

วัสดุพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง



นางสาวดวงพร กิตติเพิ่มพูนวงศ์  
นางสาวศศิณา แก้วกระจ่าง  
นางสาววรารักษ์ ชมศักดิ์สกุล

ปพ. โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ด 2117  
เลขหมู่ 2539  
เลขทะเบียน 26204  
วันที่ เดือน ปี 16 ต.ค. 2539  
ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## **Biodegradable Plastic Material from Cassava Starch**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement**

**for the Degree of Bachelor of Science**

**Department of Chemistry**

**Faculty of Science**

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ**1995**เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หัวข้อโครงการพิเศษ	วัสดุพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง
นักศึกษา	นางสาวดวงพร กิตติเพิ่มพูนวงศ์ นางสาวศศิณาญ แก้วกระจ่าง นางสาววรารักษ์ ชมศักดิ์สกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2538

#### บทคัดย่อ

วัสดุพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพผลิตได้จากการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับเมทิลเมทาคริเลตและเอทิลอะคริเลต โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลตกับเอทิลอะคริเลต อัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์อะคริเลตกับแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ ปริมาณของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต สารลดแรงตึงผิว NP 40 และอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา พบว่าการใช้อัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลตกับเอทิลอะคริเลตเป็น 45:55 อัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์อะคริเลตกับแป้งมันสำปะหลังที่ใช้เป็น 200 % โมล : 100 % โมล ปริมาณของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็น 0.015 โมล สารลดแรงตึงผิว NP 40 เป็น 18.75 กรัม และอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเป็น 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้ได้พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ เปอร์เซ็นต์การเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ ประสิทธิภาพการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ ความถี่ของการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ และคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Special Project Title** Biodegradable Plastic Material from Cassava Starch  
**Name** Miss Duanphorn Kittipumpoonwong  
 Miss Sasinard Kackrachang  
 Miss Wararuk Chomsaksakul  
**Special Project Advisor** Asst. Prof. Dr. Nipon Wongwisedsirikul  
**Department** Chemistry  
**Academic Year** 1995

### Abstract

Biodegradable plastics were prepared from graft copolymerization of methyl methacrylate (MMA) and ethyl acrylate (EA) onto cassava starch using potassium persulfate ( $K_2S_2O_8$ ) as initiator. The effect of methyl methacrylate-to-ethyl acrylate ratio (MMA:EA), acrylate monomer-to-cassava starch ratio, concentration of potassium persulfate, surfactant NP 40 and reaction temperature were investigated. The results indicated that the use of methyl methacrylate-to-ethyl acrylate ratio at 45:55, acrylate monomer-to-cassava starch ratio at 200% mole:100% mole, concentration of potassium persulfate at 0.015 mole, surfactant NP 40 at 18.75 grams and reaction temperature at 60°C for 3 hours after that up to 90°C for 1 hour gave high % conversion, % grafting, grafting efficiency, grafting frequency and tensile properties.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลาย ๆ ฝ่าย ซึ่งต้องขอขอบคุณ  
ไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล เป็นอย่างสูง ที่ให้คำปรึกษาและให้ความ  
ช่วยเหลือโครงการนี้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณคณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษที่กรุณาตรวจสอบ และแก้ไขโครง  
งานพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้อง

ขอขอบคุณพี่ ๆ ปริญญาโทที่ให้ความช่วยเหลือโครงการพิเศษตลอดมา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงการ  
พิเศษ

ขอขอบคุณพี่ๆ แผนกควบคุมคุณภาพ บริษัทไทยน้ำทิพย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์และให้  
ความช่วยเหลือในด้านกรพิมพ์โครงการพิเศษ

พร้อมกันนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ครูบาอาจารย์ ที่ได้อบรมสั่งสอนให้เป็น  
คนดี และให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา

อนึ่งยังมีบุคคลอีกหลายท่านนอกเหนือจากที่กล่าวมา ได้ให้ความช่วยเหลือจนโครงการ  
พิเศษนี้ได้สำเร็จลุล่วง ทางผู้จัดทำขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

นางสาวดวงพร กิตติเพิ่มพูนวงศ์

นางสาวศศินาฏ แก้วกระจ่าง

นางสาววรารักษ์ ชมศักดิ์สกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	2
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แอ็ง	3
2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแอ็ง	3
2.2.2 ส่วนประกอบและโครงสร้างทางเคมีของแอ็ง	5
2.2.3 การเกิดเป็นเจลของแอ็ง	7
2.2.4 การนำแอ็งไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ	9
2.2 ปฏิกริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน	11
บทที่ 3 การทดลอง	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	12
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	13
3.3 วิธีทดลอง	14
บทที่ 4 การคำนวณ	20
บทที่ 5 ผลการทดลอง	30
บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	๓๕
ภาคผนวก 1	
ภาคผนวก 2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	11
ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง	15
ตารางที่ 3.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณ โพลีเอทิลีนออกไซด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง	15
ตารางที่ 3.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณ NP 40 ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง	16
ตารางที่ 3.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง	16
ตารางที่ 5.1-5.7 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังที่เกิดขึ้น	20-24
ตารางที่ 5.8-5.13 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังที่เกิดขึ้น	31-33
ตารางที่ 5.14-5.18 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ $K_2S_2O_8$ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังที่เกิดขึ้น	39-41
ตารางที่ 5.19-5.24 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ NP 40 ที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังที่เกิดขึ้น	48-50
ตารางที่ 5.25-5.30 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังที่เกิดขึ้น	57-59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของอะไมโลส	4
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของอะไมโลเพกติน	5
รูปที่ 5.1-5.6 กราฟแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนมอนอเมอร์ที่ใช้ใน การสังเคราะห์ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังที่เกิดขึ้น	25-30
รูปที่ 5.7-5.11 กราฟแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณมอนอเมอร์ที่ใช้ใน การสังเคราะห์ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังที่เกิดขึ้น	34-38
รูปที่ 5.12-5.17 กราฟแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ <span style="float: right;">ที่ใช้ใน</span> การสังเคราะห์ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังที่เกิดขึ้น	42-47
รูปที่ 5.18-5.23 กราฟแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ <span style="float: right;">ที่ใช้ใน</span> การสังเคราะห์ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังที่เกิดขึ้น	51-56
รูปที่ 5.24-5.29 กราฟแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ <span style="float: right;">ที่ใช้ใน</span> การสังเคราะห์ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังที่เกิดขึ้น	60-65
รูปที่ 5.30 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของหมู่ฟังก์ชันของแป้ง โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปคโตมิเตอร์	67
รูปที่ 5.31 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ร่วม แบบต่อของแป้ง โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปคโตมิเตอร์	68
รูปที่ 5.32 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์โซ่สาขา ที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง อินฟราเรดสเปคโตมิเตอร์	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย
°C	องศาเซลเซียส
ml	มิลลิลิตร
MMA	เมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์
EA	เอทิลอะคริเลตมอนอเมอร์
aq. K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	สารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต
aq. Na <sub>2</sub> EDTA 2H <sub>2</sub> O	สารละลายเกลือไดโซเดียมของกรดเอทิตินไดอะมีนเตตระอะซิติก
40 °C	อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเป็น 40°C ตลอดเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง
40/90 °C	อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเป็น 40°C ใน 3 ชั่วโมงแรกของการเกิดปฏิกิริยาและเพิ่มเป็น 90°C ในชั่วโมงสุดท้ายของการเกิดปฏิกิริยา
60 °C	อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเป็น 60°C ตลอดเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง
60/90 °C	อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเป็น 60°C ใน 3 ชั่วโมงแรกของการเกิดปฏิกิริยาและเพิ่มเป็น 90°C ในชั่วโมงสุดท้ายของการเกิดปฏิกิริยา
90 °C	อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเป็น 90°C ตลอดเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาของโครงการ

ในปัจจุบันปริมาณการใช้พลาสติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ทั้งนี้มีสาเหตุเนื่องมาจากพลาสติกเป็นวัสดุที่มีสมบัติเด่นมากมาย จึงเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากพลาสติกมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้เป็นระยะเวลาอันยาวนานน้อย ๑ ปีจึงก่อให้เกิดปัญหาขยะพลาสติกขึ้น

สาเหตุที่พลาสติกที่สังเคราะห์จากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้มี 2 ประการ คือ

1. พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก ทำให้มีความทนทานต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ดี
2. พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) มีลักษณะไม่เป็นรูพรุนและมีพื้นที่ผิวน้อย ส่งผลทำให้เอนไซม์ที่ปลดปล่อยออกมาจากจุลินทรีย์ซึมผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำ ไปสัมผัสกับผิวของพลาสติกน้อยลง จึงเป็นการยากที่จะทำให้พลาสติกย่อยสลายได้

เนื่องจากพลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ดังที่ได้อ้างไว้ไปแล้ว ดังนั้นในหลายประเทศจึงพยายามผลักดันให้มีการใช้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพแทนพลาสติกที่สังเคราะห์จากพอลิเมอร์

พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพสามารถผลิตได้หลายวิธีแต่วิธีที่น่าสนใจวิธีหนึ่งคือ การทำพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับโพลีแลกติกแอซิด ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่มีการปลูกกันอย่างกว้างขวางในพื้นที่หลายจังหวัดของประเทศ ผลผลิตของแป้งมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะส่งออกไปขายยังกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป แต่ก็มักประสบกับปัญหาความไม่แน่นอนของตลาด ดังนั้นจึงมีการวิจัยเพื่อนำแป้งมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ให้มากขึ้นและเป็นการนำผลิตผลทางการเกษตร มาแทนที่ โปไตรเลียมโพลีเมอร์ ซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้โดยง่าย ดังนั้นการใช้แป้งมันสำปะหลังในพลาสติกไม่เพียงแต่จะเป็นการลดปริมาณการใช้โพลิเอทิลีน-โมโนเมอร์ เท่านั้น แต่แป้งมันสำปะหลังยังคงเป็นส่วนที่สามารถย่อยสลายได้ทำให้พลาสติกที่สำเร็จรูปแล้วสามารถถูกย่อยเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ที่จะทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับไวนิลมอนอเมอร์โดยคำนึงถึงศักยภาพในเชิงอุตสาหกรรม
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่ผลิตได้ เช่น คุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติทางความร้อน เป็นต้น
3. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่ผลิตได้ เช่น ปริมาณของไวนิลมอนอเมอร์ ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยา เป็นต้น

### ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับไวนิลมอนอเมอร์ ซึ่งได้แก่การศึกษา ปริมาณของไวนิลมอนอเมอร์ ตัวริเริ่มปฏิกิริยา สารลดแรงดึงผิว และอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม
2. ศึกษาคุณลักษณะและคุณสมบัติของกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่ผลิตได้ ได้แก่
  - 3.1 การหาปริมาณของแป้งที่เป็นองค์ประกอบ ( solid content ) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ ( % conversion )
  - 3.2 การหาเปอร์เซ็นต์การเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ ( % grafting ) และประสิทธิภาพการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ ( grafting efficiency )
  - 3.3 การหาน้ำหนักโมเลกุล ( molecular weight ) ของพอลิเมอร์โซ่สาขา
  - 3.4 การหาอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน ( glass transition temperature,  $T_g$  ) ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ
  - 3.5 การศึกษาสมบัติเชิงกล เช่น การหาค่าความแข็งแรงดึง ( tensile strength ) ของสารที่สังเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### แป้ง

##### 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง

แป้ง ( starch ) มีอยู่ในพืชทุกชนิดเป็นสารประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ ( polysaccharide ) ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ประกอบด้วยกลูโคส เป็นสารแขวนลอยที่รวมตัวกับน้ำได้ดี ( hydrocolloids ) แต่ไม่ละลายในน้ำเย็น สามารถพบอยู่ในพืชทุกชนิด โดยพืชจะสะสมแป้งไว้ในเซลล์ เช่น ในเมล็ด เนื้อไม้ และ รากพืช เป็นต้น

รูปร่างและขนาดของแป้งจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่นำมาผลิต แป้งข้าวเจ้ามีรูปร่างหลายเหลี่ยม หรืออาจสามารถพบในลักษณะที่เป็นรูปทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-25 ไมโครเมตร แป้งมันสำปะหลังมีรูปร่างทรงกลมทึบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-35 ไมโครเมตร แป้งมันฝรั่งเป็นแป้งที่ขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุดในจำนวนเชิงการค้าทั้งหมด โดยรูปร่างของแป้งเป็นรูปไข่เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15-100 ไมโครเมตร

กระบวนการผลิตแป้งนั้นมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ หลักการโดยทั่วไปของการผลิต คือ การแยกเม็คน้ำออกจากองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น เส้นใย โปรตีน และ เกลือแร่ แล้วทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างน้ำ ทำการปั่นแยกแล้วทำการอบแห้งต่อไป ในกระบวนการผลิตเหล่านี้จะได้แป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ เนื่องจากแป้งไม่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น

แป้งสามารถจะนำไปใช้เป็นส่วนผสม หรือใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย เช่น สารยึดติด สิ่งทอ กระดาษ อาหาร ยารักษาโรค และวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น คุณสมบัติของแป้งเกิดจากคุณสมบัติของความชื้นเหนียว การเกิดเป็นเจล การยึดติดและการเกิดฟิล์ม คุณภาพสามารถควบคุมได้ง่าย อีกทั้งยังเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย และมีราคาถูก

##### 2.2 ส่วนประกอบและโครงสร้างทางเคมีของแป้ง

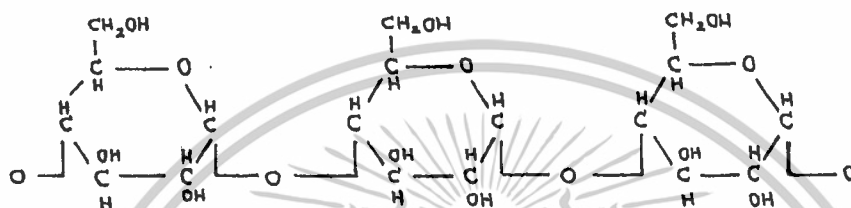
แป้งประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต แป้งเป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส ( AGU ) เชื่อมเข้ากันด้วยพันธะโคเวเลนต์ระหว่างอะตอมออกซิเจนที่ติดกับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสหนึ่งกับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสตัวถัดไป ซึ่งพันธะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมโยงระหว่างหน่วยกลูโคสเรียกว่า พันธะกลูโคไซด์ ( glucoside bond ) และทำให้โมเลกุลของ น้ำตาลจำจัดออกไม้ ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์ขึ้นแบบควบแน่น

แป้งประกอบไปด้วยโพลิเมอร์ 2 ชนิด คือ อะไมโลส ( amylose ) และ อะไมโลเพกติน ( amylopectin )

อะไมโลส เป็นโพลิเมอร์เชิงเส้น ( linear polymer ) ที่ประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดร กลูโคสต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-ดี ( 1,4 ) กลูโคซิดิก [  $\alpha$ -D ( 1,4 ) glucosidic bond ] ขนาดของ โมเลกุลนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของหน่วยกลูโคส โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 200-2000 หน่วย

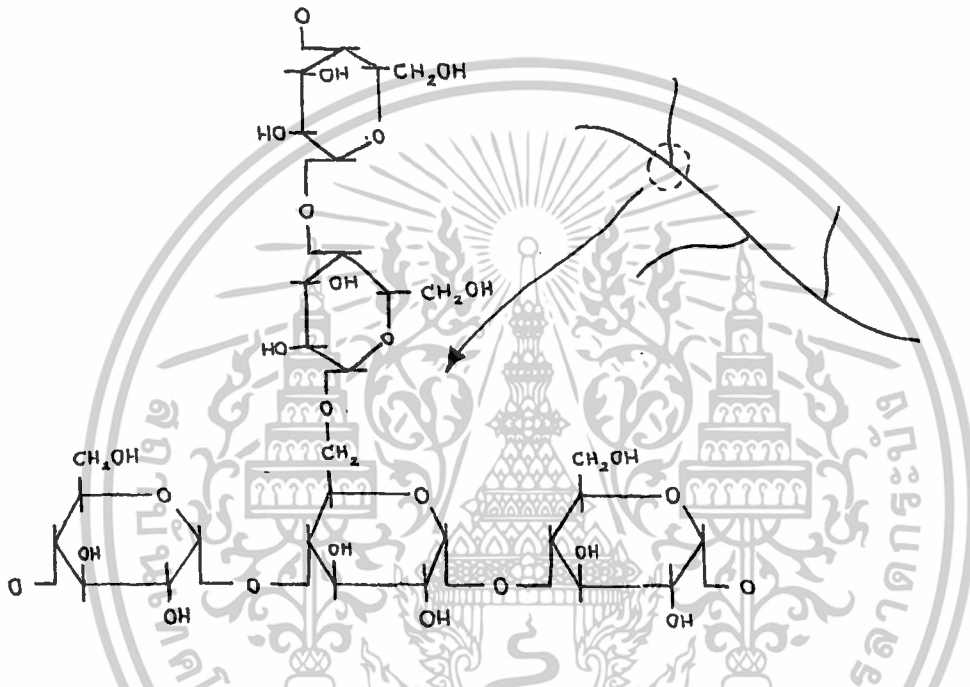


รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของอะไมโลส

จำนวนหมู่ไฮดรอกซิล ( hydroxyl group ) จะแสดงถึงสมบัติการชอบน้ำ ( hydrophilic ) ของแป้ง เช่น การดูดความชื้น และการกระจายตัวในน้ำ อย่างไรก็ตามเนื่องจากอะไมโลส มีโครงสร้างแบบเชิงเส้นจึงมีความสามารถในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลได้ และเนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลใน โมเลกุลจำนวนมาก ทำให้สายโซ่ของอะไมโลสมีแนวโน้มที่จะจัดเรียงตัวในแนวขนาน และก่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจน ( hydrogen bond ) ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลได้ มีผลทำให้คุณสมบัติการ ชอบน้ำของแป้ง และการละลายของแป้งลดลง โมเลกุลอะไมโลสสามารถจะก่อสารประกอบเชิงซ้อนแบบเกลียวล้อมรอบโมเลกุลของไอโอดีน ( iodine ) โดยสารประกอบเชิงซ้อนนี้จะมีสีน้ำเงินจึง สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณอะไมโลสในแป้งได้ และเนื่องจากสารประกอบเชิงซ้อน สามารถตกตะกอนได้ด้วยบิวทานอล ( butanol ) หรือสารอินทรีย์ชนิดอื่น ทำให้สามารถแยก อะไมโลสออกจากอะไมโลเพกติน ( amylopectin ) โดยวิธีการเลือกการตกตะกอน ( selective precipitation )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะไมโลเพกติน เป็นโพลิเมอร์โซ่สาขา (branch polymer) ประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (AGU) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-ดี (1,4) กลูโคซิดิก [ $\alpha$ -D (1,4) gluosidic bond] และเกิดสาขาที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ในแต่ละโซ่สาขาประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (AGU) ประมาณ 20-30 หน่วย จากการที่โมเลกุลอะไมโลเพกตินมีขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลอะไมโลส และโมเลกุลอะไมโลเพกตินเป็นโพลิเมอร์โซ่สาขา ทำให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแป้งลดลง และขัดขวางการเกิดพันธะไฮโดรเจน สารละลายอะไมโลเพกตินในน้ำจะมีลักษณะใสและมีความเสถียรในการเป็นเจล และจะไม่ก่อสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของอะไมโลเพกติน

ส่วนที่เป็นเชิงเส้นของโมเลกุลอะไมโลเพกตินและโมเลกุลอะไมโลสจะจัดเรียงตัวแบบขนานทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้น ส่งผลทำให้เกิดผลึกแบบไมเซล (micellar crystalline) ซึ่งส่งผลทำให้เกิดคุณสมบัติไบรฟรินเจนต์ (birefringent)

## 2.3 การเกิดเป็นเจลของแป้ง

### 2.3.1 การรวมตัวและการเกิดเป็นเจลของเม็ดแป้ง

เม็ดแป้งจะไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าประมาณ 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการเกิดเป็นเจลของแป้งอยู่ในช่วง 55-80 องศาเซลเซียส ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งและความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลที่ยึดติดเม็ดแป้งไว้ด้วยกันจะอ่อนตัวลงและเม็ดแป้งก็จะเริ่มบวมตัวอย่างรวดเร็ว

อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการบวมตัวเรียกว่า อุณหภูมิการเกิดเจล เม็ดแป้งจะอมน้ำไว้และบวมตัวหลายเท่าจากปริมาตรเดิม เมื่อให้ความร้อนและปั่นกวนส่วนผสมไปด้วยพร้อมกัน จะทำให้ส่วนผสมกลายเป็นเนื้อเดียวกัน ความหนืดมีค่ามากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งเกิดการบวมตัวและอมน้ำไว้ได้มากที่สุด หลังจากนั้นจะเกิดการแตกออกของเม็ดแป้ง ความหนืดก็จะลดลงขณะที่เม็ดแป้งที่เป็นเจลแตกออกจากกัน

เม็ดแป้งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นผลึก(crystalline)และส่วนที่เป็นอสัณฐาน(amorphus) ซึ่งในระหว่างเกิดการบวมตัวที่สามารถผันกลับได้นั้น น้ำจะแทรกเข้าไปในส่วนที่เป็นอสัณฐานและทำให้เกิดการบวมตัวที่บริเวณอสัณฐานนั้น โดยส่วนที่เป็นผลึกไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลยเมื่อทำให้เม็ดแป้งแห้ง น้ำที่แทรกเข้าไปในส่วนที่เป็นอสัณฐานจะถูกกำจัดออกโดยไม่มีผลกระทบโดยตรงต่อคุณสมบัติของเม็ดแป้ง เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำแป้งจนมีอุณหภูมิสูงเกินอุณหภูมิของการเกิดเจล น้ำก็จะแทรกเข้าไปในส่วนที่เป็นผลึกด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดการเสียรูปแบบของไบรฟริงเจนซ์(birefringence) หมายถึง องค์ประกอบการจัดเรียงตัวภายในโมเลกุลลดลง การสังเกตจากภาพตัดขวางจากกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ สามารถใช้ในการกำหนดอุณหภูมิในการเกิดเป็นเจลได้

### 2.3.2 การเกิดเป็นเจลโดยใช้ความร้อน

คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของแป้ง ก็คือ การเกิดเป็นลักษณะแป้งเปียกที่หนืดเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำแป้ง การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่อความร้อนในขณะที่ให้ความร้อนแก่น้ำแป้ง เป็นค่าที่ใช้ในการทำนายคุณสมบัติของแป้ง

การทำให้เกิดการบวมตัวเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำแป้งให้สูงขึ้น เม็ดแป้งเกิดการพองตัวกระทบซึ่งกันและกัน ความหนืดของน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดวิกฤติ จากนั้นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเริ่มอ่อนตัวลงและความหนืดจะลดลง ในกรณีที่เกิดการรวมตัวกันของอะไมโลส จะทำให้ความหนืดของน้ำแป้งเพิ่มขึ้นอีกครั้ง

จากการศึกษารูปแบบการบวมตัวของแป้งชนิดต่างๆโดย X-ray diffraction และการทดสอบเม็ดแป้งโดยแสง และอิเล็กตรอนไมโครสโคปทำให้ทราบถึงภาพของโครงสร้างที่เป็นไปได้ และการจัดเรียงตัวของเม็ดแป้ง พบว่าเม็ดแป้งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นผลึก ออสัณฐาน และส่วนที่เป็นกึ่งผลึก อะไมโลเพกตินโมเลกุลใหญ่จะมีทั้งส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐาน ส่วนที่เป็นผลึกเกิดจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลอะไมโลเพกตินในส่วนที่เป็นเส้นตรงของโซ่สาขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบวมตัวในช่วงเริ่มต้นในระหว่างการเกิดเป็นเจล ในส่วนที่เป็นอสัณฐานของเม็ดแป้งจะเกิดการแตกออกของพันธะไฮโดรเจนที่อ่อนตัวและเกิดการแทรกตัวของน้ำเข้าไปในโมเลกุล ขณะที่อุณหภูมิของน้ำแป้งสูงขึ้น การแทรกตัวของน้ำก็เกิดมากขึ้นและพันธะไฮโดรเจนในส่วนที่เป็นผลึกก็จะเริ่มแตกออก เม็ดแป้งบวมขึ้นโดยโมเลกุลอะมิโลเพกตินถูกแทรกด้วยน้ำ แต่โครงสร้างนี้ยังคงรูปอยู่ได้เนื่องจากมีบางส่วนไม่ถูกแทรกด้วยน้ำ ซึ่งเป็นส่วนที่ยึดโครงสร้างนี้ไว้

### 2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของแป้งที่เป็นเจล

คุณสมบัติของแป้งที่เป็นเจลจะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการให้ความร้อน และสารมลทินที่ปนอยู่ในแป้ง ดังนั้นถ้าควบคุมสภาวะของการให้ความร้อนจะทำให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความเข้มข้น อุณหภูมิ เวลา อัตราเร็วของการปั่นกวน pH และชนิดของสารตัวเติมและสิ่งเจือปนต่างๆ

### 2.4 การนำแป้งไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ

การผลิตสารเคมีหรือพลาสติกซึ่งต้องเกี่ยวข้องกับการใช้ปิโตรเลียม พบว่าพลาสติกส่วนใหญ่ได้มาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ ซึ่งปริมาณการใช้ที่เพิ่มมากขึ้นทั้งในปัจจุบันและอนาคตข้างหน้า ทำให้ต้องหันมาสนใจว่าจะมีปิโตรเลียมในการใช้เป็นสารตั้งต้น อย่างพอเพียงต่อการเจริญเติบโตหรือไม่ จึงได้มีการนำเอาพอลิเมอร์ธรรมชาติมาใช้ เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อสำหรับพลาสติกหรือใช้แทนพลาสติกบางตัว และความสามารถของพอลิเมอร์ธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ ทำให้ลดปัญหาเรื่องของการสะสมในสิ่งแวดล้อม

แป้งสามารถใช้ผสมในพลาสติก เช่น ใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิไวนิลคลอไรด์ ในโพรพิลีนชนิดแข็ง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีนและกรดอะคริลิก และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง เพื่อให้มีสมบัติในการสลายตัวทางชีวภาพ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ได้มีการนำมาใช้ในทางด้านการเกษตรเพื่อปรับปรุงผลผลิต และควบคุมคุณภาพของพืชผักผลไม้ โดยใช้ในการควบคุมความชื้น และอุณหภูมิของดิน ลดการชะล้างของสารอาหาร ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของเมล็ดและเพิ่มผลผลิตของพืชผล ไม่เพียงแต่แป้งสามารถผสมกับพอลิเมอร์สังเคราะห์เท่านั้น แต่ยังมีประโยชน์ในการใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อ ( extender ) หรือเป็นสารเสริมแรง ( reinforcing agent ) โดยแป้งจะทำปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนตได้ ทำให้ราคาต่ำ ปรับปรุงความต้านทานต่อตัวทำลายและความแข็งแรง

พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งที่ใช้เป็นสารยึดเกาะ ( binding agent ) ทั้งในการเคลือบกระดาษ การตกแต่งสิ่งทอและใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อ ( sizing agent ) ในการผลิตกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็งที่ใช้ในการเป็นสารเพิ่มเนื้อ และใช้แทนพอลิเมอร์สังเคราะห์ เพื่อลดการใช้มอนอเมอร์ที่ผลิตจากปิโตรเลียม และเพื่อให้พอลิเมอร์เกิดการสลายตัวโดยจุลินทรีย์

พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็งกับเมทิลอะคริเลตเป็นตัวอย่างหนึ่ง ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะผลิตในทางการค้า เนื่องจากมีสมบัติที่ดีด้านความเหนียวเป็นพลาสติกที่มีความยืดหยุ่น และเพื่อเพิ่มความสามารถในการสลายตัวทางชีวภาพ จะทำการกราฟท์ด้วยมอนอเมอร์ผสมของเมทิลอะคริเลต กับไวนิลอะซิเตด บนโมเลกุลของแข็ง

ในการทำปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน ของมอนอเมอร์บนแข็งซึ่งจะมีทั้งลักษณะที่เป็นเม็ดและเป็นเจล การพัฒนาเพื่อการประยุกต์ใช้เป็นพอลิเมอร์ที่สมบัติดูดซึมน้ำ พบว่าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมายหลายด้าน อาทิเช่น ใช้เป็นสารข้น (thickener) สารช่วยตกตะกอน (flocculant) สารเติมแต่งในอุตสาหกรรมกระดาษ

ในด้านอุตสาหกรรมเวชภัณฑ์ พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็งกับอะคริลาไมด์ในไตรลยที่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเบส จะได้พอลิเมอร์ที่คุณสมบัติดูดซึมน้ำได้มากและรวดเร็ว จึงได้ชื่อว่า super absorber สามารถนำไปใช้เป็นสารดูดน้ำในการทำผ้าอ้อม แผ่นรองเตียงในโรงพยาบาล ใช้ในเกษตร ซึ่งสามารถดูดซึมน้ำได้ดี และยังสามารถนำไปใช้ในลำอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบคอตของแป้ง สามารถสังเคราะห์ได้โดยให้แป้งทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบคอต (graft copolymerization) กับไวตามินอนอเมอร์ โดยการทำให้เกิดอนุมูลอิสระบนโมเลกุลของแป้ง

การทำให้เกิดอนุมูลอิสระ จะมีระบบที่ทำให้เกิดตัวริเริ่มปฏิกิริยา 2 ประเภทคือ การกระตุ้นทางกายภาพ และการกระตุ้นทางเคมี

การกระตุ้นทางกายภาพ เป็นการฉายรังสีเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระบนโมเลกุลของแป้ง ปฏิกิริยาเริ่มต้นจะเกิดเป็นไอออนจากการสลายพันธะเคมีก่อน ซึ่งไอออนเหล่านี้จะเปลี่ยนไปเป็นอนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว

การกระตุ้นทางเคมี เป็นการใช้สารเคมีเพื่อให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระบนโมเลกุลของแป้ง ตัวริเริ่มปฏิกิริยาเคมีที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต และซิริกแอมโมเนียมไนเตรต นอกจากนี้ยังมีตัวริเริ่มปฏิกิริยากลุ่มอื่นๆอีก ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารเปอร์ออกไซด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ โซเดียมไฮโปคลอไรด์ แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต และโซเดียมเมตาไบซัลเฟต

กลไกการเข้าทำปฏิกิริยาของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต สามารถแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

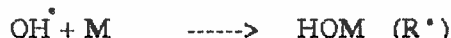
(1) การแตกตัวของออกของตัวริเริ่ม (initiator dissociation)



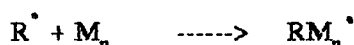
(2) ปฏิกิริยาเริ่มต้น (initiation reaction)



เนื่องจากในระบบมีน้ำเป็นตัวทำละลายอยู่ด้วย ดังนั้นซัลเฟตไอออนอนุมูลอิสระ ( $\text{SO}_4^{\cdot -}$ ) สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำ ได้ไฮดรอกซีอนุมูลอิสระ (hydroxy radical) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ได้ ดังสมการ



(3) ปฏิกิริยาการเจริญเติบโต (propagation reaction)



(4) ปฏิกิริยาขั้นสิ้นสุด (termination)

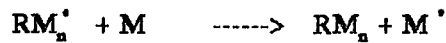
(4.1) ปฏิกิริยาการรวมตัว (combination)



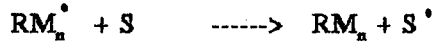
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 ปฏิกิริยาการย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระ ( transfer reaction )

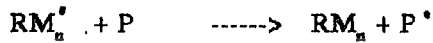
ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่มอนอเมอร์ ( transfer to monomer )



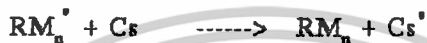
ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่ตัวทำละลาย ( transfer to solvent )



ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่พอลิเมอร์ ( transfer to polymer )



ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่ตัวย้ายสายโซ่ ( transfer to chain transfer agent )



ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่ตัวริเริ่ม ( transfer to initiator )



ปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์บนโมเลกุลของแข็งด้วยพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ เม็ดแข็งจะยังคงอยู่ในสภาพเดิม จะไม่กระจายตัวในน้ำแต่จะอยู่ในสภาพเป็นของแข็งเล็กๆแขวนลอยอยู่ในน้ำ แต่จะกระจายตัวได้ดีหรือละลายได้มากขึ้นโดยใช้เมทิลซัลโฟลิกไซค์ และสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์เมื่อทำให้อยู่ในรูปอนุพันธ์

พอลิเมอร์ร่วมแบบค้ำของแข็งที่เกิดจากพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำจะสามารถบวมตัวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง และสามารถแยกแข็งส่วนที่ไม่บวมออกจากน้ำได้ด้วยการกรอง แต่ถ้าแข็งที่ใช้สามารถบวมตัวได้ จะต้องแยกด้วยการเค็มตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เมทานอล เป็นต้น

คุณสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมที่ได้ขึ้น กับชนิดและปริมาณของพอลิเมอร์ที่ใช้ ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วมที่ได้จะมีผลต่อคุณสมบัติการใช้งานของพอลิเมอร์ กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันต่ำ จะทำให้พอลิเมอร์ร่วมที่ได้อ่อนตัวได้ง่ายที่อุณหภูมิใช้งาน ทำให้ไม่เหมาะสมกับการใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วมขึ้นกับค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของมอนอเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ร่วม ดังสมการ

$$T_g = \frac{W_1}{T_{g1}} + \frac{W_2}{T_{g2}} + \dots + \frac{W_n}{T_{gn}}$$

เมื่อ  $T_g$  = อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วม  
 $W_1, W_2, \dots, W_n$  = อัตราส่วนโดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ตัวที่ 1, 2, ..., n  
 $T_{g1}, T_{g2}, \dots, T_{gn}$  = อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของมอนอเมอร์ตัวที่ 1, 2, ..., n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 8

### การทดลอง

#### สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 แสดงสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	เกรด	บริษัทผู้ผลิต
แป้งมันสำปะหลัง	การค้า	ไทยวา จำกัด มหาชน
เมทิล เมทาอะคริเลต	การค้า	-
เอทิลอะคริเลต	การค้า	-
น้ำกลั่น	การค้า	องค์การเบคเตอร์
โพพทีรีน ไกลคอล	การค้า	J.T.Baker
NA <sub>2</sub> EDTA	วิเคราะห์	Fluka
กรดไนตริก	วิเคราะห์	J.T.Baker
โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต	วิเคราะห์	Fluka
NP 40	วิเคราะห์	-
โซเดียมไฮดรอกไซด์	วิเคราะห์	Merok
อะซีโตน	การค้า	P & N
เมทิล แอลกอฮอล์	วิเคราะห์	Merok
เมทิล แอลกอฮอล์	การค้า	P & N
กรดอะซีติกเข้มข้น	วิเคราะห์	Farmitalia Carlo Erba
กรดเปอร์คลอริกเข้มข้น 70 %	วิเคราะห์	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- (1) มอเตอร์ปั่นกวนชนิดปรับรอบ รุ่น RB 16 บริษัท IKA
- (2) หม้อปฏิกริยาแบบ 4 คอ ขนาด 2 ลิตร บริษัท Schott จำกัด
- (3) ไบพัคกวนแอสแตนเลส แบบไบพัคกวน 2 ชั้น
- (4) อ่างน้ำพร้อมเครื่องควบคุมอุณหภูมิ รุ่น B-480 บริษัท Buohi
- (5) เทอร์โมมิเตอร์ 0-100°C
- (6) ชุดให้ก๊าซไนโตรเจน
- (7) เครื่องชั่งหยาบตนิยม 1 ตำแหน่ง รุ่น BB 3000 บริษัท Mettler
- (8) เครื่องชั่งละเอียดตนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น AB-200 บริษัท Mettler
- (9) ถาดอะลูมิเนียม
- (10) เครื่องให้ความร้อน (heating mantle) บริษัท Horst
- (11) ชุดสกัดซอกซ์เล็ต พร้อมไส้กรอง (cellulose extraction thimber)
- (12) ชุดเครื่องแก้วต่างๆ
- (13) เครื่องให้ความร้อนพร้อมเครื่องกวนเชิงแม่เหล็ก รุ่น M 21/1 บริษัท Pramo
- (14) ตู้อบร้อนแบบ hot air รุ่น IP 20 บริษัท WTB Binder
- (15) เครื่องย่อย บริษัท Bosoo
- (16) เครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง รุ่น LRM 110 บริษัท Lab Tech Engineering Company Ltd.
- (17) เครื่องอัคร้อน รุ่น 20\*20\*7 โรงงานชัยเจริญการช่าง
- (18) เครื่องตัดชิ้นงานด้วยลม บริษัท Ccast
- (19) เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง รุ่น LR 30K บริษัท LLOYD Instruments
- (20) เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น IR-810 บริษัท Jasoo
- (21) เครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ รุ่น NETZSCH DSC 200  
บริษัท NETZSCH - Geratebau GmbH Thermische Analyse
- (22) เครื่อง Gel Permeation Chromatograph รุ่น Waters 150-C บริษัท Millipore

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีการทดลอง

### 8.1 การเตรียมสาร

#### 3.1.1 การเตรียมสารเพื่อใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อเนื่องของแป้งมันสำปะหลัง

(1) การเตรียมสารละลาย  $\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ความเข้มข้น 0.54 โมลาร์

ซึ่งเกลือไดโซเดียมของกรดเอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซิติก 2 โมเลกุลของน้ำ ( $\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) จำนวน 49.9 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 400 มิลลิลิตร กวนสารให้เข้ากันและให้ความร้อนแก่สารในขณะที่กวนตลอดเวลา จนส่วนที่เป็นของแข็งละลายหมด ทำให้สารละลายเย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตร ( volumetric flask ) ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไปจนสารละลายมีปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร

(2) การเตรียมกรดไนตริกความเข้มข้น 1.0 นอร์มอล

ปีเปตกรดไนตริกเข้มข้น 70% w/w จำนวน 31.6 มิลลิลิตร เทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีน้ำใส่อยู่ประมาณ 300 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไปจนสารละลายมีปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร

(3) การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ในกรดไนตริกความเข้มข้น 1 นอร์มอล

ซึ่งโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต จำนวน 27 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เทสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1 นอร์มอล ลงไปพอประมาณ คนให้ส่วนที่เป็นของแข็งละลายหมด เทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไปจนสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1 นอร์มอลลงไป ปรับปริมาตรให้ครบ 500 มิลลิลิตร เทเก็บในขวดสีชา

(4) การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 นอร์มอล

ซึ่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นที่ต้มแล้วพอประมาณ กวนสารให้ส่วนที่เป็นของแข็งละลายจนหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 250 มิลลิลิตร โดยใช้ น้ำกลั่นที่ต้มแล้ว

#### 3.1.2 การเตรียมสารเพื่อใช้ในการสกัดพอลิเมอร์

(1) การกลั่นอะซิโตนเพื่อทำให้บริสุทธิ์

ทำการกลั่นอะซิโตนเกรดการค้า มาทำการกลั่นโดยใช้การกลั่นแบบสูญญากาศ

( rotavapor ) จะได้อะซิโตนที่บริสุทธิ์เพื่อนำไปใช้ในการสกัดพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 การเตรียมสาร เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไซ้สาขาของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

(1) การเตรียมสารละลายกรดไฮเปอร์คลอริก เข้มข้น 60 % (w/w)

เปิดกรดไฮเปอร์คลอริกเข้มข้น 70 % (w/w) จำนวน 85.7 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปริมาตรที่มีน้ำกลั่นอยู่ จากนั้นปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

(2) การเตรียมสารละลายไซ้เคียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5 นอร์มอล

ชั่งไซ้เคียมไฮดรอกไซด์จำนวน 50 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นที่ต้มแล้วพอประมาณ กวนจนส่วนที่เป็นของแข็งละลายหมด จากนั้นเทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นที่ต้มแล้ว

### 3.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์

เติมแป้งมันสำปะหลัง 150 กรัม ลงในหม้อปฏิกิริยาขนาด 2 ลิตร เติมน้ำกลั่น 1800 มิลลิลิตร ค่อยๆ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยอัตราการไหลต่ำ ให้ความร้อน 90 องศาเซลเซียส ปั่นกวนด้วยความเร็ว 1000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนกระทั่งได้แป้งที่เป็นเจลใส ทำการลดอุณหภูมิจนถึง 60 องศาเซลเซียส เติม NP 40 จำนวน 18.75 กรัม มอนอเมอร์เมทิลเมทาอะคริเลต 83.33 กรัม มอนอเมอร์เอทิลอะคริเลต 101.85 กรัม ( ปริมาณมอนอเมอร์ 200 % โดยน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลัง โดยอัตราส่วนระหว่าง เมทิลเมทาอะคริเลต กับ เอทิลอะคริเลต เท่ากับ 45 : 55 ) เติมสารละลาย  $\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  เข้มข้น 0.54 โมลาร์ จำนวน 37.5 มิลลิลิตร โพแทสเซียมโกลด์คอลล จำนวน 1.5 มิลลิลิตร ลงในหม้อปฏิกิริยา ขณะเติมทำการปั่นกวนด้วยความเร็ว 2000 รอบต่อนาที ในบรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 โมลาร์ 150 มิลลิลิตร ปั่นกวนต่อเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบเพิ่มอุณหภูมิเป็น 90 องศาเซลเซียส ปั่นกวนต่ออนาน 1 ชั่วโมง จะได้พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง สามารถทำได้โดยการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อตามหัวข้อ 3.2 แต่เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์ MMA : BA อัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์อะคริเลตกับแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ ปริมาณโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ปริมาณ NP 40 และอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบคอตของแป้งมันสำปะหลัง

อัตราส่วน มอนอเมอร์ (% โมล)	ปริมาณมอนอเมอร์ (กรัม)					
	100 % โมล		200 % โมล		300 % โมล	
	MMA	EA	MMA	EA	MMA	EA
100 : 0	-	-	185.18	0	-	-
80 : 20	-	-	148.15	37.04	-	-
60 : 40	-	-	111.11	74.07	-	-
50 : 50	-	-	92.59	92.59	-	-
45 : 55	41.67	50.93	83.33	101.85	125.00	152.78
40 : 60	-	-	74.07	111.11	-	-
20 : 80	-	-	37.04	148.15	-	-
0 : 100	-	-	0	185.18	-	-

หมายเหตุ ปริมาณมอนอเมอร์ 100%, 200%, 300% โมล หมายถึง อัตราส่วน % โมลของอะครีเลต-มอนอเมอร์ : 100% โมลของแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 3.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบคอตของแป้งมันสำปะหลัง

ปริมาณแป้ง ( กรัม )	อัตราส่วนมอนอเมอร์ ( 200 % โมล )	ปริมาณ NP 40 ( กรัม )	ปริมาณ $K_2S_2O_8$ ( โมล )	อุณหภูมิ ( °C )
150	45/55	18.75	0.0100	60/90
150	45/55	18.75	0.0125	60/90
150	45/55	18.75	0.0150	60/90
150	45/55	18.75	0.0175	60/90
150	45/55	18.75	0.0200	60/90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ตารางที่ 3.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณ NP 40 ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบค่อของแป้งมันสำปะหลัง

ปริมาณแป้ง ( กรัม )	อัตราส่วนมอนอเมอร์ ( 200 % โมล )	ปริมาณ NP 40 ( กรัม )	ปริมาณ $K_2S_2O_8$ ( โมล )	อุณหภูมิ ( °C )
150	45/55	4.75	0.0150	60/90
150	45/55	9.375	0.0150	60/90
150	45/55	11.75	0.0150	60/90
150	45/55	14.815	0.0150	60/90
150	45/55	18.75	0.0150	60/90

ตารางที่ 3.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบค่อของแป้งมันสำปะหลัง

ปริมาณแป้ง ( กรัม )	อัตราส่วนมอนอเมอร์ ( 200 % โมล )	ปริมาณ NP 40 ( กรัม )	ปริมาณ $K_2S_2O_8$ ( โมล )	อุณหภูมิ ( °C )
150	45/55	18.75	0.0150	40
150	45/55	18.75	0.0150	40/90
150	45/55	18.75	0.0150	60
150	45/55	18.75	0.0150	60/90
150	45/55	18.75	0.0150	90

### 3.8 การวิเคราะห์

#### 3.3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ ( solid content ) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ ( % conversion )

ซึ่งพอลิเมอร์ร่วมแบบค่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ ประมาณ

1 กรัม โดยต้องชั่งน้ำหนักที่แน่นอนด้วยทศนิยม 4 ตำแหน่ง นำไปอบที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จดบันทึกน้ำหนักหลังอบ

### 3.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์ที่เกิดขึ้น

นำพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มาจำนวนหนึ่งนำไปตกตะกอนด้วยเมทานอล ทำการตกตะกอนซ้ำหลาย ๆ ครั้ง จากนั้นนำไปกรอง แล้วยอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำตะกอนที่ได้หลังจากการอบมาจำนวน 2 กรัม ( ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ) นำไปใส่ในกระดาด thimber ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว จดน้ำหนักไว้ จากนั้นนำไปตั้งในชุดสกัดด้วยซอห์กเลต ( soxhlet ) ที่ผ่านการอบแห้ง โดยใช้อะซิโคนที่กลั่นแล้ว จำนวน 250 มิลลิลิตร เป็นตัวสกัด ทำการสกัดนาน 48 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดให้ นำกระดาด thimber ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก ส่วนตัวทำละลายที่อยู่ในขวดก้นกลม ให้นำไประเหยตัวทำละลายอะซิโคนที่ออกโดยใช้เครื่องระเหยแบบสูญญากาศ จะได้ส่วนที่เหลือ คือ พอลิเมอร์แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

### 3.3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณพอลิเมอร์โซ่สาขาในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

นำพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง ที่ผ่านการสกัดด้วยซอห์กเลตแล้วมา 0.5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมกรดอะซิติกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร กวนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยต้องทำการปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟอยล์ จากนั้นเติมกรดไฮเปอร์คลอริกเข้มข้น 60 % (W/W) จำนวน 1 มิลลิลิตร โดยค่อย ๆ หยดภายใน 1 นาที จะได้สารละลายสีที่ร้อน ให้นำไปเทใส่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำแข็งยูนิคบริจอยู่ จะได้ตะกอนของโซ่สาขา จากนั้นปรับ pH ของสารละลายจนกระทั่งเป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 นอร์มอล กรองตะกอนที่ได้ แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง นำตะกอนที่ได้แช่ในอะซิโคนที่กลั่นแล้ว จากนั้นนำไปให้ความร้อนเพื่อระเหยอะซิโคนที่ออกให้ได้สารละลายที่เข้มข้นขึ้น แล้วนำมาตกตะกอนใหม่ด้วยเมทานอล จะได้ตะกอนของพอลิเมอร์โซ่สาขา และกรองตะกอนที่ได้ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

### 3.3.4 การวิเคราะห์หาความถี่ของพอลิเมอร์โซ่สาขาร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

นำโซ่สาขาที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์ มาจำนวน 15 มิลลิกรัม แช่ในเคตระไฮโดรฟลูอเรน 10 มิลลิลิตร กวนตลอดเวลาเป็นเวลา 2 วัน แล้วกรองใส่ขวด นำไปวัดหาค่าน้ำหนักโมเลกุล และการกระจายน้ำหนักโมเลกุล โดยเครื่อง GPC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิกลาสทรานส์ชัน ( $T_g$ ) ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมัน-  
 นำพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่ได้จากการสกัดด้วยซอกซ์ฮอท์กลิต มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรน-  
 เซียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ ช่วงอุณหภูมิ -50 ถึง 220 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 20  
 องศาเซลเซียส/นาที

3.3.6 การวิเคราะห์หาค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

นำพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่ได้จากการสังเคราะห์จากหม้อปฏิบัติการเตาใส่อัดที่รองด้วย  
 กระดาษฟอยล์ นำไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน นำมาบดด้วยเครื่องบด จากนั้นนำ  
 ไปหลอมด้วยเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง โดยปรับความหนาให้เหมาะสมและรีดให้เป็นแผ่น จากนั้น  
 ทดสอบความแข็งแรงดึง โดยนำไปวางบนเครื่องอัดรีดเพื่อให้ชิ้นงานอ่อนตัว แล้วรีบนำไป  
 ตัดด้วยเครื่องตัดชิ้นงาน นำชิ้นงานรูปคัมเบลที่ได้ไปทดสอบค่าความแข็งแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบ  
 ความแข็งแรงดึง (tensile testing machine)

3.3.7 การศึกษานาฬามูฟกัมมันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์

นำพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่ผ่านการสกัดด้วยซอกซ์ฮอท์กลิต พอลิเมอร์ที่ได้จากการสกัดด้วย  
 อะซีโตน พอลิเมอร์โซ่สาขา และแป้งมันสำปะหลัง มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรด สเปกโตรโฟ-  
 โทมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การคำนวณ

1. % solid content =  $\frac{\text{น้ำหนักสารที่สังเคราะห์ได้หลังอบ}}{\text{น้ำหนักสารที่สังเคราะห์ได้ก่อนอบ}} * 100 \%$
2. % conversion =  $\frac{\text{solid content ที่ได้จากการทดลอง}}{\text{solid content ที่ได้จากการคำนวณ}} * 100 \%$
3. % grafting ( % G ) = % add on  

$$= \frac{\text{น้ำหนักพอลิเมอร์โซ่สาขา}}{\text{น้ำหนักแป้งพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง}} * 100 \%$$
4. % polymer =  $\frac{\text{น้ำหนัก polymer}}{\text{น้ำหนักสารในกระดาษ thimber ที่นำมาสกัด}} * 100 \%$
5. % grafting Efficiency ( % GE ) =  $\frac{\text{น้ำหนักพอลิเมอร์โซ่สาขา}}{\text{น้ำหนักพอลิเมอร์โซ่สาขา + น้ำหนัก polymer}} * 100 \%$
6. AGU / chain =  $\frac{\text{น้ำหนักแป้ง} / 162}{\text{น้ำหนักพอลิเมอร์โซ่สาขา} / M_n \text{ (พอลิเมอร์โซ่สาขา)}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

#### 5.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนมอนอเมอร์ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็งมันสำปะหลัง

##### 5.1.1 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ (solid content) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 5.1 แสดงปริมาณของแข็งที่เป็นองค์ประกอบและเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนมอนอเมอร์เมื่อใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 200 % โมล NP 40 18.75 กรัม สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60/90 °C

อัตราส่วน MMA: EA	% ของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ (% solid content)	% การเปลี่ยนเป็น ผลิตภัณฑ์ (% conversion)
100:0	12.20	78.69
80:20	13.69	88.33
60:40	12.78	81.43
50:50	12.57	81.10
45:55	15.30	98.73
40:60	10.99	70.94
20:80	10.79	69.61
0:100	9.92	63.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.2 การวิเคราะห์หาปริมาณพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 5.2 แสดงปริมาณพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งที่เกิดขึ้น เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนมอนอเมอร์ เมื่อใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 200 % โมล NP 40 18.75 กรัม สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60/90 °C

อัตราส่วน MMA : EA (โมล)	% polymer
100:0	33.38
80:20	38.29
60:40	46.40
50:50	32.27
45:55	32.98
40:60	33.08
20:80	16.31
0:100	39.99

### 5.1.3 การวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของโซ่สาขาในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการวิเคราะห์พอลิเมอร์โซ่สาขาด้วยเครื่อง GPC เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนมอนอเมอร์ และใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 200 % โมล NP 40 18.75 กรัม สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยา 60/90 °C

อัตราส่วน MMA:EA	Mn	Mw	Mv	Mz	Mz+1	Polydispersity
100:0	165194	484968	484968	1232321	2020290	2.935
80:20	268241	683522	683522	1426712	2179371	2.548
50:50	171010	546427	546427	1335150	2148390	3.195
45:55	174247	540468	540468	1340706	2188223	3.102
40:60	303914	855348	855348	1734770	2452681	2.814
0:100	253029	895110	895110	1763204	2142485	3.537

#### 5.1.4 การวิเคราะห์หา % พอลิเมอร์โซ่สาขา ที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็ง มันสำปะหลัง

ตารางที่ 5.4 แสดง เปอร์เซนต์ ความถี่ และประสิทธิภาพของพอลิเมอร์โซ่สาขาที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนมอนอเมอร์ เมื่อใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 200 % โมล NP 40 18.75 กรัม สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60/90 °C

อัตราส่วน MMA : EA	% การเกิดโซ่สาขา (%grafting)	ประสิทธิภาพ การเกิดโซ่สาขา (grafting efficiency)	ความถี่โซ่สาขา (grafting frequency) AGU/chain
100:0	23.45	31.88	9771.09
80:20	19.86	24.25	17024.32
60:40	5.62	6.10	-
50:50	27.32	36.45	8975.39
45:55	32.02	39.42	7083.25
40:60	23.98	32.66	16742.40
0:100	15.82	19.19	29406.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.5 การวิเคราะห์หาอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน( $T_g$ ) ด้วยเครื่อง DSC

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนมอนอเมอร์ เมื่อใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 200 % โมล NP 40 18.75 กรัม สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60/90 °C

อัตราส่วน MMA:EA	$T_g$ (°C)
100:0	100.3
80:20	105.4
60:40	118.2
50:50	94.2
45:55	100.5
40:60	95.7
0:100	99.9

### 5.1.6 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 5.6 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนมอนอเมอร์ และใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 200 % โมล NP 40 18.75 กรัม สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60/90 °C

อัตราส่วน MMA:EA	ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ( $kN/mm^2$ )	%การยืดตัวที่จุดขาด (% Elongation at break)	Modulus ( $kN/mm^2$ )
100:0	4.41	0.35	1259
80:20	27.33	0.78	3503
60:40	33.00	77.13	42.85
50:50	35.16	154.50	22.91
45:55	27.73	167.23	16.60
40:60	27.36	242.53	11.24
20:80	4.43	48.51	8.84
0:100	1.71	715.80	0.23

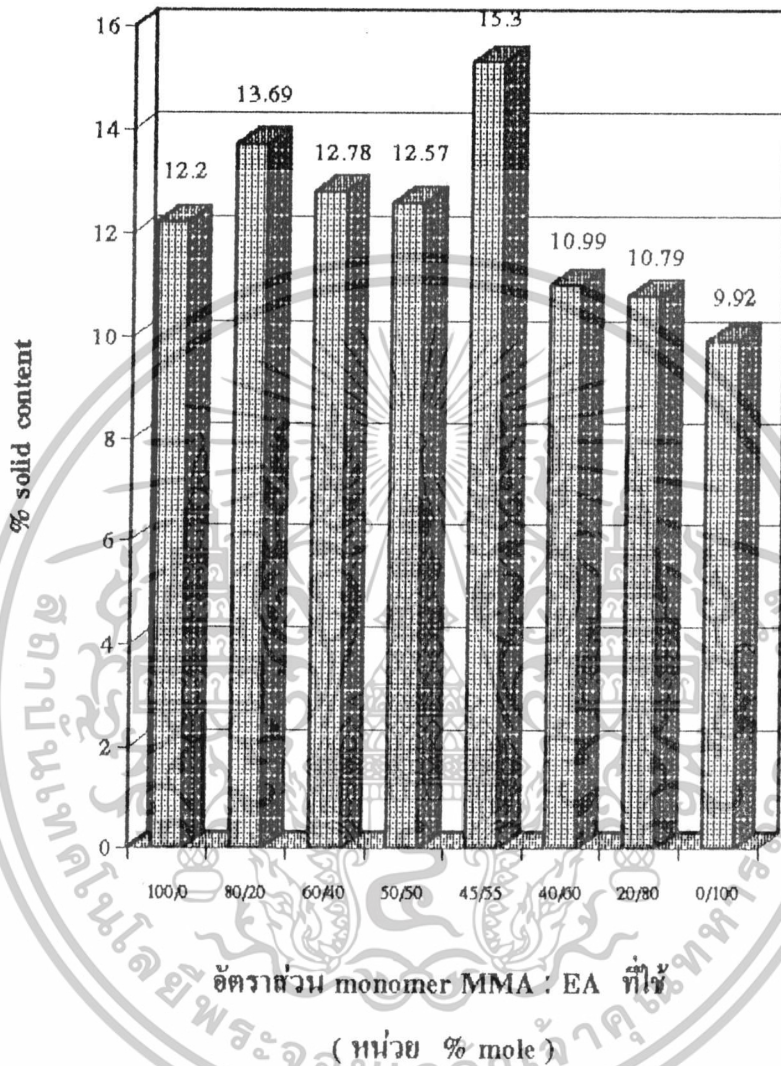
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ร่วมเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเบี่ยงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.7 ผลของอัตราส่วนมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็งมัน สำปะหลัง

ตารางที่ 5.7 สรุปผลของอัตราส่วนมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ ที่มีต่อพอลิเมอร์  
ร่วมแบบต่อของแข็ง และใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 200 % NP 40  
18.75 กรัม สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิด  
ปฏิกิริยา  $60/90$  °C

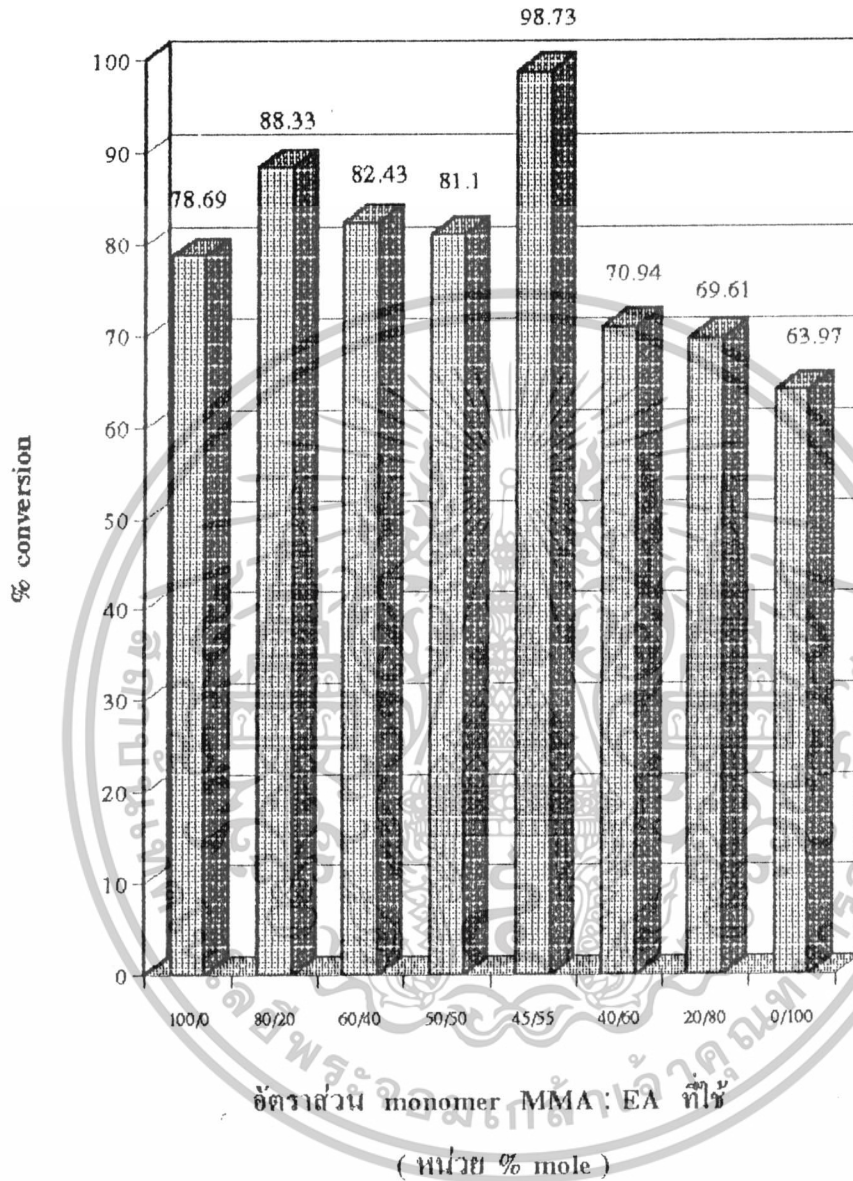
อัตราส่วน MMA:EA	% solid content	% conversion	%polymer	% G	% GE	Mv	AGU/chain	Tg (°C)
100:0	12.20	78.69	33.38	23.45	31.88	484968	9771.09	100.3
80:20	13.69	88.33	38.29	19.86	24.25	683522	17024.32	105.4
60:40	12.78	82.43	46.40	5.62	6.10	-	-	118.2
50:50	12.57	81.10	32.27	27.32	36.45	546427	8975.39	94.2
45:55	15.30	98.73	32.98	32.02	39.42	540468	7083.25	100.5
40:60	10.99	70.94	33.08	23.98	32.66	855348	16742.40	95.7
20:80	10.79	69.61	16.31	-	-	-	-	-
0:100	9.92	63.97	39.99	19.19	19.19	895110	29406.09	99.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



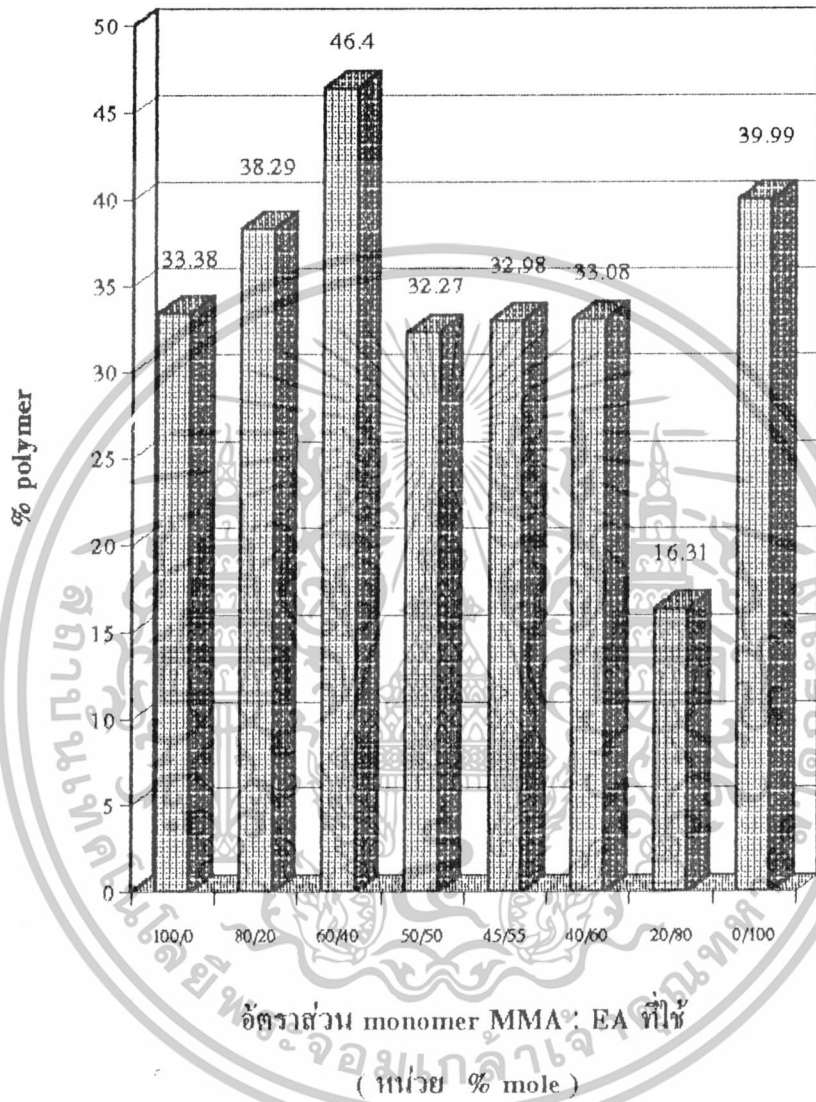
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนมอนอเมอร์ MMA / EA ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบคอปออลิเมอร์ กับ ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ (% solid content)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



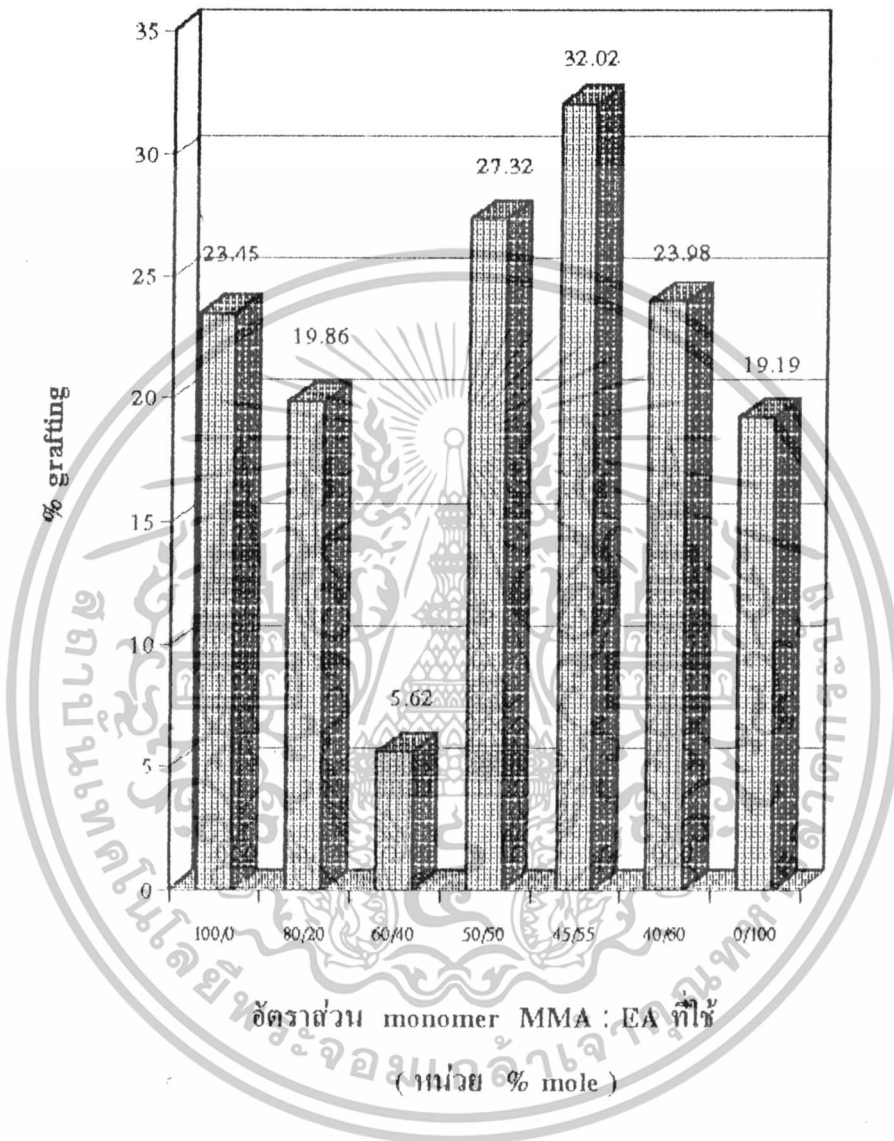
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนมอนอเมอร์ MMA / EA ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็ง กับ ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ (% conversion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



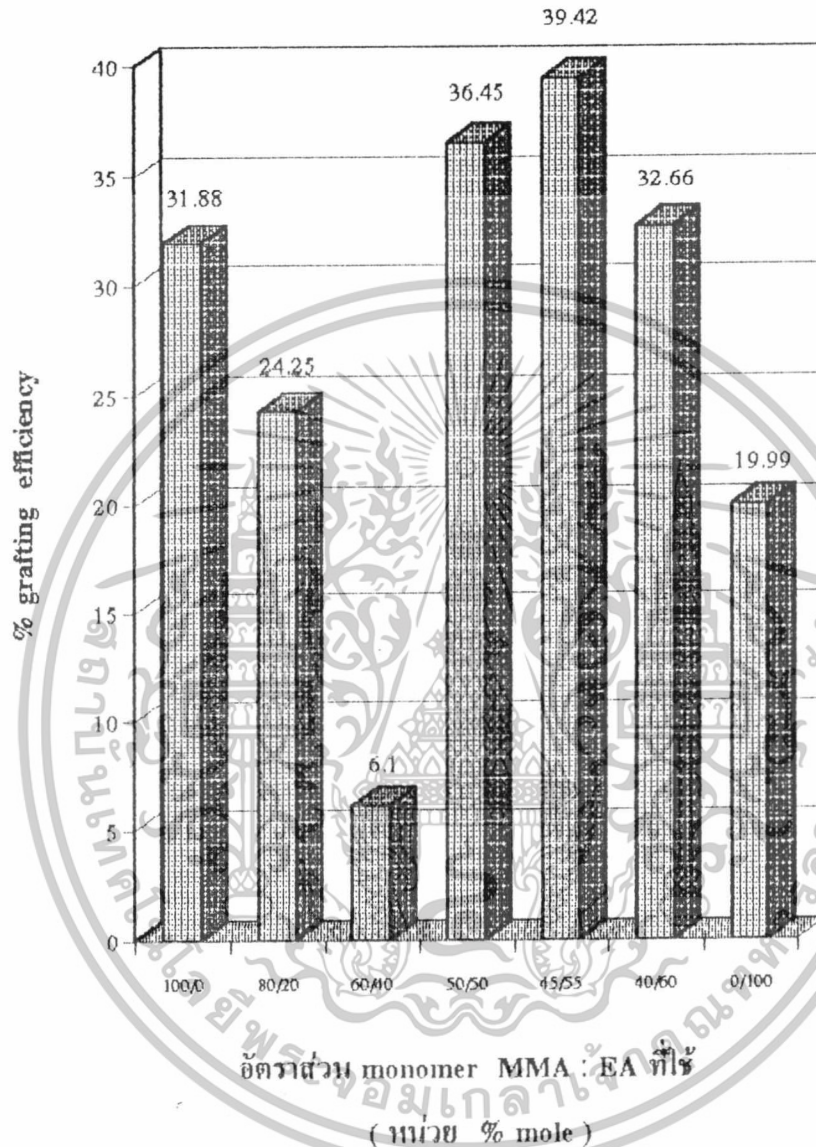
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนมอนอเมอร์ MMA / EA ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อเนื่องของแข็ง กับ ค่าเปอร์เซ็นต์พอลิเมอร์ (% polymer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



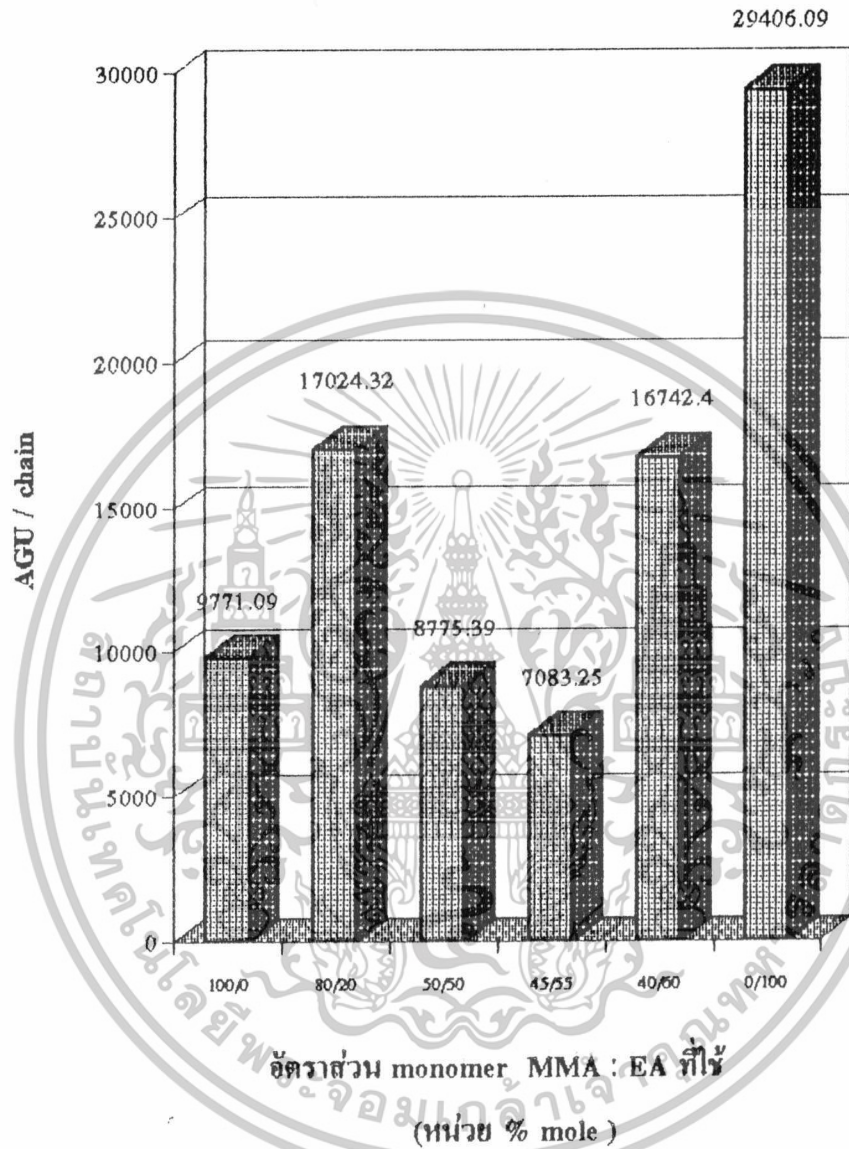
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนมอนอเมอร์ MMA / EA ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบคอปอลิเมอร์ กับ ค่าเปอร์เซ็นต์การเกิดพอลิเมอร์โซ่สาขา (% grafting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนมอนอเมอร์ MMA / EA ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง กับ ค่าประสิทธิภาพการเกิดพอลิเมอร์โซ่สาขา (% grafting efficiency)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนมอนอเมอร์ MMA / EA ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบคอปอลิเมอร์ กับ ความถี่ของพอลิเมอร์โซ่สาขา (AGU/chain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2. การศึกษาผลของปริมาณมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่สังเคราะห์ได้

### 5.2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ (solid content) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 5.8 แสดงปริมาณของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ และ%การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณมอนอเมอร์ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ และใช้อัตราส่วน MMA : EA 45/55 NP 40 18.75 กรัม สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60/90 °C

ปริมาณ มอนอเมอร์ (%)	%ของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ (% solid content)	%การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ (%conversion)
100	5.97	49.67
200	15.30	98.73
300	18.67	99.78

### 5.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแอมัลแกมหลังจากมอนอเมอร์ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 5.9 แสดงปริมาณพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่เกิดขึ้น เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณมอนอเมอร์ เมื่อใช้อัตราส่วน MMA : EA 45/55 NP 40 18.75 กรัม สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60/90 °C

ปริมาณมอนอเมอร์ (%)	% homopolymer
100	14.50
200	32.98
300	45.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.3 การวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์โซ่สาขา ในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็ง

ตารางที่ 5.10 แสดงผลการวิเคราะห์พอลิเมอร์โซ่สาขา ด้วยเครื่อง GPC

เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณ มอนอเมอร์ และใช้อัตราส่วน MMA : EA 45/55  
NP 40 18.75 กรัม สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิที่ใช้ใน  
การเกิดปฏิกิริยา  $60/90^{\circ}C$

ปริมาณ มอนอเมอร์ (%)	Mn	Mw	Mv	Mz	Mz+1	Polydispersity
200	174274	540468	540468	1340706	2188223	3.10

### 5.2.4 การวิเคราะห์หา % พอลิเมอร์โซ่สาขา ที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็ง มันสำปะหลัง

ตารางที่ 5.11 แสดง เปอร์เซ็นต์ ความถี่ และประสิทธิภาพการเกิดพอลิเมอร์โซ่สาขาที่เป็น  
องค์ประกอบในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณมอนอเมอร์  
เมื่อใช้อัตราส่วน MMA : EA 45/55 NP 40 18.75 กรัม สารละลาย  
 $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา  $60/90^{\circ}C$

ปริมาณมอนอเมอร์ (%)	% การเกิด โซ่สาขา (%grafting)	ประสิทธิภาพการเกิด โซ่สาขา (grafting efficiency)	ความถี่ โซ่สาขา (grafting frequency) (AGU/chain)
100	3.56	17.37	-
200	32.02	39.42	7083.25
300	5.53	10.33	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.5 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 5.12 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณ

มอนอเมอร์และใช้อัตราส่วน MMA : EA 45/55 NP 40 18.75 กรัม

สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา  $60/90^{\circ}C$

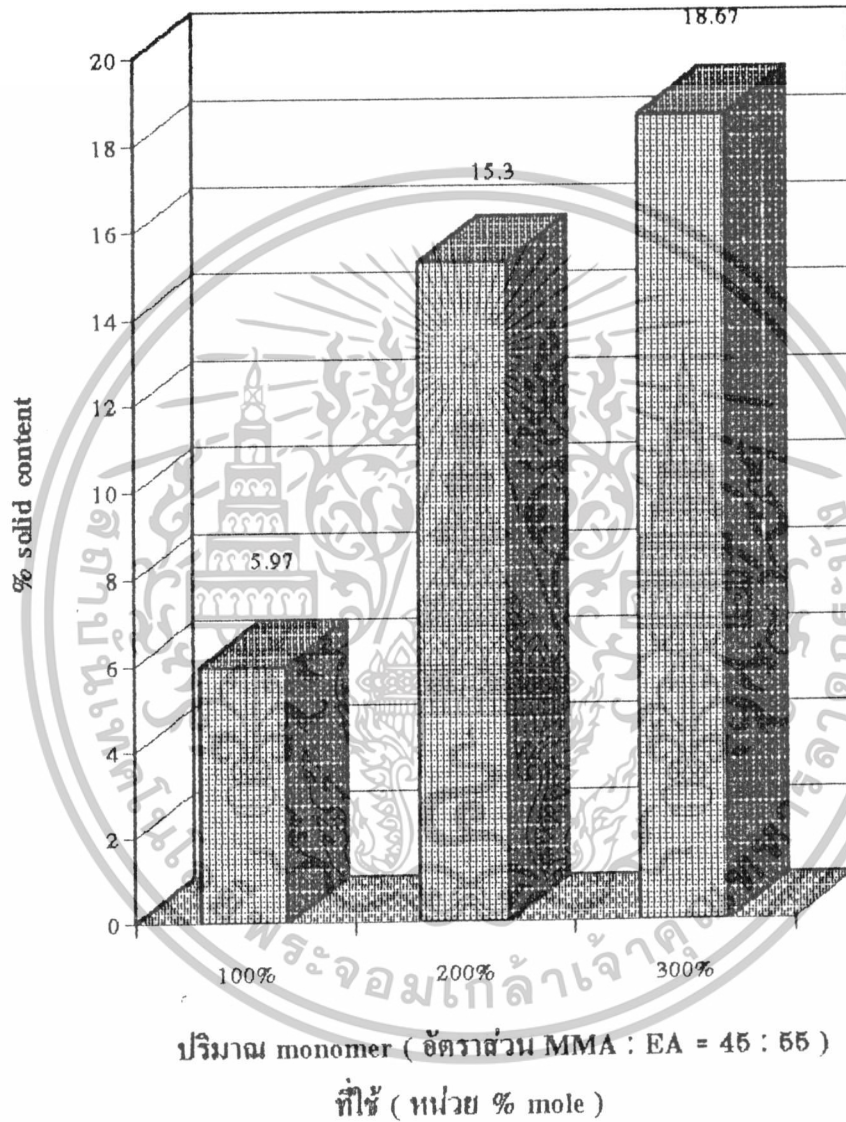
ปริมาณมอนอเมอร์ (%)	ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ( $kN/mm^2$ )	%การยืดตัวที่จุดขาด (% Elongation at break)	Modulus ( $kN/mm^2$ )
100	26.14	8.42	326.78
200	27.73	167.23	16.60
300	16.16	248.27	6.51

### 5.2.6 ผลของปริมาณมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 5.13 สรุปผลของปริมาณมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อแป้ง เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณมอนอเมอร์ และใช้อัตราส่วน MMA : BA 45/55 NP 40 18.75 กรัม สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา  $60/90^{\circ}C$

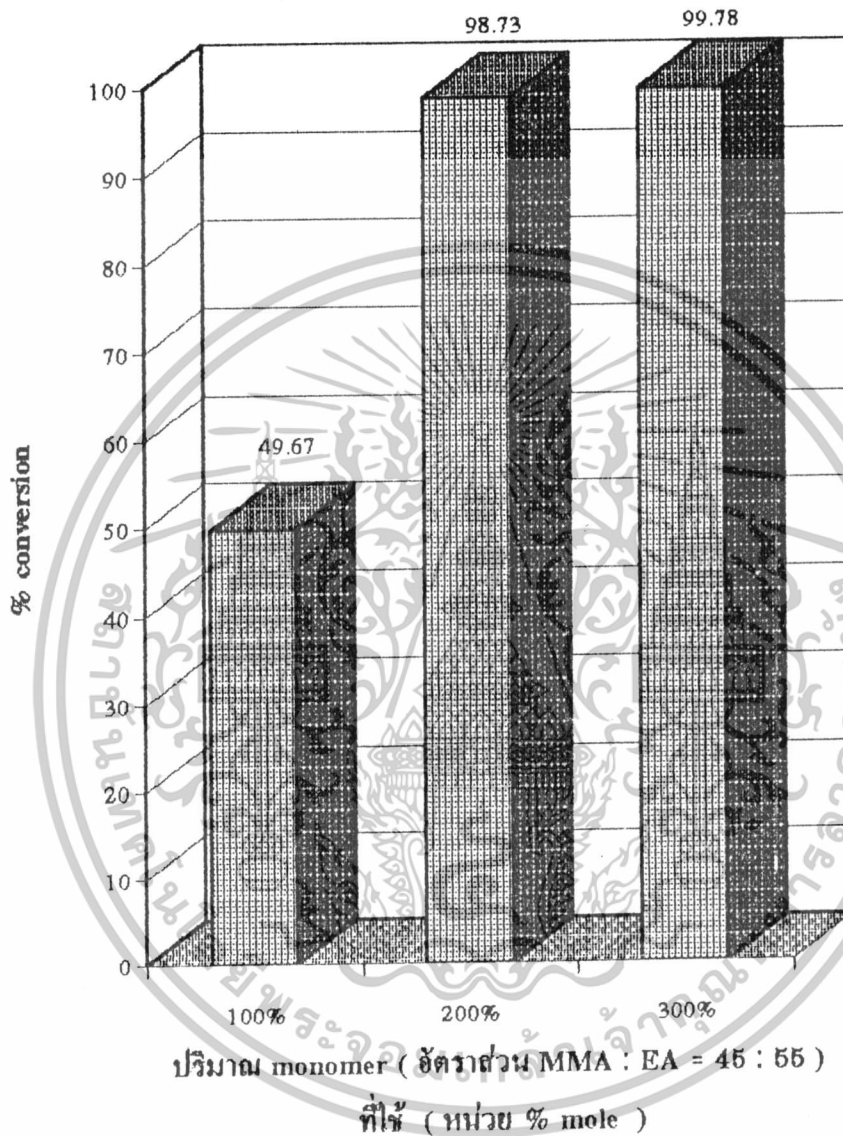
ปริมาณมอนอเมอร์	% solid content	% conversion	%polymer	% G	% GE	Mv	AGU/chain
100%	5.97	49.67	14.50	3.56	17.37	-	-
200%	15.30	98.73	32.98	32.02	39.42	540468	7083.25
300%	18.67	99.78	45.55	5.53	10.33	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



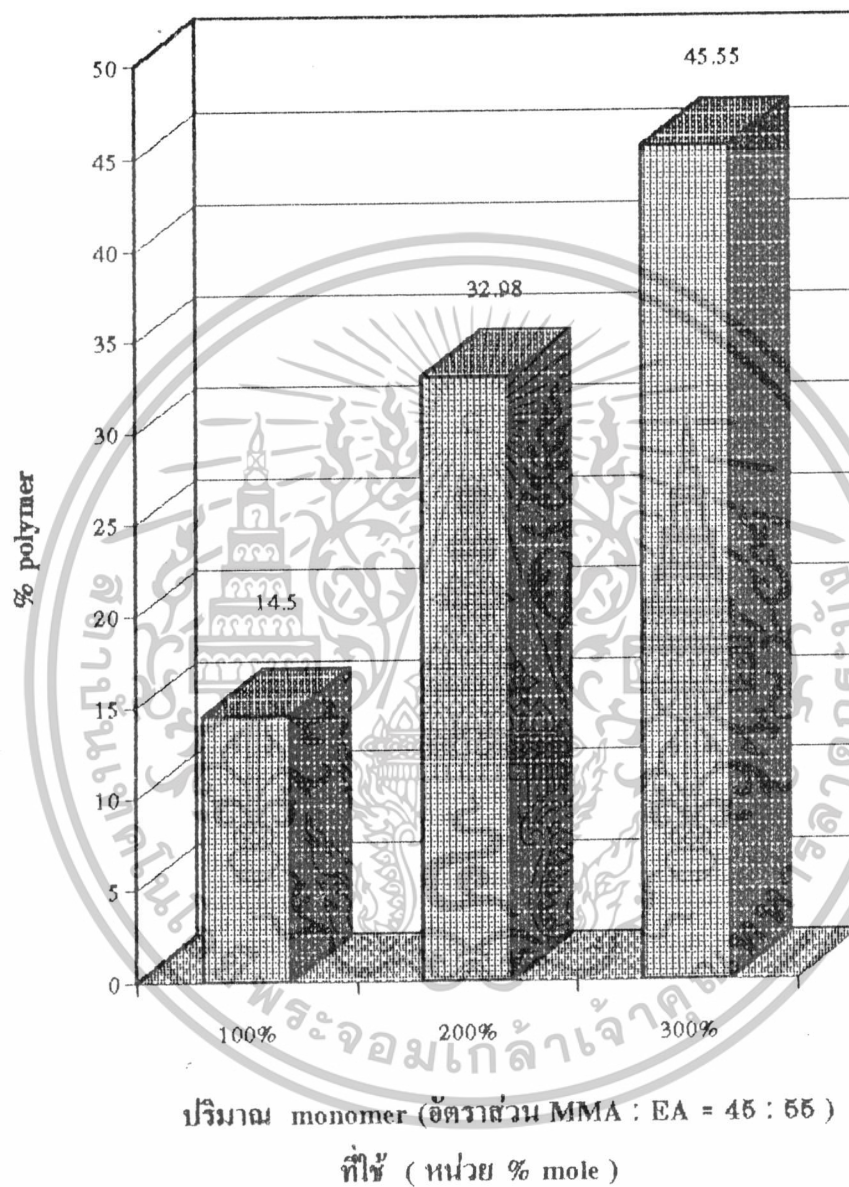
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณมอนอเมอร์ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็ง กับ ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ (% solid content)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



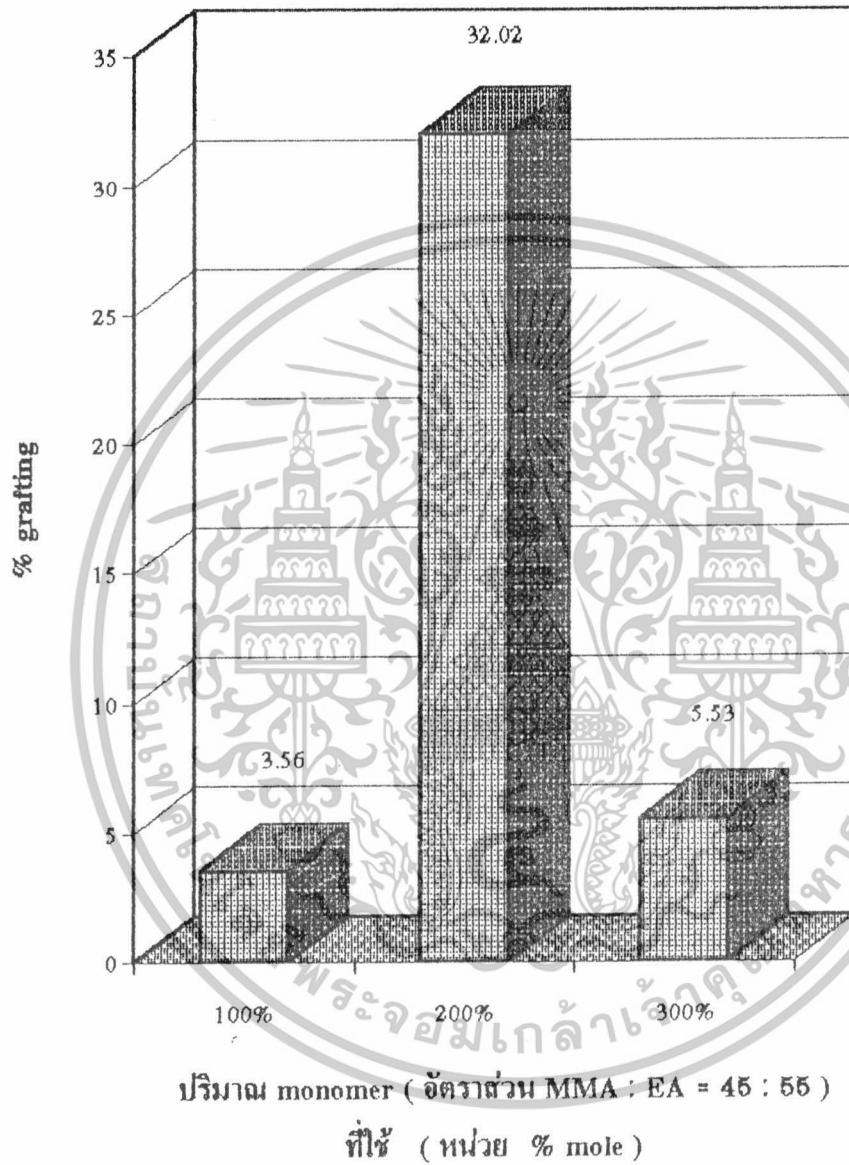
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณมอนอเมอร์ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ พอลิเมอร์ร่วมแบบคอปออลิเมอร์ กับ ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ (% conversion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



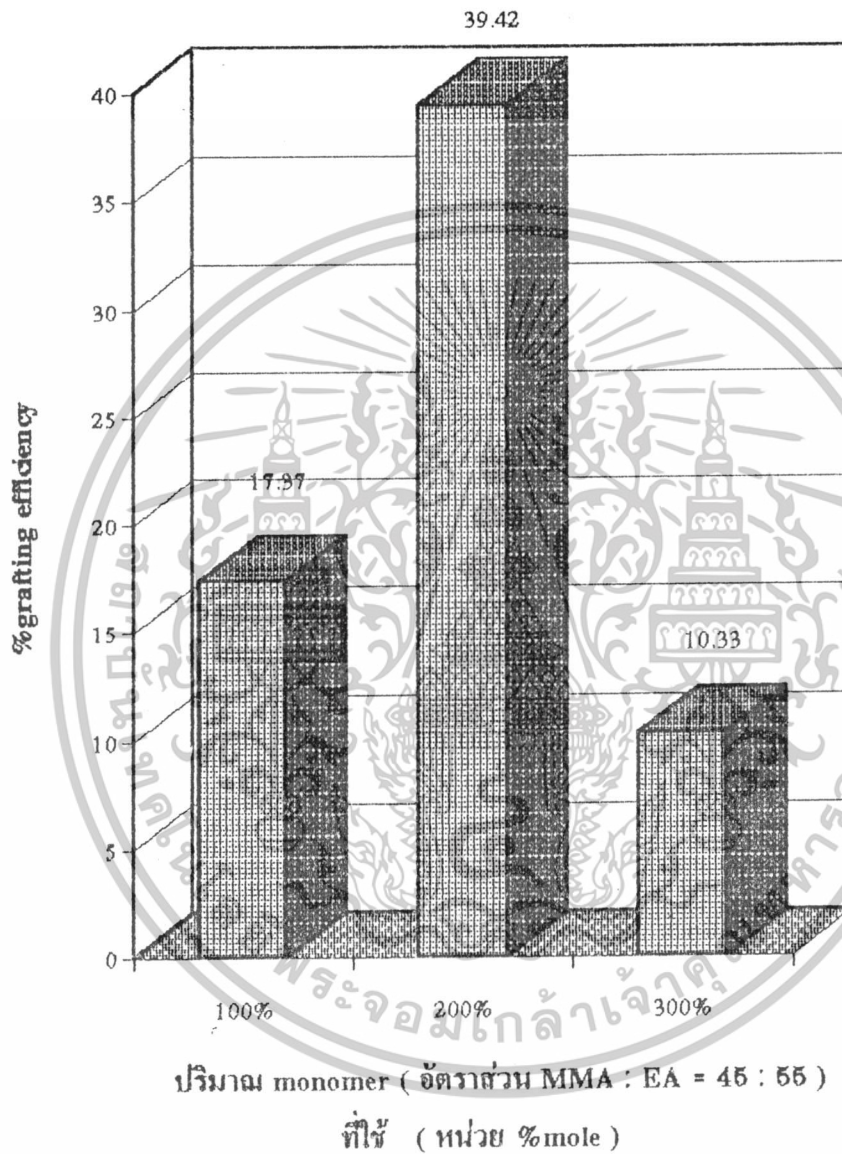
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณมอนอเมอร์ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ พอลิเมอร์ร่วมแบบคอตอของแข็ง กับ ค่าเปอร์เซ็นต์พอลิเมอร์ (% polymer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณมอนอเมอร์ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ พอลิเมอร์ร่วมแบบคอปเปอร์ของแป้ง กับ ค่าเปอร์เซ็นต์การเกิดพอลิเมอร์โซ่สาขา (% grafting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณมอนอเมอร์ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ พอลิเมอร์ร่วมแบบคอปอลิเมอร์ กับ ค่าประสิทธิภาพการเกิดพอลิเมอร์โซ่สาขา (% grafting efficiency)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 การศึกษาผลของปริมาณ $K_2S_2O_8$ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่สังเคราะห์ได้

#### 5.3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ (solid content) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 5.19 แสดงปริมาณของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ และ%การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณ  $K_2S_2O_8$  เมื่อใช้ ปริมาณมอนอเมอร์ 200% อัตราส่วน MMA : EA 45/55 NP 40 18.75 กรัม อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60/90 °C

ปริมาณ $K_2S_2O_8$ (โมล* $10^{-2}$ )	%ของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ (% solid content)	%การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ (%conversion)
1.00	12.83	83.46
1.25	14.54	95.47
1.50	15.30	98.73
1.75	15.56	98.61
2.00	15.62	99.85

#### 5.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็งที่ตกตะกอนหลังจากมอนอเมอร์ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 5.20 แสดงปริมาณพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่เกิดขึ้น เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณ  $K_2S_2O_8$  ที่ใช้ในการสังเคราะห์ และใช้ ปริมาณมอนอเมอร์ 200% โมล อัตราส่วน MMA : EA 45/55 NP 40 18.75 กรัม อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60/90 °C

ปริมาณ $K_2S_2O_8$ (โมล* $10^{-2}$ )	% polymer
1.00	8.95
1.25	29.46
1.50	32.98
1.75	32.44
2.00	29.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.3 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์โซ่สาขา ในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็งมัน ต่ำปะหลัง

ตารางที่ 5.21 แสดงผลการวิเคราะห์พอลิเมอร์โซ่สาขาด้วยเครื่อง GPC  
เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณ  $K_2S_2O_8$  ที่ใช้ในการสังเคราะห์และใช้ปริมาณ  
มอนอเมอร์ 200% โมล อัตราส่วน MMA : EA 45/55 NP 40 18.75  
กรัม อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60/90 °C

ปริมาณ $K_2S_2O_8$ (โมล* $10^{-2}$ )	Mn	Mw	Mv	Mz	Mz+1	Polydispersity
1.00	349871	927929	927929	1673418	2330153	2.65
1.25	-	-	-	-	-	-
1.50	174274	540468	540468	1340706	2188223	3.10
1.75	254803	754234	754234	1471844	2187829	2.96
2.00	310532	915725	915725	1648764	2250442	2.95

### 5.3.4 การวิเคราะห์หา % โซ่สาขา ที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็งมัน ต่ำปะหลัง

ตารางที่ 5.22 แสดง เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพ และความถี่พอลิเมอร์โซ่สาขาที่เป็นองค์-  
ประกอบในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณ  $K_2S_2O_8$  ที่ใช้  
ในการสังเคราะห์ และใช้ ปริมาณมอนอเมอร์ 200% โมล อัตราส่วน  
MMA : EA 45/55 NP 40 18.75 กรัม อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา  
60/90 °C

ปริมาณ $K_2S_2O_8$ (โมล* $10^{-2}$ )	% การเกิดโซ่สาขา (% grafting)	ประสิทธิภาพการเกิดโซ่สาขา (grafting efficiency)	ความถี่โซ่สาขา (grafting frequency) (AGU/chain)
1.00	8.77	47.15	48417.86
1.25	6.95	14.26	-
1.50	32.02	39.42	7083.25
1.75	3.57	6.92	154718.5
2.00	4.90	10.34	109697.7

### 5.3.5 สมบัติเชิงกล ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 5.23 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์เมื่อเปลี่ยนแปลง ปริมาณ  $K_2S_2O_8$  ที่ใช้ในการสังเคราะห์และใช้ ปริมาณมอนอเมอร์ 200% โมล อัตราส่วน MMA : EA 45/55 NP 40 18.75 กรัม อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60/90 °C

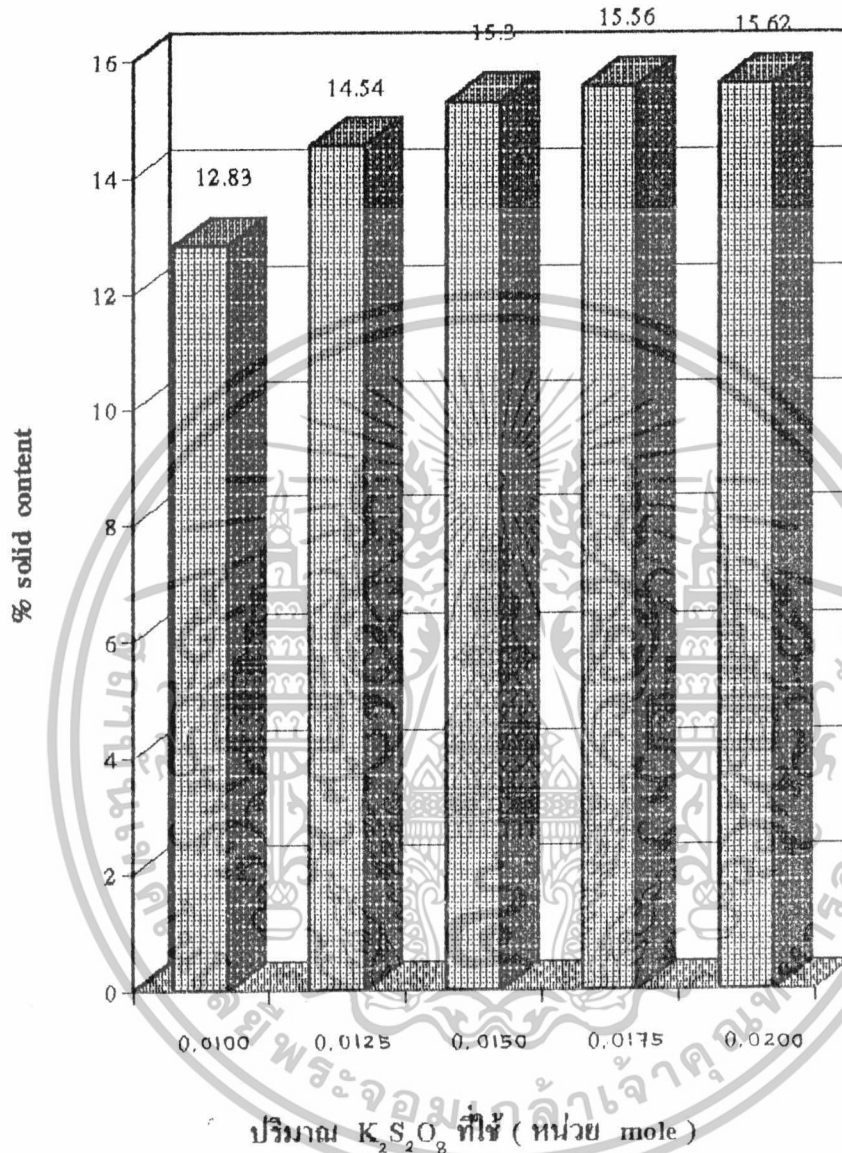
ปริมาณ $K_2S_2O_8$ (โมล* $10^{-2}$ )	ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) (kN/mm <sup>2</sup> )	%การยืดตัวที่จุดขาด (% Elongation at break)	Modulus (kN/mm <sup>2</sup> )
1.00	20.41	92.35	22.18
1.25	17.65	171.96	10.26
1.50	27.73	167.23	16.60
1.75	6.25	39.46	16.02
2.00	12.45	166.83	7.45

### 5.3.6 ผลของปริมาณ $K_2S_2O_8$ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 5.24 สรุปผลของปริมาณ  $K_2S_2O_8$  ที่ใช้ในการสังเคราะห์ ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง เมื่อใช้ ปริมาณมอนอเมอร์ 200% โมล อัตราส่วน MMA : EA 45/55 NP 40 18.75 กรัม อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60/90 °C

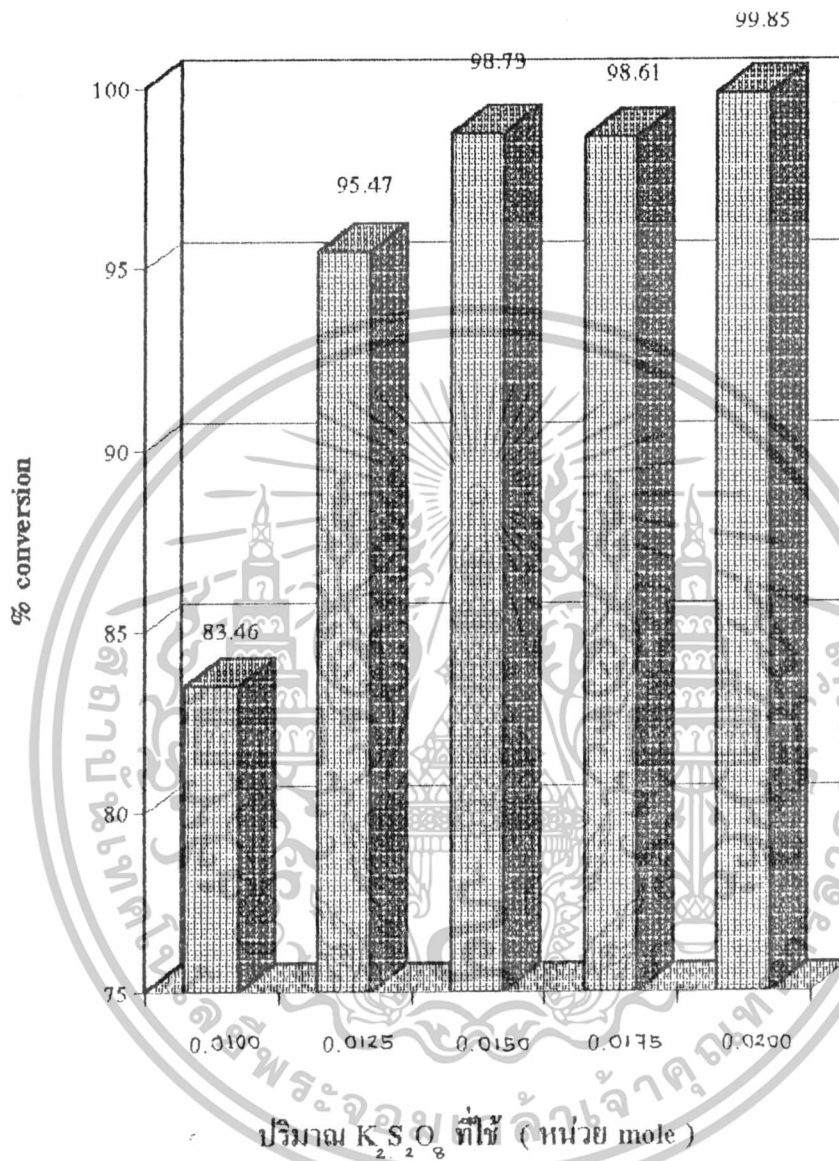
ปริมาณ $K_2S_2O_8$ (โมล* $10^{-2}$ )	% solid content	% conversion	%polymer	% G	% GE	Mv	AGU/chain
1.00	12.83	83.46	8.95	8.77	47.15	754234	48417.86
1.25	14.54	95.47	29.46	6.95	14.26	-	-
1.50	15.30	98.73	32.98	32.02	39.42	540468	7083.25
1.75	15.56	98.61	32.44	3.57	6.92	929929	154718.48
2.00	15.62	99.85	29.83	4.90	10.34	915725	109697.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



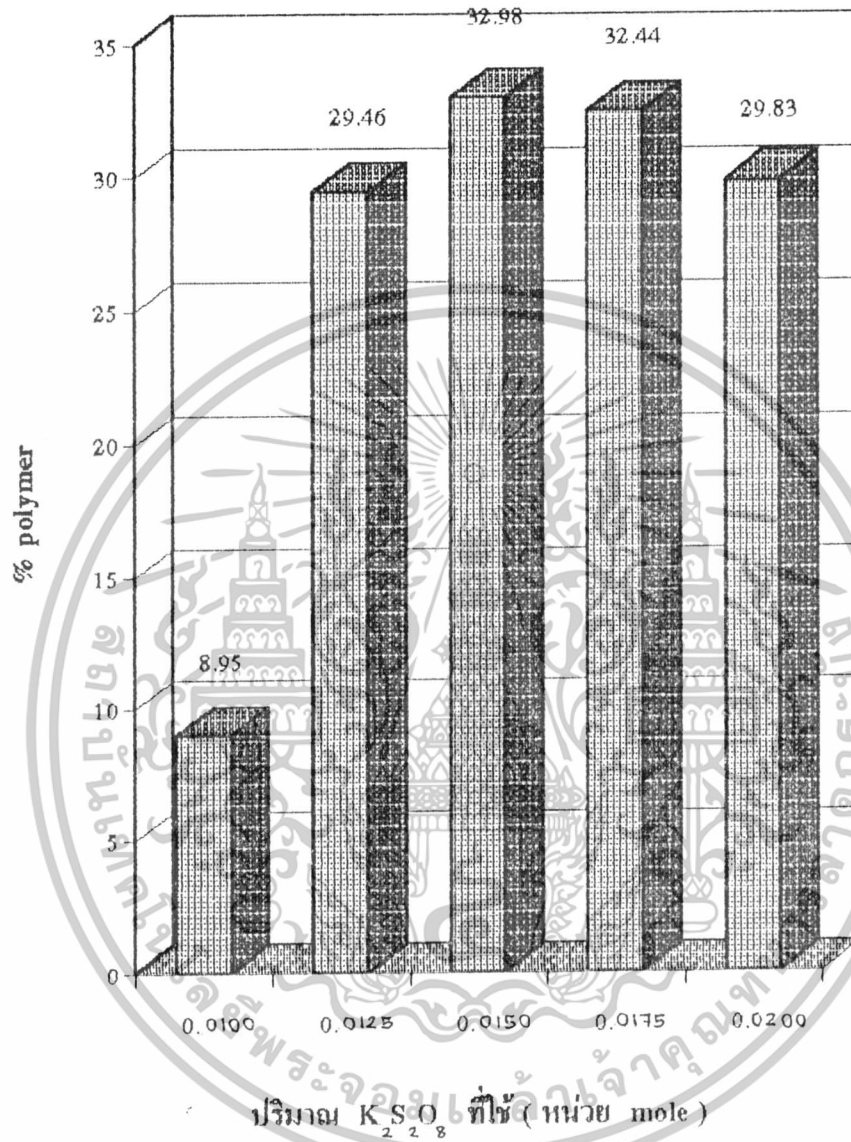
รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณ  $K_2S_2O_8$  ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็ง กับ ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ (% solid content)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



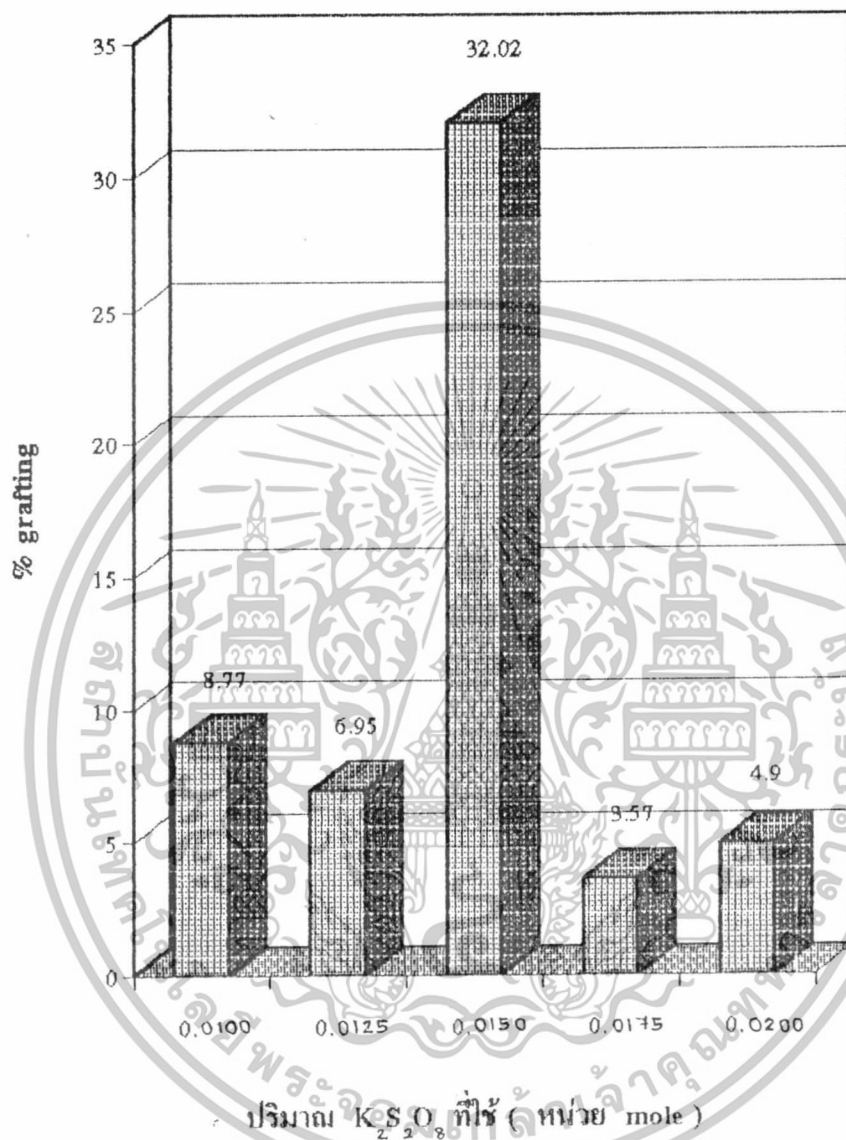
รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณ  $K_2S_2O_8$  ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง กับ ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ (% conversion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



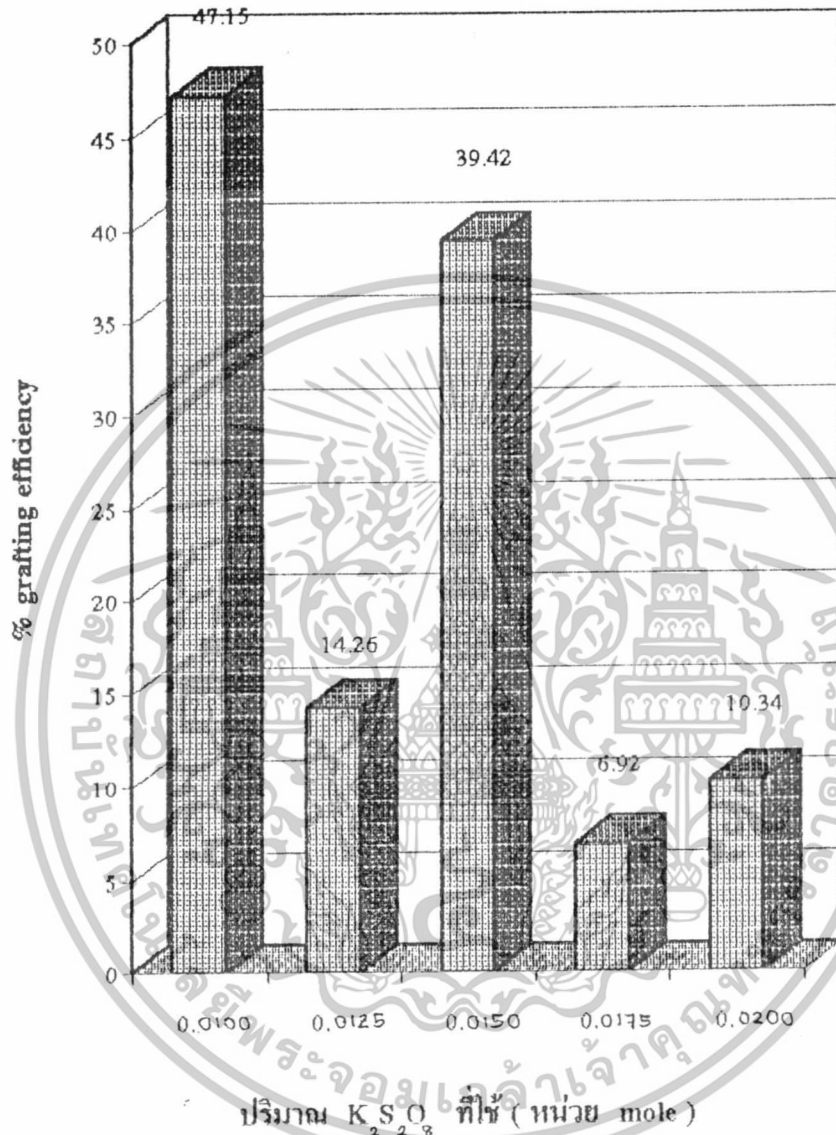
รูปที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณ  $K_2S_2O_8$  ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบคอปเปอร์กับ ค่าเปอร์เซ็นต์พอลิเมอร์ (% polymer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



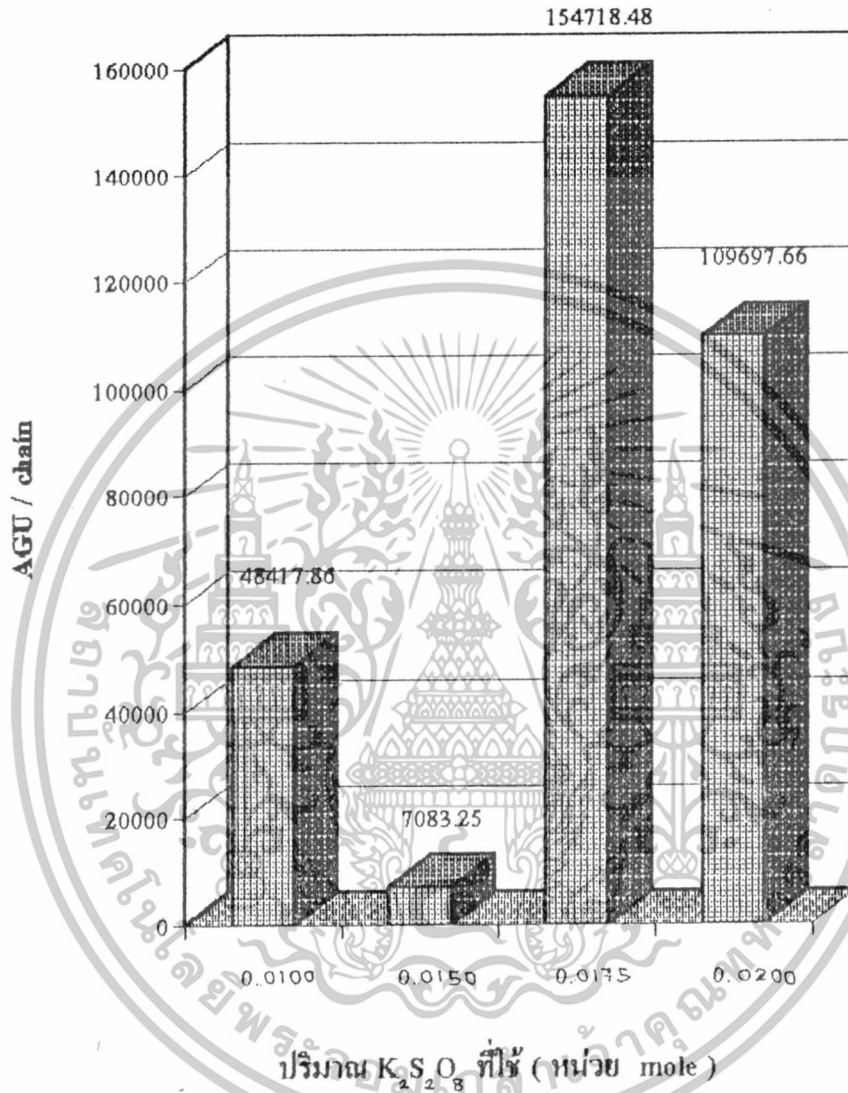
รูปที่ 5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณ  $K_2S_2O_8$  ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง กับ ค่าเปอร์เซ็นต์การเกิดพอลิเมอร์โซ่สาขา (% grafting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณ  $K_2S_2O_8$  ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง กับ ค่าประสิทธิภาพการเกิดพอลิเมอร์โซ่สาขา (% grafting efficiency)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณ  $K_2S_2O_8$  ที่ใช้ในการสังเคราะห์ พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็ง กับ ความถี่ของพอลิเมอร์โซ่สาขา (AGU/chain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 การศึกษาผลของปริมาณ NP 40 ที่ใช้ในการสังเคราะห์ ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่สังเคราะห์

### 5.4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ (solid content) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 5.14 แสดงปริมาณของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ และ%การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณ NP 40 ที่ใช้ในการสังเคราะห์ เมื่อใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 200% โมล อัตราส่วน MMA : BA 45/55 สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60/90 °C

ปริมาณ NP 40 (กรัม)	%ของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ (% solid content)	%การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ (% conversion)
4.75	9.06	60.35
9.375	11.03	72.37
11.75	14.94	98.51
14.75	15.07	98.08
18.75	15.30	98.73

### 5.4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็งที่ปะหลังกับมอนอเมอร์ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 5.15 แสดงปริมาณพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่เกิดขึ้น เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณ NP 40 เมื่อใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 200% โมล อัตราส่วน MMA : BA 45/55 สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60/90 °C

ปริมาณ NP 40 (กรัม)	% polymer
4.75	14.47
9.375	22.63
11.75	46.55
14.815	36.56
18.75	32.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.4.3 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์โซ่สาขา ในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 5.16 แสดงผลการวิเคราะห์พอลิเมอร์โซ่สาขาด้วยเครื่อง GPC เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณ NP 40 ที่ใช้ในการสังเคราะห์ เมื่อใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 200% โมล อัตราส่วน MMA : EA 45/55 สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60/90 °C

ปริมาณ NP 40 (กรัม)	Mn	Mw	Mv	Mz	Mz+1	Polydispersity
4.75	131432	456279	456279	998209	1598613	3.47
9.375	213805	717136	717136	1640867	2745006	3.35
11.75	177820	590000	590000	1266894	1985220	3.32
14.75	343384	983627	983627	1748027	1260804	2.86
18.75	174274	540468	504468	1340706	2188223	3.10

#### 5.4.4 การวิเคราะห์หา %พอลิเมอร์โซ่สาขา ที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 5.17 แสดง เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพ และความถี่พอลิเมอร์โซ่สาขาที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณ NP 40 ที่ใช้ในการสังเคราะห์ และใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 200% โมล อัตราส่วน MMA : EA 45/55 สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิ 60/90 °C

ปริมาณ NP 40 (กรัม)	% การเกิดโซ่สาขา (%grafting)	ประสิทธิภาพการเกิดโซ่สาขา (grafting efficiency)	ความถี่โซ่สาขา (grafting frequency) (AGU/chain)
4.75	10.76	38.88	23361.61
9.375	8.23	21.95	40619.35
11.75	14.96	14.66	25157.00
14.815	14.07	19.63	37062.57
18.75	32.02	39.42	7083.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.4.5 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 5.18 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ร่วม เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณ NP 40 ที่ใช้และใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 200% โมล อัตราส่วน MMA : EA 45/55 สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60/90 °C

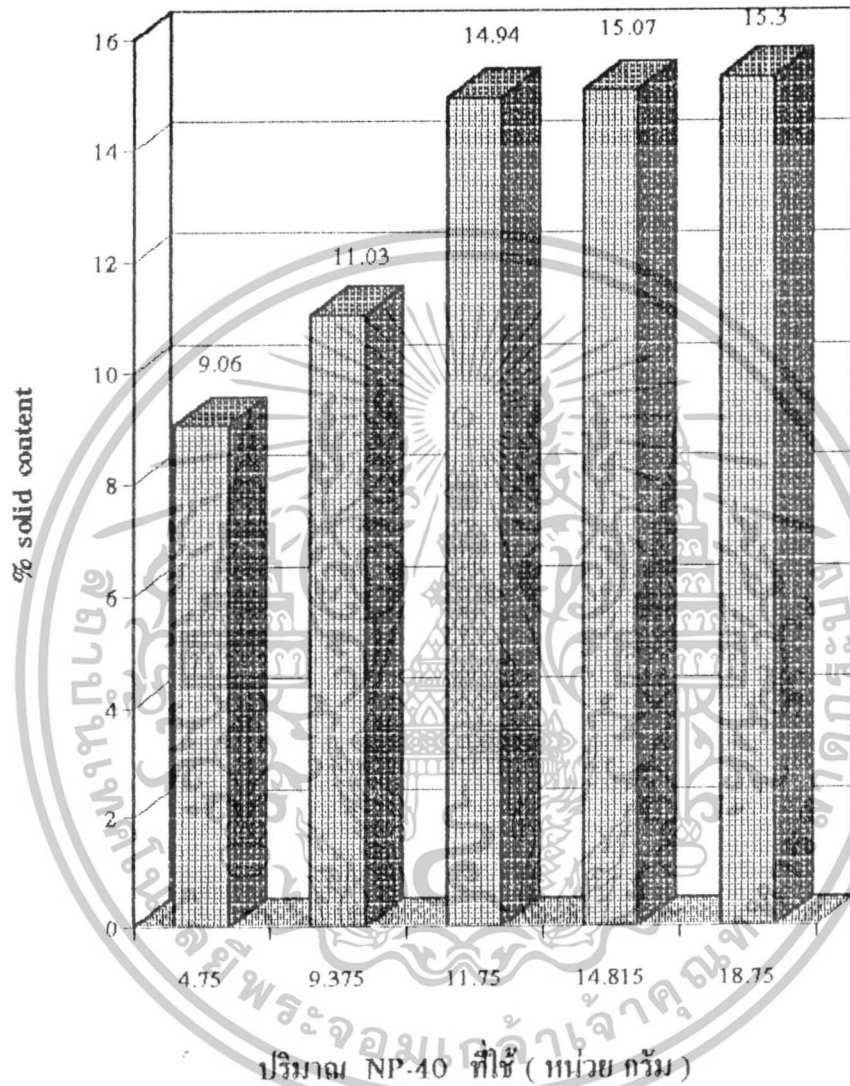
ปริมาณ NP 40 (กรัม)	ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ( $kN/mm^2$ )	%การยืดตัวที่จุดขาด (% Elongation at break)	Modulus ( $kN/mm^2$ )
4.75	10.44	2.52	417.6
9.375	22.54	35.74	63.14
11.75	12.38	7.71	160.78
14.815	16.29	170.16	9.58
18.75	27.73	167.23	16.60

#### 5.4.6 ผลของปริมาณ NP 40 ที่ใช้ในการสังเคราะห์ ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 5.19 สรุปผลของปริมาณ NP 40 ที่ใช้ในการสังเคราะห์ ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อแป้ง เมื่อใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 200% โมล อัตราส่วน MMA : EA 45/55 สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 60/90 °C

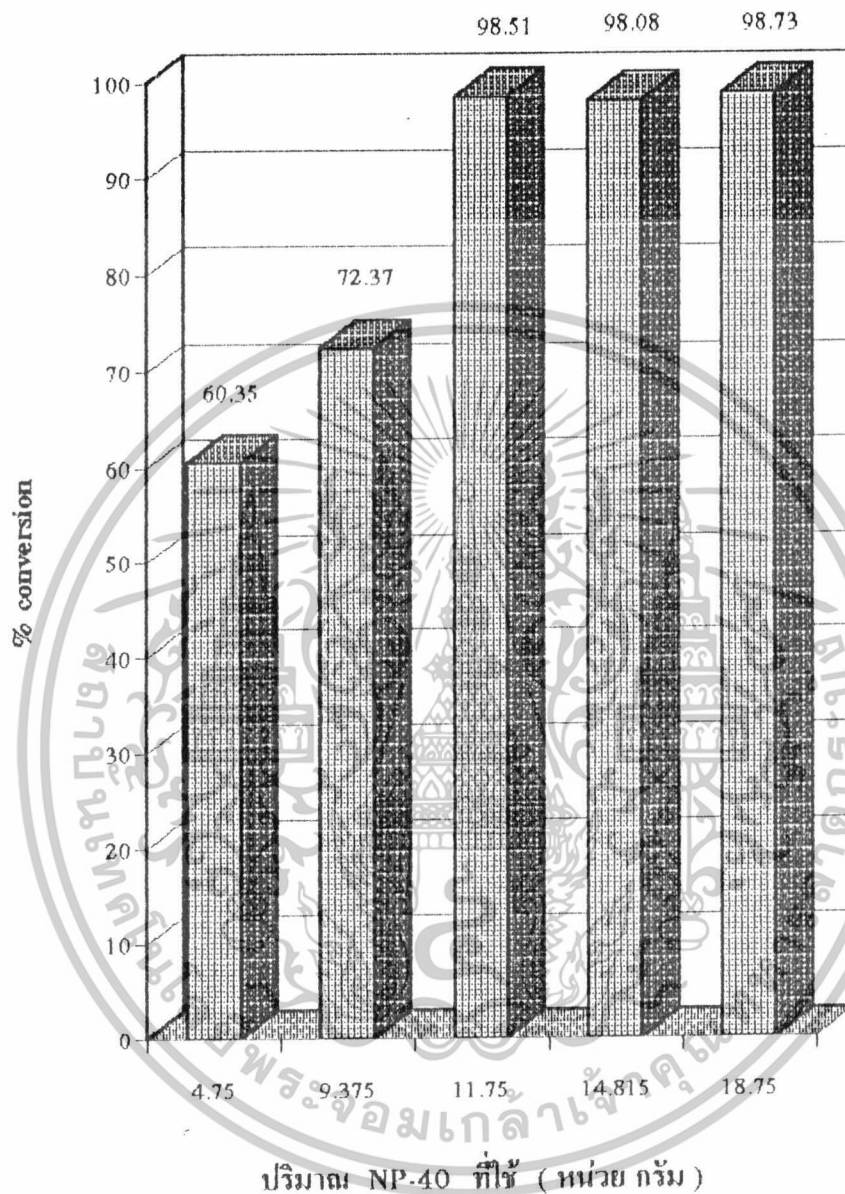
ปริมาณ NP 40 (กรัม)	% solid content	% conversion	%polymer	% G	% GE	Mv	AGU/chain
4.75	9.06	60.35	14.47	10.76	38.88	456279	23361.61
9.375	11.03	72.37	22.63	8.23	21.95	590000	40619.35
11.75	14.94	98.51	46.55	14.96	14.66	717136	25157.00
14.815	15.07	98.08	36.56	14.07	19.63	983627	37062.57
18.75	15.30	98.73	32.98	32.02	39.42	540468	7083.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



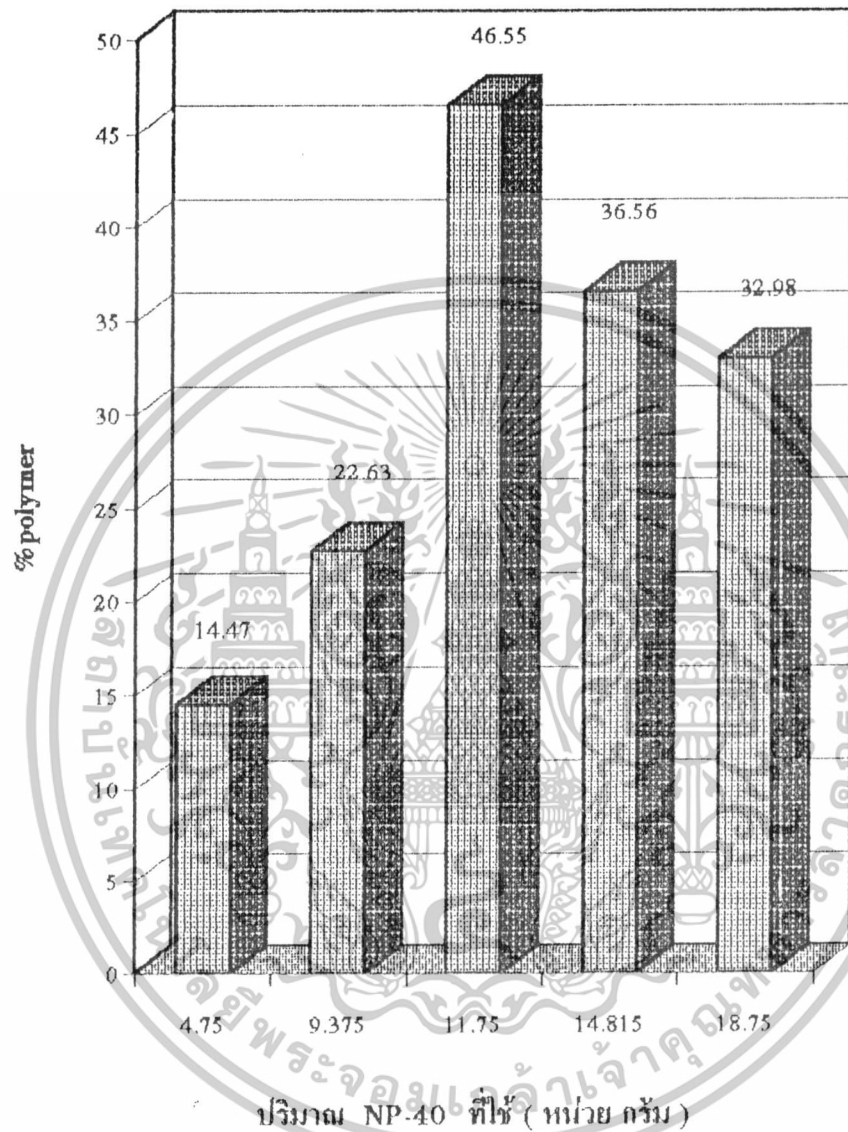
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณ NP 40 ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบคอปอลของแข็ง กับ ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ (% solid content)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



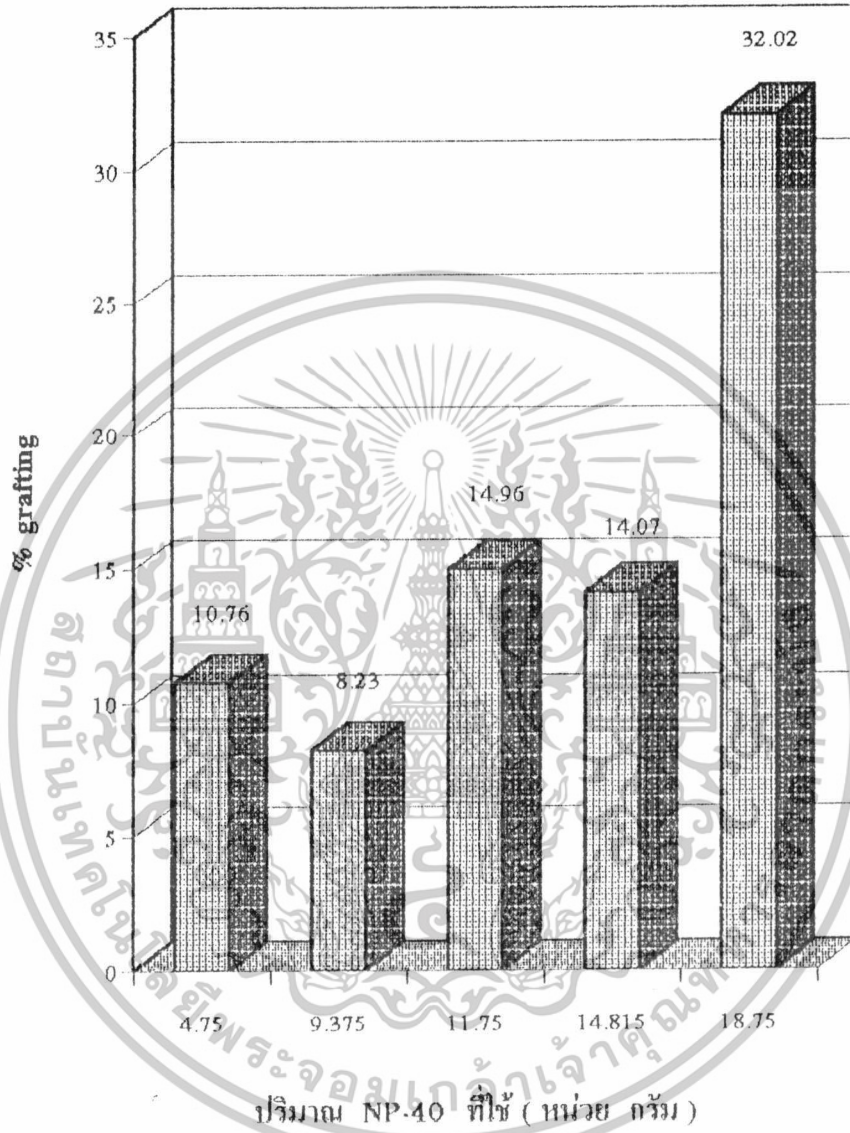
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณ NP 40 ที่ใช้ในการสังเคราะห์ พอลิเมอร์ร่วมแบบคอปอลของแป้ง กับ ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ (% conversion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



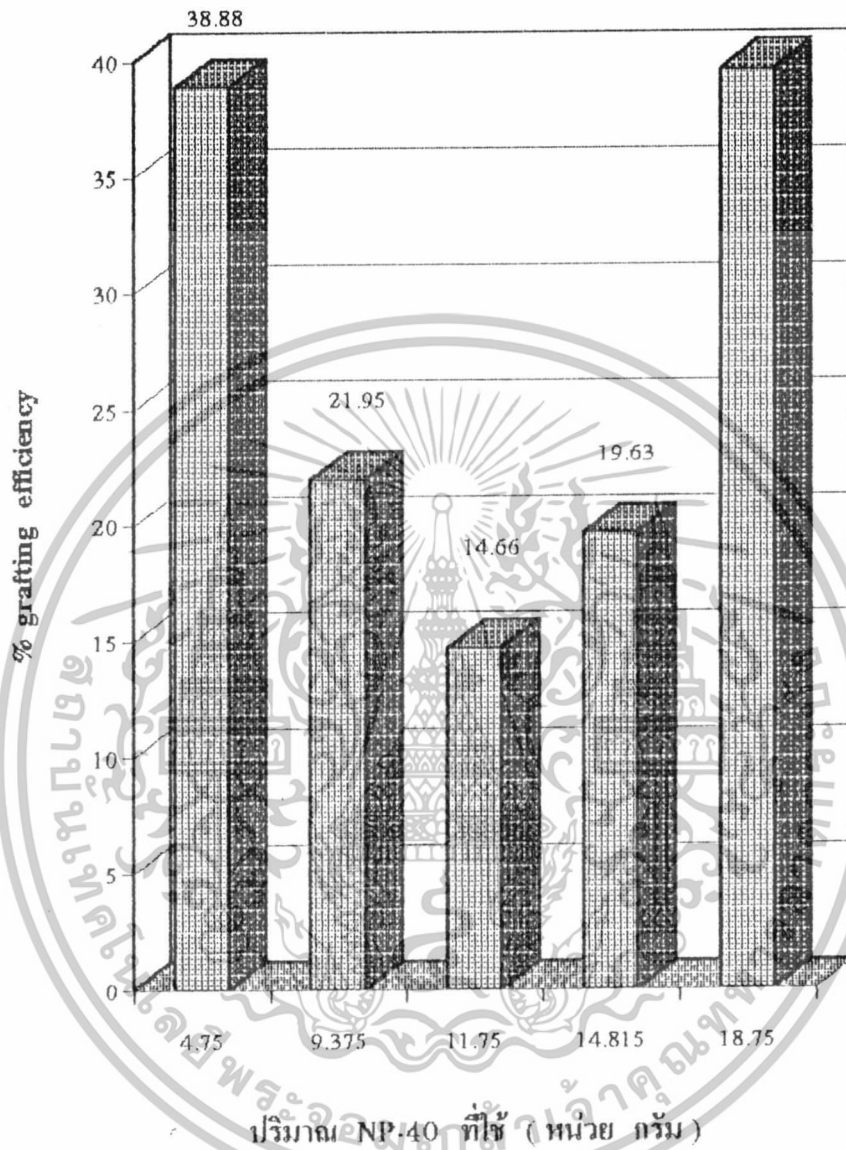
รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณ NP 40 ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง กับ ค่าเปอร์เซ็นต์พอลิเมอร์ (% polymer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



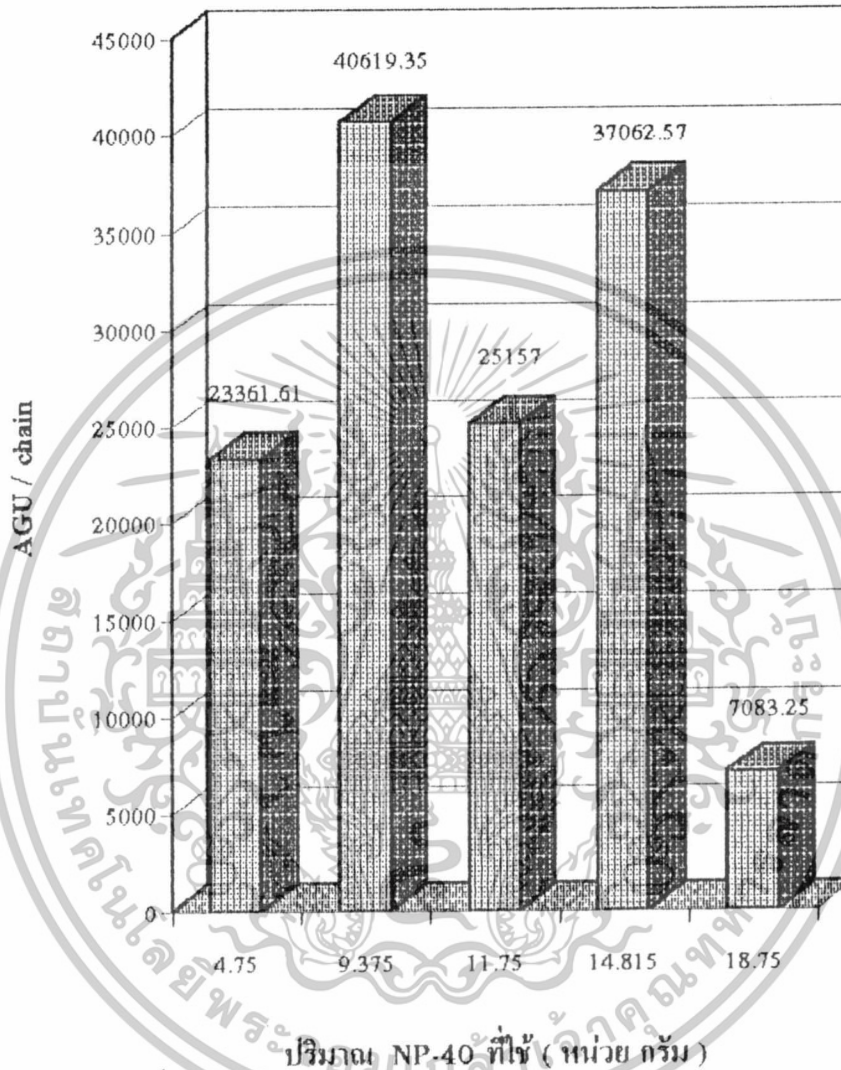
รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณ NP 40 ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง กับ ค่าเปอร์เซ็นต์การเกิดพอลิเมอร์โซ่สาขา (% grafting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณ NP 40 ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง กับ ค่าประสิทธิภาพการเกิดพอลิเมอร์โซ่สาขา (% grafting efficiency)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณ NP 40 ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง กับ ความถี่ของพอลิเมอร์โซ่สาขา (AGU/chain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่สังเคราะห์ได้

### 5.5.1 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ (solid content) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 5.25 แสดงปริมาณของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ และ%การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ เมื่อใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 200% โมล อัตราส่วน MMA : EA 45/55 NP 40 18.75 กรัม สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล

อุณหภูมิ (°C)	%ของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ (%solid content)	%การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ (%conversion)
40	7.82	50.23
40/90	9.74	62.57
60	8.17	52.45
60/90	15.30	98.73
90	15.55	99.84

### 5.2 การวิเคราะห์หาปริมาณพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็งที่ปะหลังกับมอนอเมอร์ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 5.26 แสดงปริมาณพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่เกิดขึ้น เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ เมื่อใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 200% โมล อัตราส่วน MMA: EA 45/55 NP 40 18.75 กรัม สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล

อุณหภูมิ (°C)	% polymer
40	0.85
40/90	7.07
60	0.94
60/90	32.98
90	40.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.5.8 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์โซ่สาขา ในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็ง มันสำปะหลัง

ตารางที่ 5.27 แสดงผลการวิเคราะห์พอลิเมอร์โซ่สาขาด้วยเครื่อง GPC เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ เมื่อใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 200% โมล อัตราส่วน MMA : BA 45/55 NP 40 18.75 กรัม สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล

อุณหภูมิ (°C)	Mn	Mw	Mv	Mz	Mz+1	Polydispersity
60/90	174274	540468	540468	1340706	2188223	3.10
90	176937	673870	673870	1381415	2014625	3.81

### 5.5.4 การวิเคราะห์หา % โซ่สาขา ที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็งมัน สำปะหลัง

ตารางที่ 5.28 แสดงเปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพ และความถี่ พอลิเมอร์โซ่สาขาที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็งมันสำปะหลัง เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ เมื่อใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 200% โมล อัตราส่วน MMA : BA 45/55 NP 40 18.75 กรัม สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล

อุณหภูมิ (°C)	% การเกิดโซ่สาขา (%grafting)	ประสิทธิภาพการเกิดโซ่สาขา (grafting efficiency)	ความถี่โซ่สาขา (grafting frequency) (AGU/chain)
60/90	32.02	39.42	7083.25
90	11.45	16.76	32167.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.5.5 สมบัติเชิงกล ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 5.29 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ เมื่อใช้ ปริมาณมอนอเมอร์ 200% โมล อัตราส่วน MMA : EA 45/55 NP 40 18.75 กรัม สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล

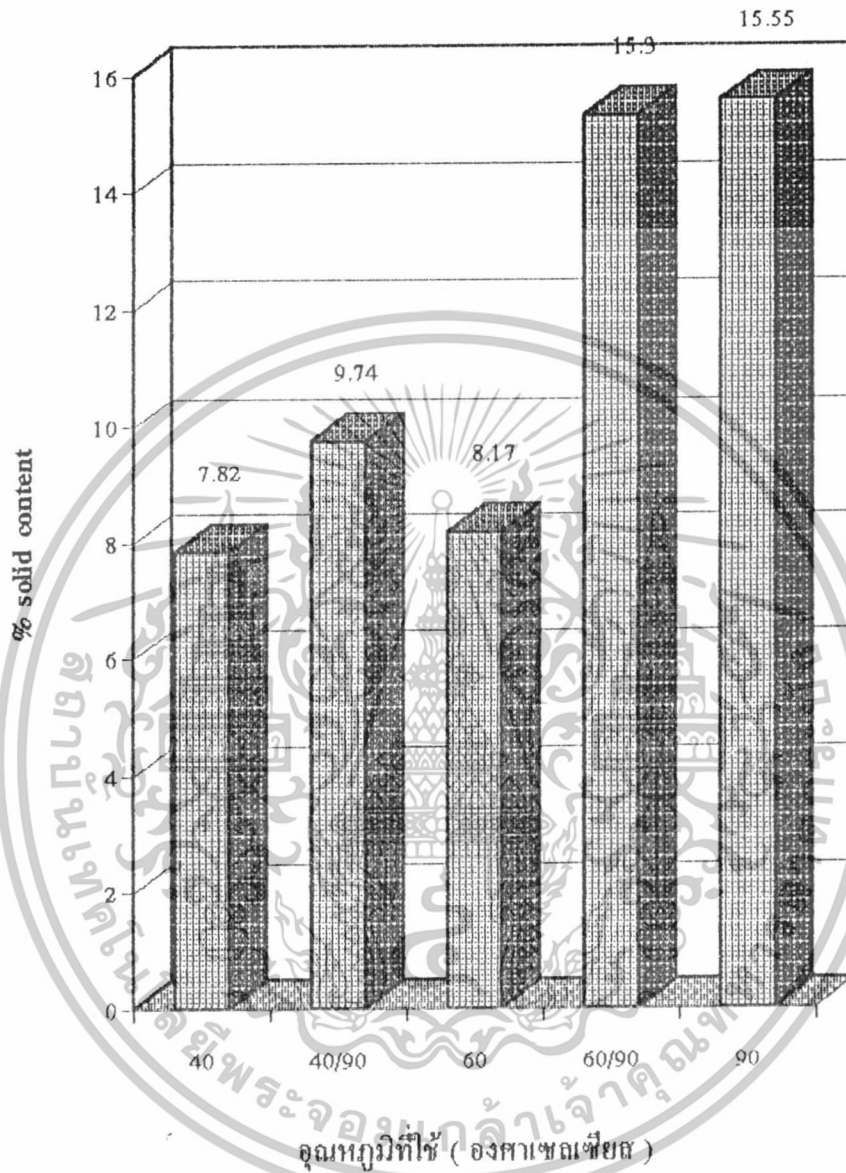
อุณหภูมิ ( °C )	ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) (kN/mm <sup>2</sup> )	%การยืดตัวที่จุดขาด (% Elongation at break)	Modulus (kN/mm <sup>2</sup> )
40	8.33	84.20	9.89
40/90	4.46	223.43	1.91
60	7.38	41.47	17.78
60/90	27.73	167.23	16.60
90	16.13	129.2	12.50

### 5.5.6 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 5.30 สรุปผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ เมื่อใช้ ปริมาณมอนอเมอร์ 200% โมล อัตราส่วน MMA : EA 45/55 NP 40 18.75 กรัม สารละลาย  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล

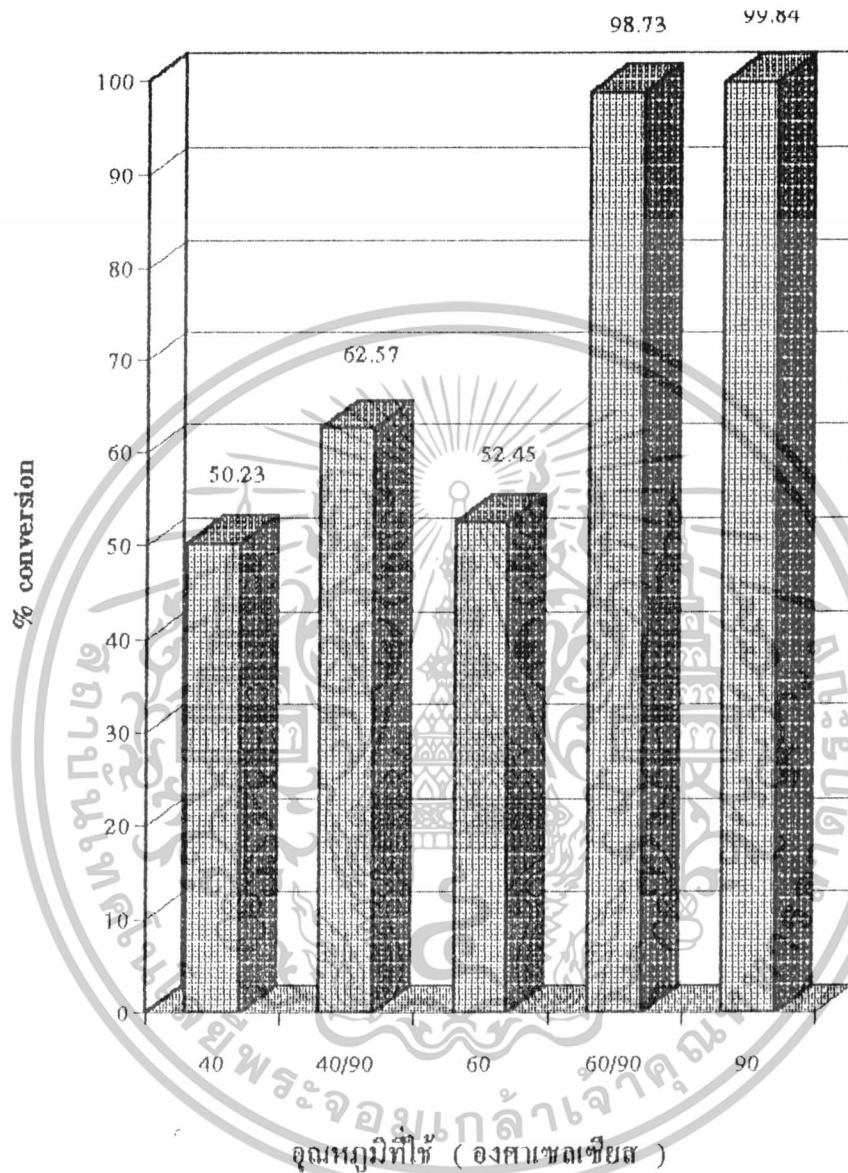
อุณหภูมิ ( °C )	% solid content	% conversion	%polymer	% G	% GE	Mv	AGU/chain
40	7.82	50.23	0.85	-	-	-	-
40/90	9.74	62.57	7.07	-	-	-	-
60	8.17	52.45	0.94	-	-	-	-
60/90	15.30	98.73	32.98	32.02	39.42	540468	7083.25
90	15.55	99.84	40.25	11.45	16.76	673870	32167.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



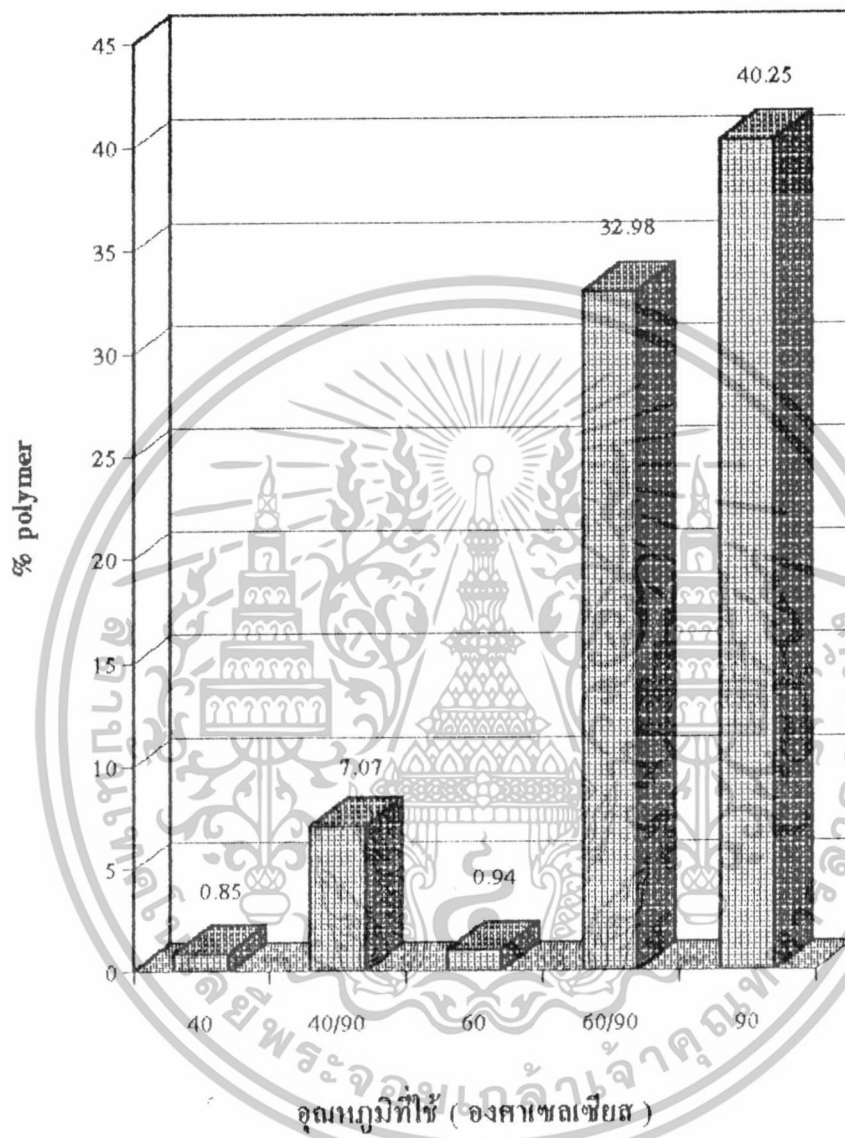
รูปที่ 5.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ พอลิเอทิลีนไกลคอลร่วมกับค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่เป็นองค์ประกอบ (% solid content)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



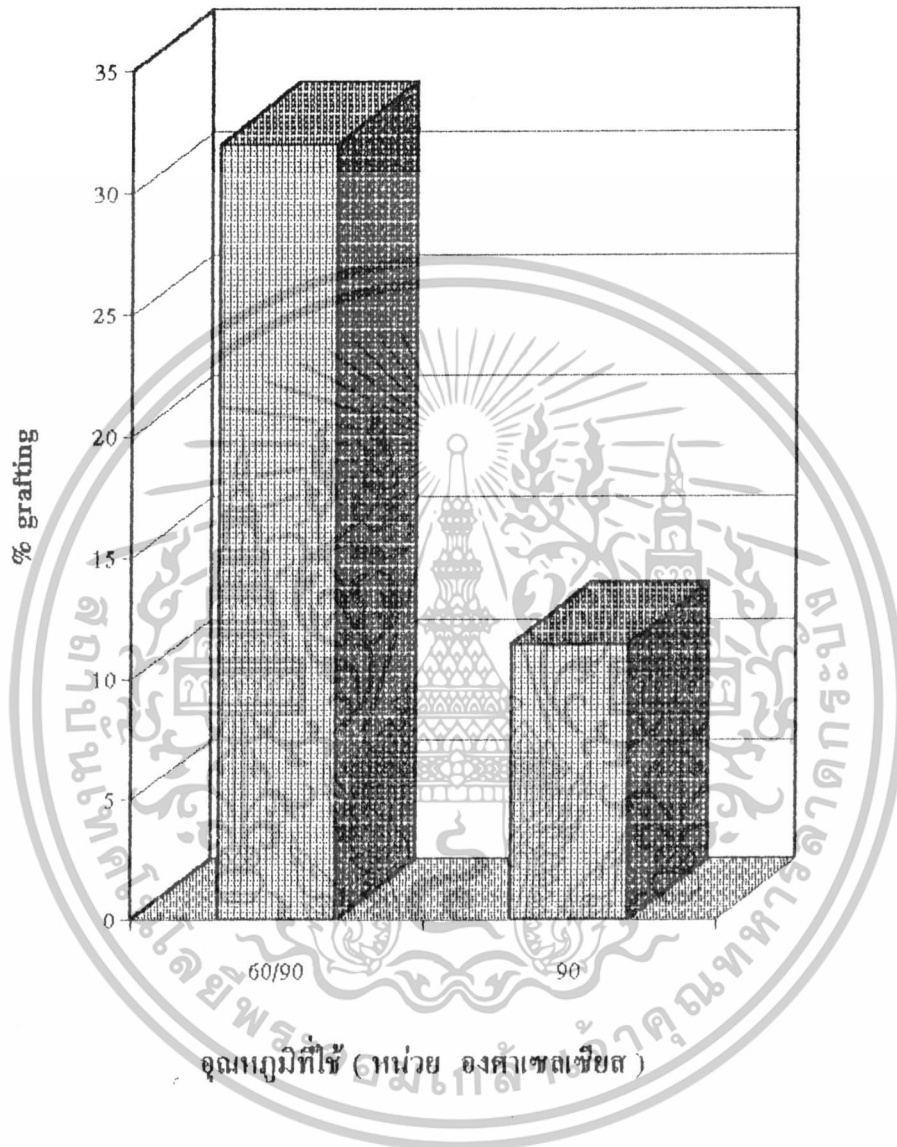
รูปที่ 5.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็ง กับ ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ (% conversion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



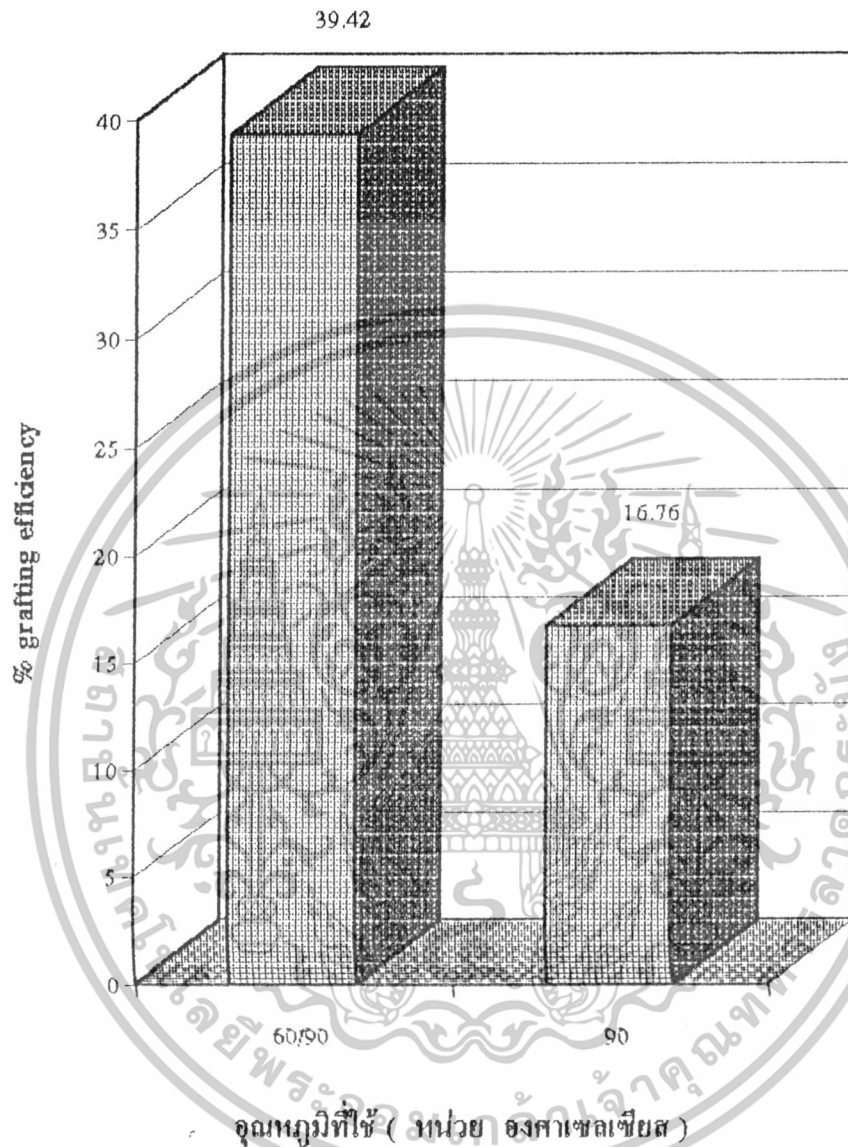
รูปที่ 5.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงองศาเขลิยสในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง กับ ค่าเปอร์เซ็นต์พอลิเมอร์ (% polymer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



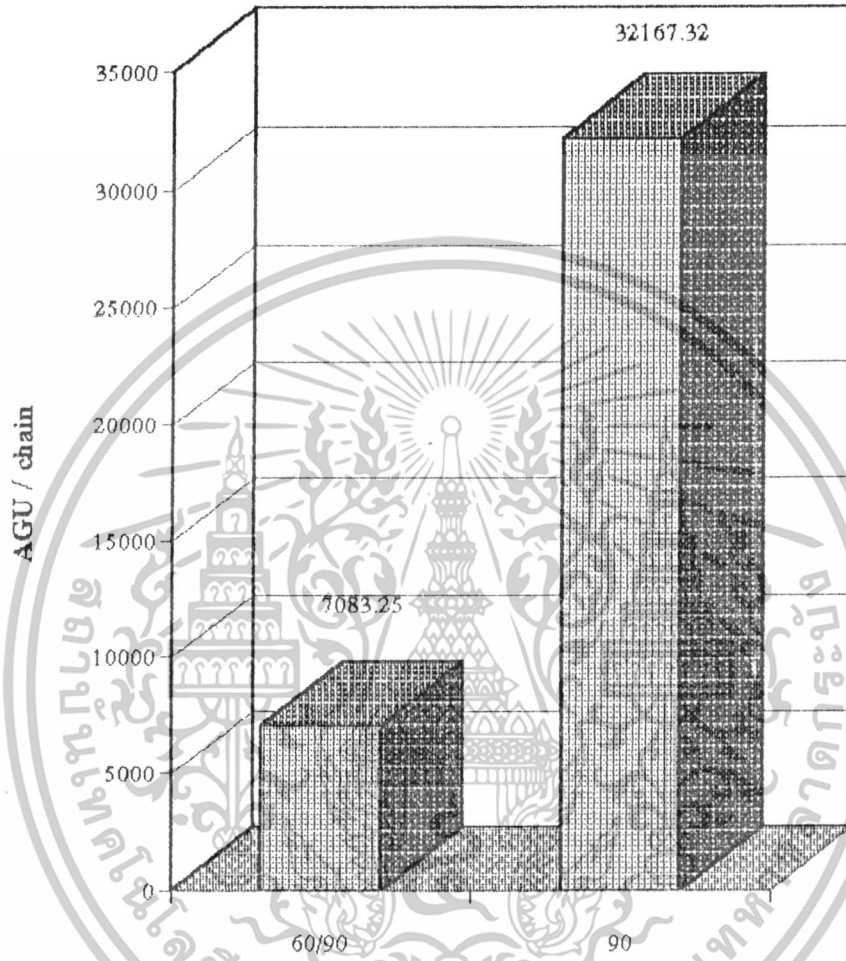
รูปที่ 5.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนที่ใช้ในการสังเคราะห์ พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง กับ ค่าเปอร์เซ็นต์การเกิดพอลิเมอร์โซ่สาขา (% grafting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอูณหภูมิ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง กับ ค่าประสิทธิภาพการเกิดพอลิเมอร์โซ่สาขา (% grafting efficiency)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อุณหภูมิที่ใช่ (องศาเซลเซียส)

รูปที่ 5.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแข็ง กับ ความถี่ของพอลิเมอร์โซ่สาขา (AGU/chain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.6 ผลการศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

การทดลองเลือกตัวอย่างมาทำการศึกษาคือ

- แป้งมันสำปะหลัง
  - โคพอลิเมอร์ระหว่างเมทิลเมทาคริเลตกับเอทิลอะคริเลต อัตราส่วน 80:20 และโซ่สาขา
  - พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับเมทิลเมทาคริเลตและเอทิลอะคริเลต อัตราส่วน 80:20
  - พอลิเมทิลเมทาคริเลต, พอลิเอทิลอะคริเลต
- พบว่า

(1) จากกราฟแป้ง พบพีกที่สำคัญดังนี้

O-H stretching	ความยาวคลื่น	3200-3600	นาโนเมตร
C-H stretching	ความยาวคลื่น	2900	นาโนเมตร
C=O stretching	ความยาวคลื่น	1650	นาโนเมตร
C-H bending	ความยาวคลื่น	1400	นาโนเมตร

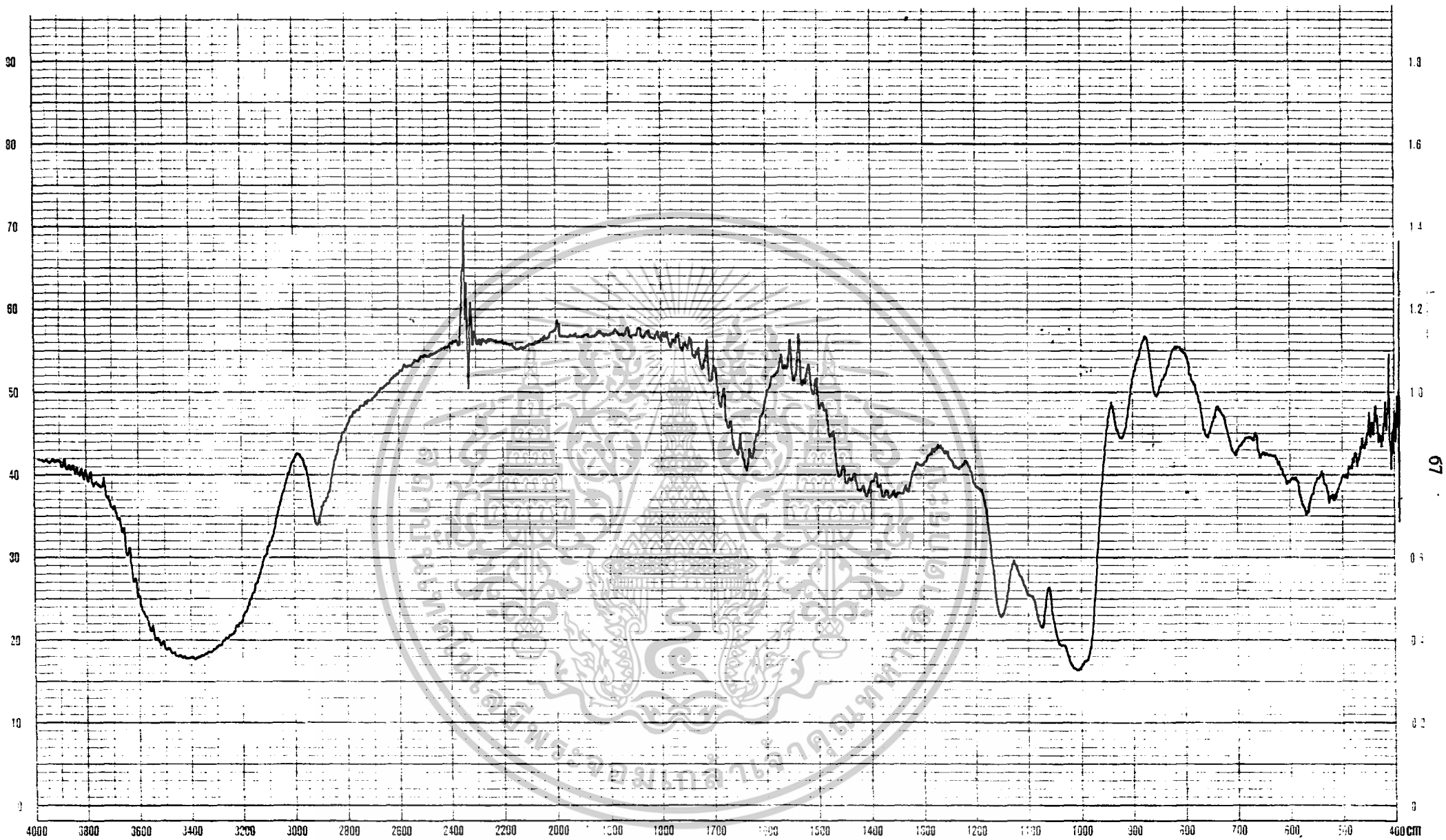
(2) จากกราฟโซ โมพอลิเมอร์และโซ่สาขา พบพีกที่สำคัญดังนี้

C-H stretching	ความยาวคลื่น	2900	นาโนเมตร
C=O stretching	ความยาวคลื่น	1750	นาโนเมตร
C-H stretching	ความยาวคลื่น	1450	นาโนเมตร
C-O stretching	ความยาวคลื่น	1150	นาโนเมตร

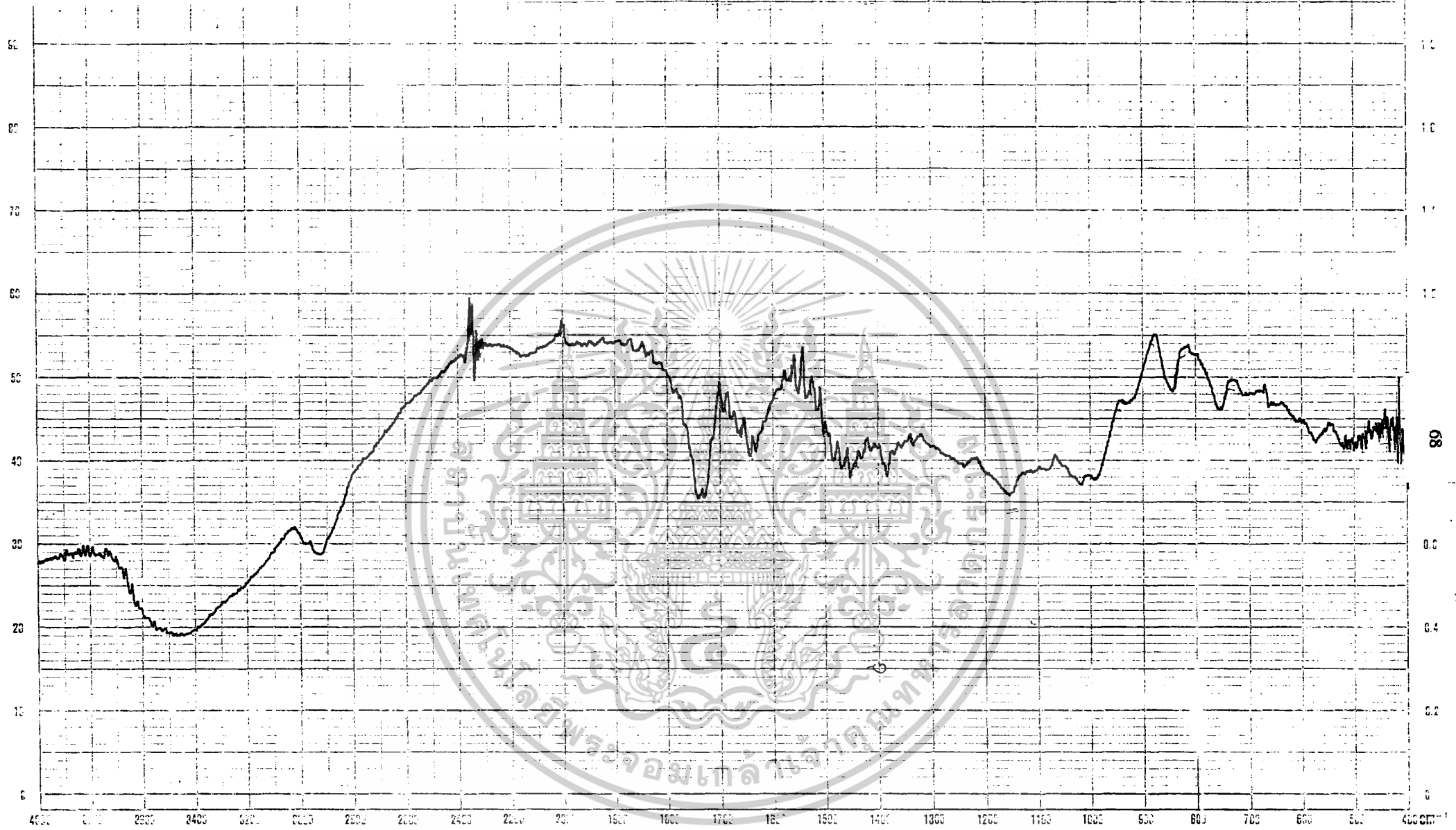
(3) จากกราฟพอลิเมอร์ร่วม

O-H stretching	ความยาวคลื่น	3400	นาโนเมตร
C-H stretching	ความยาวคลื่น	2900	นาโนเมตร
C=O stretching	ความยาวคลื่น	1750	นาโนเมตร
C-H bending	ความยาวคลื่น	1450	นาโนเมตร
C-O stretching	ความยาวคลื่น	1150	นาโนเมตร

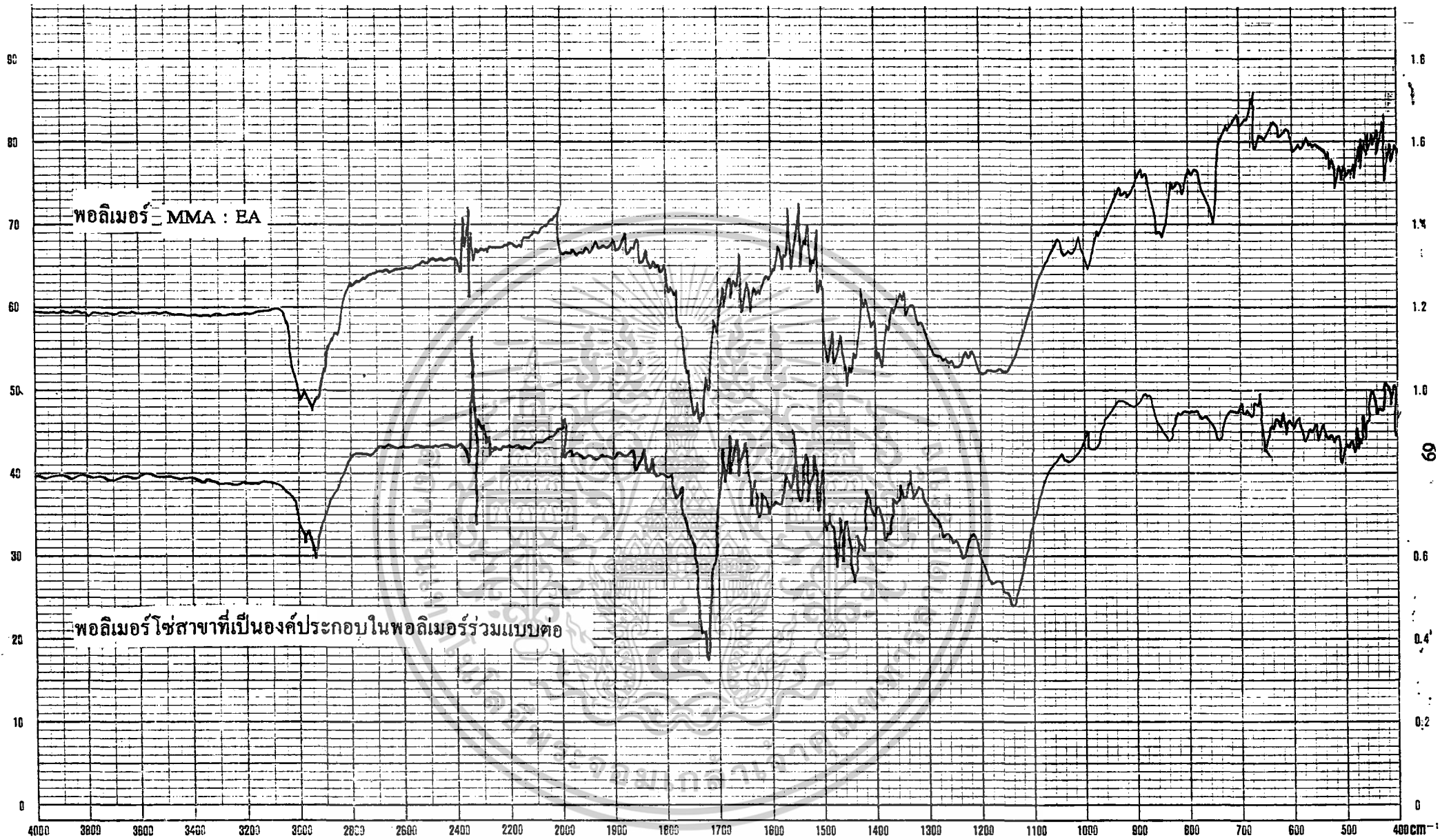
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.30 กราฟแสดงสเปคตรัมการดูดกลืนแสงของหมุ่ฟังก์ชันของแม็ง  
โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปคโตมิเตอร์



รูปที่ 5.31 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของเม็ง  
 โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปคโตรมิเตอร์



รูปที่ 5.32 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์โซ่สาขา ที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ร่วมแบบคอปอของแป้ง โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

## บทที่ 6

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการทดลอง

##### 6.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งสามารถทำได้โดยเตรียมแป้งให้อยู่ในรูปของเจล โดยใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับเมทิลเมทาคริเลตและเอทิลอะคริเลต โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่ม ภายใต้บรรยากาศก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และใช้สารช่วยกระจายตัว คือ NP 40

##### 6.2 ผลของอัตราส่วนมอนอเมอร์ เมทิลเมทาอะคริเลต : เอทิลอะคริเลต ที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ

อัตราส่วนเมทิลเมทาอะคริเลตและเอทิลอะคริเลตที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ จะมีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ ซึ่งพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ 45 : 55 เพราะทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ เปอร์เซ็นต์การเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ ประสิทธิภาพการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ และความถี่ของการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อสูงที่สุด

ส่วนค่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน ( $T_g$ ) ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณมอนอเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ ซึ่งในที่นี้ไม่สามารถสรุปแนวโน้มได้ เพราะไม่ทราบปริมาณเมทิลเมทาคริเลต และเอทิลอะคริเลตที่แท้จริงที่เข้าไปอยู่ในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ ซึ่งปริมาณที่เข้าไปจะไม่ขึ้นกับอัตราส่วนมอนอเมอร์ที่ใส่เข้าไปแต่จะขึ้นกับ ความว่องไวของมอนอเมอร์ ซึ่งเราจะต้องทำการศึกษาความว่องไวของมอนอเมอร์ก่อน

##### 6.3 ผลของปริมาณมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์

ปริมาณมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์จะมีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ ซึ่งพบว่า ปริมาณมอนอเมอร์ที่น้อยเกินไปจะทำให้การเกิดโซ่สาขาต่ำ เป็นผลให้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำ และปริมาณมอนอเมอร์ที่มากเกินไปจะทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ของ MMA กับ BA มากกว่าที่จะเกิดเป็นพอลิเมอร์ร่วม ดังนั้นปริมาณมอนอเมอร์ที่เหมาะสมที่สุดคือ 200 % โมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 6.4 ผลของปริมาณโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ

โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตทำหน้าที่เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา โดยเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระเมื่อได้รับความร้อนในระหว่างการสังเคราะห์ ปริมาณโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตจะมีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ ซึ่งพบว่าปริมาณโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.0150 โมล เพราะทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ เปอร์เซ็นต์การเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ ประสิทธิภาพการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ ความถี่ของการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ และค่าความแข็งแรงคิงสูง

#### 6.5 ผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิว NP 40 ที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่มีต่อพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ

NP 40 ทำหน้าที่เป็นสารช่วยในการกระจายตัวระหว่างมอนอเมอร์และแป้งในน้ำ จากการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณ NP 40 สูงขึ้น จะทำให้การเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อมีค่าเพิ่มขึ้นเกิดโซ่สาขาได้มากขึ้น ความถี่ในการเกิดพอลิเมอร์โซ่สาขาสูงขึ้น พอลิเมอร์โซ่สาขาที่ได้มีลักษณะสั้นๆ จึงทำให้โครงสร้างโมเลกุลเกิดการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ ค่าความแข็งแรงคิงก็จะสูงขึ้น

#### 6.6 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์

อุณหภูมิที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เรซันเพราะอุณหภูมิทำให้ไปดัสเซียมเปอร์ซัลเฟต เกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระซึ่งเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่าการใช้อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาเป็น 60 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมงและหลังจากนั้นเพิ่มเป็น 90 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จะทำให้เกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อได้ดีที่สุด และพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่ได้มีค่าความแข็งแรงคิงสูงที่สุด เพราะการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงหลังให้เป็น 90 องศาเซลเซียส จะทำให้มอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาในตอนต้น เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้น้อยเนื่องจากไปดัสเซียมเปอร์ซัลเฟตแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระได้น้อย แต่ถ้าอุณหภูมิสูง 90 องศาเซลเซียส ตลอดเวลา จะทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ของ MMA กับ EA มาก

#### 6.7 ผลการศึกษาหมู่ฟังก์ชัน

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันจะพบว่าในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ จะมีหมู่ C=O ของเอสเทอร์เกิดขึ้น 1750 นาโนเมตร ซึ่งเป็นพีกที่เกิดจากการต่อเมทิลเมทาอะคริเลตและเอทิลอะคริเลต เข้าไปบนโมเลกุลของแป้ง ซึ่งเป็นหลักฐานยืนยันในการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.8 สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง

จากการศึกษาได้สภาวะที่เหมาะสมคือ

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้แป้งเกิดเป็นเจล  $90^{\circ}\text{C}$

ปริมาณแป้ง 150 กรัม

ปริมาณน้ำ 1800 ml

ปริมาณมอนอเมอร์ 200% โมล

อัตราส่วนมอนอเมอร์ MMA/BA = 45 / 55

ปริมาณ NP 40 18.75 กรัม

ปริมาณ  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8 = 0.015$  โมล

อุณหภูมิที่ใช้ตอนเริ่มปฏิกิริยา  $60^{\circ}\text{C}$  นาน 3 ชั่วโมง

อุณหภูมิที่ใช้ช่วงท้ายปฏิกิริยา  $90^{\circ}\text{C}$  นาน 1 ชั่วโมง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อเสนอแนะ

1. ทำการศึกษาหาปริมาณมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลตและเอทิลอะคริเลต ที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ เพื่อนำมาใช้อธิบายค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากปริมาณมอนอเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ
2. ทำการศึกษาความว่องไวของมอนอเมอร์ ทั้ง 2 ตัว เพื่อใช้อธิบายการเกิดโซ่สาขาว่าควรมีลักษณะอย่างไร
3. ทำการศึกษาว่าเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยามีผลต่ออัตราการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อหรือไม่ และหาเวลาที่เหมาะสมในการใช้สังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพดีที่สุด
4. ทำการศึกษาว่าขั้นตอนในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์นั้นมีผลทำให้สมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ เช่น อาจเกิดการเชื่อม โยงกันทำให้สมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

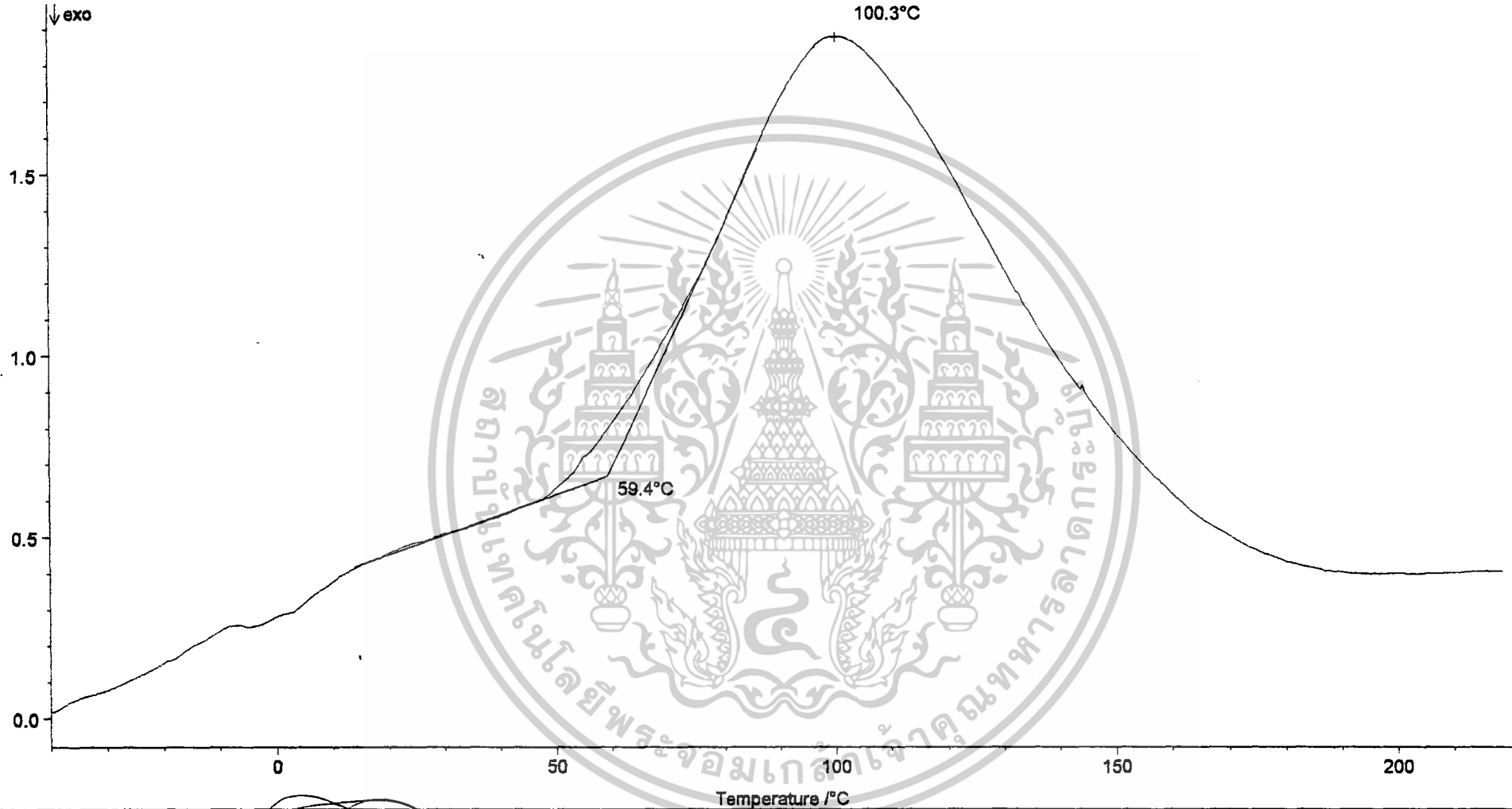


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก 1****ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC (differential scanning calorimeter)**

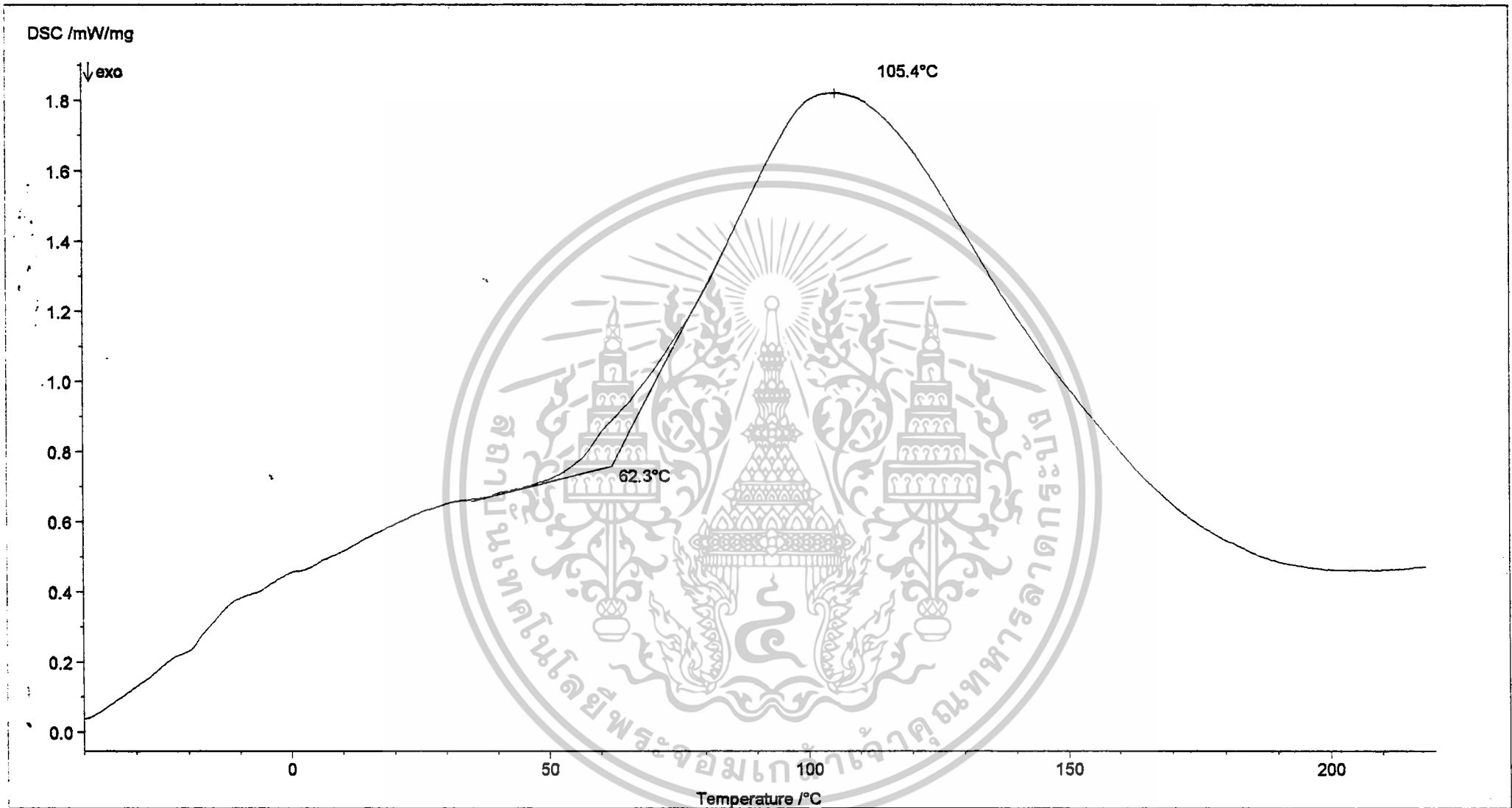
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSC /mW/mg



INSTRUMENT:	NETZSCH DSC 200	SAMPLE:	Graft -Copolymer	5.000 mg	MODE:	Dynamic
FILE:	SMMAEA10.DAT	REFERENCE:	empty	0.000 mg	RANGE:	-50 °C/20.0/220 °C
IDENTITY:	651	SENS-FILE:	SNS20N15.SNS		SEGM:	1 / 1
DATE/TIME:	21.02.96 09:49	CORR-FILE:			CRUC:	Pan Al, pierced lid
LABORATORY:	Strec	REMARK:	S-G-MMA-EA 100:0		ATMOS:	N2,15;
OPERATOR:	SOPA				CORR:	000/Rg500 uV

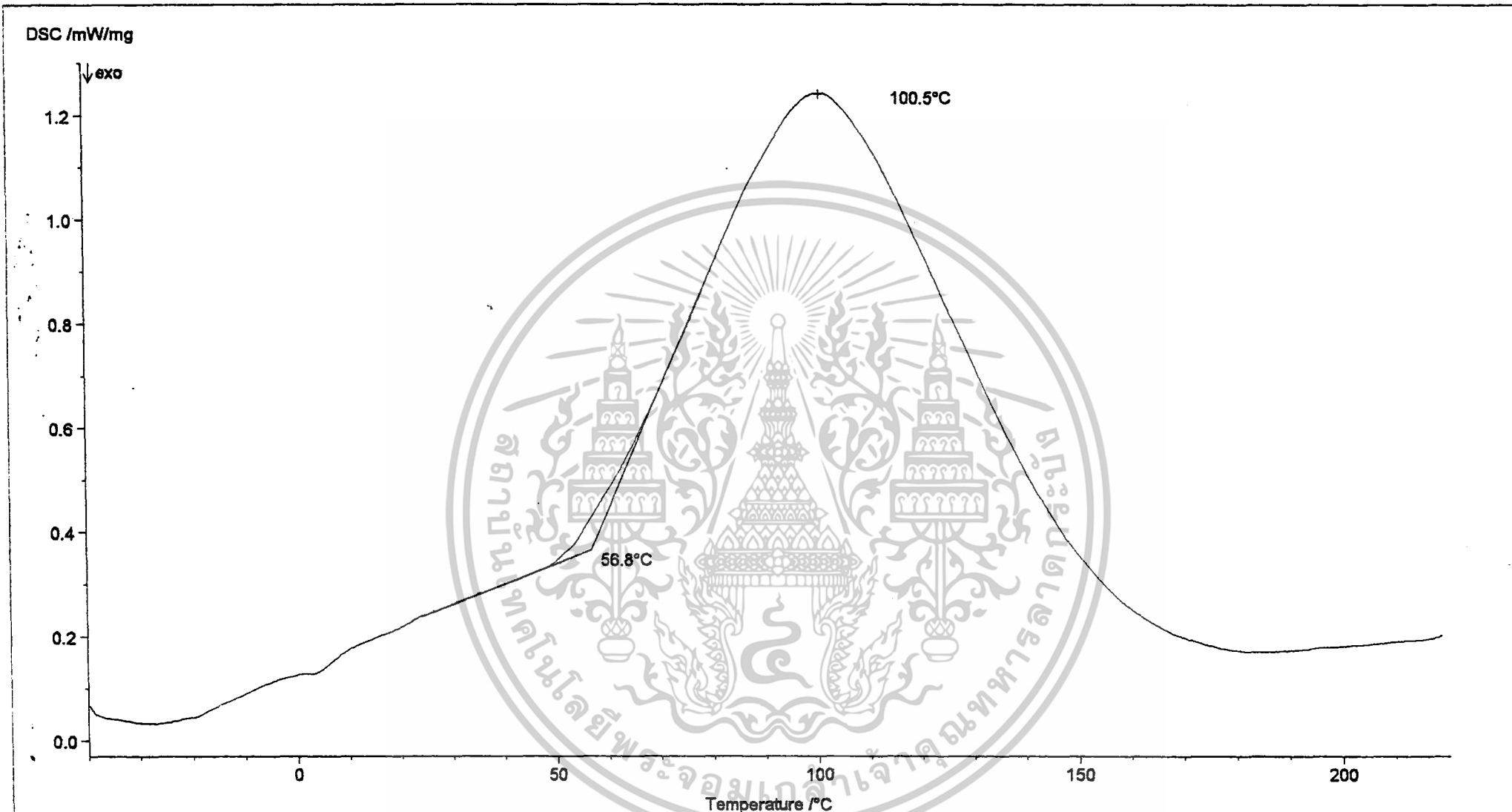
รูปที่ 1A เทอร์โมแกรมแสดงค่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน ของพอลิเมอร์ร่วมแบบคอปออลิเมอร์ MMA และ EA อัตราส่วน MMA / EA = 100/0



INSTRUMENT:	NETZSCH DSC 200	SAMPLE:	Graft -Copolymer	5.100 mg	MODE:	Dynamic
FILE:	SMMAEA82.DAT	REFERENCE:	empty	0.000 mg	RANGE:	-50 °C/20.0/220 °C
IDENTITY:	652	SENS-FILE:	SNS20N15.SNS		SEGM:	1/1
DATE/TIME:	21.02.96 11:20	CORR-FILE:			CRUC:	Pan Al, pierced lid
LABORATORY:	Strec	REMARK:	S-G-MMA-EA 80:20		ATMOS:	N2,15;
OPERATOR:	SOPA				CORR:	000/Rg500 uV

รูปที่ 1B เทอร์โมแกรมแสดงค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนของทอติเมอร์ร่วมแบบคอปอลิเมอร์ของเม็ทกับมอนอเมอร์

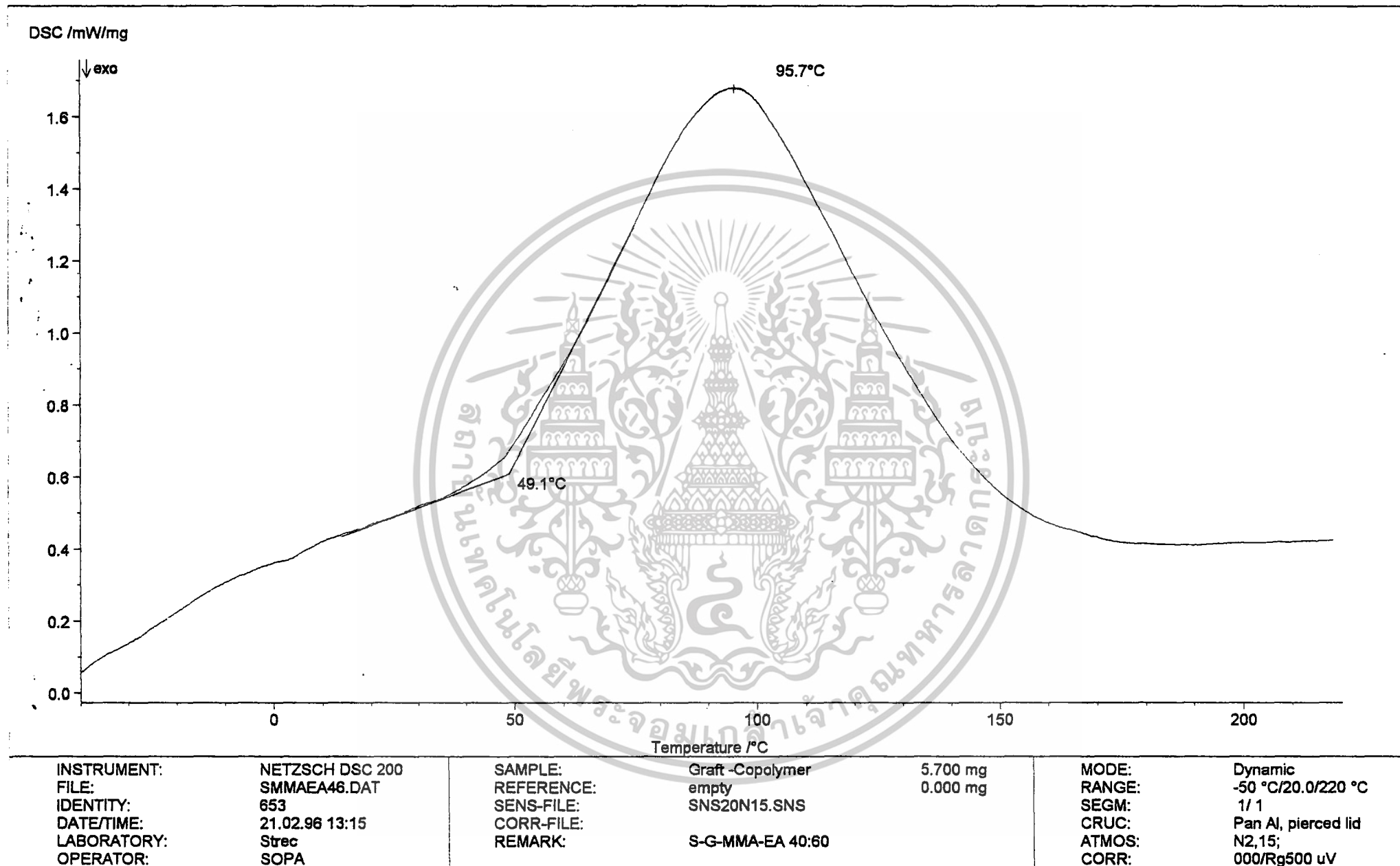
MMA และ EA อัตราส่วน MMA / EA = 80/20



INSTRUMENT:	NETZSCH DSC 200	SAMPLE:	Graft-Copolymer	7.200 mg	MODE:	Dynamic
FILE:	SMMAEA45.DAT	REFERENCE:	empty	0.000 mg	RANGE:	-50 °C/20.0/220 °C
IDENTITY:	650	SENS-FILE:	SNS20N15.SNS		SEGM:	1/1
DATE/TIME:	20.02.98 14:04	CORR-FILE:			CRUC:	Pan Al, pierced lid
LABORATORY:	Strec	REMARK:	S-G-MMA-EA 45:55		ATMOS:	N2,15;
OPERATOR:	SOPA				CORR:	000/Rg500 uV

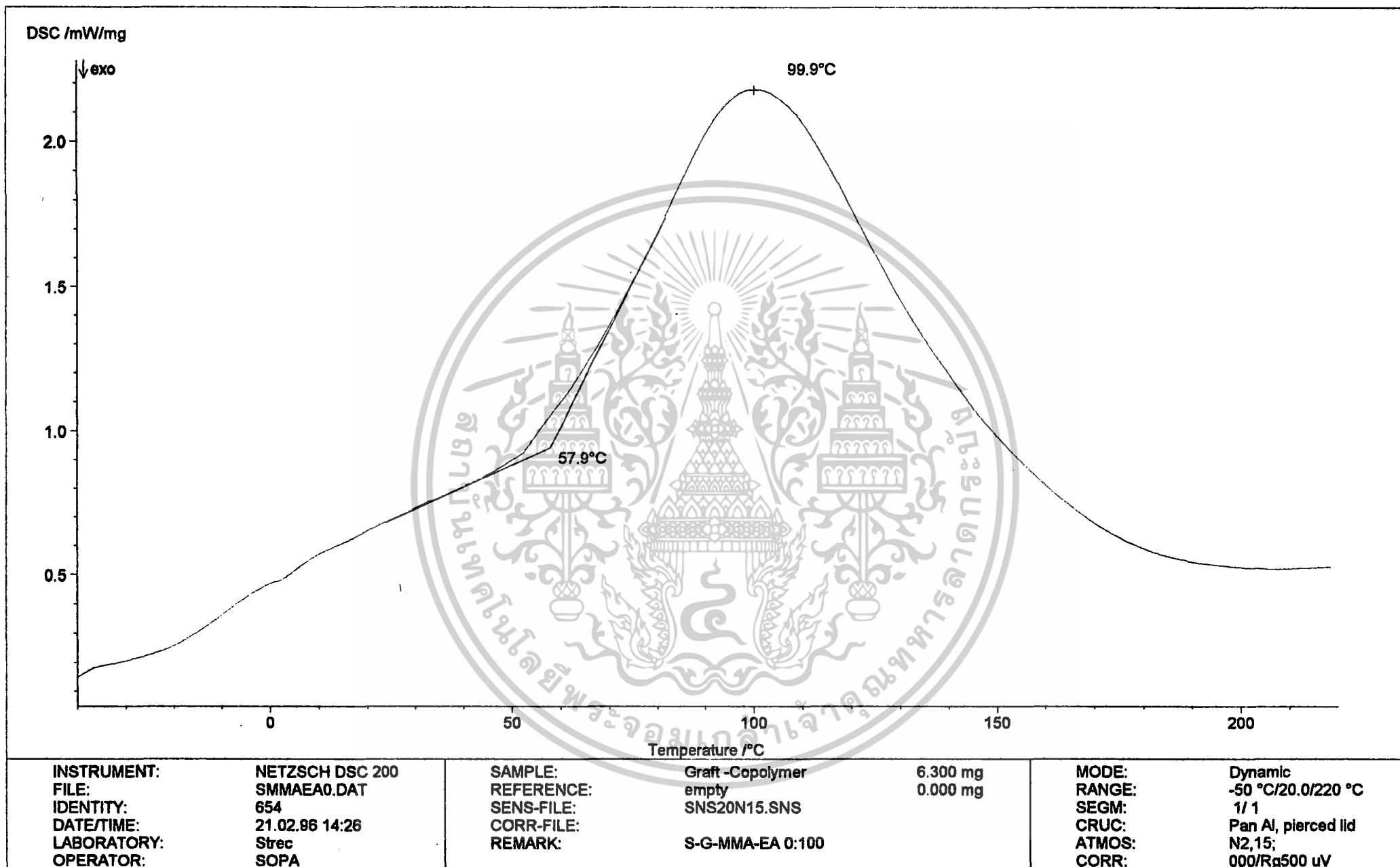
รูปที่ 1C เทอร์โมแกรมแสดงค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะของพอลิเมอร์ร่วมแบบคอปอลิเมอร์ของเมธิลเมทาครีเลตกับอะครีโลไนไตรล์

MMA และ EA อัตราส่วน MMA / EA = 45/55



รูปที่ 1D เทอร์โมแกรมแสดงค่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน ของพอลิเมอร์ร่วมแบบคอปอลิเมอร์ของเม็่งกับมอนอเมอร์

MMA และ EA อัตราส่วน MMA / EA = 40/60



รูปที่ 1E เทอร์โมแกรมแสดงค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน ของพอลิเมอร์ร่วมแบบคอปอโพลิเมอร์ MMA และ EA อัตราส่วน MMA / EA = 0/100



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2A แสดงกราฟมาตรฐานโพลิสไตรีนของเครื่อง GPC

log Molecular Wt

6.00

4.00

2.00

6.00

6.50

7.00

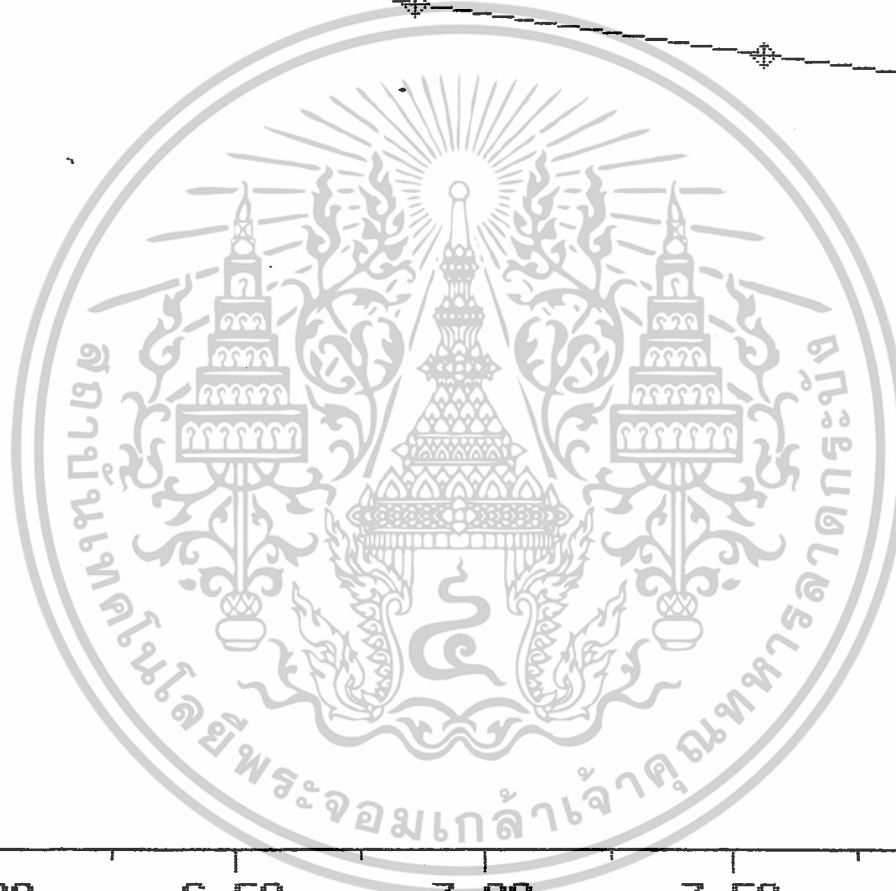
7.50

8.00

8.50

min

detector 1 Retention Time



Printed: 15-FEB-1996 15:21:31

METHOD NAME :  
 Calibration Type : Narrow Standards

Curve Type : 4th Order  
 Equation of Curve :  $\log MW = + 3.35E+00 + 3.74E+00 \cdot R - 1.11E+00 \cdot R^2 + 1.21E-01 \cdot R^3 - 4.71E-03 \cdot R^4$

Correlation Coef :  $r^2 = 1.00000000$   
 Std Err of Estimate: 0.00000000

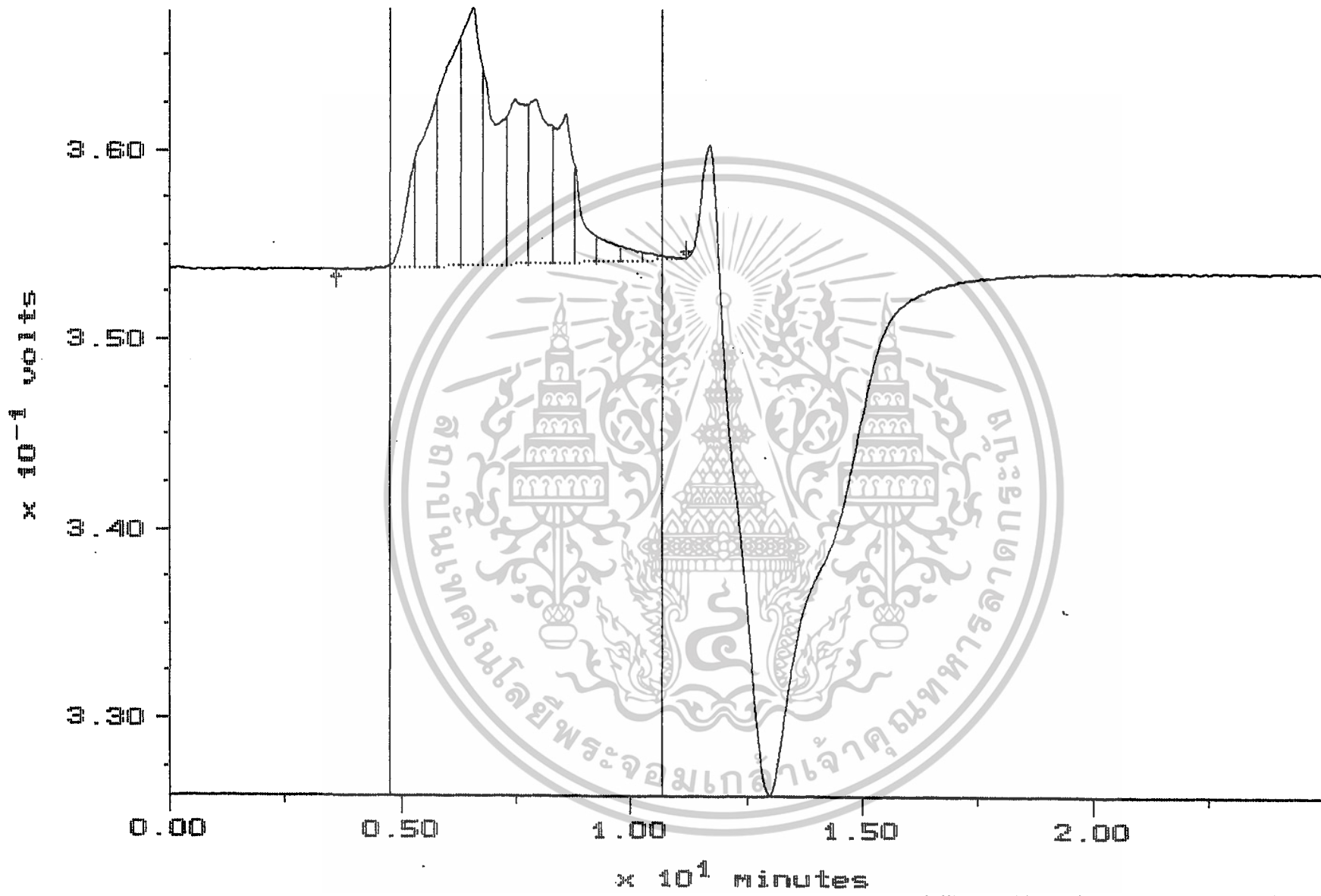
Calibration Points :

<u>Ret Time</u> <u>(min)</u>	<u>Specified</u> <u>Molecular Wt</u>	<u>Calculated</u> <u>Molecular Wt</u>	<u>Valid</u>
5.87	1090000	1090000	Yes
6.23	706000	706000	Yes
6.88	355000	355000	Yes
7.57	190000	190000	Yes
8.38	96400	96400	Yes



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample: D2125 Channel: detector 1 File name: D2125  
Acquired: 12-FEB-96 16:30 Method: C:\MAX\DATA\1\PARABENS Operator:



รูปที่ 2B โครมาโตแกรมแสดงการหาค่าน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ไซสาขา เมื่อใช้อัตราส่วน MMA/EA = 45/55

**MAXIMA 820 GPC ANALYSIS REPORT**

Printed: 15-FEB-1996 15:34.02

**SAMPLE: REVIEW**

Method :  
 Acquired : 12-FEB-1996 16:40  
 Rate : 2.000 points/sec  
 Duration : 25.000 minutes  
 Operator :

Instrument : Instrument 1  
 Filename : L02125

**ANALYSIS PARAMETERS:**

Processing Start : 4.77 minutes  
 Processing End : 10.65 minutes  
 Number of Slices : 12  
 Slice Width : 30 seconds

Baseline Start : 3.62 minutes  
 Baseline End : 11.19 minutes

Calibration : Narrow Standards

**DETECTOR: detector 1****Molecular Weight Distribution Averages (Area Normalization [W(t)]):**

Number Average : 159026  
 Weight Average : 628825  
 Viscosity Average : 628825  
 Z Average : 1472218  
 Z+1 Average : 2265883

Polydispersity : 3.954232  
 Intrinsic viscosity : 0.000000  
 Z avg / Wt avg : 2.341220  
 Z+1 avg / Wt avg : 3.603358

**Molecular Weight Distribution Averages (Molecular Weight Normalization [W(t) / -d(bg MW)/dt ]):**

Number Average : 174274  
 Weight Average : 540468  
 Viscosity Average : 540468  
 Z Average : 1340706  
 Z+1 Average : 2188223

Polydispersity : 3.101261  
 Intrinsic viscosity : 0.000000  
 Z avg / Wt avg : 2.480637  
 Z+1 avg / Wt avg : 4.048753

**Peak Maximum:**

Slice # : 4  
 Molecular Wt : 511370

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. Goni,I., Gurruchaja,M., San Roman,J., Valero,M., Guzman.G.M., *J.Polym.* 34, 512 - 517 (1993)
2. Handerson,A.M. and Rudin,A *J.Appl. Polym. Sci.* 21,4115-4135 (1992)
3. Patil, D.R. and Fanta,G.F.,*J. App.Polym. Sci.* 47, 1765-1772 (1993)
4. Shogen, R.L. ,Fanta,G.F. and Doane, W.M., *Starch/Starke* 45 Nr. 276-280 (1993)
5. Trimmell,D.T., Swanson,C.L., Shogren,R.L., and Fanta, G.F., *J.Appl Polym. Sci.* 48, 1665-1675 (1993)
6. Patil,D.R., Crookston,M.N., and Fanta, G.F. *Starch/Starke* 46 Nr.4S 142-146 (1994)
7. Wurzburg, O.B. *Modified Starch: Properties and Uses.* 3 rd ed., pp. 150-162, CRC Press, Florida, 1987.
8. Odian, D. *Principle of Polymerisation.* 2 nd. pp. 271-273 John Wiley & Sons, New York, 1981.
9. คร. ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์ เคมีโพลิเมอร์พื้นฐาน พิมพ์ครั้งที่ 1 หน้า 200-207 และ 324-326 สำนักพิมพ์โอเคเอ็นสโตร์ กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้