

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาผลของสารก่อนิเวศที่ยีสที่มีต่อลักษณะการตกผลึกและ  
สมบัติเชิงกลของโพลีพรอพิลีนและโพลีพรอพิลีนโคโพลีเมอร์



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาเคมี

รพ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง  
๖๖๖๒๓

ปีการศึกษา ๒๕๓๘

เลขหมู่ ๒๕๓๘

เลขทะเบียน ๒๖๒๑๓

วัน, เดือน, ปี ๑๖ ต.ค. ๒๕๓๘

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **Effect of Nucleating agent on Crystallization and Physical properties of Polypropylene and Polypropylene copolymer**



**Mr. Teerakran Pripruxlux**

**Miss. Wanida Kulasing**

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

**Department of Chemistry**

**Faculty of Science**

**King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

**1995**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาผลของสารก่อนิวเคลียสที่มีต่อลักษณะการตกผลึกและสมบัติเชิงกลของโพลีพรอพิลีนและโพลีพรอพิลีนโคโพลีเมอร์

นักศึกษา นายธีระกรานต์ ไพระพฤษลักษณ์

นางสาววนิดา กุลสิงห์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์

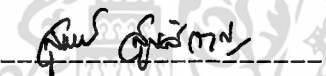
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงการพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ลายเซ็น



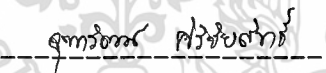
หัวหน้าภาควิชาเคมี

( ผศ.ดร. เมชัชชัย ไชยสิทธิ์ )



ประธานกรรมการ

( ผศ.ดร. สุนิตย์ สุขสำราญ )



กรรมการ

( อ. จุฑารัตน์ ศิริชัยสิทธิ์ )

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อโครงการพิเศษ** การศึกษาผลของสารก่อนิวเคลียสที่มีต่อลักษณะการตกผลึกและสมบัติเชิงกลของโพลีพรอพิลีนและโพลีพรอพิลีนโคโพลีเมอร์

**นักศึกษา** นายธีระภรนต์ ไพรพุกยลลักษณ์

นางสาววนิดา กุลสิงห์

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผศ.ดร. มานินี ชัยศุกกิจสินธ์

**ภาควิชา** เคมี

**ปีการศึกษา** 2538

#### บทคัดย่อ

วิธีการที่นิยมใช้ในการปรับปรุงสมบัติทนแรงกระแทกของโพลีพรอพิลีนในทางอุตสาหกรรม ได้แก่ การนำมาทำโคโพลีเมอร์ กับสารประเภท แอลฟา-โอลิฟิน เช่น เอธิลีน เป็นต้น การปรับปรุงสมบัติทนแรงกระแทกโดยการทำโคโพลีเมอร์กับสารแอลฟา-โอลิฟิน มีข้อเสียทำให้อัตราการตกผลึกลดต่ำลง ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ต้องมีการเติมสารก่อนิวเคลียสที่มีประสิทธิภาพ เพื่อเพิ่มอัตราการตกผลึกให้สูงขึ้น สารก่อนิวเคลียสที่ใช้ในโครงการนี้ได้แก่ โซเดียมเบนโซเอท อะไดพิคแอซิด และ คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส การศึกษาอัตราการตกผลึกใช้ค่า Crystallization rate parameter (CRP) ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวกในการศึกษาอัตราการตกผลึก และใช้กล้องถ่ายภาพแสงโพลาไรซ์ เพื่อตรวจขนาดและรูปร่างของผลึกเพื่อยืนยันผลการทดสอบสำหรับสมบัติเชิงกล มีการทดสอบดังนี้ ได้แก่ ความแข็งแรงดึง เบรชเชนด์การยืด และ ค่ามอดูลัส จากการวิจัยพบว่า สารก่อนิวเคลียสทั้ง 3 ชนิด มีผลให้อัตราการตกผลึกใน โพลีพรอพิลีนโฮโมโพลีเมอร์เพิ่มขึ้น สำหรับโพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลีเมอร์พบว่า คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสไม่มีผลในการเพิ่มอัตราการตกผลึก และในโพลีพรอพิลีนแรนดอมโคโพลีเมอร์ พบว่าสารก่อนิวเคลียสทั้ง 3 ชนิด ไม่มีผลในการเพิ่มอัตราการตกผลึก และในการทดสอบสมบัติเชิงกลผลที่ได้คือ สารก่อนิวเคลียสทั้ง 3 ชนิดมีผลต่อสมบัติเชิงกลของโพลีพรอพิลีนโฮโมโพลีเมอร์ แต่ในโพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลีเมอร์และโพลีพรอพิลีนแรนดอมโคโพลีเมอร์ สารก่อนิวเคลียสทำให้สมบัติเชิงกลด้อยลงในทุกสมบัติที่ทำการทดสอบ

**Special Project Title** Effect of Nucleating agent on Crystallization and Physical properties of Polypropylene and Polypropylene copolymer

**Name** Mr. Teerakran Pripruxlux

Ms. Wanida Kulasing

**Special Project Advisor** Assit.Prof.Dr. Malinee Chaisupakitsin

**Department** Chemistry

**Academic Year** 2538

#### Abstract

In the field of industry one method that is used to improve impact property of Polypropylene is to form copolymer with alfa-olefin such as ethylene; however, it decreased crystallization rate. In order to deal with this problem, the efficient nucleating agent must be used; for example, sodium benzoate, adipic acid and carboxymethylcellulose to increase degree of crystallization. Crystallization rate parameter (CRP) is the easy and convenient method of studying degree of crystallization. In addition, polarized light microscope is used to examine size and figure of crystal to confirm the result. Tensile strength and %extension are two ways to test physical properties. The studies found that the first three nucleating agents resulted in increasing degree of crystallization of polypropylene homopolymer. For Polypropylene block copolymer, the studies found that carboxymethylcellulose had not increased the degree of crystallization. However, for polypropylene random copolymer, all of three nucleating agents did not increase the degree of crystallization.

Furthermore, the studies of physical properties showed that all three nucleating agents had an effect in physical properties when study polypropylene homopolymer. On the other hand, they decreased physical properties in every test area both for polypropylene block copolymer and Poypropylene random copolymer.

### กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จเรียบร้อยได้ ต้องขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ผศ.ดร. มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษ  
ขอขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษที่กรุณาตรวจสอบและแก้ไข โครงการ  
งานพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้อง

นายธีระกรานต์ ไพรพฤกษ์ลักษณ์  
นางสาวนิตา กุลสิงห์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของ โครงการงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบข่ายของโครงการงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการงานวิจัย	4
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 การแบ่งประเภทของโพลีพรอพิลีน	7
2.2 การตกผลึกในโพลีเมอร์	8
2.3 ประเภทและลักษณะสารก่อนิวเคลียส	11
2.4 วิธีการศึกษาอัตราการตกผลึก	13
2.5 อิทธิพลของความเป็นผลึกที่มีต่อสมบัติเชิงกล	19
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	
3.1 วัสดุและเคมีภัณฑ์	21
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย	23
3.3 การดำเนินงาน	23
บทที่ 4 ผลงานวิจัย	
4.1 โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลีเมอร์	28
4.2 โพลีพรอพิลีนแรนดอมโคโพลีเมอร์	36
4.3 โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลีเมอร์	42

<b>บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง</b>	
<b>5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง</b>	<b>50</b>
<b>5.2 ข้อเสนอแนะ</b>	<b>63</b>
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>64</b>
<b>ภาคผนวก ก อินฟारेคสเปคตรา</b>	
<b>ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณ</b>	
<b>ภาคผนวก ค เทอร์โมแกรมจากเครื่องดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์</b>	



## บทที่ 1

### บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมโพลีเมอร์และพลาสติก มีแนวโน้มการเติบโตในทางเศรษฐกิจอย่างสูง ด้วยเหตุนี้ทำให้พลาสติกเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น เป็นผลให้น้อยคนนักที่จะไม่รู้จักพลาสติก สำหรับกลุ่มพลาสติกพื้นฐานที่นำมาใช้งานกันมาก ได้แก่ โพลีเอทิลีน (พีอี) โพลีพรอพิลีน (พีพี) โพลีไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) และโพลีสไตรีน (พีเอส) ในกลุ่มพลาสติกพื้นฐานนี้ โพลีพรอพิลีน จัดเป็นพลาสติกที่น่าสนใจมากที่สุด เนื่องจากโพลีพรอพิลีนมีสมบัติที่สำคัญคือ มีราคาต่ำ เมื่อเทียบกับสมบัติในการใช้งาน ดังนั้นโพลีพรอพิลีนจึงนิยมนำมาใช้งานแพร่หลาย รวมถึงการนำไปใช้ทดแทนพลาสติกประเภทอื่นด้วย

นอกจากเหตุผลข้างต้นแล้ว ยังมีปัจจัยสำคัญอีก 2 ประการ ที่ส่งเสริมให้โพลีพรอพิลีนมีการขยายตัวในการนำไปใช้งานสูงขึ้น ได้แก่

ประการที่หนึ่ง การพัฒนาสมบัติของโพลีพรอพิลีน โดยเฉพาะการค้นพบบล็อกโคพอลิเมอร์ (Block copolymer) เมื่อปี พ.ศ. 2513 ทำให้โพลีพรอพิลีนทนต่ออุณหภูมิต่ำ ๆ ได้ดี ต่อมาในปี พ.ศ. 2523 สามารถผลิตแรนดอมโคโพลิเมอร์ (Random copolymer) ทำให้โพลีพรอพิลีนที่ได้มีลักษณะใส นอกจากนี้ยังปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ เช่น เพิ่มความยืดหยุ่น (Flexibility) เพิ่มความคงรูป (Stiffness) ทำให้โพลีพรอพิลีนมีสมบัติเพียงพอที่จะนำมาใช้งานทดแทนพลาสติกชนิดอื่น ๆ ในอุตสาหกรรมหลายประเภท

ประการที่สอง ทิศทางการเปลี่ยนแปลงในอุตสาหกรรมพลาสติกทั่วโลก ซึ่งมีการแข่งขันของพลาสติกประเภทต่าง ๆ สูง พลาสติกที่ดีต้องมีราคาถูก มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ ในขณะที่เดียวกันต้องไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งโพลีพรอพิลีนก็มีสมบัติในด้านนี้ดีกว่าพลาสติกอีกหลายประเภท

พิจารณาเปรียบเทียบข้อมูล การใช้พลาสติกในยุโรปตะวันตก ในปี พ.ศ. 2536 และ พ.ศ. 2531 พบว่าโพลีพรอพิลีนมีอัตราการเติบโตสูงสุด ดังสรุปในตารางที่ 1

ชนิดของโพลีเมอร์	ยอดขายปี 1988 (1000 ตัน)	ยอดขายปี 1993 (1000 ตัน)	ยอดขายแตกต่าง 1988-93 (1000 ตัน)	อัตราการเติบโตต่อปี (%)
PP	3000	4450	1450	+8.2
PE-HD	2600	3300	700	+4.9
PE-LD and PE-LLD	5130	5500	370	+1.4
PS and PS-I	1670	1750	80	+0.9
PA	350	390	40	+2.2
PA (fibres)	650	650	0	0
SAN, ABS, ASA	600	560	-40	-1.4
PVC	4900	5140	240	+1.0

ผลผลิตมวลรวมภายในประเทศในยุโรปตะวันตกช่วงปี พ.ศ. 2531-2536 มีอัตราการเติบโตเฉลี่ย 1.3% ต่อปี

ตารางที่ 1 ยอดขายพลาสติกประเภทต่าง ๆ ในปี พ.ศ. 2531 และ 2536 ในยุโรปตะวันตก  
 อย่างไรก็ตาม โพลีพรอพิลีน ก็มีสมบัติด้อยประการหนึ่ง ได้แก่ มีสมบัติทนแรงกระแทก  
 (Impact property) ค่อนข้างต่ำ ด้วยเหตุนี้การปรับปรุงสมบัติทนแรงกระแทก (Impact property)  
 ของโพลีพรอพิลีน จึงมีความจำเป็นเพื่อที่จะให้โพลีพรอพิลีน ขยายขีดความสามารถในการนำไป  
 ใช้งาน วิธีการที่นิยมใช้ในการปรับปรุงสมบัติทนแรงกระแทก (Impact property) ของ  
 โพลีพรอพิลีน ได้แก่ การนำมาทำเป็นโพลีเมอร์ร่วม (Copolymer) กับสารแอลฟา-โอลีฟินส์ เช่น  
 เอธิลีน เป็นต้น โพลีเมอร์ร่วมของโพลีพรอพิลีน ทำอยู่ในรูปของโพลีเมอร์ร่วมแบบบล็อก  
 (Block copolymer) และโพลีเมอร์ร่วมแบบอิสระ (Random copolymer) วิธีการนี้ช่วยเพิ่มสมบัติทน  
 แรงกระแทก (Impact property) ให้ดีขึ้น แต่ก็มีผลเสียเกิดขึ้นตามมา ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โพลีเมอร์ร่วมที่ได้มีอัตราการตกผลึกลดลง เนื่องจากสารแอลฟา-โอเลฟินส์ ( $\alpha$ -olefin) ที่เติมเข้าไปจะรบกวนความเป็นระเบียบของโซ่โมเลกุลหลักของโพลีพรอพิลีน ทำให้โอกาสที่โซ่โมเลกุลหลักจะมาจัดเรียงตัวเป็นผลึกเกิดได้ยากขึ้น อัตราการตกผลึกจึงลดลง
2. สมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะการตกผลึก
3. เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป (Cycle time) นานขึ้น เนื่องจากอัตราการตกผลึกลดลงส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการแข็งตัวนานขึ้น ตัวอย่างเช่น กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection moulding) ถ้าโพลีเมอร์มีอัตราการตกผลึกต่ำเวลาที่ใช้ในการถอดจากแม่แบบจะนานขึ้น

จากปัญหาดังกล่าวสามารถปรับปรุงให้โพลีเมอร์ร่วม (Copolymer) มีการตกผลึกที่ดีขึ้น โดยการใช้สารที่เรียกว่า “สารก่อนิวเคลียส (Nucleating agent)” ดังนั้นในโครงการพิเศษครั้งนี้จะทำการศึกษานิวเคลียสของสารก่อนิวเคลียส (Nucleating agent) ที่มีผลต่อลักษณะของผลึก อัตราการตกผลึก และสมบัติเชิงกล ของโพลีพรอพิลีนโฮโมโพลีเมอร์ (Polypropylene homopolymer) และโพลีพรอพิลีนโคโพลีเมอร์ (Polypropylene copolymer) สำหรับการศึกษาอัตราการตกผลึกใช้วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของอัตราการตกผลึก (Crystallization rate parameter) โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานจากเครื่องดีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) และตรวจสอบลักษณะของผลึกโดยใช้กล้องโพลาไรซ์ (Polarized light microscope) ส่วนการทดสอบสมบัติเชิงกลจะใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile tester) เป็นหลัก

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารก่อนิวเคลียส (Nucleating agent) แต่ละชนิดที่มีต่ออัตราการตกผลึก ลักษณะการตกผลึกและสมบัติเชิงกล ของโพลีพรอพิลีนโฮโมโพลีเมอร์ (Polypropylene homopolymer) และ โพลีพรอพิลีนโคโพลีเมอร์ (Polypropylene copolymer)

## 1.3 ขอบข่ายของโครงการวิจัย

- ก. ศึกษาและเปรียบเทียบชนิดของสารก่อนิวเคลียสที่มีอิทธิพลต่อโพลีพรอพิลีนและโพลีพรอพิลีนโคโพลีเมอร์
- ข. ศึกษาการหาอัตราการตกผลึกโดยใช้วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของอัตราการตกผลึก (Crystallization rate parameter, CRP) ซึ่งเป็นผลจากการใช้สารก่อนิวเคลียสแต่ละชนิด ในโพลีพรอพิลีน
- ค. ศึกษาลักษณะและขนาดของผลึกที่เกิดขึ้น เมื่อใช้สารก่อนิวเคลียสต่างชนิดกัน โดยใช้กล้องถ่ายภาพโพลาไรซ์ (Polarized light microscope)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. ศึกษาผลของสารก่อนิวเคลียสแต่ละชนิด ที่มีต่อสมบัติเชิงกล ของโพลีพรอพิลีน

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ก. ทราบถึงประสิทธิภาพของสารก่อนิวเคลียสแต่ละชนิดที่มีต่อลักษณะและอัตราการตกผลึก รวมถึงสมบัติเชิงกล

ข. ใช้เป็นข้อมูลในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นผลึกและสมบัติเชิงกล

ค. ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงอัตราการตกผลึกและสมบัติเชิงกลของโพลีพรอพิลีน โฮโมโพลีเมอร์ และโพลีพรอพิลีน โคโพลีเมอร์

#### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ก. ค้นคว้าเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัย

ข. วางแผนและเลือกแนวทางในการวิจัย

ค. ทำการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการ

ง. เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการ

จ. สรุปและวิจารณ์ผลที่ได้จากการทดลอง

ฉ. เขียนรายงานและเสนอผลงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

โพลิเมอร์มีการนำมาใช้งานเป็นเวลานานนับเป็นศตวรรษ ซึ่งโพลิเมอร์เหล่านั้นมักจะเป็นสารโพลิเมอร์ธรรมชาติ (natural polymer) เช่น ไม้ (Wood) , ยาง (Rubber) , ฝ้าย (Cotton) , ไหม (Silk) เป็นต้น แต่ในอดีตนั้น โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมียังไม่เป็นที่ทราบชัดเจน จนกระทั่งประมาณปี พ.ศ. 2423 จึงเริ่มมีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของโพลิเมอร์ธรรมชาติ และมีการสังเคราะห์อนุพันธ์ของเซลลูโลส ได้แก่ เซลลูโลสไนเตรต (Cellulose nitrate) จากจุดนี้นับเป็นการเริ่มศึกษาในเชิงวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับโพลิเมอร์อย่างแท้จริง ปัจจุบันนี้มีสารโพลิเมอร์มากมายทั้งที่ได้จากธรรมชาติและการสังเคราะห์ รวมถึงการปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของสารโพลิเมอร์ เพื่อขยายขีดความสามารถในการนำไปใช้งาน สำหรับการค้นพบโพลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ (2) สามารถสรุปดังตาราง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Some commercial polymers and approximate year of introduction

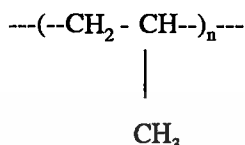
Date	Material	Typical applications
1868	Cellulose nitrate	Mirror frames
1909	Phenol-formaldehyde	Electrical insulators
1926	Alkyds	Electrical insulators
1927	Cellulose acetate	Packaging films
1927	Polyvinyl chloride	Flooring
1929	Urea-formaldehyde	Electrical switches and parts
1935	Ethyl cellulose	Moldings
1936	Polymethyl methacrylate	Display signs
1936	Polyvinyl acetate	Adhesives
1938	Cellulose acetate Butyrate	Sheets
1938	Polystyrene	Kitchenware, toys
1938	Polyamides (nylons)	Fibers, films
1939	Melamine-formaldehyde	Tableware
1939	Polyvinylidene chloride	Films, paper coatings
1942	Polyesters (cross-linkable)	Boat hulls
1942	Polyethylene (low density)	Squeeze bottles, films
1943	Silicone	Rubber goods
1943	Fluoropolymers	Industrial gaskets, slip coatings
1943	Polyurethane	Foam goods
1947	Epoxyes	Molds
1948	Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer	Radio cabinets, luggage
1955	Linear high-density polyethylene	Detergent bottles
1956	Acetal resin	Auto parts
1957	Polypropylene	Carpet fiber, moldings
1957	Polycarbonate	Appliance parts
1962	Phenoxy resin	Adhesives, coatings
1964	Ionomer resins	Moldings
1964	Polyphenylene oxide	High-temperature moldings
1965	Polyimides	High-temperature films and wire coatings
1965	Polybutene	Films
1965	Polysulfone	High-temperature thermoplastic
1965	Poly(4-methyl-1-pentene)	Clear moldings
1968	Phenylene ether sulfone	High-temperature films and moldings
1970	Ethylene-tetrafluoroethylene copolymer	Wire insulation
1970	Ethylene-chlorotrifluoroethylene copolymer	Wire insulation
1970	Moldable elastomers	Molded rubber goods
1971	Hydrogels (hydroxy acrylates)	Contact lenses
1972	Acrylonitrile copolymers	Soft drink bottles
1972	Moldable polyesters	Engineering thermoplastic
1974	Aromatic polyamides	High-strength tire cord

## ตารางที่ 2 แสดงการค้นพบโพลิเมอร์บางชนิดและการนำไปประยุกต์ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1 ประเภทของโพลีพรอพิลีน

โพลีพรอพิลีน ถูกค้นพบประมาณ 40 ปีมาแล้ว ซึ่งโครงสร้างทางเคมีโดยทั่วไปของโพลีพรอพิลีน จะมีหมู่เมทิล (Methyl group) เกาะบนโซ่โมเลกุลหลัก (Main chain) โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของโพลีพรอพิลีน

จากลักษณะการเกาะของหมู่เมทิล (Methyl group) บนโซ่โมเลกุลหลัก (Main chain) สามารถแบ่งโพลีพรอพิลีนเป็น 3 ประเภท ได้แก่

ก. ไอโซแทคติกโพลีพรอพิลีน (Isotactic propylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิล (Methyl group) ด้านเดียวกันบนโซ่โมเลกุลหลัก ลักษณะเช่นนี้โครงสร้างมีความเป็นระเบียบสูง ส่งผลให้มีการตกผลึกดีที่สุด สำหรับโครงสร้างของไอโซแทคติกโพลีพรอพิลีน แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของไอโซแทคติกโพลีพรอพิลีน

ข.ซินไดโอแทคติกโพลีพรอพิลีน (Syndiotactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิล (Methyl group) สลับกันบนโซ่โพลิเมอร์หลักอย่างเป็นระเบียบ ลักษณะเช่นนี้ทำให้โครงสร้างมีความเป็นระเบียบลดลง ส่งผลให้การตกผลึกลดลงด้วย สำหรับโครงสร้างของซินไดโอแทคติกโพลีพรอพิลีนแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของซินไดโอแทคติกโพลิพรอพิลีน

ค. อะแทคติกโพลิพรอพิลีน (Atactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิล (Methyl group) เกาะบนโซ่โพลิเมอร์หลักอย่างไม่เป็นระเบียบ ลักษณะเช่นนี้ทำให้มีการตกผลึกน้อยที่สุด สำหรับโครงสร้างของอะแทคติกโพลิพรอพิลีนแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงสร้างของอะแทคติกโพลิพรอพิลีน

## 2.2 การตกผลึกในโพลิเมอร์

การตกผลึก (Crystallization) ในโพลิเมอร์เป็นกระบวนการการจัดตัวของโครงสร้างส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ (Disordered phase) ซึ่งส่วนที่ไม่เป็นระเบียบโดยปกติจะอยู่ในรูปภาวะที่หลอมเหลว (Melt) หรือ สารละลายเจือจาง (Dilute solution) ให้เป็นโครงสร้างที่เป็นระเบียบ ขั้นตอนการตกผลึกในโพลิเมอร์โดยทั่ว ๆ ไปมี 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ (3,4) ได้แก่

2.2.1 การเกิดนิวเคลียส (Nucleation) ขั้นตอนนี้เกิดเนื่องจากอุณหภูมิของโพลิเมอร์หลอมเหลว (Polymer melt) ลดต่ำกว่าอุณหภูมิการหลอมเหลว (Melting temperature,  $T_m$ ) จะเกิดแนวโน้มที่ทำให้โมเลกุลที่พันกันอิสระ (Random tangled molecules) ในโพลิเมอร์หลอมเหลวเริ่มจะมาจัดตัวเป็นบริเวณที่มีความเป็นระเบียบเล็ก ๆ ขึ้น ซึ่งเรียกว่า “ นิวคลีอ (Nuclei) ” สำหรับการเกิดนิวเคลียสสามารถแบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่

2.2.ก การเกิดนิวเคลียสจากโซโมเลกุลของตัวเอง (Homogeneous Nucleation) เกิดจากการที่โซโมเลกุลมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา จนกระทั่งโซโมเลกุลเข้ามาใกล้กันระยะหนึ่ง จะเกิดแรงดึงดูดกันเกิดเป็นนิวเคลียสพร้อมกับคายพลังงานออกมา

2.2.ข การเกิดนิวเคลียสโดยอาศัยสารภายนอก (Heterogeneous Nucleation) พบมากในโพลิเมอร์ทั่วไป ขั้นตอนการเกิดนิวเคลียสจะใช้สารแปลกปลอม เช่น สารก่อนิวเคลียส (Nucleating agent) สารปนเปื้อน (Impurity) เป็นต้น ทำหน้าที่เป็นนิวเคลียสให้โซโพลิเมอร์มายึดเกาะ การเกิดนิวเคลียสแบบนี้เกิดได้ง่ายกว่า เนื่องจากการใช้ซูเปอร์คูลิ่งที่ลดน้อยลง

\*หมายเหตุ\* ซูเปอร์คูลิ่ง หมายถึง (5) ช่วงการให้ความเย็น (cooling) ของโพลิเมอร์หลอมเหลวให้ต่ำกว่าจุดหลอมเหลว โดยปราศจากการเกิดผลึก บางครั้งก็จะเรียกว่า “อันเดอร์คูลิ่ง (Undercooling)” ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างจุดหลอมเหลว (Melting point) กับอุณหภูมิในการตกผลึก (Crystallization temperature)

2.2.2 การเติบโต (Growth) ชั้นนี้ นิวเคลียส (Nuclei) จะมีการขยายตัวเนื่องจากการรวมตัวของโซโมเลกุล ซึ่งการขยายตัวจะทำใน 1, 2, 3 มิติก็ได้ ผลึกสามารถเกิดในรูป rods, disc หรือ sphere การขยายตัวเนื่องจากการรวมกันของโซโมเลกุลขนาดใหญ่ (Macromolecular chain) มาจัดเรียงตัวในผลึกซึ่งเรียกว่า ลามลลา (Lamellar) จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงรัศมีของสเฟียรูไลต์ (Spherulite) สัมพันธ์กับเวลาในเชิงเส้นตรง (Linear dimension) ดังสมการ

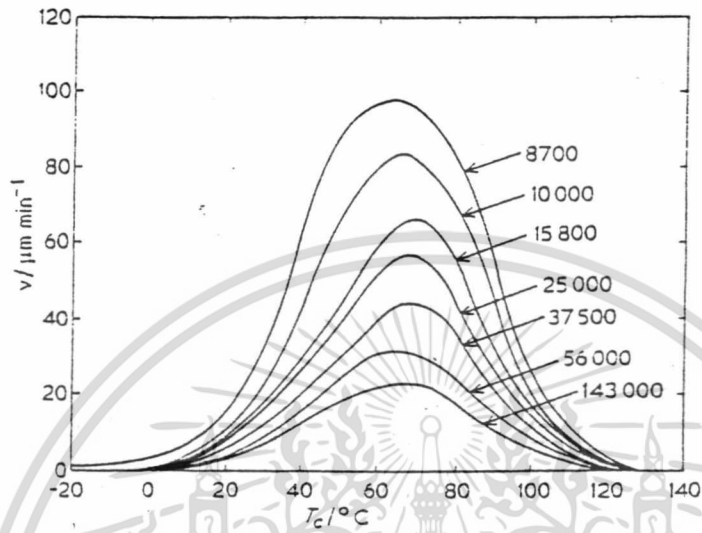
$$R = Vt$$

เมื่อ V เป็นอัตราการเติบโต (Growth rate)

R เป็นรัศมีของสเฟียรูไลต์ (Spherulite)

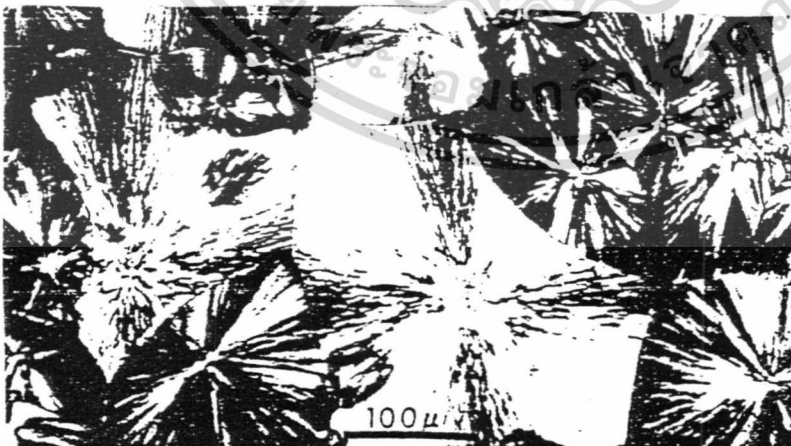
t เป็นเวลา

สำหรับอัตราการเติบโต ขึ้นกับอุณหภูมิในการตกผลึก (crystallization temperature,  $T_c$ ) พบว่าอัตราการเติบโตจะมีค่าต่ำเมื่ออุณหภูมิการตกผลึก ใกล้เคียงกับอุณหภูมิการหลอม ( $T_m$ ) ของโพลิเมอร์นั้น เมื่อซูเปอร์คูลิ่ง (Supercooling) สูงขึ้น อัตราการเติบโตจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงค่าสูงสุด จากนั้นก็ลดลงมาอีกครั้ง ทั้ง ๆ ที่อุณหภูมิการตกผลึก ห่างจากอุณหภูมิการหลอมเหลว มากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ความหนืดเพิ่มมากขึ้น ทำให้การเคลื่อนที่ของโซโมเลกุลที่จะมารวมตัวให้เกิดการขยายตัวของผลึกลดน้อยลง จึงส่งผลให้อัตราการเติบโตลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของอัตราการเติบโตของผลึกกับอุณหภูมิการตกผลึก ( $T_c$ ) ของ poly (tetramethyl-p-phenylene)

สำหรับการเกิดผลึกแบบสเฟียรูไลต์ (Spherulite) ของโพลีพรอพิลีน จะมีลักษณะดังแสดง  
ในรูปที่ 6



รูปที่ 6 สเฟียรูไลต์ของไอโซแทคติกโพลีพรอพิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบสเฟียรูไลต์ของโพลีพรอพิลีน โดยใช้ เอ็กซ์-เรย์ ดิฟแฟรคชัน (X-ray diffraction) พบว่าในผลึกนั้นประกอบด้วย 2 ยูนิตเซล (Unit cell) ได้แก่ ยูนิตเซลแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal Unit cell) และยูนิตเซลแบบโมโนคลีนิก (Monoclinic Unit Cell) ซึ่งพบว่าสเฟียรูไลต์ที่สว่าง (Brighter spherulite) เป็นยูนิตเซลแบบเฮกซะโกนอล ส่วนสเฟียรูไลต์ที่มืด (Darker spherulite) มักจะเป็นยูนิตเซลแบบโมโนคลีนิก

### 2.3 ประเภทและลักษณะสารก่อนิวเคลียส

สารก่อนิวเคลียส นิยามได้ดังนี้(5) “สารก่อนิวเคลียสเป็นสารเติมแต่งชนิดหนึ่งที่เติมลงไปเพื่อทำให้เกิดนิวเคลียสในการตกผลึกแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous nucleation) สารประเภทนี้เพิ่มอัตราการตกผลึกให้สูงขึ้น ส่งผลให้ สเฟียรูไลต์ (Spherulite) มีขนาดเล็กลงแต่มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยทั่ว ๆ ไป โพลีเมอร์จะเกิดการตกผลึก จากสภาวะการหลอมโดยมีหลักเกณฑ์ (6) ดังนี้

2.3.1 ต้องมีโครงสร้างโมเลกุลเอื้ออำนวยในการก่อให้เกิดบริเวณผลึก ถ้าโซ่โมเลกุลหลักมีการเคลื่อนที่ไม่เพียงพอ มีหมู่ข้างเคียง (Side group) ขนาดใหญ่ หรือมีกิ่งสาขามาก (Branching) เป็นการขัดขวางการตกผลึก

2.3.2 อุณหภูมิการตกผลึกต้องต่ำกว่าจุดหลอมเหลว แต่ต้องไม่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิการไหลตัวคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) เพราะช่วงนี้โซ่โมเลกุลมีการเคลื่อนที่เพียงพอสำหรับการก่อให้เกิดผลึก

2.3.3 การตกผลึกจะต้องเริ่มจากการเกิดนิวเคลียส เพื่อทำให้เกิดบริเวณที่เป็นระเบียบ แล้วจึงให้ขยายตัวเป็น สเฟียรูไลต์

สารก่อนิวเคลียสโดยทั่ว ๆ ไปจะต้องมีสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- ก. สารก่อนิวเคลียส จะต้องถูกดูดซับเข้าไปในเนื้อโพลีเมอร์ได้
- ข. สารก่อนิวเคลียส ต้องไม่ละลายในโพลีเมอร์
- ค. สารก่อนิวเคลียส ต้องมีจุดหลอมเหลว สูงกว่าโพลีเมอร์ที่นำมาผสม
- ง. สารก่อนิวเคลียส ต้องมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในโพลีเมอร์หลอมเหลว

อย่างไรก็ตามสารก่อนิวเคลียสที่มีประโยชน์ต่อโพลีเมอร์ ประเภทโพลีโอเลฟินจะเป็นสารประเภท organocarboxylic acid salt หรือสารที่มีโครงสร้างที่เรียกว่า “Alternative layer” (7) ซึ่งโครงสร้างทางเคมีประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 เป็นกลุ่มสารที่มีขั้ว (Polar group) ทำหน้าที่เพิ่มแรงดึงดูดของผลึกเกลือ ทำให้สารก่อนิวเคลียสไม่ละลายในโพลีเมอร์หลอมเหลว

ส่วนที่ 2 เป็นกลุ่มสารที่ไม่มีขั้ว (Nonpolar group) ทำหน้าที่เป็นส่วนที่ละลายในโพลิเมอร์ หลอมเหลว โดยส่วนใหญ่สารกลุ่มนี้มักเป็นสารทางอินทรีย์ (Organic substance)

สารก่อนิวเคลียสสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่

1. สารเติมแต่งอนินทรีย์ (Inorganic additive) เช่น คินสอพอง (Talc) , ซิลิกา (Silica) เป็นต้น
2. สารประกอบทางอินทรีย์ เช่น เกลือของโมโน หรือ โพลี ของกรดคาร์บอกซิลิก (mono ,poly carboxylic acid) รวมถึงสี (Pigment) ด้วย
3. สารโพลิเมอร์ (Polymer) เช่น เอธิลีน / อะคริลิก เอสเทอร์ โคโพลิเมอร์ เป็นต้น

ตัวอย่างประสิทธิภาพของสารก่อนิวเคลียสชนิดต่าง ๆ (8) แสดงดังตารางที่ 3

Relative effectiveness		
Good	Intermediate	Poor
Aluminum dibenzoate	Sodium succinate	Alums
Potassium benzoate	Sodium glutarate	Silica
Sodium $\beta$ -naphthoate	Sodium caproate	TiO <sub>2</sub>
Lithium benzoate	Sodium 4-methylvalerate	CaO, MgO
Sodium cyclohexanecarboxylate	Aluminum phenylacetate	Carbon black
Sodium cycloheptanecarboxylate	Sodium cinnamate	Clays

ตารางที่ 3 ตัวอย่างสารก่อนิวเคลียสชนิดต่าง ๆ

สำหรับสารก่อนิวเคลียสที่นิยมนำมาใช้กับโพลิพรอพิลีน (PP) แบ่งเป็นกลุ่มดังนี้

1. สารเติมแต่งอนินทรีย์ (Inorganic additive) เช่น คินสอพอง (Talc) , ซิลิกา (Silica) , คาร์บอนแบล็ค (Carbon black) , ดินขาว (Kaolin) เป็นต้น สารกลุ่มนี้เป็นสารก่อนิวเคลียสที่มีประสิทธิภาพไม่ดี (Poor nucleating effect)

2. เกลือของอะลิฟาติก โมโน - หรือ ได- เบสิกแอซิด (Salts of aliphatic mono-or di-basic acid, หรือ เอริลอัลคิลแอซิด (arylakyl acid) เช่น โซเดียมซัคซิเนต (sodium succinate) โซเดียมกลูตาเรต (Sodium glutarate) โซเดียมคาโปรเอท (Sodium caproate) โซเดียม 4-เมทิลวาเลอเอท (Sodium 4-methylvalerate) อะลูมิเนียมฟีนิลอะซิเตท (Aluminum phenyl acetate) โซเดียมซินนามเอท (Sodium cinnamate) เป็นต้น สารกลุ่มนี้เป็นสารก่อนิวเคลียสที่มีประสิทธิภาพปานกลาง (medium nucleating effect)

3. เกลืออัลคาไลน์หรืออะลูมิเนียมของอะโรมาติก หรือ อะลิไซคลิกคาร์บอกซิลิกแอซิด (Alkali or aluminum salts of aromatic or alicyclic carboxylic acid) เช่น อะลูมิเนียมเบนโซเอท (aluminum benzoate) โซเดียมเบนโซเอท (sodium benzoate) โพแทสเซียมเบนโซเอท (potassium

benzoate) โซเดียม เบต้า-แนฟโทเอท (sodium  $\beta$ -naphthoate) เป็นต้น สารกลุ่มนี้เป็นสารก่อนิวเคลียสที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ PP

## 2.4 วิธีการศึกษาอัตราการตกผลึก

2.4.1 วิธีการศึกษาอัตราการตกผลึกในสภาวะที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal crystallization) เป็นการศึกษอัตราการตกผลึกในระยะเริ่มแรกของการศึกษาอัตราการตกผลึก โดยใช้สมการของอาฟรามิ (Avrami's equation) ดังนี้

$$\frac{W_L}{W_0} = \exp(-Kt^n)$$

เมื่อ  $W_0$  เป็น น้ำหนักของโพลีเมอร์หลอมเหลวที่เวลาเริ่มต้น  $t = 0$

$W_L$  เป็นน้ำหนักของส่วนที่เป็นโพลีเมอร์หลอมเหลวที่เหลืออยู่ ณ. เวลา  $t$  หลังจากเริ่มตกผลึก

$K$  เป็นค่าคงที่ของ Avrami

$n$  เป็น Avrami exponent ใช้บ่งบอกชนิดของผลึก

2.4.2 วิธีการศึกษาอัตราการตกผลึกในสภาวะอุณหภูมิไม่คงที่ (Non-isothermal crystallization)

ในกระบวนการผลิตทั่ว ๆ ไป เช่น extrusion , injection moulding และ การผลิตฟิล์ม ลักษณะการตกผลึกเป็นแบบสภาวะอุณหภูมิไม่คงที่ ดังนั้นการศึกษากการตกผลึก จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี

การศึกษอัตราการตกผลึกแบบอุณหภูมิไม่คงที่ (Non-isothermal crystallization) ได้มีการศึกษาหลายวิธี ตัวอย่างเช่น

ก. จลนศาสตร์ของการตกผลึกแบบอุณหภูมิไม่คงที่ (Non-isothermal crystallization kinetics)

ข. จลนศาสตร์มหภาคของการตกผลึกในโพลีเมอร์ (Macrokinetic of Polymer crystallization)

ค. พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ของอัตราการตกผลึก (Crystallization rate coefficient parameter , CRC)

ง. พารามิเตอร์ของอัตราการตกผลึก (Crystallization rate parameter , CRP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำโครงการพิเศษนี้ใช้พารามิเตอร์ของอัตราการตกผลึก (Crystallization rate parameter, CRP) เป็นวิธีการศึกษาอัตราการตกผลึกของโพลิเมอร์ที่นำมาทดสอบ สำหรับรายละเอียดของการศึกษาอัตราการตกผลึกแต่ละวิธีเป็นดังนี้

ก. จลนศาสตร์ของการตกผลึกแบบอุณหภูมิไม่คงที่ (Non-isothermal Crystallization kinetics)

วิธีการนี้เป็นการหาสมการบนพื้นฐานทฤษฎีของโทบิน (Tobin's theory) เกี่ยวกับจลนศาสตร์การเปลี่ยนเฟส (phase transition kinetic) ที่มาของสมการมีดังนี้ (9)

Heterogeneous nucleation and growth

$$\alpha(t)/1-\alpha(t) = kNt^n \quad \text{----- (1)}$$

Homogeneous nucleation and growth

$$\alpha(t)/1-\alpha(t) = kI^{\circ} \int_0^t \frac{1}{(t-w)^n} [1-\alpha(w)] dw \quad \text{----- (2)}$$

เมื่อ  $\alpha(t)$  เป็น relative crystallinity ที่เวลา  $t$

$k$  เป็น nucleation and growth parameter

$n$  เป็น integer ขึ้นกับค่า nucleation mechanism และรูปร่างของ nucleation growth

$N$  เป็น initial number of heterogeneous nuclei

$I^{\circ}$  เป็น rate of homogeneous nucleation

ในการเกิดผลึกจะเกิดการแบ่งชั้นระหว่าง homogeneous nucleation และ heterogeneous nucleation ดังนั้นจะได้สมการรวม

$$\alpha(t)/1-\alpha(t) = kNt^n + kI^{\circ} \int_0^t \frac{1}{(t-w)^n} [1-\alpha(w)] dw \quad \text{----- (3)}$$

จากสมการที่ 3 มีความยุ่งยากในการคำนวณ จึงกำหนดรูปแบบสมการขึ้นมาใหม่ ดังนี้

$$\alpha(t) = \alpha_1(t) + \alpha_2(t) \quad \text{----- (4)}$$

เมื่อ  $\alpha(t)$  เป็น อัตราการตกผลึกรวมที่เวลา  $t$

$\alpha_1(t)$  เป็น อัตราการตกผลึกของ growth process ที่เกิดจาก Heterogeneous nucleation มีค่าเท่ากับ  $kNt^{n-1} [1-\alpha(t)]^2$  ----- (5)

$\alpha_2(t)$  เป็น อัตราการตกผลึกของ growth process ที่เกิดจาก Homogeneous nucleation มีค่าเท่ากับ  $kI^{\circ} [1-\alpha(t)]^2 \int_0^t \frac{1}{(t-w)^{n-1}} [1-\alpha(w)] dw$  ----- (6)

การศึกษาพบว่า crystal growth เกิดผ่านสเฟียรูไลท์ ใน 3 ทิศทาง ดังนั้นสมการที่ 3 จะกำหนดค่าพารามิเตอร์  $n = 3$  จะได้ว่า

$$k = 4/3\pi V^3$$

โดยที่  $V$  = radial growth rate of the spherulite

$$= V_0 \exp(-Ed/RT) \exp[-\Psi_1 T_m^0 / T(T_m^0 - T)] \quad \text{----- (8)}$$

เมื่อ  $V_0$  เป็น universal constant for semicrystalline polymer.

$T_m^0$  เป็น equilibrium melting temperature.

$Ed$  เป็น activation energy of diffusion of crystallizing segment across the phase boundary.

$\Psi_1$  เป็น Constant relate to the free energy of formation of a critical nucleus.

แทนสมการ 7 , 8 ลงในสมการที่ 5 จะได้ว่า

$$\alpha_1(t) = k_1 \exp(-3Ed/RT) \exp[-3\Psi_1 T_m^0 / T(T_m^0 - T)] t^2 [1-\alpha(t)]^2 \quad \text{----- (9)}$$

แทนสมการ 7 , 8 ลงในสมการ 6 และกำหนดค่า  $I^0 = I_0 \exp(-Ed/RT) \exp[-\Psi_2 T_m^0 / T(T_m^0 - T)]$  จะได้ว่า

$$\alpha_2(t) = k_2 \exp(-4Ed/RT) \exp[-(3\Psi_1 - \Psi_2) T_m^0 / T(T_m^0 - T)] t^2 [1-\alpha(t)]^2 \int_0^t \frac{1}{(t-w)^2} [1-\alpha(w)] dw \quad \text{----- (10)}$$

นำสมการที่ 9 และ 10 แทนลงในสมการที่ 4 จะได้สมการสุดท้ายสำหรับวิธีการนี้คือ

$$\begin{aligned} \alpha(t) &= \alpha_1(t) + \alpha_2(t) \\ &= k_1 \exp(-3Ed/RT) \exp[-3\Psi_1 T_m^0 / T(T_m^0 - T)] t^2 [1-\alpha(t)]^2 + k_2 \exp(-4Ed/RT) \\ &\exp[-(3\Psi_1 - \Psi_2) T_m^0 / T(T_m^0 - T)] t^2 [1-\alpha(t)]^2 \int_0^t \frac{1}{(t-w)^2} [1-\alpha(w)] dw \end{aligned}$$

ข. จลนศาสตร์มหภาคของการตกผลึกในโพลิเมอร์ (Macrokinetic of polymer crystallization)

วิธีการนี้เป็นการหารูปแบบสมการ โดย A.Y. Malkin (10) ซึ่งสมการเขียนในรูปดิฟเฟอเรนเชียล ดังนี้

$$\alpha^0 = \alpha^0(T, \alpha) \quad \text{----- (1)}$$

เมื่อ  $\alpha^0$  เป็น อัตราการตกผลึก

$\alpha$  เป็น องศาความเป็นผลึก (degree of crystallinity)

จากการเกิดผลึกในโพลิเมอร์หลอมเหลว มีขั้นตอนการเกิด

1. การเกิดนิวเคลียส
2. ขั้นการเติบโตของผลึก

จากสมการที่ 1 สามารถเขียนได้ใหม่ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha^0(T, \alpha) = \alpha^0_1(T, \alpha) + \alpha^0_2(T, \alpha) \quad \text{----- (2)}$$

เมื่อ  $\alpha^0_1$  เป็น rate of variation of degree of crystallinity due to the appearance of primary nuclei.

$\alpha^0_2$  เป็น rate of variation of the degree of crystallinity due to the crystal growth.

จากสมการที่ 2 จะนิยามความสัมพันธ์ดังนี้

$$\begin{aligned} \alpha^0_1(T, \alpha) &= f_1(T)f_2(\alpha) \\ \alpha^0_2(T, \alpha) &= f_3(T)f_4(\alpha) \end{aligned} \quad \text{----- (3)}$$

ค่า  $\alpha^0_1$  สามารถหาได้โดยพารามิเตอร์สำคัญ ได้แก่

1. The rate of formation of primary nuclei , I(T) ซึ่ง

$$I(T) = I_0 \exp.[(-E/RT) - \Psi_1(Tm^0)^m / T(Tm^0 - T)] \quad \text{----- (4)}$$

เมื่อ I เป็นจำนวนนิวเคลียสที่เกิดต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยปริมาตร

$I_0$ ,  $\Psi_1$  และ m เป็นค่าคงที่

E เป็น activation energy of transfer of assegment through the nucleus-melt interface.

R เป็น gas constant.

$Tm^0$  เป็น equilibrium melting temperature.

การอธิบายจลนศาสตร์ของการเกิดนิวเคลียส อธิบายในปฏิกิริยาเคมีอันดับหนึ่ง (first order chemical reaction) และยังขึ้นกับองศาความเป็นผลึก (degree of crystallinity) ดังนั้นจึงนิยาม

$$f_2(\alpha) = \alpha_{eq} - \alpha \quad \text{----- (5)}$$

เมื่อ  $\alpha$  เป็นองศาความเป็นผลึก (degree of crystallinity)

$\alpha_{eq}$  เป็น equilibrium degree of crystallinity which depend on the temperature and molecular mass.

2. The volume of the critical equilibrium nucleus ,  $V_0(I)$

ที่ช่วง degree of supercooling ประมาณ 50 องศาเซลเซียส คือ  $V_0(I)$  เป็นค่าคงที่ ดังนั้นสามารถนิยามฟังก์ชัน  $\alpha^0_1(T, \alpha)$  ดังนี้

$$\alpha^0_1(T, \alpha) = k_1 \exp.[(-E/RT) - \Psi_1(Tm^0)^m / T(Tm^0 - T)^m](\alpha_{eq} - \alpha) \quad \text{----- (6)}$$

ในขั้นที่ 2 เป็นการเติบโต (growth) ที่เกิดจากขั้นการเกิดนิวเคลียส จะได้สมการทั่วไปดังนี้

$$G(T) = G_0 \exp.[(-E/RT) - \Psi_2(Tm^0)^1 / T(Tm^0 - T)^1] \quad \text{----- (7)}$$

เมื่อ  $G_0$ ,  $\Psi_2$  และ 1 เป็นค่าคงที่

การอธิบายอัตราการเติบโตของผลึก (rate of crystal growth) ขึ้นกับองศาความเป็นผลึก (degree of crystallinity) และเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง จึงนิยามเช่นเดียวกับสมการที่ 5 จะได้

$$f_4(\alpha) = \alpha_{eq} - \alpha \quad \text{--- (8)}$$

จากสมการที่ 2 จะเขียนใหม่ได้ ดังนี้

$$\alpha_2^0(T, \alpha) = k_2' \exp.[-(E/RT) - \Psi_1(Tm^0)^m / T(Tm^0 - T)^m] S(\alpha)(\alpha_{eq} - \alpha) \quad \text{--- (9)}$$

เมื่อ  $k_2'$  เป็นค่าคงที่

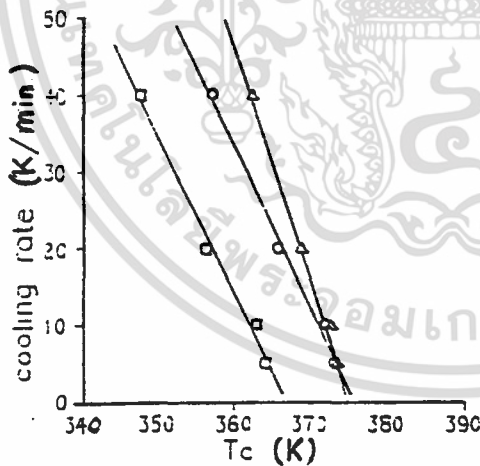
$S(\alpha)$  เป็น total surface area over which crystal formation occur.

แทนค่า  $\alpha_1^0$  และ  $\alpha_2^0$  ลงในสมการที่ 2 เพื่อหาค่า  $\alpha^0$  จะได้

$$d\alpha/dt = \{ [k_1 \exp.[-(E/RT) - \Psi_1(Tm^0)^m / T(Tm^0 - T)^m] + [k_2' \exp.[-(E/RT) - \Psi_1(Tm^0)^m / T(Tm^0 - T)^m] S(\alpha)] (\alpha_{eq} - \alpha) \} \quad \text{--- (10)}$$

ก. พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ของอัตราการตกผลึก (CRC)

วิธีการนี้พัฒนาโดยใช้ Y.P.Khanna (11) ใช้เปรียบเทียบอัตราการตกผลึกของโพลิเมอร์ได้หลายชนิด โพลิเมอร์ที่มีค่า CRC สูง จะมีอัตราการตกผลึกที่สูงด้วย ในการหาค่า CRC จะอาศัยข้อมูลพื้นฐานจากเครื่อง ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์ (DSC) โดยหาความชันของกราฟ ความสัมพันธ์ของอัตราการให้ความเย็น (cooling rate) เป็นแกนตั้ง และอุณหภูมิในการตกผลึก ( $T_c$ ) เป็นแกนนอน ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงวิธีการหาค่า CRC

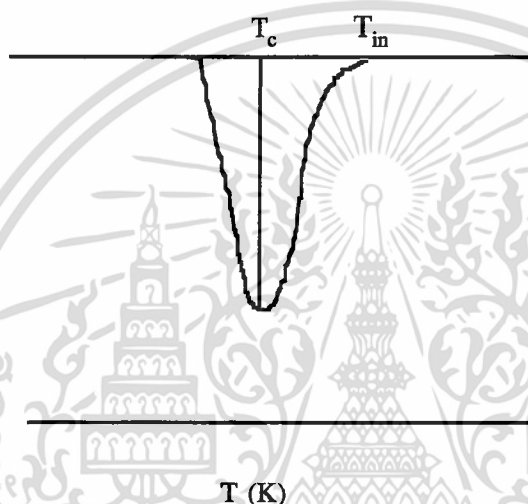
CRC = ความชัน = อัตราการให้ความเย็น

อุณหภูมิในการตกผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ง. พารามิเตอร์ของอัตราการตกผลึก (Crystallization rate parameter)

วิธีการนี้พัฒนาโดย Dezhū Ma. และผู้ร่วมงาน (12) ซึ่งในโครงการพิเศษจะศึกษาอัตราการตกผลึกโดยใช้วิธีการนี้ การหาค่า CRP จะใช้ข้อมูลจากเทอร์โมแกรมที่ได้จากเครื่องดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์ (DSC) ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 เทอร์โมแกรมที่ได้จาก DSC

จากเทอร์โมแกรม จะต้องหาข้อมูลดังนี้

$T_{in}$  (initial crystallization temperature) เป็นอุณหภูมิที่กราฟเริ่มแยกจากเส้นฐาน (base line)

$T_c$  (crystallization temperature) เป็นอุณหภูมิของ exothermic peak

$T_{1/2}$  เป็นอุณหภูมิที่พื้นที่ใต้กราฟเป็น 50% ตามแนวแกนตั้ง  
จากนั้นนำมาหาเวลาครึ่งหนึ่งของการตกผลึก (half crystallization time,  $t_{1/2}$ ) ตามสมการ

$$t_{1/2} = \frac{(T_{in} - T_{1/2})}{\beta} \quad (1)$$

เมื่อ  $\beta$  เป็นอัตราการให้ความเย็น (cooling rate)

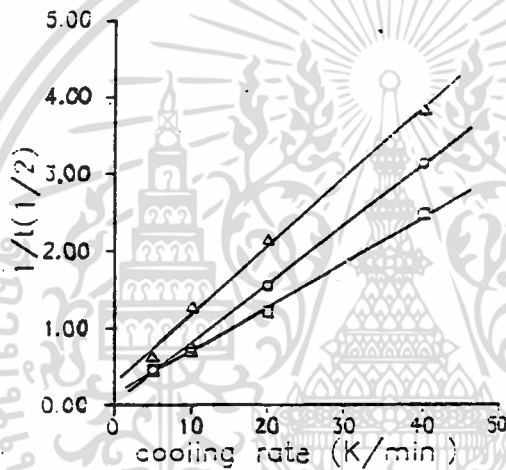
ในกรณีถ้าพีคของการตกผลึกสมมาตร จะทำให้  $T_{1/2}$  สามารถทดแทนด้วยค่า  $T_c$  ได้ จะได้สมการใหม่ดังนี้

$$t_{1/2} = \frac{(T_{in} - T_c)}{\beta} \quad (2)$$

แล้วนำค่า  $t_{1/2}$  มาหาส่วนกลับ แล้วนำมาพลอตกราฟกับอัตราการให้ความเย็น และทำการหาความชันของกราฟ จะได้ค่า CRP ดังสมการ

$$\text{ความชัน} = \Delta(1/t_{1/2}) \quad (3)$$

$\Delta\beta$   
วิธีการหาค่า CRP แสดงดังรูปที่ 9



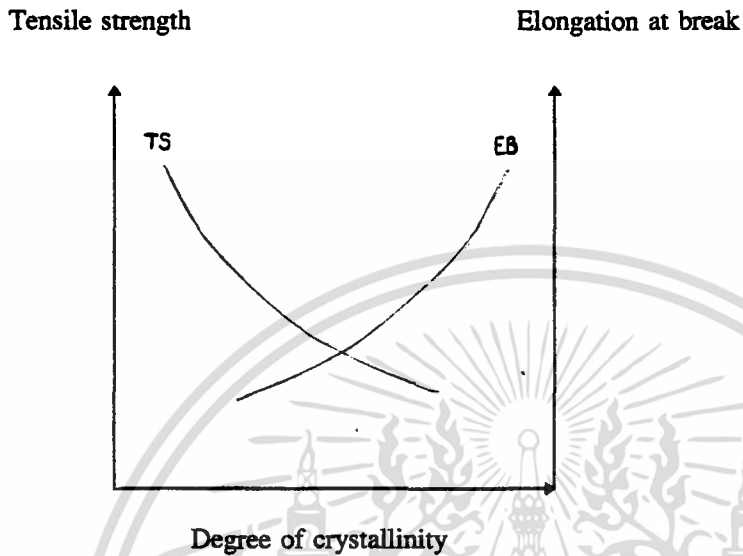
รูปที่ 9 แสดงวิธีการหาค่า CRP

จากการทดลองพบว่าค่า CRP ยิ่งมาก อัตราการตกผลึกก็จะสูงขึ้นด้วย

### 2.5 อิทธิพลของความเป็นผลึกที่มีต่อสมบัติเชิงกล

วิธีการควบคุมการเกิดผลึกและลักษณะของผลึกใน โพลีเมอร์ที่สำคัญได้แก่ การควบคุมอัตราการเย็นตัว (cooling rate) ของโพลีเมอร์หลอมเหลว การให้อัตราการเย็นตัวอย่างช้า ๆ จะทำให้สเฟียรูไลต์ ที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่ และมีองศาความเป็นผลึก ( degree of crystallinity ) สูง ส่งผลให้โพลีเมอร์ชนิดนั้นมีลักษณะแข็งเปราะ (brittle) และให้ค่ามอดูลัส (modulus) , ความแข็งแรงดึง (tensile strength) , ความแข็ง (hardness) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การที่มีความเป็นผลึกสูงจะทำให้มีความหนาแน่น (density) สูงขึ้นอีกด้วย ในทางตรงกันข้ามถ้าให้อัตราการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว จะทำให้สเฟียรูไลต์ ที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็ก มีความไม่สมบูรณ์ของผลึกมาก ทำให้องศาความเป็นผลึก ต่ำ ส่งผลให้โพลีเมอร์ชนิดนั้นมีมอดูลัส, ความแข็งแรงดึง และความหนาแน่น ลดต่ำลง แต่จะทำให้

การยืด ณ.จุดขาด (Elongation at break) สูงขึ้น ดังนั้นสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่าง ความ เป็นผลึก การยืด ณ.จุดขาด และความแข็งแรงดึง ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นผลึก การยืด ณ.จุดขาด และความแข็งแรงดึง

อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อรูปร่าง (morphology) และองศาความเป็นผลึก ของโพลิเมอร์ เช่น อัตราการเกิดนิวเคลียสโดยรวม (Overall rate of nucleation) อัตราการโตของ สเฟียรูไลท์ (spherulite growth rate) เป็นต้น ซึ่งในปัจจัยเหล่านี้เมื่อก่อให้เกิดผลกระทบต่อรูปร่าง (morphology) และองศาความเป็นผลึก (degree of crystallinity) ของโพลิเมอร์ ย่อมส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลของโพลิเมอร์ด้วยเช่นกัน

### บทที่ 3

#### การวิจัยและการดำเนินงาน

##### 3.1 วัสดุและเคมีภัณฑ์

เม็ดพลาสติกโพลีพรอพิลีนโฮโมโพลิเมอร์ (PRO-FAX 6331) บริษัท เอ็ช เอ็ม ซี โพลีเมอร์ จำกัด ซึ่งมีสมบัติดังนี้

TYPICAL RESINS PROPERTIES (a)	PRO-FAX 6331	ASTM METHOD(b)
Melt flow rate, g/10 min	12	D 1238
Density, g/cm	0.903	D 792A-2
Notched Izod impact strength at 73 °F (23 °C), ft-lbs/in. (J/m)	0.5(25)	D 256A
Tensile Strength at yield, psi (Mpa)	5,000(34)	D 638
Elongation at yield, %	10	D 638
Flexural modulus, psi (Mpa)	235,000(1,620)	D 790 B
Rockwell hardness, R Scale	97	D 785 A
Deflection temperature at 66 psi (455kPa), °F (°C)	205(96)	D 648
Environmental stress-cracking, hrs	>500, no failure	D 1693

เม็ดพลาสติกโพลีพรอพิลีนโคโพลิเมอร์แบบบล็อก (POLENE 2300k) บริษัท อุตสาหกรรมปิโตรเคมีคอลลไทย จำกัด ซึ่งมีสมบัติดังนี้

TYPICAL DATA PROPERTIES	POLENE 2300k	ASTM METHOD
Melt flow rate, g/10 min	4	DIN 53735 ASTM D 1238

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tensile strength at yield, N/mm <sup>2</sup>	29	DIN 53455
Modulus of elasticity in tension, N/mm <sup>2</sup>	1300	DIN 53457
Impact Strength, kJ/m <sup>2</sup> at 0 °C	n.b.	DIN 53453
at -20 °C	90	DIN 53453
Notched impact strength, kJ/m <sup>2</sup> at 23 °C	9	DIN 53453
at -20 °C	4	DIN 53453
Heat distortion temperature, °C at 0.46 N/mm <sup>2</sup>	85	DIN 53461
at 1.85 N/mm <sup>2</sup>	55	ASTM D 648

เม็ดพลาสติกโพลีพรอพิลีนโคโพลิเมอร์แบบแรนคอม (PRO-FAX SW-555) บริษัท เอ็ม ซี โพลีเมอร์ จำกัด ซึ่งมีสมบัติดังนี้

TYPICAL RESINS PROPERTIES (a)	PRO-FAX SW-555	ASTM METHOD(b)
Melt flow rate, g/10 min	12	D 1238
Density, g/cm	0.903	D 792A-2
Notched Izod impact strength at 73 °F (23 °C), ft-lbs/in. (J/m)	0.6(33)	D 256A
Tensile Strength at yield, psi (Mpa)	4,000(27.6)	D 638
Elongation at yield, %	13	D 638
Flexural modulus, psi (Mpa)	170,000(1,200)	D 790
Rockwell hardness, R Scale	88	D 785 A
Deflection temperature at 66 psi (455kPa), °F (°C)	177(80)	D 648
Environmental stress-cracking, hrs	-	D 1693

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซเดียมเบนโซเอท เกรควิเคราะห์ (Fluka Chemic AG, CH-9470 Buchs)

อะไดพิคแอซิด เกรควิเคราะห์ (Fluka Chemic AG, CH-9470 Buchs)

คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสแบบเกลือ โซเดียม เกรควิเคราะห์ (Fluka Chemic AG, CH-9470 Buchs)

### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย

เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (LAB-TECH Engineering copapy LTD MODEL LPM 200)

เครื่องย่อยพลาสติก

เครื่องอัดรีดและเย็น (LAB-TECH Engineering copapy LTD MODEL LP 20)

เครื่องตัดชิ้นรูปชิ้นงาน (CEAST TYPE 6052 SERIAL 13308)

แม่พิมพ์หนา 1 มิลลิเมตร

เครื่องชั่งน้ำหนักหยาบ (A&D CO.,LTD MODEL PG-150K)

เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด (A&D CO.,LTD MODEL HR-200)

เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์ (Shimadzu C-R4A CHROMATOPAC)

กล้องถ่ายภาพแสงโพลาไรซ์ (Nikhon Model AFX-IIA)

เครื่องทดสอบแรงดึง (LLOYD Instrument Ltd. Model LR 30K)

เครื่องอินฟราเรดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Japan Spectroscopic CO.,LTD Model IR-810)

### 3.3 การดำเนินการ

#### 3.3.1 การผสมและการเตรียมเม็ดพลาสติกที่ใช้ทดสอบ

ก. ทำการชั่งเม็ดพลาสติก 500 กรัม พร้อมกับชั่งสารก่อนิวเคลียส 0.5% โดยน้ำหนักเม็ดพลาสติก ดังตารางส่วนผสมต่อไปนี้

ชนิดของ พลาสติก น้ำหนักสุทธิ 500 กรัม	สารก่อนิวเคลียส จำนวนที่ใช้ (กรัม)			
	สูตรที่ 1 ไม่เติมสารก่อนิวเคลียส	สูตรที่ 2 โซเดียมเบนโซเอท	สูตรที่ 3 อะไดพิคแอซิด	สูตรที่ 4 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส
PP Homopolymer	-	2.5	2.5	2.5
PP Blockcopolymer	-	2.5	2.5	2.5
PP Random copolymer	-	2.5	2.5	2.5

ข. ทำการผสมบนเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) โดยตั้งอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า 190 และ 180 องศาเซลเซียสตามลำดับ ทำการหลอมเหลวพลาสติกใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที เมื่อพลาสติกหลอมละลายหมด ให้เติมสารก่อนิวเคลียสลงไป ทำการบดผสมให้เข้ากันใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที นำออกจากเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง ทิ้งไว้ให้เย็น

ค. นำมาชั่งให้เป็นชิ้นเล็กโดยใช้เครื่องชั่งพลาสติก พลาสติกที่ชั่งแล้วแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 (ประมาณ 80% ของพลาสติกที่ได้) เก็บไว้สำหรับการขึ้นรูป ส่วนที่ 2 (ประมาณ 20% ของพลาสติกที่ได้) เก็บไว้สำหรับทดสอบการตกผลึกและลักษณะของผลึก

### 3.3.2 การขึ้นรูปชิ้นงานที่นำมาทดสอบ

ก. นำเม็ดพลาสติกที่ได้จากหัวข้อ 3.3.1ค มาขึ้นรูปโดยการอัดร้อน(Compressive) ใช้แม่พิมพ์หนา 1 มิลลิเมตร อุณหภูมิในการอัดร้อน 190 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที

ข. นำแม่พิมพ์จากข้อ ก มาทำการอัดเย็น โดยใช้อุณหภูมิของเครื่องอัดเย็น 15 องศาเซลเซียส นาน 4 นาที เมื่อครบกำหนดเวลาให้ถอดชิ้นงานออกจากแม่แบบ จะได้ชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยม

ค. นำมาตัดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานสำหรับทดสอบสมบัติเชิงกลโดยใช้เครื่องตัดรูปชิ้นงาน จะได้ชิ้นงานเป็นรูปดัมเบลล์

### 3.3.3 การทดสอบสมบัติต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. การทดสอบการตกผลึกและลักษณะของผลึก

การทดสอบอัตราการตกผลึกโดยใช้เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์ โดยตั้งสภาวะการใช้งานของเครื่องดังนี้ -ทำการให้ความร้อนด้วยอัตรา 15 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิถึง 230 องศาเซลเซียส และใช้อัตราการเย็นตัวในแต่ละสูตรดังนี้ คือ 5 , 10 , 20 และ 40 องศาเซลเซียสต่อนาที

ผลที่ได้จากเครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์ให้นำมาหาองศาความเป็นผลึกและอัตราการตกผลึกโดยวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของอัตราการตกผลึก (CRP)

การตรวจสอบลักษณะและขนาดของผลึก ทำได้โดยอาศัยกล้องถ่ายภาพแสงโพลาไรซ์ (Polarized light microscope) โดยใช้สภาวะเครื่องดังนี้ -ทำการให้ความร้อนด้วยอัตรา 15 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส , ใช้อัตราการเย็นตัว 5 องศาเซลเซียสต่อนาที และทำการบันทึกภาพผลึก เมื่ออุณหภูมิลดลงเหลือ 130 125 และ 120 องศาเซลเซียส

ข. การทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (LLOYD Instrument Ltd. Model LR 30K) โดยใช้สภาวะ ดังต่อไปนี้- ความเร็วในการดึงทดสอบ 20 มิลลิเมตรต่อนาที

- น้ำหนักของหัวจับ 30 กิโลนิวตัน

- ความยาวช่วงทดสอบ (Gauge length) 25 มิลลิเมตร

การทดสอบสมบัติเชิงกลในแต่ละสูตรต้องใช้ชิ้นงานอย่างน้อย 8 ชิ้นงาน

ค. การทดสอบสมบัติอื่น ๆ

การทดสอบความหนาแน่น

นำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบในข้อ 3.3.3.2 มาทำการทดสอบหาความหนาแน่น โดยใช้การชั่งน้ำหนักในเมธานอล (Methanol) ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นแสดงดังสมการ

$$\text{ความหนาแน่นของชิ้นงานพลาสติก} = \frac{\text{น้ำหนักของชิ้นงาน} - \text{น้ำหนักของชิ้นงานที่ชั่งในเมธานอล}}{\text{น้ำหนักของชิ้นงาน} - \text{น้ำหนักของชิ้นงานที่ชั่งในเมธานอล}}$$

-----  
น้ำหนักของชิ้นงาน-น้ำหนักของชิ้นงานที่ชั่งในเมธานอล

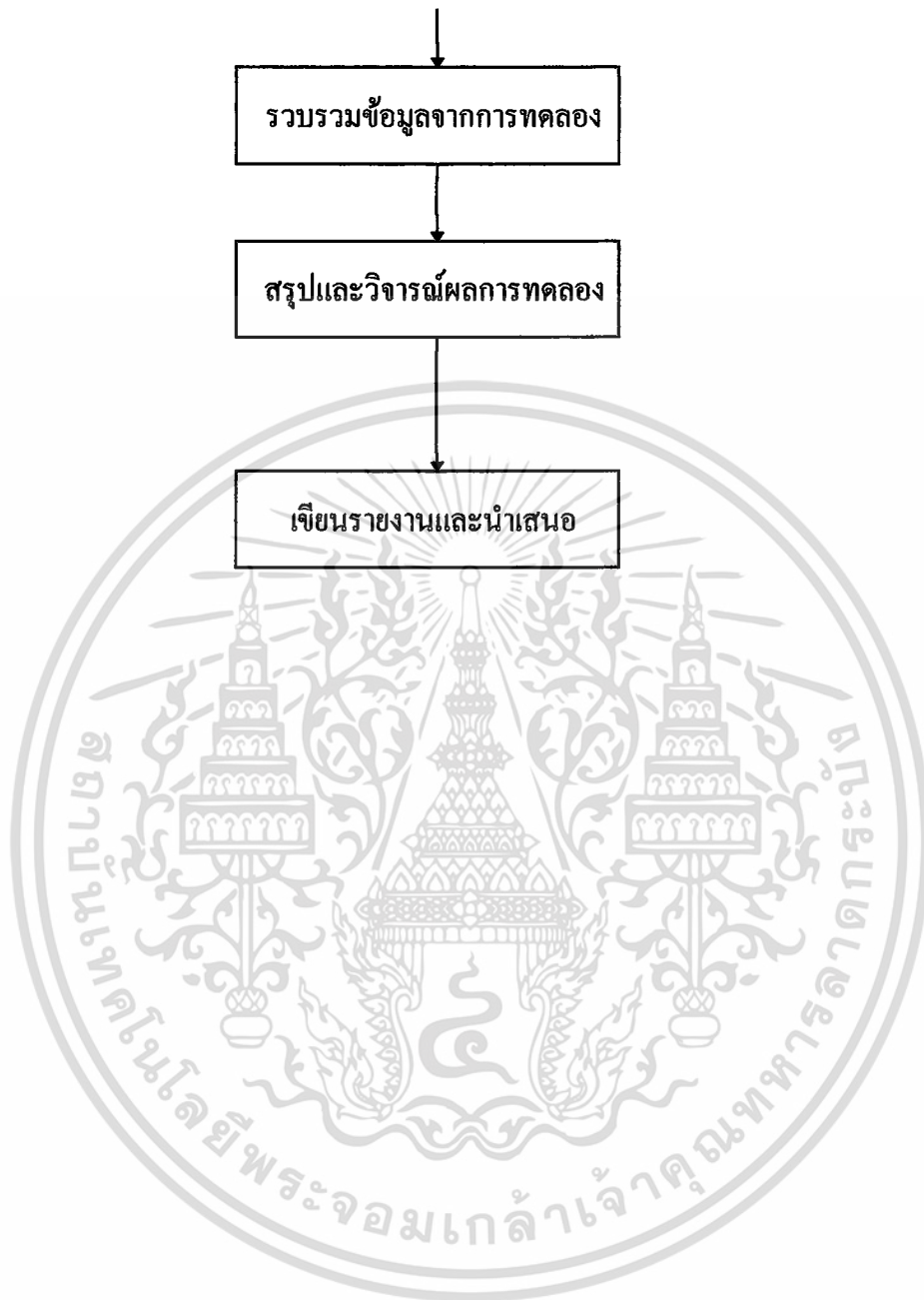
การทดสอบหมู่ฟังก์ชัน

นำชิ้นงานที่เป็นฟิล์มบางมาทดสอบ โดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้เลขคลื่นเท่ากับ  $4000.00 \text{ cm}^{-1}$

## 3.3.4 แผนภาพการดำเนินงานวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลงานวิจัย

#### 4.1 โพลีพรอพิลีนโฮโมโพลีเมอร์

ก. ทดสอบสมบัติทางความร้อนและการตกผลึก

- โพลีพรอพิลีน โฮโมโพลีเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนนิวเคลียส

อัตรา การเย็น ตัว °C/min	อุณหภูมิ จุด เปลี่ยน $T_m$ °C	อุณหภูมิ หลอม $T_m$ °C	อุณหภูมิ ตกผลึก $T_c$ °C	พลังงานใน การ หลอม $\Delta H_m$ J/g	พลังงานใน การตก ผลึก $\Delta H_c$ J/g	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_m$	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_c$	$t_{1/2} =$ $T_m - T_c$ อัตรา การเย็น ตัว °C	$1/(t_{1/2})$	CRP
5	126.7	174.0	121.6	-87.31	92.05	-41.77	44.04	1.02	0.98	
10	124.6	177.3	118.2	-96.69	93.92	-46.26	44.94	0.64	1.56	
20	126.0	172.7	120.4	-99.19	99.79	-47.46	47.75	0.28	3.57	
40	125.1	177.7	118.9	-98.38	101.2	-47.07	48.43	0.16	6.45	0.161

หมายเหตุ

เครื่องหมาย - แสดงทิศทางการดูดพลังงานของโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โพลีพรอพิลีน โสโมโพลิเมอร์ ที่เติมไซเคียมเบนโซเอท

อัตรา การเย็น ตัว °C/min	อุณหภูมิ จุด เปลี่ยน $T_{in}$ °C	อุณหภูมิ หลอม $T_m$ °C	อุณหภูมิ ตกผลึก $T_c$ °C	พลังงานใน การ หลอม $\Delta H_m$ J/g	พลังงานใน การตก ผลึก $\Delta H_c$ J/g	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_m$	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_c$	$t_{1/2} =$ $T_m - T_c$ — อัตรา การเย็น ตัว °C	$1/(t_{1/2})$	CRP
5	129.2	177.1	125.5	-69.42	61.67	-33.22	29.51	0.74	1.35	
10	128.6	173.4	125.3	-78.93	74.11	-37.76	35.46	0.33	3.03	
20	128.6	176.1	125.8	-84.49	78.94	-40.43	37.77	0.14	7.14	
40	129.2	176.8	125.5	-90.82	86.80	-43.46	41.53	0.09	10.81	0.309

- โพลีพรอพิลีน โสโมโพลิเมอร์ ที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

อัตรา การเย็น ตัว °C/min	อุณหภูมิ จุด เปลี่ยน $T_{in}$ °C	อุณหภูมิ หลอม $T_m$ °C	อุณหภูมิ ตกผลึก $T_c$ °C	พลังงานใน การ หลอม $\Delta H_m$ J/g	พลังงานใน การตก ผลึก $\Delta H_c$ J/g	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_m$	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_c$	$t_{1/2} =$ $T_m - T_c$ — อัตรา การเย็น ตัว °C	$1/(t_{1/2})$	CRP
5	126.7	173.7	119.8	-82.82	97.65	-39.63	46.72	1.38	0.72	
10	129.2	171.9	125.9	-85.16	96.80	-40.75	46.32	0.33	3.03	
20	128.2	173.5	125.0	-100.0	99.60	-47.85	47.65	0.16	6.25	
40	127.1	173.5	122.0	-93.43	101.5	-44.71	48.60	0.13	7.69	0.218

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โพลีพรอพิลีน โฮโมโพลิเมอร์ ที่เติมอะไคฟิคแอซิด

อัตรา การเย็น ตัว °C/min	อุณหภูมิ จุด เปลี่ยน $T_m$ °C	อุณหภูมิ หลอม $T_m$ °C	อุณหภูมิ ตกผลึก $T_c$ °C	พลังงานใน การ หลอม $\Delta H_m$ J/g	พลังงานใน การตก ผลึก $\Delta H_c$ J/g	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_m$	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_c$	$t_{1/2} =$ $T_m - T_c$ อัตรา การเย็น ตัว °C	$1/(t_{1/2})$	CRP
5	140.2	174.7	137.9	-132.6	133.3	-63.43	63.80	0.46	2.17	
10	139.9	182.1	138.0	-103.9	105.5	-49.75	50.50	0.19	5.26	
20	139.1	176.2	136.0	-108.9	104.1	-52.14	49.81	0.16	6.45	
40	133.4	179.6	128.4	-117.8	107.0	-55.42	51.21	0.12	8.00	0.262

กราฟแสดงค่าต่าง ๆ จากตาราง

โดยที่ UN - เม็ดพลาสติกที่ไม่เติมสารก่อนิวเคลียส

SBA - เม็ดพลาสติกที่เติมโซเดียมเบนโซเอท

CMC - เม็ดพลาสติกที่เติมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส

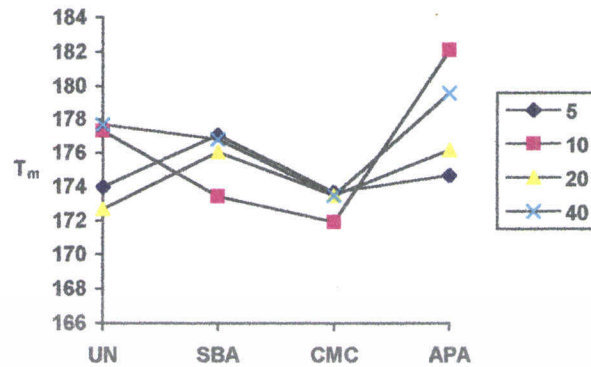
APA - เม็ดพลาสติกที่เติมอะไคฟิคแอซิด

5 - อัตราการเย็นตัว 5 °C/นาที

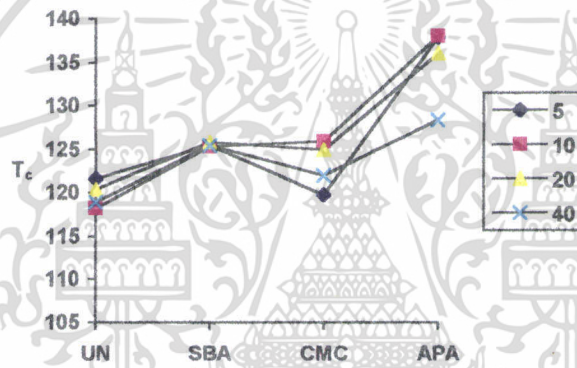
10 - อัตราการเย็นตัว 10 °C/นาที

20 - อัตราการเย็นตัว 20 °C/นาที

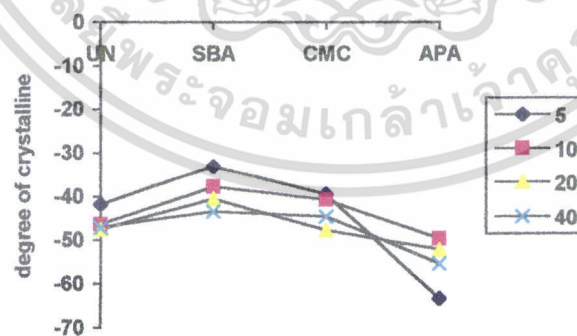
40 - อัตราการเย็นตัว 40 °C/นาที



กราฟแสดงค่าอุณหภูมิการหลอม  $T_m$  °C

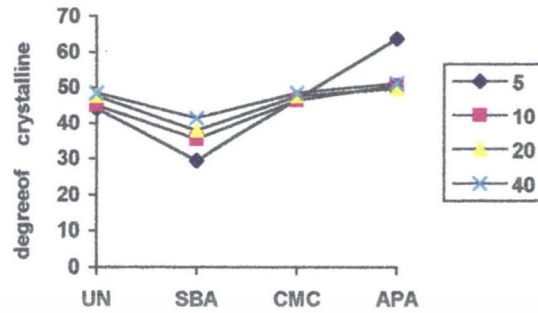


กราฟแสดงค่าอุณหภูมิการตกผลึก  $T_c$  °C



กราฟแสดงค่า degree of crystalline จาก  $\Delta H_m$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงค่า degree of crystalline จาก  $\Delta H_c$

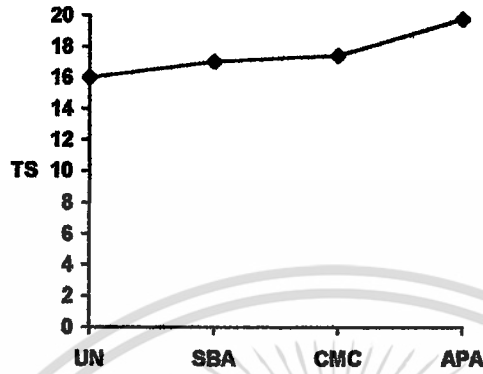
การทดลองพบว่าสารก่อนิวเคลียสที่ใช้ได้แก่ โซเดียมเบนโซเอท คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส อะไคฟิคแอซิด ทำให้อัตราการตกผลึกสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารก่อนิวเคลียสไปลดพลังงานพื้นผิว(surface energy) พิจารณาค่า  $T_m$  และ  $\Delta H_m$  ของชิ้นงานที่ได้จากเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง พบว่าโพลีพรอพิลีนไฮโมโพลิเมอร์ที่มีการเติม โซเดียมเบนโซเอทและคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส มีองศาความเป็นผลึกต่ำกว่าโพลีพรอพิลีนไฮโมโพลิเมอร์ที่ไม่มีการเติมสารก่อนิวเคลียส สำหรับอะไคฟิคแอซิดจะให้องศาความเป็นผลึกสูงกว่าโพลีพรอพิลีนไฮโมโพลิเมอร์ที่ไม่มีการเติมสารก่อนิวเคลียส พิจารณาค่า  $T_c$  และ  $\Delta H_c$  พบว่าในตัวอย่างในแต่ละชุดมีค่าเหล่านี้ต่างกันขึ้นอยู่กับอัตราการเย็นตัวดังนี้ โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลิเมอร์ที่ไม่มีการเติมสารก่อนิวเคลียส มีองศาความเป็นผลึกสูงสุดที่อัตราการเย็นตัว 40 องศาเซลเซียสต่อนาทีและมีอุณหภูมิที่ตกผลึกได้เร็วที่สุดที่อัตราการเย็นตัว 5 องศาเซลเซียสต่อนาที โพลีพรอพิลีนที่มีการเติมโซเดียมเบนโซเอทมีองศาความเป็นผลึกสูงสุดที่อัตราการเย็นตัว 40 องศาเซลเซียสต่อนาทีและอุณหภูมิที่เกิดผลึกได้เร็วที่สุดที่อัตราการเย็นตัว 20 องศาเซลเซียสต่อนาที โพลีพรอพิลีนที่มีการเติมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสมีองศาความเป็นผลึกสูงสุดที่อัตราการเย็นตัว 40 องศาเซลเซียสต่อนาทีและอุณหภูมิที่เกิดผลึกได้เร็วที่สุดที่อัตราการเย็นตัว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที โพลีพรอพิลีนที่มีการเติมอะไคฟิคแอซิดมีองศาความเป็นผลึกสูงสุดที่อัตราการเย็นตัว 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีและอุณหภูมิที่ตกผลึกเร็วที่สุดที่อัตราการเย็นตัว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

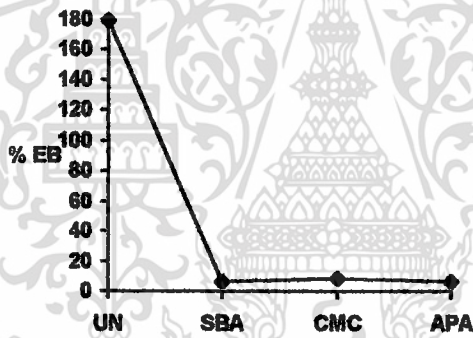
ข. ทดสอบสมบัติเชิงกล

ชนิดของตัวอย่าง	ความแข็งแรงดึง TS (kgf/mm <sup>2</sup> )	เปอร์เซ็นต์การยืด (%)	Work done (kgf/mm <sup>2</sup> )	Modulus (kgf/mm <sup>2</sup> )	ค่าความหนาแน่น (g/mm <sup>2</sup> )
โพลีพรอพิลีนโฮโมโพลีเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนิเวศลีส	15.99	179.5	3739	365.1	0.8999
โพลีพรอพิลีนโฮโมโพลีเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอท	17.06	6.509	226.7	313.9	0.9086
โพลีพรอพิลีนโฮโมโพลีเมอร์ที่เติมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส	17.46	8.779	328.0	275.1	0.9096
โพลีพรอพิลีนโฮโมโพลีเมอร์ที่เติมอะไคฟิคแอซิด	19.8	6.112	247.6	407.7	0.9096

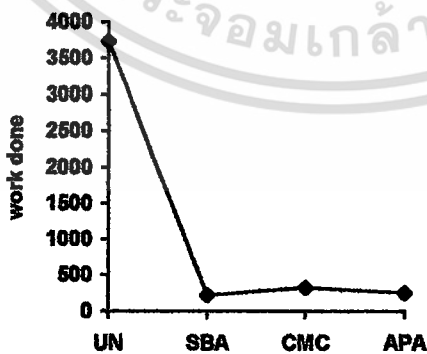
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึง TS (kgf/mm<sup>2</sup>)

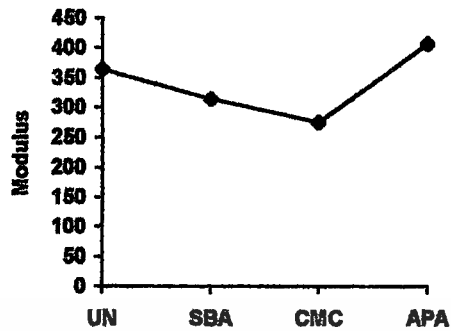


กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืด (%)



กราฟแสดงค่า work done (kgf/mm<sup>2</sup>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงค่า Modulus (kgf/mm<sup>2</sup>)

การทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า โพลีพรอพิลีนที่มีการเติมสารก่อนิวเคลียสทำให้แนวโน้มของค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยึดที่จุดขาด ความคงรูป มอดูลัส มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เพราะการเกิดผลึกมากทำให้บริเวณที่ไม่เป็นระเบียบน้อยลง ดังนั้นเปอร์เซ็นต์การยึดที่จุดขาด ความคงรูป มอดูลัสลดลง ความแข็งแรงดึงที่สูงขึ้นเนื่องจากผลึกที่เกิดขึ้นมีมากทำให้แรงยึดโซ่โมเลกุลสูง ความหนาแน่นของโพลีพรอพิลีนที่มีการเติมสารก่อนิวเคลียสมีค่าสูงกว่าโพลีพรอพิลีนที่ไม่มีการเติมสารก่อนิวเคลียส ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากความเป็นผลึกสูงขึ้นหรือเนื่องมาจากความหนาแน่นของสารก่อนิวเคลียสเอง

## 4.2 โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ (SW-555)

ก. ทดสอบสมบัติทางความร้อนและการตกผลึก

- โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ ที่ไม่เติมสารก่อนิวเคลียส

อัตรา การเย็น ตัว °C/min	อุณหภูมิ จุด เปลี่ยน $T_m$ °C	อุณหภูมิ หลอม $T_m$ °C	อุณหภูมิ ตกผลึก $T_c$ °C	พลังงานใน การ หลอม $\Delta H_m$ J/g	พลังงานใน การตก ผลึก $\Delta H_c$ J/g	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_m$	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_c$	$t_{1/2} =$ $T_m - T_c$ อัตรา การเย็น ตัว °C	$1/(t_{1/2})$	CRP
5	127.6	156.0	124.2	-50.28	35.55	-24.06	17.01	0.68	1.47	
10	128.0	155.5	124.4	-61.66	47.25	-29.48	22.61	0.36	2.78	
20	128.2	155.1	124.4	-46.19	39.77	-22.10	19.82	0.19	5.26	
40	128.5	150.9	124.4	-57.10	44.03	-27.32	21.07	0.10	9.71	0.233

- โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ ที่เติมโซเดียมเบนโซเอท

อัตรา การเย็น ตัว °C/min	อุณหภูมิ จุด เปลี่ยน $T_m$ °C	อุณหภูมิ หลอม $T_m$ °C	อุณหภูมิ ตกผลึก $T_c$ °C	พลังงานใน การ หลอม $\Delta H_m$ J/g	พลังงานใน การตก ผลึก $\Delta H_c$ J/g	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_m$	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_c$	$t_{1/2} =$ $T_m - T_c$ อัตรา การเย็น ตัว °C	$1/(t_{1/2})$	CRP
5	128.2	154.5	124.3	-46.31	37.66	-22.16	17.01	0.78	1.28	
10	127.8	156.4	124.1	-53.83	43.05	-25.75	20.60	0.37	2.70	
20	128.6	154.3	124.8	-46.32	41.56	-22.16	19.88	0.19	5.26	
40	128.5	154.9	124.4	-45.96	37.99	-21.99	18.18	0.12	8.33	0.189

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

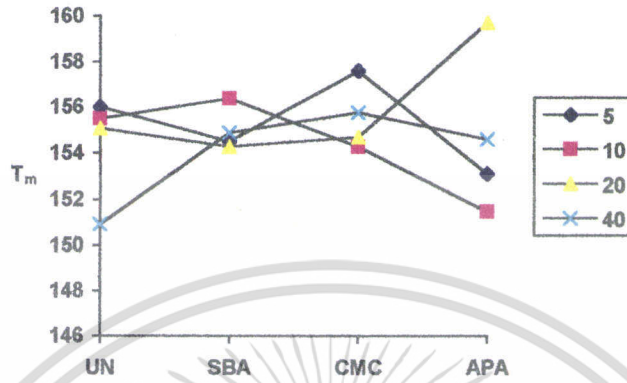
- โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ ที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

อัตรา การเย็น ตัว °C/min	อุณหภูมิ จุด เปลี่ยน $T_{in}$ °C	อุณหภูมิ หลอม $T_m$ °C	อุณหภูมิ ตกผลึก $T_c$ °C	พลังงานใน การ หลอม $\Delta H_m$ J/g	พลังงานใน การตก ผลึก $\Delta H_c$ J/g	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_m$	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_c$	$t_{1/2} =$ $T_m - T_c$ — อัตรา การเย็น ตัว °C	$1/(t_{1/2})$	CRP
5	128.4	157.6	124.6	-51.86	42.19	-24.81	20.19	0.76	1.32	
10	128.3	154.3	124.5	-54.62	40.87	-26.13	19.56	0.38	2.63	
20	128.6	154.7	124.8	-41.10	36.24	-19.67	17.34	0.19	5.26	
40	129.2	155.8	124.5	-58.65	48.87	-28.06	23.38	0.12	8.33	0.198

- โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ ที่เติมอะโดพิกเมซิด

อัตรา การเย็น ตัว °C/min	อุณหภูมิ จุด เปลี่ยน $T_{in}$ °C	อุณหภูมิ หลอม $T_m$ °C	อุณหภูมิ ตกผลึก $T_c$ °C	พลังงานใน การ หลอม $\Delta H_m$ J/g	พลังงานใน การตก ผลึก $\Delta H_c$ J/g	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_m$	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_c$	$t_{1/2} =$ $T_m - T_c$ — อัตรา การเย็น ตัว °C	$1/(t_{1/2})$	CRP
5	116.9	153.1	113.2	-51.09	44.74	-24.45	21.41	0.74	1.35	
10	127.2	151.5	123.2	-43.54	39.44	-20.83	18.87	0.40	2.50	
20	128.2	159.7	124.3	-50.74	40.39	-24.28	19.32	0.20	5.00	
40	116.5	154.6	112.6	-51.59	42.58	-24.69	20.38	0.10	10.00	0.254

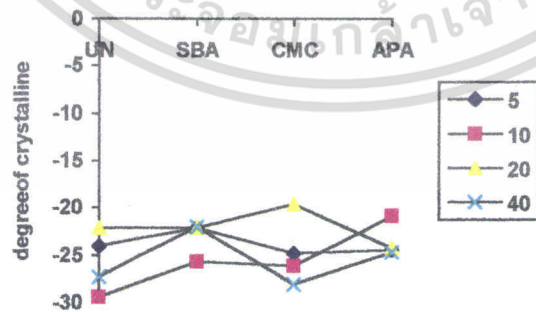
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงค่าอุณหภูมิการหลอม  $T_m$   $^{\circ}\text{C}$

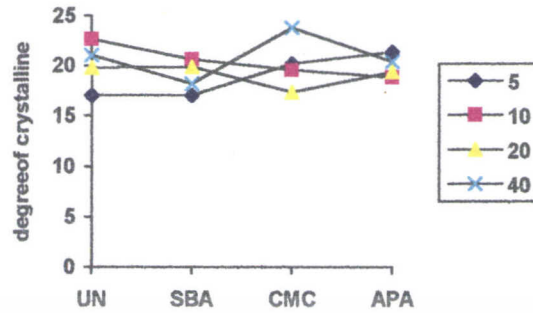


กราฟแสดงค่าอุณหภูมิการตกผลึก  $T_c$   $^{\circ}\text{C}$



กราฟแสดงค่า degree of crystalline จาก  $\Delta H_m$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงค่า degree of crystalline จาก  $\Delta H_c$

ผลการวิจัยพบว่าอะไคฟิสิกแอซิดเป็นสารก่อนิวเคลียสที่ทำให้ อัตราการตกผลึกของโพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลีเมอร์สูงขึ้น สำหรับโซเดียมเบนโซเอท และ คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส ไม่สามารถเพิ่มอัตราการตกผลึกให้สูงขึ้นได้ ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากโครงสร้างของโพลีเมอร์เอง

พิจารณาค่า  $T_m$  และ  $\Delta H_m$  พบว่าโพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลีเมอร์ที่ไม่มีการเติมสารก่อนิวเคลียสมีองศาความเป็นผลึกมากกว่าโพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลีเมอร์ที่เติมสารก่อนิวเคลียส แสดงให้เห็นว่าโพลีเมอร์ที่นำมาใช้ในการวิจัยไม่สามารถเพิ่มอัตราการตกผลึกโดยใช้สารก่อนิวเคลียสเหล่านี้

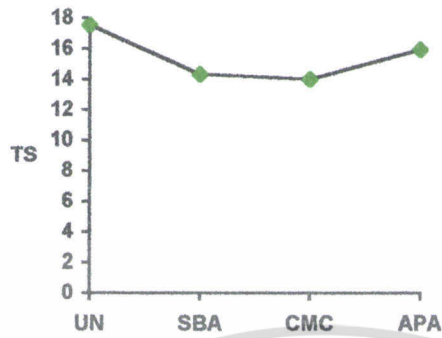
พิจารณา  $T_c$  และ  $\Delta H_c$  พบว่าโพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลีเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนิวเคลียสมีองศาความเป็นผลึกดีที่สุดที่อัตราการเย็นตัว 40 องศาเซลเซียสต่อนาทีและอุณหภูมิการตกผลึกได้เร็วที่สุดที่อัตราการเย็นตัว 10 20 และ 40 องศาเซลเซียสต่อนาที โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลีเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอทมีองศาความเป็นผลึกดีที่สุดที่อัตราการเย็นตัว 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีและมีอุณหภูมิการตกผลึกเร็วที่สุดที่อัตราการเย็นตัว 20 องศาเซลเซียสต่อนาที โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลีเมอร์ที่เติมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสมีองศาความเป็นผลึกดีที่สุดที่อัตราการเย็นตัว 40 องศาเซลเซียสต่อนาทีและมีอุณหภูมิการตกผลึกที่เร็วที่สุดที่อัตราการเย็นตัว 20 องศาเซลเซียสต่อนาที โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลีเมอร์ที่เติมอะไคฟิสิกแอซิดมีองศาความเป็นผลึกดีที่สุดที่อัตราการเย็นตัว 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีและมีอุณหภูมิการตกผลึกเร็วที่สุดที่อัตราการเย็นตัว 20 องศาเซลเซียสต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

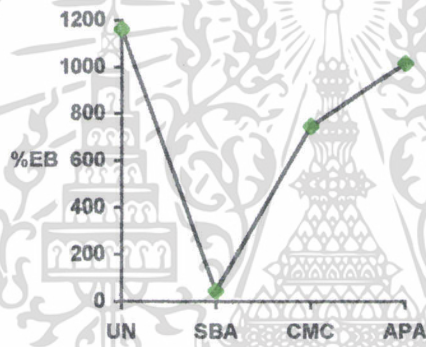
## ข. สมบัติเชิงกล

ชนิดของตัวอย่าง	ความแข็งแรงดึง TS (kgf/mm <sup>2</sup> )	เปอร์เซ็นต์การยืด (%)	Work done (kgf/mm <sup>2</sup> )	Modulus (kgf/mm <sup>2</sup> )	ค่าความหนาแน่น (g/mm <sup>2</sup> )
โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนิเวศลีส	17.55	1164.5	30667.5	264.2	0.8804
โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอท	14.37	45.83	1038.6	226.4	0.8956
โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ที่เติมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส	14.04	749.4	17733.8	216.1	0.8962
โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ที่เติมอะไคฟิคแอซิด	15.96	1017.8	25175	262.0	0.8925

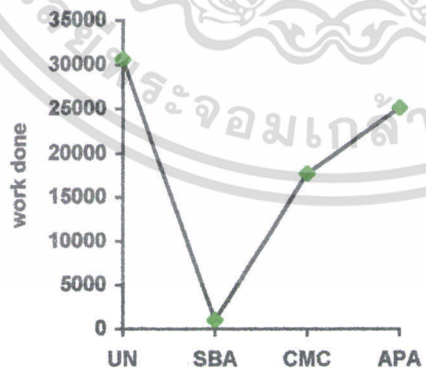
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึง TS (kgf/mm<sup>2</sup>)

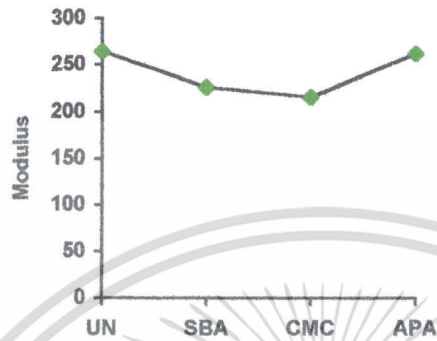


กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืด (%)



กราฟแสดงค่า work done (kgf/mm<sup>2</sup>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงค่า Modulus (kgf/mm<sup>2</sup>)

การทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าสมบัติเชิงกลของโพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ที่มีการเติมสารก่อนิเวศลีสต์น้อยกว่าโพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนิเวศลีสต์ อาจจะเนื่องมาจากอัตราการเย็นตัวและขนาดของสารก่อนิเวศลีสต์ไม่เหมาะสม สำหรับความหนาแน่นของโพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ที่เติมสารก่อนิเวศลีสต์สูงกว่าที่ไม่เติมสารก่อนิเวศลีสต์ เนื่องจากความหนาแน่นของสารก่อนิเวศลีสต์เอง

### 4.3 โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ (2300K)

ก. ทดสอบสมบัติทางความร้อนและการตกผลึก

- โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ ที่ไม่เติมสารก่อนิวเคลียส

อัตรา การเย็น ตัว °C/min	อุณหภูมิ จุด เปลี่ยน $T_{in}$ °C	อุณหภูมิ หลอม $T_m$ °C	อุณหภูมิ ตกผลึก $T_c$ °C	พลังงานใน การ หลอม $\Delta H_m$ J/g	พลังงานใน การตก ผลึก $\Delta H_c$ J/g	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_m$	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_c$	$t_{1/2} =$ $T_m - T_c$ อัตรา การเย็น ตัว °C	$1/(t_{1/2})$	CRP
5	121.4	172.6	116.1	-51.39	40.99	-24.59	19.61	1.06	0.94	
10	124.8	172.7	120.0	-64.94	61.63	-31.07	29.49	0.48	2.08	
20	124.4	173.4	118.8	-47.58	53.82	-22.77	25.75	0.28	3.57	
40	122.3	171.1	118.1	-35.92	36.18	-17.19	17.31	0.11	9.52	0.221

- โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ ที่เติมโซเดียมเบนโซเอท

อัตรา การเย็น ตัว °C/min	อุณหภูมิ จุด เปลี่ยน $T_{in}$ °C	อุณหภูมิ หลอม $T_m$ °C	อุณหภูมิ ตกผลึก $T_c$ °C	พลังงานใน การ หลอม $\Delta H_m$ J/g	พลังงานใน การตก ผลึก $\Delta H_c$ J/g	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_m$	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_c$	$t_{1/2} =$ $T_m - T_c$ อัตรา การเย็น ตัว °C	$1/(t_{1/2})$	CRP
5	129.4	174.1	120.9	-54.27	43.10	-25.97	20.62	1.70	0.59	
10	127.9	168.1	122.0	-68.25	66.42	-32.65	31.78	0.59	1.69	
20	129.9	175.2	126.5	-66.77	62.89	-31.95	30.09	0.17	5.88	
40	128.1	174.0	125.1	-55.94	56.96	-26.76	27.25	0.08	13.33	0.378

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

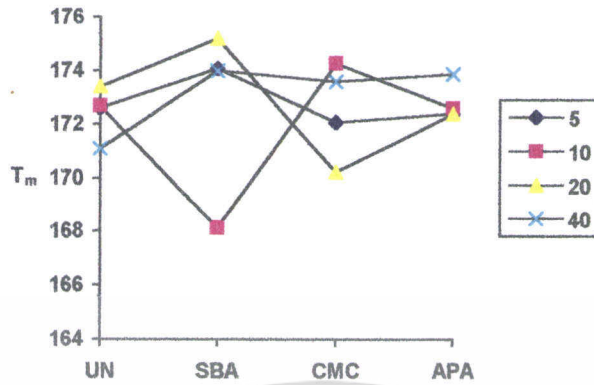
- โพลีพรอพิลีนบล็อค โค โพลีเมอร์ ที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

อัตรา การเขียน ตัว °/min	อุณหภูมิ จุด เปลี่ยน $T_m$ °C	อุณหภูมิ หลอม $T_m$ °C	อุณหภูมิ ตกผลึก $T_c$ °C	พลังงานใน การ หลอม $\Delta H_m$ J/g	พลังงานใน การตก ผลึก $\Delta H_c$ J/g	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_m$	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_c$	$t_{1/2} =$ $T_m - T_c$ อัตรา การเขียน ตัว °C	$1/(t_{1/2})$	CRP
5	138.7	172.1	135.6	-53.26	38.73	-25.48	18.53	0.62	1.61	
10	124.7	174.3	119.4	-58.74	55.18	-28.10	26.40	0.53	1.89	
20	123.9	170.2	118.8	-53.56	55.18	-25.63	26.40	0.26	3.85	
40	124.4	173.6	118.8	-46.70	49.52	-22.34	23.69	0.14	7.14	0.161

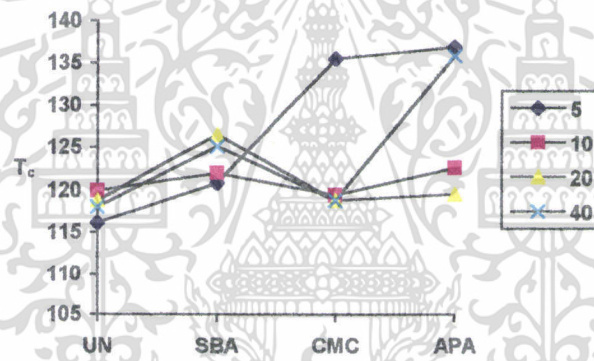
- โพลีพรอพิลีนบล็อค โค โพลีเมอร์ ที่เติมอะไคฟิคแอซิด

อัตรา การเขียน ตัว °/min	อุณหภูมิ จุด เปลี่ยน $T_m$ °C	อุณหภูมิ หลอม $T_m$ °C	อุณหภูมิ ตกผลึก $T_c$ °C	พลังงานใน การ หลอม $\Delta H_m$ J/g	พลังงานใน การตก ผลึก $\Delta H_c$ J/g	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_m$	de- gree of crystal- line จาก $\Delta H_c$	$t_{1/2} =$ $T_m - T_c$ อัตรา การเขียน ตัว °C	$1/(t_{1/2})$	CRP
5	139.0	172.4	136.9	-48.84	41.24	-23.37	19.73	0.42	2.38	
10	128.3	172.6	122.6	-85.23	82.62	-40.78	39.53	0.57	1.75	
20	124.5	172.4	119.6	-65.94	62.69	-31.55	29.99	0.25	4.00	
40	138.6	173.9	136.0	-55.62	60.51	-26.61	28.95	0.07	15.38	0.521

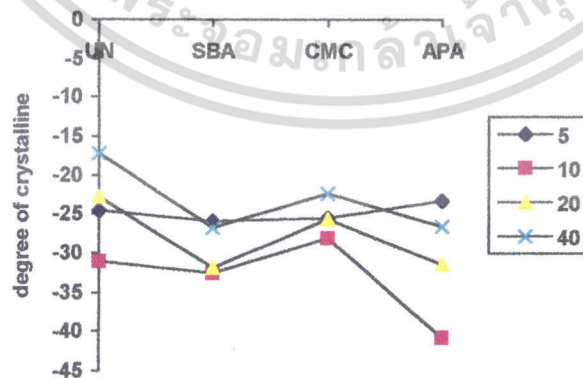
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงค่าอุณหภูมิการหลอม  $T_m$  °C

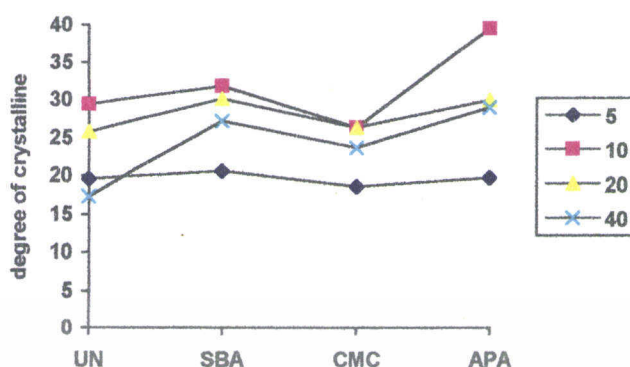


กราฟแสดงค่าอุณหภูมิการตกผลึก  $T_c$  °C



กราฟแสดงค่า degree of crystalline จาก  $\Delta H_m$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงค่า degree of crystalline จาก  $\Delta H_m$

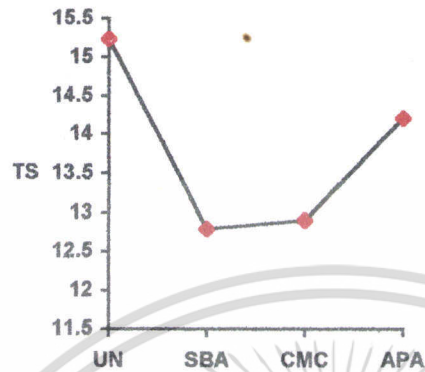
การทดสอบพบว่า โซเดียมเบนโซเอท และ อะไดพิคแอซิด สามารถเพิ่มอัตราการตกผลึกของโพลีพรอพิลีนบล็อคโคโพลิเมอร์ เนื่องจากช่วยลดพลังงานพื้นผิวให้น้อยลง สำหรับคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสทำให้อัตราการตกผลึกลดน้อยลง เนื่องจากคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งโมเลกุลยาว อาจจะแทรกอยู่ระหว่างโซ่โมเลกุลของโพลีพรอพิลีนบล็อคโคโพลิเมอร์ เกิดการขัดขวางการตกผลึก พิจารณาค่า  $T_m$  และ  $\Delta H_m$  พบว่าสารก่อนิวเคลียสทั้งสามชนิดช่วยเพิ่มความเป็นผลึกให้มากขึ้น โดยดูจากพลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมซึ่งโพลีพรอพิลีนบล็อคโคโพลิเมอร์ที่เติมสารก่อนิวเคลียสใช้พลังงานความร้อนสูงกว่าที่ไม่เติมสารก่อนิวเคลียส พิจารณาค่า  $T_c$  และ  $\Delta H_c$  พบว่าโพลีพรอพิลีนบล็อคโคโพลิเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนิวเคลียสมีองศาความเป็นผลึกสูงสุดที่อัตราการเย็นตัว 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีและอุณหภูมิในการตกผลึกเร็วที่สุดที่อัตราการเย็นตัว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที โพลีพรอพิลีนบล็อคโคโพลิเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอทมีองศาความเป็นผลึกสูงสุดที่อัตราการเย็นตัว 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีและอุณหภูมิในการตกผลึกเร็วที่สุดที่อัตราการเย็นตัว 20 องศาเซลเซียสต่อนาที โพลีพรอพิลีนบล็อคโคโพลิเมอร์ที่เติมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสมีองศาความเป็นผลึกสูงสุดที่อัตราการเย็นตัว 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีและอุณหภูมิในการตกผลึกเร็วที่สุดที่อัตราการเย็นตัว 5 องศาเซลเซียสต่อนาที โพลีพรอพิลีนบล็อคโคโพลิเมอร์ที่เติมอะไดพิคแอซิดมีองศาความเป็นผลึกสูงสุดที่อัตราการเย็นตัว 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีและอุณหภูมิในการตกผลึกที่เร็วที่สุดที่อัตราการเย็นตัว 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

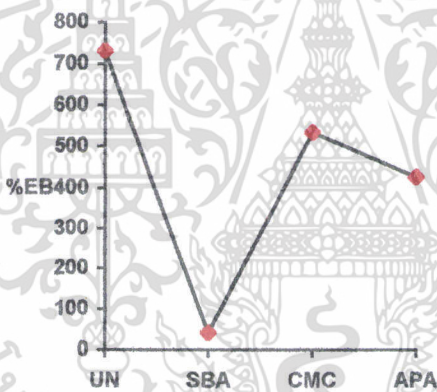
## ข. สมบัติเชิงกล

ชนิดของตัวอย่าง	ความแข็งแรงดึง TS (kgf/mm <sup>2</sup> )	เปอร์เซ็นต์การยืด (%)	Work done (kgf/mm <sup>2</sup> )	Modulus (kgf/mm <sup>2</sup> )	ค่าความหนาแน่น (g/mm <sup>2</sup> )
โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ที่ไม่เติมสารกอนิวเคลียส	15.23	731.6	18552	479.7	0.8963
โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอท	12.79	41.29	1176.1	404.7	0.9012
โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ที่เติมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส	12.9	534.0	12919.4	255.9	0.8797
โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ที่เติมอะไคฟิคแอซิด	14.21	427.0	12507	376.3	0.9016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

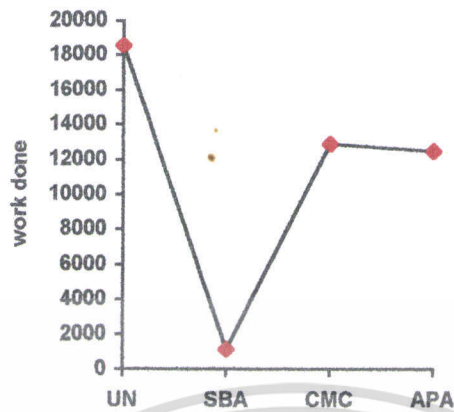


กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึง TS (kgf/mm<sup>2</sup>)

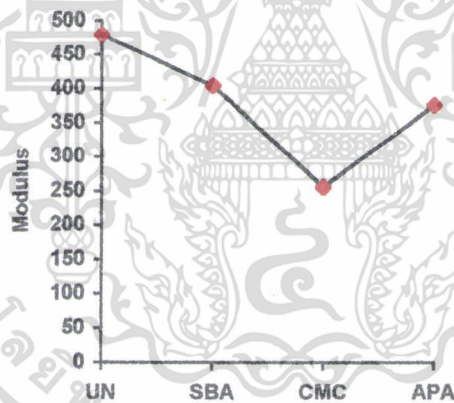


กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืด (%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงค่า work done (kgf/mm<sup>2</sup>)



กราฟแสดงค่า Modulus (kgf/mm<sup>2</sup>)

การทดลองสมบัติเชิงกลให้ผลที่ไม่สอดคล้องกับผลที่ได้จากเครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์ เนื่องจากการขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อนำไปทดสอบมีอัตราการให้ความร้อนและอัตราการเย็นตัวไม่แน่นอน สมบัติเชิงกลของโพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ที่มีการเติมสารก่อกวนเคลือบผิวดีกว่า ที่ไม่เติมสารก่อกวนเคลือบผิว ทั้งนี้เนื่องจาก อัตราการเย็นตัวและขนาดของสารก่อกวนเคลือบผิวไม่เหมาะสม สำหรับความหนาแน่นของโพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ที่เติมสารก่อกวนเคลือบผิวมีค่ามากกว่าที่ไม่เติมสารก่อกวนเคลือบผิว เพราะว่าความหนาแน่นของสารก่อกวนเคลือบผิวเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

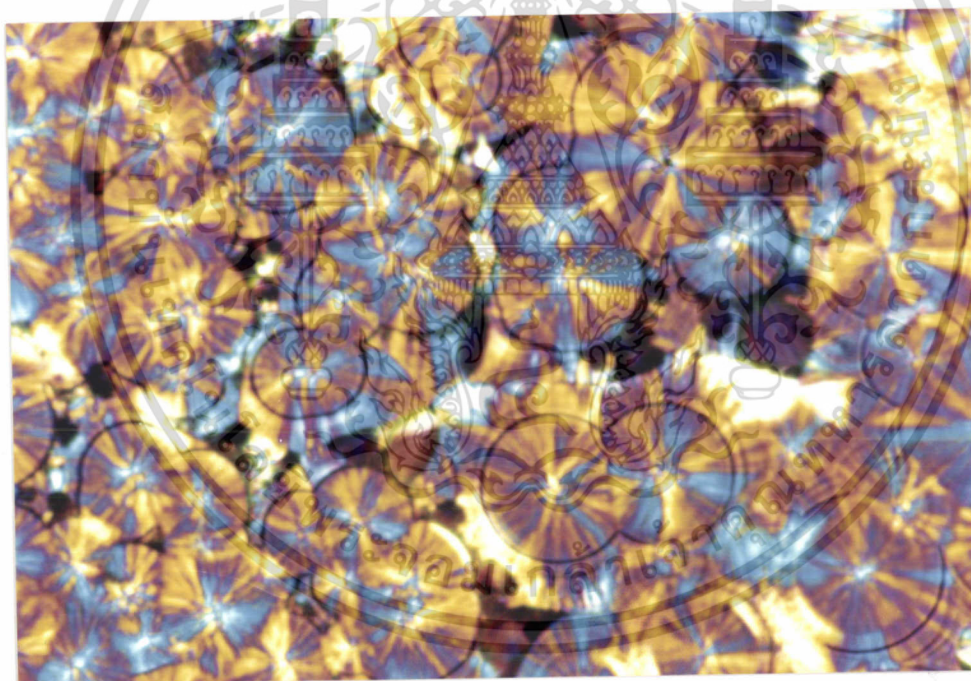
## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

#### 5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

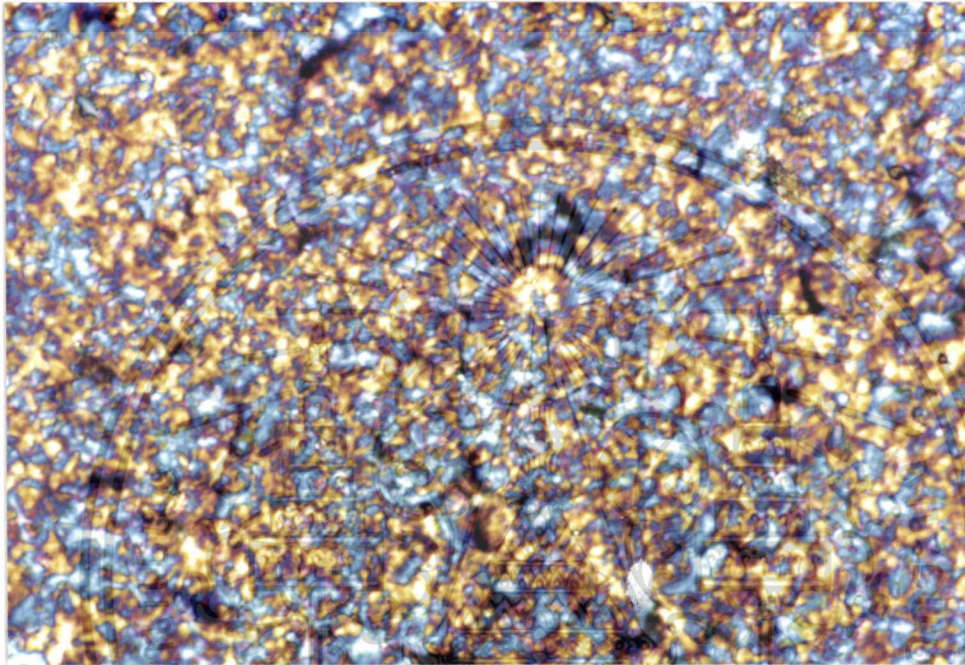
##### 5.1.1 โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลิเมอร์ (PP6331)

จากการศึกษาอัตราการตกผลึกและสมบัติเชิงกล พบว่า โซเดียมเบนโซเอท คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และ อะไคพิกแอซิด เป็นสารก่อนิวเคลียสที่ทำให้อัตราการตกผลึกของ โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลิเมอร์สูงขึ้น โดยที่ โซเดียมเบนโซเอท ทำให้อัตราการตกผลึกสูงที่สุด ซึ่งสามารถยืนยันได้ด้วยภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพแสงโพลาไรซ์ ดังรูปที่ 1 - 4



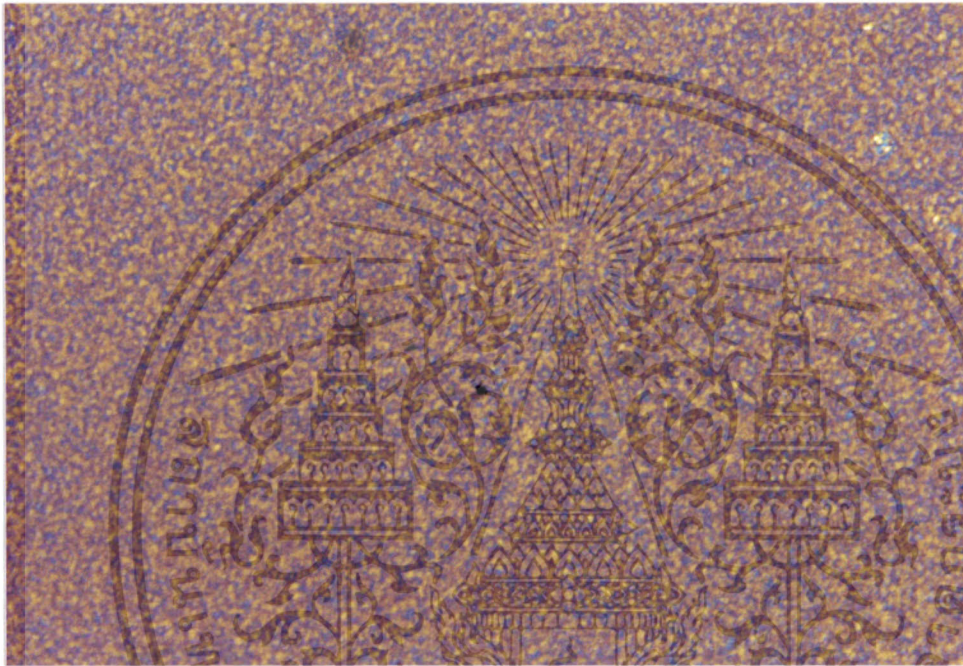
รูปที่ 1 โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลิเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนิวเคลียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลีเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 โพลีพรอพิลีน โสโมโพลีเมอร์ที่เติมคาร์บอนซีเมตเซตดูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลิเมอร์ที่เติมอะไคพิคแอซิด

จากภาพถ่ายเห็นได้ว่าโพลีพรอพิลีนไฮโมโพลิเมอร์ที่มีการเติมสารก่อนิวเคลียส มีสเฟียรูไลต์ขนาดเล็ก แต่มีปริมาณมากขึ้น

การทดลองพบว่า อะไคพิคแอซิดให้องค์ความเป็นผลึกสูงสุด สำหรับอุณหภูมิการตกผลึกนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการเย็นตัว ซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของสารก่อนิวเคลียสที่ใช้

การทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าโพลีพรอพิลีนไฮโมโพลิเมอร์ที่เติมสารก่อนิวเคลียส ทำให้ความแข็งแรงดึงสูงขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มอดูลัส และความคงรูปลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก สารก่อนิวเคลียสทำให้ tie molecule ลดน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ ดังนี้

ก. โพลีพรอพิลีนโฮโมโพลิเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนนิวเคลียส มีพีคที่  $2800-3000\text{ cm}^{-1}$  แสดง C-H stretching พีคที่  $1450$  และ  $1370\text{ cm}^{-1}$  แสดง  $-\text{CH}_3$  bending พีคที่  $1470\text{ cm}^{-1}$  แสดง  $-\text{CH}_2$ -bending ส่วนพีคที่ต่ำกว่าช่วง  $1200\text{ cm}^{-1}$  อาจเกิดจากสารเติมแต่งที่บริษัทผู้ผลิตทำการผสมลงไป

ข. โพลีพรอพิลีนโฮโมโพลิเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอท มีพีคพื้นฐานที่แสดงหมู่ฟังก์ชันของโพลิเมอร์เหมือนข้อ ก. แต่มีพีคเกิดเพิ่มขึ้นได้แก่ พีคที่  $1500$  และ  $1600\text{ cm}^{-1}$  แสดง C=C ของอะโรมาติก พีคที่  $720\text{ cm}^{-1}$  แสดง 1,2,3- substituted benzene out-of-plane bending

ค. โพลีพรอพิลีนโฮโมโพลิเมอร์ที่เติมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส มีพีคเหมือนข้อ ก. และไม่มีพีคอื่นเกิดขึ้น ซึ่งโดยความเป็นจริงแล้วควรมีพีคของหมู่คาร์บอนิล แต่การที่ไม่เห็นพีคอาจจะเนื่องมาจากปริมาณของหมู่คาร์บอนิลมีน้อยเมื่อเทียบกับหมู่ฟังก์ชันอื่นในโมเลกุล

ง. โพลีพรอพิลีนโฮโมโพลิเมอร์ที่เติมอะไคฟิคแอซิด มีพีคพื้นฐานที่แสดงหมู่ฟังก์ชันของโพลิเมอร์เหมือนข้อ ก. แต่มีพีคเกิดเพิ่มขึ้นได้แก่ พีคที่  $1720\text{ cm}^{-1}$  แสดงหมู่คาร์บอนิลซึ่งพีคสามารถเห็นได้เด่นชัด ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากโครงสร้างของอะไคฟิคแอซิดมีหมู่คาร์บอนิล 2 หมู่ และอาจเกิดจากการที่อะไคฟิคแอซิดสามารถแทรกตัวเข้าไปในเนื้อโพลิเมอร์ได้ดี

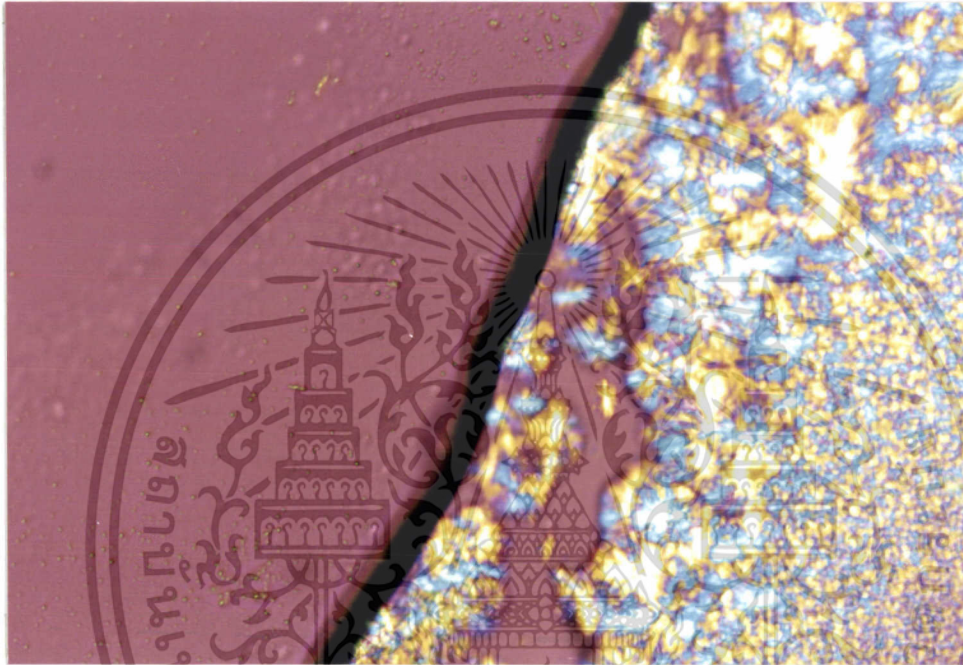
#### 5.1.2 โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ (SW-555)

จากการศึกษาอัตราการตกผลึกของโพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ พบว่าสารก่อนิวเคลียสที่ช่วยเพิ่มอัตราการตกผลึกให้สูงขึ้นได้แก่ อะไคฟิคแอซิด ส่วนโซเดียมเบนโซเอท และคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส ไม่มีผลในการเพิ่มอัตราการตกผลึกให้สูงขึ้น สามารถยืนยันได้จากภาพถ่ายที่ได้จากกล้องถ่ายภาพแสงโพลาไรซ์ ดังรูปที่ 5 - 8



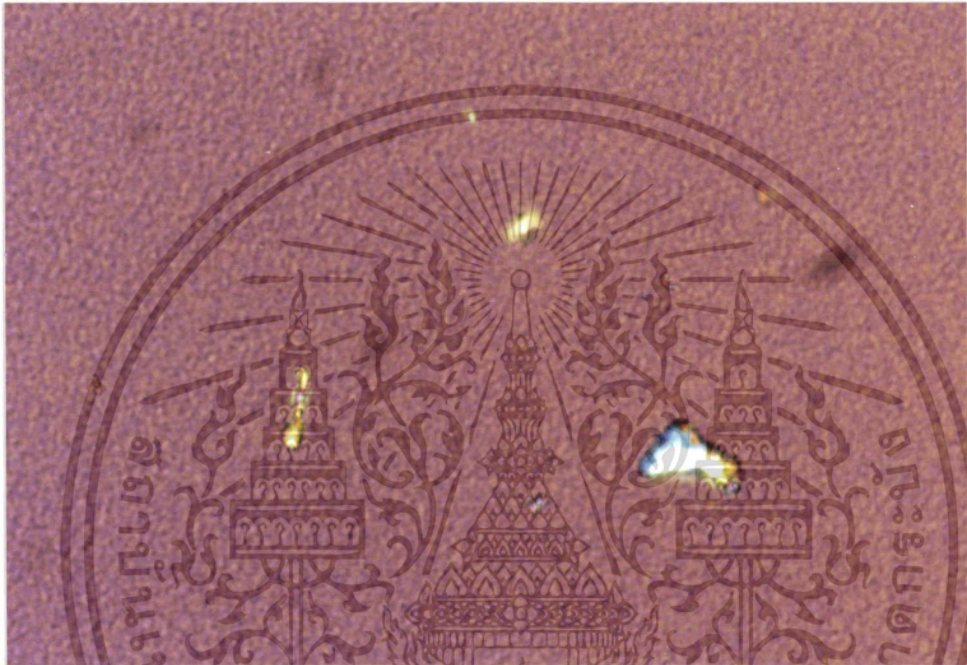
รูปที่ 5 โพลีพรอพิลีนแรนคอมโค โพลีเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนิเวศียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 โพลีพรอพิลีนเรนคอมโคโพลิเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 โพลีพรอพิลีนแรนคอม โคโพลิเมอร์ที่เติมคาร์บอนซีเมนต์เซตลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลีเมอร์ที่เติมอะไคฟิคแอซิด

จากภาพถ่ายเห็นได้ว่า โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลีเมอร์ที่เติมอะไคฟิคแอซิด ทำให้สเฟียรูไลต์มีขนาดเล็กและมีปริมาณมาก

การทดลองพบว่าสารก่อนิเวศีสทั้งสามชนิดที่เติมลงใน โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลีเมอร์ทำให้องศาความเป็นผลึกลดน้อยลงกว่าโพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลีเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนิเวศีส อุณหภูมิในการตกผลึกมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน สำหรับองศาความเป็นผลึกขึ้นกับอัตราการเย็นตัวซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของสารก่อนิเวศีสที่ใช้

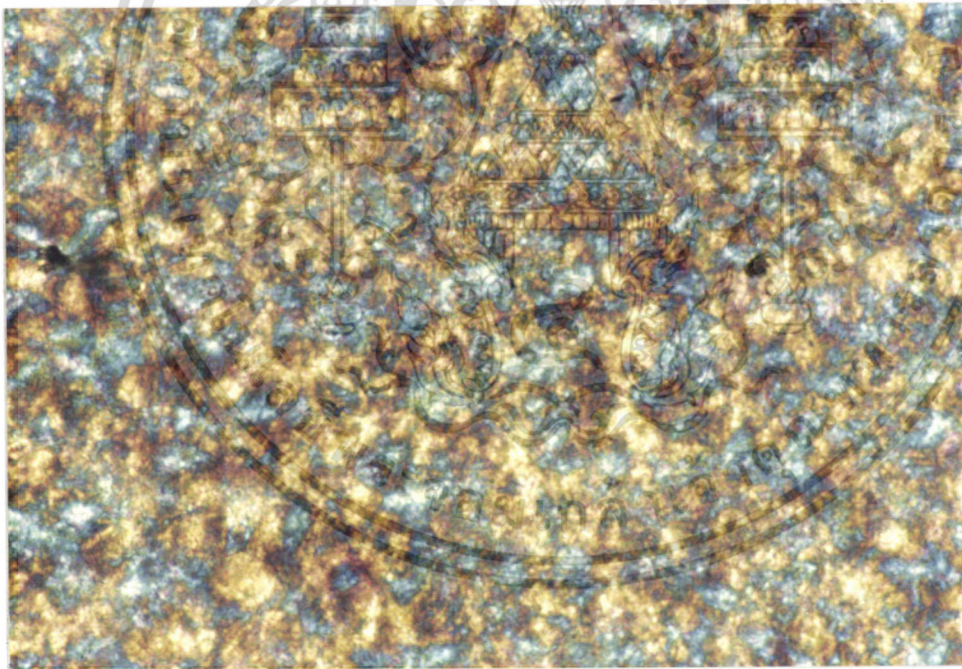
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบสมบัติเชิงกลโพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ที่เติมสารก่อนิวเคลียส ให้สมบัติเชิงกลที่ด้อยกว่าโพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนิวเคลียส ในทุกสมบัติที่ทำการทดสอบ

การทดสอบห่มู่ฟังก์ชันโดยเครื่องอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี ให้ผลการทดสอบเหมือนกับโพลีพรอพิลีนโฮโมโพลิเมอร์ในหัวข้อ 5.1.1 อย่างไรก็ตามในกรณีที่มีการเติมโซเดียมเบนโซเอทฟลักที่แสดงพันธะคู่ของวงอะโรมาติกเห็นได้ไม่ชัดเจน

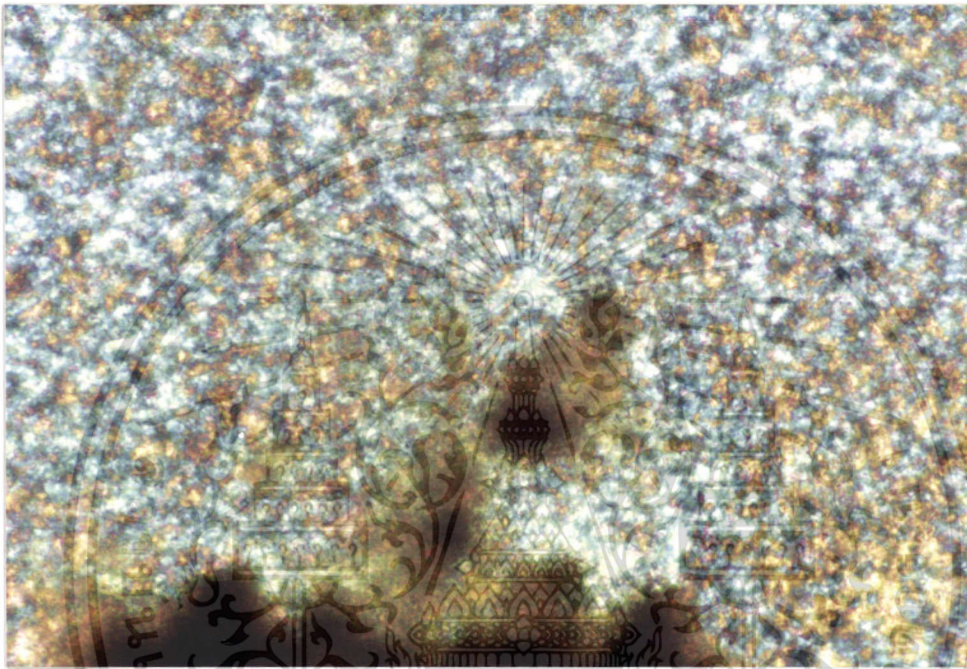
### 5.1.3 โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ (PP2300k)

จากการศึกษาอัตราการตกผลึกของโพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ พบว่าสารก่อนิวเคลียสที่เพิ่มอัตราการตกผลึกให้สูงขึ้นได้แก่ โซเดียมเบนโซเอท และ อะไดพิคแอซิด สำหรับคาร์บอนซีเมธิลเซลลูโลสไม่มีผลทำให้อัตราการตกผลึกสูงขึ้น ซึ่งสามารถยืนยันได้จากภาพถ่ายที่ได้จากกล้องถ่ายภาพแสงโพลาไรซ์ ดังรูปที่ 9 - 12



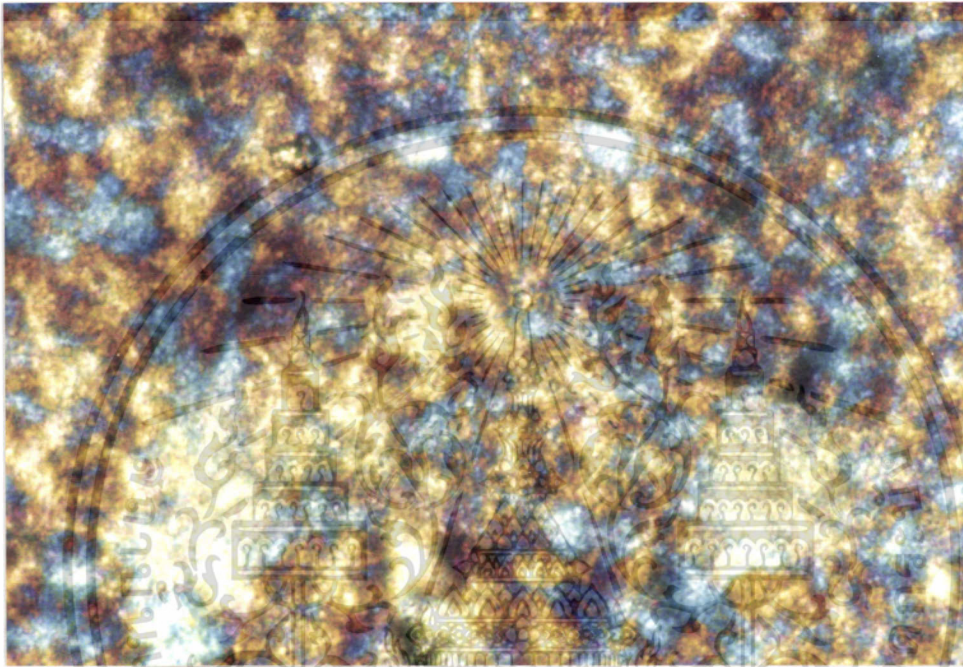
รูปที่ 9 โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนิวเคลียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



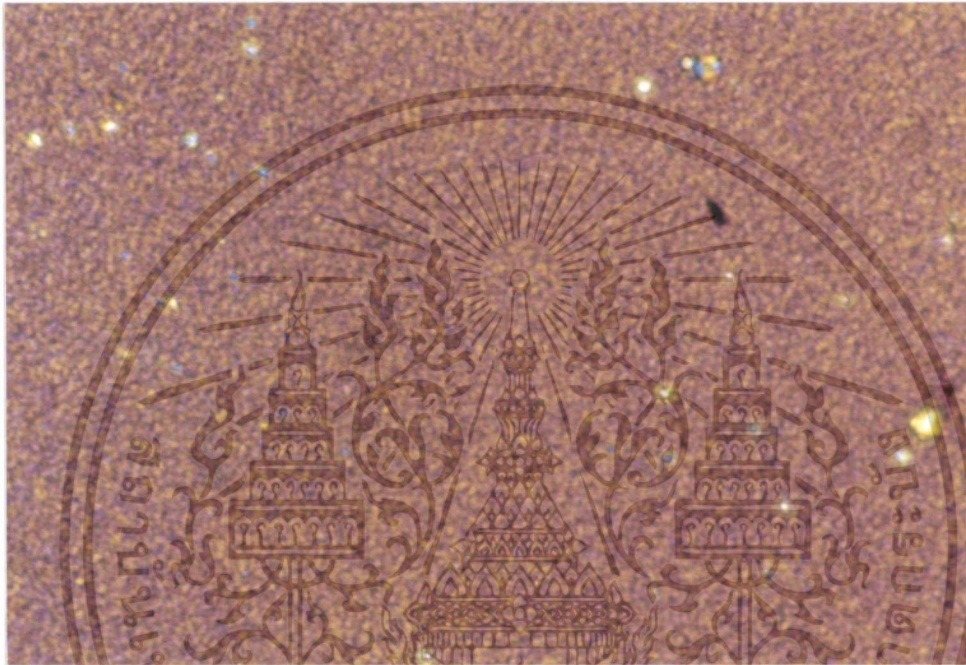
รูปที่ 10 โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ที่เติมคาร์บอนซีเมธิลเซลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 โพลีพรอพิลีนบล็อคอโคโพลีเมอร์ที่เติมอะไคฟิคแอซิด

จากภาพถ่ายพบว่าโพลีพรอพิลีนบล็อคอโคโพลีเมอร์ที่เติม โซเดียมเบนโซเอท และ อะไคฟิคแอซิด สเฟียรูไลต์มีขนาดเล็ก และมีปริมาณมาก

การทดลองพบว่าโพลีพรอพิลีนบล็อคอโคโพลีเมอร์ที่เติมสารก่อนิเวศลีส มีองศาความเป็นผลึกสูงกว่าโพลีพรอพิลีนบล็อคอโคโพลีเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนิเวศลีส สำหรับอุณหภูมิในการตกผลึกและองศาความเป็นผลึกขึ้นอยู่กับอัตราการเย็นตัว ซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของสารก่อนิเวศลีส อย่างไรก็ตาม พบว่า อะไคฟิคแอซิด เป็นสารก่อนิเวศลีสที่ทำให้อุณหภูมิในการตกผลึกและองศาความเป็นผลึกมีค่าสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าโพลีพรอพิลีนบล็อคโคโพลิเมอร์ที่เติมสารก่อนิวเคลียสทั้งสามชนิดทำให้สมบัติเชิงกลด้อยกว่าโพลีพรอพิลีนบล็อคโคโพลิเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนิวเคลียส ในทุกสมบัติที่ทำการทดสอบ

การทดสอบหุมู่ฟังก์ชันโดยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ให้ผลการวิเคราะห์คล้ายกันกับโพลีพรอพิลีนโฮโมโพลิเมอร์ และ โพลีพรอพิลีนบล็อคโคโพลิเมอร์

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ความผิดพลาดเกิดจากเครื่องมือที่ทำการผสม จากการวิจัยพบปัญหาในการควบคุมอุณหภูมิ และการทำให้สารกระจายตัวในโพลิเมอร์ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหา นี้ จะต้องหาอุปกรณ์ในการควบคุมอุณหภูมิของอุปกรณ์ให้คงที่

2. ขนาดอนุภาคของสารก่อนิวเคลียสไม่เท่ากัน ทำให้การกระจายตัวในโพลิเมอร์แตกต่างกัน ดังนั้นในการทำการวิจัย ควรจะทำการคัดขนาดของสารก่อนิวเคลียสให้มีขนาดเท่าเทียมกัน

3. ปริมาณของสารก่อนิวเคลียสที่ใช้ในงานวิจัยอาจจะไม่เหมาะสมในโพลิเมอร์ที่นำมาทดสอบ ในงานวิจัยฉบับนี้ไม่ได้ทำการศึกษาหาปริมาณของสารก่อนิวเคลียสที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน

## เอกสารอ้างอิง

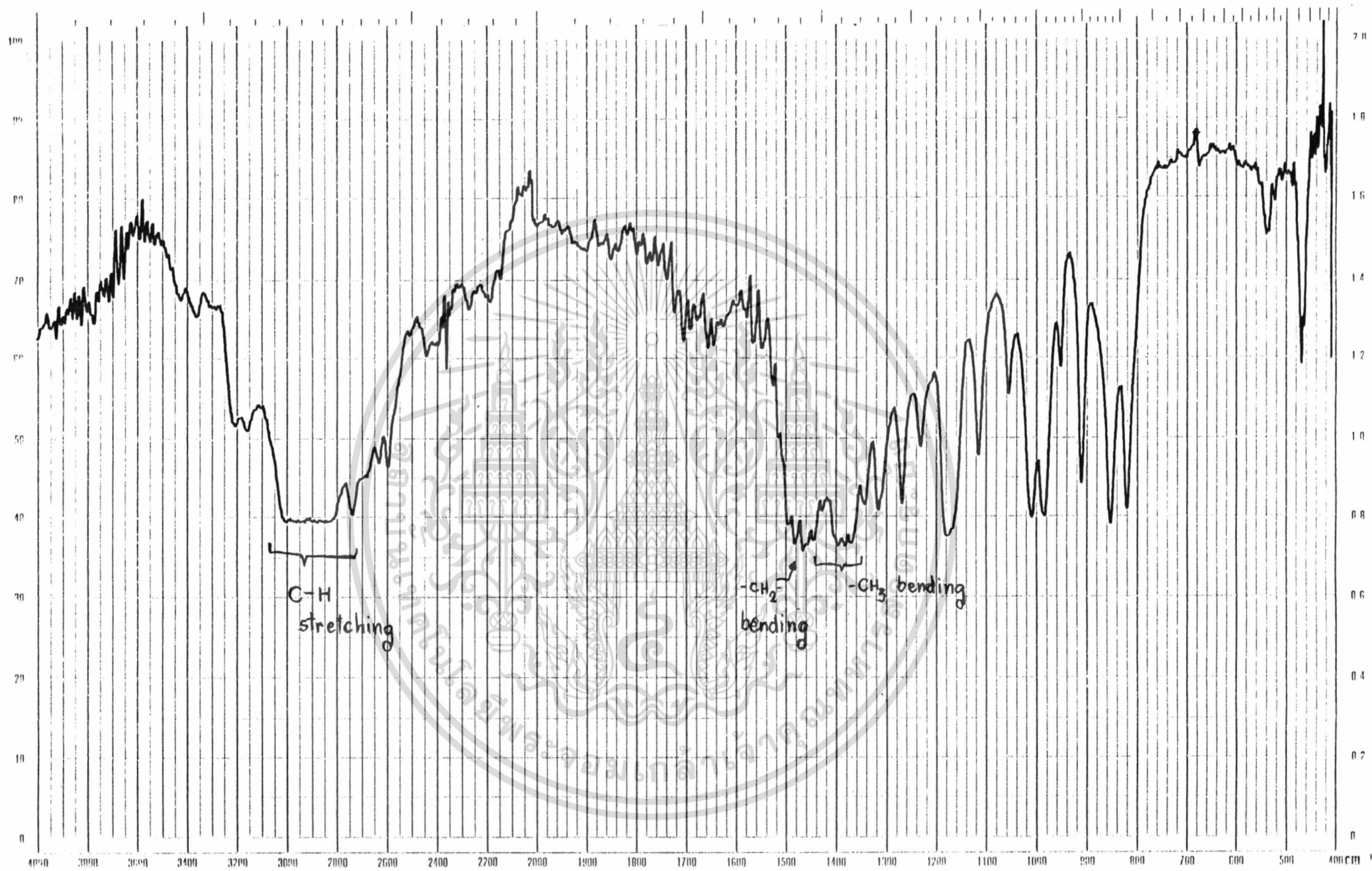
1. หน่วยงานลูกค้าสัมพันธ์ บ.เอ็ชเอ็มซี โพลีเมอร์ จำกัด ศิริน 2(2538) : 10 - 11
2. Herman S.Kaufman , Joseph J.Falcetta and John wiley & sons “Introduction to polymer Science and Technology. 5(1977) : 226 - 227
3. Ferdinand Rodriquez and Tata Mcgraw Hill “Principle of polymer systems” 1974 : 15 - 16
4. R.J. Young and P.A. Loveall “Introduction to polymer 2<sup>nd</sup> edition” 1991 : 276 - 278
5. S.M. Mash “Polymer Science Dictionary” 1989 : 287 and 428
6. R. Gachter and H. Muller “Plastic additives Handbook 2<sup>nd</sup> edition” 1987 : 671 - 376 ,  
679 - 680
7. J.C. Wittman and B.Lotz “J. Polym.Sci.Polym.Sci.Phy.Ed.” 19(1981) : 1837
8. H.N. Beck and H.D. Ledbetter “J. Appl.Polym.Sci.” 9(1965) : 2141
9. C.R. Choe and K.H. Lee “Polym.Eng.Sci.” 29(1989) : 81
- 10.A.Y. Malkin , V.P. Beghisher and I.A. Keapin “Polymer.” 24(1983) : 81
11. Y.P. Khanna “Polym.Eng.Sci.” 30(1990) : 1615
12. R. Zhang , X. Zheng , X. Lou and D. Ma “J. Appl.Polym.Sci.” 51(1994) : 51 - 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก อินฟราเรดสเปกตรัม

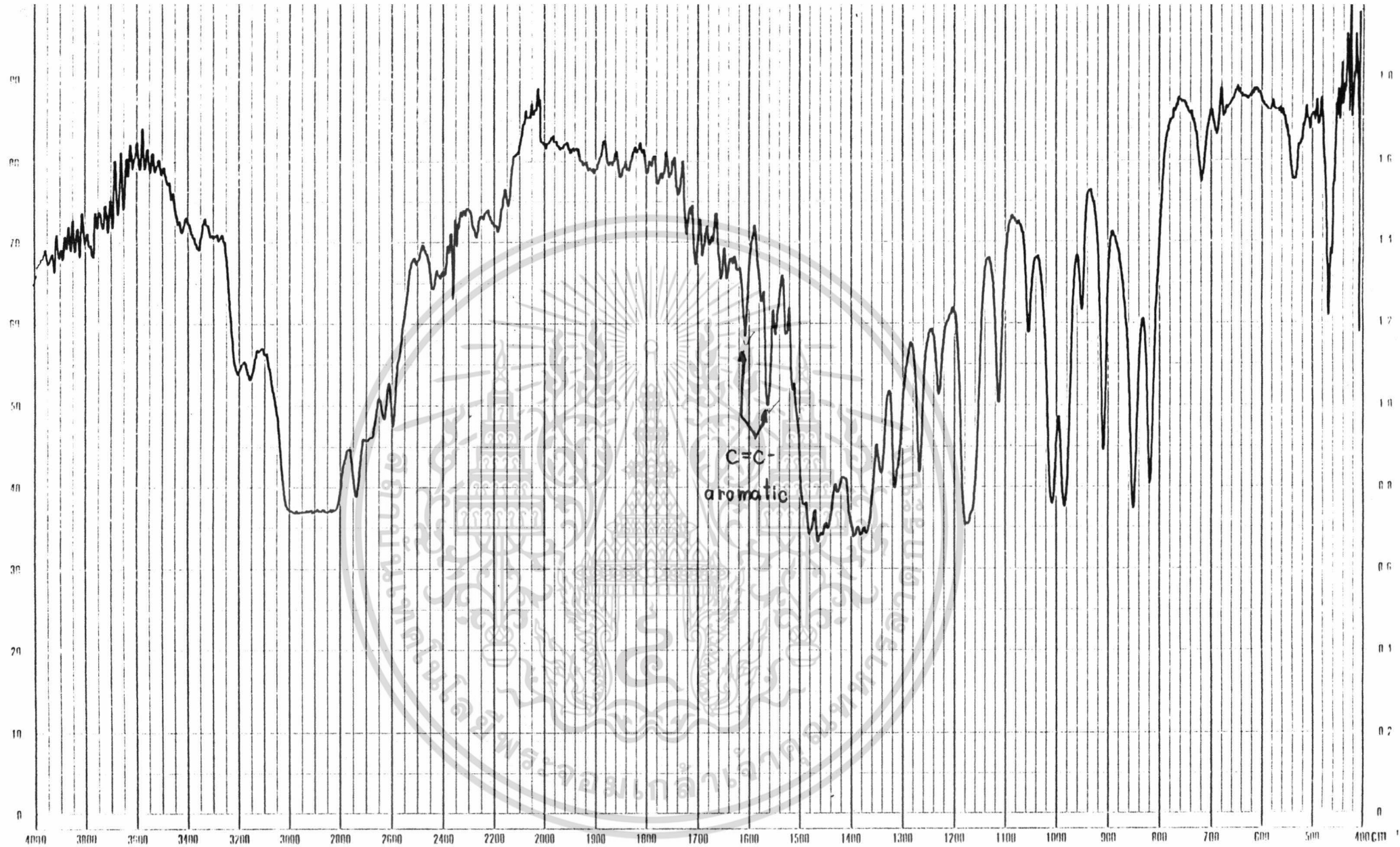


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



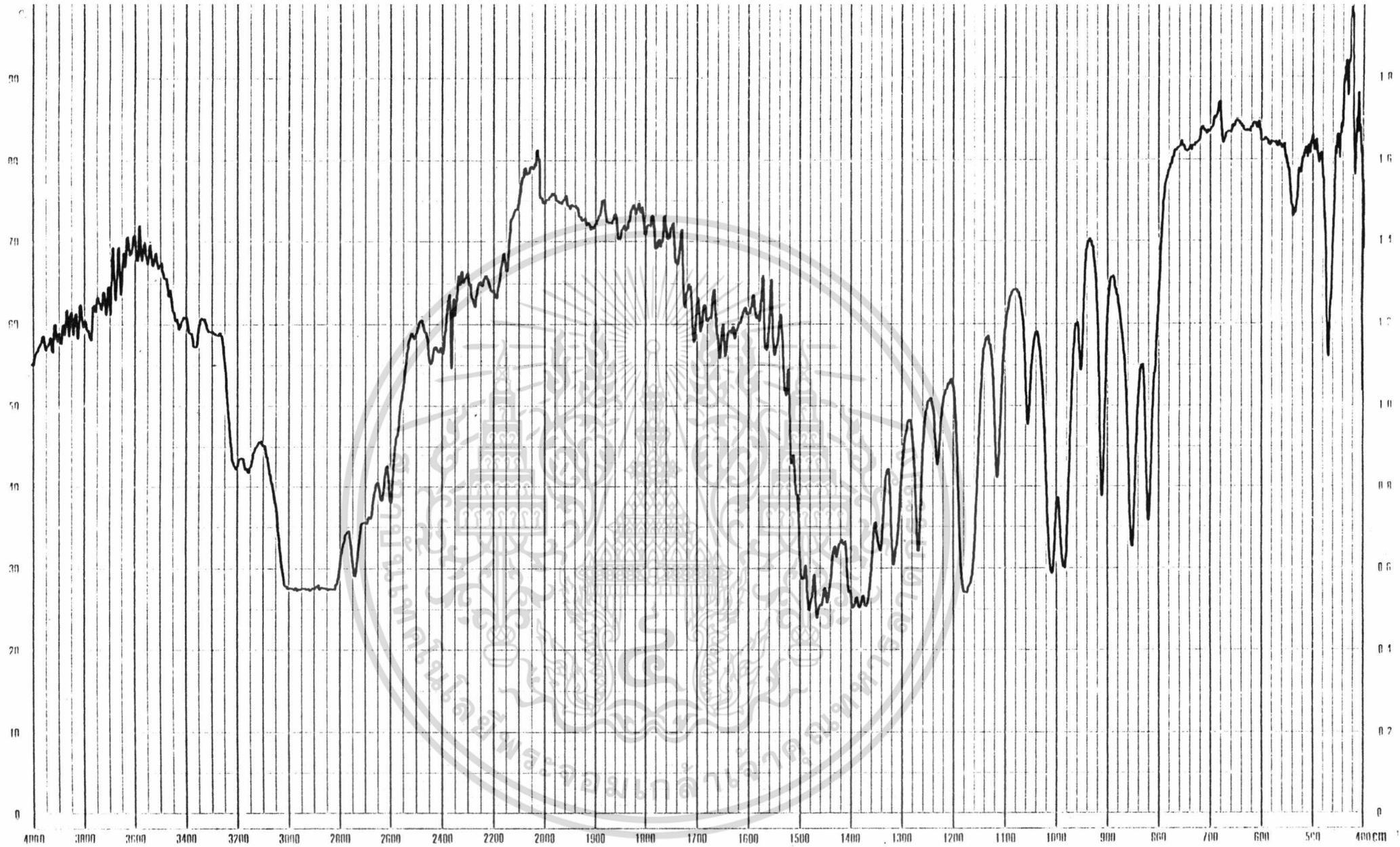
DATE	MODE	SCAN SPEED	SAMPLE	SAMPLING-METHOD	CONCENTRATION	REMARKS
	SPAN		PP Homopolymer			
OPERATOR	EXPANDER	SLIT	(multiplexing agent)	CELL-LENGTH	SOLVENT	

KOBAYASHI KIROKUSHU



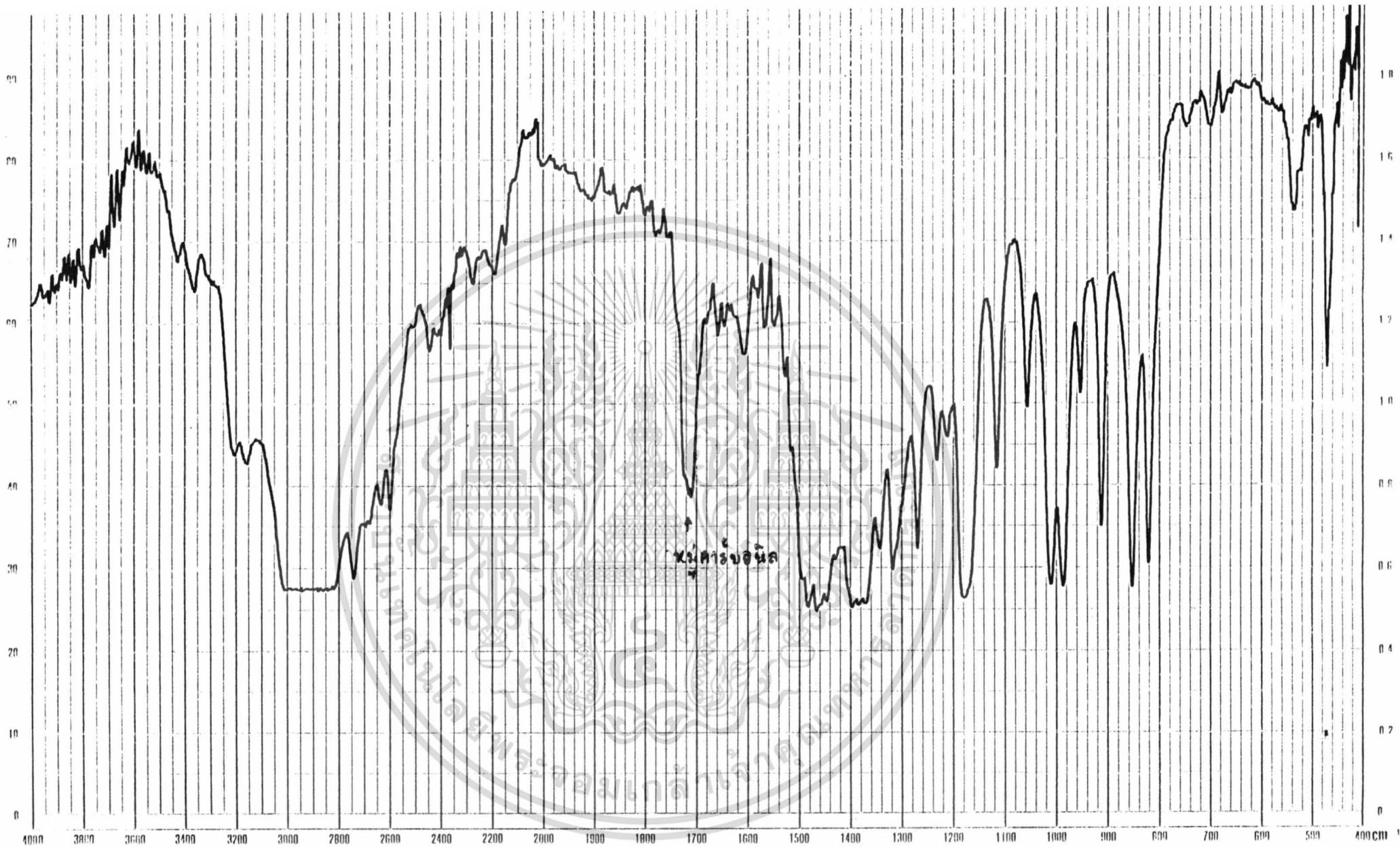
DATE	MODE	SCAN SPEED	SAMPLE PP Homopolymer + sodium benzoate	SAMPLING-METHOD	CONCENTRATION	REMARKS
OPERATOR	SPAN	SLIT		CELL-LENGTH	SOLVENT	

KOBAYASHI ELECTRON



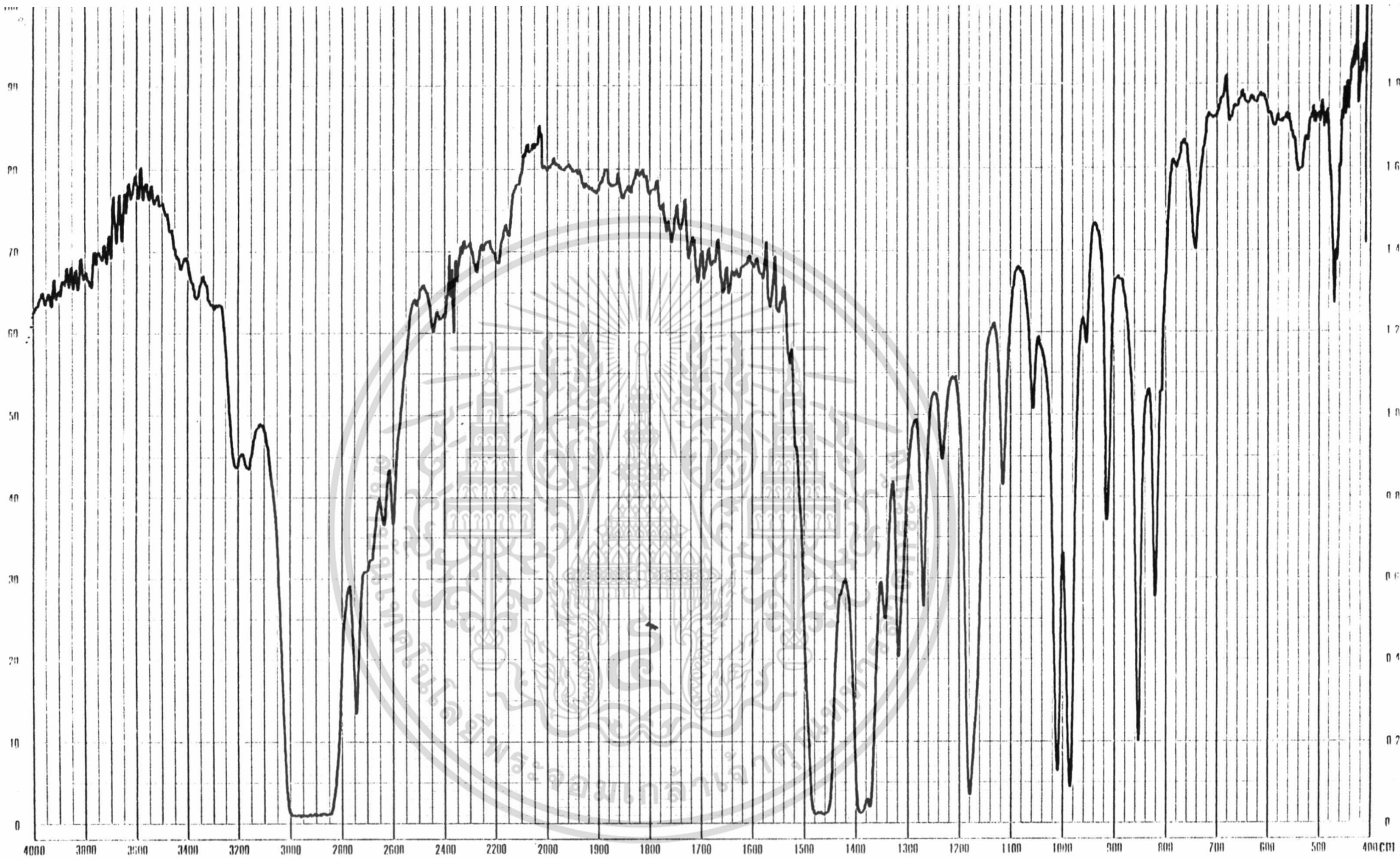
DATE	MODE	SCAN SPEED	SAMPLE PP Homopolymer + CMC	SAMPLING-METHOD	CONCENTRATION	REMARKS
OPERATOR	SPAN	SLIT		CELL-LENGTH	SOLVENT	

KORANG VIB. FIBROFIL



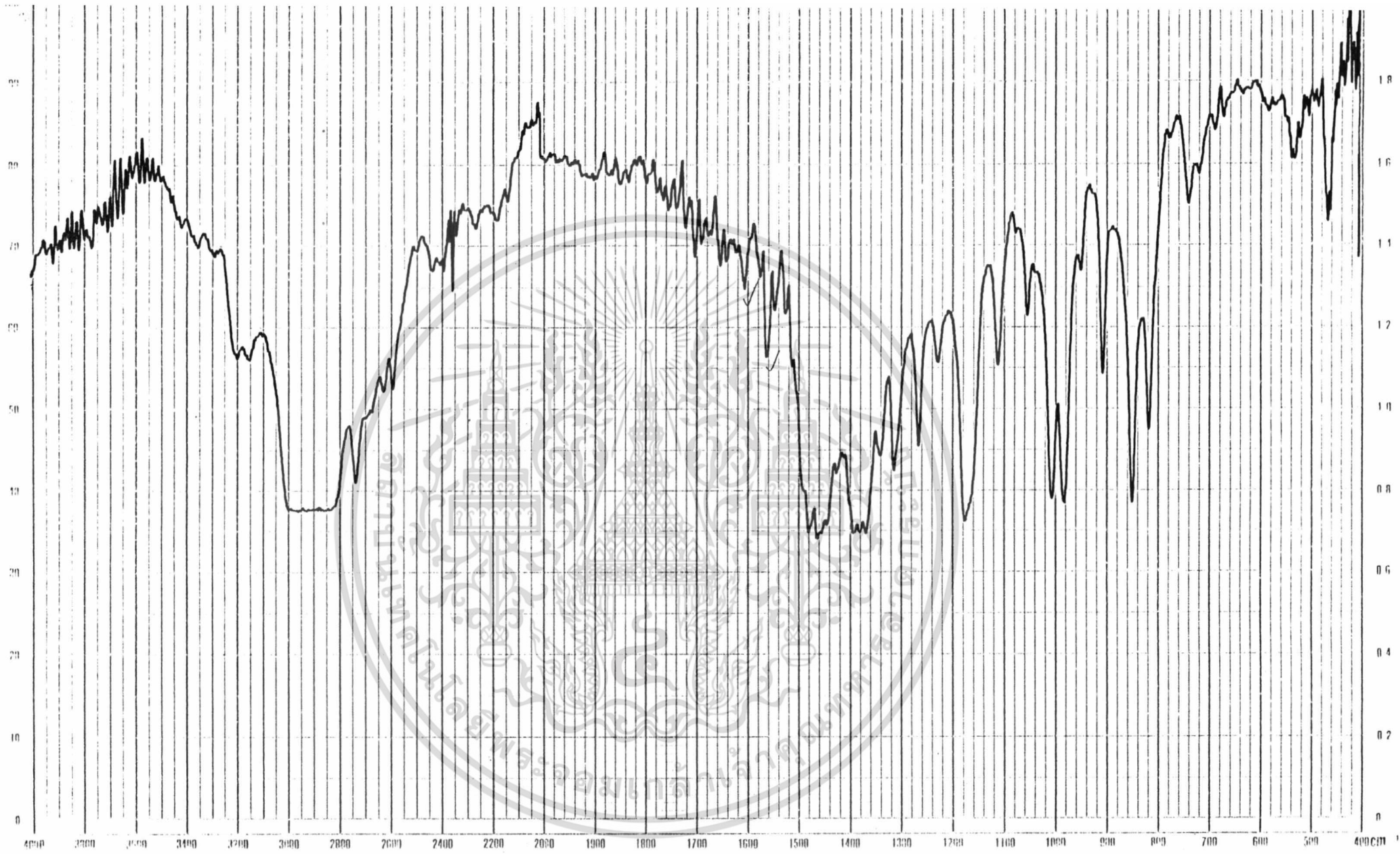
DATE	MODE	SCAN SPEED	SAMPLE	SAMPLING-METHOD	CONCENTRATION	REMARKS
	SPAN		PP Homopolymer			
OPERATOR	EXPANDER	SLIT	+ adipic acid	CELL-LENGTH	SOLVENT	

KORAYASHI ELECTRONIC



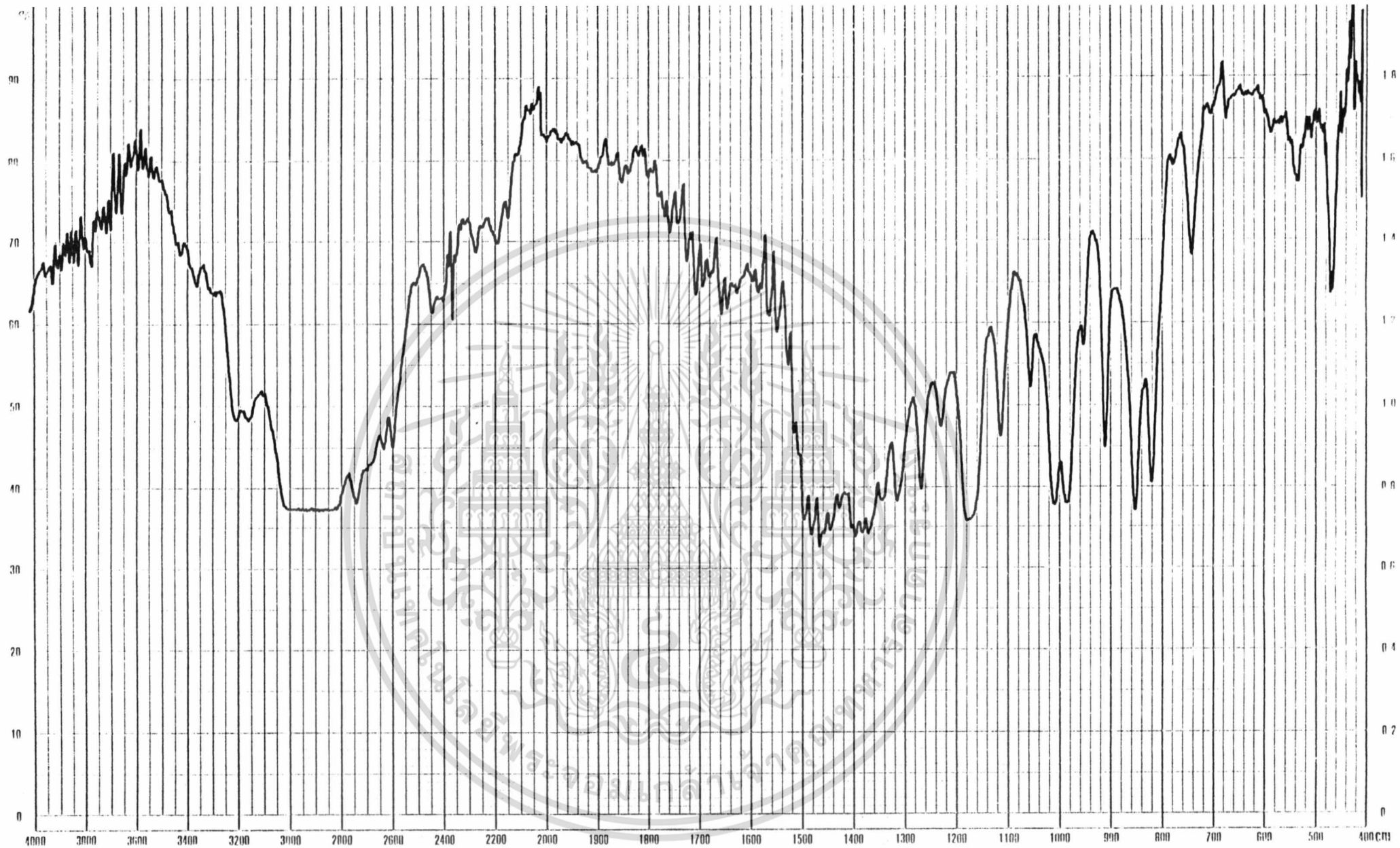
DATE	MODE	SCAN SPEED	SAMPLE	SAMPLING-METHOD	CONCENTRATION	REMARKS
	SPAN		PP Random copolymer (unnucleating agent)			
OPERATOR	W/EXPANDER	SLIT		CELL-LENGTH	SOLVENT	

KORAYASHI ELECTRONIC



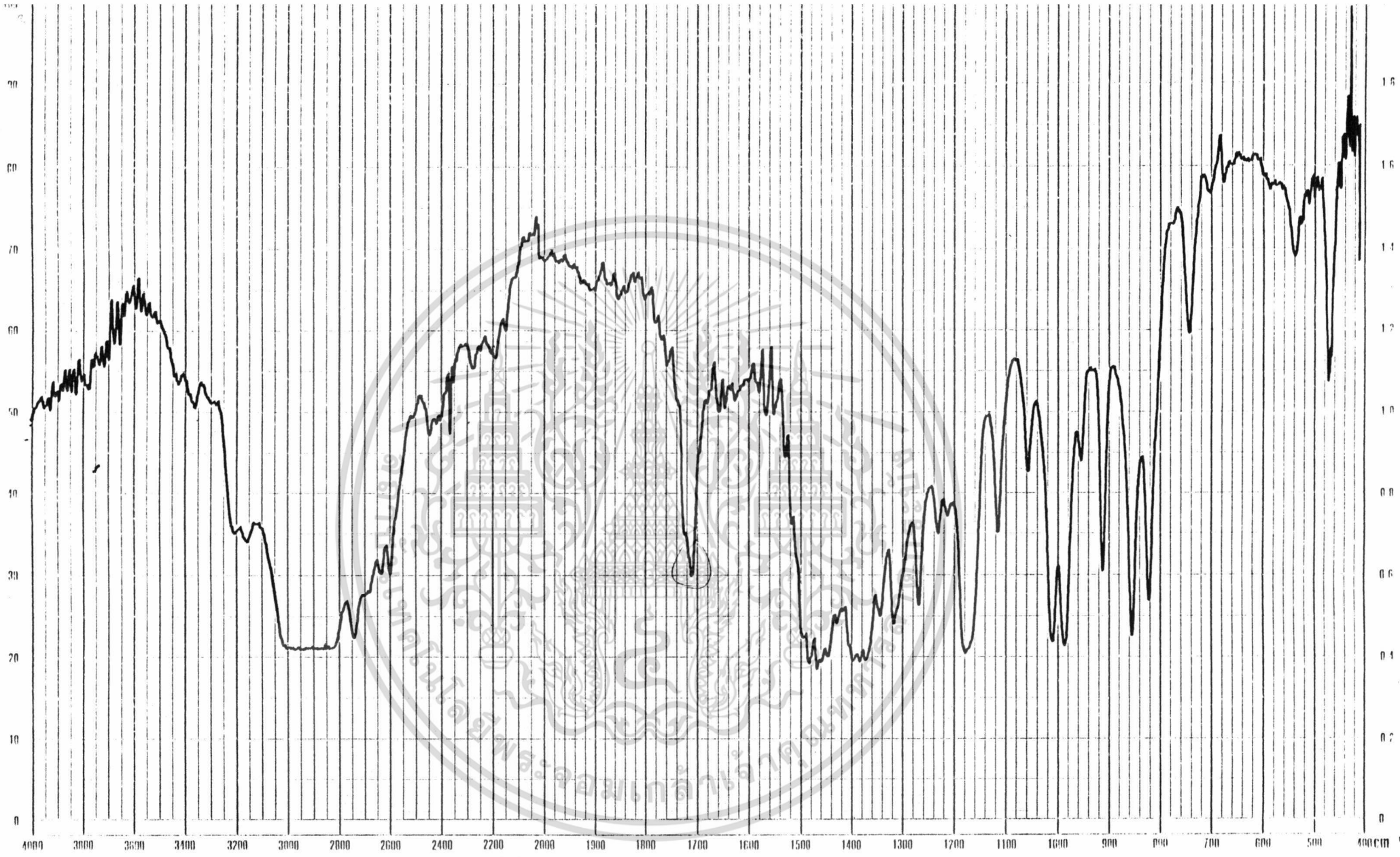
DATE	MODE	SCAN SPEED	SAMPLE	SAMPLING-METHOD	CONCENTRATION	REMARKS
OPERATOR	EXPANDER	SLIT	PP Randomcopolymer +sodium benzoate	CELL-LENGTH	SOLVENT	

KOBAYASHI ELECTRONIC



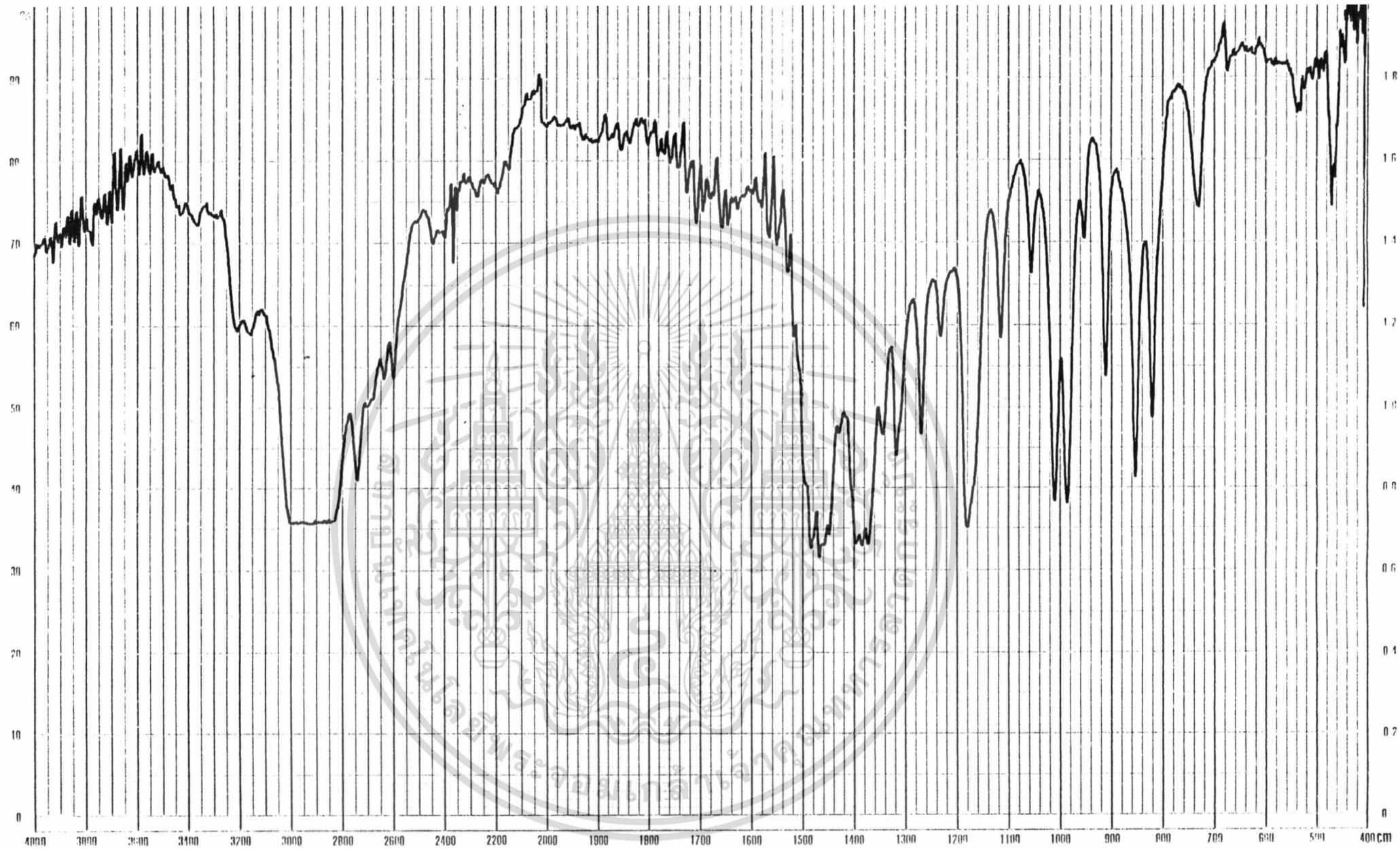
DATE	MODE	SCAN SPEED	SAMPLE	SAMPLING-METHOD	CONCENTRATION	REMARKS
	SPAN		PP Random copolymer			
OPERATOR	W/EXPANDER	SLIT	+ CMC	CELL-LENGTH	SOLVENT	

KOBAYASHI ELECTROSCOPE



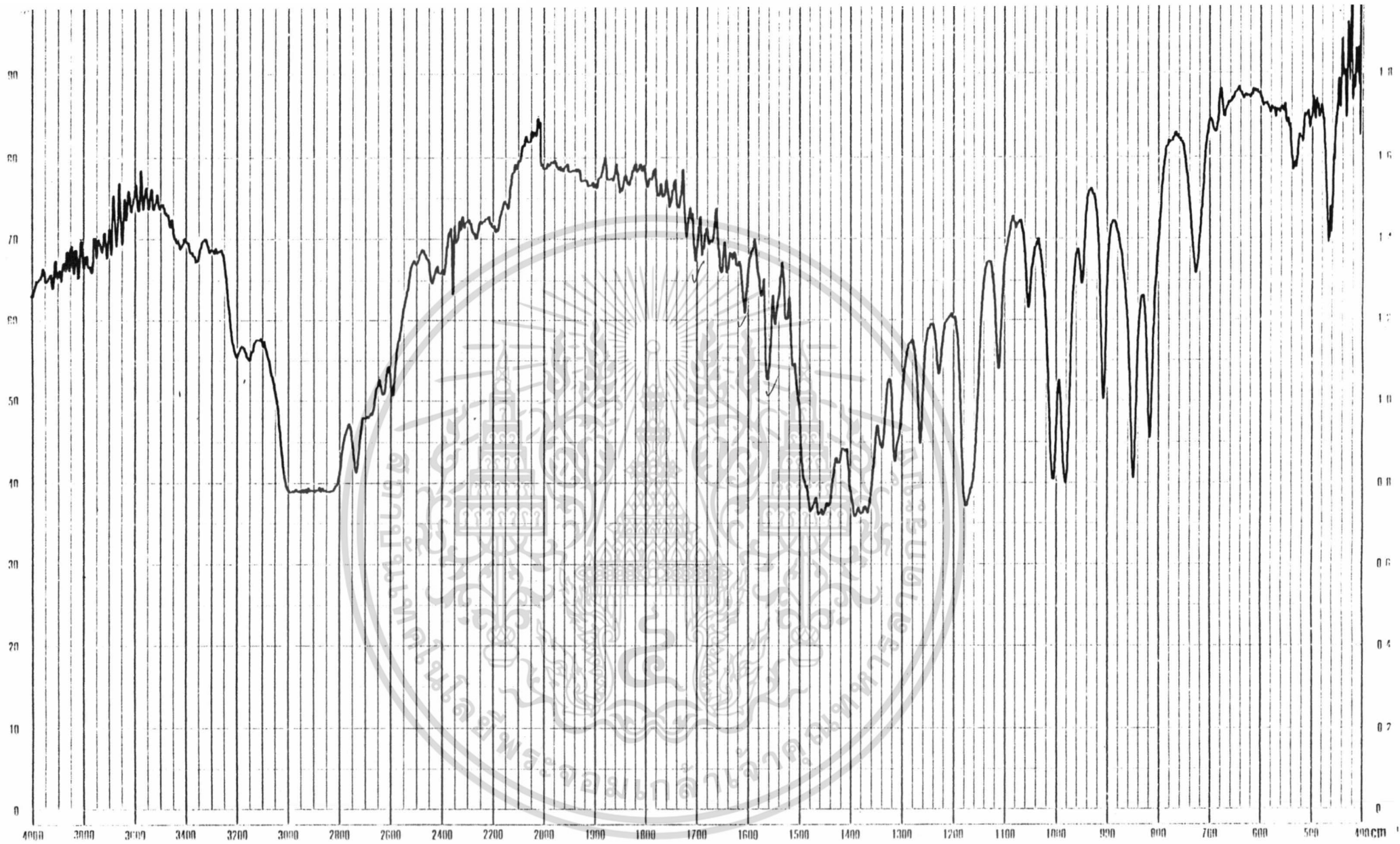
DATE	MODE	SCAN SPEED	SAMPLE PP Random copolymer + adipic acid	SAMPLING-METHOD	CONCENTRATION	REMARKS
OPERATOR	SPAN	SLIT		CELL-LENGTH	SOLVENT	
	EXPANDER					

KOBAYASHI ENGINEERING



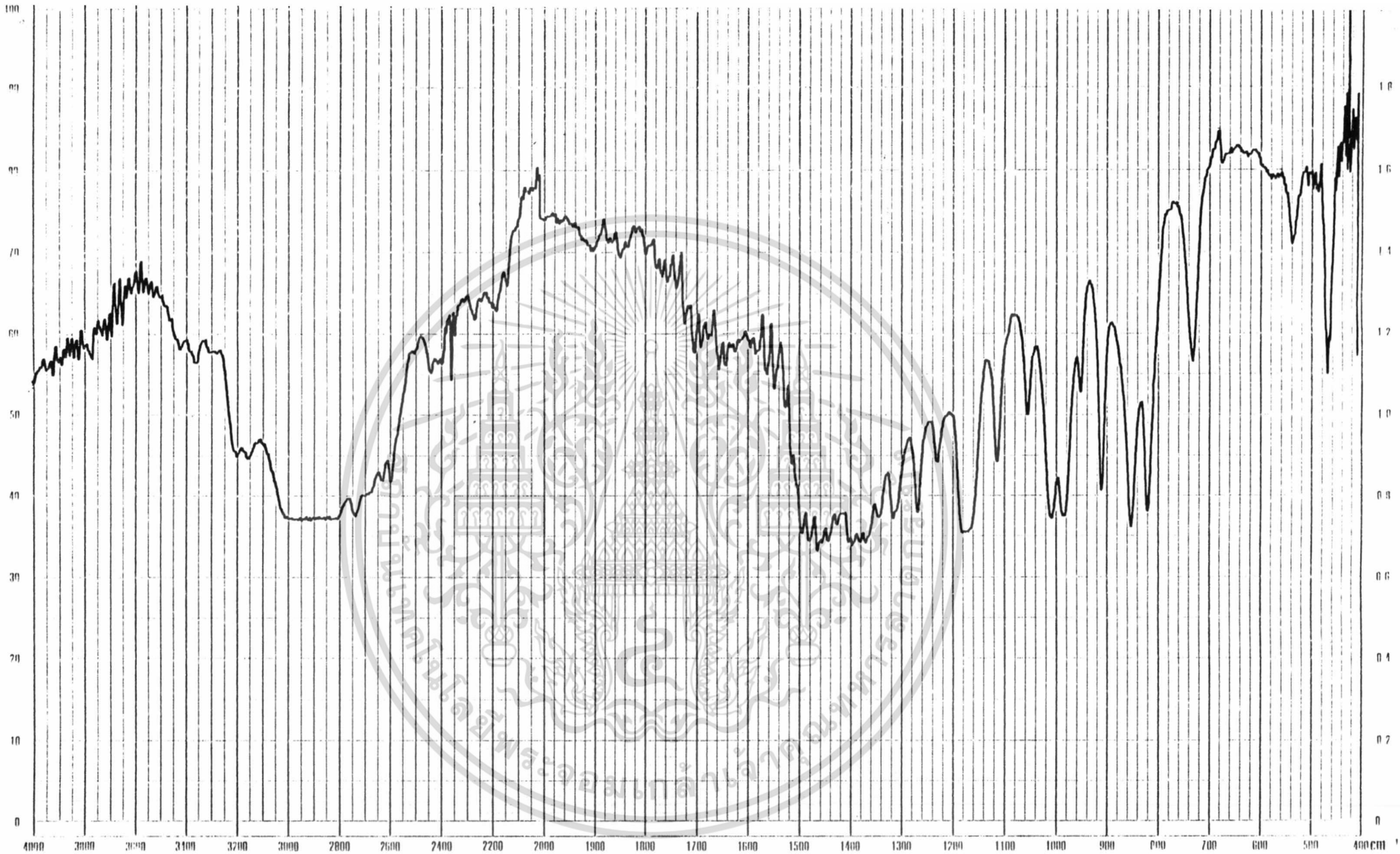
DATE	MODE	SCAN SPEED	SAMPLE	SAMPLING-METHOD	CONCENTRATION	REMARKS
	SPAN		PP Block copolymer			
OPERATOR	EXPANDER	SLIT	(nucleating agent)	CELL-LENGTH	SOLVENT	

KOBAYASHI ELECTRONIC



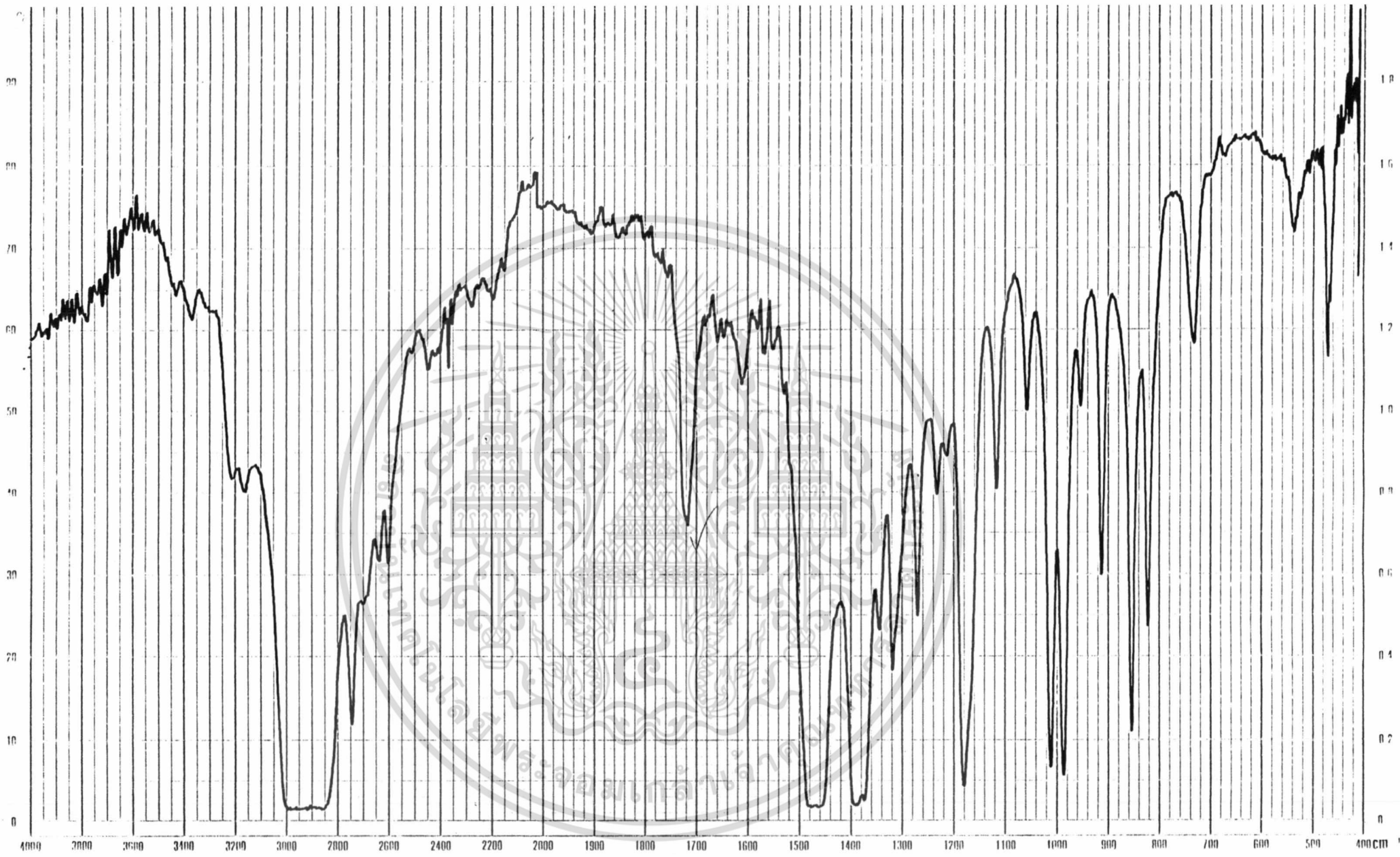
DATE	MODE	SCAN SPEED	SAMPLE	SAMPLING-METHOD	CONCENTRATION	REMARKS
	SPAN		PP Block copolymer + sodium benzoate			
OPERATOR	1/EXPANDER	SLIT		CELL-LENGTH	SOLVENT	

KOBAYASHI JIPCO PAPER



DATE	MODE	SCAN SPEED	SAMPLE	SAMPLING-METHOD	CONCENTRATION	REMARKS
	SPAN		PP Block copolymer			
OPERATOR	EXPANDER	SLIT	+ CMC	CELL-LENGTH	SOLVENT	

KODAYASHI FPO050311



DATE	MODE	SCAN SPEED	SAMPLE PP Block copolymer + adipic acid	SAMPLING-METHOD	CONCENTRATION	REMARKS
OPERATOR	SPAN	SLIT		CELL-LENGTH	SOLVENT	
	EXPANDER					

FORN VALU E PRODUKSI



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่า  $t_{1/2}$

$$t_{1/2} = T_{in} - T_c$$

$\beta$

เมื่อ  $\beta$  คืออัตราการเย็นตัว °C/min

การคำนวณค่า degree of crystallinity

$$\text{degree of crystallinity} = \frac{\Delta H}{\Delta H_c} \times 100$$

209

เมื่อ  $\Delta H$  คือพลังงานในการหลอมหรือพลังงานในการตกผลึก J/g

การคำนวณค่าความหนาแน่น (Density)

ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานพลาสติก = น้ำหนักของชิ้นงาน \* ความหนาแน่นของเมธานอล

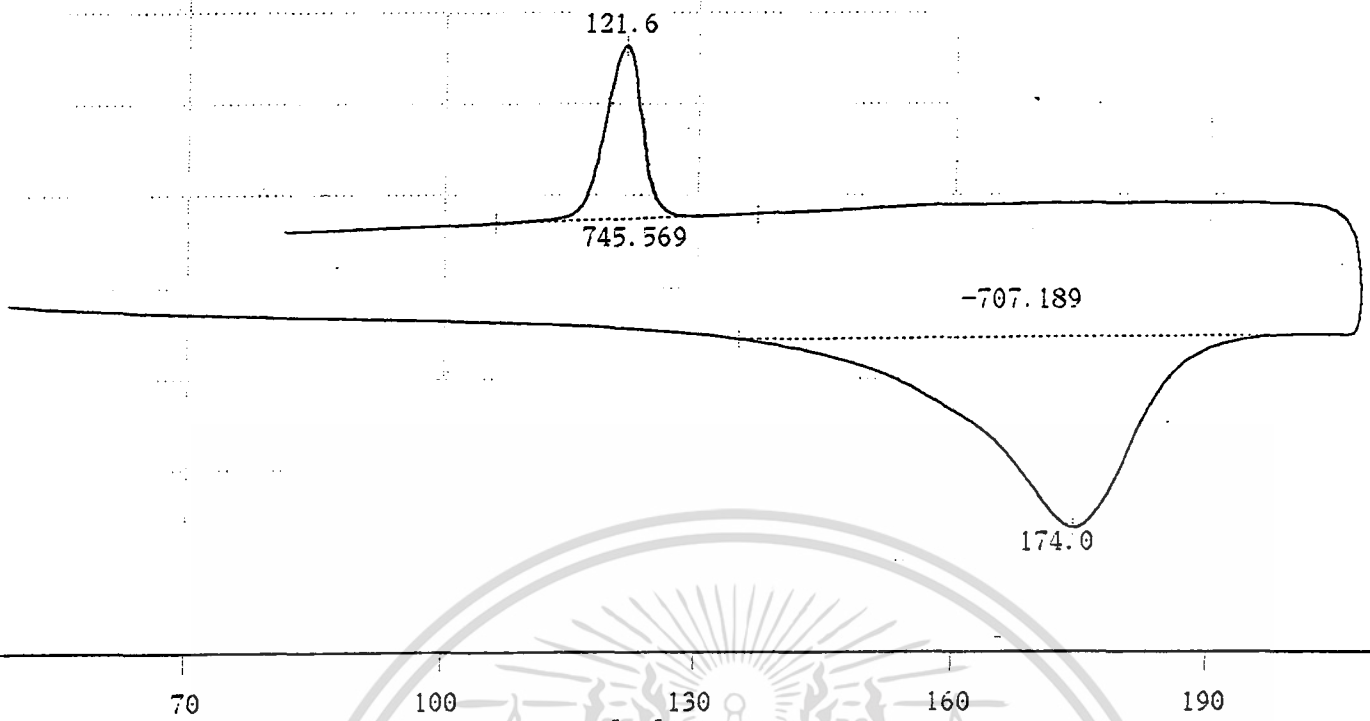
น้ำหนักรวมของชิ้นงาน - น้ำหนักของชิ้นงานที่ซั้งในเมธานอล

**ภาคผนวก ค เทอร์โมแกรมจากเครื่องดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์**

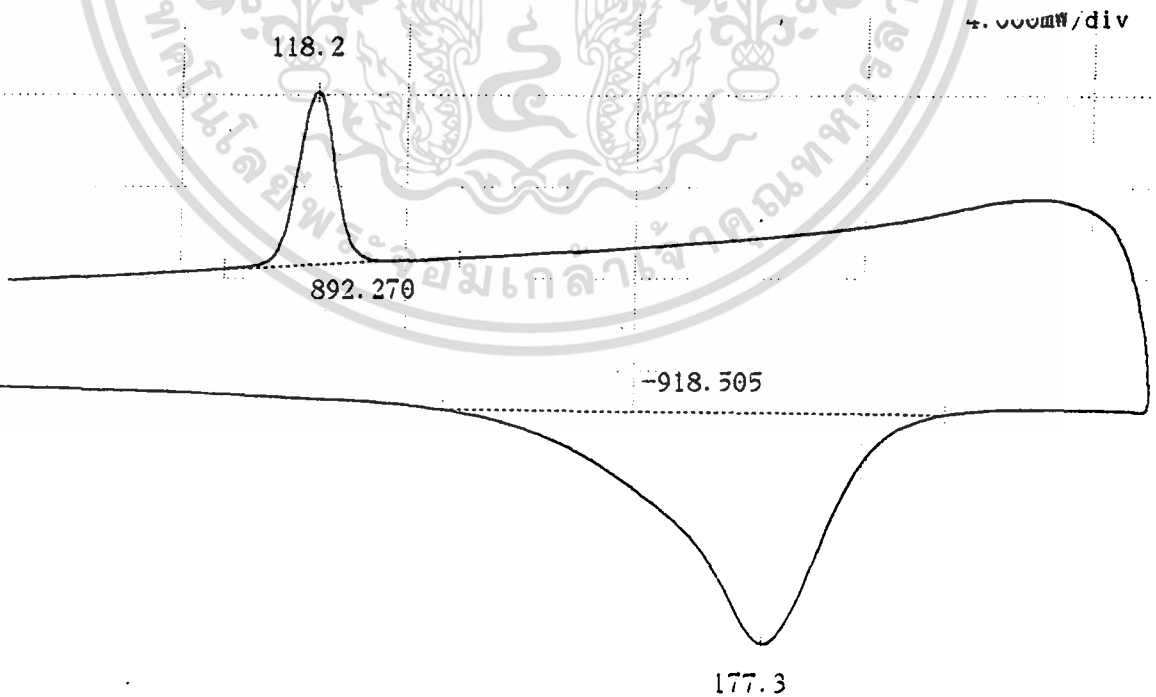


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.000mW/div



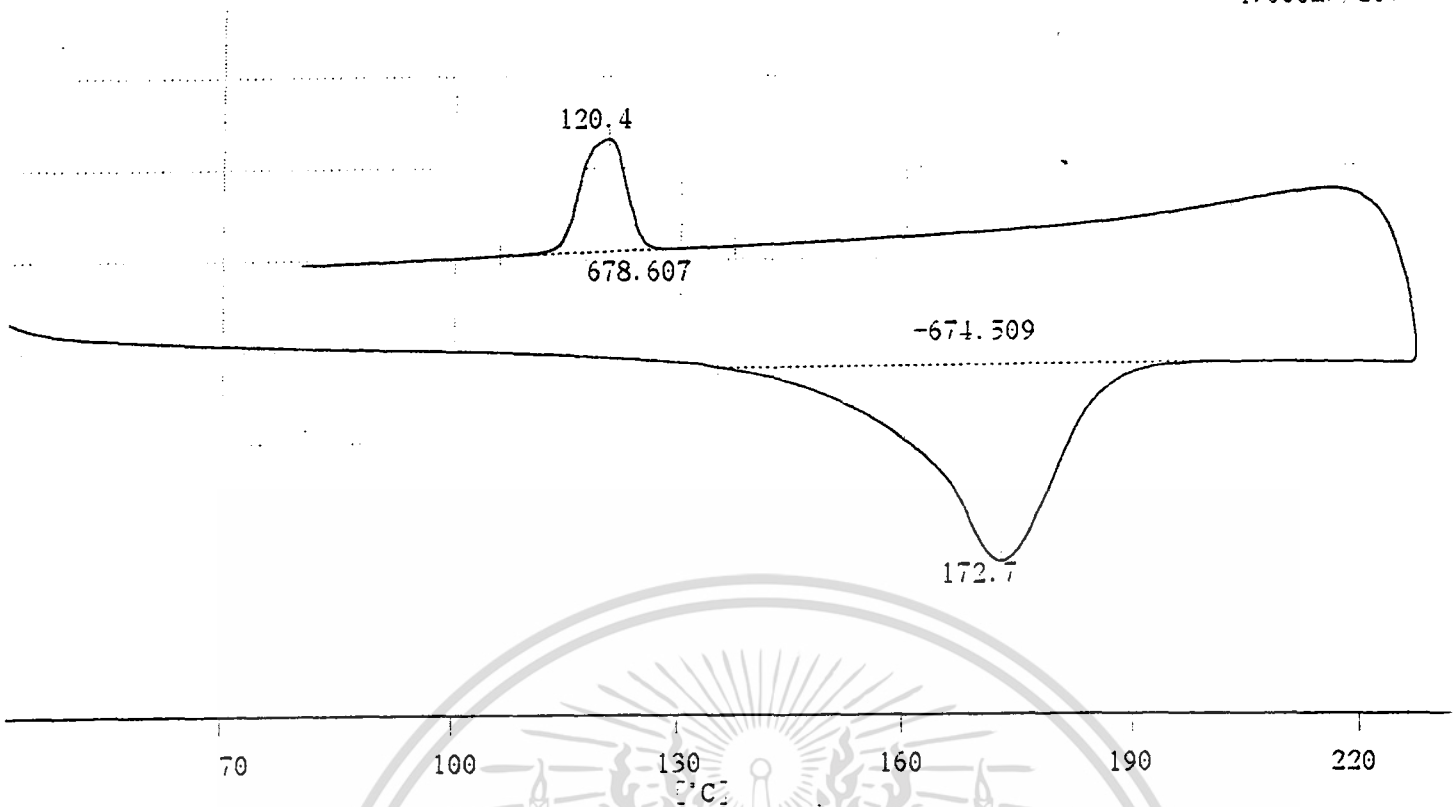
โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลิเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนิวเคลียสที่อัตราการเย็นตัว 5 °C/min



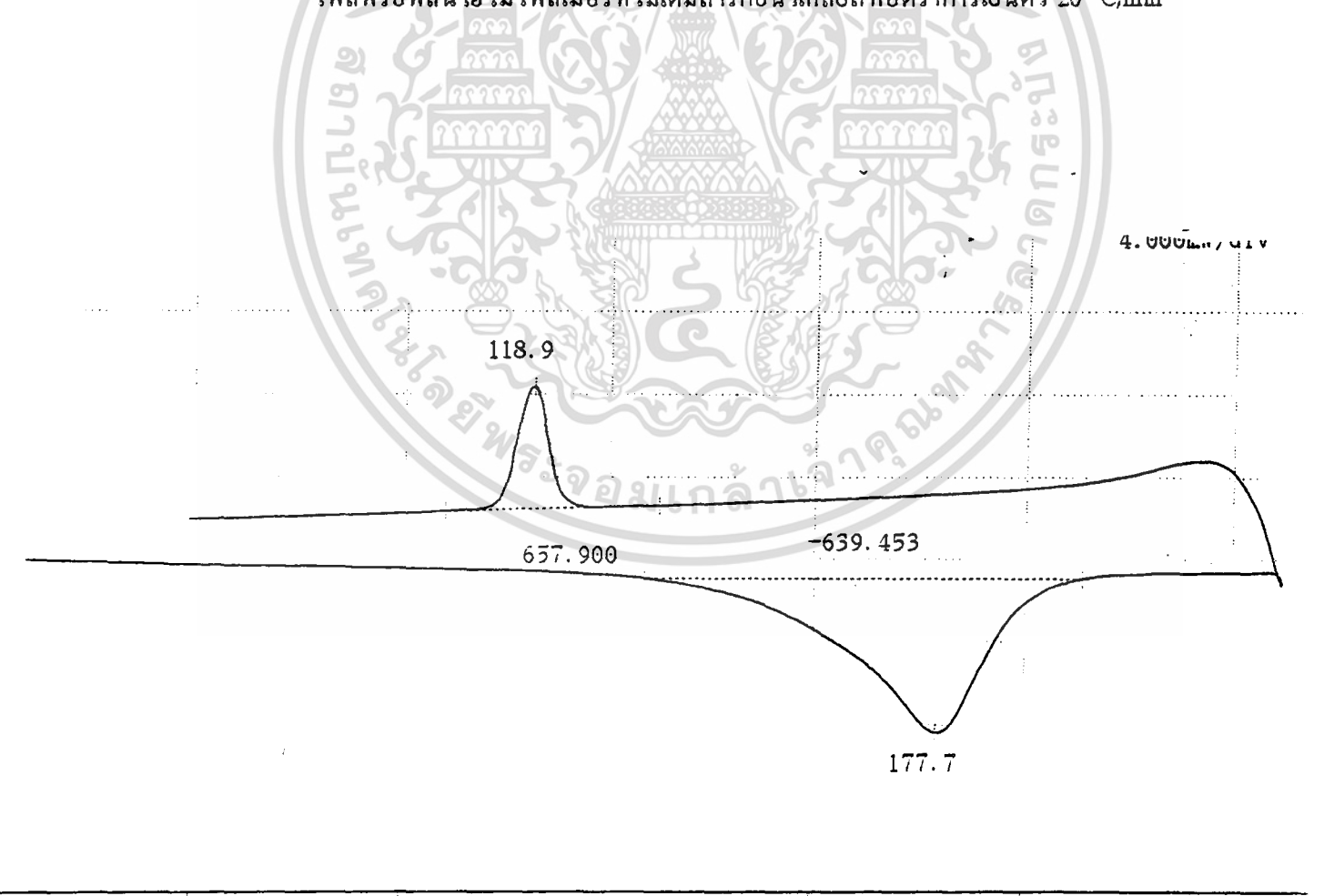
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้°Cเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น สิ่งทั้งหมดนี้ให้โดยเปล่าประโยชน์ และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลิเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนิวเคลียสที่อัตราการเย็นตัว 10 °C/min



โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลีเมอร์ที่ไม่เติมสารกอนิวเคลียสที่อัตราการขึ้นตัว 20 °C/min



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลีเมอร์ที่ไม่เติมสารกอนิวเคลียสที่อัตราการขึ้นตัว 40 °C/min

125.5

801.804

-902.459

177.1

60

90

120

150

180

210

°C

โพลีพรอพิลีน ไฮโมโพลิเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอทที่อัตราการเย็นตัว 5 °C/min

125.3

629.916

-670.892

173.4

60

90

120

150

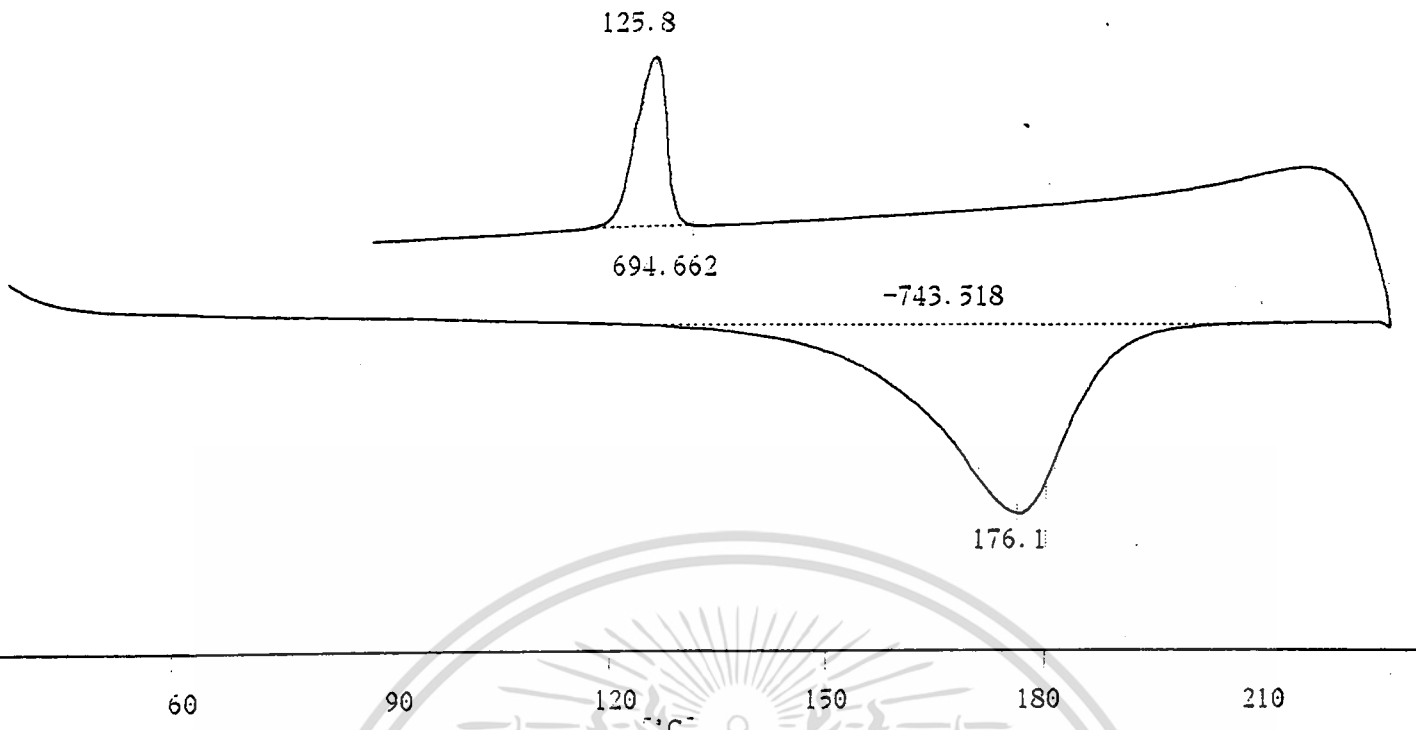
180

210

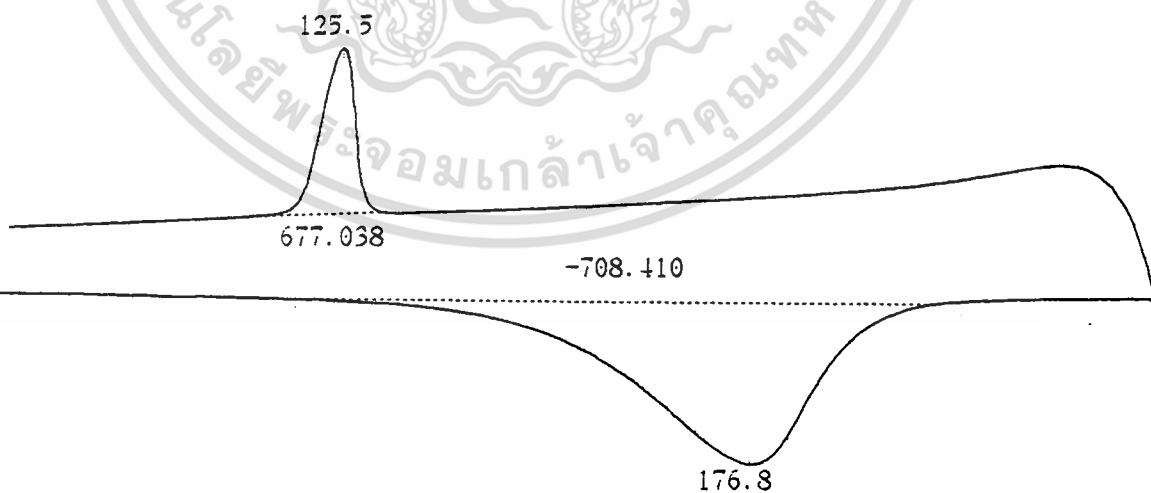
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีพรอพิลีน ไฮโมโพลิเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอทที่อัตราการเย็นตัว 10 °C/min



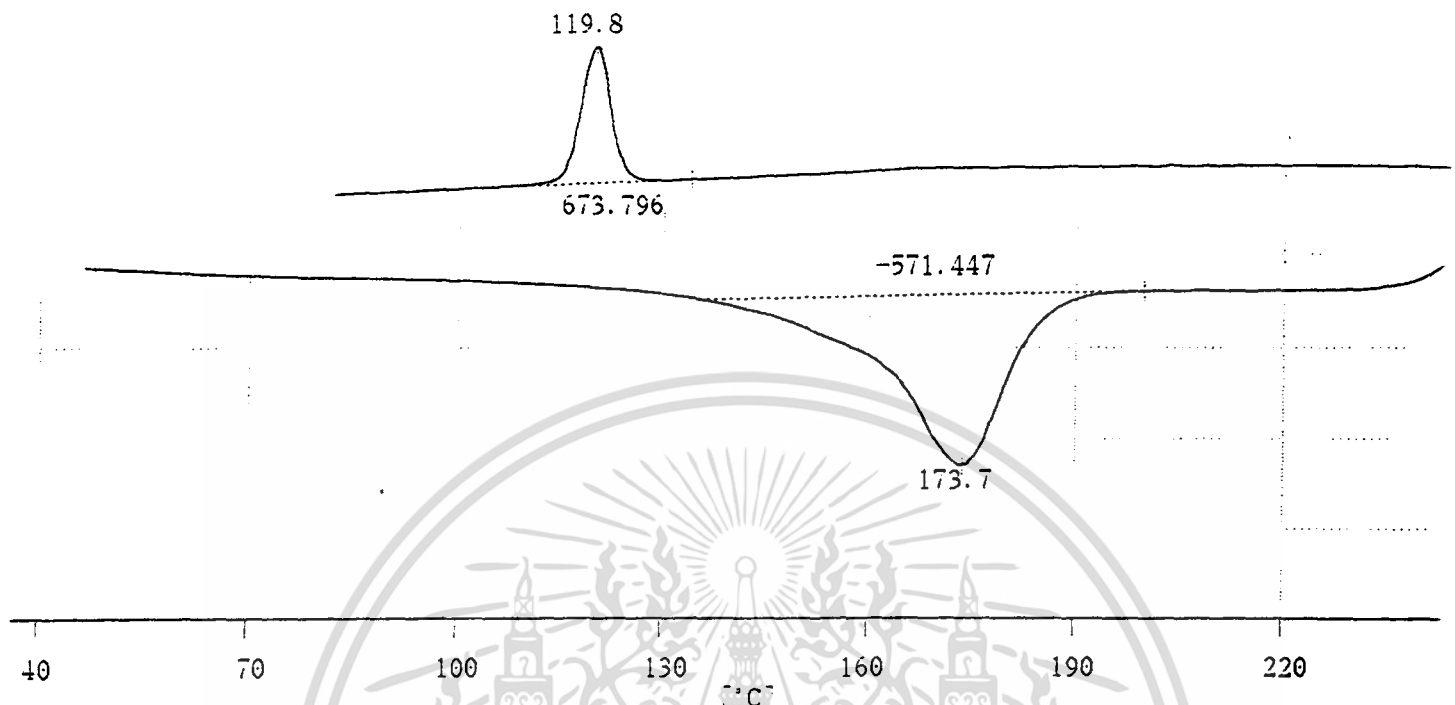
โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลีเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอทที่อัตราการเย็นตัว 20 °C/min



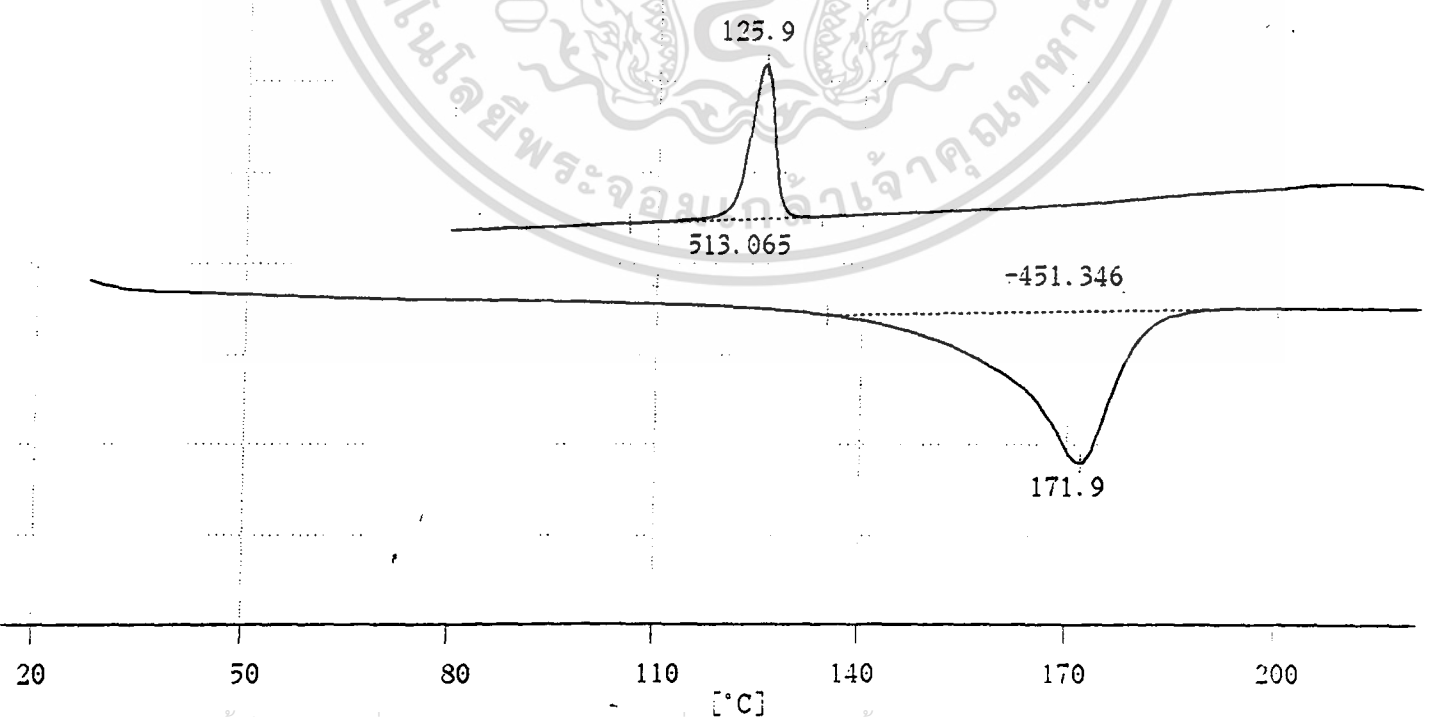
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

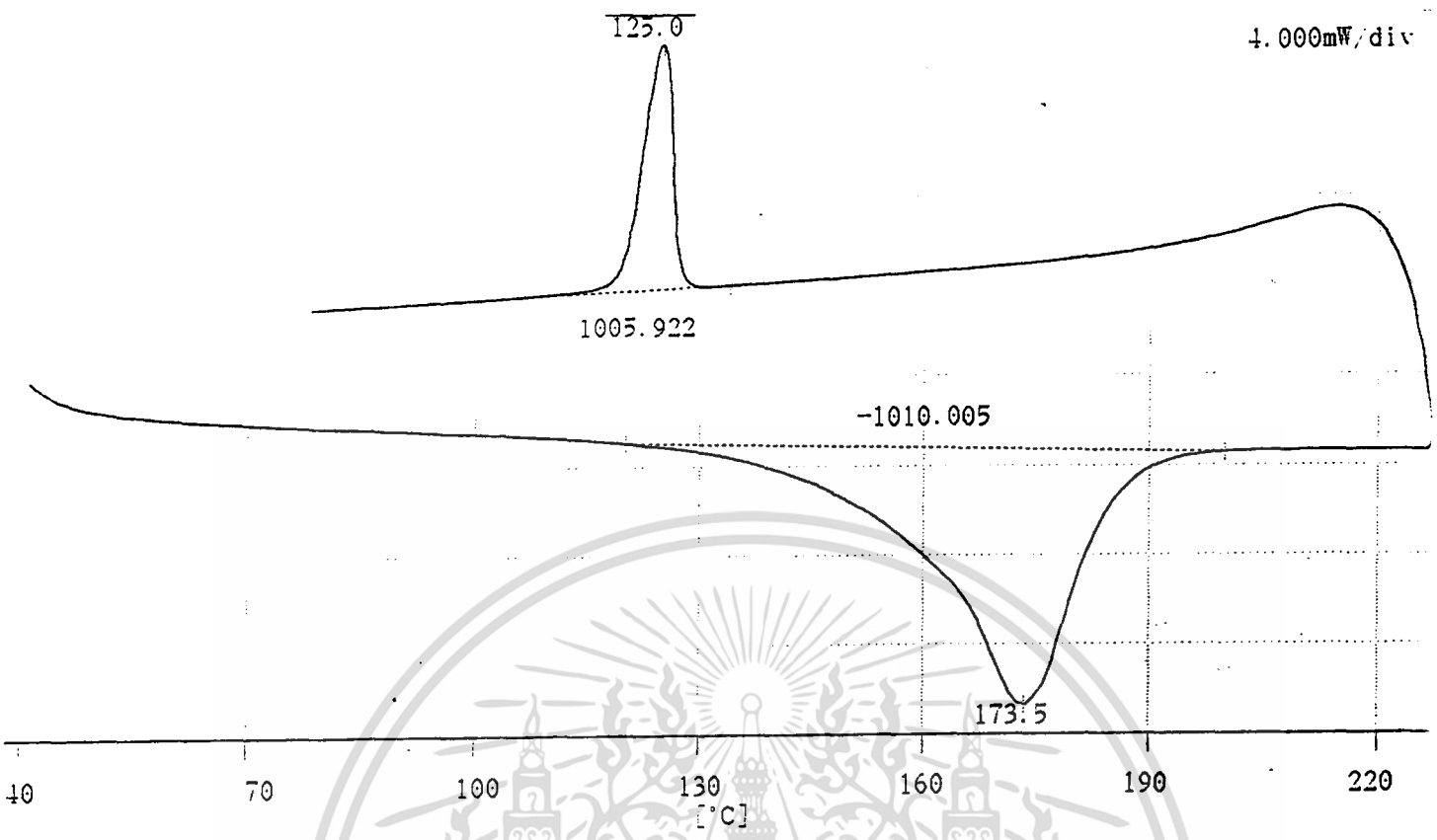
โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลีเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอทที่อัตราการเย็นตัว 40 °C/min



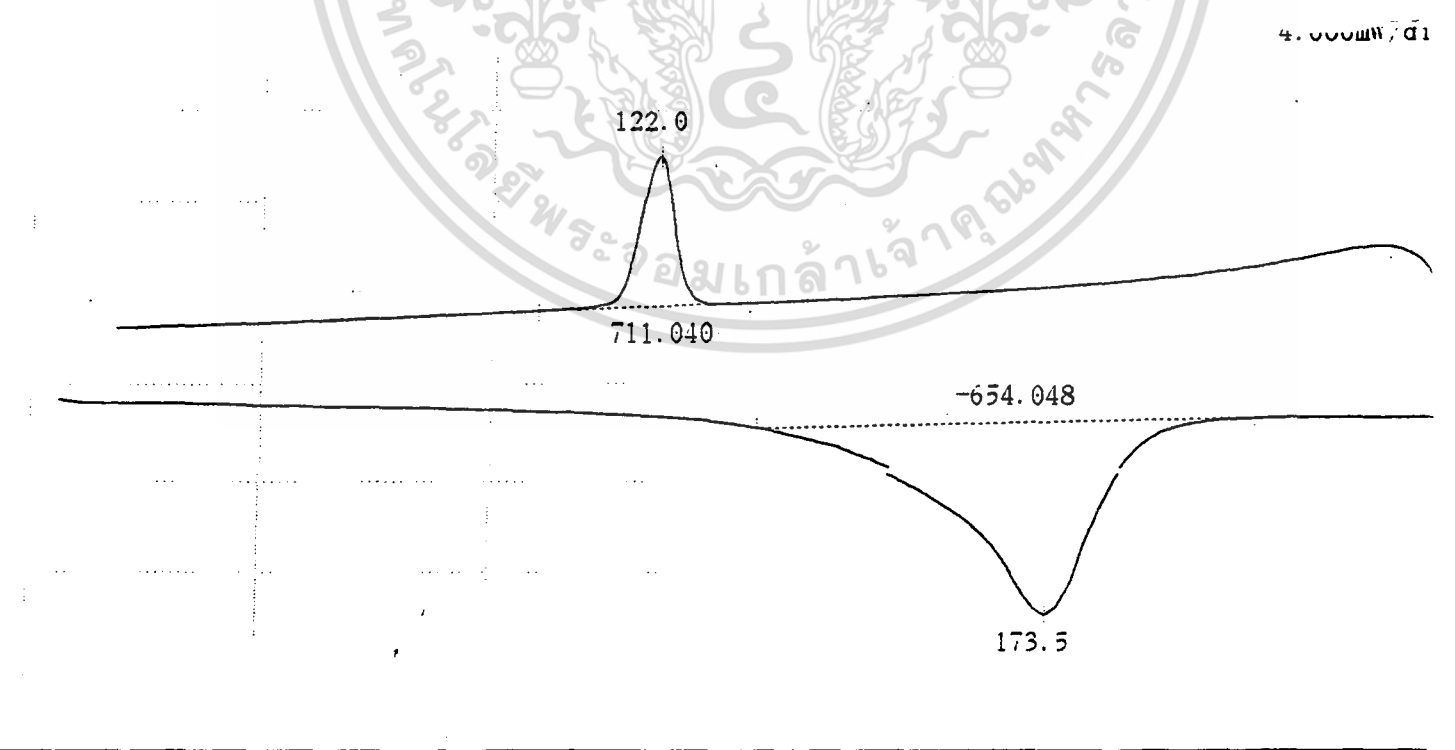
โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลิเมอร์ที่เติมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสที่อัตราการเย็นตัว 5 °C/min



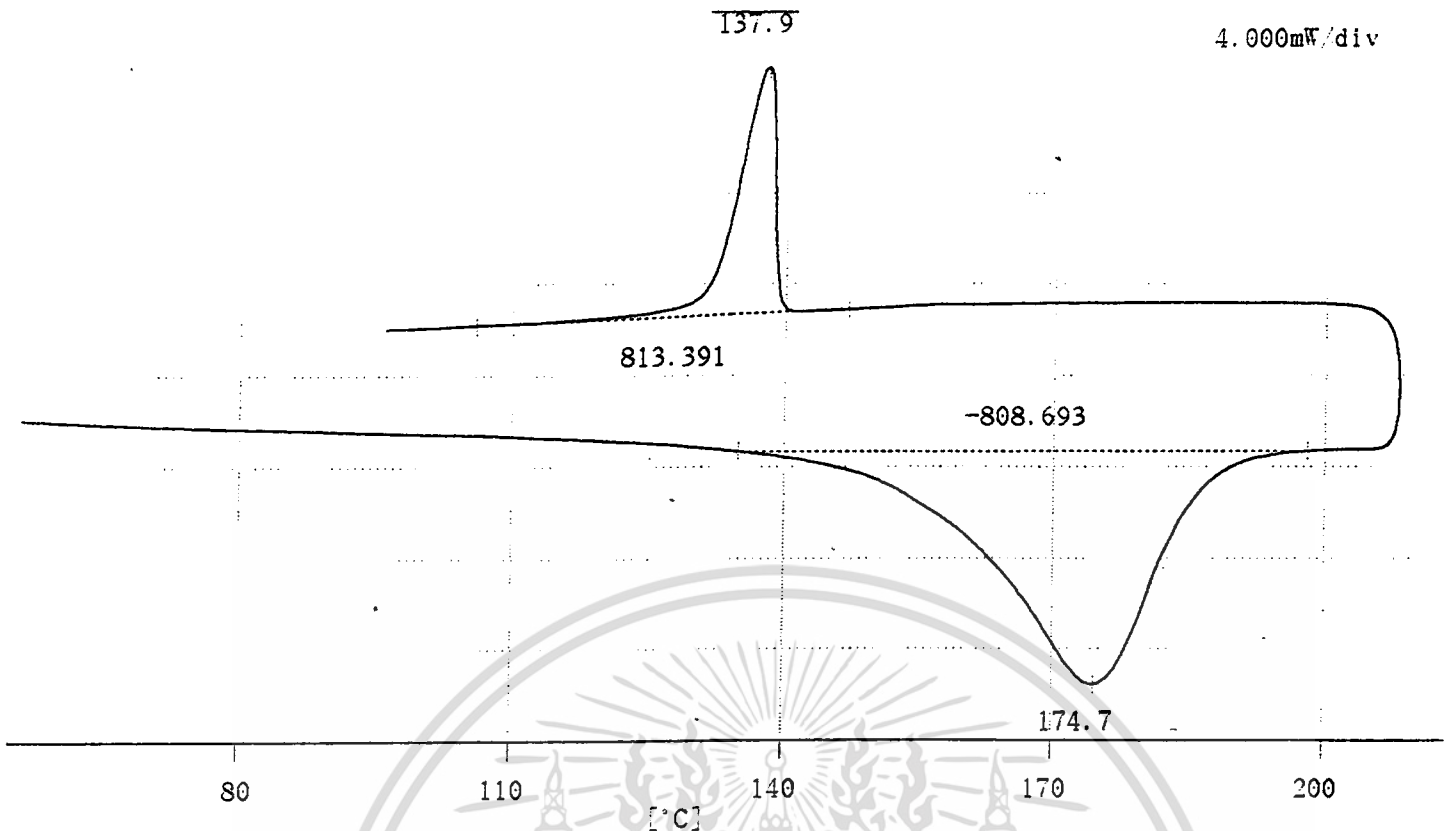
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลิเมอร์ที่เติมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสที่อัตราการเย็นตัว 10 °C/min



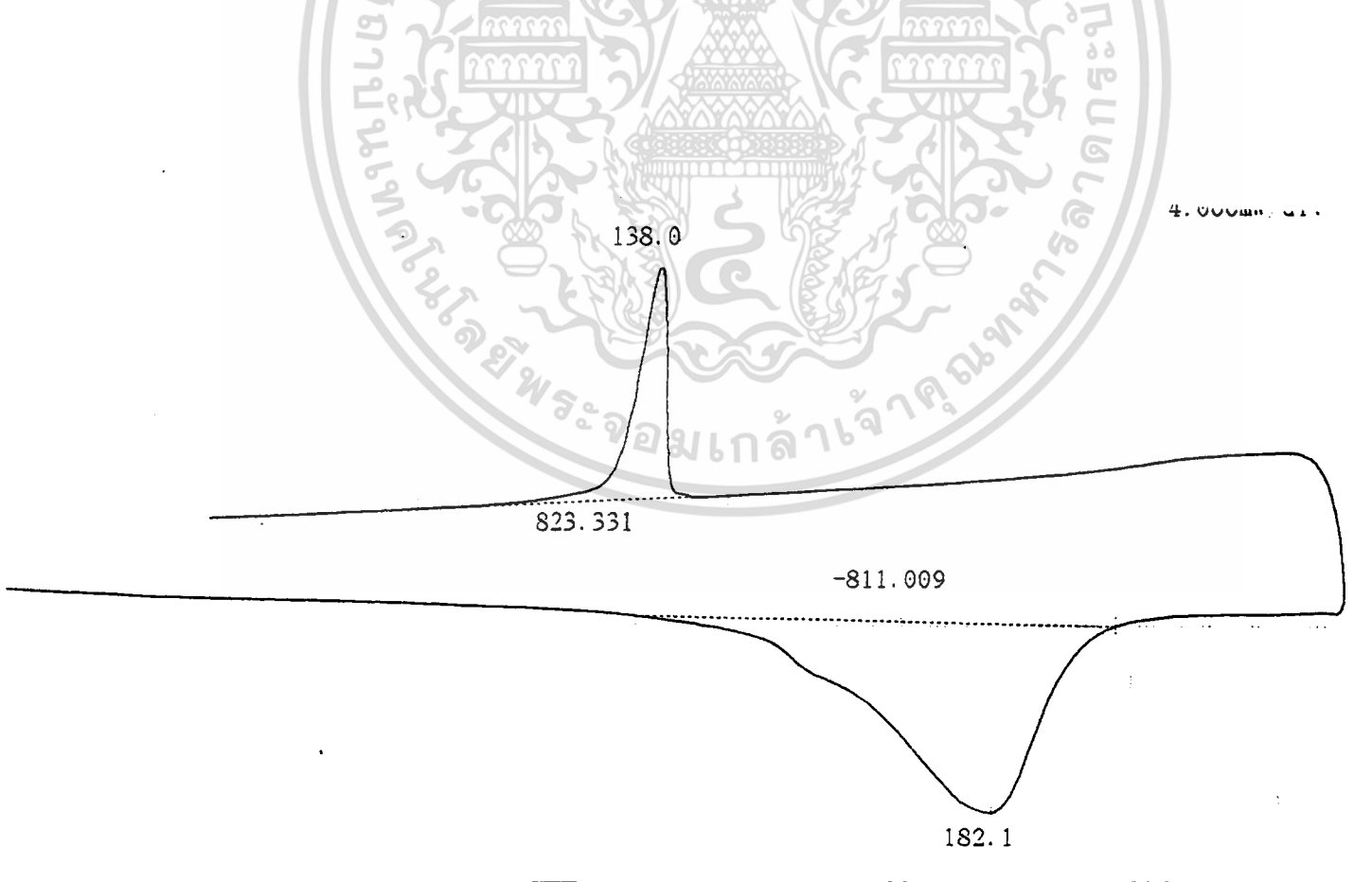
โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลีเมอร์ที่เติมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสที่อัตราการขึ้นตัว 20 °C/min



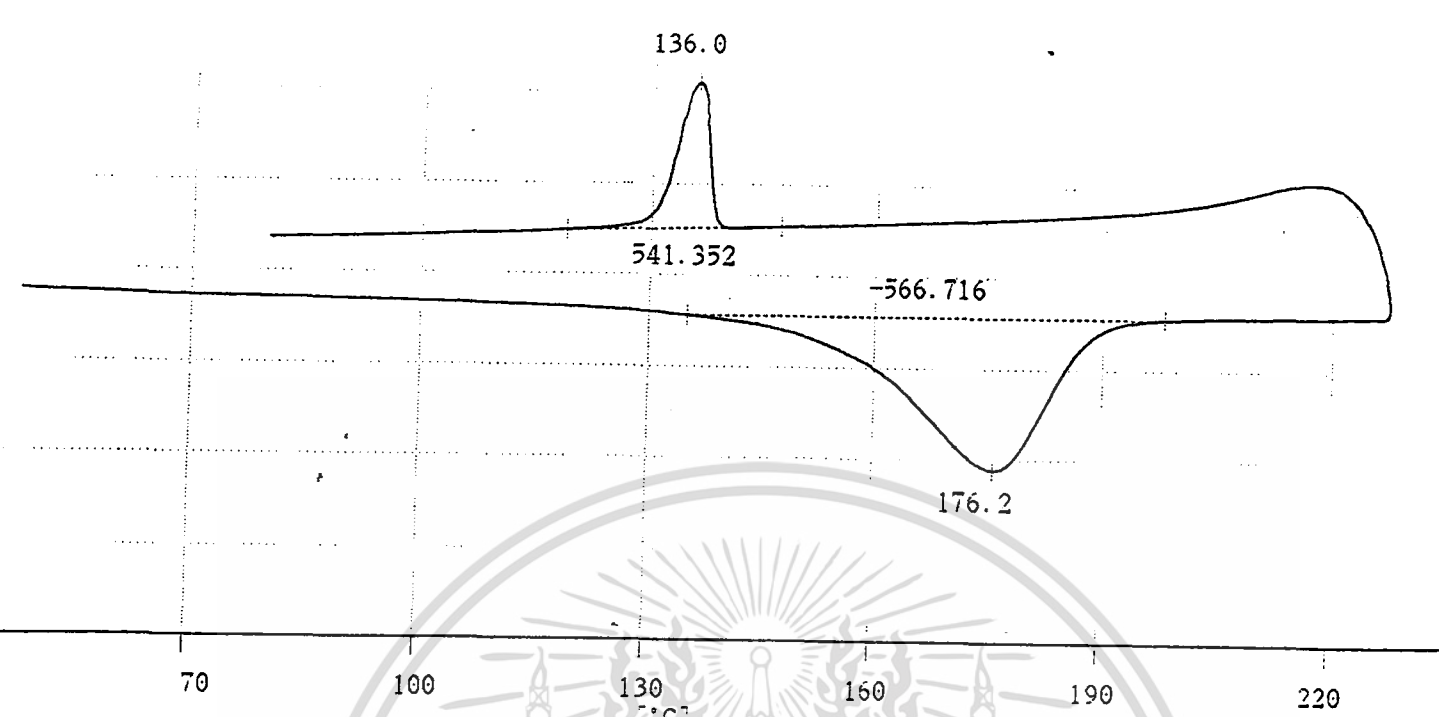
เอกสารนี้ 70 เอกสารที่สงวน 100 ทรัพยากรใช้งาน 130 ารศึกษาเท่านั้น 160 อนุญาตให้นำไปใช้ 190 โยชน์ด้านการค้า 220  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลีเมอร์ที่เติมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสที่อัตราการขึ้นตัว 40 °C/min



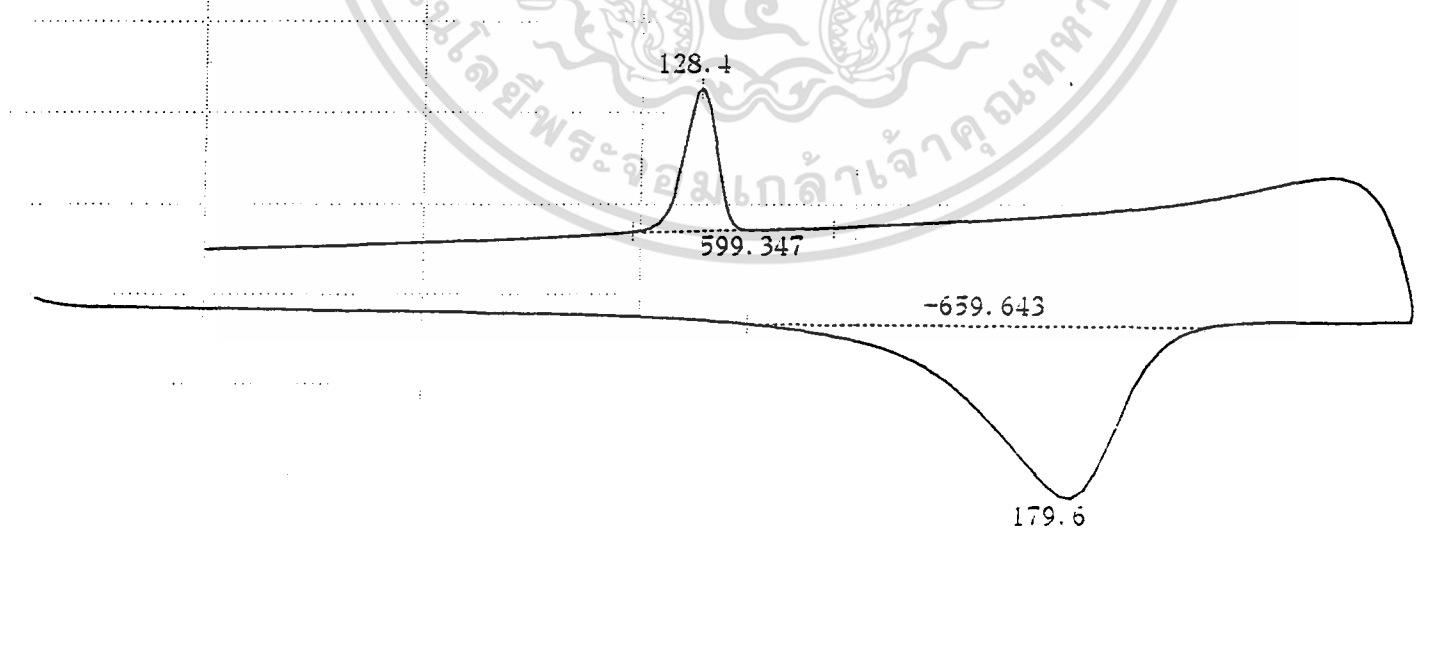
โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลิเมอร์ที่เติมอะไคทิกแอซิดที่อัตราการเย็นตัว 5 °C/min



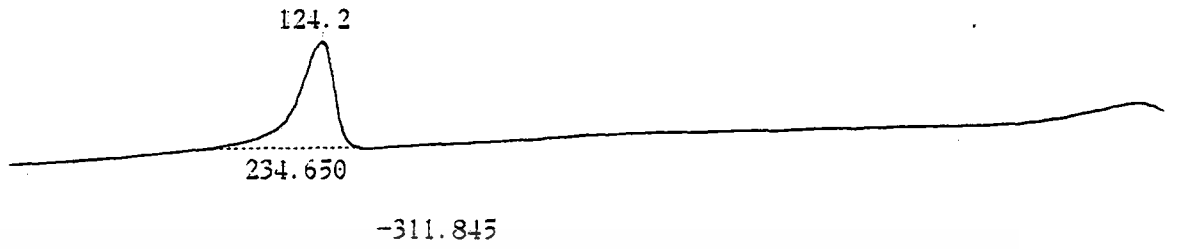
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลิเมอร์ที่เติมอะไคทิกแอซิดที่อัตราการเย็นตัว 10 °C/min



โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลิเมอร์ที่เติมอะโคพิคแอซิดที่อัตราการขึ้นตัว 20 °C/min

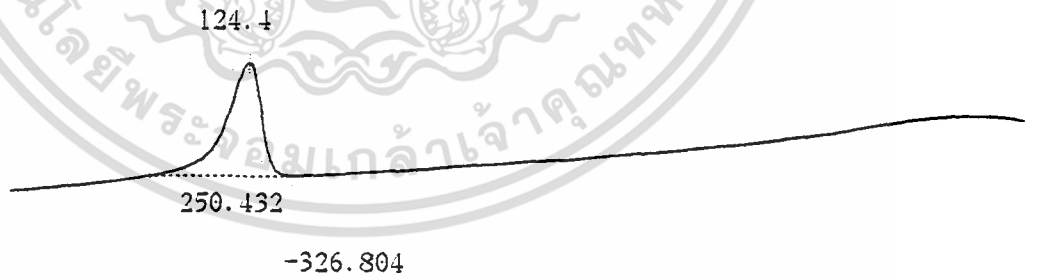


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 90 นไว้สำหรับการ 120 เพื่อการศึกษา 150 นั้น ไม่นอนุญาต 180 ไปใช้ประโยชน์ 210 การค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 โพลีพรอพิลีนไฮโมโพลิเมอร์ที่เติมอะโคพิคแอซิดที่อัตราการขึ้นตัว 40 °C/min



60 90 120 150 180 210

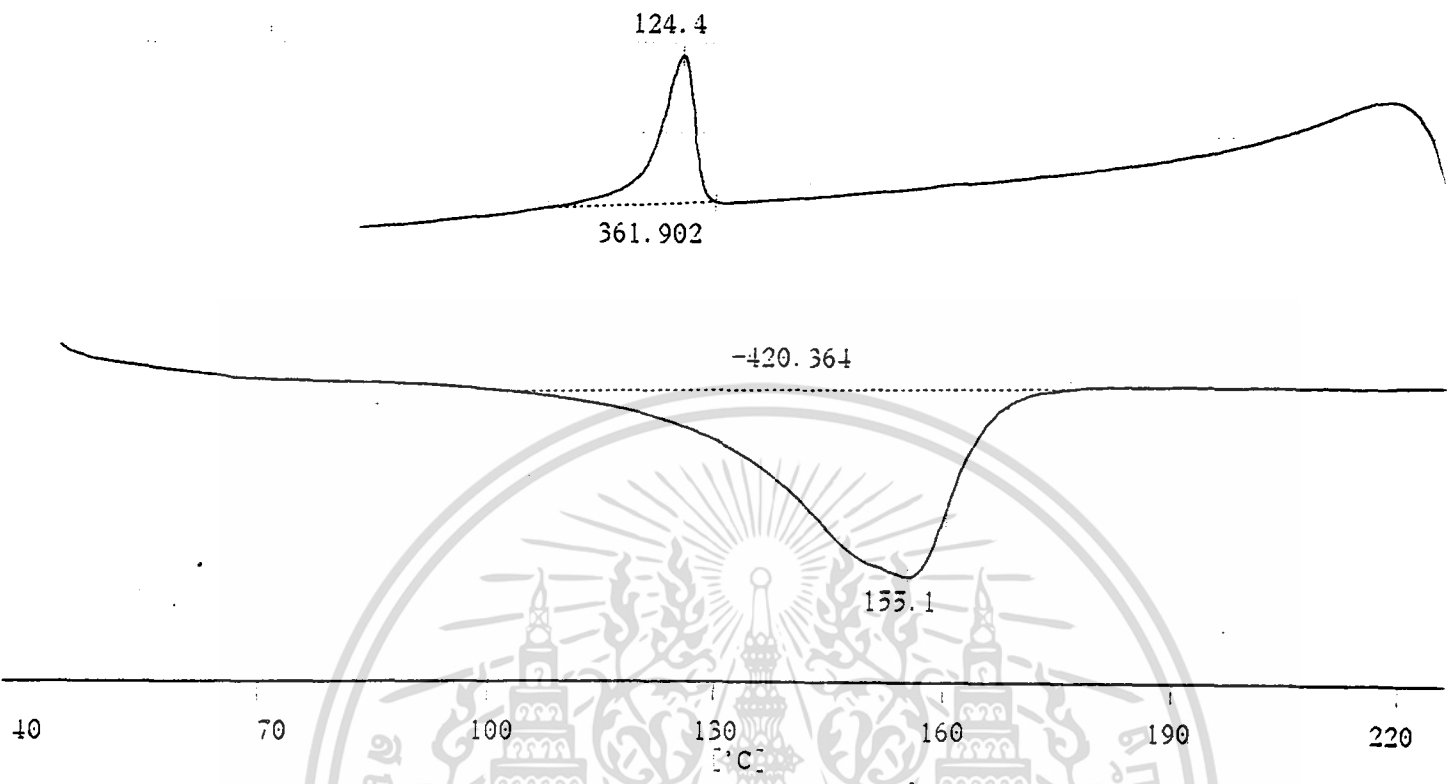
โพลีพรอพิลีนแรนคอม โคลโพลิเมอร์ไม่เติมสารก่อนิเวศที่อัตราการเย็นตัว 5 °C/min



50 80 110 140 170 200

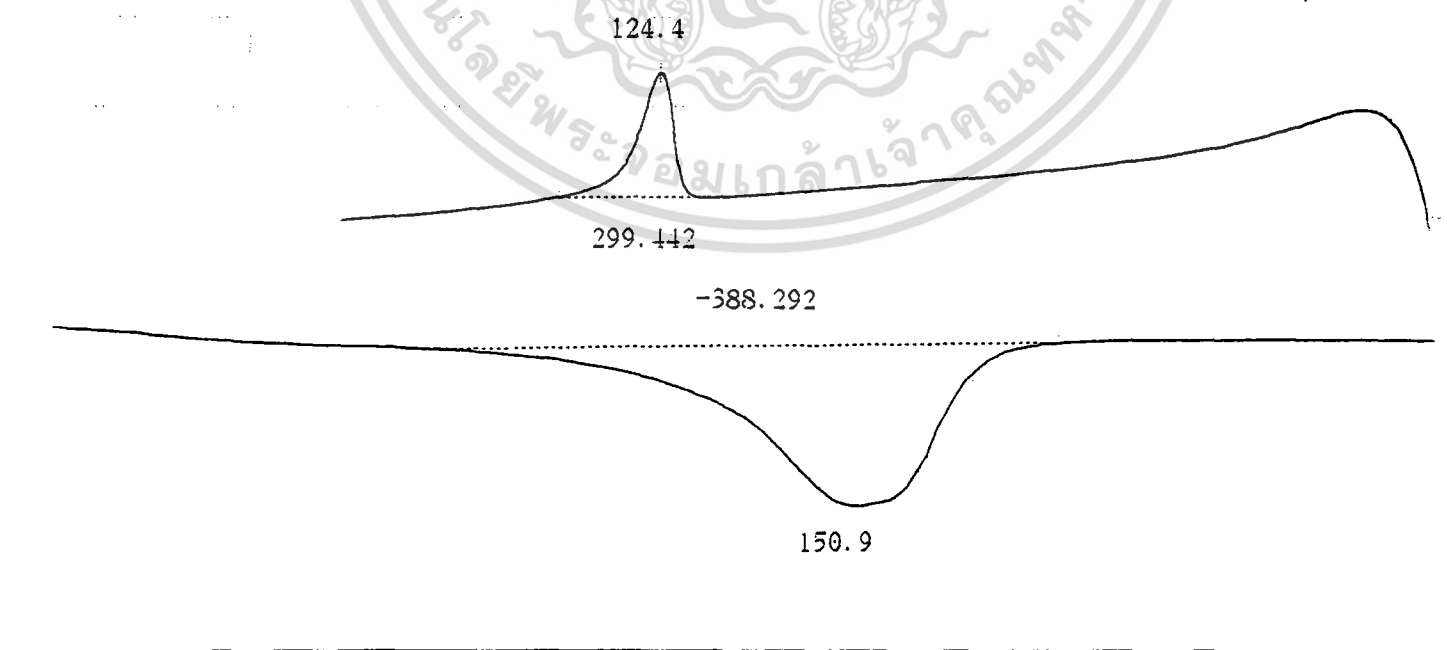
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 โพลีพรอพิลีนแรนคอม โคลโพลิเมอร์ไม่เติมสารก่อนิเวศที่อัตราการเย็นตัว 10 °C/min

2.000mW/g1v



โพลีพรอพิลีนแรนคอม โคล โพลีเมอร์ไม่เติมสารก่อนนิวเคลียสที่อัตราการเย็นตัว 20 °C/min

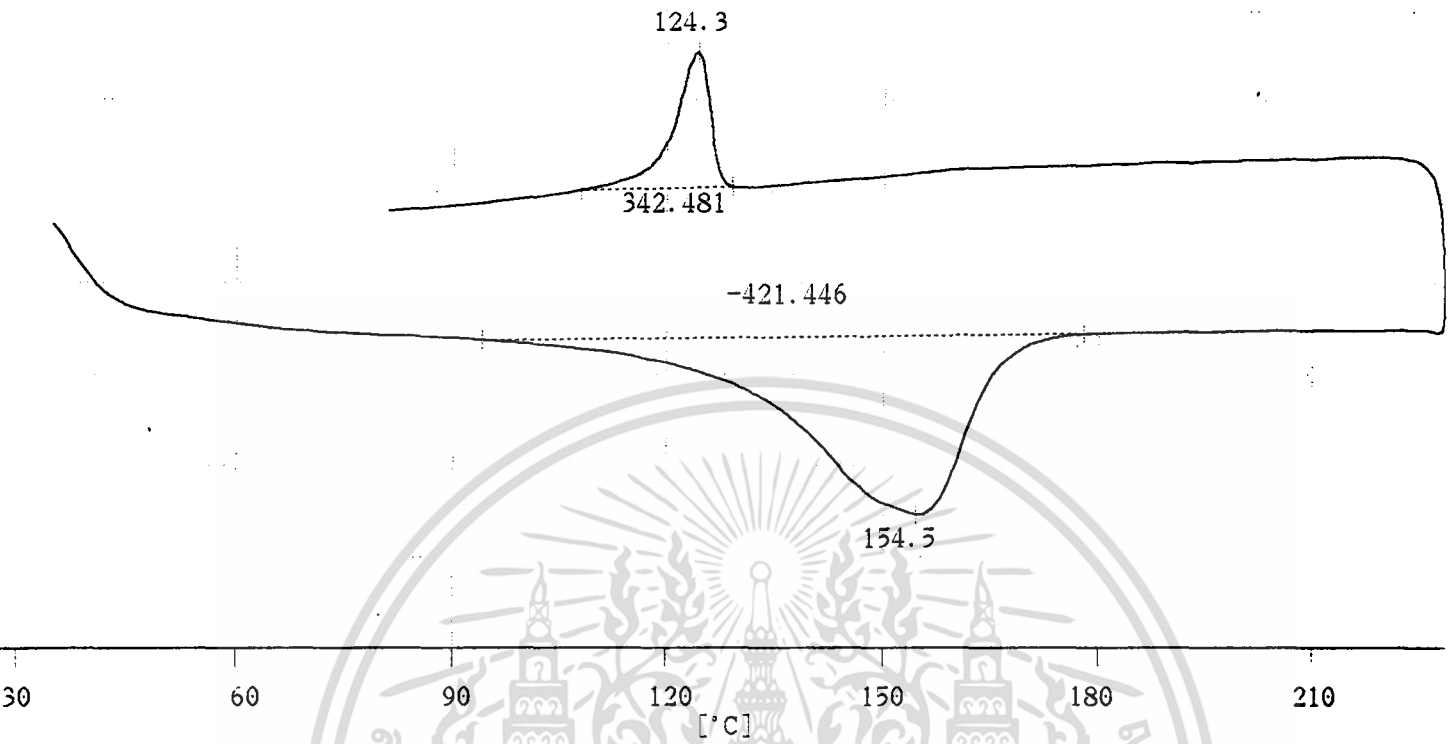
2.000mW/g1v



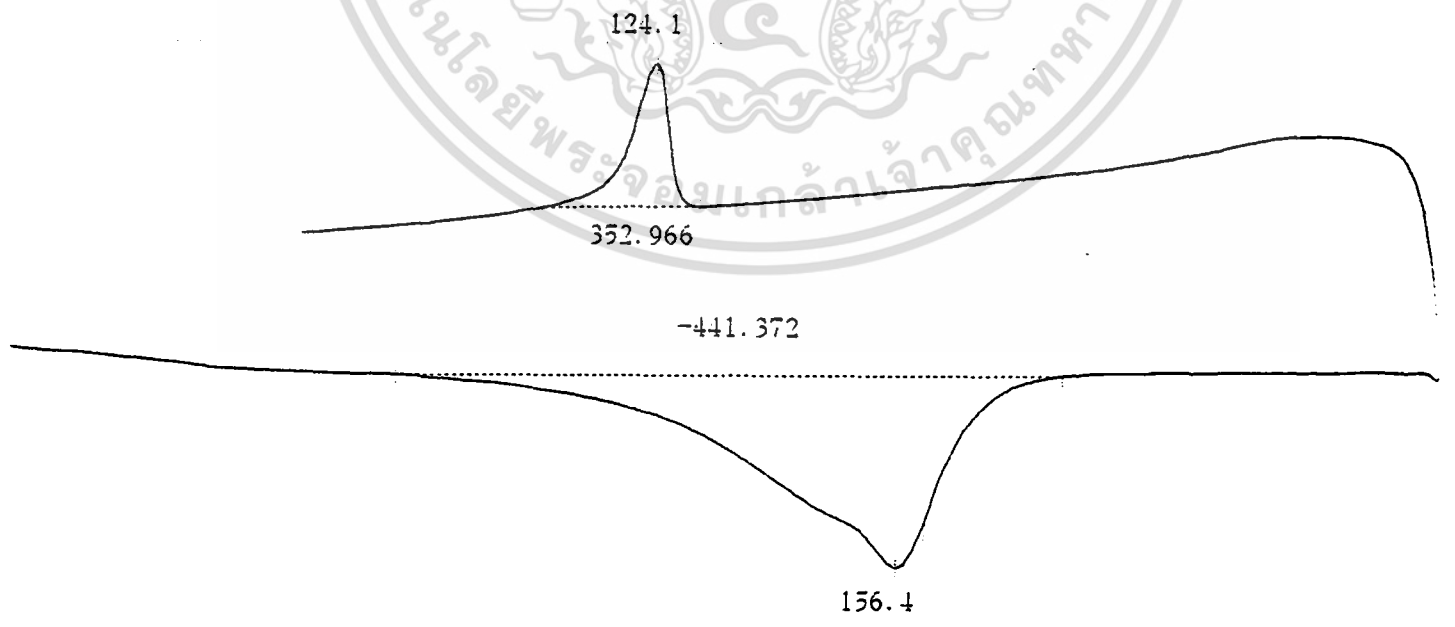
เอกสารที่ส่งมอบให้สำนักงานการศึกษานานาชาติให้นำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีพรอพิลีนแรนคอม โคล โพลีเมอร์ไม่เติมสารก่อนนิวเคลียสที่อัตราการเย็นตัว 40 °C/min



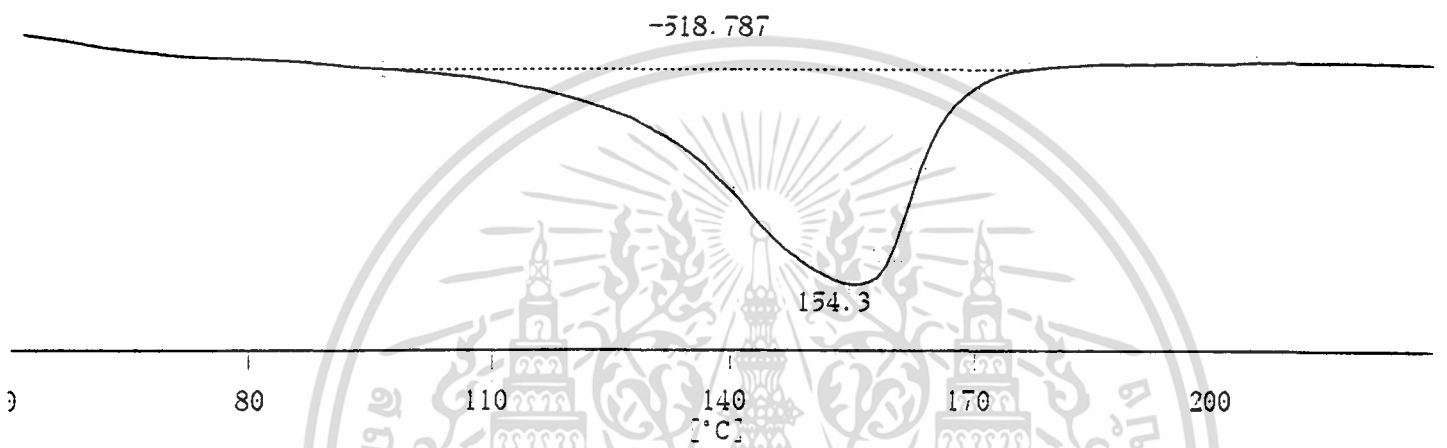
โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอทที่อัตราการเย็นตัว 5 °C/min



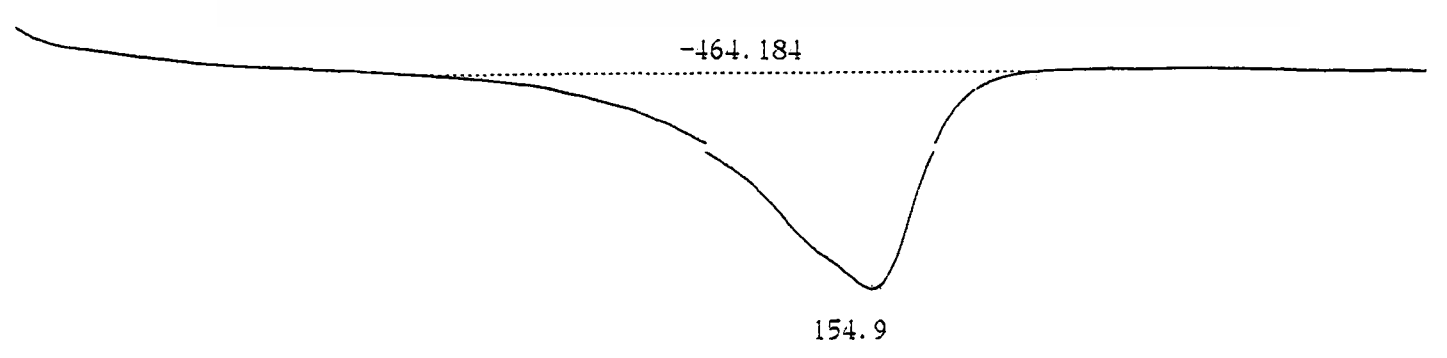
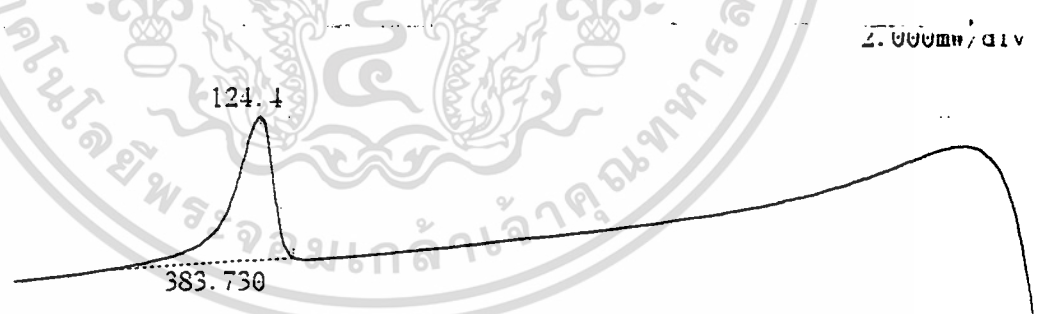
เอกสาร 70 เป็นเอกสารที่สงวน 100 สำหรับการใช้งาน 130 การศึกษาเท่านั้น 160 อนุญาตให้นำไป 190 ประโยชน์ด้านการ 220

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอทที่อัตราการเย็นตัว 10 °C/min

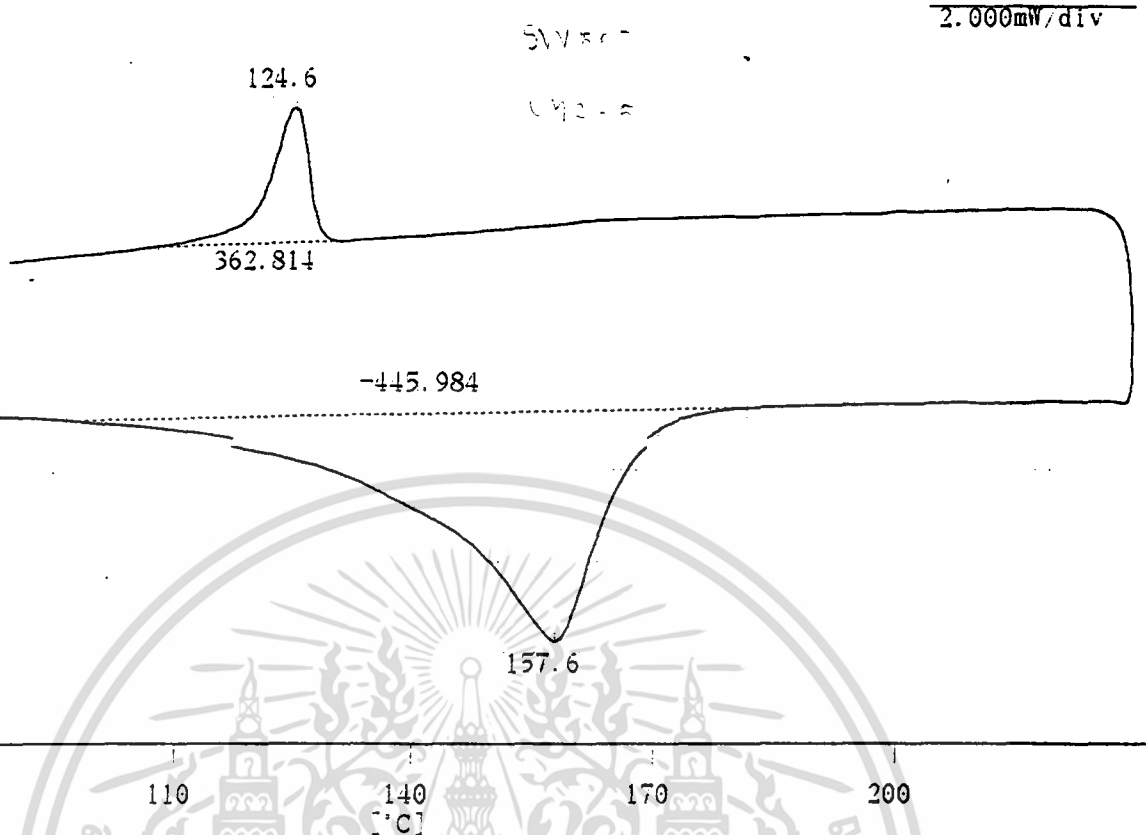


โพลีพรอพิลีนแรนคอม โกลิโอเลเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอทที่อัตราการเย็นตัว 20 °C/min

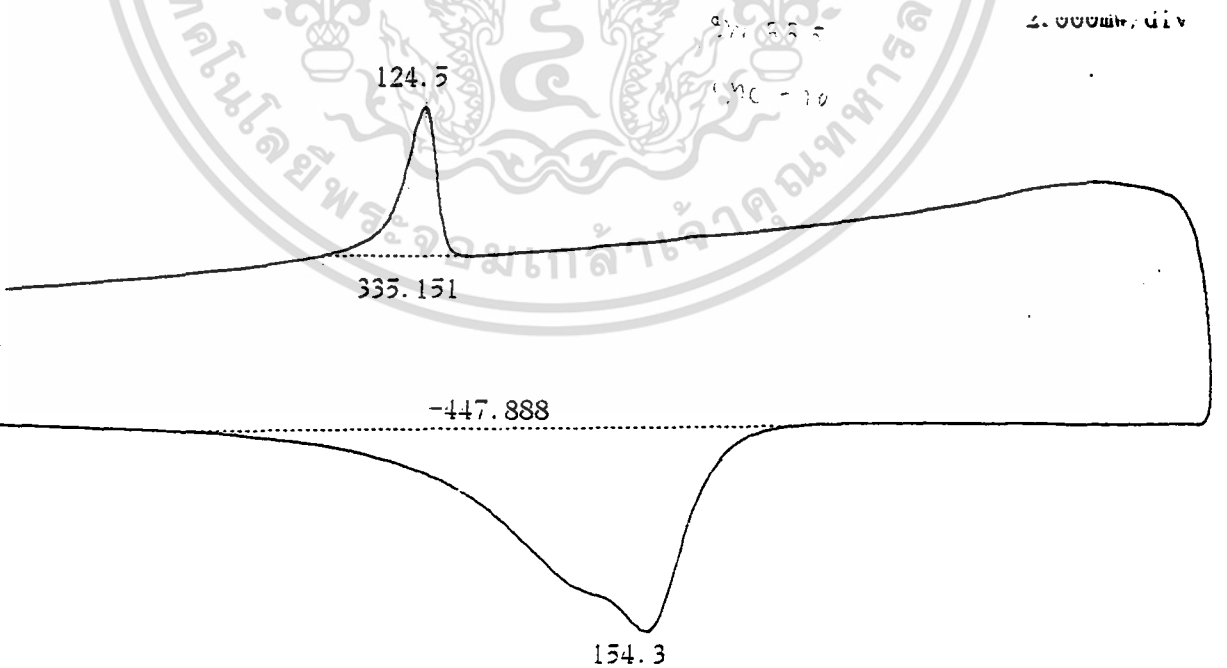


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีพรอพิลีนแรนคอม โกลิโอเลเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอทที่อัตราการเย็นตัว 40 °C/min

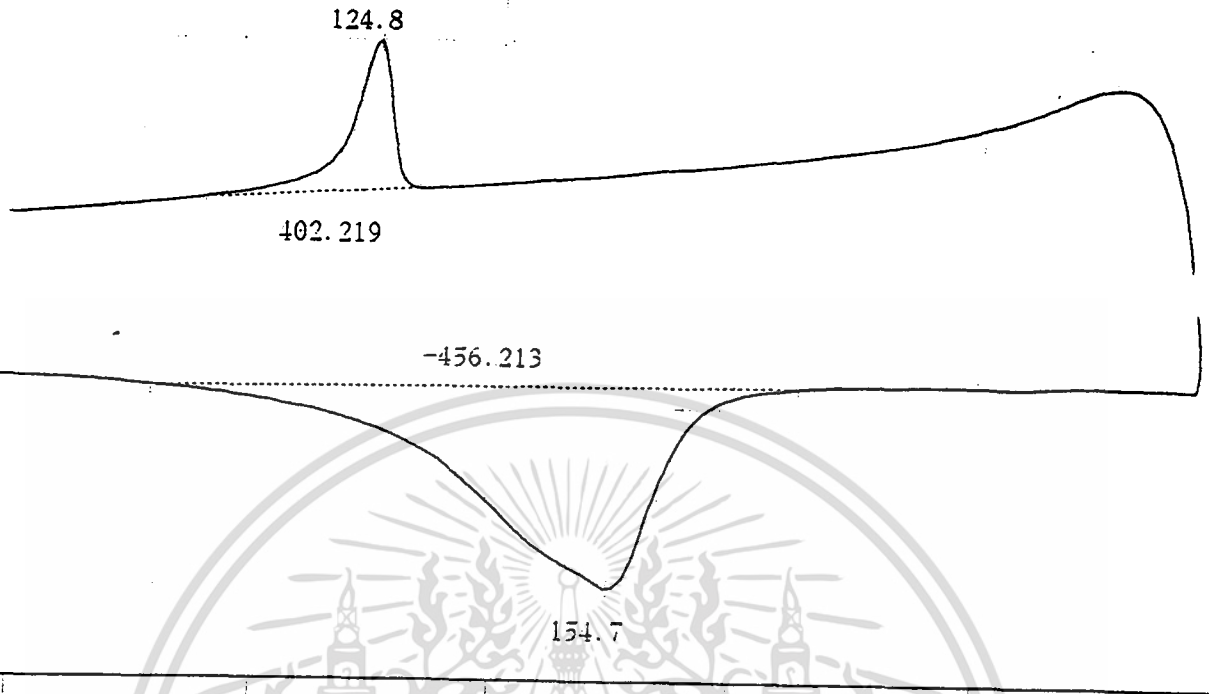


โพลีพรอพิลีนแรนคอมโกโพลีเมอร์ที่เติมคาร์บอนซีเมธิลเซลลูโลสที่อัตราการเย็นตัว 5 °C/min



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ 130 เพื่อการศึกษาเท่านั้น 160 มอนูญตให้นำไป 190 ประโยชน์ด้านกา 220  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 โพลีพรอพิลีนแรนคอมโกโพลีเมอร์ที่เติมคาร์บอนซีเมธิลเซลลูโลสที่อัตราการเย็นตัว 10 °C/min

2.000mV/div



-456.213

154.7

80

110

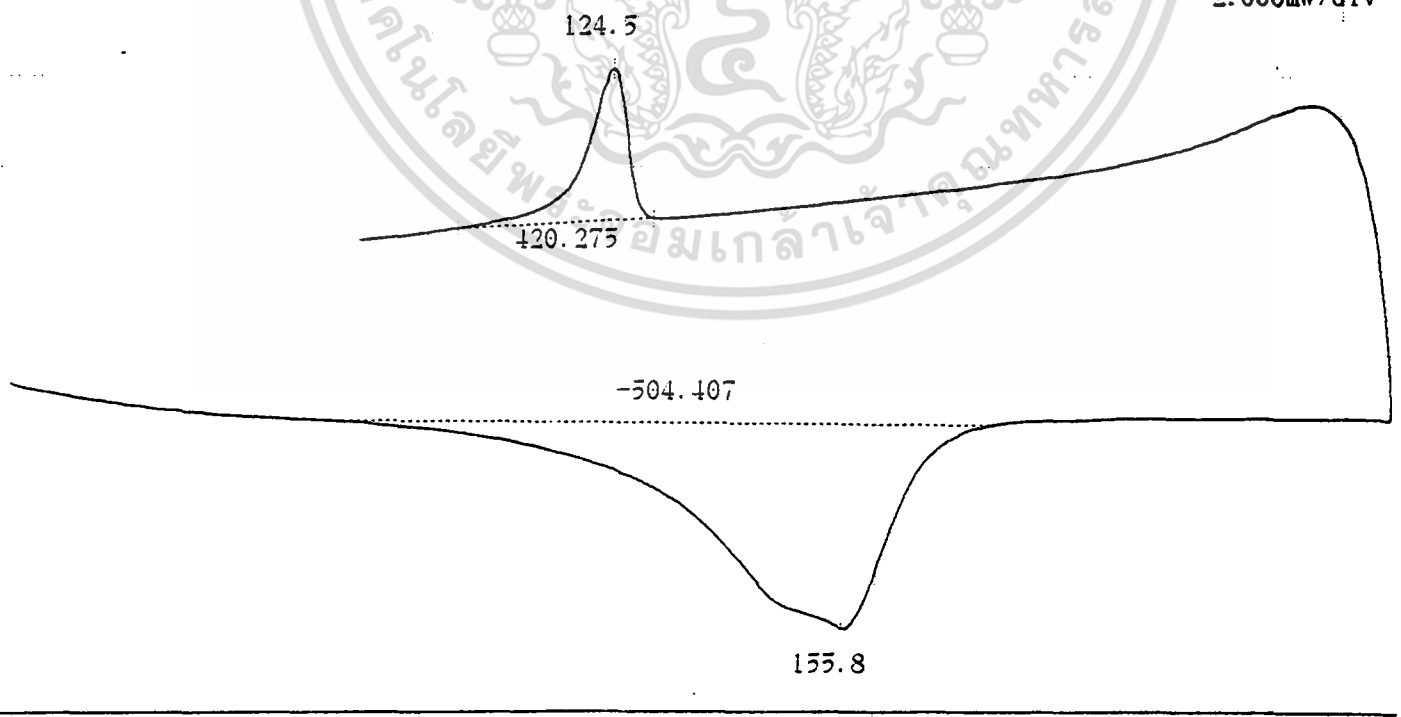
140

170

200

โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ที่เติมคาร์บอนซีเมธิลเซลลูโลสที่อัตราการเย็นตัว 20 °C/min

2.000mV/div



124.5

420.275

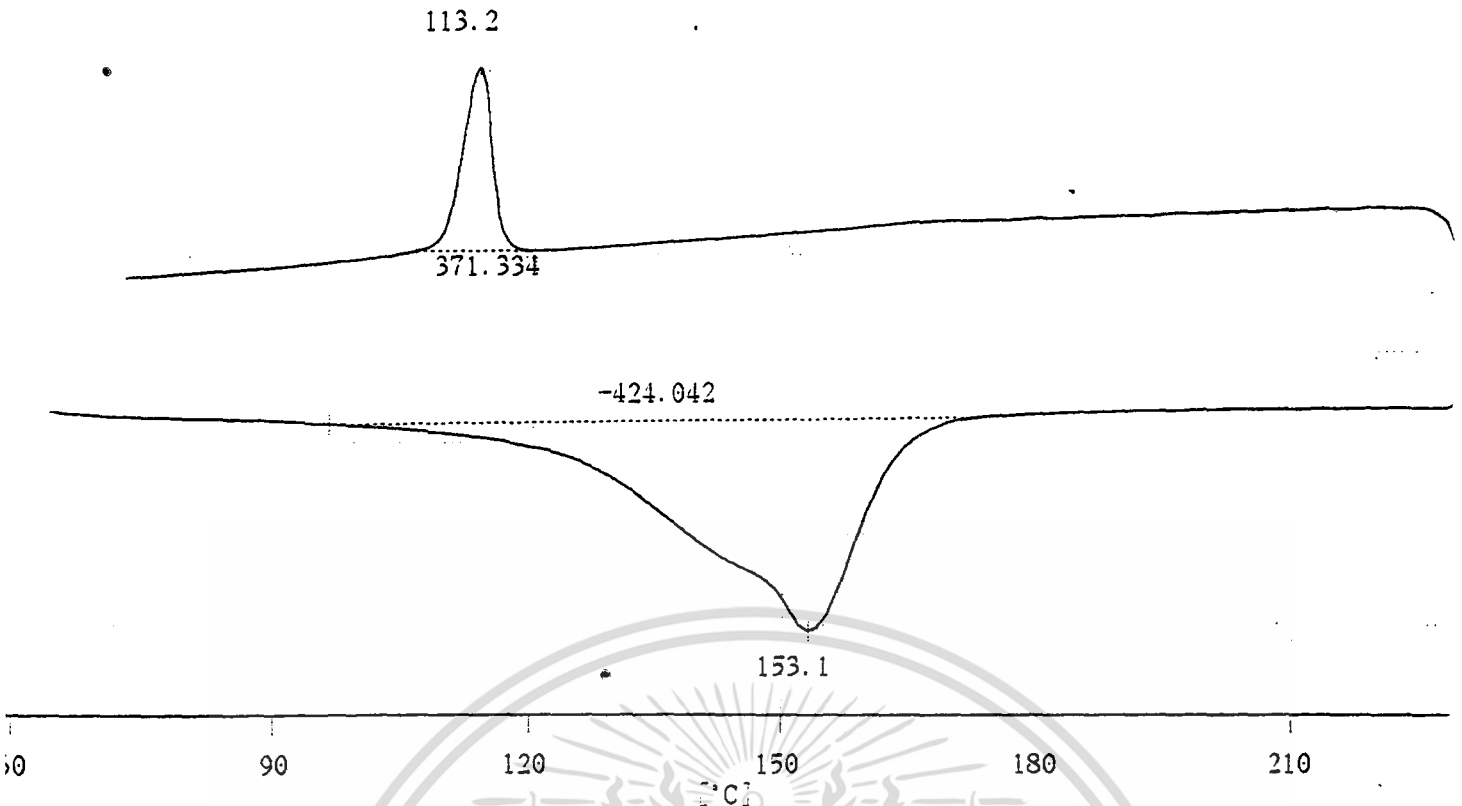
-504.407

155.8

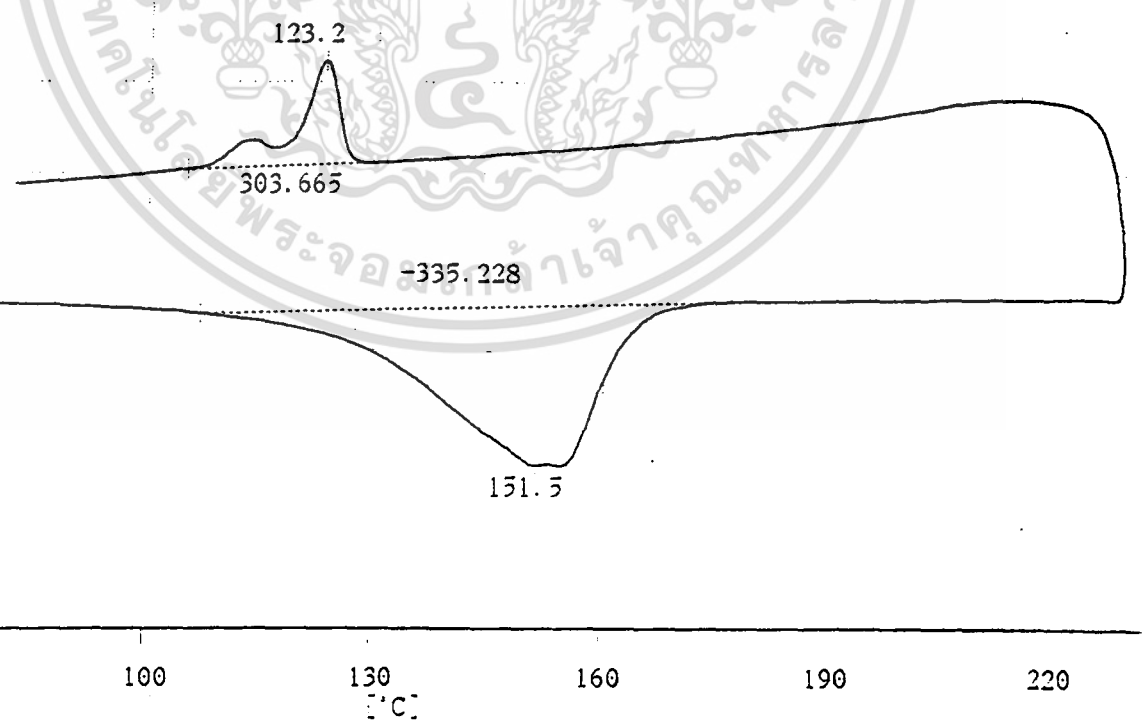
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ 100 ปีของการศึกษาเท่านั้น 130 ม่อนุญาตให้นำไป 160 ประโยชน์ด้านกา 190 220

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีพรอพิลีนแรนคอมโคโพลิเมอร์ที่เติมคาร์บอนซีเมธิลเซลลูโลสที่อัตราการเย็นตัว 40 °C/min

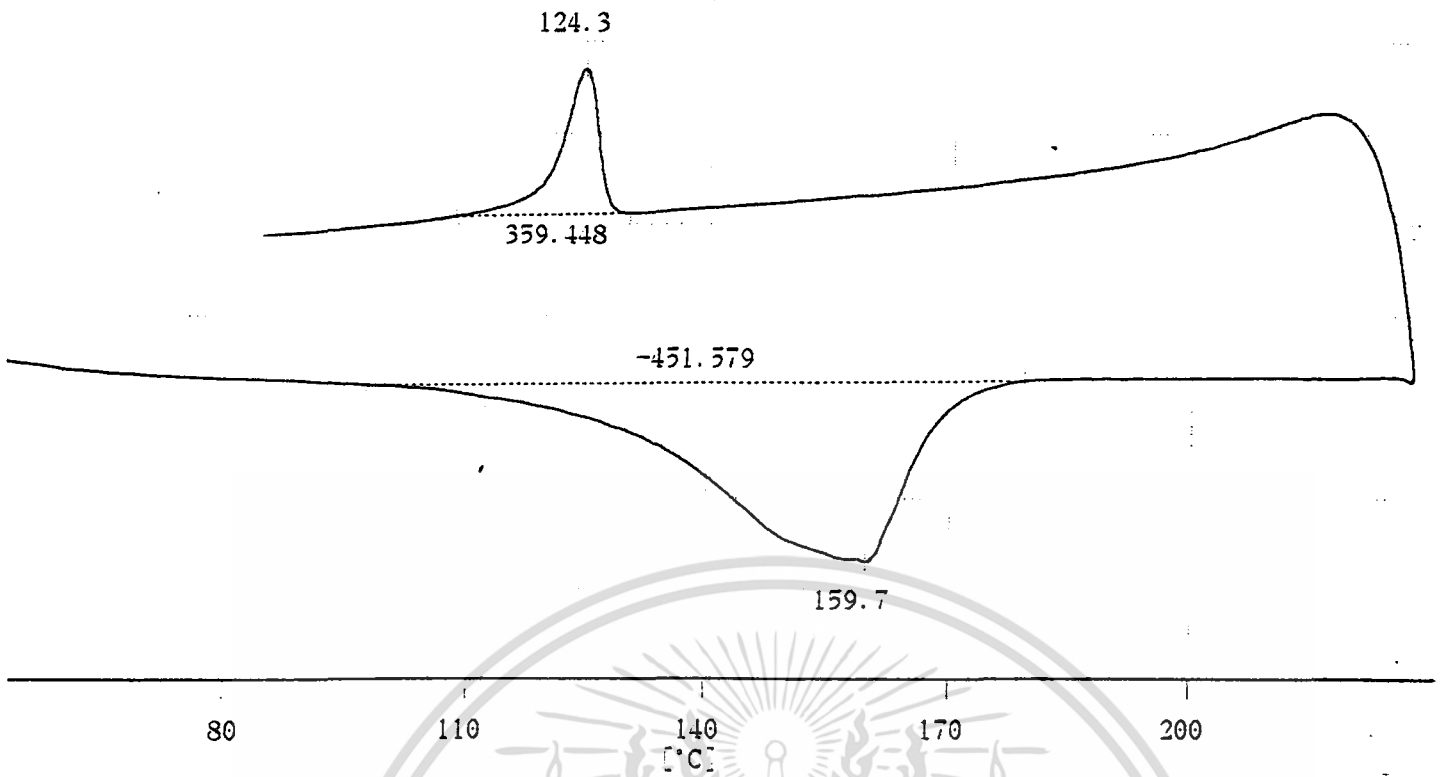


โพลีพรอพิลีนแรนคอม โคลิเมอร์ที่เติมอะโคพิคแอซิดที่อัตราการเย็นตัว 5 °C/min

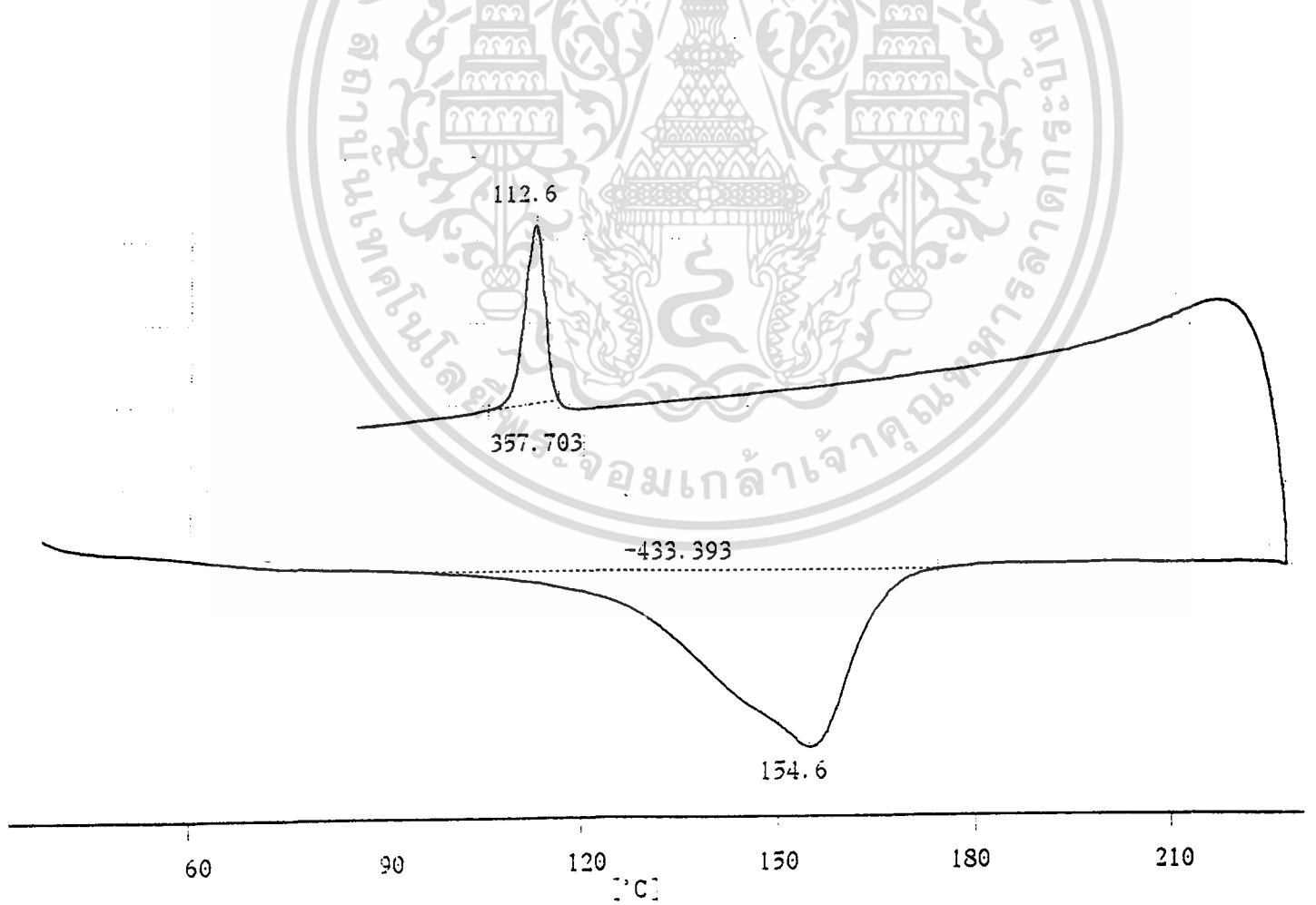


โพลีพรอพิลีนแรนคอม โคลิเมอร์ที่เติมอะโคพิคแอซิดที่อัตราการเย็นตัว 10 °C/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

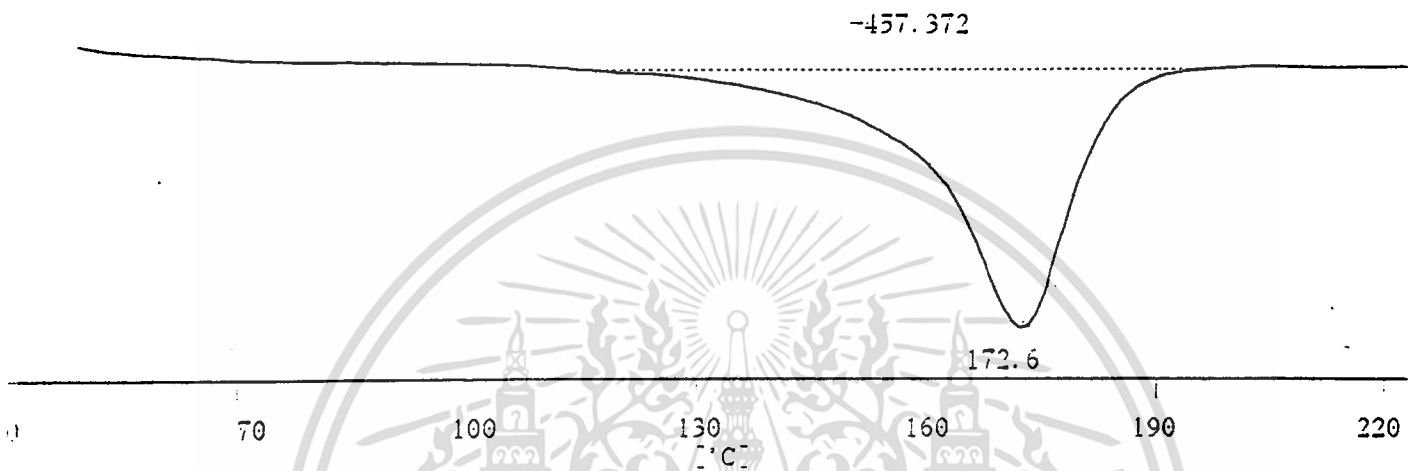
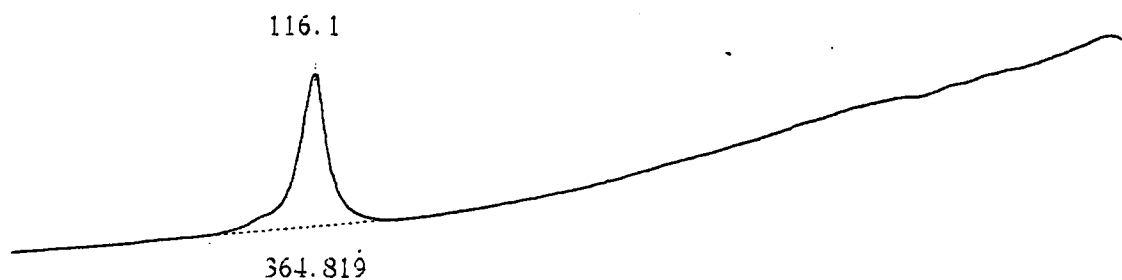


โพลีพรอพิลีนแรนคอม โคลโพลีเมอร์ที่เติมอะโคฟิคแอซิดที่อัตราการเย็นตัว 20 °C/min

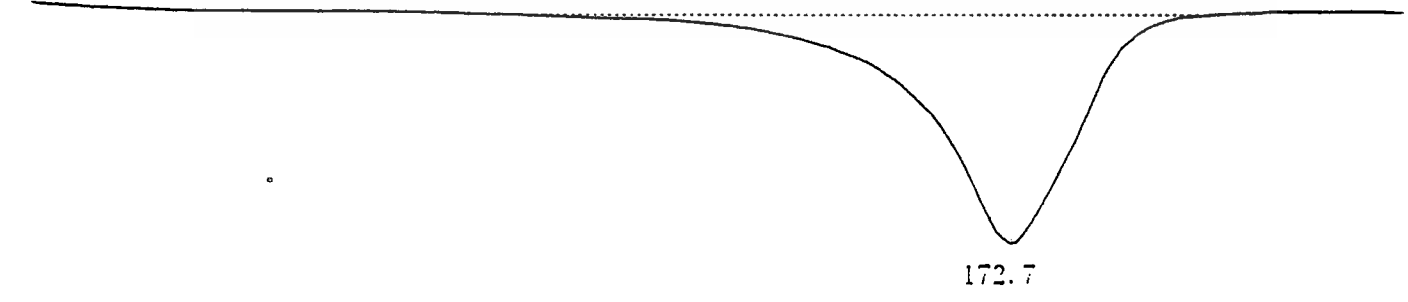
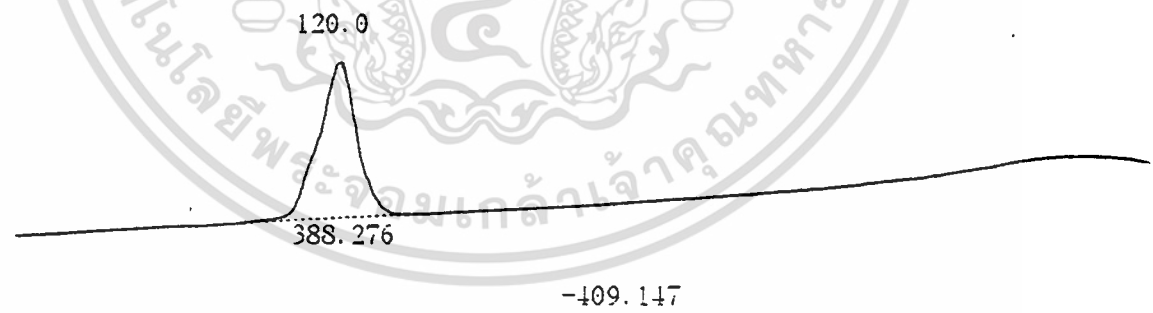


โพลีพรอพิลีนแรนคอม โคลโพลีเมอร์ที่เติมอะโคฟิคแอซิดที่อัตราการเย็นตัว 40 °C/min

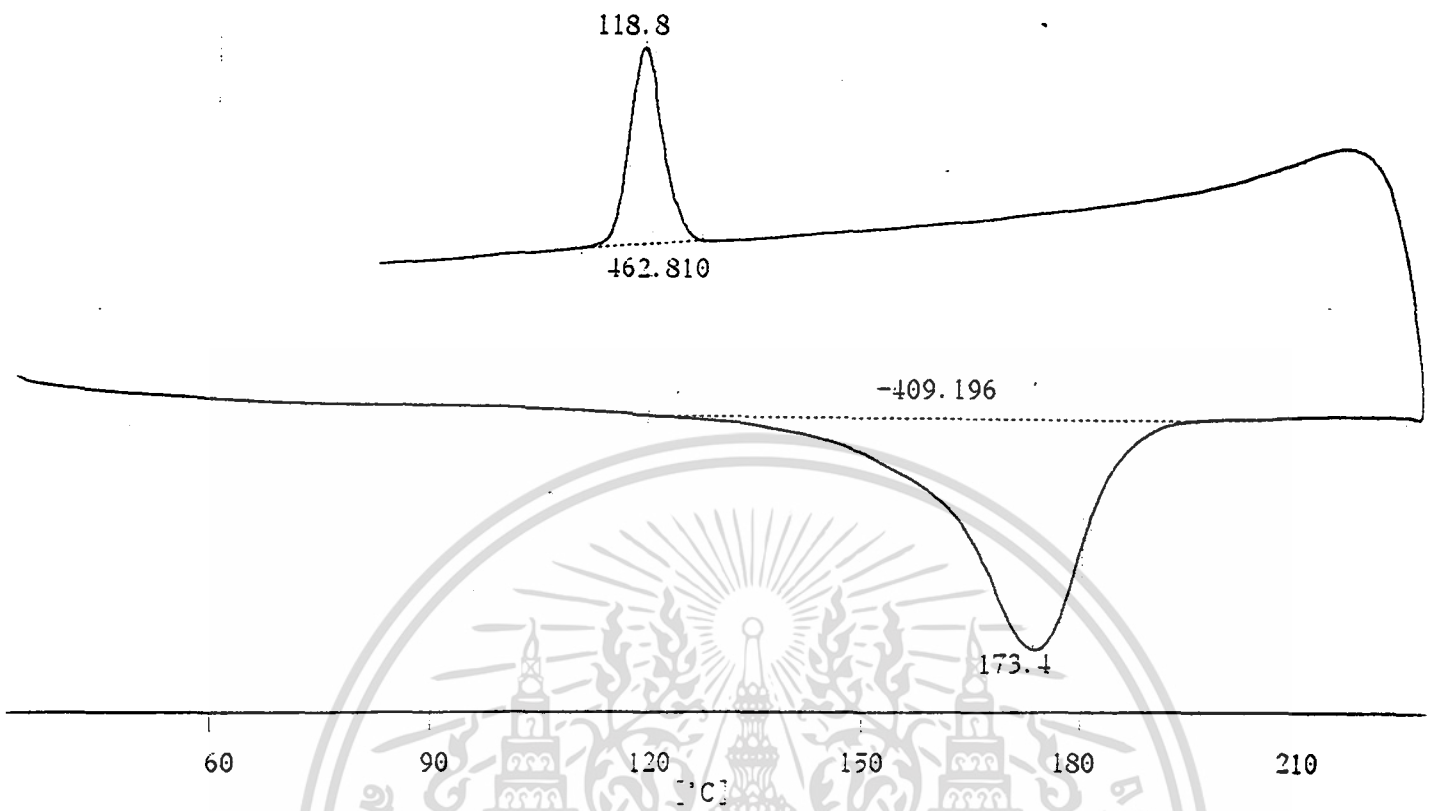
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้เฉพาะกิจของหน่วยงานนี้ ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



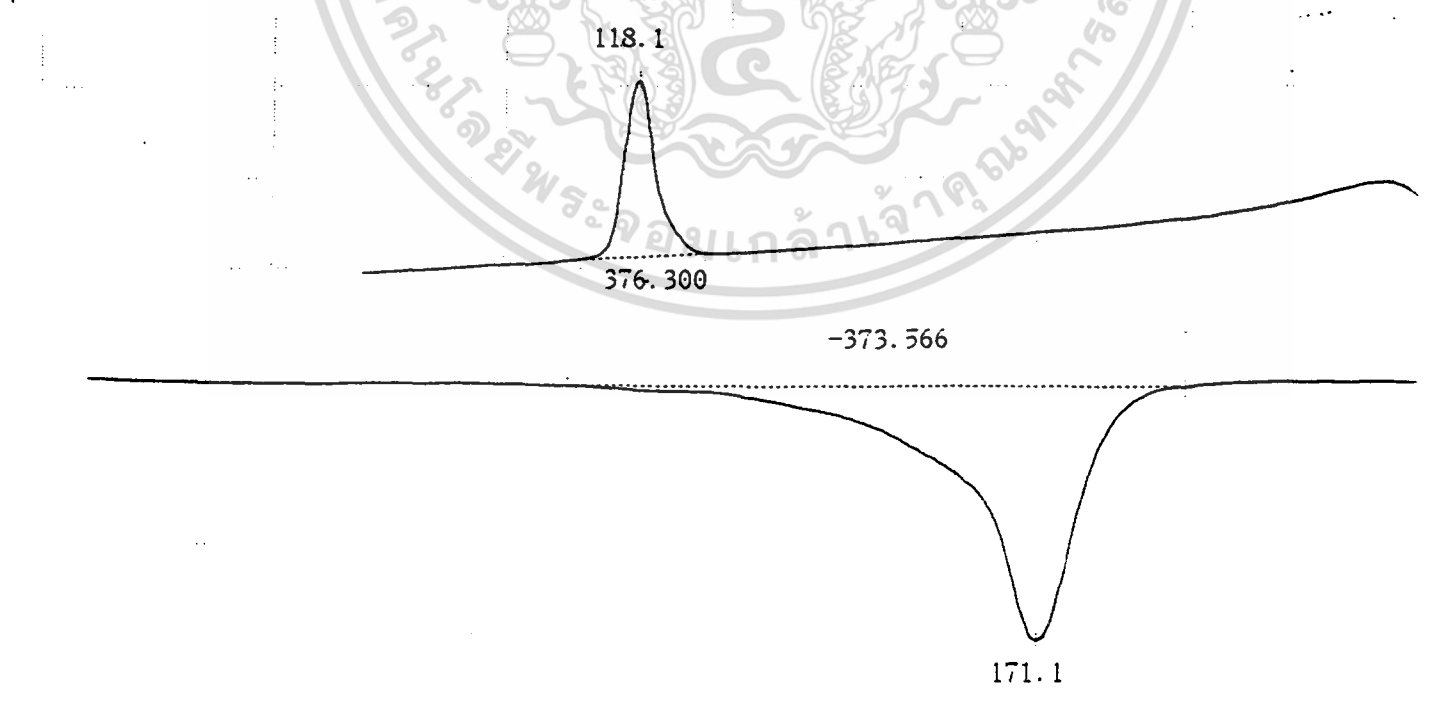
โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนนิวเคลียสที่อัตราการเย็นตัว 5 °C/min



50 เอกสารนี้ใช้ 80 เอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
 110 140 170 200  
 °C  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนนิวเคลียสที่อัตราการเย็นตัว 10 °C/min



โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนิวเคลียสที่อัตราการเย็นตัว 20 °C/min



โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ที่ไม่เติมสารก่อนิวเคลียสที่อัตราการเย็นตัว 40 °C/min

40 เอกสารนี้เป็น70เอกสารที่สงวนไว้100รับการใช้งานเพื่อ130ศึกษาเท่านั้น ไม่160ขาดให้นำไปใช้190ชนด้านการค้า 22

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.000mV/g

120.9

426.659

-537.277

174.1

90

120

150 °C

180

210

โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอทที่อัตราการเย็นตัว 5 °C/min

2.000mi

445.001

-457.241

168.1

50

80

110

140 °C

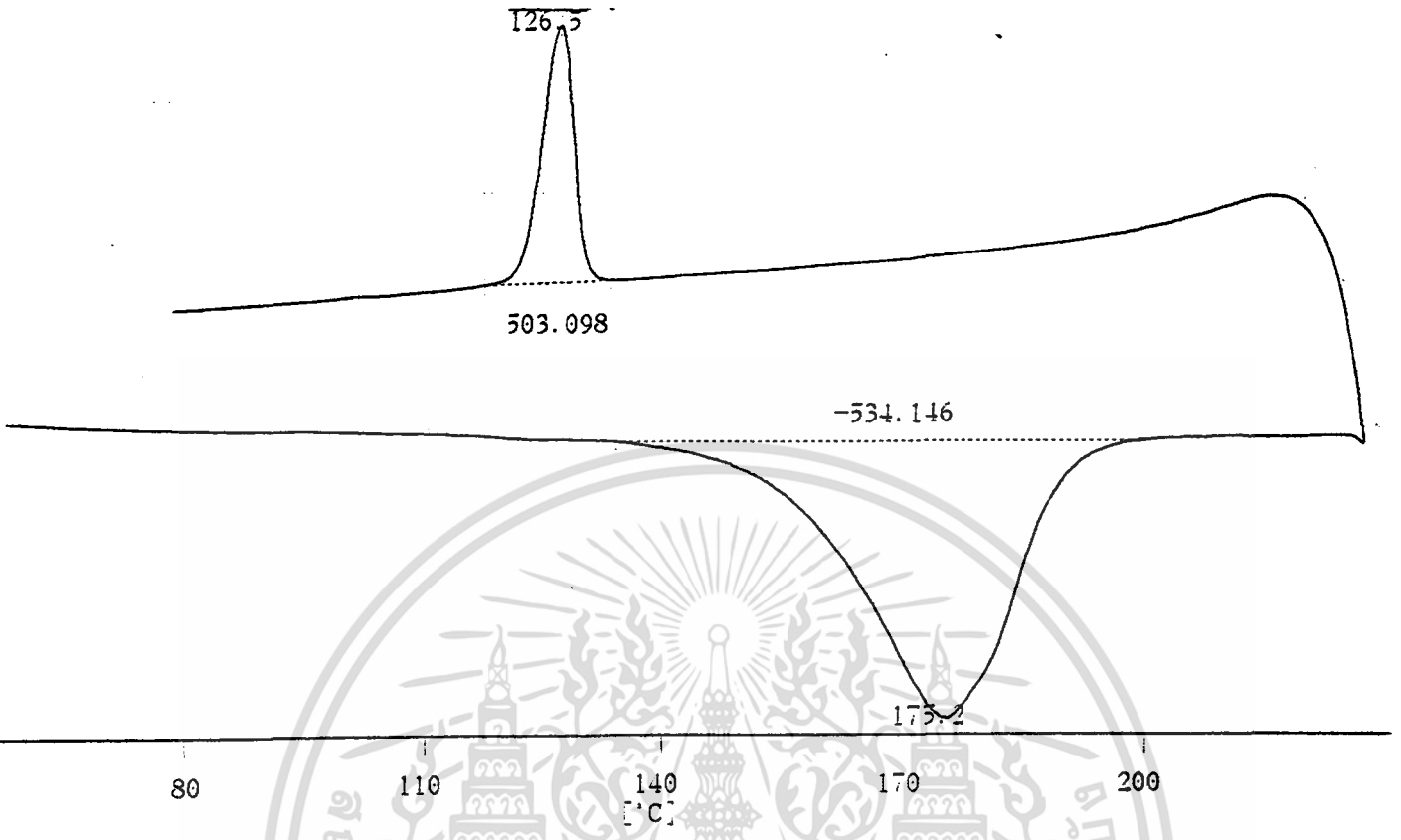
170

200

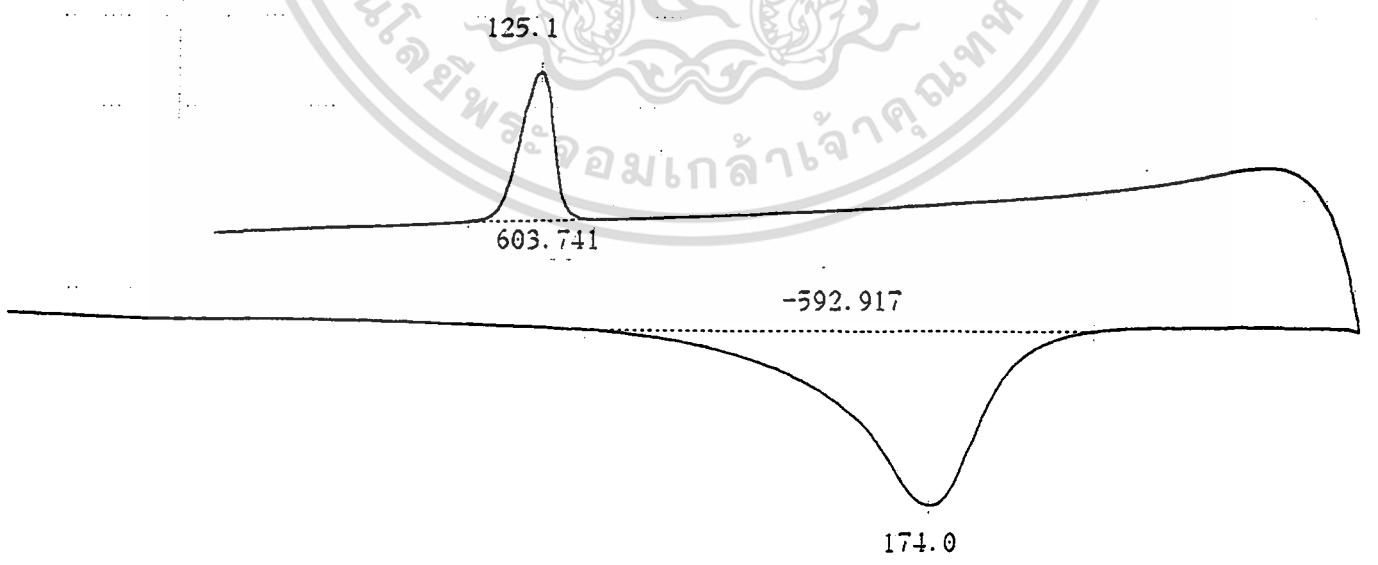
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอทที่อัตราการเย็นตัว 10 °C/min



โพลีพรอพิลีนบล็อก โกลิเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอทที่อัตราการเย็นตัว 20 °C/min

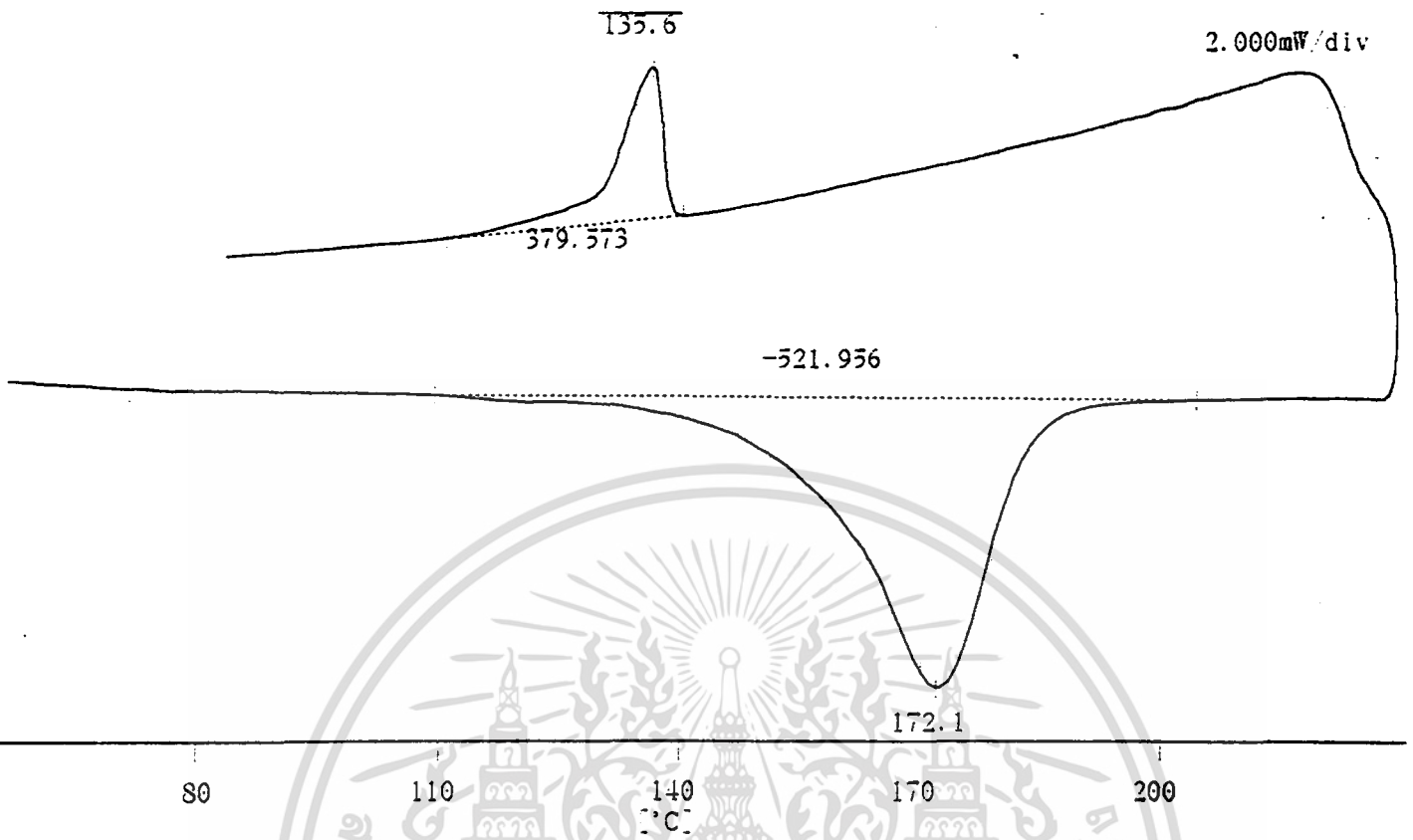


โพลีพรอพิลีนบล็อก โกลิเมอร์ที่เติมโซเดียมเบนโซเอทที่อัตราการเย็นตัว -40 °C/min

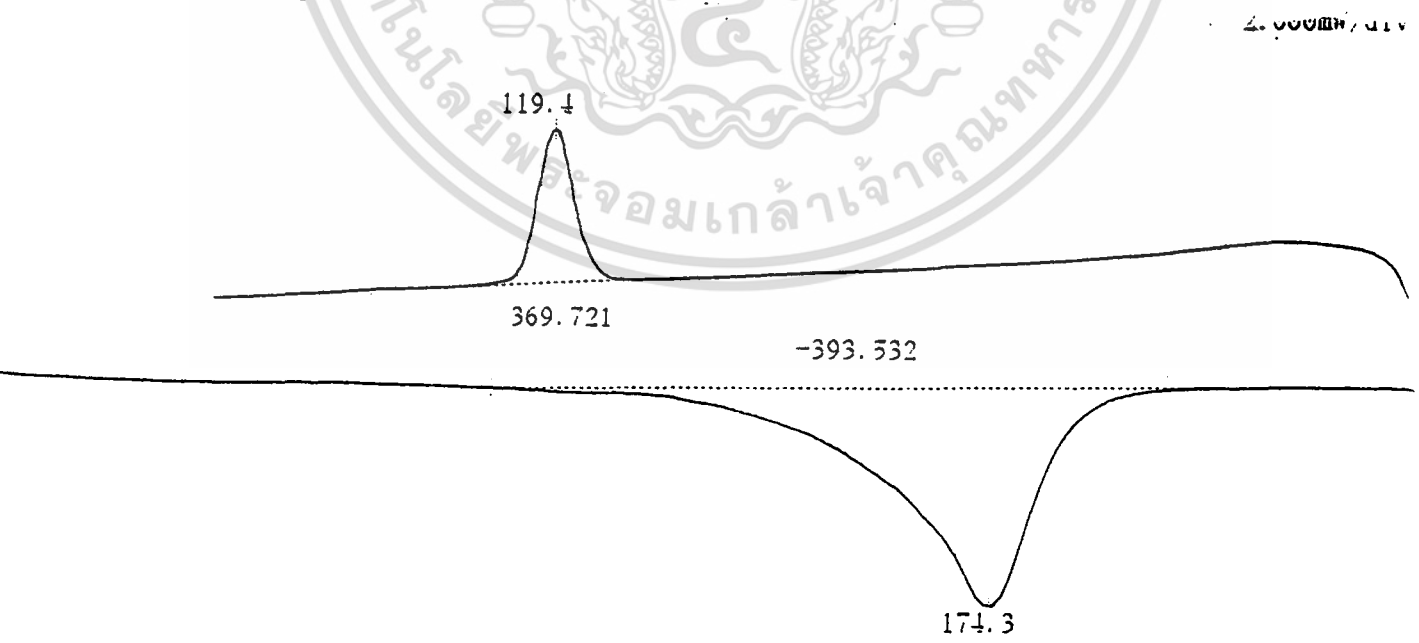
๑

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

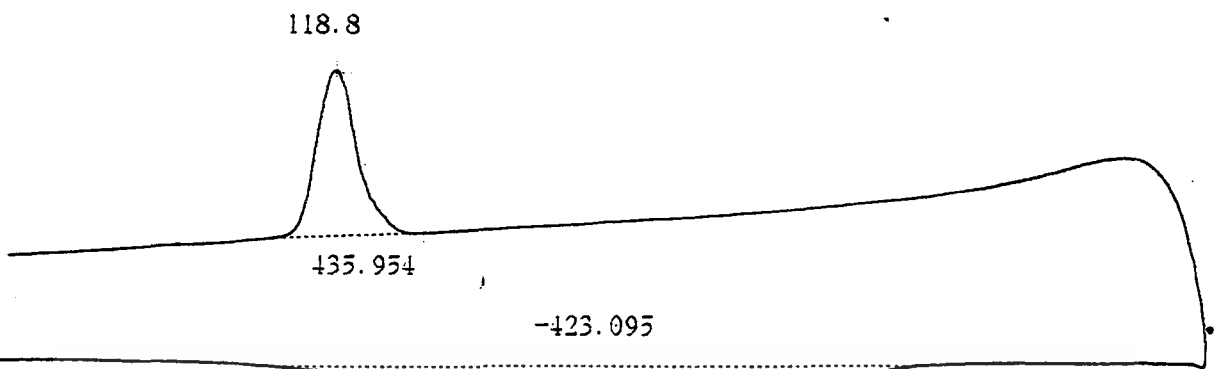


โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ที่เติมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสที่อัตราการเย็นตัว 5 °C/min



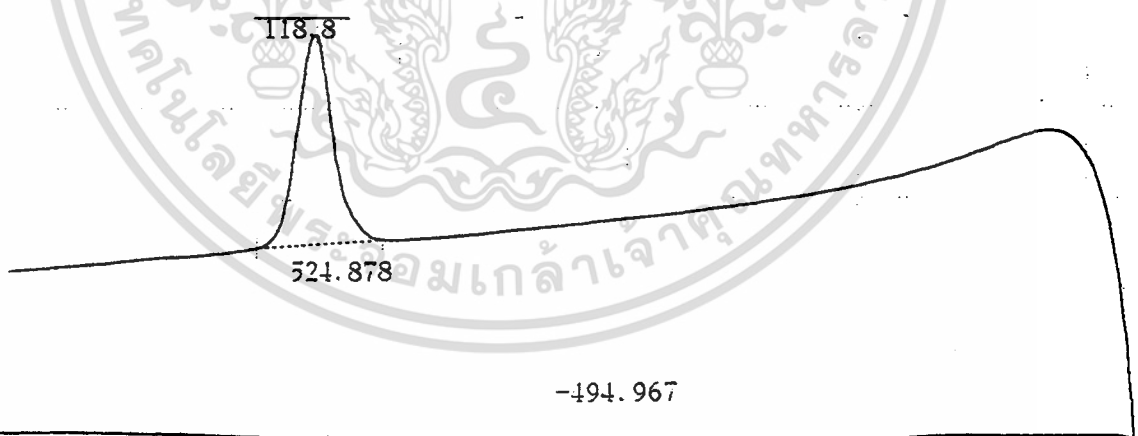
โพลีพรอพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ที่เติมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสที่อัตราการเย็นตัว 10 °C/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้ประโยชน์ในการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา, C ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีผู้นำไปใช้



80 110 140 170 200  
°C

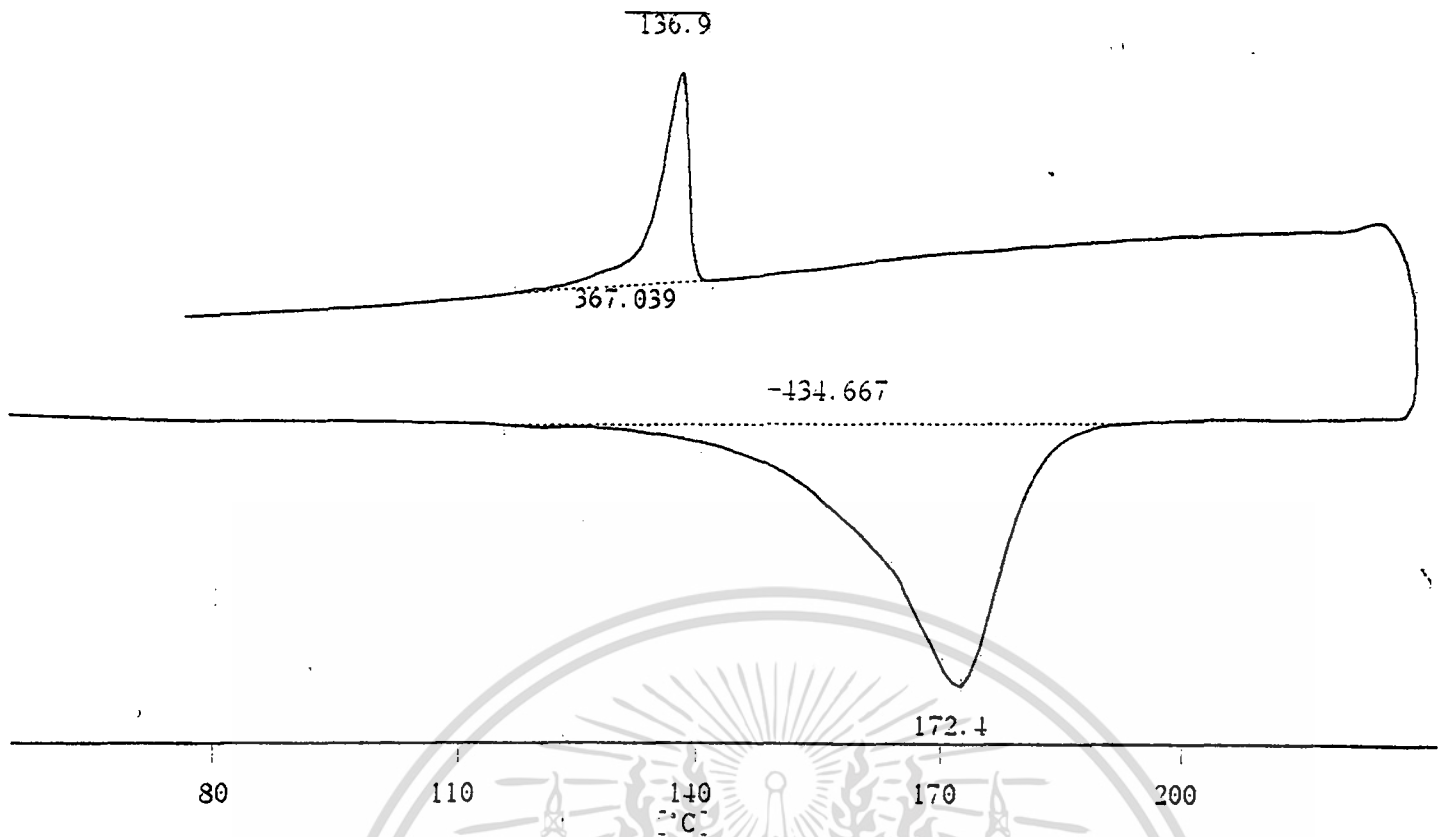
โพลีพรอพิลีนบีสต็อก โพลีเมอร์ที่เติมคาร์บอนซีเมธิลเซลลูโลสที่อัตราการเย็นตัว 20 °C/min



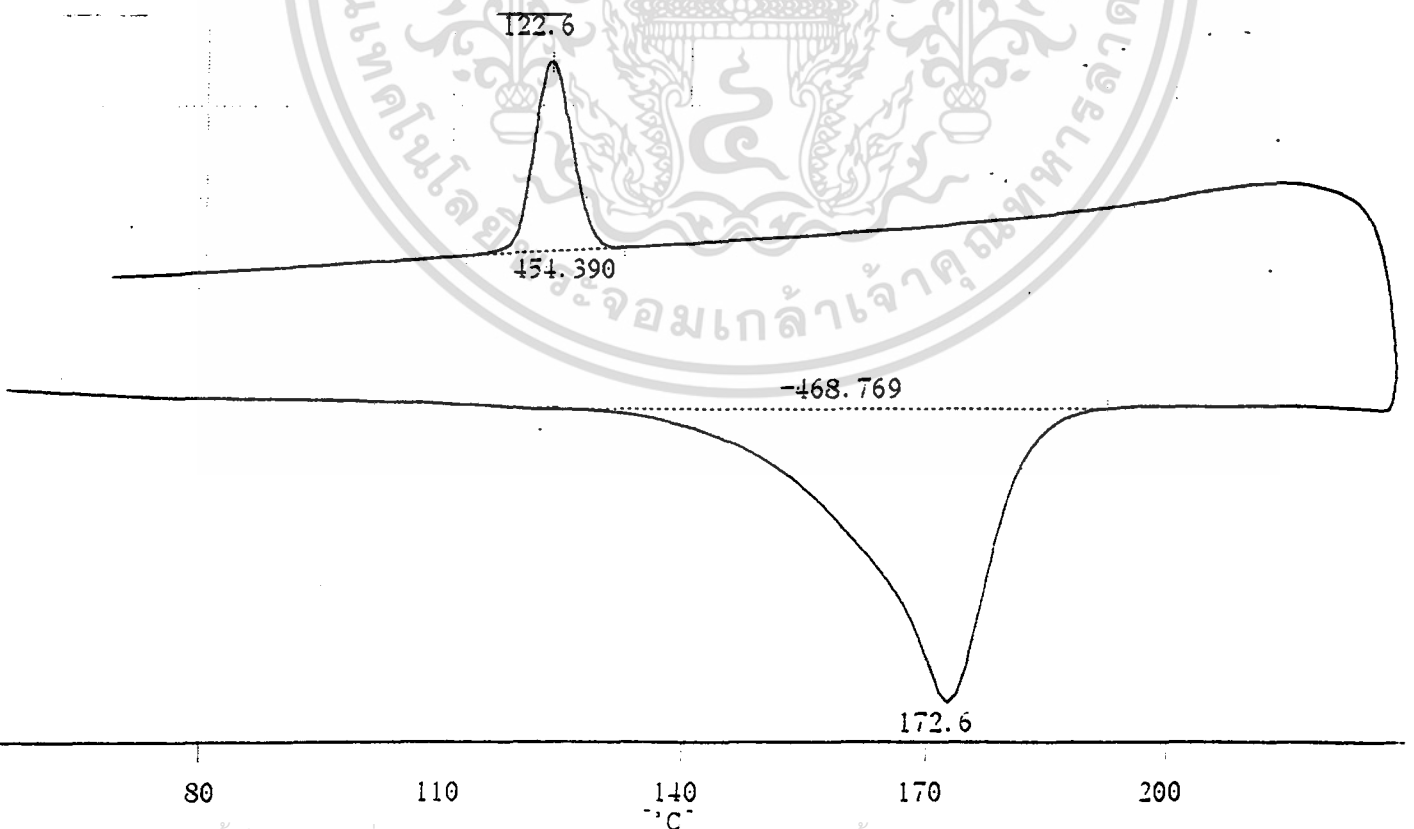
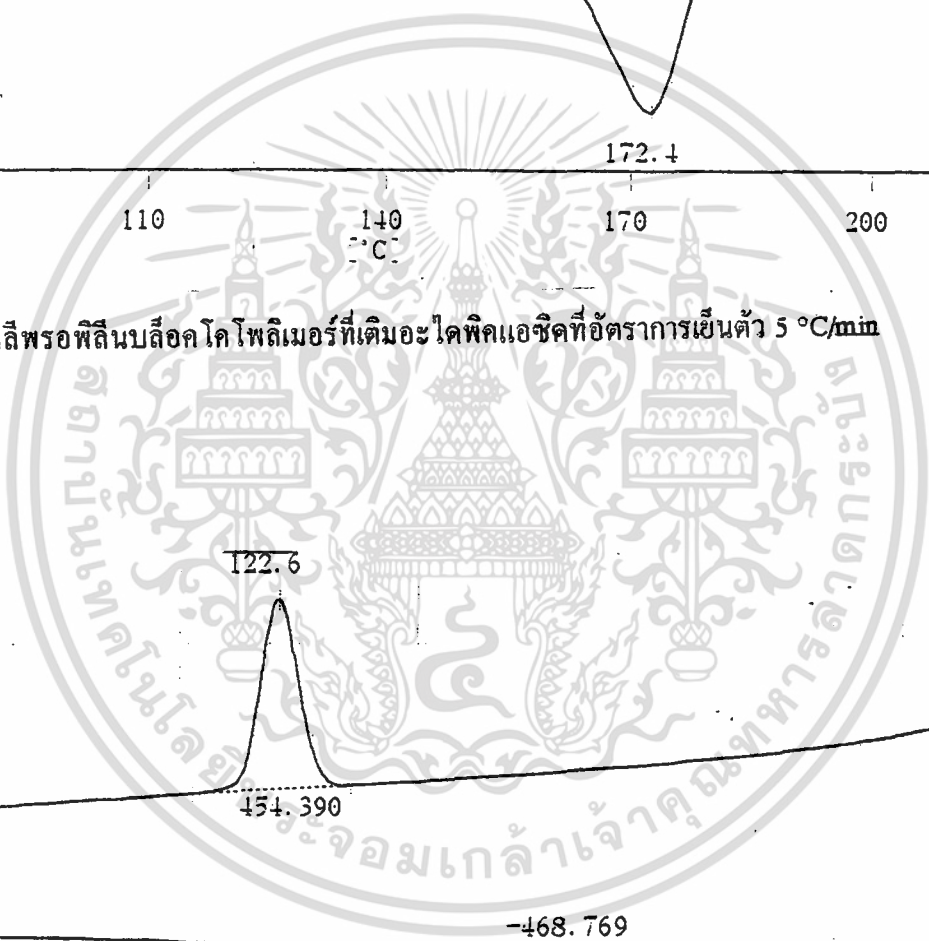
173.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 100 ไว้สำหรับการใช้ 130 เพื่อการศึกษาเท่านั้น 160 ไม่อนุญาตให้นำไป 190 ประโยชน์ด้าน 220  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

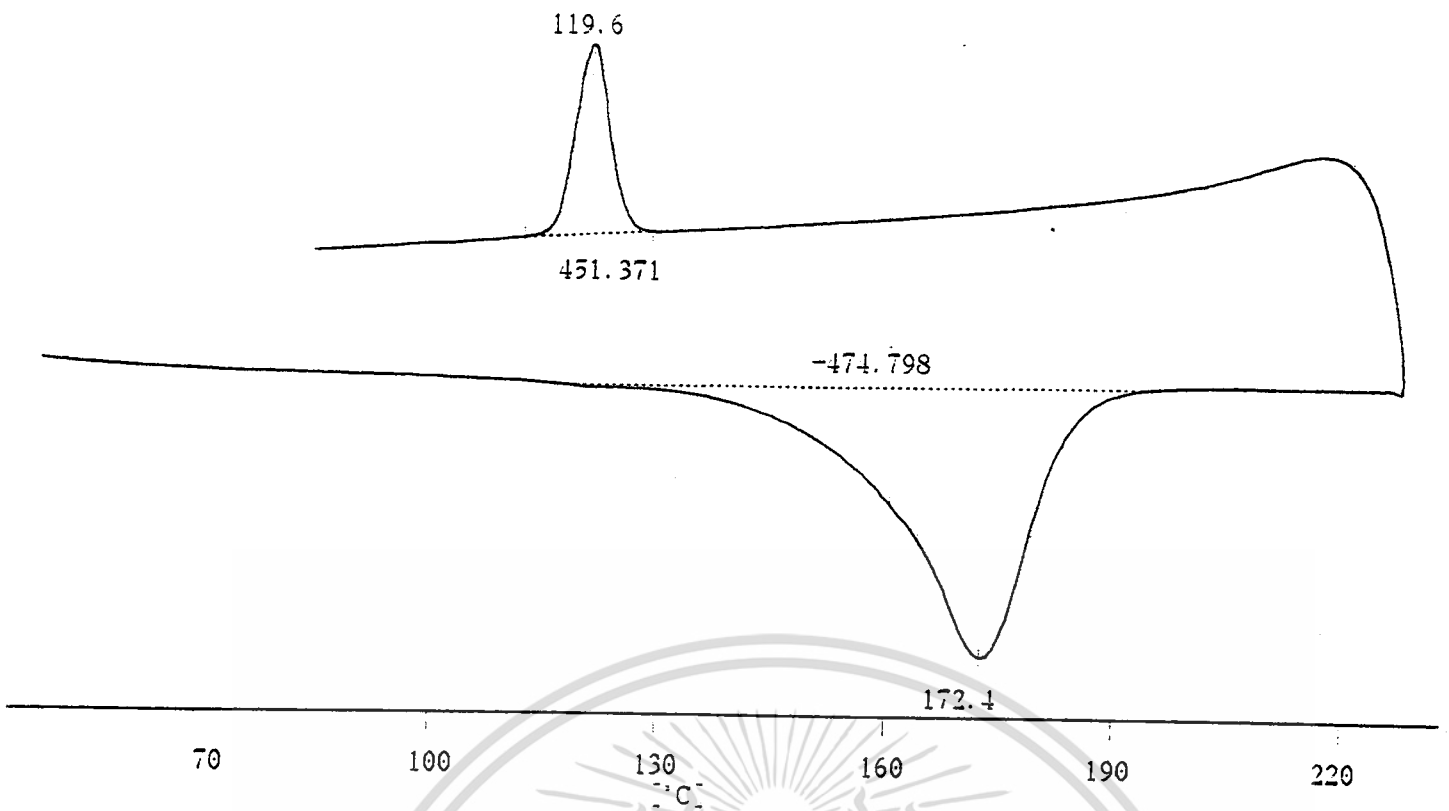
โพลีพรอพิลีนบีสต็อก โพลีเมอร์ที่เติมคาร์บอนซีเมธิลเซลลูโลสที่อัตราการเย็นตัว 40 °C/min



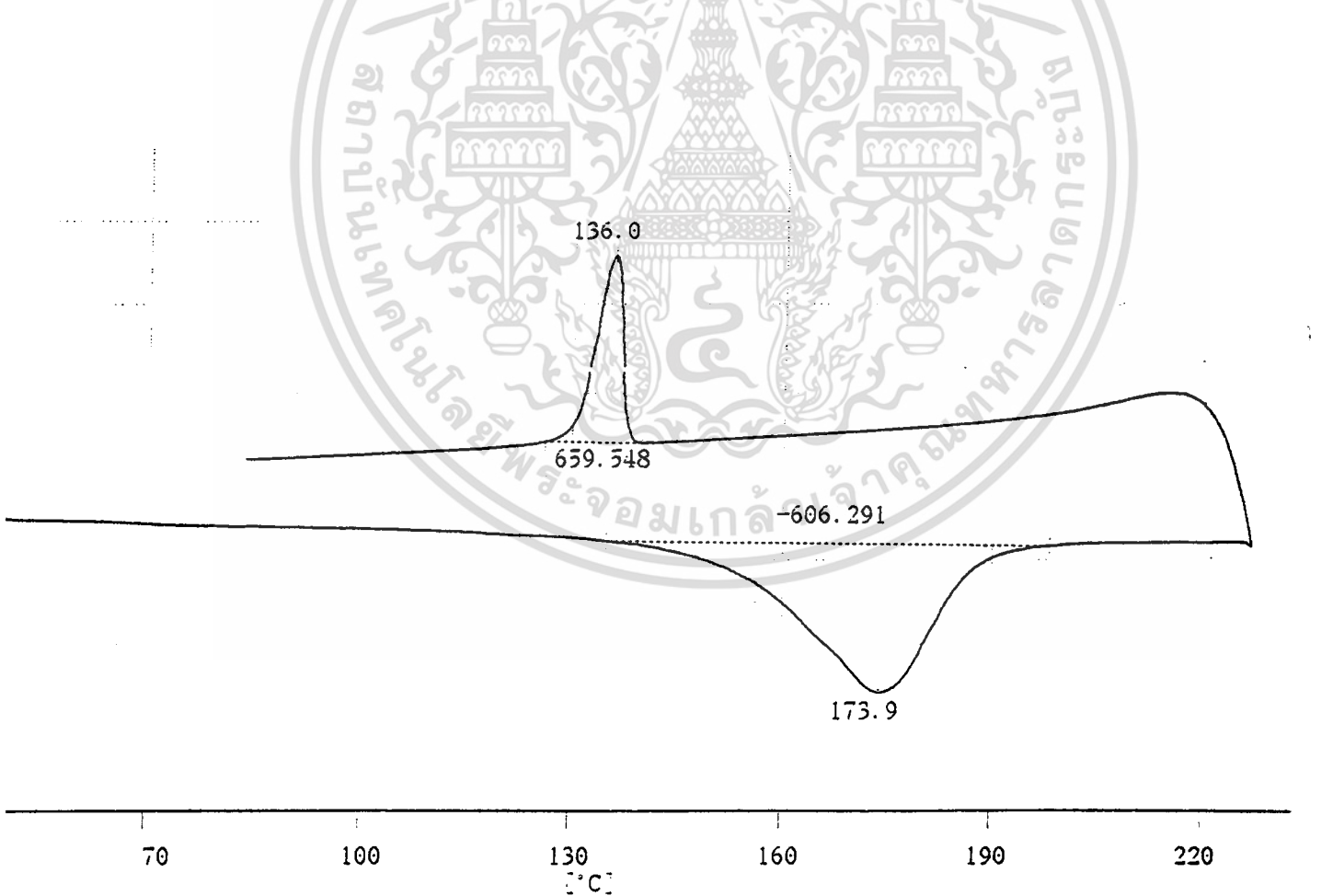
โพลีพรอพิลีนบล็อก โคโพลิเมอร์ที่เติมอะดิพิกแอซิดที่อัตราการเย็นตัว 5 °C/min



โพลีพรอพิลีนบล็อก โคโพลิเมอร์ที่เติมอะดิพิกแอซิดที่อัตราการเย็นตัว 10 °C/min



โพลีพรอพิลีนบล็อก โค โพลีเมอร์ที่เติมอะไคฟิคแอซิดที่อัตราการเย็นตัว 20 °C/min



โพลีพรอพิลีนบล็อก โค โพลีเมอร์ที่เติมอะไคฟิคแอซิดที่อัตราการเย็นตัว 40 °C/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้