

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการทำพอลิเมอร์แบบอิมัลชันของลาเท็กซ์ที่มี
สไตรีนเป็นมอนอเมอร์พื้นฐาน (ตอนที่ 1)



นายพรชัย แสงรุ่งศรี

นายวินัย แนวน้อยงาม

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

ปพ.

พ ๕๓๓ก

๕๕๓๑

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๓๙

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 32028

วัน, เดือน, ปี..... 8 ก.พ. ๒๕๔๒

สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study on Emulsion Polymerization of Latex Containing Styrene (Part I)



A Special Project Submitted in Patial Fulfillment of the

Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang

1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาการทำพอลิเมอร์แบบอิมัลชันของลาเท็กซ์ที่มีสไตรีน
เป็นมอนอเมอร์พื้นฐาน (ตอนที่ 1)

โดย นาย พรชัย แสงรุ่งศรี
นาย วินัย แนวน้อยงาม

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นำโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

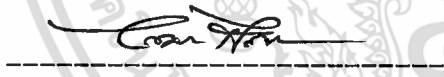
ลายเซ็น



(ผศ. นงนุช เกตรานูวัฒน์)

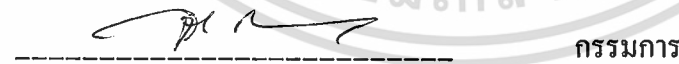
หัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการโครงการพิเศษ

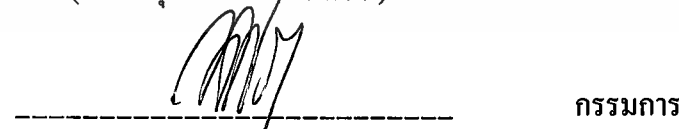


(ผศ.ดร. เพชญชัย ไชยสิทธิ์)

ประธานกรรมการ



กรรมการ
(รศ. อรุณี กองศักดิ์ไพศาล)



กรรมการ
(ผศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาการทำพอลิเมอร์แบบอิมัลชันของลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นมอนอเมอร์พื้นฐาน (ตอนที่ 1)
นักศึกษาผู้จัดทำ	นาย พรชัย แสงรุ่งศรี นาย วินัย แนวน้อยงาม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2539

บทคัดย่อ

พอลิเมอร์ลาเท็กซ์สามารถผลิตจากเทคนิคการสังเคราะห์แบบอิมัลชันพอลิเมอไรเซชันซึ่งในการศึกษาจะใช้มอนอเมอร์ 4 ชนิดคือ สไตรีน บิวทิลอะคริเลต เมทิลเมทาคริเลต และกรดอะคริลิก โครงการพิเศษนี้ได้ศึกษาถึงการพัฒนาเทคนิคในการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอิมัลชันของลาเท็กซ์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์สูงสุด โดยเป็นการลดปริมาณมอนอเมอร์ตกค้างให้เหลือน้อยที่สุด และศึกษาสภาวะในการทำปฏิกิริยา ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เหมาะสม รวมถึงการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นมอนอเมอร์พื้นฐานในอัตราส่วนต่างๆ จากการศึกษาพบว่า เทคนิคการสังเคราะห์ลาเท็กซ์ที่เหมาะสมคือแบ่งสารละลายของตัวริเริ่มออกเป็นอัตราส่วน 40 : 25 : 25 : 10 % เติมลงไปในห้องปฏิกิริยาในช่วงเวลาที่เหมาะสม การเพิ่มความเร็วยกในการปั่นกวนจะทำให้ได้อนุภาคของลาเท็กซ์มีขนาดเล็กลง ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือใช้ปริมาณ 300 % ของปริมาณที่ใช้เริ่มต้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงสูงสุด

Special Project Title Study on Emulsion Polymerization of Latex Containing Styrene
(Part I)

Name Mr. Ponchai Sangrungsri
Mr. Winai Naewnoingam

Special Project Advisor Assist. Prof. Dr. Nipon Wongvisetsirikul

Department Chemistry

Academic Year 1996

Abstract

Latex polymer was prepared by emulsion polymerization technics , the monomers system consist of styrene , butyl acrylate , methyl methacrylate and acrylic acid . This special project is to develop the technic of latex polymer synthesis which gives high percent conversion and less residue monomers . The reaction condition and amount of initiator including to chemical and physical properties of latex polymer were studied . The result was found that , the suitable technic to polymer latex synthesis was dividing the initiator solution in to four parts containing 40 , 25 , 25 and 10 % which added into the reactor . Each divided portion was added into the reaction according to time . Particle size of latex decreased when incresing the stirring speed . When increased the amount of initiator to 300 % from original amount , the latex gave the highest percent conversion .

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ กรุณาให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษนี้โดยตลอด รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล และ ผศ.ดร. เจริญชัย ไชยสิทธิ์ คณะกรรมการตรวจสอบโครงการที่ช่วยกรุณาแก้ไขข้อผิดพลาดเพื่อให้รายงานฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษาระหว่างดำเนินการโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงขอบคุณ เจ้าหน้าที่ของภาควิชาเคมีทุกท่าน เพื่อน ๆ และรุ่นน้องทุกท่านที่ได้ให้การสนับสนุนตลอดมา จนการดำเนินการทำโครงการพิเศษนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี

นาย พรชัย แสงรุ่งศรี

นาย วินัย แนวน้อยงาม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มา ความสำคัญของปัญหา และวัตถุประสงค์	1
1.2 ขอบเขตการศึกษาและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 คอลลอยด์	3
2.2 ลาเท็กซ์	5
2.3 พอลิเมอร์ไรเซชันแบบอิมัลชัน	7
2.4 พอลิเมอร์ไรเซชันแบบอนุภาคอิสระ	12
2.5 โคพอลิเมอร์ไรเซชัน	15
2.6 กราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน	16
2.7 กระบวนการผลิตพอลิเมอร์อิมัลชัน	16
2.8 ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงของกระบวนการผลิตลาเท็กซ์	20
บทที่ 3 การวิจัยและดำเนินการ	
3.1 สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	
3.1.1 สารเคมี	22
3.1.2 อุปกรณ์	22
3.1.3 เครื่องมือตรวจสอบและวิเคราะห์	23
3.2 วิธีการทดลอง	
3.2.1 การศึกษาสถานะและเทคนิคที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ พอลิเมอร์ลาเท็กซ์	24
3.2.2 การศึกษาปริมาณของตัวริเริ่มต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารประกอบการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไปเป็นผลิตภัณฑ์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.3 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นมอนอเมอร์ พื้นฐานในอัตราส่วนต่าง ๆ	27
3.3 การทดสอบพอลิเมอร์ลาเท็กซ์	
3.3.1 การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด	28
3.3.2 การหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์	28
3.3.3 การหาความหนืด	28
3.3.4 การหาค่า pH	28
3.3.5 การทดสอบเสถียรภาพเชิงกล	29
3.3.6 การหาขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Mastersizer X	29
3.3.7 การวัดอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว	29
3.3.8 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์	30
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	
4.1 การศึกษาสภาวะและเทคนิคที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ พอลิเมอร์ลาเท็กซ์	36
4.2 การศึกษาปริมาณของตัวริเริ่มต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไป เป็นผลิตภัณฑ์	38
4.3 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นมอนอเมอร์พื้นฐาน	39
4.4 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้ด้วย เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	42
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	
5.1.1 การศึกษาสภาวะและเทคนิคที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ พอลิเมอร์ลาเท็กซ์	54
5.1.2 การศึกษาตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่มีผลต่อการสังเคราะห์พอลิเมอร์ ลาเท็กซ์	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1.3. ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว	54
5.1.4. ลักษณะของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	56

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1.1 แสดงตัวอย่างของผสมประเภทคอลลอยด์	3
ตารางที่ 2.2.1 แสดงองค์ประกอบของน้ำยางธรรมชาติ	5
ตารางที่ 3.3.1 แสดงอัตราส่วนมอนอเมอร์ที่ใช้ทำพอลิเมอร์ลาเท็กซ์	25
ตารางที่ 4.1.1 แสดงการเปรียบเทียบค่า total solid content และค่า % conversion ระหว่างลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2	36
ตารางที่ 4.1.2 แสดงค่า total solid content , % conversion และขนาดอนุภาคของ ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ด้วยความเร็วรอบของใบพัดต่างกัน	37
ตารางที่ 4.2.1 แสดงผลของการเพิ่มปริมาณตัวริเริ่มต่อค่า total solid content , % conversion และขนาดอนุภาคของลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้	38
ตารางที่ 4.3.1 แสดงสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นมอนอเมอร์ พื้นฐาน อัตราส่วนต่าง ๆ	39
ตารางที่ 4.3.2 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ ด้วยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ซึ่งเพิ่มปริมาณของตัวริเริ่มขึ้น 300% ของความ เร็วรอบในการปั่นกวน 400 รอบ/นาที	40

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1.1 แสดงลักษณะของอนุภาคลาเท็กซ์ที่แห้งและเปียก	4
รูปที่ 2.3.1 แสดงรูปร่างของไมเซลล์	8
รูปที่ 2.3.2 แสดงองค์ประกอบของระบบอิมัลชัน	9
รูปที่ 2.7.1 แสดงระบบการกรองผลิตภัณฑ์	19
รูปที่ 3.1 ชุดสังเคราะห์ลาเท็กซ์	21
รูปที่ 3.2 เครื่องหาขนาดอนุภาค Mastersizer X	32
รูปที่ 3.3 เครื่อง Infrared Spectroscopy	32
รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบ Mechanical Stability	33
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความหนืดแบบ Brook Field	34
รูปที่ 3.6 เครื่องวัด pH	35
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็น ผลิตภัณฑ์กับเวลาที่ใช้ในการเตรียมลาเท็กซ์สูตร S/BA/MMA/AA 30/67/1/2	43
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็น ผลิตภัณฑ์กับเวลาที่ใช้ในการเตรียมลาเท็กซ์สูตร S/BA/MMA/AA 30/58/10/2	44
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็น ผลิตภัณฑ์กับเวลาที่ใช้ในการเตรียมลาเท็กซ์สูตร S/BA/MMA/AA 30/32/36/2	45
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็น ผลิตภัณฑ์กับเวลาที่ใช้ในการเตรียมลาเท็กซ์สูตร S/BA/MMA/AA 30/18/50/2	46
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็น ผลิตภัณฑ์กับเวลาที่ใช้ในการเตรียมลาเท็กซ์สูตร S/BA/MMA/AA 42/55/1/2	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน ไปเป็น ผลิตภัณฑ์กับเวลาที่ใช้ในการเตรียมลาเท็กซ์สูตร S/BA/MMA/AA 50/47/8/2	48
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน ไปเป็น ผลิตภัณฑ์กับเวลาที่ใช้ในการเตรียมลาเท็กซ์สูตร S/BA/MMA/AA 60/35/3/2	49
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน ไปเป็น ผลิตภัณฑ์กับความเร็วรอบใบพัดที่ใช้ในการปั่นกวน	50
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบใบพัดที่ใช้ในการปั่นกวน กับขนาดอนุภาคของลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้	51
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน ไปเป็นผลิตภัณฑ์ กับปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา	52
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดอนุภาคของลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้ กับปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา	53

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากลาเท็กซ์เป็นสารพอลิเมอร์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้เช่น อุตสาหกรรมการผลิตสี อุตสาหกรรมการผลิตพรม อุตสาหกรรมสารยึดติด อุตสาหกรรมการผลิตวัสดุอุดรอยรั่ว อุตสาหกรรมเส้นใย ซึ่งในอุตสาหกรรมต่าง ๆ จำเป็นที่จะต้องใช้ลาเท็กซ์ที่มีสมบัติที่เหมาะสมต่าง ๆ กัน

ลาเท็กซ์ที่ผลิตจากการใช้สไตรีนเป็นมอนอเมอร์พื้นฐานเป็นสารลาเท็กซ์อีกประเภทหนึ่งที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ตามต้องการ แต่เนื่องจากว่าในปัจจุบันกระบวนการผลิตลาเท็กซ์ชนิดต่าง ๆ ยังมีปัญหาเรื่องการที่มีปริมาณของมอนอเมอร์ตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งสังเกตได้จากการที่ผลิตภัณฑ์ลาเท็กซ์มีกลิ่นของมอนอเมอร์หลงเหลืออยู่ ซึ่งการที่ผลิตภัณฑ์มีปริมาณมอนอเมอร์หลงเหลืออยู่ แสดงว่าการเปลี่ยนมอนอเมอร์ไปเป็นพอลิเมอร์ไม่ดีพอ ทำให้มีความไม่เหมาะสมกับการผลิตในทางอุตสาหกรรมเพื่อให้ได้ผลกำไรสูงสุด และมอนอเมอร์ที่ตกค้างนี้เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคเป็นอย่างมาก อีกทั้งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

ดังนั้นวิธีการที่จะช่วยลดปัญหาดังกล่าวคือการปรับปรุงกระบวนการผลิตลาเท็กซ์ให้ได้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนมอนอเมอร์ไปเป็นพอลิเมอร์มากที่สุด เพื่อลดปริมาณมอนอเมอร์ตกค้างให้เหลือน้อยที่สุดหรือไม่เหลือตกค้างเลย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นมอนอเมอร์พื้นฐานที่มีความปลอดภัยสำหรับผู้บริโภคในระดับหนึ่ง และช่วยพัฒนากระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นมอนอเมอร์พื้นฐาน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการผลิตลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นมอนอเมอร์พื้นฐาน ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์มากที่สุด ซึ่งทำให้ปริมาณมอนอเมอร์ตกค้างน้อยที่สุด
2. เพื่อศึกษาการผลิตลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นมอนอเมอร์พื้นฐาน โดยการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามที่ต้องการ
3. เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นมอนอเมอร์พื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษากระบวนการผลิตลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นมอนอเมอร์พื้นฐาน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณมอนอเมอร์ตกค้างน้อยที่สุด มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์มากที่สุดและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติที่ต้องการ โดยการปรับปรุงและควบคุมปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ดังนี้คือ

- ศึกษาผลของความเร็วรอบใบพัดที่ใช้ในการปั่นกวน
- ศึกษาผลของเทคนิคการเติมตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- ศึกษาผลของปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยา

2. ทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ของลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นมอนอเมอร์พื้นฐาน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. พัฒนาการบวนการผลิตลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นมอนอเมอร์พื้นฐาน ให้มีปริมาณมอนอเมอร์ตกค้างน้อยที่สุดและมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงจากสารตั้งต้นเป็นผลิตภัณฑ์มากที่สุด
2. สามารถทำการผลิตลาเท็กซ์ที่มีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 คอลลอยด์

เป็นของผสมของอนุภาคขนาดเล็กมากที่มีวิภูภาคต่างกันซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วย 2 วิภูภาค คือ ตัวกลางการกระจาย ซึ่งเป็นวิภูภาคต่อเนื่องและวิภูภาคกระจายซึ่งเป็นอนุภาคขนาดเล็กในของผสม โดยอนุภาคขนาดเล็กนี้มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงประมาณ 50 นาโนเมตรถึง 50 ไมโครเมตร ในระบบคอลลอยด์นี้ขนาดอนุภาคจะมีความสำคัญในการบ่งบอกถึงเสถียรภาพของคอลลอยด์ และของผสมคอลลอยด์นี้สามารถนำมาวิเคราะห์บ่งบอกคุณลักษณะได้ โดยการทดสอบสมบัติต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์โดยเมื่อใช้กระบวนการผลิตต่าง ๆ กันจะทำให้ได้คอลลอยด์ที่มีสมบัติต่างกันได้

ตารางที่ 2.1.1 ตัวอย่างของผสมประเภทคอลลอยด์

คอลลอยด์	วิภูภาค กระจาย		ตัวกลางการ กระจาย	
	องค์ประกอบ	สถานะทางกายภาพ	องค์ประกอบ	สถานะทางกายภาพ
หมอก	น้ำ	ของเหลว	อากาศ	ก๊าซ
ควัน	เขม่า	ของแข็ง	อากาศ	ก๊าซ
ยางโฟม	อากาศ	ก๊าซ	ยาง	ของแข็ง
คอนกรีต	ทราย กรวด	ของแข็ง	ซีเมนต์	ของแข็ง
เนย	น้ำมัน ไขมัน	ของเหลว	โปรตีน	ของแข็ง
นม	น้ำมัน ไขมัน	ของเหลว	น้ำ	ของเหลว
Whipped cream	อากาศ	ก๊าซ	นม	ของเหลว
หมึก	เขม่าดำ	ของแข็ง	ตัวทำละลาย	ของเหลว

ในการศึกษาระบบคอลลอยด์เป็นเรื่องที่ซับซ้อน ต้องอ้างอิงถึงหลักการทางฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ และทางเคมี เพื่ออธิบายระบบของคอลลอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากระบบคอลลอยด์ ประกอบด้วย 2 ภูมิภาค คือภูมิภาคกระจาย และตัวกลางการกระจาย การที่ทั้ง 2 ภูมิภาคจะผสมรวมกันได้ดี แต่ละภูมิภาคจะต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกล่าวคือ

1. ความหนืดของตัวกลางการกระจาย

ในกระบวนการผลิตพอลิเมอร์อิมัลชันที่มีตัวกลางการกระจายคือน้ำ ในระบบนี้ภูมิภาคน้ำควรมีความหนืดสูง ก่อนการเติมส่วนผสมอื่นลงไปทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน

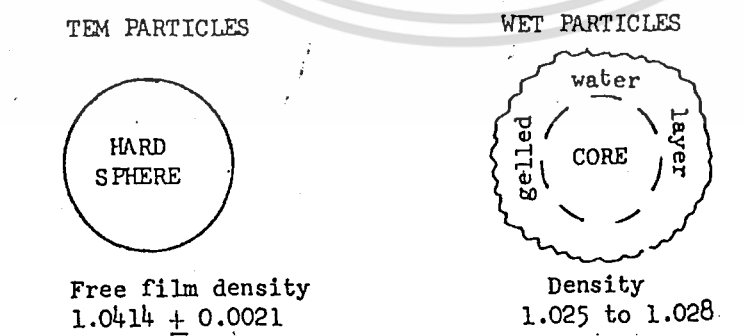
2. ขนาดอนุภาคของภูมิภาคกระจาย

อนุภาคของภูมิภาคกระจายควรมีขนาดเล็ก ซึ่งจะมีเสถียรภาพในการกระจายตัวในตัวกลางการกระจายดี ซึ่งในการผลิตพอลิเมอร์อิมัลชันจะพยายามทำให้ขนาดของอนุภาคที่ได้มีขนาดที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ซึ่งโดยส่วนใหญ่มีขนาดประมาณ 0.3 ไมโครเมตร

3. ความแตกต่างของความหนาแน่นของทั้ง 2 ภูมิภาค

การที่ทั้ง 2 อนุภาคมีความหนาแน่นแตกต่างกันมาก จะทำให้การผสมรวมกันมีปัญหา ดังนั้นควรเลือกภูมิภาคทั้งสองให้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกันหรือใช้สารตัวเติมช่วยทำให้ของผสมสามารถผสมเข้ากันได้ดีขึ้น ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันจะมีความหนาแน่นของทั้ง 2 ภูมิภาคแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งจะทำให้ในระบบจะมีพลังงานของการชนกันของการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน สูงกว่าพลังงานในการเกิดเป็นคอลลอยด์ ทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ได้ดี

การใช้สารเสริมเสถียรภาพของคอลลอยด์ หรือการผลิตพอลิเมอร์ร่วมซึ่งเป็นการเติมหมู่คาร์บอกซิลบนผิวของพอลิเมอร์ จะช่วยทำให้ความหนาแน่นของอนุภาคกระจายใกล้เคียงกับความหนาแน่นของตัวกลางการกระจาย ซึ่งการเติมหมู่คาร์บอกซิลบนผิวของพอลิเมอร์อิมัลชันจะทำให้พอลิเมอร์สามารถบวมตัวในน้ำได้ดียิ่งขึ้น เป็นการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอนุภาคของภูมิภาคกระจาย



รูปที่ 2.1.1 แสดงขนาดอนุภาคของลาเท็กซ์ที่แห้งและเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ลาเท็กซ์ (Latex)

ลาเท็กซ์เป็นผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีอนุภาคของแข็งแขวนลอยอย่างเสถียรในสารละลายตัวกลางที่เหมาะสม และเมื่อลาเท็กซ์แห้งตัวจะเกิดเป็นแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ต่อเนื่อง โดยพอลิเมอร์ลาเท็กซ์จะอยู่ใน 2 วัฏภาคคือวัฏภาคกระจาย (Disperse phase) และตัวกลางการกระจาย (Disperse medium)

วัฏภาคกระจายหรือวัฏภาคไม่ต่อเนื่องจะประกอบไปด้วยอนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 5 ไมโครเมตร โดยอนุภาคเหล่านี้เป็นอนุภาคพอลิเมอร์ซึ่งจะมีขนาดใหญ่ขึ้นประกอบด้วยหน่วยทางเคมีเล็กๆ ซึ่งสามารถรวมตัวกันได้มากขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ส่วนตัวกลางกระจายหรือวัฏภาคภายนอก ส่วนใหญ่เป็นสารละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ลาเท็กซ์แบ่งได้ 4 ประเภทคือ

1. ลาเท็กซ์ธรรมชาติ (Natural Latexes) ส่วนใหญ่ได้จากต้นไม้จำพวก *Hevea brasiliensis* ซึ่งจะให้ลาเท็กซ์ในรูปของน้ำยางธรรมชาติ โดยมีท่อน้ำยางอยู่ในส่วนของคอร์เท็กซ์ (Cortex) ชั้นใน มีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 70 ไมโครเมตร ลาเท็กซ์ธรรมชาติที่สามารถใช้ในอุตสาหกรรมคือน้ำยางพารา โดยนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ น้ำยางธรรมชาติจะมีส่วนประกอบใหญ่ๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.2.1 แสดงองค์ประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

คุณสมบัติและองค์ประกอบ	ปริมาณ (%)
Total solids content	36
Dry rubber content	33
Proteinous substances	1-1.5
Resinous substances	1-2.5
ash	up to 1
sugar	1
water	ad. 100

2. ลาเท็กซ์สังเคราะห์ (Synthetic Latexes) เป็นลาเท็กซ์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ สามารถผลิตโดยกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอิมัลชัน ซึ่งจะประกอบด้วย 2 วัฏภาคคือวัฏภาคกระจาย (Disperse phase) และตัวกลางการกระจาย (Disperse medium) ในกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะประกอบด้วย มอนอเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ ตัวริเริ่มปฏิกิริยา ตัวกลางกระจายเช่น น้ำ อิมัลซิไฟเออร์ เช่น สบู่ หรือสารลดแรงตึงผิว ตัวขยายสายโซ่ ตัวอย่างของลาเท็กซ์สังเคราะห์ เช่น พอลิเมอร์ร่วมของ สไตรีน-บิวทาไดอีน อคริลิกลาเท็กซ์ ฯลฯ

3. ลาเท็กซ์เทียม (Artificial Latices) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกระจายตัวของพอลิเมอร์ที่อยู่ในสถานะของแข็งในตัวทำละลาย โดยส่วนมากจะได้จากการนำกลับมาใช้ใหม่ของยางธรรมชาติที่เป็นของแข็ง กระบวนการผลิตลาเท็กซ์เทียม ทำได้ 2 วิธีคือ

3.1 เทคนิคสารละลายอิมัลชัน (Solution emulsification technique) โดยนำพอลิเมอร์ของแข็งมา ทำให้บวมตัวและละลายในตัวทำละลาย ซึ่งสามารถละลายพอลิเมอร์นั้นได้ ลาเท็กซ์เทียมที่ได้จากเทคนิคนี้จะอยู่ในสภาพที่เป็นเจลหรือเป็นอิมัลชันในสารละลาย

3.2 กระบวนการเปลี่ยนวัฏภาค (Phase inversion procedure) โดยใช้สารละลายจำพวกอัลคาไลต์ช่วยทำให้ทั้งสองวัฏภาครวมตัวกันได้

4. ลาเท็กซ์ปรับปรุง (Modified Latices) เป็นลาเท็กซ์ที่ผลิตขึ้นจากกระบวนการพิเศษเช่น กระบวนการวัลคาไนเซชัน กระบวนการผลิตพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของมอนอเมอร์ในพอลิเมอร์หลัก

2.3 พอลิเมอร์เซชันแบบอิมัลชัน

พอลิเมอร์เซชันแบบอิมัลชัน เป็นเทคนิคพอลิเมอร์เซชันที่กระจายมอนอเมอร์เป็นหยดเล็กๆ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10^{-4} cm. ในตัวกลางที่มอนอเมอร์ไม่ละลายเช่น น้ำ การกระจายตัวเป็นหยดเล็ก ๆ ใช้วิธีการกวนอย่างรวดเร็วหรือการปั่นกวนโดยเครื่องปั่น ควบคู่กันไปกับการเติมอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ซึ่งจะทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวของน้ำที่เป็นตัวกลางเพื่อให้เกิดสภาวะอิมัลชัน โดยทั่วไปจะใช้สารพวกกลอริลหรือโคเคคซิลซัลเฟต ส่วนตัวริเริ่มที่ใช้เป็นสารที่สามารถละลายในน้ำได้ ซึ่งโดยทั่วไปได้แก่สารเปอร์ซัลเฟต เช่น โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต

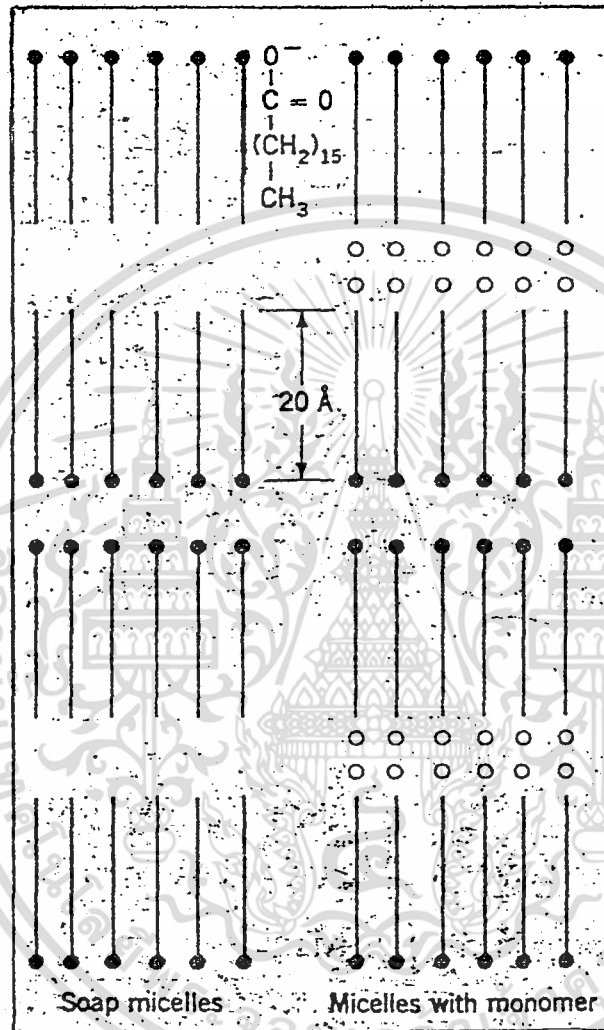
(Potassium persulfate) อุณหภูมิที่ใช้โดยทั่วไปตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 90 องศาเซลเซียส องค์ประกอบหลักของกระบวนการนี้ได้แก่

1. มอนอเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อยมาก
2. ตัวกลาง (Dispersing media)
3. อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier)
4. ตัวริเริ่มที่ละลายน้ำได้ เช่น โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$)
5. ตัวย้ายสายโซ่ จะใช้สารพวกเมอร์แคปแทน (Mercaptan , RSH) เช่น สารลอริลเมอร์แคปแทน (Lauryl mercaptan) ทำหน้าที่ควบคุมน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้

ขั้นตอนในการเกิดปฏิกิริยาจะเริ่มจาก การตีอิมัลซิไฟเออร์ในหม้อปฏิกิริยา จะเกิดการกระจายตัวกันเป็นกลุ่มเรียกว่าไมเซลล์ (Micelle) ซึ่งแต่ละไมเซลล์จะประกอบไปด้วยโมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์ 50-100 โมเลกุล โมเลกุลอิมัลซิไฟเออร์จะประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญได้แก่ ส่วนแรกเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว และหมู่คาร์บอกซิเลต ($-COO^-Na^+$) เป็นส่วนที่มีขั้วอยู่ส่วนปลายของโมเลกุลอิมัลซิไฟเออร์ ดังนั้น โมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์จะมีส่วนประกอบของส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนชี้เข้าด้านใน ส่วนหมู่คาร์บอกซิเลตที่ชอบน้ำชี้ออกด้านนอกแสดง(ดังรูปที่ 2.3.1) เมื่อเติมมอนอเมอร์ที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำเข้าไปในระบบที่มีการกวนอยู่ตลอดเวลา มอนอเมอร์บางส่วนจะละลายในไมเซลล์ ทำให้ขนาดของไมเซลล์โตขึ้น และอยู่รวมกันเป็นหยดเล็กๆที่มีรัศมี 2-3 ไมโครเมตร กระจายตัวอยู่ทั่วในระบบ หยคมอนอเมอร์เหล่านี้จะอยู่ค่อนข้างเสถียรระบบของปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันแบบอิมัลชันประกอบไปด้วย

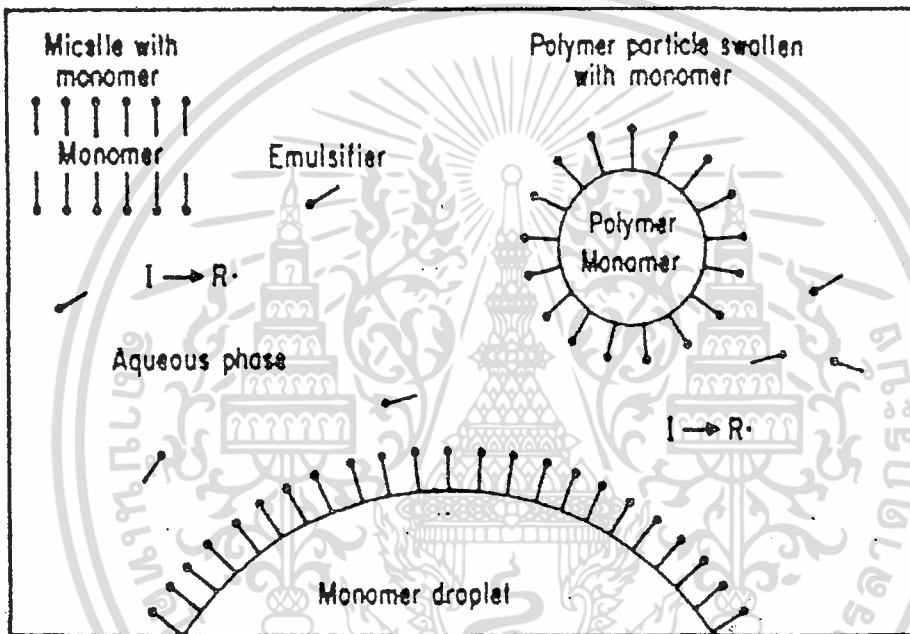
1. ชั้นของอิมัลซิไฟเออร์และมอนอเมอร์ที่ละลายอยู่เล็กน้อย
2. หยคมอนอเมอร์ที่อยู่ค่อนข้างเสถียรเพราะสารลดแรงตึงผิว
3. ไมเซลล์ที่อิมตัวด้วยมอนอเมอร์ ที่มีขนาดเล็กกว่าหยคมอนอเมอร์มากแต่มีจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3.1 แสดงรูปร่างของไมเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3.2 แสดงองค์ประกอบของระบบอิมัลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อตัวริเริ่มที่สามารถละลายน้ำได้เช่น $K_2S_2O_8$ ลงสู่ระบบ อนุมูลอิสระจะเกิดขึ้นจากการแตกตัวของตัวริเริ่มได้จาก 3 แหล่งของระบบ คือ

1. มอนอเมอร์ที่ละลายน้ำ
2. หยคมอนอเมอร์โดยการแพร่เข้าไปยังหยคมอนอเมอร์เหล่านี้
3. ไมเซลล์โดยการแพร่เข้าไปในไมเซลล์

เนื่องจากสารละลายของน้ำมีความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่ำมาก จึงไม่มีปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดขึ้นเลยในชั้นของน้ำ จึงเหลืออยู่เพียง 2 แหล่งเท่านั้น ที่เกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชันได้คือในไมเซลล์และในหยคโมโนเมอร์ ซึ่งจำนวนไมเซลล์มีประมาณ 10^8 ไมเซลล์ต่อตารางเซนติเมตร หรือประมาณ 10-1000 เท่าของพื้นที่ผิวทั้งหมดของหยคมอนอเมอร์ เนื่องจากอัตราการแพร่ทั้งหมดของอนุมูลอิสระแปรผันโดยตรงกับพื้นที่ผิว อนุมูลอิสระทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะแพร่เข้าไปยังไมเซลล์และปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันทั้งหมดจะเกิดขึ้นในไมเซลล์ ซึ่งจากการคำนวณพบว่าไม่เกิดพอลิเมอไรเซชันในหยคมอนอเมอร์เลย

เมื่ออนุมูลอิสระแพร่เข้าไปยังไมเซลล์ (ประมาณ 1/1000 ของไมเซลล์เท่านั้นที่รับอนุมูลอิสระเข้าไป) กระบวนการขึ้นเริ่มต้นและขึ้นต่อเนื่องเกิดขึ้นทันที ซึ่งในขณะเดียวกันจะมีการป้อนมอนอเมอร์จากแหล่งอื่น ๆ คือหยคมอนอเมอร์และที่ละลายในน้ำเข้าไปยังไมเซลล์นี้ ขนาดของไมเซลล์จะเติบโตขึ้นควบคู่กับการเกิดปฏิกิริยาในชั้นต่อเนื่อง(เรียกว่าอนุภาคมอนอเมอร์-พอลิเมอร์) จึงจำเป็นต้องมีโมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์เข้ามาเพิ่มความเสถียรของไมเซลล์ ซึ่งก็ทำได้โดยคูดเอาไมเซลล์อื่น ที่ไม่ได้เกิดปฏิกิริยาขึ้นเริ่มต้น ดังนั้น ไมเซลล์อื่นๆจะถูกคูดโดย อนุภาคของมอนอเมอร์-พอลิเมอร์ จนหมดสิ้นเมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปเพียง 2-20 % ขึ้นกับรายละเอียดของระบบ

ปฏิกิริยาขึ้นต่อเนื่องจะดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ ในอนุภาคมอนอเมอร์-พอลิเมอร์จนกว่าอนุมูลอิสระอื่นจะแพร่เข้าไปยังอนุภาคนั้น หรืออนุมูลอิสระของพอลิเมอร์ที่กำลังเติบโตจะแพร่ออกจากอนุภาคนั้น ขึ้นตอนการเกิดปฏิกิริยาขึ้นสิ้นสุดจะเกิดขึ้นทันที

อัตราการเกิดอนุมูลอิสระจากตัวริเริ่มในชั้นของน้ำในกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันประมาณ 10^{13} อนุมูลอิสระ / ลูกบาศก์เซนติเมตร / วินาที และจากการคำนวณจำนวนอนุภาคมอนอเมอร์-พอลิเมอร์มีประมาณ 10^{14} อนุภาค / ลูกบาศก์เซนติเมตร โอกาสเกิดปฏิกิริยาขึ้นสิ้นสุดของอนุมูลอิสระ ซึ่งคิดว่าอาจเกิดขึ้นในชั้นน้ำจึงอาจเกือบไม่มีหรือไม่เกิดขึ้นเลย อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจึงเข้าไปยังไมเซลล์ เกิดปฏิกิริยาขึ้นเริ่มต้นและขึ้นต่อเนื่องกลายเป็นอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอนอเมอร์-พอลิเมอร์หรือไม่ก็เข้าไปยังอนุภาคของมอนอเมอร์-พอลิเมอร์ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาขั้นสิ้นสุดในอนุภาคนั้นทันที ดังนั้นจะถือได้ว่าตลอดเวลาในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซัน ระบบโดยเฉลี่ยจะมีอนุภาคมอนอเมอร์-พอลิเมอร์เพียง 2 ชนิด ซึ่งจะมีจำนวนเท่ากันคือชนิดที่เป็นพอลิเมอร์ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาขั้นต่อเนื่องจะดำเนินต่อไปและอนุภาคพอลิเมอร์ซึ่งไม่เป็นอนุผลอิสระหรือเกิดปฏิกิริยาขั้นสิ้นสุดแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 พอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระ

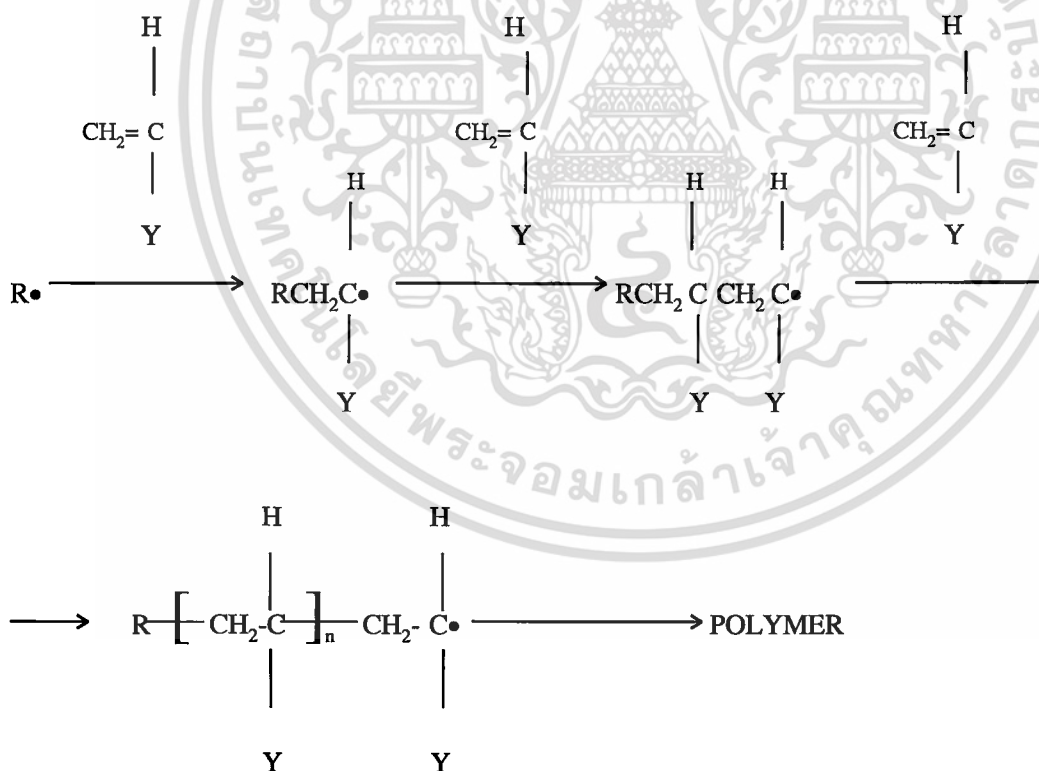
ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระเริ่มต้นจากอนุมูลอิสระที่เกิดจากตัวริเริ่มปฏิกิริยา ดังนี้



โดยที่ I แทนตัวริเริ่ม (initiator)

$R\bullet$ แทนอนุมูลอิสระ

ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ไวนิลที่พันธะ π ของมอนอเมอร์กลายเป็นมอนอเมอร์อนุมูลอิสระ แล้วมอนอเมอร์อนุมูลที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะเข้าร่วมตัวกับมอนอเมอร์ตัวอื่น ๆ ไปเรื่อย ๆ จนเกิดการสิ้นสุดปฏิกิริยา(termination)ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลสูงดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบลูกโซ่

1. ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ลดลงอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลาของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน

2. เกิดพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนัก โมเลกุลสูงทันทีเมื่อเริ่มเกิดปฏิกิริยาในขั้นต่อเนื่องปฏิกิริยา

3. น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของพอลิเมอร์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไม่มาก ตลอดการทำปฏิกิริยา

พอลิเมอร์ไรเซชัน

4. เมื่อปฏิกิริยาคำเนินต่อไปเป็นเวลานานจะมีการเพิ่มผลผลิตของพอลิเมอร์แต่น้ำหนัก โมเลกุลโดยเฉลี่ยของพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลงน้อยมาก

5. สารปนเปื้อนหรือสารอื่นในปฏิกิริยามีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน

6. ส่วนว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาที่อยู่ปลายสายโซ่ที่กำลังเติบโตเท่านั้นที่ทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์อื่น

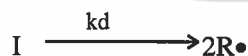
มอนอเมอร์แต่ละชนิดสามารถเกิดพอลิเมอร์แบบลูกโซ่ได้หลายแบบซึ่งอาจเป็นแบบอนุโมลติสระแบบไอออนบวกหรือแบบไอออนลบขึ้นอยู่กับชนิดของตัวริเริ่มปฏิกิริยา การตอบสนองของพันธะ π ของมอนอเมอร์ไว้นิลกับตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่าง ๆ ซึ่งขึ้นกับชนิดของหมู่แทนที่ของไว้นิลมอนอเมอร์ชนิดต่าง ๆ โดยที่หมู่แทนที่แต่ละชนิดจะมีอิทธิพลกับความว่องไวต่อปฏิกิริยาของอินเทอร์มีเดียต ที่เกิดขึ้นหลังจากขั้นต่อเนื่องปฏิกิริยา

จลนศาสตร์ของปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอนุโมลติสระ

กลไกของปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอนุโมลติสระ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ

1. ขั้นเริ่มต้น เป็นขั้นตอนการริเริ่มปฏิกิริยา โดยแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอนคือ

1.1 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นอนุโมลติสระ

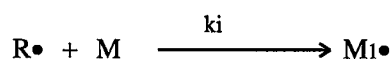


I แทน ตัวริเริ่มปฏิกิริยา

$R\bullet$ แทน อนุโมลติสระที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของตัวริเริ่ม

kd แทน ค่าคงที่ของการสลายตัว

1.2 อนุโมลติสระ $R\bullet$ ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนริเริ่มปฏิกิริยาเข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ M ได้เป็น $M_1\bullet$



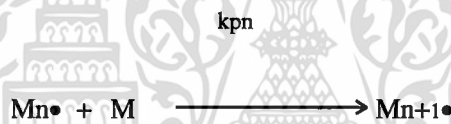
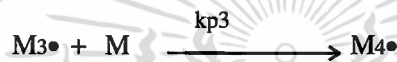
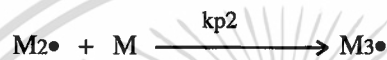
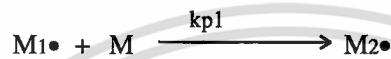
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M แทน มอนอเมอร์

M₁• แทน มอนอเมอร์อนุมูลอิสระ

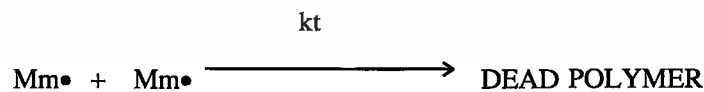
k_i แทน ค่าคงที่ของอัตราเร็วในขั้นตอนการริเริ่มปฏิกิริยา

2. ขั้นตอนเนื่อง เป็นขั้นตอนการเจริญเติบโตของ M₁• โดยเข้าร่วมกับ M ซึ่งจะเข้าร่วมกับ M ครั้งละตัว ซึ่งจะเกิดอย่างรวดเร็วจนได้พอลิเมอร์อนุมูลอิสระ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง



โดย k_p แทน ค่าคงที่ของอัตราเร็วในขั้นตอนต่อเนื่องปฏิกิริยา ปกติมีค่าอยู่ในช่วง 10²-10⁴ liters/mole-sec

3. ขั้นสิ้นสุด เป็นขั้นตอนการสิ้นสุดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยการที่มอนอเมอร์อนุมูลอิสระ และพอลิเมอร์อนุมูลอิสระต่าง ๆ เกิดการรวมตัวกัน เกิดเป็นพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลสูง



โดย k_{tc} แทน ค่าคงที่ของอัตราเร็วขั้นสิ้นสุดปฏิกิริยาแบบการรวมตัว

k_{td} แทน ค่าคงที่ของอัตราเร็วขั้นสิ้นสุดปฏิกิริยาแบบแตกตัวออก

kt แทน ค่าคงที่ของอัตราเร็วในขั้นสิ้นสุดปฏิกิริยารวม ซึ่งปกติมีค่าอยู่ในช่วง

10⁶-10⁸ liters/mole-sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

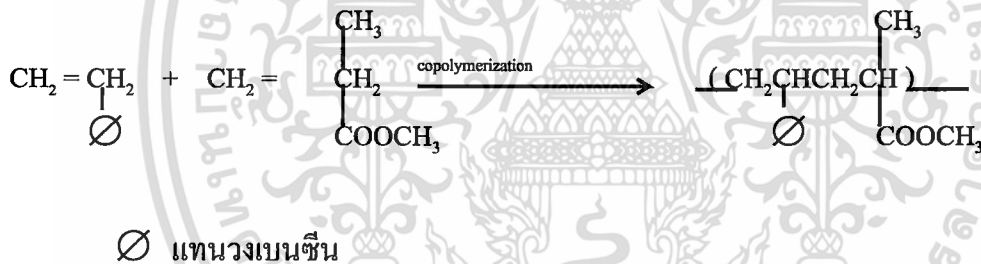
$$kt = kt_c + kt_d$$

Mn• และ Mm• แทนพอลิเมอร์อนุโมลิตระที่แตกต่างกัน

2.5 โคพอลิเมอร์ไรเซชัน

โคพอลิเมอร์คือ พอลิเมอร์ที่มีหน่วยซ้ำๆกันมาจากมอนอเมอร์ 2 ชนิดหรือมากกว่า 2 ชนิด ในกรณีที่มีหน่วยซ้ำๆกันมาจากมอนอเมอร์ 3 ชนิดอาจจะเรียกว่า เทอร์พอลิเมอร์ (Terpolymer) และกระบวนการเตรียมพอลิเมอร์ที่ใช้มอนอเมอร์ 2 ชนิดหรือมากกว่า เรียกว่า โคพอลิเมอร์ไรเซชัน (Copolymerization)

โคพอลิเมอร์เช่น โคพอลิเมอร์ของสไตรีนและเมทิลเมทาอะคริเลต มีหน่วยซ้ำๆมาจากมอนอ-เมอร์ 2 ชนิดคือ สไตรีนและเมทิลเมทาอะคริเลต แสดงได้ดังนี้



ความสำคัญของ โคพอลิเมอร์ไรเซชัน

การนำเอามอนอเมอร์ต่างชนิดกันมาสังเคราะห์โคพอลิเมอร์มีประโยชน์ดังต่อไปนี้

1. สามารถได้ชนิดของพอลิเมอร์เพิ่มมากขึ้น และมีโอกาสจะได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีสมบัติตามต้องการมากขึ้น
2. สามารถนำเอามอนอเมอร์บางตัวที่ไม่สามารถสังเคราะห์เป็นพอลิเมอร์โมเลกุลสูงได้ เช่น มาลิกแอนไฮไดรด์ มาสังเคราะห์เป็นโคพอลิเมอร์กับมอนอเมอร์อื่นๆบางชนิดได้ เช่น สไตรีน ไวนิลอะซิเตด เป็นต้น
3. ปฏิกิริยาโคพอลิเมอร์ไรเซชันทำให้สามารถเข้าใจสมบัติต่างๆของมอนอเมอร์อนุโมลิตระดีขึ้น เช่น ความว่องไวของมอนอเมอร์ มอนอเมอร์อนุโมลิตระ ไอออนบวกและไอออนลบ ความสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างโครงสร้างของมอนอเมอร์และความว่องไวก็เป็นผลมาจากการศึกษาพอลิเมอร์เซชันเช่นกัน

4. ในทางปฏิบัติ เทคนิคโคพอลิเมอร์เซชันนี้ทำให้สามารถเลือกมอนอเมอร์ อัตราส่วนที่ใช้และสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้โคพอลิเมอร์ที่มีสมบัติตามต้องการได้

จะเห็นได้ว่ากระบวนการโคพอลิเมอร์เซชันมีประโยชน์มากเพราะทำให้สามารถได้พอลิเมอร์แบบใหม่ที่มีสมบัติดีขึ้นหรือสมบัติตามที่เรากำลังต้องการได้ โดยเลือกมอนอเมอร์แต่ละตัวและอัตราส่วนที่ใช้ให้เหมาะสม

2.6 กราฟท์โคพอลิเมอร์

กราฟท์โคพอลิเมอร์เป็นโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยสายโซ่หลักที่เป็นโฮโมพอลิเมอร์ และมีกิ่งก้านสาขาที่เกิดจากพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเกิดจากพอลิเมอร์ที่มีหมู่ว่องไวหรือสามารถทำให้มีหมู่ว่องไวในสายโซ่พอลิเมอร์ได้ และอยู่ที่ตำแหน่งอื่นที่ไม่ใช่ปลายสายโซ่ กลไกการเกิดกราฟท์โคพอลิเมอร์อาจจะเป็นแบบอนุมูลอิสระ อีออนบวก หรือแบบควมแน่น แต่ส่วนใหญ่จะเป็นแบบอนุมูลอิสระ

หมู่ว่องไวต่อปฏิกิริยาในโซ่พอลิเมอร์ได้แก่หมู่ที่มีพันธะที่สามารถแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระได้ง่ายเช่น C-Br, S-H เป็นต้น ซึ่งหมู่ว่องไวอาจมีอยู่แล้วในสายโซ่พอลิเมอร์หรือไม่ก็ถูกนำเข้าไปในสายโซ่ด้วยกระบวนการย้ายลูกโซ่หรือปฏิกิริยาอื่นๆ เมื่อเกิดโซ่อนุมูลอิสระขึ้นแล้ว โซ่อนุมูลอิสระเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์อีกชนิดหนึ่งได้กราฟท์โคพอลิเมอร์เป็นผลิตภัณฑ์

กระบวนการทำให้เกิดโซ่อนุมูลอิสระโดยทั่วไปใช้ความร้อน หรือใช้พลังงานในรูปแบบอื่นเช่น แสงอัลตราไวโอเล็ต ทำให้เกิดการดึงเอาอะตอมของไฮโดรเจนออกจากสายโซ่พอลิเมอร์เกิดเป็นอนุมูลในสายโซ่พอลิเมอร์ขึ้นแล้วจึงให้มอนอเมอร์อีกชนิดหนึ่งเข้าทำปฏิกิริยาต่อกิ่งเป็นกราฟท์โคพอลิเมอร์ขึ้นได้เช่นกัน

2.7 กระบวนการผลิตพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน

กระบวนการผลิตพอลิเมอร์แบบอิมัลชันสามารถปรับปรุงจากการทำการผลิตในห้องทดลองซึ่งเป็นการปฏิบัติการศึกษาระบบขนาดเล็กเพื่อเป็นเครื่องชี้แนะ และนำไปประยุกต์ผลิตได้ในระดับการผลิตขนาดโรงงานได้ โดยการออกแบบการผลิตเชิงวิศวกรรมจะพิจารณาถึงความเร็วรอบของการ

ปั่นกวนและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็นหลัก ซึ่งจะต้องควบคุมให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามต้องการ

กระบวนการผลิตพอลิเมอร์แบบอิมัลชันในระดับห้องทดลอง

การปฏิบัติการทางห้องทดลองนี้จะใช้หม้อทำปฏิกิริยาเป็นขวดแก้วก้นกลมมาตรฐาน ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนล่างเป็นขวดแก้วก้นกลมและส่วนบนเป็นฝาครอบแก้วที่มีคอ เพื่อเป็นส่วนนำส่วนผสมต่าง ๆ ใส่ลงในขวดแก้วก้นกลมทำปฏิกิริยา

การทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันแบบอิมัลชันต้องมีการปั่นกวนสารตลอดการทำปฏิกิริยาเพื่อช่วยถ่ายเทความร้อนและทำให้ส่วนผสมต่าง ๆ เคลื่อนที่ ในการปั่นกวนอาจใช้แท่งกวนแม่เหล็กหรือใช้ใบพัดปั่นกวน เมื่อสารในขวดแก้วทำปฏิกิริยามีความหนืดมากกว่า 100 เซนติพอยซ์สำหรับฝาครอบแก้วของขวดแก้วก้นกลมทำปฏิกิริยาส่วนที่เป็นคอจะบรรจุด้วย

1. ที่จับเทอร์โมมิเตอร์
2. รีฟลักซ์คอนเดนเซอร์
3. กรวยเติมสาร
4. หัวพ่นก๊าซไนโตรเจน
5. ชุดเก็บตัวอย่าง

สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ทำได้ดังนี้

1. เทอร์โมมิเตอร์ ควรจุ่มเทอร์โมมิเตอร์ลงในสารที่ทำปฏิกิริยาและขีดเครื่องหมายแสดงระดับของเทอร์โมมิเตอร์ที่จมลงในสารที่ทำปฏิกิริยา

2. หัวพ่นก๊าซ ซึ่งติดตั้งไว้พ่นก๊าซไนโตรเจนเพื่อไล่ออกซิเจนออกจากน้ำและระบบ และสามารถนำหัวพ่นก๊าซออกจากระบบเมื่อเริ่มทำปฏิกิริยา ในการติดตั้งหัวพ่นก๊าซทำได้ 2 แบบคือการติดตั้งให้หัวพ่นก๊าซ ปล่อยก๊าซเหนือผิวหน้าของสารในหม้อปฏิกิริยา หรือติดตั้งหัวพ่นก๊าซบริเวณส่วนล่างของหม้อปฏิกิริยา เพื่อทำให้เกิดเป็นฟองก๊าซผุดขึ้นจากด้านล่าง

3. เติมสารต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบในการทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันแบบอิมัลชัน ได้แก่ มอนอเมอร์ ตัวริเริ่มปฏิกิริยา น้ำ และสารเพิ่มเสถียรภาพคอลลอยด์ผ่านกรวยเติมสารที่ติดตั้งไว้ที่ฝาครอบแก้วของหม้อปฏิกิริยา

4. ใบพัดปั่นกวน ติดตั้งให้ส่วนของใบพัดอยู่สูงจากระดับพื้นล่างของหม้อปฏิกิริยาเล็กน้อย ส่วนก้านของใบพัดติดตั้งกับมอเตอร์ที่ปรับความเร็วรอบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ชุดเก็บตัวอย่างซึ่งเป็นเข็มสุบตัวอย่าง ทำการเก็บตัวอย่างจากทางคอของฝาครอบโดยเป็นการเก็บตัวอย่างตามเวลา ตลอดการทำปฏิกิริยา เพื่อหาเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของแข็งแต่ละช่วงของปฏิกิริยาเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นต่อไป

6. ให้ความร้อนกับระบบโดยการแช่หม้อทำปฏิกิริยาในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิได้ โดยในการแช่น้ำร้อนนี้ ให้ความสูงของระดับน้ำอยู่ที่ระดับ 2/3 ของความสูงหม้อทำปฏิกิริยา และให้ความร้อนแก่ระบบและป็นกวนตลอดการทำปฏิกิริยา ซึ่งปกติจะใช้เวลาประมาณ 4-6 ชั่วโมง

ในระหว่างการทำปฏิกิริยาให้บันทึกอุณหภูมิของระบบที่เปลี่ยนแปลงพร้อมกับควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่ควบคุมไว้ สังเกตความโปร่งแสงของระบบ สี ตะกอนที่เกิดขึ้นและอื่นๆ ที่สนใจ หลังจากการทำปฏิกิริยาเสร็จสิ้น ควรกรองผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยตะแกรงขนาด 100 เมช เก็บตะกอนที่กรองได้แล้วนำไปทำให้แห้ง บันทึกน้ำหนักตะกอนไว้ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการกรองแล้วให้บรรจุเก็บไว้ในขวดแก้วขวดที่มีฝาปิดสนิท ก่อนนำไปทำการวิเคราะห์ หรือทดสอบคุณสมบัติต่อไป

กระบวนการผลิตพอลิเมอร์แบบอิมัลชันในระดับ โรงงานต้นแบบ(Pilot Plant)และการผลิตในระดับ โรงงานอุตสาหกรรม

เป็นการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันในถังทำปฏิกิริยาขนาดใหญ่ ซึ่งมีระบบในการทำปฏิกิริยาเหมือนกับการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันในระดับห้องทดลอง เพียงแต่เพิ่มปริมาณสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา และอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ต่าง ๆ มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ยังคงมีลักษณะโครงสร้างพื้นฐานคล้ายกับอุปกรณ์ เครื่องที่ใช้ทำปฏิกิริยาในห้องทดลอง สำหรับการผลิตพอลิเมอร์แบบอิมัลชันในระดับ โรงงานอุตสาหกรรม สิ่งที่ต้องควบคุมเป็นพิเศษคือ อุณหภูมิของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ถ้าควบคุมปริมาณ ความร้อนของปฏิกิริยาไม่เหมาะสมจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดการ runaway ขึ้นได้ ดังนั้นในกระบวนการผลิตพอลิเมอร์อิมัลชัน จะต้องมีการถ่ายเทความร้อนที่มีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตพอลิเมอร์แบบอิมัลชันในระดับ โรงงานประกอบด้วย

1. ถังทำปฏิกิริยา เป็นถังที่ทำจากโลหะจำพวก สเตนเลส มีขนาดใหญ่ รูปทรงต่าง ๆ กัน เช่น ทรงกลม ทรงกระบอกมน ฯลฯ ซึ่งสิ่งที่จะต้องดูแลเป็นพิเศษสำหรับถังทำปฏิกิริยาคือการดูแลรักษา ความสะอาดภายในถัง เพื่อป้องกันการเกิดการกัดกร่อน ป้องกันสิ่งเจือปนอื่นในปฏิกิริยาซึ่งจะทำให้การเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ และช่วยทำให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปด้วยดี ซึ่งถังทำปฏิกิริยาจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีอุปกรณ์ดังนี้ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ช่องสำหรับเติมสารเคมี ช่องนำก๊าซเข้าและออก ท่อถ่ายเทผลิตภัณฑ์ และช่องเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์

2. ไบพัตป้อนกวน เป็นไบพัตโลหะสแตนเลส มีรูปทรงต่าง ๆ ขนาดใหญ่ สำหรับไบพัตจะต้องรักษาความสะอาดให้เหมือนกัน

3. รีฟลักซ์คอนเดนเซอร์ เป็นคอนเดนเซอร์ที่มีขนาดใหญ่ ทำจากโลหะเช่น สแตนเลส ติดตั้งส่วนบนของถังทำปฏิกิริยาเพื่อช่วยรักษาความเข้มข้นของสารตั้งต้นและรักษาความดันในระบบ

4. ระบบกรองผลิตภัณฑ์ เป็นท่อกรองที่มีตะแกรงภายในติดตั้งต่อกับท่อนำผลิตภัณฑ์ออกของถังทำปฏิกิริยา ซึ่งระบบกรองผลิตภัณฑ์มีลักษณะดังรูป



รูปที่ 2.7.1 แสดงระบบการกรองผลิตภัณฑ์

ระบบกรองผลิตภัณฑ์นี้เป็นระบบกรองแบบ 2 ท่อ เมื่อท่อที่ 1 ผ่านการกรองผลิตภัณฑ์จนเกิดการอุดตันแล้ว จะเปลี่ยนเส้นทางการกรองผ่านท่อที่ 2 แทนเพื่อทำความสะอาดท่อกรองที่ 1 ต่อไป

5. ในโรงงานอุตสาหกรรมควรมีถังเก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตในแต่ละครั้งเช่นในโรงงานที่ใช้ถังทำปฏิกิริยาขนาด 3,000-5,000 แกลลอน ควรมีถังเก็บผลิตภัณฑ์ขนาด 20,000 แกลลอนเพื่อใช้เก็บผลิตภัณฑ์

2.8 ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงของกระบวนการผลิตลาเท็กซ์

ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงในการผลิตลาเท็กซ์ ส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งสามารถทำการแยกออกได้ และสามารถวิเคราะห์ได้โดยเครื่อง gas chromatography (GC) และทำการระบุสมบัติโดยใช้เครื่อง infrared spectroscopy (IR) และ nuclear magnetic resonance (NMR)

ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงในลาเท็กซ์ส่วนใหญ่ประกอบด้วย

1. ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงของตัวริเริ่มปฏิกิริยา

ในการเกิดปฏิกิริยาของตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระเช่น เปอร์ออกไซด์จะเกิดเป็นอนุมูลอิสระเปอร์ออกซี ทำปฏิกิริยากับ มอนอเมอร์ เกิดเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ต่อไป ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้ส่วนใหญ่จะไม่เสถียร เช่น ตัวริเริ่มปฏิกิริยาประเภท เปอร์ออกซีไดซัลเฟตจะเกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงประเภท ไบซัลเฟตเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งปฏิกิริยาของตัวริเริ่มปฏิกิริยาเช่นนี้จะเกิดขึ้นในปริมาณร้อยละ 50 ของปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา นั่นคือ สารเปอร์ออกซีไดซัลเฟต ทุกๆ 2 ตัวจะเกิดเป็น สารประเภท ไบซัลเฟตได้ ซึ่งสารประเภทไบซัลเฟตนี้ จะเป็นตัวเร่งการกักต้อนบนเนื้อเหลือของสารเคลือบผิวที่ผลิตขึ้น โดยการใช้สารเปอร์ออกซีไดซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา แต่ตัวริเริ่มปฏิกิริยาจำพวก เปอร์ออกซีไดซัลเฟต นี้จะเป็นไอออนที่เสถียร เมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นกลางหรือสถานะที่เป็นเบสเล็กน้อยในการทำปฏิกิริยา เพราะว่าเมื่อในการทำปฏิกิริยาในสถานะที่เป็นกรด จะทำให้ไอออนของเปอร์ออกซีไดซัลเฟต จะกลายเป็นไอออนของเปอร์ซัลเฟต แล้วเกิดปฏิกิริยา อีปอกซิเดชันได้ ดังสมการ



ตัวริเริ่มปฏิกิริยาอื่นที่สามารถเกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงได้ เช่น ตัวริเริ่มปฏิกิริยาพวก เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ จะมีผลิตภัณฑ์ข้างเคียงคือ กรดเบนโซอิก เบนซีน ฟีนิลเบนโซเอท เป็นต้น

2. ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงของอนุพันธ์มอนอเมอร์

ส่วนใหญ่จะเกิดเป็นปฏิกิริยาการเติมแบบ Diels-Alder ของมอนอเมอร์ เช่น 4-ไวนิลไซโครเฮกซีน จะเกิดขึ้นในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันของพวกบิวทาไดอีนที่ร้อน เช่น อะคริโลไนไตรล์ สไตรีน หรือ อะคริเลต เอสเทอร์ เป็นต้น การเกิดการเคลื่อนย้ายสายโซ่เข้าหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอนอเมอร์จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น พวกไดเมอร์ เป็นต้น และพวกมอนอเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด จะสามารถเกิดปฏิกิริยาได้โดยตัวของมันเอง ซึ่งไม่ใช่ปฏิกิริยา Diels-Alder แต่จะเกิดปฏิกิริยาการเติมแบบ Michael เช่น มอนอเมอร์กรดอะคริลิก จะเกิดเป็นไดเมอร์ได้เป็นพวก อะคริลิกเอสเทอร์ ซึ่งไดเมอร์จะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในการเก็บ กรดอะคริลิก และ ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเหล่านี้เองจะเป็นตัวที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันลดลง

3. ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงจากสารย้ายสายโซ่

สารย้ายสายโซ่ที่ใช้กันบ่อย ๆ เช่น สารเมอร์แคปแทน ซึ่งจะช่วยให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเพิ่มขึ้น เช่น ในปฏิกิริยาการผลิตลาเท็กซ์ ที่มี ตัวริเริ่มปฏิกิริยาเป็นพวก เปอร์ออกซีไดซัลเฟต ในระบบที่มีสถานะเป็นเบส ไอออนของเมอร์แคปไทด์จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงของพันธะคู่ของมอนอเมอร์เหมือนกับปฏิกิริยาการเติมแบบ Michael ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีพันธะเชื่อมโยงแบบ โมโนซัลไฟด์ ซึ่งสารพวกเมอร์แคปแทนนี้จะมีผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเป็น กรด ไทโอไดโกลโคลิก ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้มีปัญหาในเรื่องกลิ่นและในกรณีของการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของกรดอะคริลิก โดยมีสารย้ายสายโซ่ที่มีพวกกรด ไทโอไดโกลโคลิก เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงจะทำให้ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้เกิดปัญหา การเกิดสีขึ้นเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้เป็นเวลานาน

4. ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงของสารเพิ่มเสถียรภาพของคอลลอยด์

ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงของสารเพิ่มเสถียรภาพของคอลลอยด์ส่วนใหญ่เป็นพวกเกลือ ซึ่งปกติจะไม่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน หมู่แอลกอฮอล์ของสารอิมัลซิไฟเออร์ และ cellulosic protective colloids สามารถถูกออกซิไดซ์ด้วย เปอร์ออกไซด์ได้ และสารอิมัลซิไฟเออร์ที่มีพันธะไม่อิ่มตัว จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันลดลง

ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเหล่านี้จะมีความสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในขั้นสิ้นสุดปฏิกิริยา ซึ่งจะส่งผลทำให้สมดุลปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลง

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินการ

3.1 สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารเคมี

1.	มอนอเมอร์สไตรีน	เกรด การค้า
2.	มอนอเมอร์เมทิลเมทาอะคริเลต	การค้า
3.	มอนอเมอร์บิวทิลอะคริเลต	การค้า
4.	กรดอะคริลิก	การค้า
5.	โซเดียม โทเดคซิลซัลเฟต	การค้า
6.	โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต	การค้า
7.	โซเดียมฟอร์มัลดีไฮด์ซัลฟอกซิเลต	การค้า
8.	สารเพิ่มเสถียรภาพ NP 9	การค้า
9.	โซเดียมไฮดรอกไซด์	ปฏิบัติการ

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้

1. หม้อปฏิกริยาขนาด 2000 มล. พร้อมฝาปิดแบบ 4 คอและแหวนล็อก
2. มอเตอร์ไฟฟ้าและใบพัดปั่นกวน
3. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
4. เครื่องควบแน่น (Condenser) พร้อมสายยาง และเครื่องทำความเย็น
5. ถังแก๊สไนโตรเจน
6. กรวยหยดสาร (Dropping Funnal)
7. กระจกตวงขนาด 100 และ 500 มล.
8. บีกเกอร์ขนาด 250 500 และ 2000 มล.
9. ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มล.
10. แท่งแก้วคนและช้อนตักสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง

3.1.3 เครื่องมือตรวจสอบและวิเคราะห์

1. เครื่องวัดความหนืด Brook Field Viscometer รุ่น LVT บริษัท Brook Field Engineering
2. เครื่องทดสอบ Mechanical Stability
3. เครื่อง pH meter รุ่น 654 บริษัท Metrohm
4. เครื่องวัดขนาดอนุภาค Mastersizer-X รุ่น MSX14 บริษัท Malvern Instruments Limited
5. เครื่อง Infrared spectrophotometer (IR) รุ่น IR-810 บริษัท JASCO
6. ตู้อบ (oven) รุ่น 1370 FX บริษัท Sheldon Manufacturing , Inc.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

3.2.1 การศึกษาสภาวะและวิธีการที่เหมาะสมในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์

1.1 การศึกษาเทคนิคการเติมสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์มากที่สุด ในกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์มอนอเมอร์และสารตั้งต้นที่ใช้มีดังต่อไปนี้

1.1.1 มอนอเมอร์ (Monomer) ได้แก่

- สไตรีน (Styrene monomer = S)
- บิวทิลอะคริเลต (Butyl acrylate = BA)
- เมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate = MMA)
- กรดอะคริลิก (Acrylic acid =AA)

1.1.2 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) หรือ อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ในการทดลองใช้ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate = SDS)

1.1.3 ตัวริเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) ในการทดลองใช้ โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulfate = $K_2S_2O_8$)

สารตั้งต้นทั้งหมดนี้จะนำมาใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ โดยกระบวนการอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชันโดยวิธีการต่างๆดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1 ใส่มอนอเมอร์และตัวริเริ่มไว้ในกรวยหยดแต่ละอัน โดยเติมสารลดแรงตึงผิวและกรดอะคริลิกไว้ในหม้อปฏิกิริยาก่อน

วิธีการทดลอง

เตรียมมอนอเมอร์ในอัตราส่วน S / BA / MMA / AA = 30 / 67 / 1 / 2 โดยน้ำหนัก ใส่มอนอเมอร์ทั้งหมดลงในกรวยหยดยกเว้นกรดอะคริลิกเตรียมตัวริเริ่ม โดยชั่งโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตมาประมาณ 0.582 กรัม และเตรียมสารลดแรงตึงผิวโดยชั่ง SDS มาประมาณ 2.5 กรัม ตวงน้ำกลั่นมา 100 มล. นำไปละลายตัวริเริ่มจนละลายหมดแล้วจึงนำน้ำกลั่นส่วนที่เหลือไปละลาย SDS นำสารลดแรงตึงผิวและกรดอะคริลิกใส่ลงในหม้อปฏิกิริยาปรับ pH ให้มีค่าประมาณ 7 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 % โดยน้ำหนัก แล้วติดตั้งใบพัดปั่นกวนปิดฝาล็อคให้แน่น ติดตั้งหัวแยกกลางที่คออันใดอันหนึ่งของฝาหม้อปฏิกิริยาแล้วต่อกรวยหยดของมอนอเมอร์และตัวริเริ่มลงไปที่คอที่เหลือจึงต่อท่อเข้าแก๊สไนโตรเจน ตั้งอุณหภูมิของอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 50 °C

เริ่มทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันโดยหยดมอนอเมอร์ลงไปด้วยอัตราประมาณ 4 มล. / นาที และหยดตัวริเริ่มด้วยอัตรา 1 มล. / นาที เติมสารตั้งต้นทั้งสองให้หมดภายใน 90 นาทีและปั่นกวนด้วยความเร็ว 300 รอบ / นาที หลังจากหยดมอนอเมอร์และตัวริเริ่มหมดแล้ว เพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยาขึ้นเป็น 85 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยผ้าขาวบาง เพื่อแยกเอาตะกอนออกไปเก็บลาเท็กซ์ที่กรองได้ไว้เพื่อตรวจสอบต่อไป ทดลองสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่มีอัตราส่วนของมอนอเมอร์ต่างๆดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3.1 แสดงอัตราส่วนมอนอเมอร์ที่ใช้สังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์

สูตรที่	Styrene	BA	MMA	Acrylic acid
1	30	67	1	2
2	30	58	10	2
3	30	32	36	2
4	30	18	50	2
5	42	55	1	2
6	50	40	8	2
7	60	35	3	2

วิธีที่ 2 ใส่มอนอเมอร์ สารลดแรงตึงผิวและกรดอะคริลิกลงในหม้อปฏิกิริยาก่อนแล้วแบ่งตัวริเริ่มปฏิกิริยาเป็นอัตราส่วนต่างๆเติมลงไปตามช่วงเวลาที่กำหนด

เตรียมมอนอเมอร์ในอัตราส่วน S / BA / MMA / AA = 30 / 67 / 1 / 2 โดยน้ำหนักชั่ง โปแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตมาประมาณ 0.582 กรัม และสารลดแรงตึงผิว SDS มาประมาณ 2.5 กรัม ตวงน้ำกลั่นมา 100 มล. แบ่งมาละลาย ตัวริเริ่ม 40 มล. และละลาย SDS 60 มล. แบ่งสารละลายของตัวริเริ่มที่เตรียมได้ออกเป็น 4 ส่วน คือ 40 , 25 , 25 , และ 10 % ของปริมาตรทั้งหมด นำมอนอเมอร์ทั้งหมด สารลดแรงตึงผิว กรดอะคริลิกและสารละลายตัวริเริ่ม 40 % ใส่ลงในหม้อปฏิกิริยา ปรับ pH ให้เป็น 7 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 % ตั้งอุณหภูมิของอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 50 °C ปั่นกวนด้วยความเร็ว 300 รอบ / นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบ 2 ชั่วโมงแล้วจึงเติมสารละลายของตัวริเริ่ม 25 % ลงไปทำปฏิกิริยาทุก 1 ชั่วโมงแล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 70 °C เมื่อเติมสารละลายของตัวริเริ่ม 25 % ลงไปทั้งสองครั้งแล้วเติมสารละลายตัวริเริ่ม 10 % สุดท้ายทำปฏิกิริยาต่ออีก 1 ชั่วโมงโดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 80 °C กรองพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้ นำไปทดสอบต่อไปทดลองสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่มีอัตราส่วนของมอนอเมอร์ต่างๆเช่นเดียวกับวิธีที่ 1

เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ทั้ง 2 วิธีที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว จึงเลือกเอาวิธีที่ให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง (% conversion) สูงสุดมาศึกษาตัวแปรในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ตัวอื่นต่อไป

1.2 การศึกษาหาความเร็วรอบของใบพัดที่เหมาะสมในการปั่นกวน

จากข้อ 1.1 เลือกเทคนิคสังเคราะห์ที่ดีที่สุดมาปรับความเร็วรอบในการปั่นกวน โดยเริ่มจาก 250 , 350 และ 400 รอบ / นาทีตามลำดับ

3.2.2 การศึกษาปริมาณของตัวริเริ่มต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ของสารตั้งต้น

นำวิธีการสังเคราะห์ที่ดีที่สุดจากข้อ 1.1 และ 1.2 มาศึกษาปริมาณของตัวริเริ่มที่ใช้ในปริมาณต่างๆดังต่อไปนี้ โดยเพิ่มปริมาณตัวริเริ่มเป็น 150 , 200 , 250 และ 300 % ของปริมาณที่ใช้อยู่เดิม ศึกษาเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ของสารตั้งต้น

3.2.3 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นหลักในอัตราส่วนต่างๆ

หลังจากได้เทคนิคสังเคราะห์ ความเร็วรอบใบพัดและปริมาณตัวริเริ่มที่เหมาะสมแล้วจะทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่มีอัตราส่วนมอนอเมอร์ต่างๆดังนี้

สูตรที่	Styrene	BA	MMA	Acrylic acid
1	30	67	1	2
2	30	58	10	2
3	30	32	36	2
4	30	18	50	2
5	42	55	1	2
6	50	40	8	2
7	60	35	3	2

นำพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆดังที่จะกล่าวถึงต่อไป

3.3 การทดสอบพอลิเมอร์ลาเท็กซ์

3.3.1 การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content = TSC)

TSC สามารถหาได้โดยการชั่ง ตัวอย่างลาเท็กซ์หนัก 2 กรัมใส่ในงานแก้วกันแบนที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาทำให้เย็นตัวลงในเดซีเคเตอร์จนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วจึงชั่งน้ำหนักของงาน แล้วนำไปอบต่ออีกจนกระทั่งชั่งได้น้ำหนักคงที่ จากนั้นทำการคำนวณค่า TSC ดังต่อไปนี้

$$TSC (\%) = [(W_o - W_d) / (W_i - W_d)] \times 100$$

เมื่อ W_d คือมวลของงาน (กรัม)

W_i คือมวลของงานและตัวอย่างก่อนอบ

W_o คือมวลของงานและตัวอย่างหลังอบ

3.3.2 การหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง (% conversion)

เปอร์เซ็นต์การผันกลับของลาเท็กซ์สามารถตรวจสอบได้จากค่า TSC ที่ได้จากการทดลอง โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$Conversion (\%) = [TSC \text{ ที่ได้จากการทดลอง} / TSC \text{ จากทฤษฎี}] \times 100$$

3.3.3 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของลาเท็กซ์สามารถวัดได้จากเครื่อง Brook Field Viscometer โดยใส่ตัวอย่างลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มล. ใช้เข็มเบอร์ 2-3 ตามระดับความหนืดของตัวอย่าง และปรับความเร็วรอบของเข็มให้เท่ากับ 50 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการหมุนของเข็มประมาณ 3 นาทีทำการอ่านค่าซ้ำ 3 ครั้งโดยวัดค่าออกมาในหน่วย เซนติพอยด์ (centipoise = cps)

3.3.4 ค่า pH

วัดโดย pH meter โดยทำการเปรียบเทียบค่าวัด (Calibration) ขั้วอิเล็กโทรดด้วย สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 และ 7 ทำการเจือจางตัวอย่างลาเท็กซ์ด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 5 % โดยน้ำหนักและปรับอุณหภูมิของตัวอย่างที่จะนำมาวัดให้เป็น 25 °C ก่อนทำการวัด

3.3.5 การทดสอบเสถียรภาพเชิงกล (Mechanical stability test = MST)

เสถียรภาพเชิงกลของลาเท็กซ์คือความสามารถในการต้านทานต่ออิทธิพลทางกล ซึ่งทำให้มีการเพิ่มแนวโน้มของจำนวนและความรุนแรงของการชนกันของอนุภาค

เสถียรภาพเชิงกลสามารถวัดได้โดยการกวน ลาเท็กซ์ในปริมาณที่ทราบแน่นอนภายใต้สภาวะที่ถูกเจือจาง อุณหภูมิและความเร็วของการกวนที่กำหนด แล้วทำการวัดเวลาก่อนที่จะเริ่มเกิดการตกตะกอนของลาเท็กซ์ (Coagulation) โดยวัดเป็นวินาที

สภาวะต่างๆที่ตั้งให้กับเครื่องทดสอบเสถียรภาพเชิงกลจะเป็นดังนี้

- อัตราการหมุนของหัวกวน 14000 ± 200 รอบต่อนาที
- ของเหลวที่ใช้เจือจางคือ น้ำกลั่น
- ใช้น้ำหนักของตัวอย่างลาเท็กซ์ 80 ± 1 กรัม
- อุณหภูมิของตัวอย่างลาเท็กซ์ $35 \pm 1^{\circ}\text{C}$

3.3.6 การคำนวณหาขนาดของอนุภาคโดยเครื่อง Mastersizer - X

ขนาดอนุภาคของลาเท็กซ์สามารถหาได้ด้วยเครื่อง Masterizer - X โดยการหยดสารละลายของตัวอย่างที่มีความเข้มข้น 5 % โดยน้ำหนัก วัด Background ก่อนโดยใช้น้ำกลั่นแล้วจึงทำการหยดสารละลายตัวอย่างแล้วป้อนสารเข้าสู่ส่วนวิเคราะห์ จนกระทั่งมี % obscuration เท่ากับ 21 วัดขนาดของอนุภาคและคำนวณการกระจายตัวของอนุภาค (size distribution)

3.3.7 การคำนวณอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (T_g)

คำนวณจากการเฉลี่ยค่า T_g ของพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์แต่ละตัวจากสูตร

$$1 / T_g = W_1 / T_{g1} + W_2 / T_{g2} + W_3 / T_{g3} + \dots$$

โดยที่ T_g คืออุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์

$T_{g1,2,3,4...}$ คืออุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์แต่ละตัว

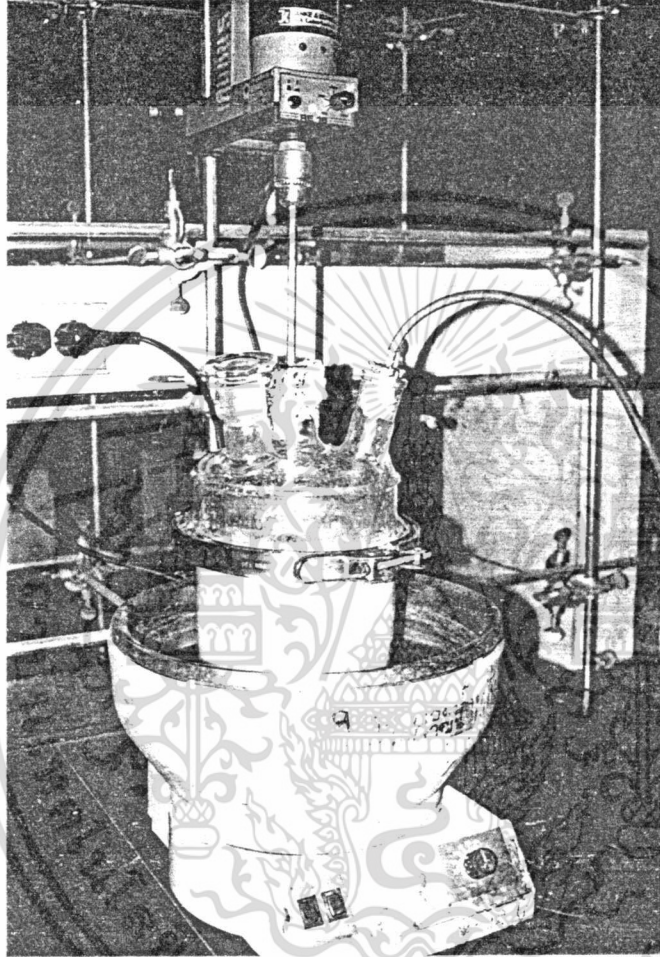
และ $W_{1,2,3,4...}$ คือ เศษส่วนน้ำหนัก (Weight fraction) ของมอนอเมอร์แต่ละตัว

3.3.8 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์

เตรียมฟิล์มพอลิเมอร์โดยใช้ลาเท็กซ์เคลือบบนแผ่นกระจกแล้วลอกออกจะได้ฟิล์มลาเท็กซ์ จากนั้นนำไปติดลงบนกรอบ แล้วใส่ในช่องตัวอย่างของเครื่อง Infrared spectrophotometer ทำการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันโดย scan ในช่วงความถี่ ระหว่าง $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$

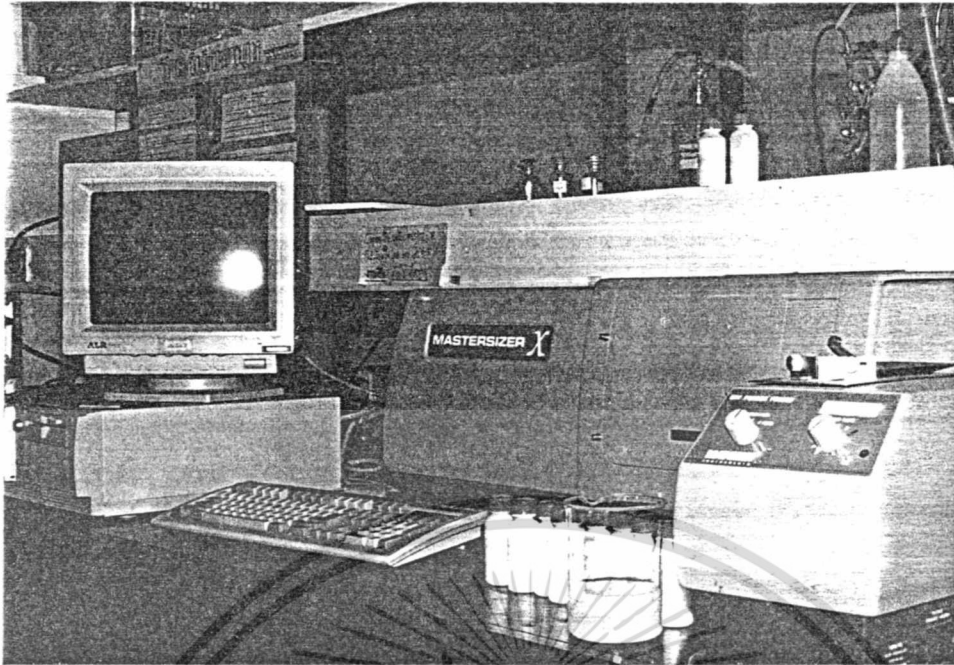


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

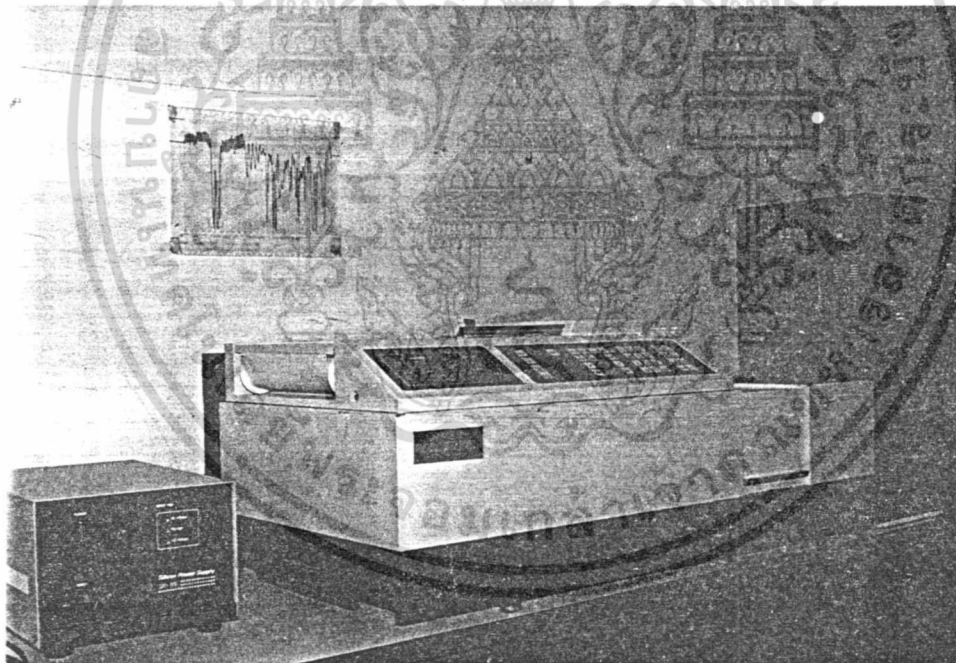


รูปที่ 3.1 ชุดสังเคราะห์ลาเท็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

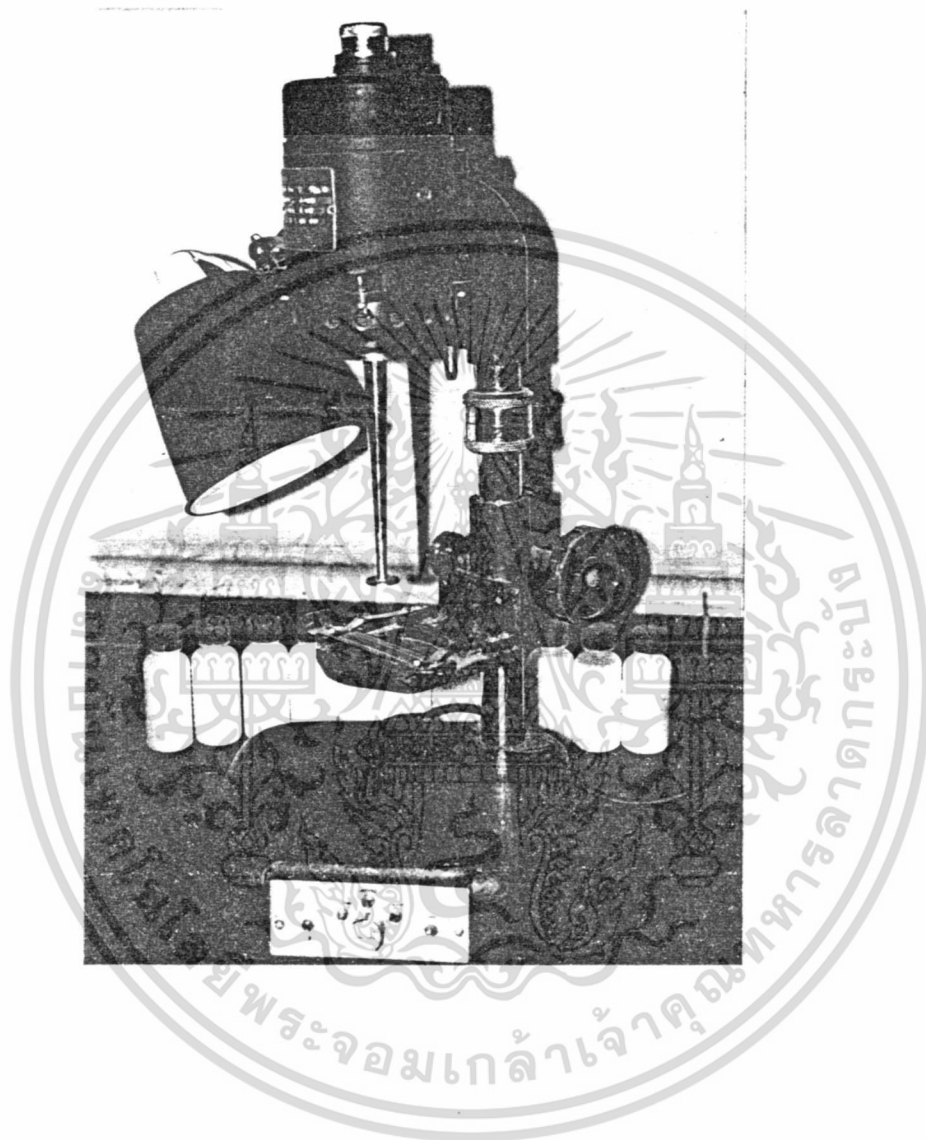


รูปที่ 3.2 เครื่องหาขนาดอนุภาค Mastersizer X



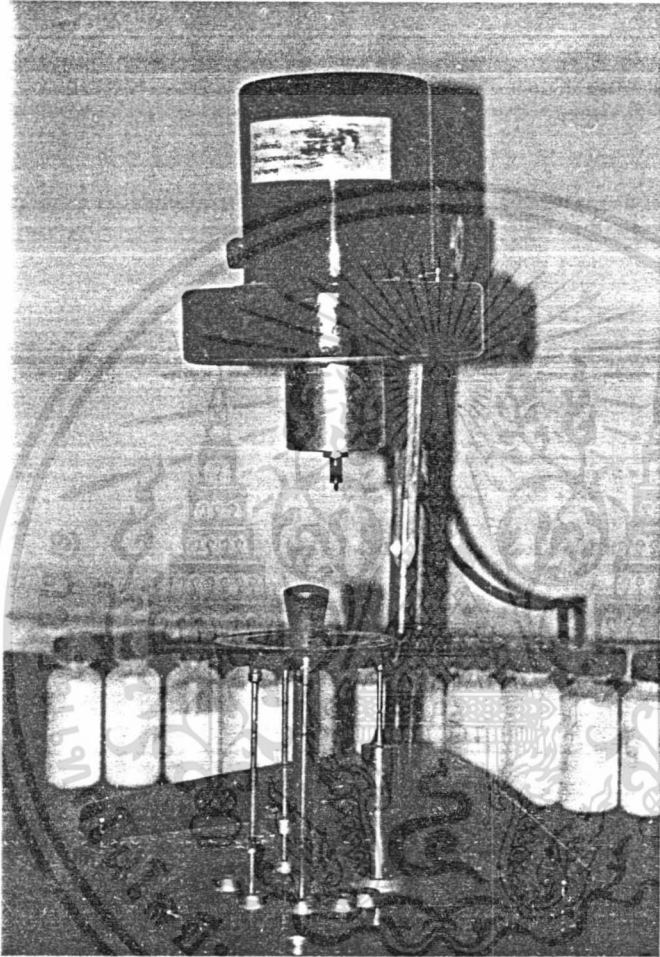
รูปที่ 3.3 เครื่อง Infrared Spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



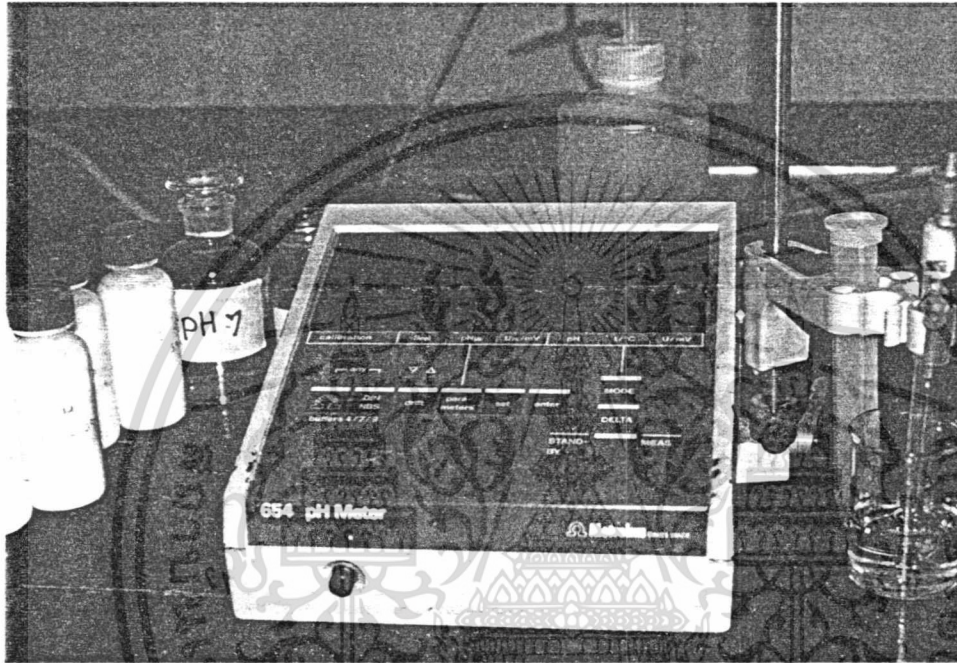
รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบ Mechanical Stability

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความหนืดแบบ Brook Field

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดค่า pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการวิจัย

4.1 การศึกษาสภาวะและเทคนิคที่เหมาะสมในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์

ตารางที่ 4.1.1 แสดงการเปรียบเทียบค่า Total solid content และค่า % Conversion ระหว่างลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์โดยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2

อัตราส่วน S / BA / MMA / AA	คุณสมบัติ			
	TSC		Conversion	
	วิธีที่ 1 *	วิธีที่ 2 *	วิธีที่ 1 *	วิธีที่ 2 *
30 / 67 / 1 / 2	39.50	43.21	78.43	83.77
30 / 58 / 10 / 2	48.80	-	94.61	-
30 / 32 / 36 / 2	26.90	-	52.15	-
30 / 18 / 50 / 2	45.00	-	87.24	-
42 / 55 / 1 / 2	53.69	-	-	-
50 / 40 / 8 / 2	45.00	-	87.24	-
60 / 35 / 3 / 2	59.17	-	-	-

หมายเหตุ

วิธีที่ 1* โส้มนอเมอร์และตัวริเริ่มไว้ในกรวยหยด สารลดแรงตึงผิวและกรดอะคริลิกอยู่ในหม้อปฏิกริยา

วิธีที่ 2* โส้มนอเมอร์ สารลดแรงตึงผิว กรดอะคริลิกในหม้อปฏิกริยา แบ่งตัวริเริ่มเป็นอัตราส่วนต่างๆ เติมลงไป

เวลาที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.2 แสดงค่า Total solid content , % Conversion และขนาดอนุภาคของลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของใบพัดปั่นกวน

ความเร็วรอบของใบพัด (rpm)	%TSC	%Conversion	Particle size (µm)
250	43.21	83.77	2.60
350	41.44	80.34	2.34
400	50.36	98.12	2.28

หมายเหตุ ลาเท็กซ์สูตรที่สังเคราะห์คือ S / BA / MMA / AA = 30 / 67 / 1 / 2
ใช้วิธีการสังเคราะห์แบบที่ 2

4.1.1 จากการทดลอง เมื่อทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์โดยใช้วิธีการที่ 1 เปรียบเทียบกับวิธีที่ 2 พบว่าวิธีที่ 2 จะสามารถสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงสูงกว่าวิธีที่ 1 (เปรียบเทียบระหว่างสูตร S / BA / MMA / AA = 30 / 67 / 1 / 2 ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2

4.1.2 อุณหภูมิของปฏิกิริยาเป็นสิ่งสำคัญในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ การควบคุมอุณหภูมิช่วงแรกของปฏิกิริยาให้อยู่ที่ 50 °C เนื่องจากที่อุณหภูมินี้ตัวริเริ่มปฏิกิริยา โปแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตจะแตกตัวเกิดเป็นอนุมูลอิสระและจะไปริเริ่มการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน เมื่อผ่านช่วง 2 ชั่วโมงแรกของปฏิกิริยาไปแล้วการเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยาจะช่วยทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้าได้เร็วขึ้นดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.1 แต่ถ้าอุณหภูมิของปฏิกิริยาสูงเกินไปจะทำให้ลาเท็กซ์เกิดตกตะกอน (Coagulation) ได้ ซึ่งจะทำให้ปริมาณของแข็งรวมในลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้มีค่าน้อยลง

4.1.3 การเพิ่มความเร็วรอบของใบพัดในการปั่นกวนจะมีผลทำให้ขนาดของอนุภาคของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์เล็กลงจากตารางที่ 1.2 จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์โดยใช้ความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบในการปั่นกวน 400 รอบ / นาที จะมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน ไปเป็นผลิตภัณฑ์สูงสุด ถ้าใช้ความเร็วรอบในการปั่นกวนมากกว่านี้จะทำให้สารตั้งต้นในหม้อปฏิริยาล้นออกมาได้ ดังนั้นการใช้ความเร็วรอบ 400 รอบ / นาทีจึงเหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์

4.2 การศึกษาปริมาณของตัวริเริ่มต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน ไปเป็นผลิตภัณฑ์ของสารตั้งต้น

ตารางที่ 4.2.1 แสดงผลของปริมาณของตัวริเริ่มต่อค่า Total solid content , % Conversion

และขนาดอนุภาคของลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์

ปริมาณของตัวริเริ่มที่เพิ่มขึ้นจากเดิม	%TSC	%Conversion	Particle size(μm)
150 %	46.22	89.26	2.03
200 %	48.01	92.59	2.36
250 %	50.06	96.31	3.60
300 %	50.36	98.12	2.28

หมายเหตุ ลาเท็กซ์สูตรที่สังเคราะห์คือ S / BA / MMA / AA = 30 / 67 / 1 / 2

ใช้วิธีการสังเคราะห์แบบที่ 2

4.2.1 การเพิ่มปริมาณของตัวริเริ่มขึ้นจากเดิม (0.582 กรัม) อีก 150 , 200 , 250 และ 300 % ของปริมาณเดิมจะทำให้ปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน ไปเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น แต่จะไม่มีผลต่อขนาดอนุภาค จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่มี S / BA / MMA / AA = 30 : 67 : 1 : 2 และเพิ่มปริมาณตัวริเริ่มขึ้นอีก 300 % จากเดิมจะมีปริมาณของแข็งและเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน ไปเป็นผลิตภัณฑ์สูงสุด

4.2.2 การเพิ่มปริมาณตัวริเริ่มขึ้นในปริมาณสูงๆนี้จะมีผลทำให้ความว่องไวในการเกิดปฏิริยาเพิ่มขึ้น และลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์จะมีความหนืดสูงขึ้นจนเกิดเป็นคริมก่อนที่จะสิ้นสุดปฏิริยา ดังนั้นต้องควบคุมอุณหภูมิของปฏิริยาอย่าให้สูงจนเกินไป เพราะการที่มีปริมาณตัวริเริ่มอยู่ในระบบมากเกินไปจะทำให้เกิดการคายความร้อนออกมามากทำให้อุณหภูมิของระบบสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นหลักในอัตราส่วนต่างๆ

ตารางที่ 4.3.1 แสดงสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นหลักในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน S/BA/MMA/AA	TSC %	Conversion %	Mechanical stability (S)	Viscosity (cps)	pH	T _g (°c) calculation	Particle size (μm)
30/ 67/ 1/ 2	50.36	98.12	1389	1763	4.6	-16.59	2.28
30/ 58/10/ 2	51.44	98.11	476	90	5.1	-9.84	2.30
30/32/ 36/ 2	49.05	98.89	684	30	7.4	30.03	2.00
30/18/ 50/ 2	50.37	98.22	137	23	3.8	60.33	3.16
42/ 55/ 1/ 2	48.07	99.01	>1500	14510	6.3	-2.73	23.18
50/ 40/ 8/ 2	47.29	99.11	710	2833	7.2	21.12	10.01
60/ 35/ 3/ 2	48.92	97.84	374	36	7.3	30.03	1.36

หมายเหตุ ใช้วิธีการสังเคราะห์แบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3.2 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติต่างของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์โดยวิธีที่ 1 และ วิธีที่ 2 ซึ่งเพิ่มปริมาณของตัวริเริ่มขึ้น 300 % ความเร็วรอบของใบพัด 400 รอบ / นาที

อัตราส่วน S/BA/MMA/ AA	TSC %		Conversion %		Mechanical stability (S)		Viscosity (cps)		pH	
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2
30/ 67/ 1/ 2	39.50	50.36	78.43	98.12	100	1389	40	1763	3.7	4.6
30/ 58/ 10/ 2	48.80	51.44	94.61	98.11	1416	476	150	90	6.4	5.1
30/ 32/ 36/ 2	26.90	49.05	52.15	98.89	75	684	60	30	5.7	7.4
30/ 18/ 50/ 2	45.00	50.37	87.24	98.22	88	137	20	23	5.1	3.8
42/ 55/ 1/ 2	53.69	48.07	-	99.01	210	-	40	14510	3.1	6.3
50/ 40/ 8/ 2	45.00	47.29	87.24	99.11	153	710	16	2833	4.5	7.2
60/ 35/ 3/ 2	59.17	48.92	-	97.84	80	374	40	36	3.1	7.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 เมื่อนำเทคนิคสังเคราะห์โดยควบคุม สภาวะของปฏิกิริยาและปริมาณของตัวริเริ่มที่เหมาะสมมาใช้ร่วมกันในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นองค์ประกอบหลักในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ 4 สูตรแรกที่สังเคราะห์ได้คือสูตรที่มี S / BA / MMA / AA เท่ากับ 30 / 67 / 1 / 2 , 30 / 58 / 10 / 2 , 30 / 32 / 36 / 2 และ 30 / 18 / 50 / 2 จะเห็นได้ว่าสูตรต่างๆ เหล่านี้มีปริมาณสไตรีนเท่ากันทั้งหมด แต่ลดปริมาณของบิวทิลอะคริเลตลงพร้อมกับเพิ่มปริมาณของเมทิลเมทาคริเลตขึ้น จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งจะมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นสูตร 30 / 32 / 36 / 2 มีปริมาณของแข็งต่ำที่สุดแต่จะมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์สูงสุด ส่วนสูตรอื่นๆ จะมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับ 3 สูตรหลังนั้นเป็นการเพิ่มปริมาณของสไตรีนและลดปริมาณบิวทิลอะคริเลตพบว่าปริมาณของแข็งจะมีค่าใกล้เคียงกันแต่สูตร 50 / 40 / 8 / 2 จะมีค่าต่ำที่สุด ส่วนเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์นั้นพบว่าสูตร 50 / 40 / 8 / 2 จะมีค่าสูงสุดและสูตร 60 / 35 / 3 / 2 จะมีค่าต่ำสุด

4.3.2 สำหรับสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้มีดังนี้

อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature = T_g) ของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นหลักจะแปรผันตามปริมาณมอนอเมอร์ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า เมื่อปริมาณของเมทิลเมทาคริเลต เพิ่มขึ้น โดยให้ปริมาณของสไตรีนคงที่จะทำให้อุณหภูมิ T_g เพิ่มขึ้นและในทำนองเดียวกันการเพิ่มปริมาณสไตรีนก็จะทำให้อุณหภูมิ T_g สูงขึ้นเช่นเดียวกัน สถิติรภาพเชิงกล จากตารางที่ 4.3.2 จะเห็นได้ว่าลาเท็กซ์ที่ผลิตจากสูตร S / BA / MMA / AA = 30 / 67 / 1 / 2 จะมีค่าสูงสุดแต่ลาเท็กซ์ที่เตรียมได้นี้มีลักษณะเป็นครีม ดังนั้นถ้าจะเปรียบเทียบเฉพาะสูตรที่เป็นลาเท็กซ์แล้วพบว่าลาเท็กซ์ที่มีสถิติรภาพเชิงกลสูงสุดคือ สูตร S / BA / MMA / AA = 30 / 32 / 36 / 2 ความหนืด ค่าความหนืดของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้สำหรับสูตรที่เป็นของเหลวจะมีค่าอยู่ในช่วง 20-90 cps และสำหรับสูตรที่เป็นครีมจะมีค่าค่อนข้างสูงดังตารางที่ 3 และจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณของบิวทิลอะคริเลตเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นด้วยขนาดอนุภาค จากตารางที่ 4.3.1 พบว่าลาเท็กซ์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุดคือสูตร S / BA / MMA / AA = 60 / 35 / 3 / 2 สำหรับลาเท็กซ์ที่มีลักษณะเป็นครีมจะมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น

4.3.3 เมื่อเปรียบเทียบค่า ปริมาณของแข็ง เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง สถิติรภาพเชิงกลและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนืด ของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีที่ 1 และ 2 การปรับปรุงเทคนิคการสังเคราะห์และสถานะในการทำปฏิกิริยาตลอดจนปริมาณตัวริเริ่มที่เหมาะสม จากตารางที่

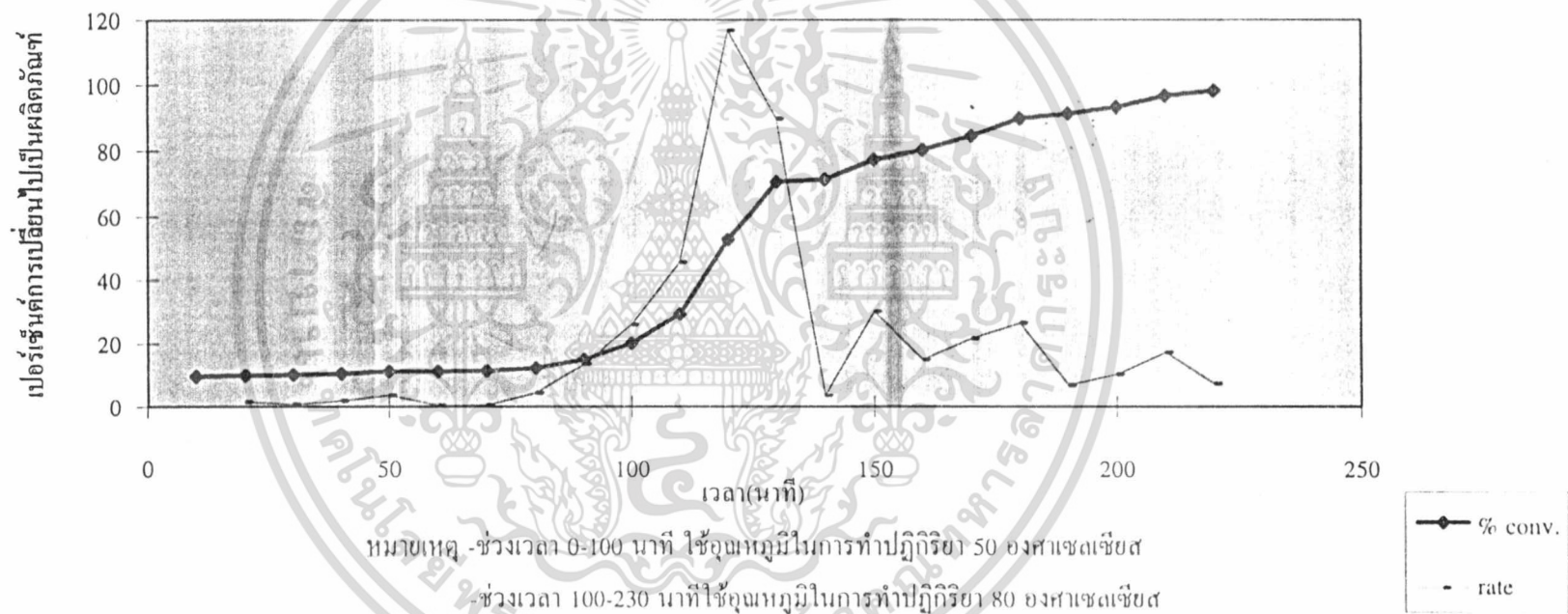
4.3.2 พบว่า วิธีการที่ 2 จะให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์และเสถียรภาพเชิงกลดีกว่าการสังเคราะห์โดยวิธีที่ 1 ส่วนความหนืดนั้นพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่มีปริมาณของบิวทิลอะครีเลตมากเช่นสูตร S / BA / MMA / AA = 30 / 67 / 1 / 2 , 42 / 55 / 1 / 2 หรือ 50 / 40 / 8 / 2 มีความหนืดของลาเท็กซ์ที่ได้จากวิธีที่ 2 สูงกว่าวิธีที่ 1 เนื่องจากลาเท็กซ์สูตรดังกล่าวที่สังเคราะห์ได้จะมีลักษณะเป็นครีม ส่วนลาเท็กซ์สูตรอื่นๆนั้น วิธีการที่ 1 ส่วนมากจะให้ความหนืดสูงกว่าวิธีที่ 2

4.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

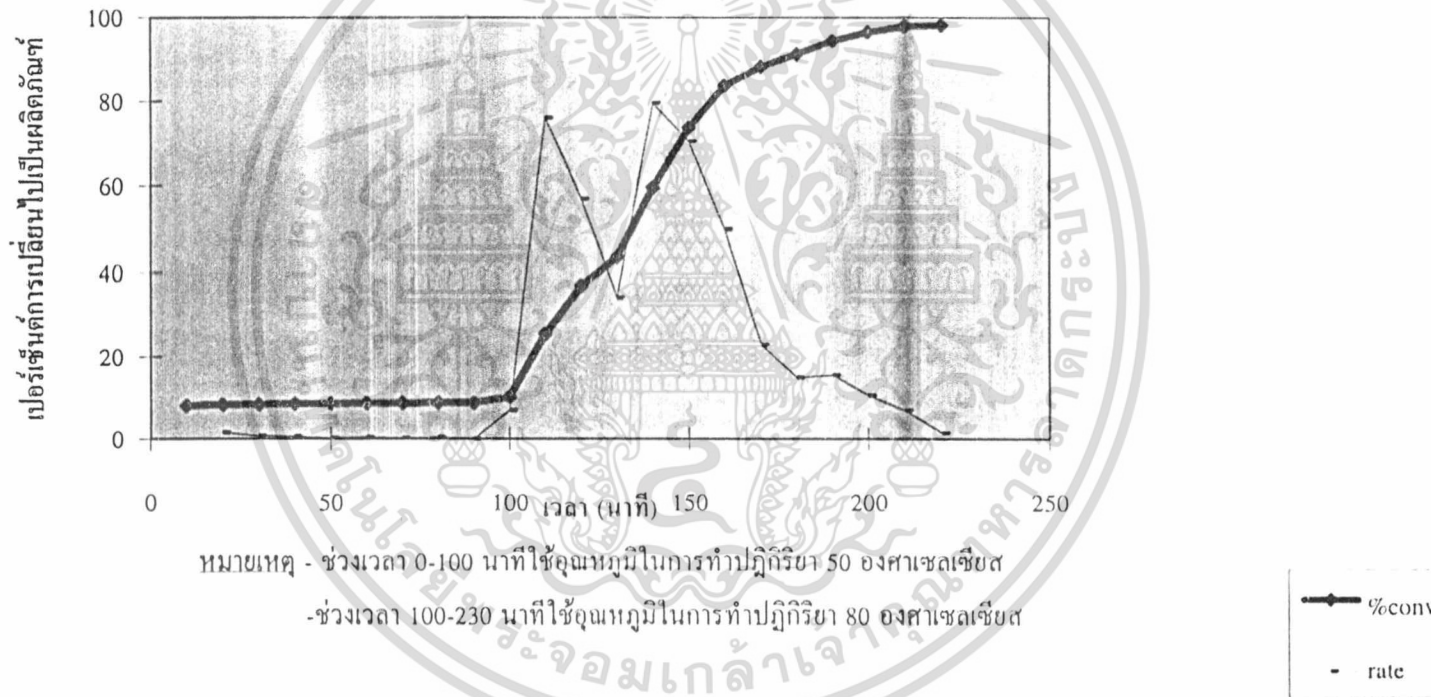
จากอินฟราเรดสเปกตรัมของตัวอย่างลาเท็กซ์สูตร S / BA / MMA / AA = 50 / 40 / 8 / 2 ที่แสดงไว้ในภาคผนวก ก. พบว่า พีกที่เกิดขึ้นในช่วงความถี่ 1800-1700 cm^{-1} เป็นพีกของหมู่คาร์บอนิลของเอสเทอร์ (C=O) เกิดจากมอนอเมอร์อะครีเลต ส่วนพีกที่ปรากฏที่ 1650 cm^{-1} เป็นพีกของพันธะคู่ (C=C) และยังพบพีกของสารอะโรมาติกที่ 1500-1400 cm^{-1} และอีกสองพีกเล็กๆที่ปรากฏที่ด้านซ้ายของพีกมากกว่า 3000 cm^{-1} พีกเหล่านี้เกิดจากหมู่ฟีนิลของสไตรีน

รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์กับเวลาที่ใช้ในการเตรียม

ลาเท็กซ์สูตร S/BA/MMA/AA=30/67/1/2

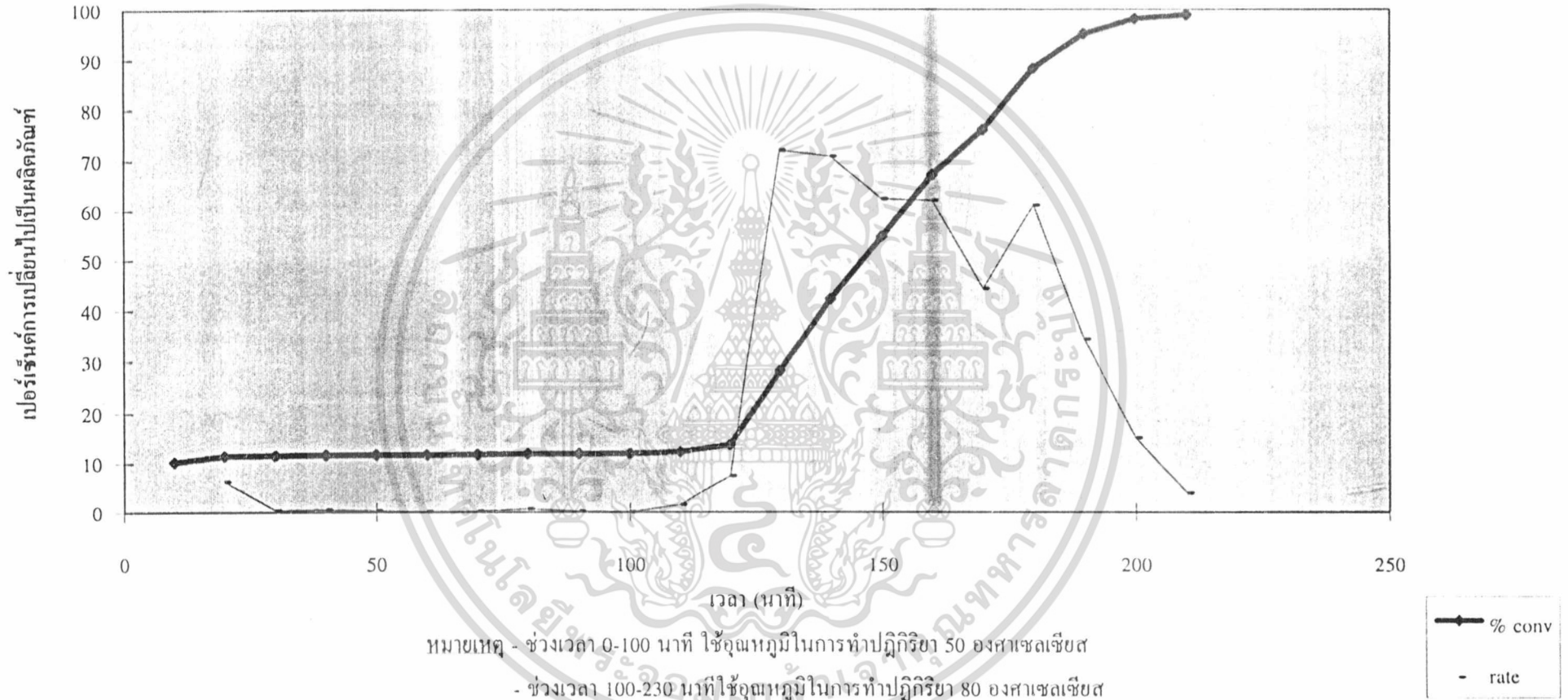


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์กับเวลาที่ใช้ในการเตรียมฉนวนที่กึ่งสูตร S/BA/MMA/AA=30/58/10/2



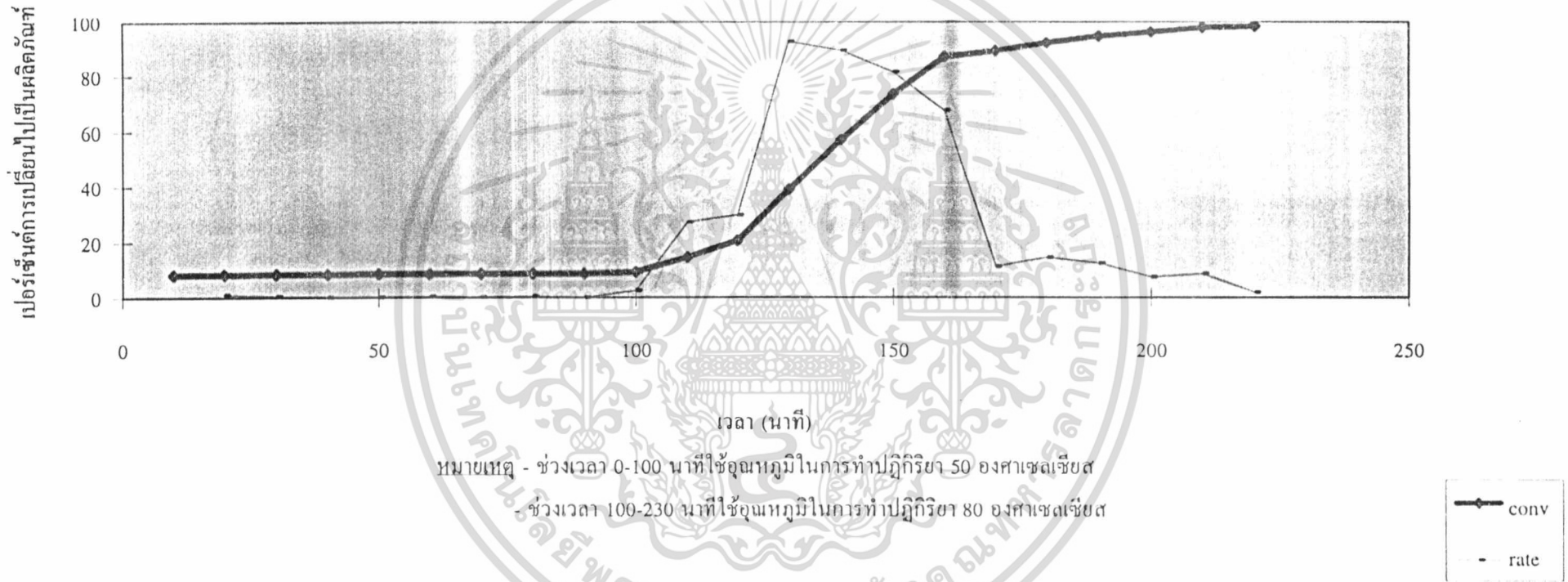
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์กับเวลาที่ใช้ในการเตรียม

ลาเท็กซ์สูตร S/BA/MMA/AA=30/32/36/2

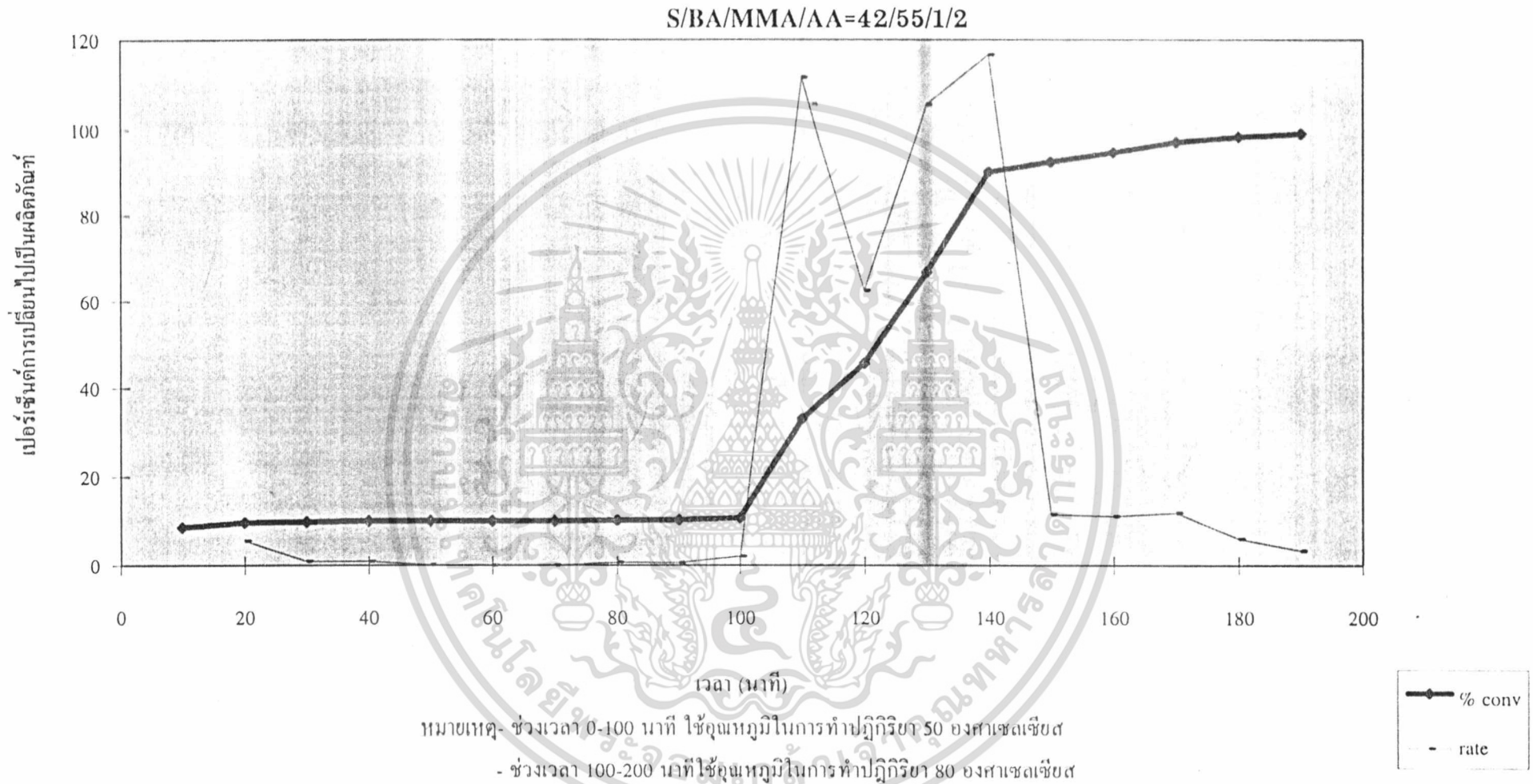


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์กับเวลาที่ใช้ในการเตรียมลาเท็กซ์สูตร

S/BA/MMA/AA= 30/18/50/2

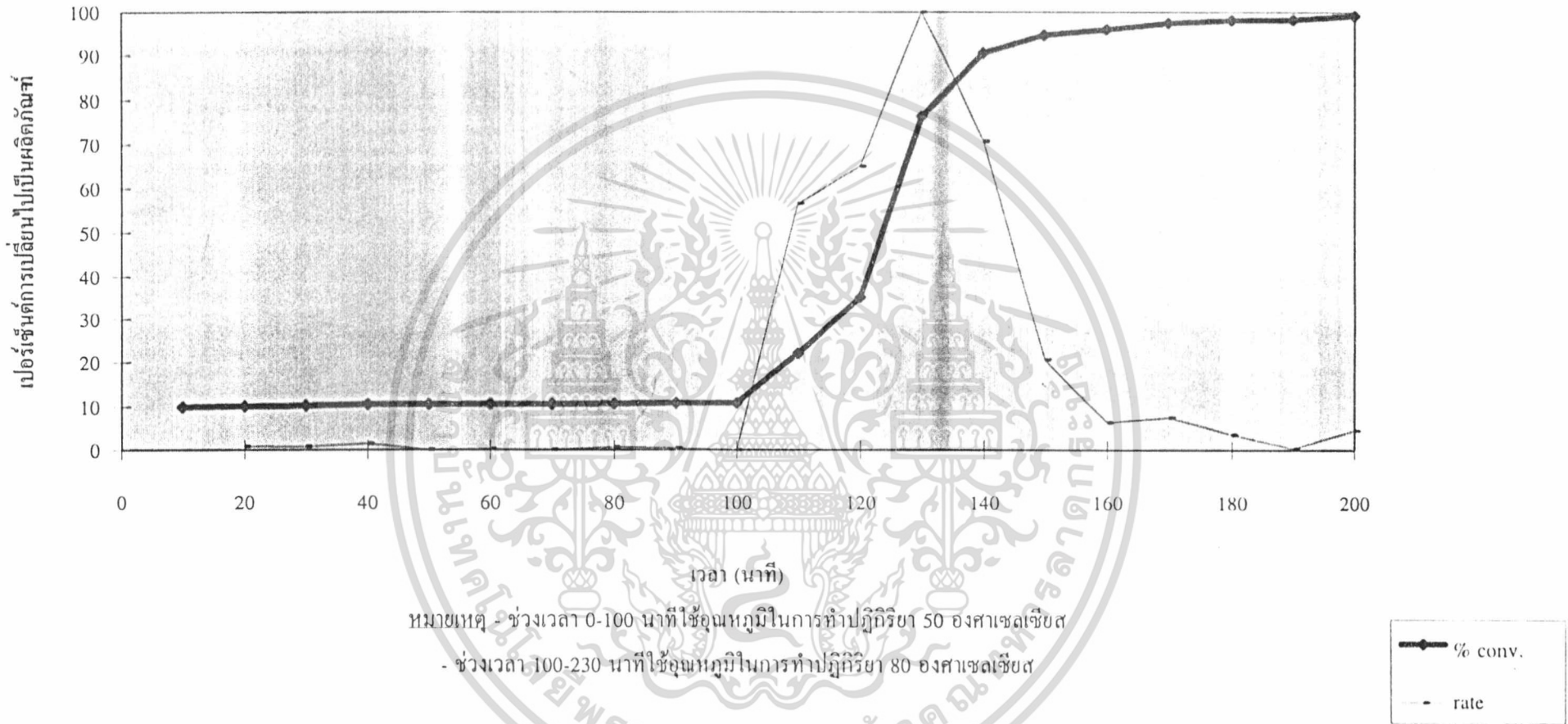


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์กับเวลาที่ใช้ในการเตรียมดาเท็กซ์สูตร



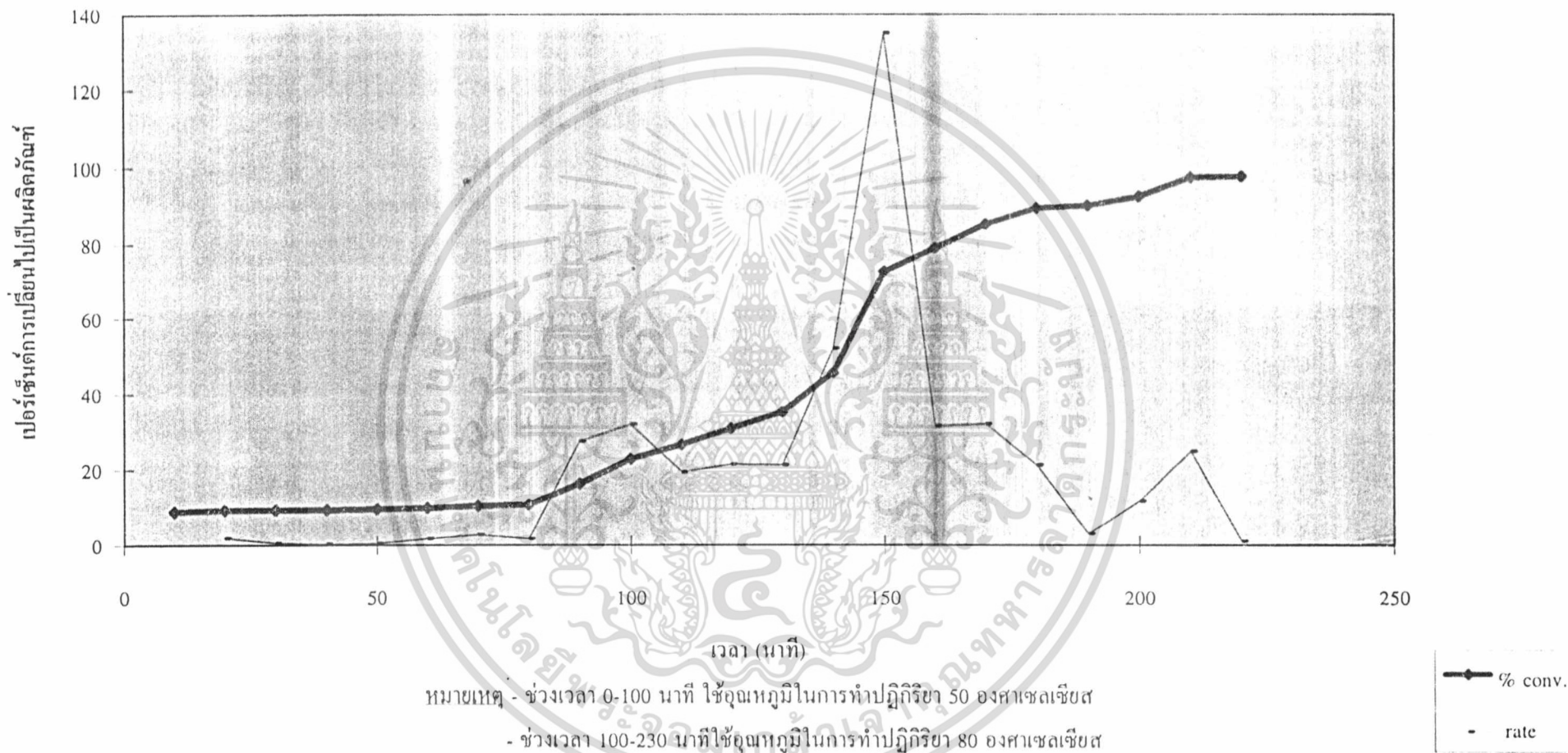
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์กับเวลาที่ใช้ในการเตรียมลาเท็กซ์สูตร

S/BA/MMA/AA=50/40/8/2

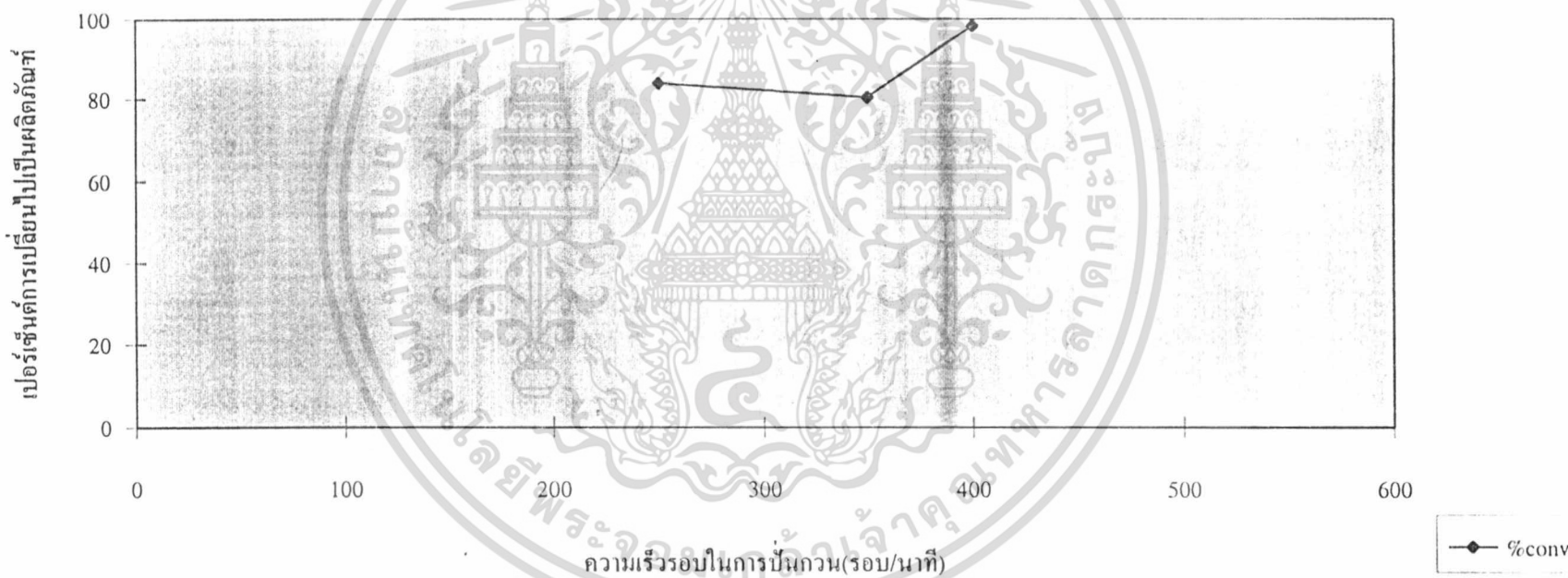


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปผลิตภัณฑ์กับเวลาที่ใช้ในการเตรียมลาเท็กซ์สูตร S/

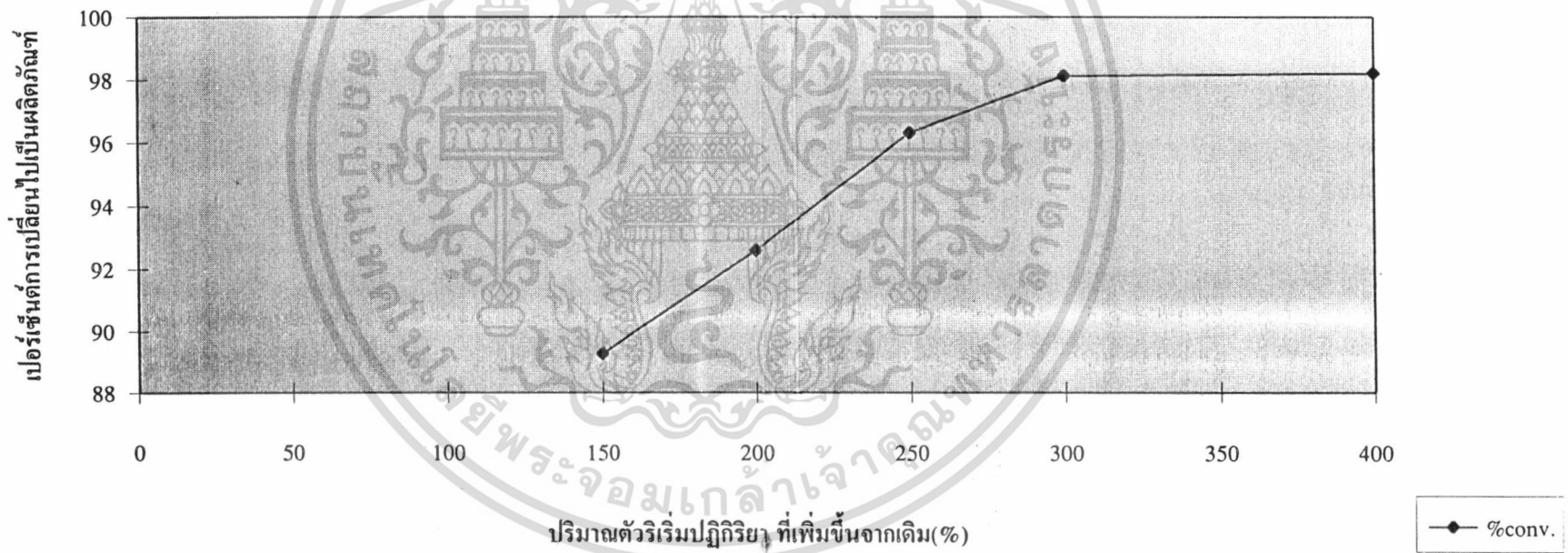
BA/MMA/AA=60/35/3/2



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์กับความเร็วยรอบในการปั่น
กวนของการสังเคราะห์ลาเท็กซ์สูตร S/BA/MMA/AA=36/67/1/2

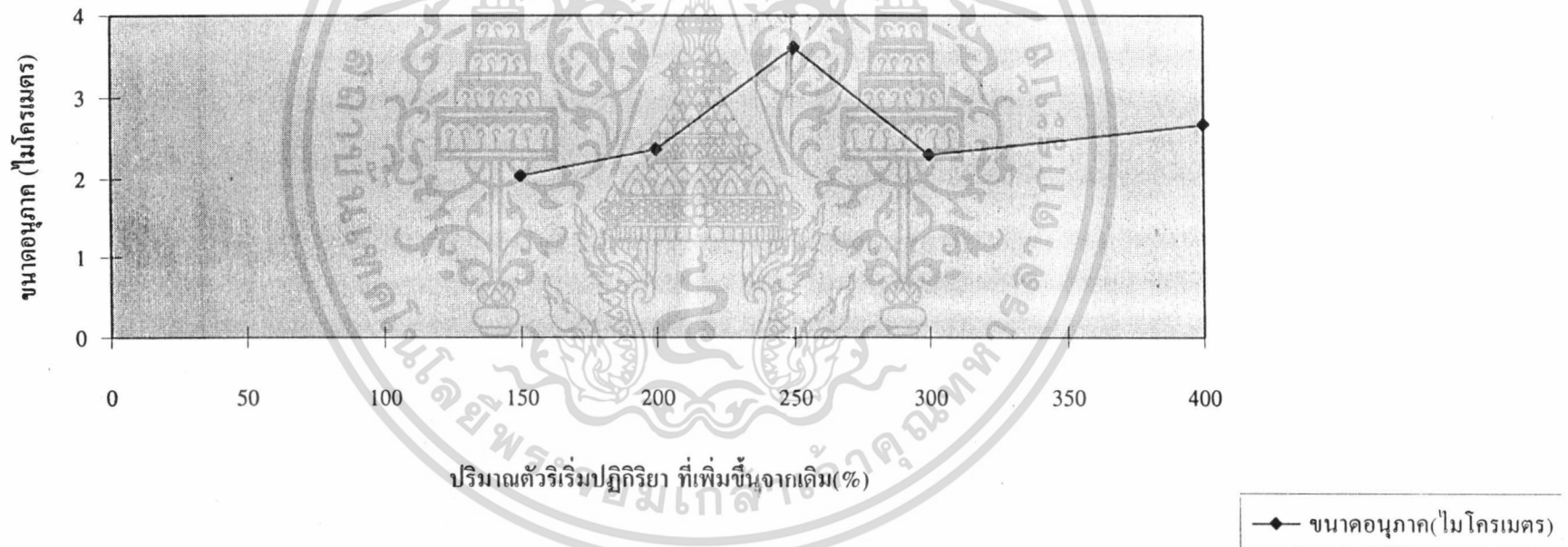


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์กับปริมาณตัวริเริ่ม
ปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นจากเดิมในการเตรียมลาเท็กซ์สูตร S/BA/MMA/AA = 30/67/1/2



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นจากเดิมในการ

เตรียมลาเท็กซ์สูตร S/BA/MMA/AA=30/67/1/2



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การศึกษาถึงสภาวะและเทคนิคที่เหมาะสมในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์พบว่าวิธีการที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คือวิธีการที่ 2 ทำโดยการแบ่งส่วนของสารละลายตัวริเริ่มออกเป็น 40 25 25 และ 10 % โดยปริมาตรซึ่งปริมาณสารละลายตัวริเริ่ม 40 % จะเติมลงไปพร้อมกับการเริ่มทำปฏิกิริยา และหลังจากดำเนินปฏิกิริยาไปแล้ว 2 ชั่วโมง จึงเติมอีก 3 ส่วนที่เหลือลงในปฏิกิริยาทุกๆหนึ่งชั่วโมง

-สภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา คือ อุณหภูมิในตอนเริ่มต้นปฏิกิริยาเท่ากับ 50°C ในช่วง 2 ชั่วโมงแรกในการทำปฏิกิริยาและเพิ่มเป็น 70°C ในอีก 2 ชั่วโมงต่อมาและในช่วงชั่วโมงสุดท้ายของการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเป็น 80°C

-ความเร็วรอบของใบพัดที่เหมาะสมคือ 400 รอบ / นาที ซึ่งจะทำให้ได้พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก

5.1.2 จากการศึกษาถึงปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่มีผลต่อปริมาณของแข็งและเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ลาเท็กซ์พบว่าปริมาณของตัวริเริ่มที่เพิ่มขึ้นจากเดิมอีก 300 % จะทำให้มีปริมาณของแข็งและเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์สูงสุด

5.1.3 เมื่อนำเอาข้อมูลจากข้อ 5.1.1 และ 5.1.2 มาร่วมกันสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่มีสไตรีนเป็นหลักโดยแปรผันปริมาณมอนอเมอร์ในอัตราส่วนต่างๆ จะทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) มีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณของเมทิลเมทาอะคริเลตหรือสไตรีนเพิ่มขึ้น ค่าเสถียรภาพเชิงกล ความหนืดและขนาดอนุภาคจะมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละสูตร ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้แตกต่างกัน เช่น ใช้เป็นกาวสำหรับยึดติดพื้นพรม ตัวช่วยยึดติดพื้นผิวในสีหรือเป็นกาวอุดรอยร้าว สำหรับเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ในสูตรต่างๆจะมีค่าสูงขึ้น โดยที่ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ในช่วงเวลาต่างๆจะสามารถติดตามได้จากกราฟระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์กับเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยาซึ่งแสดงไว้ในบทที่ 4

5.1.4 ลักษณะของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้

เมื่อเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้โดยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ที่ปรับปรุงเทคนิคสังเคราะห์และสภาวะในการทำปฏิกิริยาแล้วพบว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก เช่นเดียวกับเสถียรภาพเชิงกลซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น ความหนืดของลาเท็กซ์สูตรต่างๆที่สังเคราะห์ได้จากวิธีที่ 2 ส่วนใหญ่จะมีค่ามากกว่าลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธีแรก

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่รายงานในตารางที่ 4.3.1 จะได้จาก การคำนวณซึ่งในการวิจัยต่อไป ควรจะต้องทำการทดสอบจากเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) แล้วทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ

5.2.2 ควรมีการปรับปรุงชุดอุปกรณ์ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ในระดับปฏิบัติการ โดยออกแบบให้มีการส่งผ่านก๊าซใน ไตรเจนออกจากด้านล่างเพื่อไล่ก๊าซออกซิเจนออกจากรูน้ำเป็นการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลาเท็กซ์ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันและใช้เทอร์โมคัปเปิลในการวัดอุณหภูมิซึ่งจะสะดวกกว่าการใช้เทอร์โมมิเตอร์ธรรมดาจุ่มลงไปวัดอุณหภูมิเพราะอาจถูกตีด้วยใบพัดที่กำลังหมุนอยู่แตกได้และระบบควบคุมอุณหภูมิควรมีประสิทธิภาพสามารถลดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็ว รูปของชุดอุปกรณ์ดังกล่าวนี้แสดงไว้ในภาคผนวก ค.

เอกสารอ้างอิง

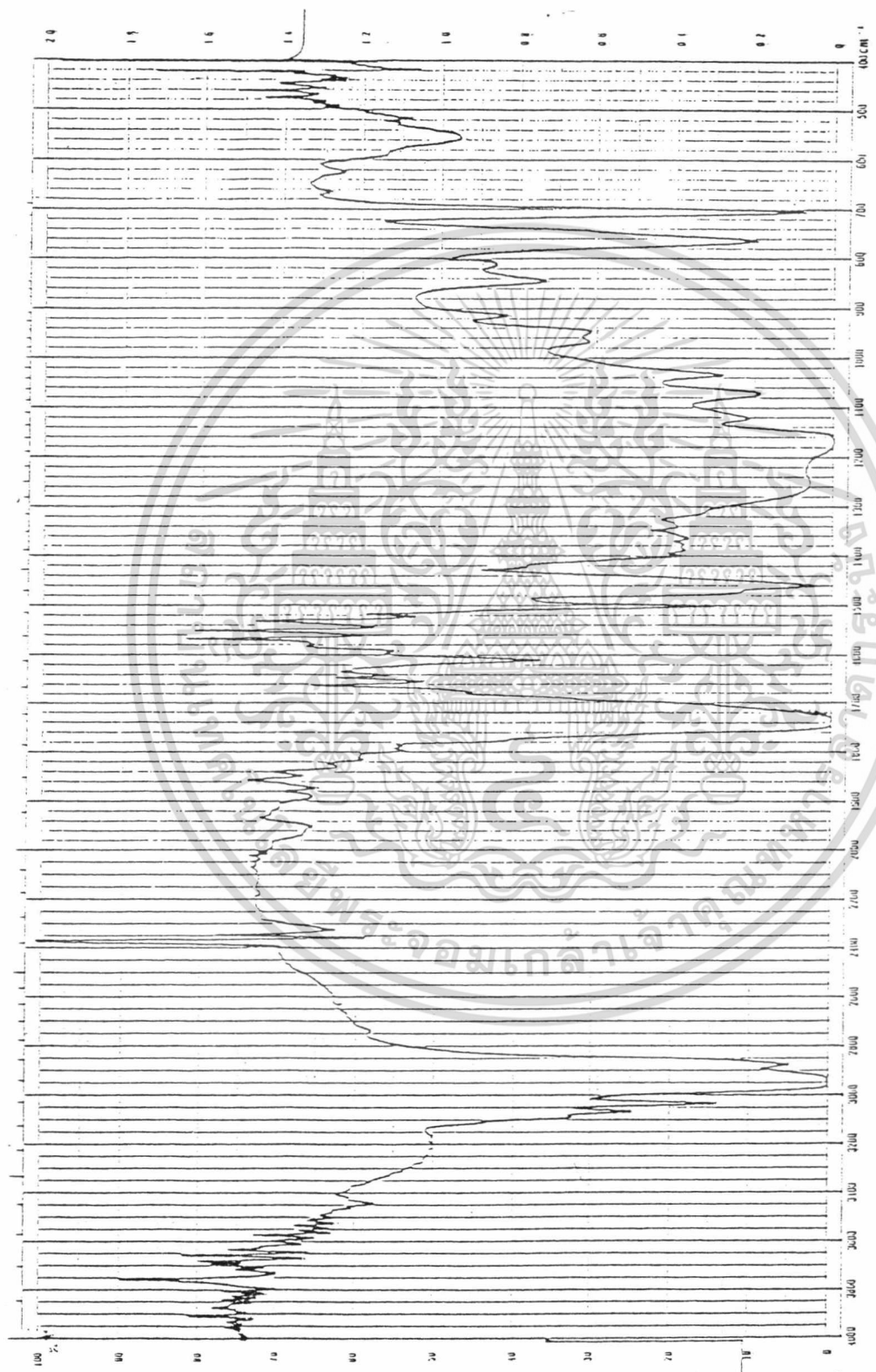
1. Odian,G. Principles of Polymerization ,3rd ed., pp. 335-355 , New York, 1993.
2. Robert D. Athey, Jr. Emulsion Polymer Technology, 1st ed., pp. 1 - 259 , New York, 1991.
3. Wang, J.-L. and Favstritsky, N.A. “Flame - Retardant Brominated Styrene - Based Polymers. IX. Dibromostyrene - Based Latexes” Journal of coatings Technology. 68 (1996) :41 - 47.
4. Lea, L. and Wilfried ,M. “Initiators For Water - Based Acrylate Emulsion Polymerization” Jounal of Coatings Technology. 68(1996) :75 - 79.
5. Mathew ,J. , Robert ,G. and Donald H. “Propagation Rate Coefficients from Electron Spin Resonance studies of the Emulsion Polymerization of Methyl Methacrylate” Macromolecules, 19(1986) : 1303 - 1308.
6. Jacqueline ,F. and Jose ,M. “Emulsion Copolymerization of Styrene and Methyl Methacrylate , II. ,Molecular Weights” . Journal of Polymer Science, 29(1991) : 1231 - 1242.
7. Asua, J.M. , Rodriguez, V.S. , Sudol, E.D., and El-Aasser, M.S. “ The Free Radical Distribution in Emulsion Polymerization Using Oil- Soluble Initiators” Journal of Polymer Science ; 27 (1989) : 3569 - 3587.
8. Badran, A.S. , Moustafa , A.B., Yehia, A.A. and Shendy, S.M.M. “Emulsion Polymerization of Vinyl Acetate Initiated by Potassium Persulfate - Cyclohexanone Sodium Bisulfite Redox Pair System” Journal of Polymer Science, 28(1990) :411 - 424.
9. Pichet Tangpanyarat , “Industrial Production Graft Copolymerization Process of Vinyl Monomers on Natural Rubber” (Thesis) , Department of Chemistry , Faculty of Science, King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang , 1995.
10. ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์,ดร. เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน ,พิมพ์ครั้งที่ 1,หน้า 87-214,กรุงเทพฯ,2527.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินฟราเรดสเปกตรัมของลาเท็กซ์พอลิเมอร์สูตร S / BA / MMA / AA = 50 / 40 / 8 / 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAVERN MASTERSIZER X

Version 1.1a

Fri, Jan 31, 1997 12:38PM

F 48 12/12/39 S/BA/MNA/AA วิ่งที่ 1
30 58 10 2

LATEX :Run Number 6

Measured on: Fri, Jan 31, 1997 12:37PM

Source: Analysed

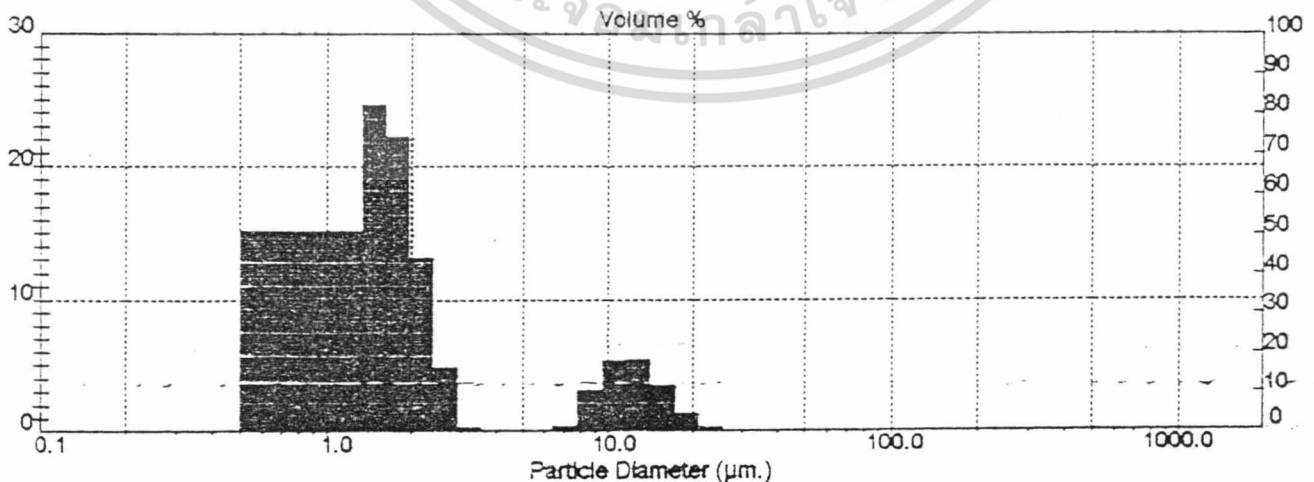
Presentation: (20HD) 1.330, 1.530 + i 0.10000
Polydisperse model

Residual = 3.365 %
d(0.5) = 1.74 µm
D[4, 3] = 3.74 µm
Sauter Mean (D[3,2]) = 1.73 µm
Specific Surface Area = 3.4773 sq. m. / gm

Volume Result
Concentration = 0.005 %
d(0.1) = 1.25 µm
Span = 8.08

Focus = 300 mm.
Obscuration = 21.78 %
d(0.9) = 11.82 µm
Mode = 1.51 µm
Density = 1.00 gm. / c.c.

Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %	Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %
0.50	15.21	1.32	15.21	25.48	0.07	31.01	99.98
1.32	24.55	1.60	39.76	31.01	0.02	37.79	100.00
1.60	22.26	1.95	62.02	37.79	0.00	46.03	100.00
1.95	13.20	2.38	75.22	46.03	0.00	56.09	100.00
2.38	4.85	2.90	80.07	56.09	0.00	68.33	100.00
2.90	0.37	3.53	80.44	68.33	0.00	83.26	100.00
3.53	0.00	4.30	80.44	83.26	0.00	101.44	100.00
4.30	0.00	5.24	80.44	101.44	0.00	123.59	100.00
5.24	0.01	6.39	80.45	123.59	0.00	150.57	100.00
6.39	0.42	7.78	80.87	150.57	0.00	183.44	100.00
7.78	3.09	9.48	83.96	183.44	0.00	223.51	100.00
9.48	5.35	11.55	89.32	223.51	0.00	272.31	100.00
11.55	5.44	14.08	94.75	272.31	0.00	331.77	100.00
14.08	3.49	17.15	98.24	331.77	0.00	404.21	100.00
17.15	1.36	20.90	99.60	404.21	0.00	492.47	100.00
20.90	0.31	25.48	99.91	492.47	0.00	600.00	100.00



Mavern Instruments Ltd. MasterSizer X Ver. 1.1a
Mavern, J.K. เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ Serial No. 6299 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 31 Jan 97 12:38

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MALVERN MASTERSIZER X

Version 1.1a

Fri, Jan 31, 1997 1:05PM

LATEX :Run Number 10

F 49 18/12/39 S/BA/MMA/AA
30 32 36 1

Source: Analysed

Measured on: Fri, Jan 31, 1997 1:04PM

Presentation: (2OHD) 1.330, 1.530 + i 0.10000
Polydisperse model

Volume Result

Focus = 300 mm.

Residual = 13.539 %

Concentration = 0.003 %

Obscuration = 19.48 %

d (0.5) = 1.39 µm

d (0.1) = 0.55 µm

d (0.9) = 1.71 µm

D [4, 3] = 1.27 µm

Span = 0.84

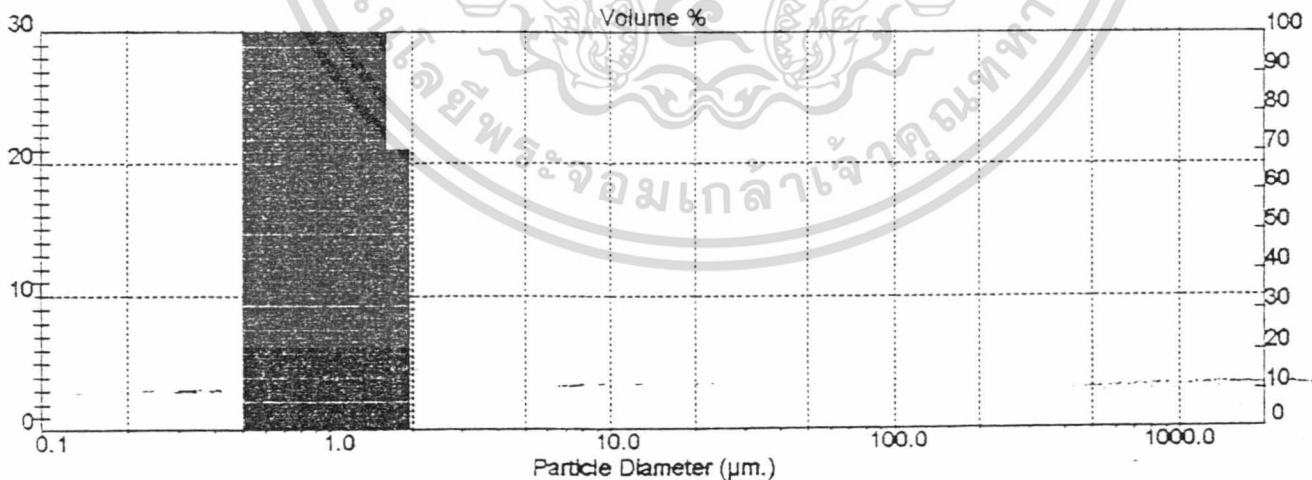
Mode = 1.48 µm

Sauter Mean (D[3,2]) = 1.14 µm

Specific Surface Area = 5.2660 sq. m. / gm

Density = 1.00 gm. / c.c.

Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %	Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %
0.50	39.75	1.32	39.75	25.48	0.00	31.01	100.00
1.32	39.10	1.80	78.85	31.01	0.00	37.79	100.00
1.80	21.02	1.95	99.88	37.79	0.00	46.03	100.00
1.95	0.12	2.38	100.00	46.03	0.00	56.09	100.00
2.38	0.00	2.90	100.00	56.09	0.00	68.33	100.00
2.90	0.00	3.53	100.00	68.33	0.00	83.26	100.00
3.53	0.00	4.30	100.00	83.26	0.00	101.44	100.00
4.30	0.00	5.24	100.00	101.44	0.00	123.59	100.00
5.24	0.00	6.39	100.00	123.59	0.00	150.57	100.00
6.39	0.00	7.78	100.00	150.57	0.00	183.44	100.00
7.78	0.00	9.48	100.00	183.44	0.00	223.51	100.00
9.48	0.00	11.55	100.00	223.51	0.00	272.31	100.00
11.55	0.00	14.08	100.00	272.31	0.00	331.77	100.00
14.08	0.00	17.15	100.00	331.77	0.00	404.21	100.00
17.15	0.00	20.90	100.00	404.21	0.00	492.47	100.00
20.90	0.00	25.46	100.00	492.47	0.00	600.00	100.00



vern Instruments Ltd.
vern, U.K.

MasterSizer I Ver. 1.1a
Serial No. 6209

31 Jan 97 13:05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAVERN MASTERSIZER X

Version 1.1a

Fri, Jan 31, 1997 1:18PM

LATEX :Run Number 13

F 50 17/12/39 S/BA/MMA/AA 201/51
30 18 50 2

Source: Analysed

Measured on: Fri, Jan 31, 1997 1:17PM

Presentation: (20HD) 1.330, 1.530 + i 0.10000
Polydisperse model

Volume Result

Focus = 300 mm.

Residual = 3.713 %

Concentration = 0.005 %

Obscuration = 22.06 %

d (0.5) = 1.60 μ m

d (0.1) = 1.26 μ m

d (0.9) = 2.14 μ m

D [4, 3] = 1.59 μ m

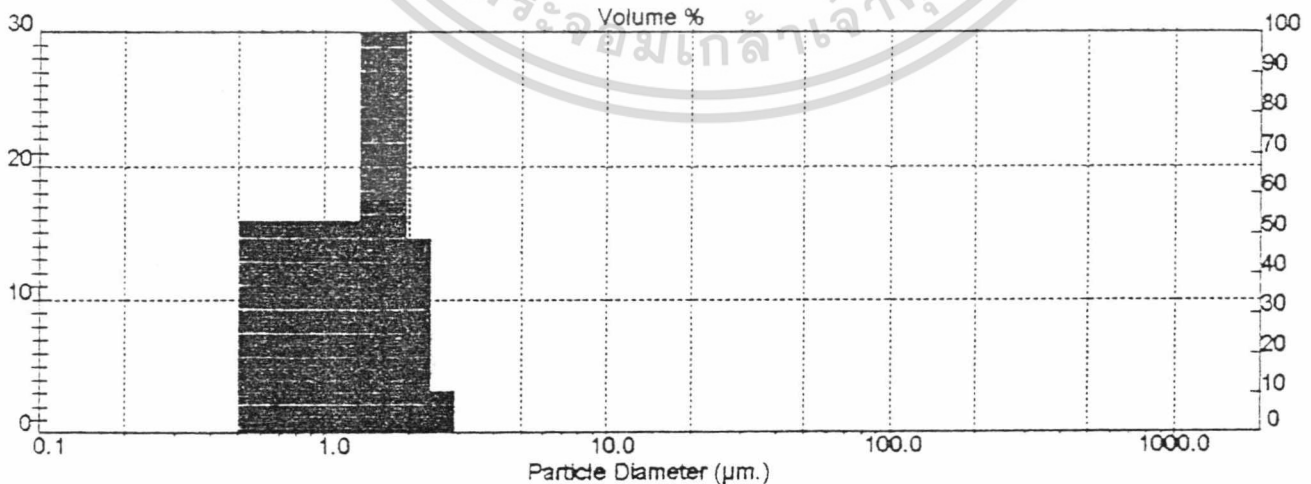
Span = 0.55

Mode = 1.58 μ m

Sauter Mean (D[3,2]) = 1.44 μ m

Density = 1.00 gm. / c.c.

Size (Lo) μ m	Result In %	Size (Hi) μ m	Result Below %	Size (Lo) μ m	Result In %	Size (Hi) μ m	Result Below %
0.50	16.03	1.32	16.03	25.46	0.00	31.01	100.00
1.32	34.33	1.60	50.36	31.01	0.00	37.79	100.00
1.60	31.85	1.95	82.01	37.79	0.00	48.03	100.00
1.95	14.85	2.38	96.86	48.03	0.00	56.09	100.00
2.38	3.20	2.90	99.88	56.09	0.00	68.33	100.00
2.90	0.14	3.53	100.00	68.33	0.00	83.26	100.00
3.53	0.00	4.30	100.00	83.26	0.00	101.44	100.00
4.30	0.00	5.24	100.00	101.44	0.00	123.59	100.00
5.24	0.00	6.39	100.00	123.59	0.00	150.57	100.00
6.39	0.00	7.78	100.00	150.57	0.00	183.44	100.00
7.78	0.00	9.48	100.00	183.44	0.00	223.51	100.00
9.48	0.00	11.55	100.00	223.51	0.00	272.31	100.00
11.55	0.00	14.08	100.00	272.31	0.00	331.77	100.00
14.08	0.00	17.15	100.00	331.77	0.00	404.21	100.00
17.15	0.00	20.90	100.00	404.21	0.00	492.47	100.00
20.90	0.00	25.46	100.00	492.47	0.00	600.00	100.00



Mvern Instruments Ltd.
Mvern, U.K.

MasterSizer I Ver. 1.1a
Serial No. 5209

31 Jan 97 13:18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MINERN MASTERSIZER X

Version 1.1a

Fri, Jan 31, 1997 1:47PM

LATEX :Run Number 22

F 51 20/12/39 S / BA / MMA / AA
42 55 1 2

ส่วนที่ 1

Source: Analysed

Measured on: Fri, Jan 31, 1997 1:48PM

Presentation: (20HD) 1.330, 1.530 + i 0.10000
Polydisperse model

Volume Result

Focus = 300 mm.

Residual = 3.238 %

Concentration = 0.005 %

Obscuration = 22.15 %

d (0.5) = 1.68 μ m

d (0.1) = 1.30 μ m

d (0.9) = 2.25 μ m

D [4, 3] = 1.70 μ m

Span = 0.58

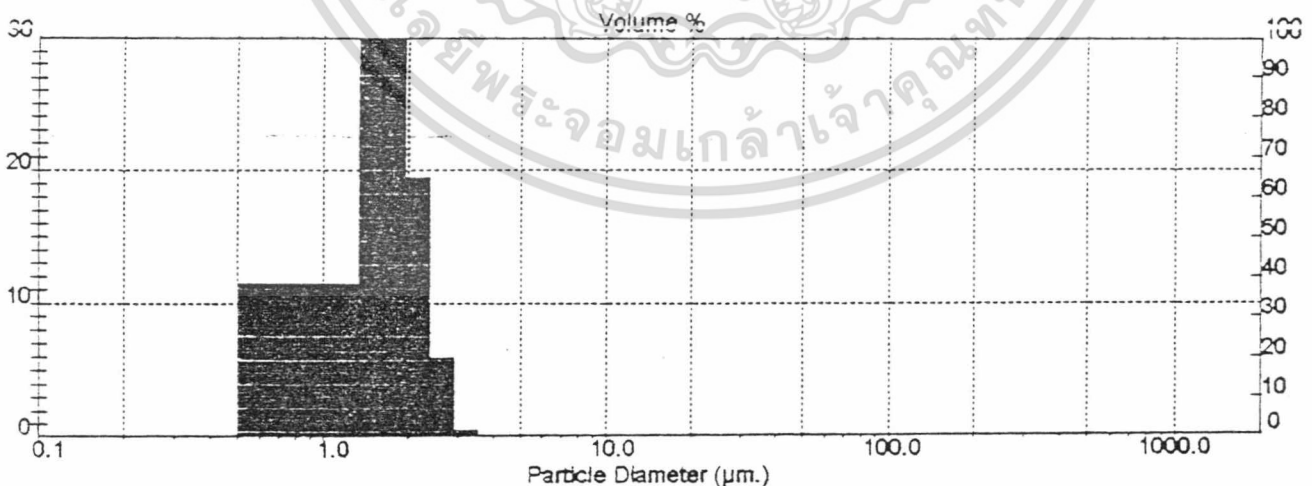
Mode = 1.63 μ m

Sauter Mean (D[3,2]) = 1.54 μ m

Specific Surface Area = 3.8836 sq. m. / gm

Density = 1.00 gm. / c.c.

Size (Lo) μ m	Result In %	Size (Hi) μ m	Result Below %	Size (Lo) μ m	Result In %	Size (Hi) μ m	Result Below %
0.50	11.58	1.32	11.58	25.46	0.00	31.01	100.00
1.32	29.92	1.60	41.50	31.01	0.00	37.79	100.00
1.60	32.69	1.95	74.19	37.79	0.00	48.03	100.00
1.95	19.36	2.38	93.55	48.03	0.00	56.09	100.00
2.38	5.95	2.90	99.50	56.09	0.00	68.33	100.00
2.90	0.50	3.53	100.00	68.33	0.00	83.26	100.00
3.53	0.00	4.30	100.00	83.26	0.00	101.44	100.00
4.30	0.00	5.24	100.00	101.44	0.00	123.59	100.00
5.24	0.00	6.39	100.00	123.59	0.00	150.57	100.00
6.39	0.00	7.78	100.00	150.57	0.00	183.44	100.00
7.78	0.00	9.48	100.00	183.44	0.00	223.51	100.00
9.48	0.00	11.55	100.00	223.51	0.00	272.31	100.00
11.55	0.00	14.08	100.00	272.31	0.00	331.77	100.00
14.08	0.00	17.15	100.00	331.77	0.00	404.21	100.00
17.15	0.00	20.90	100.00	404.21	0.00	492.47	100.00
20.90	0.00	25.46	100.00	492.47	0.00	600.00	100.00



Ervern Instruments Ltd.
Ervern, U.K.

MasterSizer I Ver. 1.1a
Serial No. 6209

31 Jan 97 13:47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MASTERSIZER X

Version 1.1a

Fri, Jan 31, 1997 2:00PM

LATEX :Run Number 24

F 52 13/12/39 S/BA/MMA/B 20/1/1
50 40 8 2

Source: Analysed

Measured on: Fri, Jan 31, 1997 2:00PM

Presentation: (20HD) 1.330, 1.530 + i 0.10000
Polydisperse model

Volume Result

Focus = 300 mm.

Residual = 2.648 %

Concentration = 0.006 %

Obscuration = 21.44 %

d(0.5) = 2.28 μ m

d(0.1) = 1.38 μ m

d(0.9) = 3.75 μ m

D[4,3] = 2.43 μ m

Span = 1.05

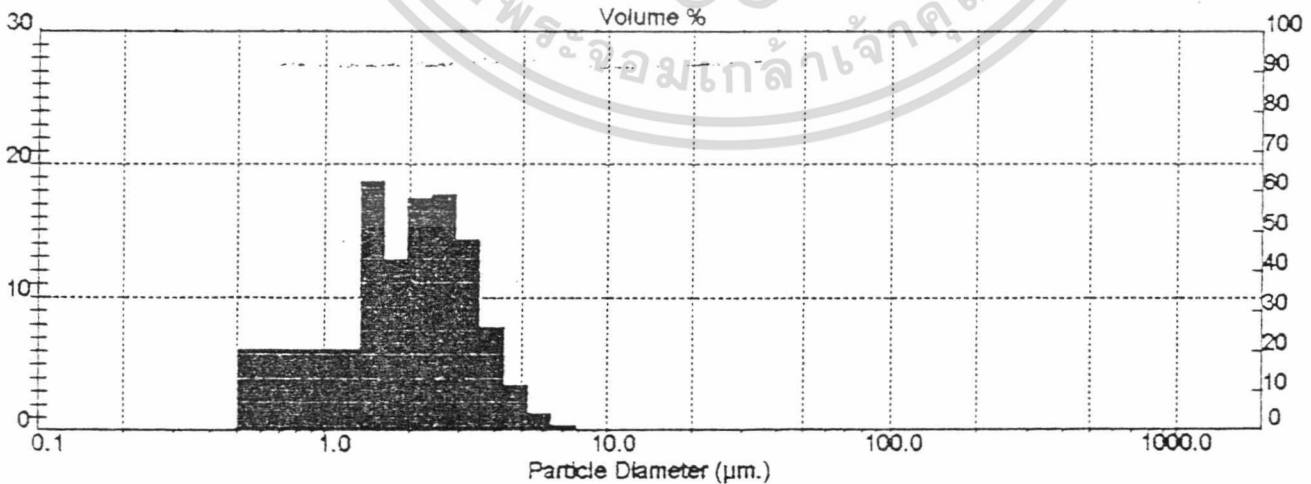
Mode = 1.44 μ m

Sauter Mean (D[3,2]) = 2.00 μ m

Specific Surface Area = 2.9930 sq. m. / gm

Density = 1.00 gm. / c.c.

Size (Lo) μ m	Result In %	Size (Hi) μ m	Result Below %	Size (Lo) μ m	Result In %	Size (Hi) μ m	Result Below %
0.50	6.13	1.32	6.13	25.48	0.00	31.01	100.00
1.32	18.56	1.60	24.69	31.01	0.00	37.79	100.00
1.60	12.88	1.95	37.57	37.79	0.00	48.03	100.00
1.95	17.40	2.38	54.97	48.03	0.00	58.09	100.00
2.38	17.68	2.90	72.65	58.09	0.00	88.33	100.00
2.90	14.31	3.53	86.97	88.33	0.00	133.26	100.00
3.53	7.73	4.30	94.70	83.26	0.00	101.44	100.00
4.30	3.44	5.24	98.14	101.44	0.00	123.59	100.00
5.24	1.30	6.39	99.44	123.59	0.00	150.57	100.00
6.39	0.42	7.78	99.85	150.57	0.00	183.44	100.00
7.78	0.11	9.48	99.97	183.44	0.00	223.51	100.00
9.48	0.03	11.55	99.99	223.51	0.00	272.31	100.00
11.55	0.00	14.08	100.00	272.31	0.00	331.77	100.00
14.08	0.00	17.15	100.00	331.77	0.00	404.21	100.00
17.15	0.00	20.90	100.00	404.21	0.00	492.47	100.00
20.90	0.00	25.46	100.00	492.47	0.00	600.00	100.00



MVERN Instruments Ltd.
MVERN, U.K.

MasterSizer I Ver. 1.1a
Serial No. 5209

31 Jan 97 14:00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MASTERSIZER X

Version 1.1a

Fri, Jan 31, 1997 2:15PM

LATEX :Run Number 27

F 53 24/12/39 S/BA/MNA/AA 305/1
60 35 3 2

Source: Analysed

Measured on: Fri, Jan 31, 1997 2:15PM

Presentation: (20HD) 1.330, 1.530 + i 0.10000
Polydisperse model

Volume Result

Focus = 300 mm.

Residual = 3.077 %

Concentration = 0.004 %

Obscuration = 21.44 %

d(0.5) = 1.50 µm

d(0.1) = 1.19 µm

d(0.9) = 2.03 µm

D[4,3] = 3.13 µm

Span = 0.56

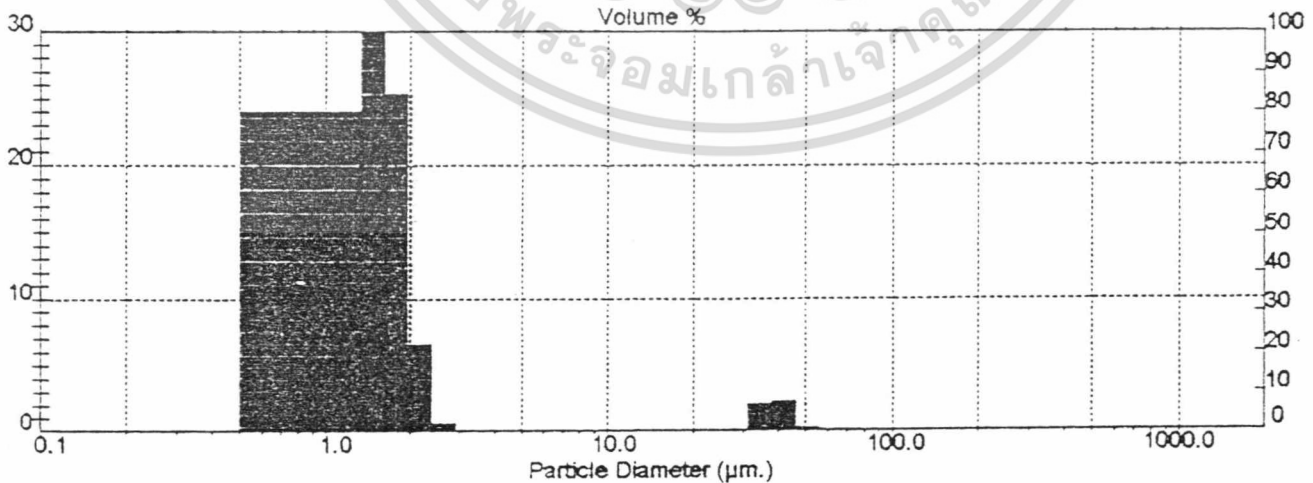
Mode = 1.48 µm

Sauter Mean (D[3,2]) = 1.35 µm

Specific Surface Area = 4.4455 sq. m. / gm

Density = 1.00 gm. / c.c.

Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %	Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %
0.50	24.13	1.32	24.13	25.46	0.03	31.01	95.49
1.32	38.70	1.60	62.83	31.01	1.99	37.79	97.48
1.60	25.35	1.95	88.18	37.79	2.28	46.03	99.76
1.95	8.62	2.38	94.80	46.03	0.24	56.09	100.00
2.38	0.65	2.90	95.45	56.09	0.00	68.33	100.00
2.90	0.00	3.53	95.46	68.33	0.00	83.26	100.00
3.53	0.00	4.30	95.46	83.26	0.00	101.44	100.00
4.30	0.00	5.24	95.46	101.44	0.00	123.59	100.00
5.24	0.00	6.39	95.46	123.59	0.00	150.57	100.00
6.39	0.00	7.78	95.46	150.57	0.00	183.44	100.00
7.78	0.00	9.48	95.46	183.44	0.00	223.51	100.00
9.48	0.00	11.55	95.46	223.51	0.00	272.31	100.00
11.55	0.00	14.08	95.46	272.31	0.00	331.77	100.00
14.08	0.00	17.15	95.46	331.77	0.00	404.21	100.00
17.15	0.00	20.90	95.46	404.21	0.00	492.47	100.00
20.90	0.00	25.46	95.46	492.47	0.00	600.00	100.00



Mettler Instruments Ltd.
Teddington, J.K.

Mastersizer I Ver. 1.1a
Serial No. 6209

31 Jan 97 14:15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MASTERSIZER X

Version 1.1a

Mon, Feb 3, 1997 2:43PM

LATEX :Run Number 18

F 47 B 25/12/39 S / BA / MMA / AA
30 67 1 2

Handwritten notes:
2000
e

Source: Analysed

Measured on: Mon, Feb 3, 1997 2:43PM

Presentation: (20HD) 1.330, 1.530 + I 0.10000
Polydisperse model

Volume Result

Focus = 300 mm.

Residual = 0.617 %

Concentration = 0.008 %

Obscuration = 23.23 %

d(0.5) = 2.68 μ m

d(0.1) = 1.54 μ m

d(0.9) = 18.20 μ m

D[4, 3] = 5.95 μ m

Span = 6.21

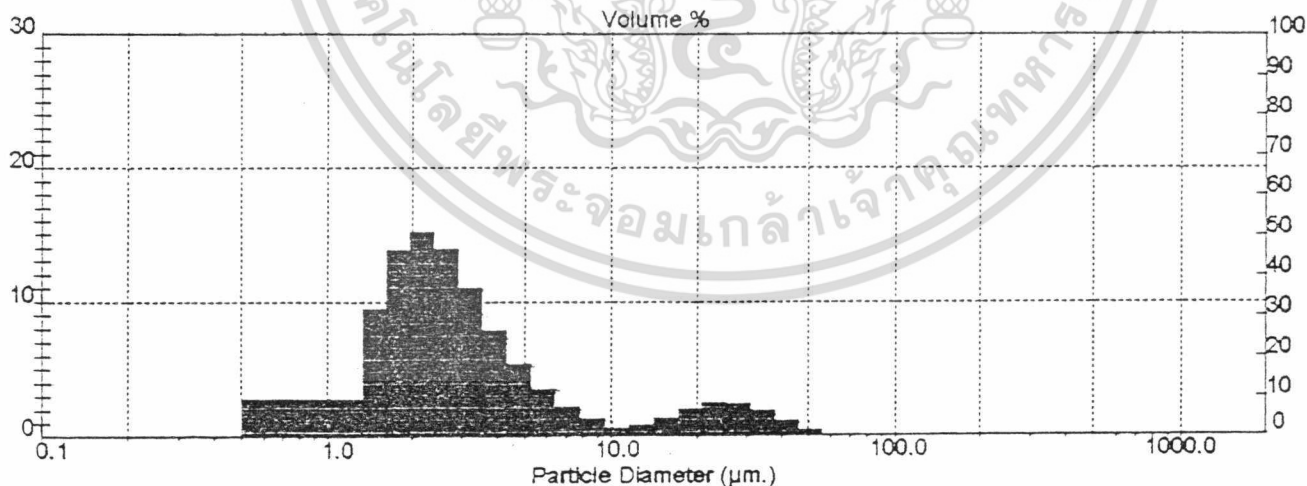
Mode = 2.04 μ m

Sauter Mean (D[3,2]) = 2.60 μ m

Density = 1.00 gm. / c.c.

Specific Surface Area = 2.3072 sq. m. / gm

Size (Lo) μ m	Result In %	Size (Hi) μ m	Result Below %	Size (Lo) μ m	Result In %	Size (Hi) μ m	Result Below %
0.50	2.83	1.32	2.83	25.46	2.41	31.01	96.38
1.32	9.44	1.60	12.27	31.01	1.88	37.79	98.25
1.60	13.83	1.95	26.11	37.79	1.12	48.03	99.38
1.95	15.21	2.38	41.32	48.03	0.49	56.09	99.87
2.38	13.88	2.90	55.19	56.09	0.13	68.33	100.00
2.90	11.05	3.53	66.24	68.33	0.00	83.26	100.00
3.53	7.93	4.30	74.17	83.26	0.00	101.44	100.00
4.30	5.38	5.24	79.55	101.44	0.00	123.59	100.00
5.24	3.55	6.39	83.10	123.59	0.00	150.57	100.00
6.39	2.22	7.78	85.32	150.57	0.00	183.44	100.00
7.78	1.28	9.48	86.80	183.44	0.00	223.51	100.00
9.48	0.65	11.55	87.25	223.51	0.00	272.31	100.00
11.55	0.83	14.08	88.08	272.31	0.00	331.77	100.00
14.08	1.37	17.15	89.45	331.77	0.00	404.21	100.00
17.15	2.04	20.90	91.49	404.21	0.00	492.47	100.00
20.90	2.47	25.46	93.96	492.47	0.00	600.00	100.00



MALVERN Instruments Ltd.
MALVERN, U.K.

MasterSizer I Ver. 1.1a
Serial No. 6209

03 Feb 97 14:4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MALVERN MASTERSIZER X

Version 1.1a

Mon, Feb 3, 1997 2:59PM

LATEX :Run Number 21

F 47 C 27/12/39 S/BA/MNA/AA 22 2
30 67 1 2 2

Source: Analysed

Measured on: Mon, Feb 3, 1997 2:56PM

Presentation: (2OHD) 1.330, 1.530 + | 0.10000
Polydisperse model

Volume Result

Focus = 300 mm.

Residual = 0.535 %

Concentration = 0.007 %

Obscuration = 22.57 %

d(0.5) = 2.28 µm

d(0.1) = 1.43 µm

d(0.9) = 53.58 µm

D[4,3] = 13.23 µm

Span = 22.87

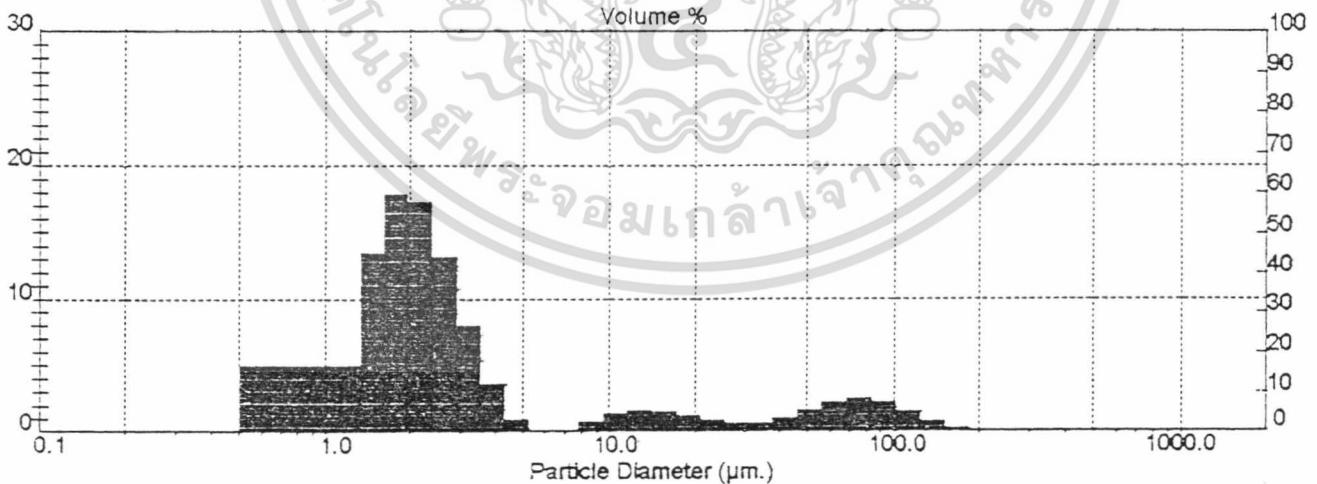
Mode = 1.88 µm

Sauter Mean (D[3,2]) = 2.34 µm

Specific Surface Area = 2.5688 sq. m. / gm

Density = 1.00 gm. / c.c.

Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %	Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %
0.50	4.94	1.32	4.94	25.46	0.60	31.01	87.19
1.32	13.44	1.60	18.39	31.01	0.65	37.79	87.82
1.60	17.81	1.95	36.20	37.79	1.01	48.03	88.84
1.95	17.25	2.38	53.45	48.03	1.58	58.09	90.42
2.38	13.18	2.90	66.63	58.09	2.17	68.33	92.59
2.90	7.98	3.53	74.61	68.33	2.47	83.26	95.06
3.53	3.59	4.30	78.20	83.26	2.22	101.44	97.27
4.30	0.94	5.24	79.14	101.44	1.51	123.59	98.78
5.24	0.02	6.39	79.18	123.59	0.78	150.57	99.54
6.39	0.10	7.78	79.26	150.57	0.29	183.44	99.82
7.78	0.75	9.48	80.01	183.44	0.11	223.51	99.94
9.48	1.34	11.55	81.35	223.51	0.05	272.31	99.99
11.55	1.62	14.08	82.97	272.31	0.01	331.77	100.00
14.08	1.55	17.15	84.51	331.77	0.00	404.21	100.00
17.15	1.23	20.90	85.74	404.21	0.00	492.47	100.00
20.90	0.84	25.46	86.58	492.47	0.00	600.00	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, U.K.

MasterSizer I Ver. 1.1a
Serial No. 5209

03 Feb 97 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MALVERN MASTERSIZER X

Version 1.1a

Mon, Feb 3, 1997 1:38PM

LATEX :Run Number 5

NF 47 17M/40 S / BA / MMA / AA
 30 67 1 2
 150% K₂S₂O₈ 150%
 200% 2

Source: Analysed

Measured on: Mon, Feb 3, 1997 1:30PM

Presentation: (2OHD) 1.330, 1.530 + | 0.10000
 Polydisperse model

Volume Result

Focus = 300 mm.

Residual = 1.350 %

Concentration = 0.006 %

Obscuration = 21.70 %

d (0.5) = 2.17 µm

d (0.1) = 1.44 µm

d (0.9) = 3.58 µm

D [4, 3] = 2.36 µm

Span = 0.98

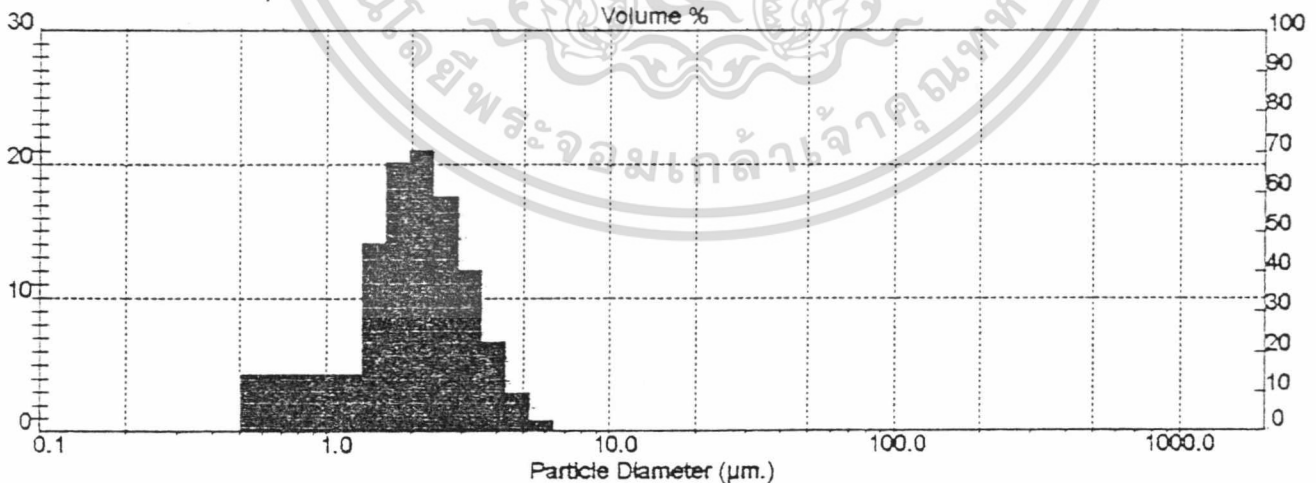
Mode = 2.00 µm

Sauter Mean (D[3,2]) = 2.03 µm

Specific Surface Area = 2.9556 sq. m. / gm

Density = 1.00 gm. / c.c.

Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %	Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %
0.50	4.40	1.32	4.40	25.48	0.00	31.01	100.00
1.32	14.10	1.60	18.51	31.01	0.00	37.79	100.00
1.60	20.11	1.95	38.62	37.79	0.00	46.03	100.00
1.95	21.05	2.38	59.68	48.03	0.00	56.09	100.00
2.38	17.83	2.90	77.30	56.09	0.00	68.33	100.00
2.90	12.11	3.53	89.40	68.33	0.00	83.26	100.00
3.53	6.72	4.30	96.12	83.26	0.00	101.44	100.00
4.30	2.91	5.24	99.03	101.44	0.00	123.59	100.00
5.24	0.87	6.39	99.90	123.59	0.00	150.57	100.00
6.39	0.10	7.78	100.00	150.57	0.00	183.44	100.00
7.78	0.00	9.48	100.00	183.44	0.00	223.51	100.00
9.48	0.00	11.55	100.00	223.51	0.00	272.31	100.00
11.55	0.00	14.08	100.00	272.31	0.00	331.77	100.00
14.08	0.00	17.15	100.00	331.77	0.00	404.21	100.00
17.15	0.00	20.90	100.00	404.21	0.00	492.47	100.00
20.90	0.00	25.46	100.00	492.47	0.00	600.00	100.00



Malvern Instruments Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MASTERSIZER X

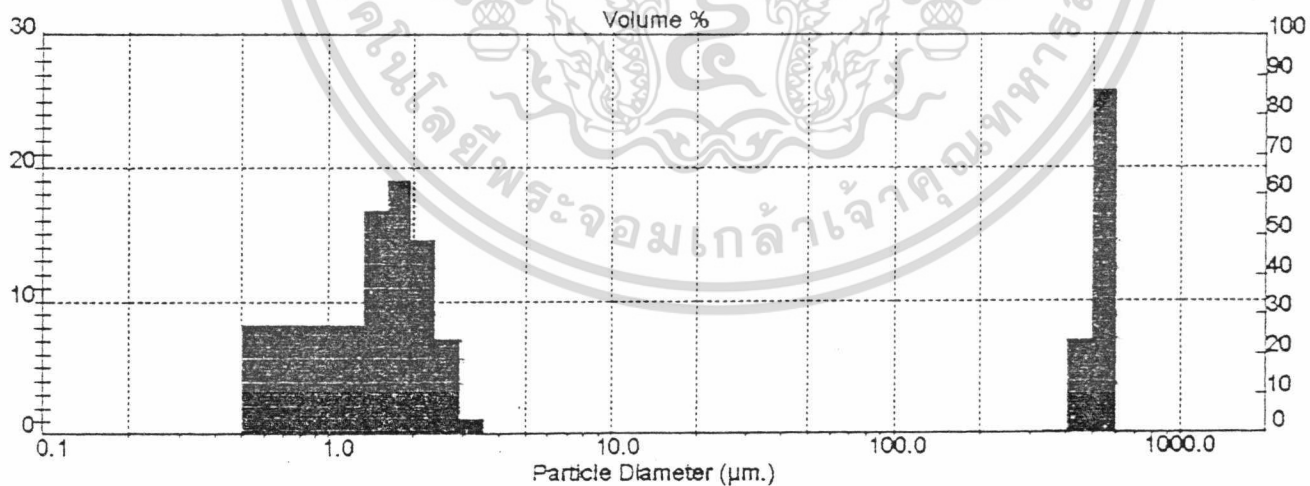
Version 1.1a

Mon, Feb 3, 1997 1:52PM

LATEX :Run Number 7
 NF 47 15/140 S/BA/PPA/AA
 30 67 1 2
 1.5% K₂S₂O₈ 200 ml
 200 ml
 Measured on: Mon, Feb 3, 1997 1:50PM
 Source: Analysed

Presentation: (20HD) 1.330, 1.530 + i 0.10000
 Polydisperse model
 Residual = 11.142 %
 d(0.5) = 2.10 µm
 D[4,3] = 173.81 µm
 Sauter Mean (D[3,2]) = 2.36 µm
 Specific Surface Area = 2.5410 sq. m. / gm
 Volume Result
 Concentration = 0.007 %
 d(0.1) = 1.35 µm
 Span = 268.67
 Focus = 300 mm.
 Obscuration = 21.54 %
 d(0.9) = 564.46 µm
 Mode = 1.66 µm
 Density = 1.00 gm. / c.c.

Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %	Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %
0.50	8.27	1.32	8.27	25.46	0.00	31.01	66.92
1.32	16.71	1.60	24.98	31.01	0.00	37.79	66.92
1.60	19.00	1.95	43.99	37.79	0.00	48.03	66.92
1.95	14.55	2.38	58.54	48.03	0.00	56.09	66.92
2.38	7.19	2.90	65.73	56.09	0.00	66.33	66.92
2.90	1.19	3.53	66.92	66.33	0.00	83.26	66.92
3.53	0.00	4.30	66.92	83.26	0.00	101.44	66.92
4.30	0.00	5.24	66.92	101.44	0.00	123.59	66.92
5.24	0.00	6.39	66.92	123.59	0.00	150.57	66.92
6.39	0.00	7.78	66.92	150.57	0.00	183.44	66.92
7.78	0.00	9.48	66.92	183.44	0.00	223.51	66.92
9.48	0.00	11.55	66.92	223.51	0.00	272.31	66.92
11.55	0.00	14.08	66.92	272.31	0.12	331.77	67.04
14.08	0.00	17.15	66.92	331.77	0.12	404.21	67.16
17.15	0.00	20.90	66.92	404.21	7.12	492.47	74.28
20.90	0.00	25.46	66.92	492.47	25.72	600.00	100.00



Malvern Instruments Ltd.
 Malvern, U.K.

Mastersizer I Ver. 1.1a
 Serial No. 6209

03 Feb 97 13:00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MASTERSIZER X

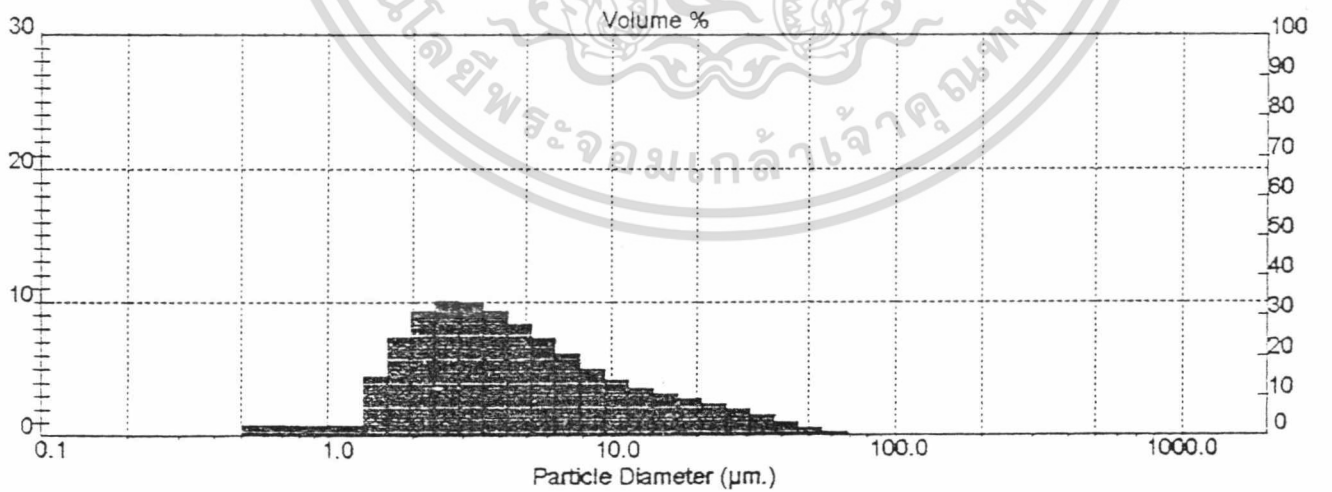
Version 1.1a

Fri, Feb 14, 1997 12:03PM

LATEX :Run Number 10
 NF 47 23/1/40 S/DA/PPA/AA
 30 67 1 2
 เป็น $K_2S_2O_8$ 250%
 87%
 Source: Analysed
 Measured on: Fri, Feb 14, 1997 12:03PM

Presentation: (2CHD) 1.330, 1.530 + i 0.10000
 Polydisperse model Volume Result Focus = 300 mm.
 Residual = 0.257 % Concentration = 0.011 % Obscuration = 21.56 %
 d (0.5) = 4.17 μ m d (0.1) = 1.82 μ m d (0.9) = 18.23 μ m
 D [4, 3] = 7.64 μ m Span = 3.93 Mode = 2.84 μ m
 Sauter Mean (D[3,2]) = 3.60 μ m Density = 1.00 gm. / c.c.
 Specific Surface Area = 1.6654 sq. m. / gm

Size (Lo) μ m	Result In %	Size (Hi) μ m	Result Below %	Size (Lo) μ m	Result In %	Size (Hi) μ m	Result Below %
0.50	0.86	1.32	0.86	25.46	2.01	31.01	96.27
1.32	4.49	1.60	5.35	31.01	1.57	37.79	97.84
1.60	7.41	1.95	12.76	37.79	1.10	46.03	98.94
1.95	9.29	2.38	22.04	46.03	0.68	56.09	99.60
2.38	10.06	2.90	32.10	56.09	0.31	68.33	99.91
2.90	9.96	3.53	42.07	68.33	0.08	83.28	100.00
3.53	9.31	4.30	51.38	83.28	0.00	101.44	100.00
4.30	8.38	5.24	59.78	101.44	0.00	123.69	100.00
5.24	7.31	6.39	67.08	123.69	0.00	150.57	100.00
6.39	6.14	7.78	73.22	150.57	0.00	183.44	100.00
7.78	5.03	9.48	78.25	183.44	0.00	223.51	100.00
9.48	4.16	11.55	82.41	223.51	0.00	272.31	100.00
11.55	3.56	14.08	85.98	272.31	0.00	331.77	100.00
14.08	3.13	17.15	89.11	331.77	0.00	404.21	100.00
17.15	2.76	20.90	91.87	404.21	0.00	492.47	100.00
20.90	2.39	25.46	94.26	492.47	0.00	600.00	100.00



Mvern Instruments Ltd. MasterSizer I Ver. 1.1a Serial No. 5209 14 Feb 97 12:0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MASTERSIZER X

Version 1.1a

Wed, Feb 12, 1997 3:05PM

S / BA / MMA / AA
 F 48 L 30 58 10 2
 ↑ K₂S₂O₈ 300% 400 rpm
 LATEX : Run Number 4
 25% 2

Source: Analysed

Measured on: Wed, Feb 12, 1997 2:59PM

Presentation: (20HD) 1.330, 1.530 + i 0.10000
Polydisperse model

Volume Result

Focus = 300 mm.

Residual = 3.165 %

Concentration = 0.007 %

Obscuration = 21.52 %

d(0.5) = 2.16 µm

d(0.1) = 1.37 µm

d(0.9) = 57.75 µm

D[4,3] = 14.04 µm

Span = 26.13

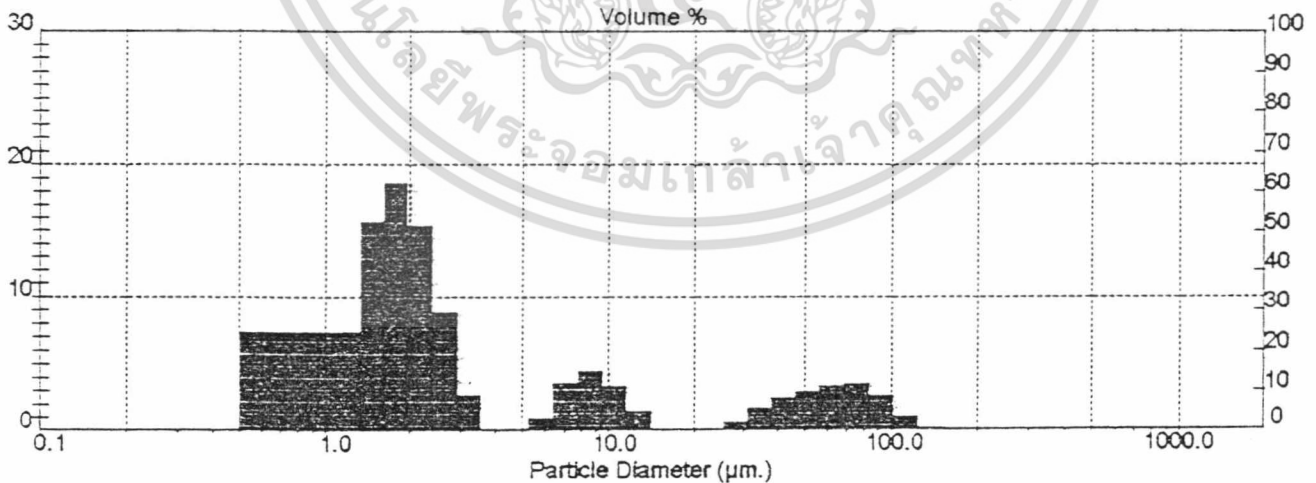
Mode = 1.72 µm

Sauter Mean (D[3,2]) = 2.30 µm

Specific Surface Area = 2.6132 sq. m. / gm

Density = 1.00 gm. / c.c.

Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %	Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %
0.50	7.37	1.32	7.37	25.46	0.68	31.01	82.63
1.32	15.64	1.80	23.01	31.01	1.67	37.79	84.30
1.60	18.59	1.95	41.60	37.79	2.39	46.03	86.69
1.95	15.35	2.38	56.95	46.03	2.85	58.09	89.54
2.38	8.75	2.90	65.69	56.09	3.27	68.33	92.81
2.90	2.65	3.53	68.34	68.33	3.42	83.26	96.23
3.53	0.02	4.30	68.36	83.26	2.53	101.44	98.76
4.30	0.01	5.24	68.37	101.44	1.04	123.59	99.80
5.24	0.91	6.39	69.28	123.59	0.19	150.57	99.99
6.39	3.56	7.78	72.84	150.57	0.01	183.44	100.00
7.78	4.38	9.48	77.22	183.44	0.00	223.51	100.00
9.48	3.31	11.55	80.54	223.51	0.00	272.31	100.00
11.55	1.40	14.08	81.94	272.31	0.00	331.77	100.00
14.08	0.02	17.15	81.96	331.77	0.00	404.21	100.00
17.15	0.00	20.90	81.96	404.21	0.00	492.47	100.00
20.90	0.01	25.46	81.97	492.47	0.00	600.00	100.00



Malvern Instruments Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MASTERSIZER X

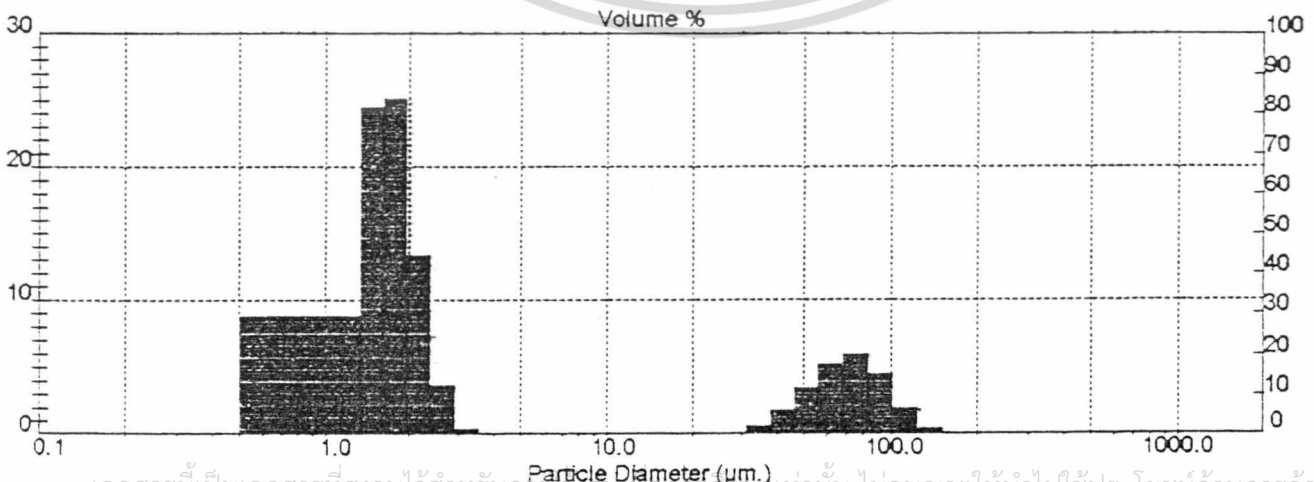
Version 1.1a.

Wed, Feb 12, 1997 3:18PM

S/BA/TTA/AA LATEX :Run Number 6
 F49L 30 32 36 2
 ↑ K₂S₂O₈ 300%, 400 rpm
 Source: Analysed
 Measured on: Wed, Feb 12, 1997 3:18PM

Presentation: (20HD) 1.330, 1.530 + i 0.10000
 Polydisperse model
 Residual = 1.831 %
 d(0.5) = 1.81 μm
 D[4, 3] = 18.88 μm
 Sauter Mean (D[3,2]) = 2.00 μm
 Specific Surface Area = 2.9987 sq. m. / gm
 Volume Result
 Concentration = 0.008 %
 d(0.1) = 1.33 μm
 Span = 40.83
 Focus = 300 mm.
 Obscuration = 22.28 %
 d(0.9) = 75.33 μm
 Mode = 1.59 μm
 Density = 1.00 gm. / c.c.

Size (Lo) μm	Result In %	Size (Hi) μm	Result Below %	Size (Lo) μm	Result In %	Size (Hi) μm	Result Below %
0.50	8.86	1.32	8.86	25.48	0.02	31.01	75.83
1.32	24.44	1.60	33.30	31.01	0.65	37.79	76.48
1.60	25.08	1.95	58.38	37.79	1.83	46.03	78.31
1.95	13.29	2.38	71.67	46.03	3.46	56.09	81.77
2.38	3.72	2.90	75.39	56.09	5.24	68.33	87.01
2.90	0.42	3.53	75.81	68.33	5.97	83.26	92.98
3.53	0.00	4.30	75.81	83.26	4.48	101.44	97.45
4.30	0.00	5.24	75.81	101.44	2.00	123.59	99.45
5.24	0.00	6.39	75.81	123.59	0.47	150.57	99.93
6.39	0.00	7.78	75.81	150.57	0.07	183.44	99.99
7.78	0.00	9.48	75.81	183.44	0.01	223.51	100.00
9.48	0.00	11.55	75.81	223.51	0.00	272.31	100.00
11.55	0.00	14.08	75.81	272.31	0.00	331.77	100.00
14.08	0.00	17.15	75.81	331.77	0.00	404.21	100.00
17.15	0.00	20.90	75.81	404.21	0.00	492.47	100.00
20.90	0.00	25.48	75.81	492.47	0.00	600.00	100.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

MASTERSIZER X

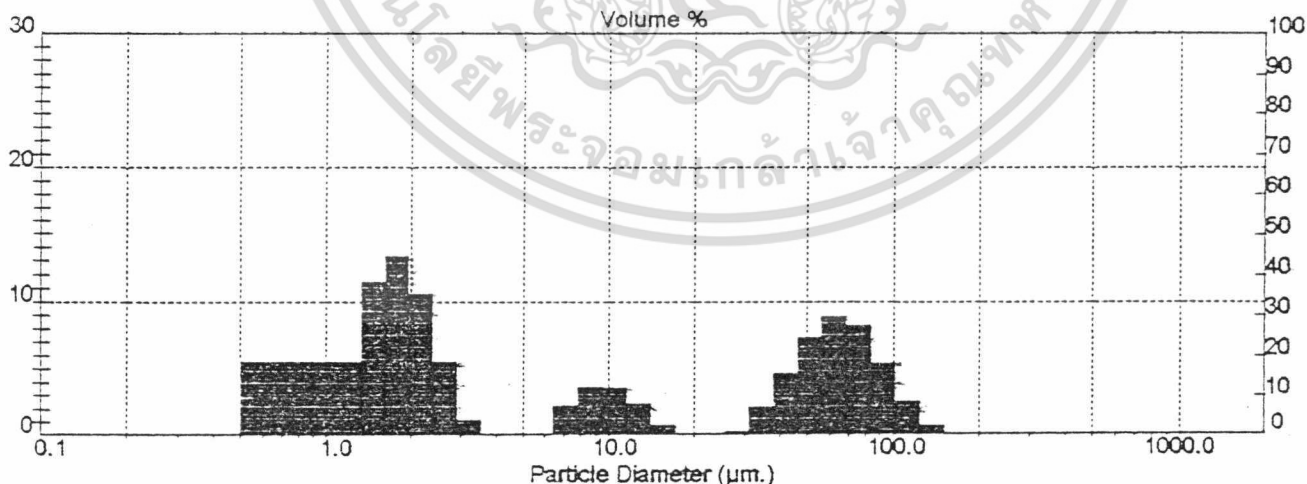
Version 1.1a

Wed, Feb 12, 1997 3:33PM

S/BA/MA/AA
 F 50 L 30 18 50 2
 ↑ K₂O₂ 300%, 400 rpm
 LATEX :Run Number 8
 337-342
 Source: Analysed
 Measured on: Wed, Feb 12, 1997 3:33PM

Presentation: (20HD) 1.330, 1.530 + i 0.10000
 Polydisperse model
 Residual = 2.943 %
 d(0.5) = 7.86 μm
 D[4,3] = 28.90 μm
 Sauter Mean (D[3,2]) = 3.16 μm
 Specific Surface Area = 1.8969 sq. m. / gm
 Volume Result
 Concentration = 0.009 %
 d(0.1) = 1.43 μm
 Span = 10.01
 Focus = 300 mm.
 Obscuration = 19.85 %
 d(0.9) = 80.14 μm
 Mode = 1.69 μm
 Density = 1.00 gm. / c.c.

Size (Lo) μm	Result In %	Size (Hi) μm	Result Below %	Size (Lo) μm	Result In %	Size (Hi) μm	Result Below %
0.50	5.56	1.32	5.56	25.46	0.24	31.01	60.33
1.32	11.48	1.60	17.04	31.01	2.08	37.79	62.42
1.60	13.32	1.95	30.36	37.79	4.67	46.03	67.08
1.95	10.57	2.38	40.92	46.03	7.28	56.09	74.37
2.38	5.54	2.90	46.47	56.09	8.88	68.33	83.24
2.90	1.16	3.53	47.62	68.33	8.16	83.26	91.41
3.53	0.01	4.30	47.63	83.26	5.41	101.44	96.81
4.30	0.00	5.24	47.63	101.44	2.49	123.59	99.30
5.24	0.00	6.39	47.63	123.59	0.69	150.57	99.99
6.39	2.20	7.78	49.83	150.57	0.01	183.44	100.00
7.78	3.60	9.48	53.43	183.44	0.00	223.51	100.00
9.48	3.56	11.55	56.99	223.51	0.00	272.31	100.00
11.55	2.31	14.08	59.30	272.31	0.00	331.77	100.00
14.08	0.78	17.15	60.08	331.77	0.00	404.21	100.00
17.15	0.01	20.90	60.09	404.21	0.00	492.47	100.00
20.90	0.00	25.46	60.09	492.47	0.00	600.00	100.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ALVERN MASTERSIZER X

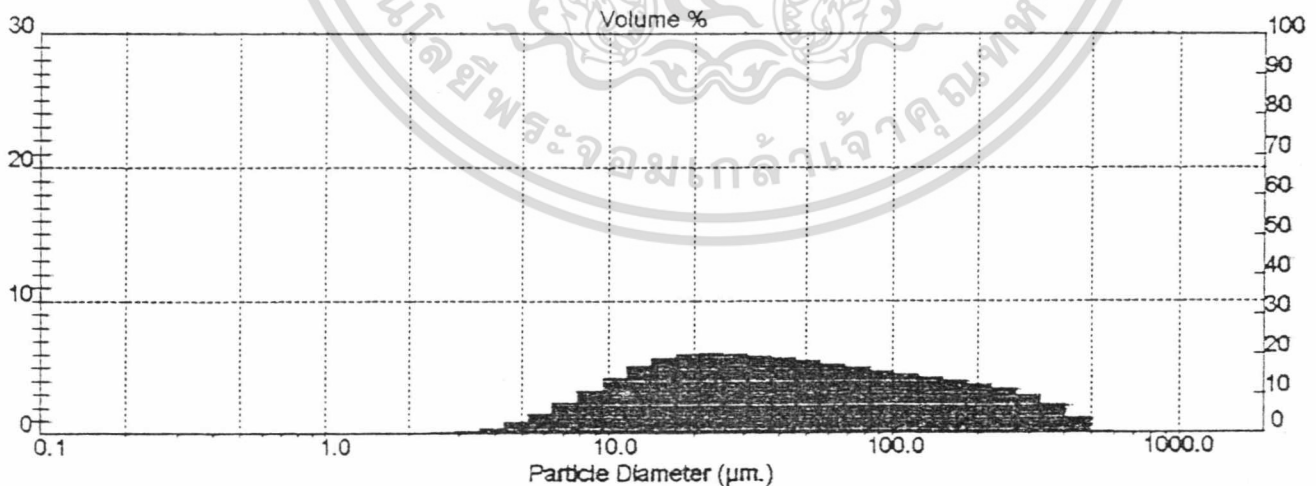
Version 1.1a

Thu, Feb 13, 1997 10:53AM

F51L S/BA/MMA/AA LATEX :Run Number 8
 42 55 1 2
 ↑K₂S₂O₈ 300 rpm, 400 rpm
 Measured on: Thu, Feb 13, 1997 10:52AM
 Source: Analysed

Presentation: (20HD) 1.330, 1.530 + i 0.10000
 Polydisperse model: Volume Result Focus = 300 mm.
 Residual = 0.239 % Concentration = 0.081 % Obscuration = 23.18 %
 d(0.5) = 40.50 μm d(0.1) = 9.88 μm d(0.9) = 221.12 μm
 D[4, 3] = 81.39 μm Span = 5.22 Mode = 23.00 μm
 Sauter Mean (D[3,2]) = 23.18 μm Density = 1.00 gm. / c.c.
 Specific Surface Area = 0.2588 sq. m. / gm

Size (Lo) μm	Result in %	Size (Hi) μm	Result Below %	Size (Lo) μm	Result in %	Size (Hi) μm	Result Below %
0.50	0.02	1.32	0.02	25.48	5.99	31.01	42.14
1.32	0.06	1.60	0.08	31.01	5.85	37.79	47.99
1.60	0.08	1.95	0.17	37.79	5.66	48.03	53.65
1.95	0.11	2.38	0.27	48.03	5.44	56.09	59.09
2.38	0.15	2.90	0.43	56.09	5.18	68.33	64.27
2.90	0.27	3.53	0.70	68.33	4.91	83.26	69.18
3.53	0.52	4.30	1.21	83.26	4.66	101.44	73.83
4.30	0.92	5.24	2.14	101.44	4.44	123.59	78.28
5.24	1.52	6.39	3.66	123.59	4.22	150.57	82.50
6.39	2.31	7.78	5.97	150.57	3.99	183.44	86.49
7.78	3.22	9.48	9.20	183.44	3.70	223.51	90.19
9.48	4.18	11.55	13.38	223.51	3.34	272.31	93.53
11.55	5.05	14.08	18.43	272.31	2.85	331.77	96.38
14.08	5.67	17.15	24.10	331.77	2.16	404.21	98.54
17.15	5.99	20.90	30.10	404.21	1.23	492.47	99.78
20.90	6.06	25.48	36.16	492.47	0.22	800.00	100.00



alvern Instruments Ltd.
 alvern, U.K.

MasterSizer I Ver. 1.1a
 Serial No. 6209

13 Feb 97 10:53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MALVERN MASTERSIZER X

Version 1.1a

Thu, Feb 13, 1997 11:15AM

LATEX :Run Number 11

F52L S/BA/PMA/AA
 50 40 8 2
 ↑K₂S₂O₈ 300%, 400 rpm

2
 26th 2

Source: Analysed

Measured on: Thu, Feb 13, 1997 11:13AM

Presentation: (20HD) 1.330, 1.530 + i 0.10000
 Polydisperse model

Volume Result

Focus = 300 mm.

Residual = 0.150 %

Concentration = 0.032 %

Obscuration = 21.80 %

d (0.5) = 12.02 μm

d (0.1) = 4.72 μm

d (0.9) = 188.84 μm

D [4, 3] = 52.41 μm

Span = 15.32

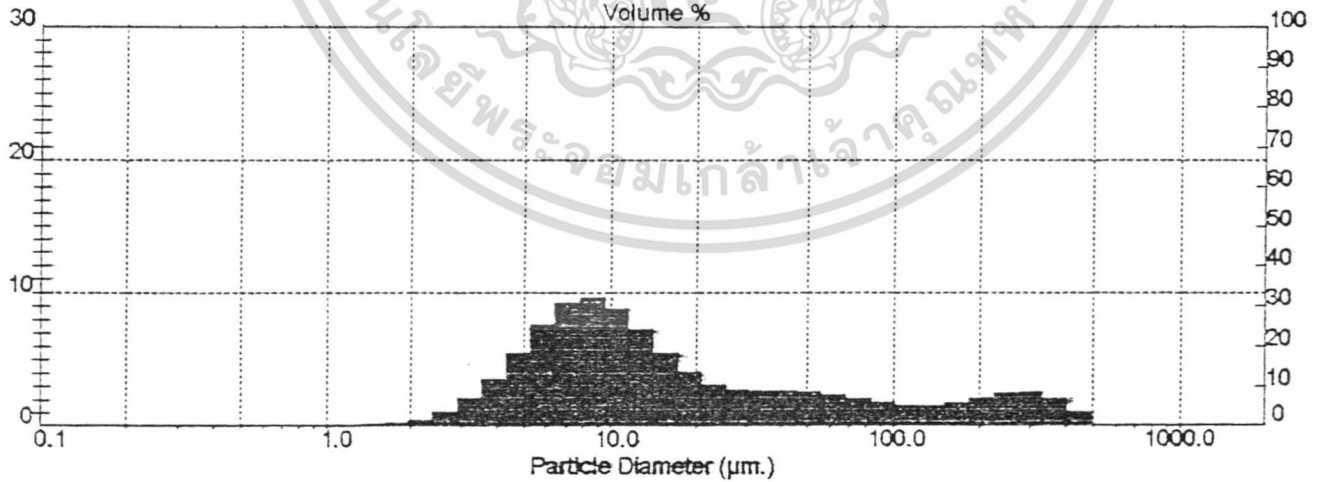
Sauter Mean (D[3,2]) = 10.01 μm

Mode = 7.97 μm

Specific Surface Area = 0.5992 sq. m. / gm

Density = 1.00 gm. / c.c.

Size (Lo) μm	Result In %	Size (Hi) μm	Result Below %	Size (Lo) μm	Result In %	Size (Hi) μm	Result Below %
0.50	0.09	1.32	0.09	25.48	2.69	31.01	70.90
1.32	0.15	1.60	0.24	31.01	2.81	37.79	73.50
1.60	0.24	1.95	0.48	37.79	2.81	46.03	76.12
1.95	0.49	2.38	0.97	46.03	2.54	56.09	78.66
2.38	1.07	2.90	2.04	56.09	2.35	68.33	81.01
2.90	2.08	3.53	4.12	68.33	2.07	83.26	83.08
3.53	3.55	4.30	7.67	83.26	1.77	101.44	84.85
4.30	5.45	5.24	13.13	101.44	1.56	123.59	86.41
5.24	7.61	6.39	20.74	123.59	1.54	150.57	87.95
6.39	9.27	7.78	30.01	150.57	1.76	183.44	89.71
7.78	9.58	9.48	39.59	183.44	2.15	223.51	91.86
9.48	8.81	11.55	48.41	223.51	2.50	272.31	94.37
11.55	7.22	14.08	55.63	272.31	2.53	331.77	96.89
14.08	5.48	17.15	61.11	331.77	2.03	404.21	98.93
17.15	4.02	20.90	65.13	404.21	1.06	492.47	99.98
20.90	3.08	25.46	68.21	492.47	0.02	600.00	100.00



Malvern Instruments Ltd.
 Malvern, U.K.

MasterSizer I Ver. 1.1a
 Serial No. 6209

13 Feb 97 11:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAVERN MASTERSIZER X

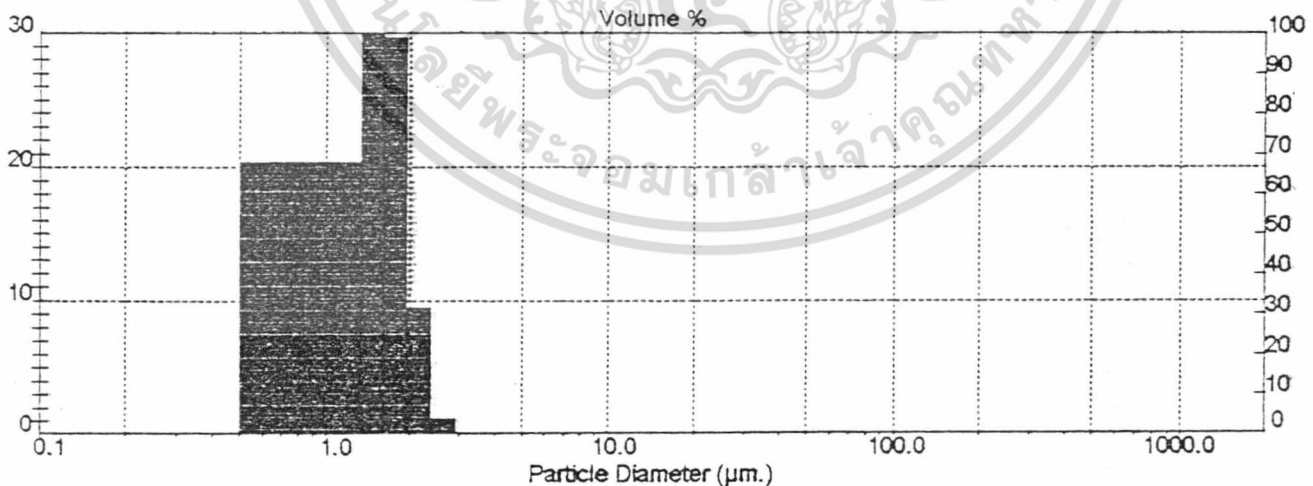
Version 1.1a

Thu, Feb 13, 1997 10:18AM

F53 L S / BA / MMA / AA
 60 35 3 2
 ↑ K₂S₂O₈ 300% , 400 rpm
 LATEX : Run Number 2
 Source: Analysed
 Measured on: Thu, Feb 13, 1997 10:17AM

Presentation: (20HD) 1.330, 1.530 + i 0.10000
 Polydisperse model
 Volume Result
 Focus = 300 mm.
 Residual = 3.791 %
 d(0.5) = 1.53 µm
 D[4, 3] = 1.50 µm
 Sauter Mean (D[3,2]) = 1.38 µm
 Specific Surface Area = 4.4269 sq. m. / gm
 Concentration = 0.004 %
 d(0.1) = 1.23 µm
 Span = 0.49
 Obscuration = 20.04 %
 d(0.9) = 1.97 µm
 Mode = 1.51 µm
 Density = 1.00 gm. / c.c.

Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %	Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %
0.50	20.51	1.32	20.51	25.48	0.00	31.01	100.00
1.32	39.06	1.60	59.58	31.01	0.00	37.79	100.00
1.60	29.65	1.95	89.23	37.79	0.00	46.03	100.00
1.95	9.54	2.38	98.77	46.03	0.00	56.09	100.00
2.38	1.21	2.90	99.99	56.09	0.00	88.33	100.00
2.90	0.01	3.53	100.00	68.33	0.00	83.26	100.00
3.53	0.00	4.30	100.00	83.26	0.00	101.44	100.00
4.30	0.00	5.24	100.00	101.44	0.00	123.59	100.00
5.24	0.00	6.39	100.00	123.59	0.00	150.57	100.00
6.39	0.00	7.78	100.00	150.57	0.00	183.44	100.00
7.78	0.00	9.48	100.00	183.44	0.00	223.51	100.00
9.48	0.00	11.55	100.00	223.51	0.00	272.31	100.00
11.55	0.00	14.08	100.00	272.31	0.00	331.77	100.00
14.08	0.00	17.15	100.00	331.77	0.00	404.21	100.00
17.15	0.00	20.90	100.00	404.21	0.00	492.47	100.00
20.90	0.00	25.48	100.00	492.47	0.00	600.00	100.00



Ivern Instruments Ltd.
 Ivern, U.K.

MasterSizer I Ver. 1.1a
 Serial No. 6209

13 Feb 97 10:18

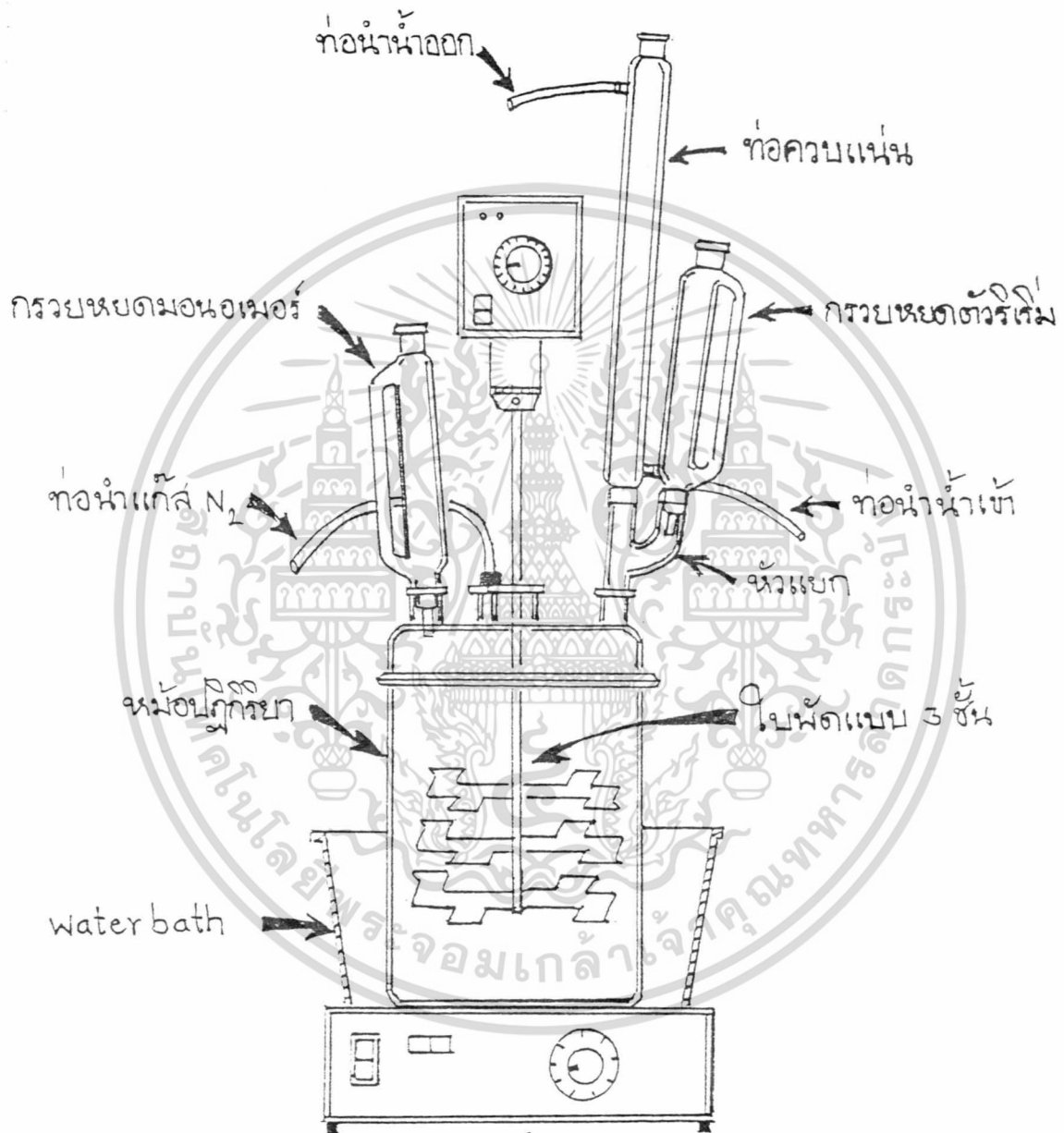
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

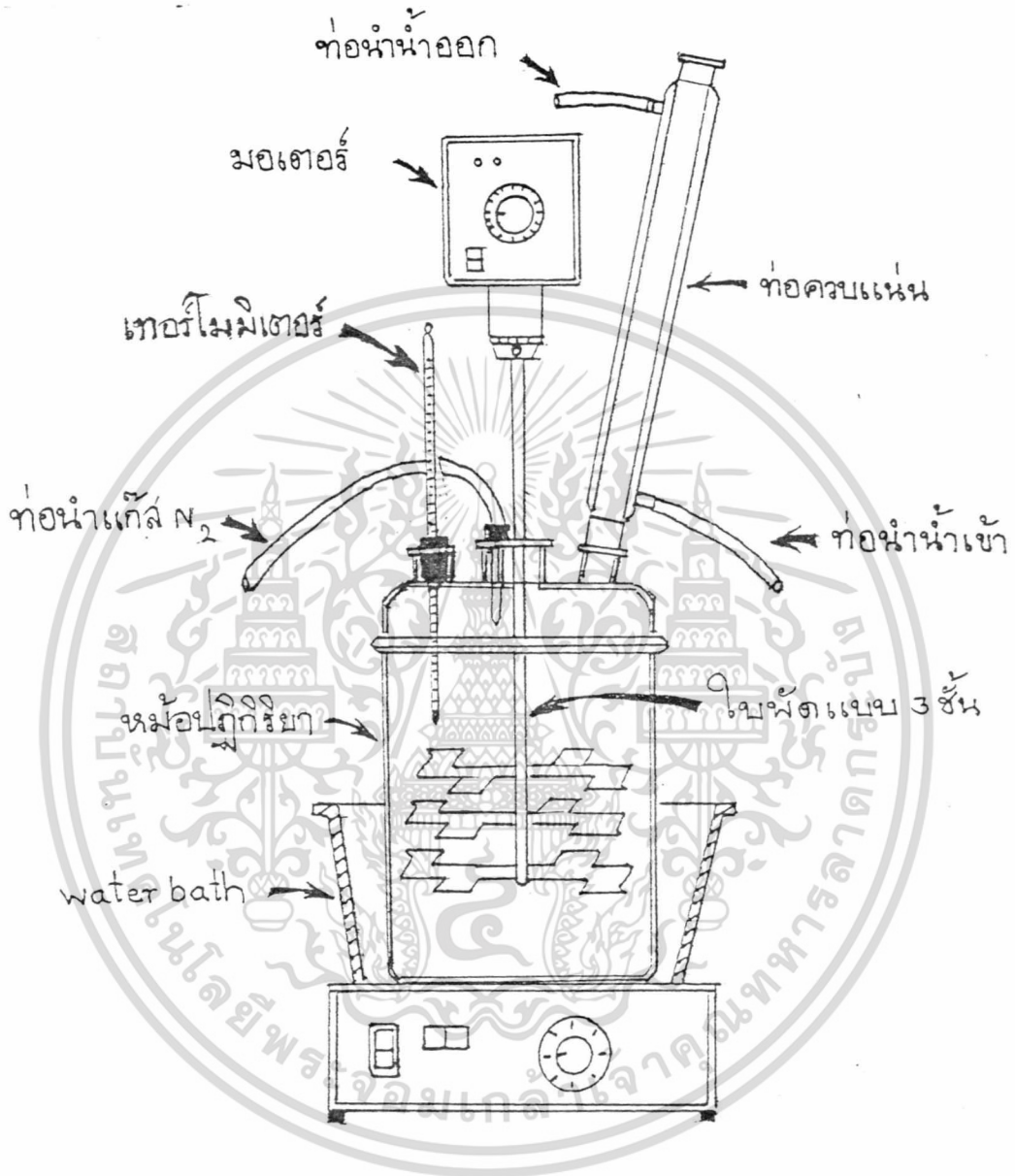
รูปแสดงวิธีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์แบบต่างๆ

วิธีที่ 1



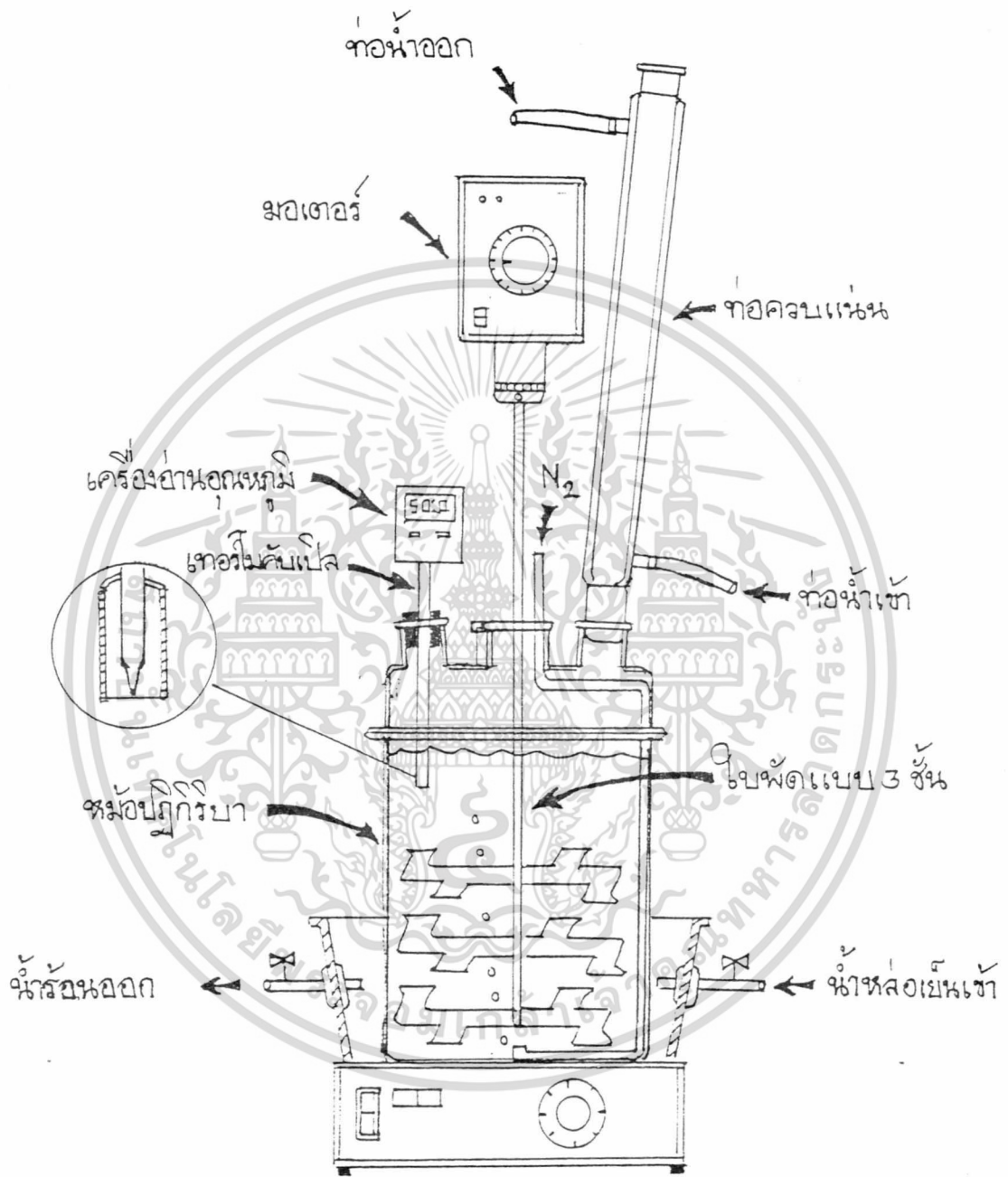
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีที่เสนอให้มีการปรับปรุง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้