

ผลของความเร่งรีบในการกวนต่อสมบัติของอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชัน



นายส์ชญา เบญจกุล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

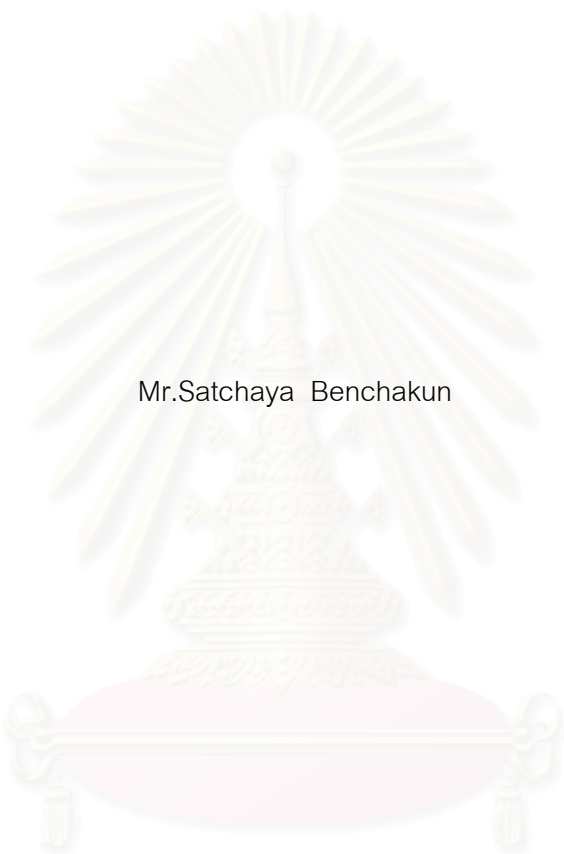
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-0992-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF AGITATION SPEED ON THE PROPERTIES OF ACRYLIC-STYRENE
COPOLYMER EMULSION



Mr.Satchaya Benchakun

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-0992-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของความเร็วรอบในการกวนต่อสมบัติของอะคริลิก-สไตรีน โคพอลิเมอร์อิมัลชัน
โดย	นายส์ชญา เบญจกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.วิทย์ สุนทรนันท์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นายวราคม ไชยยศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม วาณิชเสณี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.วิทย์ สุนทรนันท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นายวราคม ไชยยศ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สิริจุฑารัตน์ โค้ววิสารัช)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ศราวุธ ริมดุสิต)

สัญญา เบญจกุล : ผลของความเร็วยรอบในการกวนต่อสมบัติของอะคริลิก-สไตรีน
โคพอลิเมอร์อิมัลชัน. (Effect of agitation speed on properties of acrylic-styrene
copolymer emulsion) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.วิทย์ สุนทรนันท์, อาจารย์
ที่ปรึกษาร่วม : นายวราคม ไชยยศ จำนวนหน้า 90 หน้า. ISBN 974-17-0992-7

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของความเร็วยรอบในการกวนต่อการเปลี่ยนแปลง
สมบัติของอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชันในกระบวนการแบบเคมีแบบแห้ง โดยทำการ
ทดลองศึกษาผลของความเร็วยรอบในการกวนในช่วงตั้งแต่ 100 ถึง 500 รอบต่อนาที ต่อสมบัติของ
ผลิตภัณฑ์ทั้งในส่วนของอิมัลชันพอลิเมอร์และพอลิเมอร์ฟิล์ม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อมี
การเปลี่ยนแปลงความเร็วยรอบในการกวน สมบัติของอิมัลชันพอลิเมอร์จะมีการเปลี่ยนแปลงไป
โดยพบว่าช่วงความเร็วยรอบในการกวนที่ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติที่ดีคือช่วง 150 ถึง 300 รอบต่อนาที
ซึ่งจะให้อิมัลชันพอลิเมอร์ที่มีลักษณะค่อนข้างโปร่งแสง ขนาดอนุภาคเฉลี่ยต่ำ (0.12-0.14
ไมครอน) การกระจายตัวของขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงแคบ การจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ต่ำ
(0-0.02 เปอร์เซ็นต์) ค่าความหนืดสูง (1,103-1,410 เซนติพอยส์) ค่าร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหยสูง
(50.11-50.69 เปอร์เซ็นต์) และให้ค่าแรงดึงผิวอยู่ในช่วง 47.25-47.55 dyne/cm. ตามลำดับ

สำหรับสมบัติของพอลิเมอร์ฟิล์มที่ได้ก็จะเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับอิมัลชันพอลิเมอร์ ยก
เว้นอุณหภูมิกลาสทรานซิชันซึ่งพบว่าจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วยรอบในการกวนสูงขึ้น โดยมีค่าอยู่
ระหว่าง 28.5-35.3 องศาเซลเซียส ส่วนที่ความเร็วยรอบในการกวนในช่วง 150 ถึง 300 รอบต่อนาที
อุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้จะมีค่าต่ำ (25.3-27.0 องศาเซลเซียส) และความโปร่งแสง
ของฟิล์มจะมีค่าสูง (99.0-99.6 เปอร์เซ็นต์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา...2545..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4271491421 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT

KEY WORD : AGITATION SPEED / ACRYLIC-STYRENE COPOLYMER/ EMULSION

SATCHAYA BENCHAKUN : THESIS TITLE. (EFFECT OF AGITATION SPEED ON THE PROPERTIES OF ACRYLIC-STYRENE COPOLYMER EMULSION)

THESIS ADVISOR : WIT SOONTARANUN , Ph.D. , THESIS COADVISOR : WARAKOM CHAIYOS, 90 pp. ISBN 974-17-0992-7.

This research is to study the effect of agitation speed (100-500 rpm) on the properties of acrylic styrene copolymer emulsion in semibatch emulsion polymerisation reactors. Changes in properties of both polymer emulsions and dried films were observed. Within the range of agitation speeds employed, it was found that there were optimal speeds in between 150 and 350 rpm at which the emulsion becomes transparent. Besides, the operation at these optimal speeds gave small particle size (average particle size 0.12-0.14 micron) with narrow size distribution, low coagulum formation (0-0.02 %), high viscosity (1,103-1,410 centipoise), high non-volatile matter (50.11-50.69 %) and surface tension between 47.25-47.55 dyne/cm respectively.

Nevertheless, in case of dried films obtained therefrom the film properties were found to be dependent on the agitation speed in the same manner as the emulsion with the exception only for glass transition temperature which was found to increase (in the range of 28.5-35.3 celsius degree) with the increase of speed used in preparing the emulsion. At the optimal speed (150 to 300 rpm) the minimum film forming temperature were low (25.3-27.0 celsius degree) and light transmission were high (99.0-99.6 %).

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Chemical Engineering... Student's signature.....

Field of study.....Chemical Engineering... Advisor's signature.....

Academic year ...2002..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

การทำงานวิจัยครั้งนี้ ผู้ทำการวิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสุดต่อ อ.ดร.วิทย์
สุนทรนันท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ คุณวราคม ไชยยศ ผู้จัดการฝ่ายเทคนิค บริษัท
สยามเคมีคอล อินดัสตรี จำกัด อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาตรวจสอบเนื้อหา
วิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำต่อผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา ตลอดจน รองศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม
วณิชเสนี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อ.ดร.สิริจุฑารัตน์ โควาวิสารัช และ อ.ดร.ศราวุธ
ริมคูสิต กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และตรวจสอบเนื้อหาวิทยานิพนธ์
ด้วยดีตลอดมา จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นอกจากนี้ ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งต่อ บริษัทสยามเคมีคอล
อินดัสตรี จำกัด ที่ได้เกื้อหนุนอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำวิจัย รวมทั้งศูนย์วิจัยโลหะและวัสดุแห่งชาติ
ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือตรวจสอบ อุณหภูมิกลาสทรานซิชั่น ขนาดอนุภาคและ
การกระจายตัวของขนาดอนุภาค งานงานวิจัยสำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดามารดา ซึ่งคอยเป็นกำลังใจ และสนับสนุนผู้
วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
สัญลักษณ์และอักษรย่อ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 พอลิเมอร์สังเคราะห์.....	1
1.2 อะคริลิก-สไตรีน โคพอลิเมอร์อิมัลชัน.....	3
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	9
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
3. โพลีเมอไรเซชันแบบอิมัลชันของอะคริลิก-สไตรีน โคพอลิเมอร์อิมัลชัน.....	14
3.1 โพลีเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน.....	14
3.2 อุตสาหกรรมการผลิตอะคริลิก-สไตรีน โคพอลิเมอร์อิมัลชันในทางการค้า.....	22
3.3 คุณสมบัติที่สำคัญของพอลิเมอร์สำหรับการนำไปใช้งาน.....	30
4. การดำเนินงานวิจัย.....	34
4.1 กระบวนการ โพลีเมอไรเซชัน.....	34
4.2 การตรวจสอบสมบัติของอะคริลิก-สไตรีน โคพอลิเมอร์อิมัลชัน.....	38
5. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	41
5.1 การเปลี่ยนแปลงรวมของมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์.....	41
5.2 สมบัติของอะคริลิก-สไตรีน โคพอลิเมอร์อิมัลชัน.....	46
5.3 สมบัติของพอลิเมอร์ฟิล์ม.....	63
5.4 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต.....	69
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	72

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
รายการอ้างอิง.....	76
ภาคผนวก.....	78
ภาคผนวก 1	79
ภาคผนวก 2	88
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	90



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
1.1 แสดงข้อดีข้อเสียของเทคนิคโพลีเมอร์เซชันในแต่ละแบบ.....	2
1.2 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบสมบัติของอิมัลชันพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ.....	4
2.1 แสดงผลของชนิดของใบกวนและกำลังงานต่อหน่วยปริมาตรที่ใช้ต่อการผสมและการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ในถังปฏิกรณ์ขนาด 3 ลิตร.....	11
2.2 แสดงผลของชนิดของใบกวนและกำลังงานต่อหน่วยปริมาตรที่ใช้ต่อการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ในถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในทางการค้า (ขนาด 5 ลูกบาศก์เมตร) ในผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน.....	13
3.1 แสดงมอนอเมอร์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชัน.....	15
3.2 แสดงผลของเทคนิคการเติมมอนอเมอร์ต่อการควบคุมกระบวนการและสมบัติของผลิตภัณฑ์.....	26
3.3 แสดงผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติของพอลิเมอร์.....	27
4.1 แสดงสูตรพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	34
5.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงรวมของมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ในแต่ละช่วงเวลาที่มีความเร็วรอบในการกวนต่างๆ กัน.....	42
5.2 แสดงผลของความเร็วรอบในการกวนต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาค.....	47
5.3 แสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่ความเร็วรอบในการกวนต่างๆ กัน.....	49
5.4 แสดงผลของความเร็วรอบในการกวนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด.....	54
5.5 แสดงผลของความเร็วรอบในการกวนต่อการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์.....	56
5.6 แสดงผลของความเร็วรอบในการกวนต่อร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหย.....	59
5.7 แสดงผลของความเร็วรอบในการกวนต่อค่าแรงตึงผิว.....	61
5.8 แสดงผลของความเร็วรอบในการกวนต่ออุณหภูมิกลาสทรานซิชัน.....	63
5.9 แสดงผลของความเร็วรอบในการกวนต่ออุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้.....	65
5.10 แสดงผลของความเร็วรอบในการกวนต่อการส่งผ่านของแสงของพอลิเมอร์ฟิล์ม.....	68
6.1 แสดงความเร็วรอบในการกวนที่ใช้เมื่อทำการขยายขนาดถึงปฏิกรณ์ให้ใหญ่ขึ้น.....	74

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของอะคริลิกพอลิเมอร์.....	3
1.2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของอะคริลิก-สไตรีน โคพอลิเมอร์อิมัลชัน.....	4
1.3 แสดงการใช้งานอะคริลิก-สไตรีน โคพอลิเมอร์อิมัลชัน ในอุตสาหกรรมสีและเคลือบผิว....	6
1.4 แสดงการใช้งานอะคริลิก-สไตรีน โคพอลิเมอร์อิมัลชัน ในอุตสาหกรรม Fabric Treatment.....	7
2.1 แสดงปริมาณการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ (VONCOAT KK-01) ที่กำลังงานต่อ หน่วยปริมาตรต่างๆ กัน.....	12
3.1 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว.....	16
3.2 แสดงรูปร่างของไมเซลล์.....	18
3.3 แสดงขั้นตอนการเกิดโพลิเมอร์ไรเซชันแบบอิมัลชัน.....	20
3.4 แสดงองค์ประกอบและขั้นตอนการผลิตอิมัลชันพอลิเมอร์ในกระบวนการ แบบเซมิแบทช์.....	22
3.5 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตอิมัลชันพอลิเมอร์ในกระบวนการ แบบเซมิแบทช์.....	23
3.6 แสดงขั้นตอนการเกิดเป็นฟิล์มของพอลิเมอร์อิมัลชัน.....	33
4.1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือทำการทดลอง.....	36
5.1 แสดงผลของความเร็วยอบในการกวนต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละของการเปลี่ยน เป็นพอลิเมอร์ที่เวลาต่างๆ กัน.....	43
5.2 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันที่เกิดขึ้นในไมเซลล์.....	44
5.3 แสดงผลของความเร็วยอบในการกวนต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละของการเปลี่ยน เป็นพอลิเมอร์ตั้งแต่ร้อยละ 70 เป็นต้นไปที่เวลาต่างๆ กัน.....	45
5.4 แสดงลักษณะที่ปรากฏของอิมัลชันพอลิเมอร์ที่ความเร็วยอบในการกวนต่างๆ กัน.....	46
5.5 แสดงผลของความเร็วยอบในการกวนต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคเฉลี่ย.....	48
5.6 แสดงผลของความเร็วยอบในการกวนต่อการกระจายตัวของขนาดอนุภาค พอลิเมอร์.....	51
5.7 แสดงผลของความเร็วยอบในการกวนต่อการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (ที่ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 10 ไมครอน).....	53
5.8 แสดงผลของความเร็วยอบในการกวนต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของพอลิเมอร์.....	55
5.9 แสดงผลของความเร็วยอบในการกวนต่อการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์.....	58

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5.10 แสดงผลของความเร็รรอบในการกวาดร่องละเอียดของส่วนที่ไม่ระเหยของ อิมัลชันพอลิเมอร์ที่ได้.....	60
5.11 แสดงผลของความเร็รรอบในการกวาดต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแรงตึงผิว.....	62
5.12 แสดงผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับอิมัลชันพอลิเมอร์.....	62
5.13 แสดงผลของความเร็รรอบในการกวาดต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ กลาสทรานซิชัน.....	64
5.14 แสดงผลของความเร็รรอบในการกวาดต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำสุดที่ พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้.....	67
5.15 แสดงผลของความเร็รรอบในการกวาดต่อการส่งผ่านของแสงของพอลิเมอร์ฟิล์ม.....	69
ผ.1 แสดงตัวอย่างของการทดสอบหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ ที่ใช้ความเร็รรอบในการกวาด 100 รอบต่อนาที.....	79
ผ.2 แสดงตัวอย่างของการทดสอบหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ ที่ใช้ความเร็รรอบในการกวาด 150 รอบต่อนาที.....	80
ผ.3 แสดงตัวอย่างของการทดสอบหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ ที่ใช้ความเร็รรอบในการกวาด 200 รอบต่อนาที.....	81
ผ.4 แสดงตัวอย่างของการทดสอบหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ ที่ใช้ความเร็รรอบในการกวาด 250 รอบต่อนาที.....	82
ผ.5 แสดงตัวอย่างของการทดสอบหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ ที่ใช้ความเร็รรอบในการกวาด 300 รอบต่อนาที.....	83
ผ.6 แสดงตัวอย่างของการทดสอบหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ ที่ใช้ความเร็รรอบในการกวาด 350 รอบต่อนาที.....	84
ผ.7 แสดงตัวอย่างของการทดสอบหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ ที่ใช้ความเร็รรอบในการกวาด 400 รอบต่อนาที.....	85
ผ.8 แสดงตัวอย่างของการทดสอบหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ ที่ใช้ความเร็รรอบในการกวาด 450 รอบต่อนาที.....	86
ผ.9 แสดงตัวอย่างของการทดสอบหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ ที่ใช้ความเร็รรอบในการกวาด 500 รอบต่อนาที.....	87

สัญลักษณ์และอักษรย่อ

S	=	อัตราการเฉือน (Shear rate)
P	=	Power consumption
Vr	=	ปริมาตรของถังปฏิกรณ์
ρ	=	ความหนาแน่น
V	=	The kinematic viscosity
Nt	=	จำนวนอนุภาคต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร
No	=	ความเข้มข้นของอนุภาคในช่วงเริ่มต้น
ϕ	=	อัตราส่วนโดยปริมาตร (The volume fraction)
W	=	The stability factor
C	=	อัตราส่วนของอนุภาคที่จับตัวเป็นก้อน
W_A	=	อัตราส่วนของมอนอเมอร์ A ที่ใช้
W_B	=	อัตราส่วนของมอนอเมอร์ B ที่ใช้
Tg	=	ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของโคพอลิเมอร์
Tg_A	=	ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ A
Tg_B	=	ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ B

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 พอลิเมอร์สังเคราะห์

ปัจจุบันวัสดุประเภทพอลิเมอร์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมากในชีวิตประจำวันของมนุษย์ สิ่งของต่าง ๆ หลายประเภทที่อยู่รอบตัวเราผลิตมาจากพอลิเมอร์ ตัวอย่างเช่น เสื้อผ้า รองเท้า ถุงพลาสติก สีทาบ้าน อุปกรณ์ชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น ซึ่งจากการใช้ประโยชน์ที่หลากหลายของพอลิเมอร์ จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคการผลิตพอลิเมอร์ประเภทต่างๆ มาอย่างต่อเนื่อง โดยเทคนิคการผลิตที่สำคัญในทางการค้าในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ คือ โพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ (Bulk polymerization) โพลีเมอไรเซชันในสารละลาย (Solution polymerization) โพลีเมอไรเซชันแบบแขวนลอย (Suspension polymerization) และ โพลีเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization) ซึ่งกระบวนการโพลีเมอไรเซชันสามารถจำแนกได้เป็นสองระบบดังนี้ [1]

1. ระบบเนื้อเดียวกัน (Homogeneous system) ระบบโพลีเมอไรเซชันนี้ทั้งสารตั้งต้นคือ มอนอเมอร์หรือคู่มอนอเมอร์ ตัวทำละลาย (ถ้ามี) ตัวเร่งหรือตัวริเริ่มตลอดจนผลิตภัณฑ์คือพอลิเมอร์หรือโคพอลิเมอร์สามารถละลายเข้าด้วยกันได้เป็นเนื้อเดียวกัน ทั้งระบบปรากฏเพียงชั้น (phase) เดียวเท่านั้น เทคนิคโพลีเมอไรเซชันที่จัดเป็นแบบระบบเนื้อเดียวกันได้แก่ แบบบัลค์ และ แบบสารละลาย
2. ระบบเนื้อผสม (Heterogeneous system) เป็นระบบโพลีเมอไรเซชันที่ปรากฏมากกว่าหนึ่งชั้น เกิดจากการที่สารใดสารหนึ่งหรือมากกว่าไม่สามารถละลายได้ในสารอื่น ๆ ในระบบ เช่น ตัวเร่งไม่ละลายในตัวทำละลาย ผลิตภัณฑ์หรือพอลิเมอร์ที่ได้ไม่ละลายในตัวทำละลาย (ถ้ามี) ตัวเร่งไม่ละลายในมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์ที่ได้ เป็นต้น เทคนิคโพลีเมอไรเซชันแบบเนื้อผสมได้แก่ แบบแขวนลอย และ แบบอิมัลชัน

โดยในอุตสาหกรรมการผลิตพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง ๆ เช่น อะคริลิกพอลิเมอร์ หรือ อะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์ (Acrylic or Acrylic-styrene copolymer) จะเลือกใช้วิธีใดในการผลิตขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ต้นทุนการผลิต และ วัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งานเป็นสำคัญ ซึ่งแต่ละระบบต่างก็มีข้อดีข้อเสียบางประการ สรุปได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงข้อดีและข้อเสียของเทคนิคโพลีเมอไรเซชันในแต่ละแบบ

ชนิด	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
<p>ระบบเนื้อเดียวกัน</p> <p>แบบบัลค์</p>	<p>ได้พอลิเมอร์ที่ค่อนข้างบริสุทธิ์หรือมีสารปนเปื้อนน้อย มีตัวริเริ่มตกค้างน้อย อุปกรณ์ง่าย ๆ</p>	<p>ควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาได้ยาก ขจัดมอนอเมอร์และตัวริเริ่มที่ตกค้างได้ยาก อาจได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเกินไป</p>
<p>แบบสารละลาย</p>	<p>ควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาได้ง่าย ผสมหรือกวนได้สะดวกเพราะมีความหนืดต่ำ พอลิเมอร์ที่ได้ในรูปของสารละลายอาจนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง</p>	<p>อาจมีปัญหาในการขจัดตัวทำละลายและสารอื่นๆ ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในกรณีที่ต้องการนำตัวทำละลายกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่ง</p>
<p>ระบบเนื้อผสม</p> <p>แบบแขวนลอย</p>	<p>ความหนืดต่ำตลอดปฏิกิริยา ได้พอลิเมอร์ที่มีความบริสุทธิ์สูงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของการโพลีเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน การแยกพอลิเมอร์ออกทำได้ง่าย ควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาได้ง่าย พอลิเมอร์มีลักษณะเป็นเม็ดที่มีขนาดเหมาะสมกับการนำไปใช้งานหรือแปรรูปความหนืดต่ำตลอดปฏิกิริยา</p>	<p>ปฏิกิริยาแปรผันโดยตรงกับความถี่ของการเขย่าหรือการกวน อาจเกิดปัญหาการควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาและขนาดของเม็ดพอลิเมอร์ที่ได้</p>
<p>แบบอิมัลชัน</p>	<p>ควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาได้ง่าย พอลิเมอร์อยู่ในรูปของลาเท็กซ์ (Latex) นำไปใช้งานได้โดยตรง ได้ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงเป็นพอลิเมอร์ (% conversion) สูง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วมาก ได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีการแจกแจงของน้ำหนักโมเลกุลที่แคบ</p>	<p>การขจัดสารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) และสารปนเปื้อนอื่นๆ ทำได้ยาก พอลิเมอร์มีความบริสุทธิ์ต่ำอาจทำให้พอลิเมอร์มีคุณภาพด้อยลง</p>

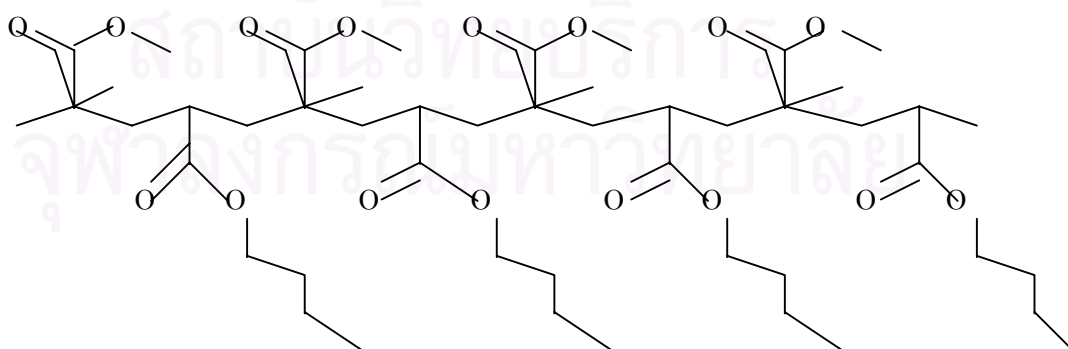
1.2 อะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชัน

1.2.1 ประวัติความเป็นมาของ อะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชัน [14]

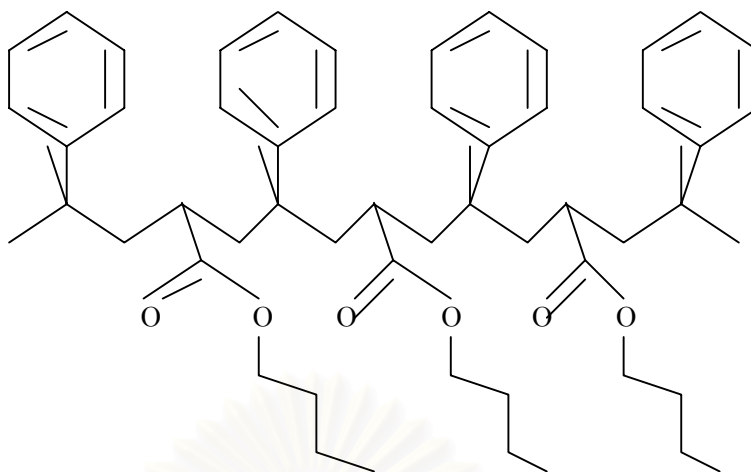
ในปี ค.ศ.1929 Fikentscher ได้พัฒนากระบวนการโพลีเมอไรเซชันแบบอิมัลชันของ อะคริลิกเอสเทอร์โคพอลิเมอร์อิมัลชัน (acrylic ester copolymer emulsion) ซึ่งพอลิเมอร์ชนิดนี้ต่อมาได้นำมาใช้อย่างกว้างขวางในประเทศแถบยุโรปสำหรับอุตสาหกรรมสีน้ำใช้ทาภายนอกในช่วงตั้งแต่กลางปี ค.ศ.1950 ซึ่งสีที่ใช้พอลิเมอร์นี้เป็นตัวยึดจะมีคุณสมบัติต้านทานต่อการเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (saponification) บนชิ้นงานที่มีสภาพเป็นด่างได้เป็นอย่างดี การดูดซับน้ำและการจับตัวกับสิ่งสกปรกจะต่ำแต่ราคาจะค่อนข้างสูง ซึ่งในเวลาต่อมาจากความต้องการตัวยึดที่มีคุณภาพดี แต่ราคาต่ำ ในช่วงประมาณกลางปี ค.ศ.1960 อะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชัน จึงได้มีการพัฒนาขึ้นมาวางขายในตลาดยุโรปเป็นครั้งแรก และจากคุณสมบัติที่ดีทั้งทางด้าน การทนทานต่อการขีดถู ตลอดจนการดูดซึมน้ำต่ำ ทำให้พอลิเมอร์ที่ได้สามารถนำไปใช้ได้ทั้งในอุตสาหกรรมสี เสี้นิย และอุตสาหกรรมอื่นๆ ทำให้อะคริลิกสไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชันมีการเติบโตและใช้กันอย่างแพร่หลายต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน

1.2.2 โครงสร้างทางเคมีของอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชัน

โดยทั่วไปอะคริลิกโคพอลิเมอร์จะแบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือ pure acrylic ซึ่งเป็นโคพอลิเมอร์ที่ผลิตจากเอสเทอร์มอนอเมอร์ของอะคริลิกและเมทาคริลิก ส่วนประเภทที่สองคือ อะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์ ซึ่งจะต่างจาก pure acrylic ตรงที่มีสไตรีนเข้ามามีส่วนร่วมด้วย สำหรับมอนอเมอร์ที่ใช้สำหรับพอลิเมอร์ทั้งสองประเภทจะได้กล่าวถึงในบทต่อไป สำหรับโครงสร้างทางเคมีของโคพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดแสดงได้ดังรูปที่ 1.1 และ 1.2 ตามลำดับ



รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของอะคริลิกพอลิเมอร์ (Pure acrylic)



รูปที่ 1.2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของอะคริลิก-สไตรีน โคพอลิเมอร์

1.2.3 สมบัติของอะคริลิก-สไตรีน โคพอลิเมอร์อิมัลชัน

อะคริลิก-สไตรีน โคพอลิเมอร์อิมัลชันมีสมบัติที่ดีทั้งสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับอิมัลชันพอลิเมอร์อื่นๆ เช่น ไวนิลเอซิติเตตพอลิเมอร์ อะคริลิกพอลิเมอร์ เป็นต้น ซึ่งสมบัติต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1.2 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบสมบัติของอิมัลชันพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ

Properties	Vinyl Acetate	Vinyl Acetate- Veova	Acrylic	Acrylic- Styrene
Alkaline resistance	Poor	Fair	Good - Excellent	Excellent
Water resistance	Fair	Fair	Good - Excellent	Good - Excellent
Weather resistance	Fair - Good	Fair - Good	Good - Excellent	Good - Excellent
Film hardness	Medium	Soft - Medium	Soft - Hard	Soft - Hard
Pigment binding power	Poor	Fair	Good	Excellent

1.2.4 ประโยชน์และการใช้งานของอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชัน

สำหรับอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์ที่ผลิตโดยเทคนิคโพลีเมอไรเซชันแบบอิมัลชันได้เข้ามามีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมต่างๆ หลายประเภทอันเนื่องมาจาก

1.สามารถผลิตพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติที่หลากหลายได้คุณภาพตามที่ต้องการ โดยการเลือกใช้มอนอเมอร์แต่ละชนิดผสมในอัตราส่วนและสภาวะการผลิตที่เหมาะสม ทำให้สามารถเลือกใช้งานได้ในหลายอุตสาหกรรม

2.เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายจึงทำให้สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้โดยตรง ไม่มีความเป็นพิษอันเนื่องมาจากตัวทำละลายอินทรีย์ รวมทั้งลดความเสี่ยงในด้านอัคคีภัย

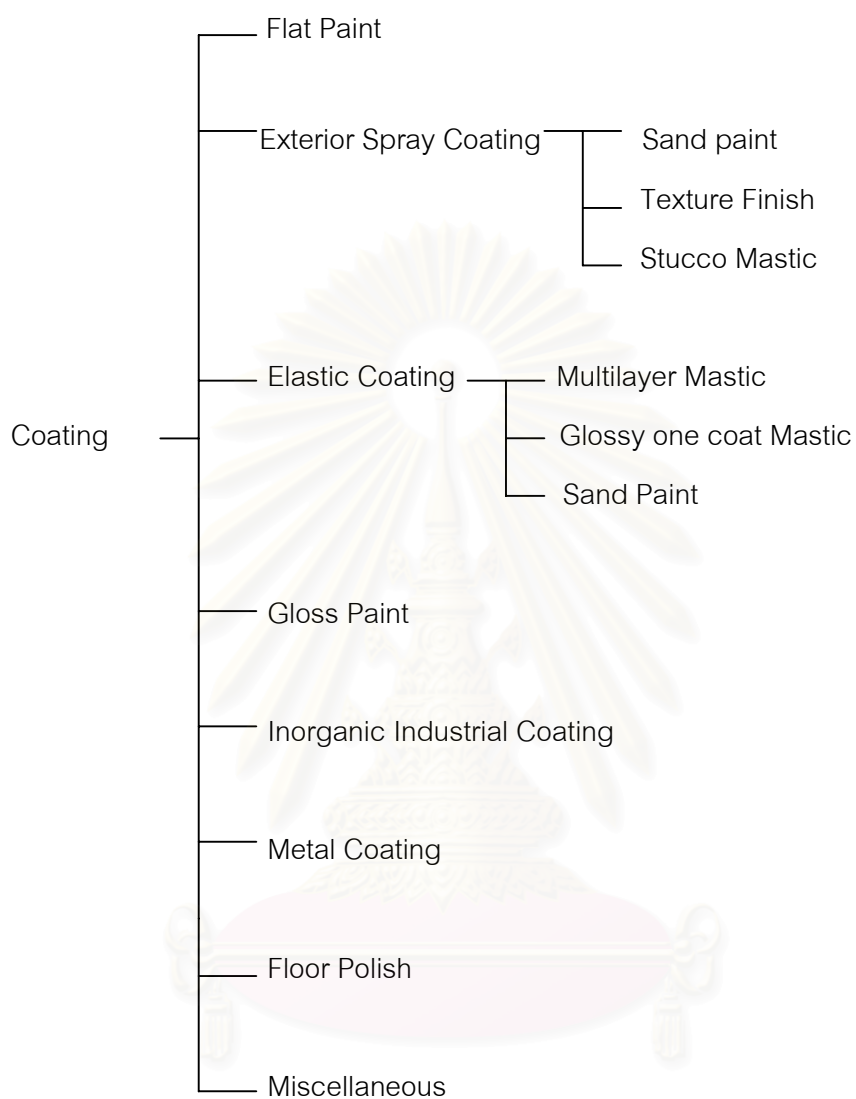
3.การใช้งานทำได้ง่ายสามารถเจือจางปรับความเข้มข้นของพอลิเมอร์ได้ตามความต้องการในการใช้งานด้วยน้ำ การทำความสะอาดอุปกรณ์ใช้งานก็สามารถทำได้ง่ายโดยใช้น้ำล้าง

4.ในด้านราคาอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชันซึ่งมีน้ำเป็นตัวทำละลายจะมีราคาถูกกว่าอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์ ที่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์เป็นอย่างมาก

สำหรับผลิตภัณฑ์อะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชันในปัจจุบันส่วนใหญ่จะนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่อไปนี้

1.2.4.1 อุตสาหกรรมสีและเคลือบผิว (Paints and Surface Coating)

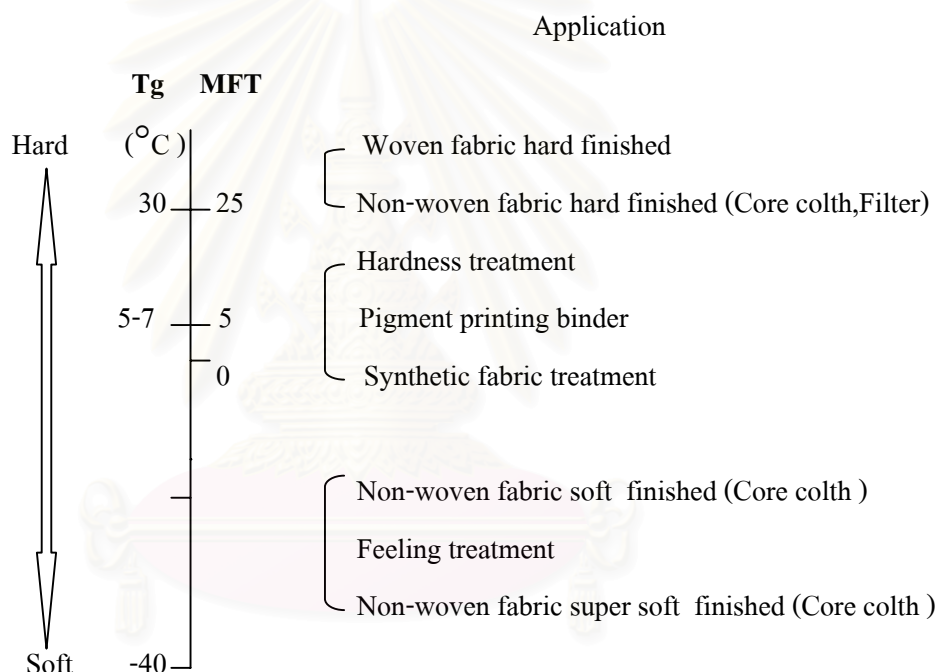
อะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์มีคุณสมบัติเป็นสารเคลือบผิวที่ดี ให้ความคงทนต่อต่างดี การดูดซึมน้ำต่ำ ทนต่อการกระทบกระเทือนจากแสงภายนอก ฟิล์มที่ได้จะมีความเงาสวย เข้ากับผนังได้ดี นอกจากนี้สามารถยึดยึดผิวหน้าได้ดี มีความแข็งแรงและทนทาน ความเป็นพิษต่ำ เป็นต้น ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการนำอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์ไปใช้ในอุตสาหกรรมสีทาบ้านทั้งภายนอกและภายใน รวมทั้งใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวหน้าอย่างกว้างขวางแสดงได้ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แสดงการใช้งานอะคริลิก-สไตรีน โคพอลิเมอร์อิมัลชันในอุตสาหกรรมสีและเคลือบผิว

1.2.4.2 อุตสาหกรรมทางด้าน Fabric Treatment

จากความต้องการที่หลากหลายในงานด้าน Fabric Treatment เช่น การเพิ่มความอ่อนนุ่ม การเพิ่มความแข็ง การคงรูปของชิ้นงาน เป็นต้น ซึ่งอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์สามารถทำให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการได้โดยการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของ Soft / Hard มอนอเมอร์ที่ใช้เหมาะสม รวมทั้งสมบัติที่ดีทั้งทางด้าน การทนต่อการซักล้าง การซักแห้ง การทนด่าง การยืดเกาะที่ดี เป็นต้น ทำให้ อะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์ สามารถใช้งานด้าน Fabric Treatment ได้เป็นอย่างดี ซึ่งการใช้งานในอุตสาหกรรมทางด้าน Fabric Treatment สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 แสดงการใช้งานอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชันในอุตสาหกรรม Fabric Treatment

1.2.4.3 อุตสาหกรรมอื่น ๆ

เนื่องจากคุณสมบัติที่หลากหลายของพอลิเมอร์ที่ได้ นอกจากงานทางการเคลือบ และ Fabric Treatment ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว อะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอื่นๆ ได้อีกตัวอย่างเช่น สารเติมแต่งในซีเมนต์ (Cement additive) การใช้งานทางด้าน adhesives อุตสาหกรรมกระดาษ การทำพอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer composite) กับยางธรรมชาติเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการใช้งานของยางธรรมชาติ เป็นต้น

1.2.5 มวลเหตุจูงใจ

เนื่องจากในกระบวนการผลิตปัจจุบันเรายังขาดความรู้ความเข้าใจพื้นฐานในด้านเทคนิคการผลิต ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติที่ไม่เหมาะสมต่อการใช้งานของลูกค้า เช่น มีความหนืดต่ำ ขนาดอนุภาคใหญ่เกินไปทำให้พอลิเมอร์เกิดการแยกชั้น พอลิเมอร์ไม่สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้ที่อุณหภูมิใช้งาน เป็นต้น นอกจากนี้ในระหว่างการผลิตมีการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ในปริมาณสูงทำให้ผลได้ (Yield) ต่ำ หรือ เกิดการเจล (Gelation) ของพอลิเมอร์ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นผลทำให้ต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์สูง ทำให้ไม่สามารถแข่งขันกับสินค้านำเข้าจากต่างประเทศได้ ดังนั้นในยุคปัจจุบันซึ่งมีการแข่งขันกันในตลาดค่อนข้างสูงจึงมีความจำเป็นเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาค้นคว้าวิจัยเพื่อให้ได้มาซึ่งเทคนิคการผลิตและสภาวะการผลิตที่เหมาะสม ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ให้ความสำคัญค่าในการผลิตทางการค้าและความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน เพื่อให้สามารถแข่งขันกับสินค้านำเข้าได้ทั้งในเรื่องคุณภาพและราคาของสินค้า

สำหรับในกระบวนการผลิตอะคริลิก-สไตรีน โคพอลิเมอร์อิมัลชันมีปัจจัยการผลิตสำคัญหลายประการที่จำเป็นต้องควบคุมในระหว่างกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติตามที่เรต้องการยกตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ชนิดของสารช่วยในการเกิดอิมัลชัน สภาพความเป็นกรดเป็นด่าง เทคนิคการเติมมอนอเมอร์ และความเร็วรอบของการกวน เป็นต้น โดยจากประสบการณ์ในทางอุตสาหกรรมพบว่าความเร็วรอบของการกวนเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่ต้องควบคุมให้เหมาะสมสำหรับในแต่ละผลิตภัณฑ์ เพราะปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันเกิดในระบบที่ประกอบด้วยหลายวัฏภาคของของเหลวที่ต่างเฟสกัน ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของการกวนก็เพื่อทำให้เกิดการผสมลดขนาดและเพิ่มการกระจายตัวของเฟสต่างๆ ในของเหลวอย่างทั่วถึงทั้งระบบ และนอกจากนี้ การกวนด้วยความเร็วรอบที่เหมาะสมจะส่งผลต่อประสิทธิภาพที่ดีในการถ่ายเทความร้อนรวมทั้งการกระจายตัวของอุณหภูมิให้สม่ำเสมอทั้งระบบ

ดังนั้นการเลือกใช้ความเร็วรอบในการกวนก็เป็นเงื่อนไขการทำงานที่มีความสำคัญ และจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาเลือกใช้ให้เหมาะสม เพื่อใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดบนพื้นฐานของการนำองค์ความรู้ทั้งทางด้านกระบวนการทางกายภาพ ความรู้ทางด้านกระบวนการทางเคมีและความรู้ทางเศรษฐศาสตร์มาผสมผสานกัน เพื่อให้ได้เงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตอย่างแท้จริง

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาผลของความเร็วยวรอบในการกวนต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์อะคริลิก-สไตรีน โคลิโพลิเมอร์อิมัลชัน ในกระบวนการผลิตแบบเซมิแบทช์

หมายเหตุ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ได้ศึกษาโดยการจำลองรูปแบบจากกระบวนการผลิตจริง โดยทำการทดลองในห้องทดลองของฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ บริษัทสยามเคมีคอล อินดัสตรี จำกัด

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัย สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อประกอบการพิจารณา กำหนดสภาวะการผลิตเพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดี ให้ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ และมีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

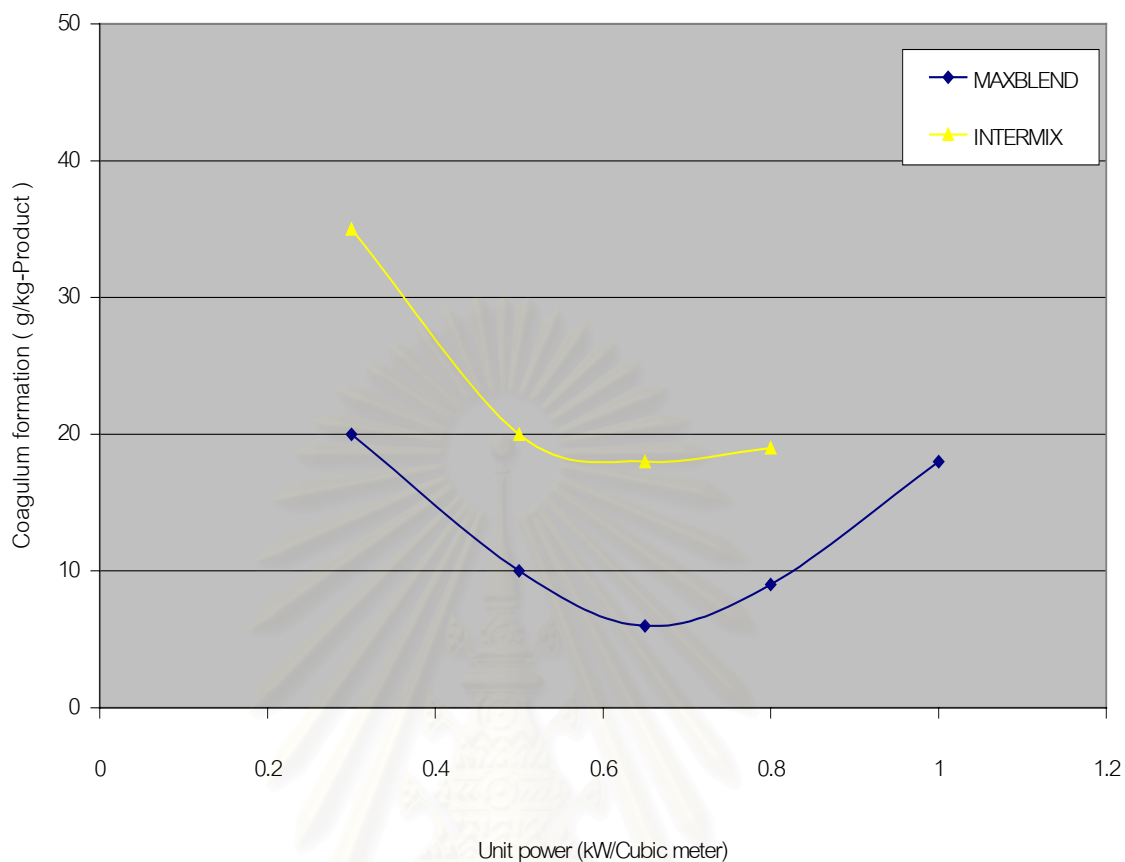
Theron และคณะ [11] จากคณะวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัย Stellenbosh ประเทศแอฟริกาใต้ ได้ศึกษาการขยายขนาด (scale-up) และการควบคุมปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันเพื่อการค้า โดยใช้สูตรการผลิตที่พัฒนาในระดับห้องปฏิบัติการของบริษัท Plascon ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีชื่อว่า NW-120 โดยใช้ pilot plant ขนาด 5 ลิตร และทำการทดลองที่สภาวะการทดลองต่างๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งสภาวะการผลิตที่เหมาะสม โดยความเร็วรอบของการกวนก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ได้ทำการศึกษา โดยทำการศึกษาความเร็วรอบของการกวนในช่วง 150-550 รอบต่อนาที ผลการทดลองพบว่าการเกิดการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ซึ่งเป็นผลมาจากแรงเฉือนในช่วงความเร็วรอบ 450 รอบต่อนาทีเป็นต้นไป และจากการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพที่ความเร็วรอบของการกวน 550 รอบต่อนาที พบว่าผลที่ได้ไม่เป็นที่น่าพอใจ และพบว่าที่ความเร็วรอบ 150 และ 250 รอบต่อนาที จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดอนุภาค และ ความหนืดที่เหมาะสมในการใช้งานเป็นตัวยัดในสี

Sawada และคณะ [18] ได้ศึกษาเกี่ยวกับใบกวนที่ใช้ในถังปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการผลิตพอลิเมอร์โดยเทคนิคโพลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน ซึ่งวัตถุประสงค์ของการศึกษา คือ ต้องการลดอัตราการเกิดการจับตัวเป็นก้อน (Coagulum formation) ในระหว่างการทำปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันโดยการเลือกใช้สภาวะการกวนที่เหมาะสมทั้งในส่วนของชนิดของใบกวนและกำลังงานต่อหน่วยปริมาตร (Unit power, kW/M³) ที่ใช้ ซึ่งกำลังงานที่ใช้ก็เป็นตัวกำหนดความเร็วรอบของการกวนนั่นเอง โดยทำการศึกษาเริ่มต้นในถังปฏิกรณ์ขนาด 3 ลิตร ที่ใช้ใบกวนแตกต่างกัน 4 ประเภทคือ INTERMIX, SIMAZAKI, MAXBLEND และ Curved blade turbine ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงผลของชนิดของใบกวนและกำลังงานต่อหน่วยปริมาตรที่ใช้ต่อการผสมและการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ในถังปฏิกรณ์ขนาด 3 ลิตร

Impeller		MAXBLEND	Curve blade turbine	INTERMIX	SHIMAZAKI
Mixing Test	Low viscosity (about 200 cps.)	Excellent	Fair	Good	Excellent
	Middle viscosity (about 1000 cps.)	Excellent	Fair	Good	Poor
	High viscosity (about 5000 cps.)	Excellent	Good	Poor	Very poor
	Observation & Problems	Flow pattern is stable against increasing liquid levels.	Blade splashes much liquid.	Mixing is poor at upper part and bottom part.	1. Nothing adheres to the shaft and blade. 2. Unit power is required.
Coagulum formation test		MAXBLEND, INTERMIX < Curved blade turbine < SIMAZAKI ← Less coagulum formation			
Conclusion		MAXBLEND is superior to the others			

หลังจากนั้นจึงได้ทำการขยายขนาดขึ้นเป็นถังปฏิกรณ์ขนาด 30 ลิตร โดยเลือกใช้ใบกวนแบบ MAXBLEND และ INTERMIX ที่กำลังงานต่อหน่วยปริมาตรต่างๆกันในกรณีของ VONCOAT KK-01 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูงสุดระหว่างปฏิกริยาประมาณ 1,100 เซนติพอยส์ ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงปริมาณการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ (VONCOAT KK-01) ที่กำลังงานต่อหน่วยปริมาตรต่าง ๆ กัน

หมายเหตุ

VONCOAT เป็นชื่อทางการค้าของผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์อิมัลชันของบริษัทไดนิปปอนอิงค์ แอนด์ เคมีคอล จำกัด และบริษัทสยามเคมีคอล อินดัสตรี จำกัด

จากผลการทดลองที่ได้จะพบว่าทั้งชนิดของใบกวนและกำลังงานที่ใช้ต่อหน่วยปริมาตรต่าง ๆ กันจะมีการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ที่ต่างกัน โดยใบกวนแบบ MAXBLEND จะมีการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ต่ำกว่า INTERMIX ในทุกช่วงกำลังงานต่อหน่วยปริมาตรที่ใช้ จากนั้นได้ทำการศึกษาต่อโดยการขยายขนาดเป็นถังปฏิกรณ์ขนาด 5 ลูกบาศก์เมตร และทดลองกับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงผลของชนิดใบกวนและกำลังงานต่อหน่วยปริมาตรที่ใช้ต่อการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ในถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในทางการค้า (ขนาด 5 ลูกบาศก์เมตร) ในผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน

ผลิตภัณฑ์	ชนิดใบกวน	การจับตัวเป็นก้อน (กิโลกรัม)	กำลังงานต่อหน่วยปริมาตร (กิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตร)	ความเร็วรอบในการกวน (รอบต่อนาที)
3990 (อะคริลิกอิมัลชัน)	Turbine	10	-	60
	MAXBLEND	7	0.8	40
SPF-300 (แคตไอออนิกอิมัลชัน)	Turbine	10	0.15	80
	MAXBLEND	8	0.09	40
5393 (อะคริลิกสไตรีนอิมัลชัน)	Turbine	8	-	70
	MAXBLEND	6	0.60	50
J-2005 (PVA อิมัลชัน)	Turbine	21	1.62	100
	MAXBLEND	7	0.71	60

จากผลงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่า การกวนเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตพอลิเมอร์อิมัลชัน โดยพบว่าทั้งในผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันและต่างชนิดกันชนิดของใบกวนและความเร็วรอบในการกวนที่แตกต่างกันจะทำให้สมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมบัติของพอลิเมอร์เป็นสมบัติที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือทำให้เกิดขึ้นได้ในระหว่างกระบวนการผลิต เพราะพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันก็มีสมบัติที่แตกต่างกันได้เมื่อน้ำหนักโมเลกุล การจัดเรียงตัว การเชื่อมโยงที่แตกต่างกัน เป็นต้น

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องศึกษาต้องเลือกใช้ชนิดของใบกวนและความเร็วรอบในการกวนให้เหมาะสมสำหรับในแต่ละผลิตภัณฑ์เพื่อจะได้มาซึ่งสมบัติของผลิตภัณฑ์ตามที่เราต้องการ

บทที่ 3

โพลีเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน ของอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์


3.1 โพลีเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน

อิมัลชันโพลีเมอไรเซชันเป็นเทคนิคในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ในระบบที่ประกอบด้วยหลายวัฏภาค (Heterogeneous system) โดยการนำมอนอเมอร์ไปทำให้เกิดอิมัลชันในน้ำโดยใช้สารช่วยในการเกิดอิมัลชัน (emulsifying agent) และใช้ตัวริเริ่ม (Initiator) ที่ละลายอยู่ในน้ำ ปฏิกิริยาจะเกิดอย่างรวดเร็วให้พอลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นคล้ายน้ำนม น้ำหนักโมเลกุลสูง ให้ความแข็งแรงสูงและความเหนียวต่ำ เทคนิคโพลีเมอไรเซชันนี้เป็นเทคนิคที่มีความสำคัญเพราะเป็นเทคนิคที่ใช้ผลิตพอลิเมอร์ที่มีความสำคัญในทางการค้าหลายชนิด เช่น สไตรีน-บิวตะไดอิน โคพอลิเมอร์ อะคริลิกพอลิเมอร์ และอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์ เป็นต้น

3.1.1 องค์ประกอบหลักในกระบวนการโพลีเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน

3.1.1.1 มอนอเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมาก โดยความแตกต่างของความสามารถในการละลายน้ำของมอนอเมอร์ที่ใช้จะเป็นตัวกำหนดอัตราและกลไกของการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันในการเกิดอิมัลชันพอลิเมอร์ มอนอเมอร์ส่วนมากที่ใช้จะไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อย เช่น สไตรีน (การละลายในน้ำที่ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 0.07 กรัมต่อลิตร) เมทิลเมทาคริเลต (การละลายในน้ำที่ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 16 กรัมต่อลิตร) เป็นต้น พบว่ามอนอเมอร์ที่ละลายน้ำได้น้อยมากหรือไม่มีขั้วจะอยู่ในไมเซลล์ในปริมาณมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่ละลายอยู่ในสารละลาย ในขณะที่มอนอเมอร์ที่ละลายน้ำได้มากขึ้นจะอยู่ในไมเซลล์ในปริมาณที่สูงกว่าในสารละลายไม่มากนัก [2] สำหรับมอนอเมอร์หลักที่ใช้ในการผลิตอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชัน ในทางการค้าในปัจจุบันแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงมอนอเมอร์ที่ใช้ในกระบวนการการผลิตอะคริลิก-สไตรีน โคพอลิเมอร์อิมัลชัน

ชื่อทางเคมี	สูตรโครงสร้าง	น้ำหนักโมเลกุล	Tg(°C)
Acrylic Acid	$\text{CH}_2=\text{CHCOOH}$	72	106
Methacrylic Acid	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2=\text{C}-\text{COOH} \end{array}$	86	185
Ethyl Acrylate	$\text{CH}_2=\text{CHCOOC}_2\text{H}_5$	100	-22
n-Butyl Acrylate	$\text{CH}_2=\text{CHCOOC}_4\text{H}_9$	128	-54
Methyl Methacrylate	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2=\text{C}-\text{COO CH}_3 \end{array}$	100	105
2-Ethylhexyl Acrylate	$\text{CH}_2=\text{CHCOOCH}_2-\text{CH}-\text{C}_4\text{H}_9$ $\quad \quad \quad $ $\quad \quad \quad \text{C}_2\text{H}_5$	184	-85
Styrene		104	100
Itaconic acid	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{COOH})\text{CH}_2\text{COOH}$	130	120

3.1.1.2 ตัวกลาง (dispersing media) ซึ่งได้แก่ น้ำ

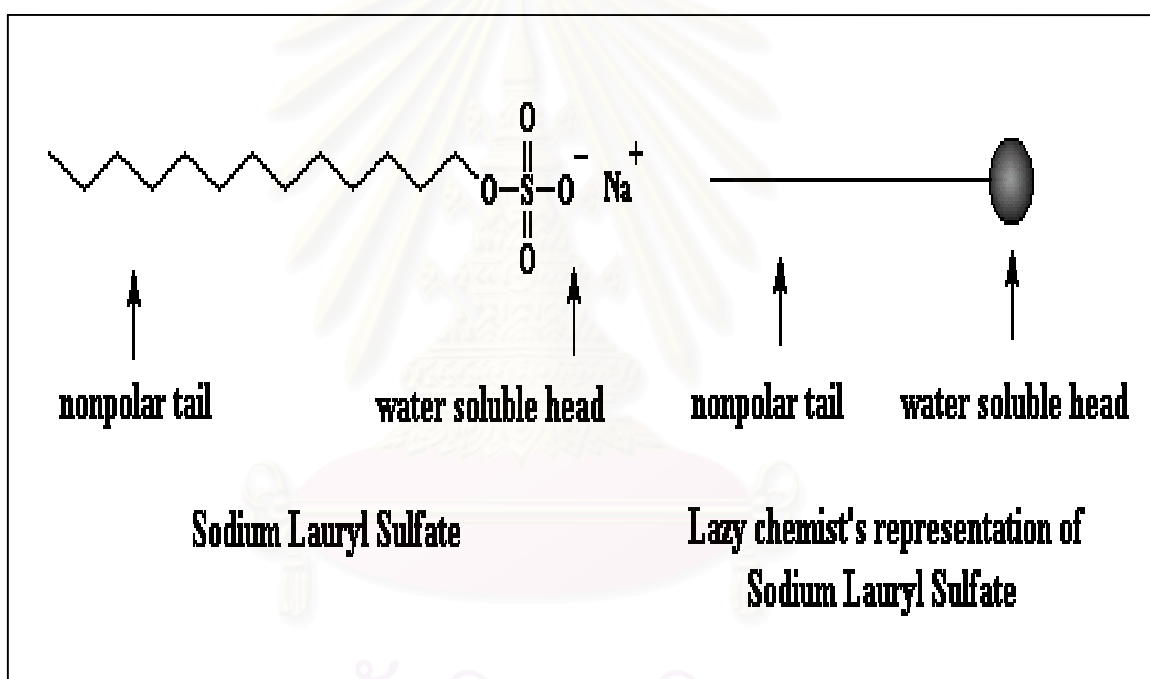
3.1.1.3 สารช่วยในการเกิดอิมัลชัน เช่น สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ซึ่งทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวของน้ำเพื่อให้เกิดภาวะอิมัลชัน ภายในโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำมัน (lipophilic) เช่น โซอะลิฟาติกยาว ๆ และส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) เช่น หมู่คาร์บอกซิล หมู่ซัลโฟเนต และหมู่ไฮดรอกซิล เป็นต้น ตัวอย่างแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 สารลดแรงตึงผิวสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะที่โมเลกุลเกิดการแตกตัวเป็นไอออนได้ดังนี้ [4]

1. สารลดแรงตึงผิวชนิดแอนไอออนิก (Anionic surfactant) สารลดแรงตึงผิวชนิดนี้เมื่อแตกตัวเป็นไอออนแล้ว ส่วนที่เป็นโซ่ยาวจะมีประจุลบ ตัวอย่างของสารลดแรงตึงผิวชนิดนี้ได้แก่เกลือของกรดไขมันต่างๆ และสารประกอบอะลิฟาติกและอะโรมาติก ซัลโฟเนต (Aliphatic and aromatic sulfonate) เป็นต้น โดยที่สารลดแรงตึงผิวชนิดแอนไอออนิกจะแสดงคุณสมบัติที่ดีใน

ด้านการเพิ่มเสถียรภาพเชิงกล (Mechanical stability) ลดการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยา

2. สารลดแรงตึงผิวชนิดแคตไอออนิก (Cationic surfactant) สารลดแรงตึงผิวชนิดนี้เมื่อแตกตัวเป็นไอออนแล้ว ส่วนที่เป็นโซ่ยาวจะมีประจุบวก ตัวอย่างของสารลดแรงตึงผิวชนิดนี้ได้แก่ Alkyl amine salts และ Quaternary ammonium salts เป็นต้น

3. สารลดแรงตึงผิวชนิดนอนไอออนิก (Nonionic surfactant) สารลดแรงตึงผิวชนิดนี้ไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออนในสารละลาย ตัวอย่างของสารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ได้แก่ polyoxyethylene alkyl ether และ polyoxyethylene alkylphenyl ether เป็นต้น โดยที่สารลดแรงตึงผิวชนิดนอนไอออนิกจะช่วยในด้านการเพิ่มเสถียรภาพทางเคมี (chemical stability) ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยา



รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว

4. สารลดแรงตึงผิวชนิดเป็นทั้งกรดและเบส (Amphoteric surfactant) สารลดแรงตึงผิวชนิดนี้เมื่อแตกตัวเป็นไอออนแล้ว ส่วนที่เป็นโซ่ยาวจะมีประจุบวกหรือลบขึ้นกับ pH ของสารละลาย สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ได้แก่ Lauryldimethyl betaine และ Stearyldimethyl betaine [17]

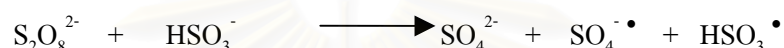
3.1.1.4 ตัวริเริ่ม (Initiator) ที่สามารถละลายน้ำได้โดยตัวริเริ่มที่นิยมใช้ได้แก่ โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต และแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในระบบตัวริเริ่มที่ละลายในน้ำ จะเกิดการแตกตัวเป็นฟรีเรดิคัล (Free radical) อัตราการแตกตัวเป็นฟรีเรดิคัลจะแปรผันโดย

ตรงกับอนุมูลและเราสามารถลดอนุมูลที่จะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นฟรีแรดิคัลของตัวริเริ่มได้ โดยใช้ตัวรีดิวซ์ (reducing agent) เช่น sodium bisulfite, sodium metabisulfite, sodium thiosulfate และ iron salts เป็นต้น ซึ่งสามารถแสดงกลไกการแตกตัวเป็นฟรีแรดิคัลได้ดังนี้ [7]

เมื่อใช้ thiosulfate ion เป็น ตัวรีดิวซ์ ;



เมื่อใช้ bisulfite ion เป็น ตัวรีดิวซ์ ;



ในกรณีที่ใช้อินิทิเอชันแบบรีดอกซ์ (Redox initiation) เปอร์ซัลเฟตไอออนก็สามารถถูกรีดิวซ์ได้โดยไอออน Fe^{2+} ซึ่งแสดงกลไกการเกิดได้ดังสมการ



นอกจากนี้ตัวรีดิวซ์บางตัวเช่น sodium bisulfite, sodium metabisulfite, sodium thiosulfate ก็ยังสามารถทำปฏิกิริยากับตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing agent) ต่างๆ เช่น Fe^{3+} เกิดเป็นฟรีแรดิคัลซึ่งสามารถเริ่มปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันได้

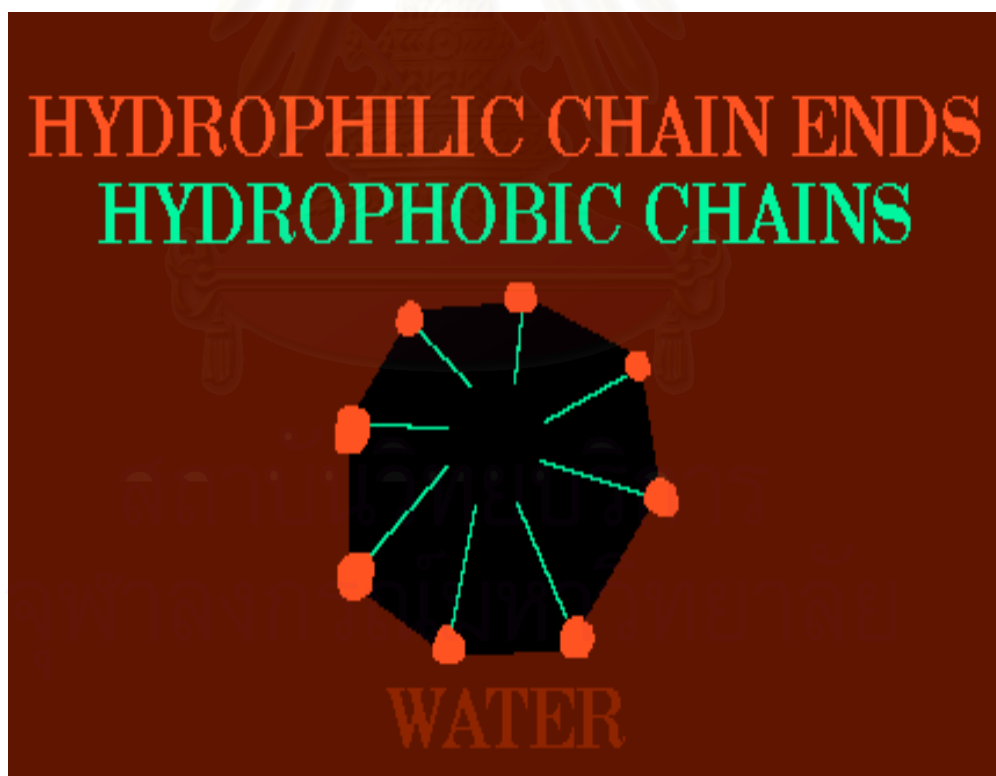
อินิทิเอชันแบบรีดอกซ์มีข้อดีหรือข้อได้เปรียบอยู่สองประการคือ

1. ปฏิกิริยาทั่วไปสามารถเกิดได้ดีและเร็วพอสมควรที่อุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิต่ำๆ จึงใช้ประโยชน์ได้ดีในกรณีที่ต้องการให้ปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิต่ำ
2. ตัวรีดิวซ์อาจเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ จึงเป็นการสะดวกต่อการเลือกใช้ตัวทำละลาย เช่น ถ้าต้องการให้ปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันเกิดในตัวกลางที่เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ ก็เลือกใช้ตัวถูกรีดิวซ์ที่เป็นสารอินทรีย์ และในทางตรงข้ามถ้าต้องการให้เกิดในตัวกลางที่เป็นน้ำก็เลือกใช้ตัวถูกรีดิวซ์ที่เป็นสารอนินทรีย์ โพลิเมอไรเซชันที่เกิดในตัวกลางที่เป็นน้ำมีข้อได้เปรียบอยู่อย่างหนึ่งคือ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ง่ายเพราะน้ำเป็นตัวถ่ายเทความร้อนที่ดี ซึ่งการโพลิเมอไรเซชันที่เกิดในตัวกลางที่เป็นน้ำ ก็ได้แก่ โพลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน

3.1.1.4 ตัวย้ายลูกโซ่ (Chain transfer agent) สารที่ใช้เป็นสารประเภทเมอร์แคปตัน ซึ่งจะช่วยให้ช่วยทำหน้าที่ควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ได้

3.1.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของการโพลิเมอร์ไอออนิกแบบอิมัลชัน

สำหรับกลไกการเกิดปฏิกิริยาในปัจจุบันยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัด แต่สิ่งที่นักวิทยาศาสตร์เชื่อกันว่าเกิดขึ้นในกระบวนการโพลิเมอร์ไอออนิกพอที่จะสรุปได้กล่าวคือ วิธีนี้เริ่มต้นด้วยการผสมตัวอิมัลซิไฟเออร์ลงในน้ำที่บรรจุอยู่ในภาชนะที่ทำปฏิกิริยา โดยอิมัลซิไฟเออร์จะเกาะกันอยู่เป็นกลุ่มที่เรียกว่าไมเซลล์ (micelle) ซึ่งโดยปกติในแต่ละไมเซลล์จะประกอบด้วยโมเลกุลของตัวอิมัลซิไฟเออร์ประมาณ 50-100 โมเลกุล [7] โดยที่โมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์จะประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วนคือส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว และที่ปลายโมเลกุลอีกด้านหนึ่งซึ่งเป็นส่วนที่มีขั้ว ดังนั้น โมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์ซึ่งเป็นองค์ประกอบของไมเซลล์จะมีส่วนไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้วซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำจะมีทิศทางชี้เข้าด้านใน ส่วนปลายอีกด้านที่มีสภาพเป็นส่วนที่มีขั้วซึ่งเป็นส่วนที่ชอบน้ำจะชี้ออกด้านนอก รูปร่างของไมเซลล์แสดงดังรูปที่ 3.2 [6]



ที่มา : <http://www.britannica.com/bcom/eb/article/5/0,5716,115275+2+108601,00>

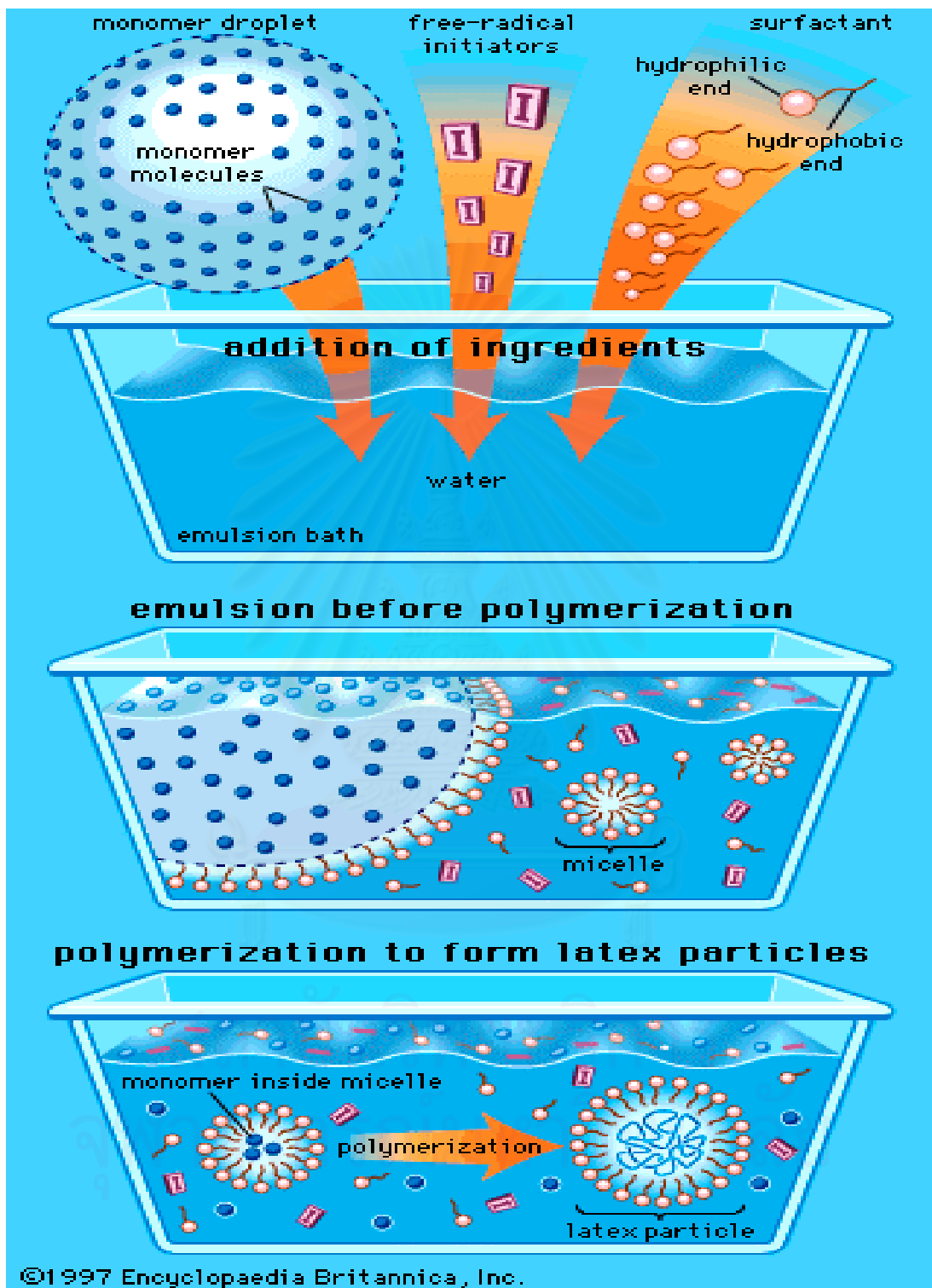
รูปที่ 3.2 แสดงรูปร่างของไมเซลล์

เมื่อเติมมอนอเมอร์หรือกลุ่มมอนอเมอร์ที่มีความสามารถในการละลายในน้ำต่ำ ประมาณ 0.01-1.0 % เข้าไปในระบบที่มีการกวนตลอดเวลา มอนอเมอร์บางส่วนจะเคลื่อนเข้าสู่ไมเซลล์ทำให้ไมเซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ มอนอเมอร์อื่นๆ ยกเว้นที่ละลายน้ำไปบางส่วนจะอยู่รวมกันเป็นหยดเล็กๆ ที่มีขนาดรัศมี 2-3 ไมครอน กระจายไปทั่วทั้งระบบ หยดมอนอเมอร์เหล่านี้จะอยู่อย่างค่อนข้างเสถียร โดยอาศัยตัวอิมัลซิไฟเออร์ส่วนที่ละลายน้ำเป็นตัวช่วย ดังนั้นในระบบจะประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. ส่วนของน้ำที่มีตัวอิมัลซิไฟเออร์และมอนอเมอร์ละลายอยู่เล็กน้อย
2. หยดของมอนอเมอร์ที่อยู่อย่างค่อนข้างเสถียรเพราะตัวอิมัลซิไฟเออร์ที่ละลายน้ำ
3. ไมเซลล์ที่อิมัลซิฟายมอนอเมอร์ ที่มีขนาดเล็กกว่าหยดมอนอเมอร์มาก แต่จะมีอยู่เป็นจำนวนมากกว่ามาก

เมื่อเติมตัวริเริ่มที่ละลายน้ำได้ลงในระบบก็จะเกิดการแตกตัวเป็นฟรีเรดิคัลและฟรีเรดิคัลที่เกิดขึ้นก็จะทำปฏิกิริยากับ โมเลกุลของมอนอเมอร์ที่ละลายอยู่เล็กน้อยในน้ำเกิดเป็นฟรีเรดิคัลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (Oligoradical) ก่อนที่จะแพร่เข้าสู่ไมเซลล์ โดยจากการคำนวณพบว่า จำนวนของไมเซลล์ในระบบจะมีประมาณ 10^{18} ไมเซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เทียบเท่ากับพื้นผิวประมาณ 50-100 ตารางเมตร ซึ่งมีค่าประมาณ 10-1,000 เท่าของพื้นผิวทั้งหมดของหยดโมโนเมอร์ เนื่องจากอัตราการแพร่ของฟรีเรดิคัลจะแปรผันโดยตรงกับพื้นที่ผิว ดังนั้นฟรีเรดิคัลทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะแพร่เข้าไปยังไมเซลล์และปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันทั้งหมดจะเกิดขึ้นในไมเซลล์ โดยประมาณ 1/1,000 ของไมเซลล์เท่านั้นที่รับฟรีเรดิคัลเข้าไป เมื่อฟรีเรดิคัลแพร่เข้าไปยังไมเซลล์ กระบวนการพวพาเกชัน (Propagation) จะเกิดขึ้นทันทีในขณะเดียวกันมอนอเมอร์จากแหล่งอื่นๆ คือจากหยดมอนอเมอร์และมอนอเมอร์ที่ละลายอยู่ในน้ำจะเริ่มเคลื่อนที่เข้าไปในไมเซลล์ ทำให้ขนาดของไมเซลล์ขยายใหญ่ขึ้นควบคู่ไปกับขั้นตอนการเกิดกระบวนการพวพาเกชันซึ่งขณะนี้ เรียกว่า อนุภาคมอนอเมอร์พอลิเมอร์ (Monomer-polymer particle) ในขั้นตอนนี้อาจจำเป็นต้องมีโมเลกุลของตัวอิมัลซิไฟเออร์เพิ่มเข้ามาเพื่อคงความเสถียรของไมเซลล์ จึงทำให้มีการดึงเอาตัวอิมัลซิไฟเออร์จากไมเซลล์อื่นๆ ที่ไม่เกิดโพลิเมอไรเซชันเข้ามา ดังนั้นไมเซลล์อื่นๆ จะถูกดึงเข้ามาพร้อมกับอนุภาคมอนอเมอร์พอลิเมอร์ทั้งหมด

พวพาเกชันจะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ ในอนุภาคมอนอเมอร์พอลิเมอร์จนกว่าฟรีเรดิคัลอื่นจะแพร่เข้าไปยังอนุภาคนั้น ขั้นตอนเทอร์มินชันก็จะเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามอนุภาคมอนอเมอร์พอลิเมอร์จะอยู่กันอย่างค่อนข้างโดดเดี่ยวห่างไกลจากอนุภาคมอนอเมอร์พอลิเมอร์อื่นๆ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้กระบวนการเทอร์มินชันแบบปกติ กล่าวคือการรวมตัวของโซ่เรดิคัลพอลิเมอร์สองโซ่มีโอกาสเกิดขึ้นน้อย เป็นผลทำให้อัตราพวพาเกชันเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าพอลิเมอร์ที่ได้โดยวิธีการโพลิเมอไรเซชันแบบอื่นๆ มากซึ่งสามารถแสดงองค์ประกอบต่างๆและกระบวนการเกิดโพลิเมอร์ไรเซชันแบบอิมัลชันได้ดังรูปที่ 3.3 [6]



ที่มา : <http://www.britannica.com/bcom/eb/article/5/0,5716,115275+2+108601,00>

รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการเกิดโพลีเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน

3.1.3 โคโพลิเมอไรเซชัน (Copolymerization)

โคโพลิเมอร์คือพอลิเมอร์ที่มีหน่วยที่ซ้ำๆ กันภายในโมเลกุลมาจากมอนอเมอร์ 2 ชนิด หรือ มากกว่า 2 ชนิด [9] และกระบวนการเตรียมพอลิเมอร์โดยใช้มอนอเมอร์ 2 ชนิดหรือมากกว่า 2 ชนิดเรียกว่า โคโพลิเมอไรเซชัน

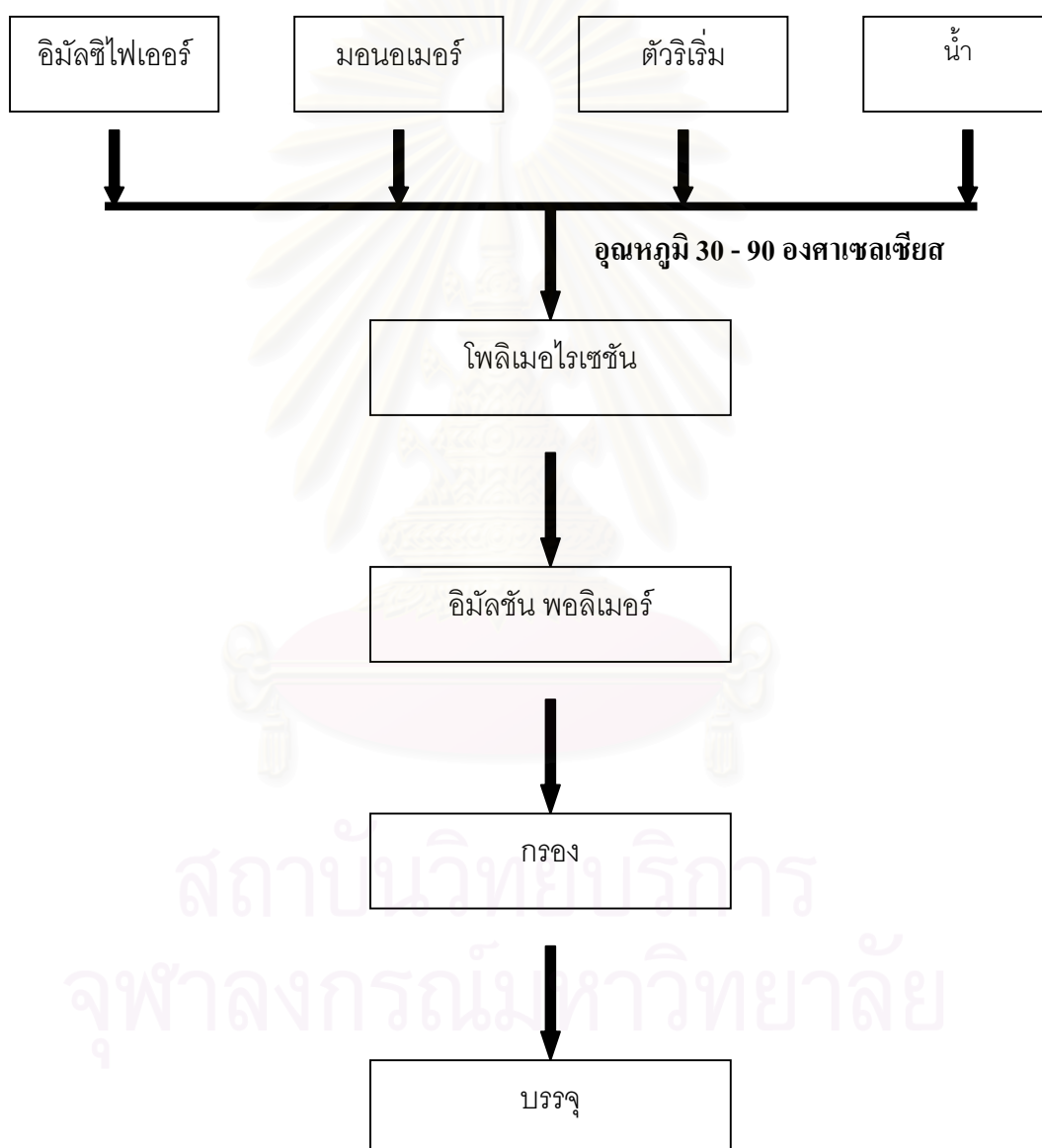
เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของโคโพลิเมอร์จะมีความแตกต่างกับโครงสร้างของของผสมของโฮโมพอลิเมอร์ 2 ชนิดโคโพลิเมอร์ที่ได้จึงมีคุณสมบัติแตกต่างกับโฮโมพอลิเมอร์ ดังนั้นการนำมอนอเมอร์ต่างชนิดกันมาสังเคราะห์เป็นโคโพลิเมอร์จึงมีประโยชน์มากทั้งในทางปฏิบัติและการศึกษาในทางทฤษฎี ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้ [1]

1. สามารถสังเคราะห์พอลิเมอร์ได้หลากหลายและมีคุณสมบัติตามที่ต้องการมากขึ้น
2. ไวนิลมอนอเมอร์ (Vinyl monomer) บางชนิดเช่น maleic anhydride stilbene และ fumaric esters โดยปกติไม่สามารถนำมาสังเคราะห์เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงได้ แต่มอนอเมอร์เหล่านี้สามารถเกิดโคโพลิเมอร์กับมอนอเมอร์อื่น ๆ บางชนิดได้ เช่น สไตรีน และไวนิล อะซิเตต เป็นต้น
3. ความรู้จากโคโพลิเมอไรเซชันทำให้สามารถเข้าใจคุณสมบัติต่าง ๆ ของมอนอเมอร์ และ มอนอเมอร์เรดิคัล (Radical monomer) เช่น ความว่องไวของมอนอเมอร์ และ มอนอเมอร์เรดิคัล ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของมอนอเมอร์และความว่องไว เป็นต้น
4. ในทางปฏิบัติเทคนิคโคโพลิเมอไรเซชันนี้ทำให้เราสามารถเลือกกลุ่มมอนอเมอร์ อัตราส่วนของกลุ่มมอนอเมอร์ที่ใช้และสภาวะที่เหมาะสม เพื่อให้ได้โคโพลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการได้

ตัวอย่างข้อได้เปรียบของโคโพลิเมอไรเซชันเปรียบเทียบกับโฮโมโพลิเมอไรเซชัน ได้แก่ การณีของสไตรีน โดยที่พอลิสไตรีนเป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติเปราะ มีจุดหลอมเหลวต่ำ มีแรงต้านทานการกระแทกต่ำมาก ความต้านทานต่อตัวทำละลายต่ำ ทำให้ขอบเขตการใช้งานของพอลิสไตรีนแคบมาก แต่ถ้านำสไตรีนมาทำการโคโพลิเมอไรซ์กับโมโนเมอร์อื่น ๆ จะได้โคโพลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น เช่น สไตรีนโคโพลิเมอไรซ์กับอะคริโลไนไตรล์ (Acrylonitrile) จะได้โคโพลิเมอร์ที่สามารถทนต่อแรงกระแทกดีขึ้นมากและสามารถต้านทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์ได้เป็นอย่างดี เป็นต้น

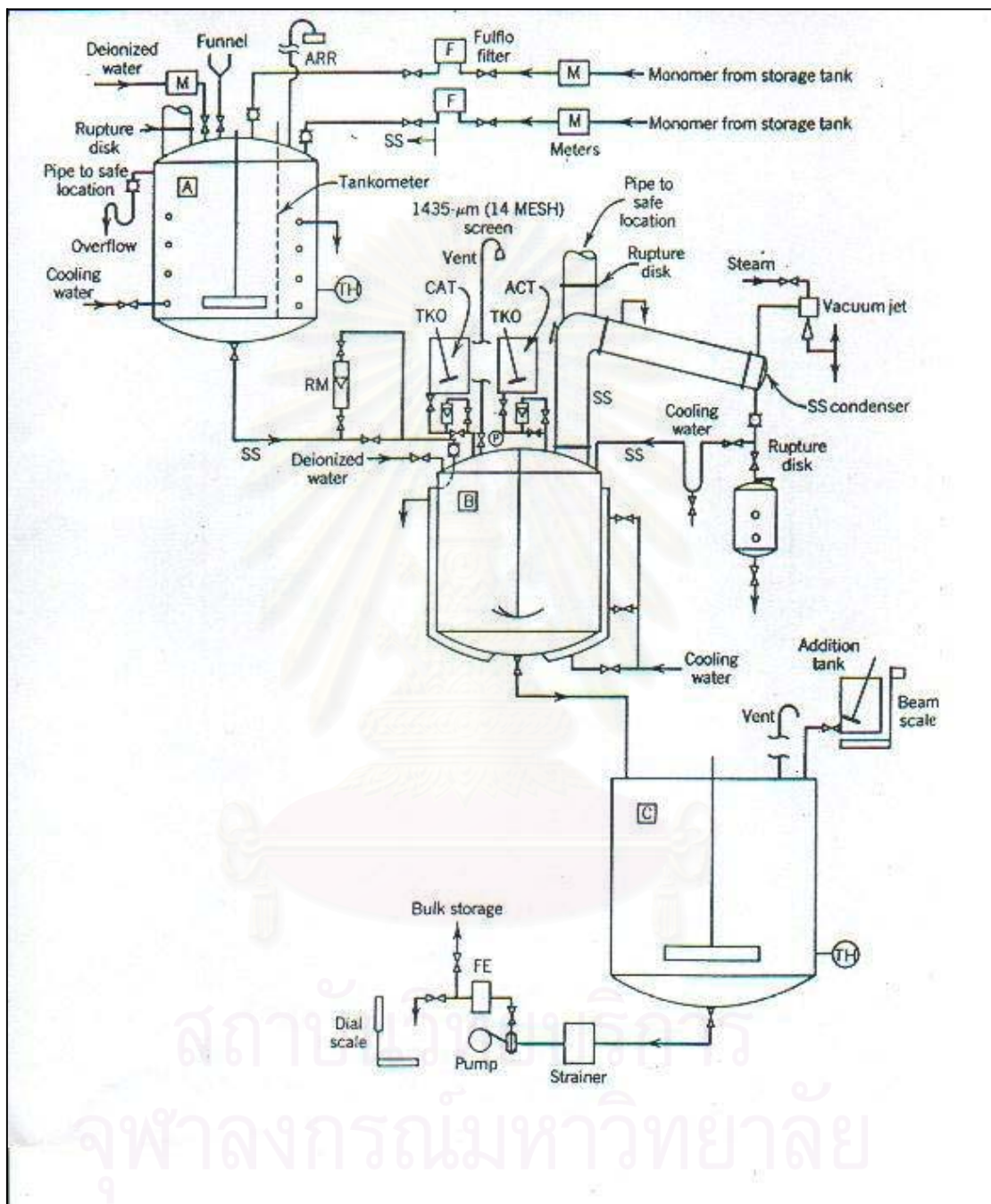
3.2 อุตสาหกรรมการผลิต อะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชัน ในทางการค้า

ในกระบวนการผลิตอะคริลิก-สไตรีน โคพอลิเมอร์แบบอิมัลชันในทางอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตแบบเซมิแบทช์เป็นวิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยม ซึ่งในกระบวนการผลิตจะมีองค์ประกอบและขั้นตอนต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงองค์ประกอบและขั้นตอนการผลิตอิมัลชันพอลิเมอร์ในกระบวนการแบบเซมิแบทช์

โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต แสดงได้ดังรูปที่ 3.5 [16]



รูปที่ 3.5 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตอิมัลชันพอลิเมอร์ในกระบวนการแบบเซมิแบทช์

ในทางปฏิบัตินิยมใช้กระบวนการแบบเซมิแบทช์โดยการเติมอนุภาคพอลิเมอร์เรียกว่า seed ที่มักเตรียมโดยกระบวนการแบบแบทช์ลงในถังปฏิกรณ์หลัก (Main reactor) แล้วเตรียมอิมัลชันของมอนอเมอร์ในน้ำที่มีสารลดแรงตึงผิวแยกไว้ในถังอิมัลชัน (Emulsion tank) พร้อมกับละลายตัวริเริ่มปฏิกิริยาในน้ำแยกไว้อีกส่วนหนึ่ง จากนั้นจึงเติมอิมัลชันและสารละลายของตัวริเริ่มปฏิกิริยาลงในถังปฏิกรณ์หลักอย่างช้าๆ และต่อเนื่อง โดยควบคุมอัตราการเติมอย่างเหมาะสม หลังจากเติมมอนอเมอร์อิมัลชันและตัวริเริ่มที่ละลายในน้ำเสร็จแล้ว ทำการเติมเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ (Organic peroxide) เพื่อกำจัดมอนอเมอร์ส่วนที่เหลือจากปฏิกิริยา ซึ่งจากขั้นตอนข้างต้นสามารถแบ่งลักษณะขั้นตอนการทำงานในกระบวนการผลิตแบบเซมิแบทช์ออกได้เป็นสามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. Seeding batch (or preliminary batch) เป็นขั้นตอนแรกใน Semibatch process ซึ่งอนุภาคพอลิเมอร์แรกเกิดได้เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ ซึ่งเป็นขั้นตอนอินิทิเอชันนั่นเอง โดยระยะเวลาตั้งแต่เริ่มเกิดการอินิทิเอชันจนถึงช่วงเริ่มเติมมอนอเมอร์ลงไปอย่างต่อเนื่องเรียกว่า pre-period หรือ seeding time โดยปกติการเกิดขึ้นของอนุภาคพอลิเมอร์จะเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้เท่านั้น
2. Feed addition semibatch เป็นขั้นตอนการเติมมอนอเมอร์ลงไปในระบบอย่างต่อเนื่อง โดยขั้นตอนนี้เรียกว่า Growth stage ซึ่งในขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นกระบวนการแบบ semibatch อย่างแท้จริง การเติมมอนอเมอร์ลงไปก็เพื่อทำให้อนุภาคที่เกิดขึ้นในช่วง pre-period เกิดการขยายตัวใหญ่ขึ้นจนได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง
3. Finishing batch เป็นขั้นตอนการกำจัดหรือลดปริมาณมอนอเมอร์ที่เหลือจากปฏิกิริยาให้หมดไปหรือเหลือน้อยที่สุด

ดังนั้นด้วยวิธีนี้จะสามารถทำการควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาและอัตราการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันโดยควบคุมจากอัตราของการเติมมอนอเมอร์และตัวริเริ่มปฏิกิริยา ทำให้เตรียมอิมัลชันพอลิเมอร์ที่มีความเข้มข้นสูงได้โดยที่ระบบยังคงมีความเสถียร สามารถควบคุมสมบัติของผลิตภัณฑ์ เช่น การกระจายตัวของขนาดอนุภาค ร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหย รูปร่างของอนุภาค (Particle morphology) ได้ เป็นต้น อย่างไรก็ตามสำหรับวิธีนี้ก็ยังมีข้อเสียกล่าวคือวิธีนี้ต้องลงทุนสูงเนื่องจากต้องการถังปฏิกรณ์และเครื่องปั่นกวนเชิงกล (Mechanical stirrer) เพิ่มขึ้นและการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการทำได้ยากขึ้น [2] เนื่องจากในแต่ละช่วงของกระบวนการจะมีระดับของเหลวในถังไม่คงที่และอาจมีการใช้ของเหลวต่างชนิดกัน รวมทั้งความแตกต่างของความหนืดของของเหลวในแต่ละช่วงเวลา ทำให้ต้องออกแบบใบพัดกวนและใช้ความเร็วรอบในการกวนให้เหมาะสม

สำหรับในกระบวนการผลิตแบบเซมิแบทช์ มีปัจจัยที่ต้องควบคุมในระหว่างกระบวนการผลิตให้เหมาะสมเพื่อนำมาซึ่งสมบัติของพอลิเมอร์ตามที่ต้องการดังต่อไปนี้ [5]

3.2.1 เทคนิคการเติมมอนอเมอร์

เทคนิคในการเติมมอนอเมอร์สำหรับการผลิตอิมัลชันพอลิเมอร์ในทางการค้าในปัจจุบัน จะมีเทคนิคในการเติมมอนอเมอร์อยู่ 2 เทคนิคคือ

- Stage Process

เติมมอนอเมอร์ทั้งหมด หรือ แบ่งเติมเป็นส่วนๆ ประมาณ 2-5 ส่วนตามความเหมาะสมลงไปในถังปฏิกรณ์พร้อมกันกับน้ำ สารลดแรงตึงผิว และตัวริเริ่ม ปฏิกริยาจะเกิดอย่างรวดเร็ว และมีการคายความร้อนออกมาเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเทคนิคนี้จำเป็นที่จะต้องมีการวิธีดึงความร้อนออกจากถังปฏิกรณ์อย่างเหมาะสมและรวดเร็วพอที่จะควบคุมอุณหภูมิของปฏิกริยาได้ คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับ ปริมาณของสารลดแรงตึงผิว น้ำ ชนิดและปริมาณของมอนอเมอร์เป็นสำคัญ อิมัลชันพอลิเมอร์ที่ผลิตโดยเทคนิคนี้ จะมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคและน้ำหนักโมเลกุลที่ค่อนข้างกว้าง ซึ่งเทคนิคนี้ นิยมใช้ในการผลิตพอลิไวนิลเอซีเตอิมัลชัน

- Delayed Addition Process

เทคนิคนี้เป็นที่นิยมสำหรับการผลิตอิมัลชันพอลิเมอร์ในทางอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิของปฏิกริยาได้ง่ายกว่าเทคนิคแรก โดยในการผลิตทำได้โดยเติมน้ำ สารลดแรงตึงผิว และ มอนอเมอร์บางส่วน (ประมาณ 1-5 % ของมอนอเมอร์ทั้งหมด) ลงในถังปฏิกรณ์ก่อน แล้วจึงเติมตัวริเริ่มลงไป ปฏิกริยาจะเริ่มเกิดขึ้นหลังจากนั้นจึงเริ่มเติมมอนอเมอร์ที่เหลือลงไปอย่างช้าๆ และต่อเนื่องตามระยะเวลาที่กำหนด เพื่อให้ปฏิกริยาเกิดอย่างช้าๆ ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิของปฏิกริยาได้ง่าย โดยที่ปริมาณการเติมมอนอเมอร์ในขั้นตอนแรกจะส่งผลโดยตรงต่อ ขนาดของอนุภาค และ น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ได้สำหรับข้อดีข้อเสียของการเติมมอนอเมอร์ทั้งสองรูปแบบสรุปได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงผลของเทคนิคการเติมมอนอเมอร์ต่อการควบคุมกระบวนการและสมบัติของผลิตภัณฑ์

	การควบคุม อุณหภูมิ	ขนาด อนุภาค	ความหนืด	การ operate	สมบัติทั่วไป
Stage process	จำเป็นต้องใช้น้ำเย็น (Chiller water) ช่วย	โดยปกติใหญ่	ไม่สามารถทำให้สูงได้	ทำงานแบบหมุนเวียนเติมมอนอเมอร์ด้วยระยะเวลาสั้น ๆ ต้องคอยควบคุมอุณหภูมิอย่างระมัดระวัง	คุณสมบัติทางกายภาพจะดีมาก แต่ทำให้มีความเข้มข้นสูงได้ยาก
Delay addition process	ทำได้ง่าย	โดยปกติเล็ก	สามารถทำให้สูงได้	ง่ายตามปกติ	ความคงตัว (Stability) ดีมาก สามารถทำให้มีความเข้มข้นสูงได้

3.2.2 เทคนิคการใช้สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในกระบวนการ โดยปริมาณและประเภทของสารลดแรงตึงผิวจะส่งผลโดยตรงต่อเสถียรภาพของพอลิเมอร์ทั้งในระหว่างโพลิเมอไรเซชันและผลิตภัณฑ์ที่ได้ นอกจากนี้ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้จะเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อขนาดอนุภาคของพอลิเมอร์ โดยทั่วไปจะใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดแอนไอออนิก 0.2-3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับน้ำ ในขณะที่ต้องใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดนอนไอออนิก 2-10 เปอร์เซ็นต์ [2] โดยการใช้สารลดแรงตึงผิวในปริมาณและขั้นตอนที่เหมาะสมจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคในช่วงที่แคบและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยทั่วไปในทางอุตสาหกรรมจะนิยมใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดแอนไอออนิกและนอนไอออนิก โดยอาจใช้เพียงประเภทเดียวหรือผสมกันก็ได้เพื่อเพิ่มสมบัติบางประการของพอลิเมอร์ เช่น เพิ่มความเสถียรต่อ freeze-thaw และต่อแรงเฉือน นอกจากนี้การมีสารลดแรงตึงผิวชนิดนอนไอออนิกจะช่วยทำให้สมบัติของอิมัลชันพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ไม่ขึ้นกับการเปลี่ยน pH ของระบบในช่วงกว้าง ซึ่งหลักการเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวจะ

ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่ต้องการของการนำไปใช้งานของผลิตภัณฑ์รวมทั้งเสถียรภาพของพอลิเมอร์ เป็นสำคัญ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.3 [10]

ตารางที่ 3.3 แสดงผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติของพอลิเมอร์

Anionic Surfactant	Nonionic Surfactant
Electrostatic stabilisation	Steric stabilisation
Small particle size	Larger particle size
Mechanical stability	Electrolyte stability
	Freeze-thaw stability

ที่มา : (Supplier Brochure, Huntsman Corporation "Technology Briefs : Emulsion Polymerisation" ,2002)

3.2.3 ความเร็วรอบของการกวน

การกวนจะมีผลต่อกระบวนการผลิตโดยเทคนิคอิมัลชัน โพลีเมอไรเซชัน ระดับการกวนที่เหมาะสมพอเพียงจะทำให้มอนอเมอร์และองค์ประกอบส่วนอื่นๆมีการกระจายตัวตามที่เราต้องการ โดยความเร็วรอบของการกวนจะส่งผลต่อการกระจายตัวของมอนอเมอร์ทั้งมอนอเมอร์ในหยดมอนอเมอร์และมอนอเมอร์ในไมเซลล์ รวมทั้งการกระจายตัวของสารอื่นๆในปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนของปฏิกิริยา เสถียรภาพของไมเซลล์และอาจมีผลทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น องศาของการโพลีเมอไรเซชัน (degree of polymerization) ลดลง ซึ่งจากผลกระทบดังกล่าวข้างต้นจะส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เราต้องการ สำหรับปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งที่ต้องพิจารณาในส่วนของการกวนคือ การเกิดการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ในระหว่างปฏิกิริยาอันเนื่องมาจากแรงเฉือนที่เกิดจากการกวน (Shear coagulation) โดยอัตราการเฉือนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number) สำหรับในกรณีนี้ ตัวเลขเรย์โนลด์ สูงๆ เราสามารถประมาณอัตราการเฉือนได้ดังสมการ 3.1 [8]

$$S = \sqrt{\frac{P}{\rho} Vr 15 \nu} \dots\dots\dots(3.1)$$

โดยที่ S ; อัตราการเฉือน (Shear rate)

- P ; Power consumption
 V_r ; ปริมาตรของถังปฏิกรณ์
 ρ ; ความหนาแน่นของของเหลว
 ν ; The kinematic viscosity

สำหรับสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายการเกิด shear coagulation แสดงได้ดังนี้

$$\frac{dN_t}{dt} = -\left(\frac{4S\phi}{\pi W}\right)N_t \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

$$N_t = N_o (1-C) \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

- โดยที่
- N_t ; จำนวนของอนุภาค ต่อ หนึ่งหน่วยปริมาตร
 N_o ; ความเข้มข้นของอนุภาคในช่วงเริ่มต้น
 ϕ ; อัตราส่วนโดยปริมาตร (the volume fraction)
 W ; the stability factor
 C ; อัตราส่วนของอนุภาคที่จับตัวเป็นก้อน
 (the fraction of particle coagulate)

จากสมการดังกล่าวข้างต้นจะพบว่าความเร็วรอบของการกวนเป็นปัจจัยที่สำคัญในการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาศึกษาใช้ความเร็วรอบของการกวนที่เหมาะสมเพื่อลดการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ในระหว่างการโพลีเมอไรเซชันสำหรับในแต่ละผลิตภัณฑ์

3.2.4 เวลา

เวลาที่ใช้ในกระบวนการโพลีเมอไรเซชันจะมีความสำคัญในกระบวนการผลิตที่ใช้วิธีการเติมมอนอเมอร์แบบ delayed addition technique โดยในการทำโคโพลีเมอร์อัตราเร็วในการเติมมอนอเมอร์จะมีผลต่อขนาดอนุภาค อัตราการเกิดปฏิกิริยา ลำดับการจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ในโมเลกุลพอลิเมอร์ น้ำหนักโมเลกุล เป็นต้น ซึ่งเวลาที่ใช้ในการผลิตก็ขึ้นอยู่กับอัตราการเติมมอนอเมอร์ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องพิจารณาโดยคำนึงถึงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เป็นสำคัญ

3.2.5 อุณหภูมิ

ในการผลิตจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงอุณหภูมิในการผลิตที่เหมาะสม เพราะระบบของตัวริเริ่มที่เราเลือกใช้นั้นจะให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่อุณหภูมิเฉพาะตัวของตัวริเริ่มแต่ละชนิดเท่านั้น

นอกจากนี้อนุมูลยังส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่ได้อีกด้วย ตัวอย่างเช่น ในสไตรีน บิวตะไดอิน โคลโพลิเมอไรเซชัน ถ้าหากปฏิกิริยาเกิดที่อนุมูลสูงจะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาดังนี้

1. ปริมาณของ Initiating radicals จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราเร็วของการแตกตัวเป็น ฟรีเรดิคัลของตัวริเริ่มเพิ่มขึ้น

2. จำนวนไมเซลล์ที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นตามอนุมูลที่สูงขึ้น ทำให้อนุภาคพอลิเมอร์มีมากขึ้น อัตราการแพร่ของมอนอเมอร์ไปยังอนุภาคมอนอเมอร์พอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้น

3. อัตราเร็วของการแพร่ของฟรีเรดิคัลสูงขึ้น

เพราะฉะนั้นผลกระทบโดยรวมของการเพิ่มขึ้นของอนุมูลก็คือ การเพิ่มอัตราเร็วของการเกิดโพลิเมอไรเซชันและลดองศาของการโพลิเมอไรเซชัน ซึ่งก็คือลดน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นนั่นเอง นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของอนุมูลยังอาจส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน การเกิด pre-flocculation การเกิดการเชื่อมโยงกันของโมเลกุล การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพอลิเมอร์ การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล ประสิทธิภาพของตัวย้ายลูกโซ่ เป็นต้น ซึ่งจำเป็นที่จะต้องศึกษาพิจารณาเป็นกรณี ๆ ไป

3.2.6 pH

เนื่องจากมอนอเมอร์ ตัวริเริ่ม และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ใช้ในการผลิตจะทำงานได้ดีในช่วง pH ที่แตกต่างกันไป การเลือกใช้ช่วง pH ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกระบวนการจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างรวดเร็วเวลาที่ใช้ในการผลิตต่ำกว่า ตัวอย่างเช่น การเกิดโพลิเมอไรเซชันของไวนิลเอซิเตต จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีในช่วง pH ประมาณ 4-5 เป็นต้น

3.2.7 ความดัน

สำหรับการควบคุมความดันในระหว่างปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับแรงดันไอของโมโนเมอร์ที่ใช้ เป็นสำคัญ จำเป็นที่จะต้องพิจารณาสำหรับมอนอเมอร์แต่ละชนิดที่ใช้ เพราะความดันในระบบจะเป็นตัวกำหนดอัตราส่วนของมอนอเมอร์แต่ละชนิดทั้งในส่วนที่เป็นของเหลวและในส่วนที่เป็นไอ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

3.3 คุณสมบัติที่สำคัญของพอลิเมอร์สำหรับการนำไปใช้งาน

3.3.1 อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g)

อุณหภูมิกลาสทรานซิชันเป็นอุณหภูมิซึ่งพอลิเมอร์เปลี่ยนจากสถานะที่คล้ายของเหลวเป็นลักษณะคล้ายแก้วหรือจากคล้ายแก้วเป็นลักษณะคล้ายของเหลว [12,13] เมื่อพอลิเมอร์อยู่ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันพอลิเมอร์จะมีสถานะเป็นของแข็ง มีสมบัติแข็งไม่ยืดหยุ่นและเปราะเหมือนแก้ว เพราะโครงสร้างของพอลิเมอร์ไม่มีความเป็นผลึก บางครั้งอาจเรียกพอลิเมอร์ที่มีสถานะคล้ายแก้วว่าของเหลวเย็นตัวเกินขนาด (Supercooled liquid)

สำหรับค่าของอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของโคพอลิเมอร์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของโคพอลิเมอร์ ค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย ค่าความหนาแน่นของการเชื่อมขวาง และอัตราการให้ความร้อน ขณะที่วัดอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของโคพอลิเมอร์หนึ่งๆ สามารถคำนวณได้โดยสมการ 3.4 [3]

$$\frac{1}{T_g} = \frac{W_A}{T_{gA}} + \frac{W_B}{T_{gB}} + \dots \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

โดยที่	W_A	=	อัตราส่วนของมอนอเมอร์ A ที่ใช้
	W_B	=	อัตราส่วนของมอนอเมอร์ B ที่ใช้
	T_g	=	ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของโคพอลิเมอร์
	T_{gA}	=	ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของโฮโมพอลิเมอร์ A
	T_{gB}	=	ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของโฮโมพอลิเมอร์ B

ในส่วนของ อะคริลิก-สไตรีน โคลิโพลิเมอร์อิมัลชัน สมบัติ glass transition มีความสำคัญในการใช้งานเป็นอย่างมากโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมเคลือบผิวหน้า (surface coating) โดยที่อุณหภูมิกลาสทรานซิชันมีบทบาทสำคัญในการเกิดเป็นฟิล์ม (film formation) โดยอุณหภูมิที่พอลิเมอร์จะเกิดเป็นฟิล์มได้จะแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน กล่าวคือถ้าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันสูง อุณหภูมิที่พอลิเมอร์จะเกิดเป็นฟิล์มก็จะสูงด้วยเช่นเดียวกันและในทางกลับกัน ถ้าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันต่ำอุณหภูมิที่พอลิเมอร์จะเกิดเป็นฟิล์มก็จะต่ำเช่นเดียวกัน นอกจากนี้สมบัติ glass transition ยังมีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์ม เช่น ความแข็ง (Hardness) โดยอุณหภูมิกลาสทรานซิชันยิ่งสูงความแข็งของฟิล์มก็จะแข็งขึ้น และ ในทางกลับกันอุณหภูมิกลาสทรานซิชันที่ต่ำลง ความแข็งของฟิล์มก็จะลดลง ความอ่อนตัวหักงอได้ (Flexibility) ก็จะมีมากขึ้น เป็นต้น

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิกลาสทรานซิชันให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ใช้เป็นตัวยึด (Binder) ในสีสำหรับกระเบื้องผนังหลังคาซึ่งต้องสัมผัสกับความร้อนจากแสงแดดอยู่เสมอ จำเป็นที่จะต้องเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิกลาสทรานซิชันที่สูงเพื่อที่จะได้ฟิล์มที่แข็งไม่อ่อนตัวง่ายเมื่อโดนความร้อนทำให้ชิ้นงานมีความทนมากขึ้น เป็นต้น

3.3.2 ขนาดอนุภาคของพอลิเมอร์ และการกระจายตัวของขนาดอนุภาค

ขนาดอนุภาคของพอลิเมอร์ เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของอิมัลชันพอลิเมอร์ ขนาดของอนุภาคนั้นอาจแสดงค่าเป็นเส้นผ่าศูนย์กลางโดยเฉลี่ย (แบบ mean, median หรือ mode) ทั้งโดยปริมาตร โดยจำนวน หรือโดยพื้นที่ผิว โดยปกติถ้าอนุภาคมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอนจะเรียกว่า fine particle ส่วนอนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 1-3 ไมครอน จะเรียกว่า coarse particle โดยเมื่อพิจารณาระบบที่มีลักษณะทางเคมีที่พื้นผิวอนุภาคไม่ต่างกันและสัดส่วนโดยปริมาตรเท่ากัน ขนาดของอนุภาคจะเป็นตัวบ่งชี้คุณลักษณะที่สำคัญของพอลิเมอร์ เช่น structural viscosity และ ความสามารถในการรับสารเพิ่มเนื้อ (Filler) และ ผงสี (Pigment) เป็นต้น

3.3.3 ความหนืด

ในส่วนของอิมัลชันพอลิเมอร์ซึ่งมีน้ำเป็นตัวทำละลาย สำหรับการนำไปใช้งานแต่ละประเภทจำเป็นที่จะต้องมีการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดที่เหมาะสม เช่น ในกระบวนการเคลือบเส้นใยโดยการพ่น (spray) จำเป็นที่จะต้องใช้พอลิเมอร์ที่มีความหนืดต่ำเพื่อให้สามารถพ่น (spray) ได้ง่าย หรือ ในกรณีที่ใช้เป็นตัวยึดในสีก็ควรจะมี ความหนืดที่สูงพอที่สีจะไม่เกิดการไหลย้อยเมื่อทาด้วยแปรง เป็นต้น ดังนั้นในกระบวนการผลิตพอลิเมอร์จึงจำเป็นที่จะต้องควบคุมกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้มาซึ่งความหนืดที่ต้องการ

3.3.4 ร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหย (% Non-volatile or % solid content)

ร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหยเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการกำหนดปริมาณของพอลิเมอร์บนชิ้นงาน (Dry add on) หรือความหนาของฟิล์ม (Film thickness) หลังจากระเหยน้ำออกไป ทำให้เราสามารถควบคุมคุณภาพของชิ้นงานได้ นอกจากนี้ยังเป็นคุณสมบัติที่บ่งชี้ถึงร้อยละของการเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ (% conversion) ของมอนอเมอร์ที่ใช้ โดยปกติสำหรับในกระบวนการโพลิเมอร์เซชันแบบอิมัลชันของอะคริลิก และ โคลิเมอร์ของอะคริลิกกับไวนิลมอนอเมอร์อื่นๆ จะสามารถเปลี่ยนมอนอเมอร์ไปเป็นพอลิเมอร์ (conversion) ที่สูงได้ถึง 100%

3.3.5 อุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้

การเกิดเป็นฟิล์ม (Film formation) คือการรวมตัวกันของอนุภาคพอลิเมอร์ โดยเมื่อตัวทำละลายคือน้ำระเหยออกไปหรือถูกดูดซับโดยพื้นผิววัสดุ อนุภาคพอลิเมอร์จะต้องสามารถรวมตัวกันเกิดเป็นฟิล์มที่ต่อเนื่องได้ แต่อย่างไรก็ตามอนุภาคจะไม่สามารถรวมตัวกันเป็นฟิล์มได้ ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ ก็ได้ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดเป็นฟิล์มที่ไม่ต่อเนื่องทำให้ฟิล์มเกิดเป็นขุย (Powder solid) ไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเกิดเป็นฟิล์มที่ต่อเนื่องได้ จึงเป็นสมบัติเฉพาะตัวและสำคัญอีกประการหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง โดยอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้จะเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิใช้งานของผลิตภัณฑ์ซึ่งต้องควบคุมให้เหมาะสม กล่าวคือ อุณหภูมิใช้งานต้องสูงกว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้เพื่อให้พอลิเมอร์เกิดเป็นฟิล์มได้ ทำให้ได้ชิ้นงานตามที่ต้องการ ซึ่งขั้นตอนการเกิดเกิดเป็นฟิล์มของพอลิเมอร์อิมัลชันแสดงได้ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งสามารถอธิบายกลไกการเกิดเป็นฟิล์มได้ดังนี้ [15]

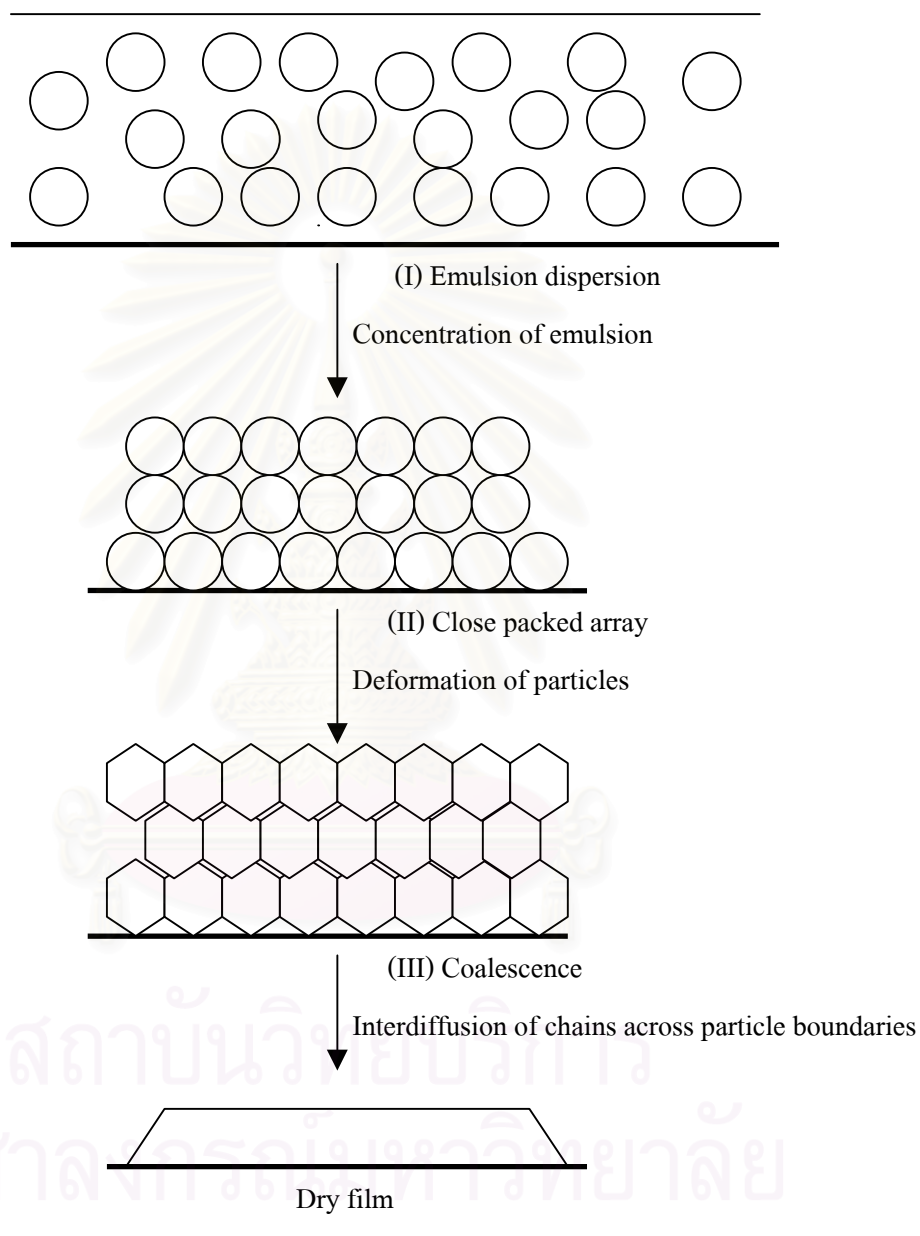
ขั้นตอนที่ 1 เกิดการระเหยของน้ำออกไปจากระบบด้วยอัตราคงที่จนกระทั่งเกิดการจัดเรียงตัวอย่างต่อเนื่องของอนุภาคพอลิเมอร์ โดยขั้นตอนนี้จะจบเมื่อได้อัตราส่วนโดยปริมาตรของพอลิเมอร์ต่อปริมาตรรวมทั้งระบบประมาณ 0.74

ขั้นตอนที่ 2 เริ่มปรากฏอนุภาคพอลิเมอร์ที่ผิวของอิมัลชัน อัตราการระเหยน้ำออกจากระบบจะค่อยๆ ลดลง อนุภาคจะมีการจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นมากขึ้น แรงกระทำระหว่างอนุภาคจะเพิ่มขึ้น โดยในขั้นตอนนี้ผลของ capillarity ที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการจัดเรียงตัวของอนุภาคอย่างต่อเนื่องทำให้ภายในระบบคล้ายกับมีท่อเล็กๆ (Capillary tube) จัดเรียงตัวอยู่ระหว่างอนุภาคเป็นจำนวนมากซึ่งผลของ capillarity ทำให้น้ำที่อยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคเกิดการเคลื่อนที่แพร่ผ่านผิวหน้าของฟิล์มอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคซึ่งมีลักษณะคล้ายสุญญากาศ ทำให้ความดันภายนอกสูงกว่าความดันภายในระบบ ซึ่งก่อให้เกิดแรงกดลงบนผิวอนุภาค โดยแรงดังกล่าวจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างของอนุภาคจากทรงกลมเปลี่ยนเป็น rhombic dodecahedra โดยเมื่อจบขั้นตอนนี้ Interfaces ระหว่างอนุภาคจะหายไป

ขั้นตอนที่ 3 ในขั้นตอนนี้สุดท้ายหลังจาก Interfaces ระหว่างอนุภาคหมดไปทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโซ่พอลิเมอร์จากอนุภาคหนึ่งไปสู่ออนุภาคใกล้เคียง (Interdiffusion) โดยในขั้นตอนนี้เรียกว่า maturation ซึ่งจะเกิดเป็นฟิล์มอย่างต่อเนื่องของพอลิเมอร์เกิดขึ้น

ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่อิมัลชันพอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้นอกจากจะมีผลต่อสภาวะการนำไปใช้งานแล้ว ยังมีประโยชน์ในการตรวจสอบการโตของอนุภาคและโครงสร้างสัณฐานของอนุภาค เช่น โครงสร้างสัณฐานแบบ core-shell ที่มีข้างเป็น core และมีพลาสติกเป็น shell จะได้

ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้ที่สูงและแสดงฟิล์มที่มีสมบัติใกล้เคียงกับความเป็นพลาสติก ในขณะที่กรณีที่มีพลาสติกเป็น core และมียางเป็น shell ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้จะต่ำและฟิล์มที่ได้แสดงสมบัติใกล้เคียงกับความเป็นยาง [2]



รูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการเกิดเป็นฟิล์มของพอลิเมอร์อิมัลชัน

บทที่ 4 การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยเรื่องผลของความเร็วรอบในการกวาดต่อสมบัติของอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชันได้ทำการวิจัยโดยการจำลองรูปแบบจากกระบวนการการผลิตจริงของฝ่ายผลิตบริษัทสยามเคมีคอล อินดัสตรี จำกัด ซึ่งทำการผลิตอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชัน แบบ semibatch process โดยงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็นสองขั้นตอนดังนี้

4.1 กระบวนการโพลีเมอไรเซชัน

4.1.1 สูตรพอลิเมอร์ (Polymer recipe) ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงสูตรพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ส่วนโดยน้ำหนัก)
สไตรีน	247.55
เมทิล เมทาคริเลท	281.68
2-เอทิล เฮกซิลอะคริเลท	307.30
กรดอะคริลิก	8.65
กรดอิทาโคนิก	8.54
Crosslink มอนอเมอร์	1.71
โซเดียมเมทาไบซัลไฟด์	4.26
เฟอร์ริกคลอไรด์	0.13
แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต	4.26
อิมัลซิไฟเออร์	56.78
น้ำ	879.14
รวม	1,800.00

หมายเหตุ อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้เป็นสารลดแรงดึงผิวผสมระหว่างชนิดนอนไอออนิกและแอนไอออนิกในอัตราส่วน 5 ต่อ 1

4.1.2 สภาวะการทดลอง

สภาวะการทดลองจะแบ่งออกเป็นสภาวะการทดลองที่ต้องควบคุมให้มีค่าคงที่ และ สภาวะการทดลองที่ทำการปรับเปลี่ยน โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.2.1 สภาวะการทดลองที่ต้องควบคุมให้มีค่าคงที่

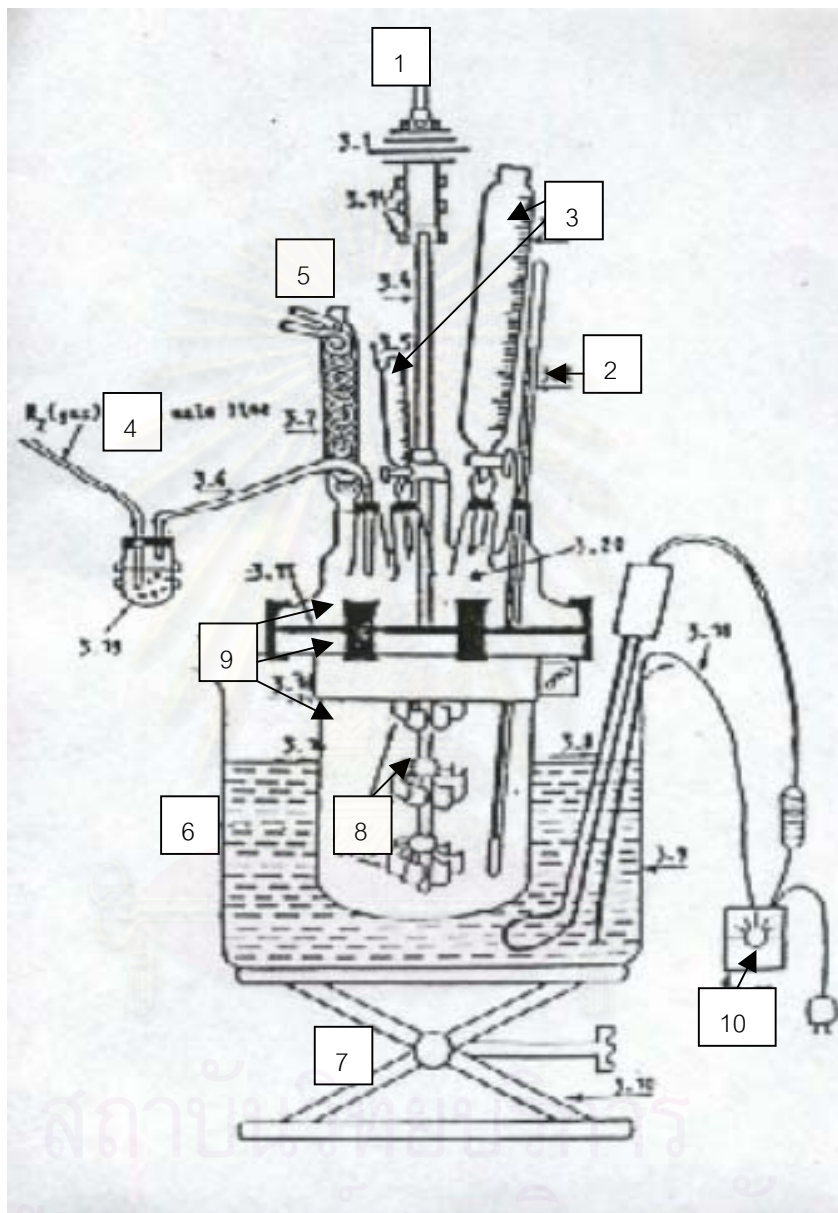
- การเติมมอนอเมอร์ : Delay addition method
- เวลาในการหยด (Dropping Time) 4 ชั่วโมง สำหรับมอนอเมอร์และ 4 ชั่วโมง 15 นาทีสำหรับตัวริเริ่ม โดยทำการหยดอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ
- อุณหภูมิการทดลอง : 60 องศาเซลเซียส

4.1.2.2 สภาวะการทดลองที่ทำการปรับเปลี่ยน คือ ความเร็วรอบในการกวน โดยทำการทดลองปรับเปลี่ยนในช่วง 100-500 รอบต่อนาที

หมายเหตุ ในงานวิจัยนี้จะไม่พิจารณาผลของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในระบบอันเนื่องมาจากการคายความร้อนของปฏิกิริยาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของพอลิเมอร์ เนื่องจากการวิจัยทำในถังปฏิกรณ์ขนาดเล็ก อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์มีค่าสูง ทำให้อนุมานได้ว่าการถ่ายเทความร้อนภายในระบบสามารถทำได้อย่างสมบูรณ์ และสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในระบบให้คงที่ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือทำการทดลอง

จากรูปที่ 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. มอเตอร์ (Motor)
2. เทอร์โมมิเตอร์ซึ่งสามารถทำการวัดอุณหภูมิได้ในช่วง 0-100 องศาเซลเซียส
3. กรวย (Dropping funnel) สำหรับหยด monomer premix และ ตัวริเริ่ม
4. ท่อก๊าซไนโตรเจน (N₂ gas inlet tube)
5. Condenser
6. อ่างน้ำ (Water bath)
7. แม่แรง (Jack)
8. ไบกวาน
9. ถังปฏิกรณ์ พร้อม ฝาครอบ และ ตัวยึด
10. ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

4.1.4 ขั้นตอนการทดลอง

4.1.4.1 ทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.1

4.1.4.2 เตรียมมอนอเมอร์ที่ถูกทำให้เสถียรอยู่ในน้ำด้วยสารลดแรงตึงผิว โดยการเติมสารลดแรงตึงผิวลงในน้ำละลายให้เข้ากัน หลังจากนั้นทำการเติมมอนอเมอร์ทั้งหมดลงในสารละลายข้างต้น ทำการคนอย่างช้าๆ จนได้สารละลายที่มีลักษณะขาวขุ่นและไม่แยกชั้น สารละลายที่ได้เรียกว่า Monomer premix ซึ่งภายใน Monomer premix มีองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

- น้ำ
- สารลดแรงตึงผิว
- มอนอเมอร์

4.1.4.3 ทำการเปิดวาล์วก๊าซไนโตรเจนเพื่อไล่อากาศออกจากถังปฏิกรณ์แล้วเติมน้ำ และ อิมีลซิไฟเออร์ลงในถังปฏิกรณ์ ทำการกวนให้ละลายเข้ากันโดยใช้ความเร็วรอบของการกวนที่ 100 รอบต่อนาที ทำการเพิ่มอุณหภูมิภายในระบบจนได้อุณหภูมิ 57.0 ± 2.0 องศาเซลเซียส แล้วทำการเติม monomer premix ในปริมาณ 5 % ของ monomer premix ทั้งหมด หลังจากนั้นเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต และ โซเดียมเมทาไบซัลไฟด์ตามลำดับ แล้วทำการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 60.0 ± 2.0 องศาเซลเซียส เริ่มทำการหยด monomer premix ส่วนที่เหลือและสารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตในน้ำลงในถังปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่องเป็น

เวลา 4 ชั่วโมง สำหรับ monomer premix และ 4 ชั่วโมง 15 นาที สำหรับสารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต ในระหว่างทำปฏิกิริยาทำการเก็บตัวอย่างจากถังปฏิกิริยาเพื่อตรวจสอบค่าร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหยทุกๆ 1 ชั่วโมง เพื่อใช้คำนวณหาร้อยละของการเปลี่ยนมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ (% conversion) ที่เวลาต่างๆ

4.3.1.4 หลังจากทำปฏิกิริยาเสร็จเรียบร้อยแล้วทำการลดอุณหภูมิลงมาที่อุณหภูมิห้อง ทำการกรองด้วยผ้ากรองขนาด 100 ไมครอน เก็บตัวอย่างที่ได้ในภาชนะที่เตรียมไว้

4.3.1.5 ทำการทดลองตั้งวิธีข้างต้นแต่เปลี่ยนความเร็วรอบของการกวนเป็น 150 200 250 300 350 400 450 และ 500 รอบต่อนาทีตามลำดับ

4.2 การตรวจสอบสมบัติของอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชัน

การ ตรวจสอบสมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้จะทำการตรวจสอบทั้งในลักษณะของอิมัลชันและฟิล์มแห้ง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 การตรวจสอบสมบัติของอิมัลชัน

4.2.1.1 ลักษณะที่ปรากฏ

สังเกตลักษณะภายนอกของอิมัลชันพอลิเมอร์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

4.2.1.2 ขนาดอนุภาค และการกระจายตัวของขนาดอนุภาค

นำอิมัลชันพอลิเมอร์จากข้อ 4.3.1.4 มาทำการวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของขนาดอนุภาค โดยใช้หลักการกระเจิงและเลี้ยวเบนของแสง เครื่องมือที่ใช้คือ Mastersizer S (Malvern) ซึ่งใช้ฮีเลียม-นีออนเลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่น 633 นาโนเมตร สามารถวัดขนาดอนุภาคได้ตั้งแต่ 0.05-900 ไมครอน ความผิดพลาดอยู่ในช่วง $\pm 5\%$

4.2.1.3 ความหนืด

การวัดความหนืดก็คือการวัดความต้านทานต่อการไหลของของเหลว สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความหนืดในงานวิจัยนี้จะใช้มาตรวัดความหนืดแบบ บรูคฟิลด์ (Brookfield viscometer : BL type) ซึ่งในการวัดความหนืดจะควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่าง โดยกำหนดอุณหภูมิมาตรฐานที่ 25 องศาเซลเซียสซึ่งสามารถทำได้โดยการนำตัวอย่างอิมัลชันพอลิเมอร์จากข้อ 4.3.1.4 ใส่ขวดแก้วที่ใช้วัดความหนืดแล้วนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส

ก่อนทำการวัดค่าความหนืด โดยค่าความหนืดที่วัดได้จะอยู่ในหน่วย เซนติพอยส์ (Centipoise)

4.2.1.4 ร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหย

การหาร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหยทำได้โดยการนำตัวอย่างอิมัลชันพอลิเมอร์ จากข้อ 4.3.1.4 หนัก 1.00-1.05 กรัม (ชั่งน้ำหนักให้แน่นอน) ใส่ในกระตง โลหะกั้นแบน เติมน้ำลงไปประมาณ 5 กรัม คนให้เข้ากันแล้วนำไปอบที่ อุณหภูมิ 107 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหยได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหย} = \left(\frac{\text{น้ำหนักหลังอบ} - \text{น้ำหนักกระตงเปล่า}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \right) \times 100$$

4.2.1.5 การจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์(%)

หลังจากทำปฏิกิริยาเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก่อนการบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ได้ในภาชนะบรรจุ ทำการกรองผลิตภัณฑ์ผ่านผ้ากรองขนาด 100 ไมครอน กากที่ได้จากการกรองนำไปอบในตู้อบจนแห้งหลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ ได้จาก

$$\text{การจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ (%) = } \left[\frac{\text{น้ำหนักกากที่ชั่งได้}}{\text{น้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งหมดที่ใช้}} \right] \times 100$$

4.2.1.6 ค่าแรงตึงผิว (dyne/cm.)

การหาค่าแรงตึงผิวทำได้โดยการนำตัวอย่างอิมัลชันพอลิเมอร์จากข้อ 4.3.1.4 มาเจือจางด้วยน้ำให้ได้อิมัลชันพอลิเมอร์ที่มีความเข้มข้น 5% แล้วนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำมาหาค่าแรงตึงผิว โดยใช้ Du Nouy Ring Tensiometer โดยค่าที่วัดได้จะมีหน่วยเป็น dyne/cm

4.2.2 การตรวจสอบสมบัติของฟิล์มแข็ง

4.2.2.1 อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน

นำอิมัลชันพอลิเมอร์จากข้อ 4.3.1.4 มาหล่อให้เป็นฟิล์มแข็งแล้วจึงนำไปหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน โดยใช้การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนเชิงผลต่าง (Differential scanning calorimetry, DSC) โดยใช้ Differential scanning calorimeter (METTLER TOLEDO, DSC-822E) ซึ่งในการทดสอบจะใช้อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ในช่วงอุณหภูมิ -50 ถึง 150 องศาเซลเซียส

4.2.2.2 อุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้

ทดสอบหาอุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้โดยการใช้ Temperature Gradient Oven (THERMOSTAIR, COESFIELD) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นโลหะสี่เหลี่ยมขนาด 500 x 200 มิลลิเมตร ซึ่งมีลักษณะเป็นเกรเดียนท์ของอุณหภูมิสามารถปรับช่วงอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -30 ถึง 250 องศาเซลเซียส โดยในการทดสอบจะทำการปรับค่าอุณหภูมิตั้งแต่ -30 ถึง 250 องศาเซลเซียส โดยในการทดสอบจะทำการปรับค่าอุณหภูมิตั้งแต่ -30 ถึง 250 องศาเซลเซียส โดยในการทดสอบจะทำการปรับค่าอุณหภูมิตั้งแต่ -30 ถึง 250 องศาเซลเซียส โดยในการทดสอบจะทำการปรับค่าอุณหภูมิตั้งแต่ -30 ถึง 250 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจะทำการแผ่ (Cast) อิมัลชันพอลิเมอร์จากข้อ 4.3.1.4 เป็นชั้นบางๆ ลงบนแผ่นโลหะ แล้วสังเกตอุณหภูมิที่พอลิเมอร์เกิดเป็นฟิล์มได้จากการวัดอุณหภูมิที่ทำให้ได้ฟิล์มใสลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน

4.2.2.3 ความโปร่งแสงของฟิล์ม

ทดสอบหาความโปร่งแสงของฟิล์มโดยการเคลือบอิมัลชันพอลิเมอร์ที่ได้จากข้อ 4.3.1.4 ที่ความหนาฟิล์มเปียก 0.076 มิลลิเมตรบนแผ่นกระจกใสแล้วนำไปอบที่ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำไปวัดค่า % Transmittance โดย UV Visible Spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อทำการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบในการกวนในช่วง 100-500 รอบต่อ นาทีในกระบวนการโพลีเมอไรเซชันแบบอิมัลชันของอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์ ได้ผลการทดลองดังนี้

5.1 การเปลี่ยนแปลงรวมของมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ (Overall conversion)

จากการทดลองเมื่อทำการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบในการกวน พบว่าในช่วงที่อัตราการเปลี่ยนแปลงรวมของมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ระหว่าง 0-70 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเปลี่ยนแปลงรวมของมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและใกล้เคียงกันในทุกความเร็วรอบในการกวน ดังแสดงในตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.1 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 5.2 สามารถอธิบายได้ว่าในช่วงเริ่มต้นหลังเกิดปฏิกิริยาอินิทิเอชันในช่วง seeding time ภายใไม่เซลล์มีความหนาแน่นของอนุภาคพอลิเมอร์เรดิคัลสูงและพร้อมที่จะเกิดปฏิกิริยา เมื่อทำการเติมมอนอเมอร์ลงไปในระบบอย่างต่อเนื่องซึ่งในขั้นตอนนี้เรียกว่า Growth stage ทำให้เกิดการแพร่ของมอนอเมอร์จากหยดมอนอเมอร์เข้าสู่ไม่เซลล์และปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาในช่วงเริ่มต้นจะถูกกำหนดโดยอัตราการถ่ายเทมอนอเมอร์เข้าสู่ไม่เซลล์ โดยในช่วงเริ่มต้นไม่เซลล์ยังคงมีขนาดเล็กกระยะทางในการถ่ายเทมวลสารต่ำ รวมทั้งอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงทำให้มีพื้นที่ผิวการถ่ายเทมวลสารต่อปริมาตรสูงเช่นกัน จากเหตุผลข้างต้นทำให้มอนอเมอร์สามารถเกิดการถ่ายเทเข้าสู่ไม่เซลล์ได้อย่างรวดเร็วทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างอย่างรวดเร็ว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกอัตราการถ่ายเทมวลสารจากชั้นตัวกลางเข้าสู่ไม่เซลล์เป็นขั้นตอนที่กำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยา (Rate limiting step) และจากการที่ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ภายในระบบในช่วงเริ่มต้นยังคงเจือจางทำให้ความหนืดของของไหลภายในระบบต่ำ ตัวเลขเรย์โนลด์สูงทำให้ของไหลภายในระบบมีการไหลในลักษณะปั่นป่วนการผสมจึงเกิดขึ้นได้ดีและทั่วถึงทั้งระบบในทุกความเร็วรอบในการกวน อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงค่อนข้างใกล้เคียงกันในทุกการทดลอง แต่เมื่อปฏิกิริยาค่าเนินไปมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลง พบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเริ่มช้าลงและเริ่มมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเมื่อใช้ความเร็วรอบในการกวนที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 5.3 ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ลดลงเป็นผลมาจากอนุภาคพอลิเมอร์ที่ขยายใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ เป็นผลให้ระยะทางที่ใช้ในการถ่ายเทมวลสารจะเพิ่มสูงขึ้นและอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวของอนุภาคต่อปริมาตรจะค่อยๆ ลดลง ตามลำดับ

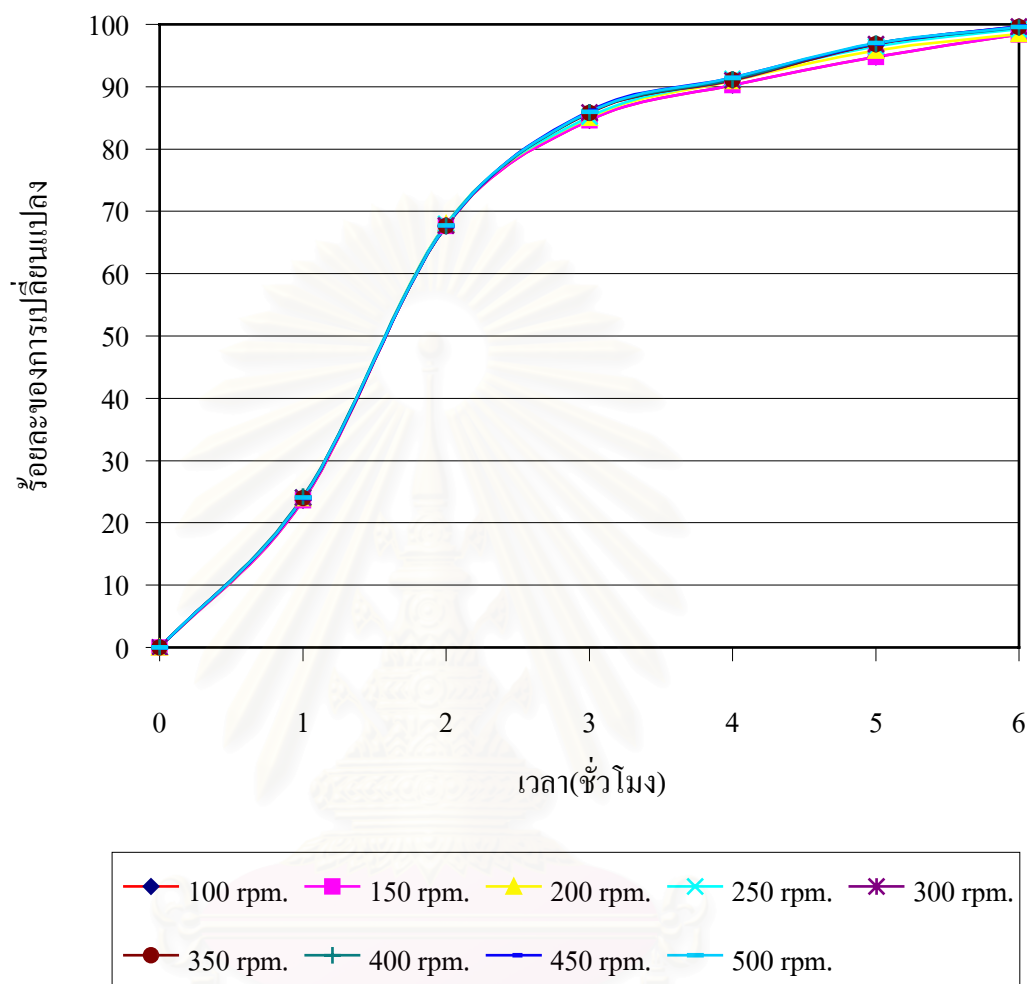
ตารางที่ 5.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงรวมของมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ที่ความเร็วรอบในการกวน
ต่าง ๆ กัน

ระยะเวลา (ชั่วโมง)		ความเร็วรอบในการกวน(รอบต่อนาที)								
		100	150	200	250	300	350	400	450	500
การเปลี่ยนแปลงเป็น พอลิเมอร์ (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	23.6	24.0	24.1	24.1	24.1	24.0	24.2	24.0	24.1
	2	67.6	68.0	68.0	68.2	67.7	67.6	67.6	67.6	67.7
	3	84.6	85.0	84.6	85.9	85.9	85.8	85.9	86.1	86.0
	4	90.2	90.9	91.3	91.1	91.0	91.1	91.2	91.4	91.4
	5	94.8	95.8	96.5	96.2	96.8	96.8	96.9	96.9	97.0
	6	98.4	98.5	99.2	99.4	99.7	99.6	99.5	99.7	99.6

นิยาม

$$\text{ร้อยละของการเปลี่ยนมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์} = \left(\frac{\text{น้ำหนักของพอลิเมอร์ในถังปฏิกรณ์}}{\text{น้ำหนักของมอนอเมอร์ทั้งหมดที่ใช้}} \right) \times 100$$

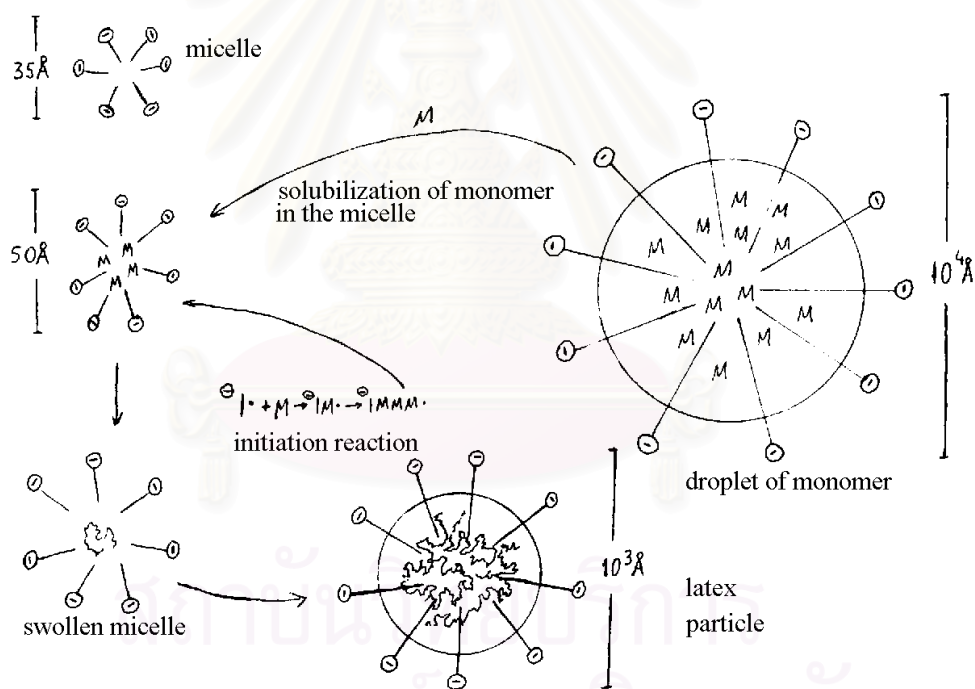
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



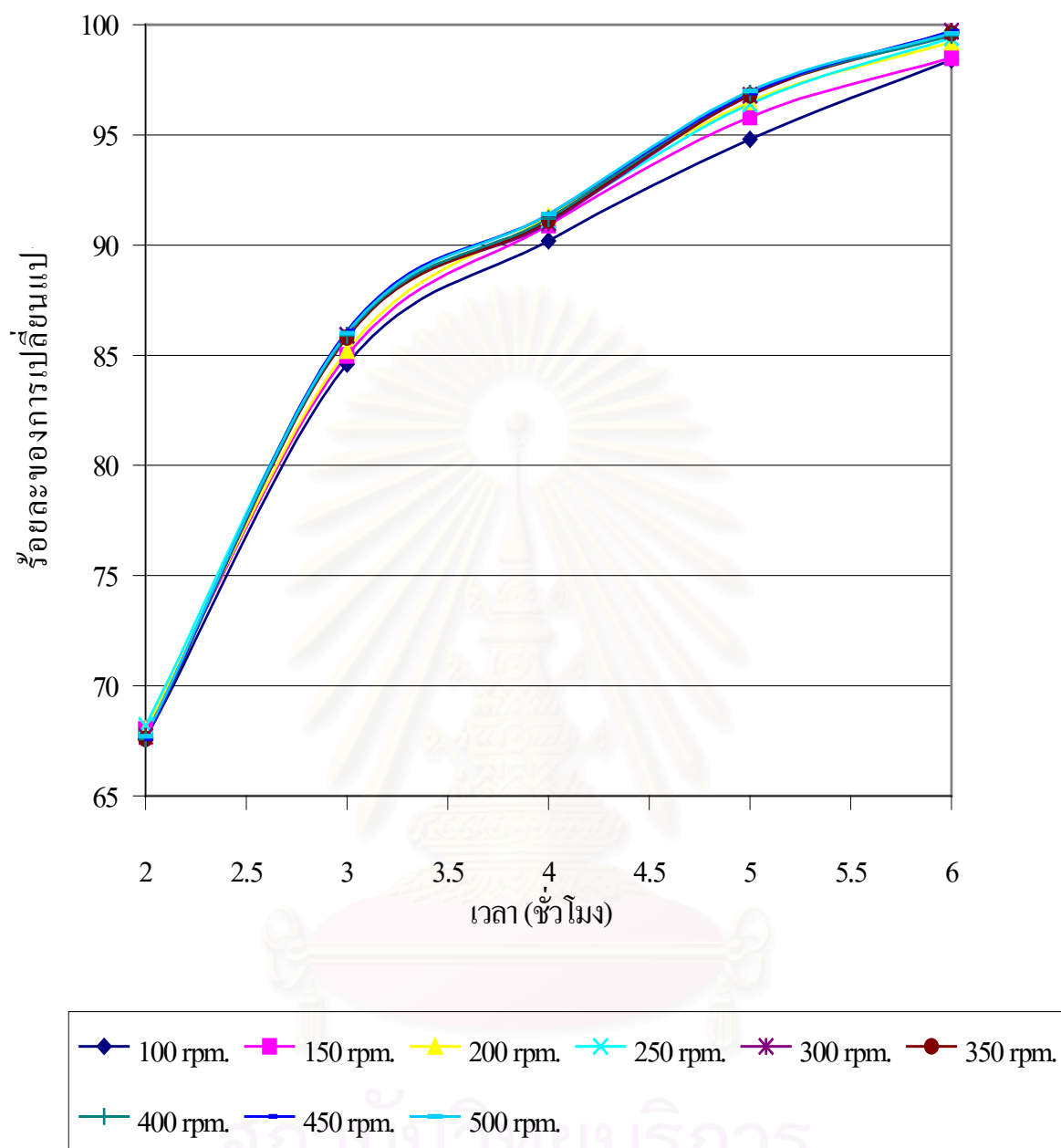
รูปที่ 5.1 แสดงผลของความเร็วยรอบในการกวนต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละของเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ที่เวลาต่างๆ กัน

รวมทั้งความหนืดของของไหลภายในระบบที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นของพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้น โดยที่ความเร็วยรอบในการกวนคงที่ตัวเลขเรย์โนลด์จะลดลงลักษณะการไหลของของไหลในระบบมีลักษณะการไหลแบบราบเรียบมากขึ้นการผสมจึงเกิดได้ยากขึ้นกว่าในช่วงเริ่มต้น เป็นผลทำให้การถ่ายเทมวลสารจากชั้นตัวกลางเข้าสู่ไมเซลล์เกิดได้ยากขึ้นตามลำดับ และในขณะเดียวกันโมเลกุลของพอลิเมอร์ภายในอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเช่นกันจะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวกั้นไม่ให้มอนอเมอร์ที่แพร่เข้ามาเจอกับพอลิเมอร์เรดิคัลได้โดยง่ายหรือกล่าวได้ว่าในช่วงนี้ความหนาแน่น

ของฟรีแรดิคัลจะต่ำจึงทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ช้าลง อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงค่อย ๆ ลดลงตามลำดับ เมื่อพิจารณาในแต่ละช่วงความเร็วรอบในการกวน พบว่าในกรณีที่มีความเร็วรอบในการกวนตั้งแต่ 200 รอบต่อนาทีขึ้นไป อัตราการเปลี่ยนแปลงรวมของมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์จะมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการผสมขององค์ประกอบภายในระบบยังคงเกิดขึ้นได้อย่างทั่วถึงทำให้มอนอเมอร์สามารถแพร่เข้าไปในไมเซลล์ได้ใกล้เคียงกัน ดังนั้นปัจจัยที่กำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาสำหรับในช่วงความเร็วรอบในการกวนสูง ๆ ก็คืออัตราการเติมมอนอเมอร์เข้าสู่ระบบ ซึ่งอัตราการเติมมอนอเมอร์ที่ใช้ในการทดลองจะมีค่าเท่ากันทุกการทดลอง จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงรวมของมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์มีค่าใกล้เคียงกันในทุก ๆ ช่วงเวลา ส่วนในกรณีที่ความเร็วรอบในการกวนต่ำกว่า 200 รอบต่อนาทีอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะต่ำกว่าเนื่องจากความหนืดที่เพิ่มขึ้นตัวเลขเรโนลด์จะต่ำทำให้การผสมเกิดได้ยากขึ้น การถ่ายเทมวลสารเข้าสู่ไมเซลล์จึงเกิดได้ช้ากว่าที่ความเร็วรอบในการกวนสูง ๆ จึงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำกว่าดังผลที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 5.2 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันที่เกิดขึ้นในไมเซลล์



รูปที่ 5.3 แสดงผลของความเร็วยกในการกวนต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละของเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ตั้งแต่ร้อยละ 70 เป็นต้นไปที่เวลาต่างๆ กัน

5.2 สมบัติของอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชัน

5.2.1 ลักษณะที่ปรากฏ (Appearance)

จากการทดลองพบว่าลักษณะที่ปรากฏของอิมัลชันพอลิเมอร์ที่ความเร็วรอบในการกวน 100-350 รอบต่อนาทีจะมีลักษณะสีฟ้าคราม (ซึ่งโปร่งแสง) และ ในช่วง 400-500 รอบต่อนาที จะมีลักษณะสีขาวขุ่นคล้ายน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 5.4

การทดลองครั้งที่	ความเร็วรอบในการกวน (รอบต่อนาที)								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
1									
2									
3									

รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะที่ปรากฏของอิมัลชันพอลิเมอร์ที่ความเร็วรอบในการกวนต่าง ๆ กัน

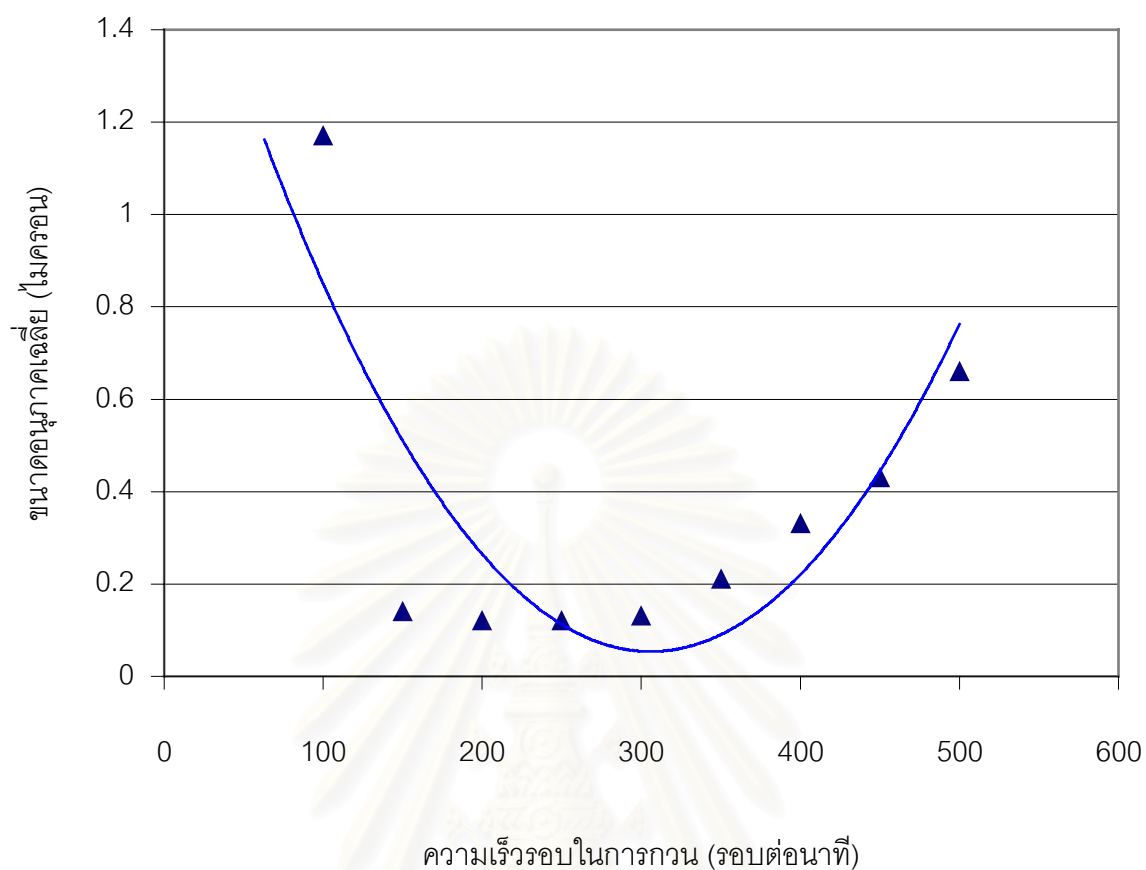
จากรูปที่ 5.4 ลักษณะที่แตกต่างกันของอิมัลชันเป็นผลมาจากขนาดอนุภาคที่ต่างกัน ทำให้การส่งผ่านของแสงมีความแตกต่างกัน โดยที่อนุภาคขนาดเล็กแสงจะส่งผ่านได้มากเนื่องจากมีช่องว่างระหว่างอนุภาคให้แสงส่งผ่านไปได้อย่างบางส่วนและสะท้อนกลับบางส่วนทำให้อิมัลชันที่ได้มีลักษณะกึ่งโปร่งแสง ส่วนอนุภาคขนาดใหญ่จะมีลักษณะทึบแสงเนื่องจากเกิดการสะท้อนกลับของแสงที่ส่งเข้าไป ทำให้อิมัลชันที่ได้มีความแตกต่างกัน

5.2.2 ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของขนาดอนุภาค

จากการทดลอง ขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ได้จะอยู่ในช่วง 0.12-1.17 ไมครอน โดยที่ความเร็วรอบในการกวน 200 และ 250 รอบต่อนาที ได้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กที่สุดคือ 0.12 ไมครอน ส่วนที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ได้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยสูงสุดคือ 1.17 ไมครอน ดังแสดงในตารางที่ 5.2 และ รูปที่ 5.5

ตารางที่ 5.2 แสดงผลของความเร็วรอบในการกวนต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์

ความเร็วรอบในการกวน (รอบต่อนาที)	ขนาดอนุภาค(ไมครอน)			
	การทดลอง ครั้งที่ 1	การทดลอง ครั้งที่ 2	การทดลอง ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100	1.496	1.300	0.717	1.17
150	0.159	0.124	0.130	0.14
200	0.126	0.124	0.122	0.12
250	0.123	0.123	0.125	0.12
300	0.130	0.124	0.124	0.13
350	0.238	0.205	0.179	0.21
400	0.370	0.341	0.274	0.33
450	0.392	0.497	0.408	0.43
500	0.595	0.922	0.470	0.66



รูปที่ 5.5 แสดงผลของความเร็วรอบในการกวนต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคเฉลี่ย

สำหรับการกระจายตัวของขนาดอนุภาค พบว่า ที่ความเร็วรอบในการกวน 150-300 รอบต่อนาที การกระจายตัวของขนาดอนุภาคจะอยู่ในช่วง 0.05-4.19 ไมครอน ส่วนที่ช่วงความเร็วรอบในการกวน 100 และ 350-500 รอบต่อนาที การกระจายตัวของขนาดอนุภาคจะอยู่ในช่วง 0.05 - 103.58 ไมครอน ดังแสดงในตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.6

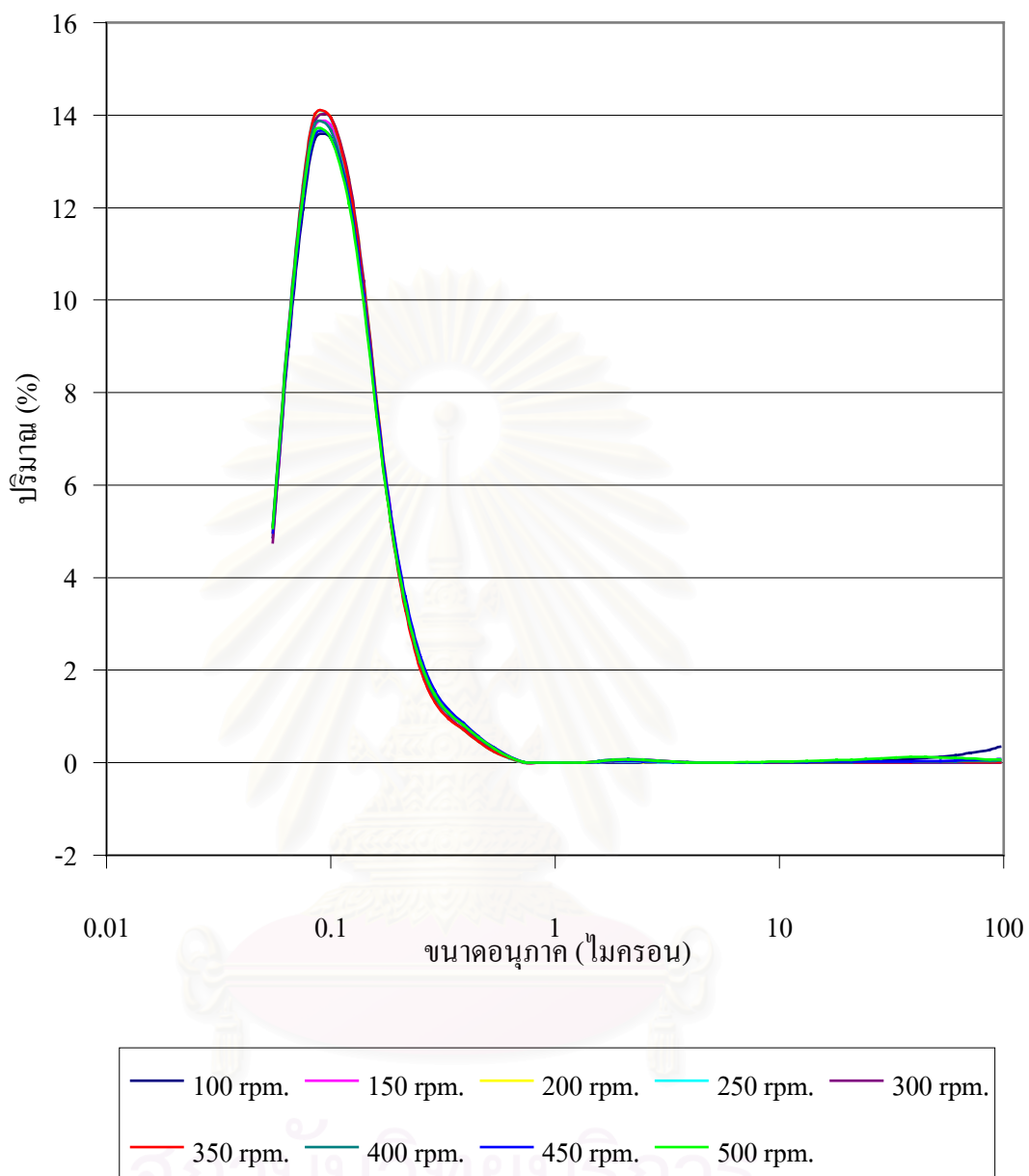
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3 แสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่ความเร็วรอบในการกวาดต่าง ๆ กัน

ขนาดอนุภาค (ไมครอน)	ความเร็วรอบในการกวาด(รอบต่อนาที)								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
0.05-0.06	4.88	5.01	4.98	5.15	4.90	5.11	5.11	4.98	5.08
0.06-0.07	9.0	9.22	9.22	9.46	9.11	9.4	9.36	9.16	9.3
0.07-0.08	11.96	12.23	12.29	12.52	12.21	12.48	12.36	12.12	12.25
0.08-0.09	13.49	13.75	13.9	14.02	13.89	14.02	13.81	13.58	13.66
0.09-0.11	13.5	13.72	13.95	13.92	14.01	13.94	13.68	13.52	13.5
0.11-0.13	12.23	12.37	12.63	12.47	12.73	12.51	12.25	12.21	12.09
0.13-0.15	10.14	10.21	10.41	10.2	10.50	10.22	10.04	10.1	9.91
0.15-0.17	7.7	7.73	7.83	7.63	7.87	7.63	7.55	7.7	7.49
0.17-0.20	5.38	5.39	5.38	5.25	5.37	5.21	5.24	5.43	5.23
0.20-0.23	3.5	3.51	3.42	3.35	3.37	3.3	3.4	3.58	3.43
0.23-0.27	2.2	2.27	2.1	2.07	2.04	2.02	2.15	2.31	2.18
0.27-0.31	1.46	1.48	1.35	1.35	1.31	1.31	1.43	1.56	1.47
0.31-0.36	1.07	1.10	0.97	0.97	0.95	0.95	1.06	1.15	1.08
0.36-0.42	0.8	0.83	0.72	0.72	0.71	0.71	0.81	0.86	0.82
0.42-0.49	0.53	0.54	0.46	0.46	0.46	0.46	0.54	0.57	0.55
0.49-0.58	0.29	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.3	0.32	0.3
0.58-0.67	0.11	0.12	0.09	0.09	0.09	0.1	0.13	0.14	0.13
0.67-0.78	0	0.01	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01
0.78-0.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.91-1.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.06-1.24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.24-1.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.44-1.68	0	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.01	0.03
1.68-1.95	0	0.05	0.02	0.02	0.04	0.04	0.07	0.04	0.06
1.95-2.28	0	0.05	0.02	0.03	0.05	0.05	0.08	0.04	0.07
2.28-2.65	0	0.05	0.01	0.02	0.04	0.05	0.07	0.03	0.06
2.65-3.09	0	0.04	0.01	0.01	0.03	0.04	0.05	0.02	0.04
3.09-3.60	0	0.02	0	0	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02

ตารางที่ 5.3 (ต่อ) แสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่ความเร็วรอบในการกวนต่าง ๆ กัน

ขนาดอนุภาค (ไมครอน)	ความเร็วรอบในการกวน(รอบต่อนาที)								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
3.60-4.19	0	0.01	0	0	0.01	0	0.01	0	0
4.19-4.88	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.88-5.69	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.69-6.63	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.63-7.72	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
7.72-9.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
9.00-10.48	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02
10.48-12.21	0.01	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.03
12.21-14.22	0.02	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.04
14.22-16.57	0.03	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.05
16.57-19.31	0.04	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.06
19.31-22.49	0.04	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.06
22.49-26.20	0.05	0	0	0	0	0.01	0.02	0.03	0.08
26.20-30.53	0.06	0	0	0	0	0.01	0.02	0.03	0.09
30.53-35.56	0.06	0	0	0	0	0.01	0.03	0.03	0.11
35.56-41.43	0.08	0	0	0	0	0.01	0.03	0.03	0.12
41.43-48.27	0.1	0	0	0	0	0.02	0.03	0.04	0.12
48.27-56.23	0.12	0	0	0	0	0.02	0.03	0.04	0.11
56.23-65.51	0.16	0	0	0	0	0.02	0.03	0.05	0.1
65.51-76.32	0.21	0	0	0	0	0.01	0.04	0.06	0.09
76.32-88.91	0.28	0	0	0	0	0.01	0.04	0.07	0.07
88.91-103.58	0.35	0	0	0	0	0.01	0.05	0.08	0.07

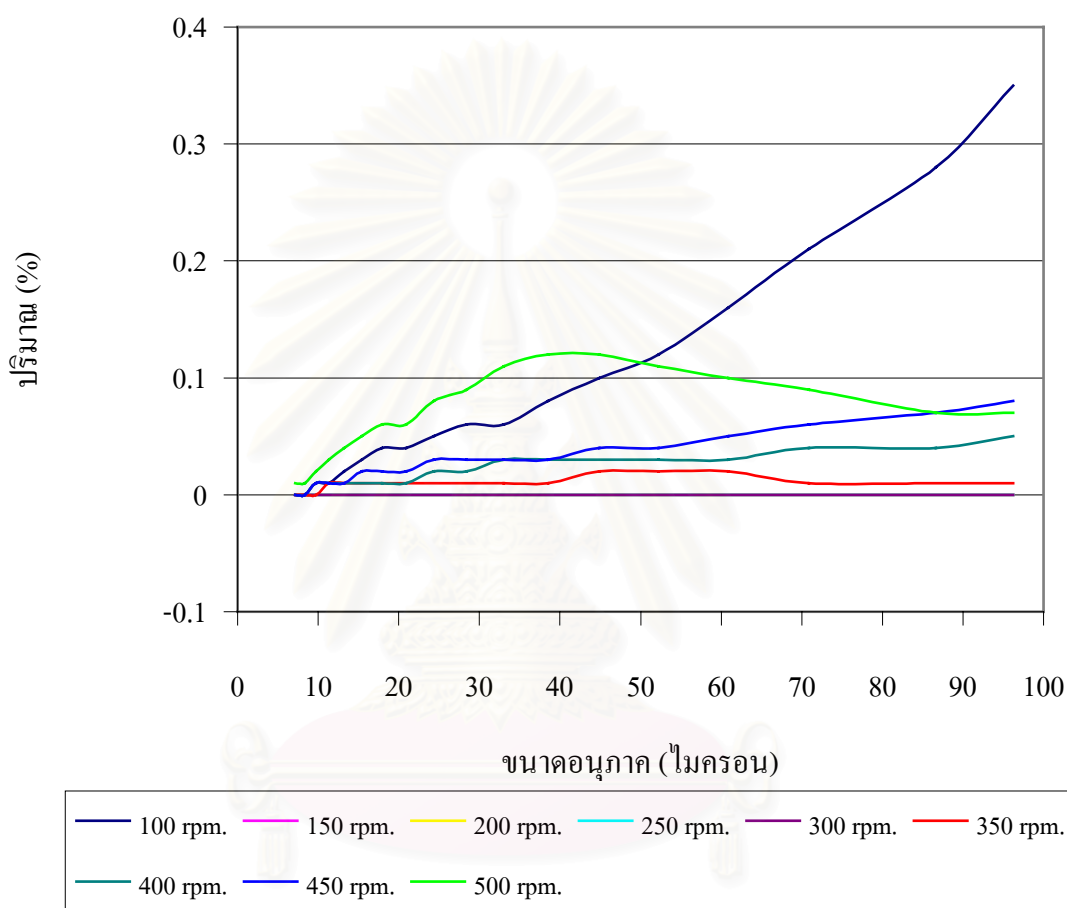


รูปที่ 5.6 แสดงผลของความเร็วยรอบในการกวนต่อการกระจายตัวของขนาดอนุภาคพอลิเมอร์

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าที่ความเร็วยรอบในการกวน 150-300 รอบต่อนาที อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอนจะมีอยู่น้อยมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วงความเร็วยรอบนี้องค์ประกอบต่างๆ ภายในระบบทั้งตัวริเริ่ม มอนอเมอร์ และอื่นๆ สามารถแพร่เข้าสู่ไมเซลล์ได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอใกล้เคียงกันในทุกๆ ไมเซลล์ ทำให้การเกิดปฏิกิริยาในแต่ละไมเซลล์มีค่าใกล้เคียงกันรวมทั้งแรงเฉือนที่เกิดขึ้นไม่ส่งผลต่อเสถียรภาพของไมเซลล์ ทำให้ขนาดของอนุภาคที่ได้มีขนาด

เล็ก ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยจึงมีค่าต่ำ ส่วนการกระจายตัวของขนาดอนุภาคในช่วงความเร็วรอบในการกวน 100 และ 350-500 รอบต่อนาที พบว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอนจะเกิดมากขึ้น ซึ่งเกิดจากสาเหตุที่แบ่งได้เป็นสองกรณี คือกรณีแรกที่มีความเร็วรอบในการกวนต่ำ คือ 100 รอบต่อนาที การผสมที่เกิดขึ้นได้ช้าและไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะในช่วงของปฏิกิริยาที่มีความหนืดสูงเลขเรโนลด์ต่ำทำให้ของไหลภายในระบบมีลักษณะการไหลแบบราบเรียบทำให้การผสมเกิดขึ้นได้ช้าและไม่สม่ำเสมอทั้งระบบ ทำให้องค์ประกอบต่างๆ ภายในระบบทั้งตัวริเริ่ม มอนอเมอร์ และอื่นๆ แพร่เข้าสู่ไมเซลล์แต่ละไมเซลล์ในปริมาณที่แตกต่างกันตามความเข้มข้นขององค์ประกอบต่างๆ ในแต่ละพื้นที่ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแต่ละไมเซลล์จึงมีความแตกต่างกัน นอกจากนี้จากผลต่างของความหนาแน่นของมอนอเมอร์ที่เติมลงไปอย่างต่อเนื่องกับชั้นตัวกลางที่มีอนุภาคพอลิเมอร์กระจายตัวอยู่ เมื่อความหนืดภายในระบบสูงการผสมจะเกิดขึ้นได้ช้าทำให้มอนอเมอร์ที่เติมลงไปมีลักษณะคล้ายเกิดการแยกชั้นลอยตัวอยู่บนผิวหน้าของชั้นตัวกลางและเกิดการโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์โดยใช้ความร้อนเป็นตัวช่วยในการเกิดปฏิกิริยาภายในหยดมอนอเมอร์เล็กๆ ที่เติมลงไปซึ่งอนุภาคที่ได้จะมีขนาดใหญ่กว่าการโพลีเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน [5] ขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีการกระจายตัวในช่วงกว้าง กรณีที่สอง ในช่วงความเร็วรอบในการกวน 350-500 รอบต่อนาที ผลจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นได้ไปทำลายเสถียรภาพของไมเซลล์ทำให้ไมเลกุลอิมัลซิไฟเออร์ที่ถูกดูดซับ (Adsorp) อยู่รอบอนุภาคพอลิเมอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันอนุภาคไมให้จับตัวกับอนุภาคอื่นๆ หลุดออกไป (desorp) ทำให้เกิดการรวมตัวของโซ่เรดิคัลพอลิเมอร์สองโซ่เกิดขึ้นอนุภาคพอลิเมอร์ที่ได้จึงมีขนาดใหญ่ขึ้นและแตกต่างกันตามความยาวของโซ่เรดิคัลที่มารวมตัวกัน อย่างไรก็ตามเสถียรภาพของไมเซลล์ก็ไม่ได้สูญเสียไปทุกไมเซลล์ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ที่ล้อมรอบอนุภาคที่แตกต่างกัน ขนาดอนุภาคที่แตกต่างกัน ปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีผลต่อเสถียรภาพของไมเซลล์จึงทำให้ชั้นตอนเทอร์มินชันภายในระบบเกิดขึ้นได้ทั้งแบบการรวมตัวกันของโซ่เรดิคัลพอลิเมอร์สองโซ่ซึ่งในสภาวะการกวนที่เหมาะสมการรวมตัวแบบนี้จะเกิดขึ้นได้น้อยและการรวมตัวในสภาวะปกติคือระหว่างโซ่เรดิคัลพอลิเมอร์กับฟรีเรดิคัลที่แพร่เข้าสู่ไมเซลล์ นอกจากนี้การรวมตัวของโซ่เรดิคัลพอลิเมอร์สองโซ่ที่มารวมตัวกันในชั้นตอนเทอร์มินชันก็มีความแตกต่างกัน จึงทำให้อนุภาคของผลิตภัณฑ์มีขนาดแตกต่างกัน ส่วนกรณีที่ใช้ความเร็วรอบในการกวนยิ่งสูงขึ้น ปริมาณอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ก็จะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับซึ่งเป็นผลมาจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นไปทำลายเสถียรภาพของไมเซลล์มากขึ้นนั่นเอง และโดยปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นอนุภาคพอลิเมอร์ที่ได้จึงมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยสูงดังผลที่ได้จากการทดลอง สำหรับขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ความเร็วรอบในการกวน 100 รอบต่อนาที ขนาดอนุภาคจะมีค่าสูงกว่าที่ความเร็วรอบอื่น ๆ อย่างชัดเจน ทั้งนี้เป็นเพราะมีอนุภาคขนาดใหญ่ในช่วง 50-100 ไมครอน เกิดขึ้นมากกว่าการทดลองอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ซึ่งอนุภาคเหล่านี้จะเกิดขึ้นในช่วงปฏิกิริยาที่มีความหนืดสูงๆ และความเร็วรอบในการกวนต่ำ ทำให้หยดมอนอเมอร์ที่เติมลงไปการกระจายตัวลงไปในระบบได้ช้าและลอยตัวอยู่ที่

ผิวหน้าของชั้นตัวกลาง และมอนอเมอร์เหล่านี้เกิดการโพลิเมอไรซ์โดยอาศัยความร้อนเป็นตัวช่วยลักษณะคล้ายบัลล์โพลิเมอร์ไรเซชันขนาดเล็กภายในหยดมอนอเมอร์ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้มีอนุภาคพอลิเมอร์ขนาดใหญ่เกิดขึ้นตามขนาดของหยดมอนอเมอร์ที่เติมลงไป ขนาดอนุภาคเฉลี่ยจึงมีค่าสูงตามไปด้วยดังผลที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 5.7 แสดงผลของความเร็วยรอบในการกวนต่อการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (ที่ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 10 ไมครอน)

5.2.3 ความหนืด

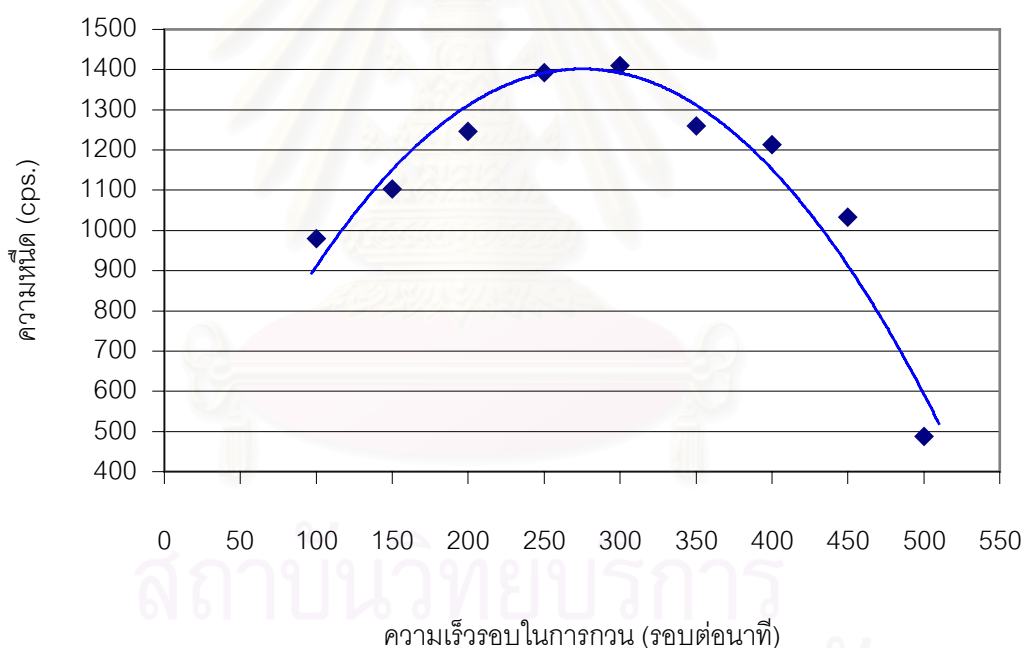
จากการทดลองได้ความหนืดของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 487-1,410 เซนติพอยส์โดยที่ความเร็วยรอบในการกวน 300 รอบต่อนาทีให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสูงสุด คือ 1,410 เซนติพอยส์ ส่วนที่ความเร็วยรอบในการกวน 500 รอบต่อนาที ความหนืดของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยต่ำสุด คือ 487 เซนติพอยส์ ดังแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.4 แสดงผลของความเร็วยรอบในการกวนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด

ความเร็วยรอบในการ กวน (รอบต่อนาที)	ความหนืด (เซนติพอยส์)			
	การทดลอง ครั้งที่ 1	การทดลอง ครั้งที่ 2	การทดลอง ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100	930	990	1,020	980
150	1,130	1,100	1,080	1,103
200	1,240	1,290	1,210	1,247
250	1,380	1,480	1,320	1,393
300	1,390	1,440	1,400	1,410
350	1,270	1,240	1,270	1,260
400	1,250	1,180	1,210	1,213
450	1,120	940	1,040	1,033
500	580	380	500	487

จากการทดลองพบว่าในช่วงความเร็วยรอบในการกวนแตกต่างกัน ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะแตกต่างกันไป ซึ่งแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดที่ความเร็วยรอบในการกวนต่าง ๆ กันแสดงได้ดังรูปที่ 5.8 โดยความแตกต่างของความหนืดที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากความหนืดของอิมัลชันพอลิเมอร์จะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคพอลิเมอร์เป็นหลักมากกว่าที่จะขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุล โดยอนุภาคพอลิเมอร์ที่กระจายตัวอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำเมื่อมีการเคลื่อนที่ของของไหลในระบบเกิดขึ้น อนุภาคเหล่านี้จะเป็นตัวรบกวนเส้นทางของสายกระแสทำให้ระบบใช้พลังงานเพิ่มขึ้นซึ่งก็คือทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นนั่นเอง [2] ดังนั้นปริมาณอนุภาคยิ่งมากความหนืดก็จะยิ่งสูงขึ้น นอกจากนี้สำหรับในกรณีที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยปริมาตรสูงทำให้ interphase area ระหว่างของไหลกับอนุภาคสูงขึ้นด้วย ซึ่งทำให้เกิดแรงกระทำระหว่างอนุภาคกับของไหลเพิ่มมากขึ้น และนอกจากแรงอันเนื่องมาจากแรงกระทำระหว่างของไหลกับอนุภาคแล้วยังมีแรงอันเนื่องมาจากแรงกระทำระหว่างอนุภาคอีกด้วย โดยที่ระบบที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยปริมาตรสูงทำให้เกิดแรงกระทำระหว่างอนุภาคซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากแรงผลักรันระหว่างประจุที่ผิวของอนุภาคซึ่งเกิดจากสารลดแรงตึงผิวชนิดแอนไอออนิก และมอนอเมอร์ที่โมเลกุลมีประจุลบ (COO^-) ในกรดอะคริลิกและกรดอิทาโคนิก เป็นต้น มีค่าสูงขึ้น โดยแรงที่เกิดขึ้นจะไปรบกวนการไหลของของไหลในระบบทำให้ระบบต้องใช้พลังงาน

เพิ่มขึ้นจึงทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นอิมัลชันพอลิเมอร์ที่มีอนุภาคขนาดเล็กจึงมีความหนืดสูงกว่าอิมัลชันพอลิเมอร์ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการทดลอง อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองที่ความเร็วรอบในการกวน 100 รอบต่อนาที ขนาดอนุภาคเฉลี่ยจะมีค่าสูงกว่าที่ความเร็วรอบในการกวน 500 รอบต่อนาที แต่ความหนืดที่ได้จะสูงกว่า ซึ่งในกรณีนี้เมื่อพิจารณาจากการกระจายตัวของขนาดอนุภาคทั้งระบบ จะพบว่าทั้งที่ความเร็วรอบในการกวน 100 รอบต่อนาที และ 500 รอบต่อนาที อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ตั้งแต่ 1 ไมครอนขึ้นไปจะเกิดขึ้นมากและใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณอนุภาคที่มีอยู่ในระบบจะพบว่าที่ความเร็วรอบในการกวน 100 รอบต่อนาที ปริมาณอนุภาคที่มีอยู่จะสูงกว่าที่ความเร็วรอบในการกวน 500 รอบต่อนาที เนื่องจากมีการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ต่ำกว่า ดังนั้นแรงกระทำระหว่างอนุภาคกับของไหลรวมทั้งแรงกระทำระหว่างอนุภาคกับอนุภาคจึงมีค่าสูงกว่าความหนืดของอิมัลชันพอลิเมอร์ที่ได้จึงสูงกว่าดังผลที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 5.8 แสดงผลของความเร็วรอบในการกวนต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของพอลิเมอร์

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบในการกวน 450 และ 500 รอบต่อนาที พบว่านอกจากผลของปริมาณขนาดอนุภาคที่ใหญ่ที่เกิดขึ้นแล้ว ผลของความเข้มข้นของอิมัลชันพอลิเมอร์ที่ได้มีค่าต่ำอันเนื่องมาจากได้ทำการกรองก้อนพอลิเมอร์ที่มีการจับตัวกันเป็นก้อนออกไปทำให้แรงกระทำระหว่างของไหลกับอนุภาคและแรงกระทำระหว่างอนุภาคกับอนุภาคมีค่าลดลงเนื่อง

จากอนุภาคมีปริมาณน้อยลง ซึ่งส่งผลทำให้มีมลพิษที่ความถี่รอบในการกววน 400 และ 500 มีค่าความถี่ลดลงตามลำดับ

5.2.4 การจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์

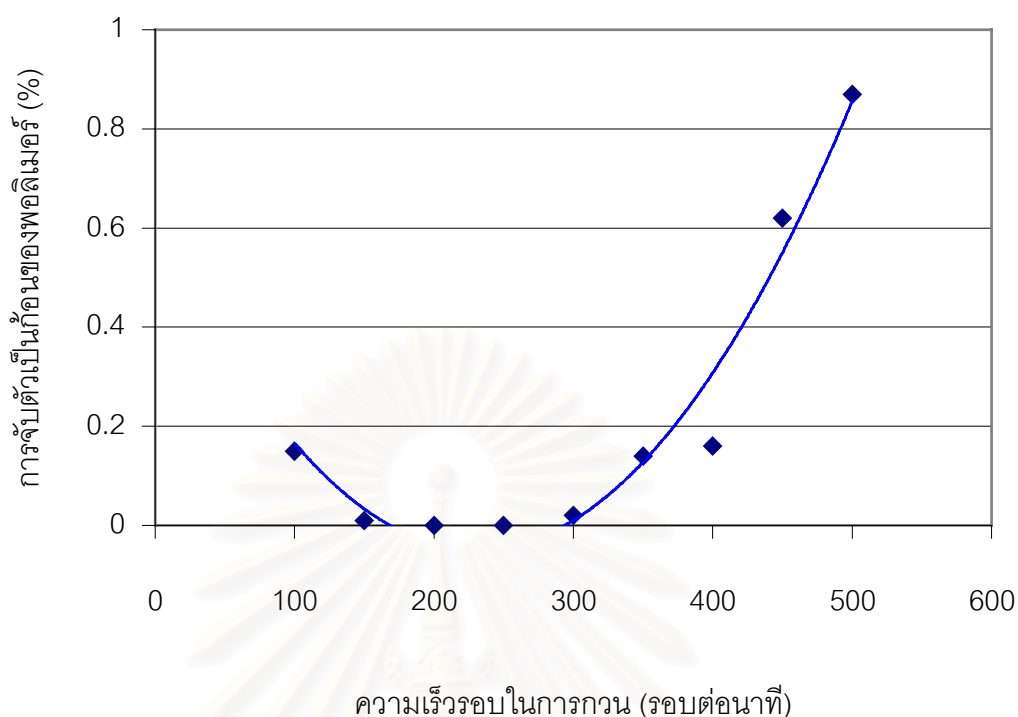
จากการทดลองเมื่อทำการกรองอิมัลชันที่ได้จากการทดลองพบว่า การจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์เฉลี่ยที่ไม่ผ่านผ้ากรองในแต่ละความถี่รอบในการกววนมีค่าระหว่าง 0-0.87 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งหมดที่ใช้ โดยที่ความถี่รอบในการกววน 200 และ 250 รอบต่อนาที จะไม่มีการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ในระหว่างปฏิกิริยา ส่วนที่ความถี่รอบในการกววน 500 รอบต่อนาที จะมีการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์สูงสุดคือ 0.87 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งหมดที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงผลของความถี่รอบในการกววนต่อการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์

ความถี่รอบในการ กววน (รอบต่อนาที)	การจับตัวเป็นก้อน (%)			
	การทดลอง ครั้งที่ 1	การทดลอง ครั้งที่ 2	การทดลอง ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100	0.14	0.14	0.18	0.15
150	0.01	0.01	0.01	0.01
200	0.00	0.00	0.00	0.00
250	0.00	0.00	0.00	0.00
300	0.03	0.01	0.02	0.02
350	0.11	0.14	0.16	0.14
400	0.18	0.19	0.12	0.16
450	0.82	0.55	0.49	0.62
500	0.84	1.01	0.75	0.87

จากการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นจากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ความเร็วรอบในการกวนที่เหมาะสมคือ ในช่วง 200-250 รอบต่อนาทีจะไม่เกิดการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ซึ่งจะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ผลได้สูง แต่เมื่อใช้ความเร็วรอบในการกวนที่ 100 รอบต่อนาที 150 รอบต่อนาที และตั้งแต่ 300 รอบต่อนาทีเป็นต้นไปจะมีการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์เกิดขึ้น ซึ่งสาเหตุของการเกิดการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์สามารถแยกออกได้เป็นสองกรณีเช่นเดียวกับกรณีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่กล่าวมาแล้วข้างต้น กล่าวคือ ในช่วงความเร็วรอบต่ำที่ 100 และ 150 รอบต่อนาที ในขณะที่ระบบมีความหนืดสูงขึ้นหยดมอนอเมอร์ที่เติมลงไม่สามารถกระจายตัวหรือกระจายตัวลงไปในระบบได้ช้า หยดมอนอเมอร์เหล่านี้จึงกระจายตัวอยู่ที่ผิวหน้าและเกิดการโพลิเมไรเซชันด้วยความร้อนในลักษณะบัลคโพลิเมไรเซชันภายในหยดมอนอเมอร์ที่ลอยตัวอยู่ที่ผิวหน้าได้พอลิเมอร์ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ ส่วนในกรณีที่สองที่ความเร็วรอบในการกวนสูงๆปริมาณการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์สามารถอธิบายได้จากสมการที่ 3.2 ซึ่งพบว่าการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อแรงเฉือนสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการกวนจึงทำให้มีปริมาณการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์เกิดสูงขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะการเพิ่มความเร็วรอบในการกวนก็คือการเพิ่มแรงเฉือนนั่นเอง ซึ่งในกรณีนี้เมื่ออธิบายตามลักษณะกลไกการเกิดปฏิกิริยาจะอธิบายได้ว่า แรงเฉือนที่สูงมากพอจะไปทำลายเสถียรภาพของไมเซลล์ซึ่งทำหน้าที่เป็นเสมือนเกราะป้องกันไม่ให้พอลิเมอร์ในแต่ละอนุภาคมีโอกาสได้เจอกันในสภาวะปกติมีโอกาสได้เจอกันมากขึ้นและมีการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ได้เป็นอนุภาคคอมพอสิตที่เรียกว่า heterocoagulated particle [2] โดยเมื่อความเร็วรอบในการกวนยิ่งสูงขึ้นเสถียรภาพของไมเซลล์จะยิ่งลดลงตามลำดับ ทำให้การจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์อันเนื่องมาจากแรงเฉือนเกิดได้มากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.9 แสดงผลของความเร็วยรอบในการกวนต่อการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์

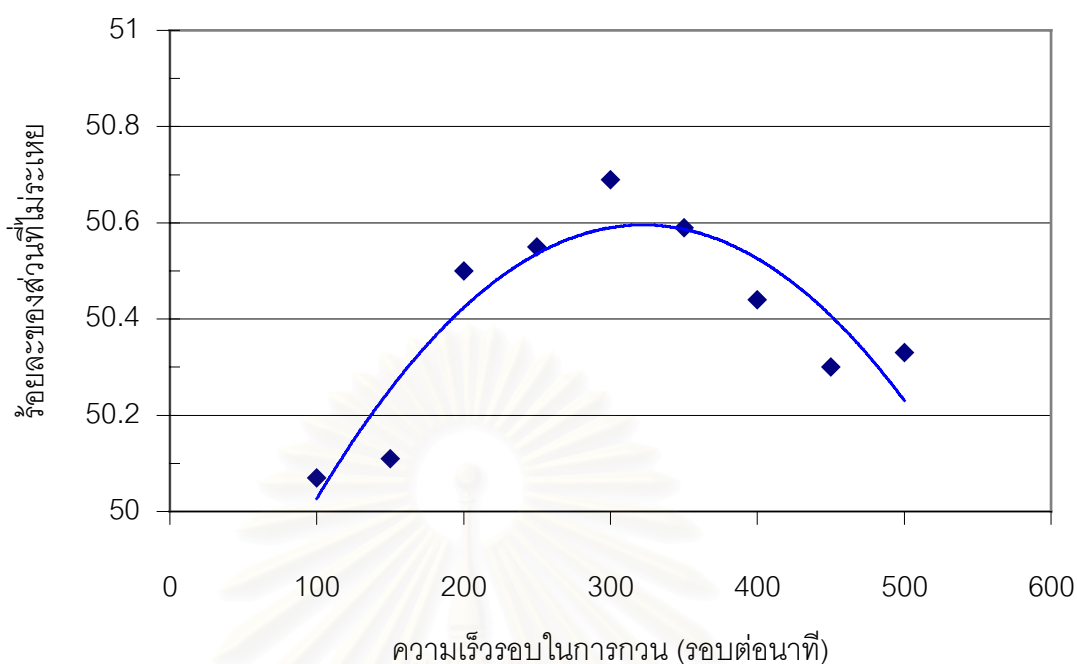
5.2.5 ร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหย

จากการทดลองเมื่อนำอิมัลชันพอลิเมอร์ที่ผ่านการกรองมาหาค่าร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหยของอิมัลชันพอลิเมอร์พบว่าค่าที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 50.07-50.70 โดยที่ความเร็วยรอบในการกวน 300 รอบต่อนาทีให้ร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหยเฉลี่ยสูงสุด คือ ร้อยละ 50.69 ส่วนที่ความเร็วยรอบในการกวน 100 รอบต่อนาที ร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหยเฉลี่ยต่ำสุด คือ ร้อยละ 50.07 ดังแสดงในตารางที่ 5.6 จากข้อมูลที่ได้พบว่าร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหยที่ความเร็วยรอบในการกวนต่าง ๆ กันจะมีค่าใกล้เคียงกันแต่อย่างไรก็ตามที่ความเร็วยรอบในการกวนต่ำ ๆ คือที่ 100 และ 150 รอบต่อนาทีค่าที่ได้จะต่ำกว่าที่ความเร็วยรอบในการกวน 200 รอบต่อนาทีเป็นต้นไป ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากที่ความเร็วยรอบต่ำๆ การแพร่ของมอนอเมอร์จากหยดมอนอเมอร์เข้าสู่ไมเซลล์จะเกิดขึ้นได้ช้าโดยเฉพาะในช่วงปฏิกิริยาที่มีความหนืดสูงขึ้น ทำให้มีมอนอเมอร์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่ในระบบสูง รวมกับปริมาณการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้น ทำให้ได้ค่าร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหยต่ำกว่าที่ความเร็วยรอบสูงๆ ซึ่งการถ่ายเทมวลสารภายในระบบเกิดขึ้นได้ดีทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามที่ความเร็วยรอบในการกวนสูงกว่า 300 รอบต่อนาที ร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหยที่ได้มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 5.10 ซึ่งเป็นเพราะ

ที่ความเร็วรอบในการกวนสูงขึ้นจะมีปริมาณการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์สูงขึ้นตามลำดับ ดังนั้นอัตราการกวนจึงมีค่าร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหยลดลงตามลำดับ

ตารางที่ 5.6 แสดงผลของความเร็วยรอบในการกวนต่อร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหย

ความเร็วรอบใน การกวน (รอบต่อนาที)	ร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหย			
	การทดลอง ครั้งที่ 1	การทดลอง ครั้งที่ 2	การทดลอง ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100	50.06	49.77	50.38	50.07
150	50.21	49.87	50.26	50.11
200	50.37	50.64	50.50	50.50
250	50.70	50.62	50.32	50.55
300	50.90	50.46	50.72	50.69
350	50.83	50.49	50.44	50.59
400	50.44	50.39	50.48	50.44
450	50.26	50.34	50.31	50.30
500	50.31	50.42	50.27	50.33



รูปที่ 5.10 แสดงผลของความถี่รอบในการกวนต่อร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหยของอิมัลชันพอลิเมอร์ที่ได้

5.2.6 แรงตึงผิว (Surface tension)

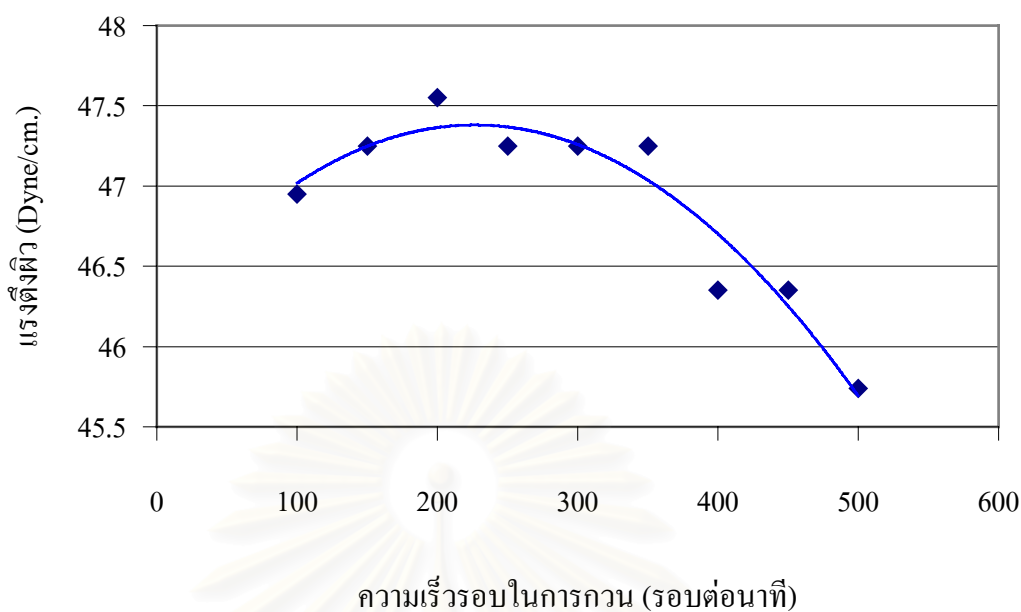
จากการทดลองเมื่อนำอิมัลชันพอลิเมอร์ที่ผ่านการกรองมาหาค่าร้อยละแรงตึงผิวของอิมัลชันพอลิเมอร์พบว่าค่าที่ได้อยู่ในช่วง 45.74-47.55 dyne/cm. โดยที่ความเร็วรอบในการกวน 200 รอบต่อนาทีให้ค่าแรงตึงผิวสูงสุดคือ 47.55 dyne/cm. ส่วนที่ความเร็วรอบในการกวน 500 รอบต่อนาที ให้ค่าแรงตึงผิวต่ำสุด คือ 45.74 dyne/cm. ดังแสดงในตารางที่ 5.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.7 แสดงผลของความเร็วยรอบในการกววนต่อค่าแรงตึงผิว

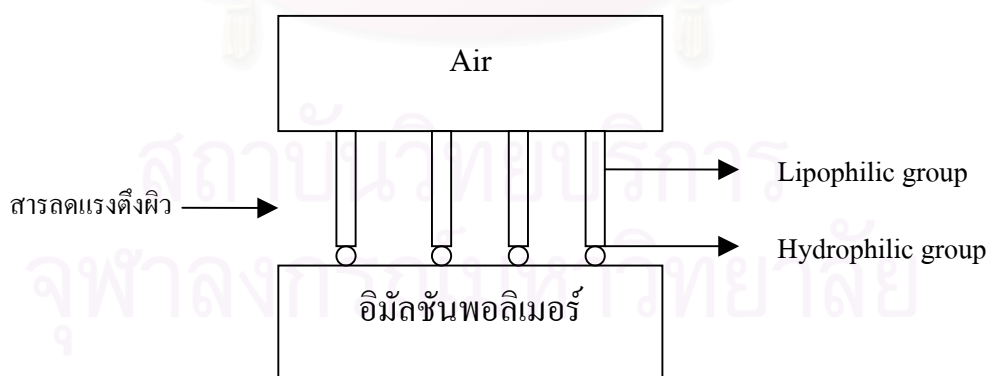
ความเร็วยรอบใน การกววน (รอบต่อนาที)	แรงตึงผิว (dyne/cm.)			
	การทดลอง ครั้งที่ 1	การทดลอง ครั้งที่ 2	การทดลอง ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100	46.80	47.25	46.80	46.95
150	47.25	47.25	47.25	47.25
200	47.70	47.70	47.25	47.55
250	47.25	47.25	47.25	47.25
300	47.25	47.25	47.25	47.25
350	47.25	47.25	47.25	47.25
400	46.35	46.35	46.35	46.35
450	46.35	46.35	46.35	46.35
500	45.44	46.35	45.44	45.74

จากตารางจะพบว่าที่ความเร็วยรอบในการกววนสูงกว่า 200 รอบต่อนาทีค่าแรงตึงผิวมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อความเร็วยรอบในการกววนสูงขึ้น และที่ความเร็วยรอบในการกววนต่ำกว่า 200 รอบต่อนาที ค่าแรงตึงผิวจะลดลงเมื่อความเร็วยรอบในการกววนลดลงดังแสดงในรูปที่ 5.11 ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจากแรงตึงผิวเป็นแรงที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสระหว่างอิมัลชันพอลิเมอร์กับอากาศ (Air-emulsion polymer interface) ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.12 จะพบว่าที่ผิวหน้าของอิมัลชันพอลิเมอร์จะเป็นส่วนของโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวส่วนที่ไม่ชอบน้ำซึ่งออกมา ทำให้ระบบที่บริเวณผิวสัมผัสเป็นผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับโมเลกุลส่วนที่ไม่ชอบน้ำของสารลดแรงตึงผิว จึงทำให้ระบบมีค่าแรงตึงผิวต่ำ (โดยปกติที่ 25°C ค่าแรงตึงผิวของผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศมีค่าประมาณ 71.96 dyne/cm และค่าแรงตึงผิวสำหรับอากาศกับน้ำมันมีค่าประมาณ 20-40 dyne/cm) [17] โดยจากการทดลองจะพบว่าค่าแรงตึงผิวจะมีค่าอยู่ในช่วง 45.74-47.55 dyne/cm ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภายในระบบจะมีทั้งผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำและอากาศกับส่วนที่ไม่ชอบน้ำของสารลดแรงตึงผิวจึงทำให้แรงตึงผิวมีค่าดังแสดงข้างต้น ทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่าแรงตึงผิวที่แตกต่างกันเกิดจากปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ผิวสัมผัสมีค่าแตกต่างกันนั่นเอง ทั้งนี้จะพบว่าที่ความเร็วยรอบในการกววนสูง ๆ ค่าแรงตึงผิวจะต่ำซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเกิดจากการที่ขนาดอนุภาคของพอลิเมอร์ที่ได้มีขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวของอนุภาคโดยรวมต่ำกว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็ก (กรณีในระบบมีปริมาตร



รูปที่ 5.11 แสดงผลของความเร็วยรอบในการกวาดต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดึงผิว

รวมเท่ากัน) ทำให้ปริมาณ โมเลกุลของสารลดแรงดึงผิวที่ถูกดูดซับบนผิวอนุภาคมีปริมาณน้อยตามไปด้วย โดยโมเลกุลสารลดแรงดึงผิวส่วนที่เหลือซึ่งไม่ถูกดูดซับจะละลายอยู่ในชั้นตัวกลางซึ่งก็คือน้ำจึงทำให้อิมัลชันพอลิเมอร์ที่ได้มีค่าแรงดึงผิวลดลง ในขณะที่อนุภาคนาขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวสำหรับดูดซับโมเลกุลสารลดแรงดึงผิวมากทำให้สารลดแรงดึงผิวที่ละลายอยู่ในชั้นตัวกลางมีปริมาณต่ำค่าแรงดึงผิวจึงมีค่าสูง ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 5.12 แสดงผิวสัมผัสระหว่างอากาศและอิมัลชันพอลิเมอร์

5.3 สมบัติของพอลิเมอร์ฟิล์ม

5.3.1 อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน

จากการทดสอบหาอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ที่ได้ พบว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ที่ได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 28.5-35.3 องศาเซลเซียส โดยที่ความเร็วรอบในการกวน 100 รอบต่อนาที จะให้ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ต่ำสุดคือ 28.5 องศาเซลเซียส ส่วนที่ความเร็วรอบในการกวน 500 รอบต่อนาทีจะให้ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์สูงสุดคือ 35.3 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 5.8

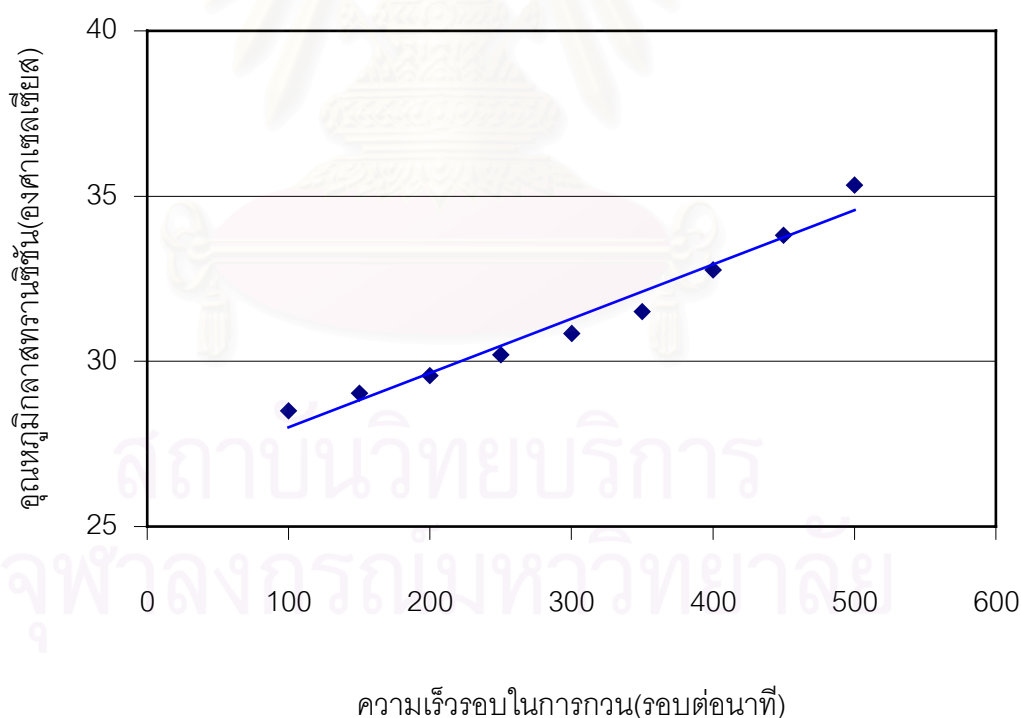
ตารางที่ 5.8 แสดงผลของความถี่รอบในการกวนต่ออุณหภูมิกลาสทรานซิชัน

ความเร็วรอบในการ กวน (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (องศาเซลเซียส)			
	การทดลอง ครั้งที่ 1	การทดลอง ครั้งที่ 2	การทดลอง ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100	29.76	27.30	28.46	28.5
150	29.01	28.44	29.67	29.0
200	29.19	29.27	30.24	29.6
250	30.94	29.46	30.20	30.2
300	31.14	30.71	30.68	30.8
350	32.36	30.82	31.32	31.5
400	34.96	31.40	31.96	32.8
450	34.62	33.47	33.38	33.8
500	35.03	35.44	35.55	35.3

อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของอิมัลชันพอลิเมอร์ที่ได้มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบในการกวนเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.13 ทั้งนี้เนื่องจากค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันที่ได้นอกจากจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของโคพอลิเมอร์แล้วยังขึ้นอยู่กับ ค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (ในกรณีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่ำๆ) ค่าความหนาแน่นของการเชื่อมขวาง และอัตราการให้ความร้อนขณะวัดค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน เป็นต้น [3] ซึ่งในกรณีของอิมัลชันพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ

พอลิเมอร์ที่ได้จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน เนื่องจากพอลิเมอร์ที่ได้โดยวิธีนี้จะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยค่อนข้างสูง ดังนั้นในกรณีนี้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกลาสทรานซิชันที่เกิดขึ้นคาดว่าจะจะเป็นผลมาจากความหนาแน่นของการเชื่อมขวางเป็นหลัก โดยสามารถอธิบายได้ว่าที่ความเร็วรอบในการกวนสูงๆ การเชื่อมขวางระหว่างโซ่พอลิเมอร์จะเกิดได้มากขึ้น เนื่องจากเสถียรภาพของไมเซลล์ที่เสียไปทำให้โซ่พอลิเมอร์มีโอกาสที่มาเจอกันและเกิดการเชื่อมขวางได้มากขึ้น ปริมาณการเชื่อมขวางที่เกิดขึ้นจะเป็นปัจจัยที่ทำให้อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของอิมัลชันพอลิเมอร์ที่ได้มีความแตกต่างกัน โดยการเชื่อมขวางที่เกิดขึ้นจะลดการเคลื่อนไหวยางส่วนของโมเลกุล ทั้งนี้เพราะการเชื่อมขวางก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพอลิเมอร์จากโซ่ตรงเป็นแบบร่างแหการเคลื่อนไหวยางของโมเลกุลพอลิเมอร์จึงเกิดได้ยากขึ้น ดังนั้นยังมีความหนาแน่นของการเชื่อมขวางมากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิกลาสทรานซิชันสูงขึ้นด้วย

อย่างไรก็ตามนอกจากความหนาแน่นของการเชื่อมขวางที่เกิดขึ้นแล้ว ปริมาณความชื้นในชิ้นงานทดสอบที่แตกต่างกัน ส่วนประกอบภายในสายโซ่โมเลกุลที่อาจแตกต่างกันอันเนื่องมาจากสภาวะการผลิตที่ต่างกันก็อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิกลาสทรานซิชันที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาหาเหตุผลที่ชัดเจนต่อไป



รูปที่ 5.13 แสดงผลของความเร็วรอบในการกวนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน

5.3.2 อุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้

จากการทดสอบหาอุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้ของพอลิเมอร์ที่ได้พบว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 25.3-30.3 องศาเซลเซียส โดยที่ความเร็วรอบในการกวาด 250 รอบต่อนาที จะให้ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้ต่ำสุดคือ 25.3 องศาเซลเซียส ส่วนที่ความเร็วรอบในการกวาด 500 รอบต่อนาทีจะให้ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้สูงสุดคือ 30.3 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 แสดงผลของความเร็วรอบในการกวาดต่ออุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้

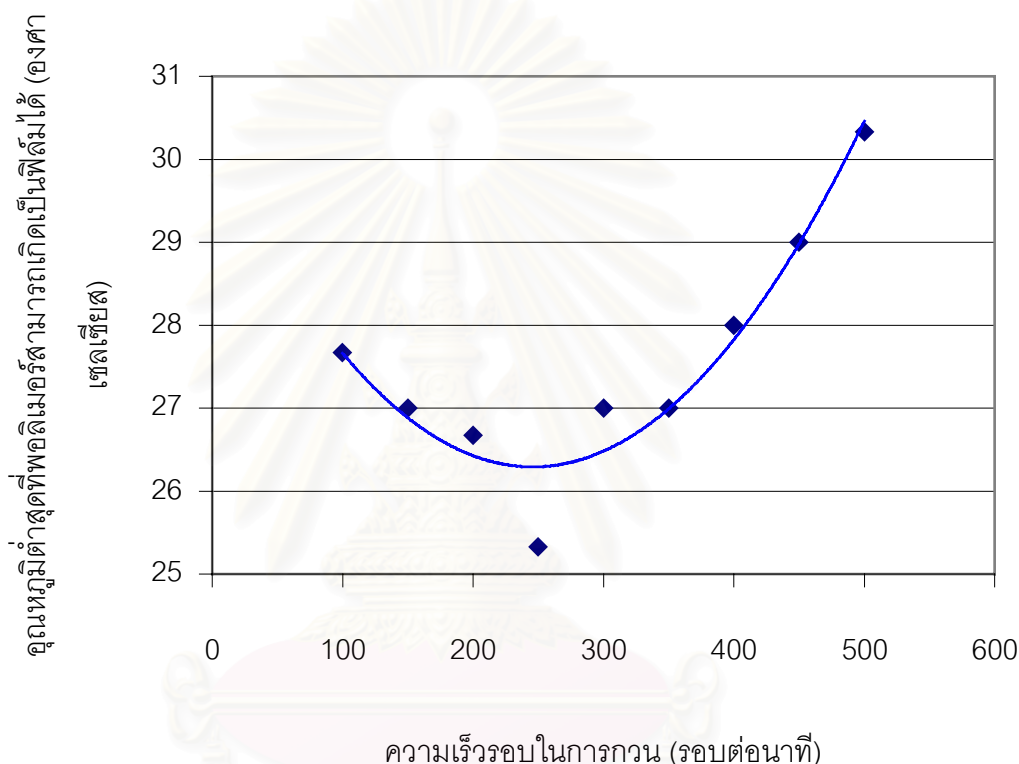
ความเร็วรอบในการกวาด (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้ (องศาเซลเซียส)			
	การทดลอง ครั้งที่ 1	การทดลอง ครั้งที่ 2	การทดลอง ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100	27	28	28	27.7
150	27	27	27	27.0
200	26	27	27	26.7
250	25	25	26	25.3
300	27	27	27	27.0
350	27	27	27	27.0
400	28	28	28	28.0
450	29	29	29	29.0
500	30	30	31	30.3

จากตารางที่ 5.9 พบว่า ที่ความเร็วรอบในการกวาดสูงกว่า 250 รอบต่อนาที อุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบในการกวาดสูงขึ้น และที่ความเร็วรอบในการกวาดต่ำกว่า 250 รอบต่อนาที ยิ่งความเร็วรอบในการกวาดต่ำลงอุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.14 ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดเป็นฟิล์มของพอลิเมอร์เป็นลักษณะเฉพาะตัวของอิมัลชันพอลิเมอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย

อาทิ น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ ขนาดอนุภาคของพอลิเมอร์ แรงตึงผิวของอนุภาค และความหนาแน่นของการเชื่อมโยง เป็นต้น [2] ซึ่งจากกลไกการเกิดเป็นฟิล์มที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 หลังจากน้ำระเหยออกไปจากระบบจนได้อนุภาคที่มีลักษณะทรงกลมจัดเรียงตัวกันอย่างต่อเนื่อง โดยในขั้นตอนนี้ถ้าแรงที่กระทำบนอนุภาคซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจาก capillarity ที่เกิดขึ้นสูงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของอนุภาคจากทรงกลมเป็น rhombic dodecahedra และมี interdiffusion ระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์เกิดขึ้นก็จะทำให้พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มที่ต่อเนื่องขึ้นมาได้ แต่ในกรณีที่พลังงานดังกล่าวข้างต้นมีค่าน้อยเกินกว่าที่จะทำให้เกิดพอลิเมอร์ฟิล์มขึ้นได้ จำเป็นที่จะต้องให้ความร้อนเข้าไปในระบบเพื่อเพิ่มพลังงานจลน์ให้แก่อนุภาคลดแรงต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของอนุภาคเพื่อให้พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มที่ต่อเนื่องได้ ดังนั้นปริมาณความร้อนต่ำสุดที่จะทำให้พอลิเมอร์เกิดเป็นฟิล์มที่ต่อเนื่องได้ที่จะต้องให้แก่ระบบจึงขึ้นอยู่กับขนาดของแรงกระทำบนอนุภาคอันเนื่องมาจาก capillarity ที่เกิดขึ้นในระบบ โดยขนาดของแรงที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคเป็นสำคัญ [5] โดยที่อนุภาคยังมีขนาดเล็กผลของ capillarity จะทำให้เกิดแรงกระทำบนอนุภาคสูงขึ้น กล่าวคืออนุภาคขนาดเล็กจะมีการจัดเรียงตัวของอนุภาคได้เป็นระเบียบและเรียงชิดสม่ำเสมอทำให้เกิดช่องว่างขนาดเล็กคล้าย capillary tube ระหว่างอนุภาคจำนวนมาก capillarity ที่เกิดขึ้นจะทำให้ น้ำที่อยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคเกิดการเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคและเกิดการระเหยออกไปอย่างช้าๆ ซึ่งช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคอันเนื่องมาจากน้ำที่เคลื่อนที่ออกไปและไม่มีสิ่งใดเข้ามาแทนที่มีสภาพคล้ายเป็นสุญญากาศ จึงเกิดผลต่างของแรงดันระหว่างภายนอกระบบกับภายในระบบเกิดขึ้น ทำให้เกิดแรงกดดันอันเนื่องมาจากผลต่างของแรงดันกระทำลงบนอนุภาคส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของอนุภาคเกิดขึ้น และในทางกลับกันอนุภาคที่มีขนาดใหญ่การเรียงชิดของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะทำให้เกิด capillary tube ขนาดใหญ่ โดย capillarity ที่เกิดขึ้นจากท่อที่มีขนาดใหญ่จะมีผลทำให้เกิดแรงกระทำต่ออนุภาคต่ำ จึงต้องให้พลังงานแก่อนุภาคมากขึ้นเพื่อลดแรงต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของอนุภาคและเกิดเป็นฟิล์มที่ต่อเนื่องขึ้นได้ ซึ่งจากค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้ที่มีความแตกต่างกันในแต่ละการทดลองก็สามารถสรุปได้ว่าเป็นผลมาจากขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันนั่นเอง ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับขนาดอนุภาคพอลิเมอร์ที่ตรวจสอบได้ นอกจากเหตุผลข้างต้นแล้วค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดเป็นฟิล์มของพอลิเมอร์ เนื่องจากยังมีค่าสูงก็จำเป็นต้องให้พลังงานสูงในการที่จะทำให้อนุภาคเกิดการเคลื่อนไปหาลักษณะรูปร่างได้ โดยพบว่าอนุภาคขนาดเล็กและความหนาแน่นในการเชื่อมโยงต่ำค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้ก็จะต่ำ และในทางกลับกันอุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้จะสูงขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นและความหนาแน่นในการเชื่อมโยงสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบในการกวาด 100 รอบต่อนาที และ 500 รอบต่อนาที จะพบว่าที่ความเร็วรอบในการกวาด 100 รอบต่อนาที ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้

จะต่ำกว่าที่ความเร็วรอบในการกววน 500 รอบต่อนาที ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า ในช่วงความเร็วรอบดังกล่าวปริมาณของอนุภาคขนาดใหญ่จะมีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้สรุปได้ว่าผลของแรงกดที่เกิดขึ้นบนอนุภาคอื่นเนื่องมาจากผลของ capillarity มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้น่าจะเป็นผลมาจากความหนาแน่นในการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นดังกล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งที่ความเร็วรอบในการกววน 500 รอบต่อนาทีจะมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงสูงกว่า จึงทำให้พอลิเมอร์ที่ได้จากความเร็วรอบในการกววน 500 รอบต่อนาทีมีค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่เกิดเป็นฟิล์มได้สูงกว่า ดังผลที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 5.14 แสดงผลของความเร็วรอบในการกววนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้

5.3.3 การส่งผ่านของแสงของพอลิเมอร์ฟิล์ม

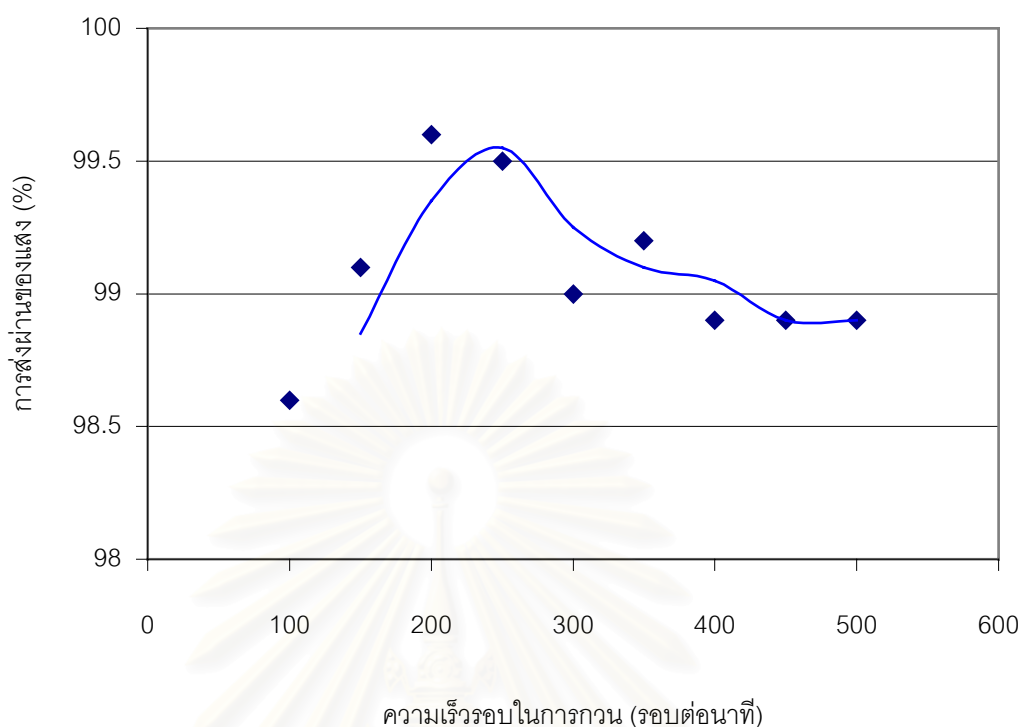
จากการทดสอบหาการส่งผ่านของแสงของพอลิเมอร์ฟิล์มของพอลิเมอร์ที่ได้ พบว่าการส่งผ่านของแสงของพอลิเมอร์ฟิล์มจะมีค่าใกล้เคียงกัน คือ มีค่าอยู่ในช่วง 98.6 - 99.6 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 แสดงผลของความเร็วยรอบในการกวนต่อการส่งผ่านของแสงของพอลิเมอร์ฟิล์ม

ความเร็วยรอบในการ กวน (รอบต่อนาที)	การส่งผ่านของแสง (%)			
	การทดลอง ครั้งที่ 1	การทดลอง ครั้งที่ 2	การทดลอง ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100	98.6	98.9	98.3	98.6
150	98.8	99.4	99.1	99.1
200	99.8	99.4	99.6	99.6
250	99.6	99.6	99.4	99.5
300	98.9	99.4	98.8	99.0
350	99.3	99.2	99.0	99.2
400	99.0	98.8	98.9	98.9
450	98.7	98.9	99.0	98.9
500	99.4	98.6	98.7	98.9

การส่งผ่านของแสงมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันในทุกการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.15 ทั้งนี้ การส่งผ่านของแสงจะเป็นตัวบ่งชี้ความใสของฟิล์ม ถ้าค่านี้สูงฟิล์มที่ได้ก็จะโปร่งใส ถ้าค่านี้เข้าใกล้ ศูนย์ฟิล์มก็จะทึบแสง ซึ่งจากการทดลองที่ได้ฟิล์มพอลิเมอร์ที่ได้จะมีความโปร่งแสงที่ใกล้เคียงกัน ในทุกการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเร็วยรอบในการกวนจะไม่ส่งผลต่อการส่งผ่านของแสง ถึงแม้ว่าขนาดและรูปร่างของพอลิเมอร์ที่ได้จะมีความแตกต่างกันในแต่ละความเร็วยรอบในการกวนก็ตาม ทั้งนี้เพราะโคพอลิเมอร์ที่ได้มีลักษณะอสัณฐานจึงไม่มีโครงสร้างที่จะไปขัดขวางทางเดินของแสง จึงทำให้พอลิเมอร์ที่ได้มีความโปร่งแสงในทุกการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.15 แสดงผลของความเร็วยรอบในการกวนต่อการส่งผ่านของแสงของพอลิเมอร์ฟิล์ม

5.4 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิตของอะคริลิก-สไตรีน โคพอลิเมอร์อิมัลชันนอกจากจะขึ้นอยู่กับราคาของปัจจัยการผลิตที่นำมาใช้แล้ว ยังขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตอีกด้วย โดยการใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดก็เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถทำให้เราสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ โดยเฉพาะการลดต้นทุนผันแปร (Variable cost) เนื่องจากการเลือกใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุดนอกจากจะทำให้เราสามารถเปลี่ยนปัจจัยการผลิตให้เป็นผลผลิตได้ในปริมาณสูงหรือเปอร์เซ็นต์ผลได้สูงแล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีสมบัติที่ดีตรงตามความต้องการของลูกค้าอีกด้วย ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าในช่วงความเร็วรอบในการกวน 200 และ 250 รอบต่อนาทีเราสามารถเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์อิมัลชันพอลิเมอร์ได้โดยไม่มี การจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์เกิดขึ้น ทำให้ในกรณีนี้เราสามารถลดต้นทุนการผลิต โดยเฉพาะ ต้นทุนของวัตถุดิบที่ใช้ต่อหน่วยผลผลิตที่ได้ นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตในทางการค้าจะพบว่ กากของพอลิเมอร์ที่เกิดจากการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์จะส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการบรรจุ โดยเฉพาะในขั้นตอนการกรองซึ่งจะใช้เวลาในการกรองมากขึ้น โดยปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลโดยตรง

ต่อต้านทุนผันแปรเฉลี่ยต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยจากการผลิตในทางการค้าในถังปฏิกรณ์ ขนาด 6 ลูกบาศก์เมตร สามารถคำนวณต้นทุนผันแปรเฉลี่ยต่อหน่วยที่เกิดจากวัตถุดิบและแรงงานที่ใช้ได้ดังนี้

กรณีที่ 1 ในสภาวะการผลิตที่ใช้ในปัจจุบัน (ความเร็วรอบในการกวน 45 รอบต่อนาที)

- ปริมาณการจับตัวเป็นก้อนเฉลี่ย 60 กิโลกรัมต่อเบทซ์
- เวลาที่ใช้ในการกรองเฉลี่ย 14 ชั่วโมงต่อเบทซ์ (ใช้แรงงาน 2 คน โดยคิดค่าจ้างแรงงานขั้นต่ำต่อคนเท่ากับ 165 บาทต่อ 7 ชั่วโมงทำงานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเคมี)

ดังนั้นในกรณีที่ต้องการผลิตภัณฑ์ 6,000 กิโลกรัม จะต้องใช้วัตถุดิบทั้งหมด 6,060 กิโลกรัม โดยราคาวัตถุดิบเฉลี่ย 30 บาทต่อกิโลกรัม จะได้

$$\begin{aligned}
 1. \text{ ราคารวมของวัตถุดิบ} &= 30 \times 6,060 \\
 &= 181,800 \text{ บาทต่อเบทซ์} \\
 2. \text{ ค่าแรงงาน 2 คน (14 ชม.)} &= 165 \times 2 \times 2 \\
 &= 660 \text{ บาทต่อเบทซ์}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้นต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ได้} &= \frac{181,800 + 660}{6,000} \\
 &= 30.41 \text{ บาทต่อกิโลกรัม}
 \end{aligned}$$

กรณีที่ 2 จากการทดลองที่ความเร็วรอบในการกวน 200 รอบต่อนาทีในถังปฏิกรณ์ขนาด 1.8 ลิตร โดยไม่มีการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์เกิดขึ้น เมื่อทำการขยายขนาดไปเป็น 6 ลูกบาศก์เมตร (โดยคิดว่าจะให้ผลเหมือนกับถังปฏิกรณ์ขนาด 1.8 ลิตรทุกประการ) จะใช้ความเร็วรอบในการกวน 33 รอบต่อนาที จะได้

- ปริมาณการจับตัวเป็นก้อนเฉลี่ย 0 กิโลกรัมต่อเบทซ์
- เวลาที่ใช้ในการกรองเฉลี่ย 7 ชั่วโมงต่อเบทซ์ในกรณีที่ไม่มีกากอันเนื่องมาจากการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ (ใช้แรงงาน 2 คน)

ดังนั้นในกรณีที่ต้องการผลิตภัณฑ์ 6,000 กิโลกรัม จะต้องใช้วัตถุดิบทั้งหมด 6,000 กิโลกรัม โดยราคาวัตถุดิบเฉลี่ย 30 บาทต่อกิโลกรัม จะได้

$$\begin{aligned}
 1. \text{ ราคารวมของวัตถุดิบ} &= 30 \times 6,000 \\
 &= 180,000 \text{ บาทต่อแบทช์} \\
 2. \text{ ค่าแรงงาน 2 คน (7 ชม.)} &= 2 \times 165 \\
 &= 330 \text{ บาทต่อแบทช์} \\
 \text{ดังนั้นต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ได้} &= \frac{180,000 + 330}{6,000} \\
 &= 30.05 \text{ บาทต่อกิโลกรัม}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นจากการคำนวณราคาที่ได้จะพบว่าในกรณีที่ใช้ความเร็วรอบในการกวนที่เหมาะสมจะสามารถลดราคาต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ที่ได้

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{30.41 - 30.05}{30.41} \right) \times 100 \\
 &= 1.18 \%
 \end{aligned}$$

อย่างไรก็ตามนอกจากพิจารณาต้นทุนเฉลี่ยดังกล่าวข้างต้นแล้วยังมีค่าใช้จ่ายในด้านค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตก็จะแตกต่างกัน โดยในกระบวนการผลิตปัจจุบันใช้ความเร็วรอบในการกวนที่สูงกว่าทำให้กำลังงานที่ใช้ต่อหน่วยเวลามีค่าสูงกว่า ทำให้ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ก็จะสูงกว่าเช่นกัน (ในกรณีการโพลีเมอไรเซชันในกระบวนการแบบเซมิแบทช์ระดับของไหลและความหนืดของของไหลในระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้การคำนวณกำลังงานที่ใช้ต่อหน่วยเวลาเพื่อหาค่าใช้จ่ายทำได้ยาก จึงไม่ได้คำนวณราคาในส่วนนี้)

นอกจากนี้ในส่วนของการกวนของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด และการกรองที่ใช้เวลานานทำให้การกรองในแบทช์ต่อไปไม่สามารถทำได้ ทำให้ต้องเสียเวลาในการผลิตซึ่งอาจนำมาซึ่งการสูญเสียโอกาสในทางการค้าอีกด้วย ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณาสำหรับการแข่งขันในทางการค้าในปัจจุบันซึ่งเน้นที่ความพึงพอใจของลูกค้าเป็นสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าความเร็วรอบในการกวนเป็นสภาวะการผลิตที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์อิมัลชัน เนื่องจากความเร็วรอบในการกวนจะเป็นตัวกำหนดอัตราการถ่ายเทมวลสารเข้าสู่ไมเซลล์ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องทั้งในส่วนของอัตราการเกิดปฏิกิริยา ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ คือ อินิทิเอชัน พรอพาเกชัน และเทอร์มินชัน รวมทั้งกลไกที่ควบคุมการเกิดอนุภาค การโตของอนุภาค และเสถียรภาพของไมเซลล์ระหว่างปฏิกิริยา โดยเมื่อใช้ความเร็วรอบในการกวนที่เหมาะสมจะทำให้การผสมขององค์ประกอบต่างๆ เกิดได้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอทั้งระบบ ทำให้การถ่ายเทมวลสารเข้าสู่ไมเซลล์แต่ละไมเซลล์มีความสม่ำเสมอและทั่วถึง โดยที่เสถียรภาพของไมเซลล์ยังคงดีอยู่ ทำให้พอลิเมอร์ที่ได้มีสมบัติที่ดี เช่น อนุภาคมีขนาดเล็กและมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคในช่วงแคบ มีการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ต่ำ เป็นต้น ส่วนในกรณีที่ใช้ความเร็วรอบในการกวนที่ไม่เหมาะสม คือ กรณีที่ความเร็วรอบในการกวนต่ำเกินไปเมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปจนความหนืดของของไหลในระบบเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้การผสมขององค์ประกอบต่างๆ เกิดได้ช้าและไม่สม่ำเสมอทั้งระบบทำให้เกิดความแตกต่างของอัตราการถ่ายเทมวลสารเข้าสู่ไมเซลล์แต่ละไมเซลล์ อันเป็นผลมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นขององค์ประกอบต่างๆ ที่กระจายตัวอยู่ในแต่ละพื้นที่ที่ต่างกัน นอกจากนี้จากผลต่างของความหนาแน่นของชั้นตัวกลางซึ่งก็คือน้ำกับมอนอเมอร์ที่เติมไปอย่างต่อเนื่อง เป็นสาเหตุทำให้เกิดการลอยตัวของมอนอเมอร์อยู่บนผิวหน้าของชั้นตัวกลางและทำให้เกิดบัลค์โพลีเมอร์เชนขึ้นภายในหยดมอนอเมอร์ที่เติมลงไปซึ่งเป็นผลให้ได้อนุภาคพอลิเมอร์ที่มีขนาดใหญ่และทำให้มีอนุภาคขนาดใหญ่อยู่ในระบบเป็นปริมาณสูง ขนาดอนุภาคเฉลี่ยจึงสูงตามไปด้วย ส่วนในกรณีที่ใช้ความเร็วรอบในการกวนสูงเกินไปผลจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อเสถียรภาพของไมเซลล์ กล่าวคือแรงเฉือนที่เกิดขึ้นทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคเกิดการหลุดออกไปทำให้อนุภาคพอลิเมอร์แต่ละอนุภาคมีโอกาสได้มาเจอกันและมีการรวมตัวกันของอนุภาคเกิดขึ้น โดยกลไกดังกล่าวมาแล้วข้างต้นจะเป็นตัวกำหนดโครงสร้างของพอลิเมอร์ การเกิดการเชื่อมโยงและความหนาแน่นของการเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ขนาดและการกระจายขนาดอนุภาคของพอลิเมอร์ และการเกิดการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ เป็นต้น

เมื่อพอลิเมอร์อิมัลชันที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติจะทำให้ฟิล์มของพอลิเมอร์ที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติ เช่น ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน และ อุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเกิดฟิล์มได้

ไปด้วยเช่นกัน เนื่องจากสมบัติเหล่านี้ นอกจากจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่ใช้แล้ว ยังขึ้นอยู่กับสมบัติของพอลิเมอร์อิมัลชันดังกล่าวมาแล้วข้างต้น โดยเฉพาะความหนาแน่นของการเชื่อมโยงขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของขนาดอนุภาค ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของพอลิเมอร์ฟิล์ม แต่อย่างไรก็ตามสมบัติในด้านความโปร่งแสงของพอลิเมอร์ฟิล์มที่ได้จะมีความคงที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของการกวนในการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากพอลิเมอร์ที่ได้มีลักษณะที่เป็นพอลิเมอร์อิมัลชันในทุกการทดลองโดยไม่มีโครงสร้างที่เป็นผลึกจึงไม่มีส่วนของโครงสร้างที่จะไปบดบังการส่งผ่านของแสงผ่านพอลิเมอร์ฟิล์มถึงแม้ว่าขนาดและรูปร่างของพอลิเมอร์ที่ได้จะมีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงความเร็วรอบในการกวนก็ตาม

ดังนั้นจากสมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้จากการทดลองจะสรุปได้ว่าช่วงความเร็วรอบในการกวนที่เหมาะสมจะต้องไม่ต่ำและไม่สูงเกินไปจึงจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติที่ดีและสม่ำเสมอสำหรับผลิตภัณฑ์อะคริลิก-สไตรีน โคพอลิเมอร์อิมัลชันที่ทำการทดลองช่วงความเร็วรอบในการกวนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 150-300 รอบต่อนาที ซึ่งจะช่วยให้ได้ผลได้ของผลิตภัณฑ์สูงเนื่องจากไม่มีการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ ค่าความหนืดและร้อยละของส่วนที่ไม่ระเหยสูง อนุภาคมีขนาดเล็กและมีการกระจายอยู่ในช่วงแคบๆ พอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้ที่อุณหภูมิห้อง และฟิล์มมีความโปร่งแสง เป็นต้น ซึ่งสมบัติเหล่านี้ล้วนมีความเหมาะสมสำหรับการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้งานในอุตสาหกรรมสีและสารเคลือบผิว

ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองในถังปฏิกรณ์ขนาดเล็ก ซึ่งยังไม่สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้งานได้โดยตรงในการผลิตทางการค้า ควรทำการทดลองเพิ่มเติมโดยการขยายขนาดให้ใหญ่ขึ้นเช่น ขยายขนาดเป็น 20 ลิตร 100 ลิตร และ 1000 ลิตร ตามลำดับ เพื่อรวบรวมข้อมูลสำหรับนำไปใช้กับถังปฏิกรณ์ที่ใช้ผลิตในทางการค้าต่อไป

อย่างไรก็ตามสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองช่วงความเร็วรอบในการกวนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 150-300 รอบต่อนาที (ถังปฏิกรณ์ขนาด 1.8 ลิตร) ซึ่งหากทำการขยายขนาดถึงปฏิกรณ์โดยยึดหลัก Geometric similarity และต้องการอัตราการถ่ายเทมวลสารคงที่ (กำลังงานที่ใช้ต่อปริมาตรคงที่) สามารถปรับความเร็วรอบในการกวนสำหรับถังปฏิกรณ์ขนาดใหญ่ขึ้นได้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 แสดงความเร็วรอบในการกวนที่ใช้เมื่อทำการขยายขนาดถึงปฏิกรณ์ให้ใหญ่ขึ้น

ขนาดถังปฏิกรณ์ (ลิตร)	ความเร็วรอบในการกวนที่ใช้ (รอบต่อนาที)			
	1.8	150	200	250
20	88	117	146	175
100	61	82	102	122
1,000	37	49	61	73
6,000	25	33	41	49
12,000	21	28	35	42

2. งานวิจัยครั้งนี้ไม่พิจารณาผลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในระหว่างปฏิกิริยาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากทำการทดลองในถังปฏิกรณ์ขนาดเล็กซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนต่อปริมาตรสูงทำให้สามารถระบายความร้อนออกจากระบบได้ดี แต่ในความเป็นจริงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในระบบก็ยังคงเกิดขึ้น ดังนั้นในกรณีที่ทำกรขยายขนาดให้ถึงปฏิกรณ์ใหญ่ขึ้น จำเป็นที่ต้องพิจารณาในจุดนี้เนื่องจากยิ่งถังปฏิกรณ์ใหญ่ขึ้นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนต่อปริมาตรจะต่ำลงเรื่อยๆ ทำให้การระบายความร้อนออกจากระบบทำได้ยากขึ้นซึ่งทำให้อุณหภูมิของระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงและการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในระบบไม่สม่ำเสมอทำให้สมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลง

3. เนื่องจากการผลิตอะคริลิก-สไตรีนโคพอลิเมอร์สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย โดยการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของมอนอเมอร์ ชนิดและปริมาณของมอนอเมอร์และอิมัลซิไฟเออร์ ที่ใช้ รวมทั้งองค์ประกอบอื่น ๆ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลต่อการถ่ายเทมวลสารภายในระบบ ความหนืดระหว่างปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นต้น ดังนั้นสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละตัวจำเป็นต้อง ทำการศึกษาการเลือกใช้ความเร็วรอบในการกวนที่เหมาะสมเป็นกรณีๆ ไป

4. เนื่องจากการทดลองครั้งนี้ได้ทำการศึกษาความเร็วรอบในการกวนเพียงปัจจัยเดียว ต่อสมบัติของอิมัลชันพอลิเมอร์ที่ได้ ดังนั้นในโอกาสต่อไปจึงควรทำการทดลองศึกษาเพิ่มเติมโดย พิจารณาผลของปัจจัยหลายๆ ปัจจัยร่วมกันต่อสมบัติของอิมัลชันพอลิเมอร์ที่ได้ โดยใช้ experimental design ที่เหมาะสม

5. สำหรับในส่วนของสมบัติ glass transition ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อยืนยันผลใน ส่วนของสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกลาสทรานซิชันซึ่งอาจเกิดได้จากหลาย สาเหตุ เช่น ความหนาแน่นของการเชื่อมโยง การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในสายโซ่โมเลกุล พอลิเมอร์ หรือเปอร์เซ็นต์ความชื้นในชิ้นงานทดสอบ เป็นต้น โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงกลพลวัต ด้วยปริมาณความร้อน (Dynamic Mechanical Thermal Analyzer, DMTA) สำหรับการหาค่าความ หนาแน่นในการเชื่อมโยง และนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy) สำหรับศึกษาโครงสร้างของสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์ เป็นต้น

รายการอ้างอิง

1. ชัยวัฒน์ เจนวนิชย์.เคมีโพลีเมอร์พื้นฐาน.จำนวน 1,000 เล่ม.พิมพ์ครั้งที่ 1. โอ.เอส.พรีนติ้ง
เฮ้าส์:สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์,2527.
2. ประมวล ตั้งปริญญวัฒน์.พอลิเมอร์คอลลอยด์.จำนวน 1,000 เล่ม.พิมพ์ครั้งที่ 1. รวยเจริญ
การพิมพ์,2527.
3. สุดา เกียรติกำจรวงศ์.พอลิเมอร์ทางภาพ.จำนวน 2,500 เล่ม.พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทด้านสุทธา
การพิมพ์:สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2543.
4. อรุษา สรวารี.สารเคลือบผิว(สี วาร์นิช และแล็กเกอร์).จำนวน 2,000 เล่ม.พิมพ์ครั้งที่ 2. โรง
พิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2544.
5. Australia. The oil and colour chemist's association. Surface coating. New South
Wales : A division of New South Wales University press,1974.
6. Encyclopedia Britannica,Inc.. Emulsion polymerization. [Online].1997. Available from:
<http://www.britannica.com/bcom/eb/article/5/0,5716,115275+2+108601,00>
[2000,February 20]
7. Fred W.Billmeyer,JR..Textbook of polymer science.3rded. New York : Wiley-
Interscience,1985.
8. F.Yoshino.Emulsion polymerization. Dainippon Ink & Chemicals .Japan,2000.
9. Harry R.Allcock and Frederick W.Lampe.Contemporary polymer chemistry.2nded.
Prentice-Hall International,1989.
10. Huntsman Corporation.Technology briefs : Emulsion Polymerisation.Australia,2002.
11. J.P.Theron, J.H.Knoetze and D.De Wet Roos. Scale-up and control of a multicomponent
emulsion polymerization system[Online]. 2000 . Available from:[http://www.sun.ac.za/
conferences/copy%20of%20%20Encyclopedia/conference2000/contributions2000/
TheronAbst/Theron.html-6k.](http://www.sun.ac.za/conferences/copy%20of%20%20Encyclopedia/conference2000/contributions2000/TheronAbst/Theron.html-6k.)[2000,February 20]
12. L.H.Sperling.Introduction to physical polymer science.2nded. New York : Wiley-
Interscience,1992.
13. Malcolm P.Stevens.Polymer chemistry.2nded. New York : Oxford University Press,
1990.

14. M.Schwartz. Acrylic and acrylic/styrene copolymer dispersions ,Modern binders for emulsion paints. [Online]. 2000 . Available from: <http://www.Coating.de/articles/schwartz.htm> ,[2002, March 14]
15. Monnasit Khawprasert. A study of the preparation and permeation behaviour of polymer films based on natural rubber latex. A thesis degree of master Polymer science Faculty of graduate studies Mahidol University,1998.
16. R.P.Tye.Encyclopedia of polymer science and engineering : Emulsion polymerization. Vol. 6.New York:Wiley,1985.
17. T.Fujimoto.New introduction to surface active agents. Sanyo Chemical Industry. Japan,1985.
18. Yuji Sawada, Masami Tsutsumi and Eiji Tanaka.The third annual DIC international symposium on coatings technology : Study on agitation of reactor for emulsion production.Japan,1990.



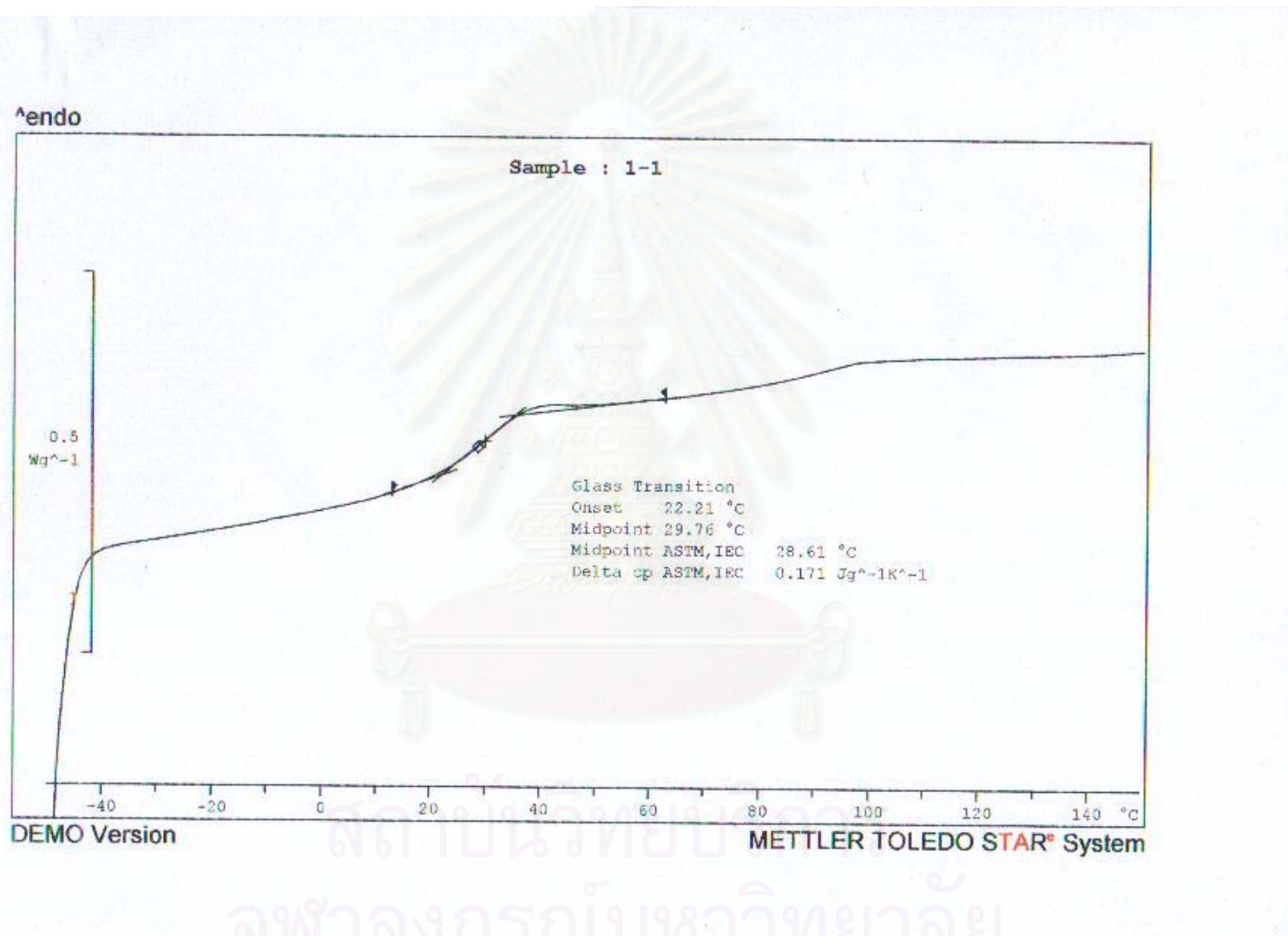
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



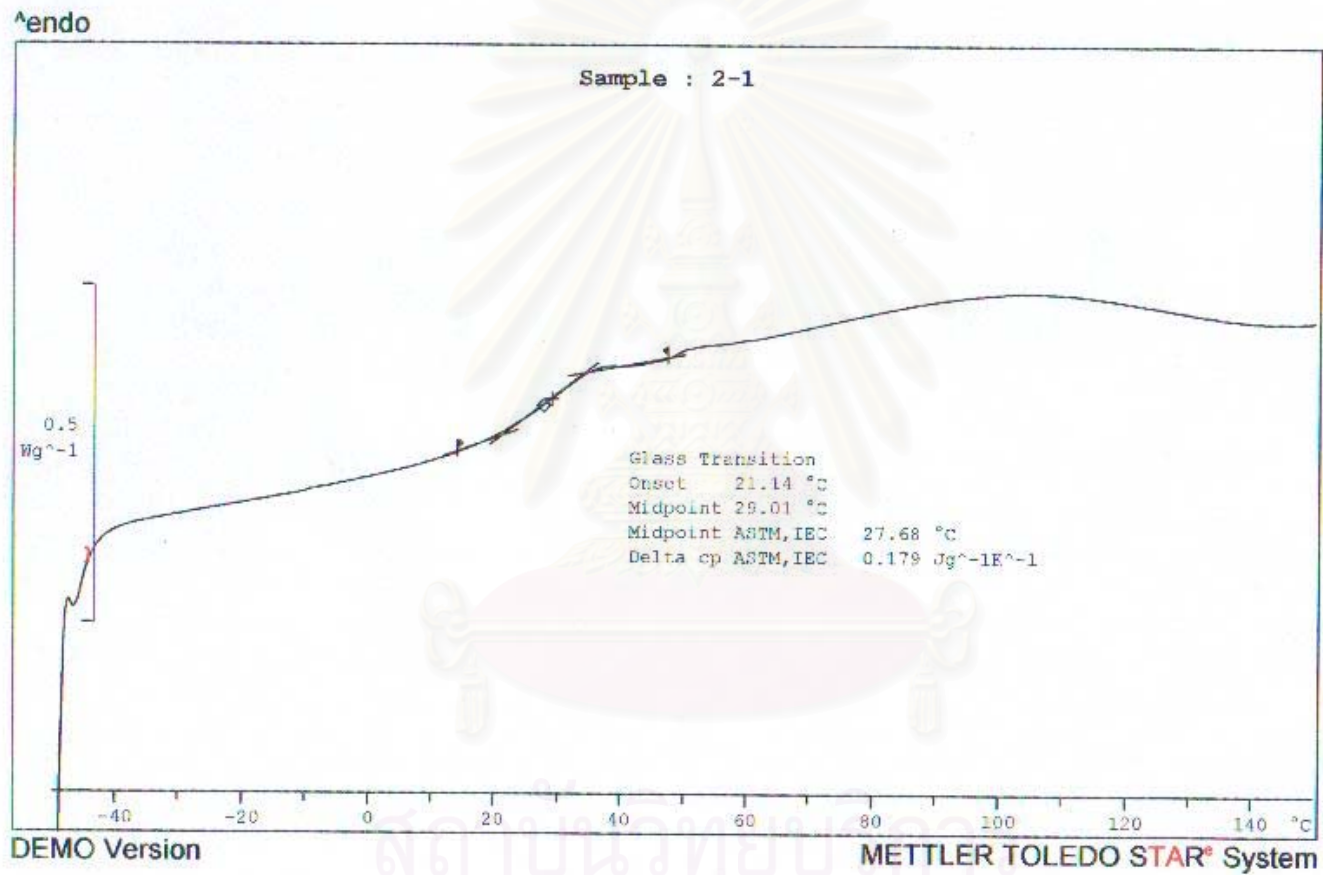
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

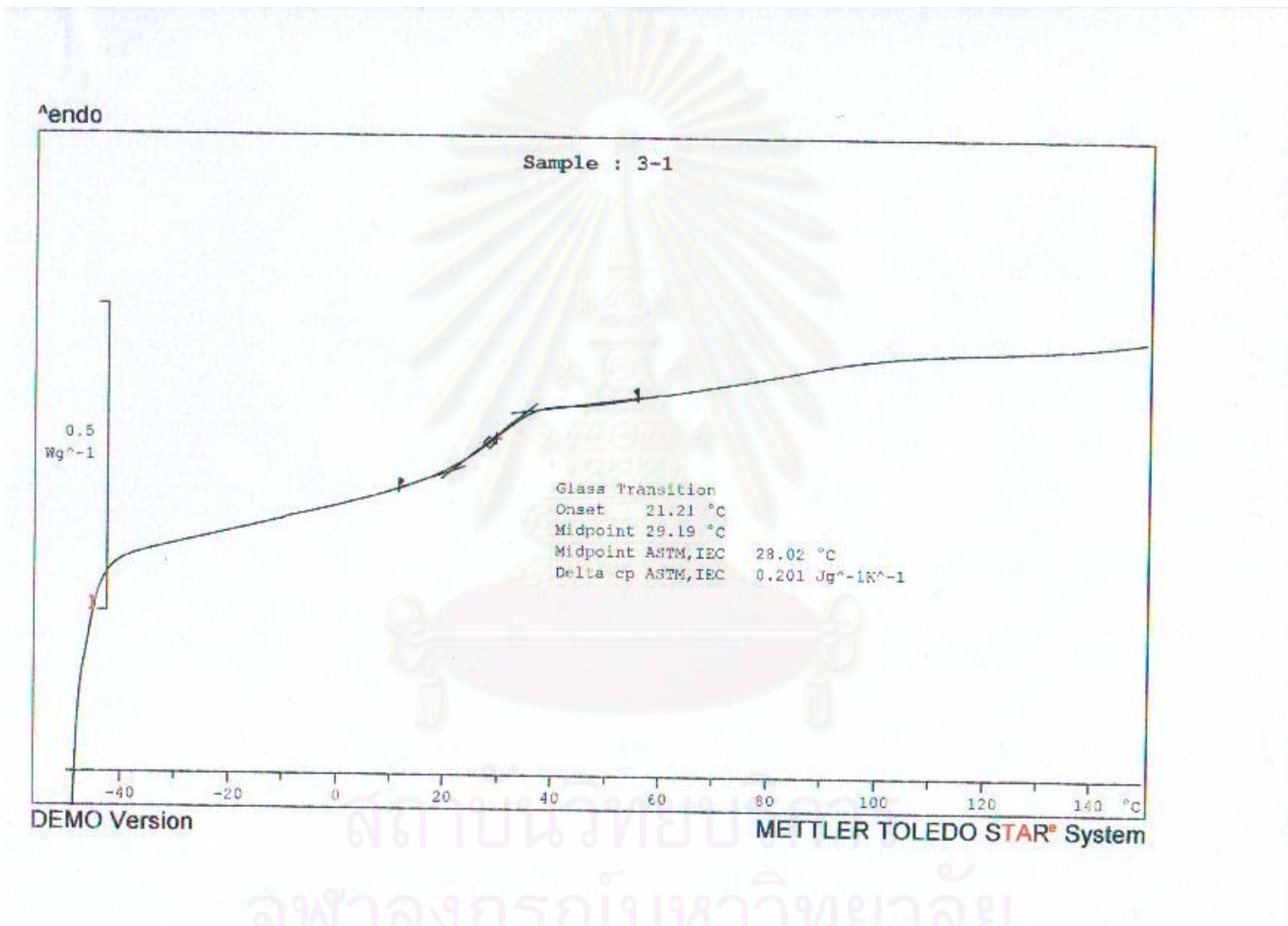
ภาคผนวก 1



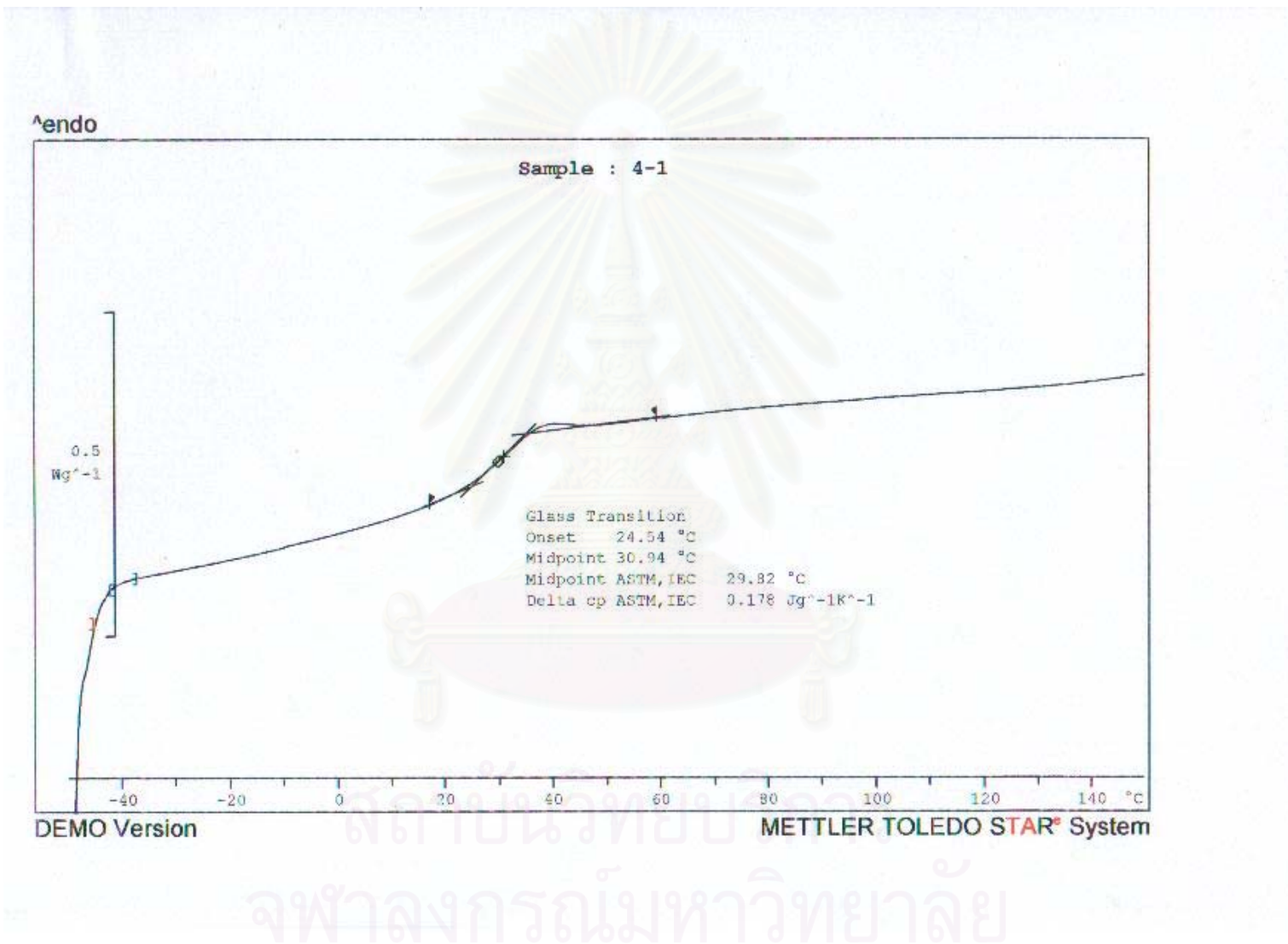
รูปที่ ผ.1 แสดงตัวอย่างของการทดสอบหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ที่ใช้ความเร็วรอบในการกวน 100 รอบต่อนาที



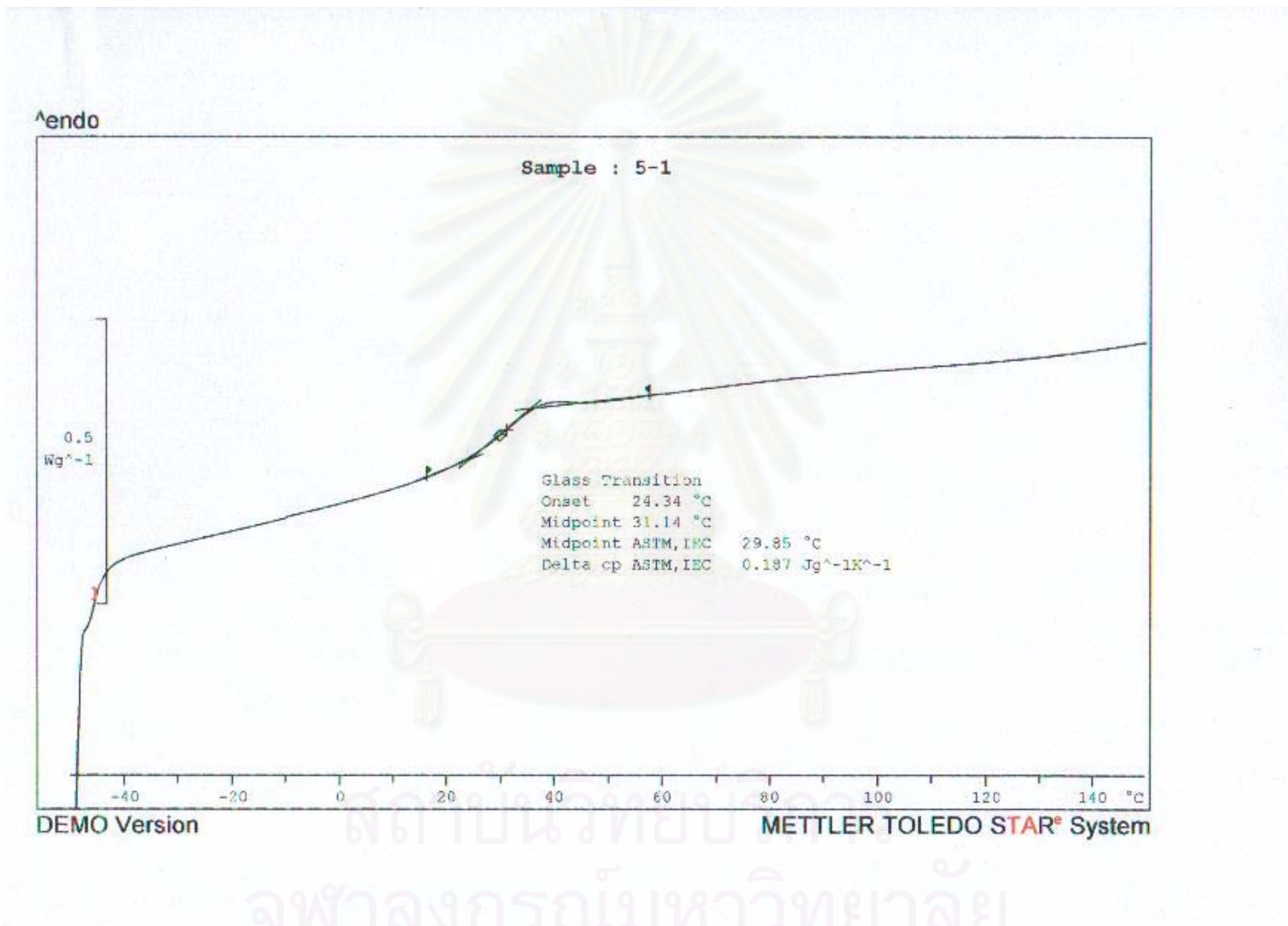
รูปที่ ๒.๒ แสดงตัวอย่างของการทดสอบหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ที่ใช้ความเร็วรอบในการกวาด 150 รอบต่อ



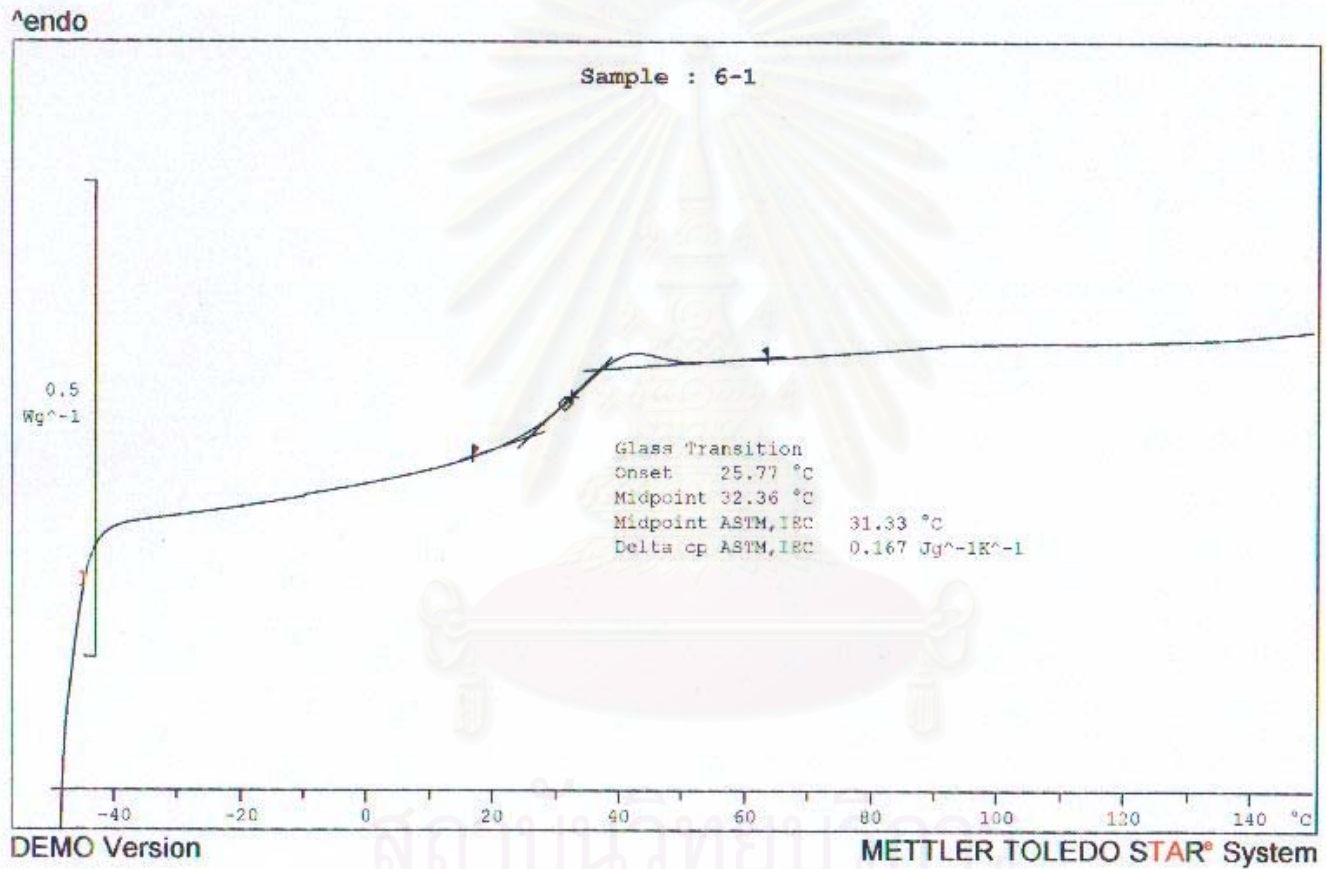
รูปที่ ผ.3 แสดงตัวอย่างของการทดสอบหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ที่ใช้ความเร็วรอบในการกวาน 200 รอบต่อนาที



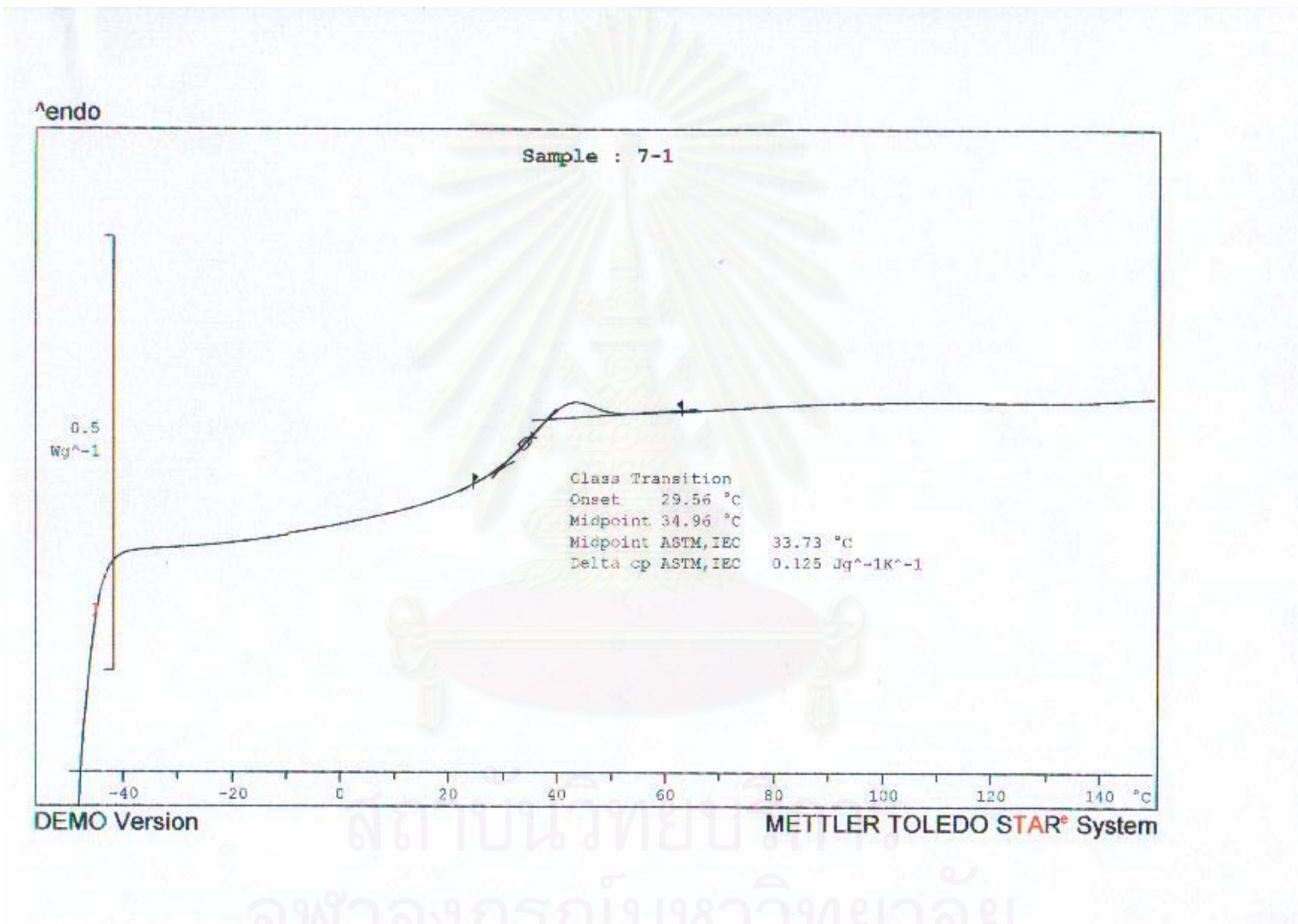
รูปที่ ๘.๔ แสดงตัวอย่างของการทดสอบหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ที่ใช้ความเร็วรอบในการกวาด 250 รอบต่อนาที



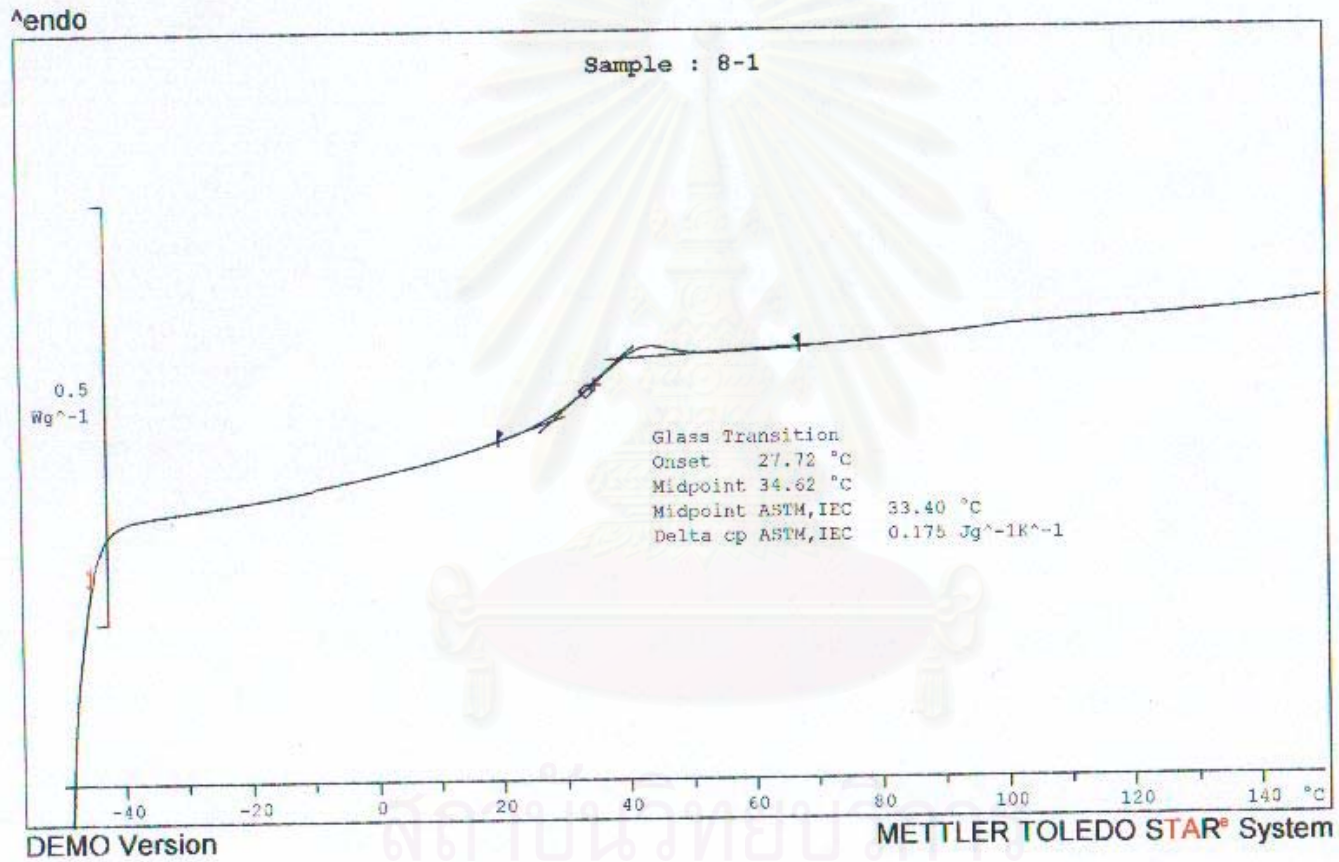
รูปที่ ๕.5 แสดงตัวอย่างของการทดสอบหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ที่ใช้ความเร็วรอบในการกวาน 300 รอบต่อนาที



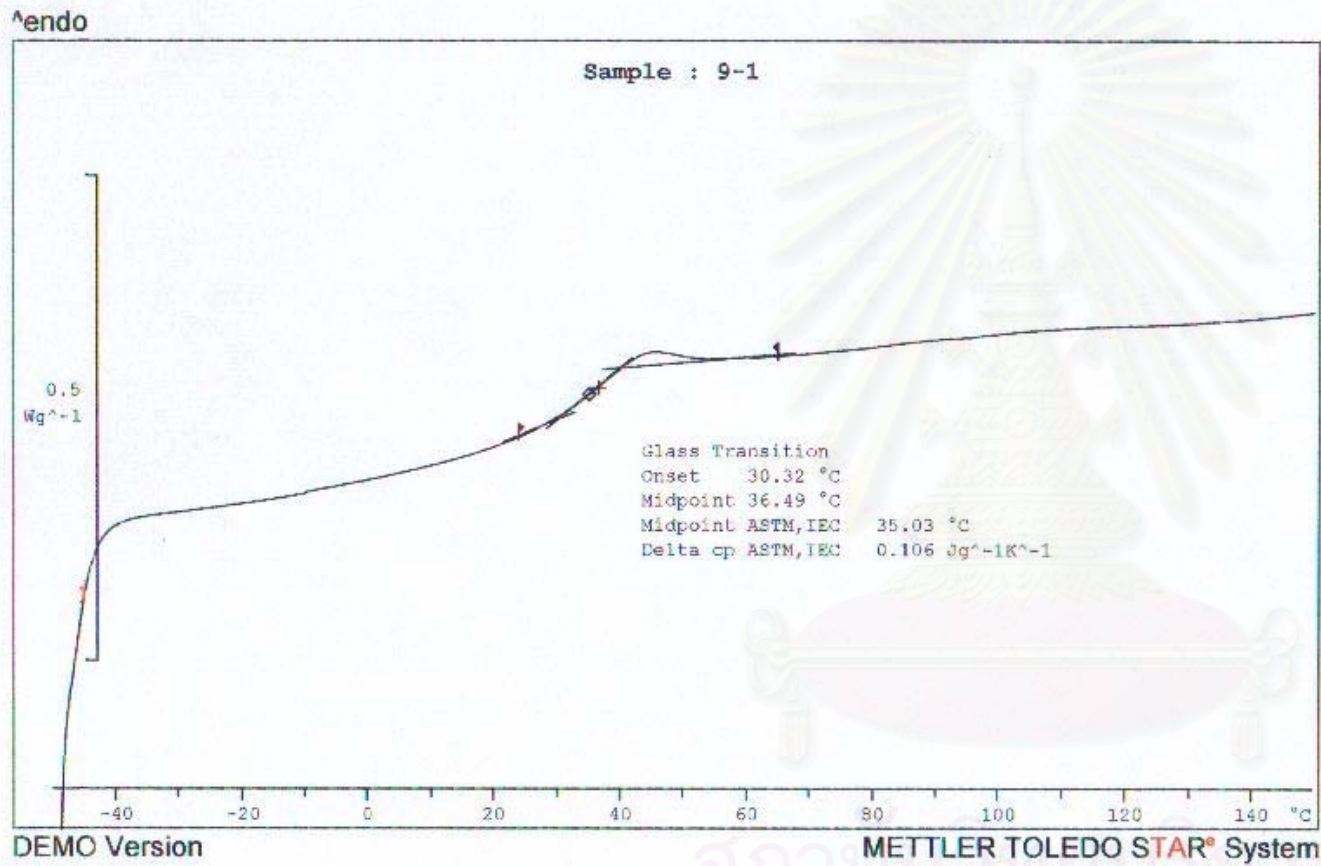
รูปที่ ผ.6 แสดงตัวอย่างของการทดสอบหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ที่ใช้ความเร็วรอบในการกววน 350 รอบต่อนาที



รูปที่ ๗.7 แสดงตัวอย่างของการทดสอบหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ที่ใช้ความเร็วรอบในการกวาน 400 รอบต่อนาที



รูปที่ ผ.8 แสดงตัวอย่างของการทดสอบหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ที่ใช้ความเร็วรอบในการกวน 450 รอบต่อนาที



รูปที่ ๘.๙ แสดงตัวอย่างของการทดสอบหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ที่ใช้ความเร็วรอบในการกวาด 500 รอบต่อนาที

ภาคผนวก 2

แสดงการคำนวณความเร็วรอบในการกวนเมื่อต้องการขยายขนาดถังปฏิกรณ์ให้ใหญ่ขึ้นโดยที่ กำหนดให้กำลังงานที่ใช้ต่อหน่วยปริมาตรคงที่

สำหรับถังปฏิกรณ์ที่มีลักษณะทาง Geometric เหมือนกันสามารถคำนวณความเร็วรอบในการกวนที่ใช้สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ใช้ได้ดังนี้

1. หา Scale-up Ratio (R) จาก

$$R = \left(\frac{V_{t2}}{V_{t1}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

โดยที่ V_{t1} = ปริมาตรของถังปฏิกรณ์เล็ก
 V_{t2} = ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ใหญ่

2. ปรับความเร็วรอบของถังปฏิกรณ์ใหญ่โดยใช้ความสัมพันธ์

$$N_2 = N_1 \left(\frac{1}{R} \right)^{\frac{2}{3}}$$

โดยที่ N_1 = ความเร็วรอบของถังเล็ก
 N_2 = ความเร็วรอบของถังใหญ่

สถาบันวิจัยปฏิบัติการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการคำนวณ

จากการทดลองใช้ถังปฏิกรณ์ขนาด 1.8 ลิตร ใช้ความเร็วรอบในการกวน 200 รอบต่อนาที ในกรณีที่ขยายขนาดของถังปฏิกรณ์ (Geometric similarity) เป็น 100 ลิตร ความเร็วรอบในการกวนที่ใช้คำนวณได้จาก

1. หา Scale-up ratio

$$R = \left(\frac{100}{1.8} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$R = 3.8157$$

2. หาความเร็วรอบที่ใช้

$$N_2 = 200 \left(\frac{1}{3.8157} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$N_2 = 82 \text{ รอบต่อนาที}$$

ดังนั้นสำหรับถังปฏิกรณ์ขนาด 100 ลิตร ต้องใช้ความเร็วรอบในการกวน 82 รอบต่อนาที จึงจะให้กำลังงานต่อหน่วยปริมาตรที่ใช้เท่ากับถังปฏิกรณ์ขนาด 1.8 ลิตร ที่ใช้ความเร็วรอบในการกวน 200 รอบต่อนาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสัญญา เบญจกุล เกิดเมื่อวันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2516 ที่จังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาควิชาเคมี (มหาวิทยาลัยทักษิณ) ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี (ภาคนอกเวลาราชการ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542 โดยในขณะศึกษาต่อนี้ ได้ทำงานอยู่ที่ บริษัทสยามเคมีคอล อินดัสตรี จำกัด ในตำแหน่ง นักเคมี แผนก Industrial Resin & Emulsion



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย