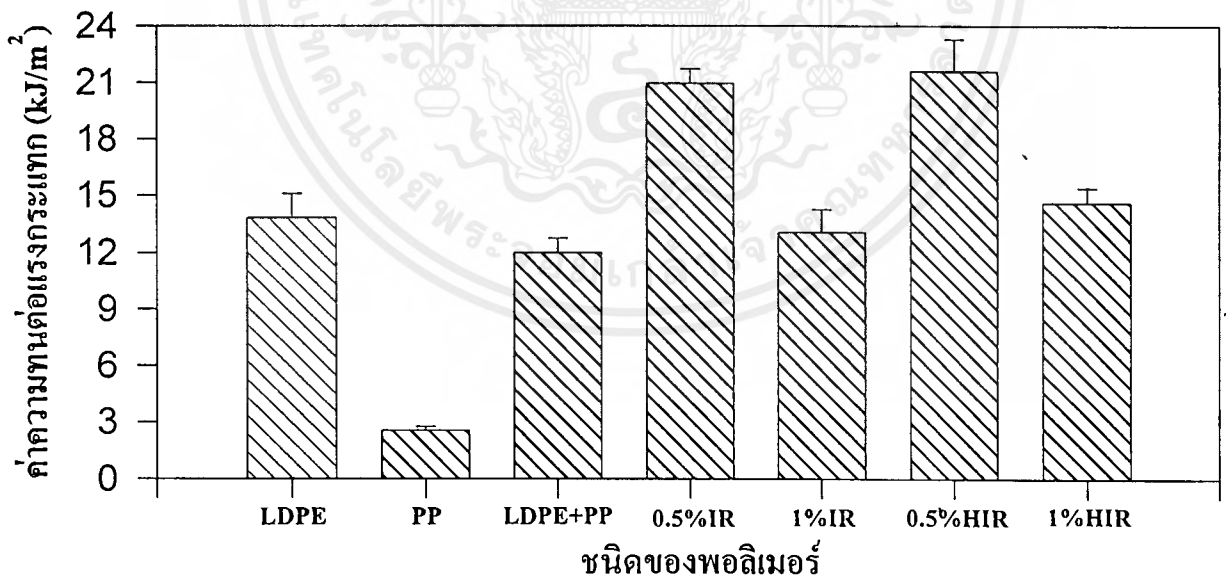
รูปที่ 4.14 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยึด ผน จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสม



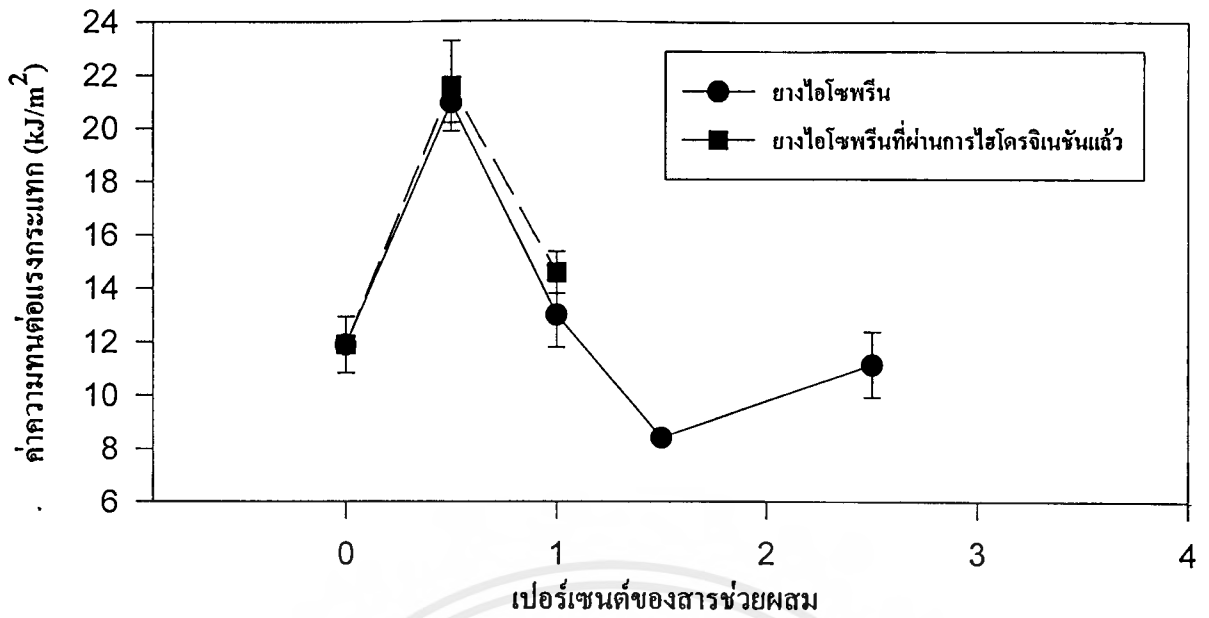
รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบค่ามอดุลัส ระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับพอลิเมอร์บริสุทธิ์



รูปที่ 4.16 แสดงค่ามอดุลัสของพอลิเมอร์ผสม



รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบความทนต่อแรงกระแทกระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับพอลิเมอร์บริสุทธิ์



รูปที่ 4.18 แสดงค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม

ตารางที่ 4.3 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม

ตัวอย่าง	ค่าความแข็งแรงดึง (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด	มอดุลัส (MPa)	ค่าความทนต่อแรงกระแทก (kJ/m <sup>2</sup> )
LDPE	20.3	138.7	151.56	2.55
PP	30.5	48.7	184.30	13.81
LDPE+PP	17.7	203.1	143.88	11.99
LDPE+PP+0.5%IR	17.9	225.8	209.14	20.95
LDPE+PP+1.0%IR	20.2	216.1	206.94	13.04
LDPE+PP+1.5%IR	18.8	161.4	167.70	N/A
LDPE+PP+2.5%IR	15.7	167.3	172.92	8.43
LDPE+PP+5.0%IR	16.3	151.3	190.44	11.18
LDPE+PP+0.5%HIR	18.3	202.8	209.52	21.58
LDPE+PP+1.0%HIR	19.2	205.0	210.74	14.61
LDPE+PP+1.5%HIR	18.3	164.9	180.22	N/A

จากรูปที่ 4.11 – 4.18 พบว่า ค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสมมีค่าน้อยกว่าของ PP และ PE บริสุทธิ์ เนื่องจากการผสมกันของพอลิเมอร์เข้ากันได้ไม่ดี แต่เมื่อใส่สารช่วยผสมในอัตราส่วน 0.5% และ 1.0% จะช่วยปรับปรุงให้ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าสูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสม เนื่องจากสารช่วยผสมจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างวัฏภาคและเพิ่มการเกี่ยวพันของสายโซ่ระหว่าง PP กับ PE ซึ่งเป็นการเพิ่มความแข็งแรงระหว่างวัฏภาคและช่วยในการตกผลึกของ PP แต่เมื่อใส่สารช่วยผสมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นคือ อัตราส่วน 1.5% 2.5% และ 5% กลับทำให้ค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากสารช่วยผสมเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างวัฏภาคจนเต็มแล้ว เมื่อเพิ่มปริมาณของสารช่วยผสมเข้าไปอีก จะรบกวนการผสมกันของ PP กับ PE หรืออาจแยกตัวออกไปอีกวัฏภาคหนึ่ง ซึ่งในการทดลองปริมาณสารช่วยผสม 1% จะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงที่สุด และ ยางไอโซพรีนที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันจะให้ผลที่ใกล้เคียงกับยางไอโซพรีน

ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่ามอดุลัส และค่าความทนต่อแรงกระแทกให้ผลที่เป็นแนวโน้มเดียวกับค่าความแข็งแรงดึง ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่ามอดุลัส จะให้ค่าสูงสุดที่มีสารช่วยผสม 1% ส่วนค่าความทนต่อแรงกระแทกจะให้ค่าสูงสุดที่มีสารช่วยผสม 0.5% และพอลิเมอร์ผสมที่ใส่สารช่วยผสมจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่ามอดุลัส และค่าความทนต่อแรงกระแทกสูงกว่าพอลิเมอร์บริสุทธิ์ เนื่องจากสารช่วยผสมเป็นยางซึ่งมีสมบัติยืดหยุ่น และทนต่อแรงกระแทกที่ดี

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

การไฮโดรจิเนชันยางไอโซพรีนทำได้โดยใช้ Palladium (II) acetate เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  ความดัน 14 บาร์ เวลา 60 นาที และใช้ตัวทำละลายคือ คลอโรฟอร์ม และเอซิโตน ในอัตราส่วน 50 : 50 จะได้เปอร์เซ็นต์การไฮโดรจิเนชันประมาณ 20-30 % และสามารถแยกพอลิเมอร์ออกมาได้ แล้วนำไปใช้เป็นสารช่วยผสมในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE กับ PP แล้วทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC พบว่าสารช่วยผสมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง  $T_g$  โดยยางไอโซพรีนจะเพิ่มค่า  $T_g$  ของ PP ทำให้ตกผลึกได้เร็วขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลจากสมบัติทางแสงด้วยเครื่อง Polarised Light Microscope ที่พบว่าผลึกเล็กๆเกิดขึ้นมาก ส่วนยางไอโซพรีนที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันจะทำให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ดีขึ้นจากผลของสมบัติทางแสงและ DSC ซึ่งแสดงถึงค่า  $T_g$  ของ PP ที่ลดลง

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าสารช่วยผสมยางไอโซพรีนและยางไอโซพรีนที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันให้ผลใกล้เคียงกัน อาจเนื่องมาจากเปอร์เซ็นต์การไฮโดรจิเนชันมีค่าต่ำทำให้ประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากยางไอโซพรีนมากนัก แต่อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อใส่ยางไอโซพรีนและยางไอโซพรีนที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันจะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกล ( ค่าความแข็งแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่ามอดูลัส และค่าความทนต่อแรงกระแทก ) ให้เพิ่มขึ้นมากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสม

#### ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาตัวอื่นๆ ที่สามารถใช้ในปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันได้ดียิ่งขึ้น
2. ศึกษาสภาวะที่ใช้อื่นๆ โดยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ ความดัน และเวลาให้เหมาะสมกับปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน
3. ควรมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล
4. ศึกษาถึงสารตัวเติมชนิดอื่นๆ เพื่อปรับปรุงการเข้ากันของพอลิเมอร์ผสม
5. ศึกษาถึงสมบัติอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น สมบัติการไหล ต้นฐานวิทยา

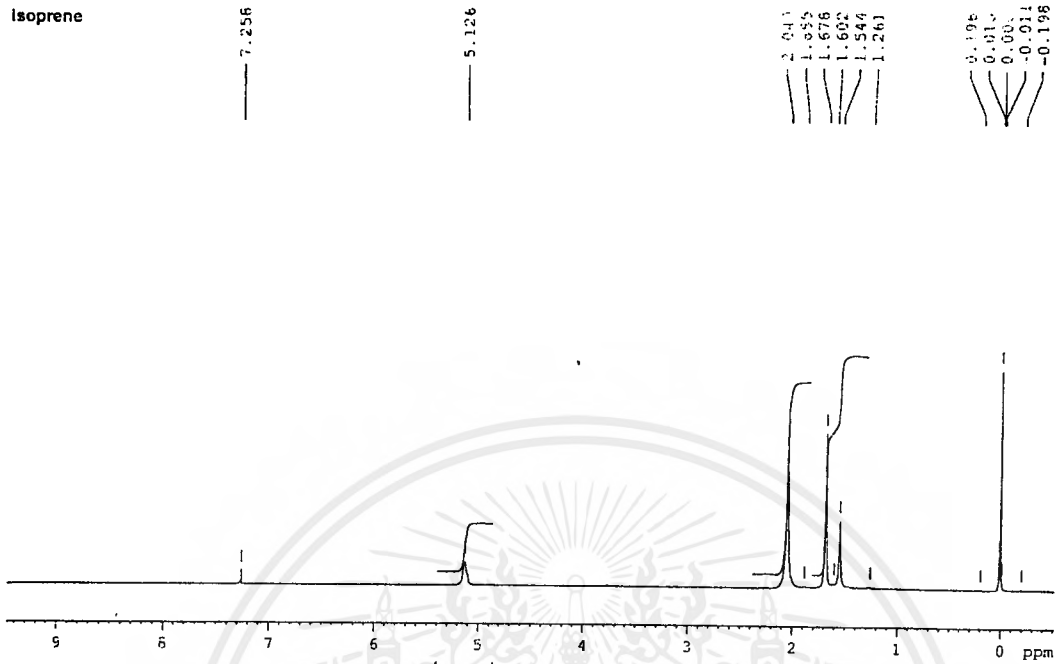
## เอกสารอ้างอิง

1. Bhattacharjee S.;Rajagopalan P.;Bhowmick A. and Avasthi B. *J.Appl.Polym.Sci.*, 1993,49,1971-1977.
2. P.H. Groggin “ Unit Process in Organic Synthesis” , 5<sup>th</sup> ed.,1987,574-600.
3. Morrison R.;BoydR. “Organic Chemistry” , 5<sup>th</sup> ed., New York University,1987,303-305.
4. Shaw,D. *J..Appl. Pol. Sci.* , 1990,41,1357-1363.
5. Weinstein A.H. *Rubb. Chem. Technol.*, 1984 ,57 ,203.
6. นิกโร ไปณะทอง และพรพงษ์ โสววัฒนกุล “การศึกษา Impact Modifier ที่มีผลต่อ Amorphous polymer และ Semi-Crystalline Polymer” โครงการงานพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2540
7. ดร.อมรรัตน์ สวัสดิ์พิพัฒน์ “รายงานการสัมมนา LLDPE พลาสติกใหม่ที่นำจับตามอง” ศูนย์การบรรจุกีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย,2532
8. ปรีชา พหลเทพ “โพลีเมอร์” พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง ,2536
9. ผศ.ดร. มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์ “เคมีพอลิเมอร์” โรงพิมพ์ส.จ.ล. กรุงเทพฯ,2540
10. Ulrich E. Introduction to Polymer Physics,1990,158.
11. Krevelw, Van D.W. Properties of Polymer,3<sup>rd</sup> ed. ,1990.
12. แม้น อมรสิทธิ์และอมร เพชรสม "หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ" กรุงเทพฯ, 2539
13. Encyclopaedia of Polymer Science and Engineering, 4, 487, John Wiley & Sons. Inc., New York, 1996.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

Isoprene



แสดงผล <sup>1</sup>H NMR ของยางไอโซพรีน

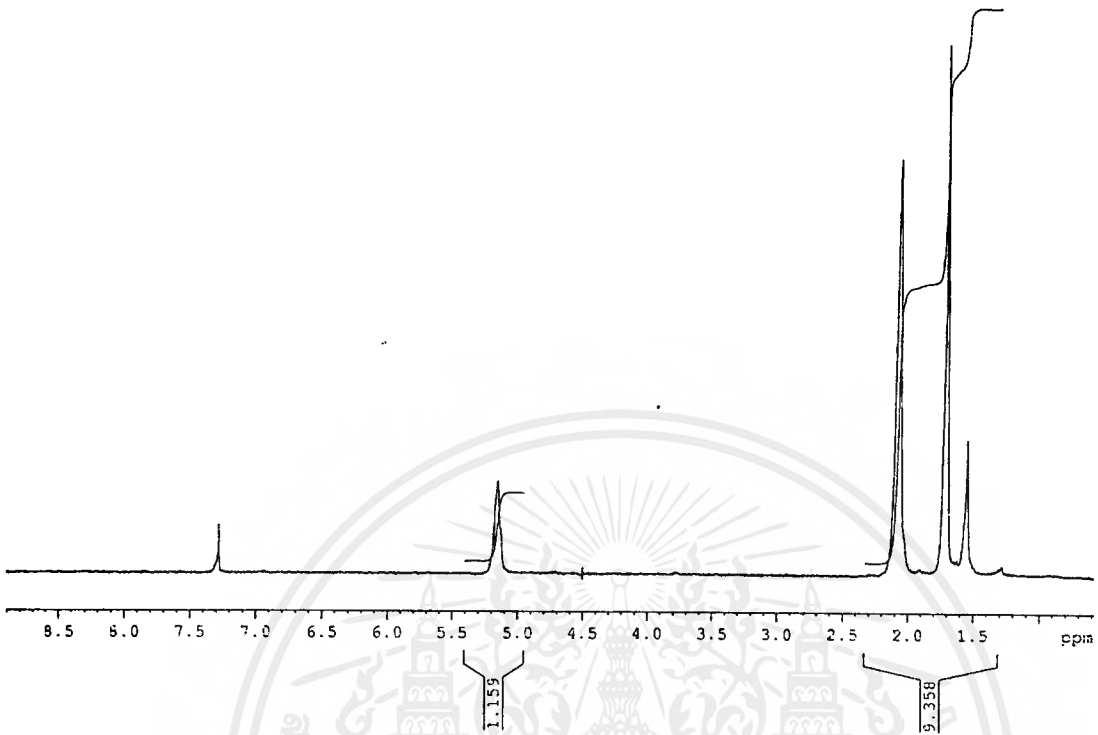
DU=u. USER=service. NAME=isoprene. EXPNO=2. PROCNO=1  
 F1=11.000ppm. F2=-1.000ppm. MI=0.00cm. MAXI=10000.00cm. PC=1.000

#	ADDRESS	FREQUENCY [Hz]	[PPM]	INTENSITY	HISTOGRAM
1	7265.5	2178.417	7.2582	1.12	*
2	14260.9	1538.485	5.1261	2.97	**
3	24384.6	612.369	2.0403	9.50	*****
4	24895.0	565.678	1.8848	0.15	
5	25572.2	503.734	1.6784	12.50	*****
6	25824.0	480.693	1.6016	0.42	
7	26012.2	463.480	1.5443	-1.12	*
8	26943.0	378.333	1.2606	0.12	
9	30435.1	58.879	0.1962	0.06	
10	31030.4	4.413	0.0147	2.48	**
11	31078.7	0.000	0.0000	18.06	*****
12	31115.0	-3.317	-0.0111	0.62	*
13	31728.3	-59.426	-0.1980	0.09	

แสดงผลความถี่ของ <sup>1</sup>H ของยางไอโซพรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR 1



แสดงผล  $^1\text{H}$  NMR ของ hydrogenate polyisoprene ตัวอย่างที่ 1

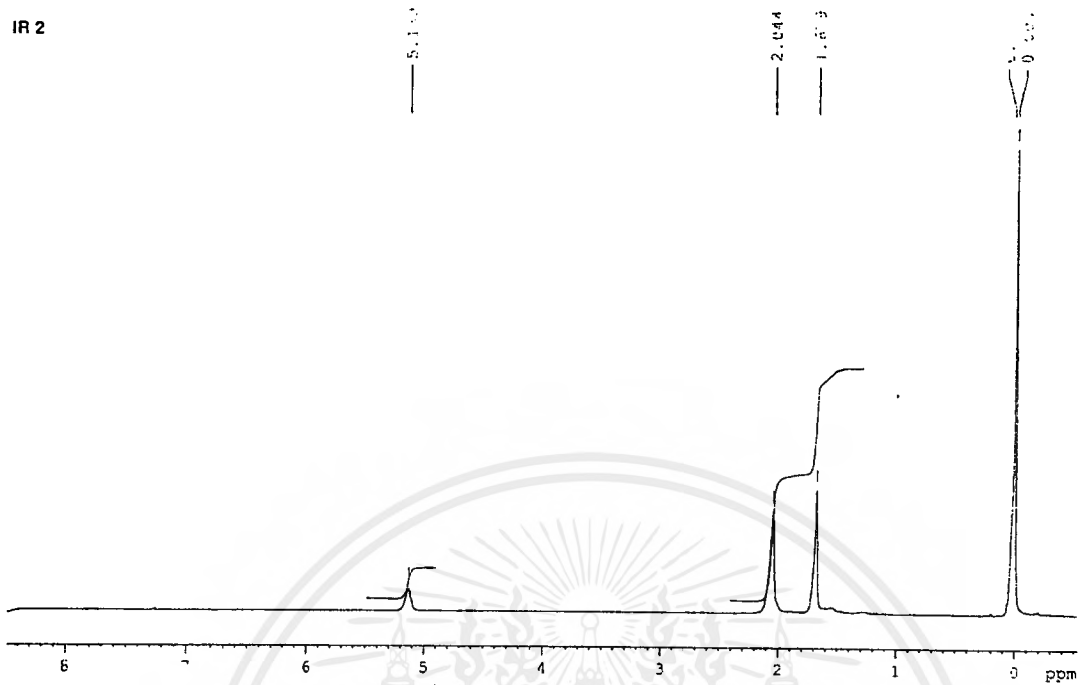
DU=u. USER=service. NAME=ir. EXPNO=1. PROCNO=1  
F1=11.000ppm. F2=-1.000ppm. MI=0.00cm. MAXI=10000.00cm. PC=1.000

#	ADDRESS	FREQUENCY [Hz]	[PPM]	INTENSITY	HISTOGRAM
1	3633.8	2184.555	7.2787	1.11	
2	7123.6	1546.065	5.1513	2.15	
3	12187.4	619.583	2.0644	9.83	*
4	12782.8	510.660	1.7015	12.50	*
5	13039.0	463.779	1.5453	3.17	
6	15215.0	65.658	0.2188	0.96	
7	15536.2	6.891	0.0230	224.42	*****
8	15861.2	-52.556	-0.1751	1.10	

แสดงผลความถี่ของ  $^1\text{H}$  ของ hydrogenate polyisoprene ตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR 2



แสดงผล  $^1\text{H}$  NMR ของ hydrogenate polyisoprene ตัวอย่างที่ 2

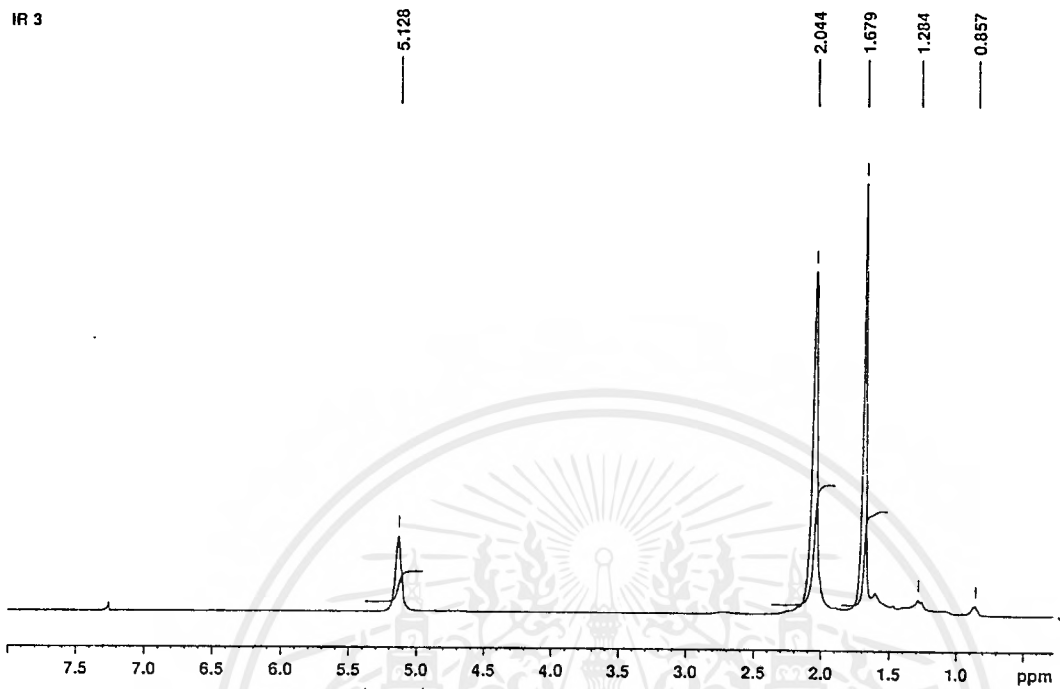
DU=u. USER=service. NAME=ir. EXPNO=2. PROCNO=1  
F1=11.000ppm. F2=-1.000ppm. MI=0.00cm. MAX1=10000.00cm. PC=1.000

#	ADDRESS	FREQUENCY [Hz]	INTENSITY [PPM]	HISTOGRAM
1	12196.6	1539.552	5.1296	2.26 *
2	23412.8	613.435	2.0439	10.33 ****
3	24738.9	503.942	1.6791	12.50 *****
4	30748.1	7.765	0.0259	12.16 *****
5	30842.2	0.000	0.0000	47.25 *****

แสดงผลความถี่ของ  $^1\text{H}$  ของ hydrogenate polyisoprene ตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR 3



แสดงผล <sup>1</sup>H NMR ของ hydrogenate polyisoprene ตัวอย่างที่ 3

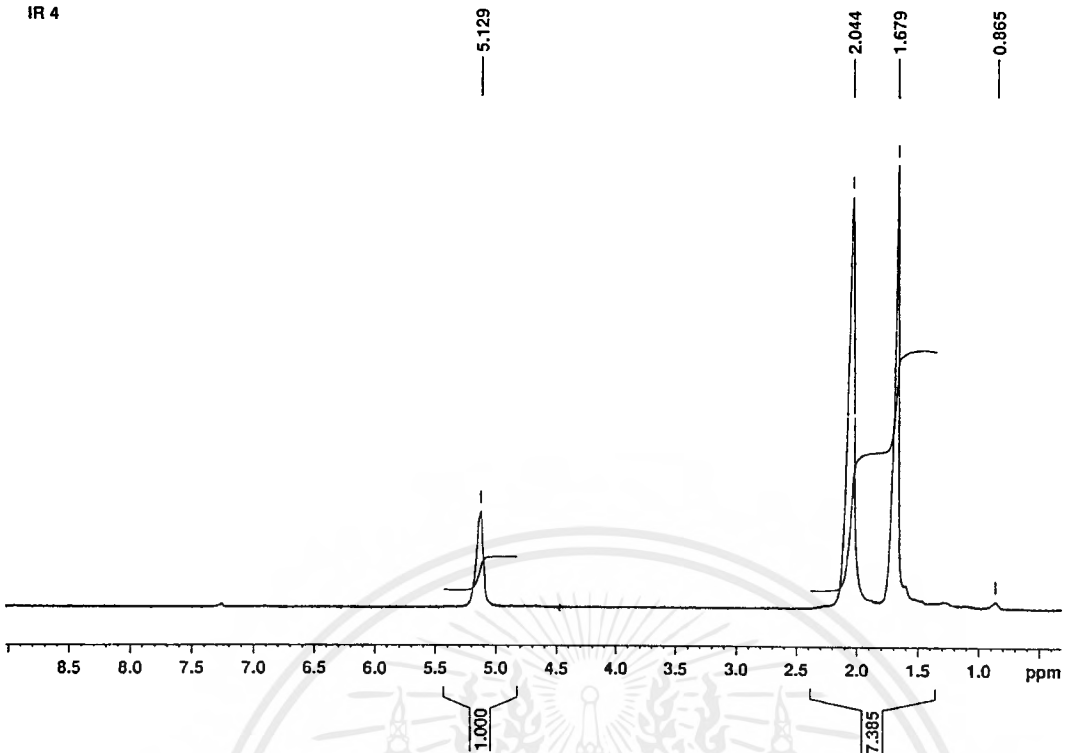
DU=u. USER=service. NAME=ir. EXPNO=3. PROCNO=1  
 F1=11.000ppm. F2=-1.000ppm. MI=0.00cm. MAXI=10000.00cm. PC=1.000

#	ADDRESS	FREQUENCY [Hz]	[PPM]	INTENSITY	HISTOGRAM
1	6100.8	1539.031	5.1279	2.16	*
2	11705.3	613.511	2.0442	9.97	****
3	12368.3	504.023	1.6794	12.50	*****
4	13086.1	385.489	1.2844	0.45	
5	13862.2	257.313	0.8573	0.29	
6	15064.6	58.762	0.1958	0.27	
7	15420.4	0.000	0.0000	54.24	*****
8	15780.6	-59.481	-0.1982	0.26	

แสดงผลความถี่ของ <sup>1</sup>H ของ hydrogenate polyisoprene ตัวอย่างที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกขาดหากนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR 4



แสดงผล  $^1\text{H}$  NMR ของ hydrogenate polyisoprene ตัวอย่างที่ 4

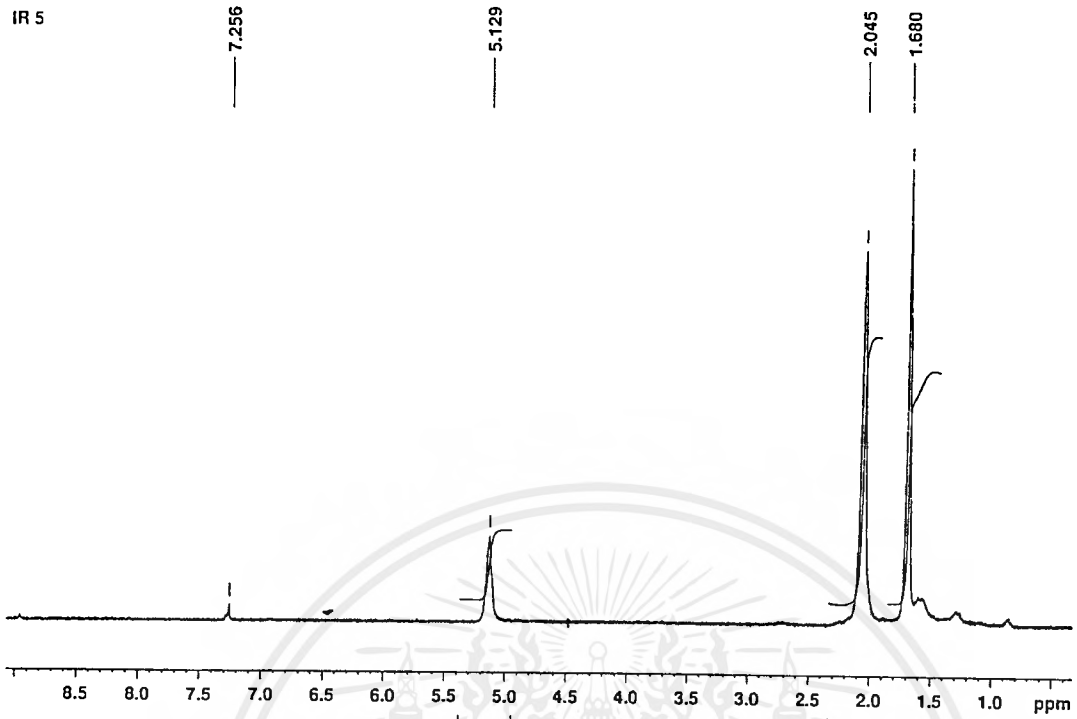
DU=u, USFR=service, NAME=ir, EXPNO=4, PROCNO=1  
 F1=11.000ppm, F2=-1.000ppm, MI=0.00cm, MAX1=10000 00cm, PC=1.000

#	ADDRESS	FREQUENCY [Hz]	[PPM]	INTENSITY	HISTOGRAM
1	7121.2	1539.252	5.1286	2.66	***
2	12180.9	613.537	2.0442	11.60	*****
3	12780.8	503.793	1.6786	12.50	*****
4	14115.1	259.667	0.8652	0.19	
5	15498.4	6.568	0.0219	9.14	*****
6	15534.3	0.000	0.0000	21.12	*****

แสดงผลความถี่ของ  $^1\text{H}$  ของ hydrogenate polyisoprene ตัวอย่างที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR 5



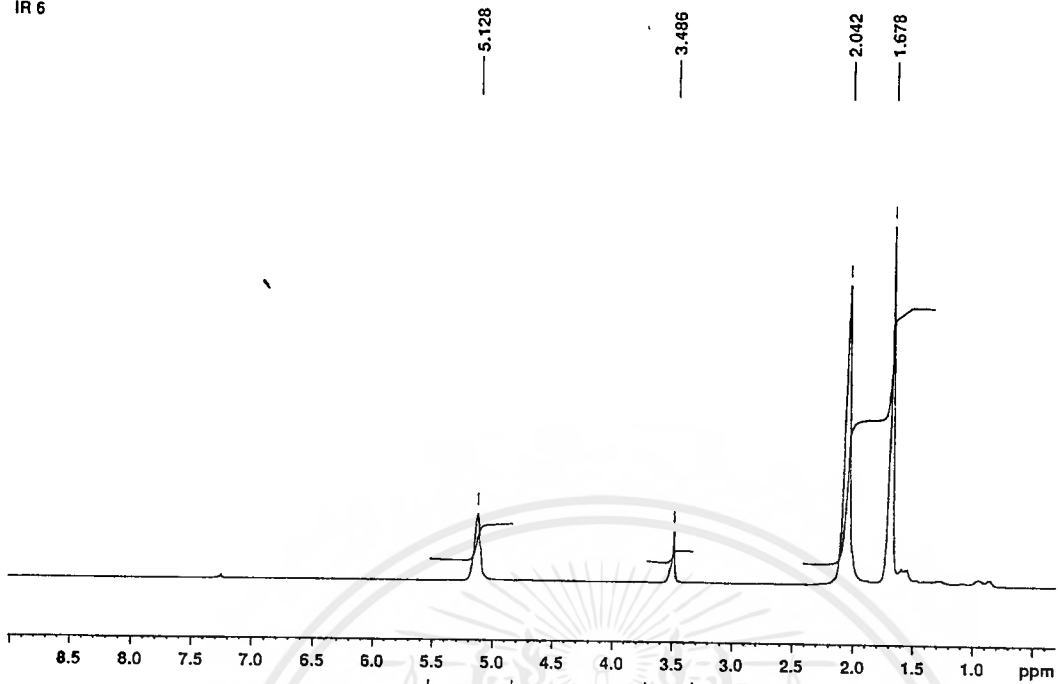
แสดงผล <sup>1</sup>H NMR ของ hydrogenate polyisoprene ตัวอย่างที่ 5

DU=u. USER=service. NAME=ir. EXPNO=5. PROCNO=1  
 F1=11.000ppm. F2=-1.000ppm. M1=0.00cm. MAX1=10000.00cm. PC=1.000

#	ADDRESS	FREQUENCY [Hz]	[PPM]	INTENSITY	HISTOGRAM
1	3635.6	2177.875	7.2564	0.40	
2	7126.1	1539.263	5.1287	2.32	*
3	12184.3	613.814	2.0452	10.25	**
4	12784.0	504.104	1.6796	12.50	***
5	15218.1	58.767	0.1958	0.47	
6	15429.3	20.128	0.0671	1.58	
7	15539.3	0.000	0.0000	83.84	*****
8	15621.6	-15.066	-0.0502	0.53	
9	15645.6	-19.461	-0.0648	0.60	
10	15864.6	-59.524	-0.1983	0.42	

แสดงผลความถี่ของ <sup>1</sup>H ของ hydrogenate polyisoprene ตัวอย่างที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงผล <sup>1</sup>H NMR ของ hydrogenate polyisoprene ตัวอย่างที่ 6

DU=u. USER=service. NAME=ir. EXPNO=6. PROCNO=1  
 F1=11.000ppm. F2=-1.000ppm. MI=0.00cm. MAX1=10000.00cm. PC=1.000

#	ADDRESS	FREQUENCY [Hz]	[PPM]	INTENSITY	HISTOGRAM
1	14250.8	1538.920	5.1275	2.29	**
2	19636.7	1046.216	3.4859	1.74	*
3	24375.3	612.732	2.0416	10.44	*****
4	25569.4	503.499	1.6776	12.50	*****
5	30965.0	9.909	0.0330	8.10	*****
6	31029.1	4.048	0.0135	14.38	*****
7	31074.7	0.125	-0.0004	30.11	*****

แสดงผลความถี่ของ <sup>1</sup>H ของ hydrogenate polyisoprene ตัวอย่างที่ 6

สถานะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปรุ่น TTI 220/80 HITEC; Welltec Industrial Equipment

อุณหภูมิ

NOZZLE	180	ZONE 4	0
ZONE 1	170	ZONE 5	0
ZONE 2	160	ZONE 6	0
ZONE 3	0		

เวลา

DIE CLS/OPN	60	MELTING TIME	100
SID-COR ACT	0	DECOMPRS	5
1 <sup>st</sup> INJECT	20	COOLING	200
2 <sup>nd</sup> INJECT	35	SCW. FWD	0
3 <sup>rd</sup> INJECT	35	SW.BWD TIME 1	0
EJE.FWD DLY	0	SW.BWD TIME 2	0
MELTING DLY	0	ALARM TIME	300
EJE.BRED DLY	0		

ความเร็ว

RAPID CLS SPD	51	1 <sup>st</sup> STG INJ SPD	20
HIGH CLS SPD	50	2 <sup>nd</sup> STG INJ SPD	20
CLAMPING	45	3 <sup>rd</sup> STG INJ SPD	20
DIE OPN SLW 1	5	MELTING	50
RAPID OPN SPD	50	DECOMPOSE	50
DIE OPN SLW 2	5	EJECTOR	20
PLUNGER SPD	20	SCW-IN	0
DIE ADJ	50	DIE CHANGE	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ความดัน

DIE CLS	30	MELTING	50
CLOSE LOW	20	DECOMPOSE	60
CLOSE HIGH	20	PLUNGER	17
DIE OPN	35	EJECT	20
1 <sup>st</sup> INJ	45	SCW-IN	20
2 <sup>nd</sup> INJ	40	DIE ADJ	50
3 <sup>rd</sup> INJ	35		

สภาวะที่ใช้ในการทดสอบด้วยเครื่อง TENSILE TESTER

Test speed : 300 mm/min

Gauge Length : 5 cm

Grammage : 1 g/m<sup>2</sup>

Load cell : 30000 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้