

การเตรียมและลักษณะสมบัติของเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนชนิดไคโตซาน-ซีไอไลต์และพอลิซิลโฟน-ซีไอไลต์



นายประพจน์ เหล่ามงคลนิมิต

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2709-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 92466629

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF CHITOSAN-ZEOLITE AND POLYSULFONE-ZEOLITE
PROTON EXCHANGE MEMBRANE

Mr Praphoj Laomongkonnimit

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

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-53-2709-3

481792

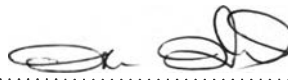
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเตรียมและลักษณะสมบัติของเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน
ชนิดโคโคซาน-ซีโอไลต์และพอลิซิลโฟน-ซีโอไลต์
โดย นายประพจน์ เหล่ามงคลนิมิต
สาขาวิชา เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ชันทอง สุนทรภา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต)

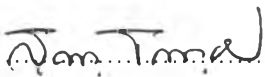
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรธน ประศาสน์สารกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา


(รองศาสตราจารย์ ดร. ชันทอง สุนทรภา)



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุนบุญ จิรชาญชัย)



..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เพียรพรรค ทศคร)



..... กรรมการ
(นายพิทยา ยังพิชิต)

ประพจน์ เหล่าม่งคณินิมิต: การเตรียมและลักษณะสมบัติของเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนชนิด ไคโตซาน-ซีโอไลต์และพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์. (PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF CHITOSAN-ZEOLITE AND POLYSULFONE-ZEOLITE PROTON EXCHANGE MEMBRANE) อ. ที่ปรึกษา รศ. ดร. ชันทอง สุนทรภา, 88 หน้า. ISBN 974-53-2709-3.

งานวิจัยนี้ได้เตรียมเมมเบรนคอมโพสิตอินทรีย์-อนินทรีย์จากพอลิเมอร์อินทรีย์สองชนิดคือ ไคโตซานและพอลิซัลโฟน โดยไคโตซานมีมวลโมเลกุล, ความหนืด และร้อยละการกำจัดหมู่แอมชีทิลเท่ากับ 9.5×10^5 ดอลตัน, $3,171 \pm 156$ เซนติพอยส์ และ 90.6 ± 0.18 ตามลำดับ พอลิซัลโฟนมีน้ำหนักโมเลกุลเชิงจำนวนเท่ากับ 16,000 และสารอนินทรีย์คือซีโอไลต์เอมีอัตราส่วนของซิลิกาต่ออลูมินาประมาณ 1.1 เมมเบรนที่ศึกษาได้แก่ เมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง เมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์เอ เมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์เอชนิดโอบ เมมเบรนพอลิซัลโฟน เมมเบรนซัลฟอนเตดพอลิซัลโฟน เมมเบรนพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์เอ และเมมเบรนซัลฟอนเตดพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์เอ การเชื่อมขวางเมมเบรนไคโตซานใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก การโอบเมมเบรนใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และใช้ซีโอไลต์เอในปริมาณร้อยละ 10-80 โดยน้ำหนัก สำหรับซัลฟอนเตดพอลิซัลโฟนใช้ไทรเมทิลซิลิลคลอโรซัลฟอนเนต (TMSCS) เป็นสารซัลฟอนเนชัน (sulfonating agent) พบว่าการเติมซีโอไลต์ ทำให้ค่าร้อยละการดูดซับน้ำ, ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน และค่าการนำโปรตอนเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงความหนา, ความสามารถทนแรงดึง และค่าการซึมผ่านแก๊สไฮโดรเจนลดลง เมมเบรนที่มีศักยภาพที่สุดคือ เมมเบรนไคโตซานที่เชื่อมขวางด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก และเติมซีโอไลต์ร้อยละ 50 โดยน้ำหนักของไคโตซาน แสดงสมบัติ ความสามารถทนแรงดึง ค่าการซึมผ่านแก๊สไฮโดรเจน ณ อุณหภูมิห้อง ค่าการแลกเปลี่ยนไอออน และค่าการนำโปรตอน ณ อุณหภูมิห้อง เท่ากับ 53.3 ± 0.6 เมกะปาสกาล, 187.0 ± 1.4 แบเรอร์, 5.24 ± 0.03 มิลลิลิตร/กรัม และ $5.1 \times 10^{-2} \pm 0.6 \times 10^{-3}$ ซีเมนส์/เซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่สมบัติข้างต้นของเมมเบรนเซลล์เชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์เนฟออน[®] 117 มีค่าเท่ากับ 36.0 ± 1.5 เมกะปาสกาล, $1,014 \pm 23.0$ แบเรอร์, 0.87 ± 0.09 มิลลิลิตร/กรัม และ $9.2 \times 10^{-2} \pm 2.0 \times 10^{-3}$ ซีเมนส์/เซนติเมตร ตามลำดับ การโอบด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกทำให้ได้ค่าการนำโปรตอนเทียบเท่ากับเมมเบรนเนฟออน[®] 117 ทุกช่วงอุณหภูมิ โดยทำให้ความสามารถทนแรงดึงลดลงเล็กน้อย และค่าการซึมผ่านแก๊สไฮโดรเจนสูงขึ้นเล็กน้อย

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่อนิสิต..... ชันทอง สุนทรภา
สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ชันทอง สุนทรภา
ปีการศึกษา.....2548.....

4772361123: MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: CHITOSAN / COMPOSITE MEMBRANE / PROTON CONDUCTIVITY

PRAPHOJ LAOMONGKONNIMIT: PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF CHITOSAN-ZEOLITE AND POLYSULFONE-ZEOLITE PROTON EXCHANGE MEMBRANE. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. KHANTONG SOONTARAPA, D. ENG, 88 pp. ISBN 974-53-2709-3.

In this research, chitosan and polysulfone were used as base polymers for preparing organic-inorganic composite membrane. The molecular weight, viscosity and degree of deacetylation of chitosan were 9.5×10^5 Dalton, $3,171 \pm 156$ cP. and $90.6 \pm 0.18\%$, respectively. The polysulfone with number average molecular weight of 16,000 was used. The selected inorganic was zeolite type A with Si to Al ratio of 1.1. The studied membranes were crosslinked chitosan, crosslinked chitosan-zeolite A, doped crosslinked chitosan-zeolite A, polysulfone, sulfonated polysulfone, polysulfone-zeolite A and sulfonated polysulfone-zeolite A. The chitosan was crosslinked by 4% by weight of sulfuric acid. The doping solution was 2% by weight of sulfuric acid. Zeolite A was incorporated in the range of 10-80% by weight. Trimethylsilyl chlorosulfonate ($(\text{CH}_3)_3\text{SiSO}_3\text{Cl}$) was used as polysulfone sulfonating agent. It was found that % water uptake, ion exchange capacity (IEC) and proton conductivity increased with zeolite content. However, % thickness change, tensile strength and hydrogen gas permeability were decreased. The most potential membrane was crosslinked chitosan with 4% sulfuric acid solution and containing 50% zeolite. Its characteristics on tensile strength, H_2 gas permeability at room temperature, ion exchange capacity, and proton conductivity at room temperature were 53.3 ± 0.6 MPa, 187.0 ± 1.4 barrer, 5.24 ± 0.03 meq/g and $5.1 \times 10^{-2} \pm 0.6 \times 10^{-3}$ S/cm, respectively. Those of commercial Nafion[®] 117 fuel cell membrane were 36.0 ± 1.5 MPa, $1,014 \pm 23.0$ barrer, 0.87 ± 0.09 meq/g and $9.2 \times 10^{-2} \pm 2.0 \times 10^{-3}$ S/cm, respectively. Doping with sulfuric acid solution improved the membranes proton conductivities equivalent to those of Nafion[®] 117 membrane in all range of temperature. The tensile strength and H_2 permeability were deteriorated insignificantly.

Department...Chemical Technology..... Student's signature... Praphej Laomongkonnimit
Field of study...Chemical Technology.....Advisor's signature... Khantong Soontarapa
Academic year..... 2005

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชันทอง สุนทรภา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา และความช่วยเหลือในงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านเชื้อเพลิง ภายใต้โครงการพัฒนา บัณฑิตศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ศูนย์ปิโตรเลียมและเทคโนโลยีปิโตรเคมี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจ ทำให้การทำงานวิจัยลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา-มารดาและทุกคนในครอบครัวที่ให้กำลังใจ, ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนที่ดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน.....	5
2.2 การพัฒนาเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนเชิงพาณิชย์.....	9
2.3 ไคตินและไคโตซาน.....	12
2.4 พอลิซัลโฟน.....	13
2.5 ซีโอไลต์.....	14
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
3. วิธีดำเนินงานวิจัย.....	18
3.1 สารเคมีที่ใช้.....	18
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	19
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	19
3.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	20

	หน้า
4. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย.....	30
4.1 สมบัติของโคโตซานและซีโอไลต์.....	30
4.2 โครงสร้างทางเคมี.....	31
4.3 ร้อยละการดูดซับน้ำ.....	33
4.4 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงความหนา.....	35
4.5 ความสามารถทนต่อแรงดึง.....	38
4.6 อุณหภูมิการสลายตัว.....	40
4.7 ค่าการซึมผ่านของแก๊ส.....	45
4.8 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน.....	49
4.9 ค่าการนำโปรตอน.....	50
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	58
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	58
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	60
รายการอ้างอิง.....	61
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ข้อมูลจากผลการทดลอง.....	64
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ.....	83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	88

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์สมบัติของเกล็ดโคโคซาน.....	21
ตารางที่ 4.1 สมบัติของโคโคซาน.....	30
ตารางที่ 4.2 สมบัติของซีโอไลต์.....	31
ตารางที่ 4.3 การซึมผ่านแก๊สออกซิเจน.....	45
ตารางที่ 4.4 การซึมผ่านแก๊สไฮโดรเจนของเมมเบรนโคโคซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์ ที่ถูกโดปด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 2.....	47
ตารางที่ 4.5 การนำโปรตอนของเมมเบรนโคโคซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์ ที่ถูกโดปด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 2	54
ตารางที่ ก.1 สมบัติของโคโคซานที่เตรียมได้.....	64
ตารางที่ ก.2 ค่าร้อยละการดูดซับน้ำและร้อยละการเปลี่ยนแปลงความหนา.....	64
ตารางที่ ก.3 ค่าความสามารถทนต่อแรงดึง.....	65
ตารางที่ ก.4 ค่าการซึมผ่านของแก๊ส.....	66
ตารางที่ ก.5 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน.....	74
ตารางที่ ก.6 ค่าการนำโปรตอน.....	75

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	หลักการทํางานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน.....	5
รูปที่ 2.2	โครงสร้างของเอทิลีนและเทอร์ฟลูออโรเอทิลีน.....	7
รูปที่ 2.3	โครงสร้างของซัลโฟเนตฟลูออโรเอทิลีน.....	8
รูปที่ 2.4	โครงสร้างของเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนที่มีการดูดซึมนํ้าเอาไว้.....	8
รูปที่ 2.5	การเตรียม Nafion [®] หรือ Perfluorosulfonic acid polymer ของ บริษัท DuPont.....	10
รูปที่ 2.6	การเปรียบเทียบโครงสร้างโมเลกุลของเมมเบรน Nafion [®] ที่ผลิตโดย บริษัท DuPont กับเมมเบรนฟลูออโรซัลโฟเนตไอโอโนเมอร์ที่ผลิตโดย บริษัท Dow Chemical.....	11
รูปที่ 2.7	โครงสร้างทางเคมีของโคโตซาน.....	12
รูปที่ 2.8	สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิซัลโฟน.....	14
รูปที่ 2.9	X-Ray Diffraction pattern ของซีโอไลต์เอ.....	15
รูปที่ 2.10	โครงสร้างของซีโอไลต์เอ.....	15
รูปที่ 2.11	ลักษณะผลึกของซีโอไลต์เอ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (SEM).....	16
รูปที่ 3.1	แผนภาพการเตรียมอนุภาคซัลโฟเนตพอลิซัลโฟน.....	21
รูปที่ 3.2	แผนภาพการเตรียมเมมเบรนโคโตซานเชื่อมขวาง.....	23
รูปที่ 3.3	แผนภาพการเตรียมเมมเบรนพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์ และ เมมเบรนซัลโฟเนตพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์.....	24
รูปที่ 3.4	เครื่อง Universal testing LLOYD Instruments LR 5K	25
รูปที่ 3.5	ชุดทดสอบการซึมผ่านของแก๊ส.....	28
รูปที่ 3.6	การวัดค่าการนำโปรตอนด้วยวิธี Four probe method.....	29
รูปที่ 4.1	FTIR spectra ของเมมเบรนโคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์ a) 0%zeolite b) 40%zeolite c) 80%zeolite.....	32
รูปที่ 4.2	FTIR spectra ของเมมเบรนพอลิซัลโฟนคอมโพสิต (i) Polysulfone (ii) SPSF (iii) Polysulfone-50% zeolite (iv) SPSF-50%zeolite	33

รูปที่ 4.3	การดูดซับน้ำของเมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์.....	34
รูปที่ 4.4	การดูดซับน้ำของเมมเบรนพอลิซิลิโคน-ซีโอไลต์ และซิลิโคนเตดพอลิซิลิโคน-ซีโอไลต์.....	35
รูปที่ 4.5	การเปลี่ยนแปลงความหนาของเมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์.....	36
รูปที่ 4.6	การเปลี่ยนแปลงความหนาและการดูดซับน้ำของเมมเบรนไคโตซาน เชื่อมขวาง-ซีโอไลต์.....	36
รูปที่ 4.7	การเปลี่ยนแปลงความหนาของเมมเบรนพอลิซิลิโคน-ซีโอไลต์ และเมมเบรนซิลิโคนเตดพอลิซิลิโคน-ซีโอไลต์.....	37
รูปที่ 4.8	การเปลี่ยนแปลงความหนาและการดูดซับน้ำของเมมเบรนพอลิซิลิโคน-ซีโอไลต์ และซิลิโคนเตดพอลิซิลิโคน-ซีโอไลต์.....	38
รูปที่ 4.9	ความสามารถทนต่อแรงดึงของเมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์.....	39
รูปที่ 4.10	ความสามารถทนแรงดึงของเมมเบรนพอลิซิลิโคน-ซีโอไลต์ และซิลิโคนเตดพอลิซิลิโคน-ซีโอไลต์.....	40
รูปที่ 4.11	อุณหภูมิการสลายตัวของเมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง.....	41
รูปที่ 4.12	อุณหภูมิการสลายตัวของเมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์.....	41
รูปที่ 4.13	อุณหภูมิการสลายตัวของเมมเบรนพอลิซิลิโคน.....	42
รูปที่ 4.14	อุณหภูมิการสลายตัวของเมมเบรนพอลิซิลิโคนที่เติมซีโอไลต์ ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก.....	43
รูปที่ 4.15	อุณหภูมิการสลายตัวของเมมเบรนซิลิโคนเตดพอลิซิลิโคน.....	44
รูปที่ 4.16	อุณหภูมิการสลายตัวของเมมเบรนซิลิโคนเตดพอลิซิลิโคนที่เติมซีโอไลต์ ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก.....	44
รูปที่ 4.17	การซึมผ่านของอากาศของเมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์.....	45
รูปที่ 4.18	การซึมผ่านของแก๊สไฮโดรเจนของ เมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน.....	46
รูปที่ 4.19	การซึมผ่านของแก๊สไฮโดรเจนของ เมมเบรนพอลิซิลิโคน-ซีโอไลต์ และซิลิโคนเตดพอลิซิลิโคน-ซีโอไลต์ ณ อุณหภูมิห้อง.....	43

รูปที่ 4.20	การซึมผ่านของแก๊สไฮโดรเจนของ เมมเบรนพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์ และซัลฟอนเนตพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	48
รูปที่ 4.21	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเมมเบรนไคโตซาน เชื่อมขวาง-ซีโอไลต์.....	49
รูปที่ 4.22	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของ เมมเบรนพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์ และซัลฟอนเนตพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์.....	50
รูปที่ 4.23	การนำโปรตอนของเมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์.....	51
รูปที่ 4.24	การนำโปรตอนของเมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์ที่ความชื้นต่างๆ.....	51
รูปที่ 4.25	การนำโปรตอนและความสามารถทนแรงดึงของเมมเบรนไคโตซาน เชื่อมขวาง-ซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	52
รูปที่ 4.26	กราฟอริเรเนียนซ์ของเมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์.....	53
รูปที่ 4.27	การนำโปรตอนของเมมเบรนพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์และซัลฟอนเนตพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์.....	55
รูปที่ 4.28	การนำโปรตอนของเมมเบรนพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์และซัลฟอนเนตพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์และซัลฟอนเนตพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	56
รูปที่ 4.29	การนำโปรตอนและความสามารถทนแรงดึงของเมมเบรนพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์ และซัลฟอนเนตพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์.....	56
รูปที่ 4.30	กราฟอริเรเนียนซ์ของเมมเบรนพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์ และซัลฟอนเนตพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์.....	57