

การเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์
และการประยุกต์ใช้ในกระบวนการแยกสาร

นางสาวสุชนี ทองสถิตย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2550

**PREPARATION OF MONTMORILLONITE-FILLED
CELLULOSE ACETATE MEMBRANE AND
ITS SEPARATION APPLICATIONS**

Suthanee Thongsathit

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2007**

การเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์
และการประยุกต์ใช้ในกระบวนการแยกสาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อ. ดร. วีระสุต สุขกำเนิด)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. รัตน์วรรณ เกียรติโกมล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร. ฉลองศรี พลัด)

กรรมการ

(รศ. ดร. ชัยยศ ตั้งสถิตย์กุลชัย)

กรรมการ

(ผศ. ดร. ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์)

กรรมการ

(ศ. ดร. ไพโรจน์ สัตยธรรม)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร. วรพจน์ ขำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ศุภณี ทองสถิตย์ : การเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์และการประยุกต์ใช้ในกระบวนการแยกสาร (PREPARATION OF MONTMORILLONITE-FILLED CELLULOSE ACETATE MEMBRANE AND ITS SEPARATION APPLICATIONS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.รัตนวรรณ เกียรติโกมล, 70 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียม และศึกษาสมบัติ รวมทั้งประสิทธิภาพการแยกสารของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่มีส่วนผสมของเซลลูโลสอะซิเตต (Cellulose Acetate, CA) และแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ (Montmorillonite, MMT) ซึ่งแร่ดินชนิดนี้เป็นสารประกอบอะลูมิเนียมซิลิเกต สามารถพบได้ทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทย การเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์ทำด้วยวิธี Phase Inversion โดยผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในอัตราส่วน 5-75 g MMT ต่อ 100 g CA แล้วทำการศึกษาสัณฐานวิทยาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และเทคนิค X-Ray Diffraction พร้อมทั้งศึกษาสมบัติทางความร้อนของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ด้วย Thermogravimetric Analysis ทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้ พร้อมทั้งทดสอบการซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์ จากนั้นหา Molecular Weight Cut-Off (MWCO) ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ โดยการทดสอบการแยกสปีนตรีที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพการแยกกรดฮิวมิกออกจากน้ำด้วยเครื่อง Batch Stirred Cell ที่ขนาดพื้นที่ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ 45.36 cm² โดยจะทำการทดลองที่ความดันในช่วง 1-3 bar ที่อุณหภูมิห้อง (30°C) เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายกรดฮิวมิกที่ใช้อยู่ในช่วง 50-200 ppm

ผลการทดลองพบว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้เป็นเยื่อแผ่นสังเคราะห์ประเภทนาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration) ที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบไม่สมมาตร (Asymmetric Membrane) ค่า MWCO ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตประมาณ 430 daltons ส่วนเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์มีค่า MWCO ประมาณ 380 daltons ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงให้เห็นว่าแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์มีการกระจายตัวสม่ำเสมอในเยื่อแผ่นสังเคราะห์

นอกจากนี้เยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ยังมีความทนต่อความร้อน และความสามารถในการกักกันโซเดียมคลอไรด์ สี Azo และกรดฮิวมิก ได้ดีกว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ไม่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ ค่าฟลักซ์และค่าการบวมตัวของเยื่อแผ่นสังเคราะห์จะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์ นอกจากนี้ยังพบว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์มีค่าฟลักซ์ และความสามารถในการกักกันสี Azo สูงกว่าการนำแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์มาอัดตัวเป็นแผ่น

จากการวิจัยนี้พบว่าปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในเชื้อแผ่นสังเคราะห์ที่เหมาะสม คือ 40 g MMT ต่อ 100 g CA

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

SUTHANEE THONGSATHIT : PREPARATION OF
MONTMORILLONITE-FILLED CELLULOSE ACETATE MEMBRANE
AND ITS SEPARATION APPLICATIONS. THESIS ADVISOR :
ASST. PROF. RATANAWAN KIATTIKOMOL, Ph.D., 70 PP.

MONTMORILLONITE/CELLULOSE ACETATE MEMBRANE/HUMIC ACID

The aim of this research is to prepare, characterize and determine the separation efficiency of membranes which are prepared from cellulose acetate (CA) and Montmorillonite (MMT). Montmorillonite is a smectite clay mineral based on an alumino-silicate structure which can be found throughout the world, including in Thailand. The membranes were prepared using the phase inversion method with clay mineral content varying from 5 to 75 g MMT per 100 g CA. The membrane morphological study was performed using scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD). The obtained samples were characterized by thermogravimetric analysis (TGA). Additionally, water adsorption and pure water permeability were determined. The separation of sodium chloride and azo dyes was performed in order to determine the molecular weight cut-off (MWCO) of the membranes. The separation application of Montmorillonite-filled cellulose acetate membrane was carried out using a batch stirred cell with a membrane area of 45.36 cm². In this study, the filtration system was operated with applied pressures of 1-3 bar at room temperature (30°C). The prepared membranes were used to remove humic acid from water with an initial concentration of humic acid in the range of 50-200 ppm.

The results demonstrated that the prepared membranes are the typical nanofiltration membranes, which are of the asymmetric type. The MWCO of the CA membrane is about 430 daltons and 380 daltons for the Montmorillonite-filled cellulose acetate membrane. Most of the Montmorillonite particles were distributed uniformly in the membrane. The Montmorillonite-filled cellulose acetate membrane has a higher thermal resistance and higher separation efficiency for sodium chloride azo dyes and humic acid than those of the pristine CA membrane. For the Montmorillonite-filled cellulose acetate membrane, the increase of Montmorillonite content in the membrane results in an increased rejection of organics and improves thermal stability. On the other hand, the flux and degree of swelling decrease with increasing load of Montmorillonite in the membrane. Moreover, the Montmorillonite-filled cellulose acetate membrane has advantages over compacted Montmorillonite in terms of the flux and rejection of azo dye. It is found that the most suitable amount of Montmorillonite content is 40 g MMT per 100 g CA.

School of Chemical Engineering

Academic Year 2007

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

Co-advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่อไปนี้ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ความช่วยเหลือ พร้อมทั้งให้กำลังใจ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ผศ. ดร. รัตนาวรรณ เกียรติโกมล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้มอบโอกาสในการทำงานวิจัยนี้ พร้อมทั้งกรุณาให้คำแนะนำ และคำปรึกษาในทุกด้าน รวมทั้งให้กำลังใจตลอดมา

ผศ. ดร. ฉลองศรี พลัด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ยิ่งในการทำการทำวิทยานิพนธ์

รศ. ดร. เอเดรียน พลัด และ อ. ดร. อิศรา ประมูลสุข ที่กรุณาให้แนะนำในการเขียนบทคัดย่อ ภาษาอังกฤษ

รศ. ดร. ชัยยศ ตั้งสติษฐ์กุลชัย อ. ดร. ชีระสุด สุขกำเนิด และ ผศ. ดร. ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ และตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์

คณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี รวมทั้งครู อาจารย์ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้แก่ผู้วิจัย เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณศรันย์ ดอกไม้กุล ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเรื่องอุปกรณ์การทดลอง และสถานที่ทดลอง

คุณจริยาพร ศรีวิไลลักษณ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจทานรูปแบบการจัดทำ วิทยานิพนธ์

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับเงินสนับสนุนการวิจัย

บริษัท ไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์แร่ดินมอนต์โมริล โคลไนต์

อุทัยวรรณ ปาณะศรี อภิขญา เจนการ จตุรพร นิมเจริญ และอรรถพล มณีแดง ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งร่างกาย และแรงใจ

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ซึ่งเป็นกำลังใจอันสำคัญยิ่ง ที่ให้การอุปการะเลี้ยงดู พร้อมทั้งสนับสนุนส่งเสริมการศึกษา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จ อีกทั้งขอบคุณ น้องวิภาวี และน้องสุวพันธ์ ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้เสมอมา

สุรณี ทองสถิตย์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ท
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
1.2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป.....	3
1.2.2 วัตถุประสงค์เฉพาะ.....	3
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	4
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....	6
2.1.1 หลักการ.....	6
2.1.2 ความสมมาตร/ไม่สมมาตร	7
2.1.3 วัสดุที่ใช้ในการเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....	8
2.1.4 การเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....	9
2.1.5 การจำแนกประเภทของเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....	10
2.1.6 ค่าฟลักซ์และการกักกัน.....	12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2	แร็คดินมอนต์โมริลโลไนต์.....	15
2.3	กรดฮิวมิก.....	18
2.4	เมธิลออเรนจ์.....	19
2.5	อิริโอโครม แบลค ที.....	20
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	21
3.1	วิธีวิจัย.....	21
3.2	เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	21
3.2.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	21
3.2.2	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	22
3.3	วิธีการทดลอง.....	22
3.3.1	การเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....	22
3.3.2	การศึกษาสัณฐานวิทยาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	24
3.3.3	การศึกษาสัณฐานวิทยาของ เยื่อแผ่นสังเคราะห์ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction.....	24
3.3.4	การวิเคราะห์ทางความร้อนของเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....	24
3.3.5	การทดสอบการทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....	24
3.3.6	การวัดการดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....	24
3.3.7	การทดสอบการซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์.....	25
3.3.8	การทดสอบประสิทธิภาพการแยกกรดฮิวมิกจากน้ำ ด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์	25
3.3.9	การทดสอบประสิทธิภาพการแยกเมทิลออเรนจ์จากน้ำ ด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....	26
3.3.10	การทดสอบประสิทธิภาพการแยกอิริโอโครม แบลค ทีจากน้ำ ด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....	26
3.3.11	การทดสอบประสิทธิภาพการโซเดียมคลอไรด์จากน้ำ ด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....	26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.12 การวัดความเข้มข้นสารละลาย	
ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง Spectronic 20.....	26
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล.....	29
4.1 การศึกษาสมบัติของเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....	29
4.1.1 ความหนาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....	30
4.1.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ด้วย	
กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	30
4.1.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์	
ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction	34
4.1.4 การวิเคราะห์ทางความร้อนของเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....	35
4.1.5 การทดสอบการทนต่อแรงดึง.....	37
4.1.6 การทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....	37
4.2 การทดสอบประสิทธิภาพการแยกสารด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....	38
4.2.1 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์.....	38
4.2.2 ความต้านทานการไหลของเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....	40
4.2.3 การแยกเกลือโซเดียมคลอไรด์ออกจากน้ำ.....	41
4.2.4 การแยกเมธิลแอลกอฮอล์ออกจากน้ำ.....	42
4.2.5 การแยกอีพีทีออกจากน้ำ.....	44
4.2.6 การหาค่า Molecular Weight Cut-Off ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....	47
4.3 การแยกกรดฮิวมิคจากน้ำ.....	48
4.3.1 การศึกษาผลความดันที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกกรดฮิวมิคจากน้ำ.....	48
4.3.2 การศึกษาผลของความเริ่มต้นของกรดฮิวมิค	
ที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกสาร	49
4.3.3 การศึกษาประสิทธิภาพการแยกกรดฮิวมิคจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์	
เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ที่เวลาต่าง ๆ	49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5	สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	51
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	51
5.2	ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยต่อไป.....	52
	รายการอ้างอิง.....	53
	ภาคผนวก.....	57
	ภาคผนวก ก. กราฟมาตรฐาน.....	57
	ภาคผนวก ข. ผลการทดลอง.....	60
	ภาคผนวก ค. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	68
	ประวัติผู้เขียน.....	70

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ประเภทของการแยกสารด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ (Mulder, 1996)..... 10
2.2	ค่าการกักกันสาร (%) ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิดต่าง ๆ 12
2.3	องค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ (แสดงเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก)19
4.1	ค่าสมบัติต่าง ๆ จากการทดสอบเชิงความร้อนด้วย TGA.....35
4.2	ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....37
4.3	ค่าความต้านทานการไหลในส่วนของแร่ดินที่ผสมลงไปเยื่อแผ่นสังเคราะห์..... 41
4.4	การทดสอบการแยกสี Azo ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบต่าง ๆ46
ข.1	ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....61
ข.2	ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นสังเคราะห์.....61
ข.3	ผลการทดสอบการซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์..... 64
ข.4	ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแยกเมธิลออเรนจ้ออกจากน้ำ..... 65
ข.5	ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแยกอีบีทีออกจากน้ำ.....66
ข.6	ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแยกกรดซิวมิคจากน้ำออกจากน้ำ.....67

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แสดงการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์..... 6
2.2	แบบจำลองภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นแบบต่าง ๆ 7
2.3	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสอะซิเตต..... 8
2.4	โครงสร้างของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์..... 17
2.5	ภาพขยายพื้นผิวของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์..... 17
2.6	โครงสร้างของกรดฮิวมิก (Stevenson, 1982) 18
2.7	กระบวนการสังเคราะห์สารฮิวมิกตามธรรมชาติ..... 19
2.8	โครงสร้างทางเคมีของเมธิลออเรนจ์..... 20
2.9	โครงสร้างทางเคมีของอีบีที..... 20
3.1	ชุดกรอง Batch Stirred Cell..... 22
3.2	การเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์..... 23
3.3	แผนภาพแสดงการเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์..... 27
3.4	แผนภาพแสดงการทดสอบสมบัติของเยื่อแผ่นสังเคราะห์..... 28
4.1	เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้..... 29
4.2	ความหนาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ต่าง ๆ..... 30
4.3	ภาพภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นสังเคราะห์..... 31
4.4	ภาพพื้นผิวหน้าของเยื่อแผ่นสังเคราะห์..... 32
4.5	Thermogram ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตต ที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ 33
4.6	X-Ray Pattern ของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ และเยื่อแผ่นสังเคราะห์..... 34
4.7	Thermogram ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์..... 36
4.8	ค่าการบวมตัวของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ที่ปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ต่าง ๆ 38
4.9	ฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ที่ความดันต่าง ๆ 39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์ และค่าการบวมตัวของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ปริมาณแร่ดินมอนต์โมริล โลไนต์ต่าง ๆ 40
4.11	ค่าความต้านทานการไหลของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ปริมาณแร่ดินมอนต์โมริล โลไนต์ต่าง ๆ..... 41
4.12	ค่าการกักกันโซเดียมคลอไรด์ด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่มีปริมาณแร่ดินมอนต์โมริล โลไนต์ต่าง ๆ 42
4.13	ประสิทธิภาพการแยกเมธิลออเรนจ์จากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ความดันต่าง ๆ 43
4.14	ค่าฟลักซ์ของเพอร์มิเอทในการแยกเมธิลออเรนจ์จากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ความดันต่าง ๆ 43
4.15	ประสิทธิภาพการแยกอีพีทีจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ความดันต่าง ๆ 44
4.16	ค่าฟลักซ์ของเพอร์มิเอทในการแยกอีพีทีจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ความดันต่าง ๆ 45
4.17	ประสิทธิภาพการแยกอีพีทีจากน้ำของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริล โลไนต์ที่เวลาต่าง ๆ 45
4.18	ค่าการกักกันสารของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่น้ำหนักโมเลกุลของตัวละลายต่าง ๆ..... 47
4.19	ประสิทธิภาพการแยกกรดฮิวมิคจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ความดันต่าง ๆ 48
4.20	ประสิทธิภาพการแยกกรดฮิวมิคจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายกรดฮิวมิคต่าง ๆ 49
4.21	ประสิทธิภาพการแยกกรดฮิวมิคจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เวลาต่าง ๆ..... 50
ก.1	กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเมธิลออเรนจ์กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 463 nm 58
ก.2	กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายอีพีทีกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 610 nm 58
ก.3	กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกรดฮิวมิคกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400 nm 59

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.4	กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมคลอไรด์กับค่าการนำไฟฟ้า 59
ข.1	อุปกรณ์ และขั้นตอนก่อนการทดสอบการทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นสังเคราะห์..... 62
ข.2	ขั้นตอนหลังการทดสอบการทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นสังเคราะห์..... 63

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ΔP	=	ผลต่างของความดันระหว่างเยื่อแผ่นสังเคราะห์
$\Delta \pi$	=	ผลต่างของความดันออสโมติกระหว่างเยื่อแผ่นสังเคราะห์
Δt	=	เวลาที่ใช้ในการแยกสาร
θ	=	The Bragg Angle
μ_V	=	ความหนืดของสารละลายที่ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์
A	=	พื้นที่เยื่อแผ่นสังเคราะห์
C_F	=	ความเข้มข้นของสารป้อน
C_P	=	ความเข้มข้นของสารด้านเพอร์มิเอท
DS	=	ค่าการบวมตัวของเยื่อแผ่นสังเคราะห์
d_{001}	=	ระยะห่างระหว่างชั้นโครงสร้างของเรตินมอนด์โมริลโลไนต์
J_V	=	ฟลักซ์ของสารที่ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์
J_w	=	ฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ที่ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์
L_p	=	สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน
%R	=	ค่าการกักกัน
R_f	=	ความต้านทานการไหลเนื่องจากการเกิดการอุดตันของเยื่อแผ่นสังเคราะห์
R_m	=	ความต้านทานการไหลของเยื่อแผ่นสังเคราะห์
R_p	=	ความต้านทานจากการเกิดโพลาไรซ์
R_t	=	ความต้านทานการไหลรวม
V_0	=	ปริมาตรเริ่มต้น
V_p	=	ปริมาตรของเพอร์มิเอท
V_R	=	ปริมาตรของรีเทนเทท
W_0	=	น้ำหนักของเยื่อแผ่นสังเคราะห์แห้ง
W_∞	=	น้ำหนักของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ชุ่มน้ำ
CA	=	Cellulose Acetate
CP	=	Concentration Polarization
CEC	=	Cation Exchange Capacity
EBT	=	Eriochrome Black T

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

MF	=	Microfiltration
MMT	=	Montmorillonite
MWCO	=	Molecular Weight Cut-Off
NF	=	Nanofiltration
RO	=	Reverse Osmosis
SEM	=	Scanning Electron Microscopy
THM	=	Trihalomethane
TGA	=	Thermogravimetric Analysis
UF	=	Ultrafiltration
U.S.EPA	=	United State Environmental Protection Agency
XRD	=	X-Ray Diffraction

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในกระบวนการผลิตน้ำประปาจะเกิดสารผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (Chlorination) สารเคมีกลุ่มใหญ่ที่เกิดมากสุดในกระบวนการนี้คือ สารประกอบไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethane, THMs) และรองลงมาคือ กรดฮาโลอะซิติก (Haloacetic Acid) สารทั้งสองกลุ่มเป็นสารก่อมะเร็งในสิ่งมีชีวิต ดังนั้น สำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (United State Environmental Protection Agency; U.S.EPA) จึงได้กำหนดปริมาณไตรฮาโลมีเทน และกรดฮาโลอะซิติก ต้องไม่เกิน 80 และ 60 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ สารเหล่านี้โดยปกติจะไม่พบตามธรรมชาติ แต่จะเกิดจากกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดกับสารอินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น กรดฮิวมิก ดังนั้น เพื่อเป็นการลดความเสี่ยงในการเกิดสารก่อมะเร็ง จึงควรกำจัดกรดฮิวมิกในน้ำก่อนที่เข้าสู่กระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

กรดฮิวมิกพบได้ทั้งในน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน กรดฮิวมิกสามารถเกิดได้เองตามธรรมชาติ เช่น เกิดจากย่อยสลายของซากพืชที่จมอยู่ในน้ำ อีกทั้งยังมีการใช้ประโยชน์จากกรดฮิวมิกอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ทำให้กรดฮิวมิกแพร่ไปสู่แหล่งน้ำได้ง่าย กรดฮิวมิกมีสมบัติที่ไม่มีพิษ และไม่มีอันตรายต่อสุขภาพโดยตรง แต่จะไปลดคุณภาพของน้ำ คือทำให้สีผิดไปจากปกติ (ปิยะภรณ์ จารุงศ์, 2545) นอกจากนี้กรดฮิวมิกมีความสามารถสูงในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสามารถรวมตัวกับประจุโลหะได้ (Amarasiriwardena, Siripinyanond, and Barnes, 2000) อีกทั้งมีสมบัติที่เป็นสารอินทรีย์จึงสามารถสะสมสารประกอบอินทรีย์ประเภทที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) รวมทั้งสารฆ่าแมลง และที่สำคัญคือ กรดฮิวมิกเป็นสารตั้งต้นของสารก่อมะเร็ง (ปิยะรัตน์ สาระวงศ์, 2545) ดังที่ได้กล่าวข้างต้น

ในเดือนตุลาคม 2539 ถึง เมษายน 2540 กิจชัย และคณะ ได้ทำการสำรวจน้ำประปาในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลพบว่า มีน้ำประปาร้อยละ 17.5 จาก 143 ตัวอย่างที่มีปริมาณ THMs เกิน 80 $\mu\text{g/L}$ ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน และน้ำประปาชนบทที่สุ่มตรวจในจังหวัดนครราชสีมา 2 แห่ง จาก 9 แห่งที่มีปริมาณ THMs เกินค่ามาตรฐาน ทั้งนี้พบว่าปริมาณกรดฮิวมิกมีความสัมพันธ์กับปริมาณ THMs ที่เกิดขึ้น (ราชนัน ธีระพิทยาตระกูล, 2545) ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานสำหรับความเข้มข้นกรดฮิวมิกที่ยอมรับให้ปนเปื้อนในน้ำ แต่ในบางประเทศ เช่น สาธารณรัฐเชค

กำหนดความเข้มข้นของกรดอิมิกที่ยอมให้ปนเปื้อนในน้ำได้ไม่เกิน 2.5 mg/L ถึงแม้ว่าประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดปริมาณกรดอิมิก กรดฮาโลอะซีติก และไตรฮาโลมีเทน ที่ยอมให้ปนเปื้อนในน้ำก็ตาม แต่เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคจึงจำเป็นต้องเตรียมการเพื่อปฏิบัติตามมาตรฐานที่กำหนดเนื่องจากระบบประปาในประเทศไทยมีการใช้คลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและราคาถูก

ในระบบการแยกสารต่าง ๆ มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะให้สารมีความบริสุทธิ์ หรือเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสาร ทางเลือกหนึ่งของการแยกสาร คือการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ (Membrane Separation Process) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการที่ต้องการความบริสุทธิ์ของสารมาก ๆ เนื่องจากการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการแยกสูงแม้ในระดับไอออน เช่น ในกระบวนการผลิตยา (Kesting, 1985) การกำจัดเกลือออกจากน้ำ (Desalination) โดยการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์เริ่มได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปี ค.ศ. 1960 เมื่อ Loeb และ Sourirajan ค้นพบเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่มีลักษณะ โครงสร้างเป็นแบบไม่สมมาตร (Asymmetric Membrane) ซึ่งเตรียมด้วยวิธี Phase Inversion เยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบไม่สมมาตรนั้นมีลักษณะชั้นผิวที่บางทำให้ความต้านทานการไหลลดลง เป็นผลให้ฟลักซ์ (Flux) สูง (Baker, 2004) แต่ข้อจำกัดของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ คือ ส่วนมากเยื่อแผ่นสังเคราะห์ผลิตจากพอลิเมอร์ ซึ่งบางชนิดเป็น Biopolymer ทำให้ไม่ทนต่อสารเคมี ความร้อน และการทำลายของจุลินทรีย์ ดังนั้น ในปัจจุบันจึงมีการพัฒนาเทคนิคต่าง ๆ เพื่อพัฒนาสมบัติของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ อีกแนวทางหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจ ก็คือ การผสมอนุภาคของสารอนินทรีย์ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์พอลิเมอร์ โดยงานวิจัยที่พบส่วนมากจะเป็นการเติมสารจำพวกซีโอไลต์ (Zeolite) เพื่อช่วยเพิ่มสมรรถนะของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ เช่น งานของ Bhat and Aminabhavi (2006) ได้ทำการเติมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ลงในเยื่อแผ่นสังเคราะห์โซเดียมแอลจิเนต (Sodium Alginate) พบว่ามีส่วนช่วยในเรื่องการเลือกผ่าน (Selectivity) ในกระบวนการ Pervaporation ที่แยกน้ำออกจากสารละลายอินทรีย์เข้มข้น เนื่องจากไปช่วยเพิ่มความชอบน้ำ (Hydrophilic) และเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำ ทำให้สารมีความบริสุทธิ์มากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มในเรื่องของการเสริมคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Property) และการทนต่อความร้อน (Thermal Resistance) ในปี ค.ศ. 2006 Odour and Whitwort ได้ทำการทดลองนำแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์มาอัดตัวในลักษณะที่เป็นแผ่นเพื่อใช้ในการแยกสีออกจากน้ำ ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพดีแต่มีค่าฟลักซ์ต่ำ และการนำมาใช้งานไม่สะดวก ดังนั้น หากนำแร่ดินผสมกับพอลิเมอร์แล้วผลิตเป็นเยื่อแผ่นสังเคราะห์จะช่วยกำจัดปัญหานี้ไปได้

ความมุ่งหมายของงานวิจัยนี้ คือ การเติมอนุภาคสารอะลูมิโนซิลิเกต (Alumino Silicate) ในสารละลายพอลิเมอร์เพื่อนำมาผลิตเยื่อแผ่นสังเคราะห์ พร้อมทั้งศึกษาสมบัติ และทดสอบประสิทธิภาพการแยกสารของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้ การแยกสารด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ใน

งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่กระบวนการ ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration) อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration) และ นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration) ซึ่งกระบวนการเป็นการแยกโดยอาศัยกลไกการคัดขนาด (Sieving Mechanism) โดยมีแรงขับเคลื่อน (Driving Force) คือ ความแตกต่างของความดัน พอลิเมอร์ที่เลือกใช้ คือ เซลลูโลสอะซิเตต (Cellulose Acetate) ซึ่งเหมาะที่จะนำมาทำเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ประเภทอัลตราฟิลเตรชัน ไมโครฟิลเตรชัน นาโนฟิลเตรชัน และออสโมซิสผันกลับ (Mulder, 1996) โดยพอลิเมอร์ที่นำมาศึกษาเป็นพอลิเมอร์ประเภทที่ชอบน้ำ (Hydrophilic Polymer) เพื่อที่จะได้เลือกดูดซับน้ำและให้น้ำผ่านได้ดี อนุภาคสารอนินทรีย์ที่เลือกใช้ คือ แร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ ซึ่งเป็นแร่ดินอะลูมิเนียมซิลิเกต เป็นแร่ดินธรรมชาติที่สามารถพบได้ในประเทศไทย ทำให้แร่ดินชนิดนี้มีราคาถูก คือ ราคาภิโกรัมละ 7 บาท (ราคาจากบริษัท ไทยนิปปอนเคมีอุตสาหกรรม จำกัด) นอกจากนี้แร่ดินชนิดนี้ยังมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ สามารถดูดซับน้ำและสารที่มีขี้เข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตที่เรียงตัวเป็นชั้น ๆ และแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์สามารถขยายตัวได้เมื่ออยู่ในของเหลว การเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์จะใช้วิธีการเปลี่ยนเฟส (Phase Inversion) เพื่อที่จะได้เยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบไม่สมมาตร

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ และพัฒนาสมบัติ พร้อมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการแยกสารด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ทำจากพอลิเมอร์โดยการเติมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ลงในสารละลายพอลิเมอร์ โดยเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์ด้วยวิธี Phase Inversion

1.2.2 วัตถุประสงค์เฉพาะ

- เพื่อศึกษาผลของปริมาณแร่ดินในเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกสารของเยื่อแผ่นสังเคราะห์
- เพื่อศึกษาผลของผลต่างความดันที่ใช้แยกที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกสารด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์
- เพื่อศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology) ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เตรียมได้
- เพื่อศึกษาสมบัติของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้
- เพื่อศึกษาผลของความต้านทานการไหลเมื่อเติมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์
- เพื่อหา Molecular Weight Cut-Off (MWCO) ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้

- เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายกรดสวิตมิกที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกสารด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1.3.1 เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้เป็นเยื่อแผ่นสังเคราะห์อัลตราฟิลเตรชัน และเยื่อแผ่นสังเคราะห์นาโนฟิลเตรชัน

1.3.2 เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้มีลักษณะพื้นฐานเป็นแบบไม่สมมาตร

1.3.3 เมื่อเพิ่มปริมาณแร่ดินในเยื่อแผ่นสังเคราะห์จะมีความทนต่อความร้อนมากขึ้น

1.3.4 ความดันที่ใช้ในการแยกสารต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการแยกสารของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ต่างกัน

1.3.5 เมื่อปริมาณแร่ดินในเยื่อแผ่นสังเคราะห์ต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการแยกสารของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ต่างกัน

1.3.6 เมื่อปริมาณแร่ดินในเยื่อแผ่นสังเคราะห์ต่างกันจะทำให้ฟลักซ์ของสารที่ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์มีค่าต่างกัน

1.3.7 ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ต่างกันของกรดสวิตมิกจะทำให้ประสิทธิภาพการแยกสารของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ต่างกัน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 เตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ธรรมชาติขนาดอนุภาคน้อยกว่า 75 μm ที่มีปริมาณแร่ดินตั้งแต่ 5-70% โดยน้ำหนัก

1.4.2 ศึกษาพื้นฐานวิทยาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) เพื่อศึกษาการกระจายตัวของแร่ดินในเยื่อแผ่นสังเคราะห์ และเพื่อศึกษาความสมมาตร/ไม่สมมาตรของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

1.4.3 ศึกษาพื้นฐานวิทยาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD) เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของแร่ดินในเยื่อแผ่นสังเคราะห์

1.4.4 ทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้ด้วยเครื่อง TGA (Thermogravimetric Analysis) เพื่อศึกษาการทนต่อความร้อนของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้

1.4.5 ทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้

1.4.6 ทดสอบประสิทธิภาพการแยกสาร และหาฟลักซ์ของสารที่ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ด้วยเครื่อง Batch Stirred Cell

1.4.7 ทาค่า MWCO ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ด้วยการทดสอบการแยก โซเดียมคลอไรด์ เมธิลออเรนจ์ และอิริโอโครม แบลค ที่ ออกจากรน้ำ

1.4.8 ดำเนินการทดลองแยกกรดกรดชีวมีคความเข้มข้นเริ่มต้น 50-200 ppm ออกจากรน้ำ ที่ความดัน 1-3 bar

1.4.9 พอลิเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ เซลลูโลสอะซิเตต (Cellulose Acetate)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 มีการพัฒนาประสิทธิภาพในการแยกสารของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

1.5.2 ช่วยพัฒนาสมบัติทางกายภาพของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ทำจากพอลิเมอร์ ทั้งคุณสมบัติเชิงความร้อน และความทนต่อสารเคมี

1.5.3 เป็นการนำวัสดุธรรมชาติที่มีในประเทศมาใช้ เพื่อลดต้นทุนการผลิตเยื่อแผ่นสังเคราะห์

1.5.4 สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาปรับใช้กับการแยกสาร

1.5.5 เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากรน้ำ

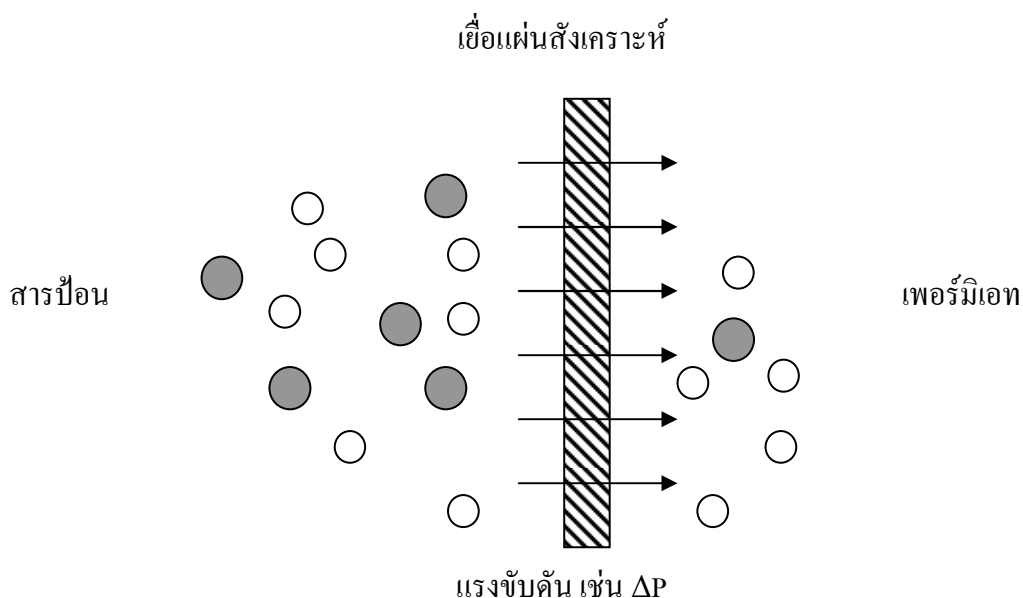
บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ (Membrane Separation Process)

2.1.1 หลักการ

การแยกสารด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์เป็นกระบวนการหนึ่งในการแยกสาร (Separation Process) และการทำบริสุทธิ์ (Purification) หรือเพิ่มความเข้มข้นโดยการแยกจะต้องใช้แรงขับเคลื่อนตามแต่ชนิดของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ เป็นการยากที่จะให้คำจำกัดความของการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ แต่อาจกล่าวอย่างกว้าง ๆ ได้ว่า เยื่อแผ่นสังเคราะห์เป็นตัววางกั้นระหว่างเฟสการไหลสองเฟส โดยเยื่อแผ่นสังเคราะห์มีสมบัติที่ยอมให้สารบางชนิดผ่านได้ (Mulder, 1996) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 สารละลายที่สามารถผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ได้ คือ เพอร์มิเอท (Permeate) ส่วนสารที่ไม่สามารถผ่านได้ คือ รีเทนเนท (Retentate หรือ Concentrate) โดยการถ่ายโอนมวลจะเกิดขึ้นที่ความหนาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ เยื่อแผ่นสังเคราะห์นั้นจะมีความหนาน้อยกว่าด้านกว้างและด้านยาวเป็นอย่างมาก



รูปที่ 2.1 แสดงการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์

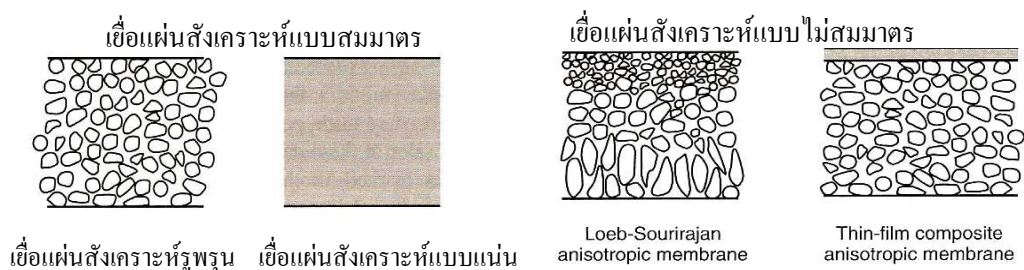
ยุคทองของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เริ่มในปี ค.ศ. 1960 เมื่อ Loeb และ Sourirajan ค้นพบเยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบไม่สมมาตร (Asymmetric Membrane) ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อ 2.1.2 เป็นครั้งแรกโดยใช้กระบวนการเปลี่ยนเฟส (Phase Inversion) จากนั้นก็มีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านกระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์มาอย่างต่อเนื่อง เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เป็นแบบไม่สมมาตรนั้นจะมีชั้นผิว (Skin) ที่บางมาก ซึ่งจะไปช่วยลดความต้านทานการไหล และทำให้ฟลักซ์สูงขึ้น (Tsujita, 1992)

เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่มีสมรรถนะสูง คือ เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่มีสมบัติดังต่อไปนี้

- 1) มีฟลักซ์ และการเลือกผ่านสูง
- 2) มีความแข็งแรงเชิงกล
- 3) ทนต่อสารเคมี และความร้อนภายใต้สภาวะที่ดำเนินงาน
- 4) ราคาไม่แพง

2.1.2 ความสมมาตร/ไม่สมมาตร (Mulder, 1996)

การที่เยื่อแผ่นจะมีความสมมาตร (Symmetric) หรือ ไม่สมมาตร (Asymmetric) ขึ้นกับวิธีการผลิต เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่สมมาตรจะมีโครงสร้างสม่ำเสมอตลอดชั้นความหนา ในทางตรงกันข้ามเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ไม่สมมาตรประกอบด้วยชั้นผิวที่มีโครงสร้างแน่นกว่าชั้นล่าง โดยชั้นผิวจะทำหน้าที่กักกั้นสาร ส่วนชั้นล่างทำหน้าที่เสริมความแข็งแรง โดยที่เยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบไม่สมมาตรยังแบ่งได้เป็น เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ชั้นผิวกับชั้นล่างเป็นวัสดุชนิดเดียวกันเรียกว่า เยื่อแผ่นมีชั้นผิว (Integrally Skinned Membrane) และเยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบที่ชั้นผิวกับชั้นล่างทำมาจากวัสดุต่างชนิดกันเรียกว่า เยื่อแผ่นเชิงประกอบ (Composite Membrane) แบบจำลองลักษณะของเยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบสมมาตรจะมีสมบัติการถ่ายโอนมวลเหมือนกันตลอดภาคตัดขวาง แต่เยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบไม่สมมาตรนั้นจะมีสมบัติการถ่ายโอนมวลต่างกันไปตามลักษณะโครงสร้าง โดยส่วนมากการถ่ายโอนมวลจะเกิดขึ้นที่ชั้นผิว

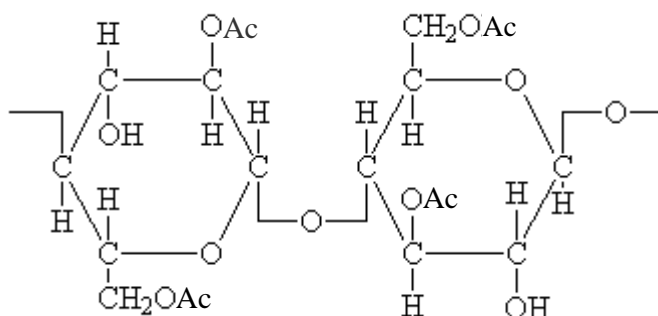


รูปที่ 2.2 แบบจำลองภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบต่าง ๆ (Bager, 2004)

2.1.3 วัสดุที่ใช้ในการเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์

มีวัสดุหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้ผลิตเยื่อแผ่นสังเคราะห์ได้ทั้ง พอลิเมอร์ โลหะ เซรามิก และซีโอไลต์ เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ใช้งานมากกว่าร้อยละ 90 ผลิตจากพอลิเมอร์อินทรีย์ (รัตน จิระรัตนานนท์, 2543) ในที่นี้จะกล่าวถึงพอลิเมอร์อินทรีย์ประเภทเซลลูโลส

เซลลูโลส (Cellulose) เป็นพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ที่สามารถสังเคราะห์ได้จากพืช มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 5,000-5,000,000 ส่วนที่เป็นกลูโคสจะมีหมู่ Hydroxyl อยู่ 3 ตัว ซึ่งมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี สามารถเกิดเป็นเอสเทอร์ (Ester) เช่น เซลลูโลสอะซิเตต เซลลูโลสไนเตรต (Cellulose Nitrate) และอีเทอร์ (Ether, Ethyl Cellulose) แต่ละหน่วยของกลูโคสเชื่อมด้วย 1,4-Glucosidic Linkage เนื่องจากลักษณะสายโซ่พอลิเมอร์เป็นแบบโซ่ตรงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึก และแม้ว่าเซลลูโลสจะเป็นพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำแต่เซลลูโลสก็ไม่ละลายน้ำ เนื่องจากความเป็นผลึก และพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของหมู่ Hydroxyl (Mulder, 1996)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสอะซิเตต

เซลลูโลสจะใช้มากในการผลิตเยื่อแผ่นสังเคราะห์สำหรับกระบวนการแยกแบบไดอะไลซิส (Dialysis) ส่วน Cellulose Derivative เช่น เซลลูโลสไนเตรต และเซลลูโลสอะซิเตต ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.3 ใช้สำหรับผลิตเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ใช้ในกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน อัลตราฟิลเตรชัน นาโนฟิลเตรชัน และออสโมซิสผันกลับ ส่วนเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสไตรอะซิเตต (Cellulose Triacetate, CTA) ใช้สำหรับกระบวนการกำจัดเกลือด้วยออสโมซิสผันกลับ หมู่ Hydroxyl (-OH) ของเซลลูโลสอะซิเตตจะเป็นส่วนที่ชอบน้ำซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ทำให้สามารถที่จะให้น้ำซึมผ่านได้ดี

สาเหตุที่ใช้เซลลูโลสอะซิเตดในงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่นำไปสร้างเยื่อแผ่นสังเคราะห์ได้ดี เพราะเซลลูโลสเป็นวัสดุที่ชอบน้ำทำให้น้ำผ่านได้ดีเกิดการอุดตันได้ยาก (รัตนจิระรัตนานนท์, 2543) แต่เซลลูโลสก็มีความว่องไวต่อความร้อนและสารเคมี ในสภาพที่เป็นค้างจะเกิดปฏิกิริยา Hydrolysis อย่างรวดเร็ว เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้จะต้องใช้งานเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมจากพอลิเมอร์ประเภทเซลลูโลสที่ค่า pH อยู่ในช่วง 4-6.5 ที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ผลิตจากเซลลูโลสประเภทต่าง ๆ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ประเภท Biopolymer ซึ่งไม่ทนต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ จึงได้มีการพัฒนานำสารอนินทรีย์มาเติมเพื่อช่วยพัฒนาคุณสมบัติ และเพิ่มการทนต่อความร้อนและสารเคมีของพอลิเมอร์ เช่น การผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์กับพอลิเอทิลีนเพื่อผลิต Nanocomposites (Park, Li, and Hong, 2005) การผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์กับ Polymethyl Methacrylate (Costache, Wang, Heidecker, and Manias, 2005) การผสมลิเทียมคลอไรด์กับเซลลูโลสอะซิเตด (Gindl and Keckes, 2005) การผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์กับเซลลูโลสอะซิเตดเพื่อผลิต Nanocomposites (Wibowo et al., 2005) โดยทั้งหมดพบว่า การผสมสารอนินทรีย์กับพอลิเมอร์เพื่อทำเป็นวัสดุเชิงประกอบนั้นสามารถช่วยให้การทนต่อความร้อน และสมบัติเชิงกลดีขึ้น ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ผสมในสารละลายเซลลูโลสอะซิเตด เพื่อผลิตเยื่อแผ่นสังเคราะห์

2.1.4 การเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์

การเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์มีอยู่หลายเทคนิคด้วยกัน เช่น การเปลี่ยนเฟส การกัดรอย (Track Etching) การดึงยืด (Stretching) เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวถึงเทคนิคการเปลี่ยนเฟสด้วยวิธี Immersion Precipitation ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุด (ชันทอง สุนทรภา, 2547) โดยใช้หลักการความไม่เสถียรทางเทอร์โมไดนามิกส์ของระบบสารสามชนิด (Ternary System) ได้แก่ พอลิเมอร์ ตัวทำละลาย และสารที่ไม่ใช่ตัวทำละลาย โดยหลักการของวิธีนี้ คือ เมื่อขึ้นรูปพอลิเมอร์ให้เป็นแผ่นฟิล์มแล้วระเหยตัวทำละลายบางส่วน จากนั้นแช่ลงในสารที่ไม่ใช่ตัวทำละลาย สารละลายพอลิเมอร์จะกลายเป็นระบบของเหลวสองเฟส โดยของเหลวเฟสหนึ่งมีความเข้มข้นของพอลิเมอร์สูงซึ่งจะกลายเป็นเนื้อของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ส่วนของเหลวอีกเฟสหนึ่งเป็นเฟสที่มีพอลิเมอร์น้อยก็จะกลายเป็นช่องว่าง หรือรูพรุนของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ และนอกจากนี้ก็ต้องทำการปรับสภาพเยื่อแผ่นสังเคราะห์ด้วยความร้อนหรือความดัน ในงานวิจัยนี้จะทำการปรับสภาพเยื่อแผ่นสังเคราะห์ด้วยวิธีทางความร้อนที่เรียกว่า Annealing โดยการแช่ในน้ำร้อน ความหนาของชั้นผิว และลักษณะสัณฐานของชั้นรองรับรูพรุนในเยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบไม่สมมาตร รวมถึงความหนาของชั้นผิวของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ นั้นขึ้นกับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น องค์ประกอบของ Casting Solution เวลาที่ใช้ในการ Precipitation อุณหภูมิอ่างน้ำ และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำ Annealing เป็นต้น เช่น ในงานของ Haddad, Ferjani, Roudesli, and Deratani (2004) พบว่าการที่

ปริมาณเกลือโลหะซัลเฟตใน Casting Solution ต่างกันจะทำให้ได้เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่มีความสามารถในการแยกสารต่างกัน และ Kunst, Sambraio, and Kunst (1991) ได้ทำการศึกษาการใช้เยื่อแผ่นสังเคราะห์เกลือโลหะซัลเฟตในกระบวนการออสโมซิสผันกลับ สำหรับกำจัดโซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride, NaCl) พบว่าเมื่ออัตราส่วนขององค์ประกอบใน Casting Solution เปลี่ยนไป จะทำให้ความสามารถในการกักกันโซเดียมคลอไรด์ และฟลักซ์เปลี่ยนไปด้วย

2.1.5 การจำแนกประเภทของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

การจำแนกประเภทของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ทำได้หลายอย่าง เช่น การจำแนกตามลักษณะสัญญาณ การจำแนกตามแรงขับเคลื่อน (Driving Force) การแบ่งตามขนาดรูพรุน เป็นต้น โดยการแบ่งตามแรงขับเคลื่อน (Kesting, 1985) จะแบ่งได้เป็น

- กระบวนการที่ใช้ผลจากความเข้มข้น (Concentration-Driven Process)
- กระบวนการที่ใช้ผลความต่างศักย์ไฟฟ้า (Electromembrane Process)
- กระบวนการที่ใช้ผลจากความดัน (Pressure-Driven Process)

ในที่นี้จะกล่าวถึงการแบ่งประเภทการแยกสารด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ใช้ความดันเป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดการถ่ายโอนมวล แต่มีความสามารถแยกขนาดของอนุภาคได้ต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 การแบ่งประเภทดังแสดงในตารางที่ 2.1 ประกอบด้วย ไมโครฟิลเตรชัน อัลตราฟิลเตรชัน นาโนฟิลเตรชัน และออสโมซิสผันกลับ ซึ่งเป็นกระบวนการแยกอนุภาคในเฟสของเหลว คือ ทั้งสารป้อนและสารด้านเพอร์มิเอตต่างก็เป็นของเหลว โดยการแยกอาศัยกลไกการคัดขนาด และการแยกสารด้วยกลไกการคัดขนาดจะใช้ค่า MWCO เพื่อบอกน้ำหนักโมเลกุลของสารที่เยื่อแผ่นสังเคราะห์สามารถกักกันไว้ได้มากกว่า 90%

ตารางที่ 2.1 ประเภทของการแยกสารด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ (Mulder, 1996)

กระบวนการ	ขนาดรูพรุน (nm)	ความดันที่ใช้ แยก (bar)	ฟลักซ์ (L.m ⁻² .h ⁻¹ .bar ⁻¹)	MWCO (daltons)
ไมโครฟิลเตรชัน	50-2000	0.1-2.0	>50	500,000
อัลตราฟิลเตรชัน	3-100	1.0-5.0	10-50	1,000-500,000
นาโนฟิลเตรชัน	< 2	5.0-20	1.4-12	100-1,000
ออสโมซิสผันกลับ	< 2	10-100	0.05-1.4	<100

ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration, MF) เป็นกระบวนการที่เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่มีรูพรุนขนาดค่อนข้างใหญ่ ใช้สำหรับแยกโมเลกุลใหญ่ สารแขวนลอย ออกจากของเหลว ช่วงความดันที่ใช้ คือ 1-5 bar

อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration, UF) เป็นกระบวนการแยกของเหลว โดยเป็นกระบวนการที่เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก สำหรับแยกสารโมเลกุลใหญ่ออกจากน้ำ และสารโมเลกุลเล็ก การใช้งานหลัก ๆ คือ การแยก หรือเพิ่มความเข้มข้นของ โปรตีนนม คอลลอยด์ และการบำบัดน้ำทิ้ง แรงขับเคลื่อนที่ใช้ในการแยก คือ 1-8 bar

นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration, NF) เป็นกระบวนการที่อยู่ระหว่างอัลตราฟิลเตรชัน และออสโมซิสผันกลับ คือ สามารถแยกตัวละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 1000 daltons ออกจากสารละลายน้ำตาล และสามารถแยกสารอินทรีย์น้ำหนักโมเลกุลต่ำออกน้ำ ความดันที่ใช้ในการป้อนสารละลายอยู่ระหว่าง 10-20 bar เยื่อแผ่นสังเคราะห์นาโนฟิลเตรชันส่วนมากเป็นเยื่อแผ่นเชิงประกอบ คือ ประกอบด้วยชั้นผิวที่มีโครงสร้างแน่นอยู่บนชั้นรองรับที่มีรูพรุนใหญ่กว่า ความสามารถในการกักกันเกลือประจุเดี่ยว (Monovalent Ions) ต่ำกว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์ออสโมซิสผันกลับ คือ อยู่ระหว่าง 0-50%

ออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis, RO) หรืออาจเรียกว่า Hyperfiltration เป็นกระบวนการแยกสารละลายโดยใช้ผลต่างของความดัน เยื่อแผ่นสังเคราะห์ออสโมซิสผันกลับมีความสามารถในการกักกันโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น เกลือ น้ำตาล (น้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 100 daltons หรือมีขนาดประมาณ 0.1-1 nm) แต่ยอมให้น้ำผ่านได้ และเป็นเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่มีเนื้อแน่น หรือไม่มีรูพรุน การผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ของสารเกิดจากความสามารถในการละลายและการแพร่ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์ และเนื่องจากสารละลายของตัวถูกละลายโมเลกุลเล็กมีความดันออสโมติกสูง ทำให้ความดันที่ใช้ในการป้อนสารละลายมีค่าสูง คือ อยู่ระหว่าง 10-100 bar การประยุกต์ใช้ที่แพร่หลายของกระบวนการออสโมซิสผันกลับ คือ การแยกเกลือออกจากน้ำกร่อย หรือน้ำทะเล เพื่อผลิตน้ำจืด (Haddad et al., 2004) เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้ การผลิตน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง ตลอดจนการบำบัดน้ำทิ้งที่มีโลหะหนักเจือปน

นอกจากเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่มีรูพรุนแล้วก็ยังมีเยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบแน่น (Dense Membrane) เยื่อแผ่นสังเคราะห์ดังกล่าวจะมีความหนาแน่นของพอลิเมอร์สูง มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันมีช่องว่างระหว่างเนื้อพอลิเมอร์ซึ่งจะไม่เรียกว่ารูพรุน โดยช่องว่างดังกล่าวมีขนาดเล็กกว่า 5 nm (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543) และในกรณีถ้าเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่มีรูพรุนเล็กกว่า 2 nm ก็จะถูกเรียกว่าเป็นเยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบแน่น ดังนั้น ในกรณีของ RO และ NF จะเป็นเยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบแน่น และเยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบแน่นจะใช้ในกระบวนการที่ต้องการแยกสารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กมาก เช่น ในการแยกไอออนออกจากน้ำ

ตารางที่ 2.2 ค่าการกักกันสาร (%) ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิดต่าง ๆ

Species	RO	NF	UF
Sodium Chloride	99	0-50	0
Sodium Sulfate	99	99	0
Calcium Chloride	99	0-60	0
Sulfuric Acid	98	0	0
Hydrochloric Acid	90	0	0
Fructose	>99	>99	0
Sucrose	>99	>99	0
Humic Acid	>99	>99	0
Viruses	99.99	99.99	>99
Protein	99.99	99.99	>99
Bacteria	99.99	99.99	>99

หมายเหตุ : จาก เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน (68), โดย ชันทอง สุนทรภา, 2547, กรุงเทพฯ:

สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.6 ค่าฟลักซ์และการกักกัน

ในกระบวนการที่กล่าวมานั้นสามารถประเมินสมรรถนะของกระบวนการได้ด้วยค่าฟลักซ์และประสิทธิภาพการแยกสารซึ่งแสดงในรูปของค่าการกักกัน (%Rejection) ค่าฟลักซ์ของเพอร์มิเอทจากการทดลองสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.1) และ ค่าฟลักซ์ของสารที่ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์คำนวณได้จากสมการที่ (2.2) และ (2.3)

$$J_v = \frac{V_p}{A \cdot \Delta t} \quad (2.1)$$

โดย J_v คือ ฟลักซ์ของสารที่ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)

V_p คือ ปริมาตรของสารที่ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ (L)

Δt คือ เวลาที่ใช้ในการแยกสาร (h)

A คือ พื้นที่เยื่อแผ่นสังเคราะห์ (m^2)

$$J_v = L_p(\Delta P - \Delta\pi) \quad (2.2)$$

$$J_v = \frac{(\Delta P - \Delta\pi)}{\mu_v R_t} \quad (2.3)$$

โดย J_v คือ ฟลักซ์ของสารที่ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)

L_p คือ สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot bar^{-1}$)

ΔP คือ ผลต่างของความดันระหว่างเยื่อแผ่นสังเคราะห์ (bar)

$\Delta\pi$ คือ ผลต่างของความดันออสโมติกระหว่างเยื่อแผ่นสังเคราะห์ (bar)

μ_v คือ ความหนืดของสารละลาย

R_t คือ ค่าความต้านทานการไหลรวม (m^{-1})

สมการ (2.2) เป็นสมการของฟลักซ์ในรูปของความสามารถในการซึมผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ของสารละลาย โดยค่า L_p เป็นค่าที่บอกความสามารถในการซึมผ่าน ซึ่งเป็นค่าคุณสมบัติเฉพาะของตัวทำละลายและเยื่อแผ่นสังเคราะห์นั้น ๆ ส่วนสมการ (2.3) เป็นสมการของฟลักซ์ในรูปของแรงขับเคลื่อนและความต้านทานต่อการไหล แบบจำลองอนุกรมความต้านทาน (Resistance in Series Model) อธิบายว่าการลดลงของฟลักซ์เกิดเนื่องจากความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้น จากสมการ (2.4) R_t คือ ความต้านทานการไหลรวม ซึ่งเกิดจากผลรวมของความต้านทานของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ (R_m) ความต้านทานจากการเกิดโพลาไรซ์ (R_p) และความต้านทานเนื่องจากการอุดตัน (R_f) ความต้านทานรวมจึงเป็นผลบวกของความต้านทานย่อยดังสมการ (2.4)

$$R_t = R_m + R_p + R_f \quad (2.4)$$

โพลาไรเซชัน (Concentration Polarization, CP) เป็นปรากฏการณ์ปกติของกระบวนการที่แยกสารด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่มีผลต่างความดันเป็นแรงขับเคลื่อน คือ MF UF NF และ RO ซึ่งตัวละลายที่ไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ได้จะสะสมอยู่ที่ผิวหน้าของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ทำให้ความเข้มข้นบริเวณนั้นสูงกว่าสารป้อน ที่สภาวะคงตัวการเคลื่อนที่แบบการพา (Convective Transport) ของตัวละลายไปถึงผิวหน้าของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ เท่ากับฟลักซ์ของการแพร่ (Diffusive Flux) ของตัวละลายที่ค้างอยู่ที่ผิวหน้าของเยื่อแผ่นสังเคราะห์กลับเข้าไปในเนื้อสารละลาย CP จะไปลดสมรรถนะของการแยกสารทั้งในแง่ของฟลักซ์และการกักกัน และยังส่งผล

ให้เกิดการอุดตัน หากความเข้มข้นของตัวละลายที่บริเวณใกล้ผิวหน้าของเยื่อแผ่นสังเคราะห์มีค่าสูงถึงขีดจำกัดการละลายของสารนั้น ตัวละลายอาจเกิดลักษณะคล้ายเจลที่บริเวณผิวหน้าของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า เจล โพลาริเซชัน ชั้นเจลจะเกิดครอบคลุมผิวหน้าของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ มีลักษณะคล้ายมีเยื่อแผ่นอีกแผ่นหนึ่งต่ออนุกรมอยู่กับเยื่อแผ่นสังเคราะห์เดิม เป็นผลให้ความต้านทานการไหลสูงขึ้น และฟลักซ์มีค่าลดลง (Matsuura, 1994)

การอุดตัน (Fouling) เกิดจากการที่ตัวละลายเกิดการสะสม และอุดตันอยู่ที่ผิวหน้า และรูพรุนของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ทำให้ความเข้มข้นของตัวละลายที่ไม่ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์สูงกว่าความเข้มข้นในเนื้อสารละลาย สิ่งที่สะสมและอุดตันจะไม่สามารถล้างออกด้วยน้ำได้ต้องทำความสะอาดด้วยสารเคมีที่เหมาะสม ส่วนโพลาริเซชันเป็นกระบวนการที่ผันกลับสามารถล้างออกด้วยน้ำกลั่นไม่ว่าจะใช้ที่สภาวะใด (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543)

เมื่อสารละลายเป็นน้ำบริสุทธิ์ ($\Delta\pi = 0$) จะไม่เกิดการโพลาริเซชัน และการอุดตัน ดังนั้น ความต้านทานรวม ก็คือความต้านทานการไหลของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เพียงอย่างเดียว ($R_t = R_m$) ดังนั้น สมการ (2.2) และ (2.3) เขียนได้เป็น

$$J_w = L_p \Delta P \quad (2.5)$$

$$J_w = \frac{\Delta P}{\mu_v R_m} \quad (2.6)$$

โดย J_w คือ ฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ที่ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)

จากสมการ (2.5) และ (2.6) สามารถหาความต้านทานการไหลของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ได้ดังสมการ (2.7)

$$R_m = \frac{1}{\mu_v L_p} \quad (2.7)$$

จากสมการ (2.5) เมื่อพลอตกราฟระหว่าง ค่าฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ และความดัน จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชัน คือ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์

ในกรณีของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ นั้นความต้านทานการไหลของเยื่อแผ่นสังเคราะห์จะประกอบไปด้วยความต้านทานการไหล ในส่วนที่เป็นพอลิเมอร์ คือ เซลลูโลสอะซิเตต (R_{CA}) และในส่วนของสารเติม คือ แร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ (R_{MMT})

$$R_m = R_{CA} + R_{MMT} \quad (2.8)$$

ดังนั้นสมการ (2.4) จะเขียนได้เป็น

$$R_t = R_{CA} + R_{MMT} + R_p + R_f \quad (2.9)$$

และในกรณีที่สารป้อนเป็นน้ำบริสุทธิ์ความต้านทานรวมจะเป็น

$$R_t = R_{CA} + R_{MMT} \quad (2.10)$$

2.2 แร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ (Montmorillonite, MMT)

มอนต์โมริลโลไนต์ มีสูตรโครงสร้าง คือ $\text{Na}_{0.6}(\text{Al}_{3.4}\text{Mg}_{0.6})(\text{Si}_8\text{O}_{20}[\text{OH}]_4) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (Cain et al., 1999) เป็นแร่ดินในกลุ่มสเมคไทต์ (Smectite) คือ แร่ดินที่มีโครงสร้างเป็นชั้น แร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์จัดเป็น 2 : 1 อะลูมิเนียมซิลิเกต คือ มีชั้นซิลิกา (Silica) ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงสี่หน้า (Tetrahedral Sheet) 1 แผ่น ประกอบด้วยแผ่นอะลูมินา (Alumina) 2 แผ่น ซึ่งแผ่นอะลูมินามีลักษณะเป็นทรงแปดหน้า (Octahedral Sheet) โครงสร้างที่เป็นทรงสี่หน้านั้นประกอบด้วยออกซิเจน 4 อะตอม ล้อมอะตอมของซิลิกอน (Silicon) โดยอะตอมออกซิเจนจะอยู่ที่มุมของรูปพีระมิดฐานสามเหลี่ยม ส่วนโครงสร้างของทรงแปดหน้านั้นประกอบด้วยหมู่ Hydroxyl 6 หน่วย อยู่ล้อมอะตอมของอะลูมิเนียม หรือแมกนีเซียม เป็นรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมร่วมกันตามรูปที่ 2.4 (New York Center for Studies on the Origins of Life, www, 2007) เนื่องจากชั้นซิลิกา และอะลูมินามีประจุไม่เป็นกลาง ไม่สามารถอยู่โดดเดี่ยวได้ จึงต้องรวมตัวกัน ซึ่งการรวมตัวของชั้นทั้งสองโดยการต่อกันเป็นแผ่นจะทำให้เกิดเป็นแผ่นอะลูมิเนียมซิลิเกต (ฉัตรชัย เกียรติวัฒนากร, 2550) แผ่นทั้งสองชนิดจะเชื่อมกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ซึ่งจะใช้ออกซิเจนร่วมกัน เกาะกันไปเป็นชั้น ๆ ระหว่างชั้นของแผ่นอะลูมิเนียมซิลิเกตแต่ละชั้นจะมีช่องว่างที่เรียกว่า Interlayer ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตนั้นมีประจุเป็นลบ จึงต้องดึงคู่ประจุบวกมาเพื่อยึดชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตไว้ด้วยกัน

และเพื่อให้ประจุรวมเป็นศูนย์ แรงดึงดูดระหว่างชุดโครงสร้างจึงเป็นแรงดึงดูดระหว่างประจุซึ่งไม่แข็งแรง และโมเลกุลของน้ำมีโอกาสแทรกเข้าไปได้ โดยโมเลกุลของน้ำ หรือสารมีขั้วจะแทรกไปอยู่ในช่องว่างที่เรียกว่า Interlayer นั่นเอง โดยที่ช่องว่างนี้จะมีค่าน้อยที่สุด 9.5 อังสตรอม (Wibulswas, 1999)

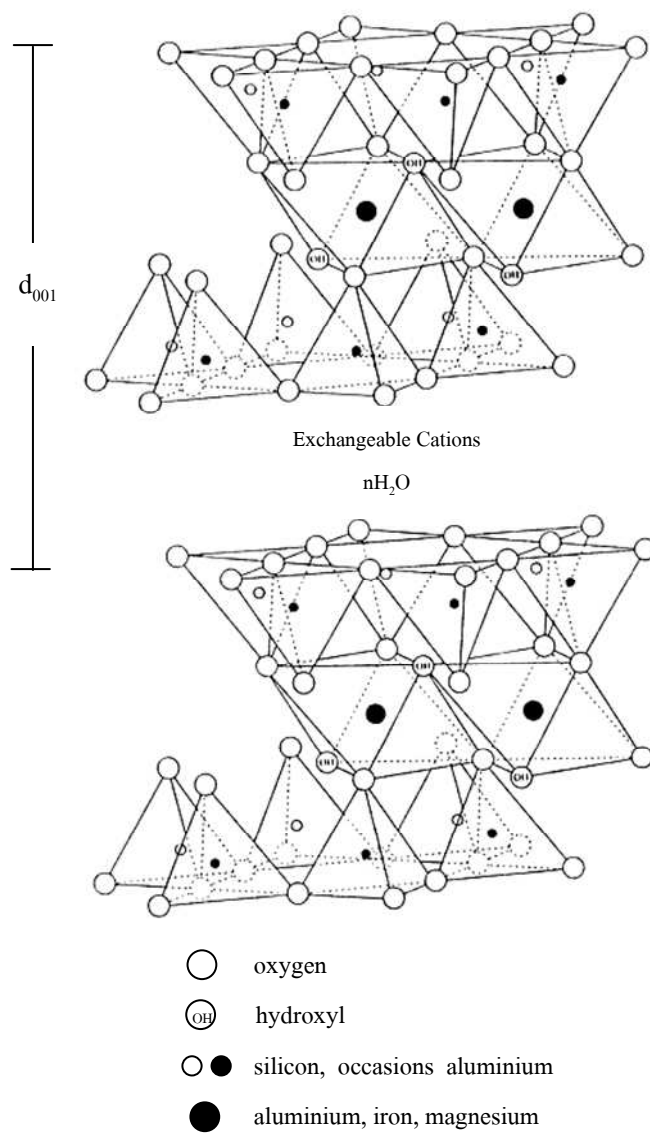
โครงสร้างที่เป็นแผ่นของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เป็นแผ่นขนาดเล็ก มีขนาดประมาณ 0.01-10 μm ก่อให้เกิดรูพรุนซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัสประมาณ 50-750 m^2/g การที่แร่ดินชนิดนี้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก ประกอบกับการที่ Interlayer สามารถขยายตัวได้ จึงทำให้แร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับเป็นอย่างมาก แร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์สามารถขยายตัวหรือการบวมตัว (Swelling) ได้ 18 เท่าของปริมาตรขณะแห้ง (Aqua Technologies of Wyoming Inc., www, 1985) มีการนำแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์มาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Kantevvari, Vuppapapati, and Nagarapu, 2007; Manikandan, Divakar, and Sivakumar, 2007) ใช้ในการดูดซับสีประจุบวก (Wibulswas, 2004) และใช้เป็นตัวดูดซับในระบบบำบัดน้ำเสีย (Kahle and Stammdu, 2007; Zadaka, Mishael, Polubesova, Serban, and Nir, 2007)

แร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีชื่อทางการค้าว่า MAC-GEL ของบริษัท ไทยนิปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรมจำกัด ซึ่งมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีน้ำตาล และมีค่า CEC (Cation Exchange Capacity) เท่ากับ 80 meq/100 g ซึ่งอยู่ในช่วงค่า CEC ของแร่ดินกลุ่มสมεκไทต์ ที่มีค่า CEC อยู่ระหว่าง 80-150 meq/100 g (Clauer and Chaudhuri, 1995) ค่า CEC คือ ปริมาณประจุบวกที่ต้องการมาทำให้ประจุสมดุล แร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีองค์ประกอบดังแสดงในตารางที่ 2.3

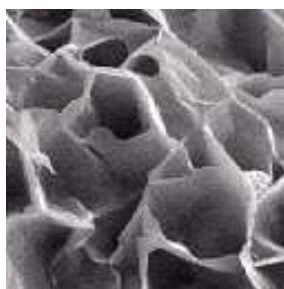
ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ (แสดงเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก)

SiO ₂	56-60	MgO	1.5-2.0
Al ₂ O ₃	16-18	CaO	1.9-2.1
Fe ₂ O ₃	5-7	K ₂ O ₃	0.3-0.5
Na ₂ O	2.4-3.0	TiO ₂	1.2-1.5

หมายเหตุ : ข้อมูลจากจากบริษัท ไทยนิปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์

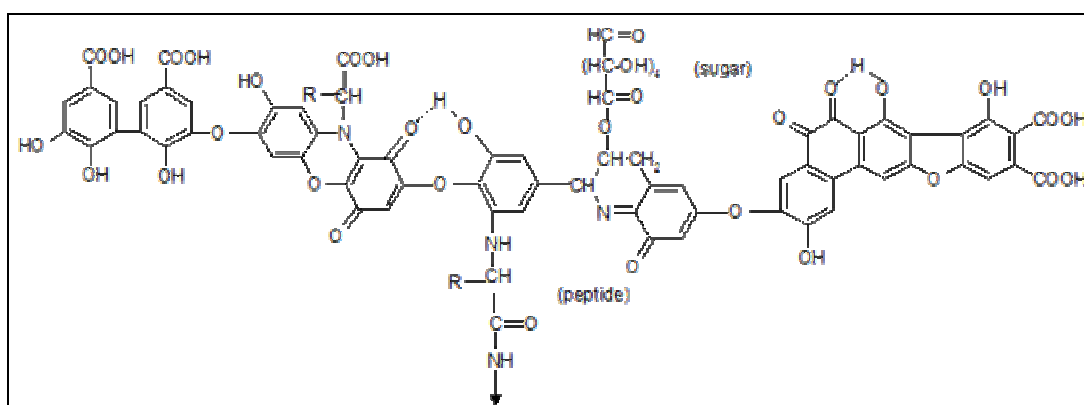


รูปที่ 2.5 ภาพขยายของพื้นผิวมอนต์โมริลโลไนต์

2.3 กรดฮิวมิก

กรดฮิวมิก (Humic Acid) เป็นหนึ่งในสามประเภทของสารฮิวมิก (Humic Substances) (Bernard, 1987) ซึ่งได้แก่

1. กรดฮิวมิก เป็นส่วนที่พบมากในสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในดิน มีคุณสมบัติละลายได้ในด่าง แต่ไม่ละลายในสภาวะที่เป็นกรดที่มี pH ต่ำกว่า 2 หรือในเอทานอล
2. กรดฟัลวิก (Fulvic Acid) เป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในดิน มีคุณสมบัติละลายได้ในสารละลายกรด และด่าง
3. ฮิวมิน (Humic) มีคุณสมบัติไม่ละลายทั้งในสารละลายกรด และด่าง

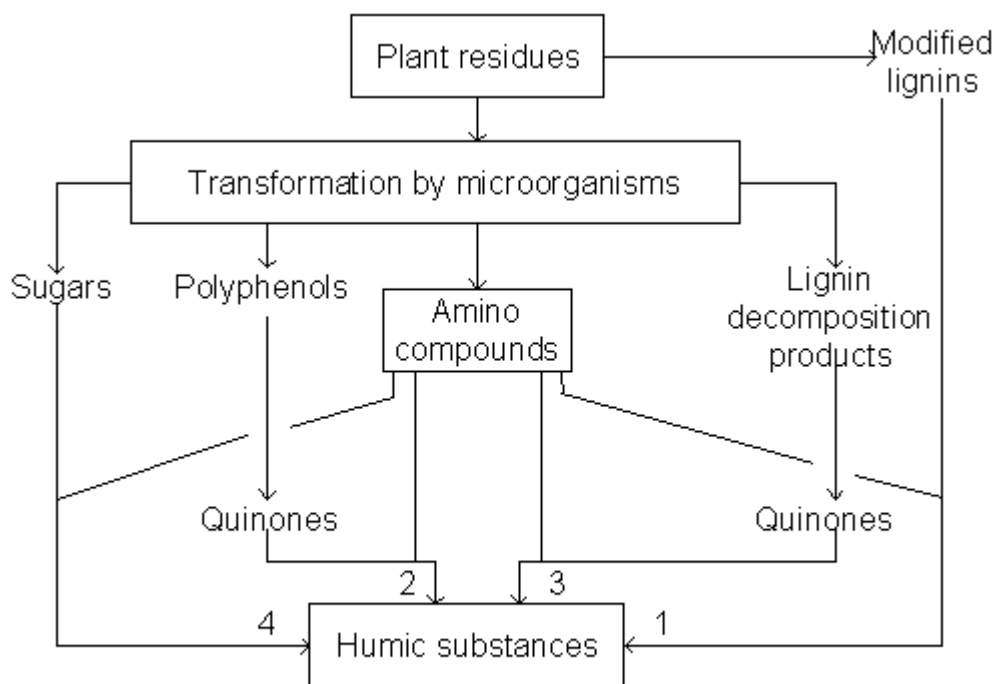


รูปที่ 2.6 โครงสร้างของกรดฮิวมิก (Stevenson, 1982)

การเกิดปฏิกิริยา หรือการรวมตัวเป็นสารประกอบฮิวมิกไม่เป็นที่แน่ชัด แต่ละโมเลกุลของกรดฮิวมิกมีโครงสร้างซับซ้อนไม่แน่นอน แต่ได้มีผู้ที่ทำการศึกษาเช่น Davies and Ghabbour (1999) พบว่าสูตรโครงสร้างของกรดฮิวมิก คือ $C_{36}H_{30}O_2 \cdot xH_2O$ เมื่อค่า x อยู่ระหว่าง 0-50 โมเลกุล Fitch and Du (1996) พบว่า กรดฮิวมิกมีขนาดโมเลกุลอยู่ระหว่าง 6-10 nm โครงสร้างของกรดฮิวมิกแสดงในรูปที่ 2.6 สารฮิวมิกเป็นสารที่พบมากตามแหล่งน้ำธรรมชาติเกิดจากกระบวนการสังเคราะห์ฮิวมัส (Humus)

กระบวนการสังเคราะห์สารฮิวมิกตามธรรมชาติแสดงในรูปที่ 2.7 สารฮิวมิกนี้เป็นสารอินทรีย์ธรรมชาติซึ่งพบในดินและน้ำ หากสารนี้ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำปริมาณมากจะทำให้แหล่งน้ำมีสีเหลืองถึงสีน้ำตาล (Ghabbour and Davies, 2000) ลักษณะสำคัญของกรดฮิวมิก คือมีความคงตัวสูง สารละลายที่มีความเข้มข้นของกรดฮิวมิก 1 ppm ที่ pH 8 ทำให้เกิดหน่วยสี 26.5 หน่วยสี อีกทั้งทำให้น้ำมีกลิ่นและรสผิดปกติ (รัตนวรรณ เกียรติโกมล, 2548) การกำจัดกรดฮิวมิก

จากน้ำมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การดูดซับด้วย Organo-Clay (ปิยมภรณ์ จารุงศ์ และรัตนวรรณ วิบูลย์สวัสดิ์, 2545; Alther, 2000)

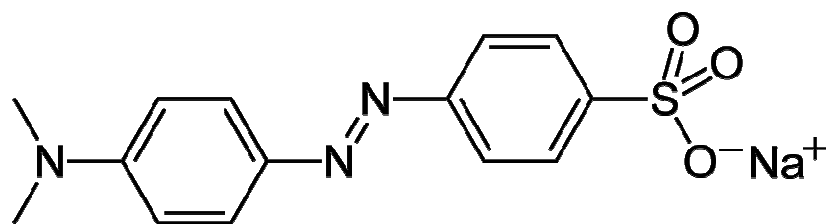


Mechanisms for the formation of soil humic substances

รูปที่ 2.7 กระบวนการสังเคราะห์สารฮิวมิกตามธรรมชาติ

2.4 เมธิลออเรนจ์ (Methyl Orange)

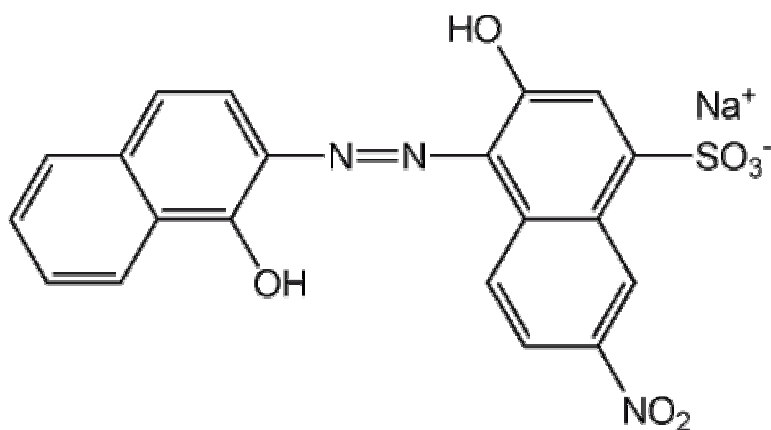
เมธิลออเรนจ์เป็นสีอินทรีย์ที่มีประจุลบ สูตรเคมีคือ $C_{14}H_{14}N_3NaO_3$ โครงสร้างทางเคมีแสดงในรูปที่ 2.8 เมธิลออเรนจ์เป็นสีในกลุ่ม Azo Dye คือ เป็นสีที่มีไนโตรเจนจับกันด้วยพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลของสีนั้น เมธิลออเรนจ์นั้นเรียกได้หลายชื่อ ดังนี้ C.I. Acid Orange 52, C.I. 13025, Halianthine B, Orange III, Gold Orange และ Tropaeolin มีน้ำหนักโมเลกุล 327.34 daltons ทางวิทยาศาสตร์จะใช้เมธิลออเรนจ์เป็นตัวบ่งชี้ (Indicator) ในการไทเทรตด้วยกรดแก่จะเปลี่ยนจากสีแดง (ที่ pH 3.1) ไปเป็นสีส้มถึงเหลือง (ที่ pH 4.4) เนื่องมาจากการแตกตัวของไอออนของไฮโดรเจน สารชนิดนี้พบในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมย้อมสีและการพิมพ์ซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ มีผลต่อร่างกายในระบบทางเดินหายใจ และระบบทางเดินอาหาร กล่าวคือจะมีอาการไอ และหายใจติดขัด ระบบทางเดินอาหารจะทำให้คลื่นไส้ อาเจียน อาจมีอาการท้องร่วงได้ เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังแต่ไม่รุนแรงมาก เมื่อสัมผัสกับดวงตาจะเกิดการระคายเคืองทำให้ตาแดง และก่อให้เกิดทัศนียภาพไม่ดี



รูปที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของเมทิลออเรนจ์

2.5 อิริโอโครม แบลค ที (Eriochrome Black T, EBT)

อิริโอโครม แบลค ที หรือ อีบีที เป็นสีอินทรีย์ประจุลบ โครงสร้างทางเคมีแสดงในรูปที่ 2.9 มีสูตรเคมี คือ $\text{HOC}_{10}\text{H}_6\text{N}=\text{NC}_{10}\text{H}_4(\text{OH})(\text{NO}_2)\text{SO}_3\text{Na}$ น้ำหนัก โมเลกุล 461.38 daltons เป็นสีในกลุ่ม Azo Dye อาจเรียกได้หลายชื่อ ดังนี้ hydrazinylidene-7-nitro-3-oxo Y-naphthalene-1-sulfonate และ Solochrome Black T ทางวิทยาศาสตร์จะใช้อีบีทีเป็นตัวบ่งชี้ในการไทเทรตหาความกระด้างของน้ำ (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2544) เมื่ออีบีทีรวมตัวกับแคลเซียม แมกนีเซียม หรือ ไอออนโลหะ สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนเปลี่ยนจากสีน้ำเงินไปเป็นสีชมพูจนถึงสีแดง สารชนิดนี้มีผลต่อร่างกาย คือ ทำให้เกิดการระคายเคืองนัยน์ตา ระบบทางเดินหายใจและผิวหนัง



รูปที่ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของอีบีที

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีวิจัย

การศึกษากาการแยกสารอินทรีย์ออกจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมจากเซลลูโลสอะซิเตตผสมกับแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการแยกสาร และสมบัติทางกายภาพของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้

3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- อุปกรณ์สำหรับเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์
 - Hand-Operated Coater for TLC Plate ใช้สำหรับขึ้นรูปเยื่อแผ่นสังเคราะห์
 - อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath)
 - ตะแกรงร่อนขนาด 75 μm
- เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาสัณฐานวิทยาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์
 - เครื่อง Ion Sputting Device ของบริษัท JEOL รุ่น JFC 1100E
 - กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของบริษัท JEOL รุ่น JSM 6400
 - เครื่อง X-Ray Diffraction 18 KW ของบริษัท Rigaku
- เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางความร้อน
 - เครื่อง TGA Simultaneous รุ่น STD 2960
- เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความหนาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์
 - เครื่องมือวัดความหนา Dial Gauge Stand ของบริษัท PEACOCK
- เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการทนต่อแรงดึง
 - เครื่อง Universal Testing Machine (Instron 55R4502)
- อุปกรณ์สำหรับทดสอบประสิทธิภาพการกรองของเยื่อแผ่นสังเคราะห์
 - ชุดกรอง Batch Stirred Cell ของบริษัท Amicon ดังแสดงในรูปที่ 3.1
 - เครื่องวัดการการดูดกลืนแสง Spectronic 20
 - เครื่องวัดการนำไฟฟ้า รุ่น inolab Cond Level2 ของบริษัท WTW



รูปที่ 3.1 ชุดกรอง Batch Stirred Cell

3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- แร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ของบริษัท ไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด
- เซลลูโลสอะซิเตต น้ำหนักโมเลกุล 37,000 ของบริษัท Fluka Chemie
- ฟอว์มาไมด์ ของบริษัท Ajax Finechem
- อะซิโตน ของบริษัท CARLO ERBA
- กรดฮิวมิก ของบริษัท Fluka Chemie
- เมธิลออเรนจ์ ของบริษัท Riedel-deltaen
- อิริโครม แบลค ที ของบริษัท J.T. Baker
- โซเดียมคลอไรด์ของบริษัท CARLO ERBA
- ไนโตรเจนเหลว (ใช้ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับ SEM)

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์

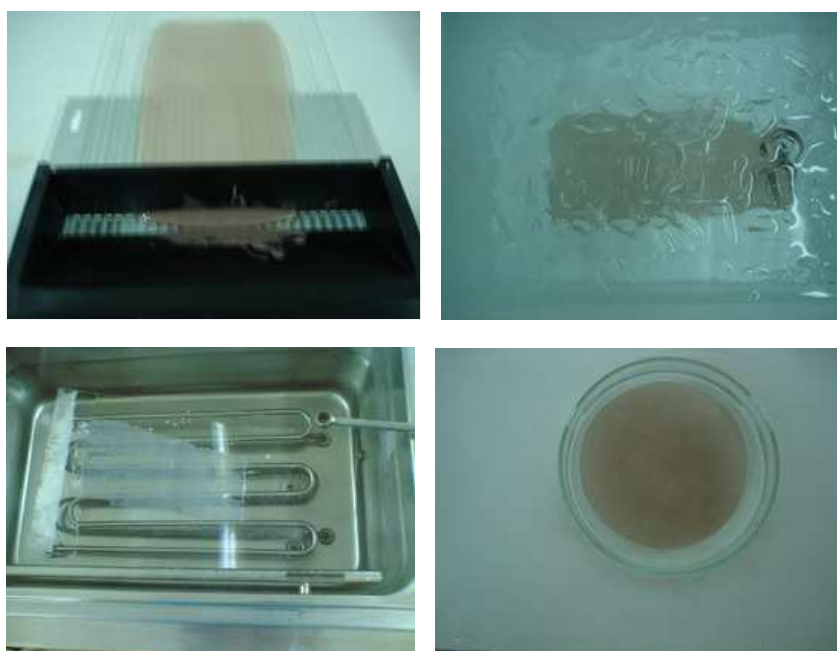
การเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 3.2 มีขั้นตอนดังนี้

1) ร้อนแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ด้วยตะแกรงร่อนขนาด 75 μm

2) ผสมสารละลายพอลิเมอร์โดยละลายเซลลูโลสอะซิเตตในอะซิโตนซึ่งเป็นตัวทำ

ละลายกวนให้พอลิเมอร์ละลาย แล้วเติมฟอว์มาไมด์ จากนั้นกวนต่อจนได้สารละลายพอลิเมอร์ที่เป็นเนื้อเดียวกัน

- 3) ทิ้งสารละลายไว้ 24 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดการละลายต่อเนื่อง และกำจัดฟองอากาศ
- 4) นำสารผสมที่ได้มาทำเป็นแผ่นด้วยเครื่อง Hand-Operated Coater โดยเทสารผสมบนแผ่นกระจก ปรับความหนาของช่องที่ 500 μm แล้วใช้มือลากแผ่นกระจกผ่านเครื่อง Coater จะได้เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ติดอยู่กับกระจก
- 5) นำกระจกที่มีเยื่อแผ่นสังเคราะห์ติดอยู่แช่ใน Precipitation Bath ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้น้ำบริสุทธิ์อุณหภูมิ 4°C แช่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 6) นำเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ได้ไปทำการปรับสภาพด้วยความร้อนโดยการแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 10 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
- 7) ลอกเยื่อแผ่นสังเคราะห์ออกจากกระจกแล้วตัดเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.6 cm แล้วแช่เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ได้ในน้ำบริสุทธิ์ เพื่อป้องกันการหดตัว โดยปกติแล้วการเก็บรักษาเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมจากเซลลูโลสอะซิเตตจะเป็นการเก็บรักษาในสถานะเปียก (รัตน จิระรัตนานนท์, 2543)
- 8) เตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ โดยการผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ที่เตรียมในขั้นที่ 1 ลงในสารละลายพอลิเมอร์ข้อ 2 ในปริมาณ 10-70% โดยน้ำหนัก จากนั้นกวนให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วทำตามข้อ 3-7 ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 การเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์

3.3.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

นำเยื่อแผ่นสังเคราะห์ไปแช่ในไนโตรเจนเหลว เมื่อเยื่อแผ่นสังเคราะห์แข็งตัวทาบให้แตกเป็นชิ้น นำชิ้นเยื่อแผ่นสังเคราะห์วางบนแท่นทองเหลือง จากนั้นฉาบตัวอย่างด้วยทอง แล้วนำตัวอย่างไปศึกษาโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.3.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction

ทำการศึกษาโครงสร้างของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ในช่วง 2θ เท่ากับ $0.016-30^\circ$

3.3.4 การวิเคราะห์ทางความร้อนของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

การวิเคราะห์ Thermogravimetric Analysis (TGA) ใช้อัตราการไหลแก๊สไนโตรเจนที่ผ่านเตาเผา เท่ากับ 100 mL/min และ Heating Rate เท่ากับ $10^\circ\text{C}/\text{min}$ ทำการวิเคราะห์จากอุณหภูมิห้อง (30°C) จนถึง 800°C

3.3.5 การทดสอบความทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D882 ขนาดชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ 10 mm x 15 mm ใช้ Crosshead Speed เท่ากับ 5 mm/min.

3.3.6 การทดสอบการดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

การดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ซึ่งแสดงในรูปของค่าการบวมตัว (Degree of Swelling, DS) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) ตัดเยื่อแผ่นสังเคราะห์ เป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.6 cm ทิ้งไว้ให้แห้ง
- 2) นำเยื่อแผ่นสังเคราะห์แห้งไปชั่งน้ำหนัก
- 3) นำเยื่อแผ่นสังเคราะห์ไปแช่น้ำอย่างน้อย 48 ชั่วโมง
- 4) จากนั้นนำเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ชุ่มน้ำไปชั่งน้ำหนักแล้วหาค่าการบวมตัวของเยื่อแผ่นสังเคราะห์จากสมการ (3.1)

$$DS = \frac{W_\infty - W_0}{W_0} \quad (3.1)$$

โดย DS คือ ค่าการบวมตัวของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

W_0 คือ น้ำหนักของเยื่อแผ่นสังเคราะห์แห้ง (g)

W_∞ คือ น้ำหนักของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ชุ่มน้ำ (g)

3.3.7 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์

- 1) เติมน้ำกลั่นปริมาตร 200 mL ในชุดกรอง Batch Stirred Cell ปรับความดันที่ 1 bar
- 2) จับเวลาที่น้ำผ่านเครื่องกรองทุกๆ 2 mL จนกระทั่งอัตราการไหลคงที่
- 3) จับเวลาที่สารผ่านเครื่องกรอง 15 mL
- 4) ทำเช่นเดียวกับข้อ 1-3 แต่ปรับความดันไปที่ 1.5- 3.0 bar

3.3.8 การทดสอบประสิทธิภาพการแยกกรดฮิวมิกจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์

- 1) นำสารละลายกรดฮิวมิกเข้มข้น 50-200 ppm ปริมาตร 200 mL ใส่ในชุดกรอง Batch Stirred Cell ปรับความดันไปที่ 1 bar
- 2) จับเวลาที่สารผ่านเครื่องกรองปริมาตร 15 mL
- 3) สารที่ได้ไปวัดความเข้มข้นด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง
- 4) ทำซ้ำข้อ 1-3 แต่ปรับความดันไปที่ 1.5-3 bar
- 5) คำนวณหาฟลักซ์จากสมการ (3.2)

$$J_v = \frac{V_p}{A \cdot \Delta t} \quad (3.2)$$

โดย J_v คือ ฟลักซ์ของสารที่ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)

V_p คือ ปริมาตรของสารที่ผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ (L)

Δt คือ เวลาที่ใช้ในการแยกสาร (h)

A คือ พื้นที่เยื่อแผ่นสังเคราะห์ (m^2)

- 6) คำนวณประสิทธิภาพการแยกสารในรูปของ % Rejection (R) จากสมการ(3.3)

$$\% R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f} \right) \times 100\% \quad (3.3)$$

โดย %R คือ ค่าการกักกัน (% Rejection)

C_p คือ ความเข้มข้นของสารด้านเพอร์มิเอท (ppm)

C_f คือ ความเข้มข้นของสารป้อน (ppm)

3.3.9 การทดสอบประสิทธิภาพการแยกเมธิลลอเรนจ์จากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์

ทำเช่นเดียวกับการทดสอบประสิทธิภาพการแยกกรดฮิวมิกจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์แต่ใช้สารละลายเมธิลลอเรนจ์ 20 ppm แทนสารละลายกรดฮิวมิก

3.3.10 การทดสอบประสิทธิภาพการแยกอิริโอโครม แบลค ทีจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์

ทำเช่นเดียวกับการทดสอบประสิทธิภาพการแยกกรดฮิวมิกจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์แต่ใช้สารละลายอิริโอโครม แบลค ที 25 ppm แทนสารละลายกรดฮิวมิก

3.3.11 การทดสอบประสิทธิภาพการแยกโซเดียมคลอไรด์จากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์

1) นำสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2,000 ppm ปริมาตร 200 mL เติมลงในชุดกรอง Batch Stirred Cell

2) จับเวลาที่สารผ่านเครื่องกรองปริมาตร 15 mL

3) สารที่ได้ไปวัดความเข้มข้นด้วยเครื่องวัดการนำไฟฟ้า

3.3.12 การวัดความเข้มข้นสารละลายด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง Spectronic 20

1) เตรียมสารละลายที่ครอบคลุมความเข้มข้นที่ต้องการศึกษา

2) ทำการหาความยาวคลื่นที่สารละลายสามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุด (λ_{\max})

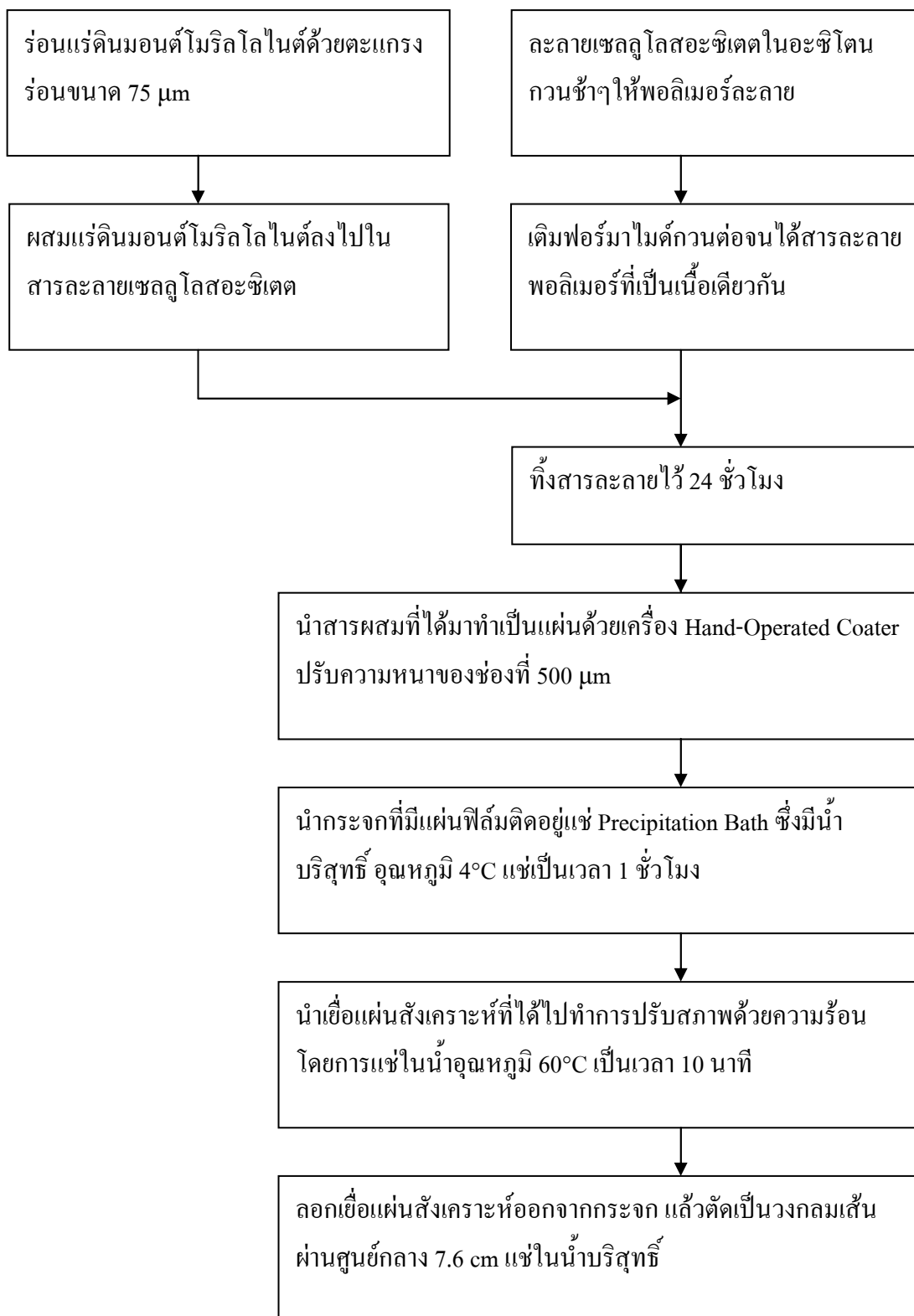
3) นำน้ำกลั่นใส่ในคิวเวต (Cuvet) แล้วกด Set Blank

4) นำสารละลายที่เตรียมไว้ทำการวัดค่า Absorbance โดยหลังจากการวัดแต่ละครั้งต้องล้างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด และกั้วด้วยสารตัวอย่างต่อไปที่จะวัด

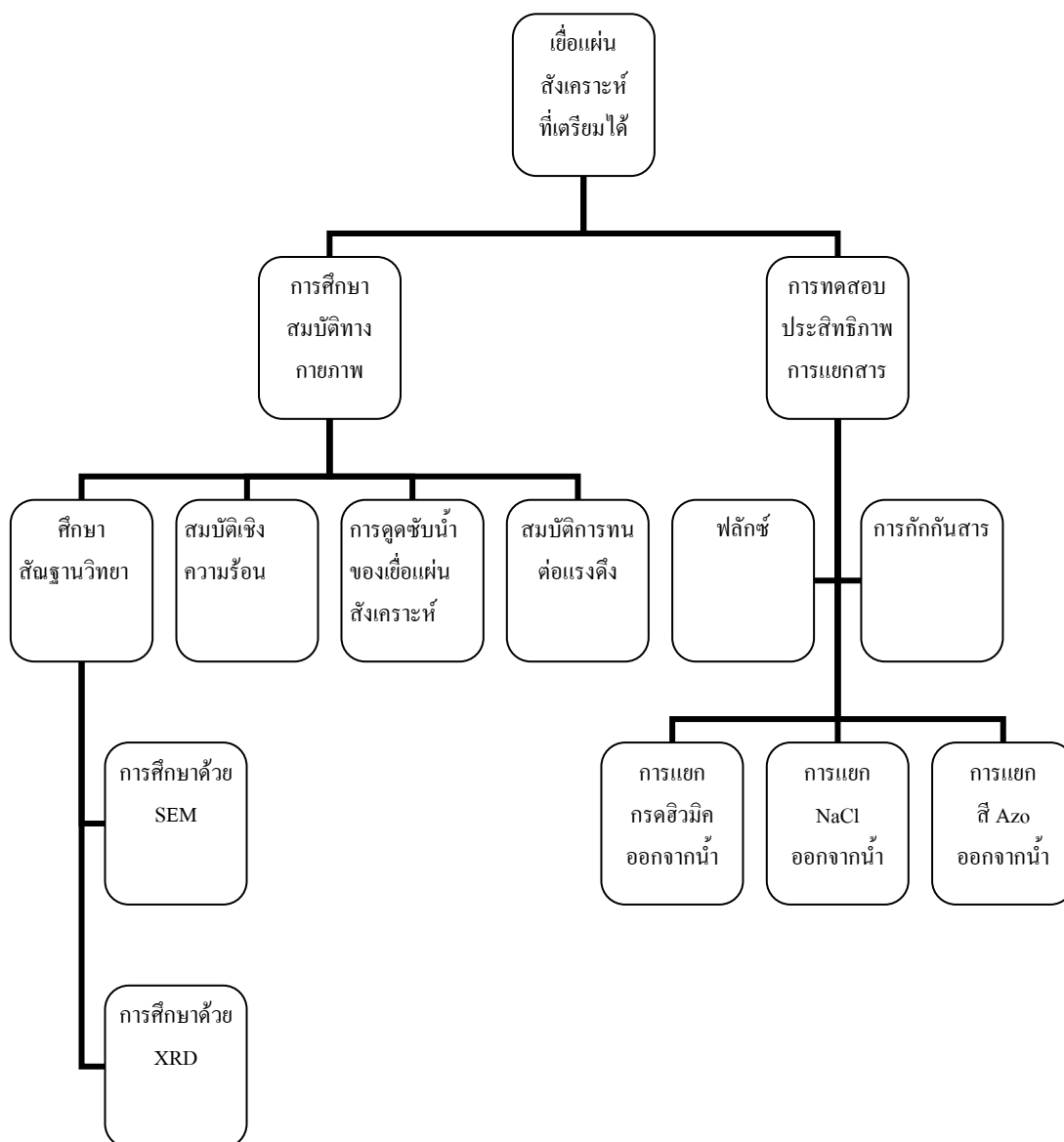
5) นำค่าที่ได้จากความเข้มข้นที่ทราบค่ามาสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve)

6) นำตัวอย่างที่ต้องการวัดมาทำการวัดการดูดกลืนแสง แล้วเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลาย กราฟมาตรฐานของสารละลายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงในภาคผนวก ก

ขั้นตอนการเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์ และการทดสอบสมบัติของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้แสดงในรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์



รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงการทดสอบสมบัติของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

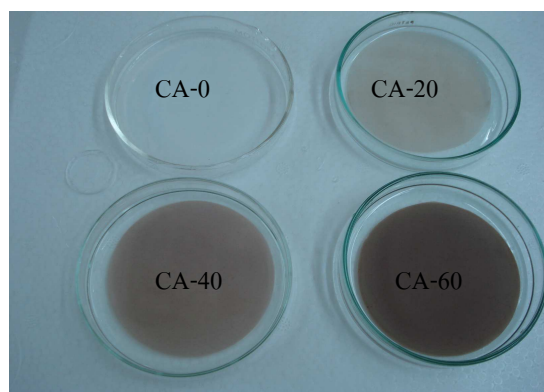
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

4.1 การศึกษาสมบัติของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

จากการทดลองผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในสารละลายพอลิเมอร์เพื่อเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์ พบว่าปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ที่สามารถผสมในสารละลายเซลลูโลสอะซิเตตแล้วสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ คือ แร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ 80 กรัมต่อเซลลูโลสอะซิเตต 100 กรัม (g /100 g CA) แต่ที่อัตราส่วนนี้จะทำให้ได้เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เปราะมาก เมื่อนำไปใส่ในเครื่อง Batch Stirred Cell ทำให้เยื่อแผ่นสังเคราะห์แตก จึงเลือกเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่อัตราส่วนของแร่ดิน 5-70 g ต่อ 100 g CA มาใช้ในการทดสอบการแยกสาร พร้อมทั้งหาสมบัติต่างๆ

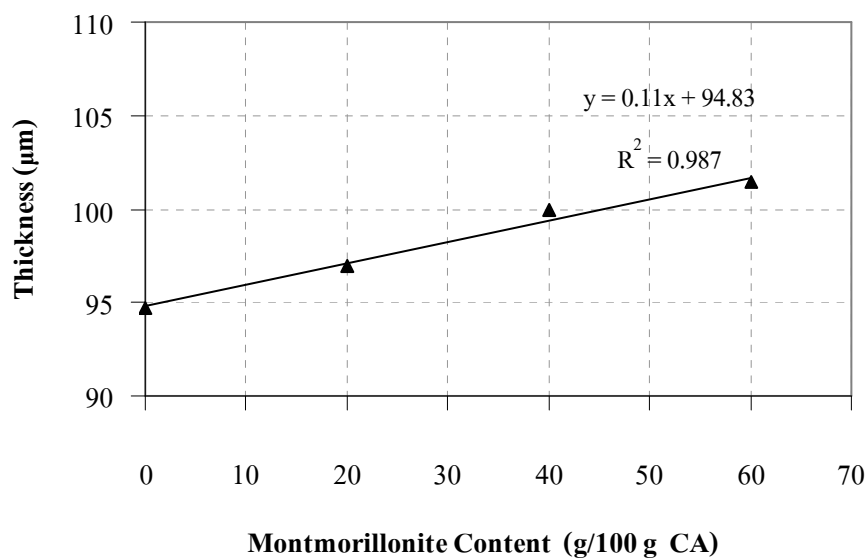
การเรียกชื่อเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้ใช้สัญลักษณ์ CA-X เมื่อ X คือปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์ในหน่วย g ต่อ 100 g CA หรือ phr (Part Per Hundred of Rubber) เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้ดังแสดงในรูปที่ 4.1 นั้นเมื่อเพิ่มปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์จะทำให้สีของเยื่อแผ่นสังเคราะห์มีความเข้มมากขึ้น และพบว่าสีของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้ มีความสม่ำเสมอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่สม่ำเสมอ



รูปที่ 4.1 เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้

4.1.1 ความหนาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

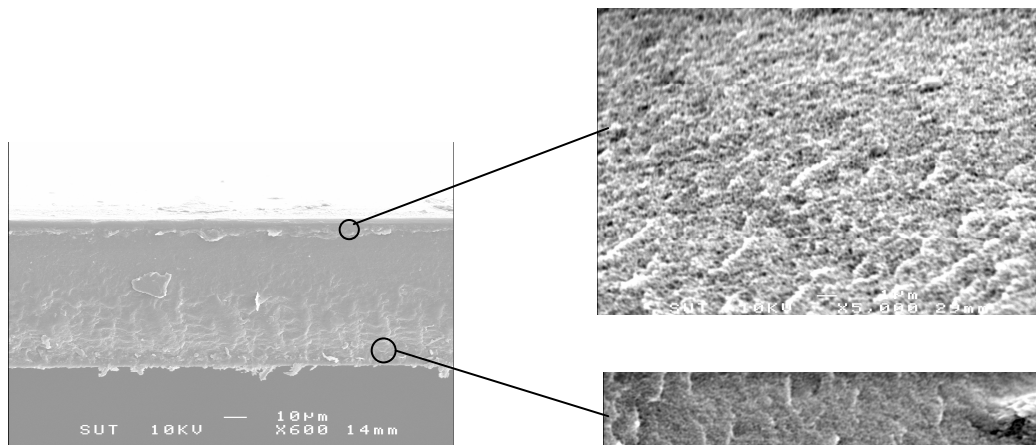
ความหนาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้ อยู่ในช่วง 94-102 μm โดยความหนาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแร่ดินในเยื่อแผ่นสังเคราะห์เพิ่มขึ้นในลักษณะที่เป็นเชิงเส้นดังแสดงในรูปที่ 4.2



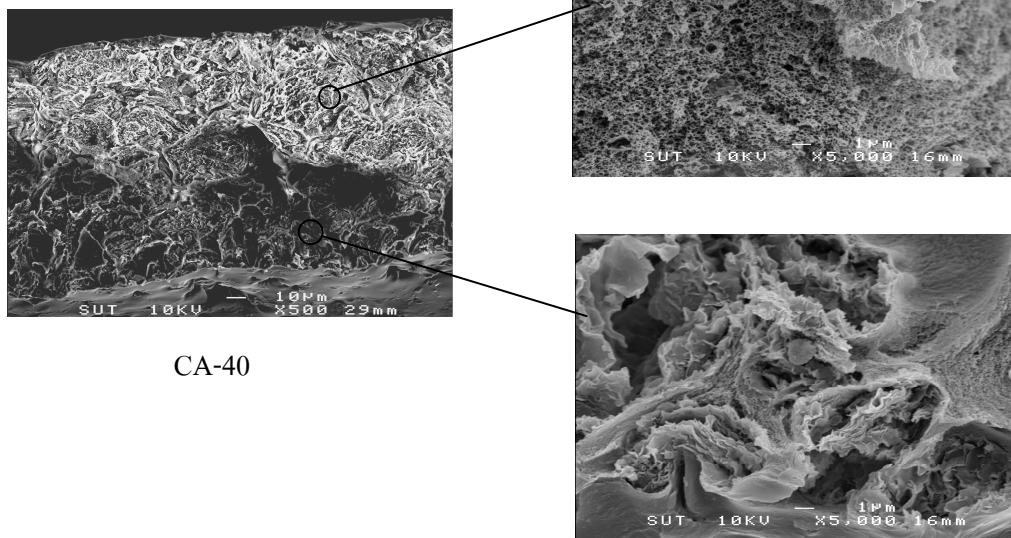
รูปที่ 4.2 ความหนาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ต่าง ๆ

4.1.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด

Micrograph จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่แสดงในรูปที่ 4.3 เป็นภาพภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ซึ่งจากภาพจะพบว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้ทั้งเซลล์โอสอะซิเตดที่ผสม และไม่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ เป็นเยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบไม่สมมาตร คือ โครงสร้างเป็นแบบไม่สม่ำเสมอตลอดชั้นความหนา โดยชั้นบนจะมีลักษณะที่หนาแน่นกว่าชั้นล่าง

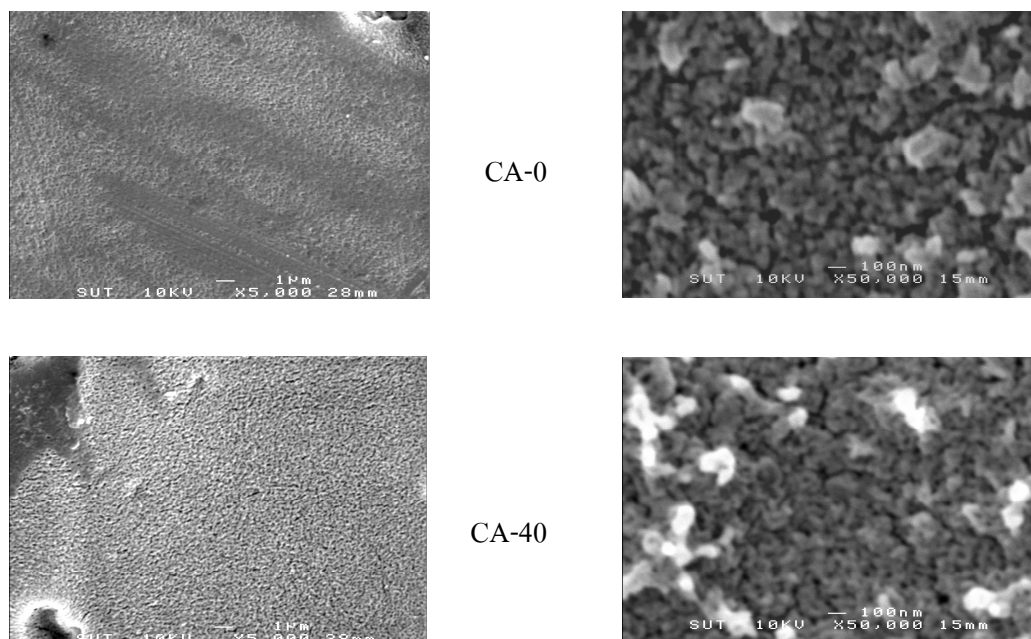


CA-0



CA-40

รูปที่ 4.3 ภาพภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

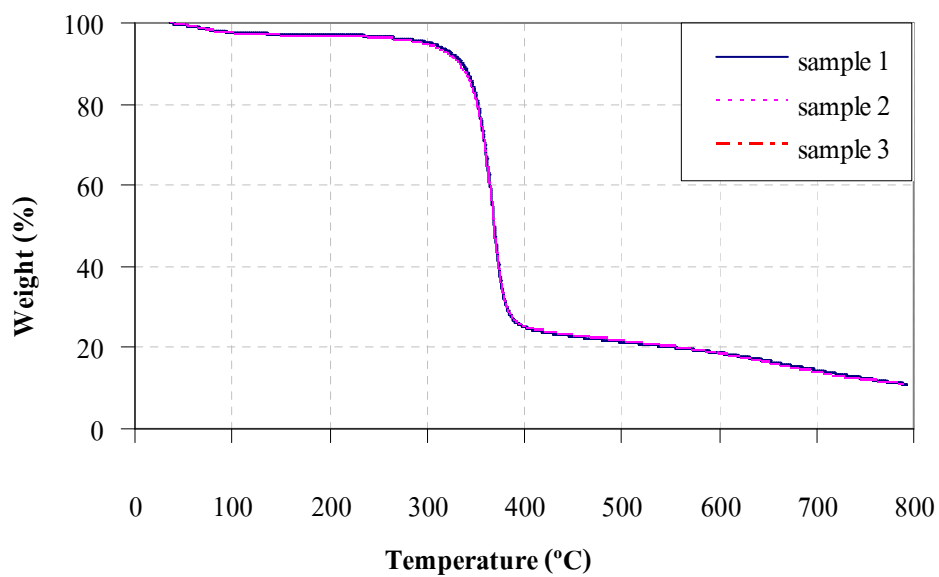


รูปที่ 4.4 ภาพผิวหน้าของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

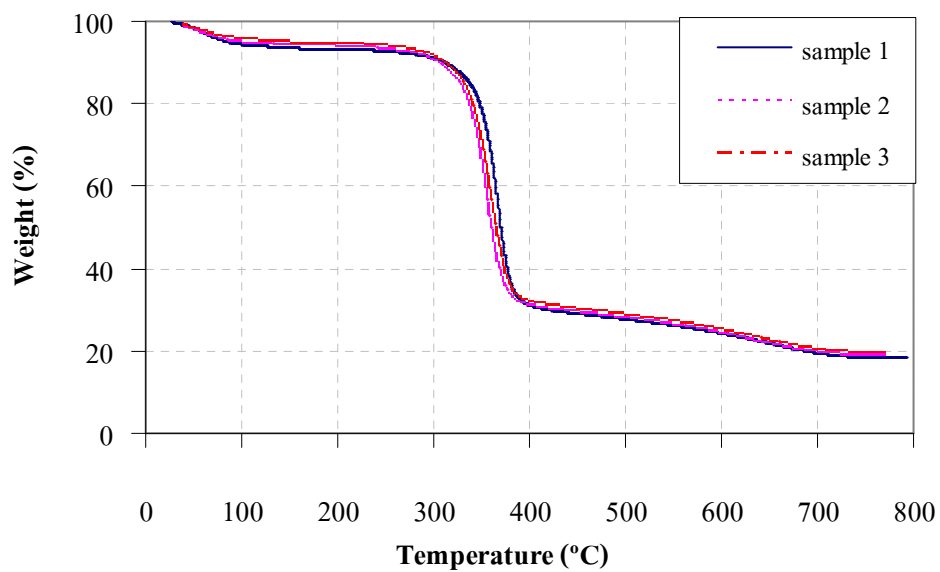
- ด้านซ้าย กำลังขยาย 5,000 เท่า
- ด้านขวา กำลังขยาย 50,000 เท่า

จากภาพพื้นผิวของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าที่กำลังขยาย 50,000 เท่าสามารถมองเห็นรูพรุนของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ โดยรูพรุนของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตธรรมดา มีขนาดรูพรุนใกล้เคียงกับเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์

จากภาพพื้นผิวของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.4 เมื่อสังเกตรูปของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ พบว่าการกระจายตัวของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ นอกจากภาพ SEM Micrograph แล้ว ยังมี Thermogram (รูปที่ 4.5) ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างบริเวณต่าง ๆ ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์มาวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยวิธี Thermogravimetric Analysis พบว่ากราฟที่ได้มีความใกล้เคียงกันมากซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการกระจายตัวของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์อย่างสม่ำเสมอในเยื่อแผ่นสังเคราะห์ การที่แร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์สามารถกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากเซลลูโลสอะซิเตตมีสมบัติที่ชอบน้ำ และแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ก็มีสมบัติที่ชอบน้ำเช่นเดียวกัน



(ก) CA-20

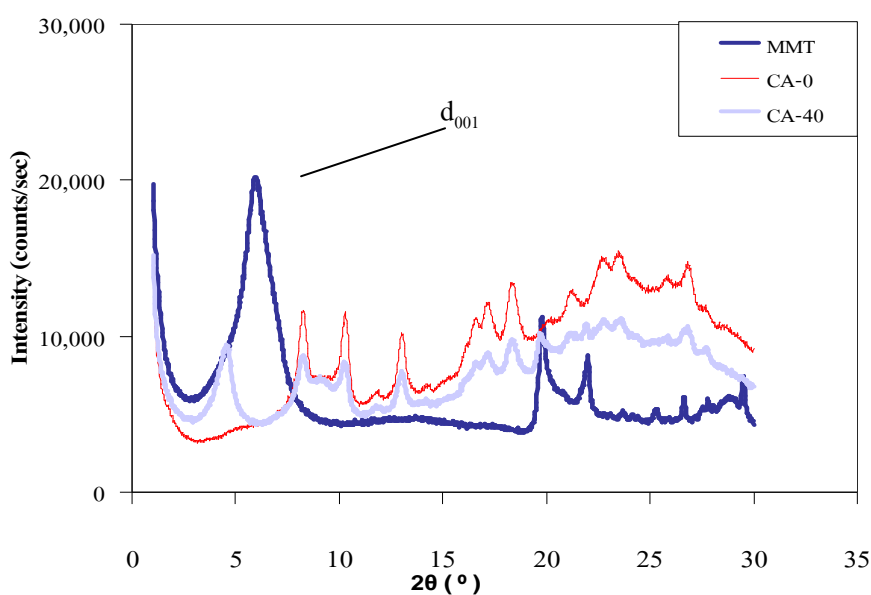


(ข) CA-40

รูปที่ 4.5 Thermogram ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตด
ที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

4.1.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction

การศึกษาสัณฐานวิทยาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ด้วย XRD พบว่าผลสอดคล้องกับการศึกษาด้วย SEM และ TGA คือ มีการกระจายตัวของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์อย่างสม่ำเสมอ และพบว่ามีเซลล์โลสอะซิเตตเข้าไปแทรกในช่อง Interlayer สังเกตจากค่า d_{001} ที่เพิ่มขึ้น และค่า 2θ ลดลง คือ d_{001} ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลล์โลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ มีค่าเท่ากับ 19.36 Å ที่มุม 2θ เท่ากับ 4.56° ซึ่งมากกว่า d_{001} ของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 14.92 Å และมุม 2θ เท่ากับ 5.69° แสดงให้เห็นว่าระยะห่างระหว่างชั้นโครงสร้างของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์มากขึ้น และจากลักษณะ Intensity ที่พีก d_{001} ที่ลดลงแสดงให้เห็นว่ามีกระจายตัวออก (Exfoliated) ของแผ่นอะลูมิเนียมซิลิเกตเกือบสมบูรณ์ (Gopakumar, Lee, Kontopoulou, and Parent, 2002) แต่ถ้าหากมีการผสมมอนต์โมริลโลไนต์ปริมาณน้อย ๆ ในสารละลายพอลิเมอร์ที่จะไม่พบพีก d_{001} เนื่องจากแผ่นอะลูมิเนียมซิลิเกตจะกระจายตัวอย่างสมบูรณ์ในพอลิเมอร์ (Wibowo et al., 2006) การกระจายตัวออกของชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตคือ การที่แผ่นอะลูมิเนียมซิลิเกตไม่ยึดติดกับชั้นอื่น ๆ ทำให้ไม่มี Interlayer ระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกต



รูปที่ 4.6 X-Ray Pattern ของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ และเยื่อแผ่นสังเคราะห์

4.1.4 การวิเคราะห์ทางความร้อนของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

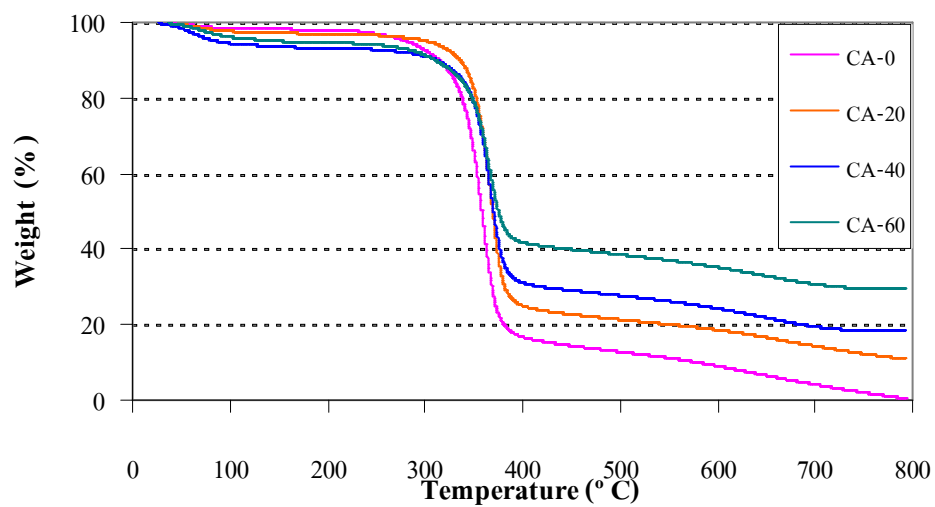
Thermogram จากการวิเคราะห์ทางความร้อนของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ด้วย Thermogravimetric Analysis แสดงในรูปที่ 4.7 โดยรูป (ก) เป็นกราฟ TGA คือ เป็นกราฟแสดงน้ำหนักของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ส่วนรูป (ข) เป็นอนุพันธ์ (Derivative) ของร้อยละ โดยน้ำหนักเทียบกับอุณหภูมิ โดยจากรูป (ข) นั้นจะพบอุณหภูมิการสลายตัวของสารสองตำแหน่ง โดยตำแหน่งแรกที่มีประมาณ 60-80°C นั้นแสดงถึงการระเหยของน้ำ ส่วนตำแหน่งที่สองที่มีประมาณ 300-400°C เป็นการสลายตัวของเซลลูโลส โดยอุณหภูมิทั้งสองตำแหน่ง และค่าปริมาณสารที่เหลือ (Residue) ที่ 800°C แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

จากรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.1 การพบว่าการผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์ทำให้ค่าอุณหภูมิการสลายตัวของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น แสดงถึงเสถียรภาพทางความร้อนที่เพิ่มขึ้น (Park et al, 2005) เมื่อผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์จะทำให้การทนต่อความร้อนของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เพิ่มขึ้น เนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์ และพื้นผิวของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์มีความแข็งแรง ทำให้ไปจำกัดการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ เป็นผลให้การเคลื่อนไหวของสายโซ่พอลิเมอร์ต่ำ และแรงกระทำระหว่างสายโซ่แข็งแรงขึ้น (Jian, Yahui, and Linlin, 2006)

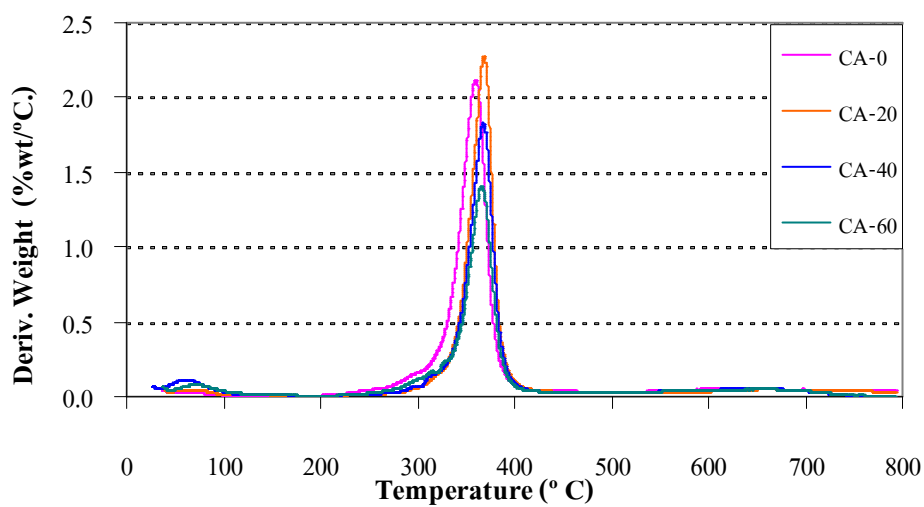
นอกจากนี้ยังพบว่าที่ 800 °C เยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตได้สลายตัวไปหมดแล้ว แต่ปริมาณ Residue ของแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ มีน้อยกว่าอัตราส่วนมอนต์โมริลโลไนต์ต่อเซลลูโลสอะซิเตต เช่น CA-40 ควรมี Residue เหลือ 40% แต่พบเพียง 20% ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่นำมาทดสอบยังมีความชื้นและสารอินทรีย์โมเลกุลต่ำ และที่ 800 °C มีองค์ประกอบบางส่วนของมอนต์โมริลโลไนต์สลายตัวเช่นกัน

ตารางที่ 4.1 ค่าสมบัติต่าง ๆ จากการทดสอบเชิงความร้อนด้วย TGA

เยื่อแผ่นสังเคราะห์	Decomposition Temperature (°C)		น้ำหนักที่ 800°C (%wt.)
	1 st	2 nd	
CA-0	66	361.75	0.42
CA-20	69	368.82	10.93
CA-40	70	369.94	20.48
CA-60	72	369.86	29.58



(ก) TGA



(ข) DTG

รูปที่ 4.7 Thermogram ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

4.1.5 การทดสอบการทนต่อแรงดึง

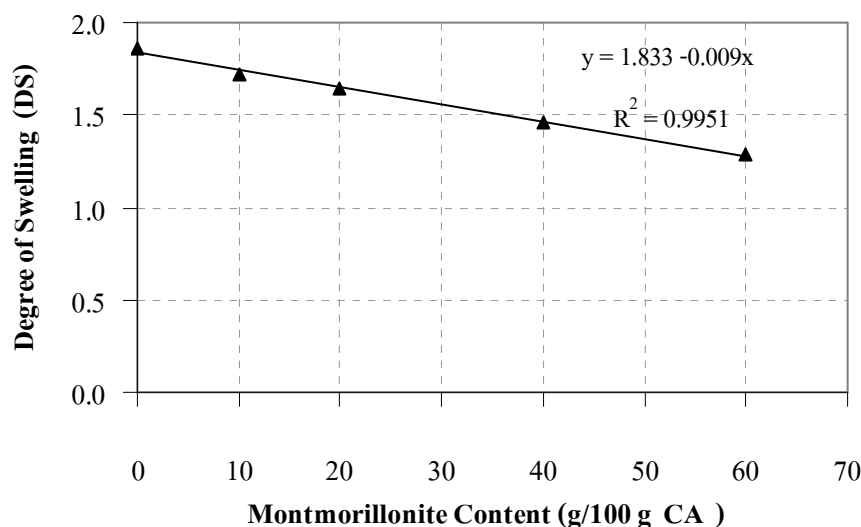
จากการทดสอบการทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นสังเคราะห์นั้น พบว่า เมื่อผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์ปริมาณ 40 g MMT/100 g CA จะทำให้ความสามารถในการทนต่อแรงดึงนั้นน้อยกว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ไม่ผสมแร่ดิน ดังแสดงในตารางที่ 4.2 การลดลงของค่าการทนต่อแรงดึง เนื่องจากที่ 40 g MMT/100 g CA นั้นมีการกระจายตัวของชั้นอะลูมิโนซิลิเกตที่ไม่สมบูรณ์ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งการกระจายตัวที่ไม่สมบูรณ์นี้จะไปลดความทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

เยื่อแผ่นสังเคราะห์	Tensile Strength (MPa)	Modulus (MPa)	Elongation at Break (%)
CA-0	5.80	309.47	9.87
CA-40	4.31	227.15	6.44

4.1.6 การทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

การหาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ สามารถทำได้ในรูปแบบของค่าการบวมตัวดังสมการ (3.1) ซึ่งค่าการบวมตัวเป็นค่าที่บอกความสามารถในการดูดซับน้ำต่อน้ำหนักของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ การบวมตัวของเยื่อแผ่นสังเคราะห์นั้นเกิดจากการที่น้ำเข้าไปในเยื่อแผ่นสังเคราะห์แล้วเกิดอันตรกิริยากับสายโซ่พอลิเมอร์ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ เมื่อน้ำเข้าไปจะทำให้สายโซ่เคลื่อนไหวได้มากขึ้น หรือช่องว่างระหว่างสายโซ่มากขึ้นทำให้เยื่อแผ่นสังเคราะห์เกิดการบวมตัว จากรูปที่ 4.8 เป็นที่สังเกตได้ว่าเมื่อปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการบวมตัวลดลง เนื่องจากแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ไปจำกัดการเคลื่อนไหวของสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้ช่องว่างระหว่างสายโซ่ลดลง เป็นผลให้การบวมตัวลดลง

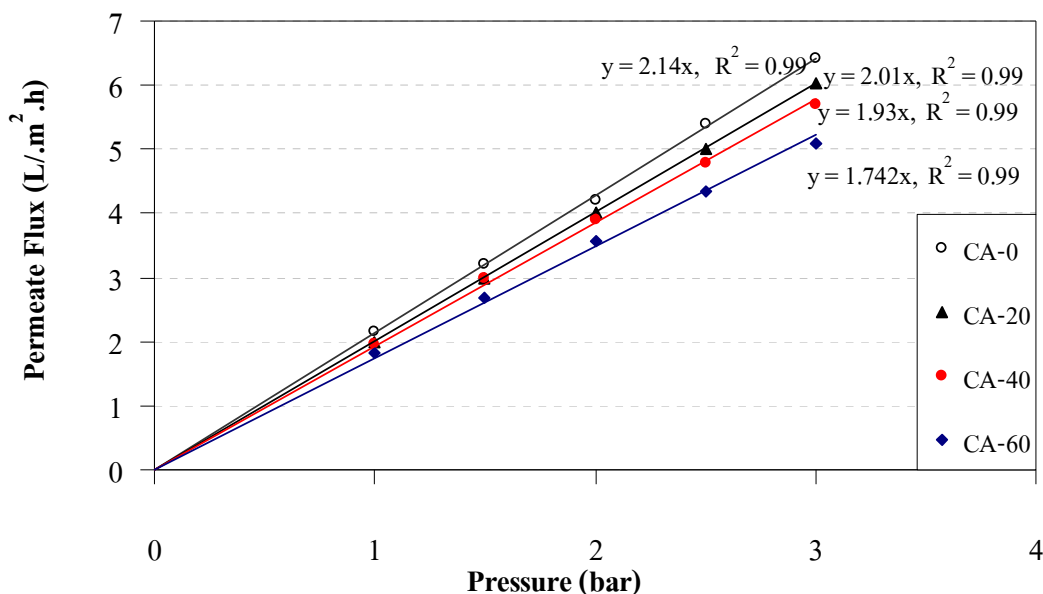


รูปที่ 4.8 ค่าการบวมตัวของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ต่าง ๆ

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพการแยกสารด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์

4.2.1 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์

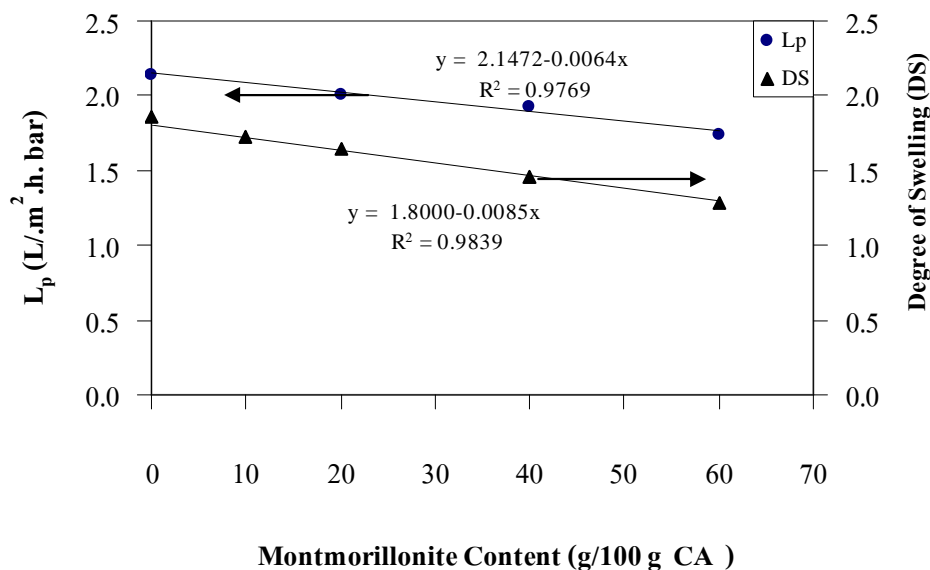
ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์สามารถหาได้จากการพลอตกราฟระหว่างค่าฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ และความดัน ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งแสดงฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ ที่แต่ละความดันที่ใช้ในการป้อนสารของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ชนิดต่าง ๆ กราฟที่ได้เป็นกราฟเส้นตรง ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น (R^2) มากกว่า 0.95 กราฟทุกเส้นผ่านจุดกำเนิด (0, 0) เนื่องจากค่าความดันออสโมติกเป็นศูนย์ดังสมการ (2.5) ค่าความชันของเส้นกราฟ คือค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์ ซึ่งจะพบว่าเมื่อผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ทำให้ความสามารถของน้ำในการซึมผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณมอนต์โมริลโลไนต์ก็ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.10 อย่างไรก็ตามการที่ฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น โดยแปรผันตรงกับค่าความดันแสดงว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้มีขนาดรูพรุนเท่ากันหมด (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543)



รูปที่ 4.9 พลิกซ์ของน้ำบริสุทธิ์ที่ความดันต่าง ๆ

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์มีแนวโน้มเหมือนกับค่าการบวมตัวของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ คือ ค่าทั้งสองจะลดลงเมื่อปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลไลไนต์ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และความสัมพันธ์ของค่าการบวมตัวและพลิกซ์ จะเป็นลักษณะเชิงเส้น การลดลงของค่าการบวมตัวแสดงให้เห็นถึงการลดลงของอันตรกิริยาทางเทอร์โมไดนามิกส์ระหว่างน้ำ และเยื่อแผ่นสังเคราะห์ (Bhat and Aminabhavi, 2006) ดังที่กล่าวในหัวข้อที่ 4.1.6 ว่าการลดลงของค่าการบวมตัวนั้น คือการที่ช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์น้อยลง ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการแพร่ของโมเลกุลน้ำผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ลดลงด้วย สัมประสิทธิ์การแพร่ของโมเลกุลผ่านเยื่อแผ่นสังเคราะห์ลดลงเป็นผลให้ค่าพลิกซ์ลดลง

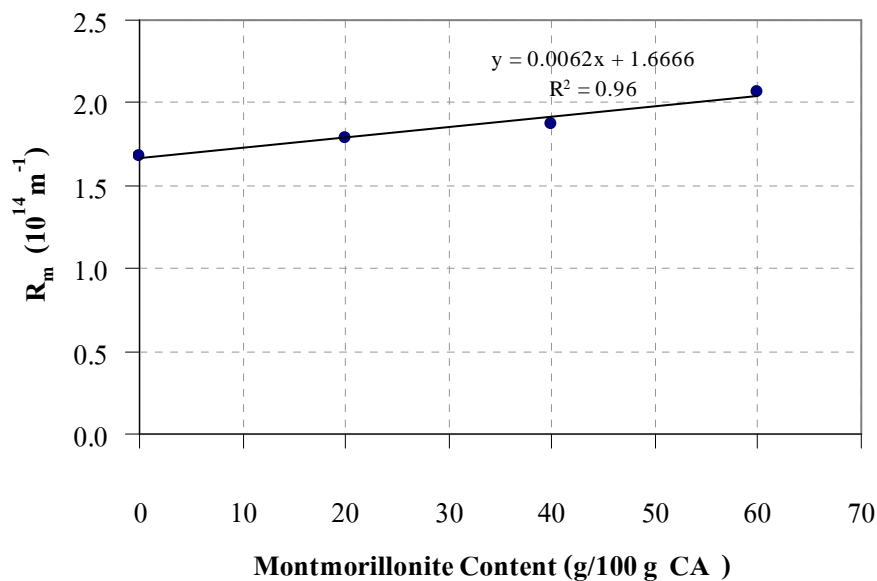
Oduor and Whitworth (2005) ได้นำแร่ดินมอนต์โมริลไลไนต์มาอัดตัวเป็นแผ่น (CMMT) เพื่อให้มีคุณสมบัติเป็นเยื่อแผ่นสังเคราะห์ โดยหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์ที่สภาวะคงตัวได้เท่ากับ 1.78×10^{-7} L/m².h.bar พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์มีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลไลไนต์ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลไลไนต์นั้น นอกจากจะสามารถนำไปใช้ได้สะดวกกว่าแร่ดินมอนต์โมริลไลไนต์ที่อัดตัวแล้ว ที่ความดันเดียวกันยังมีค่าพลิกซ์สูงกว่า



รูปที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์ และค่าการบวมตัวของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ต่าง ๆ

4.2.2 ความต้านทานการไหลของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

จากค่าการซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์สามารถนำไปหาค่าความต้านทานการไหลของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ได้จากสมการที่ 2.7 ค่าความต้านทานการไหลนี้เป็นค่าความต้านทานของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ (R_m) ตามสมการที่ 2.4 ความต้านทานรวม คือ ค่าความต้านทานของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ เนื่องจากน้ำบริสุทธิ์ไม่ก่อให้เกิดการโพลารไรซ์ และการอุดตันของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ จากรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์นั้นมีความต้านทานการไหลมากกว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดธรรมดา และปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์มากขึ้นทำให้เยื่อแผ่นสังเคราะห์มีค่าความต้านทานการไหลมากขึ้น เนื่องจากการเติมแร่ดินลงใน เยื่อแผ่นสังเคราะห์ทำให้แร่ดินไปขวางการไหลของน้ำ รวมถึงการที่แร่ดินไปลดช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ แนวโน้มค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์ และค่าความต้านทานการไหลของเยื่อแผ่นสังเคราะห์สอดคล้องกับภาพภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ คือ เยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดที่ผสมแร่ดินมีชั้นผิวที่หนากว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตด ทำให้มีความต้านทานการไหลมากกว่า จากสมการ (2.8) เมื่อสารป้อนเป็นน้ำบริสุทธิ์ความต้านทานรวม คือ ความต้านทานของเยื่อแผ่นสังเคราะห์อย่างเดียว และความต้านทานของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ประกอบด้วยความต้านทานการไหลในส่วนของเซลลูโลสอะซิเตด (R_{CA}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1.68 \times 10^{14} \text{ m}^{-1}$ และส่วนที่สอง คือ ความต้านทานจากแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ (R_{MMT}) ที่ผสมลงไป ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ค่า R_{MMT} จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์



รูปที่ 4.11 ค่าความต้านทานการไหลของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ต่าง ๆ

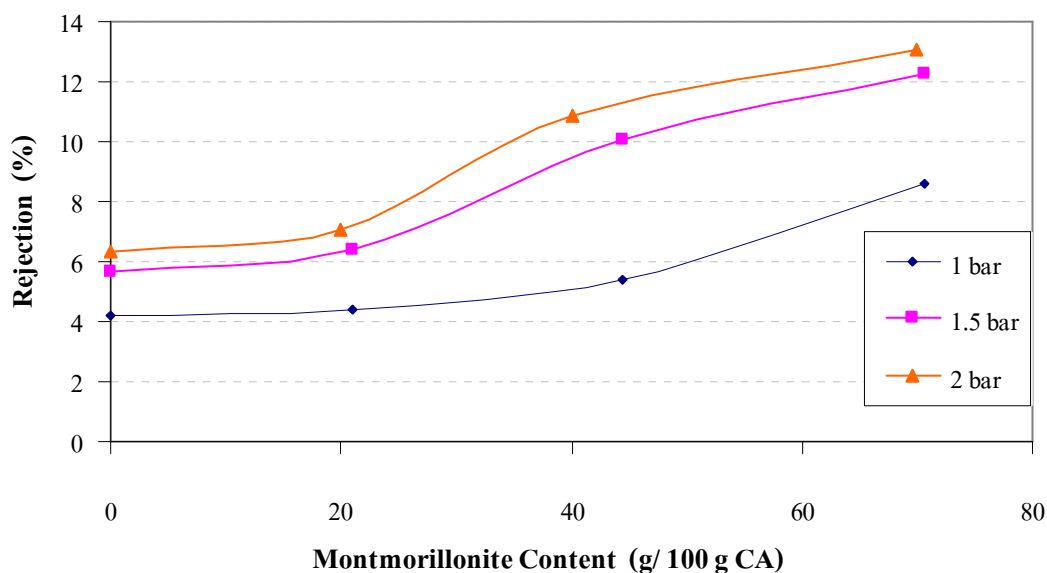
ตารางที่ 4.3 ค่าความต้านทานการไหลในส่วนของแร่ดินที่ผสมลงไปในเยื่อแผ่นสังเคราะห์

เยื่อแผ่นสังเคราะห์	CA-20	CA-40	CA-60
R_{MMT} (10^{-14} m^{-1})	0.111	0.187	0.389

4.2.3 การแยกโซเดียมคลอไรด์ออกจากน้ำ

การทดสอบแยกโซเดียมคลอไรด์นั้นเพื่อที่จะระบุประเภทของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้ และเป็นส่วนหนึ่งในการหาค่า MWCO ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ จากรูปที่ 4.12 พบว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์ผสมเซลลูโลสอะซิเตตนั้นมีความสามารถในการกักกันโซเดียมคลอไรด์ได้ 5.6% ส่วนเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์นั้นมีค่าการกักกันสูงกว่า คือ อยู่ในช่วง 6.4-12.3% เมื่อโซเดียมคลอไรด์ละลายน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนวาเลนซ์หนึ่ง (Monovalent Ions) เยื่อแผ่นสังเคราะห์ทั้งหมดที่เตรียมได้มีค่าการกักกันไอออนวาเลนซ์หนึ่งได้น้อยมาก ดังนั้นเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้จึงไม่ใช่เยื่อแผ่นสังเคราะห์ประเภทออสโมซิสผันกลับ (Mulder, 1996) จากตารางที่ 2.2 ค่าการกักกันโซเดียมคลอไรด์ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้อยู่ในช่วงของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ประเภทนาโนฟิลเตรชัน เนื่องจากการกักกันโซเดียมคลอไรด์ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ค่อนข้างต่ำ จึงคาดว่า MWCO ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์น่าจะอยู่

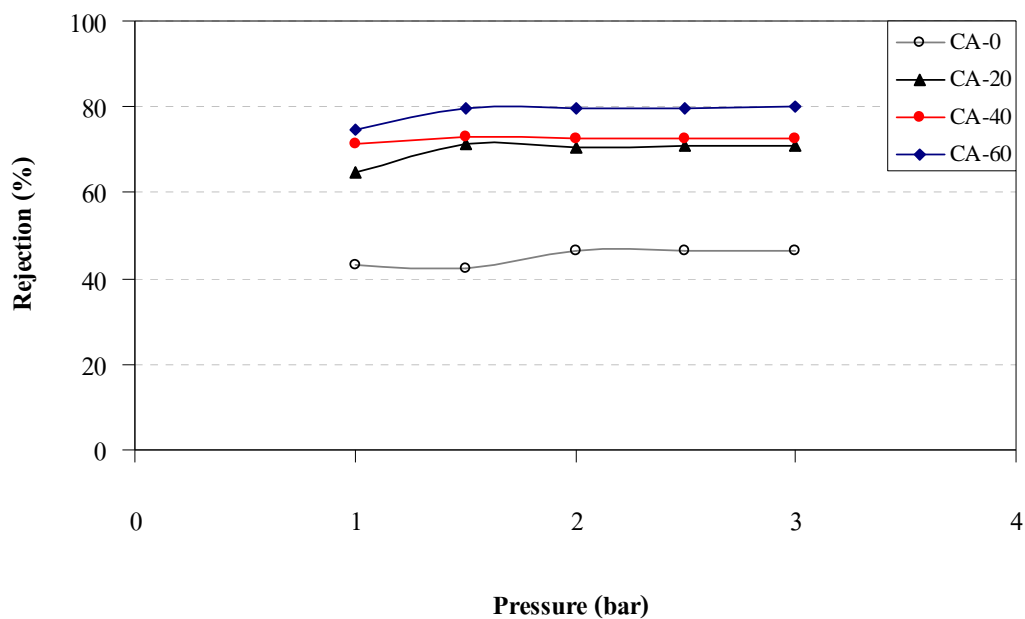
ในช่วงที่เกิน 300 daltons จึงได้เลือกสี Azo ที่น้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 300 daltons มาทำการทดสอบในลำดับต่อไป



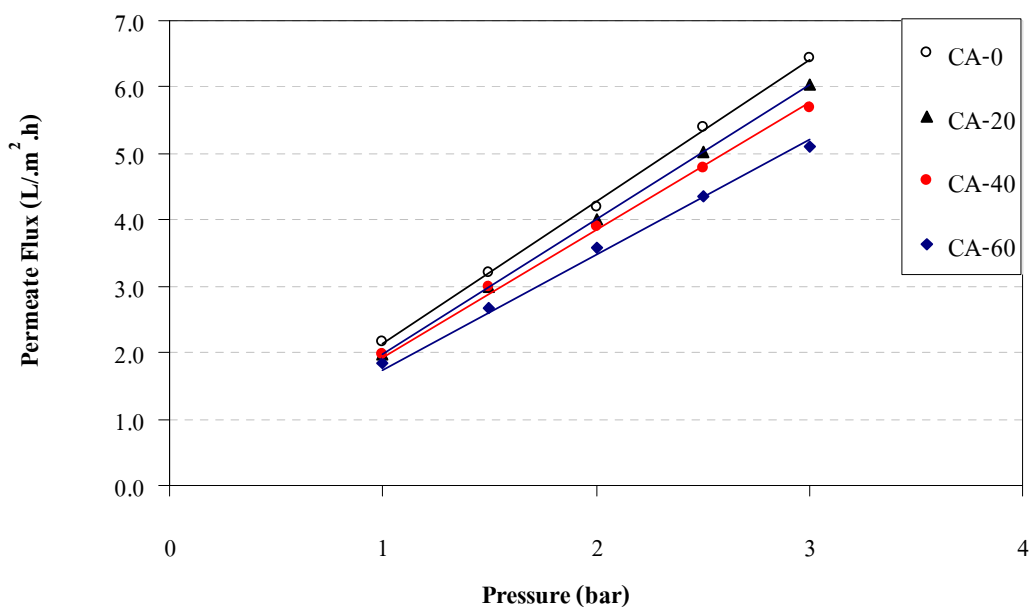
รูปที่ 4.12 ค่าการกักกันโซเดียมคลอไรด์ด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ที่มีปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ต่าง ๆ

4.2.4 การแยกเมธิลออเรนจ์ออกจากน้ำ

ในการทดสอบแยกเมธิลออเรนจ์ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 327 daltons ออกจากน้ำ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเมธิลออเรนจ์ 20 ppm ซึ่งมีค่า pH เท่ากับ 6.27 จากรูปที่ 4.13 พบว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์ผสมเซลลูโลสอะซิเตตนั้นมีความสามารถในการกักกันสารเมธิลออเรนจ์ได้ 46% ส่วนเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์นั้นมีค่าการกักกันสูงกว่าคือ อยู่ในช่วงในช่วง 70-80% เยื่อแผ่นสังเคราะห์ทั้งหมดที่เตรียมได้มีค่าการกักกันไม่ถึง 90% ซึ่งนั่นคือ 327 daltons ยังไม่ใช่ MWCO ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้ เป็นที่สังเกตได้ว่าความสามารถในการแยกสารจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์เนื่องจากลักษณะโครงสร้างแผ่นอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ที่มีประจุรวมเป็นลบ ทำให้ผลึกประจุลบของเมธิลออเรนจ์ที่ละลายอยู่ในน้ำ ทำให้แรงผลักนี้มีส่วนช่วยให้เมธิลออเรนจ์ไม่เกาะติดที่เยื่อแผ่นสังเคราะห์มาก



รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพการแยกเมธิลออเรนจจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ความดันต่าง ๆ

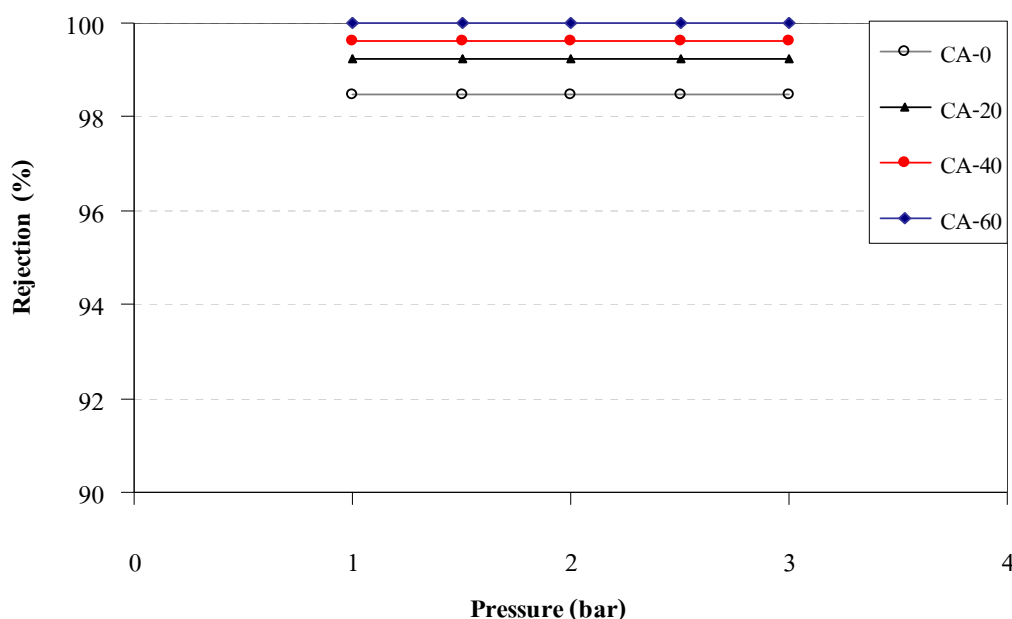


รูปที่ 4.14 ค่าฟลักซ์ของเพอร์มิเททในการแยกเมธิลออเรนจจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ความดันต่าง ๆ

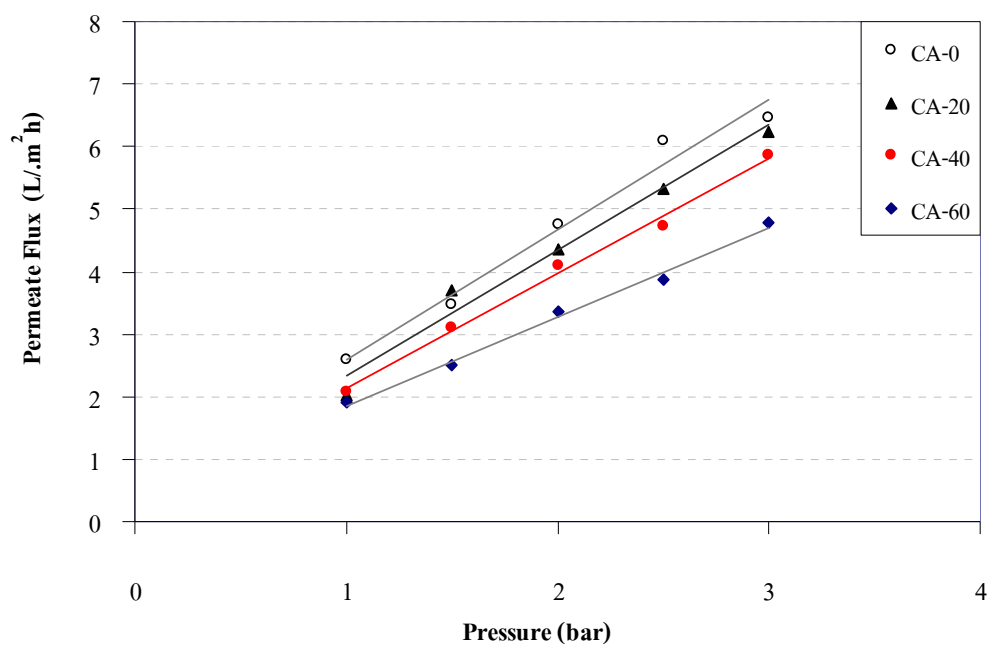
4.2.5 การแยกอียิปที่ออกจากน้ำ

ในการทดสอบแยกอียิปที่ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 461 daltons ออกจากน้ำ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอียิปที่ คือ 25 ppm และมีค่า pH เท่ากับ 6.16 จากรูปที่ 4.15 พบว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ไม่ผสมแร่ดินนั้นมีค่าการกักกัน 98% ส่วนเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์นั้นมีค่าการกักกันในช่วง 99-100% เมื่อมีปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ตั้งแต่ 60 g /100 g CA ขึ้นไป เยื่อแผ่นสังเคราะห์จะมีความสามารถในการกักกันอียิปที่ไว้ได้ทั้งหมด คือ มีค่าการกักกันเป็น 100% โดยความสามารถในการแยกสารจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ลงในเยื่อแผ่นสังเคราะห์ เยื่อแผ่นสังเคราะห์ทั้งหมดที่เตรียมได้มีค่าการกักกันเกิน 90% ซึ่งนั่นคือ 461 daltons เป็นค่าที่สูงกว่า MWCO ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้

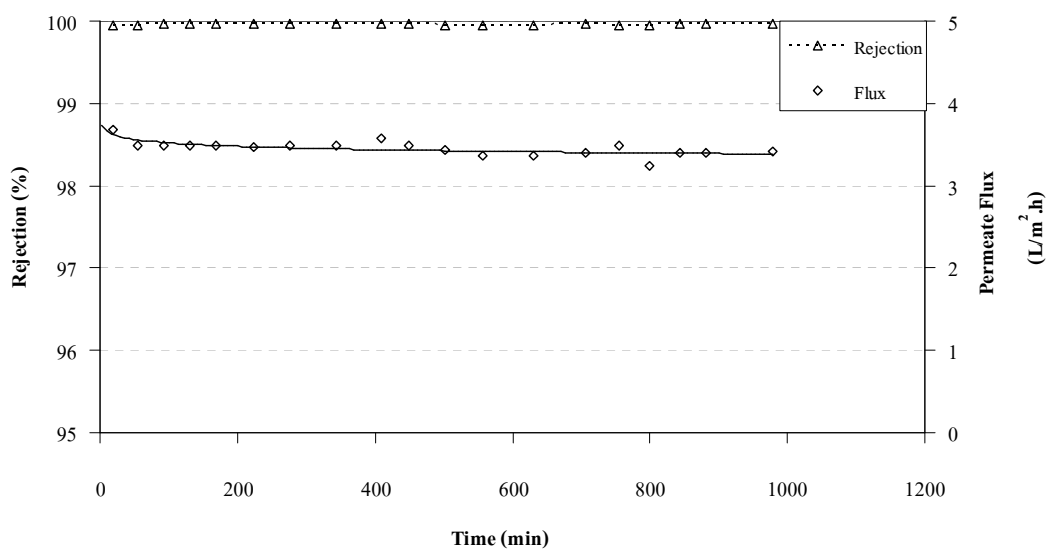
เมื่อทำการทดลองแยกอียิปที่เข้มข้น 25 ppm ในระบบกะ (Batch) โดยใช้ปริมาตรเริ่มต้น 300 mL ทำการแยกที่ 2 bar ไปจนเหลือสารในเครื่องกรอง 20 mL ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.17 พบว่าความสามารถในการกักกันสารยังคงอยู่ที่ 100% และพบว่าค่าฟลักซ์ไม่ลดลง แสดงว่ายังไม่เกิดการสกปรกของผิว เนื่องจากความเข้มข้นของอียิปที่ที่ใช้ไม่สูงมาก และประจุลบของชั้นอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์จะผลัดกับประจุของลบอียิปที่ที่ละลายในน้ำ ความเข้มข้นท้ายของอียิปที่ คือ 153.21 ppm นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นเริ่มต้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกอียิปที่ ในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.15 ประสิทธิภาพการแยกอียิปที่จากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่มีความดันต่าง ๆ



รูปที่ 4.16 ค่าฟลักซ์ของเพอร์มิเอทในการแยกอีพีทีจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่มีความดันต่าง ๆ



รูปที่ 4.17 ประสิทธิภาพการแยกอีพีทีจากน้ำของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ที่เวลาต่าง ๆ

ในการทำงานในระบบแบบกะนั้นเมื่อแยกเพอร์มิเอทออกแล้วจะทำให้ความเข้มข้นในเครื่อง Bath Stirred Cell สูงขึ้นเรื่อย ๆ แต่ปริมาตรจะลดลงเรื่อย ๆ ระบบจะทำงานจนได้ปริมาตรหรือความเข้มข้นที่ต้องการ เทอมที่เกี่ยวข้องและสำคัญที่ควรทราบที่ควรทราบว่าได้มีการแยกเพอร์มิเอทออกไปเท่าไรหลังจากสารป้อนที่มีอยู่ คือ เปอร์เซนต์การแยกกลับ (%Recovery) สำหรับระบบกะหาได้จากสมการ (4.1)

$$\% \text{ Recovery} = \frac{V_p}{V_0} \times 100 \quad (4.1)$$

โดย V_p คือ ปริมาตรของเพอร์มิเอท
 V_0 คือ ปริมาตรเริ่มต้น

ในการทดลองแยกอีบีทีเข้มข้น 25 ppm ใน Batch Stirred Cell โดยใช้ปริมาตรเริ่มต้น 300 mL ทำการแยกที่ 2 bar ไปจนเหลือสารในเครื่องกรอง 20 mL จะมีค่า % Recovery เท่ากับ 93%

จากการทดสอบการแยกอี Azo ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ มีความสามารถในการกักกันสีอินทรีย์ในกลุ่ม Azo ได้ดีกว่าแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ที่อัดตัวเป็นแผ่น (Odour and Whitworth, 2005) แม้ว่าสีที่ใช้ในการทดสอบการแยกสารของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์จะมีน้ำหนักโมเลกุลที่ใช้ในการทดสอบน้อยกว่าการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.4

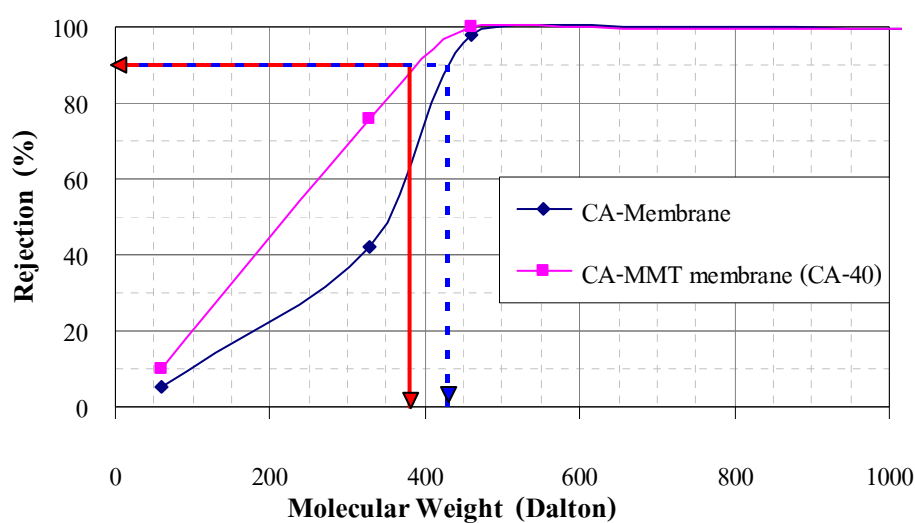
ตารางที่ 4.4 การทดสอบการแยกอี Azo ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบต่าง ๆ

เยื่อแผ่นสังเคราะห์	CMMT *	เซลลูโลสอะซิเตด	เซลลูโลสอะซิเตดผสมมอนต์โมริลโลไนต์
Lp (L/m ² .h)	1.78x10 ⁻⁷	2.2	1.8-2.0
ค่าการกักกัน (% R)	52	45	60-80
สี Azo ที่ใช้ในการทดสอบ	ออเรนจ์ จี	เมธิลออเรนจ์	เมธิลออเรนจ์
น้ำหนักโมเลกุลของสี Azo (dalton)	452.4	327	327

หมายเหตุ : CMMT คือ แร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ที่อัดตัวเป็นแผ่นให้มีคุณสมบัติเหมือนเยื่อแผ่นสังเคราะห์

4.2.6 การหาค่า Molecular Weight Cut-Off ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

ในการทดสอบประสิทธิภาพการแยกโซเดียมคลอไรด์ เมธิลเอเรนจ์ และอีบีที รวมทั้งการแยกกรดซิวมิกในหัวข้อที่ 4.3 เมื่อนำค่าการกักกัน และน้ำหนักโมเลกุลมาพลอตกราฟเพื่อหาค่า MWCO ซึ่งคือค่าน้ำหนักโมเลกุลของสารที่เยื่อแผ่นสังเคราะห์สามารถกักกันไว้ได้มากกว่า 90% จากรูปที่ 4.18 พบว่าค่า MWCO ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดธรรมดาเท่ากับ 430 daltons ซึ่งมากกว่า MWCO ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ (CA-40) ที่มีค่า MWCO เท่ากับ 380 daltons



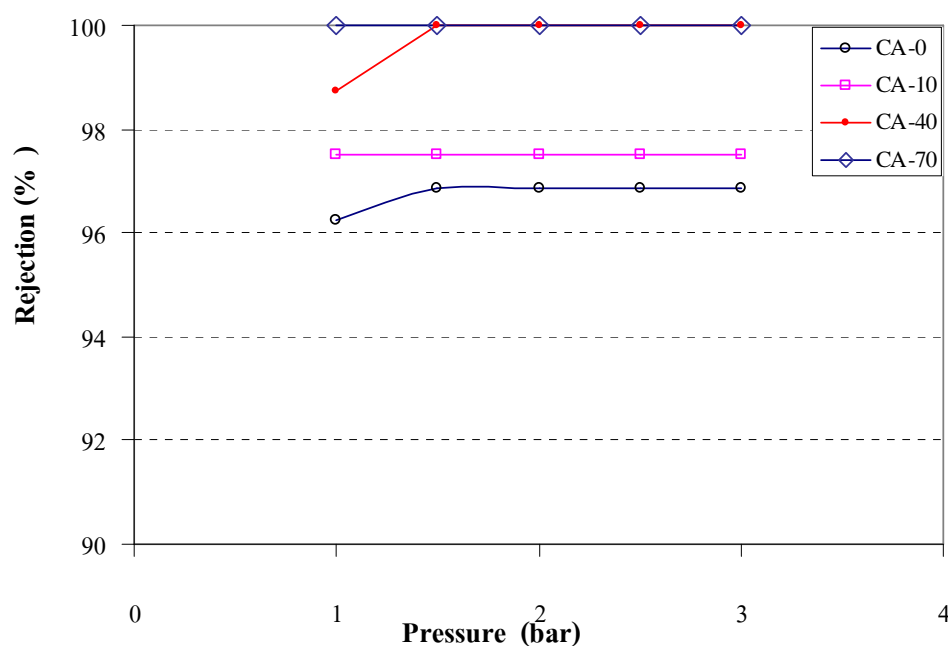
รูปที่ 4.18 ค่าการกักกันสารของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่น้ำหนักโมเลกุลของตัวละลายต่าง ๆ

4.3 การแยกกรดฮิวมิกจากน้ำ

กรดฮิวมิกที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2000 daltons (Yue, 2004) ซึ่งเป็นสารที่มีขนาดใหญ่กว่า MWCO ของเยื่อแผ่นเซลลูโลสอะซิเตดที่ผสมและไม่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลไลต์

4.3.1 การศึกษาผลความดันที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกกรดฮิวมิกจากน้ำ

จากการทดลองแยกกรดฮิวมิกความเข้มข้นเริ่มต้น 100 ppm ที่ความดันต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.19 พบว่าประสิทธิภาพในการแยกสารที่ความดันต่าง ๆ นั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงถือว่าความดันไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกสารในช่วงความดันที่ศึกษา และพบว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลไลต์ มีประสิทธิภาพในการแยกกรดฮิวมิกดีกว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดธรรมดา และเมื่อเพิ่มปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลไลต์ตั้งแต่ 40 g / 100 g CA เยื่อแผ่นสังเคราะห์จะมีความสามารถในการกักกันฮิวมิกได้ 100% คือ สามารถกักกันฮิวมิกไว้ได้ทั้งหมด เยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดที่ไม่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลไลต์มีค่าการกักกันฮิวมิก เท่ากับ 97%



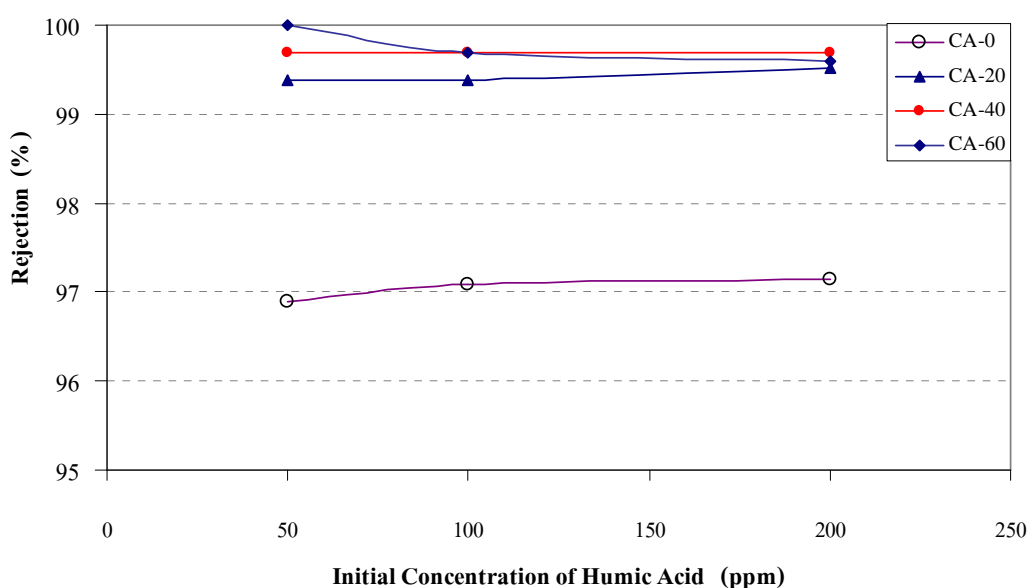
รูปที่ 4.19 ประสิทธิภาพการแยกกรดฮิวมิกจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ความดันต่าง ๆ

4.3.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดฮิวมิกที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกสาร

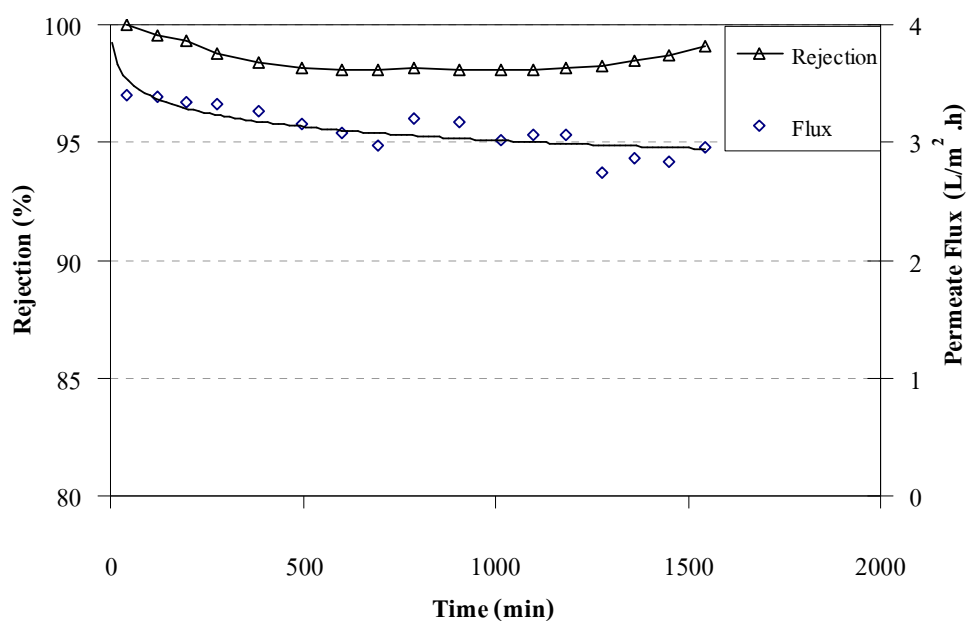
จากการทดลองแยกกรดฮิวมิกที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 50-200 ppm ดังแสดงในรูปที่ 4.20 พบว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดฮิวมิกในช่วงที่ศึกษานั้นไม่ส่งผลต่อค่าความสามารถในการกักกันสารของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้อย่างมีนัยสำคัญ จึงถือว่าความเข้มข้นเริ่มต้นในช่วงที่ทำการศึกษาไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกสาร ดังนั้น ประสิทธิภาพการแยกสารไม่ขึ้นกับความดัน และความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดฮิวมิกในช่วงที่ทำการศึกษา

4.3.3 การศึกษาประสิทธิภาพการแยกกรดฮิวมิกจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลในเวลาที่ต่าง ๆ

เมื่อทำการทดลองแยกกรดฮิวมิกเข้มข้น 200 ppm ในระบบกะ โดยใช้ปริมาตรเริ่มต้น 300 mL ทำการแยกที่ 2 bar ไปจนเหลือสารในเครื่องกรอง 20 mL ดังแสดงในรูปที่ 4.21 พบว่าความสามารถในการกักกันฮิวมิกยังอยู่ที่ 100% และพบว่า ค่าฟลักซ์ลดลงแสดงว่าเกิดการโพลาไรซ์ และการอุดตัน โดยมีค่าความต้านทานของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ $1.801 \times 10^{14} \text{ m}^{-1}$ และความต้านทานของชั้นโพลาไรซ์รวมกับความต้านทานจากการอุดตันคิดเป็น $0.532 \times 10^{14} \text{ m}^{-1}$



รูปที่ 4.20 ประสิทธิภาพการแยกกรดฮิวมิกจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายกรดฮิวมิกต่าง ๆ



รูปที่ 4.21 ประสิทธิภาพการแยกกรดฮิวมิคจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เวลาต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาการแยกสารต่าง ๆ แล้วพบว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์สามารถแยกสารได้ดีกว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตต แต่การแยกอีบีที และกรดฮิวมิคจากน้ำนั้น ถึงแม้ประสิทธิภาพการแยกสารจะสูงกว่าแต่ก็ไม่มากนักเนื่องจากอีบีทีและกรดฮิวมิคมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าค่า MWCO ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ดังนั้น จากกลไกการคัดขนาดทำให้สามารถแยกอีบีที และกรดฮิวมิคได้เกือบ 100% เหมือนกัน แต่ในกรณีของเมธิลออเรนจ์นั้นเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์นั้นจะสามารถกักกันเมธิลออเรนจ์ได้สูงกว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ไม่ผสมแร่ดิน 30-40% เนื่องจากการที่ประจุลบของชั้นอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เกิดผลกับประจุลบของเมธิลออเรนจ์ ซึ่งกลไกนี้มีส่วนสำคัญที่ช่วยให้ค่าการกักกันสูงขึ้นมาก

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการแยกสาร และสมบัติต่าง ๆ ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตตที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ แล้วพบว่า CA-40 นั้นมีความเหมาะสมที่ใช้ในการแยกสารมากที่สุด เนื่องจากเมื่อพิจารณาการแยกสารแล้ว CA-40 สามารถกักกันอีบีทีได้ถึง 99.5% ในการแยกกรดฮิวมิค CA-40 นั้นสามารถกักกันสารได้ 100% เช่นเดียวกับ CA-60 แต่ว่า CA-40 นั้นให้ค่าฟลักซ์ของเพอร์มิเอทสูงกว่า CA-60 และเมื่อนำไปใช้กับเครื่อง Batch Stirred Cell นั้นสามารถใช้สะดวกกว่า เนื่องจากมีความยืดหยุ่นมากกว่า CA-60

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการเตรียมเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตด และเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ รวมทั้งการศึกษาสมบัติ และทดสอบประสิทธิภาพการแยกสารสามารถสรุปได้ดังนี้

ปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียม เยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ คือ 40 g ต่อ 100 g CA

สภาวะที่เหมาะสมในการแยกสารด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้ คือ แยกที่ความดัน 2 bar ที่อุณหภูมิ ห้อง (30 °C) เนื่องจากไม่เปลืองพลังงาน

เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้เป็นเยื่อแผ่นสังเคราะห์แบบไม่สมมาตร โดยที่เยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์จะมีชั้นผิวที่หนากว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดธรรมดา สำหรับเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์นั้นพบว่ามีการกระจายตัวของแร่ดินอย่างสม่ำเสมอในเยื่อแผ่นสังเคราะห์ และมีเซลลูโลสอะซิเตดบางส่วนเข้าไปอยู่ใน Interlayer ของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ ซึ่งเกิดร่วมกับการกระจายตัวของชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกต ความหนาของเยื่อแผ่นสังเคราะห์จะเพิ่มตามปริมาณของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในลักษณะที่เป็นเชิงเส้น

การผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดช่วยเพิ่มการทนต่อความร้อน ทำให้มีประโยชน์ในกรณีที่จะนำไปทำการ Sterilization และปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์มากยิ่งขึ้นช่วยเพิ่มการทนต่อความร้อนของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์มีแนวโน้มเหมือนกับค่าการบวมตัวของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ คือ ค่าทั้งสองจะลดลงเมื่อปริมาณแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ในเยื่อแผ่นสังเคราะห์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความต้านทานการไหลของเยื่อแผ่นสังเคราะห์จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแร่ดินในเยื่อแผ่นสังเคราะห์มากขึ้น

ค่า MWCO ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดประมาณ 430 daltons ส่วน MWCO ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์มีค่าประมาณ 380 daltons ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์และค่า MWCO แล้วเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้อยู่ในช่วงของเยื่อแผ่นสังเคราะห์นาโนฟิลเตรชัน (Mulder, 1996)

ในการทดสอบการแยกโซเดียมคลอไรด์ สี Azo และกรดฮิวมิกออกจากน้ำ นั้นพบว่า เยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์สามารถกักกันสี และกรดฮิวมิกได้มากกว่าเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดธรรมดา

จากการทดสอบการแยกสี Azo ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์มีความสามารถในการกักกันสีอินทรีย์ในกลุ่ม Azo ได้ดีกว่าแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ที่อัดตัวเป็นแผ่น และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์เยื่อแผ่นสังเคราะห์เซลลูโลสอะซิเตดที่ผสมแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ยังมีค่าสูงกว่าแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ที่อัดตัวเป็นแผ่นเป็นอย่างมาก

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยต่อไป

5.2.1 หาขนาดรูพรุนที่แน่นอน รวมทั้งการกระจายตัวของรูพรุนของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้

5.2.2 ทดสอบประสิทธิภาพการแยกสารที่ความดันสูงกว่า 3 bar

5.2.3 ทดสอบประสิทธิภาพการแยกสีประจุบวก

5.2.4 ศึกษาประสิทธิภาพการแยกสารในระบบต่อเนื่อง

5.2.4 ศึกษาผลของปริมาณส่วนผสมต่าง ๆ ในสารละลายพอลิเมอร์ เช่นพอร์มาไมด์ ที่มีผลต่อสมบัติรวมทั้งความสามารถในการแยกสารของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

5.2.5 ศึกษาผลของอุณหภูมิ และ pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกสารด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้

5.2.6 ศึกษาผลของขนาดของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกสาร

รายการอ้างอิง

- กรรมธิการ์ สิริสิงห์. (2544). เคมี่ของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์ (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: ประยูรวงศ์.
- กิจชัย ศิริวัฒน์ และ สุมล ปวีทรานนท์. ปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำดิบและน้ำประปาในเขต กรุงเทพมหานครและปริมณฑล. ว.กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ม.ค.-มี.ค. 43; 41(1): 55-87
- ขันทอง สุนทรภา. (2547). เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ฉัตรชัย เกียรติวัฒนากร. (2550). ดินแร่ดินเหนียว [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://classroom.psu.ac.th/users/japichai/books/soilmech/ch03/clay.htm>
- ปิยมาภรณ์ จารวงศ์. (2545). การดูดซับสารอินทรีย์ด้วยแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- ปิยมาภรณ์ จารวงศ์ และ รัตนาวรรณ วิบูลย์สวัสดิ์. (2545). การดูดซับกรดฮิวมิกโดยกระบวนการดูดซับแบบเบคคิงโดยใช้มอนต์โมริลโลไนต์ และมอนต์โมริลโลไนต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับ. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาของประเทศไทยครั้งที่ 3
- ปิยมาภรณ์ จารวงศ์ และ รัตนาวรรณ วิบูลย์สวัสดิ์. (2547). การดูดซับสารอินทรีย์จากน้ำโดยใช้แร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ธรรมชาติ และ Organo-clays. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี 11 (1): 39-51
- ปิยรัตน์ สารวงษ์. (2545). การกำจัดกรดฮิวมิกโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยโคโรแซนและเบนโทไนต์. วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- รัตนาวรรณ เกียรติโกมล (2548) การใช้มอนต์โมริลโลไนต์ (Montmorillonite) ธรรมชาติ และมอนต์โมริลโลไนต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวแล้ว เป็นตัวดูดซับสารอินทรีย์ในระบบหอดูดซับ. รายงานการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรม ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
- รัตนา จิระรัตนานนท์. (2543). กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ไทยเส็ง
- ราชนัน ธีระพิทยาตระกูล (2545). การก่อด่างของไตรฮาโลมีเทนในน้ำดื่มระบบประปาชนบทในจังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- Alther, G. R. (2000). Organoclays remove humic substances from water. In Grabbour, E. A., and Davies, G. (ed). **Humic substances: versatile components of plant soils and water** (pp. 277-288). Cornwall, England: MGP
- Amarasiriwardena, D., Siripinyanond, A., and Barnes, R. M. (2000). Flow field-flow fraction-inductively couple plasma mass spectrometry (flow-FFF-ICP-MS): A versatile approach for characterization of trace metals complexed to soil derive humic acids. In E. A. Grabbour, and G. Davies (ed). **Humic substances: versatile component of plant soils and water** (pp. 215-226). Cornwall, England: MGP
- Aqua technologies of Wyoming Inc. (2007). **Montmorillonite and adsorption** [on-line]. Available: http://www.aquatechnologies.com/info_bentonite_clay.html
- Baker, R. W. (2004). **Membrane technology and applications** (2nd ed.). West Sussex, England: Wiley.
- Bernard, B., (1987). **Control of organic substance in water and waste water**. Noyes data corporation.
- Bhat, S. D., and Aminabhavi, T. M. (2006). Novel sodium alginate- Na^+ MMT hybrid composite membranes for pervaporation dehydration of isopropanol, 1,4-dioxane and tetrahydrofuran. **Separation and Purification Technology** 51(1): 85-94.
- Cain, et al. (1999). The use of clays as sorbents and catalyst. In P. Misaelides, F. Macasek, T.J. Pinnavaia and C. Colella (ed.). **Natural Microporous material in Environmental Technology** (pp 49-66). Netherlands: Kluwer Academic Publisher
- Clauer, N., and Chaudhuri, S. (1995). **Clay in crustal environments: Isotope dating and tracing**. New York: Springer
- Costache, C.,M., Wang, D., Heidecker, M., J., and Manias, E. (2006). The thermal degradation of poly(methyl methacrylate) nanocomposites with montmorillonite, layered double hydroxides and carbon nanotubes. **Polymers for Advanced Technology** (17): (272-280)
- Devies, G. and Ghabbour, E. A. (1999) Understanding life after death. **Chemistry & Industry, Society of Chemical Industry**. 11. 426-430
- Fitch, A., and Du, J. (1996). Solute Transport in clay media: Effect of humic Acid. **Environmental Science and Technology**. 30(1): 12-15
- Gindl, W., and Keckes, J. (2005). All-cellulose nanocomposite. **Polymer** (46): 10221-10225

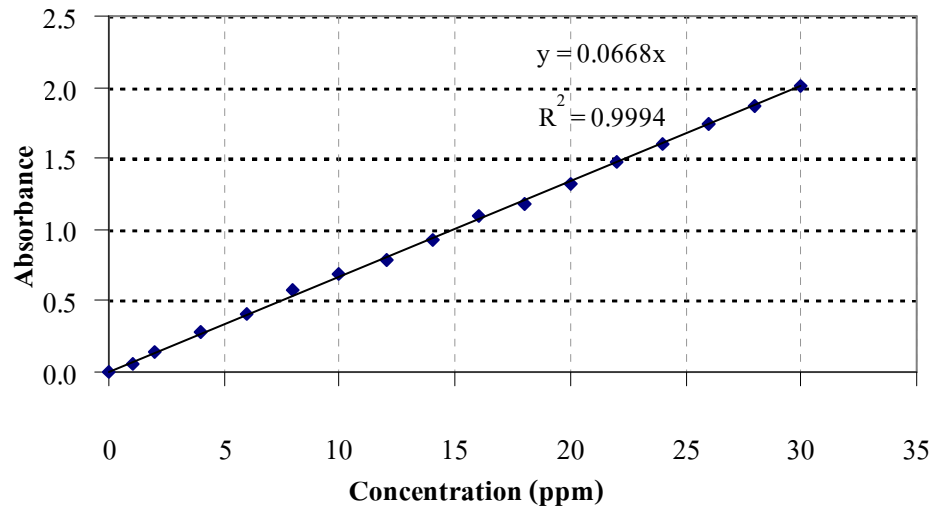
- Haddad, R., Ferjani, E., Roudesli, M. S., and Deratani, A. (2004). Properties of cellulose acetate nanofiltration membranes. Application to brackish water desalination. **Desalination** (167): 403-409
- Jian, P., Yahui, H., and Linlin, L. (2006). Preparation of polysulfone-Fe₃O₄ composite ultrafiltration membrane and its behavior in magnetic field. **Journal of membrane Science** (284): 9-16
- Kahle, M., and Stamm C. (2007) Time and pH-dependent sorption of the veterinary antimicrobial sulfathiazole to clay minerals and ferrihydrite. **Chemosphere**, 68(7), 1224-1231
- Kantevari, S., Vuppalapati, S.V.N., and Nagarapu, L. (2007). Montmorillonite K10 catalyzed efficient synthesis of amidoalkyl naphthols under solvent free conditions. **Catalysis Communications**, 8(11), 1857-1862
- Kesting, R. E. (1985). **Synthetic polymeric membranes: A structural perspective** (2nd ed.). New York: Wiley.
- Kunst, L. K., Sambrailo, D., and Kunst, B. (1991). On the skinned cellulose triacetate membrane formation. **Desalination** (83): 331-342
- Lanxiu, Y., et al. (2004). Molecular weight distribution of dissolved organic matter in Lake Hongfeng determined by high performance size exclusion chromatography (HPSEC) with on-line UV-vis absorbance and fluorescence detection. **Chinese Journal of Geochemistry** (23). 275-283
- Matsuura, T. (1994). **Synthetic membranes and membrane separation processes**. Boca Raton: CRC
- Manikandan, D., Divakar, D. and Sivakumar, T. (2007). Utilization of clay minerals for Developing Pt nanoparticles and their catalytic activity in the selective hydrogenation of cinnamaldehyde. **Catalysis Communications**, 8(11), 1781-1786
- Mark C. Porter. (1990). **Handbook of industrial membrane technology**, New Jersey: NOYES PUBLICATION
- New York Center for Studies on the Origins of Life, Rensselaer Polytechnic Inst. (2007). **Clay-Catalyzed RNA Polymerization Activity [on-line]**. Available: <http://www.origins.rpi.edu/claycatalyzed.html>
- Mulder, M. (1996). **Basic principles of membrane technology** (2nd ed.). Netherlands: Kluwer.

- Odour, P. A., and Whitworth, T. M. (2005). Mechanistic interpretation of ionic azo dye flux decline through compacted Na-montmorillonite membrane. **Journal of membrane Science** (265): 85-93
- Park, S-J., Li, K., and Hong, S-K. (2005). Preparation and Characterization of Layered Silicate-modified Ultrahigh-Molecular-Weight Polyethylene nanocomposites. **J. Ind. Eng. Chem.** (11): 561-566
- Stevenson F.J. (1982): **Humus chemistry. Genesis, composition, reactions**. John Wiley and Sons.
- Weber, J. (2007). **Definition of soil organic matter**. [On-line]. Available: http://www.humintech.com/001/articles/article_definition_of_soil_organic_matter4.html
- Wibowo, A., C., et al. (2006). Biodegradable nanocomposites from cellulose acetate: Mechanical, morphological, and thermal properties. **Composites Part A** (37): 1428-1433
- Wibulswas, R. (1999). **Removal of Organic compounds from water using Modified Montmorillonite**. PhD thesis, Imperial College of Science technology & Medicine, University of London
- Wibulswas, R. (2004). Batch and fixed bed adsorption of methylene blue on precursor and QACs modified montmorillonite. **Separation and Purification Technology** (39): 3-12
- Yarive, S. (2002). Introduction to organo-clay complexes and interactions. In Yarive, S., and Cross, H. (ed.). **Organo-clay complexes and interactions** (pp. 39-112). New York: Marcel Dekker.
- Zadaka, D., Mishael, Y.G., Polubesova, T., Serban C., and Nir S. (2007) Modified silicates and porous glass as adsorbents for removal of organic pollutants from water and comparison with activated carbons. **Applied Clay Science** 36(1-3): 174-181

ภาคผนวก ก

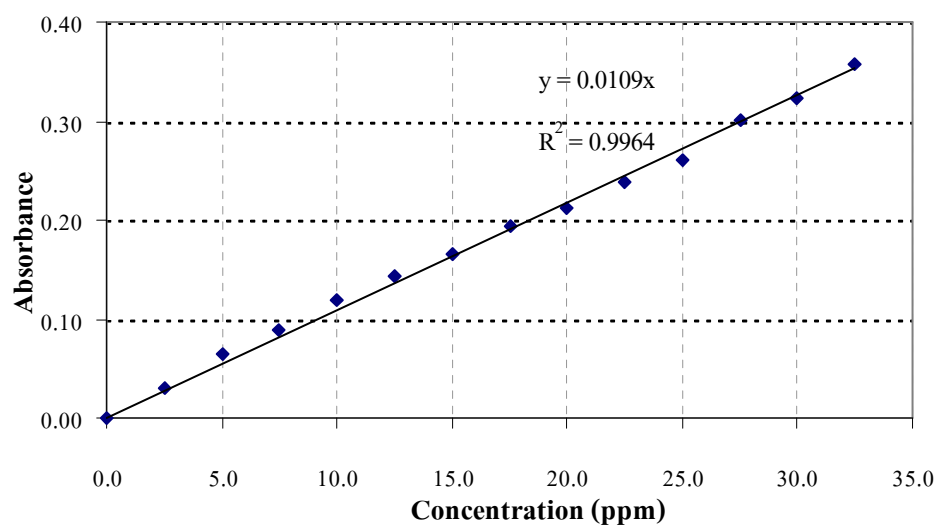
กราฟมาตรฐาน

1. กราฟมาตรฐานของสารละลายเมธิลออเรนจ์



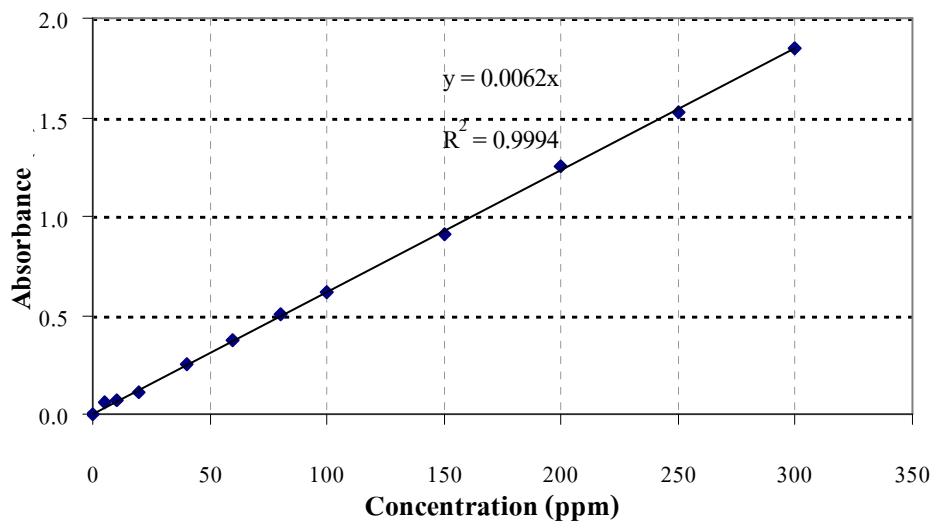
รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเมธิลออเรนจ์กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 463 nm

2. กราฟมาตรฐานของสารละลายอีบีที



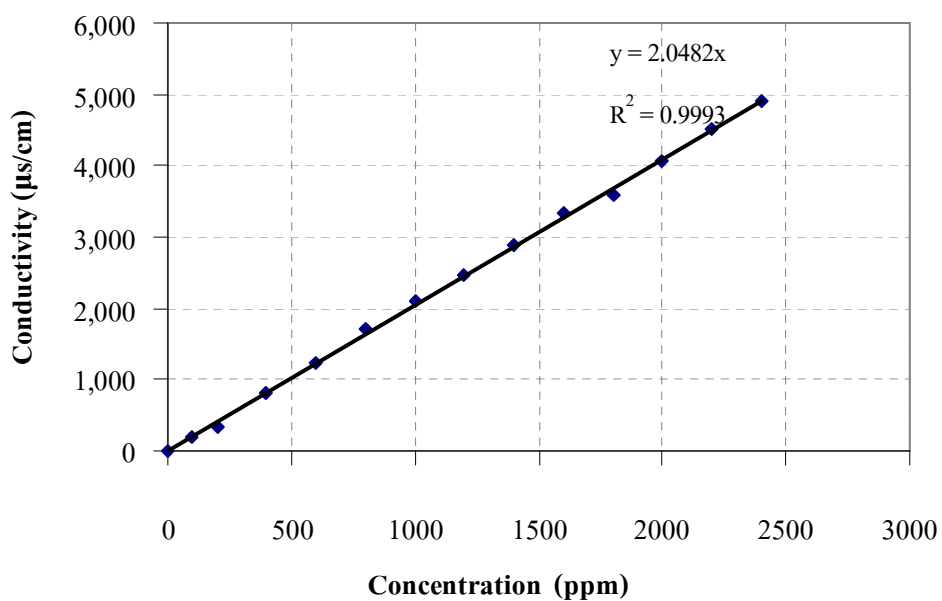
รูปที่ ก.2 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายอีบีทีกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 610 nm

3. กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดฮิวมิก



รูปที่ ก.3 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกรดฮิวมิกกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400 nm

4. กราฟมาตรฐานของสารละลายโซเดียมคลอไรด์



รูปที่ ก.4 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์กับค่าการนำไฟฟ้า

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

1. การทดสอบการดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ซึ่งหาในรูปค่าการบวมตัวตามสมการ (3.1) แสดงในตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

Membrane	W_{∞} (g)	W_0 (g)	DS
CA-0	1.1038	0.3867	1.85441
CA-10	1.0907	0.4005	1.72335
CA20.	1.0467	0.3961	1.64251
CA-40	1.1956	0.4869	1.45554
CA-60	1.1917	0.5704	1.08924
CA-70	1.1492	0.5925	0.93958

2. การทดสอบการทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

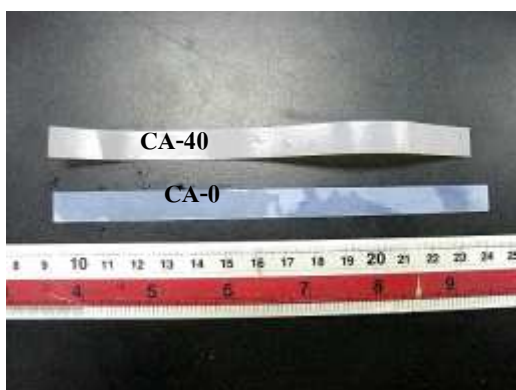
การทดสอบการทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ด้วยเครื่อง Universal testing Machine แสดงในรูปที่ ข.1 และรูปที่ ข.2 พร้อมทั้งผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ ข.2

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

Sample	Specimen Number	Tensile Strength (MPa)	Modulus (MPa)	Elongation at Break (%)
CA-40	1	4.32	218.70	6.33
	2	4.17	197.73	6.90
	3	4.39	261.41	6.63
	4	4.47	239.74	6.30
	5	4.18	218.17	6.05
Average		4.31	227.15	6.44
SD.		0.13	24.24	0.33

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

Sample	Specimen Number	Tensile Strength (MPa)	Modulus (MPa)	Elongation at Break (%)
CA-0	1	5.80	360.44	6.42
	2	5.83	335.41	9.13
	3	5.63	274.13	9.28
	4	5.73	312.79	9.00
	5	6.03	264.60	15.52
Average		4.31	5.80	309.47
SD.		0.13	0.15	40.45



รูปที่ ข.1 อุปกรณ์ และชิ้นงานก่อนการทดสอบการทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นสังเคราะห์



รูปที่ ข.2 ชิ้นงานหลังการทดสอบการทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นสังเคราะห์

3. การทดสอบการซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์

การทดสอบการซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ซึ่งสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์ ค่าความต้านทานการไหลของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ ข.3

ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบการซึมผ่านของน้ำบริสุทธิ์

Membrane	Pressure (bar)	Time (min)	V _p (mL)	Flux (L/m ² .h)	L _p (L/m ² .h.bar)	R _m (m ⁻¹)	R _{MMT} (m ⁻¹)
CA-0	1.0	116	19	2.17	2.14	1.68x10 ¹⁴	-
	1.5	70	17	3.21			
	2.0	61	19.4	4.20			
	2.5	49	20	5.40			
	3.0	37	18	6.43			
CA-20	1.0	100	15	1.98	2.01	1.79x10 ¹⁴	1.09x10 ¹³
	1.5	63	14.3	3.00			
	2.0	50	15.2	4.02			
	2.5	39	14.8	5.02			
	3.0	35	16	6.04			
CA-40	1.0	95	14.2	1.98	1.93	1.87x10 ¹⁴	1.83x10 ¹³
	1.5	63	14.2	2.98			
	2.0	46	13.6	3.91			
	2.5	40	14.5	4.79			
	3.0	32	13.8	5.70			
CA-60	1.0	106	14.7	1.83	1.73	2.08x10 ¹⁴	3.99x10 ¹³
	1.5	70	14.2	2.68			
	2.0	63	17	3.57			
	2.5	45	14.8	4.35			
	3.0	40	15.4	5.09			

4. การทดสอบประสิทธิภาพการแยกเมธิลออเรนจ์ออกจากน้ำ

การทดสอบประสิทธิภาพการแยกเมธิลออเรนจ์ออกจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ซึ่งแสดงในรูปของค่าการกักกันตามสมการที่ (3.3) ดังแสดงในตารางที่ ข.4 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเมธิลออเรนจ์ คือ 20 ppm

ตารางที่ ข.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแยกเมธิลออเรนจ์ออกจากน้ำ

Membrane	Pressure (bar)	Absorbance (A)	C _p (ppm)	Rejection (%)
CA-0	1.0	0.744	11.14	43.16
	1.5	0.755	11.30	42.32
	2.0	0.701	10.49	46.45
	2.5	0.702	10.51	46.37
	3.0	0.700	10.48	46.52
CA-20	1.0	0.464	6.95	64.55
	1.5	0.377	5.64	71.20
	2.0	0.383	5.73	70.74
	2.5	0.380	5.69	70.97
	3.0	0.379	5.67	71.05
CA-40	1.0	0.373	5.58	71.50
	1.5	0.354	5.30	72.96
	2.0	0.358	5.36	72.65
	2.5	0.357	5.34	72.73
	3.0	0.357	5.34	72.73
CA-60	1.0	0.331	4.96	74.71
	1.5	0.264	3.95	79.83
	2.0	0.265	3.97	79.76
	2.5	0.264	3.95	79.83
	3.0	0.263	3.94	79.91

5. การทดสอบประสิทธิภาพการแยกอียิปีที่ออกจากน้ำ

การทดสอบประสิทธิภาพการแยกอียิปีที่ออกจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ซึ่งแสดงในรูปของค่าการกักกันตามสมการที่ (3.3) ดังแสดงในตารางที่ ข.5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอียิปีที่ เท่ากับ 25 ppm

ตารางที่ ข.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแยกอียิปีที่ออกจากน้ำ

Membrane	Pressure (bar)	Absorbance (A)	C _p (ppm)	Rejection (%)
CA-0	1	0.004	0.367	98.46
	1.5	0.004	0.367	98.46
	2	0.004	0.367	98.46
	2.5	0.004	0.367	98.46
	3	0.004	0.367	98.46
CA-20	1	0.002	0.183	99.23
	1.5	0.002	0.183	99.23
	2	0.002	0.183	99.23
	2.5	0.002	0.183	99.23
	3	0.002	0.183	99.23
CA-40	1	0.001	0.092	99.62
	1.5	0.001	0.092	99.62
	2	0.001	0.092	99.62
	2.5	0.001	0.092	99.62
	3	0.001	0.092	99.62
CA-60	1	0.000	0.000	100
	1.5	0.000	0.000	100
	2	0.000	0.000	100
	2.5	0.000	0.000	100
	3	0.000	0.000	100

6. การทดสอบประสิทธิภาพการแยกกรดฮิวมิคออกจากน้ำ

การทดสอบประสิทธิภาพการแยกกรดฮิวมิคออกจากน้ำด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ซึ่งแสดงในรูปของค่าการกักกันตามสมการที่ (3.3) ดังแสดงในตารางที่ ข.6 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายกรดฮิวมิค เท่ากับ 100 ppm

ตารางที่ ข.6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแยกกรดฮิวมิคจากน้ำออกจากน้ำ

Membrane	Pressure (bar)	Absorbance (A)	C _p (ppm)	Rejection (%)
CA-0	1.0	0.003	2.73	96.25
	1.5	0.003	2.27	96.88
	2.0	0.003	2.27	96.88
	2.5	0.003	2.27	96.88
	3.0	0.003	2.27	96.88
CA-10	1.0	0.002	1.82	97.50
	1.5	0.002	1.82	97.50
	2.0	0.002	1.82	97.50
	2.5	0.002	1.82	97.50
	3.0	0.002	1.82	97.50
CA-40	1.0	0.001	0.91	98.75
	1.5	0.000	0.00	100.00
	2.0	0.000	0.00	100.00
	2.5	0.000	0.00	100.00
	3.0	0.000	0.00	100.00
CA-70	1.0	0.000	0.00	100.00
	1.5	0.000	0.00	100.00
	2.0	0.000	0.00	100.00
	2.5	0.000	0.00	100.00
	3.0	0.000	0.00	100.00

ภาคผนวก ค

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1) สุชนิ ทองสถิตย์, รัตนาวรรณ (วิบูลย์สวัสดิ์) เกียรติโกมล และ ฉลองศรี ฟอร์ด. (2550). การแยกกรดฮิวมิกจากน้ำด้วย Clay-Membrane. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 ประจำปี 2550, โรงแรมดิเอ็มเพรส อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่, 29-30 ตุลาคม 2550

2) Suthanee Thongsathit, Ratanawan (Wibulswas) Kiattikomol and Chalongsri Flood. (2006). **Preparation and Application of Clay Membranes**. 13th Regional Symposium on Chemical Engineering 2006 (13th RSCE), Nanyang Technological Technology University Singapore, 3-5 December 2006

3) Suthanee Thongsathit, Ratanawan (Wibulswas) Kiattikomol, and Chalongsri Flood. (2007). **Humic acid separation from water using clay membrane**. 6th International IAHS Groundwater Quality Conference, Fremantle, Western Australia, 2-7 December 2007

4) Suthanee Thongsatit, Chalongsri Flood and Ratanawan (Wibulswas) Kiattikomol. (2008). **Humic acid separation from water using clay membrane**. Securing Groundwater Quality in Urban and Industrial Environments ICGQ, IAHS (International Association of Hydrological Sciences) Red Book Series, Mary C. Hill Australia Post-published papers

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุชนิ ทองสถิตย์ เกิดเมื่อวันที่ 22 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2525 ณ จังหวัดอุบลราชธานี เริ่มการศึกษาในระดับประถมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่โรงเรียนศรีประจักษ์กุล จังหวัดศรีสะเกษ ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่โรงเรียนบุษันธุ์ จังหวัดศรีสะเกษ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี) จากสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2547 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ที่สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตั้งแต่ปีการศึกษา 2548 มีผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จำนวน 4 เรื่อง ดังแสดงในภาคผนวก ค

ประสบการณ์ที่ได้รับ *ขณะศึกษาในระดับมัธยมศึกษา* ได้เข้าร่วมกิจกรรมตอบปัญหาวิชาการหลายรายการ ทั้งวิทยาศาสตร์ ภาษาไทย และภาษาอังกฤษ โดยได้รับรางวัล เช่น รางวัลชนะเลิศการตอบปัญหาวิทยาศาสตร์ระดับจังหวัด รางวัลชนะเลิศการตอบปัญหาภาษาไทยระดับจังหวัด รางวัลชมเชยการตอบปัญหาวิทยาศาสตร์ของเขตการศึกษา 11 เป็นต้น ในปีการศึกษา 2543 ได้รับเลือกให้เป็นรองประธานนักเรียนฝ่ายวิชาการ *ขณะศึกษาในระดับอุดมศึกษา* ได้ปฏิบัติงานสหกิจศึกษาที่บริษัท ยางสยามพระประแดง จำกัด เป็นเวลา 1 ภาคการศึกษา ในปีการศึกษา 2547