

การพัฒนาสมบัติการดูดซึมและการคายของบีคูดรีมส์ไครีน



นาย ธนรัตน์ ธรรมารมเจริญ

วิทยานิพนธ์ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขา เทคโนโลยีปิโตรเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ISBN 974-582-337-6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Developments in Absorption and Desorption Properties of
Styrenic Imbiber Bead



Mr. Thanarat Karoowachareern

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment Of Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Program Petrochemical Technology

Graduate School
Chulalongkorn University

1993

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ISBN 974-582-337-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาสมบัติการดูดซึมและการคายของบีคูดซิมส์ไตรน
โดย นาย ธนรัตน์ ทรูวรรณเจริญ
ภาควิชา ปีโตรเคมี-โพลีเมอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สุกดา เกียรติกำจรวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรณ ประศาสน์สารกิจ



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้มหาวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรามัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.นิยะสาร ประเสริฐธรรม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุกดา เกียรติกำจรวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... กรรมการ
(ดร.วรวัฒน์ อรรถยุกติ)

ศูนย์วิทยุวิทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธนรัตน์ กระจวรรณเจริญ : การพัฒนาสมบัติการดูดซึมและการคายของบีดดูดซึมสไตรีน
(Developments in Absorption and Desorption Properties of Styrenic
Imbiber Beads) อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สุภา เกียรติกิจารวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรหม ประศาสน์สารกิจ
165 หน้า, ISBN 974-582-337-6

ในงานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์บีดดูดซึมสไตรีนขนาดใหญ่ เพื่อใช้ในการดูดซึมตัวทำละลายต่าง ๆ
ในน้ำเสียที่ออกมาจากโรงงาน เช่น เบนซีน โทลูอีน คลอโรฟอร์ม เป็นต้น การสังเคราะห์เริ่มจาก
การเกิดโคโพลิเมอร์ของ ไมโนเมอร์สไตรีนและ ไมโนเมอร์โคไวนิลเบนซีนเป็นตัวเชื่อมขวาง โดยผ่าน
กระบวนการเกิดโพลิเมอร์แบบแขวนลอย บีดที่ได้ในขณะนี้มีขนาดเล็กอยู่ เพื่อให้บีดดูดซึมสไตรีนมีขนาด
ใหญ่ขึ้น นำบีดดูดซึมสไตรีนที่คัดขนาดแล้วด้วยวิธีตระแกรง ไปแช่ในสารละลายสไตรีนอีกครั้ง เพื่อให้บีด
ดูดซับละลาย ไมโนเมอร์จนอิ่มตัว แล้วนำไปผ่านกระบวนการเกิดโพลิเมอร์ร่วมแบบแขวนลอยอีกครั้ง บีด
ที่ได้จากขั้นตอนนี้จะมีความใหญ่ขึ้น ทำขั้นตอนนี้ซ้ำจนกระทั่งได้การดูดซึมที่น่าพอใจ

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติในการดูดซึมคือ ปริมาณสารเชื่อมขวาง ปริมาณ
ไมโนเมอร์ อุณหภูมิ เวลา ปริมาณสารแขวนลอย ปริมาณตัวทำเจือจางและปริมาณตัวบับบ่งปฏิกิริยา จาก
การศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์บีดดูดซึมสไตรีนที่มีความสามารถในการดูดซึมสูงสุดคือ
ใช้ปริมาณโคไวนิลเบนซีนร้อยละ 0.3 อุณหภูมิและเวลาในการเกิดโพลิเมอร์ 70°C. 3 ชม. และ 90°C.
3 ชม. , ชนิดและปริมาณสารแขวนลอยคือ HPMC ร้อยละ 0.2 และ HEC ร้อยละ 0.114 อัตราส่วนของ
ไมโนเมอร์ต่อน้ำ 0.075 และผ่านการเลี้ยงบีด 1 ครั้ง ที่ 70°C. 4 ชม. และ 90°C. 2 ชม. พบว่าบีดมี
ปริมาตรของรูพรุน 0.281 มล./ก. และมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 94.4 ตร.ม./ก. มีความหนาแน่น 0.618
ก./ลบ.ซม. ความสามารถในการดูดซึม 17.7 เท่า ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซึมสูงสุด 20 ชม. และ
บีดสามารถคายตัวทำละลายออกได้หมด ดังนั้น สามารถนำไปใช้กำจัดตัวทำละลายที่ลอยอยู่บนผิวน้ำเพื่อ
ลดปัญหามลพิษทางน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาควิชา.....เทคโนโลยีชีวภาพ
สาขาวิชา.....ปิโตรเลียม-โพลิเมอร์
ปีการศึกษา..... 2535
ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



C385172 MAJOR : TECHNOLOGY PETROCHEMISTRY

KEY WORD : ABSORPTION/DESORPTION/PROPERTIES/STYRENIC/IMBIBER/BEADS

THANARAT KAROOWANCHARERN : DEVELOPMENTS IN ABSORPTION AND DESORPTION PROPERTIES OF STYRENIC IMBIBER BEADS : THESIS

ADVISOR : ASSOC. PROF. SUDA KIATKAMJORNWONG, Ph.D.: THESIS

COADVISOR : ASSOC. PROF.PATTARAPAN PRASASSARAKICH,Ph.D.

The present research concerns the synthesis of large-sized imbibed beads of styrene crosslinked copolymer for absorbing several solvents such as benzene, toluene, chloroform and other. Beginning the synthesis with a copolymerization of styrene monomer and divinylbenzene as crosslink monomer by the suspension polymerization technique, the styrenic imbibed beads had been small sized. To enlarge the size of the styrenic imbibed beads, the freshly-prepared beads were sieved into equal-sized fraction and each fraction was swollen in the monomer solution until the beads were saturated with monomer. The saturated styrenic imbibed beads were polymerized for inner pore structures to get the larger bead sizes under the optimized condition. The sieve analysis, swelling and seed suspension polymerization should be repeated until the desired beads were obtained for a satisfactory absorption.

Effect of such influential parameters as crosslinking monomer volume, monomer fraction, temperature and time schedule, concentration of diluent and inhibitor on absorption property were studied. The findings elucidated the following appropriate conditions for producing the maximum absorptivity of the styrenic imbibed beads. The amount of crosslinking monomer was 0.3%, temperature and time schedule for polymerization was 70°C, 3 hr and then 90°C, 3 hr, seed suspension polymerization at 70°C, 2 hr and then 90°C, 4 hr; the type and concentration of suspending agent were the mixture of 0.2% HPMC and 0.114% HEC, the monomer concentration was 7.5% by weight. The beads synthesized had the following properties: pore volume 0.281 ml/gm.; specific surface area 94.4 m²/gm; density 0.618 gm/cm³, swelling ratio 17.7 for 20 hr. This bead could completely desorb the solvents absorbed, therefore, it can be used for the removal of spilled solvents on a water surface to alleviate water pollution problem.

ภาควิชา..... เทคโนโลยีปิโตรเคมี
สาขาวิชา..... ปิโตรเคมี-โพลีเมอร์
ปีการศึกษา..... ๒๕๓๕

ลายมือชื่อผู้คิด.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... Suda Kiatkamjornwong
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... Pattarapan Prasassarakich

กติกกรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุภา เกียรติกิจจรวงศ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และ ช่วยเหลือให้งานวิจัยลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณบริษัท คาว (ประเทศไทย) จำกัด, บริษัท เอ็กซ์ไทย จำกัด และ บริษัท ยูเนี่ยนคาร์ไบด์ จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านสารเคมีในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ขอขอบคุณ SIDB ที่ให้ทุนอุดหนุนในงานวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยกรุณาช่วยเหลือพร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์

ขอขอบคุณบุคลากรในสาขาปิโตรเคมี-โพลีเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่อำนวยความสะดวกด้านสถานที่และเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ Prof. Hisaya Sato และ Prof. Shinzo Omi แห่ง Tokyo University of Agriculture and Technology ที่กรุณาประสานงานการวัดสมบัติทางกายภาพของโพร่งและขนาดของเม็ด รวมทั้งจุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนของเม็ดจำนวนหนึ่ง นอกจากนี้ผู้เขียน ขอขอบพระคุณ คุณโตจิ โดโมริ แห่งหน่วยวิเคราะห์ทางกายภาพห้องปฏิบัติการ Tsukuba บริษัท มิตซูบิชิปิโตรเคมี จำกัด ที่กรุณาวัดลักษณะของโพร่งและสมบัติที่เกี่ยวข้องกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

๒

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ.....	ต

บทที่

1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎี.....	2
2.1 การเกิดโพลีเมอร์.....	2
2.2 กระบวนการเกิดโพลีเมอร์.....	6
2.2.1 กระบวนการเกิดโพลีเมอร์แบบรวมมวล.....	7
2.2.2 กระบวนการเกิดโพลีเมอร์แบบสารละลาย.....	8
2.2.3 กระบวนการเกิดโพลีเมอร์แบบแขวนลอย.....	8
2.2.4 กระบวนการเกิดโพลีเมอร์แบบอิมัลชัน.....	8
2.3 กระบวนการเกิดโพลีเมอร์แบบแขวนลอย.....	12
2.4 เทคนิคการเกิดโพลีเมอร์แบบแขวนลอย.....	16
2.4.1 การเกิดหยดของไมโนเมอร์.....	16
2.4.2 สารลดแรงตึงผิว.....	17
2.4.3 การกวน.....	17
2.5 วัฏภาคน้ำและสารแขวนลอย.....	18
2.6 วัฏภาคไมโนเมอร์.....	19
2.7 กระบวนการเกิดโพลีเมอร์แบบแขวนลอยที่มีการเลี้ยงบิด.....	20

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.8 รูปร่างของบีด.....	21
2.9 จลนพลศาสตร์ของการคูดซิมและการตัวทำละลาย.....	24
2.9.1 ขอบเขตการคูดซิมตัวทำละลาย	24
2.9.2 ขอบเขตการคาย	25
2.10 Crosslink Density	26
2.11 วารสารปริทัศน์.....	27
3. เครื่องมือและวิธีการการทดลอง.....	32
3.1 สารเคมี	32
3.2 อุปกรณ์การทดลอง	32
3.3 การสังเคราะห์บีดคูดซิมสไตรีน	33
3.3.1 การล้างโมโนเมอร์	33
3.3.2 การกลั่นโมโนเมอร์	33
3.3.3 การสังเคราะห์	33
3.4 การเกิดโพลีเมอร์แบบแขวนลอยที่มีการเลี้ยงบีด	37
3.5 การศึกษาการแจกแจงของขนาดบีด	39
3.6 การศึกษาจุลภาพด้วยอิเล็กตรอน	39
3.7 การศึกษาการคูดซิมและการคายตัวทำละลายของบีดคูดซิมสไตรีน.....	39
4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	44
4.1 การเกิดโพลีเมอร์แบบแขวนลอย.....	44
4.1.1 ผลของปริมาณโมโนเมอร์ต่อการเกิดโพลีเมอร์แบบแขวนลอย	44
4.1.2 ผลของเวลาต่อการเกิดโพลีเมอร์แบบแขวนลอย	44
4.1.3 ผลของสารแขวนลอยต่อการเกิดโพลีเมอร์แบบแขวนลอย	46
4.1.4 ผลของตัวทำเจือจางต่อการเกิดโพลีเมอร์แบบแขวนลอย	46

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1.5 ผลของตัวบับับังปฏิริบาต่อการเกิด โพลีเมอร์แบบแชนวณลอบ	47
4.2 การเกิด โพลีเมอร์แบบแชนวณลอบที่มีการเล็บบบิต.....	51
4.2.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการเกิด โพลีเมอร์ที่มีการเล็บบบิต..	51
4.2.2 ผลของจำนวนครั้งที่ เล็บบบิตต่อการเกิด โพลีเมอร์ที่มีการเล็บบบิต	52
4.3 ผลของตัวทำละลายต่อการคูดซิมของบิต.....	56
4.4 สมบติของบิต	58
4.5 สมบติการคูดซิมและการคอบตัวทำละลายของบิต	68
4.5.1 สมบติการคูดซิมตัวทำละลายของบิต	68
4.5.2 สมบติการคอบตัวทำละลายของบิต	75
4.6 ผลของจำนวนครั้งที่ ใช้บิต	80
4.7 ค่าสัมประสิทธิการแพร่	84
4.8 การศึกษาจุลภาพถ่าบอิเลกทรอน	90
5. สรุปผลการทดลอง	112
5.1 การเกิด โพลีเมอร์แบบแชนวณลอบ	112
5.2 การเกิด โพลีเมอร์แบบแชนวณลอบที่มีการเล็บบบิต	113
5.3 ผลของตัวทำละลายต่อการคูดซิมของบิต	114
5.4 สมบติของบิต	115
5.5 สมบติการคูดซิมและการคอบตัวทำละลายของบิต	115
5.5.1 สมบติการคูดซิมตัวทำละลายของบิต	115
5.5.2 สมบติการคอบตัวทำละลายของบิต	115
5.6 ผลของจำนวนครั้งที่บิต	116
5.7 ค่าสัมประสิทธิการแพร่	116

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง	117
ภาคผนวก	120
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการดัดขึ้นของบิตใน ไทลูอิน	120
ภาคผนวก ข. ข้อมูลในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่	143
ภาคผนวก ค. การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่	151
ภาคผนวก ง. การคำนวณค่า Crosslink Density	153
ภาคผนวก จ. ข้อมูลในการหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและค่าปริมาตรโพรง	154
ประวัติผู้เขียน	165



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปฏิบัติการเกิดโพลีเมอร์แบบต่าง ๆ ชนิดของไมโนเมอร์ สารริเริ่มปฏิบัติ และลักษณะของผลิตภัณฑ์โพลีเมอร์ที่ได้	10
2.2 สารแขวนลอยที่ใช้ในการเกิดโพลีเมอร์แบบแขวนลอยสำหรับไมโนเมอร์ชนิดต่าง ๆ	13
2.3 ค่าความต้งจำเพาะของ ไมโนเมอร์และ โพลีเมอร์	21
3.1 ผลของปริมาณไมโนเมอร์ อุณหภูมิ เวลาและปริมาณสารแขวนลอยต่อปฏิบัติ การเกิดโพลีเมอร์	34
3.2 ผลของตัวทำเจือจางและตัวบับ้งปฏิบัติต่อปฏิบัติการเกิดโพลีเมอร์	36
3.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อปฏิบัติการเกิดโพลีเมอร์ที่มีการเลี้ยงบีด	38
4.1 ผลของปริมาณไมโนเมอร์ อุณหภูมิ เวลา และปริมาณสารแขวนลอยต่อปฏิบัติ การเกิดโพลีเมอร์.....	48
4.2 ผลของตัวทำเจือจางและตัวบับ้งปฏิบัติต่อปฏิบัติการเกิดโพลีเมอร์. .	50
4.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อปฏิบัติการเกิดโพลีเมอร์ที่มีการเลี้ยงบีด.....	53
4.4 อัตราการบวมของบีดในตัวทำละลายต่างๆ.....	57
4.5 สมบัติของบีด.....	61
4.6 ข้อมูลของการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่	85

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่	หน้า
2.1 โพลีเมอร์แบบเส้นตรงและแบบกิ่งก้าน	3
2.2 โพลีเมอร์แบบเชื่อมขวางและแบบโครงร่างตาข่าย	4
2.3 ภาพตัดขวางของ โพลีไวนิลคลอไรด์ที่ได้จากกระบวนการเกิด โพลีเมอร์แบบแขนงลอย	23
2.4 การรวมตัวของ โพลีไวนิลคลอไรด์จากกระบวนการเกิด โพลีเมอร์แบบแขนงลอยที่มี การรวมตัวเกิดขึ้น	23
3.1 อุปกรณ์ลั่น ไม โนเมอร์	40
3.2 อุปกรณ์สังเคราะห์โพลีเมอร์	40
3.3 บีดคูลซิมส ไตรีนที่สังเคราะห์ได้	41
3.4 บีดคูลซิมส ไตรีนที่ผ่านกระบวนการเกิด โพลีเมอร์ที่มีการเลี้ยงบีด	41
3.5 เปรียบเทียบขนาดของบีดคูลซิมส ไตรีนที่สังเคราะห์และที่ผ่านการเลี้ยงบีดแล้ว	42
3.6 แผนผังขั้นตอนการทดลอง	43
4.1 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 4 กำลังขยาย 150 เท่า	62
4.2 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของบีดจากการทดลองที่ 10 กำลังขยาย 26 เท่า ..	62
4.3 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของบีดจากการทดลองที่ 21 กำลังขยาย 35 เท่า..	63
4.4 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 20 กำลังขยาย 100 เท่า	63
4.5 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 23 กำลังขยาย 100 เท่า	64
4.6 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 6 กำลังขยาย 150 เท่า	64
4.7 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 10 กำลังขยาย 100 เท่า	65

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.8 ข้อมูลในการหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและค่าปริมาตรโพรงของบีดจากการทดลองที่ 10	66
4.9 ข้อมูลในการหาค่าพื้นที่จำเพาะและค่าปริมาตรโพรงของบีดจากการทดลองที่ 22	67
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของบีดกับเวลาที่ใช้ในการดูดซึมตัวทำละลายของบีดที่ได้จากปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์และบีดที่เล็บบน 12 ซม.	72
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของบีดกับเวลาที่ใช้ในการดูดซึมตัวทำละลายของบีดที่ได้จากปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์และบีดที่เล็บบน 6 ซม. 1 และ 2 ครั้ง	73
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของบีดกับเวลาที่ใช้ในการบวมในสารดูดซึมตัวทำละลายของบีดที่ได้จากปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ที่มีการเติมตัวเจือจางตัวบับบึงปฏิกิริยาและบีดที่เล็บบน 6 ซม.	74
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของบีดกับเวลาที่ใช้ในการคายตัวทำละลายของบีดที่ได้จากปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์และบีดที่เล็บบน 12 ซม.	77
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของบีดกับเวลาที่ใช้ในการคายตัวทำละลายของบีดที่ได้จากปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์และบีดที่เล็บบน 12 ซม.	78
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของบีดกับเวลาที่ใช้ในการคายตัวทำละลายของบีดที่ได้จากปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ที่มีการเติมตัวเจือจางตัวบับบึงปฏิกิริยาและบีดที่เล็บบน 6 ซม.	79
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของบีดกับเวลาที่ใช้ในการดูดซึมและคาย ตัวทำละลายของบีดที่ผ่านการดูดซึมและการคายตัวทำละลายหลายครั้ง(บีดจากการทดลองที่ 22)	81
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของบีดกับเวลาที่ใช้ในการดูดซึมและคาย ตัวทำละลายของบีดที่ผ่านการดูดซึมและการคายตัวทำละลายหลายครั้ง(บีดจากการทดลองที่ 27)	82
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของบีดกับเวลาที่ใช้ในการดูดซึมและคาย ตัวทำละลายของบีดที่ผ่านการดูดซึมและการคายตัวทำละลายหลายครั้ง (บีดจากการทดลองที่ 26)	83
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(\Delta a/\Delta a_0)$ กับเวลาของบีดที่ได้จากการเล็บบน 12 ซม. ...	86

สารบัญรูป

ท

รูปที่	หน้า
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(\Delta a/\Delta a_0)$ กับเวลาของบีดที่ได้จากการเลี้ยง 1 ครั้ง...	87
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(\Delta a/\Delta a_0)$ กับเวลาของบีดที่ได้จากการเลี้ยง 2 ครั้ง...	88
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(\Delta a/\Delta a_0)$ กับเวลาของบีดที่ได้จากปฏิกิริยาการเกิด โพลีเมอร์ที่มีการเติมตัวทำเจือจางและที่มีการเลี้ยงบีด.....	89
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(\Delta a/\Delta a_0)$ กับเวลาของบีดที่ได้จากปฏิกิริยาการเกิด โพลีเมอร์ที่มีการเติมตัวตัวบับบ่งปฏิกิริยาและที่มีการเลี้ยงบีด.....	89
4.24 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของบีดจากการทดลองที่ 4 กำลังขยาย 150 เท่า ..	91
4.25 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของบีดจากการทดลองที่ 6 กำลังขยาย 150 เท่า ..	91
4.26 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวบีดจากการทดลองที่ 10 กำลังขยาย 16000 เท่า ..	92
4.27 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของบีดจากการทดลองที่ 12 กำลังขยาย 35 เท่า ..	92
4.28 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวบีดจากการทดลองที่ 12 100 เท่า ..	93
4.29 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 12 กำลังขยาย 150 เท่า ..	93
4.30 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของบีดจากการทดลองที่ 13 กำลังขยาย 35 เท่า ..	94
4.31 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวบีดจากการทดลองที่ 13 กำลังขยาย 150 เท่า ..	94
4.32 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 13 กำลังขยาย 200 เท่า ..	95
4.33 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของบีดจากการทดลองที่ 14 กำลังขยาย 26 เท่า ..	95
4.34 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวบีดจากการทดลองที่ 14 กำลังขยาย 150 เท่า ..	96

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.35 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวเม็ดจากการทดลองที่ 14 กำลังขยาย 16000 เท่า.....	96
4.36 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของเม็ดจากการทดลองที่ 14 กำลังขยาย 26 เท่า	97
4.37 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงการขยายของภาพตัดขวางของเม็ดจากการทดลองที่ 14 กำลังขยาย 150 เท่า	97
4.38 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางขยายของเม็ดจากการทดลองที่ 14 กำลังขยาย 16000 เท่า.....	98
4.39 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของเม็ดจากการทดลองที่ 18 กำลังขยาย 35 เท่า ..	98
4.40 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของเม็ดจากการทดลองที่ 18 กำลังขยาย 150 เท่า	99
4.41 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของเม็ดจากการทดลองที่ 19 กำลังขยาย 35 เท่า .	99
4.42 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวเม็ดจากการทดลองที่ 19 กำลังขยาย 150 เท่า	100
4.43 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของเม็ดจากการทดลองที่ 19 กำลังขยาย 150 เท่า	100
4.44 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของเม็ดจากการทดลองที่ 20 กำลังขยาย 35 เท่า .	101
4.45 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวเม็ดจากการทดลองที่ 20 กำลังขยาย 150 เท่า	101
4.46 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวเม็ดจากการทดลองที่ 21 กำลังขยาย 150 เท่า	102
4.47 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของเม็ดจากการทดลองที่ 21 กำลังขยาย 200 เท่า	102

ศูนย์วิจัยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

ณ

รูปที่	หน้า
4.48 จุลภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์แสดงผลของผิวของบีดจากการทดลองที่ 22 กำลังขยาย 26 เท่า	103
4.49 จุลภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์แสดงผลภาพขยายของผิวบีดจากการทดลองที่ 22 กำลังขยาย 16000 เท่า.....	103
4.50 จุลภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์แสดงผลภาพขยายของผิวบีดจากรูปที่ 4.47 กำลังขยาย 150 เท่า	104
4.51 จุลภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์แสดงผลภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 22 กำลังขยาย 100 เท่า	104
4.52 จุลภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์แสดงผลของผิวของบีดจากการทดลองที่ 23 กำลังขยาย 35 เท่า ..	105
4.53 จุลภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์แสดงผลของผิวของบีดจากการทดลองที่ 24 กำลังขยาย 35 เท่า ..	105
4.54 จุลภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์แสดงผลภาพขยายของผิวบีดจากการทดลองที่ 24 กำลังขยาย 100 เท่า	106
4.55 จุลภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์แสดงผลภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 24กำลังขยาย 200 เท่า	106
4.56 จุลภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์แสดงผลของผิวของบีดจากการทดลองที่ 25 กำลังขยาย 35 เท่า ..	107
4.57 จุลภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์แสดงผลภาพขยายของผิวบีดจากการทดลองที่ 25 กำลังขยาย 150 เท่า	107
4.58 จุลภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์แสดงผลภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 25 กำลังขยาย 350 เท่า	108
4.59 จุลภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์แสดงผลของผิวของบีดจากการทดลองที่ 25 กำลังขยาย 26 เท่า ..	108
4.60 จุลภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์แสดงผลภาพขยายของผิวบีดจากการทดลองที่ 25 กำลังขยาย 150 เท่า	109
4.61 จุลภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์แสดงผลภาพขยายของผิวบีดจากรูปที่ 4.59 กำลังขยาย 16000 เท่า.....	109

รูปที่	หน้า
4.62 จุลภาพถ่ายอิมัลชันแสดงภาพขวางของเม็ดจากการทดลองที่ 25 กำลังขยาย 26 เท่า	110
4.63 จุลภาพถ่ายอิมัลชันแสดงการขยายของภาพตัดขวางของเม็ดจากการทดลองที่ 26 กำลังขยาย 150 เท่า	110
4.64 จุลภาพถ่ายอิมัลชันแสดงภาพขวางขยายของเม็ดจากการทดลองที่ 26 กำลังขยาย 16000 เท่า.....	110



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ

- ϕ_s : สัดส่วนปริมาตรของตัวทำละลาย
 ϕ_p : สัดส่วนปริมาตรของ โพลีเมอร์
 δ : Solubility parameter
 X : cross link density
 C : ค่าคงที่แสดงกำลังการบวมของ โพลีเมอร์ในของเหลว
 r : รัศมีของท่อขนาดเล็ก
 P_s : ความดันไอที่สภาวะสมดุล
 S : อัตราการบวม
 q : Crosslink density
 λ_0 : จำนวนอะตอมของคาร์บอนในสายโซ่หลักเฉลี่ย
 X_c : Critical crosslink density
 D :สัมประสิทธิ์การแพร่
 U : โมดูลัสเฉือน
 K : โมดูลัสรวมมวล
 f : สัมประสิทธิ์การเสียดทานระหว่าง โครงสร้างของ โพลีเมอร์กับชั้นของเหลว
 T : Characteristic swelling time
 t : เวลาที่ใช้ในการทดลอง
 Δa_t : รัศมีที่เปลี่ยนแปลงไปในเวลาใด ๆ
 Δa_0 : รัศมีที่เปลี่ยนแปลงไปจนสุดท้าย
 a : รัศมีสุดท้าย
 I : ความลึกในการซึมผ่าน
 θ : contact angle
 n : ความหนืดของของเหลว
 M_0 : น้ำหนักโมเลกุลของ โพลีเมอร์
 M_c : น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยระหว่างจุดเชื่อมขวาง
 V : molar volume ของตัวทำละลาย