

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาพฤติกรรมการดึงยึดของเส้นใยเดี่ยวพอลิเอทิลีน



นาย ทิรพล บุญยี่น

นาย กุพันธ์ อารมณ์สุวรรณ

ร/ท.

ทว ๗๙๒ ก

เลขหมู่.....2538

เลขทะเบียน.....26216

วัน, เดือน, ปี 16 ต.ค. 2539

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา เคมี

คณะ วิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study of Drawing Behavior of Polyethylene Monofilament



Mr.Peerapol Boonyuen

Mr.Poophat Arpomsuwan

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

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ
โดย

การศึกษาพฤติกรรมการดึงยึดของเส้นใยเดี่ยวพอลิเอทิลีน
นายพีรพล บุญยืน
นายภูพัฒน์ อภารณสุวรรณ

ภาควิชา
อาจารย์ที่ปรึกษา

เคมี
ดร.ประเสริฐ คุณคำชู
ดร.ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นำโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



(ผศ.ดร.เมชัยชัย ไชยสิทธิ์)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการโครงการพิเศษ



(ผศ.ดร.ตักดา ไตรศักดิ์)

ประธานกรรมการ



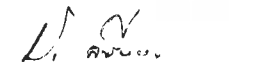
(ดร.ประเสริฐ คุณคำชู)

อาจารย์ที่ปรึกษาและกรรมการ



(ดร.ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย)

อาจารย์ที่ปรึกษาและกรรมการ



(อ.ปัทมา สิพหวงศ์)

กรรมการ



(อ.ภักชวุธ มนต์วิเศษ)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาพฤติกรรมการดึงยึดของเส้นใยเดี่ยวพอลิเอทิลีน

นักศึกษา นาย พีรพล บุญยืน 35504223
 นาย ภูวัฒน์ อารมณ์สุวรรณ 35504224

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ประเสริฐ คุณคำชู
 ดร.ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย

ภาควิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการดึงยึด (Drawing Behavior) หรือสมบัติของเส้นใยเดี่ยวพอลิเอทิลีนภายใต้แรงดึงที่อุณหภูมิสูง เพื่อรวบรวมข้อมูลพื้นฐานในการเตรียมเส้นใยเดี่ยวพอลิเอทิลีนที่มีการจัดเรียงตัวสูง (High Oriented Polyethylene Fiber) ซึ่งเตรียมด้วยเทคนิค Ultra Drawing

ขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการหลอมพอลิเอทิลีนที่อุณหภูมิ 130 , 135 , 140 , 145 และ 150 °C จากนั้นดึงเส้นใยพอลิเอทิลีนขณะหลอมด้วยความเร็วรอบเป็น 0 , 6.55 , 12.1 , 18.1 และ 24.2 ซม./นาที แล้วนำเส้นใยที่ได้มาทดสอบสมบัติเชิงกลโดยการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง 25 , 60 , 70 , 80 และ 90 °C และศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) พบว่า Yield Strength ของเส้นใยพอลิเอทิลีนลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ขณะที่ความเร็วของการดึงเส้นใยไม่มีผลต่อ Yield Strength ที่อุณหภูมิต่ำ

Special Project Title **A Study of Drawing Behavior of Polyethylene Monofilament**
Name **Mr.Peerapol Boonyuen**
 Mr.Poophat Arpornsuwan
Special Project Advisor **Ph.D.Prasert Khunkamchoo**
 Ph.D.Taweechai Amornsakchai
Department **Chemistry**
Academic Year **1995**

Abstract

This Special Project aims to study factors which affect drawing behavior or properties of polyethylene filament under tension at high temperature. This will provide useful information for the preparation of highly oriented polyethylene fiber via drawing technique.

The study started with melting polyethylene at temperatures of 130 , 135 , 140 , 145 and 150 C then drawing molten polyethylene at speeds of 0 , 6.55 , 12.1 , 18.1 and 24.2 cm/min. Finally, monofilament was tested for mechanical properties at temperatures of 25 , 60 , 70 , 80 and 90 C. It was found that yield strength of polyethylene monofilament decreases with increasing temperatures. Speed of drawing had no effect on mechanical properties at high temperatures.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความช่วยเหลือจนโครงการพิเศษเรื่องการศึกษา
พฤติกรรมภารกิจยิ่งยงของเส้นใยเดี่ยวพอลิเอทิลีน สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ดร.ประเสริฐ คุณคำชู และ ดร.ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย อาจารย์ประจำภาควิชา เคมี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการจัดทำโครงการ
พิเศษนี้ด้วยดีตลอดมา

รศ.ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัครวัฒน์ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ
ด้าน

ดร.ศักดา ไตรศักดิ์ อ.ปัทมา สิทธิทวงศ์ และ อ.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ ให้ความ
อนุเคราะห์ในการตรวจโครงการพิเศษครั้งนี้

และบุคคลทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้านกำลังใจในการจัดทำโครงการพิเศษครั้งนี้
จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

พีรพล บุญยีน
ภูพัฒน์ อภรณ์สุวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัยและดำเนินงาน	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 พอลิเอทิลีน	2
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีน	4
2.3 เส้นใยพอลิเอทิลีน	7
2.3.1 สมบัติของเส้นใยพอลิเอทิลีน	8
2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล	9
2.3.3 การจัดเรียงตัวของเส้นใย	11
2.3.4 การพัฒนาการจัดเรียงตัวและเกิดผลึกของเส้นใยหลอมเหลว	11
2.3.5 การเตรียมเส้นใยที่มีการจัดเรียงตัวสูง	11
2.3.6 สมบัติภายหลังการดึง	12
2.3.7 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเส้นใยที่ทำการดึงด้วยวิธี tensile drawing	13
2.3.8 ศักยภาพการนำไปใช้งาน	14
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	15
3.1 แผนการดำเนินการวิจัย	15
3.2 วัสดุที่ใช้	15
- สารเคมีที่ใช้	15
- วัสดุและอุปกรณ์	16
3.3 วิธีการทดลอง	18
3.3.1 การ calibrate เครื่องมือที่ใช้ผลิตเส้นใย	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัยและดำเนินงาน	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 พอลิเอทิลีน	2
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีน	4
2.3 เส้นใยพอลิเอทิลีน	7
2.3.1 สมบัติของเส้นใยพอลิเอทิลีน	8
2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล	9
2.3.3 การจัดเรียงตัวของเส้นใย	11
2.3.4 การพัฒนาการจัดเรียงตัวและเกิดผลึกของเส้นใยหลอมเหลว	11
2.3.5 การเตรียมเส้นใยที่มีการจัดเรียงตัวสูง	11
2.3.6 สมบัติภายหลังการดึง	12
2.3.7 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเส้นใยที่ทำการดึงด้วยวิธี tensile drawing	13
2.3.8 ศักยภาพการนำไปใช้งาน	14
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	15
3.1 แผนการดำเนินการวิจัย	15
3.2 วัสดุที่ใช้	15
- สารเคมีที่ใช้	15
- วัสดุและอุปกรณ์	16
3.3 วิธีการทดลอง	18
3.3.1 การ calibrate เครื่องมือที่ใช้ผลิตเส้นใย	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

3.3.2 การผลิตเส้นใยพอลิเอทิลีน	18
3.3.3 การทดสอบสมบัติของเส้นใยพอลิเอทิลีน	18
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	20
4.1 ผลการ calibrate เครื่องมือที่ใช้ผลิตเส้นใย monofilament	20
4.2 ผลการวิเคราะห์ทางความร้อนของเส้นใยพอลิเอทิลีนด้วยเครื่อง DSC	20
4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิเอทิลีน	28
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ	79
5.1 สรุปผลการทดลอง	79
5.2 ข้อเสนอแนะ	79
ภาคผนวก ก	80
เอกสารอ้างอิง	107



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 แสดงค่า crystal modulus ของ ultra high modulus polyethylene	4
ตาราง 2.2 แสดงองศาการเกิดกิ่งสาขาของโมเลกุลและ crystallinity	4
ตาราง 2.3 แสดงตัวอย่างสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีน	6
ตาราง 2.4 แสดงสมบัติของเส้นใยโพลิฟีน	13
ตาราง 3.1 แสดงสมบัติทางกายภาพของ THAI-ZEX 1600J	15
ตาราง 4.1 แสดงผลทางความร้อนของเส้นใยพอลิเอทิลีน ที่อุณหภูมิหลอม 130 °C	20
ตาราง 4.2 แสดงผลทางความร้อนของเส้นใยพอลิเอทิลีน ที่อุณหภูมิหลอม 140 °C	20
ตาราง 4.3 แสดงผลทางความร้อนของเส้นใยพอลิเอทิลีน ที่อุณหภูมิหลอม 150 °C	24
ตาราง 4.4 แสดงผลทางความร้อนของเส้นใยพอลิเอทิลีน ที่ความเร็วดึง 0 ซม./นาที	24
ตาราง 4.5 แสดงผลทางความร้อนของเส้นใยพอลิเอทิลีน ที่ความเร็วดึง 12.1 ซม./นาที	28
ตาราง 4.6 แสดงผลทางความร้อนของเส้นใยพอลิเอทิลีน ที่ความเร็วดึง 40.4 ซม./นาที	28

สารบัญรูป

	หน้า
รูป 2.1 แสดงลักษณะโครงสร้างของพอลิเอทิลีนประเภทต่างๆ	3
รูป 2.2 แสดงลักษณะ unit cell ของพอลิเอทิลีน	3
รูป 2.3 กราฟแสดง crystallinity น้ำหนักโมเลกุลและสมบัติของพอลิเอทิลีน	5
รูป 2.4 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อสมบัติเชิงกล	6
รูป 2.5 แสดงลักษณะของ Macroscopic ของเส้นใยพอลิเอทิลีน	8
รูป 2.6 กราฟแสดงอิทธิพลความหนาแน่น- อัตราเร็วการดึงทดสอบ อุณหภูมิทดสอบที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิเอทิลีน	11
รูป 2.7 แสดงการเตรียมเส้นใยเดี่ยวพอลิเอทิลีน	12
รูป 2.8 กราฟแสดง Stress-Strain ของเส้นใยที่ได้รับการดึงและเส้นใยที่ไม่ได้ดึง	13
รูป 3.1 แสดงโคอะแกรมของเครื่องมือที่ใช้ผลิตเส้นใยเดี่ยวพอลิเอทิลีน	17
รูป 4.1 กราฟแสดงผลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง DSC ที่อุณหภูมิหลอม 130 °C	20
รูป 4.2 กราฟแสดงผลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง DSC ที่อุณหภูมิหลอม 140 °C	21
รูป 4.3 กราฟแสดงผลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง DSC ที่อุณหภูมิหลอม 150 °C	22
รูป 4.4 กราฟแสดงผลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง DSC ที่ความเร็วดึง 0 ซม./นาที	24
รูป 4.5 กราฟแสดงผลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง DSC ที่ความเร็วดึง 12:1 ซม./นาที	25
รูป 4.6 กราฟแสดงผลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง DSC ที่ความเร็วดึง 40.4 ซม./นาที	26
รูป 4.7a แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิหลอม 130 °C	29
รูป 4.7b แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิหลอม 135 °C	30
รูป 4.7c แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิหลอม 140 °C	31
รูป 4.7d แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิหลอม 145 °C	32
รูป 4.7e แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิหลอม 150 °C	33
รูป 4.7f แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 130 °C	34
รูป 4.7g แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 135 °C	35
รูป 4.7h แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 140 °C	36
รูป 4.7i แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 145 °C	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูป 4.7j แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 150 °C	38
รูป 4.7k แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 130 °C	39
รูป 4.7l แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 135 °C	40
รูป 4.7m แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 140 °C	41
รูป 4.7n แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 145 °C	42
รูป 4.7o แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 150 °C	43
รูป 4.8a แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิหลอม 130 °C	45
รูป 4.8b แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิหลอม 135 °C	46
รูป 4.8c แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิหลอม 140 °C	47
รูป 4.8d แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิหลอม 145 °C	48
รูป 4.8e แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิหลอม 150 °C	49
รูป 4.8f แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 130 °C	50
รูป 4.8g แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 135 °C	51
รูป 4.8h แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 140 °C	52
รูป 4.8i แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 145 °C	53
รูป 4.8j แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 150 °C	54
รูป 4.8k แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 130 °C	55
รูป 4.8l แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 135 °C	56
รูป 4.8m แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 140 °C	57
รูป 4.8n แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 145 °C	58
รูป 4.8o แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 150 °C	59
รูป 4.9a แสดงกราฟ Modulus ที่ความเร็วในการดึงที่ 0 ซม./นาที	61
รูป 4.9b แสดงกราฟ Modulus ที่ความเร็วในการดึงที่ 6.55 ซม./นาที	62
รูป 4.9c แสดงกราฟ Modulus ที่ความเร็วในการดึงที่ 12.1 ซม./นาที	63
รูป 4.9d แสดงกราฟ Modulus ที่ความเร็วในการดึงที่ 18.1 ซม./นาที	64
รูป 4.9e แสดงกราฟ Modulus ที่ความเร็วในการดึงที่ 24.2 ซม./นาที	65
รูป 4.9f แสดงกราฟ Yield Strength ที่ความเร็วในการดึงที่ 0 ซม./นาที	66
รูป 4.9g แสดงกราฟ Yield Strength ที่ความเร็วในการดึงที่ 6.55 ซม./นาที	67
รูป 4.9h แสดงกราฟ Yield Strength ที่ความเร็วในการดึงที่ 12.1 ซม./นาที	68
รูป 4.9i แสดงกราฟ Yield Strength ที่ความเร็วในการดึงที่ 18.1 ซม./นาที	69

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูป 4.9j แสดงกราฟ Yield Strength ที่ความเร็วในการดึงที่ 24.2 ซม./นาที	70
รูป 4.9k แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่ความเร็วในการดึงที่ 0 ซม./นาที	71
รูป 4.9l แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่ความเร็วในการดึงที่ 6.55 ซม./นาที	72
รูป 4.9m แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่ความเร็วในการดึงที่ 12.1 ซม./นาที	73
รูป 4.9n แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่ความเร็วในการดึงที่ 18.1 ซม./นาที	74
รูป 4.9o แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่ความเร็วในการดึงที่ 24.2 ซม./นาที	75



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

linear polyethylene (LPE) เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ได้รับความนิยมโดยตลอดเนื่องจากลักษณะเด่นของเส้นใยพอลิเอทิลีน คือ ราคาต่ำ ความหนาแน่นต่ำ ง่ายต่อการนำไปขึ้นรูป ความต้านทานไฟฟ้าต่ำ ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ ทนต่อสารเคมีและสภาวะแวดล้อม การที่มีโครงสร้างทางเคมีที่ง่ายและสามารถเกิดโครงสร้างผลึกได้ดี โดยเฉพาะเมื่อทำการดึงยืดและเหนียวทำให้โมเลกุลเกิดการจัดเรียงตัวได้มากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้ภายหลังจากการดึงจะมีความเป็นระเบียบในโครงสร้างสูง (high degree of orientation) และพบว่า จะช่วยเพิ่มค่ามอดูลัสได้สูงถึง 200 GPa[2]ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกับค่ามอดูลัสของ inorganic fiber และมีความแข็งแรงมากกว่าเหล็กกล้า นอกจากนี้เส้นใยพอลิเอทิลีนยังได้นำมาใช้ในงานเกี่ยวกับงานทางทะเล[8] เนื่องจากความต้านทานต่อการขูดขีด ทนต่อสภาวะแวดล้อม และไม่เสียความแข็งแรงเมื่อสัมผัสกับน้ำ รวมถึงมีความหนาแน่นต่ำ (0.97 g/cm^3) มีการนำมาใช้เป็นเชือกและงานที่ใช้ในอุตสาหกรรม[8] เนื่องจากไม่มีความคมของเส้นใย มีการลดความชื้นต่ำและน้ำหนักเบา ในวงการแพทย์มีศักยภาพในการที่จะนำมาประยุกต์ใช้มากมาย เนื่องจากมีความเฉื่อย มีความแข็งแรง ไม่ดูดซึมและไม่เป็นสารก่อมะเร็ง[8]

ดังนั้น การศึกษาและการเตรียมเส้นใยเดี่ยวของพอลิเอทิลีนจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆในการเตรียมเส้นใยเดี่ยวของพอลิเอทิลีนที่มีต่อสมบัติเชิงกลและพฤติกรรมการดึงยืดของ monofilament ของพอลิเอทิลีนเพื่อประโยชน์ในการศึกษาลำดับต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการดึงยืด (Drawing Behavior) ของเส้นใยเดี่ยวพอลิเอทิลีน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ขั้นตอนการทำงานของโครงการพิเศษ ดังนี้

1. การสร้างเครื่องมือเพื่อผลิต monofilament ของพอลิเอทิลีน
2. การเตรียม monofilament ของพอลิเอทิลีนภายใต้สภาวะต่างๆ
3. การตรวจสอบสมบัติและโครงสร้างของ monofilament ที่ได้โดยใช้เครื่อง DSC

และเครื่องทดสอบเชิงกล

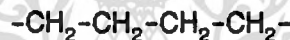
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในโครงการพิเศษนี้จะใช้พอลิเอทิลีนเป็นวัตถุดิบสำคัญในการทดลอง ดังนั้น จึงต้องมีการศึกษาสมบัติต่างๆ ของพอลิเอทิลีนเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการเตรียมเส้นใยเดี่ยวของพอลิเอทิลีนต่อไป โดยจะกล่าวถึงสมบัติโดยทั่วไปของพอลิเอทิลีน เช่น สมบัติทางเชิงกล สมบัติทางความร้อน

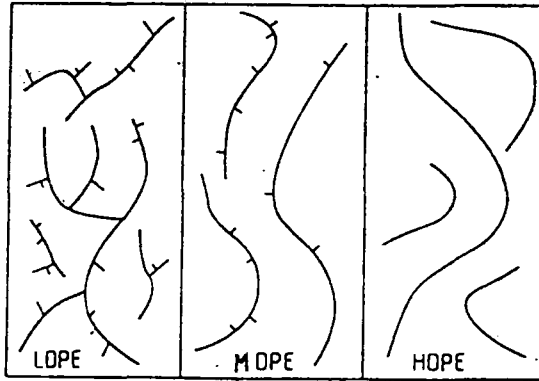
2.1 พอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีนเป็นพอลิเมอร์พวกเทอร์โมพลาสติกซึ่งหลอมแล้วสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ประกอบด้วยไฮโดรเจน(H)และคาร์บอน(C)ซึ่งเกิดจากมอนอเมอร์ของเอทิลีน($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) มีน้ำหนักโมเลกุล 28 เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบรวมตัว (addition polymerization) ได้พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 15,400 เป็นอะดิฟาทิกไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาวมีโครงสร้าง ดังนี้



ซึ่งพอลิเอทิลีนสามารถผลิตได้จากวิธีใช้ความดันสูง กระบวนการซีเกลอร์ กระบวนการฟิลลิปส์และกระบวนการ standard oil โดยพอลิเอทิลีนที่ได้จากการผลิตต่างวิธีกันจะมีสมบัติต่างกันด้วย เช่น การผลิตโดยใช้ความดันสูงจะได้พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ(LDPE) มีอุณหภูมิหลอมเหลว(Melting Temperature, T_m) เท่ากับ 108°C การผลิตโดยใช้ความดันต่ำจะได้พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง(HDPE) โดยอุณหภูมิหลอมเหลว(T_m)ของพอลิเอทิลีนที่ได้เท่ากับ 130°C ส่วนพอลิเอทิลีนที่ได้จากกระบวนการฟิลลิปส์และกระบวนการ standard oil จะมีอุณหภูมิหลอมเหลว(T_m) เท่ากับ 133°C [12] โดยสามารถแบ่งประเภทของพอลิเอทิลีนได้ 3 ประเภท[13] ดังนี้

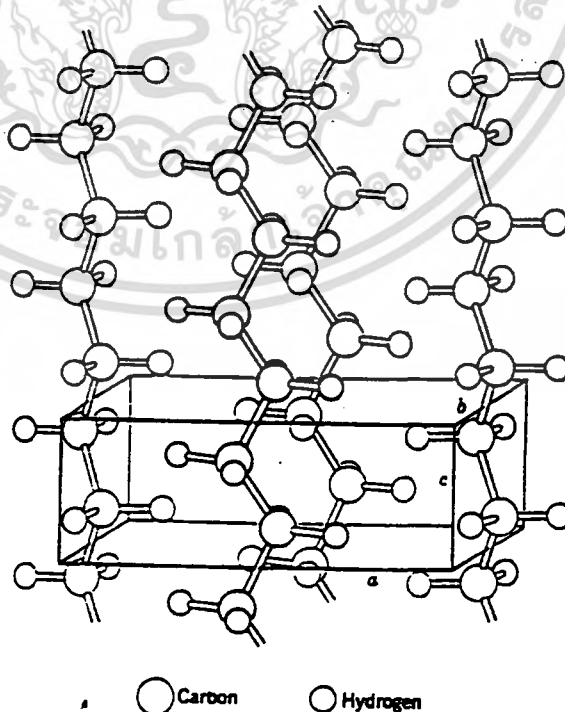
1. LDPE(Low-Density Polyethylene) มี density $0.910-0.925 \text{ g/cm}^3$
2. MDPE(Medium-Density Polyethylene) มี density $0.926-0.940 \text{ g/cm}^3$
3. HDPE(High-Density Polyethylene) มี density $0.941-0.965 \text{ g/cm}^3$



รูป 2.1 แสดงลักษณะโครงสร้างของพอลิเอทิลีนประเภทต่างๆ

โดยปกติความแข็งแรงของพอลิเอทิลีนมาจากส่วนที่เป็นผลึก ความยืดหยุ่น และการยึดตัวมาจากส่วนที่เป็นอสัณฐานซึ่งจะพบทั้งส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐานอยู่ร่วมกัน ค่า T_g จะมีผลทางกายภาพน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่า T_m ซึ่ง T_m ของพอลิเอทิลีนมีค่าประมาณ 108 ถึง 130 °C ค่า T_m มีความสำคัญมากกว่า โดยค่า T_m ต่ำอาจเนื่องมาจากโครงสร้างของ back bone ที่ยืดหยุ่นและมีความแข็งแรงระหว่างโมเลกุลที่ต่ำ

พอลิเอทิลีนมีรูปร่างโมเลกุลเป็น planar zigzag ทำให้มีการจัดเรียงตัวของโซ่โมเลกุลได้ดีเกิดส่วนที่เป็นระเบียบมากและอัดแน่น โดยส่วนที่เป็นผลึกของพอลิเอทิลีนนี้อธิบายได้โดยใช้ unit cell ซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดที่มีการจัดเรียงตัวต่อกันอย่างมีระเบียบใน 3 มิติ และสามารถแสดงโครงสร้างหลักได้ โดยที่ unit cell ในพอลิเอทิลีนเป็นแบบ orthorhombic unit cell มี $a=0.74$ nm , $b=0.49$ nm , $c=0.25$ nm , $\alpha=\beta=\gamma=90$ [8] ดังรูป 2.2



รูป 2.2 แสดงลักษณะ unit cell ของพอลิเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญต์เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งพอลิเมอร์ต่างชนิดกันจะมี unit cell ต่างกันทำให้มีความสามารถในการละลาย อุณหภูมิในการหลอมและสมบัติเชิงกลแตกต่างกัน

ความเป็นผลึกของเส้นใยที่ได้รับการดึงมีความสำคัญจึงได้มีการวัดค่า Modulus ของผลึก(Crystal Modulus)โดยใช้วิธีต่างๆซึ่งได้ค่าออกมาต่าง ๆ กัน ดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 แสดงค่า Crystal Modulus ของ ultra high modulus polyethylene

Method	Modulus(GPa)
X-ray diffraction	235
Raman spectroscopy	290
inelastic neutron scattering	329

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีน

ส่วนที่สำคัญของพอลิเมอร์ที่แสดงสมบัติเชิงกลคือส่วนที่เป็นผลึกโดยส่วนที่ไม่มีกิ่งก้านสาขาเกือบทั้งหมดจะสามารถเป็นส่วนที่เป็นผลึกได้และมีผลทำให้จุดหลอมเหลวแคบ ความเป็นผลึกที่อุณหภูมิปกติสามารถวัดได้จากค่า specific gravity ประมาณ 60 % ของพอลิเอทิลีนทั่วไป จะมีทั้งผลึกมากและผลึกน้อย แตกต่างกันไปขึ้นกับ

1. องศาการเกิดกิ่งสาขาของโซโม่เลกุล ดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 แสดงองศาการเกิดกิ่งสาขาของโซโม่เลกุลและ Crystallinity[14]

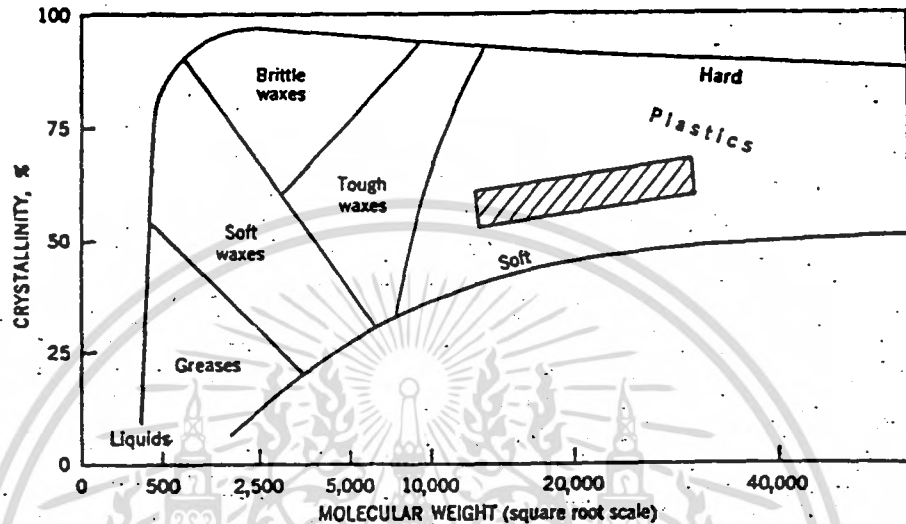
Degree of Branching CH ₂ per 100 CH ₂	Specific Gravity at 20 °C	Crystallinity, %
0 (polymethylene)	0.99	95
1	0.96	80
2	0.94	72
3	0.92	60
4	0.91	55

องศาการเกิดกิ่งสาขาของโซโม่เลกุลมีผลต่อสมบัติเชิงกล คือ ความแข็ง(Hardness) อุณหภูมิหลอมเหลว(Melting Temperature, T_m) จุดอ่อนตัว(Softening Point) จุด Yield Point ค่า Young's Modulus) ความหนาแน่น และความร้อนจำเพาะ(specific heat)โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ภายในเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ประการใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศาการเกิดกิ่งสาขาของโซโม่เลกุลมาก ความเกาะเกาะมาก โซโม่เลกุลจึงอัดแน่นได้ยาก ส่วนที่เป็นผลึกเกิดน้อยความแข็งแรงจึงต่ำ

2. ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักโมเลกุล[13] ดังรูป 2.3



รูป 2.3 กราฟแสดง Crystallinity Molecular Weight และสมบัติของพอลิเอทีลีน

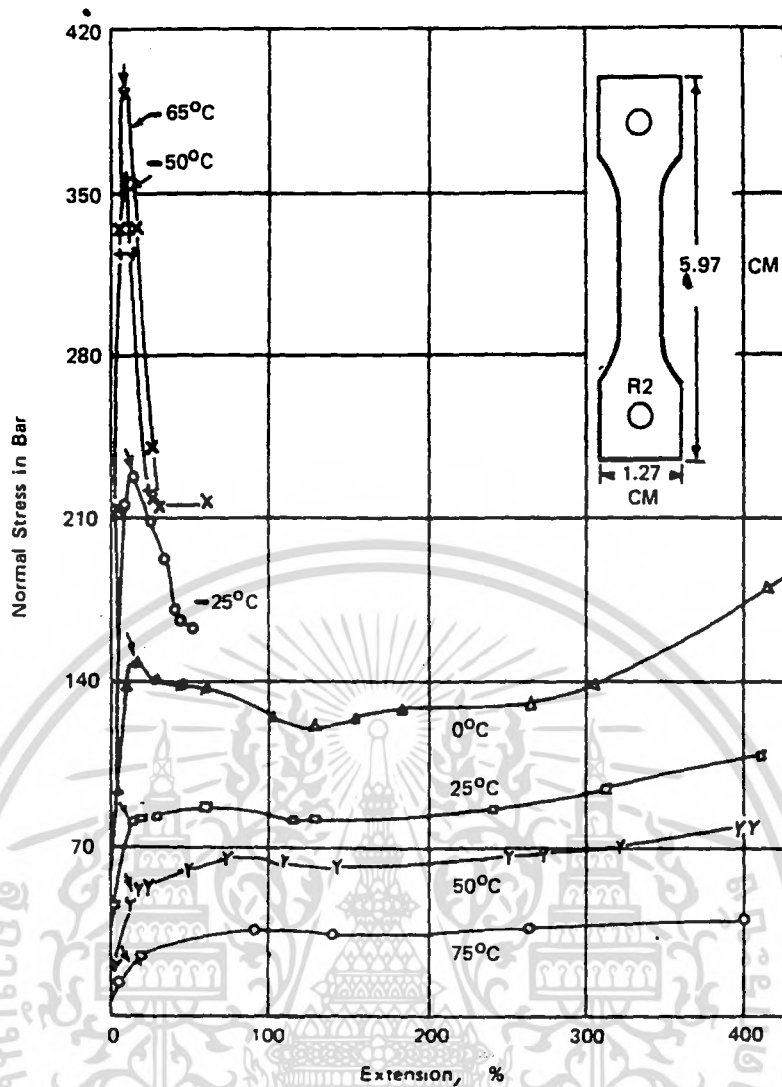
ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักโมเลกุลมีผลต่อสมบัติเชิงกล คือ Tensile Strength , Flexibility at Low Temperature , Impact Strength , Tear Resistance , Elongation at Break in Tension เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลสูงจะทำให้เกิดการค้ำคุดและการเกิดการพันกันระหว่างโซโม่เลกุลทำให้มี degree of crystallinity ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ส่วนพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะทำให้มี degree of crystallinity ต่ำ(ความแข็งแรงลดลง)

3. อัตราการเย็นตัว(Initial Thermal Treatment)

- 3.1 ทำพอลิเมอร์หลอมให้เย็นอย่างรวดเร็วที่ได้น้ำหนักเล็ก สมบัติเชิงกลต่ำ
- 3.2 ทำพอลิเมอร์หลอมให้เย็นอย่างช้าๆผลึกที่ได้น้ำหนักใหญ่ สมบัติเชิงกลสูง

4. อุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้สมบัติเชิงกลต่ำลงเนื่องจากอุณหภูมิทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโซโม่เลกุลถูกทำลาย



รูป 2.4 กราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อสมบัติเชิงกล

ตาราง 2.3 แสดงตัวอย่างสมบัติเชิงกลของพอลิเอทีลีน

Molecular weight(number average)	25,000
Intrinsic viscosity(in tetrahydronaphthalene at 75 °C),deciliters/gram	1.0
M. p., °C	110
Density:	
At 20 °C	0.92
At 50 °C	0.90
At 80 °C	0.87
At 110 °C	0.81
Coefficient of linear expansion between 0 and 40 °C.,per °C	0.0002
Volume change on heating from 20 to 110 °C.,%	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.3(ต่อ) แสดงตัวอย่างสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีน

Compressibility	5.5×10^{-5}
Specific heat	
At 20 °C	0.55
At 50 °C	0.70
At 80 °C	0.90
Heat-content change on heating from 20 to 110 °C.,cal./gram	90
Refractive index	1.52
Young's modulus(0-5% extension),kg/sq.cm	1600
Yield point in tension,kg./sq.cm.	
At 20 °C	100
At 50 °C	60
At 80 °C	40
Tensile strength at 20 °C.,kg./sq.cm.	150
Elongation at yield(cold drawing begin),%	50
Elongation at break,%	500
Impact strength(0.5-in square notch bar),ft-ib.	> 15
Brinell hardness(2-mm.-diam.ball 3 kg)	2
Thermal conductivity,cal./ (sec.)(sq.cm.)(°C.cm.)	0.0007

2.3 เส้นใยพอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติทางเชิงกลค่อนข้างต่ำ ได้มีการเพิ่มสมบัติทางเชิงกลของพอลิเอทิลีนให้ดีขึ้นโดยการนำพอลิเอทิลีนไปหลอมเป็น เส้นใย(melt spun) แล้วผ่านน้ำหรืออากาศเพื่อให้เส้นใยเย็นตัวลงแล้วทำการ cold draw ประมาณ 6 เท่าของความยาวเส้นใยเดิมเพื่อเป็นการเพิ่มสมบัติเชิงกลในทิศทางเดียว (ในแนวเส้นใย)ทำให้พอลิเอทิลีนที่ได้มีสมบัติทางเชิงกลที่ดีขึ้น

พอลิเอทิลีนเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง ข้อเด่นที่มีการนำพอลิเอทิลีนมาใช้ในการผลิตเส้นใย คือ

1. โขโมเลกุลเป็นสายโซ่ตรง มีจุดหลอมเหลวและน้ำหนักโมเลกุลสูง
2. โขโมเลกุลไม่มีกิ่งก้านสาขา ไม่มี side group ขนาดใหญ่ทำให้โซโมเลกุลสามารถจัดเรียงตัวเกิดเป็นผลึกได้ดี

ลักษณะของพอลิเอทิลีนเมื่อเกิดการดึงจะคล้ายกับ crystalline polymer อื่นๆ เช่น พอลิเอไมด์ พอลิเอสเทอร์ ซึ่งจะแสดงสมบัติของการดึงเย็น(cold drawing)เมื่อให้แรงกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น เช่น ความยาวของ monofilament จะเปลี่ยนเป็นครั้งแรกที่เกิดขึ้นโดยเกิดการเสียรูปร่าง แล้วหดคืนกลับสู่สภาพเดิมเมื่อทำการยืดที่ 10 % จากนั้นถ้าดึงที่ 50 % ชิ้นงานจะเปลี่ยนไปสู่สภาวะการจัดเรียงตัวมากขึ้น ที่เรียกว่า จุด yield point ชิ้นงานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำบางครั้งจะขาดที่จุดนี้ แต่พอลิเอทิลีนมีน้ำหนักโมเลกุลสูงประมาณ 20,000 ซึ่งไม่เกิดการขาดที่จุด yield point แรงที่ใช้ดึงจะช่วยเพิ่มความยาวของส่วนที่มีการจัดเรียงตัวในชิ้นงานโดยใช้แรงดึงคงที่จนกระทั่งชิ้นงานมีการจัดเรียงตัวหมด ซึ่งประมาณ 5 เท่าของความยาวเดิม

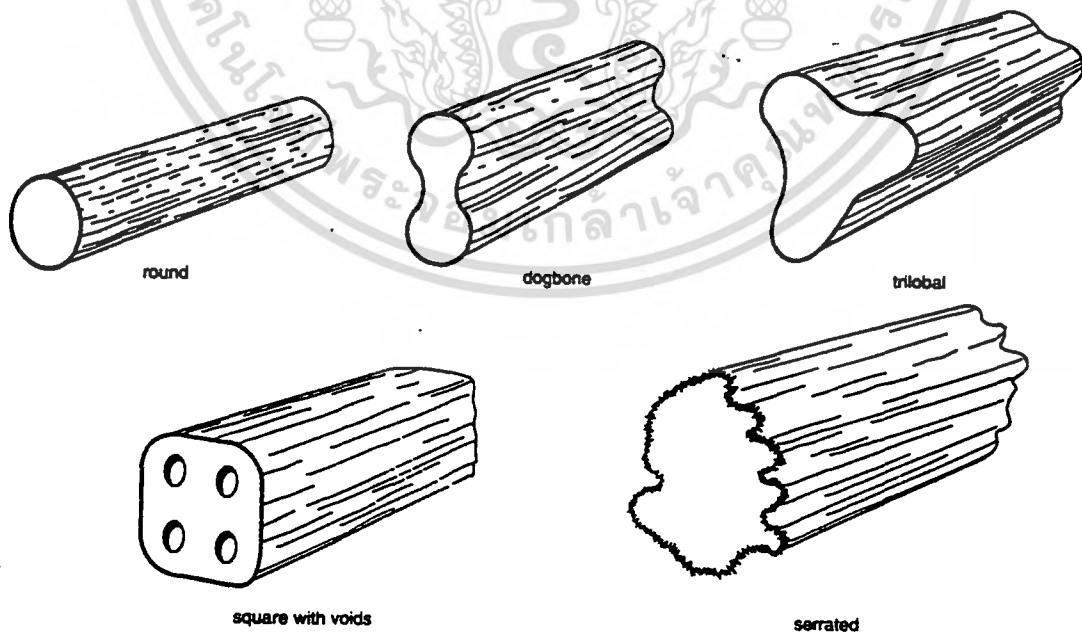
2.3.1 สมบัติของเส้นใยพอลิเอทิลีน[8]

1. Macroscopic Morphology

รูปร่างของเส้นใยพอลิเอทิลีนแตกต่างกันแต่ส่วนใหญ่จะมีภาคตัดขวางเป็นรูปวงรี(elliptical) หรือ รูปกลม(round) เส้นใยบางชนิดมีลักษณะพิเศษโดยเกือบเป็นสามเหลี่ยม ในขณะที่การผลิตเส้นใยนั้นมีความยาวที่แตกต่างกันและ denier ต่างกันทำให้สมบัติต่างกัน

Microscopic Morphology

มีความสำคัญกว่า Macroscopic โดยศึกษาจากพื้นที่ผิวของเส้นใยและพื้นที่หน้าตัด



รูป 2.5 แสดงลักษณะ Macroscopic ของเส้นใยพอลิเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Stress-Strain Relationships

ค่า Tenacity ของเส้นใยพอลิเอทิลีนไม่เหมือนกับเส้นใยอื่นๆ คือ ไม่เสียความแข็งแรงเมื่อเปียกน้ำ พอลิเอทิลีนมีความอ่อนมากกว่าในพวกโพลิฟินโดยเส้นใยจะมีค่า tenacity อยู่ในระหว่าง 1.5 ถึง 7 g/d

3. Elongation และ Resilience

เส้นใยพอลิเอทิลีนสามารถเกิดการหดกลับได้เมื่อยืดได้ 5% และเกิดการเสียรูปร่างอย่างถาวรที่จุด yield point เมื่อยืดที่ 10% ขึ้นไป โดยพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) มี % elongation ประมาณ 20 ถึง 80 % และมีค่า 100 % elastic recovery ที่ 2 % elongation ส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) จะมี % elongation ประมาณ 10 ถึง 45 % และมีค่า 100 % elastic recovery ที่มากกว่า 10 % elongation

4. Density

เส้นใยพอลิเอทิลีน (Density ประมาณ $0.92-0.96 \text{ g/cm}^3$) เบากว่าน้ำและจะลอยน้ำ บางครั้งจำเป็นต้องเคลือบด้วย wetting agent (detergent) บนผิวหน้าของเส้นใยเพื่อกำจัดน้ำมันและสิ่งที่ทำให้เส้นใยลอย

5. Moisture

โดยทั่วไปปริมาณน้ำที่เส้นใยดูดซึมความชื้นจะเข้าใกล้ศูนย์

6. Thermal Properties

เส้นใยพอลิเมอร์เผาไหม้ได้ช้าและเผาไหม้ได้อย่างต่อเนื่องเมื่อไหม้ไฟมาจากผิวหน้า เส้นใยพอลิเอทิลีนจะไวต่อความร้อนไม่เกิดการหดตัวที่อุณหภูมิ 100°C โดยปกติเส้นใย พอลิเอทิลีนจะหลอมที่ 105 ถึง 125°C

7. Chemical Properties

เส้นใยพอลิเอทิลีนมีความต้านทานต่อสารเคมีสูง ทนด่างและกรดเกือบทุกชนิด ซึ่ง strong oxidizing acids ทำให้สูญเสียความแข็งแรงได้ ทนตัวทำละลาย แต่ chlorinated hydrocarbons ทำให้เส้นใยพอลิเอทิลีนบวมและไม่ควรใช้การ dry-clean ใน perchloroethylene แต่จะใช้ตัวทำละลาย trichloroethylene

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิเอทิลีน

1. ชนิดของพอลิเมอร์ เช่น น้ำหนักโมเลกุล ความหนาแน่น อุณหภูมิที่สถานะคล้ายแก้ว (T_g) อุณหภูมิที่ทำให้พอลิเมอร์เริ่มหลอมตัว (T_m) ทำให้มีสมบัติต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สภาวะในการเกิดพอลิเมอร์ ในขบวนการผลิตที่ต่างกันทำให้สมบัติทางเชิงกลต่างกันด้วย เช่น ความดันที่ใช้ถ้าใช้ความดันสูงจะได้พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำแต่ถ้าใช้ความดันต่ำจะได้พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง

3. น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย

- น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูง จะทำให้อุณหภูมิที่ใช้หลอมสูงประมาณ 200 ถึง 300 °C จะเกิดการสลายตัวได้ง่าย

- น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่สูงขึ้น ทำให้ค่า tenacity ของเส้นใยเพิ่มขึ้น

- น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่ำ อุณหภูมิในการหลอมที่ต่ำทำให้เกิดการสลายตัว

น้อย

4. ความเป็นผลึก

- ถ้าหลอมขึ้นงานแล้วถูกทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วจะทำให้พอลิเมอร์มีความหนาแน่นต่ำ ความเป็นผลึกน้อย ความยืดหยุ่นมาก และมีความต้านต่อการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำมากขึ้น

5. อัตราการให้แรงดึง

เมื่อเพิ่มอัตราการให้แรงดึงมากขึ้น yield point จะเพิ่มขึ้น ultimate strength เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการจัดเรียงตัวอย่างสมบูรณ์ของชิ้นงานที่ทำการ cold draw

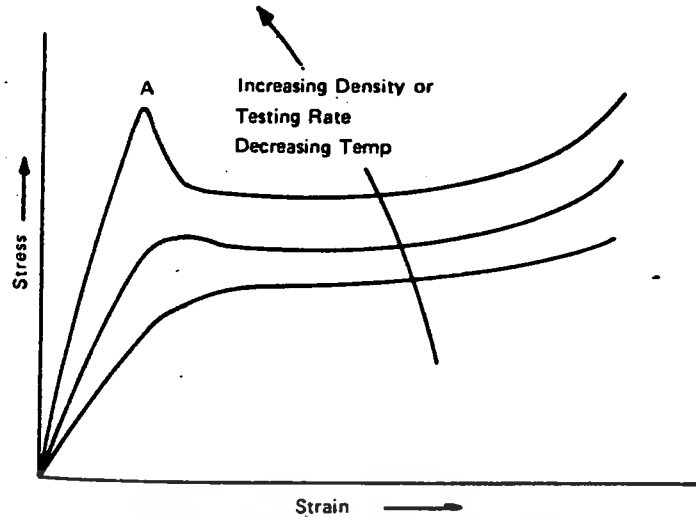
6. อุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ดึงเพิ่มขึ้นทำให้ yield point ลดลงด้วย

7. การจัดเรียงตัว

การดึงเส้นใยทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโซ่โมเลกุล โดย draw ratio จะเป็นส่วนสำคัญที่แสดงถึงองศาการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกของเส้นใยที่ไม่ทำการดึง โดยส่วนของอสัณฐานจะถูกดึงได้ง่าย ที่ draw ratio ต่ำค่าองศาการเกิดอสัณฐานมากกว่าเส้นใยผลึกทั่วไป แต่ค่า tenacity ของเส้นใยที่เป็นผลึกจะมากกว่าเส้นใยที่เป็นอสัณฐานที่มีองศาการจัดเรียงตัวเท่ากัน

8. ความร้อน ในกระบวนการที่ทำให้เส้นใยเกิดการจัดเรียงตัวการให้ความร้อนอีกครั้งหนึ่งจะทำให้เส้นใยเสถียรมากขึ้นเนื่องจากลดการหดตัวของเส้นใย



รูป 2.6 กราฟแสดงอิทธิพลของความหนาแน่น อัตราเร็วการดึงทดสอบ อุณหภูมิการดึงทดสอบที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของเส้นโพลิเอทิลีน

2.3.3 การจัดเรียงตัวของเส้นใย

ตามปกติ micromorphology จะถูกเปลี่ยนแปลงให้มีการจัดเรียงตัวใหม่ได้ในขบวนการผลิตเส้นใย โดยมีการควบคุมให้แรงดึงของเส้นใยต่างกันทำให้สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีเปลี่ยนไป เช่น เกิดความแข็งแรงมากขึ้น การยืดตัวต่ำลง และความต้านทานการฉีกมีมากขึ้น เนื่องจากแรงดึงทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลมากขึ้น (high orientation) มีการเคลื่อนที่ของโซ่โมเลกุลมากในส่วนที่เป็นอสัณฐานและเกิดน้อยในส่วนที่เป็นผลึก เมื่อมีการเคลื่อนที่ของโซ่โมเลกุลสูงเส้นใยจะมีการยืดตัวที่สูง ในทางตรงกันข้ามเมื่อไม่มีการเคลื่อนที่ของโซ่โมเลกุลเส้นใยจะอ่อนแอและมีความยืดหยุ่นต่ำ

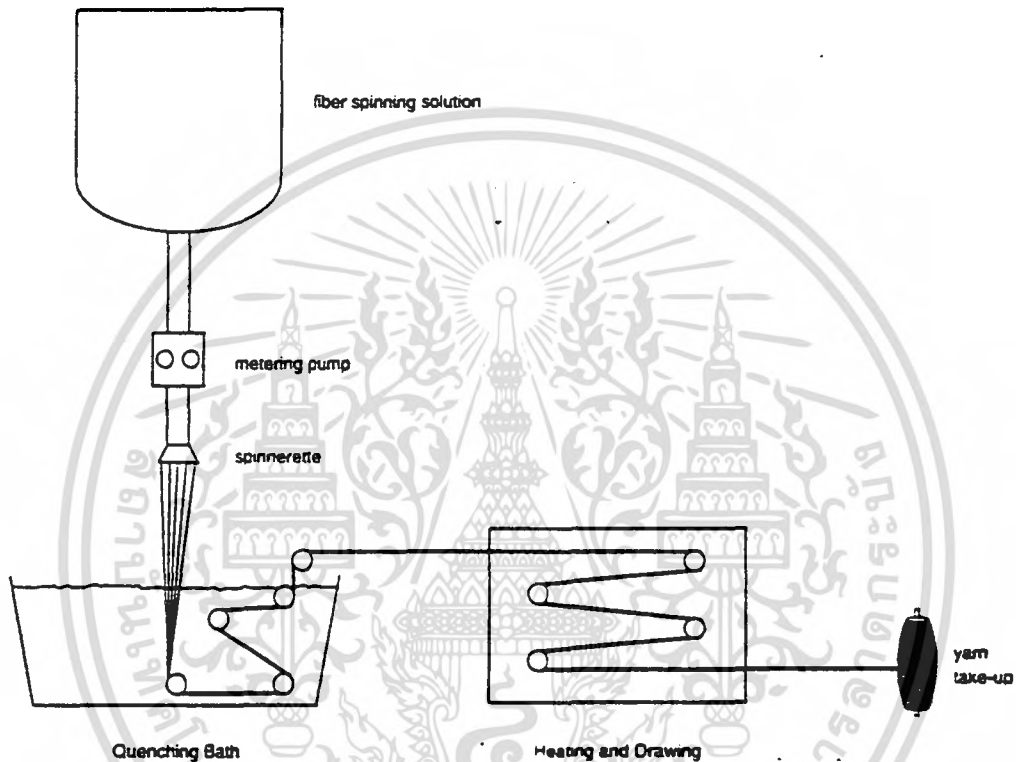
เมื่อทำการดึงเส้นใยที่ได้จากการหลอมโพลิเอทิลีน ส่วนที่เป็นผลึกที่เกิดขึ้นจะถูกทำลายลงโดยแตกเป็น fibril กระจายตัวอยู่ทั่วเส้นใยแล้วมีการจัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบตามแนวแรงทำให้เส้นใยที่ได้มีความแข็งแรงมากขึ้นเนื่องจากการสร้าง tie molecule ของสายโซ่โมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและต้านทานการเกิด internal voiding ของสายโซ่โมเลกุลที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยสามารถดูได้จากค่า high draw ratio ซึ่งก็คือความยาวสูงสุดของเส้นใยเมื่อทำการดึงเปรียบเทียบกับความยาวของเส้นใยเดิมเมื่อไม่ทำการดึง โดยจะได้ค่า high modulus เมื่อมีการดึงจะลดองศาการเกิดผลึกจะทำให้ draw ratio เพิ่มขึ้น ซึ่งชัดเจนด้วยการลดความเร็วในการดึงพร้อมกับเพิ่มอุณหภูมิในการดึง

2.3.4 การเตรียมเส้นใยที่มีการจัดเรียงตัวสูง

วิธี tensile drawing ทำให้เกิด high modulus polyethylene โดยนำเส้นใยโพลิเอทิลีนมาทำให้เกิดการจัดเรียงตัวมากขึ้นโดยการทำให้เกิด draw ratio สูงสุด (ประมาณ 35-40) จะได้ค่า modulus สูงสุด (60 - 65 GPa) โดยการนำมาดึงที่อุณหภูมิสูงประมาณ 100 ถึง 105 °C โดยเส้นใยที่ดึงได้ค่า draw ratio บางครั้งไม่แน่นอน เนื่องจากมีปัจจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้ามาเกี่ยวข้องมาก เช่น อุณหภูมิที่เหมาะสมของแต่ละเส้นใย การเกิด defect อันเนื่องมาจากช่องว่างภายในเส้นใย impurities ทำให้เกิดปัญหาในการเตรียมเส้นใยเพื่อให้ได้เส้นใยที่มีการจัดเรียงตัวสูง นอกจากนี้ยังมีวิธี hydrostatic extrusion , ram extrusion และ die drawing สามารถทำให้เกิด high modulus polyethylene ได้ด้วย

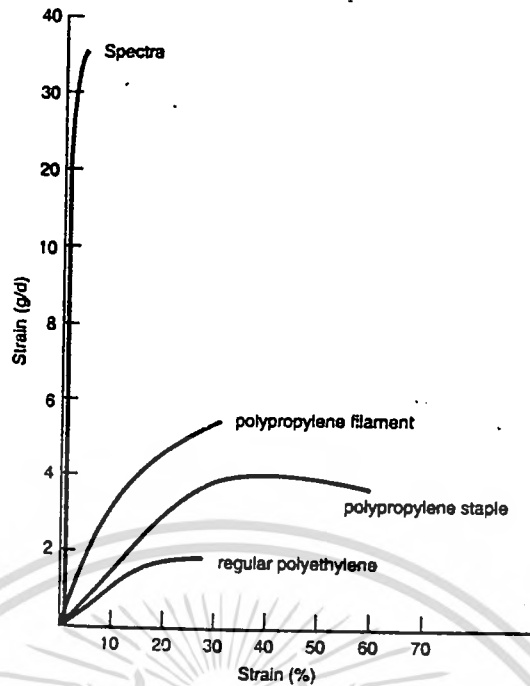


รูป 2.7 แสดงการเตรียมเส้นใยเดี่ยวของพอลิเอทิลีน

2.3.5 สมบัติภายหลังการดึง

HDPE ที่ได้มีค่า moduli of elasticity ประมาณ 50-100 GPa ความแข็งแรงสูง ทนต่อการขีดข่วน ทนแสง ทนสารเคมีและการดูดซึมน้ำต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.8 กราฟแสดง Stress-Strain ของเส้นใยที่ได้รับการดึงและเส้นใยที่ไม่ได้ดึง

ตาราง 2.3 แสดงสมบัติของเส้นใยโพลิฟิน

	Polypropylene	Polyethylene	Spectra
Tenacity(g/d)	4-7	1.5-7	35
Dry	2.0-2.5	1.0-7.0	30-35
Wet	2.0-2.5	1.0-7.0	30-35
Elastic recovery, 2% elongation (%)	100	100	100
Density(g/cm ³)	0.90-0.91	0.92-0.96	0.97
Moisture regain (%)	0.01-0.1	0	0
Melting point(°C)	160-170	115-127	149

2.3.6 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเส้นใยที่มีการจัดเรียงตัวสูง

1. ผลจากน้ำหนักรีดต่อ initial thermal treatment

สำหรับพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักรีดเฉลี่ยต่ำ crystallization มีผลสำคัญต่อสมบัติของเส้นใย เนื่องจาก initial thermal treatment ทำให้เกิด crystallization ต่างกัน maximum draw ratio ต่างกัน ซึ่งถ้าทำให้พอลิเมอร์หลอมเย็นตัวอย่างรวดเร็วโดยการจุ่มในน้ำเย็นทำให้ crystallinity ต่ำ maximum draw ratio ต่ำ สมบัติเชิงกลต่ำ ถ้าทำให้พอลิเมอร์หลอมเย็นตัวอย่างช้าๆโดยรอจนอุณหภูมิต่ำกว่า T_c (120 °C) จากนั้นนำไปจุ่มใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิพนธ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำเย็นจะทำให้ crystallinity สูงกว่า maximum draw ratio สูงกว่า สมบัติเชิงกลดีกว่า ส่วนพอลิเมอร์ที่น้ำหนักโมเลกุลสูง initial thermal treatment จะไม่มีผลต่อสมบัติเส้นใย

2. ผลจากน้ำหนักโมเลกุลต่ออุณหภูมิที่ดึง

พอลิเมอร์ที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้าง อุณหภูมิที่ใช้ดึงจะสูง เนื่องจากมีโซโมเลกุลต่างกันมาก อุณหภูมิสูงจะทำให้โซโมเลกุลเกิดการเคลื่อนไหวได้ง่ายเมื่อมีแรงดึงจะเกิดการจัดเรียงตัวตามแรงดึงได้ดี

3. ผลจากอุณหภูมิที่ดึงต่อการเกิดช่องว่าง

เมื่อทำการดึงที่อุณหภูมิสูงจะได้ค่า draw ratio สูงและค่า modulus สูง เนื่องจากโซโมเลกุลที่น้ำหนักโมเลกุลสูงจะสร้าง tie molecule ยึดระหว่างโซโมเลกุลทำให้เกิดความเป็นระเบียบสูง โซโมเลกุลที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำจะช่วยในการจัดเรียงตัวของโซโมเลกุลที่ยาวและต้านการเกิดช่องว่าง ซึ่งจะช่วยลดข้อบกพร่องของเส้นใยทำให้สมบัติเชิงกลของเส้นใยเมื่อดึงที่อุณหภูมิสูงดีขึ้น ซึ่งช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 100 ถึง 105 °C

2.3.6 ศักยภาพในการนำไปใช้งาน

เนื่องจากสมบัติบางประการที่ดีของเส้นใยพอลิเอทิลีนจึงได้มีการนำไปพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในงานด้านต่างๆเพิ่มขึ้น เช่น

1. เชือกที่มีความแข็งแรงสูง เนื่องจากสมบัติของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่ทนต่อการบิดข่วน ไม่มีคม ดูดซึมน้ำต่ำ
2. ตัวเสริมแรงในองค์ประกอบต่างๆ เนื่องจากมีความแข็งแรงสูง ค่า modulus สูง
3. งานทางทะเล เนื่องจากมีความแข็งแรงสูง ค่า modulus สูง ทนต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ ลอยน้ำได้ดี
4. งานทางการแพทย์ เนื่องจากมีความแข็งแรงสูง ฉีกไม่ดูดซึม และไม่เปื้อนสารก่อมะเร็ง

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินการวิจัย

ได้ดำเนินการทดลองโดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือเพื่อผลิตเส้นใย monofilament PE
2. ขั้นตอนการนำเส้นใย monofilament ที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ

3.2 วัสดุที่ใช้

สารเคมีที่ใช้

1. พอลิเอทิลีน ชื่อทางการค้า THAI-ZEX 1600J ของ บริษัท บางกอกโพลีเอทิลีน จำกัด ตาราง 2 แสดงสมบัติทางกายภาพของ THAI-ZEX 1600J

ควรรชนีการไหล melt flow rate	g/10 min	ASTM D1238	18
ความหนาแน่น density	g/cm ³	ASTM D1505	0.958
ความต้านแรงยืด tensile strength at yield	kg/cm ²	ASTM D638	280
ความต้านทานแรงดึงขาด tensile strength at break	kg/cm ²	ASTM D638	200
ความยืดที่จุดขาด elongation at break	%	ASTM D638	>500
ความสามารถในการทรงรูป stiffness(olsen)	kg/cm ²	ASTM D747	10000
ความต้านแรงกระแทก izod impact strength(with notch)	kg.cm/cm	ASTM D256	2
ความแข็ง hardness(shore D)	D scale	ASTM D2240	65
จุดหลอมเหลว melting point	°C	ASTM D2117	131
จุดอ่อนตัว softening point	°C	ASTM D1525	122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องมือที่ใช้ในส่วนของการหลอมเส้นใย(รูป 3.1) ประกอบด้วย
 - แท่งเหล็กทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม.
 - แผ่นเหล็กหัว die ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ die 1/32 ซม.
 - แท่งเหล็กทำหน้าที่เป็นลูกสูบเพื่อกลพลาสติคที่หลอม
 - แผ่นให้ความร้อน(heater)
 - ชุดควบคุมความร้อนประกอบด้วย thermocouple และ controller
2. ชุดเก็บเส้นใย ไซมอเตอร์ที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 4.04 ซม./นาทีขึ้นไป
3. ลูกน้ำหนัก 25 ก.ก. เพื่อใช้ในการกดพลาสติกเหลวออกมาจากชุดหลอมพลาสติก
4. เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของเส้นใย
 - เครื่อง DSC
PERKIN ELMER
 - เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล พร้อมตู้ควบคุมอุณหภูมิ
LLOYD Instrument LR 30K

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 calibrate เครื่องมือที่ใช้เตรียมเส้นใยพอลิเอทิลีน

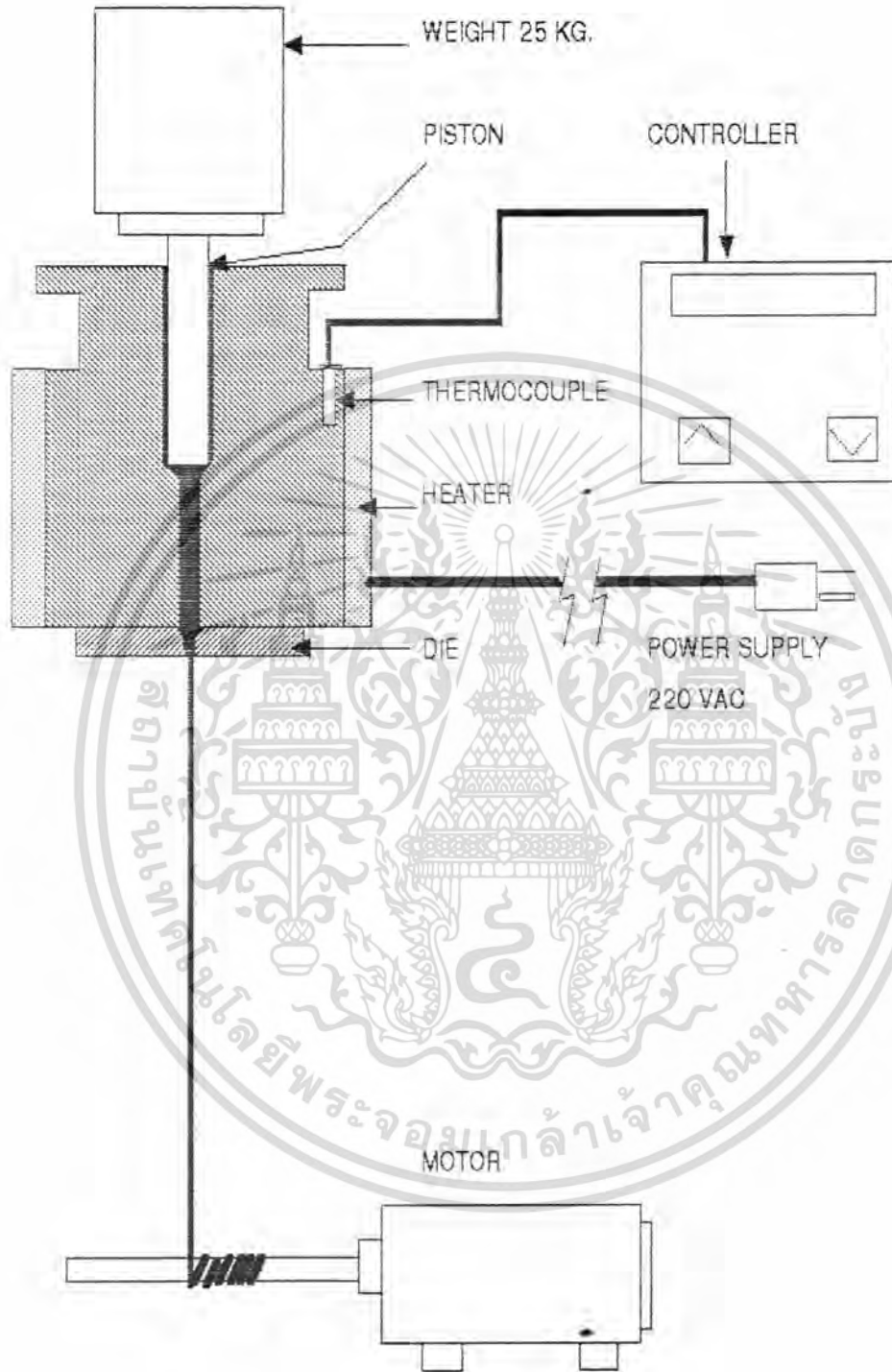
อุณหภูมิ die ด้วยแผ่นฟอยล์แล้วนำ glycerol มาใส่ในช่องที่ใส่พลาสติกแล้วให้ความร้อนโดยเริ่มตั้งอุณหภูมิของเครื่องควบคุมตั้งแต่ 90 , 100 , 110 , 120 , 130 , 140 , 150 , 160 และ 170 °C วัดอุณหภูมิของ glycerol โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แล้วมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิล โดยจับเวลาจนอุณหภูมิเริ่มคงที่

3.3.2 การผลิตเส้นใย monofilament

ซึ่งพอลิเอทิลีน 10 g มาใส่ในชุดหลอมพลาสติกแล้วทำการหลอมพลาสติกใช้เวลาในการหลอมประมาณ 30 นาที นำลูกน้ำหนักมากกดพลาสติกเหลวให้ไหลผ่านหัว die โดยวางบนแท่งเหล็กที่เป็นลูกสูบ ใช้อุณหภูมิและความเร็วรอบที่ใช้ในการดึงพลาสติกที่หลอมดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมพลาสติก มีดังนี้ 130 , 135 , 140 , 145 และ 150 °C
2. ความเร็วที่ใช้ในการดึง มีดังนี้
 1. ปล่อยให้พอลิเอทิลีนหลอมไหลโดยไม่ใช้ไซมอเตอร์ดึง(0 ซม./นาที)
 2. ไซมอเตอร์ดึงด้วยความเร็วดังนี้ 6.55 , 12.1 , 18.1 , 24.2 ซม./นาที
 ทำการดึงเส้นใยพลาสติกโดยใช้ความร้อนในการหลอมพลาสติกดังกล่าวแล้วเปลี่ยนความเร็วที่ใช้ในการดึงตามกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.1 แสดงไดอะแกรมเครื่องมือที่ใช้ผลิตเส้นโพลีเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติของเส้นใย monofilament

3.3.3.1 ทดสอบโดยใช้เครื่อง DSC เพื่อหา

- Crystallinity
- Peak
- Onset

โดยใช้ scan rate 10 °C/min และใช้ N₂ เป็น purge gas

3.3.3.2 ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล

1. นำเส้นใยที่ได้จากการหลอมที่อุณหภูมิหลอมและดึงด้วยความเร็วต่างๆไปทดสอบสมบัติต่างๆโดยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลที่อุณหภูมิห้อง(RT)โดยใช้ gauge length เท่ากับ 2 ซม.และอัตราในการดึงเป็น 50 มม./นาที เพื่อหาค่าต่างๆดังต่อไปนี้

- Modulus
- Yield Strength
- Tensile Strength at Break

2. นำเส้นใยที่ได้จากการหลอมที่อุณหภูมิหลอมและดึงด้วยความเร็วต่างๆ นำมาทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลในตู้อบที่อุณหภูมิตั้ง ดังนี้ 60 , 70 , 80 และ 90 °C เพื่อวัดค่า Modulus , Yield Strength และ Tensile Strength at Break

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการ calibrate เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตเส้นใย

ผลที่ได้จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้เทอร์โมคัปเปิลกับอุณหภูมิที่ได้จากเทอร์โมมิเตอร์ที่วัดได้จาก glycerol พบว่า อุณหภูมิที่ได้จากเทอร์โมมิเตอร์จะสูงกว่าอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิลประมาณ 10 ± 2 °C ดังนั้น อุณหภูมิที่ใช้ต่อไปนี้เป็นอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิล

4.2 ผลการวิเคราะห์เส้นใยพอลิเอทิลีนด้วยเครื่อง DSC

4.2.1 ผลการทดลองเมื่อให้อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบคงที่และความเร็วที่ใช้ในการดึงในการผลิตเส้นใยต่างๆกัน

1. ผลการทดลองเส้นใยพอลิเอทิลีนที่อุณหภูมิหลอม 130 °C และความเร็วในการดึงเป็น 0, 12.1 และ 40.4 ซม./นาที

ตาราง 4.1 แสดงผลสมบัติทางความร้อนเมื่อหลอมเส้นใยที่ 130 °C และความเร็วดึงต่างๆ

ความเร็วในการดึง(ซม./นาที)	T_{onset}	Peak	$\Delta H(j/g)$
0	124.72	130.32	171.28
12.1	124.58	130.41	174.70
40.4	124.01	129.64	168.13

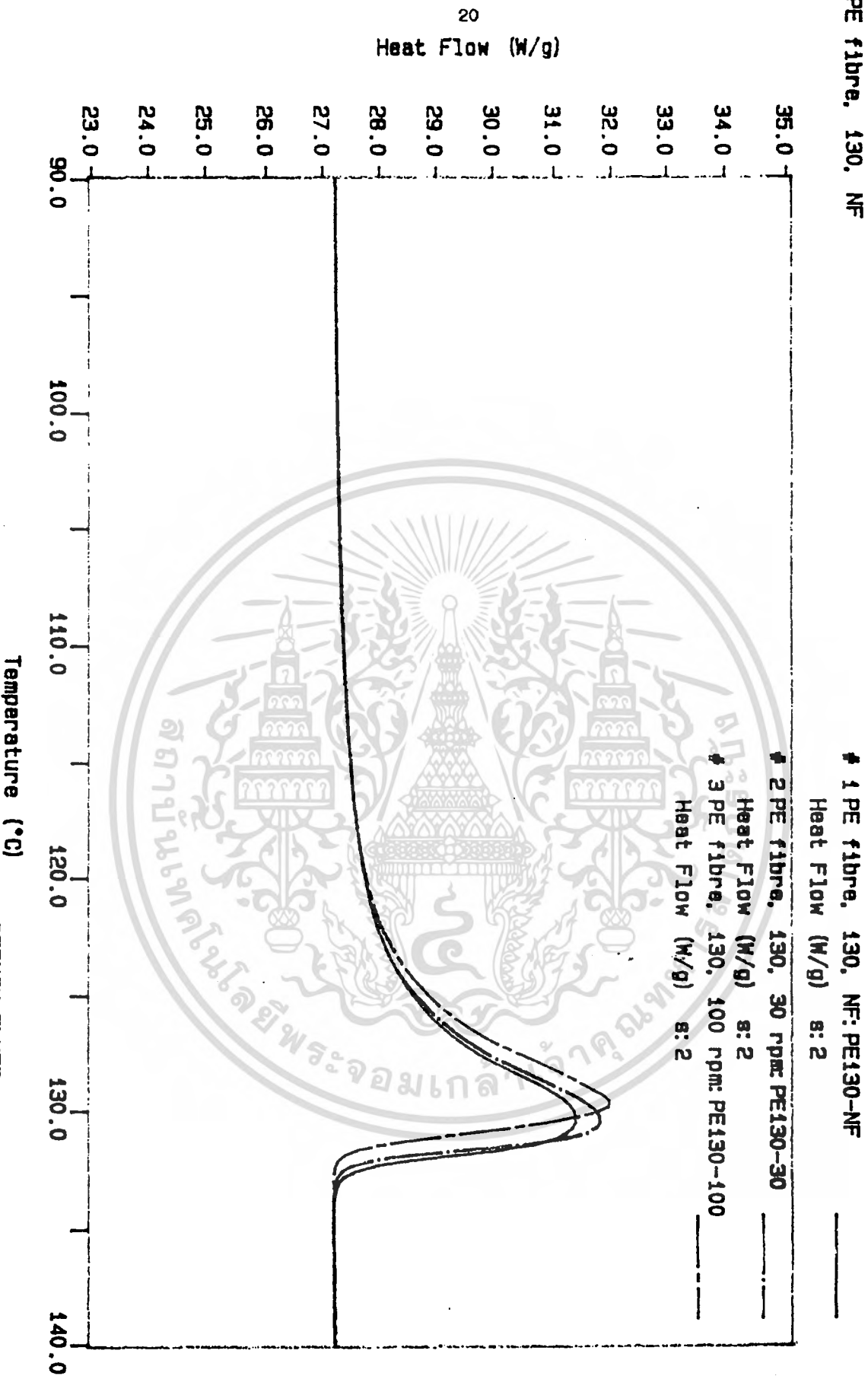
2. ผลการทดลองเส้นใยพอลิเอทิลีนที่อุณหภูมิหลอม 140 °C และความเร็วในการดึงเป็น 0, 12.1 และ 40.4 ซม./นาที

ตาราง 4.2 แสดงผลสมบัติทางความร้อนเมื่อหลอมเส้นใยที่ 140 °C และความเร็วดึงต่างๆ

ความเร็วในการดึง(ซม./นาที)	T_{onset}	Peak	$\Delta H(j/g)$
0	124.54	130.05	171.47
30	125.13	130.47	171.48
100	123.57	130.09	165.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Curve 1: DSC
 File Info: PE130-NF Tue Jan 16 17:15:48 1996
 Sample Weight: 2.880 mg
 PE fibre, 130, NF



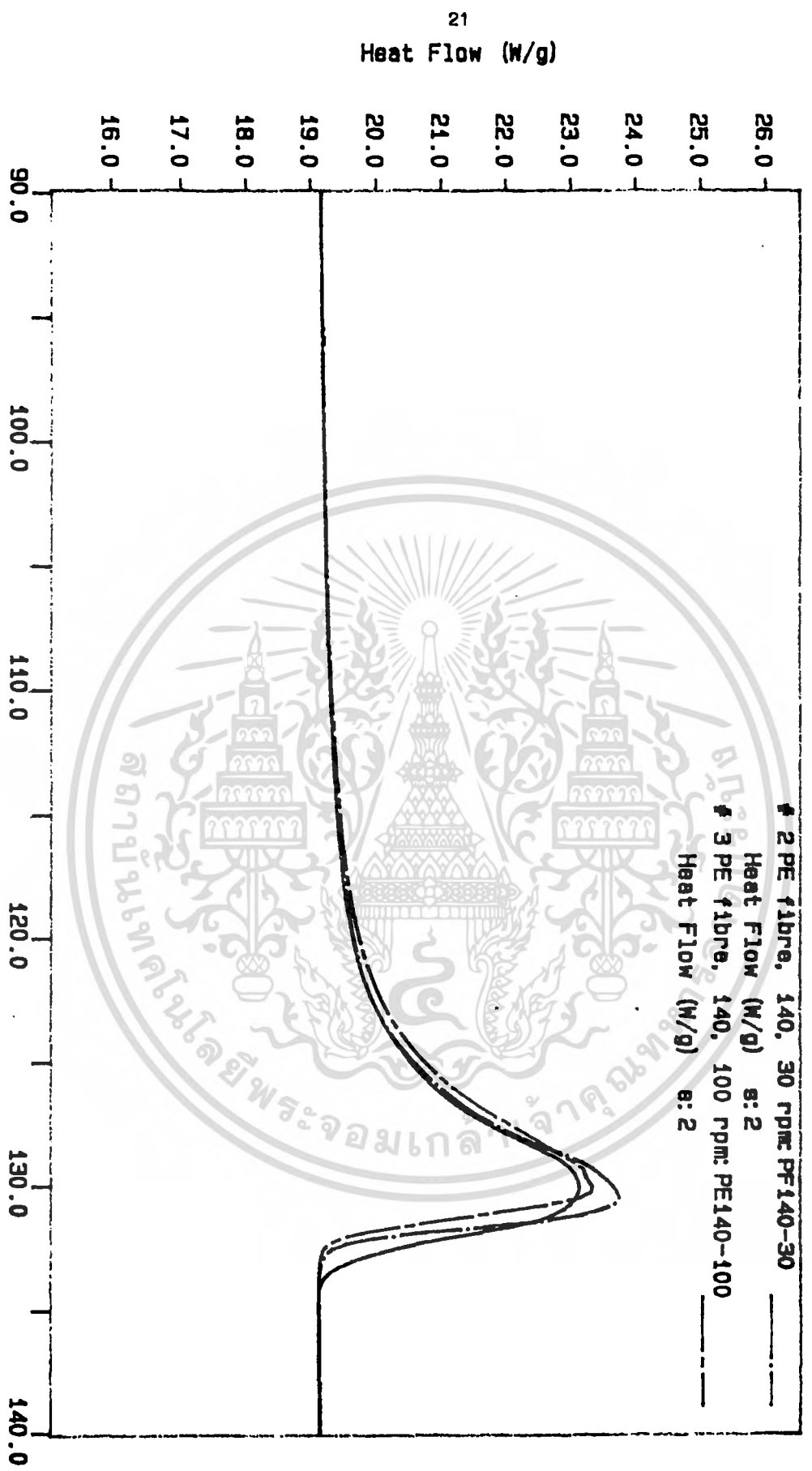
Temp: 50.0 C
 Time: 0.0 min
 Rate: 10.0 C/min

PERKIN-ELMER
 7 Series Thermal Analysis System
 Tue Feb 6 15:47 1996

รูป 4.1 แสดงกราฟ DSC ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่อุณหภูมิหลอม 130 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Curve 1: DSC
 File Info: PE140-NF Tue Jan 16 16:49:19 1996
 Sample Weight: 2.190 mg
 PE fibre, 140, No force



TEMPERATURE: 160.0 °C
 TIME: 0.0 min
 RATE: 10.0 °C/min

PERKIN-ELMER
 7 Series Thermal Analysis System
 Tue Feb 6 16:03:25 1996

รูป 4.2 แสดงกราฟ DSC ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่อุณหภูมิหลอม 140 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Curve 1: 1550
 File Name: DSC01.D
 Sample Weight: 0.2500 g
 PE 150PE, 150.00 (over)

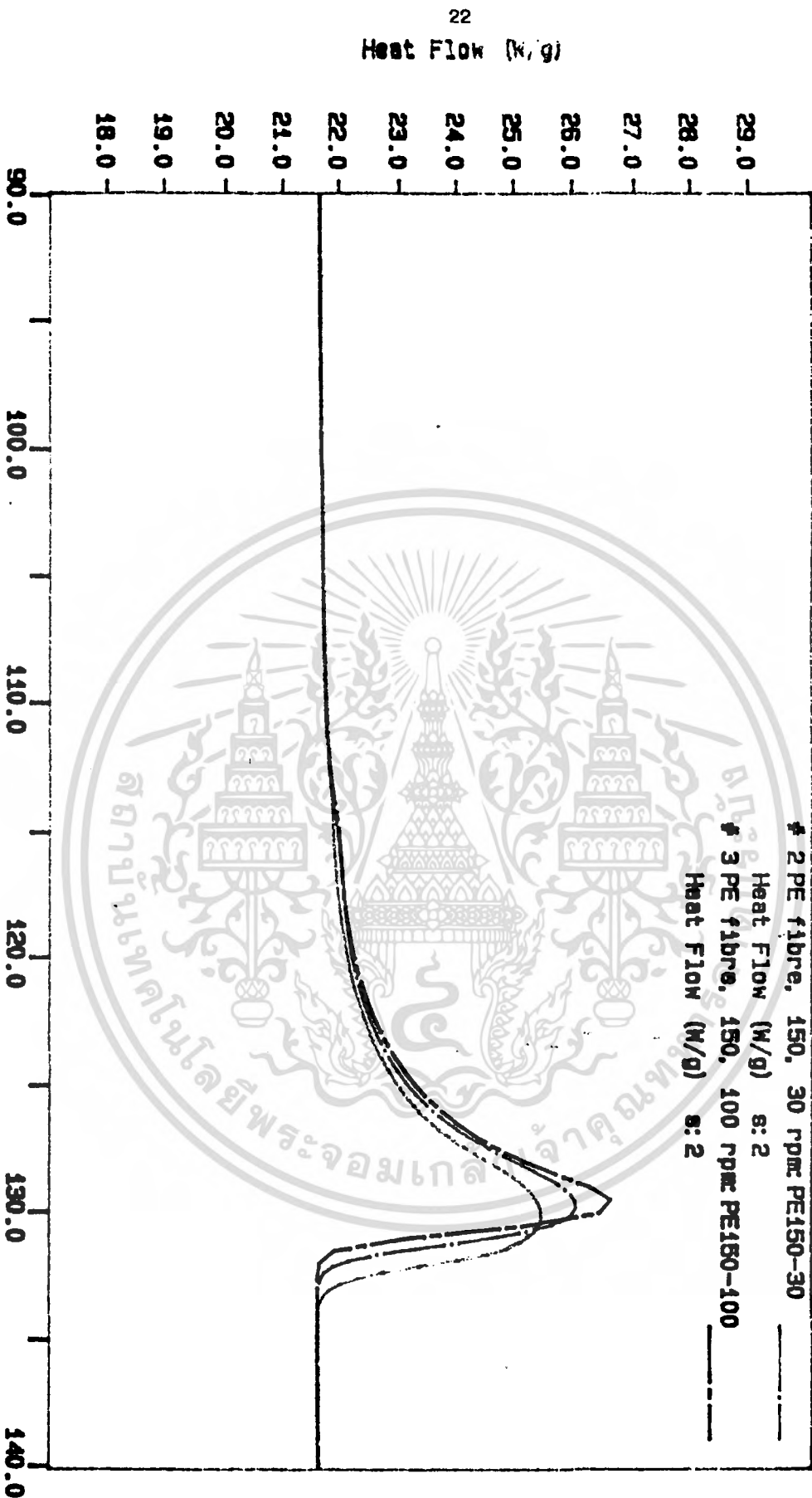
1 PE fibre, 150. No force: PE150-1F
 Heat Flow (W/g) S: 2

2 PE fibre, 150. 30 rpm: PE150-30

Heat Flow (W/g) S: 2

3 PE fibre, 150. 100 rpm: PE150-100

Heat Flow (W/g) S: 2



รูป 4.3 แสดงกราฟ DSC ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่อุณหภูมิหลอม 150 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลการทดลองที่อุณหภูมิหลอม 150 °C และความเร็วในการดึงเป็น 0 , 12.1 และ 40.4 ซม./นาที

ตาราง 4.3 แสดงผลสมบัติความร้อนเมื่อหลอมเส้นใยที่ 150 °C และความเร็วต่างๆ

ความเร็วในการดึง(ซม./นาที)	T _{onset}	Peak	ΔH(j/g)
0	124.21	130.09	163.25
30	124.24	129.73	166.60
100	124.79	129.57	177.72

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อให้อุณหภูมิในการหลอมคงที่ แล้วเปลี่ยนความเร็วที่ใช้ในการดึงเส้นใยที่ความเร็วต่างๆกัน สมบัติทางความร้อน คือ T_{onset} , Peak และ ΔH มีค่าใกล้เคียงกัน นั่นคือ ความเร็วที่ใช้ในการดึงเส้นใยไม่มีผลต่อสมบัติทางความร้อน

4.2.2 ผลการทดลองเมื่อให้ความเร็วที่ใช้ในการดึงเส้นใยคงที่และอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมต่างๆกัน

1. ผลการทดลองที่ความเร็วที่ใช้ในการดึงเป็น 0 ซม./นาที และอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเป็น 130 , 140 และ 150 °C

ตาราง 4.4 แสดงผลสมบัติทางความร้อนที่ความเร็วดึง 0 ซม./นาทีและอุณหภูมิหลอมต่างๆ

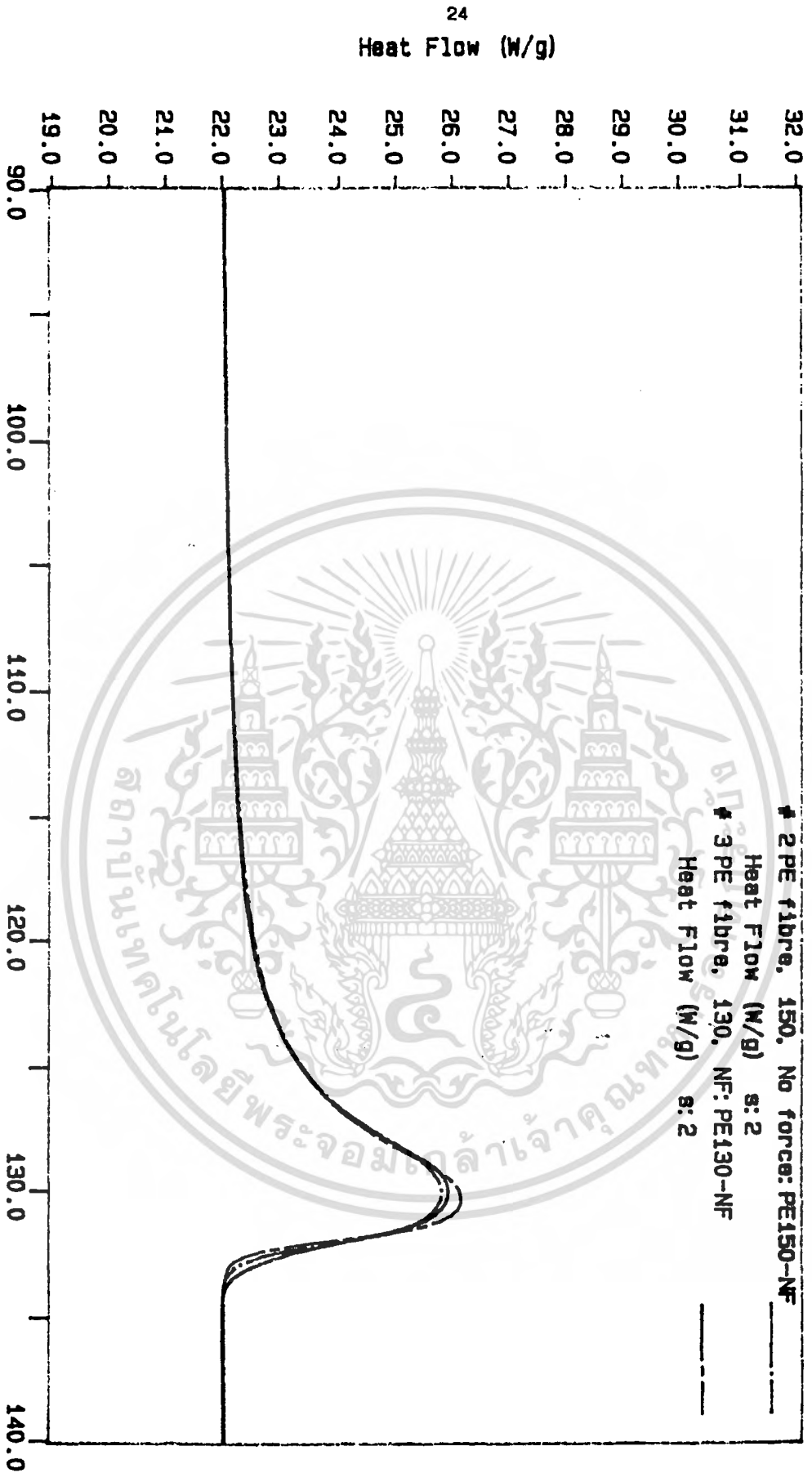
อุณหภูมิหลอม(°C)	T _{onset}	Peak	ΔH(j/g)
130	124.72	130.05	171.47
140	125.13	130.47	171.48
150	123.57	130.09	165.78

Curve 1: DSC
 File Info: PE140-NF Tue Jan 16 18: 49: 19 1996
 Sample Weight: 2.190 mg
 PE fibre, 140, No force

1 PE fibre, 140, No force: PE140-NF
 Heat Flow (W/g) s: 2

2 PE fibre, 150, No force: PE150-NF
 Heat Flow (W/g) s: 2

3 PE fibre, 130, NF: PE130-NF
 Heat Flow (W/g) s: 2



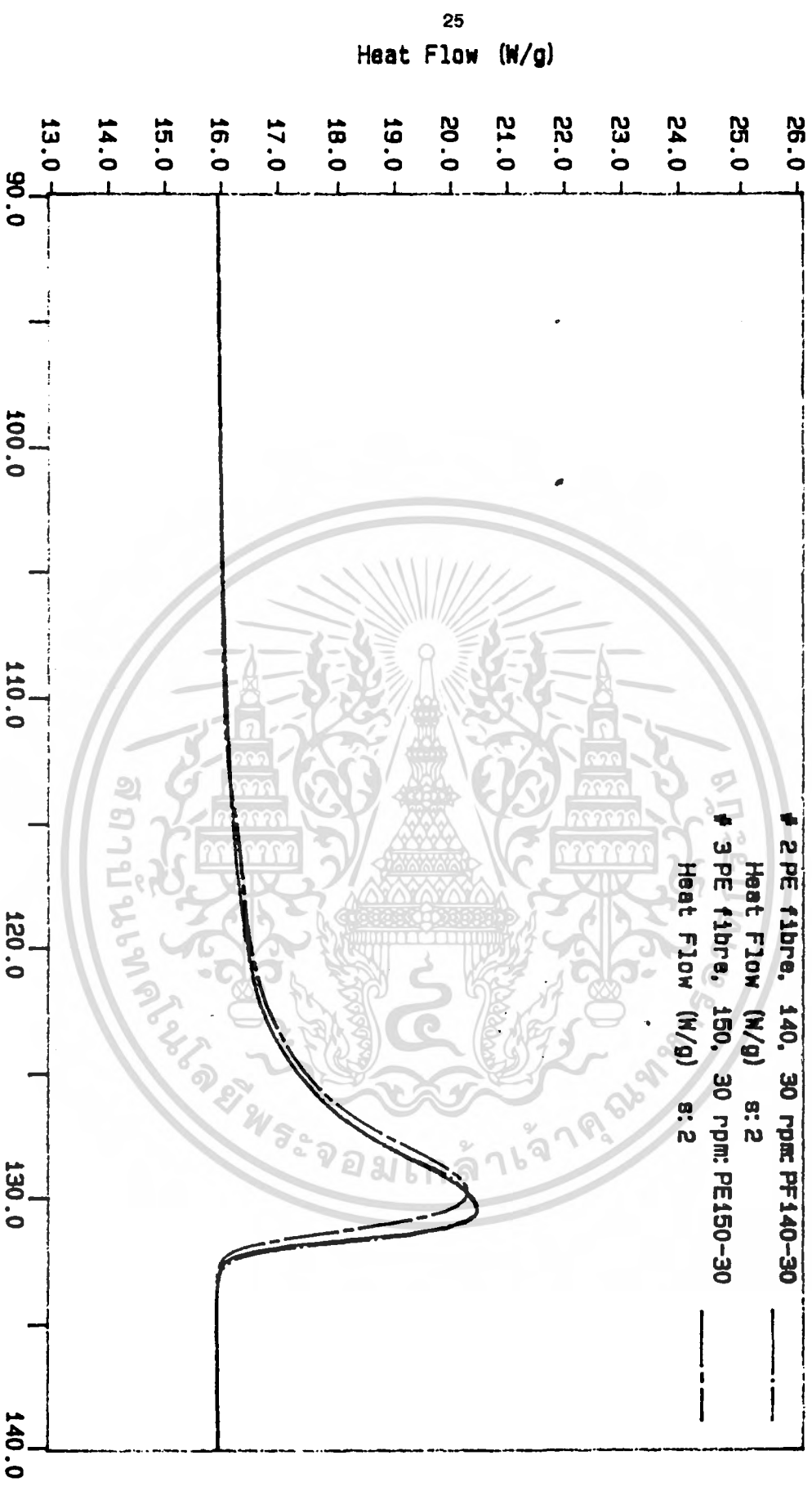
TEMPERATURE: 90.0 C
 TIME: 0.0 min
 RATE: 10.0 C/min

PERKIN-ELMER
 7 Series Thermal Analysis System
 Tue Feb 6 16: 22: 04 1996

รูป 4.4 แสดงกราฟ DSC ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่ความเร็วดึง 0 ซม./นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Curve 1: DSC
 File Info: PE130-30 Tue Jan 16 17:47:57 1996
 Sample Weight: 3.180 mg
 PE fibre, 130, 30 rpm



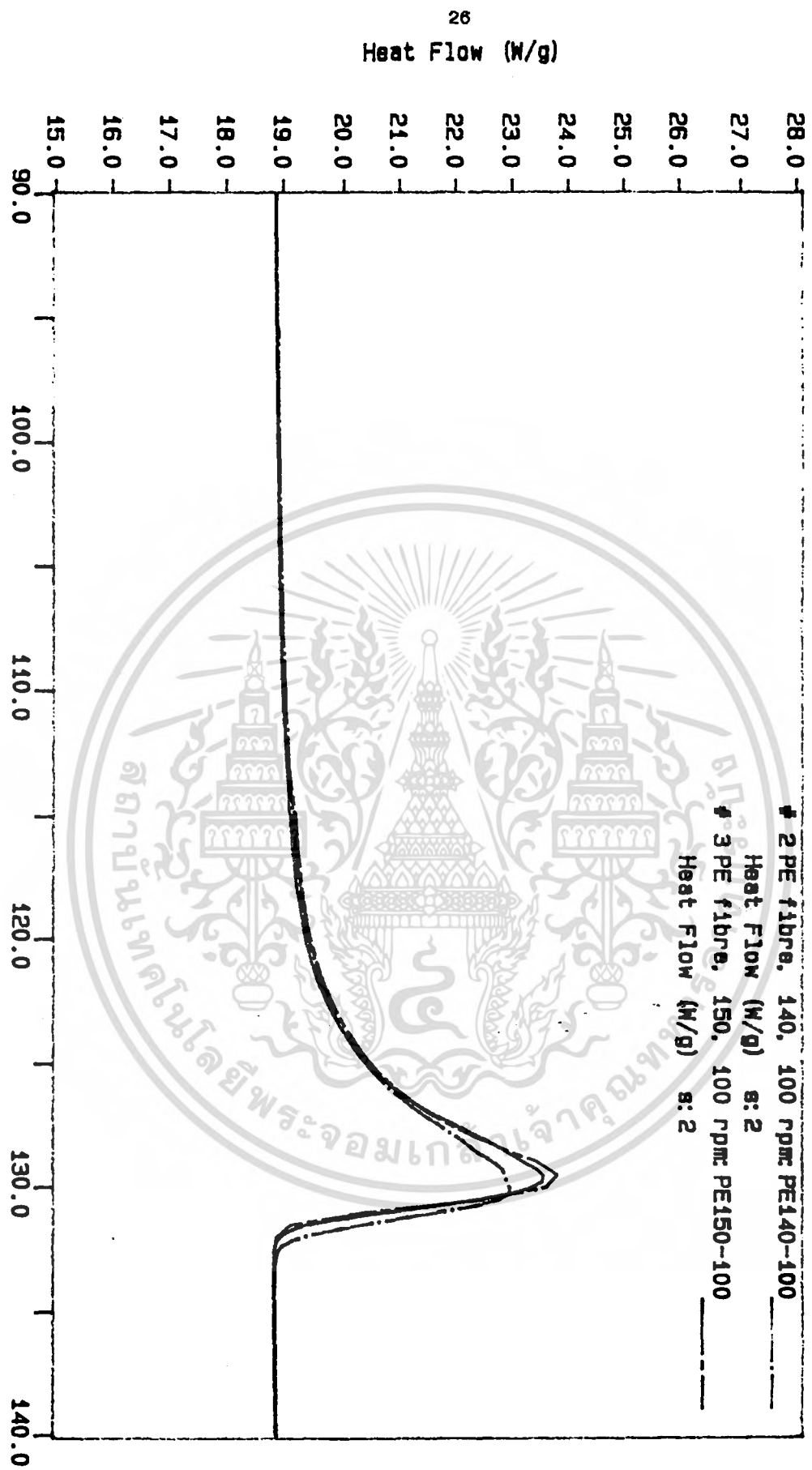
TEMP: 180.0 C
 TIME: 0.0 min
 RATE: 10.0 C/min

PERKIN-ELMER
 7 Series Thermal Analysis System
 Tue, Feb 0 16:29:12 1996

รูป 4.5 แสดงกราฟ DSC ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่ความเร็วดึง 12.1 ซม./นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Curve 1: DSC
 File Info: PE130-100 Tue Jan 16 18:21:40 1996
 Sample Weight: 1.770 mg
 PE fibre, 130, 100 rpm



TEMP: 180.0 C
 TIME: 0.0 min
 RATE: 10.0 C/min

PERKIN-ELMER
 7 Series Thermal Analysis System
 Tue Feb 6 16:35:35 1996

รูป 4.6 แสดงกราฟ DSC ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่ความเร็วถึง 40.4 ชม./นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการทดลองที่ความเร็วในการคั่ง 12.1 ซม./นาที และอุณหภูมิในการหลอมเป็น 130 , 140 และ 150 °C

ตาราง 4.5 แสดงผลสมบัติทางความร้อนที่ความเร็วคั่ง 12.1 ซม./นาทีและอุณหภูมิหลอมต่างๆ

อุณหภูมิหลอม(°C)	T _{onset}	Peak	ΔH(j/g)
130	124.58	130.41	174.70
140	125.13	130.47	171.48
150	124.24	129.73	166.60

3. ผลการทดลองที่ความเร็วในการคั่งเป็น 40.4 ซม./นาที และอุณหภูมิในการหลอมเป็น 130 , 140 และ 150 °C

ตาราง 4.6 แสดงผลสมบัติทางความร้อนที่ความเร็วคั่ง 40.4 ซม./นาทีและอุณหภูมิหลอมต่างๆ

อุณหภูมิหลอม(°C)	T _{onset}	Peak	ΔH(j/g)
130	124.01	129.64	168.13
140	123.57	130.09	165.78
150	124.79	129.57	177.72

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อให้ความเร็วที่เร็วคั่งเส้นโยคงที่ แล้วเปลี่ยนอุณหภูมิในการหลอมพอลิเอทิลีนต่างๆ พบว่า สมบัติทางความร้อนที่ได้ (Tonset , Peak , ΔH)จะมีค่าใกล้เคียงกัน นั่นคือ อุณหภูมิหลอมไม่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนของเส้นโยพอลิเอทิลีน

4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นโยพอลิเอทิลีน

4.3.1 แสดงกราฟของค่า Modulus , Yield Strength และ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิในการหลอมพอลิเอทิลีนต่างๆโดยเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่ใช้คั่งกับค่าสมบัติทางเชิงกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

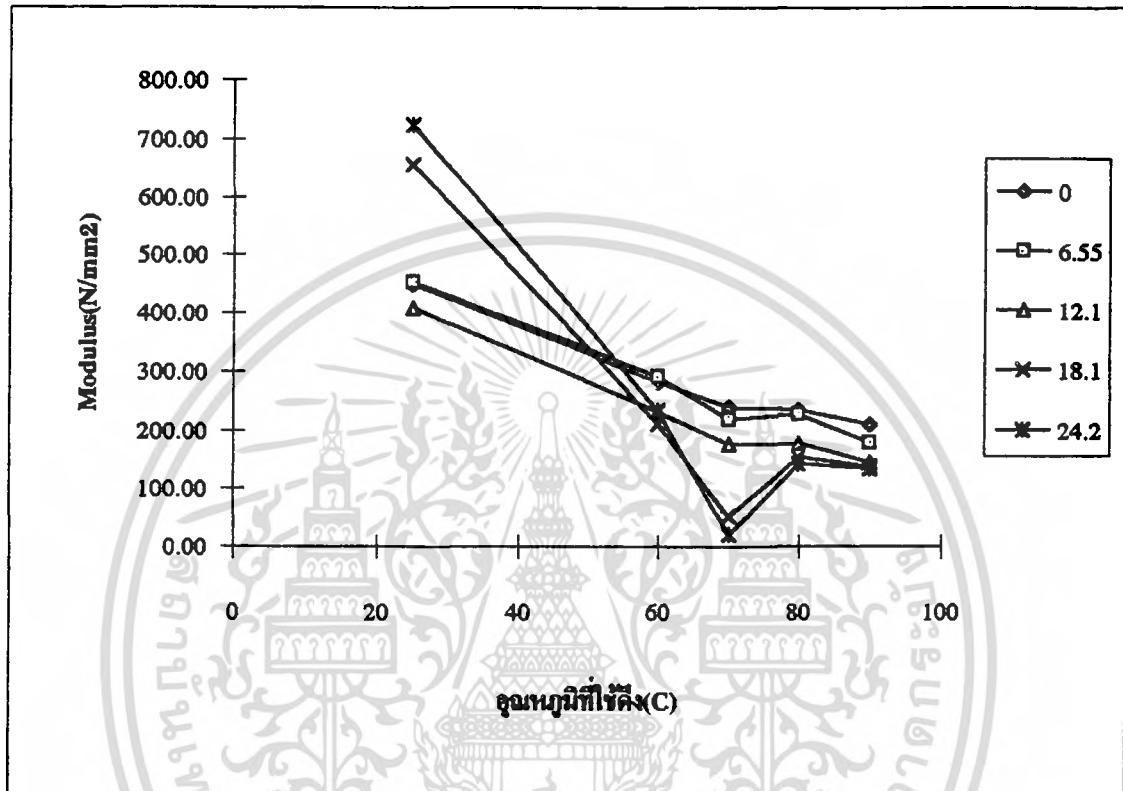
4.3.2 แสดงกราฟของค่า Modulus , Yield Strength และ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิในการหลอมพอลิเอทิลีนต่างๆโดยเปรียบเทียบระหว่างความเร็วที่ใช้ในการดึงพอลิเอทิลีนหลอมกับค่าสมบัติทางเชิงกล

4.3.3 แสดงกราฟของค่า Modulus , Yield Strength และ Tensile Strength at Break ที่ความเร็วในการดึงพอลิเอทิลีนหลอมโดยเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่ใช้หลอมกับค่าสมบัติทางเชิงกล



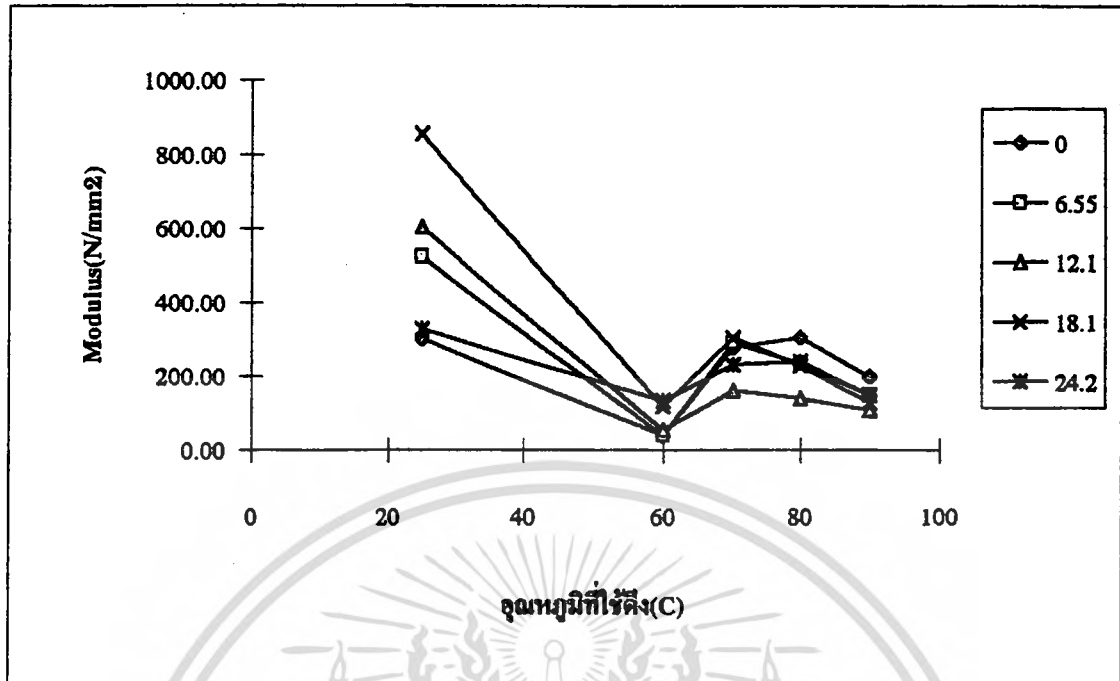
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ผลการทดลองสมบัติเชิงกลโดยเปรียบเทียบความเร็วดึง(ชม/นาที)ที่อุณหภูมิหลอมต่างๆ



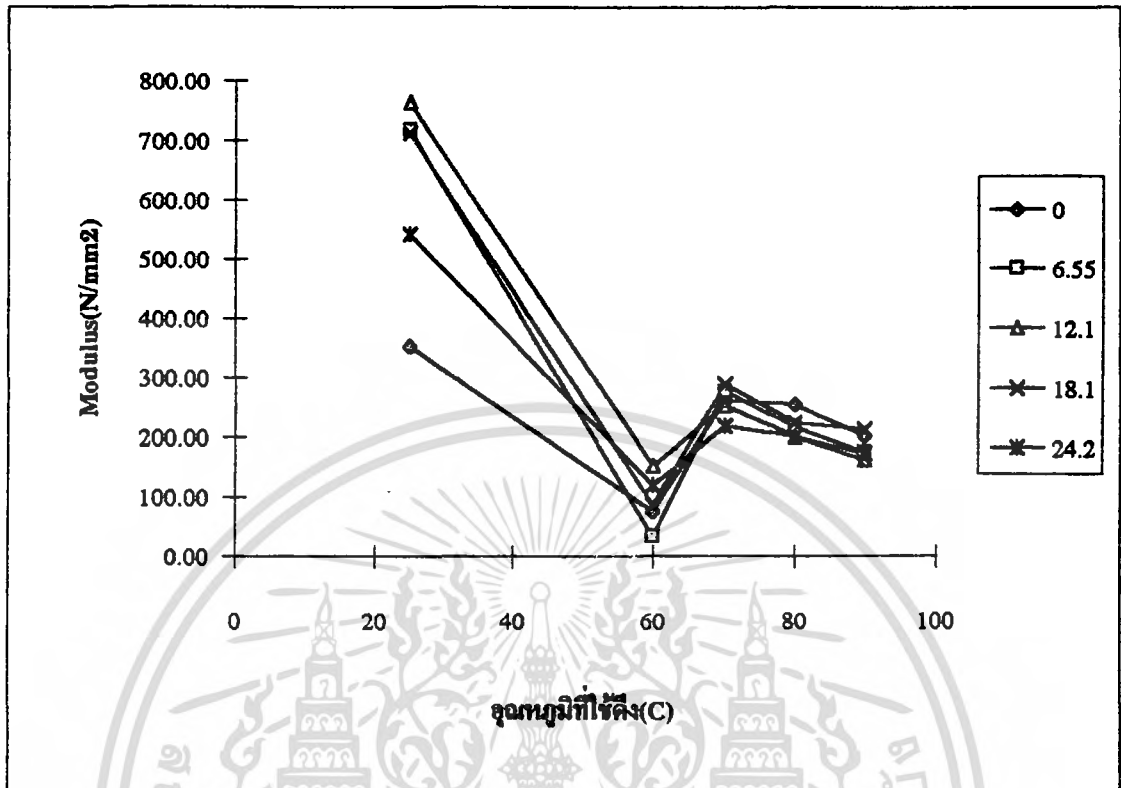
รูป 4.7a แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิในการหลอม 130 °C ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



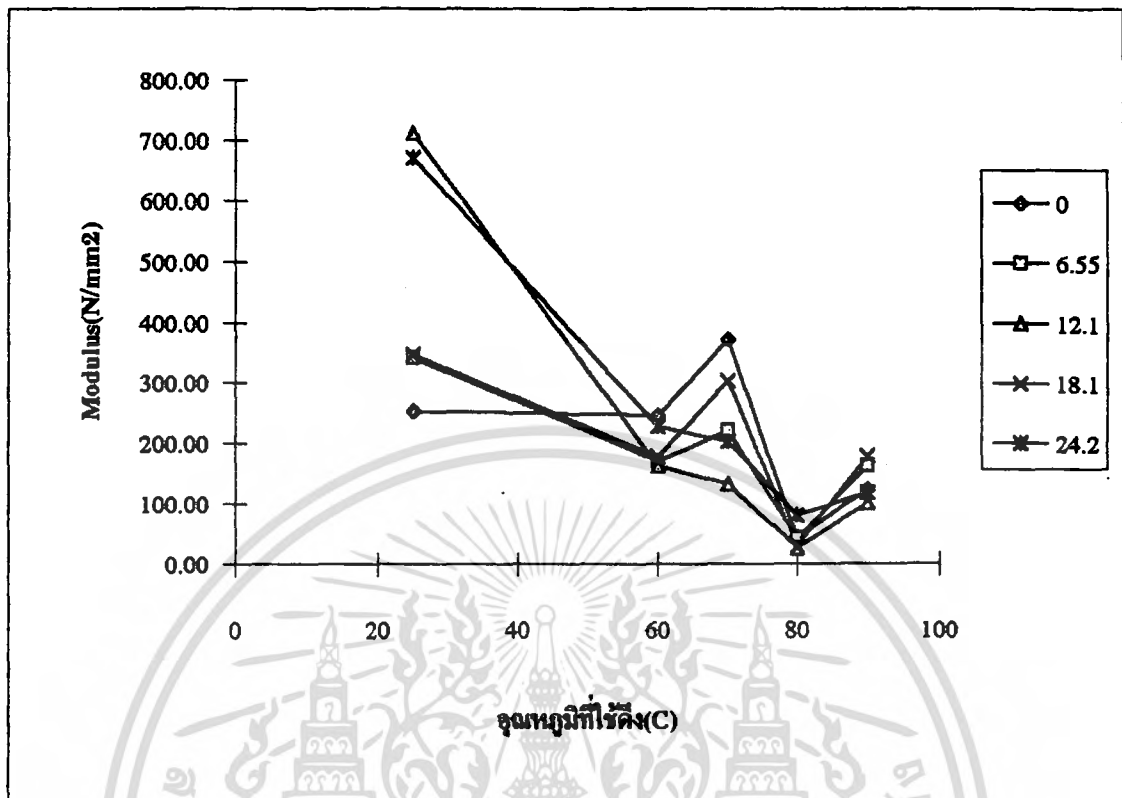
รูป 4.7b แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิในการทดลอง 135 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



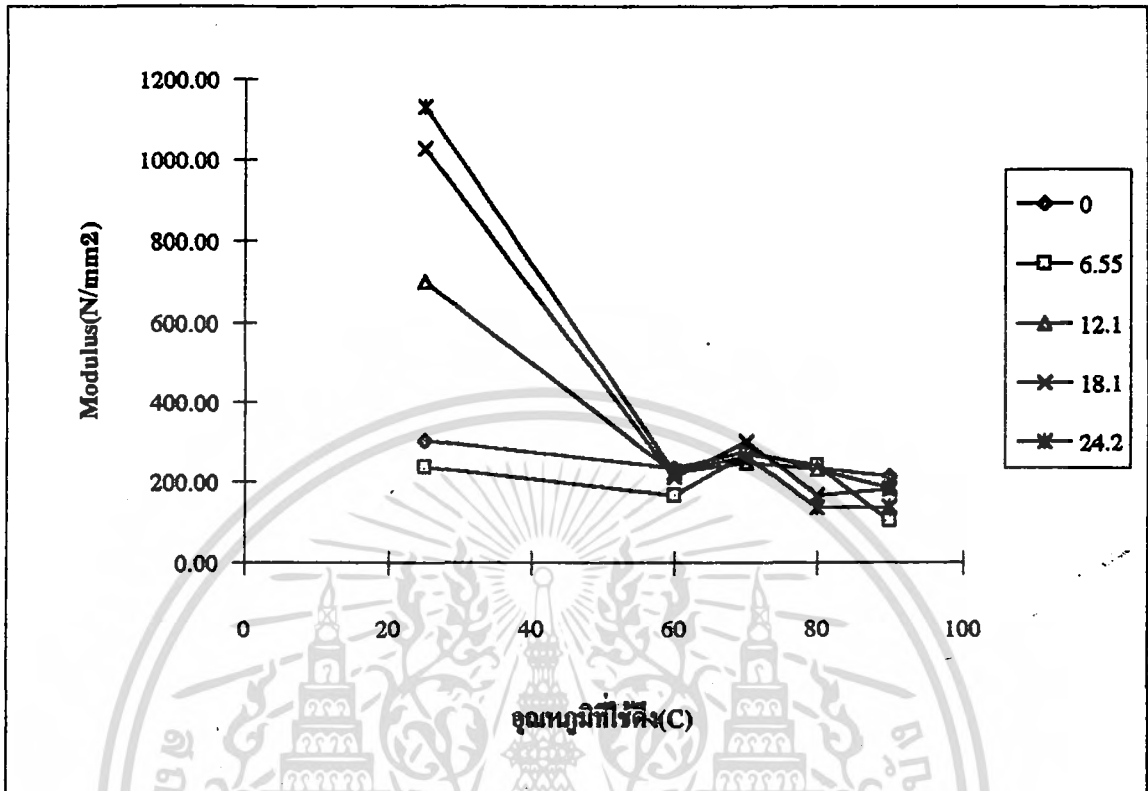
รูป 4.7c แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิหลอม 140 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



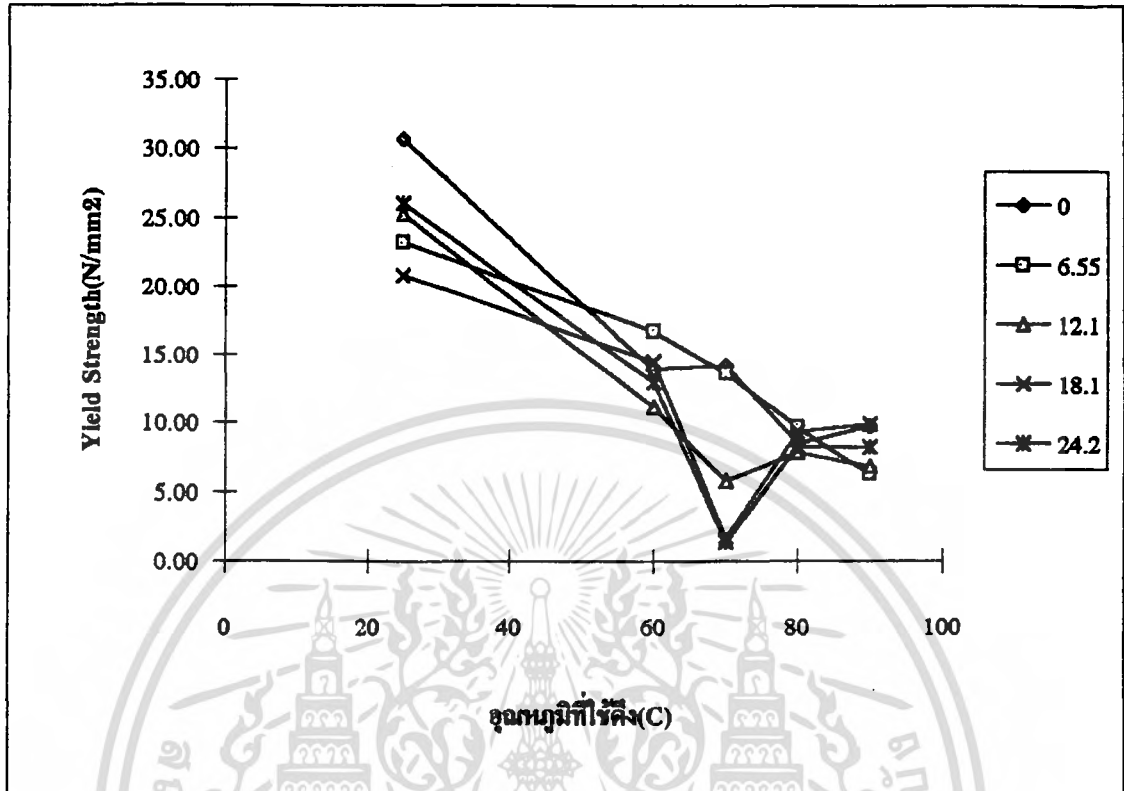
รูป 4.7d แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิในการทดสอบ 145 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



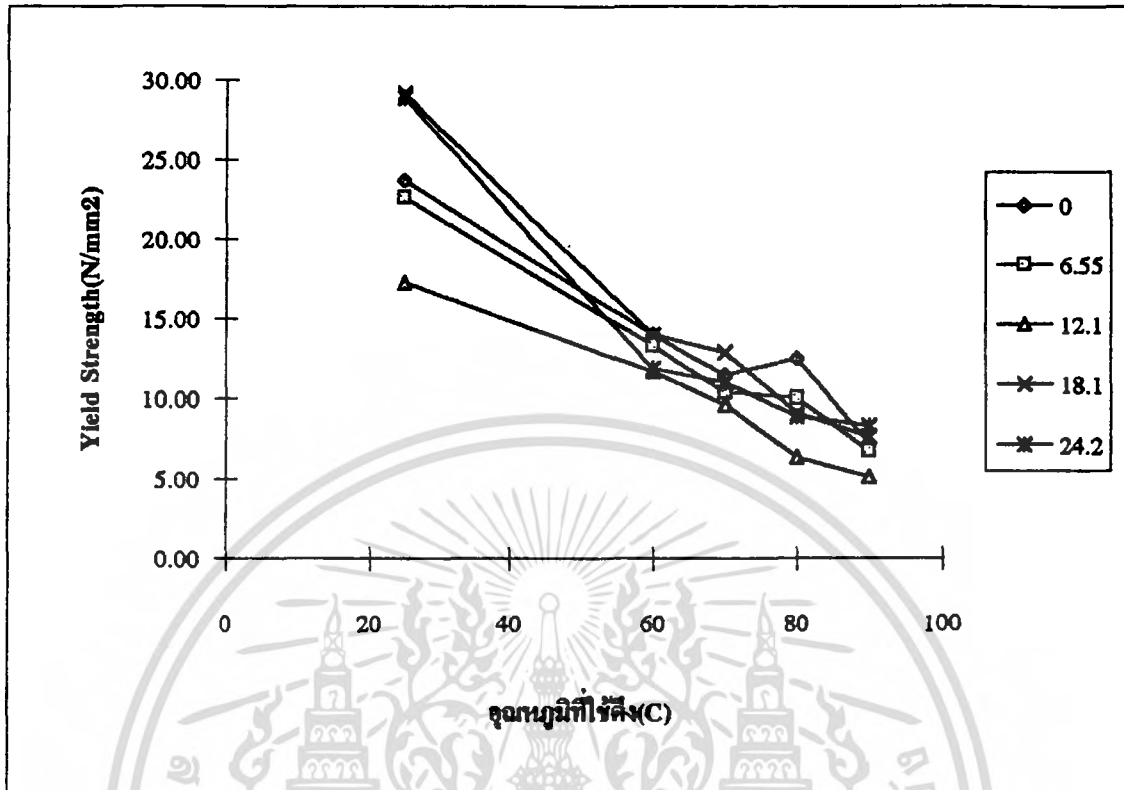
รูป 4.7e แสดงค่า Modulus ที่อุณหภูมิในการทดลอง 150 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



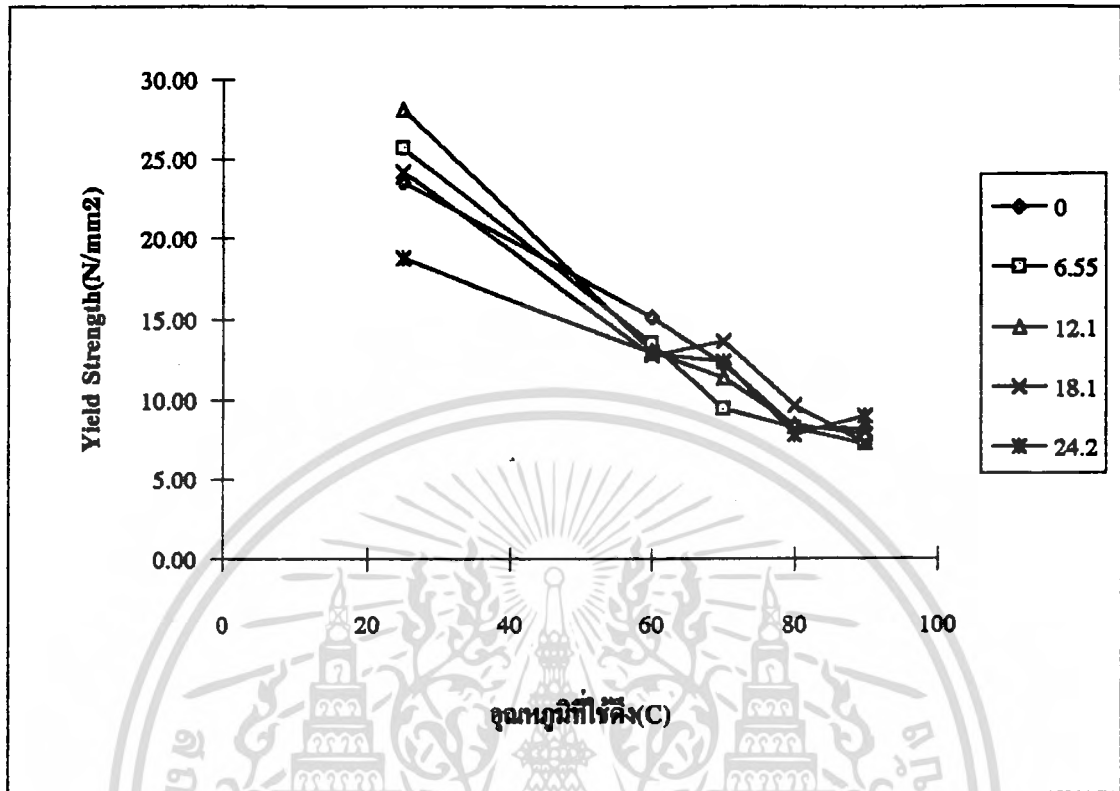
รูป 4.7f แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิในการหลอม 130 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



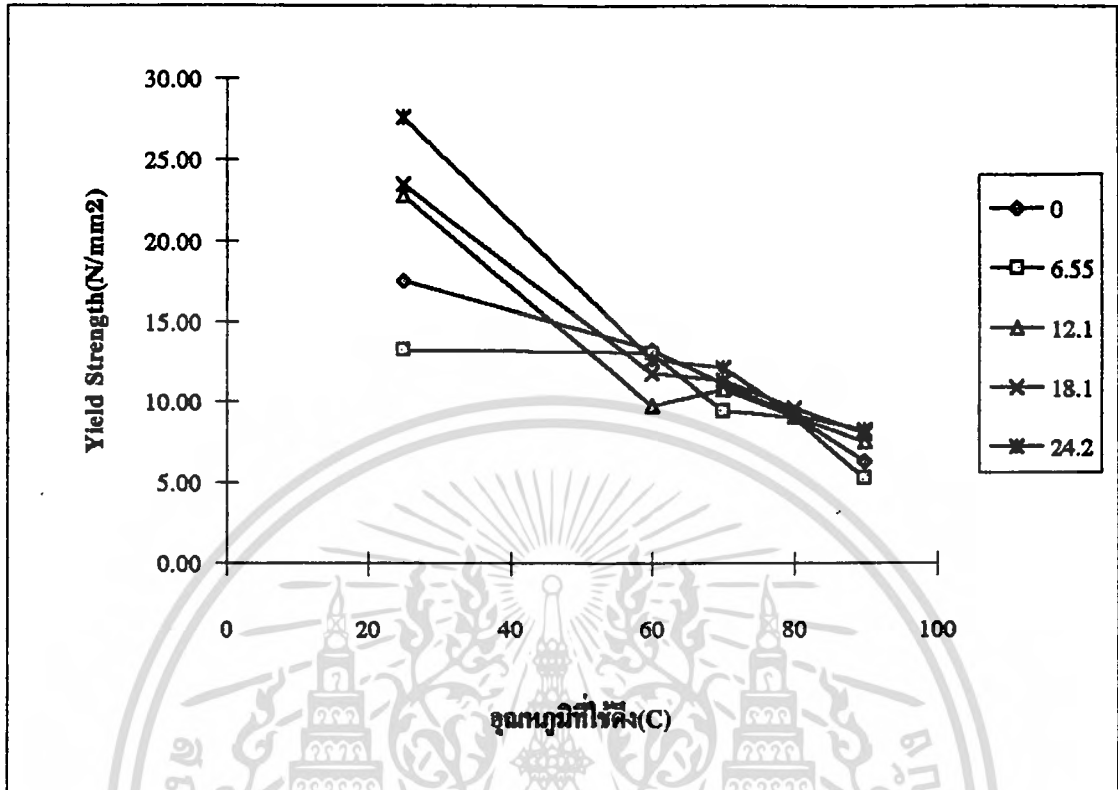
รูป 4.7g แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิในการทดสอบ 135 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



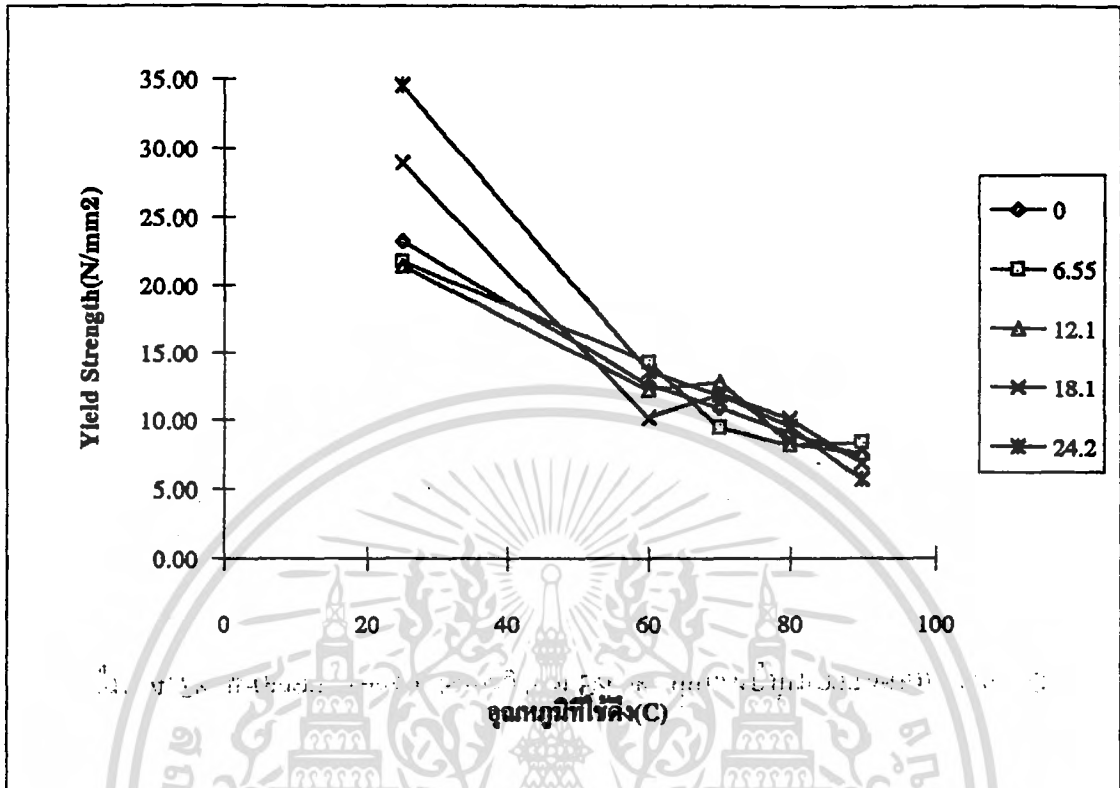
รูป 4.7h แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิในการหลอม 140 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.7i แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิในการหลอม 145 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

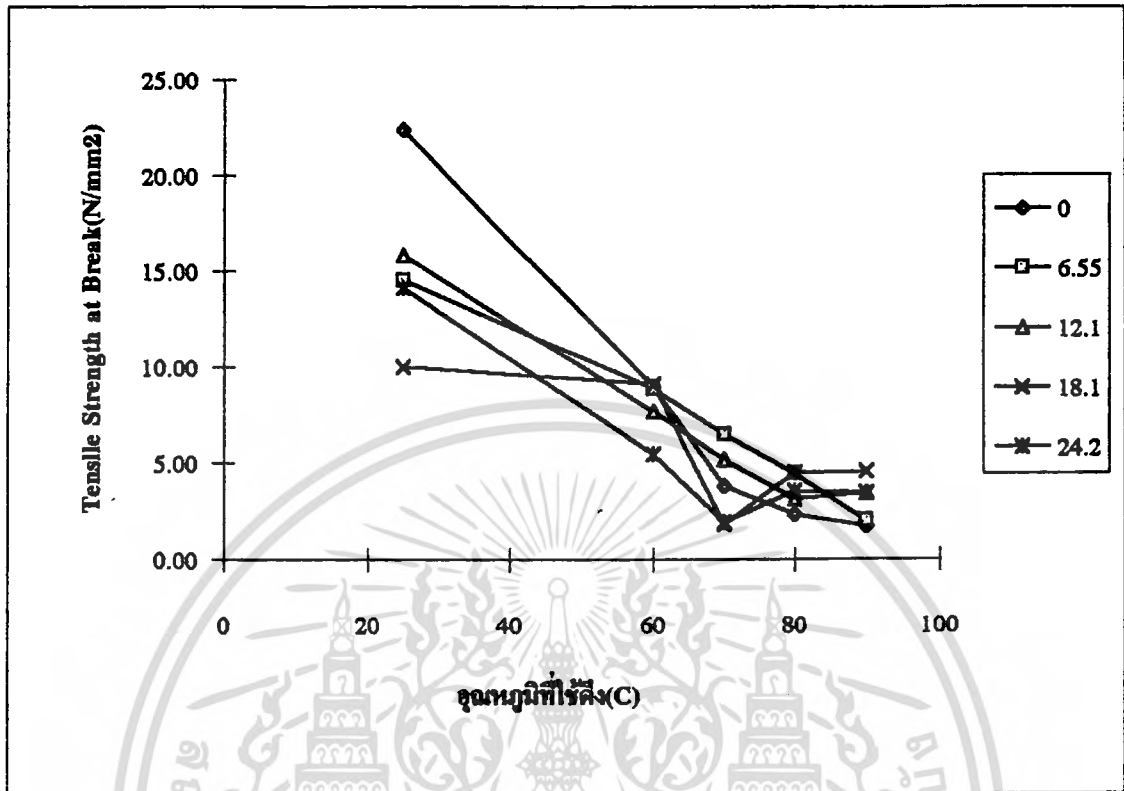


รูป 4.7j แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิในการหลอม 150 °C

Yield Strength (N/mm²)

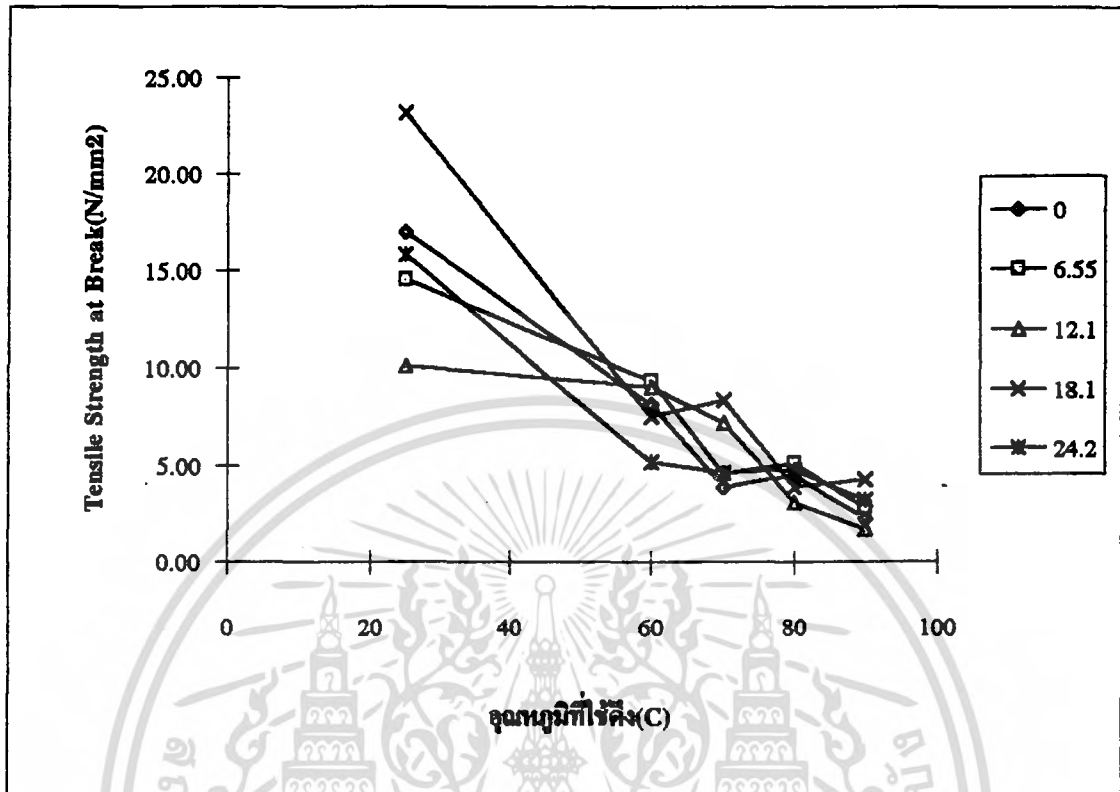


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



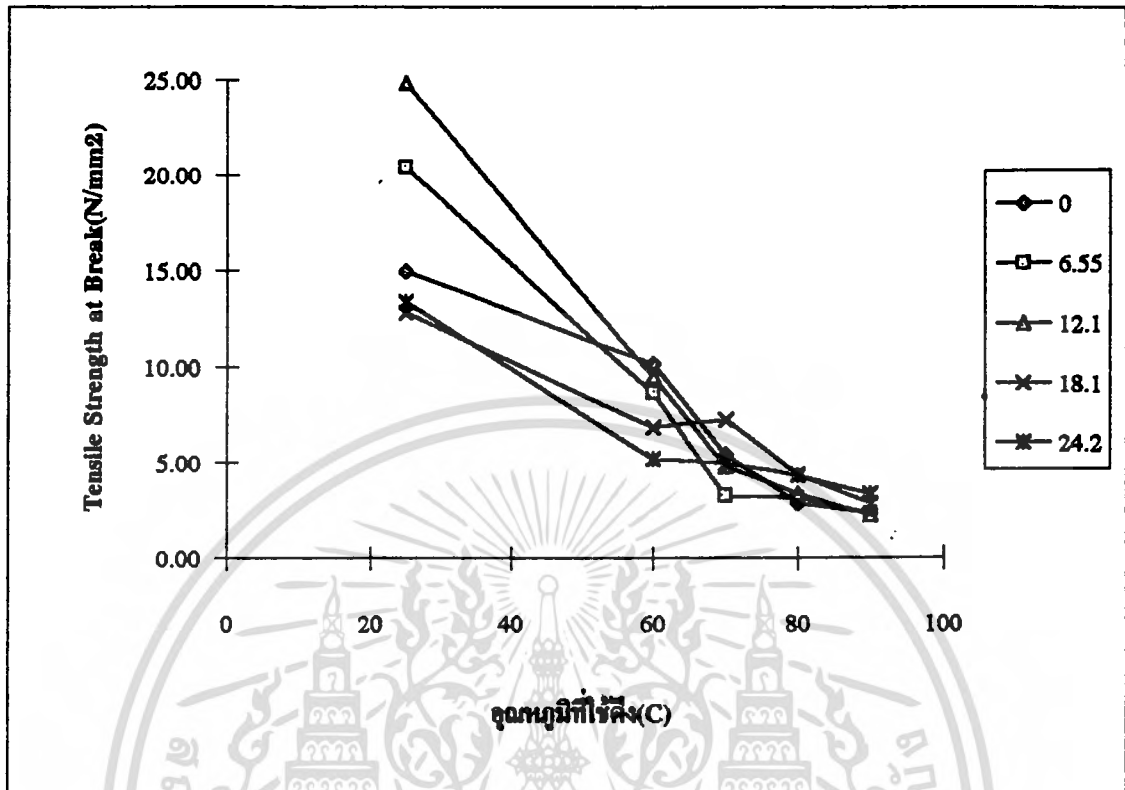
รูป 4.7k แสดงค่า Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิในการหลอม 130 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



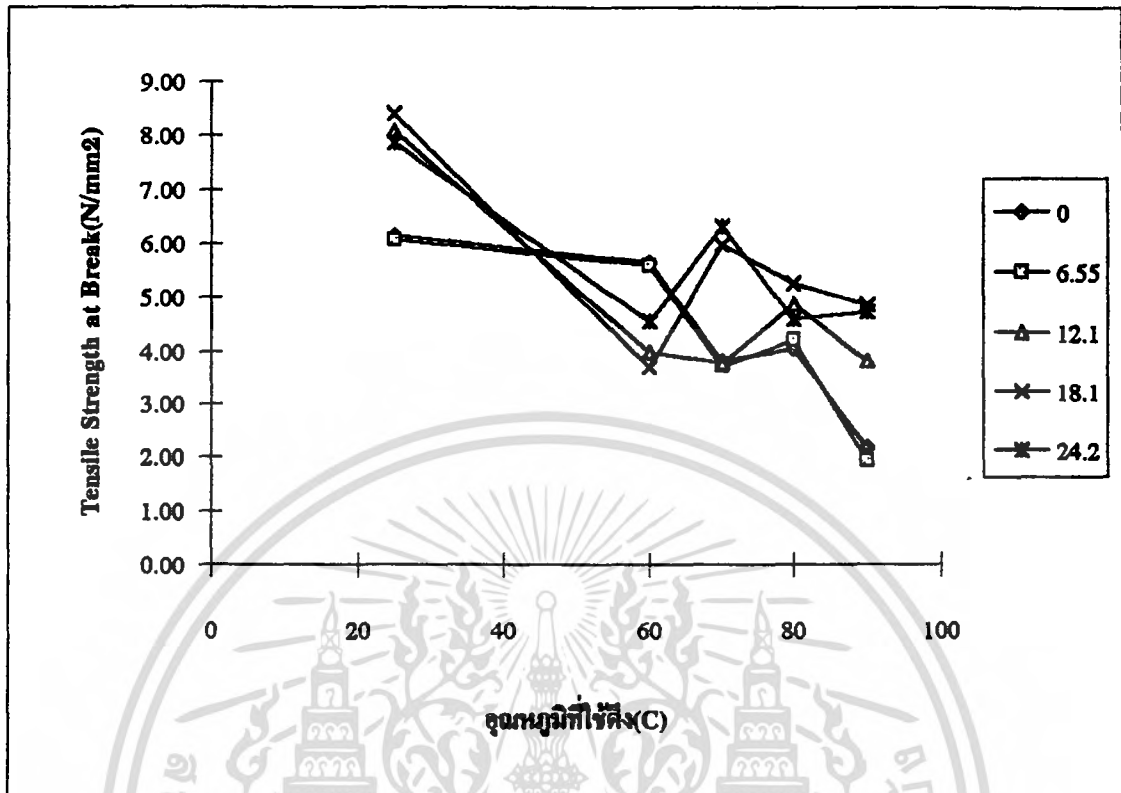
รูป 4.71 แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิในการทดสอบ 135 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



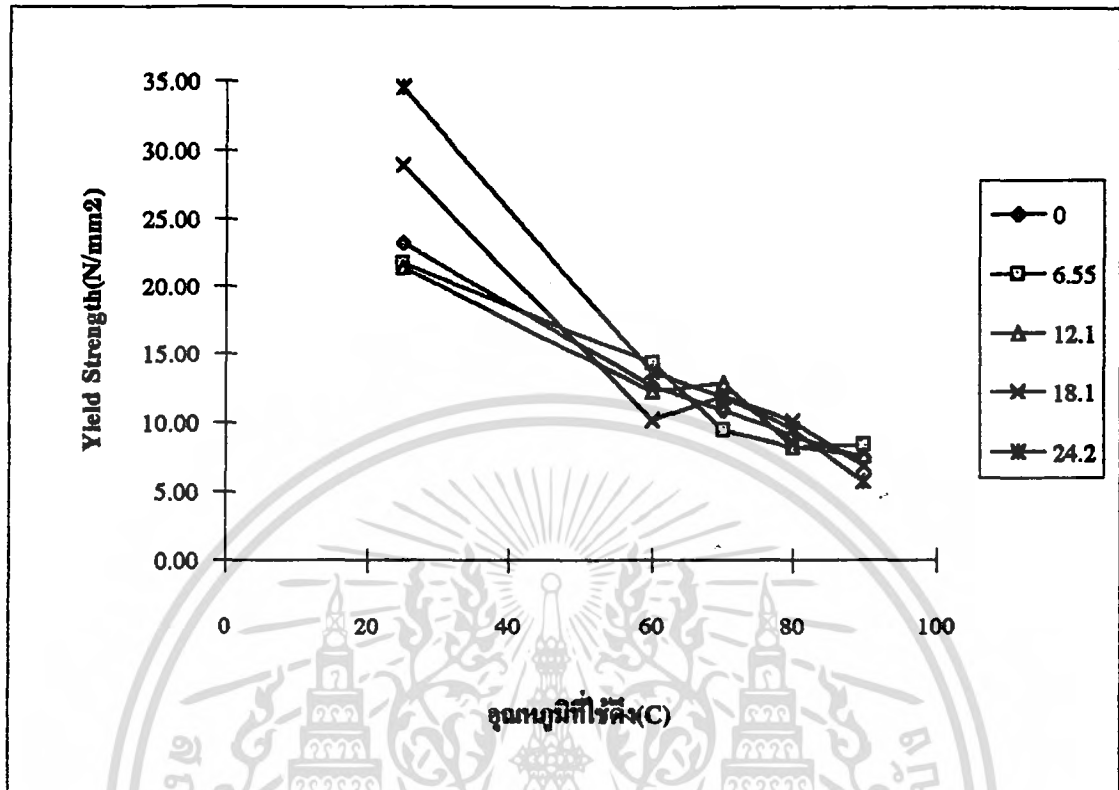
รูป 4.7m แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิในการหลอม 140 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.7ก. แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิในการทดลอง 145 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.7o แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิในการหลอม 150 °C

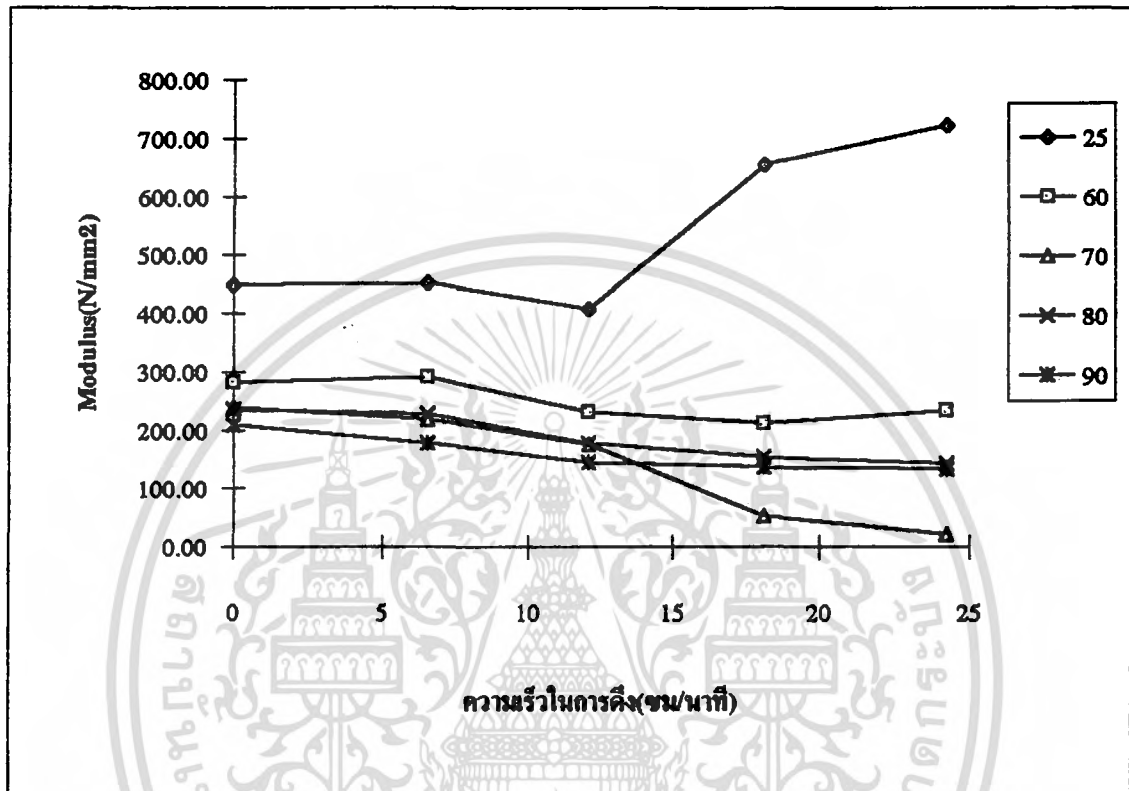
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟ 4.3.1 แสดงค่า Modulus , Yield Strength และ Tensile Strength at Break ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีขนาดต่างๆกันเนื่องจากความเร็วในการดึงต่างๆกันเมื่ออุณหภูมิในการหลอมพอลิเอทิลีนคงที่ จะพบว่า มีค่าลดลง เมื่อมีการทดสอบการดึงที่อุณหภูมิในการดึงที่สูงขึ้น นั่นคือ เมื่อนำเส้นใยเดี่ยวพอลิเอทิลีนมาใช้งานควรใช้ที่อุณหภูมิห้องปกติ (25 °C) เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สมบัติเชิงกลจะต่ำลงอาจเป็นเพราะที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โซโมเลกุลมีการถูกทำลายพันธะระหว่างโซโมเลกุลมากขึ้น โซโมเลกุลสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายทำให้แรงที่ใช้ในการทำลายพันธะระหว่างโซโมเลกุลจึงต่ำ ดังนั้นสมบัติเชิงกลของเส้นใยเดี่ยวพอลิเอทิลีนเมื่อดึงที่อุณหภูมิสูงจึงต่ำ



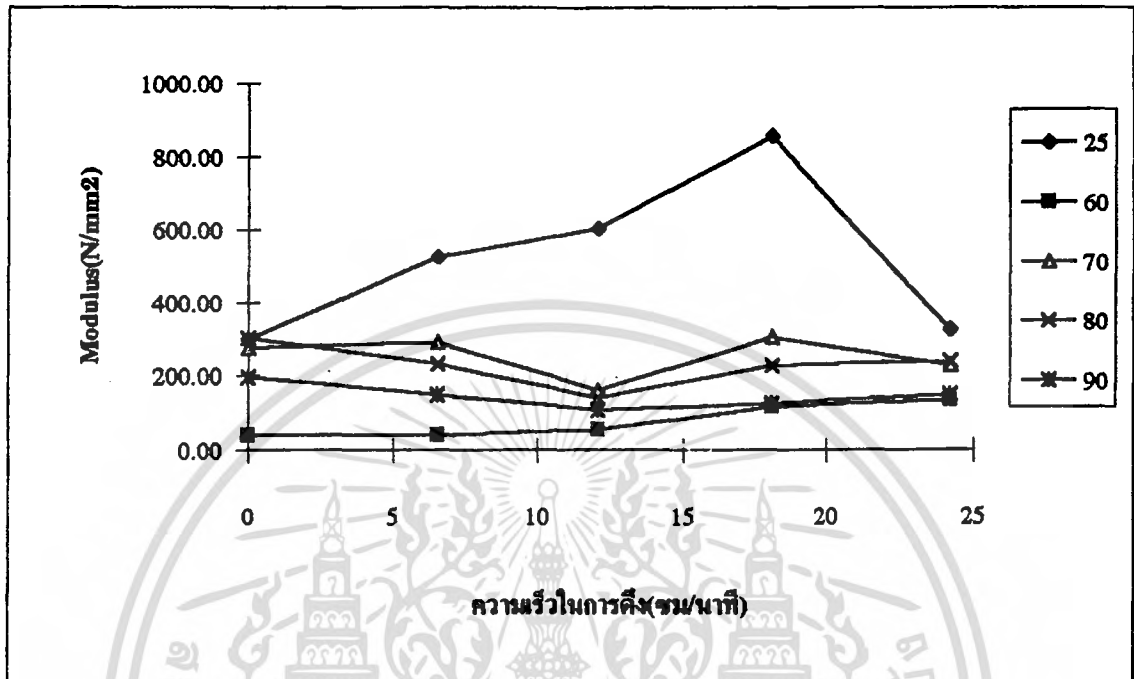
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการทดลองสมบัติเชิงกลโดยเปรียบเทียบอุณหภูมิดึงทดสอบ (C) ที่อุณหภูมิหลอมต่างๆ



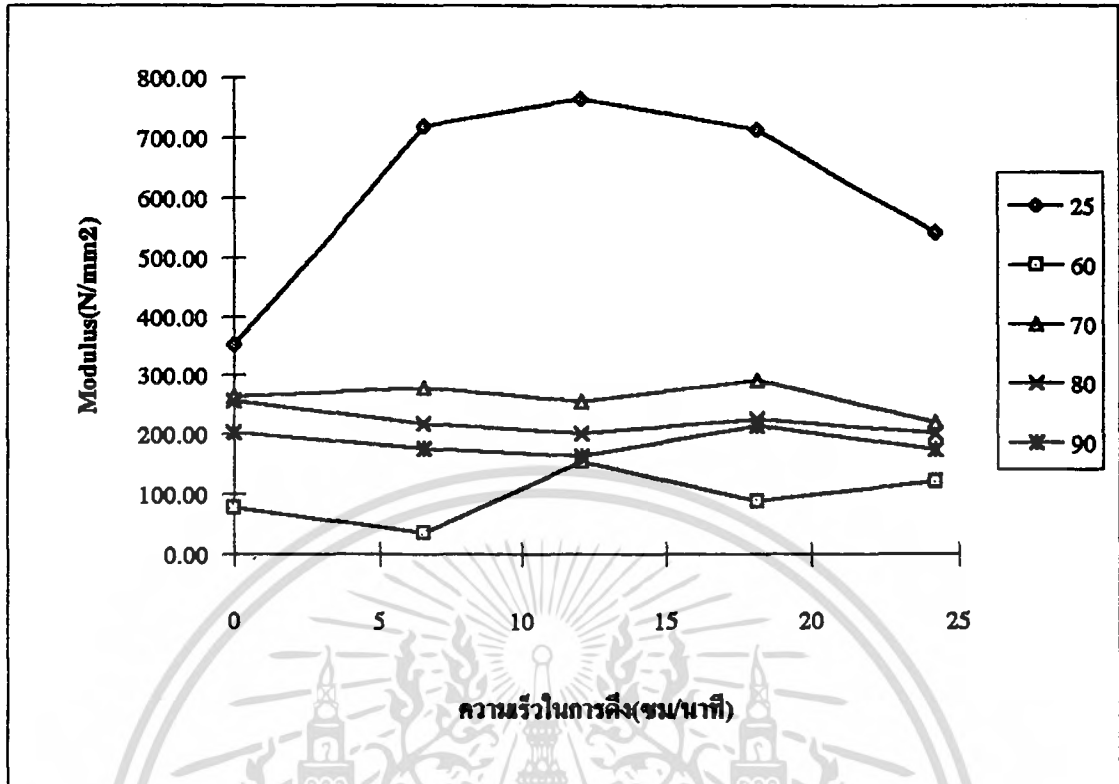
รูป 4.8a แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิในการหลอม 130 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



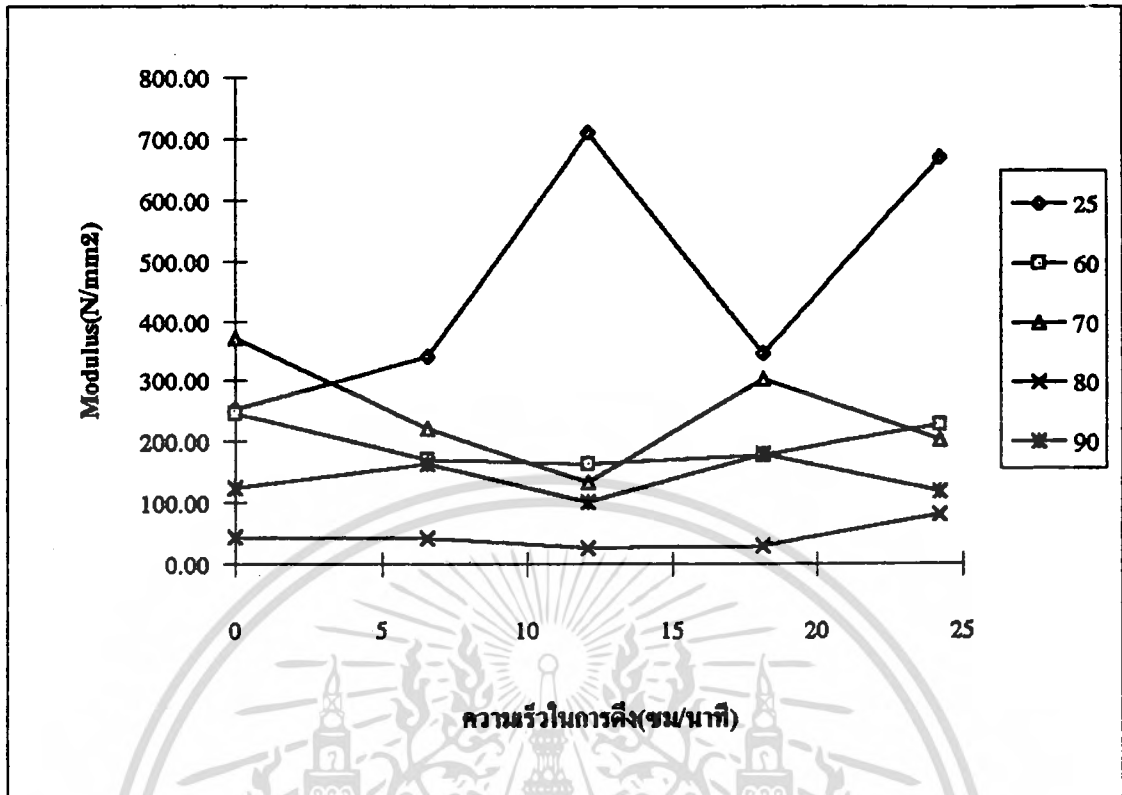
รูป 4.8b แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิในการหลอม 135 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



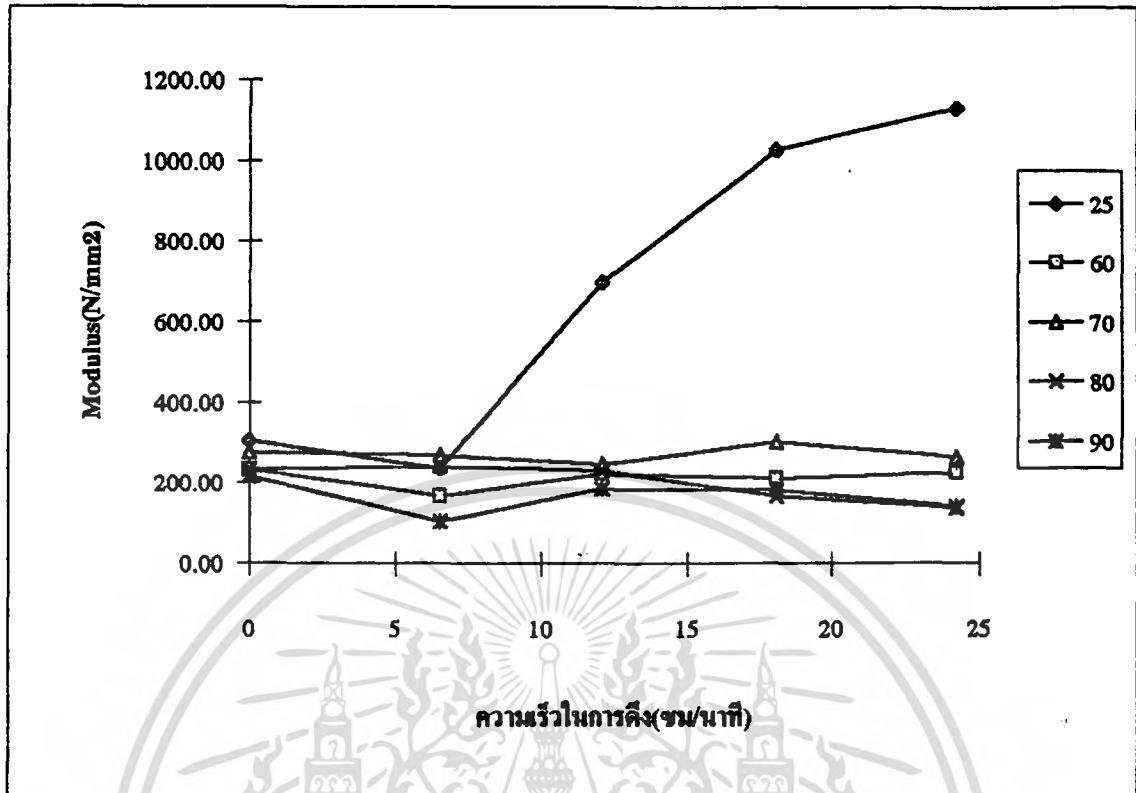
รูป 4.8c แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิหลอม 140 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



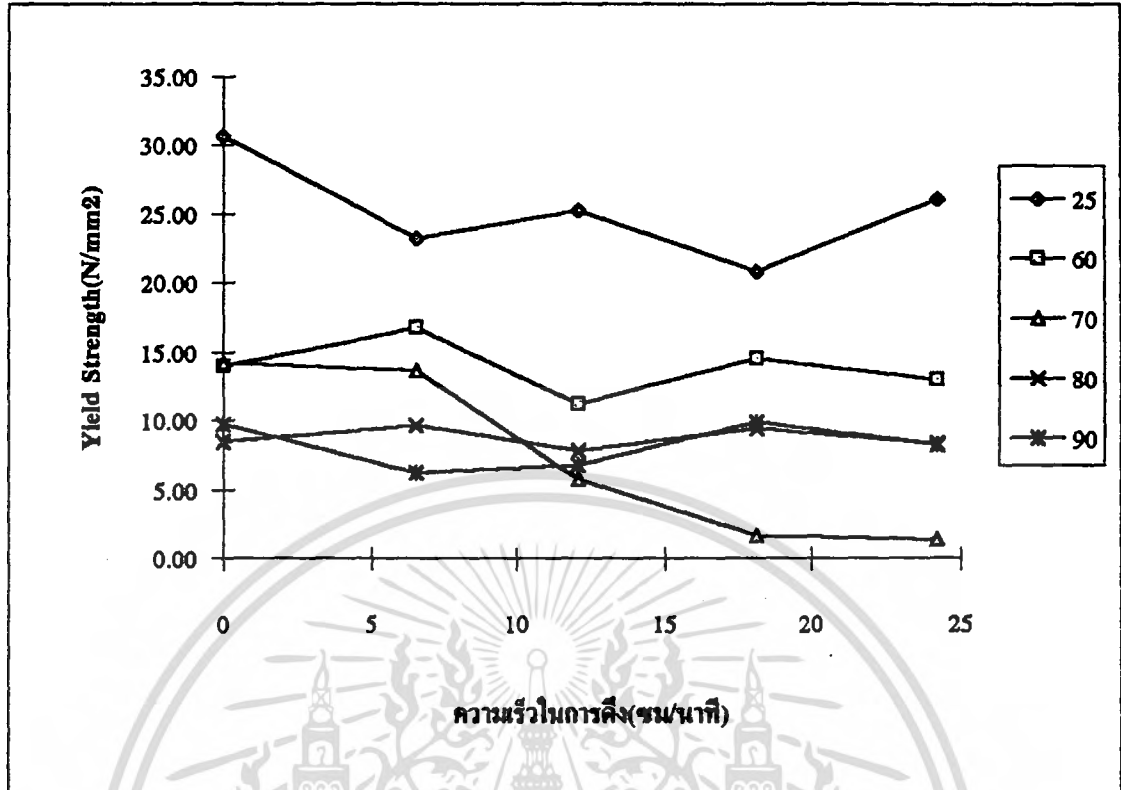
รูป 4.8d แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิในการทดสอบ 145 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



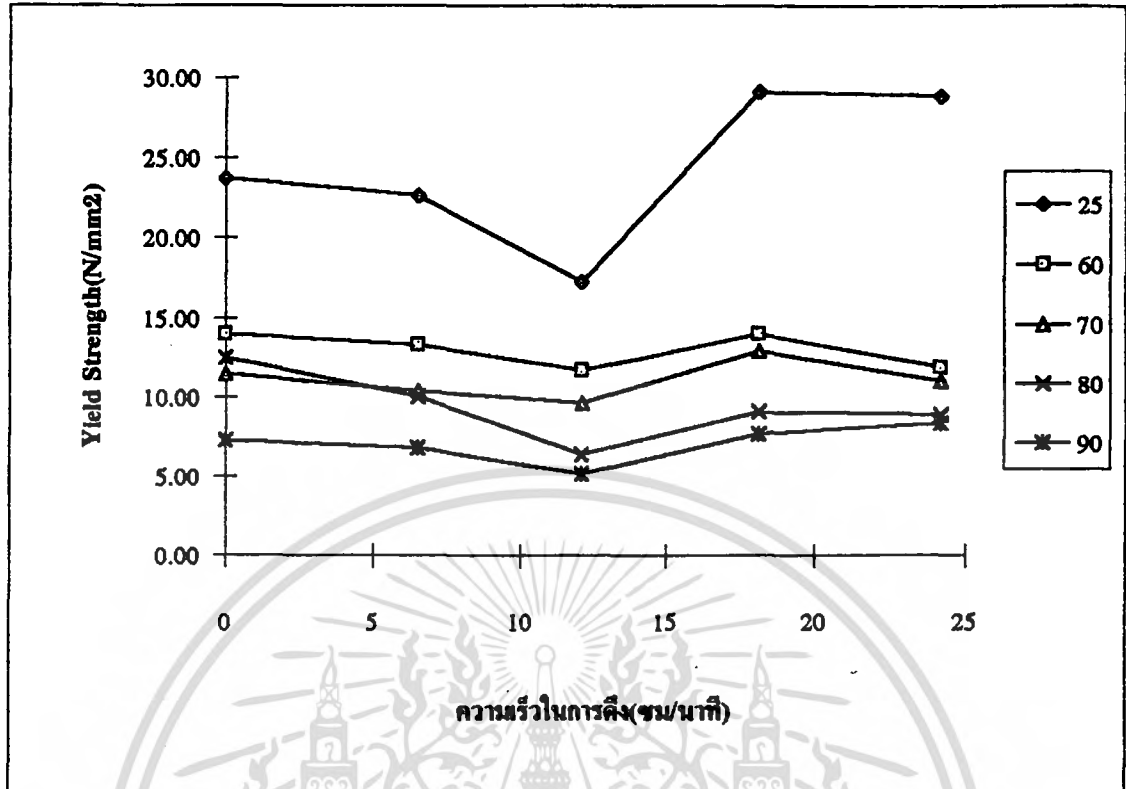
รูป 4.8e แสดงกราฟ Modulus ที่อุณหภูมิในการหลอม 150 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้



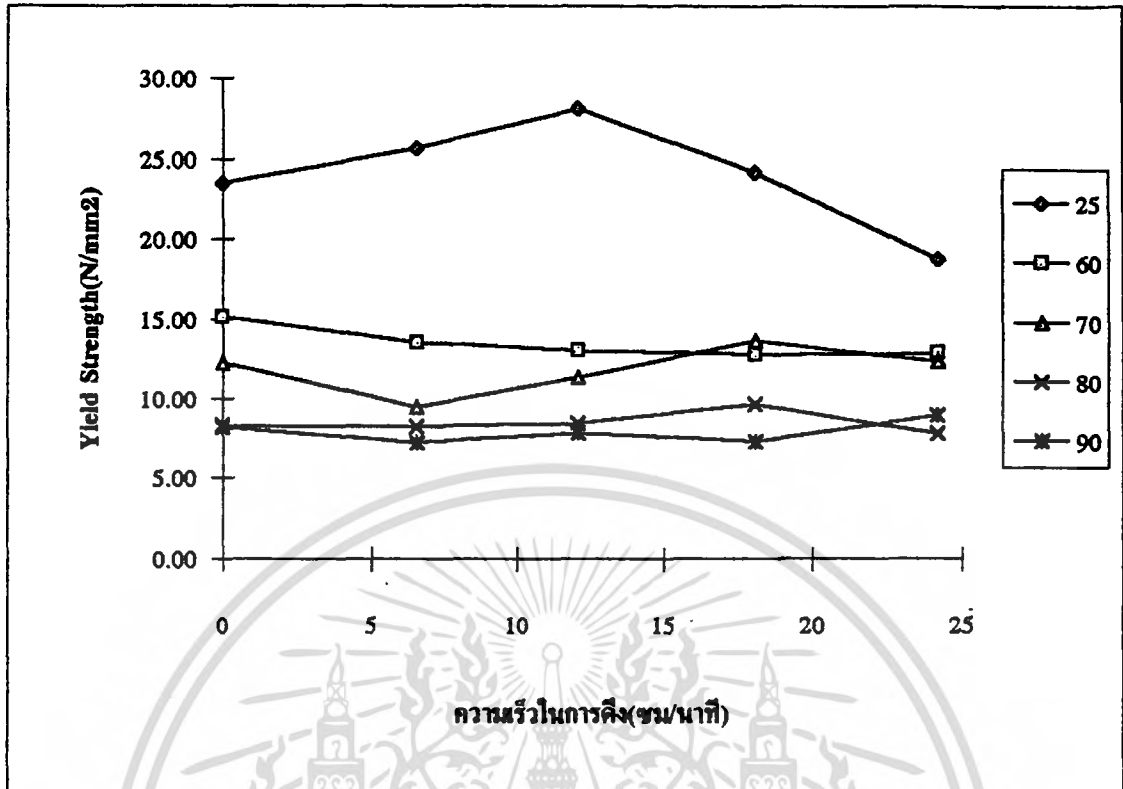
รูป 4.8f แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิในการหลอม 130 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



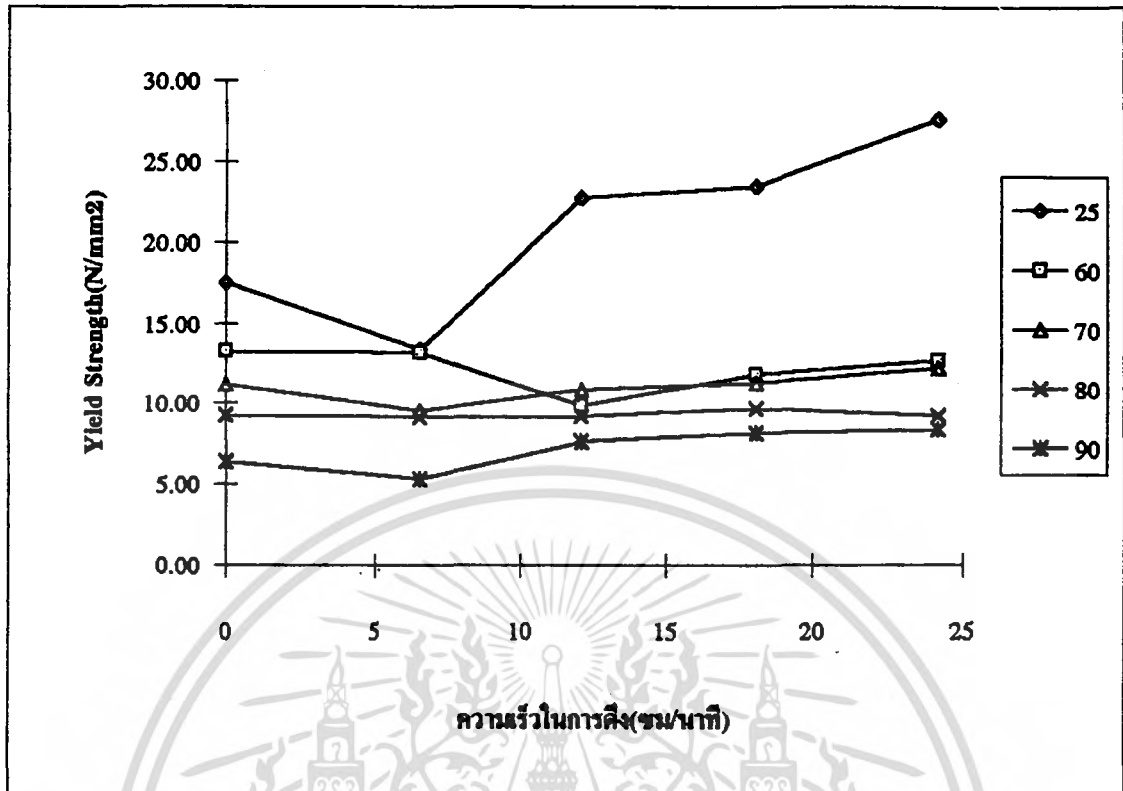
รูป 4.8g แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิในการหลอม 135 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



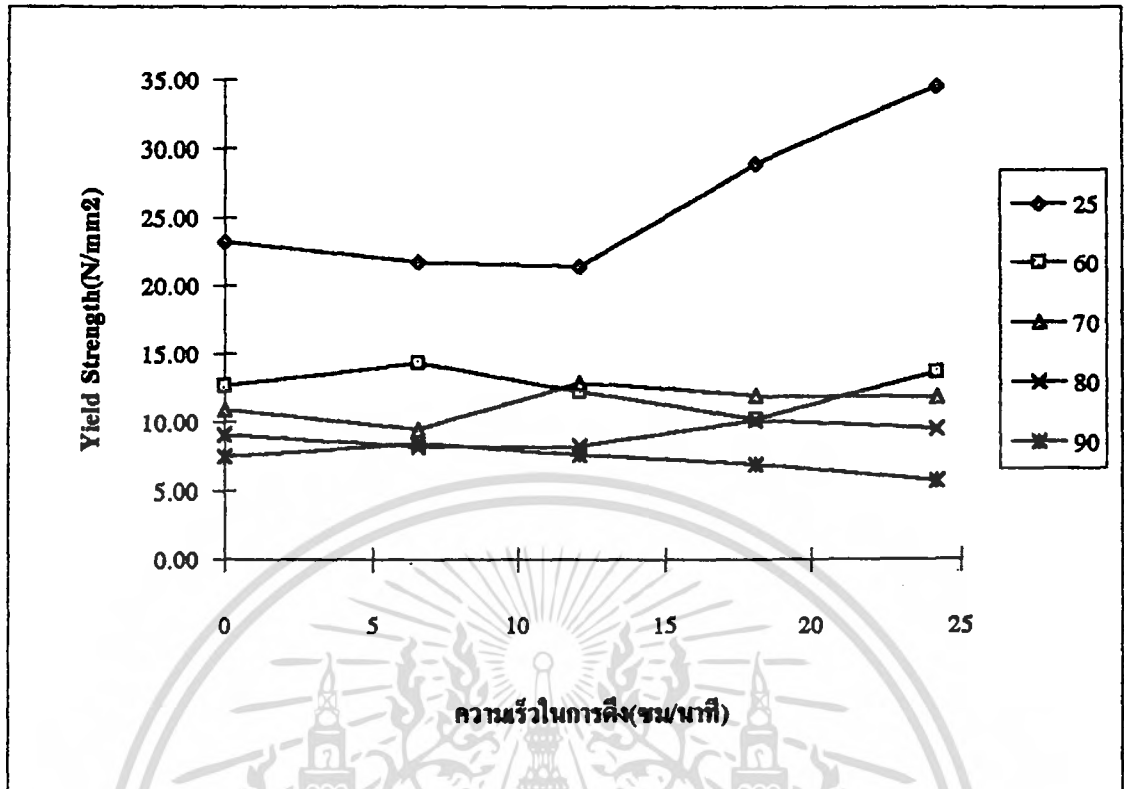
รูป 4.8h แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิในการหลอม 140 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



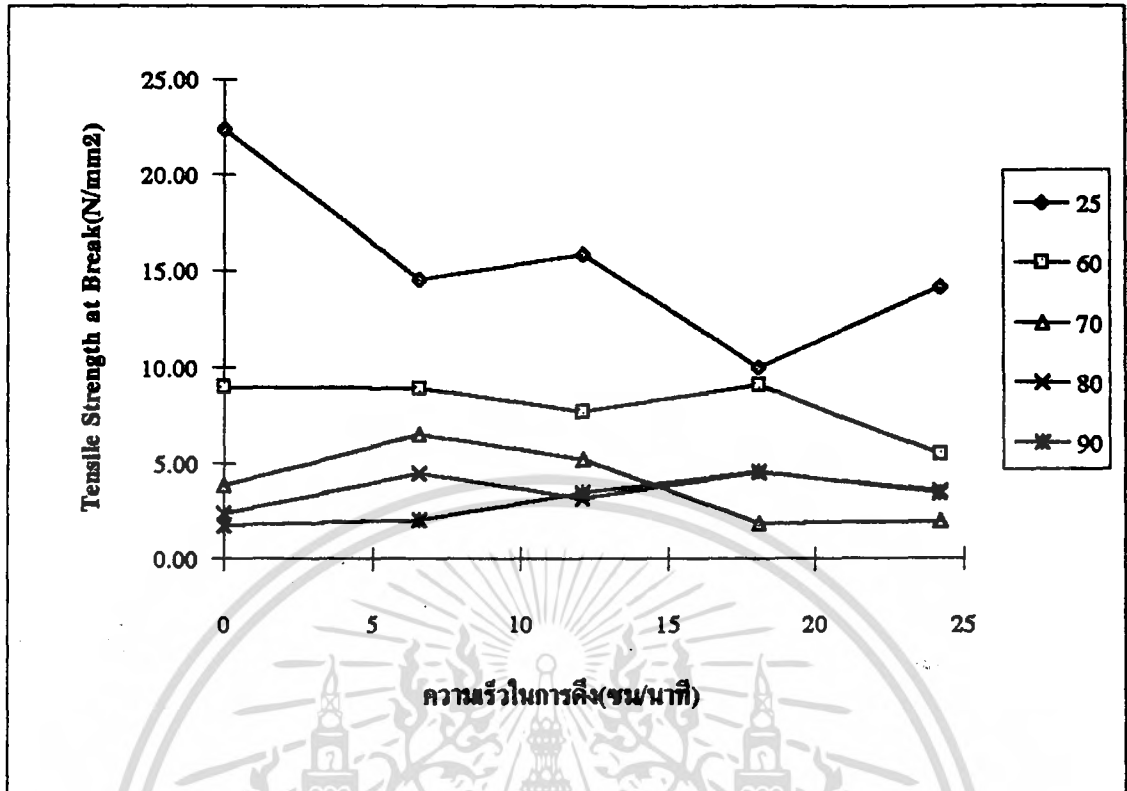
รูป 4.8i แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิในการหลอม 145 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



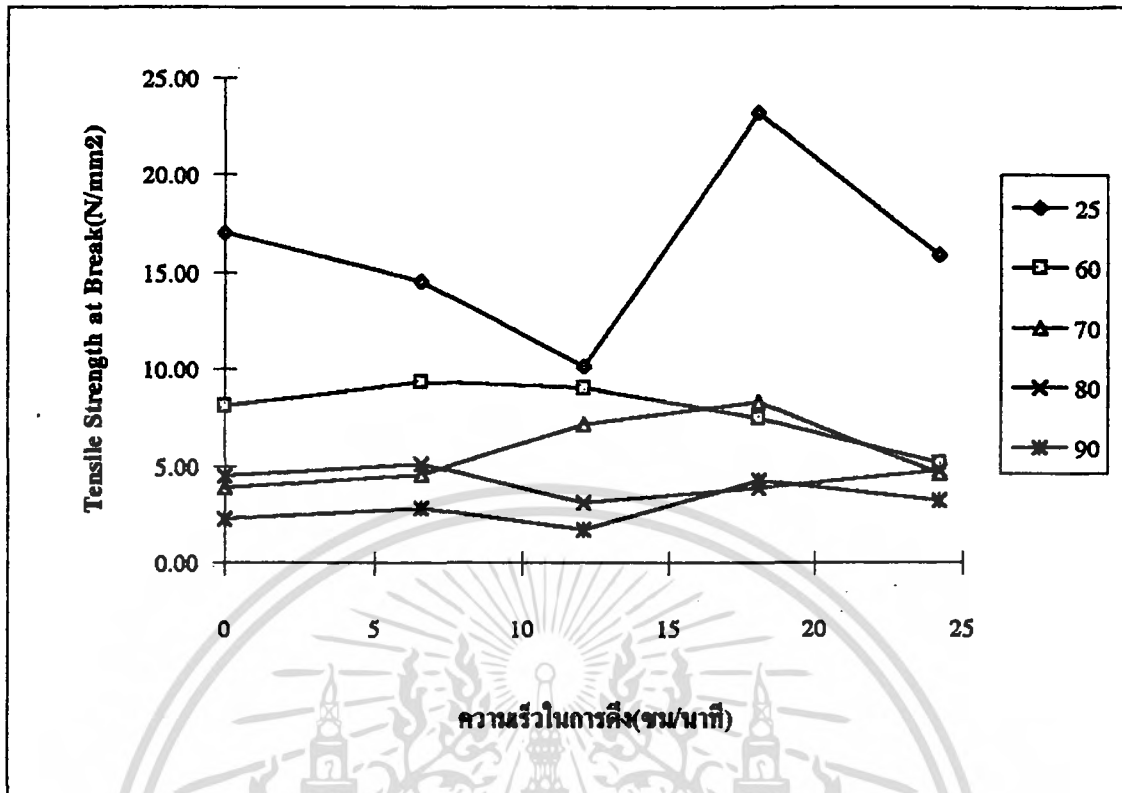
รูป 4.8j แสดงกราฟ Yield Strength ที่อุณหภูมิในการหลอม 150 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



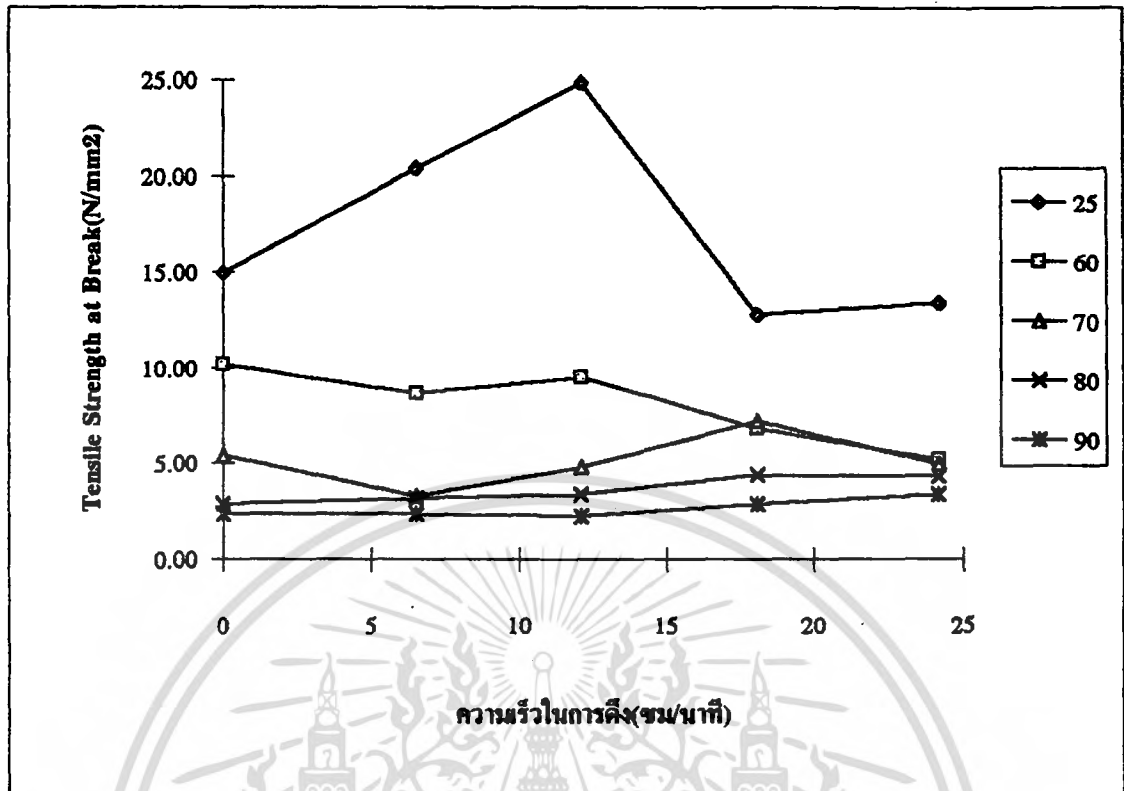
รูป 4.8k แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิในการทดสอบ 130 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



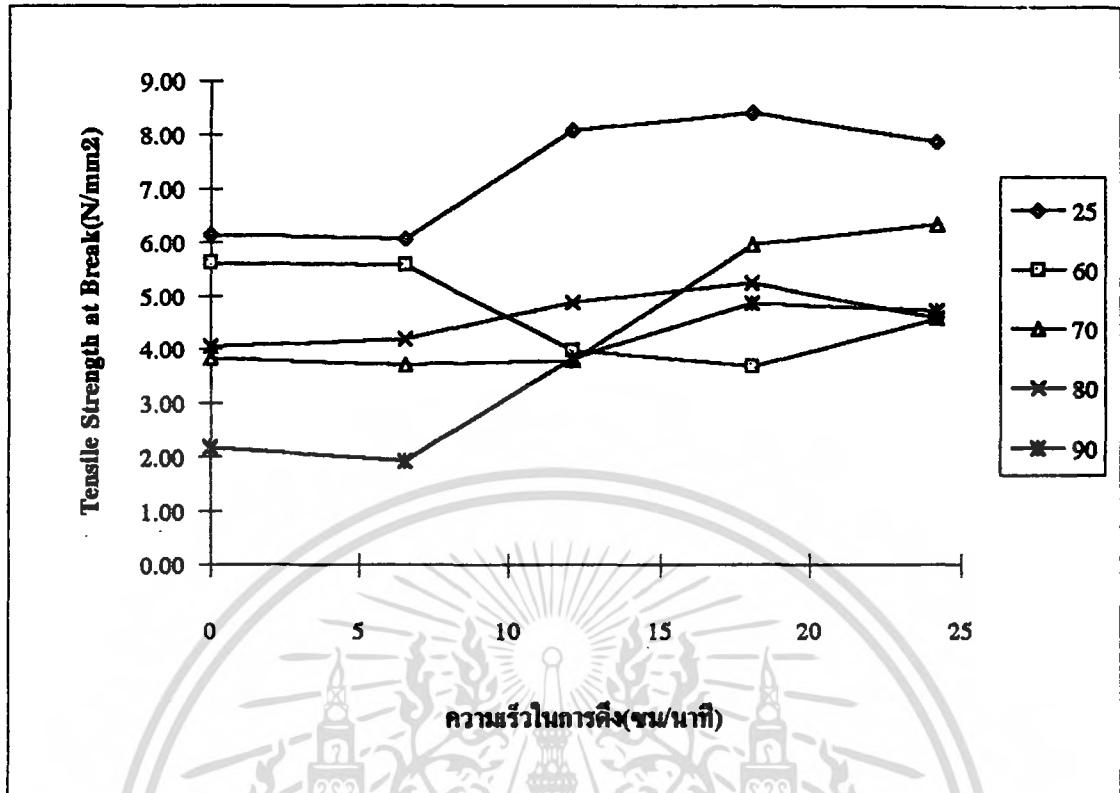
รูป 4.81 แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิในการหลอม 135 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



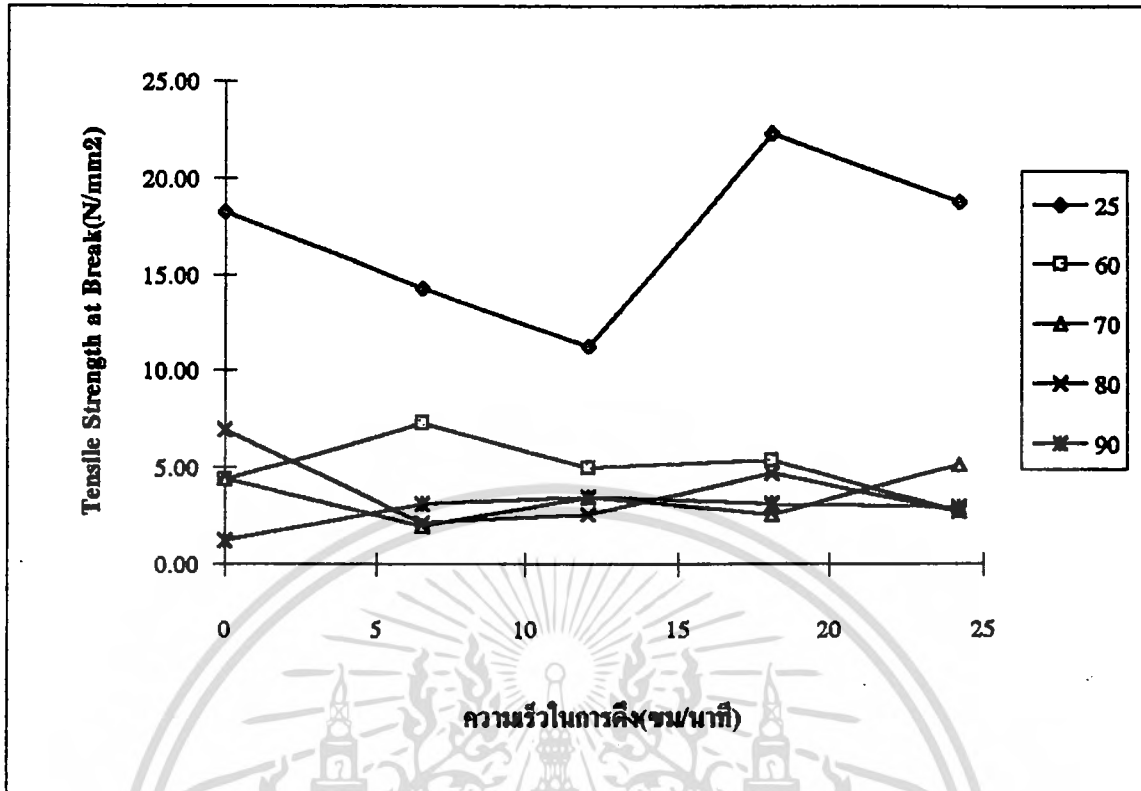
รูป 4.8m แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิในการทดลอง 140 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.8n แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิในการทดลอง 145 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.8o แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิ มีหลอม 150 °C

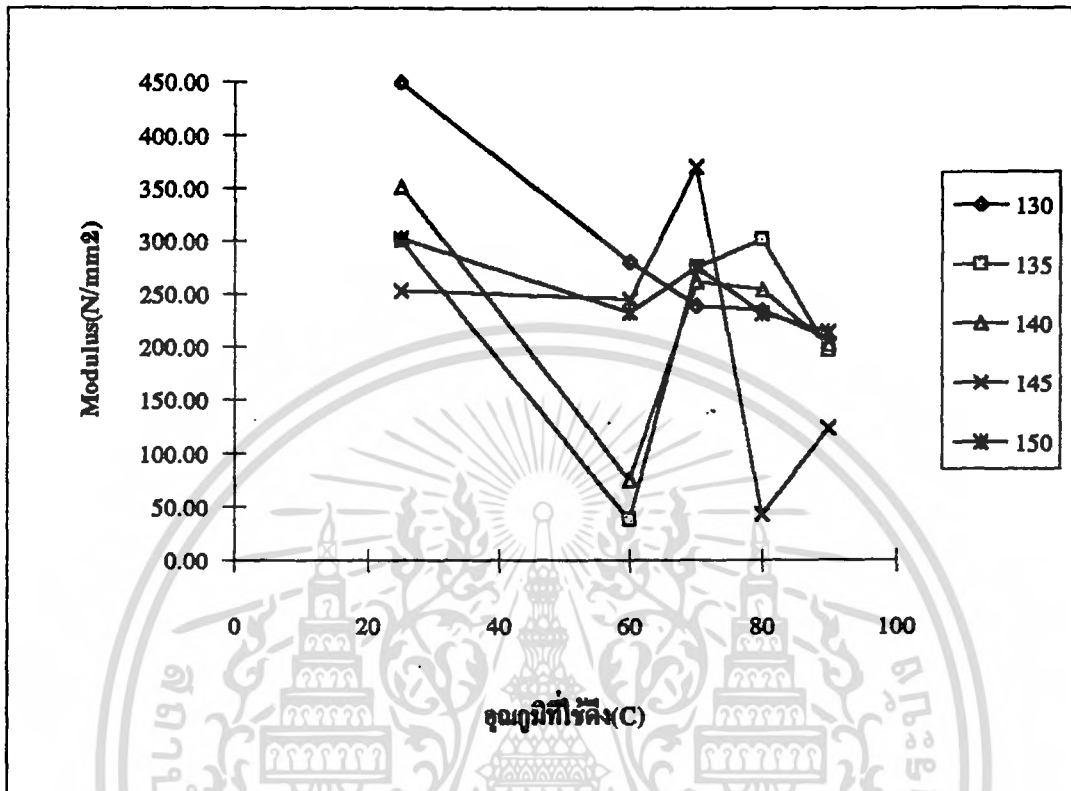
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟ 4.3.2 ที่อุณหภูมิหลอมคงที่ อุณหภูมิในการดึงเส้นใยเดี่ยวพอลิเอทิลีนที่ 25 °C เมื่อความเร็วในการดึงเพื่อเตรียมเส้นใยเดี่ยวพอลิเอทิลีนสูงขึ้น พบว่า ค่า Modulus , Yield Strength และ Tensile Strength at Break มีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อใช้อุณหภูมิในการดึงเส้นใยเดี่ยวที่มากกว่า 25 °C และความเร็วในการดึงสูงขึ้น พบว่า ค่าสมบัติเชิงกลที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน นั่นคือ เมื่อนำเส้นใยเดี่ยวพอลิเอทิลีนไปใช้งานควรเลือกใช้ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ความเร็วในการดึงสูงๆ อาจเป็นเพราะการดึงด้วยความเร็วทำให้โซ่โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวมากขึ้น สมบัติเชิงกลจึงสูงตามไปด้วย



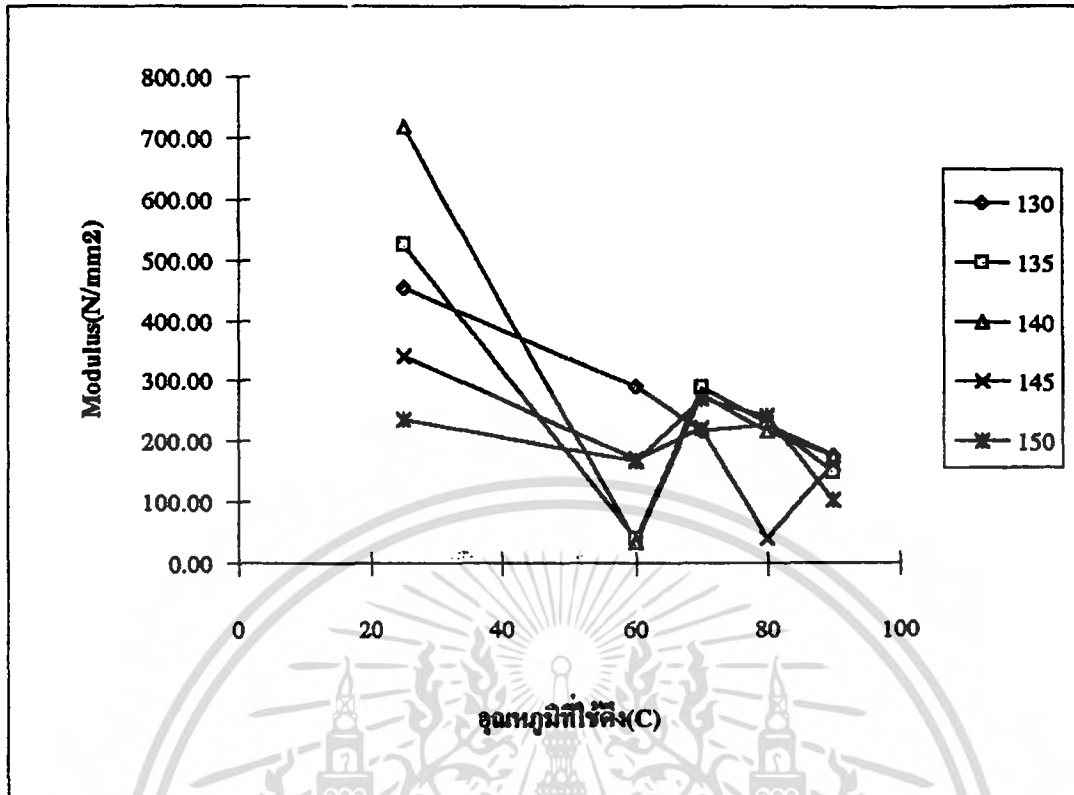
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลการทดลองสมบัติเชิงกลโดยเปรียบเทียบอุณหภูมิลดลง (C) ที่อุณหภูมิต่างทดสอบต่างๆ



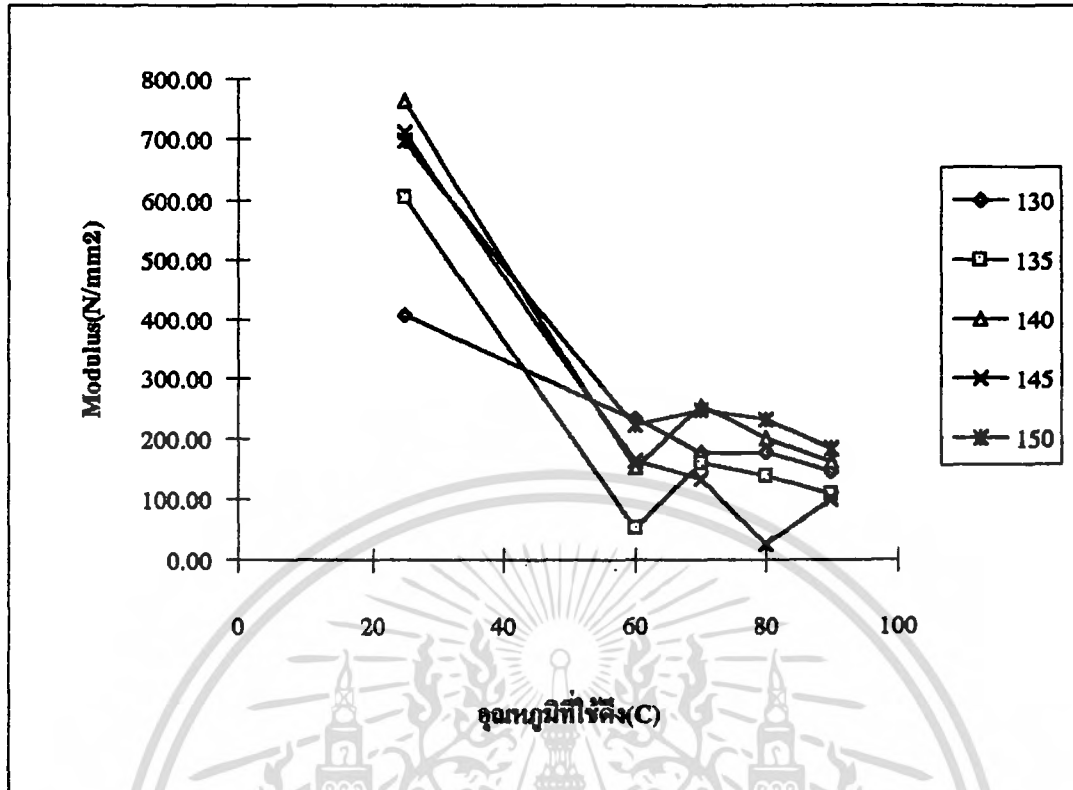
รูป 4.9a แสดงกราฟ Modulus ที่ความเร็วรอบในการดึง 0 ชม/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



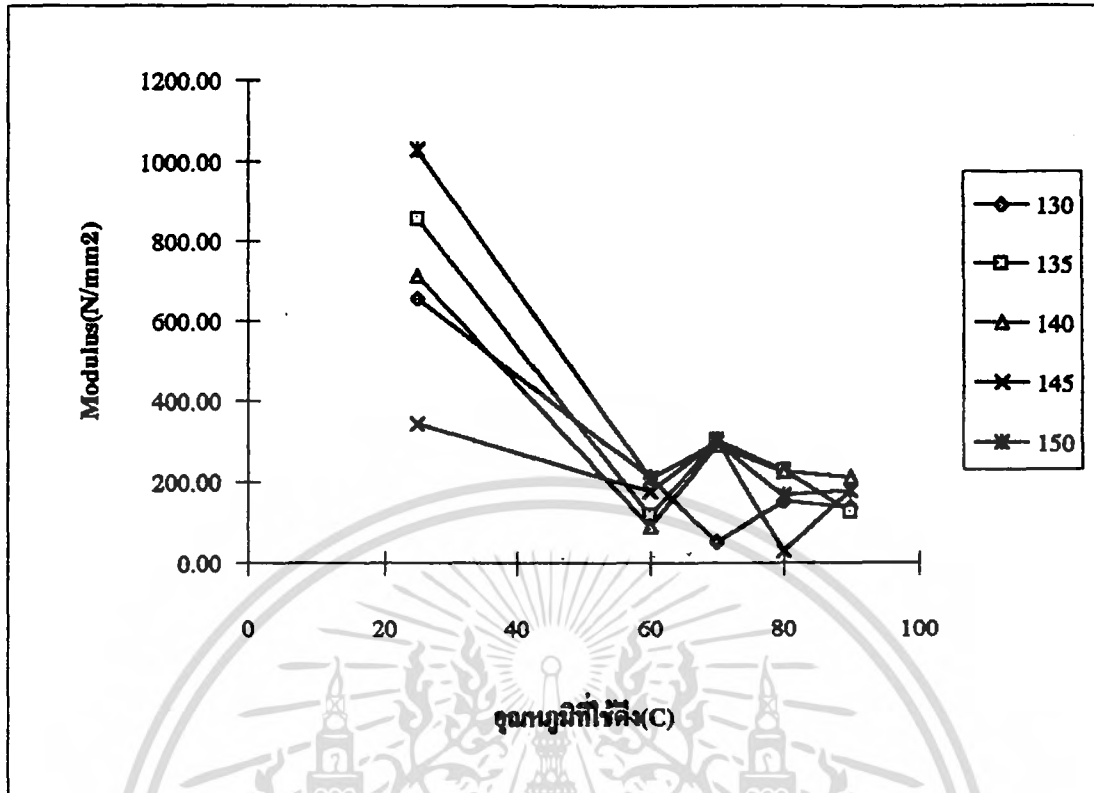
รูป 4.9b แสดงกราฟ Modulus ที่ความเร็วรอบในการคั่ง 6.55 ชม/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



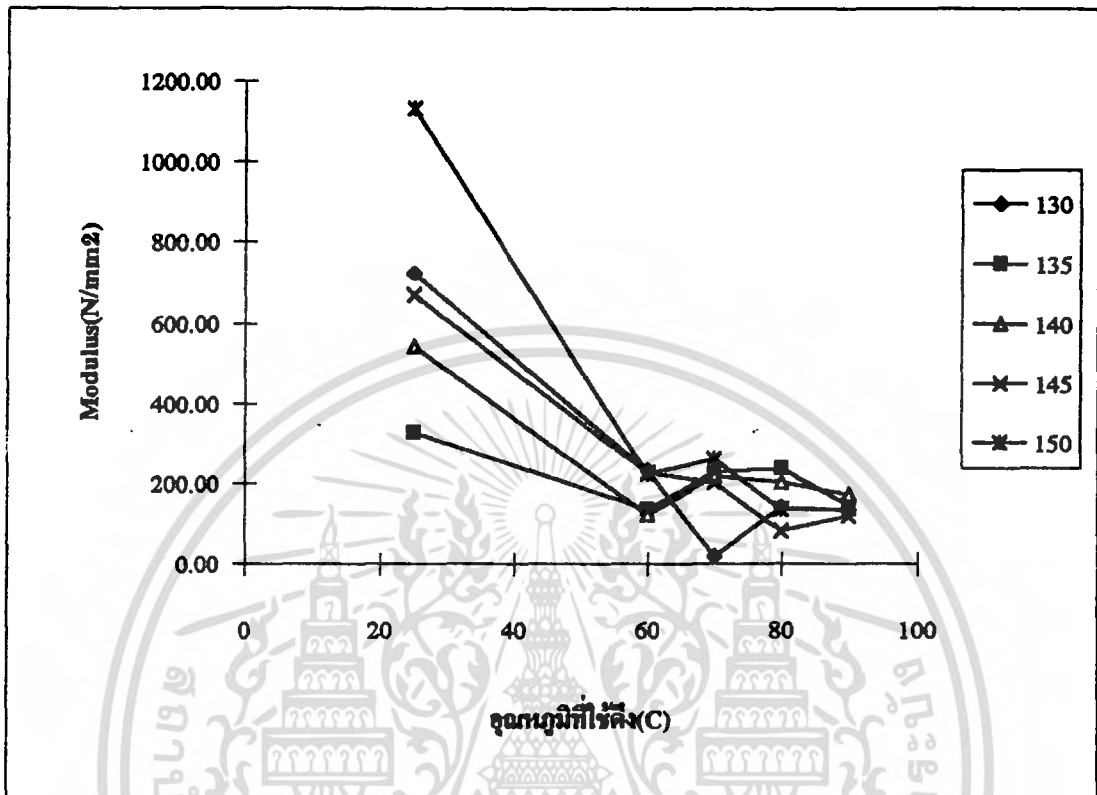
รูป 4.9c แสดงกราฟ Modulus ที่ความเร็วรอบในการดึง 12.1 ชม/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



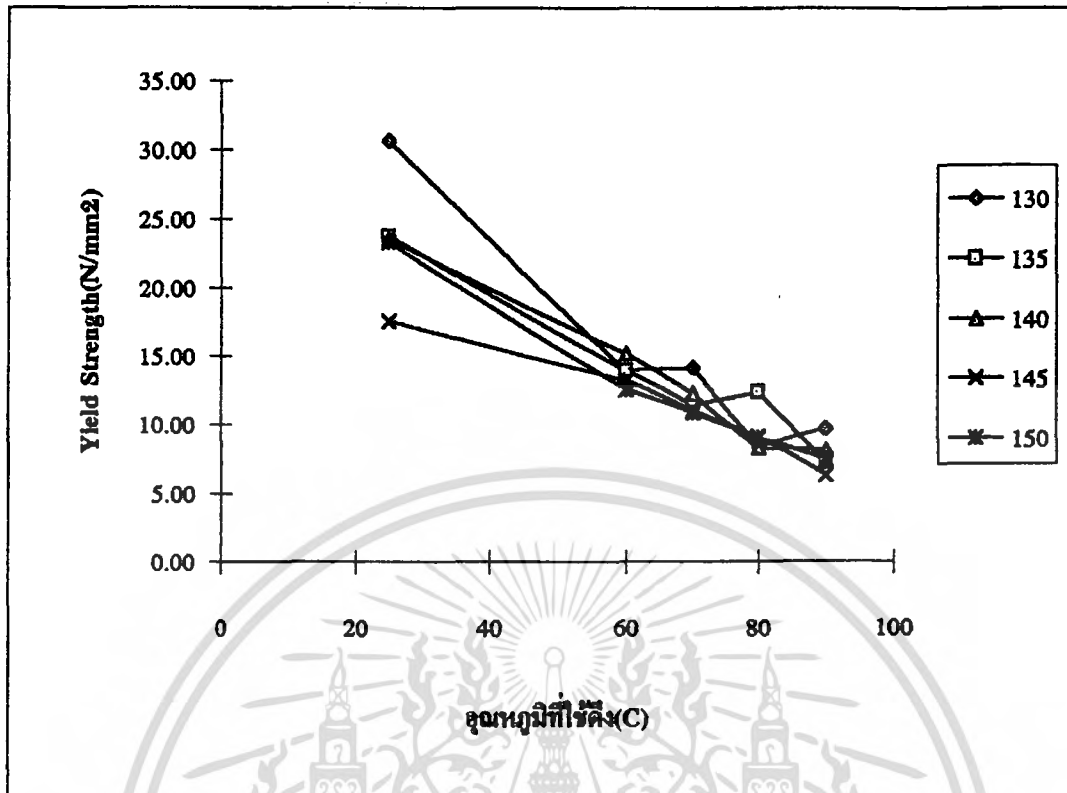
รูป 4.9d แสดงกราฟ Modulus ที่ความเร็วรอบในการคึง 18.1 ซม/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



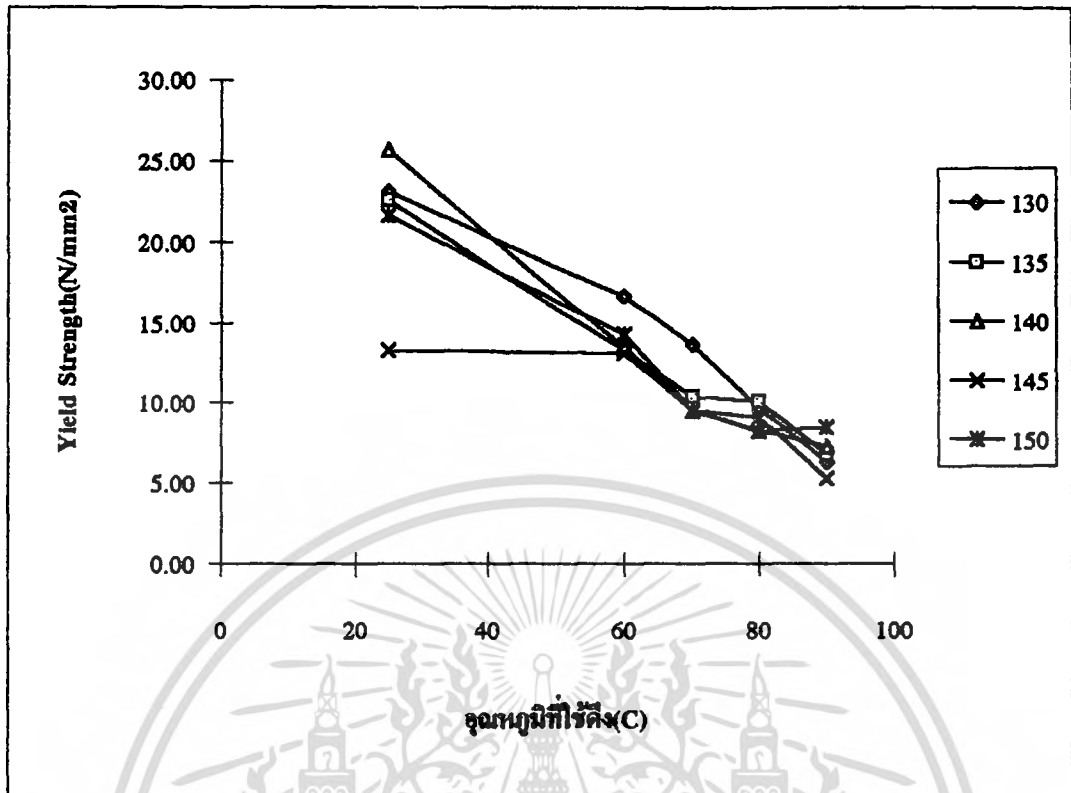
รูป 4.9e แสดงกราฟ Modulus ที่ความเร็วรอบในการดึง 24.2 ชม/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



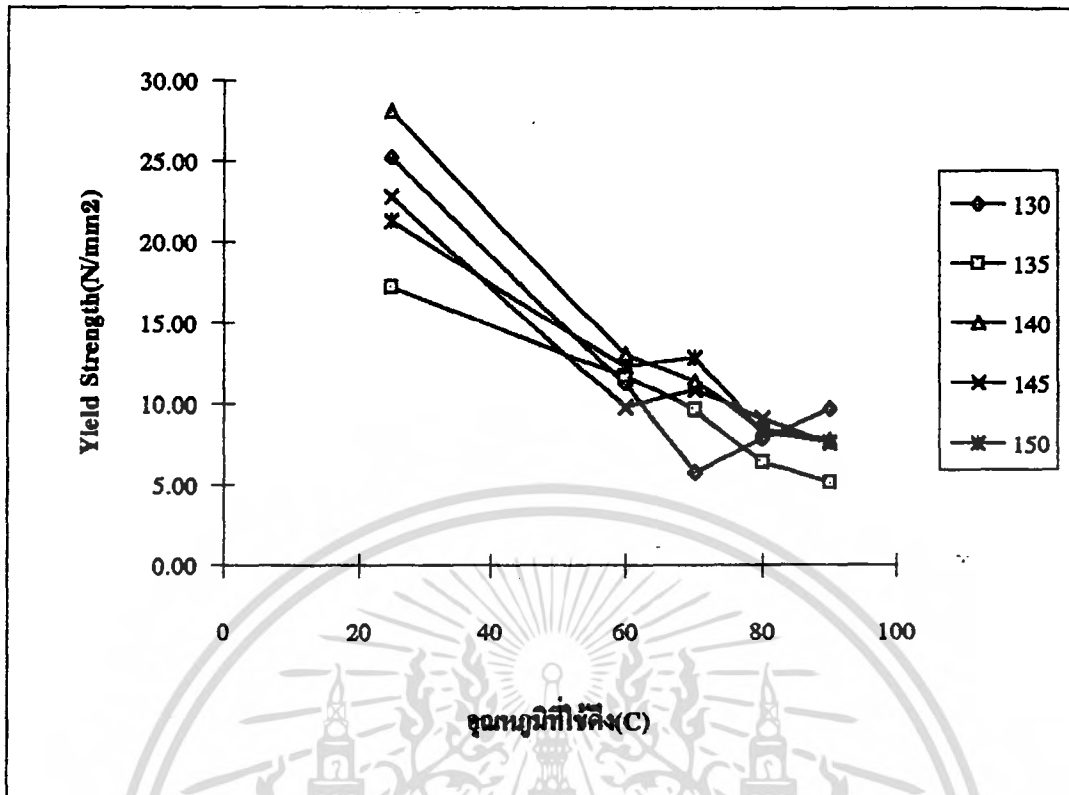
รูป 4.9f แสดงกราฟ Yield Strength ที่ความเร็วรอบในการดึง 0 ชม/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



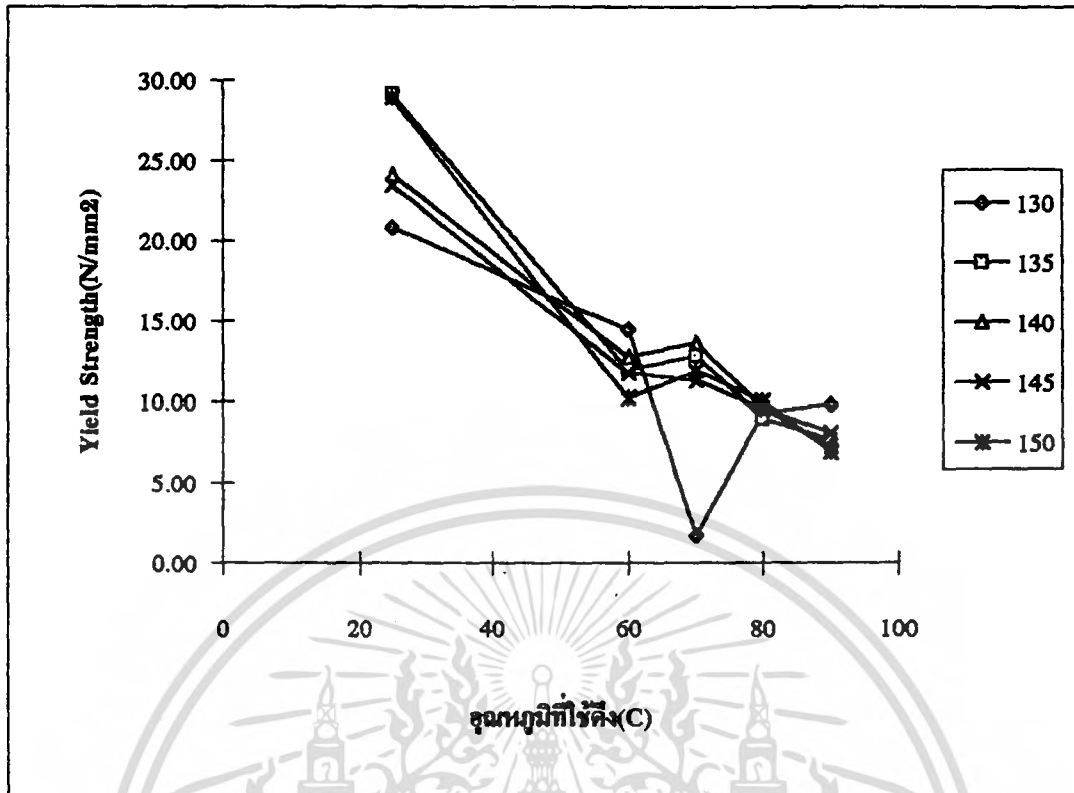
รูป 4.9g แสดงกราฟ Yield Strength ที่ความเร็วรอบในการดึง 6.55 ชม/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



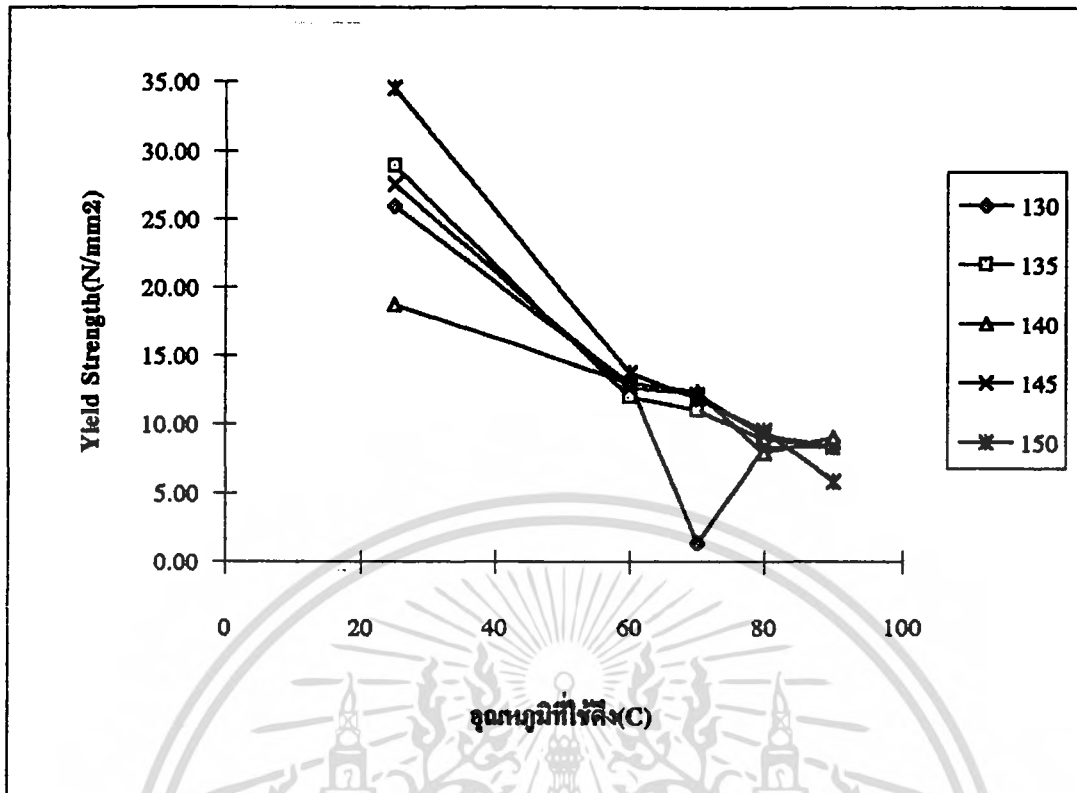
รูป 4.9h แสดงกราฟ Yield Strength ที่ความเร็วรอบในการดึง 12.1 ชม/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



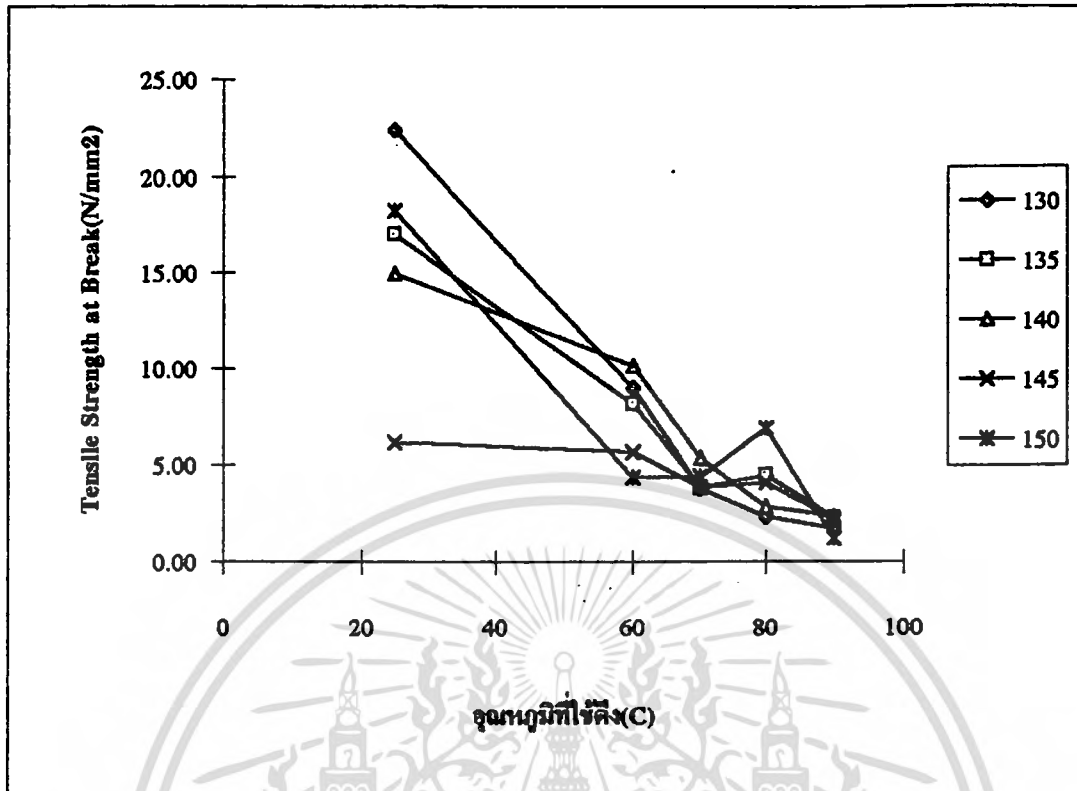
รูป 4.9i แสดงกราฟ Yield Strength ที่ความเร็วรอบในการดึง 18.1 ชม/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



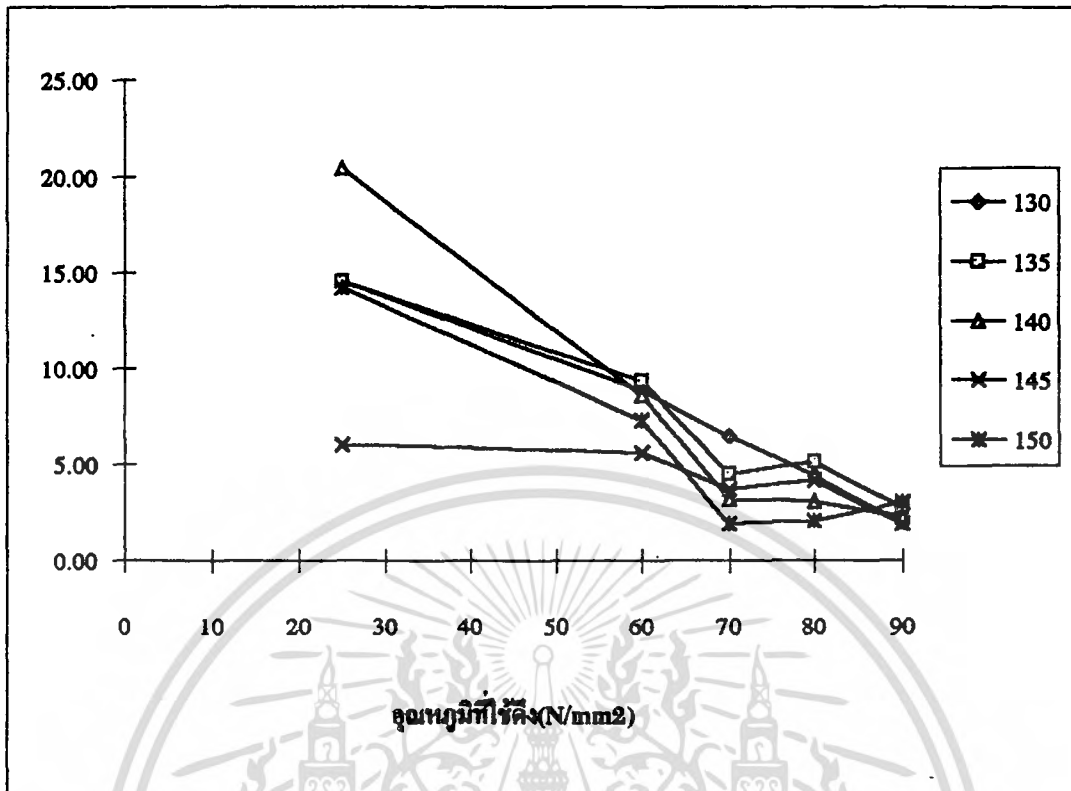
รูป 4.9j แสดงกราฟ Yield Strength ที่ความเร็วรอบในการดึง 24.2 ชม/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



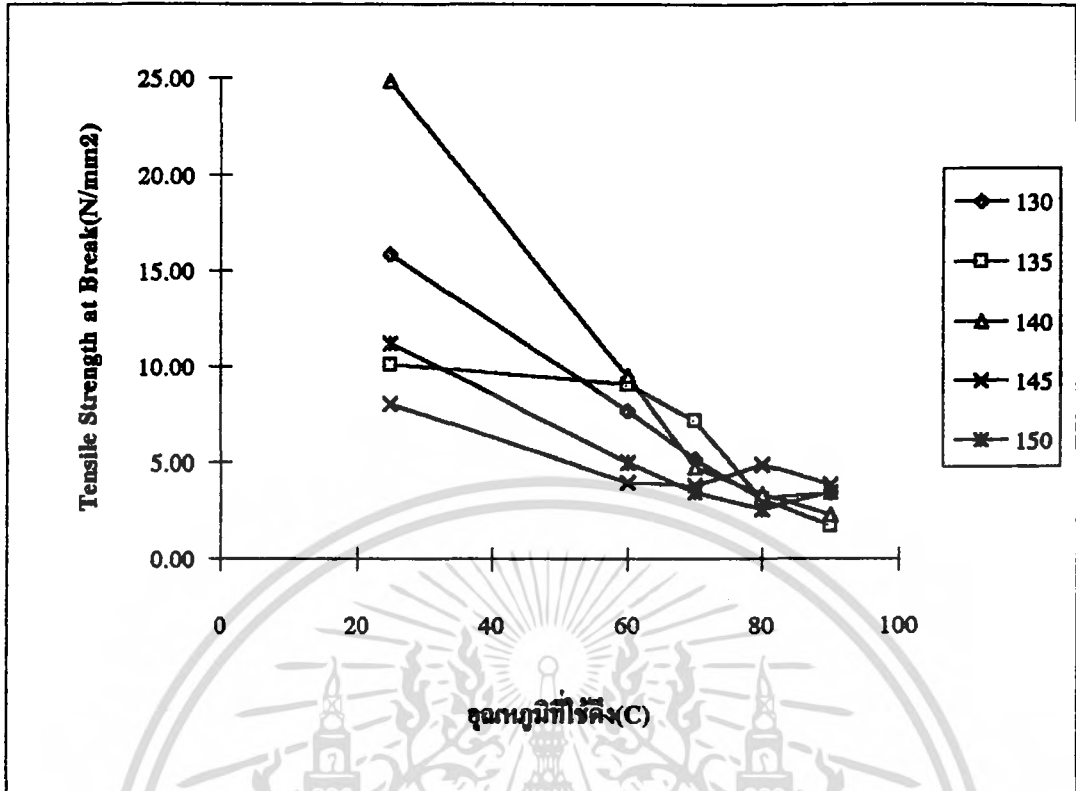
รูป 4.9k แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่ความเร็วรอบในการดึง 0 ชม/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



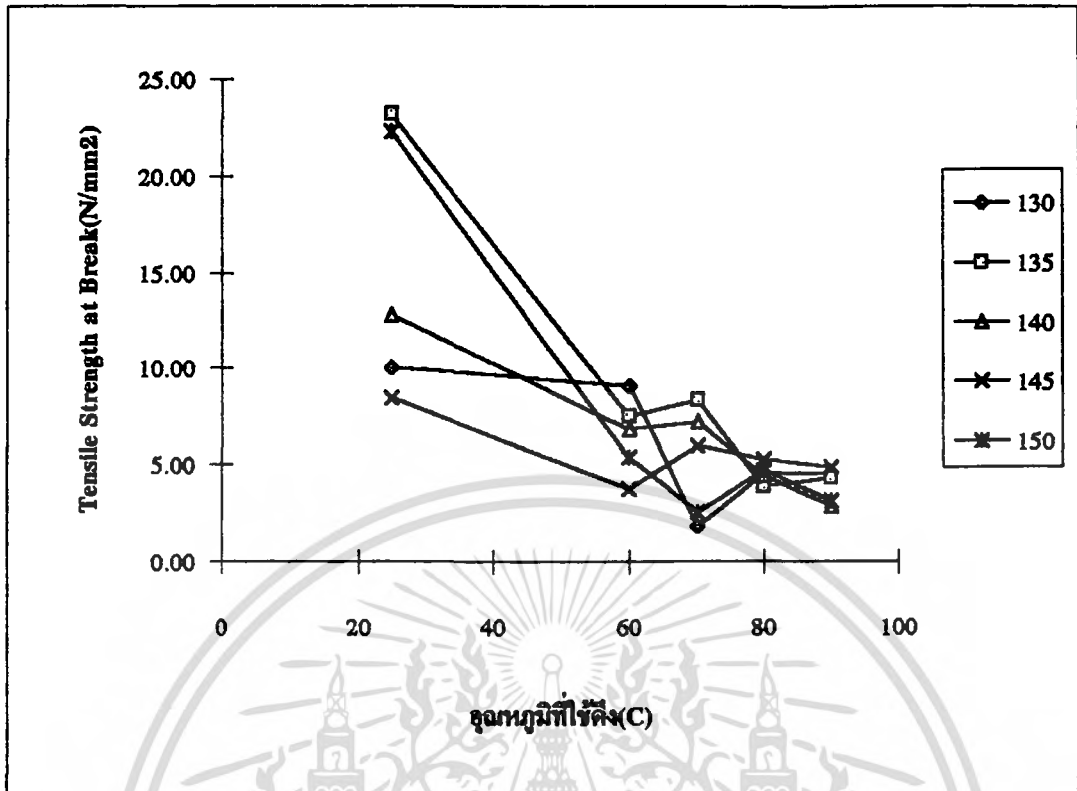
รูป 4.91 แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่ความเร็วรอบในการดึง 6.55 ชม/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



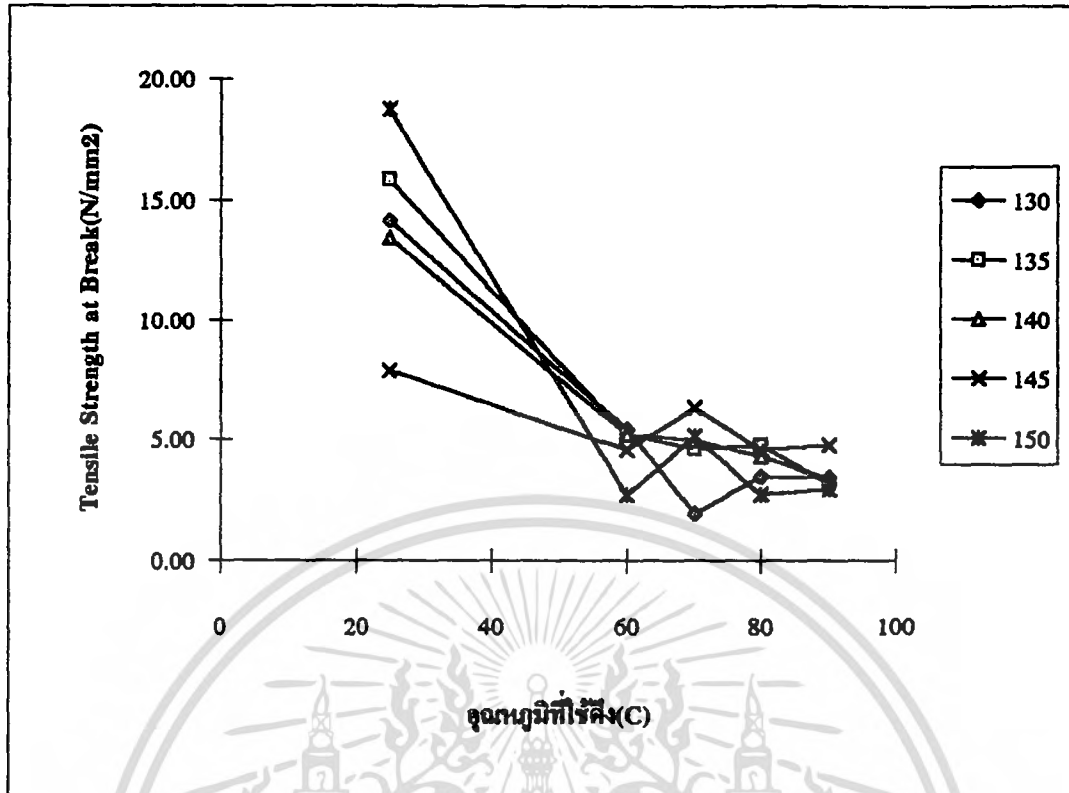
รูป 4.9m แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่ความเร็วรอบในการดึง 12.1 ชม/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.9n แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่ความเร็วรอบในการดึง 18.1 ชม/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.9o แสดงกราฟ Tensile Strength at Break ที่ความเร็วรอบในการดึง 24.2 ชม/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟ 4.3.3 ที่อุณหภูมิในการดึงคงที่ ความเร็วในการดึงคงที่และอุณหภูมิในการหลอมเส้นใยพอลิเอทิลีนเพิ่มขึ้น พบว่า ค่า Modulus , Yield Strength และ Tensile Strength at Break มีค่าใกล้เคียงกัน นั่นคือ เมื่อนำเส้นใยเดี่ยวพอลิเอทิลีนมาใช้งานอุณหภูมิในการหลอมเส้นใยพอลิเอทิลีนไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิเอทิลีน อาจเป็นเพราะ อัตราส่วนของส่วนที่เป็นผลึกกับส่วนที่เป็นอสัณฐานไม่แตกต่างกัน โดยอาศัยข้อมูลจากสมบัติทางความร้อนที่ได้จากเครื่อง DSC เนื่องจากพื้นที่ใต้กราฟไม่ต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของเส้นใยที่นำมาทอลงในบางครั้งจะเกิด multiple necking อาจเป็นผลทำให้ผลการทอที่ได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากที่ควรจะเป็นอาจเนื่องมาจากมี impurities หรือการไม่เป็น homogeneous ที่แทรกอยู่ในเส้นใยทำให้เกิด defect เมื่อนำเส้นใยไปทดสอบสมบัติเชิงกลจะเกิด necking ที่จุดเหล่านั้นทำให้ผลการทอที่ได้อาจผิดพลาดได้เนื่องจากจุดที่ขาดไม่แน่นอน ปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ เมื่อดึงเส้นใยแล้ว necking ที่เกิดขึ้นไม่เกิดทั้ง grip ที่ใช้จับเส้นใยทำให้เมื่อนำไปศึกษาพฤติกรรมการยืด (Drawing Behavior) แล้วไม่สามารถหา λ_{max} ที่ถูกต้องได้และทำให้การไปหา λ มีความไม่แน่นอนเนื่องจากไม่ทราบว่า จะขาดตรงจุดไหน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. เมื่อให้อุณหภูมิในการหลอมพอลิเอทิลีนคองที่แล้วเปรียบเทียบกับค่า Modulus , Yield Strength และ Tensile Strength at Break ของเส้นใยที่มีความเร็วในการดึงคองที่พบว่า จะมีค่าลดลงเมื่อทำการดึงที่อุณหภูมิในการทดสอบที่สูงขึ้น

2. เมื่อให้อุณหภูมิในการหลอมพอลิเอทิลีนคองที่แล้วเปรียบเทียบกับค่า Modulus , Yield Strength และ Tensile Strength at Break ของเส้นใยเมื่อนำไปทดสอบที่อุณหภูมิ 25 °C พบว่า เมื่อความเร็วในการดึงเพื่อเตรียมเส้นใยเดี่ยวพอลิเอทิลีนสูงขึ้น สมบัติทางเชิงกลจะสูงขึ้นด้วย

3.เมื่อให้ความเร็วรอบในการดึงเพื่อผลิตเส้นใยพอลิเอทิลีนคองที่แล้วเปรียบเทียบกับค่า Modulus , Yield Strength และ Tensile Strength at Break ของเส้นใยที่ความเร็วรอบคองที่และอุณหภูมิหลอมต่างๆ พบว่า อุณหภูมิหลอมไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกล

4. เส้นใยที่มีสมบัติเชิงกลที่ดี คือ เส้นใยที่ได้จากการเตรียมที่อุณหภูมิสูง อัตราเร็วในการดึงสูง โดยพิจารณาที่อุณหภูมิที่ใช้ดึง(อุณหภูมิห้อง, 25 °C) อาจเป็นเพราะว่า เกิดการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในเส้นใยเดี่ยวของพอลิเอทิลีน

5.2 ข้อเสนอแนะ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาขั้นพื้นฐานเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการเตรียมเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีการพัฒนาการจัดเรียงตัวและการเกิดผลึกของเส้นใยหลอมเหลวต่อไป ซึ่งยังมีหัวข้อที่ควรทำการศึกษาต่อไปอีก คือ

1. ศึกษาพฤติกรรมการดึงยืด(Drawing Behavior)ของเส้นใยพอลิเอทิลีนดังนี้

1.1 อัตราการดึงยืดสูงสุด(Maximum Draw Ratio)

1.2 สมบัติเชิงกล(Mechanical Properties)

1.3 สมบัติทางความร้อน(Thermal Properties)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดึงยี่ดสูงสุด อันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนของอัตราการดึงยี่ดที่สามารถเตรียมได้ (Draw Ratio) ดังนี้

- 2.1 อุณหภูมิที่ใช้ดึง
- 2.2 ชนิดของพอลิเอทิลีนที่ใช้
- 2.3 ความเร็วที่ใช้ดึง
- 2.4 สภาวะในการเตรียมเส้นใยพอลิเอทิลีนที่นำมาดึง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1. ตารางแสดงค่า Modulus , Yield Strength และ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิในการหลอมต่างๆ

ตาราง 4.7a แสดงค่า Modulus ที่อุณหภูมิในการหลอม 130 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	449.01	280.50	238.82	234.44	207.69
6.55	451.94	290.00	217.10	226.96	175.85
12.1	407.89	231.00	175.76	177.45	144.16
18.1	655.63	210.55	52.45	152.95	135.17
24.2	723.25	232.74	19.97	140.89	132.20

ตาราง 4.7b แสดงค่า Modulus ที่อุณหภูมิในการหลอม 135 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	299.94	37.66	275.84	302.00	196.62
6.55	524.75	39.50	288.90	231.66	148.37
12.1	604.37	52.47	158.62	137.76	106.01
18.1	855.00	116.26	304.16	226.67	125.49
24.2	326.44	133.64	229.09	238.43	146.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.7c แสดงค่า Modulus ที่อุณหภูมิในการหลอม 140 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
0	350.82	75.73	261.56	254.40	202.10
6.55	717.74	34.65	276.25	216.44	175.41
12.1	763.04	152.89	254.01	199.73	161.76
18.1	712.92	88.23	289.38	223.74	212.31
24.2	541.20	121.14	218.49	201.10	173.60

ตาราง 4.7d แสดงค่า Modulus ที่อุณหภูมิในการหลอม 145 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
0	253.14	244.69	370.80	42.54	123.08
6.55	339.53	170.36	219.84	40.42	162.37
12.1	710.54	163.49	132.64	25.44	100.32
18.1	344.72	176.93	303.32	28.69	179.17
24.2	670.06	227.57	201.39	80.70	118.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.7e แสดงค่า Modulus ที่อุณหภูมิหลอม 150 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	302.11	233.14	275.58	232.00	214.17
6.55	233.75	165.64	267.74	240.85	101.77
12.1	697.38	220.33	246.19	230.00	183.51
18.1	1028.49	209.64	298.54	164.91	179.91
24.2	1131.21	224.90	261.50	133.94	137.72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.7f แสดงค่า Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 130 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	30.66	13.93	14.17	8.42	9.68
6.55	23.14	16.68	13.62	9.62	6.25
12.1	25.23	11.16	5.74	7.81	6.81
18.1	20.80	14.47	1.66	9.35	9.84
24.2	26.01	12.92	1.37	8.26	8.23

ตาราง 4.7g แสดงค่า Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 135 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	23.68	13.92	11.43	12.44	7.18
6.55	22.60	13.29	10.34	10.02	6.74
12.1	17.22	11.63	9.56	6.32	5.13
18.1	29.11	13.93	12.85	9.02	7.65
24.2	28.87	11.85	10.95	8.85	8.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.7h แสดงค่า Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 140 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
0	23.47	15.14	12.21	8.31	8.12
6.55	25.69	13.50	9.44	8.22	7.21
12.1	28.10	13.04	11.32	8.44	7.81
18.1	24.14	12.77	13.67	9.66	7.25
24.2	18.76	12.90	12.35	7.81	8.93

ตาราง 4.7i แสดงค่า Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 145 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
0	17.53	13.22	11.10	9.18	6.32
6.55	13.27	13.06	9.42	9.01	5.26
12.1	22.79	9.78	10.76	9.08	7.52
18.1	23.45	11.78	11.29	9.61	8.09
24.2	27.57	12.63	12.14	9.18	8.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.7j แสดงค่า Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 150 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	23.21	12.60	10.89	9.05	7.46
6.55	21.63	14.31	9.42	8.14	8.41
12.1	21.31	12.25	12.82	8.22	7.60
18.1	28.89	10.19	11.90	10.08	6.89
24.2	34.56	13.69	11.83	9.50	5.75



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.7k แสดงค่า Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 130 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	22.38	8.96	3.79	2.31	1.68
6.55	14.54	8.83	6.47	4.41	1.98
12.1	15.84	7.67	5.15	3.12	3.41
18.1	10.00	9.09	1.80	4.49	4.56
24.2	14.12	5.44	1.95	3.49	3.42

ตาราง 4.7l แสดงค่า Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 135 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	16.98	8.11	3.85	4.46	2.24
6.55	14.56	9.33	4.51	5.11	2.79
12.1	10.10	9.01	7.14	3.07	1.69
18.1	23.22	7.49	8.33	3.85	4.27
24.2	15.85	5.17	4.60	4.76	3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.7m แสดงค่า Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 140 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	14.98	10.12	5.36	2.83	2.31
6.55	20.41	8.60	3.22	3.13	2.34
12.1	24.83	9.46	4.76	3.35	2.23
18.1	12.79	6.82	7.18	4.38	2.81
24.2	13.39	5.17	4.95	4.30	3.33

ตาราง 4.7n แสดงค่า Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 145 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	6.15	5.63	3.82	4.04	2.17
6.55	6.06	5.58	3.71	4.19	1.93
12.1	8.08	3.97	3.78	4.87	3.82
18.1	8.42	3.69	5.97	5.25	4.87
24.2	7.87	4.55	6.33	4.58	4.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.7o แสดงค่า Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิห้อง 150 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	18.23	4.32	4.40	6.90	1.19
6.55	14.24	7.29	1.94	2.06	3.07
12.1	11.22	4.97	3.46	2.56	3.44
18.1	22.29	5.36	2.53	4.70	3.11
24.2	18.74	2.69	5.13	2.72	2.94



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตารางแสดงค่า Modulus , Yield Strength และ Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิในการหลอมต่างๆ

ตาราง 4.8a แสดงค่า Modulus ที่อุณหภูมิในการหลอม 130 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	449.01	280.50	238.82	234.44	207.69
6.55	451.94	290.00	217.10	226.96	175.85
12.1	407.89	231.00	175.76	177.45	144.16
18.1	655.63	210.55	52.45	152.95	135.17
24.2	723.25	232.74	19.97	140.89	132.20

ตาราง 4.8b แสดงค่า Modulus ที่อุณหภูมิในการหลอม 135 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	299.94	37.66	275.84	302.00	196.62
6.55	524.75	39.50	288.90	231.66	148.37
12.1	604.37	52.47	158.62	137.76	106.01
18.1	855.00	116.26	304.16	226.67	125.49
24.2	326.44	133.64	229.09	238.43	146.56

ตาราง 4.8c แสดงค่า Modulus ที่อุณหภูมิหลอม 140 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	350.82	75.73	261.56	254.40	202.10
6.55	717.74	34.65	276.25	216.44	175.41
12.1	763.04	152.89	254.01	199.73	161.76
18.1	712.92	88.23	289.38	223.74	212.31
24.2	541.20	121.14	218.49	201.10	173.60

ตาราง 4.8d แสดงค่า Modulus ที่อุณหภูมิหลอม 145 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	253.14	244.69	370.80	42.54	123.08
6.55	339.53	170.36	219.84	40.42	162.37
12.1	710.54	163.49	132.64	25.44	100.32
18.1	344.72	176.93	303.32	28.69	179.17
24.2	670.06	227.57	201.39	80.70	118.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.8e แสดงค่า Modulus ที่อุณหภูมิหลอม 150 °C

อุณหภูมิที่ใช้ดึง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วดึง(ชม/นาที)					
0	302.11	233.14	275.58	232.00	214.17
6.55	233.75	165.64	267.74	240.85	101.77
12.1	697.38	220.33	246.19	230.00	183.51
18.1	1028.49	209.64	298.54	164.91	179.91
24.2	1131.21	224.90	261.50	133.94	137.72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.8f แสดงค่า Yield Stength ที่อุณหภูมิหลอม 130 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	30.66	13.93	14.17	8.42	9.68
6.55	23.14	16.68	13.62	9.62	6.25
12.1	25.23	11.16	5.74	7.81	6.81
18.1	20.80	14.47	1.66	9.35	9.84
24.2	26.01	12.92	1.37	8.26	8.23

ตาราง 4.8g แสดงค่า Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 135 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	23.68	13.92	11.43	12.44	7.18
6.55	22.60	13.29	10.34	10.02	6.74
12.1	17.22	11.63	9.56	6.32	5.13
18.1	29.11	13.93	12.85	9.02	7.65
24.2	28.87	11.85	10.95	8.85	8.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.8h แสดงค่า Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 140 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	23.47	15.14	12.21	8.31	8.12
6.55	25.69	13.50	9.44	8.22	7.21
12.1	28.10	13.04	11.32	8.44	7.81
18.1	24.14	12.77	13.67	9.66	7.25
24.2	18.76	12.90	12.35	7.81	8.93

ตาราง 4.8i แสดงค่า Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 145 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วตั้ง(ชม/นาที)					
0	17.53	13.22	11.10	9.18	6.32
6.55	13.27	13.06	9.42	9.01	5.26
12.1	22.79	9.78	10.76	9.08	7.52
18.1	23.45	11.78	11.29	9.61	8.09
24.2	27.57	12.63	12.14	9.18	8.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.8j แสดงค่า Yield Strength ที่อุณหภูมิหลอม 150 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วดึง(ชม/นาที)					
0	23.21	12.60	10.89	9.05	7.46
6.55	21.63	14.31	9.42	8.14	8.41
12.1	21.31	12.25	12.82	8.22	7.60
18.1	28.89	10.19	11.90	10.08	6.89
24.2	34.56	13.69	11.83	9.50	5.75



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.8k แสดงค่า Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 150 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วดึง(ชม/นาที)					
0	18.23	4.32	4.40	6.90	1.19
6.55	14.24	7.29	1.94	2.06	3.07
12.1	11.22	4.97	3.46	2.56	3.44
18.1	22.29	5.36	2.53	4.70	3.11
24.2	18.74	2.69	5.13	2.72	2.94

ตาราง 4.8l แสดงค่า Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 135 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วดึง(ชม/นาที)					
0	16.98	8.11	3.85	4.46	2.24
6.55	14.56	9.33	4.51	5.11	2.79
12.1	10.10	9.01	7.14	3.07	1.69
18.1	23.22	7.49	8.33	3.85	4.27
24.2	15.85	5.17	4.60	4.76	3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.8m แสดงค่า Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 140 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วดึง(ชม/นาที)					
0	14.98	10.12	5.36	2.83	2.31
6.55	20.41	8.60	3.22	3.13	2.34
12.1	24.83	9.46	4.76	3.35	2.23
18.1	12.79	6.82	7.18	4.38	2.81
24.2	13.39	5.17	4.95	4.30	3.33

ตาราง 4.8n แสดงค่า Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 145 °C

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วดึง(ชม/นาที)					
0	6.15	5.63	3.82	4.04	2.17
6.55	6.06	5.58	3.71	4.19	1.93
12.1	8.08	3.97	3.78	4.87	3.82
18.1	8.42	3.69	5.97	5.25	4.87
24.2	7.87	4.55	6.33	4.58	4.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.8o แสดงค่า Tensile Strength at Break ที่อุณหภูมิหลอม 130 °C

อุณหภูมิที่ใช้ดึง(°C)	25	60	70	80	90
ความเร็วดึง(ชม/นาที)					
0	22.38	8.96	3.79	2.31	1.68
6.55	14.54	8.83	6.47	4.41	1.98
12.1	15.84	7.67	5.15	3.12	3.41
18.1	10.00	9.09	1.80	4.49	4.56
24.2	14.12	5.44	1.95	3.49	3.42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตารางแสดงค่า Modulus , Yield Strength และ Tensile Strength at Break ที่ความเร็วดึงต่าง ๆ

ตาราง 4.9a แสดงค่า Modulus ที่ความเร็วรอบ 0 ชม/นาที

อุณหภูมิที่ใช้ดึง(°C)	25	60	70	80	90
อุณหภูมิหลอม(°C)					
130	449.01	280.50	238.82	234.44	207.69
135	299.94	37.66	275.84	302.00	196.62
140	350.82	75.73	261.56	254.40	202.10
145	253.14	244.69	370.80	42.54	123.08
150	302.11	233.14	275.58	232.00	214.17

ตาราง 4.9b แสดงค่า Modulus ที่ความเร็วรอบ 6.55 ชม/นาที

อุณหภูมิที่ใช้ดึง(°C)	25	60	70	80	90
อุณหภูมิหลอม(°C)					
130	451.94	290.00	217.10	226.96	175.85
135	524.75	39.50	288.90	231.66	148.37
140	717.74	34.65	276.25	216.44	175.41
145	339.53	170.36	219.84	40.42	162.37
150	233.75	165.64	267.74	240.85	101.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.9c แสดงค่า Modulus ที่ความเร็วรอบ 12.1 ชม/นาที

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
อุณหภูมิลดลง(°C)					
130	407.89	231.00	175.76	177.45	144.16
135	604.37	52.47	158.62	137.76	106.01
140	763.04	152.89	254.01	199.73	161.76
145	710.54	163.49	132.64	25.44	100.32
150	697.38	220.33	246.19	230.00	183.51

ตาราง 4.9d แสดงค่า Modulus ที่ความเร็วรอบ 18.1 ชม/นาที

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
อุณหภูมิลดลง(°C)					
130	655.63	210.55	52.45	152.95	135.17
135	855.00	116.26	304.16	226.67	125.49
140	712.92	88.23	289.38	223.74	212.31
145	344.72	176.93	303.32	28.69	179.17
150	1028.49	209.64	298.54	164.91	179.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.9e แสดงค่า Modulus ที่ความเร็วรอบ 24.2 ชม/นาที

อุณหภูมิที่ใช้ดึง(°C)	25	60	70	80	90
อุณหภูมิลดลง(°C)					
130	723.25	232.74	19.97	140.89	132.20
135	326.44	133.64	229.09	238.43	146.56
140	541.60	121.14	218.49	201.10	173.00
145	670.06	227.57	201.39	80.70	118.48
150	1131.21	224.90	261.50	133.94	137.72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.9f แสดงค่า Yield Strength ที่ความเร็วรอบ 0 ชม/นาที

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
อุณหภูมิลดลง(°C)					
130	30.66	13.93	14.17	8.42	9.68
135	23.68	13.92	11.43	12.44	7.18
140	23.47	15.14	12.21	8.31	8.12
145	17.53	13.22	11.10	9.18	6.32
150	23.21	12.60	10.89	9.05	7.46

ตาราง 4.9g แสดงค่า Yield Strength ที่ความเร็วรอบ 6.55 ชม/นาที

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
อุณหภูมิลดลง(°C)					
130	23.14	16.68	13.62	9.62	6.25
135	22.60	13.29	10.34	10.02	6.74
140	25.69	13.50	9.44	8.22	7.21
145	13.27	13.06	9.42	9.01	5.26
150	21.63	14.31	9.42	8.14	8.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.9h แสดงค่า Yield Strength ที่ความเร็วรอบ 12.1 ชม/นาที

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
อุณหภูมิลดลง(°C)					
130	25.23	11.16	5.74	7.81	9.68
135	17.22	11.63	9.56	6.32	5.13
140	28.10	13.04	11.32	8.44	7.81
145	22.79	9.78	10.76	9.08	7.52
150	21.31	12.25	12.82	8.22	7.60

ตาราง 4.9i แสดงค่า Yield Strength ที่ความเร็วรอบ 18.1 ชม/นาที

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
อุณหภูมิลดลง(°C)					
130	20.80	14.47	1.66	9.35	9.84
135	29.11	11.93	12.85	9.02	7.65
140	24.14	12.77	13.67	9.66	7.25
145	23.45	11.78	11.29	9.61	8.09
150	28.89	10.19	11.90	10.08	6.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.9] แสดงค่า Yield Strength ที่ความเร็วรอบ 24.2 ชม/นาที

อุณหภูมิที่ใช้ดึง(°C)	25	60	70	80	90
อุณหภูมิหลอม(°C)					
130	26.01	12.92	1.37	8.26	8.23
135	28.87	11.85	10.95	8.85	8.29
140	18.76	12.90	12.35	7.81	8.93
145	27.57	12.63	12.14	9.18	8.26
150	34.56	13.69	11.83	9.50	5.75



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.9k แสดงค่า Tensile Strength at Break ที่ความเร็วรอบ 0 ชม/นาที

อุณหภูมิที่ติดตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
อุณหภูมิลดลง(°C)					
130	22.38	8.96	3.79	2.31	1.68
135	16.98	8.11	3.85	4.46	2.24
140	14.98	10.12	5.36	2.83	2.31
145	6.15	5.63	3.82	4.04	2.17
150	18.23	4.32	4.40	6.90	1.19

ตาราง 4.9l แสดงค่า Tensile Strength at Break ที่ความเร็วรอบ 6.55 ชม/นาที

อุณหภูมิที่ติดตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
อุณหภูมิลดลง(°C)					
130	14.54	8.83	6.47	4.41	1.98
135	14.56	9.33	4.51	5.11	2.79
140	20.41	8.60	3.22	3.13	2.34
145	6.06	5.58	3.71	4.19	1.93
150	14.24	7.29	1.94	2.06	3.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.9m แสดงค่า Tensile Strength at Break ที่ความเร็วรอบ 12.1 ชม/นาที

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
อุณหภูมิลดลง(°C)					
130	15.84	7.67	5.15	3.12	3.41
135	10.10	9.01	7.14	3.07	1.69
140	24.83	9.46	4.76	3.35	2.23
145	8.08	3.97	3.78	4.87	3.82
150	11.22	4.97	3.46	2.56	3.44

ตาราง 4.9n แสดงค่า Tensile Strength at Break ที่ความเร็วรอบ 18.1 ชม/นาที

อุณหภูมิที่ใช้ตั้ง(°C)	25	60	70	80	90
อุณหภูมิลดลง(°C)					
130	10.00	9.09	1.80	4.49	4.56
135	23.22	7.49	8.33	3.85	4.27
140	12.79	6.82	7.18	4.38	2.81
145	8.42	3.69	5.97	5.25	4.87
150	22.29	5.36	2.53	4.70	3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.9o แสดงค่า Tensile Strength at Break ที่ความเร็วรอบ 24.2 ชม/นาที

อุณหภูมิที่ใช้ดึง(°C)	25	60	70	80	90
อุณหภูมิลอม(°C)					
130	14.12	5.44	1.95	3.49	3.42
135	15.85	5.17	4.60	4.76	3.18
140	13.39	5.17	4.95	4.30	3.33
145	7.87	4.55	6.33	4.58	4.72
150	18.74	2.69	5.13	2.72	2.94



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Ward, I.M. "Ultra-High Modulus Polyolefins" Polym.Sci. 5(1984) : 139-176.
2. Jarecki, L. and Meier, D.J. "Ultra-High Modulus Polyethylene I Effect of Drawing Temperature" Polym. 20(1979) : 1078-1082.
3. Jarecki, L. and Meier, D.J. "Ultra-High Modulus Polyethylene II Effect of Drawing Temperature on Void Formation and Modulus" J. of Polym. Sci. 17(1979) : 1078-1082.
4. Wu, W. and Black, W.B. "High Strength Polyethylene" Polym. Eng. and Sci. 16(1979) : 1163.
5. Cappaccio, G. and Ward, I.M. "Effect of Molecular Weight on the Morphology and Drawing Behavior of Melt Crystallized Linear Polyethylene" Polym. 69(1975) : 239-243.
6. Capaccio, G. , Crompton, T.A. and Ward, I.M. "The Drawing Behavior of Linear Polyethylene I rate of Drawing as a Function of Polymer Molecular Weight and Initial Thermal Treatment" J. of Polym. Sci. 14(1976) : 1641-1658.
7. Milewski, J.V. and Katz, H.S. "Polyethylene Filament" Macromolecule. 18 : 2246-2252.
8. Hudson, P.B. , Clapp, A.C. and Kness, D. in Joseph's Introductory Textile Science, 6th ed., pp.17-30, 112-116, 1993.
9. Encyclopedia of Polymer Science and Technology Vol.9 , pp. 411-429, 1968.
10. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry Vol. A10 , pp.454-629 , 1992.
11. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry Vol. A21 , pp.488-495 , 1992.
12. ปรึกษา พลเทพ ใน โพลีเมอร์ , หน้า 310-318 , 2535.
13. Cheremisinoff, N.P. in Handbook of Polymer Science No.2 , pp.341-361 , 1989.
14. Kirk, R.E. and Othmer, D.F. in Encyclopedia of Chemical Technology Vol. 10 , pp. 938-949 , 1953.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้