ผลของกรดมาเลอิกต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของอะคริลาไมด์/กรดมาเลอิก และค่าการดูดซึมน้ำ

นางสาวปวีณา เลิศจรรยากุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6635-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF MALEIC ACID ON ACRYLAMIDE/MALEIC ACID POLYMERIZATION AND WATER ABSORPTION

Miss Paweena Lertchanyakul

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Chemical Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6635-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของกรดมาเลอิกต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของอะคริลาไมด์/กรดมาเลอิกและค่าการดูดซึมน้ำ
โดย	นางสาวปวีณา เลิศจรรยากุล
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์ ดร. สุดา เกียรติกำจรวงศ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ศาสตราจารย์ ดร. สุดา เกียรติกำจรวงศ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. อรวรรณ ชัยลภากุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปวีณา เลิศจรรยากุล : ผลของกรดมาเลอิกต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของอะคริลาไมด์/กรดมาเลอิกและค่าการดูดซึมน้ำ (EFFECT OF MALEIC ACID ON ACRYLAMIDE/MALEIC ACID POLYMERIZATION AND WATER ABSORPTION) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ศาสตราจารย์ ดร.สุดา เกียรติกำจรวงศ์, จำนวน 100 หน้า. ISBN 974-17-6635-1

ไฮโดรเจลของโคพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิกสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาโคพอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระ ริเริ่มปฏิกิริยาโดยคูรีดอกซ์แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตและเอ็น,เอ็น,เอ็น',เอ็น',-เททระเมทิลเอทิลีนไดอะมีน สารเชื่อมขวางคือ เอ็น,เอ็น',-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์และใช้ก๊าซไนโตรเจนที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในการเกิดปฏิกิริยา ภาวะที่เกิดปฏิกิริยาโคพอลิเมอไรเซชันคือ ความเร็วรอบในการกวน 250 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนภายในระยะเวลา 30 นาที กำจัดน้ำภายในโครงสร้างของโคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้โดยเมทานอลและอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในเตาอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ ปริมาณกรดมาเลอิก ปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยา ปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาร่วม ปริมาณสารเชื่อมขวาง อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาและระยะเวลาที่เกิดปฏิกิริยา วัดค่าการดูดซึมน้ำของโคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ในน้ำกลั่น ทดสอบการดูดซับสีย้อมประเภทแคตไอออน คือ CI BB 41 11154 ศึกษาเกี่ยวกับประเภทของกลไกการแพร่ของน้ำเข้าสู่โคพอลิเมอร์ ศึกษาลักษณะเฉพาะของโคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้โดย FTIR และ SEM ใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีในการตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของมอนอเมอร์, มอนอเมอร์ร่วม, สารเชื่อมขวาง, สารริเริ่มปฏิกิริยา และกลไกการเกิดปฏิกิริยา โคพอลิเมอร์ที่มีค่าดูดซึมน้ำสูงสุด คือ 310 $\pm$ 10 กรัมต่อกรัมน้ำหนักพอลิเมอร์แห้งสังเคราะห์ โดยใช้ปริมาณสารต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ อัตราส่วนโดยโมลของอะคริลาไมด์ต่อกรดมาเลอิก เท่ากับ 0.92 ต่อ 0.08 ปริมาณสารเชื่อมขวางร้อยละ 1 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง ปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสองและปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาร่วมร้อยละ 10 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้สามารถดูดซับสีย้อมประเภทแคตไอออนได้ กลไกในการแพร่ของน้ำเข้าสู่พอลิเมอร์เป็นการแพร่แบบนอนฟิกเกียน จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมแสดงให้เห็นว่าอะคริลาไมด์มีสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนและกรดมาเลอิกมีสมบัติเป็นตัวรับอิเล็กตรอน

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค..... ลายมือชื่อนิสิต.....ปวีณา เลิศจรรยากุล.....

สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2547..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4572375823: MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORD: HYDROGEL/ POLY(ACRYLAMIDE/MALEIC ACID)

PAWEENA LERTCHANYAKUL: EFFECT OF MALEIC ACID ON ACRYLAMIDE/MALEIC ACID POLYMERIZATION AND WATER ABSORPTION. THESIS ADVISOR : PROF.SOMSAK DAMRONGLERD, Ph.D, THESIS CO-ADVISOR : PROF.SUDA KIATKAMJORNWONG, Ph.D.

100 pp. ISBN 974-17-6635-1

Poly(acrylamide/maleic acid) hydrogels were synthesized by free radical copolymerization, initiated by a redox initiator ammonium persulfate (APS) and N,N,N',N'-tetramethylethylenediamine (TEMED). The crosslinking agent N,N'-methylenebisacrylamide (MBA) and N_2 flow rate, were used in the copolymerization. The copolymerization was carried out at 250 rpm, 45 ^{o}C under nitrogen atmosphere for 30 minutes. The synthesized copolymers were dewatered by precipitation with excess methanol and drying at 60 ^{o}C in a vacuum oven for 24 hours. Various important parameters of maleic acid content, initiator content, co-initiator content, crosslinking agent content, N_2 flow rate and polymerization time in the polymerization were studied. The water absorbencies of the synthesized copolymers in distilled water were investigated. The synthesized copolymers were tested on swelling and adsorption of a water-soluble cationic dye of CI BB 41 11154. The kinetic of water diffusion of the synthesized copolymers was investigated. The synthesized copolymers were characterized by FTIR and SEM. Cyclic voltammetry was used in the investigation of redox reaction of the monomer, comonomer, crosslinking agent, initiator and reaction mechanism. The effects of the influential reaction parameters on water absorbency of the synthesized copolymers were investigated from which they were produced from the following recipe : molar ratio of acrylamide:maleic acid, 0.92:0.08; MBA 1% by weight of the monomers; APS 1% by weight of the monomers and TEMED 10% by weight of the monomers. The highest water absorbency of the synthesized copolymer was 310 $\pm$ 10 times its dry weight. The water absorbencies and dye adsoptions of the synthesized copolymers increased with increasing maleic acid content. A kinetic study of the water absorption determined the transport mechanism was a non-Fickian type diffusion. Cyclic voltammograms showed that acrylamide was the electron donor and maleic acid was the electron acceptor.

Department.....Chemical Technology..... Student's signature.Paweena Lertchanyakul.

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

Academic year.....2004..... Co- advisor's signature.Suda Kiatkamjornwong

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีและความกรุณาของศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และศาสตราจารย์ ดร. สุดา เกียรติกำจรวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยให้คำปรึกษาและแนะนำการทำวิจัย รวมทั้งให้ความเห็นเพื่อปรับปรุงแก้ไขการทำวิจัยให้มีความสมบูรณ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดียิ่ง ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อรวรรณ ชัยลภากุล ที่ช่วยให้คำปรึกษาและให้ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี

ขอกราบขอบคุณประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์

งานวิจัยเรื่อง "ผลของกรดมาเลอิกต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของอะคริลาไมด์/กรดมาเลอิกและค่าการดูดซึมน้ำ" สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยทุนบัณฑิตวิทยาลัย ซึ่งต้องขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์และภาควิชาเคมีเทคนิคที่อนุญาตให้ใช้สถานที่ตลอดจนอุปกรณ์ในการทดลอง

ขอขอบคุณดร. วิยงค์ กังวานศุภมงคลและคุณเสาวนีย์ เลาหะพงษ์พันธ์ที่ให้คำแนะนำและสอนเคล็ดลับ เทคนิคและวิธีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ดูดซึมน้ำในระดับห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณคุณสนิท ปรีนครที่ช่วยซ่อมแซมเครื่องมือในการวิจัยครั้งนี้และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีทางภาพภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์และห้องช่างภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณบริษัท สยามเรซิน จำกัดที่ให้ความอนุเคราะห์อะคริลาไมด์ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณคุณดวงพร เยี่ยมสวัสดิ์ รวมทั้งพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือในงานวิจัยมาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ที่ให้กำลังทรัพย์ ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในการทำงานวิจัยนี้มาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูป ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

ขอบเขตของงานวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และวารสารปริทัศน์

2.1 วัสดุดูดซึม (Absorbent) 3

2.1.1 ลักษณะทางฟิสิกซ์ของวัสดุดูดซึม (Physics of Absorbent Materials) 4

2.2 วัสดุดูดซึมสูง (Superabsorbent) 5

2.2.1 ลักษณะทางฟิสิกซ์ของวัสดุดูดซึมสูง (Physics of Superabsorbents) 8

2.2.2 องค์ประกอบของพอลิเมอร์สำหรับดูดซึมน้ำ 9

2.3 ปฏิกิริยาโคพอลิเมอไรเซชันโดยอนุมูลอิสระ (Free Radical Chain Copolymerization) 13

2.3.1 องค์ประกอบของโคพอลิเมอร์ 15

2.3.2 พฤติกรรมในการเกิดโคพอลิเมอไรเซชัน 18

2.3.2.1 ปฏิกิริยาโคพอลิเมอไรเซชันแบบอุดมคติ (Ideal Copolymerization) 18

2.3.2.2 ปฏิกิริยาโคพอลิเมอไรเซชันแบบสลับ (Alternating Copolymerization) 18

2.3.2.3 ปฏิกิริยาโคพอลิเมอไรเซชันแบบบล็อก (Block Copolymerization) 19

2.3.3 การริเริ่มปฏิกิริยา (Initiation) 19

2.3.3.1 การสลายตัวของสารริเริ่มปฏิกิริยาโดยความร้อน (Thermal Decomposition of Initiators) 19
2.3.3.2 การริเริ่มปฏิกิริยาโดยใช้แสง (Photochemical Initiation) 19
2.3.3.3 การริเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ (Redox Initiation) 20
2.3.4 การเชื่อมขวาง (Crosslinking) 21
2.3.4.1 การเชื่อมขวางทางเคมี (Chemical Crosslinking) 21
2.3.4.2 ความหนาแน่นของการเชื่อมขวาง (Crosslinking Density) 22
2.4 โวลแทมเมตรี (Voltammetry) 22
2.4.1 ไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic Voltammetry) 24
2.5 การแพร่ในพอลิเมอร์ (Diffusion in Polymer) 25
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี 31
3.1.1 อุปกรณ์ 31
3.1.2 สารเคมี 31
3.1.3 เครื่องมือวิเคราะห์ 32
3.2 ระเบียบวิธีการวิจัย 32
3.3 ขั้นตอนการทดลอง 33
3.3.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์พอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิก 33
3.3.1.1 การหาค่าที่เหมาะสมของตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิก 33
3.3.1.2 การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา 34
3.3.1.3 การหาเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา 34
3.3.1.4 การหาอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา 34
3.3.1.5 การหาปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาที่เหมาะสม 35
3.3.1.6 การหาปริมาณสารเชื่อมขวางที่เหมาะสม 35
3.3.1.7 การหาปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาร่วมที่เหมาะสม 35
3.3.1.8 การหาค่าอัตราส่วนของมอนอเมอร์ที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(อะคริลาไมด์/ กรดมาเลอิก)..... 36
3.3.2 การศึกษาลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้..... 36
3.3.2.1 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้
โดย Scanning Electron Microscope..... 36
3.3.2.2 การระบุหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้
โดย Fourier Transform Infrared Spectrophotometer... 36
3.3.3 การวัดค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ 36
3.3.4 การวัดค่าการดูดซับสีย้อมในน้ำกลั่นของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้.... 37
3.3.4.1 การทำกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve)..... 37
3.3.4.2 การวัดค่าการดูดซับสีย้อมของพอลิเมอร์
ที่สังเคราะห์ได้ 37
3.3.5 การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์
ที่สังเคราะห์ได้..... 38
3.3.5.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์รูปทรงกระบอก..... 38
3.3.5.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของพอลิเมอร์รูปทรงกระบอก
ที่สังเคราะห์ได้ 38
3.3.6 การศึกษาการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของมอนอเมอร์ทั้งสอง, สารเชื่อมขวาง
และสารริเริ่มปฏิกิริยาและกลไกการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันโดย
เทคนิค Cyclic Voltammetry 39
3.3.6.1 การศึกษาการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของมอนอเมอร์ทั้งสอง, สาร
เชื่อมขวางและสารริเริ่มปฏิกิริยาโดยเทคนิค
Cyclic Voltammetry..... 39
3.3.6.2 การศึกษากลไกการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันโดยเทคนิค
Cyclic Voltammetry 41
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง
4.1 ผลของตัวแปรต่าง ๆ ในการเกิดปฏิกิริยาต่อค่าการดูดซึมน้ำ
ของพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิก 42
4.1.1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาโคพอลิเมอไรเซชันต่อค่าการดูดซึมน้ำ
ของพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิก..... 42
4.1.2 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโคพอลิเมอไรเซชันต่อค่าการดูดซึมน้ำ
ของพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิก..... 43

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3 อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโคพอลิเมอไรเซชันต่อค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิก 44
4.2 ผลของปริมาณสารที่ใช้ในการสังเคราะห์ต่อค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ร่วมอะคริลาไมด์/กรดมาเลอิก 46
4.2.1 ปริมาณสารเชื่อมขวางต่อค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิก 46
4.2.2 ผลของปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาต่อค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิก 50
4.2.3 ปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาร่วมต่อค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิก 52
4.2.4 ปริมาณกรดมาเลอิกต่อค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิก 55
4.3 การศึกษาจลนพลศาสตร์การแพร่ของน้ำเข้าสู่พอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิก 57
4.4 การศึกษาการดูดซับสีย้อมในน้ำกลั่นของพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิก 61
4.5 การศึกษาลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ 64
4.5.1 การศึกษาลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้โดย Fourier Transform Infrared Spectrophotometer 64
4.5.2 การศึกษาลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้โดย Scanning Electron Microscope 67
4.6 การศึกษาการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของมอนอเมอร์ทั้งสอง, สารเชื่อมขวางและสารริเริ่มปฏิกิริยาและกลไกการเกิดปฏิกิริยาโดยเทคนิค Cyclic Voltammetry 71
4.6.1 การศึกษาการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของมอนอเมอร์ทั้งสอง, สารเชื่อมขวางและสารริเริ่มปฏิกิริยาโดยเทคนิค Cyclic Voltammetry 71
4.6.2 การศึกษากลไกการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันโดยเทคนิค Cyclic Voltammetry 76

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 82

5.2 ข้อเสนอแนะ 86

รายการอ้างอิง 87

ภาคผนวก 90

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุดูดซึมบางชนิด	4
2.2	ตัวอย่างการนำพอลิเมอร์ดูดซึมสูงไปประยุกต์ในงานด้านต่าง ๆ	6
2.3	SAPs เชิงพาณิชย์	7
2.4	ปัจจัยที่มีผลต่อการบวมตัวของพอลิเมอร์	12
3.1	ปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์	34
4.1	ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิก	42
4.2	ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิก	43
4.3	ผลของอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิก	44
4.4	ผลของค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ที่ปริมาณสารเชื่อมขวางต่าง ๆ	47
4.5	ผลของค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ที่ปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาต่าง ๆ	50
4.6	ผลของค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ที่ปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาร่วมต่าง ๆ	52
4.7	ผลของค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ที่อัตราส่วนอะคริลาไมด์:กรดมาเลอิกต่าง ๆ	55
4.8	ค่ากำลังการบวมตัวของพอลิเมอร์รูปทรงกระบอกที่สังเคราะห์ได้	58
4.9	ค่าการดูดซับสีย้อมในน้ำกลั่นของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ที่อัตราส่วนอะคริลาไมด์:กรดมาเลอิกต่าง ๆ	61
4.10	FTIR spectrum ของ polyacrylamide ที่สังเคราะห์ได้	64
4.11	FTIR spectrum ของ poly(acrylamide-*co*-maleic acid)ที่สังเคราะห์ได้	64
4.12	ค่ากระแส ศักย์ไฟฟ้าและลักษณะของพีกที่เกิดขึ้นเมื่อเติมสารต่าง ๆ ลงในปฏิกิริยา	78
4.13	ค่ากระแส ศักย์ไฟฟ้าและลักษณะของพีกที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาเมื่อเวลาต่าง ๆ	81

สารบัญรูป

รูป		หน้า
2.1	ลักษณะการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์	10
2.2	กลไกการบวมตัวของพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำ	10
2.3	แสดงเทคนิคต่าง ๆ ของโวลแทมเมตรี	23
2.4	ไซคลิกโวลแทมโมแกรม	24
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของพอลิเมอร์ ณ เวลา t (M_t) กับ $t^{1/2}$	27
3.1	การต่อขั้วอ้างอิง ขั้วทำงาน และขั้วเคาน์เตอร์	40
3.2	การต่อขั้วอ้างอิง ขั้วทำงาน และขั้วเคาน์เตอร์กับเครื่อง Potentiostat	40
4.1	ภาพ SEM ของ poly[acrylamide-*co*-(maleic acid)] อัตราส่วนโดยโมลอะคริลาไมด์: กรดมาเลอิกเท่ากับ 0.090 : 0.010 ปริมาณสารเชื่อมขวางร้อยละ 1 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง ปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง และปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาร่วมร้อยละ 10 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง **อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนคงที่ (45 มิลลิลิตร/นาที)** (ค่าการดูดซึมน้ำ 278 $\pm$ 32 กรัม/กรัมพอลิเมอร์แห้ง)	45
4.2	ภาพ SEM ของ poly[acrylamide-*co*-(maleic acid)] อัตราส่วนโดยโมลอะคริลาไมด์:กรดมาเลอิกเท่ากับ 0.090 : 0.010 ปริมาณสารเชื่อมขวางร้อยละ 1 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง ปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง และปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาร่วมร้อยละ 10 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง **อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 45 เป็น 60 มิลลิลิตร/นาทีเป็นเวลา 5 นาที** (ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 305 $\pm$ 26 กรัม/กรัมพอลิเมอร์แห้ง)	46
4.3	ผลของปริมาณสารเชื่อมขวางต่อค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิกที่สังเคราะห์ได้	47
4.4	ผลของปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาต่อค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิกที่สังเคราะห์ได้	51
4.5	ผลของปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาร่วมต่อค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิกที่สังเคราะห์ได้	53
4.6	ผลของปริมาณกรดมาเลอิกต่อค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิกที่สังเคราะห์ได้	56
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง InF กับ Int ที่อัตราส่วน	

อะคริลาไมด์:กรดมาเลอิก 0.92:0.08 59
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง InF กับ Int ที่อัตราส่วน
อะคริลาไมด์:กรดมาเลอิก 0.94:0.06 59
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง InF กับ Int ที่อัตราส่วน
อะคริลาไมด์:กรดมาเลอิก 0.95:0.05 60
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง InF กับ Int ที่อัตราส่วน
อะคริลาไมด์:กรดมาเลอิก 0.99:0.01 60
4.11 ผลของปริมาณของกรดมาเลอิกต่อร้อยละการดูดซับสีย้อมในน้ำกลั่น
ของพอลิเมอร์อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิกที่สังเคราะห์ได้ 62
4.12 กลไกการดูดซับสีย้อมประเภทประจุบวกของพอลิเมอร์
อะคริลาไมด์/กรดมาเลอิก 63
4.13 สีของสารละลายสีย้อมหลังจากถูกดูดซับโดย poly[acrylamide-*co*-(maleic acid)]
ที่อัตราส่วนอะคริลาไมด์:กรดมาเลอิกต่างกัน 63
4.14 FTIR Spectrum ของ Polyacrylamide 65
4.15 FTIR Spectrum ของ poly(acrylamide-*co*-maleic acid) 66
4.16 ภาพ SEM ของ poly[acrylamide-*co*-(maleic acid)] ปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยา
ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง : อัตราส่วนโดยโมลอะคริลาไมด์ : กรดมาเลอิก
0.090 : 0.010 ปริมาณสารเชื่อมขวางร้อยละ 1 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง ปริมาณ
สารริเริ่มปฏิกิริยาร่วมร้อยละ 2 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง (ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 55
± 12 กรัม/กรัมของพอลิเมอร์แห้ง) 68
4.17 ภาพ SEM ของ poly[acrylamide-*co*-(maleic acid)] ปริมาณสารเชื่อมขวาง
ร้อยละ10 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง : อัตราส่วนโดยโมลอะคริลาไมด์ : กรดมาเลอิก
0.090 : 0.010 ปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง ปริมาณ
สารริเริ่มปฏิกิริยาร่วมร้อยละ 2 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง (ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 17
± 2 กรัม/กรัมของพอลิเมอร์แห้ง) 69
4.18 ภาพ SEM ของ poly[acrylamide-*co*-(maleic acid)] อัตราส่วนอะคริลาไมด์ : กรดมาเล
อิก เท่ากับ 0.092 : 0.008 : ปริมาณสารเชื่อมขวางร้อยละ1 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง
ปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง ปริมาณสารริเริ่ม
ปฏิกิริยาร่วมร้อยละ 10 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง (ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 310 ± 20
กรัม/กรัมของพอลิเมอร์แห้ง) 69

4.19 ภาพ SEM ของ polyacrylamide : ปริมาณสารเชื่อมขวางร้อยละ1 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง ปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง ปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาร่วมร้อยละ 10 โดยน้ำหนักมอนอเมอร์ทั้งสอง (ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 46 $\pm$ 5 กรัม/กรัมของพอลิเมอร์แห้ง) 70

4.20 Cyclic voltammogram ของอะคริลาไมด์ใน KCl 0.1 M โดยใช้ Glassy Carbon เป็นขั้วทำงาน และ Scan Rate 50 mV/s 72

4.21 Cyclic voltammogram ของกรดมาเลอิกใน KCl 0.1 M โดยใช้ Glassy Carbon เป็นขั้วทำงาน และ Scan Rate 50 mV/s 72

4.22 Cyclic voltammogram ของสารเชื่อมขวาง(MBA)ใน KCl 0.1 M โดยใช้ Glassy Carbon เป็นขั้วทำงาน และ Scan Rate 50 mV/s 73

4.23 Cyclic voltammogram ของสารริเริ่มปฏิกิริยา(APS)ใน KCl 0.1 M โดยใช้ Glassy Carbon เป็นขั้วทำงาน และ Scan Rate 50 mV/s 74

4.24 Cyclic voltammogram ของสารริเริ่มปฏิกิริยา(APS)และสารริเริ่มปฏิกิริยาร่วม(TEMED)ใน KCl 0.1 M โดยใช้ Glassy Carbon เป็นขั้วทำงาน และ Scan Rate 50 mV/s 75

4.25 Cyclic voltammogram ของ อะคริลาไมด์+กรดมาเลอิก ในสารละลาย KCl 0.1 M โดยใช้ Glassy carbon เป็นขั้วทำงาน, Scan rate 50 mV/s 76

4.26 Cyclic voltammogram ของ อะคริลาไมด์+กรดมาเลอิก+สารเชื่อมขวาง ในสารละลาย KCl 0.1 M โดยใช้ Glassy carbon เป็นขั้วทำงาน, Scan rate 50 mV/s..... 76

4.27 Cyclic voltammogram ของ อะคริลาไมด์+กรดมาเลอิก+สารเชื่อมขวาง+สารริเริ่มปฏิกิริยา ในสารละลาย KCl 0.1 M โดยใช้ Glassy carbon เป็นขั้วทำงาน, Scan rate 50 mV/s..... 77

4.28 Cyclic voltammogram ของ (ก) อะคริลาไมด์ (ข) อะคริลาไมด์+กรดมาเลอิก (ค) อะคริลาไมด์+กรดมาเลอิก+สารเชื่อมขวาง และ (ง) อะคริลาไมด์+กรดมาเลอิก +สารเชื่อมขวาง+สารริเริ่มปฏิกิริยา ในสารละลาย KCl 0.1 M โดยใช้ Glassy carbon เป็นขั้วทำงาน, Scan rate 50 mV/s 77

4.27 Cyclic voltammogram ของอะคริลาไมด์, กรดมาเลอิก,สารเชื่อมขวาง,สารริเริ่มปฏิกิริยา และ สารริเริ่มปฏิกิริยาร่วม ณ เวลา 6.24 นาที ในสารละลาย KCl 0.1 M โดยใช้ Glassy carbon เป็นขั้วทำงาน, Scan rate 50 mV/s 79

4.28 Cyclic voltammogram ของอะคริลาไมด์, กรดมาเลอิก,สารเชื่อมขวาง,สารริเริ่มปฏิกิริยา และ สารริเริ่มปฏิกิริยาร่วม ณ เวลา 8.23 นาที ในสารละลาย KCl 0.1 M โดยใช้ Glassy carbon เป็นขั้วทำงาน, Scan rate 50 mV/s 79

4.29 Cyclic voltammogram ของอะคริลาไมด์, กรดมาเลอิก+สารเชื่อมขวาง+สารริเริ่ม ปฏิกิริยา+สารริเริ่มปฏิกิริยาร่วม ณ เวลา 22.22นาที ในสารละลาย KCl 0.1 M โดยใช้ Glassy carbon เป็นขั้วทำงาน, Scan rate 50 mV/s 80

4.30 Cyclic voltammogram ของอะคริลาไมด์, กรดมาเลอิก สารเชื่อมขวาง สารริเริ่มปฏิกิริยา และ สารริเริ่มปฏิกิริยาร่วม ณ เวลาต่าง ๆ ในสารละลาย KCl 0.1 M โดยใช้ Glassy carbon เป็นขั้วทำงาน, Scan rate 50 mV/s..... 80

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย