

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง  
ที่มีสมบัติในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2538

ร/พ.

๑๓๖/ก

๒๕๓๘

เลขหม.....

เลขทะเบียน..... 26209

วัน, เดือน, ปี 6 ต.ค. 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง  
ที่มีสมบัติในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

โดย นางสาวจำปูน ปรีดีเวช  
นางสาววัฒน์ สุพรวารี  
นางสาววิสมล ปาจารย์รัตน์

ภาควิชา เคมี  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล

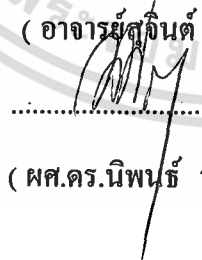
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้นำโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต

  
.....หัวหน้าภาควิชาเคมี  
( ผศ.ดร. เจริญชัย ไชยสิทธิ์ )

คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ

  
.....ประธานกรรมการ  
( รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล )

  
.....กรรมการ  
( อาจารย์สุกัญต์ ตันติพิสิษฐกุล )

  
.....กรรมการ  
( ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล )

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง ที่มีสมบัติในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ
นักศึกษา	นางสาวจำปูน ปรีดีเวช นางสาววัณนี สุพรวาริ นางสาววิสมล ปาจริย์รัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2538

### บทคัดย่อ

พอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพสามารถสังเคราะห์ได้จากการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบต่อระหว่างพอลิเมอร์และแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งโครงการพิเศษนี้ ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์โดยใช้มอนอเมอร์แตกต่างกัน 5 ชนิด ได้แก่ บิวทิลอะคริเลต, เมทิลเมทาคริเลต, อะคริโลไนไตรล์, เอทิลอะคริเลต และ 2-เอทิลเฮกซิลอะคริเลต โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ( $K_2S_2O_8$ ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มาตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี โดยใช้เครื่อง Infrared Spectroscopy Photometer และจากการตรวจสอบหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยจากเครื่อง Gel Permeation Chromatography พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้เกิดเป็นพอลิเมอร์ร่วม การทดสอบความแข็งแรงดึง, ความสามารถในการคงรูปและความสามารถในการไหล พบว่าเมื่อใช้มอนอเมอร์ชนิด บิวทิลอะคริเลต, เอทิลอะคริเลตและ 2-เอทิลเฮกซิลอะคริเลต ทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบต่อกับ แป้งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติคล้ายยาง โดยพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่สังเคราะห์ได้จาก 2-เอทิลเฮกซิลอะคริเลตมีความเหนียวมากที่สุด พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่สังเคราะห์จากเมทิลอะคริเลตและอะครอโลไนไตรล์ จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงคล้ายพลาสติก

**Special Project Title** An Attempt Synthesis Graft Copolymer of Cassava Starch  
for Biodegradable Plastics

**Name** Miss Jumpoon Predeewech  
Miss Wattanee Sopornwaree  
Miss Visamol Pajareerat

**Special Project Advisor** Dr. Nipol Wongwisetsirikul

**Department** Chemistry

**Academic Year** 1995

### ABSTRSCTS

The biodegradable polymer can synthesized by the copolymerisation of cassava starch with nonsoluble monomers employing a two phase reaction system to be starch graft copolymers. This special project studies various quantities in percentage of monomer under constant controlled conditions. There are 5 kinds of monomers used; acrylonitrile (AN), buthyl acrylate (BA), ethyl acrylate (EA), 2-ethylhexyl acrylate (2-EHA) and methyl methacrylate (MMA) monomer. Using water as the media of the reaction, NP-40 as the surfactants and potassium persulfate (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) as the initiators under nitrogenatmosphere. The chemical analysis were done by 2 methods, Infared spectroscopy analysis and Gel Permeation Chromatrography. The physical properties were observed the tensile strength by the Tensile tester, and the flow properties behaviors are observed by the Mooney viscometer and the Cappillary Extrusion Rheometer. From the studies, the starch graft copolymer of butyl acrylate, ethyl acrylate and 2-ethylhexyl acrylate have rubber-like behavior which 2-ethylhexyl acrylate is the most toughness, may be used to be the filler in polymers for making the biodegradable property. The starch graft copolymer of methyl methacrylate is very rigid and brittle polymer.

# สารบัญ

	หน้า
<b>บทคัดย่อภาษาไทย</b>	ง
<b>บทคัดย่อภาษาอังกฤษ</b>	จ
<b>สารบัญ</b>	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 วัตถุประสงค์ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง	1
1.2 บทนำ	1
การกำจัดพลาสติกโดยการทำให้เสื่อมสลาย	2
การนำไปถมที่ว่างเปล่า	2
การนำไปเผาทิ้ง	2
การทำให้พลาสติกสลายตัวได้	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี</b>	
2.1 แป้ง	4
2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของแป้ง	4
2.3 การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้ง โดยปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน	7
2.4 การปรับปรุงสมบัติของแป้งเพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติก	10
2.5 การย่อยสลายทางชีวภาพโดยเชื้อรา	11
<b>บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย</b>	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	12
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	13
3.3 วิธีการทดลอง	13
3.4 วิธีการคำนวณ	17
% Conversion	17
ปริมาณ ไฮ โมพอลิเมอร์	17
เปอร์เซ็นต์ของแป้ง	17
ปริมาณเปอร์เซ็นต์การเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ	18
% Add On	18
ปริมาณ AGU/Chain	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
3.5 วิธีการทดสอบ	19
การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล	19
การทดสอบคุณสมบัติทางเคมี	20
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	<b>▲</b>
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับ มอนอเมอร์ชนิดต่างๆ	22
4.2 ผลการทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับ มอนอเมอร์ชนิดต่างๆ	24
4.3 ตารางแสดงผลการคำนวณ	25
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการวิจัย	30
5.2 ข้อเสนอแนะ	31
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>32</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>33</b>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณอนิพอล 40 ที่เป็น 5% ของน้ำหนักมอนอเมอร์	15
ตารางที่ 3.2 แสดงน้ำหนักของมอนอเมอร์ตามเปอร์เซ็นต์โมลของมอนอเมอร์ เปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ของแป้งมันสำปะหลัง	16
ตารางที่ 3.3 แสดงอุณหภูมิในการบดผสมด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง	19
ตารางที่ 3.4 แสดงอุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูป (อัดรีดและเย็น)	19
ตารางที่ 4.1 แสดงความสามารถในการขึ้นรูป	22
ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ร่วมชนิดต่างๆ	23
ตารางที่ 4.3 แสดงผลความเหนียวแบบ mooney ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ เฉพาะตัวที่มีคุณสมบัติคล้ายยาง	24
ตารางที่ 4.4 แสดงน้ำหนัก โมเลกุล โดยเฉลี่ยและการกระจายตัว ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ	25
ตารางที่ 4.5 แสดงน้ำหนัก โมเลกุลเฉลี่ยและลักษณะการกระจายตัวของ โมเลกุล ในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ	25
ตารางที่ 4.6 แสดงผล % Conversion ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ	26
ตารางที่ 4.7 แสดงผลที่ได้จากการสกัดชอกเลต	27

## สารบัญกราฟและรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนภาพแสดงวิธีการแก้ปัญหาหมอกควันจากพลาสติก	2
รูปที่ 2.1 แสดงการ Retrogradation	5
รูปที่ 2.2 แสดง โครงสร้างของอะไมโลเพกติน	6
รูปที่ 2.3 แสดง โครงสร้างของกราฟท์โคพอลิเมอร์ของแป้ง	7
กราฟที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบผลของชนิดและปริมาณของมอนอเมอร์ ที่มีผลต่อ % Conversion	28
กราฟที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบผลของชนิดและปริมาณของมอนอเมอร์ที่มี ต่อค่าการยืดสูงสุด	28
กราฟที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลของชนิดและปริมาณของมอนอเมอร์ที่มี ต่อค่าความหนืด	29
กราฟที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบผลของชนิดและปริมาณของมอนอเมอร์ที่มี ต่อค่าความแข็งแรงดึง	29

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 วัตถุประสงค์ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง

1. เพื่อศึกษาการสังเคราะห์พลาสติกที่เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ
2. เพื่อส่งเสริมการนำมันสำปะหลังซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางเชิงกลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่สังเคราะห์ได้

#### 1.2 บทนำ

พลาสติก เป็นวัสดุที่รู้จักแพร่หลายในปัจจุบันและถูกนำมาใช้ประโยชน์มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ดีหลายอย่าง เช่น สามารถทำให้มีความแข็งแรงเทียบเท่าโลหะ หรืออาจทำให้อ่อนนุ่ม เหนียว หรือใสเหมือนแก้วได้ นอกจากนี้พลาสติกส่วนใหญ่ยังทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี และน้ำมัน ได้ ซึ่งนับว่าเป็นคุณสมบัติที่ดีและมีประโยชน์มหาศาล ดังนั้นจึงมีการนำพลาสติกมาใช้เพิ่มมากขึ้น ทั้งในด้านปริมาณและชนิดของพลาสติกจึงก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมา นั่นก็คือปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่เสื่อมสภาพหรือทำลายได้ยากในสภาวะแวดล้อม เนื่องจากพลาสติกมีความเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ทำให้การกำจัดขยะที่เกิดจากพลาสติกทำได้ยาก

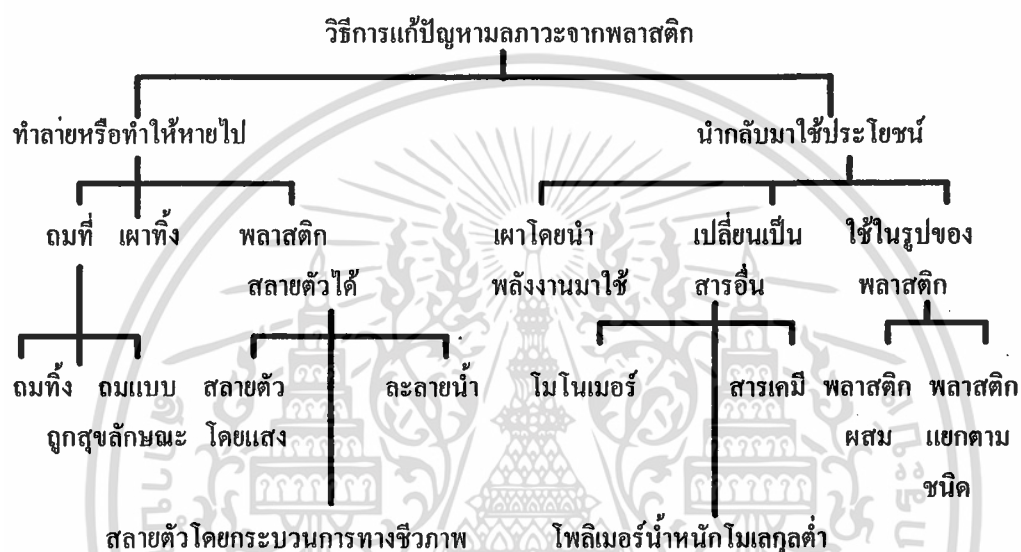
บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้วมักถูกกล่าวถึงในเชิงลบว่าเป็นต้นเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจเนื่องมาจากการเติบโตของอุตสาหกรรมพลาสติก ได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว และสูงกว่าวัสดุชนิดอื่น ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติที่ดีหลายประการของพลาสติก โดยเฉพาะต้นทุนการผลิตที่ต่ำ และคุณสมบัติที่หลากหลายของพลาสติกที่สามารถดัดแปลงให้เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละประเภท ประกอบกับความต้องการบรรจุภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นในอัตราสูง ทำให้การใช้พลาสติกในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ขยายตัวอย่างรวดเร็ว ได้ส่งผลให้เกิดปัญหาตามภาวะตามมา เนื่องจากขยะที่เกิดจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้วเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากเป็นต้นเหตุของปัญหาที่ระบายน้ำอุดตัน ทำให้แม่น้ำลำคลองสกปรกและตื้นเขิน นอกจากนี้ยังมีขยะที่ทับถมกันอยู่บนดินและใต้พื้นดินอีกเป็นจำนวนไม่น้อย

จากข้อมูลดังกล่าวมาแล้วทั้งหมด จะเห็นได้ว่าปัญหาขยะพลาสติกในปัจจุบันนี้สมควรที่หลายฝ่ายจะให้ความสำคัญร่วมมือกันแก้ไข โดยเฉพาะอย่างยิ่งในยุคที่ประเทศไทยประกาศตัวว่าจะเป็นประเทศอุตสาหกรรมใหม่ และมีการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมต่างๆอย่างมาก ซึ่งจะทำให้ขยะพลาสติกเพิ่มปริมาณสูงขึ้นตามไปด้วย

ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ปัญหาหมอกควันที่เกิดขึ้นจากพลาสติกนั้นเพิ่มความรุนแรงขึ้นทุกวัน การแก้ไขปัญหามลภาวะจากขยะพลาสติก ได้แก่ การกำจัดขยะมูลฝอยพลาสติกในสิ่งแวดล้อม และการกำจัดพลาสติก ในการแก้ปัญหาดังกล่าวอาจทำได้ 3 แนวทาง คือ

1. การทำลายหรือทำให้หายไป
2. การนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่
3. ลดปริมาณการใช้พลาสติกลงโดยหาวัสดุธรรมชาติทดแทน

แต่ละแนวทางของการแก้ปัญหาอาจทำได้โดยวิธีที่แตกต่างกันหลายวิธี ดังสรุปเป็นแผนภาพในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนภาพแสดงวิธีการแก้ปัญหาหมอกควันจากพลาสติก

การกำจัดพลาสติกโดยการทำให้เสื่อมสลายไปสามารถทำได้ 3 วิธี ดังนี้

#### 1. การนำไปถมที่ว่างเปล่า

วิธีการนี้เป็นการกำจัดขยะที่ใช้กันอยู่แล้วเป็นส่วนมาก (ประมาณ 80%) เพราะเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และถ้าหากทำอย่างถูกสุขลักษณะคือใช้แผ่นพลาสติกคลุมและใช้ดินทับอีกชั้นหนึ่ง

ข้อเสียของการกำจัดขยะวิธีนี้ คือ พื้นที่ที่ถมมักเกิดปัญหาเรื่องการขุดพบ โดยเฉพาอย่างยิ่งถ้าเป็นพื้นที่สำหรับการก่อสร้าง การบดขยี้ขยะพลาสติกให้เป็นชิ้นเล็กก่อนอาจจะช่วยลดปัญหาได้บ้าง แต่เท่ากับว่าเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่าย

#### 2. การนำไปเผาทิ้ง

วิธีการนี้เป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็วในการกำจัดขยะพลาสติก และมีการใช้อยู่อย่างกว้างขวาง เป็นวิธีการที่สามารถใช้ได้ดี และไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษตามมาหากทำอย่างถูกวิธี

ข้อเสียของวิธีการกำจัดพลาสติกโดยการเผาทิ้ง นอกจากจะต้องสร้างเตาเผาอย่างถูกต้อง ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นแล้ว ข้อเสียใหญ่ก็คือ อาจมีก๊าซพิษเกิดขึ้นหากในขณะมีพลาสติกที่มีโครงสร้างประกอบด้วยคลอรีน เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) หรือที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจน เช่น พอลิยูรีเทน พอลิเอไมด์ หรือเรซินเมลามีนปนอยู่ด้วย

### 3. ทำให้พลาสติกสลายตัวได้

วิธีการนี้หมายถึง การทำให้พลาสติกสลายตัวได้เองในธรรมชาติเหมือนขยะประเภทอื่นๆ ในสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ สิ่งที่จะช่วยทำให้พลาสติกสลายตัวได้ก็คือ แสง น้ำ และจุลินทรีย์ ฉะนั้นพลาสติกที่จะสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ อาจทำได้โดยการทำให้เป็น

1. พลาสติกที่สลายตัวโดยแสง (Photodegradable plastic)
2. พลาสติกที่สลายตัวโดยกระบวนการทางชีวภาพ (Biodegradable plastic)
3. พลาสติกที่สลายตัวโดยวิธีการอื่นๆ เช่น พลาสติกละลายน้ำ เป็นต้น

ปัจจุบันวิธีการแก้ไขปัญหามลพิษพลาสติกแนวทางหนึ่งที่ได้ผลดี คือการส่งเสริมให้ทำการศึกษาผลิตพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ โดยการนำแป้งมันสำปะหลังมาปรับปรุงสมบัติ เพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติก เพราะประเทศไทยสามารถผลิตมันสำปะหลังได้เป็นจำนวนมาก ทำให้แป้งมันสำปะหลังมีราคาถูก ซึ่งนอกจากเป็นการลดต้นทุนการผลิตแล้ว ยังเป็นการช่วยส่งเสริมผลิตผลทางการเกษตรของประเทศอีกด้วย

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 แป้ง

แป้งที่ไม่ละลายในน้ำเย็นมีอยู่ในพืชแทบทุกชนิด ซึ่งเป็นสารประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ที่มีโมเลกุลใหญ่ประกอบด้วยหน่วยกลูโคส เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของร่างกายที่ได้รับจากอาหาร

คุณสมบัติของแป้งสามารถที่จะแยกได้ออกเป็น 2 ชนิด คือ

- ก. Starch ผลิตได้จากพืชผลทางการเกษตรหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี พืชหัวชนิดต่างๆ เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง กระบวนการผลิตจะต้องใช้วิธีแบบเปียกออกมาได้
- ข. Flour ผลิตได้จากการโม่แบบแห้ง จะมีองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ด้วย จึงมีคุณสมบัติแตกต่างจาก starch

#### 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของแป้ง

แป้งประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 ( $C_6H_{10}O_5$ ) เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต หน่วยกลูโคสในสายโซ่สามารถแสดงได้เป็นหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (AGU) ซึ่งเกิดจากพันธะไกลโคเลนซ์เชื่อมโยระหว่างกลูโคสในแต่ละหน่วย และทำให้โมเลกุลน้ำถูกกำจัดออกไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่น เนื่องจากแป้งที่พบอยู่ในต้นพืช ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพ ดังนั้นกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันของโมเลกุลแป้งจึงเกี่ยวกับเอนไซม์ หน่วยกลูโคสจะต่อกันผ่านอะตอมของออกซิเจนที่ติดกับอะตอมของคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสหนึ่งกับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสหน่วยถัดไป เกิดเป็นพอลิเมอร์สายโซ่ยาวขึ้น พันธะเชื่อมโยระหว่างกลูโคสเรียกว่า พันธะกลูโคไซด์ (Glucoside bond)

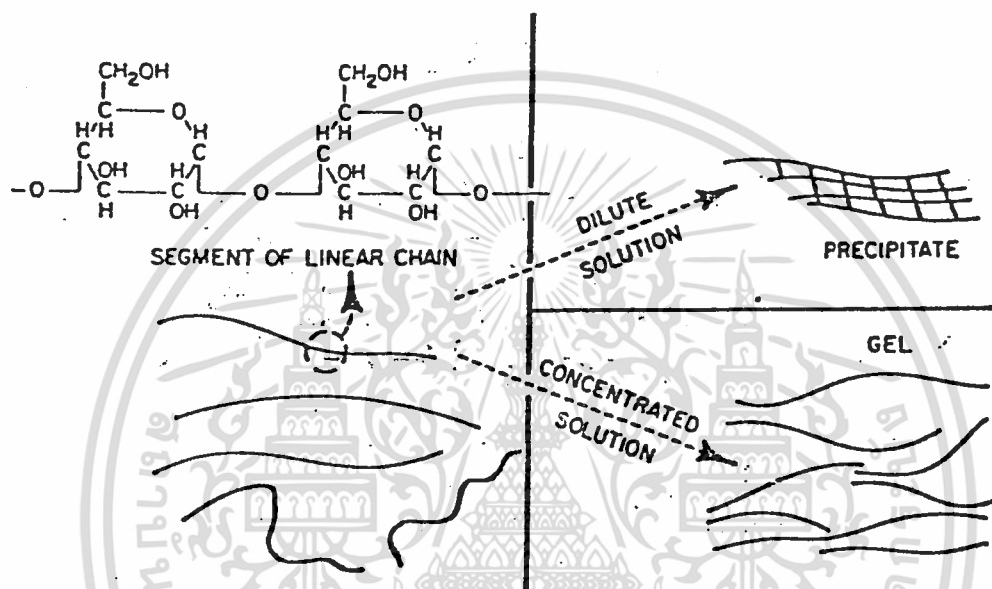
แป้งประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิด คือ

1. อะไมโลส (Amylose) เป็นโมเลกุลที่เป็นสายตรง ประกอบด้วยหน่วยกลูโคสต่อกันด้วยพันธะแอลฟา(1-4)
2. อะไมโลเพกทิน (Amylopectin) เป็นโมเลกุลที่มีโซ่สาขาแยกออก โดยจะประกอบไปด้วยหน่วยของกลูโคสซึ่งต่อกันด้วยพันธะแอลฟา(1-4) เช่นเดียวกับอะไมโลสและมีโซ่สาขาที่แยกออกโดยมีพันธะแอลฟา(1-6)

ในโมเลกุลของอะไมโลส (Amylose) ปริมาณของหมู่ไฮดรอกซี (Hydroxy) ในสายโซ่จะมีผลทำให้พอลิเมอร์นั้นมีสมบัติชอบน้ำ อย่างไรก็ตามเนื่องจากอะไมโลสมีรูปร่างเป็นเส้นตรง จึงทำให้เกิดการเคลื่อนไหวได้ง่าย (Mobility) และหมู่ไฮดรอกซีบนโมเลกุลของอะไมโลสมีแนวโน้มที่จะวางตัวในแนว

ขนานกัน และมีความใกล้ชิดกันพอที่ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนดึงดูดกันระหว่างสายโซ่ ผลทำให้การละลายของพอลิเมอร์กับน้ำลดลง และเกิดเป็นสารละลายขุ่นๆ

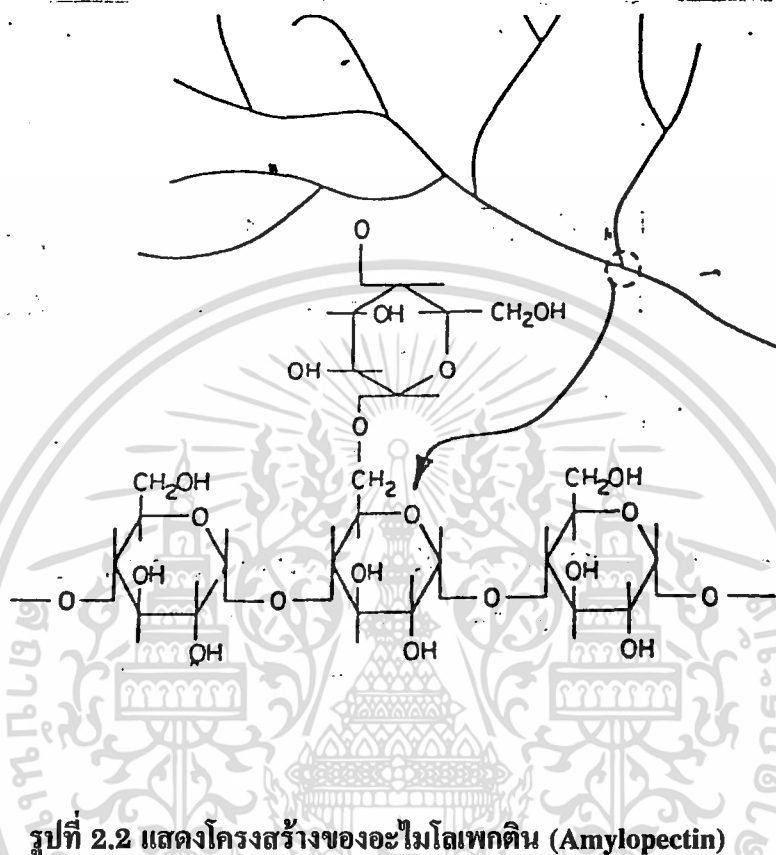
ในสารละลายเจือจาง ปริมาณของโมเลกุลขนาดใหญ่ที่รวมกันอาจจะเพิ่มขึ้นถึงจุดที่สามารถเกิดการตกตะกอน แต่ในกรณีที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ความเกาะจะรบกวนการวางตัวของสายโซ่ในแนวขนานกันระหว่างชั้นของพอลิเมอร์ ทำให้เกิดเป็นเจล ซึ่งประกอบด้วยโครงร่างตาข่าย 3 มิติ ในแต่ละด้านนั้นจะยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้เกิดเป็นฟิล์มที่แข็งแรง ปรากฏการณ์รวมตัวระหว่างสายโซ่อะไมโลสจะรู้จักกันโดยทั่วไปว่า Retrogradation ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการ Retrogradation

นอกจากนั้น โมเลกุลของอะไมโลสจะสามารถเกิดปฏิกิริยากับไอโอดีนและกับโมเลกุล Hydrophilic และ Hydrophobic segment เช่นเดียวกับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่ยาว เช่น กรดไขมัน อะไมโลสจะจัดเรียงตัวเป็นรูปเกลียวรอบๆ โมเลกุล จึงสามารถใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโลสในแป้งได้

อะไมโลเพกติน (Amylopectin) มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นพอลิเมอร์แบบกิ่ง ที่เชื่อม ณ. คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 โดยพันธะแอลฟา (1-6) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



กิ่งก้านขนาดใหญ่ของอะไมโลเพกตินจะลดความสามารถของพอลิเมอร์ในการเคลื่อนไหวและรบกวนการเกิดพันธะไฮโดรเจน ผลของมันทำให้สารละลายของอะไมโลเพกติน ซึ่งไม่สามารถเกิดเป็นฟิล์มที่แข็งแรงได้เหมือนอะไมโลส หากมันไม่ทำปฏิกิริยากับไอโอดีนให้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงินเข้ม

ส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจะอยู่บนเม็ดแป้งในแนวรัศมี เมื่อใดที่อะไมโลเพกตินหรืออะไมโลส อยู่ในตำแหน่งที่ขนานกัน ก็อาจจะเกิดพันธะไฮโดรเจนในระหว่างส่วนที่อยู่ชิดกัน ซึ่งทำให้เกิดเป็นไมเซลล์คริสตัลไลต์ (Micell crystallite) มีผลต่อการรวมเป็นเม็ดและมีผลต่อสมบัติของบાયฟริงเจนซ์ เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่องโพลาริไซม์ไมโครสโคป จะแสดงถึงลักษณะของมอลเตสครอส (Moltess cross) เช่นเดียวกับผลึกและตรวจสอบโครงสร้างด้วยเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันแพทเทิร์น (X-ray diffraction pattern) องศาของความเป็นระเบียบต่างกันจะทำให้สมบัติที่แตกต่างกัน

แป้งมีลักษณะบิฟริงเจนซ์นั้นหมายความว่า มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลอย่างเป็นระเบียบภายในเม็ดแป้ง โดยปราศจากการเกี่ยวข้องกับโครงสร้างผลึกแต่อย่างใด เมื่อเม็ดแป้งเกือบทั้งหมด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

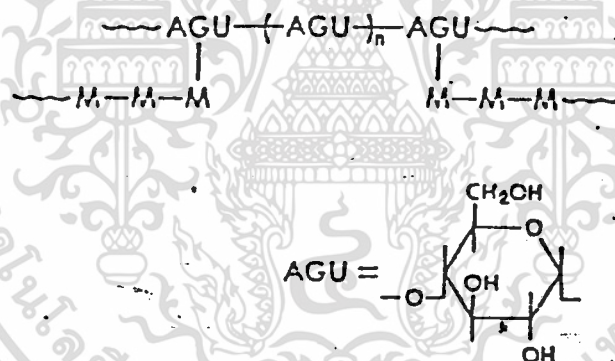
แสดงลักษณะแอนไอโซทรอปิก (Anisotropic) ซึ่งสมบัติเช่นนี้เกิดขึ้นในแป้งที่แตกต่างกันของแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสอยู่มาก

แป้งสามารถนำมาปรับปรุงคุณสมบัติได้ โดยผ่านกระบวนการทางเคมี ฟิสิกส์และกระบวนการทางชีวภาพ โดยใช้เอนไซม์ เพื่อให้ได้แป้งที่มีคุณสมบัติต่างๆ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้กว้างขวาง

ปัจจัยหลัก 5 ประการที่เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของแป้ง ได้แก่

1. แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส
2. แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างที่ต่างกัน 2 ชนิด คือชนิดที่โมเลกุลเป็นเส้นตรง เรียกว่าอะไมโลส และที่โมเลกุลเป็นโซ่สาขา เรียกว่าอะไมโลเพกติน
3. โมเลกุลของแป้งเป็นเส้นตรงสามารถเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนได้ ทำให้มีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ
4. โมเลกุลของแป้งจะอยู่ในรูปเม็ดแป้งที่ไม่ละลายน้ำ
5. การที่จะทำให้แป้งบวมตัวในน้ำ ที่จะต้องทำให้โมเลกุลของแป้งที่อยู่ในรูปเม็ดแป้งแตกตัวออก

### 2.3 การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งโดยปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของกราฟท์โคพอลิเมอร์ของแป้ง

จากรูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของกราฟท์โคพอลิเมอร์ของแป้ง (Starch graft copolymer) เมื่อ AGU แทนหมู่กลูโคไพราโนซิลหรือแอนไฮโดรกลูโคส และ M แทนหน่วยที่ซ้ำกันของมอนอเมอร์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน ความเข้มข้นของแป้งที่ใช้ในปฏิกิริยาสามารถแสดงในหน่วยโมล ซึ่งก็คือโมลของ AGU นั่นเอง โดยจะสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักโมเลกุลของ AGU (AGU มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 162)

กราฟท์โคพอลิเมอร์ของแป้งสามารถเตรียมได้ โดยการทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ขึ้นบนโมเลกุลของแป้ง ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวริเริ่มขนาดใหญ่ (Macro initiator) สำหรับมอนอเมอร์ไวนิลและอะคริลิก ซึ่งทำให้โมเลกุลของแป้งเกิดโซ่สาขาที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยการทำให้ออกอนุมูลอิสระนั้น อัตราส่วนของหน่วย AGU ต่อสายโซ่พอลิเมอร์ที่ต่อหรือความถี่ของการต่อโซ่สาขาจะอยู่ในช่วงหลายร้อยถึงหลายพันหน่วย AGU ดังนั้น โมเลกุลของแป้งจะมีโซ่สาขาที่เกิดจากการต่อโซ่สาขาอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ความถี่ของการต่อโซ่สาขานบนโมเลกุลของแป้งสามารถคำนวณได้จากเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ส่วนที่สังเคราะห์ขึ้น น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของโซ่สาขานบนโมเลกุลของแป้งสามารถหาได้ โดยการกระทำทำให้แป้งสลายตัวเป็นน้ำตาลโดยใช้กรดหรือเอนไซม์

ปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชันบนโมเลกุลของแป้งโดยการทำให้ออกอนุมูลอิสระ จะใช้ระบบที่ทำให้เกิดตัวริเริ่มปฏิกิริยา 2 ประเภทคือ ตัวริเริ่มทางเคมี และการริเริ่มปฏิกิริยาโดยฉายรังสี สำหรับการให้ระบบใดก็ขึ้นอยู่กับชนิดของมอนอเมอร์ที่จะนำมาใช้ในปฏิกิริยา

ปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาสามารถแสดงกลไกของปฏิกิริยาได้ดังนี้

### 1. การแตกตัวของตัวริเริ่ม ( Initiator dissociation )



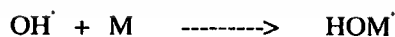
### 2. ปฏิกิริยาริเริ่ม ( Initiation reaction )



เนื่องจากในระบบมีน้ำเป็นตัวทำละลายอยู่ด้วย ดังนั้น ซัลเฟตไฮดรอกซิลอนุมูลอิสระ (  $\text{SO}_4^{\cdot -}$  ) สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำได้ไฮดรอกซิลอนุมูลอิสระ ( hydroxy radical ) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ได้ดังสมการ

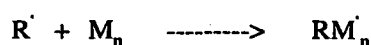


K12



### 3. ปฏิกิริยาการเจริญเติบโต ( Propagation reaction )

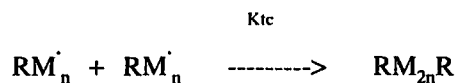
Kp



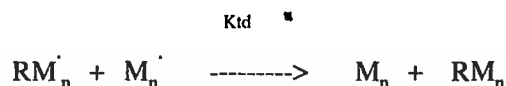
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. ปฏิกิริยาขั้นสิ้นสุด ( Termination )

##### 4.1 แบบรวมตัว ( Combination )



##### 4.2 Disproportionation reaction



##### 4.3 แบบย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระ ( Transfer reaction )

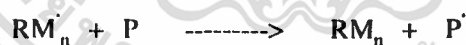
- ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่มอนอเมอร์ ( transfer to monomer )



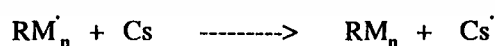
- ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่ตัวทำละลาย ( transfer to solvent )



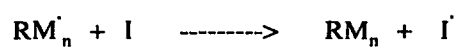
- ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่พอลิเมอร์ ( transfer to polymer )



- ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่ตัวย้ายสายโซ่ ( transfer to chain transfer )



- ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่ตัวริเริ่ม ( transfer to initiator )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาควรคำนึงถึงชนิดของมอนอเมอร์ร่วม ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เหมาะสมควรแตกพันธะใน โมเลกุลแล้วได้โมเลกุลอนุมูลอิสระที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ตัวริเริ่มอาจเป็นแบบที่พันธะแตกออกเนื่องจากความร้อน ( thermal - induced dissociation initiator ) หรือเป็นตัวริเริ่มแบบรีดอกซ์ ( redox initiator ) เช่น โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต เป็นต้น และโดยส่วนใหญ่จะใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

กราฟท์โคพอลิเมอร์ของแป้งที่เกิดจากพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ จะสามารถบวมตัวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง แต่อย่างไรก็ตามสามารถทำการแยกแป้งส่วนที่ไม่บวมออกจากน้ำได้โดยตรง แต่ยิ่งถ้าแป้งที่ใช้เป็นแป้งที่ใช้เป็นชนิดที่บวมตัวได้ การแยกผลิตภัณฑ์จะทำได้ยากขึ้น โดยทำการตกตะกอนด้วยการเติมตัวทำละลายอินทรีย์ เช่นเมทานอล เป็นต้น

#### 2.4 การปรับปรุงสมบัติของแป้งเพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติก

ในส่วนนี้ เราจะศึกษาการทำกราฟท์โคพอลิเมอร์เชชันของเมทิลเมทาอะคริเลตกับแป้งมันสำปะหลัง เพื่อเตรียมเป็นตัวเติมสำหรับพลาสติกเพื่อผลการย่อยสลายทางชีวภาพ เนื่องจากการก่อให้เกิดกึ่งที่ไม่ชอบน้ำ ซึ่งจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการเข้ากันกับพลาสติกมากกว่าแบบที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติ

กราฟท์โคพอลิเมอร์เชชันของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์เมทิลเมทาอะคริเลต

ประสิทธิภาพในการกราฟท์ที่ใช้ได้ในตัวริเริ่มหลายระบบ เช่น ของBrockway จะใช้ระบบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์-เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต-แอสคอร์บิก (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-ferrous ammonium sulfate-ascorbic acid system)

ซีริกไอออนเป็นตัวริเริ่มที่ดีสำหรับปฏิกิริยาเหล่านี้ Reyes และ Russell พบว่าปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในน้ำ จะให้โซ่สาขาของพอลิเมอร์เมทิลเมทาอะคริเลตที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากกว่าการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันใน Dimethyl formamide water อัตราส่วน 1:1

Goni et al. ใช้ไอออนซีริกในการเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันบนอะไมโลสและสังเกตโครงสร้างของผลผลิตที่ได้ขึ้นกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายจะสามารถตรวจสอบได้โดยใช้ Gel Permeation Chromatography (GPC)

เกลือแมงกานีสและเกลือโพแทสเซียมเวนาเดต สามารถใช้เป็นตัวริเริ่มให้กับ Ozonized starch การริเริ่มปฏิกิริยาโดยใช้รังสี โดยทั่วไปจะไม่ได้มีการศึกษากันมากเท่ากับการเริ่มต้นปฏิกิริยาทางเคมี

## 2.5 การย่อยสลายทางชีวภาพโดยเชื้อรา (Biodegradation by Fungi)

เชื้อราสามารถเข้าทำลาย หรือสร้างความเสียหายให้แก่วัสดุได้ 3 วิธี คือทางกายภาพ ทางเคมี และการก่อให้เกิดรอยด่าง

### 1. การทำลายทางกายภาพ (Mechanical damage)

การทำลายนี้เกิดขึ้นเมื่อจุลินทรีย์สามารถทำลายวัสดุในทางกายภาพ เช่นการกัดแทะของเปลือกไม้โดยมด และการเจาะผิวของแผ่นพลาสติกบางๆ โดยปลวก ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในทางอายุรศาสตร์ของพืช เชื้อราสามารถเจาะผิวหนังและผนังเซลล์

### 2. การทำลายทางเคมี (Chemical damage)

การทำลายทางเคมีเกิดขึ้นได้โดยตัวการทางเคมี ซึ่งเชื้อราเองเป็นสาเหตุหลักหรือการที่เชื้อราเองเข้าทำลายวัสดุ โดยการปลดปล่อยสารเคมีเข้าไปยังวัสดุ ยกตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ของ mycotoxin โดยเชื้อราที่เจริญเติบโตบนอาหาร เช่น aflatoxin ที่ผลิตมาจาก *Aspergillus flavus* หรือรอยด่างดำซึ่งเกิดขึ้นบนสิ่งทอ

### 3. การเกิดรอยด่าง (Soiling)

ความเสียหายสุดท้ายคือการเกิดรอยด่างดำ ซึ่งเป็นผลมาจากเส้นใยของเชื้อราเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นความสามารถของเชื้อราที่จะปกคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ด้วยเส้นใยของเชื้อราเอง และเชื้อราจะก่อให้เกิดสปอร์ที่มีสีได้ ตั้งแต่โปร่งแสงจนทึบ หรือสีน้ำตาลแก่เกือบดำ รอยด่างดำเช่นนี้มักเกิดขึ้นในสถานะซึ่งไม่มีการแข่งขันจากสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เช่นแบคทีเรีย ดังนั้นการเกิดรอยด่างดำของเครื่องมือทางไฟฟ้า หรือผิวหนังของแก้ว โดยการเจริญของเส้นใยเชื้อรา สืบเนื่องมาจากการที่เชื้อราสามารถผลิตเส้นใยเฉพาะ จากที่ได้รับจากอาหารเลี้ยงเชื้อตามชนิดต่างๆ และโดยความสามารถของเส้นใยที่จะเชื่อมต่อกันในช่องว่างของอากาศ

เอนไซม์สำคัญที่เชื้อจุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายแป้งและน้ำตาล

แอลฟา-อะไมเลส เป็น endo-enzyme ซึ่งไฮโดรไลซ์พันธะ 1,4 ไกลโคซิดิกของอะไมโลเพกติน

กลูโคส-อะไมเลส เอนไซม์ชนิดนี้สามารถไฮโดรไลซ์พันธะ 1,4 ไกลโคซิดิกของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส ในโมเลกุลของแป้งซึ่งสามารถดึงหน่วยกลูโคสจากปลายโซนอนรีดิวง และสามารถไฮโดรไลซ์พันธะ 1,6 ไกลโคซิดิกของอะไมโลเพกติน ดังนั้นจึงสามารถเปลี่ยนแป้งและเดกตรินไปเป็นกลูโคส

เบต้า-อะไมเลส เอนไซม์สามารถไฮโดรไลซ์พันธะ 1,4 ไกลโคซิดิกของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสในโมเลกุลของแป้ง ให้ได้มอลโตสจากปลายโซนอนรีดิวง

## บทที่ 3

### การดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. แป้งมันสำปะหลัง (ตราปลามังกร)
2. มอนอเมอร์ 4 ชนิด ได้แก่
  - บิวทิลอะคริเลต (Butyl acrylate , BA)
  - เอทิลอะคริเลต (Ethyl acrylate , EA)
  - 2-เอทิลเฮกซิลอะคริเลต (2-Ethylhexyl acrylate . 2-EHA)
  - เมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate , MMA)
3. น้ำกลั่น
4. อะซิโตนกลั่น 3 ครั้ง
5. สารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตในกรดไนตริกเข้มข้น 0.1 N  
เตรียมโดยนำโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 27 กรัม ละลายในกรดไนตริก 1 N ให้มีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร
6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N  
เตรียมโดยนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่นต้ม ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
7. กรดไนตริก  
เตรียมโดยนำกรดไนตริกเข้มข้น 63.2 ml ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
8. เมทานอล
9. โนนิลพิโนล (NP 40)
10. สารละลายเปอร์คลอริก (Perchloric acid solution)
11. กรดอะซิติกชนิดไม่มีน้ำ (Gacial acetic)
12. สารละลายเททระไฮโดรฟูแรน (Tetrahydrofuran)
13. สารละลายไดโซเดียมเอทิลีนไดเอมีนเททระอะซิติกแอซิดไดโซเดียมซอลต์ ไดไฮเดรต  
( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ )
14. สารละลายโพรพิลีนไกลคอล (Propylene glycol)

### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

#### 1. ชุดหม้อปฏิกริยา ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- (1). หม้อปฏิกริยา ชนิด 4 คอ บริษัท Pyrex จำกัด
- (2). ใบพัดกวน
- (3). เครื่องกวนแบบเชิงกล
- (4). อ่างน้ำให้ความร้อนแบบปรับอุณหภูมิได้ รุ่น B-480 บริษัท Buchi จำกัด
- (5). เทอร์โมมิเตอร์ 0-100 องศาเซลเซียส

#### 2. ชุดให้ก๊าซไนโตรเจน

#### 3. เครื่องชั่งสาร

#### 4. ชุดกรองสูญญากาศ รุ่น A-35 บริษัท Tokyorkakikai จำกัด

#### 5. ชุดกลั่นซอกเลต

#### 6. ชุดระเหยแบบลดความดัน (Rotavapor)

#### 7. เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile test) รุ่น LR 30K

#### 8. เครื่องวัดความสามารถในการไหล (Advanced Capillary extrusion Rheometer)

รุ่น RH 7-1 บริษัท ROSAND จำกัด

#### 9. เครื่องบดผสมชนิดสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) รุ่น LRM 110 บริษัท LAB Engineering จำกัด

#### 10. เครื่องอัด (Compression)

#### 11. เครื่อง Gel Permetion Chromatograhly , GPC) รุ่น WATERS 150-C บริษัท Water associates จำกัด

#### 12. เครื่อง Mooney viscometer รุ่น SMV-201 บริษัท Shimadzu จำกัด

#### 13. เครื่องบดละเอียด รุ่น NEMA A600

#### 14. เครื่องกวนเชิงกลระบบแม่เหล็ก รุ่น RC 1 บริษัท IKA-Labortechnik จำกัด

#### 15. เครื่อง Infrared spectroscopy (IR spectroscopy) รุ่น IR-810 บริษัท Jasco จำกัด

### 3.3 วิธีการทดลอง

1. การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์ไวนิล
- ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม ใส่ลงในหม้อปฏิกริยาขนาด 2,000 มิลลิตร ซึ่งมีชุดเครื่องกวน ประกอบอยู่(แสดงในรูปที่ 3-1) จากนั้นเติมน้ำกลั่นจำนวน 2,000 มิลลิตรลงไปในหม้อปฏิกริยา พร้อมทั้งทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิ 90 °C ด้วยความเร็วรอบการปั่น 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนได้แป้งที่มีลักษณะเป็นเจล แล้วทำการลดอุณหภูมิให้ได้ 40 °C

ทำการปล่อยก๊าซไนโตรเจนลงในหม้อปฏิกริยาแล้วปรับอุณหภูมิให้เป็น 60°C จากนั้นเติมสารละลาย ไดโซเดียมเอทิลีนไดเอมีนเททระอะซิติกแอซิด ไดโซเดียมซอลต์ ไดไฮเดรต ( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ )จำนวน 25 มิลลิตร, พอลิเอทิลีนไกลคอลจำนวน 2 มิลลิตร, โนนีพอล 40 (NP 4000) จำนวน 5%ของน้ำหนักมอนอเมอร์ (แสดงในตารางที่1) ,มอนอเมอร์ (เดิมตามชนิดและเปอร์เซ็นต์ของมอนอเมอร์ที่ต้องการแสดงในตารางที่ 2 ) และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ )จำนวน 80 มิลลิตร ลงในหม้อปฏิกริยา ทำการปั่นกวนด้วยความเร็วรอบสูง 350 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วทำการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 90°C พร้อมทั้งปั่นกวนต่อเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

แบ่งผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มา 3 กรัม ซึ่งน้ำหนักที่แน่นอนแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C จนน้ำหนักคงที่ ซึ่งน้ำหนักที่แน่นอนหลังอบอีกครั้งเพื่อนำไปทำการหาเปอร์เซ็นต์ของของแข็งที่มีอยู่ (% solid content) จากนั้นทำการปรับความเป็นกรด-เบสส่วนที่เหลือด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มอล จนได้สารละลายที่เป็นกลาง ส่วนหนึ่งแบ่งไปตกตะกอนด้วยเมทานอลจะได้เป็นตะกอนสีขาว นำตะกอนที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C จนน้ำหนักคงที่ เพื่อใช้สำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี อีกส่วนหนึ่งนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C จนน้ำหนักคงที่เช่นกัน โดยส่วนนี้จะใช้สำหรับการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

**ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณอนิโทด40ที่เป็น 5% ของน้ำหนักมอนอเมอร์**

ชนิดของมอนอเมอร์	เปอร์เซ็นต์ของมอนอเมอร์	ปริมาณของNP 40 ( กรัม )
บิวทิลอะคริเลต	50	1.980
	100	3.950
	200	7.900
	300	11.850
เมทิลเมทาคริเลต	50	0.927
	100	3.085
	200	6.170
	300	9.255
อะคริโลไนไตรล์	50	0.818
	100	1.635
	200	3.270
	300	4.905
เอทิลอะคริเลต	50	0.927
	100	3.085
	200	6.170
	300	9.255
2-เอทิลเฮกซิลอะคริเลต	50	2.830
	100	5.680
	200	11.350
	300	17.030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.2 แสดงน้ำหนักของมอนอเมอร์ตามเปอร์เซ็นต์โมลของมอนอเมอร์เปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ของ  
แป้งมันสำปะหลัง**

%mol	น้ำหนักของ มโนเมอร์ (กรัม)				
	บิวทิลอะคริ- เลต (BA)	เมทิลเมทา- คริลเลต (MMA)	อะคริโลไน- ไครล์ (AN)	เอทิวอะคริ- เลต (EA)	2-เอทิล เฮกซิลอะคริ- เลต (2-EHA)
50	39.6	30.9	16.4	30.9	56.8
100	78.9	61.7	32.7	61.7	113.5
200	157.9	123.4	65.4	123.4	227.1
300	236.9	185.1	98.1	185.1	340.6

**2. วิธีการสกัด โส โมพอลิเมอร์ออกจากพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่สังเคราะห์ได้**

นำสารที่ได้จากการตกตะกอนด้วยเมทานอลแล้วอบจนน้ำหนักคงที่มาชั่งน้ำหนักที่แน่นอนจำนวน 4 กรัม ทำการบดด้วยเครื่องบดลูกเหล็กจนละเอียด นำไปใส่ในกระดาษทิชชูที่อบและชั่งน้ำหนักที่แน่นอนแล้วไปสกัด โส โมพอลิเมอร์ออกโดยใช้ชุดสกัดของเลต(แสดงในรูปที่3-2)ที่มีอะซิโตนกลั่น 3 ครั้งด้วยเครื่องระเหยแบบลดความดัน(แสดงในรูปที่3-3)อยู่ในขวดก้นกลมที่ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยอะซิโตนจะทำการสกัด โส โมพอลิเมอร์ออกจากพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ

นำขวดก้นกลมไประเหยอะซิโตนออกด้วยเครื่องระเหยแบบลดความดัน และนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 °C จนได้น้ำหนักคงที่ ทำการบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนของขวดก้นกลมที่มีโสมพอลิเมอร์และทิชชูที่อบแล้วที่มีพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่สกัด โส โมพอลิเมอร์ออกแล้ว

**3. วิธีการตัดสายโซ่พอลิเมอร์ออกจากสายโซ่ของแป้งด้วยวิธี Acid hydrolysis**

ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่ทำการสกัด โส โมพอลิเมอร์ออกแล้วมา 1.000 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ใส่กรดอะซิติกชนิดไม่มีน้ำ (Gacial acetic) จำนวน 50 มิลลิลิตรทำการปั่นกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็กปั่นกวนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง แล้วจึงเติมกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น 60 % จำนวน 2 มิลลิลิตร จะได้สารละลายใส ให้รีบทำการใส่น้ำกลั่นเย็นจัดโดยทันที ทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง จะได้ตะกอนตกลงมา นำไปกรองด้วยชุดกรองสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 พร้อมกับการล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆครั้ง จนได้ pH เป็นกลาง(pH 7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำละกอนที่กรองได้มาละลายด้วยอะซิโตน แล้วนำไปปั่นให้ความร้อนเพื่อให้อะซิโตนระเหยออกเล็กน้อย จากนั้นเทสารละลายลงในเมทานอลที่เย็นจัดจะได้ละกอนของพอลิเมอร์ตกลงมา นำละกอนที่ได้ไปกรองด้วยชุดกรองสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 ละกอนที่ได้จะนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักของละกอนที่ได้

### 3.4 วิธีการคำนวณ

#### 1. %conversion ของพอลิเมอร์

เป็นการแสดงถึงปริมาณของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดรวมทั้งไฮโมพอลิเมอร์และพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตที่ได้จากปริมาณของมอนอเมอร์ที่ใช้สามารถคำนวณโดย

$$\% \text{ Conversion} = \{(A-B)/A\} \times 100$$

เมื่อ ; A = ของแข็งที่ได้จากทฤษฎี

B = ของแข็งที่ได้จากการทดลอง

#### 2. ปริมาณของไฮโมพอลิเมอร์

ทำได้โดยการสกัดไฮโมพอลิเมอร์ออกด้วยอะซิโตนซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับไฮโมพอลิเมอร์ แต่สามารถไม่สามารถละลายพอลิเมอร์ร่วมแบบคอต ปริมาณของไฮโมพอลิเมอร์วัดได้โดยดูจากน้ำหนักของสารที่สกัดได้ในขวดก้นกลมหลังจากระเหยอะซิโตนออกแล้ว

$$\% \text{ Homopolymer} = (C - D) / C \times 100$$

C = น้ำหนักของสารก่อนสกัด soxhlet

D = น้ำหนักของสารหลังสกัด soxhlet

#### 3. เปอร์เซนต์ของของแข็ง (solid content)

เป็นของแข็งที่เหลือจากการนำผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ก่อนปรับความเป็นกรด-เบสไปอบที่อุณหภูมิ 60°C จนน้ำหนักคงที่ คำนวณโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. ปริมาณเปอร์เซ็นต์การเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบคอต (Grafting percentage)

เป็นปริมาณของพอลิเมอร์ที่มีอยู่ในพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตที่ได้สกัดไฮโมพอลิเมอร์ออกแล้ว คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับปริมาณของแป้งที่เป็นโซ่หลัก คำนวณได้โดย

$$\% \text{Grafting} = [(W_c - W_p) / W_p] \times 100$$

เมื่อ;  $W_c$  = น้ำหนักพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตที่แยกไฮโมพอลิเมอร์ออกแล้ว (กรัม)

$W_p$  = น้ำหนักของแป้ง (กรัม)

#### 5. % Add on

ปริมาณของพอลิเมอร์ที่ต่ออยู่บนโซ่พอลิเมอร์ร่วมแบบคอตที่ได้สกัดไฮโมพอลิเมอร์ออกแล้ว คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับปริมาณของพอลิเมอร์ร่วมแบบคอต

$$\% \text{Add on} = [(W_c - W_p) / W_c] \times 100$$

#### 6. ปริมาณ AGU/ Chain

เป็นปริมาณความถี่ของการต่อแบบกราฟท์ของพอลิเมอร์ที่เกิดบนโมเลกุลของแป้ง คำนวณ ดังนี้

$$\text{AGU/Graft} = (M_n / 162) \times (W_p / W_p)$$

เมื่อ;  $M_n$  = น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน

$W_p$  = น้ำหนักพอลิเมอร์ที่เกาะอยู่บนโซ่หลักของแป้ง

### 3.5 วิธีการทดสอบ

#### 1. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

1.1 การทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง(Two rolls mill) และเครื่องอัด(Compression)

นำผลิตภัณฑ์ส่วนที่ใช้สำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพผ่านเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง ตั้งอุณหภูมิในการบดผสมโดยดูจากค่าอุณหภูมิกล้ายแก้ว (Glass transition; T<sub>g</sub>) ทำการบดผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นปรับความหนาให้มีขนาด 2 ±0.5 มิลลิเมตร แล้วนำไปอัดขึ้นรูปในแม่แบบรูปดัมเบล(แสดงในรูปที่3-4)ด้วยเครื่องอัดแบบร้อนและเย็นตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 แสดงอุณหภูมิในการบดผสมด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง

ชนิดของมอนอเมอร์ที่ใช้	อุณหภูมิ (°C)
บิวทิลอะคริเลต	35
เมทิลเมทาคริเลต	150
อะคริโลไนไตรล์	-
เอทิลอะคริเลต	35
2-เอทิลเฮกซิลอะคริเลต	35

หมายเหตุ \*ไม่สามารถทำการบดผสมให้ติดลูกกลิ้งได้

ตารางที่ 3.4 แสดงอุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูป (อัดร้อนและเย็น)

ชนิดของมอนอเมอร์	การอัด ร้อน		การอัดเย็น	
	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (วินาที)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (วินาที)
บิวทิลอะคริเลต	135	240	5	210
เมทิลอะคริเลต	150	360	-	-
อะคริโลไนไตรล์	-	-	-	-
เอทิลอะคริเลต	135	240	5	210
2-เอทิลเฮกซิลอะคริเลต	135	240	3	600

หมายเหตุ \* ไม่สามารถทำการบดผสมให้ติดลูกกลิ้งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 การทดสอบความแข็งแรงดึง

พอลิเมอร์ร่วมแบบคอตที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปจะได้ชิ้นงานเป็นรูปคัมเบล เมื่อนำชิ้นงานมาวัดขนาดความกว้างและความหนาแล้วให้นำไปทดสอบกับเครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile test) เพื่อหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength), ความสามารถในการยืดตัวและความยืดหยุ่น (Modulus) ของชิ้นงาน

## 1.3 การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตโดยใช้เครื่อง Advanced Cappillary Extrusion Rheometer

นำพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตที่สังเคราะห์ได้มาทำการทดสอบความสามารถในการไหลตลอด ขบวนการแปรรูป เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปโดยไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดการผิดรูป ซึ่งได้แก่ เกิดการบวมตัว (die swell) และ การแตกหัก (melt fracture) โดยการนำพอลิเมอร์ร่วมที่สังเคราะห์ได้มาทำการหาอุณหภูมิในการหลอมเหลวก่อน จากนั้นจึงนำมาทำการทดสอบกับเครื่อง advanced cappillary extrusion rheometer เพื่อสังเกตลักษณะการไหลตัวที่ความเค้นต่างๆกัน

## 1.4 การทดสอบความแข็งของพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตโดยใช้เครื่อง Rubber Hardness

นำชิ้นงานของพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตที่ผ่านการอัดขึ้นรูปแล้วมาทดสอบความแข็งสำหรับพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตที่มีลักษณะเหนียวคล้ายยางทดสอบโดยใช้ shore A ส่วนพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตที่มีลักษณะแข็งคล้ายพลาสติกจะทดสอบโดยใช้ shore D

## 1.5 การทดสอบความเหนียวแบบ Mooney

เป็นเครื่องที่ใช้ในการทดสอบการไหลและความสามารถในการแปรรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตที่มีคุณสมบัติคล้ายยาง ค่าที่ได้เป็นค่าความเหนียวแบบ Mooney ที่  $97.3^{\circ}\text{C}$  โดยทำการให้ความร้อนก่อน 1 นาที แล้วทำการวัดความเหนียวเมื่อ Rotor ของเครื่องหมุนต่ออีก 4 นาที

## 2. การทดสอบคุณสมบัติทางเคมี

### 2.1 การหาน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตโดยใช้เครื่อง Gel Permeation Chromatography (GPC)

นำพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตที่ผ่านการทำ acid hydrolysis มาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน จำนวน 30.000 มิลลิกรัม แล้วบดในสารละลาย tetrahydrofuran (THF) จนละลาย กรองสารละลายที่ได้ จากนั้นทำการฉีดเข้าเครื่อง Gel Permeation Chromatography ที่ใช้เฟสที่อยู่กับที่ (stationary phase) เป็น Ultra styrene gel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเฟสที่เคลื่อนที่ (mobile phase) เป็นสารละลาย acryhydrofuran รายงานผลเป็นน้ำหนักโมเลกุลแบบต่างๆ และผลการกระจายตัวของโมเลกุล (polydispersity)

## 2.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตโดยใช้เครื่อง Infrared Spectroscopy

นำพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตที่ผ่านการทำ acid hydrolysis แล้วมาตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเพื่อแสดงว่ามีการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตจริง

วิธีการเตรียมสารตัวอย่าง มี 2 วิธีดังนี้

1. วิธีทำให้เป็นสารละลาย เหมาะสำหรับพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตที่มีลักษณะเหนียว ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ชนิดของมอนอเมอร์เป็น 2-เอทิลเฮกซิลอะคริเลตรวมทั้งบิวทิลอะคริเลตและเอทิลอะคริเลตที่ใช้เปอร์เซ็นต์มอนอเมอร์สูงๆ

เตรียมได้โดยนำพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตมาจำนวน 2 มิลลิกรัม ละลายในอะซิโตน หลังจากทีอะซิโตนระเหยไปหมดให้เติมผงโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) 250 มิลลิกรัมแล้วนำไปอัดจะได้เป็นแผ่นวงกลมใสสามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีได้

2. ใช้เทคนิค KBr-pellet เหมาะสำหรับพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตเป็นของแข็งบดให้ละเอียดได้ง่าย ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ชนิดของมอนอเมอร์เป็น เมทิลเมทาคริเลต, อะคริโลไนไตรล์ รวมทั้งบิวทิลอะคริเลตและเอทิลอะคริเลตที่ใช้เปอร์เซ็นต์มอนอเมอร์ต่ำๆ

เตรียมได้โดยนำพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตมาจำนวน 2 มิลลิกรัมบดผสมกับผงโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) 250 มิลลิกรัม แล้วนำไปอัดจะได้เป็นแผ่นวงกลมใส สามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Infrared spectroscopy ได้

## บทที่ 4

## ผลการทดลอง

## 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์ชนิดต่างๆ

## 1. ความสามารถในการขึ้นรูป

## ตารางที่ 4.1 แสดงความสามารถในการขึ้นรูป

ชนิดของมอนอเมอร์	ความสามารถในการขึ้นรูป
บิวทิลอะคริเลต (BA)	√
เมทิลเมทาคริเลต (MMA)	√
อะคริโลไนไตรล์ (AN)*	X
เอทิลอะคริเลต (EA)	√
2- เอทิลเฮกซิลอะคริเลต (2-EHA)	√

หมายเหตุ \* ไม่สามารถทำการบดผสมให้ติดลูกกลิ้งได้

## 2. สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ร่วมชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ร่วมชนิดต่างๆ

โมโนเมอร์	อัตราส่วนมอนอ-เมอร์ต่อแป็ง(%)	แรงสูงสุด (Fm)	ความยาวที่ขีดออกก่อนขาด (mm)	โมดูลัส (Kg/mm <sup>2</sup> )	ความแข็งแรงดึง (KN/m <sup>2</sup> )
BA	50	2.883	1.776	-	3.983
	100	4.325	5.133	7.272	5.851
	200	2.329	9.035	6.110	3.120
	300	0.345	13.860	0.053	0.3352
	300	0.383	29.910	0.082	0.5652
MMA	50	12.610	1.589	-	16.980
	100	27.360	1.274	-	37.370
	200	9.559	1.939	-	13.070
	300	44.98	1.918	-	60.840
EA	50	-	-	-	-
	100	2.546	9.918	2.918	2.459
	200	1.328	4.272	0.370	1.286
	300	0.332	37.93	0.092	0.019
	300	1.399	59.48	2.362	1.940
2-EHA	50	0.752	8.515	1.216	1.034
	100	0.320	42.350	0.235	0.448
	200	0.278	63.055	0.324	0.393
	300	0.028	2.047	0.051	0.043

\* หมายถึงมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อโดยไม่เติมสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเทอร์อะซิติกแอซิด ไดโซเดียมซอลต์ ไดไฮเดรต( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ )

3. แสดงผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ร่วมชนิดต่างๆด้วยเครื่องAdvanced Cappillary Extrusion Rheometer ในรูปที่ 4-1และ4-2 ในภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4. การทดสอบความหนืดแบบ mooney

ตารางที่ 4.3 แสดงผลความหนืดแบบ mooney ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อเฉพาะตัวที่มีคุณสมบัติคล้าย

ชนิดของมอนอเมอร์	อัตราส่วนมอนอเมอร์:แป้ง (%)	$M_c(1+4), 100 C$
BA	100	44.3
	200	11.2
	300	4.1
	300	9.9
EA	200	12.3
	300	31.9
	300	34.1
2-EHA	50	13.8
	100	15.2
	200	17.0
	300	19.7

\* หมายถึงมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อโดยไม่ได้เติมสารละลายเอทิลีนไดอามีนเพระอะซิติกแอซิด ไดโซเดียมซอลต์ ไดเอเตรด ( $Na_2EDTA$ )

## 4.2 ผลการทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์ชนิดต่างๆ

## 1. แสดงสเปกตรัมของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (IR Spectroscopy) ไว้ในภาคผนวก

จากสเปกตรัมจะพบพีกที่สำคัญได้แก่ พีกของโมเลกุลแป้งที่เลขคลื่น  $1650 \text{ cm}^{-1}$  และพีกของเอสเทอร์จะปรากฏพีกของหมู่คาร์บอนิลที่เลขคลื่น  $1750 \text{ cm}^{-1}$  แต่ถ้าเป็นพวกไนไตรล์จะปรากฏพีกของไนไตรล์ที่เลขคลื่น  $2200 \text{ cm}^{-1}$

## 2. ตารางแสดงผลของน้ำหนัก โมเลกุล โดยเฉลี่ยและการกระจายตัวของ โมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเครื่อง Gel Permeation Chromatography (GPC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ตารางที่ 4.4 แสดงน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยและการกระจายตัวของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ

ชนิดมอนอเมอร์	มอนอเมอร์:แป้ง (%)	$M_n$	$M_w$	polydispersity
BA	50	10372	450475	43.43
MMA	100	557697	953377	1.71
AN	200	214912	304649	1.42
EA	200	389273	1253191	3.22
	300	1511745	3055576	2.02

#### 4.3 ตารางแสดงผลการคำนวณ

1. แสดงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยและลักษณะการกระจายตัวของโมเลกุล(Polydispersity) ในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่

สังเคราะห์ได้

ตารางที่ 4.5 แสดงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยและลักษณะการกระจายตัวของโมเลกุลในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ

ชนิดมอนอเมอร์	อัตราส่วน มอนอเมอร์:แป้ง (%)	$M_n$	$M_w$	Polydispersity
BA	50	10372	450475	43.43
MMA	100	557697	953377	1.71
AN	200	214912	304649	1.42
EA	200	389273	1253191	3.22
	300	1511745	3055576	2.02

สำหรับมอนอเมอร์ที่ไม่ได้แสดงผลเนื่องมาจากพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยมอนอเมอร์เหล่านั้นไม่สามารถละลายได้ในสารละลายเททระไฮโดรฟิวแรน(THF) แต่จะเกิดแค่การบวมตัวเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยเครื่องGel Permeation Chromatography (GPC)

2. แสดงผล %Conversion ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่สังเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดมอนอเมอร์	อัตราส่วน มอนอเมอร์:แป้ง (%)	น้ำหนักของแข็ง (Solid content)จาก การทดลอง	น้ำหนักของแข็ง (Solid content)จาก ทฤษฎี	%Conversion
BA	50	6.592	6.680	98.683
	100	8.002	8.532	93.760
	200	6.018	11.900	50.570
	300	8.419	14.800	56.890
MMA	50	6.299	6.320	99.600
	100	7.289	7.780	93.960
	200	9.992	10.480	95.340
	300	11.064	12.990	85.200
AN	50	5.626	5.680	99.050
	100	6.420	6.540	98.170
	200	6.536	8.140	80.294
	300	8.207	9.570	85.750
EA	50	6.011	6.320	95.110
	100	7.671	7.830	97.970
	200	6.997	10.480	66.760
	300	8.047	12.99	61.950
2-EHA	50	7.306	7.400	98.728
	100	8.004	9.935	81.810
	200	5.943	14.390	41.300
	300	5.548	18.370	30.200

3. แสดงผลที่ได้จากการสกัดซอกเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

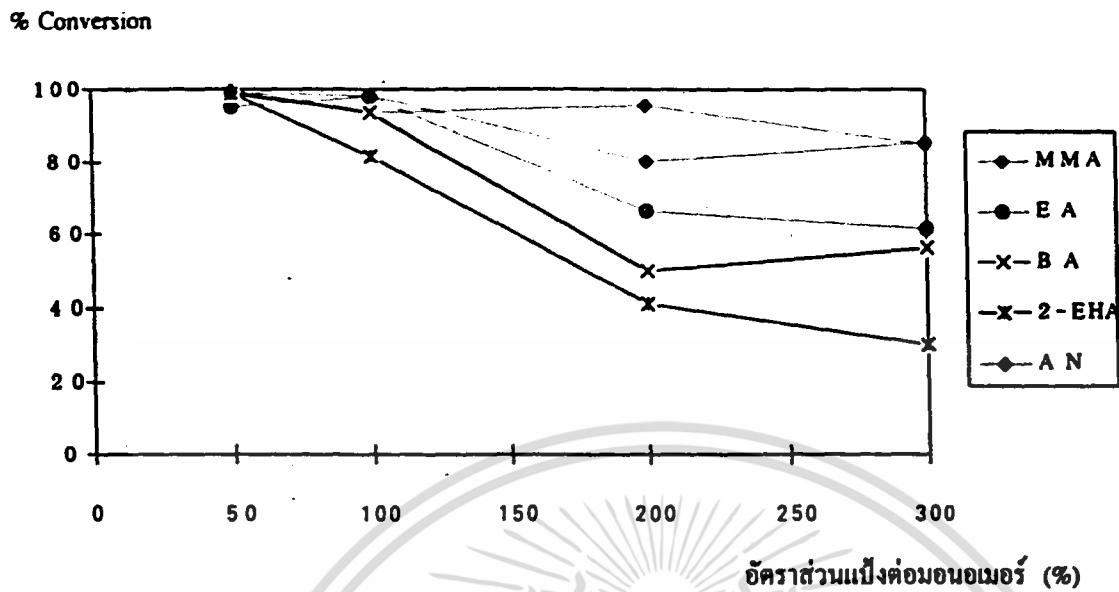
ตารางที่ 4.7 แสดงผลที่ได้จากการสกัดของผล

ชนิด มอนอเมอร์	อัตราส่วน มอนอเมอร์:แป้ง (%)	% Grafting	% Homopolymer	% Add on	AGU/Chain
BA	50	2.812	22.680	2.735	2277.210
	100	23.850	0.290	19.260	-
	200	29.950	3.490	23.030	-
	300	58.230	3.876	34.740	-
MMA	50	6.640	22.630	6.640	-
	100	14.500	6.453	14.500	30495.654
	200	25.290	13.680	25.590	-
	300	35.790	40.000	35.790	-
AN	50	4.694	2.766	4.694	-
	100	19.834	3.412	19.834	-
	200	63.328	6.480	63.328	2094.821
	300	16.677	1.360	16.677	-
EA	50	3.440	23.030	3.3240	-
	100	39.340	1.640	28.230	-
	200	64.720	0.750	39.290	7036.375
	300	142.040	0.050	58.680	6569.795
2-EHA	50	-	14.295	-	-
	100	-	2.847	-	-
	200	-	1.936	-	-
	300	-	2.093	-	-

## 4. แสดงกราฟเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

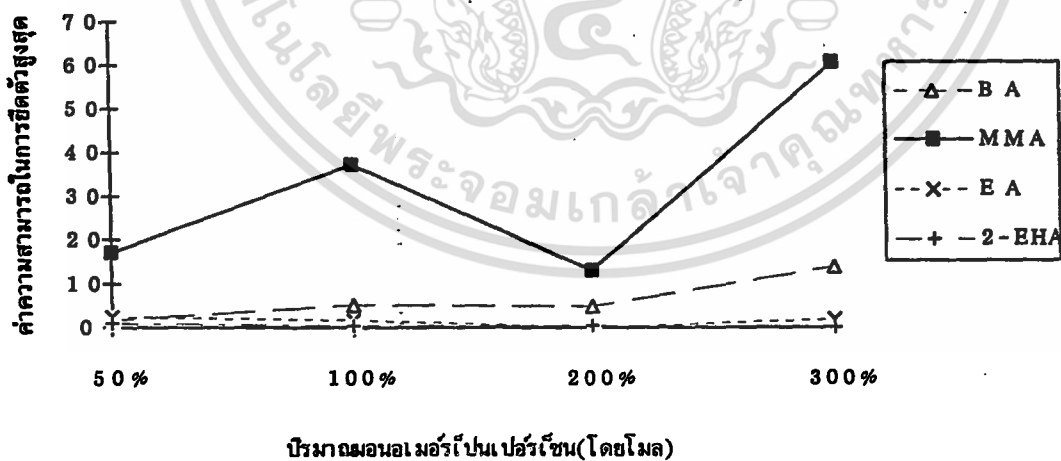
1. กราฟแสดงการเปรียบเทียบชนิดและปริมาณของมอนอเมอร์ที่มีผลต่อ %Conversion ของพอลิเมอร์ร่วมแบบค่อ



กราฟที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบผลของชนิดและปริมาณของมอนอเมอร์ที่มีผลต่อ % Conversion

4.3.5 แสดงกราฟเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

1. กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของชนิดและปริมาณของมอนอเมอร์ที่มีผลต่อค่าการยืดตัวของพอลิเมอร์ร่วมแบบค่อ

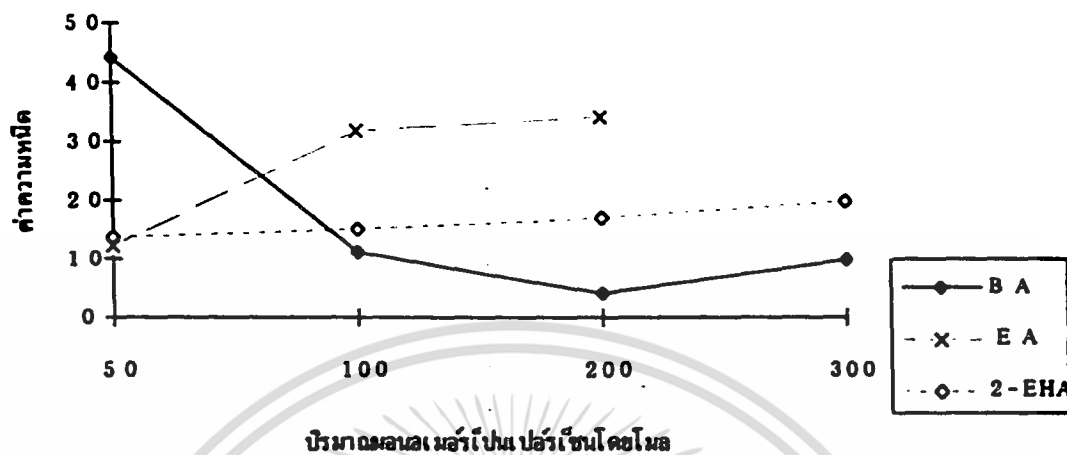


กราฟที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบผลของชนิดและปริมาณของมอนอเมอร์ที่มีต่อค่าการยืดสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของชนิดและปริมาณมอนอเมอร์ที่มีความหนืดของพอลิเมอร์ร่วม

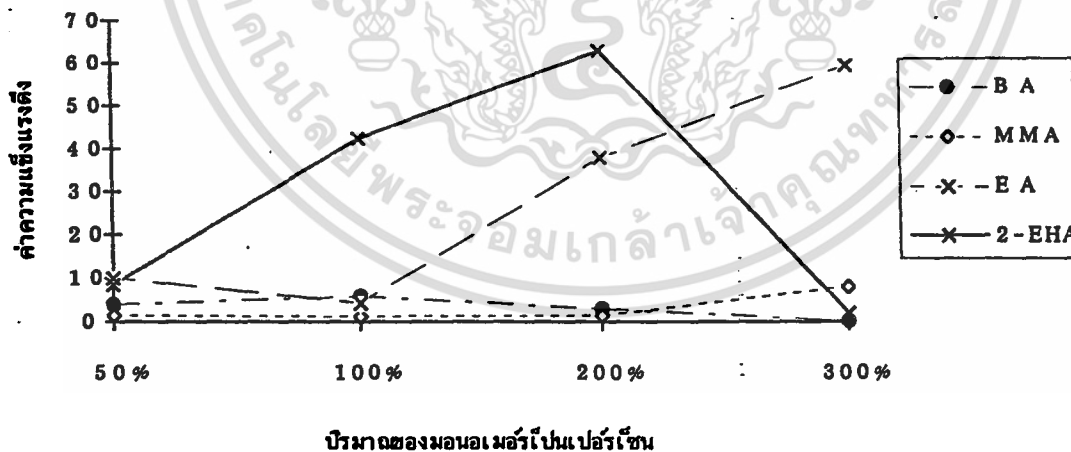
แบบค่อ



กราฟที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลของชนิดและปริมาณของมอนอเมอร์ที่มีต่อค่าความหนืด

3. กราฟแสดงการเปรียบเทียบชนิดและปริมาณของมอนอเมอร์ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ร่วมแบบค่อ

แบบค่อ



กราฟที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบผลของชนิดและปริมาณของมอนอเมอร์ที่มีต่อค่าความแข็งแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการสังเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตของแป้งมันสำปะ

ปะ หลังกับมอนอเมอร์ที่แตกต่างกัน 5 ชนิด ในอัตราส่วนของแป้งต่อมอนอเมอร์ต่างๆ กัน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเป็นพอลิเมอร์ในการย่อยสลายได้ในกระบวนการทางชีวภาพ แบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน คือการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางเชิงกล

##### 1. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี

1.1 การศึกษาลักษณะ โครงสร้างของพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตด้วยเครื่อง InFared Spectroscopy พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์จริง ซึ่งจะเห็นได้จากสเปกตรัมที่ได้มีพิกของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ 2 พิก ได้แก่ พิกที่เกิดจากโมเลกุลของแป้งที่ความถี่  $1650 \text{ cm}^{-1}$  และพิกของมอนอเมอร์พวกเอสเทอร์จะเกิดพิกของหมู่คาร์บอนิลที่ความถี่  $1750 \text{ cm}^{-1}$  แต่ถ้าเป็นมอนอเมอร์พวกไนไตรล์จะเกิดพิกของหมู่ไนไตรล์ที่ความถี่  $2240 \text{ cm}^{-1}$

1.2 การศึกษาถึงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (Polydispersity) พบว่าพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุลที่ค่อนข้างแน่นอน โดยดูจากค่า Polydispersity ( $M_w/M_n$ ) ที่มีค่าอยู่ในช่วง 1.5-3.5 ซึ่งส่งผลให้พอลิเมอร์ร่วมแบบคอตมีคุณสมบัติเชิง กลที่ดี

##### 2. การศึกษาคุณสมบัติทางเชิงกล

จากค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) ของมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้พอลิเมอร์ร่วมแบบคอตที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะต่างกัน 2 แบบคือ

2.1 มอนอเมอร์ที่ใช้มีค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง ได้แก่ บิวทิลอะคริเลต, เอทิลอะคริเลต, 2-เอทิลเฮกซิลอะคริเลต จะได้พอลิเมอร์ร่วมแบบคอตหลังขึ้นรูปที่มีลักษณะคล้ายยาง และมีคุณสมบัติทางเชิงกลดังนี้

เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของมอนอเมอร์ต่อแป้ง (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์) พอลิเมอร์ร่วมแบบคอตจะมีความแข็งแรงลดลงเนื่องจากมีแรงยึดตัวระหว่างโมเลกุลต่ำลง มีความสามารถในการยืดตัวสูงขึ้น เนื่องจากโมเลกุลสามารถเคลื่อนตัวได้สะดวก และมีการจัดเรียงตัวตามแรงดึงทำให้สามารถยืดตัวกันอยู่ได้อีกระยะหนึ่ง ส่วนค่าความเหนียวแบบ Mooney เพิ่มขึ้น สำหรับพอลิเมอร์ร่วมแบบคอตที่สังเคราะห์จากเอทิลอะคริเลตและ 2-เอทิลเฮกซิลอะคริเลต เนื่องจากมอนอเมอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้นอกจากจะทำให้พอลิเมอร์ร่วมแบบคอตที่ได้ไหลตัวดีขึ้นแล้ว ยังสามารถทำให้มีความเหนียวเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่สังเคราะห์จากบิวทิลอะคริเลตเท่านั้นจะมีความหนืดแบบ Mooney ลดลงเนื่องจากมอนอเมอร์ชนิดนี้เพิ่มความสามารถในการไหลตัวเพียงอย่างเดียวไม่ได้เพิ่มความเหนียว

จากการทดสอบความสามารถในการไหลตัวที่ความถี่ต่างๆ ด้วยเครื่อง Advanced Capillary Rheometer แล้วพบว่าพอลิเมอร์แบบต่อที่สังเคราะห์จากบิวทิลอะคริเลตและเอทิลอะคริเลตสามารถขึ้นรูปได้ด้วยวิธี Thermoforming และ Extrusion เนื่องจากสามารถไหลตัวได้ดีที่ Shear rate  $10^1 - 10^3$  โดยไม่เกิดการเสีรูปร่าง เช่น การบวมตัว (Swelling) และการแตกหัก (Melt fracture)

2.2 มอนอเมอร์ที่ใช้มีค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) สูงกว่าอุณหภูมิห้อง ได้แก่ เมทิลเมทาคริเลตและอะคริโลไนไตรลย์ พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่สังเคราะห์จากอะคริโลไนไตรลย์ไม่สามารถขึ้นรูปได้ ส่วนที่สังเคราะห์จากเมทิลเมทาคริเลตจะมีลักษณะแข็งเปราะ มีคุณสมบัติทางเชิงกลดังนี้

เมื่อเพิ่มอัตราส่วนมอนอเมอร์ต่อแป้ง (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์) พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่สังเคราะห์ได้จะมีความแข็งแรงดึงสูงขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดตัวระหว่างโมเลกุลสูงขึ้น มีความสามารถในการจัดตัวลดลงเนื่องจากโมเลกุลไม่สามารถเคลื่อนที่เพื่อจัดเรียงตัวให้เป็นระเบียบได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อโดยการเติมสารละลายเอทิลีน ไดเอมีน เทตระอะซิติกแอซิด ไดโซเดียม ไดไฮดเรต เพื่อไปจับโลหะในน้ำ มีผลทำให้คุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่ได้ลดลง เนื่องจากไปขัดขวางการต่อของโซ่พอลิเมอร์บนโมเลกุลของแป้ง
2. ในการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงสุดท้ายของการสังเคราะห์จะเป็นการเพิ่ม %Conversion แต่เวลาในการทำปฏิกิริยาทั้งหมดควรจะใช้เวลาไม่เกิน 3 ชั่วโมง
3. เนื่องจากพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่สังเคราะห์โดยใช้ 2- เอทิลเฮกซิลอะคริเลต มีการหดตัวหลังจากการอัดขึ้นรูป ดังนั้นจึงควรนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นสารตัวเติม (Filler) เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางชีวภาพให้กับพลาสติก

## เอกสารอ้างอิง

1. Daniel, J.H., Moore, Jr., S.T., Segro, N.R. Graft copolymerization of acrylonitrile on cellulose. *Tappi* 45 (1962) : 53-8
2. Damodar R. Patil, and George F. Fanta "Graft Copolymerization of Starch with Methyl Acrylate : An Examination of Reaction Variables." *J. Appl. Polym. Sci.* 47, (1993) : 1765
3. Ljubomir D. Svetlana M. and Nerica S. Novi S. "Influence of Sursactants on the Rheological Behavior of Starch / Celacin Gel Emulsions." *Starch / Starke* 40 (1994) Nr. 7, S: 266-272.
4. B.K. Patel, V.K. Sinsa, C.P. Patel, and S.C. Trivedi, Vallabs V. "Graft Copolymerization of Acrylonitrile Onto Sodium Salt of Partially Carboxymethylated Starch Using  $Ce^{4+}$ -Amine System as Redox Initiator." *Starch / Starke* 45 (1993) Nr. 5, S.178-180.
5. Bardhan, K., Muksopadhyay, S., and Chatterjee, S.R. "Graft of Acrylamide Onto Methyl Cellulose by Persulfate ion." *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.* 15(1) (1987) , 141-8.
6. Dillmeyer, Jr., S.W. *Text Book of Polymer Scienc.* 3rd ed. pp. 49-81, John Wiley & Sons, New York, 1984
7. Arai, M. Arai, K. and Saito, S. "Polymer Particulate Formation in Soapless Emulsion Polymerization." *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.* 17 (1979), 3655

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงผลค่าความหนืดแบบ Mooney ของพอลิเมอร์รวมแบบคอตีสังเคราะห์จาก

2-เอทิลเฮกซิลอะครีเลต โดยเครื่อง Mooney viscosity

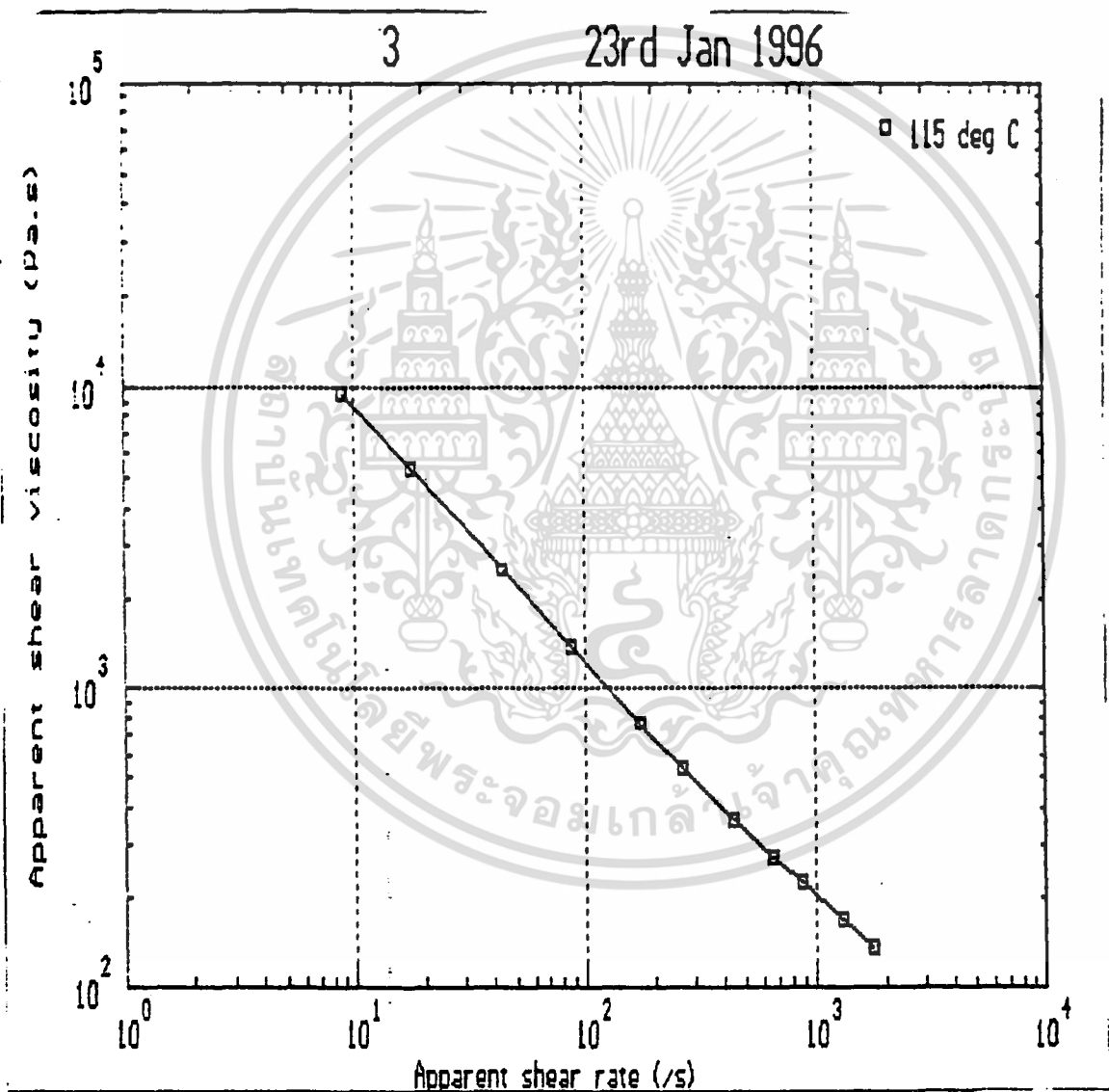
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5



AAAA				
DATE	1988	AA	93(TIME)	57:32
TEMPERATURE	97.8			
MOONEY VALUE	12.4	15.9	13.7	
DECAY TIME (SEC)	8.3			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงค่าความหนืดเนื่องจากความเค้น (Shear viscosity) ที่อัตราความเค้นต่างๆของพอลิเมอร์รวม  
แบบต่อที่สังเคราะห์จากบิวทิลอะคริเลต ในอัตราส่วนมอนอเมอร์ต่อแป้ง 100% โดยเครื่อง  
Capillary Rheometer



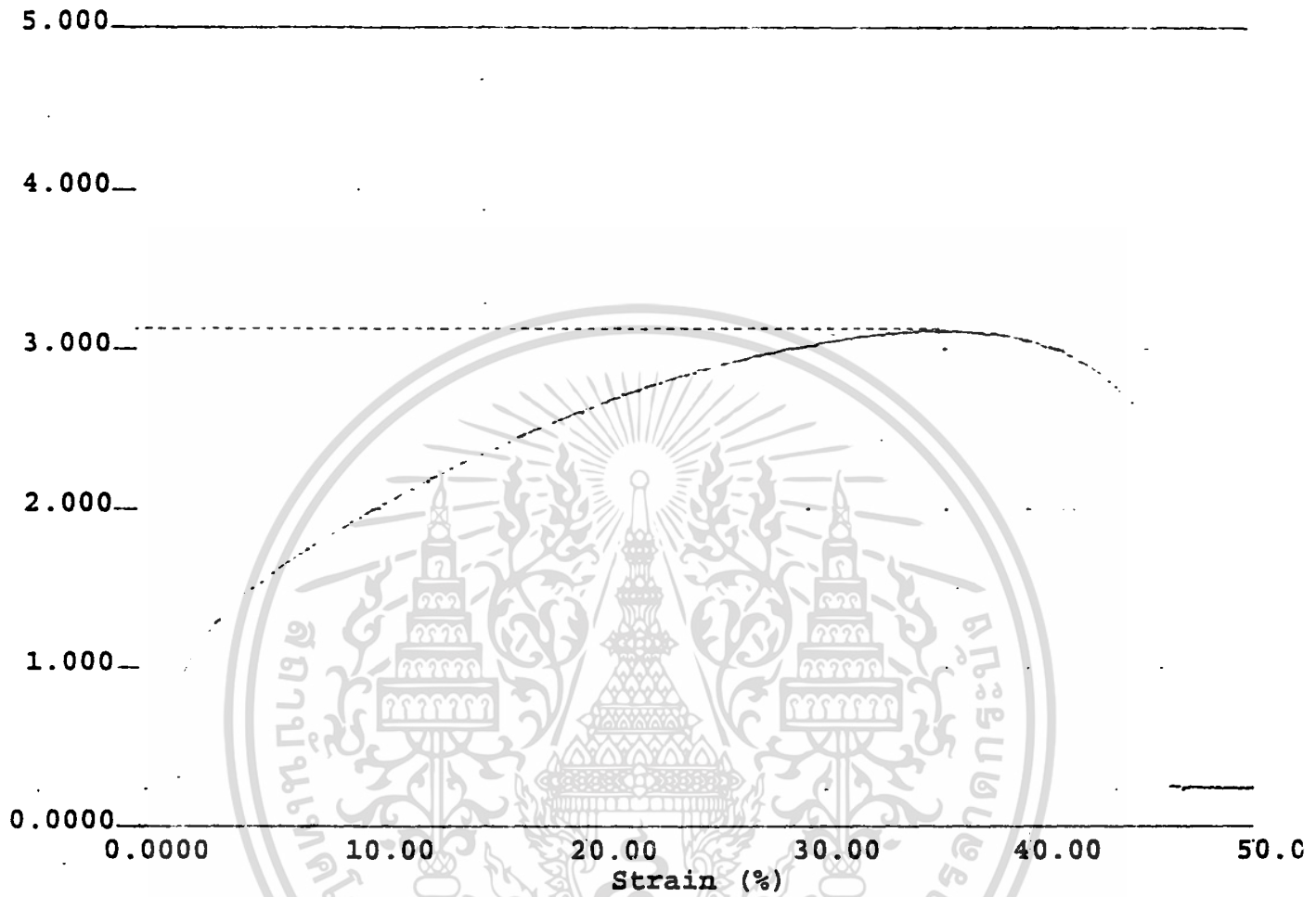
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

stitute  
partment  
erator

mitl  
chemistry  
kk

Sample 1 of 3

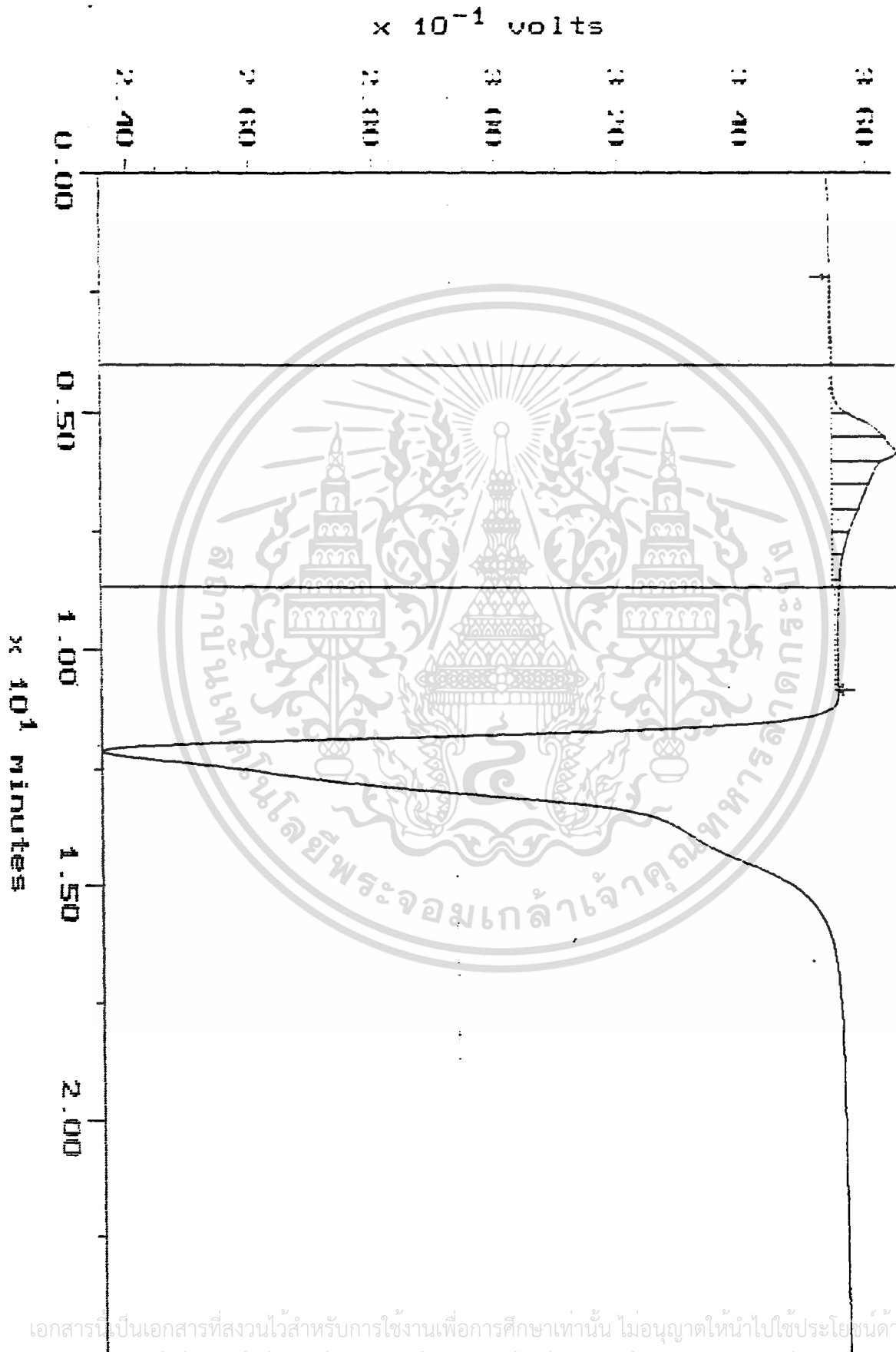
EA100-2



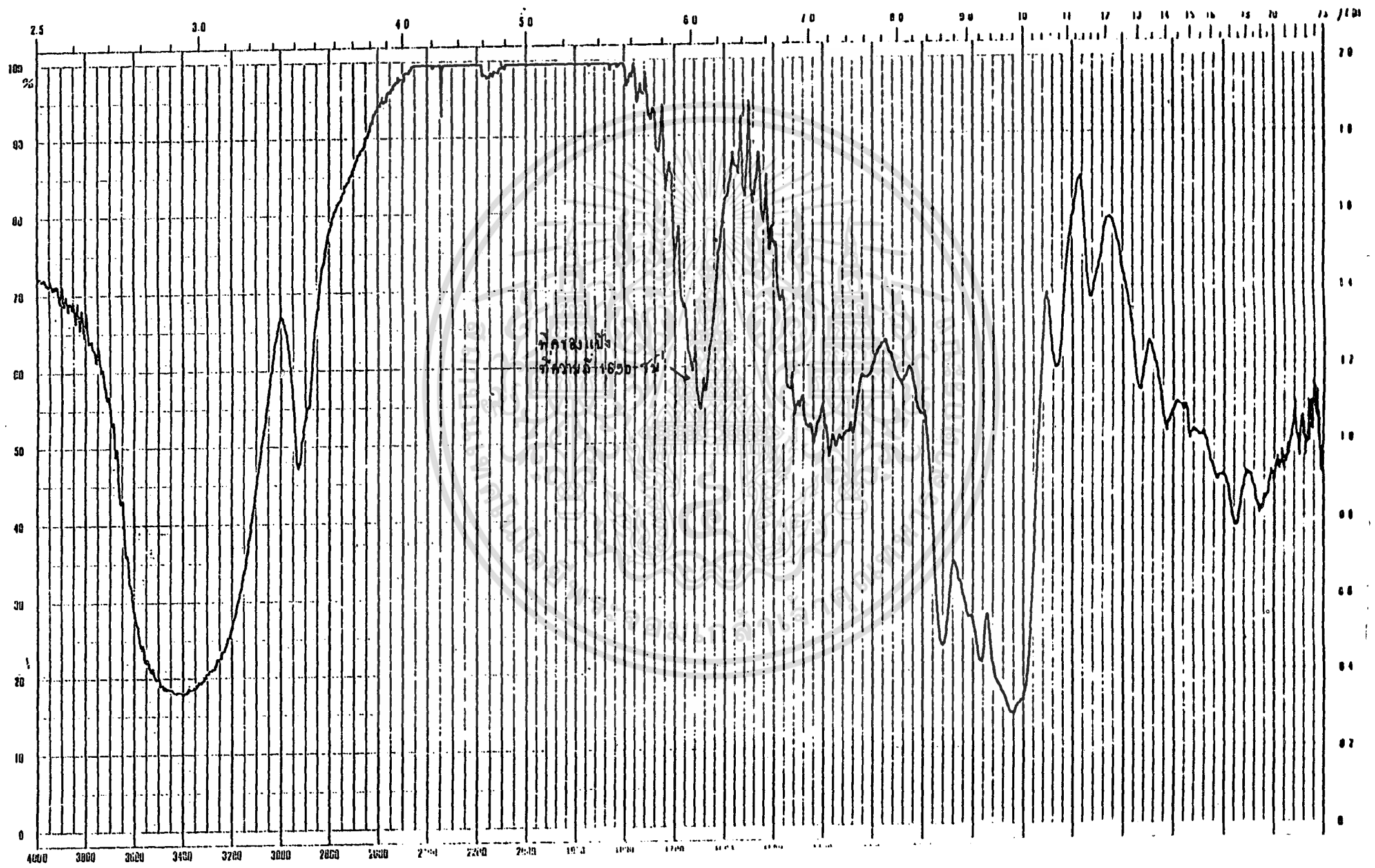
กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงและความสามารถในการยืดตัวของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อที่สังเคราะห์  
จากอัตราส่วน มอนอเมอร์เอทิลอะครีเลต ต่อ แป้ง 200 เปอร์เซ็นต์โดยเครื่อง Tensile Tester

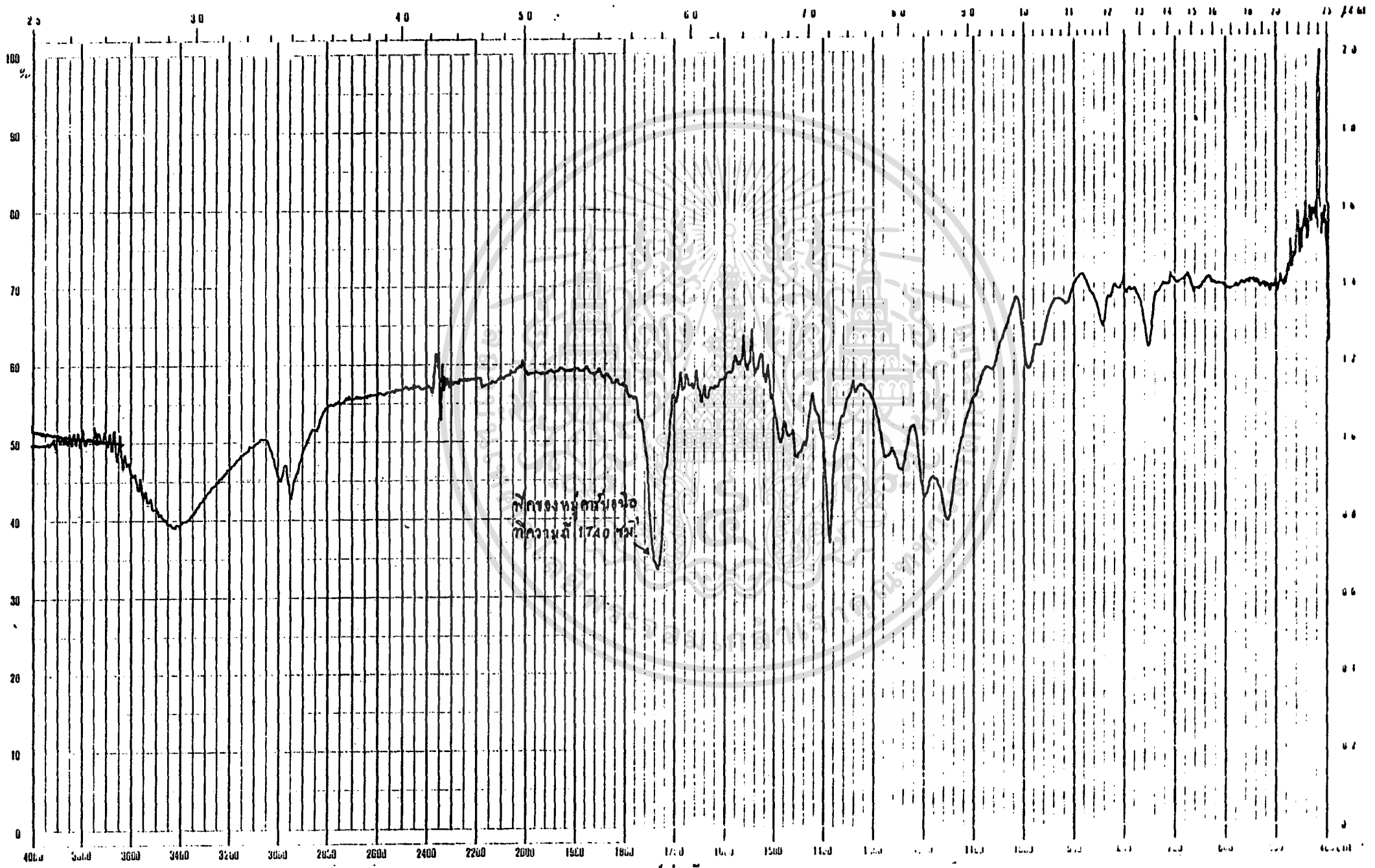
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดง Molecular Weight Distribution Average ของ พอลิเมอร์ร่วมแบบคอตี  
 สังกะระหอกเอทิลอะครีเลตในอัตราส่วนมอนอเมอร์คอป่ง 200%  
 โดยเครื่อง Gel Permeation Chromatography

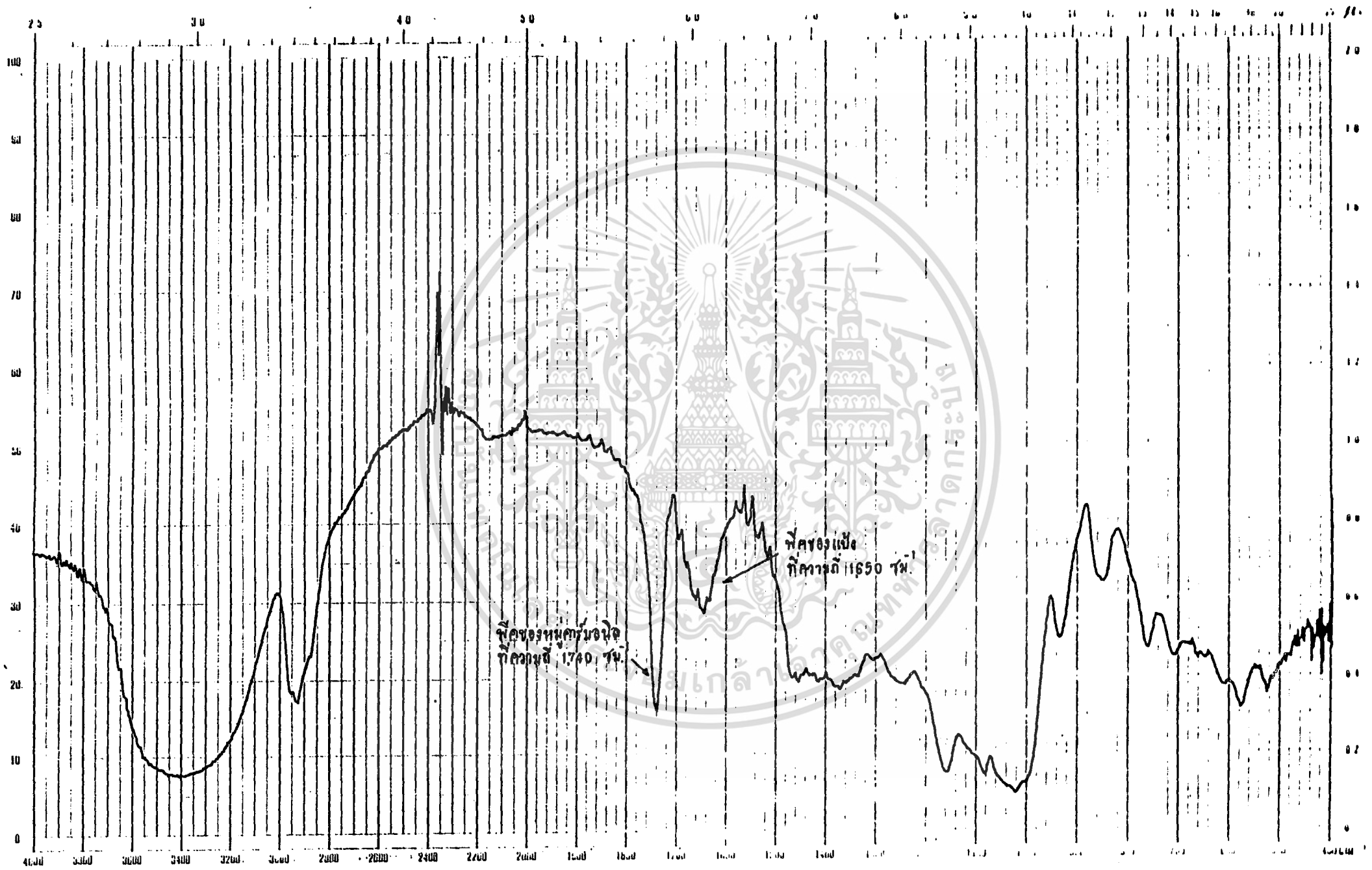


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ที่ความถี่ 1740 Hz



แสดงสัญญาณที่ได้รับจากสถานีวิทยุ...