



รายงานโครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้างประสบการณ์

การเตรียมเมมเบรนพอลิซัลโฟนผสมกับดินเหนียวที่เติมหมู่อะมิโนเพื่อใช้บำบัดน้ำเสีย

Preparation of amino groups functionalized
clay/polysulfone membranes for water treatment

จัดทำโดย

นางสาว วรรณชนก บัวนวล รหัสนิสิต 5832960923

นางสาว สิปปาทัย ศรีนิลรัตน์ รหัสนิสิต 5832971823

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. ชันทอง สุนทรภา

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา 2306499 Senior Project
ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

CHEMICAL TECHNOLOGY

ชื่อโครงการ การเตรียมเมมเบรนพอลิซิลโฟนผสมกับดินเหนียวที่เติมหมู่อะมิโนเพื่อใช้บำบัดน้ำเสีย

ชื่อนิสิตผู้ทำโครงการ นางสาว วรัญชนก บัณวล

นางสาว สิปปิไทย์ ศรีนิลรัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ชันทอง สุนทรภา

ภาควิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการบำบัดน้ำมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การตกตะกอนทางเคมี การตกตะกอนโดยการรวมตัวกันของสารแขวนลอย การบำบัดทางชีวภาพ และการเสียมสภาพโดยใช้แสง แต่วิธีการเหล่านี้มีข้อเสียมากมาย เช่น อุปกรณ์ราคาแพง การเติมสารเคมีในกระบวนการ รวมถึงใช้เวลานาน และอาจก่อให้เกิดมลพิษทุติยภูมิ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนเพื่อกำจัดสีย้อมในน้ำเสียโดยวิธีการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชัน มิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนเตรียมได้จาก Modified clay ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก/น้ำหนัก สารละลายพอลิซิลโฟนใน n-methyl-2-pyrrolidone (NMP) ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ส่วนการเตรียม Modified clay เตรียมได้จากเปลือกส้มเขียวหวานปริมาณ 5 กรัม โดยมีขนาดอนุภาคอยู่ที่ 300 ไมครอน ผสมกับ Clay (ดินสอพอง ทรายวิถึ จากบริษัท เซนต์ บิวตี้ คอสเมติก (ประเทศไทย) จำกัด) ปริมาณ 5 กรัม จากนั้นละลายด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร กวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองเอาส่วนที่เป็นตะกอนไปเผาโดยใช้เครื่อง muffle furnace ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง Modified clay จะถูกวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) เครื่องวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของสาร (ATR-IR) และมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนจะถูกวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) เครื่องวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของสาร (ATR-IR) เครื่องวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำ (Contact angle) และเครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine) ในการทดสอบสมรรถนะของเมมเบรนในการกรองจะทำการเปรียบเทียบระหว่างเมมเบรนพอลิซิลโฟนที่เติม Clay/Modified clay ในปริมาณที่ต่างกัน และความเข้มข้นของสารขาเข้า และเพอร์มิเอตจะทราบได้ด้วยการทดสอบโดยใช้เครื่องอัลตราไวโอเล็ต วิสิเบิล สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (UV vis spectrophotometer)

คำสำคัญ: การกรองแบบอัลตราฟิลเตรชัน มิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน

ภาควิชา เคมีเทคนิค

สาขาวิชา เคมีวิศวกรรม

.....
ชันทอง บัณวล

.....
สิปปิไทย์ ศรีนิลรัตน์

.....
ชันทอง บัณวล

Title Preparation of amino groups functionalized clay/polysulfone membranes for water treatment

Student name Warunchanok Buanual
Sippoithai Srininrat

Advisor Assoc. Prof. Dr.Khanthong Soontarapa

Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2018

ABSTRACT

The water treatment technologies are such as chemical precipitation, flocculation, bioremediation and light degradation. They have many disadvantages such as expensive equipment, chemical filling, taking a long time and possibly secondary pollutants. This research is aimed to prepare a mixed matrix membrane to remove dyes and heavy metals in wastewater by ultrafiltration method. The mixed matrix membrane will be prepared by adding 1 % wt/wt of amino group functionalized clay powders in 20 wt% of polysulfone solution in n-methyl-2-pyrrolidone (NMP). The amino group functionalized clays were prepared by mixing of 5 g of orange peel powders with particle size less than 300 micron with 5 g of facial clay (Soft-prepared chalk) powders and dissolved in 200 mL of 0.1M NaOH solution. The sediment was calcined in furnace at 300°C for 6 hours. The mixed matrix membranes and clays will be characterized by SEM, ATR-IR spectroscopy, contact angle, mechanical strength, XRD, porosity and PWF. The performances of mixed matrix membrane and pristine polysulfone membrane will be tested on ultrafiltration process for comparison. The feed and permeate concentration will be analysed through UV spectrophotometer.

Keywords: Ultrafiltration method, Mixed matrix membranes

Department of Chemical Technology

Major: Chemical Engineering

Warunchanok Buanual
Sippoithai Srininrat

Khanthong Soontarapa

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร. ชันทอง สุนทรภา และ Dr. Jyothi M.S. ให้ความรู้และคำปรึกษา ตลอดจนให้คำแนะนำในการปรับปรุงการทำวิจัยให้ ลุล่วงไปได้ด้วยดีและขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้มอบคำแนะนำ คำติชมและ ความช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมีเทคนิค คณะ วิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ อบรม และให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ทำให้ งานวิจัยสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้องที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำงานวิจัยเสมอ มา และขอขอบคุณเพื่อนๆและพี่ๆที่ให้คำแนะนำในการทำงานวิจัยและสนับสนุนในด้านต่างๆ จนงานวิจัย สำเร็จด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอมอบความดีทั้งหลายของงานวิจัยนี้ให้แก่ทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้นและผู้ที่ยังไม่ได้เอ่ย นามมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	2
2. วารสารปริทัศน์	
2.1 หลักการพื้นฐานกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน	3
2.2 ฟาวลิงและโพลาไรเซชันความเข้มข้น (Fouling and Concentration- Polarization)	4
2.3 แพคเตอร์ที่มีผลต่อสมรรถนะของเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน	6
2.4 การประยุกต์ใช้งานอัลตราฟิลเตรชัน	7
2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
3. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน	
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	10
3.1.1 สารตั้งต้นและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	10
3.1.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	10
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	11
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	11
3.4 วิธีดำเนินการทดลอง	11
3.4.1 การสังเคราะห์ Modified Clay	11
3.4.2 การเตรียมการสร้างมิกซ์เมตริกเมมเบรน	11
3.4.3 การศึกษาการกำจัดเมทิลลีนบลูด้วยการกรองชนิดอัลตราฟิลเตรชัน	12

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.4.4 การจำแนกลักษณะของ Clay และ Modified clay และมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน	13
3.4.5 การศึกษากระบวนการป้องกันการเกิดตะกรัน (Antifouling)	13
3.4.6 การศึกษาการดูดซับน้ำของมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน (Swelling study)	14
3.4.7 การวิเคราะห์ความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่	14
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของ Clay และ Modified Clay	15
4.1.1 วิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ Clay และ Modified Clay (XRD)	15
4.1.2 วิเคราะห์เพื่อตรวจสอบโครงสร้างของโมเลกุลของ Clay และ Modified Clay (ATR-IR)	16
4.1.3 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราดของ Clay และ Modified Clay (SEM)	17
4.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน	18
4.2.1 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของเมมเบรน	18
4.2.2 การวิเคราะห์โดยเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและ ศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของเมมเบรน (ATR-IR)	19
4.2.3 การวิเคราะห์ความพรุน และความสามารถในการดูดซับน้ำของ เมมเบรน (Swelling study)	21
4.2.4 การวิเคราะห์ความชอบน้ำของเมมเบรน (Contact angle)	23
4.2.5 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของเมมเบรน	24
4.3 การศึกษาการดูดซับแบบไดนามิก	25
4.3.1 การวิเคราะห์ฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์	25
4.3.2 การวิเคราะห์การกำจัดเมทิลีนบลูออกจากสารละลาย	25
4.3.3 การวิเคราะห์ป้องกันการเกิดตะกรัน (Antifouling)	27
4.3.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ของเมมเบรน	28
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	30
รายการอ้างอิง	31
ภาคผนวก	33

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1	ภาพตัดขวาง SEM ของเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันแอนไอโซทรอปี	3
2	ลักษณะการเกิด Fouling 3 แบบ	4
3	โพรไฟล์ความเข้มข้นที่ภาวะสถานะคงตัวกรณีไม่มีการตกสะสมของสารละลาย	5
4	ไดอะแกรมแสดงการลดลงของฟลักซ์เนื่องจาก Concentration polarization กับ Membrane fouling	6
5	กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ Clay และ Modified clay	15
6	กราฟแสดงการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของสาร (ATR-IR) ของ Clay และ Modified clay	17
7	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของ (ก) Clay (ข) Modified clay	18
8	กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของพอลิซิลิโคน พอลิซิลิโคน/Clay 0.2 กรัม และ พอลิซิลิโคน/Modified clay 0.2 กรัม	18
9	กราฟแสดงการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของสาร (ATR-IR) ของพอลิซิลิโคน	19
10	กราฟแสดงการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของสาร (ATR-IR) ของพอลิซิลิโคน/Clay 0.2 กรัม พอลิซิลิโคน/Clay 0.3 กรัม และ พอลิซิลิโคน/Clay 0.4 กรัม	20
11	กราฟแสดงการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของสาร (ATR-IR) ของพอลิซิลิโคน/Modified clay 0.2 กรัม พอลิซิลิโคน/Modified clay 0.3 กรัม พอลิซิลิโคน/Modified clay 0.4 กรัม	20
12	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดภาคตัดขวางของเมมเบรน (ก0) พอลิซิลิโคน (ก1) พอลิซิลิโคน/Clay 0.2 กรัม (ก2) พอลิซิลิโคน/Modified clay 0.2 กรัม (ข1) พอลิซิลิโคน/Clay 0.3 กรัม (ข2) พอลิซิลิโคน/Modified clay 0.3 กรัม	22

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
	(ค1) พอลิซัลโฟน/Clay 0.4 กรัม	
	(ค2) พอลิซัลโฟน/Modified clay 0.4 กรัม	
13	รูปแสดงมุมสัมผัสของ	24
	(ก) พอลิซัลโฟน/Clay 0.2 กรัม	
	(ข) พอลิซัลโฟน/Modified clay 0.2 กรัม	
	(ค) พอลิซัลโฟน/Clay 0.3 กรัม	
	(ง) พอลิซัลโฟน/Modified clay 0.3 กรัม	
	(จ) พอลิซัลโฟน/Clay 0.4 กรัม	
	(ฉ) พอลิซัลโฟน/Modified clay 0.4 กรัม	
14	แสดงแรงดึงที่กระทำต่อมิกซ์เมตริกซ์เมมเบรนต่างๆต่อเวลา	24
15	แสดงฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์โดยใช้มิกซ์เมตริกซ์เมมเบรน	25
	(ก) พอลิซัลโฟน/Clay 0.2 กรัม 0.3 กรัม และ 0.4 กรัม	
	(ข) พอลิซัลโฟน/Modified clay 0.2 กรัม 0.3 กรัม และ 0.4 กรัม	
16	แสดงร้อยละการกำจัดเมทิลีนบลูออกจากสารละลายโดยใช้มิกซ์เมตริกซ์เมมเบรน	26
	(ก) พอลิซัลโฟน/clay 0.2 กรัม 0.3 กรัม 0.4 กรัม	
	(ข) พอลิซัลโฟน/Modified clay 0.2 กรัม 0.3 กรัม 0.4 กรัม	
17	แสดงฟลักซ์ของเพอร์มิเอตในการทดลองการกำจัดเมทิลีนบลูออกจากสารละลายโดยใช้มิกซ์เมตริกซ์เมมเบรน	27
	(ก) พอลิซัลโฟน/clay 0.2 กรัม 0.3 กรัม 0.4 กรัม	
	(ข) พอลิซัลโฟน/Modified clay 0.2 กรัม 0.3 กรัม 0.4 กรัม	
18	แสดงค่าฟลักซ์ของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Clay และ Modified clay 0.2 กรัม ของการทดลองการป้องกันการเกิดตะกรัน (Antifouling) ต่อเวลา	28
19	แสดงฟลักซ์ของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Modified clay 0.2 กรัม ที่ผ่านการกรองสารละลายเมทิลีนบลูต่อเวลาครั้งที่ 1 2 และ 3	28
20	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดเมทิลีนบลูของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Modified clay 0.2 กรัม ต่อเวลาครั้งที่ 1 2 และ 3	29

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบสารละลายสำหรับสร้างเมมเบรน 2 ชนิด จำนวน 3 สัดส่วน	12
2	ความสามารถในการดูดซึมของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Clay 0.2 0.3 และ 0.4 กรัม และเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Modified clay 0.2 0.3 และ 0.4 กรัม	21
3	ตารางแสดงค่าร้อยละของตะกอนที่เกิดขึ้น ($\%R_p$) ร้อยละการผันกลับของตะกอน ($\%R_r$) และร้อยละการไม่ผันกลับของตะกอน ($\%R_i$) ของมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน	27

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีส่งผลให้เกิดการพัฒนาอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ แต่อาจก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมา เช่น ปัญหาขยะมูลฝอย ปัญหาการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินที่เกิดจากการทำเกษตรกรรมอย่างไม่ถูกวิธี มลพิษที่เกิดจากน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงการปล่อยโลหะหนัก สีย้อม และสารเคมีอื่นๆสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น ปัญหามลพิษทางน้ำเหล่านี้ ได้กลายเป็นวิกฤติของปัญหาระดับโลกที่ต้องได้รับการตระหนัก และการแก้ไขอย่างเร่งด่วน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องให้ความสำคัญกับการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำทิ้งอย่างเป็นระบบ ซึ่งเทคโนโลยีในการกำจัดสารมลพิษเหล่านี้มีหลายวิธี ได้แก่ การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Precipitation) การรวมตะกอนเป็นก้อน (Flocculation) การบำบัดสารมลพิษทางชีววิทยา (Bioremediation) การย่อยสลายด้วยแสง (Photodegradation) เป็นต้น แต่วิธีการเหล่านี้มีข้อเสียหลายประการ เช่น อุปกรณ์ที่ใช้มีราคาแพง ต้องมีการเติมสารเคมีอย่างต่อเนื่อง ใช้เวลาดำเนินการนาน และอาจเกิดสารมลพิษทุติยภูมิได้ เทคโนโลยีการแยกเมมเบรนจึงได้กลายเป็นทางเลือกใหม่ทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมมเบรนที่มีการเติมสารอนินทรีย์ดูดซับระดับนาโนผสมเข้าไปในโครงข่ายของพอลิเมอร์ฐานเรียกว่ามิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน (Mixed matrix membranes) โดยดิน (Clay) เป็นสารดูดซับธรรมชาติที่ตัวหนึ่ง และดินที่ได้ถูกเติมหมู่ฟังก์ชันเอมีน (Modified clay) เป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการใช้เป็นสารอนินทรีย์ดูดซับในโครงข่ายของพอลิเมอร์อินทรีย์ เช่น พอลิซิลิโคน ซึ่งในงานวิจัยนี้เตรียมเป็นมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนเพื่อใช้ดูดซับสีย้อมในน้ำเสียด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน

1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อเรียนรู้กระบวนการเตรียมเมมเบรนพอลิซิลิโคนผสมกับดินที่เติมหมู่อะมิโนเพื่อใช้บำบัดน้ำเสีย

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำบริสุทธิ์ที่สามารถผ่านเมมเบรนได้โดยมีปริมาณ Clay และ Modified Clay ที่แตกต่างกัน

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูของเมมเบรนพอลิซิลิโคนที่เติม Clay และ Modified clay ในปริมาณที่ต่างกัน

1.2.4 เพื่อเรียนรู้ความสามารถในการป้องกันการเกิดตะกอนของมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน

1.2.5 เพื่อศึกษาความเสถียรในการนำกลับมาใช้ใหม่ของมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูของมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน

1.3.2 ปรับปรุงคุณภาพของดินที่ใช้ในการทดลอง จากนั้นนำผลของการทดลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลก่อนปรับปรุง และวิเคราะห์ผลโดยใช้การวิเคราะห์ผลและใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของสาร (ATR-IR) เทคนิคการ

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (TGA) และเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ในด้านความรู้ความเข้าใจต่อตัวนิสิตเอง

ในการทำวิจัยครั้งนี้ ได้เรียนรู้ถึงกระบวนการทำงานอย่างมีระบบ มีการวางแผนที่มีกระบวนการคิดเป็นขั้นตอน มีระเบียบแบบแผน และการจัดสรรเวลา อีกทั้งยังสามารถนำความรู้มาใช้ในการทำงานด้านวิศวกรรมเคมีในอนาคตได้ เช่น การปรับปรุงระบบการบำบัดน้ำเสีย โดยเลือกใช้เมมเบรนที่เหมาะสม เป็นต้น

1.4.2 ความรู้ และความเข้าใจ ที่สามารถนำไปประยุกต์ในเรื่องการบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม

สามารถนำข้อมูล และผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยมาใช้ในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมได้ เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ยังสามารถนำความรู้เกี่ยวกับมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนมาประยุกต์ใช้กับการดูดซับสารอื่นๆได้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูล ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาวิธีการเตรียมดินที่ถูกดัดแปลง และวิธีการเตรียมเมมเบรน
3. เลือกดินที่ใช้ในการทดลอง
4. เตรียมดินที่ถูกดัดแปลง และมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน
5. Characterization ของดินที่ถูกดัดแปลง และมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน
6. ทดลองการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน
7. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการทดลอง จัดทำรายงาน และนำเสนอผลงาน

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการพื้นฐานกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน [1]

กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันเป็นกระบวนการแยกด้วยเมมเบรนที่มีขนาดรูบนเมมเบรนในช่วง 30-1000 อังสตรอม ส่วนใหญ่จะประยุกต์ใช้เพื่อแยกอนุภาคหรือตัวละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 1,000-500,000 ดาลตัน ไม่ให้ผ่านเมมเบรนออกไป จึงไม่ค่อยมีความแตกต่างในความดันออสโมติกคร่อมเมมเบรน ดังนั้นจึงสามารถทำงานที่ความดันช่วง 2-10 บาร์ เมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันมักทำให้มีโครงสร้างไม่สมมาตร โดยมีขนาดรู 30-400 อังสตรอม อยู่ที่ผิวหน้าเพียง 0.1-1.5 ไมครอน ส่วนขนาดรูของชั้นรองรับมีขนาดใหญ่กว่าชั้นผิวเป็นอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 1 อนุภาคที่สามารถผ่านรูขนาดเล็กไปที่ชั้นผิวได้ก็จะผ่านรูในชั้นรองรับไปได้อย่างง่ายดาย

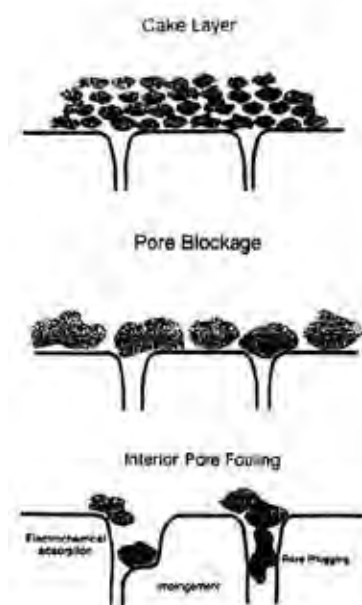


รูปที่ 1 ภาพตัดขวาง SEM ของเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันแอนไอโซทรอปี

การระบุลักษณะสมบัติของเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันเป็นเช่นเดียวกับไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน คือ พลักซ์ที่ผ่านเมมเบรน ขนาดรู ความพรุน (Porosity) ลักษณะโครงสร้างทางของเมมเบรน (Morphology) ค่าคงอยู่ของตัวละลาย (Retention factor) ค่า molecular weight cutoff สมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำ ความแข็งแรงเชิงกล (Mechanical strength) เสถียรภาพต่อสารเคมีและความร้อน (Chemical and thermal stability) และการสามารถทำความสะอาดได้ (Cleanability) พอลิเมอร์ที่ใช้เตรียมเป็นเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน ได้แก่ พอลิซัลโฟน เซลลูโลสแอสีเทต พอลิพรอพิลีน พอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น รูปแบบของอัลตราฟิลเตรชันโมดูลที่มีขายในท้องตลาดมีทุกลักษณะ ได้แก่ แบบแผ่นและแบบกรอบ (Plate and frame) แบบท่อม้วน (Spiral wound) แบบท่อ (Tubular) และแบบเส้นใย (Hollow fiber) ไม่ว่าจะ เป็นโมดูลลักษณะใดก็ตาม เพื่อให้มีการถ่ายโอนมวลมากที่สุด จำเป็นต้องให้ความเร็วแนวสัมผัส (แรงเฉือน) บริเวณผิวหน้าเมมเบรนสูง วิธีการที่ง่ายที่สุดคือให้สารป้อนไหลตามแนวขวาง (Cross flow) กล่าวคือ สารป้อนมีการไหลขนานกับผิวหน้าของเมมเบรนและเพอร์มิเอตผ่านเมมเบรนในแนวตั้งฉากกับเมมเบรน

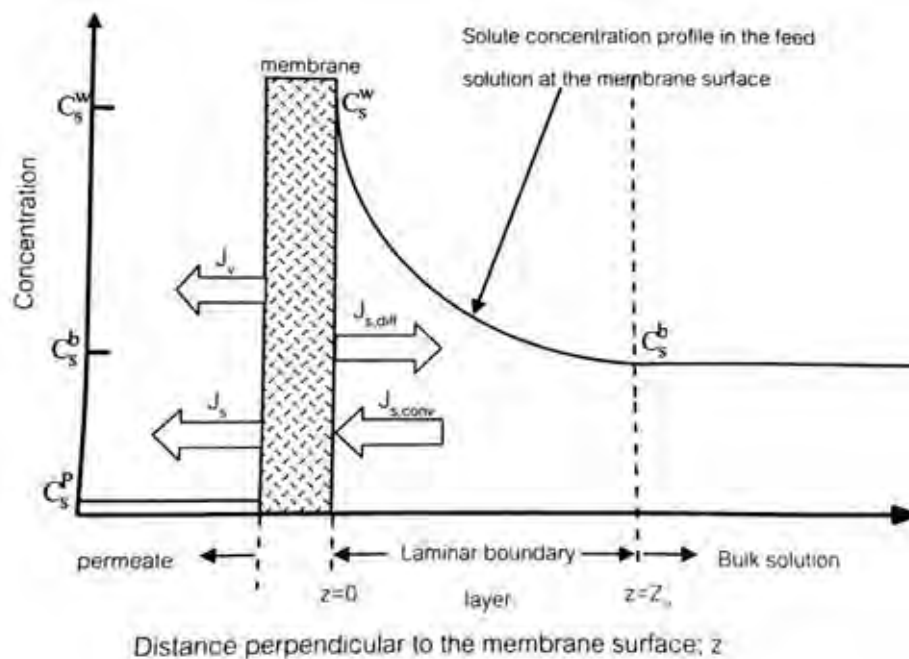
2.2 ฟาวลิงและโพลาริเซชันความเข้มข้น (Fouling and Concentration Polarization) [1]

Concentration polarization เป็นปรากฏการณ์ปกติของกระบวนการที่ดำเนินการภายใต้แรงดัน คือ กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน กระบวนการนาโนฟิลเตรชัน และกระบวนการออสโมซิสผันกลับ เมื่อตัวละลายเกิดการสะสมอยู่ที่ผิวหน้าของเมมเบรน ทำให้ความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ไม่ผ่านเมมเบรนออกไปสูงกว่าความเข้มข้นในเนื้อสารละลายก่อให้เกิดชั้นขอบ (Boundary layer) ชั้นนี้เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ฟาวลิง (Fouling) ทำให้สมรรถนะของเมมเบรน กล่าวคือ ฟลักซ์ (Flux) และสมรรถนะการเลือก (Selectivity) ลดลง การเกิด Fouling หรือการตกสะสมสารบนเมมเบรน มี 3 ลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 2 คือ สะสมที่ผิวด้านนอกของเมมเบรนเป็นชั้นเค้ก (Cake layer) ที่ช่องเปิดรู (Pore blocking) หรือภายในรูเมมเบรน (Interior pore fouling) โดยเฉพาะการเกิด Fouling แบบ Interior pore fouling ทำให้ขนาดรูเล็กกีดขวางการไหล และทำความสะอาดได้ยาก หากชั้นอนุภาคที่เกาะอยู่บนผิวเมมเบรนเกิดโครงสร้างเป็นโครงข่ายสามมิติพองตัวมาก เรียก Fouling layer นั้นว่า “ชั้นเจล (Gel layer)”



รูปที่ 2 ลักษณะการเกิด Fouling 3 แบบ

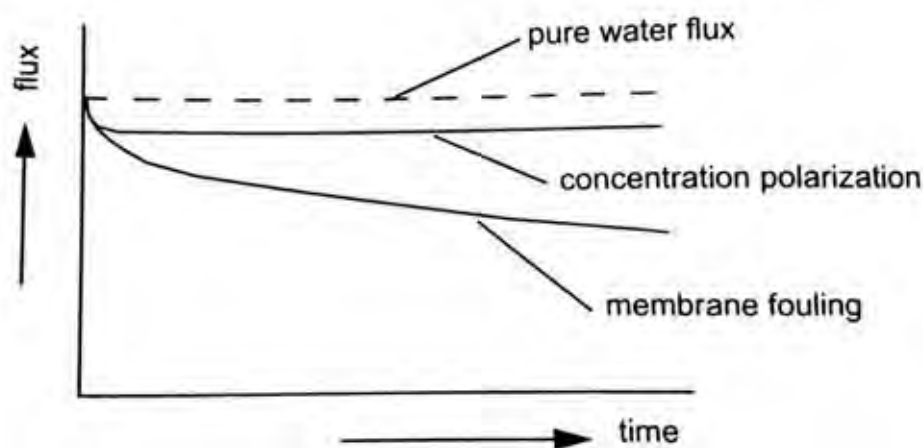
ในการอธิบายปรากฏการณ์ Concentration polarization ที่ง่ายที่สุด คือการใช้ทฤษฎี “ชั้นฟิล์ม (Film model)” โดย Film model สมมติว่า มีชั้นขอบลามินาร์ (Laminar boundary layer) ที่ผิวหน้าของเมมเบรน ซึ่งมีเฉพาะการถ่ายโอนมวลไปทิศทางตั้งฉากกับผิวหน้าของเมมเบรนเท่านั้น ที่ภาวะสถานะคงตัว (Steady state) การเคลื่อนที่แบบการพา (Convective transport) ของตัวละลายไปยังผิวหน้าของเมมเบรน เกิดดุลถ่วง (Counter balance) กับฟลักซ์แพร่ (Diffusion flux) ของสารที่ค้างอยู่ที่ผิวหน้าของเมมเบรน (Retained material) กลับเข้าไปในเนื้อสารละลาย จึงได้โปรไฟล์ความเข้มข้นของสารที่ค้างอยู่ในชั้น Laminar boundary layer ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 โพรไฟล์ความเข้มข้นที่ภาวะสถานะคงตัวกรณีไม่มีการตกสะสมของสารละลาย

จาก Film model ที่สมมติว่าการแพร่เป็นวิธีการเดียวของการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบออกจากผิวหน้าของเมมเบรนกลับเข้าไปในเนื้อสารละลายและที่ภาวะสถานะคงตัวการเคลื่อนที่ของมวลแบบแพร่เกิดถ่วงดุลกับการเคลื่อนที่ของมวลแบบการพาเข้าหาเมมเบรน ย่อมหมายความว่า การเพิ่มแรงดันทำให้ฟลักซ์ผ่านเมมเบรนเพิ่มขึ้นชั่วคราวเท่านั้น เพราะแรงดันที่เพิ่มขึ้นทำให้มีการพาตัวละลายไปค้างอยู่บนผิวของเมมเบรนมากขึ้นโดยไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของมวลกลับเข้าไปในเนื้อสารละลาย เกิดการตกสะสมของอนุภาคเป็นชั้นแค้กหนาขึ้น และเพิ่มความต้านทานการไหลจนฟลักซ์ลดลงกลับมาเท่าเดิม ดังนั้นวิธีการเพิ่มฟลักซ์ของกระบวนการใช้แรงดันที่อาจเกิดชั้นแค้ก คือ การลดความหนาของชั้นแค้กหรือลดความเข้มข้นของตัวละลายในเนื้อสารละลาย ดังนั้นชั้นแค้กไม่เพียงแต่ทำให้ฟลักซ์ลดลงเท่านั้น ยังมีผลต่อสมบัติการแยกของเมมเบรนอีกด้วย โดยชั้นแค้กที่เกิดขึ้นทำหน้าที่เสมือนหนึ่งเป็นชั้นเมมเบรนทุติยภูมิซึ่งจะกักสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำไว้ด้วย ทำให้เป้าหมายการแยกองค์ประกอบที่มีน้ำหนักที่ต้องการผิดไป

ความแตกต่างระหว่างปรากฏการณ์ Concentration polarization และ Membrane fouling หรือ Scaling แสดงได้ดังรูปที่ 4 โดย Concentration polarization ถือเป็นกระบวนการผันกลับได้ (Reversible process) เกิดขึ้นในเวลาไม่กี่วินาที และสามารถควบคุมได้โดยการออกแบบให้เหมาะสมขณะที่ Fouling ถือเป็นกระบวนการผันกลับไม่ได้ (Irreversible process) เมื่อเกิดการลดลงของฟลักซ์ขึ้นแล้ว ฟลักซ์จะลดลงเรื่อย ๆ การเกิด Fouling ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ องค์ประกอบและความเข้มข้นของสารละลายป้อน สมบัติของวัสดุที่ใช้เตรียมเมมเบรน และการออกแบบเชิงพลศาสตร์ของไหล (Fluid dynamic system design) สาเหตุการเกิด Fouling อาจเนื่องมาจากการตกสะสมของอนุภาคไม่ละลาย หรือการดูดซับแบบผันกลับได้ หรือผันกลับไม่ได้ขององค์ประกอบที่ผิวหน้าหรือภายในรูของเมมเบรน



รูปที่ 4 ไดอะแกรมแสดงการลดลงของฟลักซ์เนื่องจาก Concentration polarization กับ Membrane fouling

วิธีการหลักเพื่อไม่ให้เกิดหรือวิธีการควบคุมการเกิด fouling ได้แก่

- การบำบัดเบื้องต้น (Pretreatment) แก่สารละลายป้อน ด้วยการเติมสารตกตะกอน การกรองเบื้องต้น (Prefiltration) การปรับค่าพีเอช การเติมคลอรีน หรือการดูดซับด้วยคาร์บอน
- การดัดแปลงผิวหน้าของเมมเบรน (Membrane surface modification) โดยการเติมหมู่ชอบน้ำ หรือหมู่ที่มีประจุ ที่ผิวหน้าของเมมเบรน
- การออกแบบอุทกพลศาสตร์ของโมดูลให้เหมาะสม (Hydrodynamic optimization of the membrane module) โดยออกแบบให้เกิดแรงเฉือนเนื่องจากการไหลของสารป้อนที่ผิวหน้าของเมมเบรนสูงๆ
- การล้างเมมเบรน (Membrane cleaning) ด้วยสารเคมีที่เหมาะสม เมื่อฟลักซ์ลดลงจนถึงระดับหนึ่ง จำเป็นต้องล้างเมมเบรนเพื่อให้ได้ฟลักซ์กลับคืนมาบางส่วนหรือให้ได้เท่าเดิม สารเคมีที่ใช้ทำความสะอาด ได้แก่ กรดไนตริก (HNO_3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) สารเชิงซ้อน EDTA (Ethylene-diamine-tetra-acetic-acid) เอนไซม์ (Enzyme) สารซักฟอก (Detergent) และสารฆ่าเชื้อ (Disinfectant) เป็นต้น

2.3 แฟคเตอร์ที่มีผลต่อสมรรถนะของเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน [1]

แฟคเตอร์สำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะของอัลตราฟิลเตรชันได้แก่

- ความเร็วของสารป้อนที่ผิวหน้าของเมมเบรน เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น Permeate rate จะเพิ่มขึ้น ลดการเกิด Fouling ที่ผิวหน้าของเมมเบรน แต่ต้องสูญเสียพลังงานสูงขึ้นและต้องการปั๊มตัวใหญ่ขึ้น จึงต้องหาจุดที่เหมาะสมที่สุดของขนาดปั๊มและ Permeate rate
- ความดันโดย Permeate rate เป็นสัดส่วนตรงกับความดันที่ให้แก่ระบบ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความดัน ทำให้เกิด Fouling และการอัดตัวของเมมเบรน (Compaction) สูงขึ้น นอกจากนั้นยังมีข้อจำกัดเรื่องความแข็งแรงของเมมเบรนในโมดูลบางแบบ เช่น Capillary type

- อุณหภูมิโดย Permeate rate สูงขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิไม่ได้เป็นตัวแปรที่ถูกรควบคุม แต่สิ่งที่สำคัญ คือ ผลของอุณหภูมิต่อฟลักซ์เพื่อให้สามารถวินิจฉัยได้ว่าการลดลงของฟลักซ์เนื่องมาจากผลของอุณหภูมิหรือผลของพารามิเตอร์อื่น ๆ

2.4 การประยุกต์ใช้งานอัลตราฟิลเตรชัน [1]

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน ได้แก่

- การแยกน้ำมันออกจากน้ำเสียของอิมัลชันน้ำมัน (Oil emulsion waste treatment)
- การแยกหางนมออกจากนมเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของนมในอุตสาหกรรมทำนม (Milk concentration)
- การเพิ่มความเข้มข้นของแมโครโมเลกุลชีวภาพ (Concentration of biological macromolecules)
- การแยกโมเลกุลสีเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ (Electrocoat paint recovery)
- การเพิ่มความเข้มข้นของสารไซซิงในอุตสาหกรรมสิ่งทอ (Concentration of textile sizing)
- การเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนที่สูญเสียสมบัติเมื่อได้รับความร้อนในสารเติมแต่งอาหาร (Concentration of heat sensitive proteins for food additives)
- การเพิ่มความเข้มข้นของเจลาติน (Concentration of gelatin)
- การเตรียมเอนไซม์และยาปรุงแต่ง (Enzyme and pharmaceutical preparations)
- การบำบัดน้ำเสียจากโรงเยื่อกระดาษ (Pulp mill waste treatment)
- การเตรียมน้ำบริสุทธิ์เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Production of ultrapure water for electronic industry)
- การแยกแมโครโมเลกุลแทนวิธีการแยกด้วยการเปลี่ยนเฟสแบบดั้งเดิม (Macromolecular separations replacing the conventional change of phase methods)
- การแยกและเพิ่มความเข้มข้นขององค์ประกอบที่แอ็กทีฟต่อจุลินทรีย์ (Separation and concentration of biologically active components)
- การแยกโปรตีนจากพืช สาหร่าย หรือแพลงก์ตอน (Protein harvesting useful for grass proteins, algal/plankton proteins)
- การแยกสารประกอบพอลิเมอร์ (Rejection of highly pulverized compounds and organics)
- การเพิ่มความเข้มข้นของเลือด (Blood concentration)

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

N. Abdullah และคณะ [2] ศึกษาความสามารถในการดูดซับตะกั่วออกจากสารละลาย โดยใช้เมมเบรนโพลีซัลโฟนประกอบกับอนุภาคนาโนไฮดรอกซีฟลูออไรด์ (PSf / HFO NPs) สำหรับ กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน จากการศึกษาการดูดซับพบว่า การกำจัดตะกั่ว ขึ้นอยู่กับค่า pH ซึ่งค่า pH ที่เหมาะสมคือ 6.5-7.0 ความสามารถในการดูดซับตะกั่วจะสูงที่สุดซึ่งมีค่า 13.2 มิลลิกรัมต่อกรัม นอกจากนี้เมมเบรนมีอัตราการนำกลับมาใช้ใหม่ถึงร้อยละ 96

A. Akbarzadeh และคณะ [3] ศึกษาความสามารถในการกำจัดอาร์เซนิก (V) ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ โดยใช้เมกซ์เมทริกซ์เมมเบรนโพลีซัลโฟน ที่เติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปลงด้วยกรดอะมิโนอาร์จินีน พบว่ามีประสิทธิภาพที่ดีเยี่ยมในการกำจัดอาร์เซนิกจากน้ำ synthetic และน้ำผิวดิน มอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปลงด้วยอาร์จินีนมีคุณสมบัติในการดูดซับอาร์เซนิก (V) จากน้ำในค่า pH เป็นกลาง และไม่ดูดซับในสภาพอัลคาไลน์ pH = 9 เนื่องจากประจุด้านลบของหมู่อะมิโน นอกจากนี้ยังสามารถในการนำเมมเบรนกลับมาใช้ใหม่ได้ถึง 10 ครั้ง

G.B.B. Varadwaj และคณะ [11] ได้ศึกษาการนำ K10 montmorillonite ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยากรด (Acid catalyst) ในปฏิกิริยาอินทรีย์ (Organic reaction) ที่ราคาไม่แพงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรด - เบสแบบใหม่ ในปฏิกิริยาการควบแน่นของ Knoevenagel (Knoevenagel condensation reaction) โดยการสร้างหมู่ฟังก์ชันโมโนเอมีน และไดเอมีนบน K10 montmorillonite แล้วเปรียบเทียบความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา (Activity) ของทั้งคู่ พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา K10 montmorillonite ที่ถูกเติมหมู่ฟังก์ชันไดเอมีน มีประสิทธิภาพในการเร่งการเกิดปฏิกิริยาการควบแน่นของ Knoevenagel ที่อุณหภูมิห้องและปราศจากตัวทำละลายสูงกว่า

X. Xin และคณะ [13] ได้สังเคราะห์อนุภาคนาโน Fe₃O₄ ชนิด mesoporous ที่เติมหมู่เอมีน (Amine-functionalized mesoporous Fe₃O₄ nanoparticles: AF-Fe₃O₄) ด้วยวิธีการที่ใช้ต้นทุนต่ำและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ใช้สำหรับดูดซับไอออนโลหะหนักออกจากน้ำ พบว่าสามารถเติมหมู่อะมิโนไปบน AF-Fe₃O₄ ได้สูงสุดเท่ากับ 0.1790 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ทดสอบด้วยวิธีนินไฮดริน (Ninhydrin test) สามารถแยก AF-Fe₃O₄ กลับคืนออกจากรูปมาได้โดยการใช้สนามแม่เหล็กต่ำ ๆ ในเวลาเพียง 1 นาที ความสามารถในการดูดซับสูงสุดของ Pb(II), Cd(II), และ Cu(II) เข้มข้น 5 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณ 50 มิลลิลิตร บน AF-Fe₃O₄ ปริมาณ 10 มิลลิกรัม ภายในเวลา 120 นาที ที่ pH 7 อยู่ในช่วง 369.0 – 523.6 มิลลิกรัม/กรัม เป็นไปตามโมเดลการดูดซับแลงเมียร์ (Langmuir adsorption model) อัตราเร็วในการดูดซับของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด สอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (Pseudo-second order kinetic models: R² > 0.99) เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนและเกิดขึ้นได้เอง (Endothermic and spontaneous reaction) สามารถกำจัดโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ออกจากน้ำที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดได้ร้อยละ 98

P.A. Wheeler และคณะ [12] ได้สังเคราะห์ดินเหนียวลาพอนิต์ที่ถูกเติมหมู่ฟังก์ชันแบบโควาเลนต์ (Covalently functionalized Laponite clay) ด้วยปฏิกิริยาการควบแน่นของหมู่ซิลานอลของดินเหนียว

(clay's silanol groups) กับแอลคอกซีซิเลนชนิดโมโนและไตร (Mono- and trifunctional alkoxy silanes) โดยเน้นการปรับปรุงดินเหนียวด้วย 3-Aminopropyltrimethoxy silane (APS) เนื่องจากหมู่ไพรมารีเอมีน (Primary amine group) สามารถให้อนุพันธ์ได้หลายหลายชนิดและ APS มีราคาไม่แพงนัก พบว่าบน Laponite clay sheet 1 ชั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 นาโนเมตร หนา 1 นาโนเมตร มีหมู่ซิลานอลที่ว่องไวถึง 200 ตำแหน่ง คิดเป็นความเข้มข้น (Bulk concentration) ได้เท่ากับ 11 มิลลิสมมูล (mequiv) ต่อ 100 กรัมของ Laponite clay

V. Marjanović และคณะ [8] ได้ศึกษาการดูดซับ Cr(VI) ในสารละลายน้ำที่อุณหภูมิ 298 เคลวิน บน เซพิโอไลต์ที่ถูกเติมหมู่เอมีน (Amine-functionalized sepiolite) 2 ชนิด คือ Sepiolite ธรรมชาติ (Natural sepiolites) และ Sepiolite ที่ถูกทำให้ว่องไวด้วยกรด (Acid-activated sepiolites) เซพิโอไลต์ที่ถูกเติมหมู่เอมีนได้จากการกราฟแบบโควาแลนต์ (Covalent grafting) ของ 3-(2-aminoethylamino) propyl trimethoxy-silane กับหมู่ซิลานอลบนผิวของ Sepiolite พบว่าความสามารถในการดูดซับของ Functionalized acid-activated sepiolite สูงกว่าของ Functionalized natural sepiolite โดยความสามารถในการดูดซับ Cr (VI) สูงสุดที่ pH เท่ากับ 2 สำหรับ Functionalized acid-activated sepiolite และ Functionalized natural sepiolite เท่ากับ 60 และ 37 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตาม Freundlich model และเป็นปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (Pseudo-second order kinetic) แบบ Spontaneous process

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 สารตั้งต้นและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) ดินสอพอง (CaCO_3) ตราชีวิวิที จากบริษัท เซนต์บิวตี้ คอสเมติก (ประเทศไทย) จำกัด
- 2) เปลือกส้มเขียวหวาน
- 3) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 4) นอร์มอลเมทิลไพโรลิโดน (NMP)
- 5) พอลิซัลโฟน (Polysulfone)
- 6) สารละลายเมทิลลีนบลู
- 7) เมทานอล (CH_3OH)
- 8) กรดอะซิติก (CH_3COOH)
- 9) สารละลายโบทิน ซีรัม อัลบูมิน (BSA)
- 10) น้ำกลั่น

3.1.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) ปืนแรงดัน
- 2) เครื่อง muffle furnace
- 3) ขวดรูปชมพู่ (Volumetric flask) 1000 มิลลิลิตร
- 4) ปีกเกอร์ (Beaker) 15-200 มิลลิลิตร
- 5) กระจกตวง 5-50 มิลลิลิตร
- 6) หลอดทดลอง
- 7) ซ้อนตักสาร
- 8) แ่งแก้ว
- 9) แผ่นกระจกเรียบ
- 10) กระบะพลาสติก
- 11) ฟอยล์อะลูมิเนียม
- 12) เครื่องชั่งสาร
- 13) เครื่องกวนสาร (stirrer)
- 14) แม่เหล็กกวนสาร (magnetic bar)
- 15) เทปกาวสองหน้า
- 16) ประแจ

17) ขวดบรรจุน้ำกลั่น

18) crucibles

19) กรรไกร

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) เซลล์การกรองทรงกระบอกแบบไหลตามแนวขวาง (Dead end filtration)

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

- 1) เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)
- 2) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
- 3) เครื่องวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของสาร (ATR-IR)
- 4) เครื่องอัลตราไวโอเล็ต วิสิเบิล สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ UV Vis spectrophotometer
- 5) เครื่องวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำ (Contact angle)
- 6) เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine)

3.4 วิธีดำเนินการทดลอง

3.4.1 การสังเคราะห์ Modified Clay

Modified Clay ถูกเตรียมโดยการนำเปลือกส้มเขียวหวานมาล้างด้วยน้ำสะอาดตามด้วยน้ำกลั่น หลังจากนั้นฉีกและตากเปลือกส้มให้แห้งบนฟอยล์อะลูมิเนียมที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6-7 วัน นำเปลือกส้มที่บดแห้งละเอียดปริมาณ 5 กรัม ผสมกับดินสอพอง (Clay) ปริมาณ 5 กรัม และใส่สารละลาย NaOH 0.1 โมลาร์ ปริมาณ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนด้วยเครื่อง stirrer เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นเทส่วนที่เป็น supernatant ออกแล้วนำส่วนที่เป็นตะกอนใส่ crucible แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

3.4.2 การเตรียมการสร้างมิกซ์เมตริกซ์เมมเบรน

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบของสารละลายสำหรับสร้างเมมเบรนจำนวน 6 ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก Clay และ Modified clay ต่อพอลิซัลโฟนที่แตกต่างกัน

เมมเบรน	PSf (กรัม)	Clay (กรัม)	M-clay (กรัม)	NMP (มิลลิลิตร)
M-0.2(c)	4	0.2	-	16
M-0.3(c)	4	0.3	-	16
M-0.4(c)	4	0.4	-	16
M-0.2(m)	4	-	0.2	16
M-0.3(m)	4	-	0.3	16
M-0.4(m)	4	-	0.4	16

ตาราง 1 ตารางแสดงองค์ประกอบสารละลายสำหรับสร้างเมมเบรน 2 ชนิด จำนวน 3 สัดส่วน

ในการเตรียมสารละลายสำหรับการขึ้นรูปเมมเบรน Clay และ Modified clay จะถูกละลายใน NMP เป็นอันดับแรกโดยกวนอย่างช้าๆ ส่วนพอลิซิลิโคนจะถูกใส่ในภายหลัง โดยใส่ทีละปริมาณน้อยๆ เพื่อป้องกันการเกาะกลุ่มเป็นก้อน จากนั้นกวนต่อเนื่องเป็นเวลา 5 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้การกระจายตัวของ Clay และ Modified clay สม่ำเสมอในสารละลายแขวนลอย จากนั้นสารละลายจะถูกหล่อบนแผ่นกระจกที่เรียบที่อุณหภูมิห้องโดยใช้แท่งแก้วในการสร้างแผ่นเมมเบรน แล้วแช่ในอ่างน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้กระบวนการผกผันของเฟสเกิดขึ้น ฟิล์มเมมเบรนที่แยกออกมาจะถูกส่งต่อไปยังอ่างน้ำที่บรรจุน้ำกลั่น โดยแช่เมมเบรนไว้ 24 ชั่วโมง และน้ำกลั่นจะถูกเปลี่ยนทุกวันเป็นเวลา 3 วันติดต่อกันเพื่อกำจัด NMP ที่เหลือออกจากเมมเบรน

3.4.3 การศึกษาการกำจัดเมทิลีนบลูด้วยการกรองชนิดอัลตราฟิลเตรชัน

การศึกษาการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชันได้ดำเนินการโดยใช้เซลล์การกรองแบบ Dead-end โดยใช้สารละลายป้อนเข้ามีความเข้มข้นของเมทิลีนบลู 10 ppm ในการศึกษากระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน การทดลองเริ่มต้นด้วยการวางเมมเบรนที่มีขนาดพื้นที่ผิวที่พร้อมทำปฏิกิริยา 10.76 ตารางเซนติเมตรไปยังเซลล์อัลตราฟิลเตรชัน ระบบการทำงานที่ความดัน 2 บาร์ ซึ่งตัวอย่างเพอร์มิเอตจะถูกเก็บทุกๆ 10 นาที เป็นจำนวน 5 ครั้ง และระดับความเข้มข้นของเมทิลีนบลูจะถูกวิเคราะห์โดย เครื่องอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (UV visible spectrophotometer) รวมถึงมีการวิเคราะห์ฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ และร้อยละความสามารถในการกำจัดเมทิลีนบลู

ฟลักซ์ของเพอร์มิเอตและน้ำบริสุทธิ์ถูกวัดโดยใช้เซลล์การกรองแบบ Dead-end การทดลองการซึมผ่านถูกดำเนินการที่ความดัน 2 บาร์ โดยที่ฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ของเมมเบรนจะถูกคำนวณโดยใช้สมการ (1)

$$J_w = \frac{Q}{A\Delta t} \quad (1)$$

โดยที่ J_w คือฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ (ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) Q คือปริมาตรของของเหลวที่ผ่านการกรอง (ลิตร) A คือพื้นที่เมมเบรนประสิทธิภาพ (ตารางเซนติเมตร) และ t คือเวลาที่ใช้ในการสูมตัวอย่าง (ชั่วโมง)

สำหรับร้อยละความสามารถในการกำจัดเมทิลลิโนบลูของเมมเบรนใช้สมการ (2)

$$\% \text{ Removal} = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ C_t คือค่าความเข้มข้นของเพอร์มิเอต (ppm) C_0 คือค่าความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น (ppm)

3.4.4 การจำแนกลักษณะของ Clay และ Modified clay และมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน

ลักษณะโครงสร้างของ Clay และ Modified clay ที่สังเคราะห์ขึ้นเองได้ทำการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM 3000, Hitachi) ในขณะที่พื้นที่ผิวจำเพาะ (SSA) ถูกกำหนดโดยการวิเคราะห์จากเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและความมีรูพรุนของตัวอย่าง (BET) วิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของสาร (ATR-IR) และวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)

ลักษณะโครงสร้างของมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนจะถูกวิเคราะห์ในทำนองเดียวกับการวิเคราะห์โครงสร้างของ Clay และ Modified clay เพียงแต่มีการวิเคราะห์มุมสัมผัสระหว่างน้ำกับเมมเบรน (Contact angle) เพิ่มเติมขึ้นมา ซึ่งการวัดจะวัด 5 บริเวณที่ต่างกัน

3.4.5 การศึกษากระบวนการป้องกันการเกิดตะกรัน (Antifouling)

การศึกษากำหนดสิ่งยึดเกาะของสิ่งสกปรกได้ดำเนินการโดยใช้เซลล์กรองแบบ Dead-end โดยใช้สารละลายป้อนเข้า 2 ชนิดคือน้ำกลั่น และสารละลายที่มีความเข้มข้นของสารละลาย โปวีน ซีรัม อัลบูมิน (BSA) 200 ppm ในการเริ่มต้นฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ (J_1) ของเมมเบรนถูกวัดผ่านการใช้แรงดัน 1 บาร์ที่อุณหภูมิห้อง ในขั้นตอนถัดไปเติมสารละลายโปวีน ซีรัม อัลบูมิน (BSA) 200 ppm และซึมผ่านทุกๆ 10 นาทีเป็นเวลา 50 นาที หลังจากการกรองสารละลายโปวีน ซีรัม อัลบูมิน (BSA) เมมเบรนจะถูกนำไปกรองผ่านด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 45 นาที และจะวัดฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ (J_2) อีกครั้ง คุณสมบัติการป้องกันการสิ่งสกปรกมักจะวัดในรูปของ Flux Recovery Ratio (FRR) ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรที่ (3)

$$\% \text{ FRR} = \left(\frac{J_2}{J_1} \right) \times 100 \quad (3)$$

เพื่อที่จะเข้าใจพฤติกรรมการปนเปื้อนของเมมเบรนที่เตรียมไว้อย่างสมบูรณ์อัตราส่วนของการเกิดตะกรันทั้งหมด (R_t) การปนเปื้อนผันกลับได้ (R_r) และการปนเปื้อนผันกลับไม่ได้ (R_{ir}) ถูกคำนวณโดยใช้สมการ (4) - (6)

$$R_t (\%) = \left(1 - \frac{J_p}{J_1}\right) \times 100 \quad (4)$$

$$R_r (\%) = \left(\frac{J_2 - J_p}{J_1}\right) \times 100 \quad (5)$$

$$R_{ir} (\%) = \left(\frac{J_1 - J_2}{J_1}\right) \times 100 \quad (6)$$

โดยที่ J_p คือค่าฟลักซ์การซึมผ่านเมื่อป้อนเป็นสารละลาย โปวิน ซีรัม อัลบูมิน (ลิตรต่อตารางเมตรวินาที)

3.4.6 การศึกษาการดูดซับน้ำของมิทริกซ์เมมเบรน (Swelling study)

การศึกษาการดูดซับน้ำทำได้โดยนำเมมเบรนแต่ละชนิดที่แห้งสนิทแล้วขนาด 2×2 ตารางเซนติเมตร มาชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นแช่ลงในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อวัดประสิทธิภาพการดูดซับน้ำของเมมเบรนแต่ละชนิด ร้อยละของการดูดซับของเมมเบรนคำนวณโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\% \text{ water uptake} = \left(\frac{W_w - W_d}{W_d}\right) \times 100 \quad (7)$$

โดยที่ W_w คือ มวลของเมมเบรนเปียก (กรัม) W_d คือ มวลของเมมเบรนแห้งในหน่วย (กรัม) ในทุกๆ เมมเบรนจะทำการทดลองเพื่อหาร้อยละของการดูดซับน้ำจำนวน 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

3.4.7 การวิเคราะห์ความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่

สำหรับการศึกษาความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ของเมมเบรนใช้การกรองแบบไหลแบบ Dead-end ที่ความดัน 2 บาร์ การทดลองใช้สารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 10 ppm กรองผ่านเมมเบรนเป็นจำนวน 3 รอบ รอบละ 40 นาที และเก็บสารละลายจากเพอร์มิเอตทุกๆ 10 นาที เพื่อนำไปหาความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลู โดยในทุกๆรอบ เมมเบรนจะถูกล้างด้วยสารละลายเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 99.9 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น ร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร ในอัตราส่วน 9 ต่อ 1 เมื่อล้างเสร็จจึงนำไปตรวจหาความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูโดยใช้เครื่อง UV vis spectrophotometer

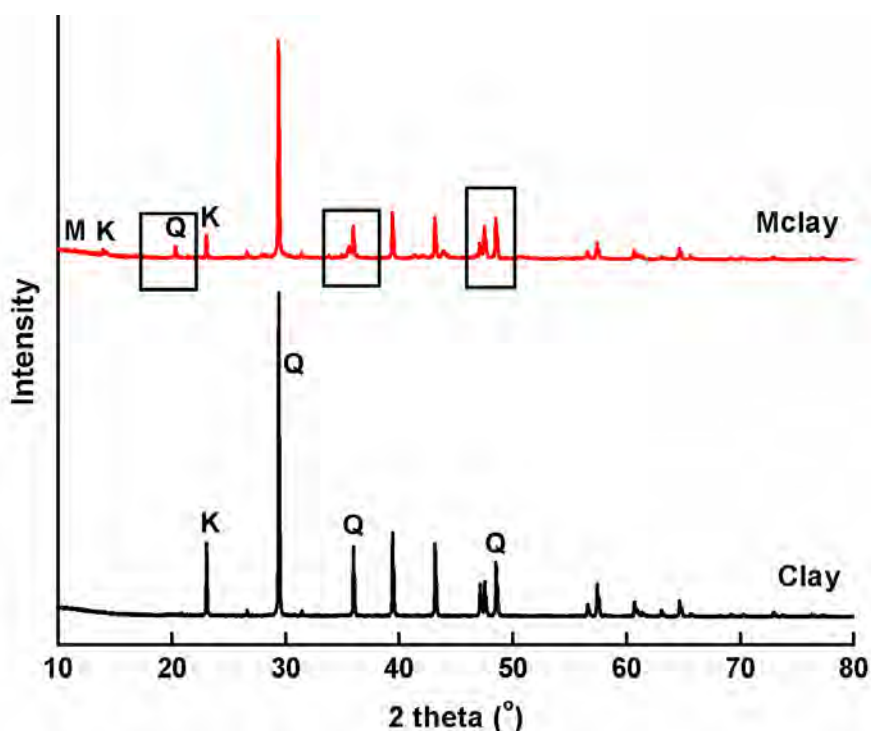
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของ Clay และ Modified Clay

4.1.1 วิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ Clay และ Modified Clay (XRD)

ในรูปที่ 5 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ Clay และ Modified clay ผลึกของ Clay และ Modified clay สามารถเห็นได้จากกราฟ XRD และเห็นได้ชัดเจนว่าแม้จะมีการดัดแปลงด้วยความร้อน Modified clay ก็ไม่ได้สูญเสียความเป็นผลึกของมัน จากงานวิจัย [10] สามารถสรุปได้ว่า Clay ในงานวิจัยนี้คือ Bentonite และเมื่อดัดแปลง Clay ด้วยความร้อน (Modified clay) พบว่าพีคของแร่ธาตุ Kaoline (K) และ Montmorillonite (M) มีค่าลดลง การให้ความร้อนกับ Bentonite เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำและอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาการดึงน้ำออกจากโมเลกุล ซึ่งจากปฏิกิริยานี้สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของ Kaoline เป็น Metakaolinite

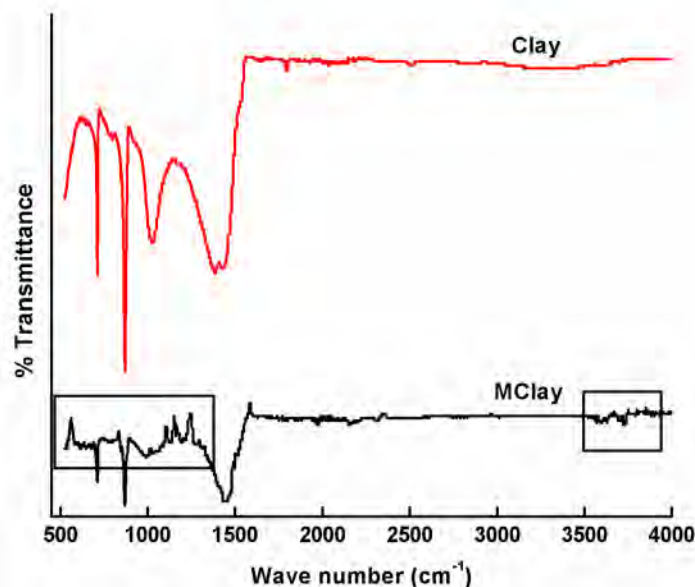


รูปที่ 5 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ Clay และ Modified clay

4.1.2 วิเคราะห์เพื่อตรวจสอบโครงสร้างของโมเลกุลของ Clay และ Modified Clay (ATR-IR)

ATR-IR สเปกตรัมของ Clay และ Modified clay แสดงในรูปที่ 6 พบว่าสเปกตรัมของ Clay ตรงกับสเปกตรัมของ Bentonite clay เมื่อเทียบจากฐานข้อมูลของเครื่อง ATR-IR โดยที่ค่าสเปกตรัมของ Clay โดยทั่วไป อยู่ในช่วงเลขคลื่นต่ำ (570 ถึง 1650 เซนติเมตร⁻¹) และที่บริเวณที่สูงกว่าจะสังเกตได้หลายแถบ (3650 ถึง 3850 เซนติเมตร⁻¹) ซึ่งแถบเหล่านี้แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน Al-O-Al หมู่ไฮดรอกซิลและน้ำที่ประกอบอยู่ใน Clay [5] ที่พีค 1630 เซนติเมตร⁻¹ เกิดจากแถบการสั่นสะเทือนของหมู่ O-H แบบอสมมาตรที่ตำแหน่ง v2 ของน้ำซึ่งเป็นส่วนโครงสร้างของ Clay ส่วนสองพีคที่ปรากฏที่ 1032 และ 1385 เซนติเมตร⁻¹ แสดงลักษณะของแรมอนต์มอริลโลไนต์ และ ระบุถึงแถบการสั่นสะเทือนของ Si-O ที่ตำแหน่ง 3 (แนวระนาบ) และพีคที่สามารถสังเกตได้ที่ 538 695 และ 797 เซนติเมตร⁻¹ ระบุถึงตำแหน่ง v2 v4 และ v1 ของการสั่นสะเทือนตามลำดับ [9] และพบการสั่นที่ลดลงที่ 1385 เซนติเมตร⁻¹ ซึ่งเป็นผลมาจากโอเวอร์โทนของตำแหน่ง v4 ของสเปกตรัมของสาร SiO₄ ซึ่งผลลัพธ์เหล่านี้มีความสอดคล้องกับข้อมูลค่าสเปกตรัมของ Bentonite clay ที่มาจากแหล่งอื่น

ส่วนประกอบอื่น ๆ คือ เปลือกส้มเขียวหวานส่วนใหญ่จะประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน ลิกนิน โพรตีน น้ำมันหอมระเหยและน้ำตาลรีดิวิซในปริมาณเล็กน้อย [7] Pei-jun Li et al. ให้ข้อมูลเกี่ยวกับ ATR-IR สเปกตรัม ของผงเปลือกส้มเขียวหวานอย่างชัดเจน ผู้เขียนกล่าวว่าตำแหน่งพีคเหนือ 3330 เซนติเมตร⁻¹ บ่งบอกถึงโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสที่ถูกทำลายทำให้เกิดกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระบนพื้นผิวการดูดซับ (Modified clay ในงานวิจัยปัจจุบัน) เมื่อให้ความร้อน พีคที่เปลี่ยนไปที่ 2900 เซนติเมตร⁻¹ ระบุได้ถึงแถบการสั่นสะเทือนของหมู่ C-H แบบสมมาตรและอสมมาตรในกรดอะลิฟาติก และ พีคที่ 1744 เซนติเมตร⁻¹ แสดงถึงคุณลักษณะของแถบการสั่นสะเทือนของ C=O ของกลุ่มคาร์บอกซีที่ไม่มีประจุ เหมือนกับหมู่ -COOH และ -COOCH₃ [6] พีคตั้งแต่ 1600 ถึง 1520 เซนติเมตร⁻¹ เป็นลักษณะแถบการสั่นสะเทือนของลิกนิน โครงสร้างที่เป็น aromatic และ โครงสร้างของเอมีนแบบปฐมภูมิ [4] พีคที่ประมาณ 1250 เซนติเมตร⁻¹ เป็นพีคที่ยืนยันโครงสร้าง C-N (อะโรมาติกเอมีน) พีคที่ 1056 เซนติเมตร⁻¹ แสดงถึงหมู่ O-H ในลิกนิน หรือโครงสร้าง C-OH ในเฮมิเซลลูโลส และ ที่ 1371 เซนติเมตร⁻¹ คือ แถบการสั่นสะเทือนของหมู่ฟีนอลิกไฮดรอกซิล ที่สังเกตได้ใน Modified Clay และ Clay ร่วมกัน ซึ่งเป็นการยืนยันการรวมเข้ากับ Clay ของหมู่ฟังก์ชันได้เป็น Modified clay หลังผ่านกระบวนการดัดแปลง

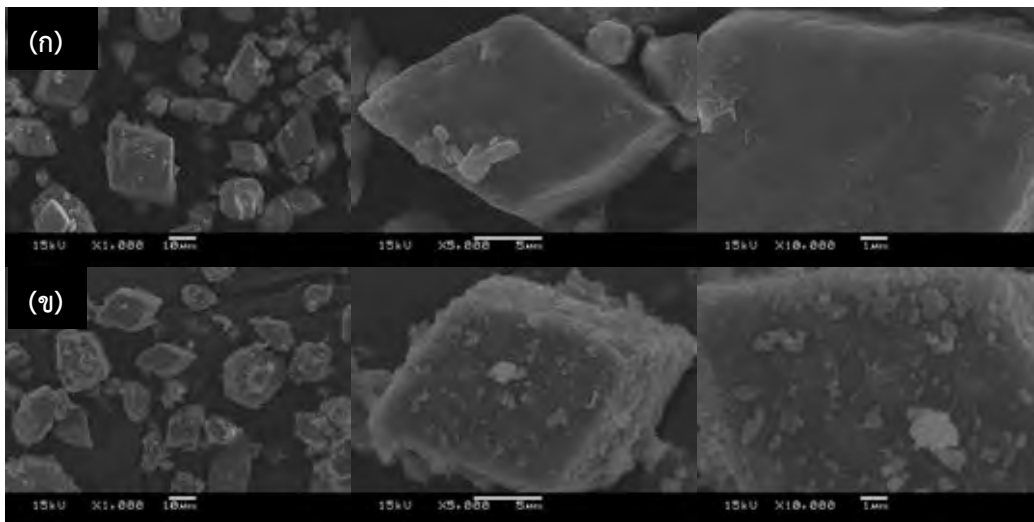


รูปที่ 6 กราฟแสดงการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของสาร (ATR-IR) ของ Clay และ Modified clay

4.1.3 วิเคราะห์จากลักษณะทางกายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ Clay และ Modified Clay (SEM)

จากผลการวิเคราะห์ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของอนุภาค Clay และ Modified Clay ในรูปที่ 7 (ก) และ (ข) พบว่า อนุภาคของ Clay มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัด มีพื้นผิวที่เรียบ และมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกัน โดยที่ขนาดของความยาวเส้นทแยงมุมมีค่าประมาณ 20 ไมโครเมตร และเมื่อพิจารณาอนุภาค Modified Clay ซึ่งเกิดจากการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เปลือกส้มเขียวหวาน โดยผ่านขั้นตอนการเผาที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ในสภาวะดังกล่าวจะไม่สามารถทำให้อนุภาคของ Clay เกิดการเผาไหม้ได้สังเกตจากรูปร่างของอนุภาค Clay ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง มีเพียงอนุภาคของเปลือกส้มเขียวหวานเท่านั้นที่จะถูกเผาและมีหมู่ฟังก์ชันเกาะติดอยู่บนอนุภาคของ Clay เกิดเป็น Modified Clay

ลักษณะทางกายภาพของอนุภาค Modified Clay จากภาพ SEM (ข) สังเกตได้ว่าพื้นผิวของอนุภาคมีความขรุขระเพิ่มขึ้นจากการเกาะติดของหมู่ฟังก์ชันจากผงเปลือกส้มที่ถูกเผา เมื่อเปรียบเทียบกับ Clay ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับมีประสิทธิภาพมากขึ้น

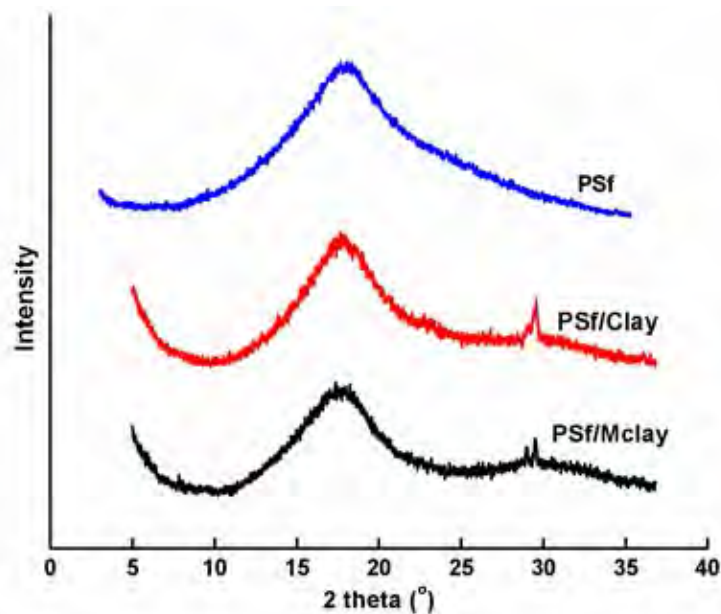


รูปที่ 7 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของ (ก) Clay (ข) Modified clay

4.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน

4.2.1 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน

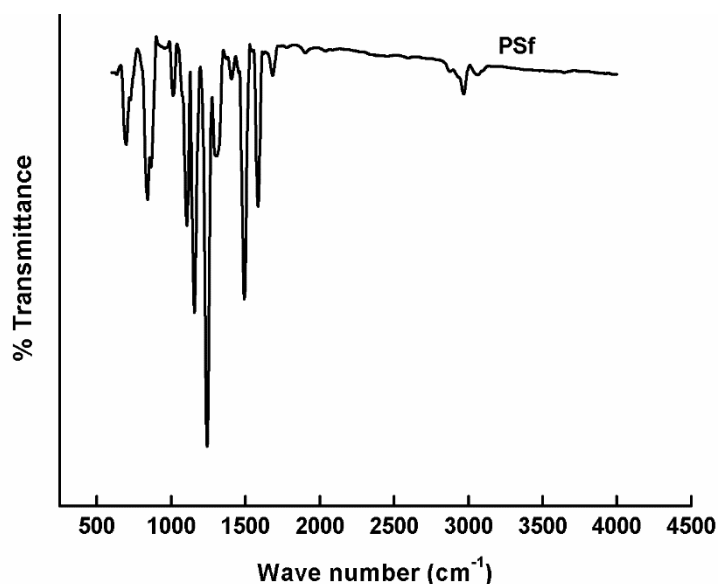
รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของพอลิซิลโฟน พอลิซิลโฟน/Clay 0.2 กรัม และพอลิซิลโฟน/Modified clay 0.2 กรัม แสดงในรูปที่ 8 จากกราฟสามารถสรุปได้ว่าทั้งพอลิซิลโฟน/Clay 0.2 กรัม และพอลิซิลโฟน/Modified clay 0.2 กรัม มีส่วนประกอบของพอลิซิลโฟน เนื่องจากปรากฏพีกของพอลิซิลโฟนชัดเจน นอกจากนี้ที่กราฟของพอลิซิลโฟน/Clay 0.2 กรัม และพอลิซิลโฟน/Modified clay 0.2 กรัม ยังปรากฏพีกของผลึกของ Bentonite และ Kaoline พีกเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าไม่มีการสูญเสียรูปแบบผลึกของพอลิซิลโฟน



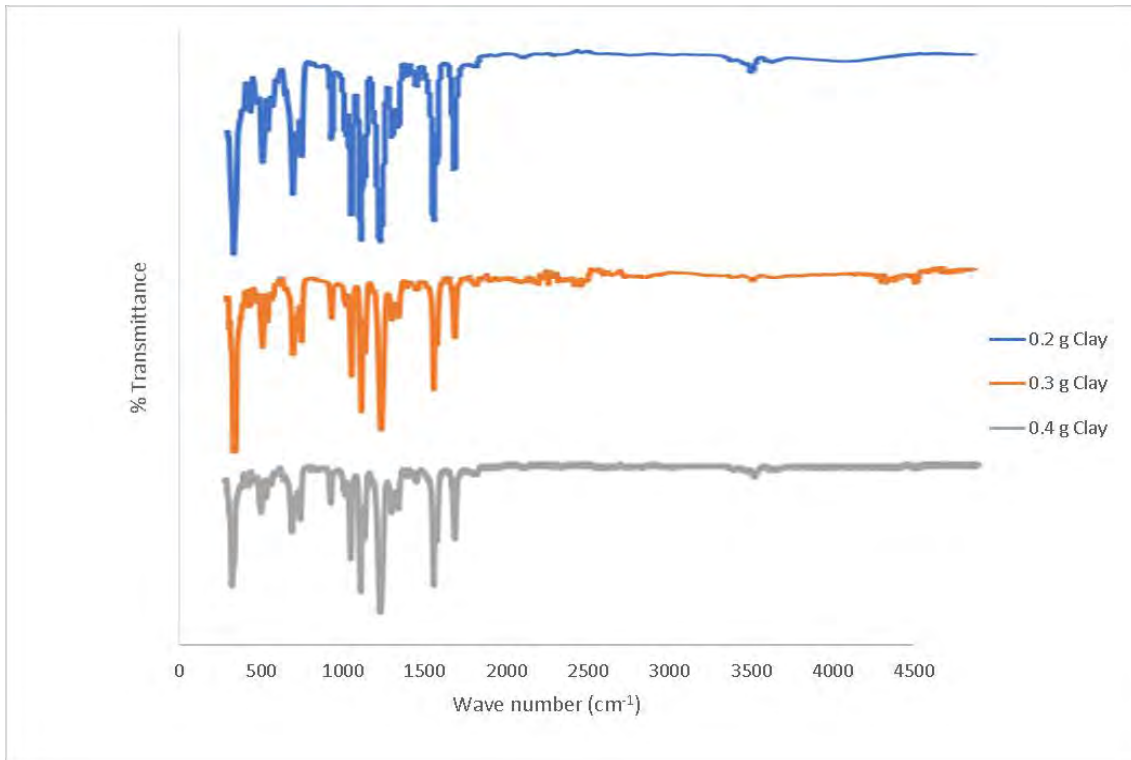
รูปที่ 8 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของพอลิซิลโฟน พอลิซิลโฟน/Clay 0.2 กรัม และ พอลิซิลโฟน/Modified clay 0.2 กรัม

4.2.2 การวิเคราะห์โดยเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของเมมเบรน (ATR-IR)

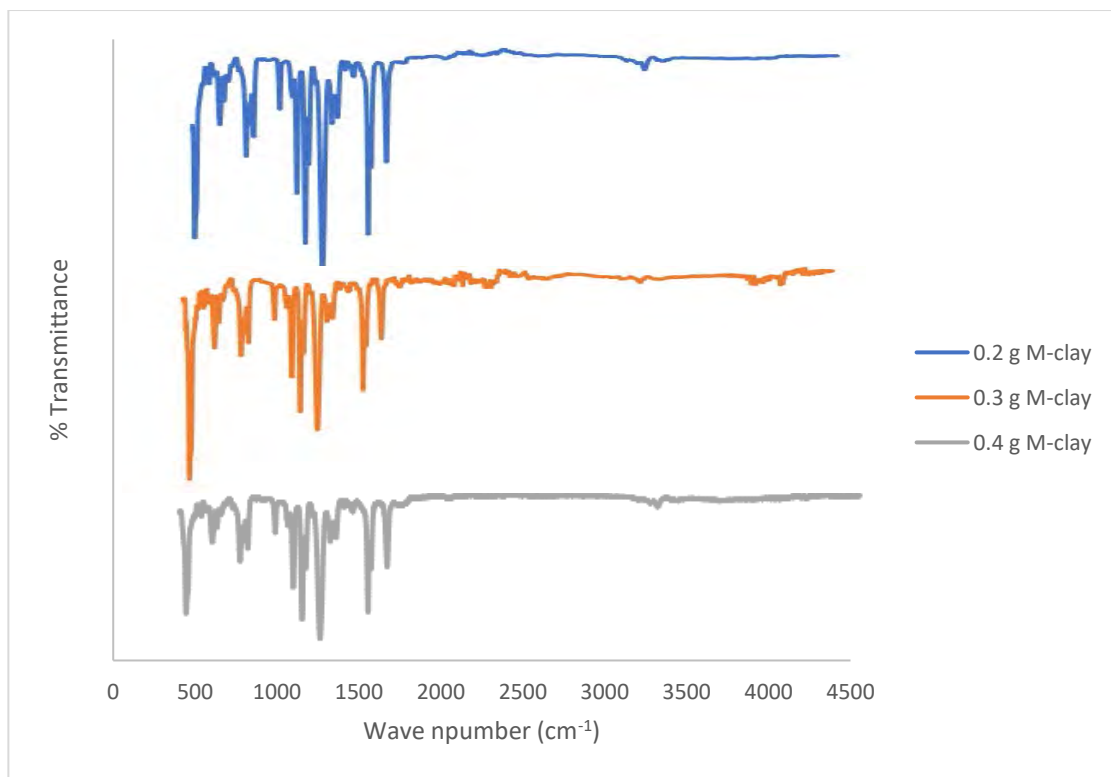
รูปที่ 9 แสดงถึง ATR-IR สเปกตรัมของพอลิซัลโฟนที่ค่อนข้างเก่า ซึ่งปรากฏพีคที่ประมาณ 1584.38 1306.71 และ 1105.70 เซนติเมตร⁻¹ ที่แสดงถึงแถบการสั่นสะเทือนของ C=C and C-C พีคที่ 1306.71 และ 1156.82 เซนติเมตร⁻¹ แสดงถึงหมู่ SO₂ ของพอลิซัลโฟน และ พบพีคที่แสดงถึงความชื้นปรากฏที่ประมาณ 3063.12 เซนติเมตร⁻¹[14] รูปที่ 10 และรูปที่ 11 แสดง ATR-IR สเปกตรัมของพอลิซัลโฟนเมมเบรนที่เติม Clay และ Modified clay ที่ความเข้มข้นต่างกัน สเปกตรัมที่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงพีคทั่วไปของ พอลิซัลโฟน Clay หรือ Modified clay และสามารถยืนยันการรวมตัวกันของ Clay หรือ Modified clay ในเมตริกซ์พอลิซัลโฟน



รูปที่ 9 กราฟแสดงการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของสาร (ATR-IR) ของพอลิซัลโฟน



รูปที่ 10 กราฟแสดงการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของสาร (ATR-IR) ของพอลิเอทิลีน/Clay 0.2 กรัม พอลิเอทิลีน/Clay 0.3 กรัม พอลิเอทิลีน/Clay 0.4 กรัม



รูปที่ 11 กราฟแสดงการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของสาร (ATR-IR) ของพอลิเอทิลีน/Modified clay 0.2 กรัม พอลิเอทิลีน/Modified clay 0.3 กรัม พอลิเอทิลีน/Modified clay 0.4 กรัม

4.2.3 การวิเคราะห์ความพรุนและความสามารถในการดูดซึมน้ำของเมมเบรน

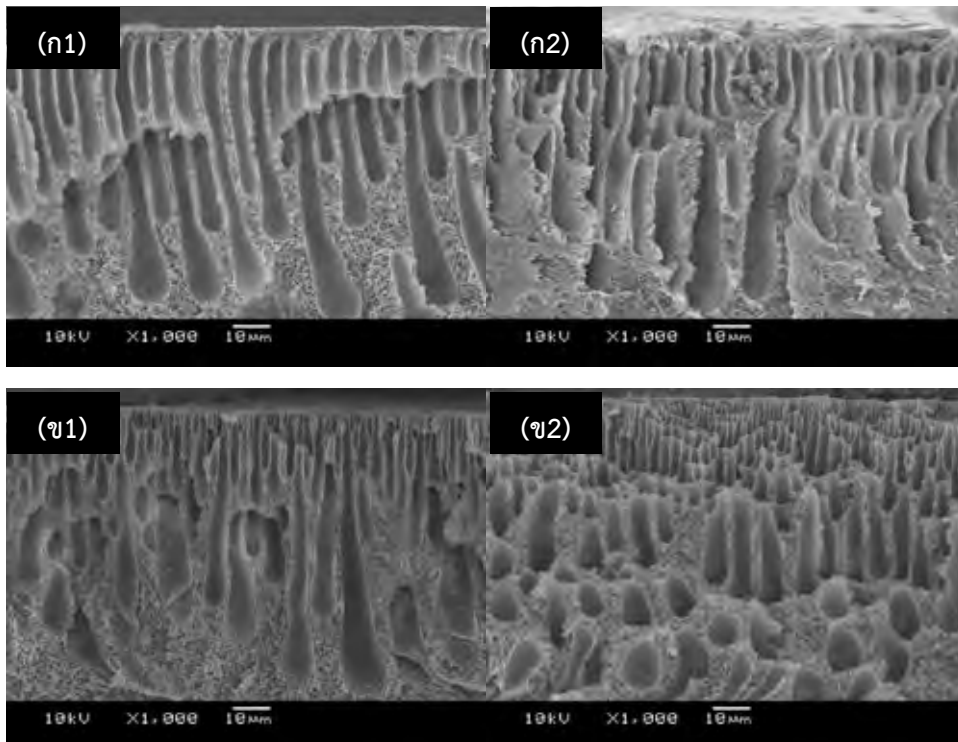
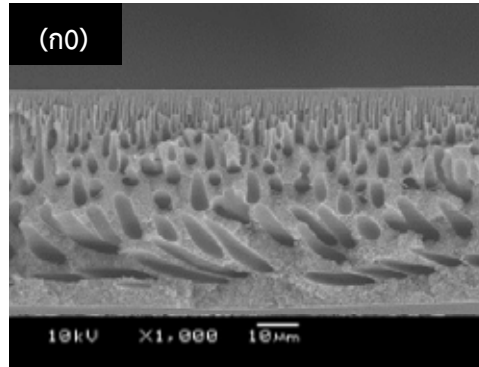
จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นความสามารถการดูดซึมน้ำของมิทซ์เมทริกซ์เมมเบรน จากงานวิจัยพบว่า ร้อยละค่าการดูดซึมน้ำของเมมเบรนพอลิซิลโฟนอยู่ที่ 8.26 ในการทดลองร้อยละค่าการดูดซึมน้ำของเมมเบรนพอลิซิลโฟนที่เติม Modified clay เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับร้อยละการดูดซึมน้ำของเมมเบรนพอลิซิลโฟนที่เติม Clay แม้ว่าพอลิซิลโฟนจะมีความไม่ชอบน้ำสูง แต่ความสามารถในการดูดซึมน้ำของพอลิซิลโฟนนี้เกิดจากกระบวนการแพร่ โดยที่เกิดขึ้นระหว่างการเปลี่ยนเฟสของตัวทำละลายที่ชอบน้ำและตัวทำละลายที่ไม่ชอบน้ำ ในช่วงเวลาของกระบวนการเตรียมเมมเบรน ซึ่งจากผลการทดลองเมื่อเติม Clay และ Modified clay พบว่าความสามารถในการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 2 เมมเบรนพอลิซิลโฟนที่เติม Modified clay มีความสามารถในการดูดซึมน้ำที่สูง โดยเป็นที่รู้กันดีว่า Clay มีความสามารถในการดูดซับความชื้นในอากาศ และเนื่องจาก Modified clay มีหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำจำนวนมาก สามารถดูได้จากผลการทดลอง ATR-IR จึงเป็นเหตุผลที่เมมเบรนพอลิซิลโฟนที่เติม Modified clay จะมีค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าซึ่งเมมเบรนพอลิซิลโฟนที่เติม Modified clay 0.2 กรัม แสดงค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงสุดร้อยละ 35.2 และที่ความเข้มข้นของ Clay และ Modified clay สูงจะส่งผลให้ตัวกรองระดับนาโนมีความหนาแน่นของประจุที่พื้นผิวสูง จึงมีแนวโน้มที่ Clay และ Modified clay จะเกาะกลุ่มกันและปิดกั้นรูพรุนซึ่งมีผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำของเมมเบรน

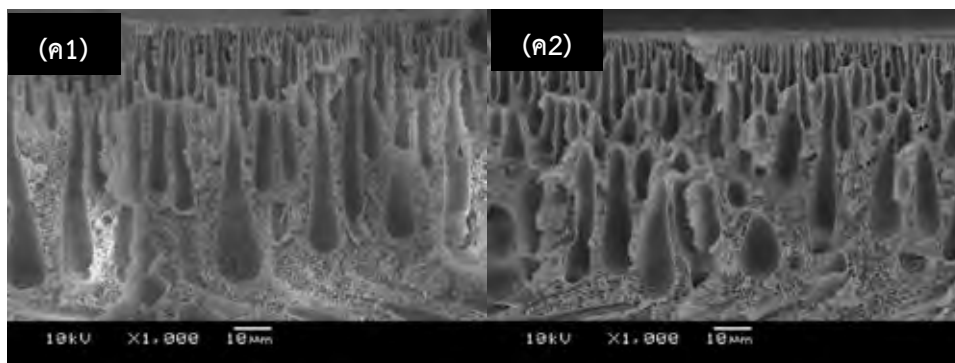
Membrane	Water uptake (%)
M-0.2(c)	16.9
M-0.3(c)	15.6
M-0.4(c)	22.1
M-0.2(m)	35.2
M-0.3(m)	19.2
M-0.4(m)	20.3

ตารางที่ 2 ความสามารถในการดูดซึมน้ำของเมมเบรนพอลิซิลโฟนที่เติม Clay 0.2 0.3 0.4 กรัม และเมมเบรนพอลิซิลโฟนที่เติม Modified clay 0.2 0.3 0.4 กรัม ตามลำดับ

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดภาคตัดขวางของเมมเบรน แสดงในรูปที่ 12 ภาพตัดขวางของเมมเบรนพอลิซิลโฟนแสดงให้เห็นรูปแบบของรูพรุนที่มีรูปร่างแบบ finger และไม่ต่อเนื่อง ซึ่งจะมีผลกระทบทำให้ฟลักซ์ลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างภาพ (ก) (ข) และ (ค) พบว่าเมมเบรนพอลิซิลโฟนที่เติม Clay มีลักษณะของรูพรุนที่ตรง ซึ่งลักษณะโครงสร้างแบบนี้จะสามารถทำให้ฟลักซ์เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มน้ำหนักของ Clay และ Modified clay พบว่าจำนวนของรูพรุนมีจำนวนมากขึ้น การเกิดช่องว่างเหล่านี้เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของ Clay และ Modified clay ที่ผสมกับน้ำในขั้นตอนของการเปลี่ยนเฟสของเมมเบรน ภาพตัดขวางของเมมเบรนทั้งหมดแบ่งออกเป็น 3 พื้นที่หลักคือ ส่วนบนสุดของเมมเบรนซึ่งจะประกอบด้วยรูพรุนขนาด

ไมโครจำนวนมาก ในส่วนนี้ทำหน้าที่เป็นส่วนของการคัดเลือก (ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการกำจัดเมทิลลีนบลูออกจากสารละลาย) ในส่วนที่สองคือส่วนกลางของรูพรุน ซึ่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่าด้านบน เป็นส่วนที่สัมพันธ์กับฟลักซ์ของเมมเบรน และในที่สุดท้ายถัดลงมาจะเป็นส่วนที่มีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของเมมเบรนสำหรับเมมเบรนพอลิซัลโฟเนที่เติม Modified clay จะมีความสามารถในการเลือกสูงกว่าเมมเบรนพอลิซัลโฟเนที่เติม Clay

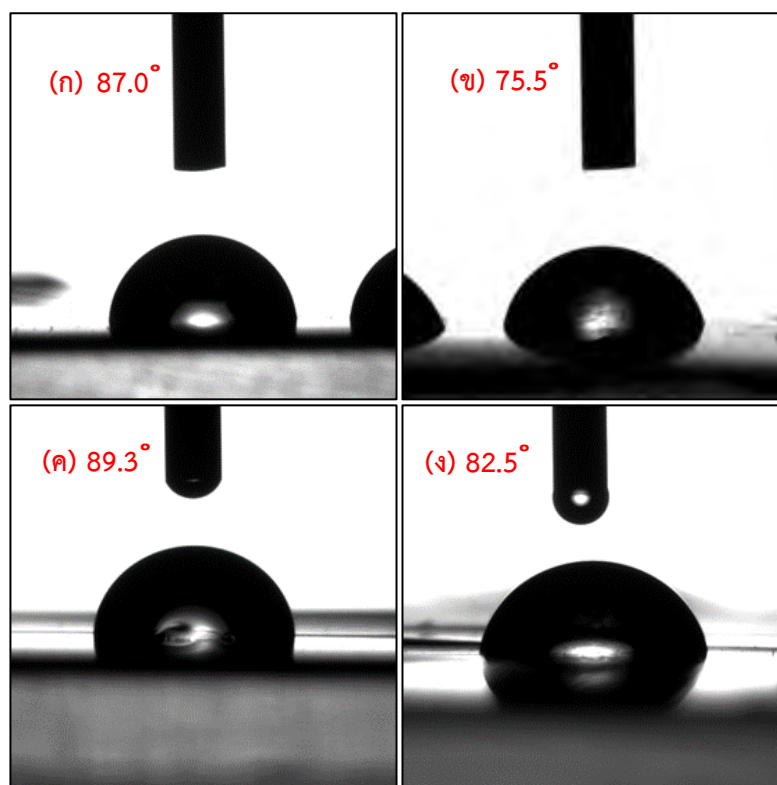


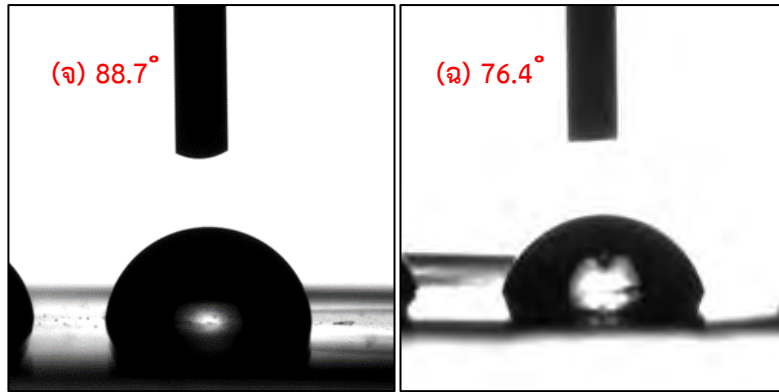


รูปที่ 12 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดภาคตัดขวางของเมมเบรน1 (ก0) พอลิซัลโฟน
 (ก1) พอลิซัลโฟน/Clay 0.2 กรัม (ก2) พอลิซัลโฟน/Modified clay 0.2 กรัม (ข1) พอลิซัลโฟน/Clay 0.3 กรัม
 (ข2) พอลิซัลโฟน/Modified clay 0.3 กรัม (ค1) พอลิซัลโฟน/Clay 0.4 กรัม (ค2) พอลิซัลโฟน/Modified clay 0.4 กรัม

4.2.4 การวิเคราะห์ความชอบน้ำของเมมเบรน (Contact angle)

ความชอบน้ำของพื้นผิวเมมเบรนเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อฟลักซ์ของน้ำที่ไหลผ่านเมมเบรน ซึ่งในการตรวจสอบความชอบน้ำของพื้นผิวเมมเบรนในงานวิจัยนี้ใช้การวัดมุมสัมผัส ในรูปที่ 13 จะแสดงการวัดมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับเมมเบรน จะพบว่าเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Modified clay (ข) (ง) (จ) มีมุมสัมผัสลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ เมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Clay (ก) (ค) (ฉ) แสดงให้เห็นว่าเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Modified clay มีความชอบน้ำมากกว่าเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Clay โดยเมมเบรนที่มีความชอบน้ำมากที่สุดคือ เมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Modified clay 0.2 กรัม (ข) มีมุมสัมผัสอยู่ที่ 75.5 องศา

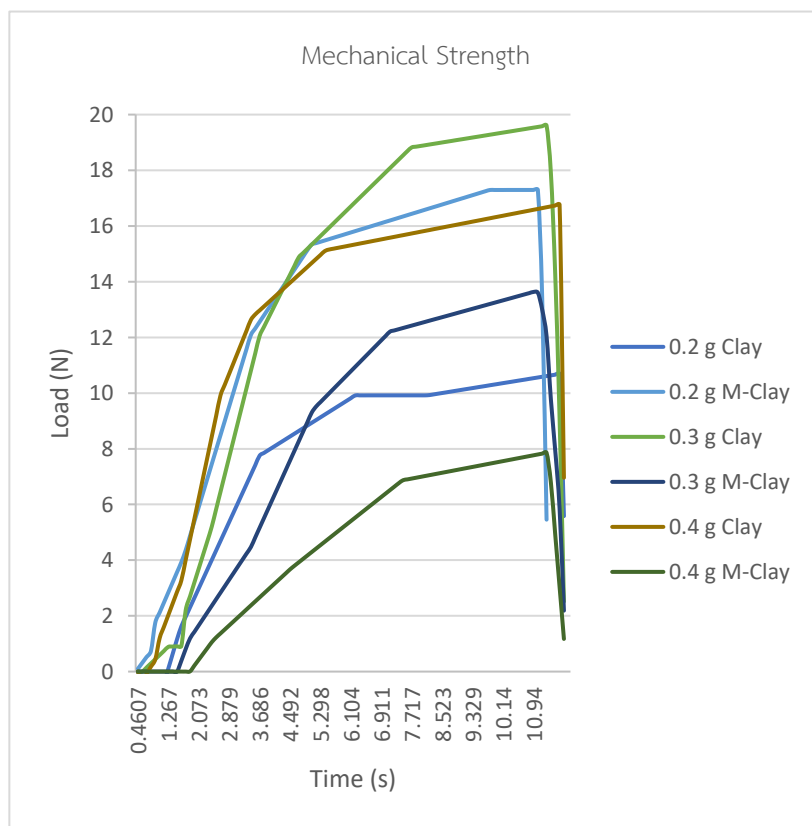




รูปที่ 13 รูปแสดงมุมสัมผัสของ (ก) พอลิซิลโฟเนน/Clay 0.2 กรัม (ข) พอลิซิลโฟเนน/Modified clay 0.2 กรัม
(ค) พอลิซิลโฟเนน/Clay 0.3 กรัม (ง) พอลิซิลโฟเนน/Modified clay 0.3 กรัม (จ) พอลิซิลโฟเนน/Clay 0.4 กรัม
(ฉ) พอลิซิลโฟเนน/Modified clay 0.4 กรัม

4.2.5 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของเมมเบรน

ความแข็งแรงของเมมเบรนถูกทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine) จากรูปที่ 14 ความแข็งแรงของเมมเบรนมีการกระจายตัวอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของขั้นตอนการ casting ทำให้ความหนาของเมมเบรนแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงของเมมเบรน

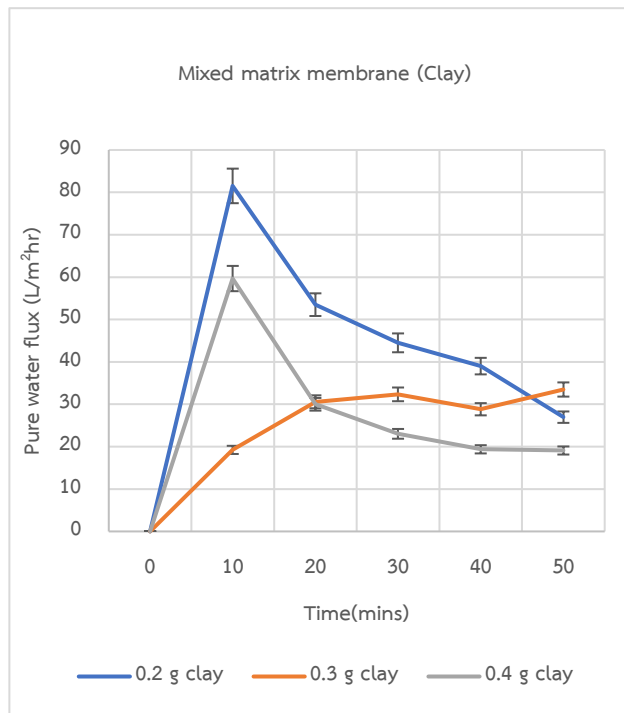


รูปที่ 14 แสดงแรงดึงที่กระทำต่อมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนต่างๆต่อเวลา

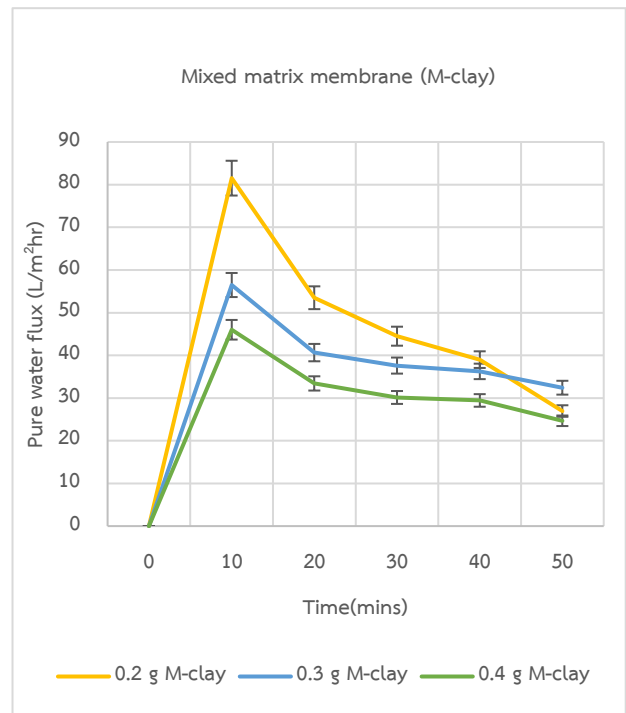
4.3 การศึกษาการดูดซับแบบไดนามิก

4.3.1 การวิเคราะห์ฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์

เมื่อพิจารณาถึงค่าฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ที่ไหลผ่านเมมเบรน เมมเบรนพอลิซัลโฟนให้ผลของค่าฟลักซ์ที่น้อยมาก และเมื่อพิจารณาเมมเบรนทั้งสองชนิดพบว่าฟลักซ์ที่ผ่านเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Modified clay จะมีค่าฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์น้อยกว่าเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Clay เนื่องจากขนาดของรูพรุนบริเวณพื้นผิวบนเมมเบรนที่มีขนาดเล็กกว่า โดยเมมเบรนแต่ละชนิดที่เติม Clay หรือ Modified clay ในอัตราส่วนน้ำหนักที่มากกว่า จะมีค่าฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ที่น้อยกว่าเนื่องจากการขวางการไหลจากการกระจายตัวของอนุภาคที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 15(ก) และ 15(ข)



(ก)



(ข)

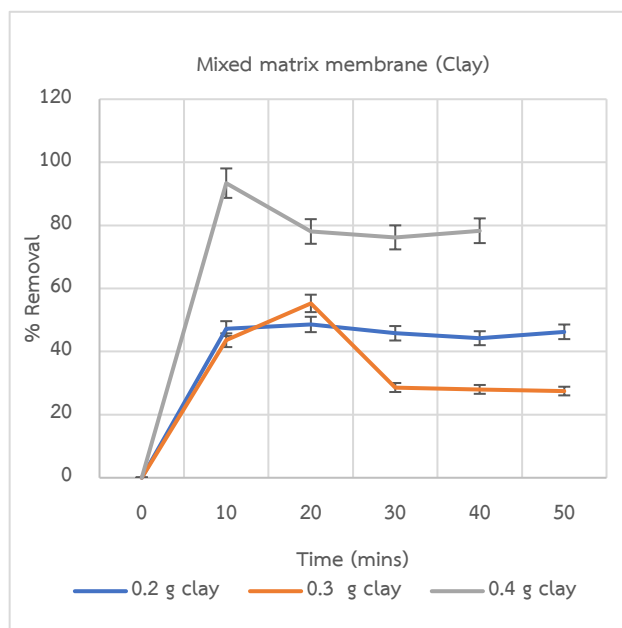
รูปที่ 15 แสดงฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์โดยใช้เมทริกซ์เมมเบรน (ก) พอลิซัลโฟน/Clay 0.2 0.3 และ 0.4 กรัม

(ข) พอลิซัลโฟน/Modified clay 0.2 0.3 และ 0.4 กรัม

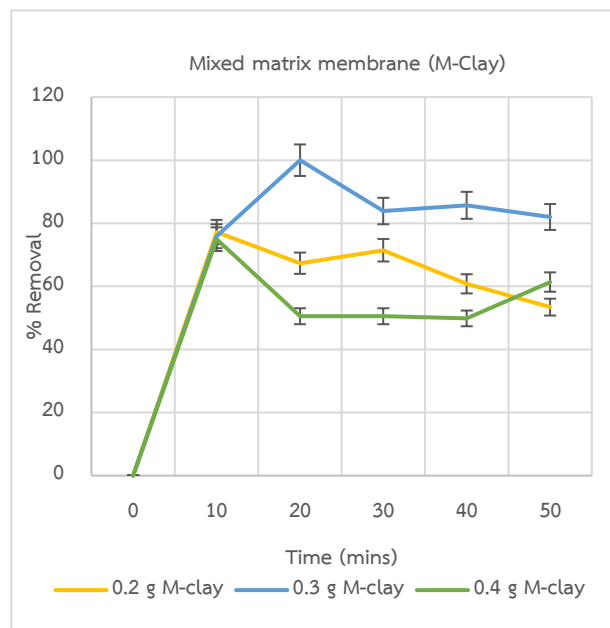
4.3.2 การวิเคราะห์การกำจัดเมทิลลีนบลูออกจากสารละลาย

สำหรับการกรองของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Clay หรือ Modified clay จะใช้การกรองแบบ dead-end ซึ่งอัตราการไหลของการกรองจะถูกเก็บข้อมูลโดยการชั่งน้ำหนักของเพอร์มิเอตทุก 10 นาที เป็นเวลา 50 นาที ดังแสดงในรูปที่ 16(ก) และ 16(ข) ซึ่งแสดงร้อยละการกำจัดเมทิลลีนบลูออกจากสารละลายโดยใช้เมทริกซ์เมมเบรน พบว่าร้อยละการกำจัดของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Clay โดยเฉลี่ยจะมีค่าน้อยกว่าเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Modified clay ผลมาจากการเติมหมู่ฟังก์ชันเข้าไปใน Clay ให้เป็น Modified Clay จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับของเมมเบรน

สำหรับเมมเบรนพอลิซิลโฟนที่เติม Clay พบว่าร้อยละการกำจัดเมทิลีนบลูออกจากสารละลายจะมีค่ามากที่สุดเมื่อน้ำหนักของ Clay ที่เติมลงไป ในเมมเบรนมีค่าเท่ากับ 0.4 กรัม เนื่องจากการกระจายตัวของ Clay ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับที่ดีที่เติมลงไปมีมากกว่า แต่สำหรับเมมเบรนพอลิซิลโฟนที่เติม Modified clay พบว่าร้อยละการกำจัดมากที่สุดอยู่ที่ 0.3 กรัม หากเพิ่มน้ำหนักเป็น 0.4 กรัม จะพบว่าร้อยละการกำจัดเมทิลีนบลูลดลงอย่างมีนัยสำคัญ



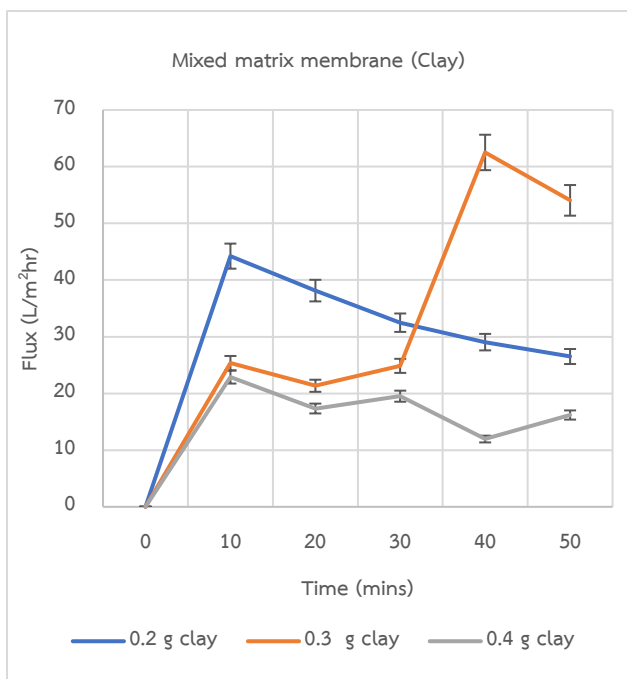
(ก)



(ข)

รูปที่ 16 แสดงร้อยละการกำจัดเมทิลีนบลูออกจากสารละลายโดยใช้เมทริกซ์เมมเบรน
(ก) พอลิซิลโฟน/clay 0.2 0.3 และ 0.4 กรัม (ข) พอลิซิลโฟน/Modified clay 0.2 0.3 และ 0.4 กรัม

เมื่อพิจารณาพล็อตของเพอร์มิเอตดังแสดงในรูปที่ 17(ก) และ 17(ข) เมมเบรนพอลิซิลโฟนชนิดที่เติม Clay เมื่อน้ำหนักของ Clay เพิ่มขึ้นจะทำให้พล็อตลดลง ซึ่งในช่วงเวลา 30 - 40 นาที สังเกตได้ว่าพล็อตของเพอร์มิเอตที่ไหลผ่านเมมเบรนพอลิซิลโฟนที่เติม Clay 0.3 กรัม สูงขึ้นมาก อาจมีสาเหตุมาจากการฉีกขาดของเมมเบรนขณะทำการทดลองทำให้พล็อตเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และค่าพล็อตมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไป ส่วนเมมเบรนพอลิซิลโฟนชนิดที่เติม Modified clay แนวโน้มของพล็อตที่จะลดลงมากที่สุดเมื่อน้ำหนักของ Modified clay ที่เติมมีค่าเท่ากับ 0.3 กรัม ซึ่งสัมพันธ์กับร้อยละการกำจัดเมทิลีนบลูออกจากสารละลายที่พบว่าเมื่อน้ำหนักของ Modified clay ที่เติมมีค่าเท่ากับ 0.3 กรัม จะมีค่าร้อยละการกำจัดสูงสุดทำให้เกิดการอุดตันของเมทิลีนบลูที่ผิวของเมมเบรนดังนั้นพล็อตจึงมีค่าต่ำสุดเมื่อเวลาผ่านไป



(ก)



(ข)

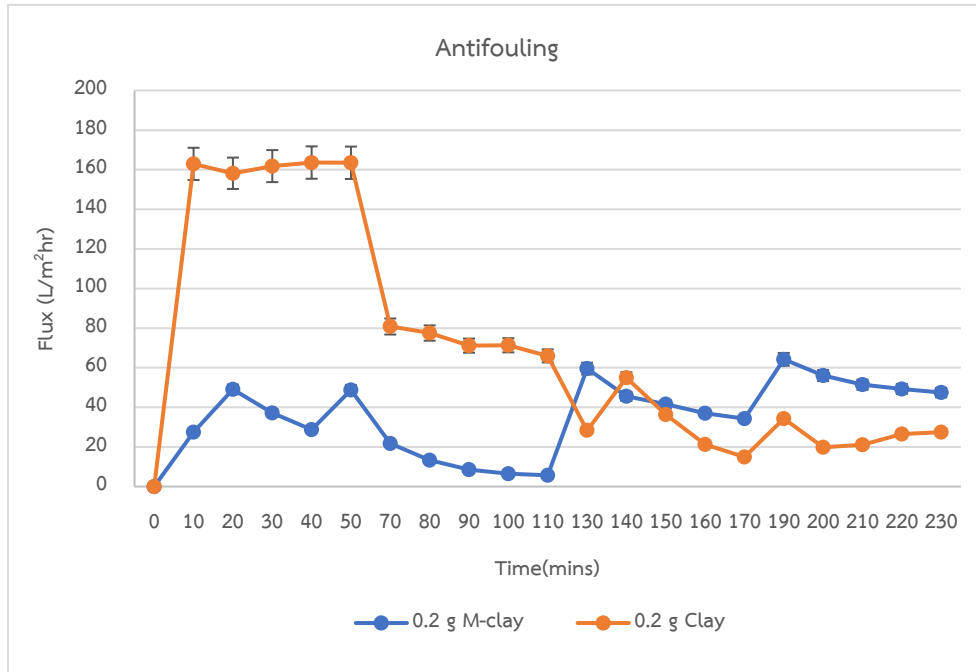
รูปที่ 17 แสดงฟลักซ์ของเพอร์มิเอตในการทดลองการกำจัดเมทิลีนบลูออกจากสารละลายโดยใช้มิกซ์เมตริกเมมเบรน (ก) พอลิซัลโฟน/clay 0.2 0.3 และ 0.4 กรัม (ข) พอลิซัลโฟน/Modified clay 0.2 0.3 และ 0.4 กรัม

4.3.3 การวิเคราะห์การป้องกันการเกิดตะกรัน (Antifouling)

เมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Clay ถูกใช้ในการกรองสารละลายโบริน ซีรัม อัลบูมิน (BSA) ที่มีความเข้มข้น 200 ppm และน้ำบริสุทธ์ จากรูปที่ 18 แสดงผลการทดลองการป้องกันการเกิดตะกรัน (Antifouling) โดยที่ฟลักซ์ของน้ำบริสุทธ์สูงกว่าฟลักซ์ของสารละลายโบริน ซีรัม อัลบูมิน (BSA) เนื่องจากสารละลายโบริน ซีรัม อัลบูมิน (BSA) มีความเข้มข้นที่มากกว่าน้ำ ซึ่งสังเกตได้ชัดจากผลการทดลองช่วงเวลา 0 - 50 นาที (น้ำบริสุทธ์) และ 50 - 100 นาที (BSA) ที่ใช้เมมเบรนพอลิซัลโฟนชนิดที่เติม Clay โดยที่ฟลักซ์ของเพอร์มิเอตและน้ำบริสุทธ์จะลดลงเมื่อมีการทำการทดลองซ้ำโดยใช้เมมเบรนชนิดเดิม เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์คุณสมบัติการป้องกันสิ่งสกปรกที่วัดในรูปของ Flux Recovery Ratio (FRR) จะได้ค่า %FRR = 19.21 สำหรับเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Clay และสำหรับเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Modified clay จะได้ค่า %FRR = 114.00

Membrane	M-0.2(c)	M-0.2(m)
R_t (%)	54.73	70.95
R_r (%)	-26.05	84.95
R_{ir} (%)	80.78	-14.0

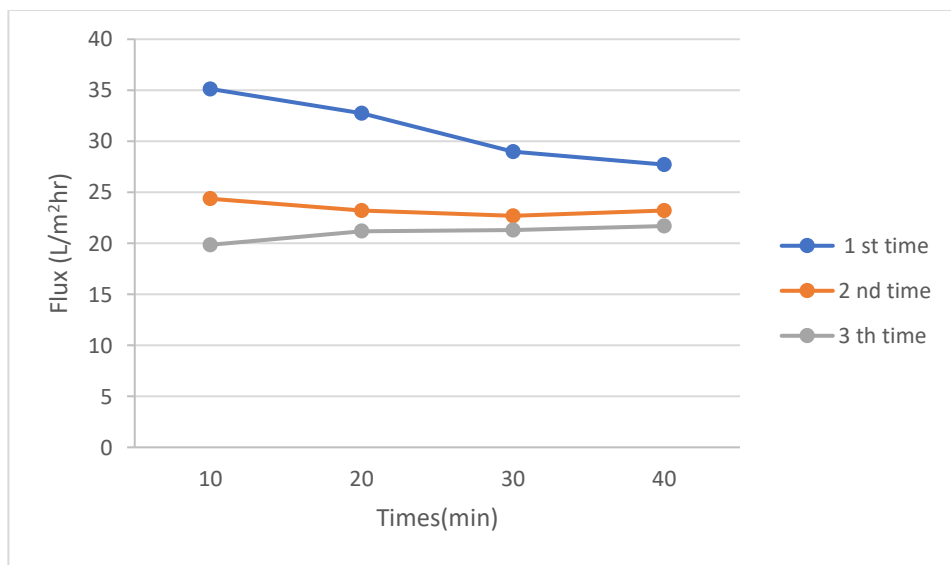
ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าร้อยละของตะกรันที่เกิดขึ้น (%Rt) ร้อยละการผันกลับของตะกรัน (%Rr) ร้อยละการไม่ผันกลับของตะกรัน (%Ri) ของมิกซ์เมตริกเมมเบรน



รูปที่ 18 แสดงค่าฟลักซ์ของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Clay 0.2 กรัม และ Modified clay 0.2 กรัม ของการทดลอง การป้องกันการเกิดตะกรัน (Antifouling) ต่อเวลา

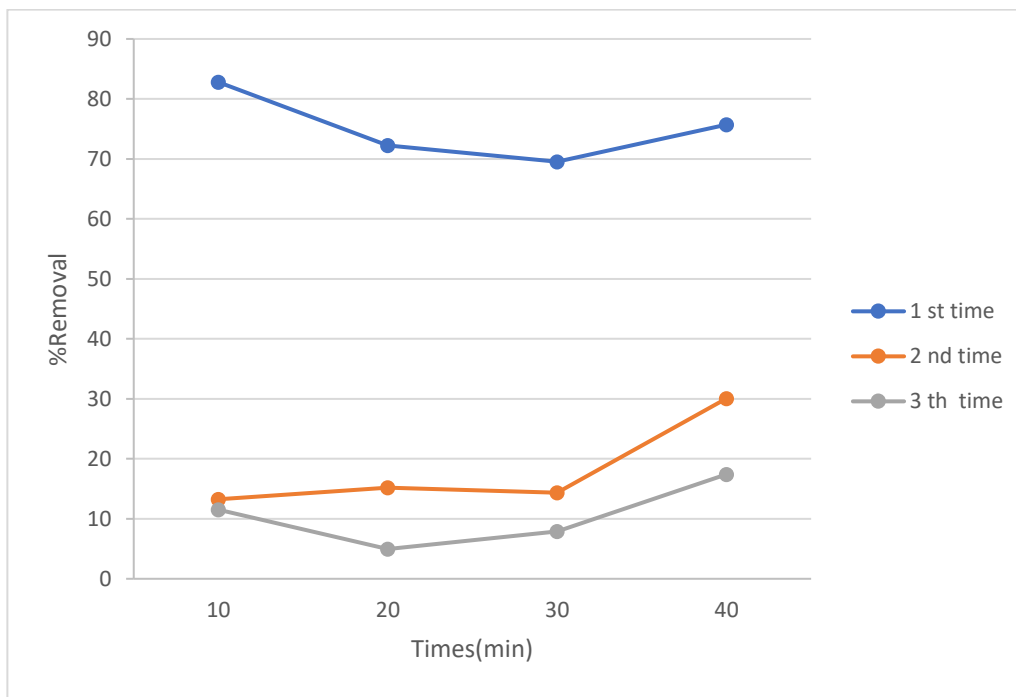
4.3.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ของเมมเบรน

สำหรับการศึกษาความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ของเมมเบรน ใช้การกรองแบบ dead-end ที่ ความดัน 2 บาร์ จำนวน 3 รอบ โดยในการทดลองนี้ใช้เมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Modified clay 0.2 กรัม เนื่องจากมีประสิทธิภาพโดยรวมดีที่สุด พบว่าฟลักซ์ลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากเกิดการกีดกันของเมมเบรนจากความดันทำให้ประสิทธิภาพของเมมเบรนลดลง แสดงในรูปที่ 19



รูปที่ 19 แสดงฟลักซ์ของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Modified clay 0.2 กรัม ที่ผ่านการกรองสารละลายเมทิลีนบลูต่อเวลา ครั้งที่ 1 2 และ 3

นอกจากนี้รูปที่ 20 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดเมทิลลีนบลูในแต่ละรอบ โดยในรอบที่ 1 ประสิทธิภาพในการกำจัดเมทิลลีนบลูมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 75.1 ในรอบที่ 2 ประสิทธิภาพในการกำจัดเมทิลลีนบลูมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 18.2 และในรอบที่ 3 ประสิทธิภาพในการกำจัดเมทิลลีนบลูมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 17.4 พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนรอบของการนำกลับมาใช้ใหม่ประสิทธิภาพการกำจัดเมทิลลีนบลูจะลดลงเรื่อยๆ



รูปที่ 20 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดเมทิลลีนบลูของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Modified clay 0.2 กรัม ต่อเวลาครั้งที่ 1 2 และ 3

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การศึกษานี้ศึกษากระบวนการเตรียมเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่ผ่านการปรับปรุงด้วยการเติม Clay/Modified clay โดยมีปริมาณ Clay/Modified clay ที่แตกต่างกัน รวมไปถึงความสามารถในการผ่านของน้ำบริสุทธิ์ของมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรน ความสามารถในการกำจัดเมทิลลิโนบลู ความสามารถในการป้องกันการเกิดตะกอน รวมทั้งความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ของเมมเบรน จากการทดลอง พบว่า Modified Clay มีประสิทธิภาพที่ดีว่า Clay เนื่องจากมีการเติมหมู่ฟังก์ชันจากเปลือกส้มลงไป เมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Modified clay 0.2 กรัม มีประสิทธิภาพโดยรวมดีที่สุด ไม่ว่าจะในด้านความชอบน้ำที่ให้ค่าความชอบน้ำสูงสุด มีค่ามุมสัมผัส 75.5 องศา ค่าการดูดซึมน้ำซึ่งให้ค่าสูงสุดร้อยละ 35.2 ค่าฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ที่มีแนวโน้มดีที่สุด และจากการทดลองการนำกลับมาใช้ใหม่ของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Modified clay 0.2 กรัม จำนวน 3 รอบ พบว่าความสามารถในการกำจัดเมทิลลิโนบลูในครั้งที่ 1 มีค่าสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 75.1 และลดลงตามลำดับ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าฟลักซ์ที่มีค่าในครั้งที่ 1 สูงสุดเช่นกัน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Modified clay 0.2 กรัม มีความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่จำนวนมากกว่า 3 รอบ และในการศึกษาการป้องกันการเกิดตะกอนของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Clay/Modified clay 0.2 กรัม พบว่าความสามารถในการผันกลับได้ของตะกอนของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Modified clay 0.2 กรัม มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 84.95 ซึ่งมีค่ามากกว่าเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Clay 0.2 กรัม ทั้งนี้ยังได้ศึกษาความแข็งแรงของมิกซ์เมทริกซ์เมมเบรนทั้งหมด พบว่าผลการทดสอบแรงดึงมีค่าที่การกระจายตัวกันอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการ casting เมมเบรนด้วยมือ

รายการอ้างอิง

- [1] ชันทอง สุนทรภา, *เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน (Membrane Separation Technology)*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [2] Abdullah, N., Gohari, R.J., Yusof, N., Ismail, A.F., Juhana, J., Lau, W.J., and Matsuura, T., 2016. Polysulfone/hydrous ferric oxide ultrafiltration mixed matrix membrane. *Chemical Engineering Journal*. 289: 28-37.
- [3] Akbarzadeh, A., Shokri, E., and Yegani, R., 2017. Novel adsorptive mixed matrix membranes by embedding modified montmorillonite with arginine amino acid into polysulfones for As(V) removal. *Applied Clay Science*. 144: 141-149.
- [4] Hsu, T.C., Guo, G.L., Chen, W.H. and Hwang, W.S., 2010. Effect of dilute acid pretreatment of rice straw on structural properties and enzymatic hydrolysis. *Bioresource Technology*. 101: 4907-4913.
- [5] Hunt, G.R. and Salisbury, J.W., 1970. Visible and Near-Infrared Spectra of Minerals and Rocks. *Modern Geology*. 1: 283.
- [6] Li, F.T., Yang, H., Zhao, Y. and Xu, R., 2007. Novel modified pectin for heavy metal adsorption. *Chinese Chemical Letters*. 8: 325-328.
- [7] Li, P.K., Xia, J.L., Shan, Y., Nie, Z.Y. and Wang, F.R., 2015. Effects of Surfactants and Microwave-assisted Pretreatment of Orange Peel on Extracellular Enzymes Production by *Aspergillus japonicus* PJ01. *Appl Biochem Biotechnol*. 176: 758-761
- [8] Marjanović, V., Lazarević, S., Janković-Častvan, I., Jokić, B., Janačković, D., and Petrović, R., 2013. Adsorption of chromium (VI) from aqueous solutions onto amine-functionalized natural and acid-activated sepiolites. *Applied Clay Science*. 80-81: 202-210.
- [9] Ravindra, R.T., Kaneko, S., Endo, T. and Lakshmi, R.S., 2017. Spectroscopic Characterization of Bentonite. *J Laser Opt Photonics*. 4: 171.
- [10] Usam, Z., Tayyab, S. and Wilayat H., 2016. Synthesis and characterization of silica nanoparticles from clay. *Journal of Asian Ceramic Societies*. 4: 91-96.
- [11] Varadwaj, G.B.B., Rana, S., and Parida, K.M. 2013. Amine functionalized K10 montmorillonite: a solid acid–base catalyst for the Knoevenagel condensation reaction. *Dalton Transactions*. 42: 5122-5129.
- [12] Wheeler, P.A., Wang, J., Baker, J., and Mathias, L.J., 2005. Synthesis and Characterization of Covalently Functionalized Laponite Clay. *Chemistry of Materials*. 17: 3012-3018.

[13] Xin, X., Wei, Q., Yang, J., Yan, L., Feng, R., Chen, G., Du, B., and Li H., 2012. Highly efficient removal of heavy metal ions by amine-functionalized mesoporous Fe₃O₄ nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*. 184: 132-140.

[14] Yadav, S., Soontarapa, K., Padaki, M., Jyothi, M.S., Balakrishna, R.G. and Lai, Y.J., 2019. Supplementing multi-functional groups to polysulfone membranes using *Azadirachta indica* leaves powder for effective and highly selective acid recovery. *Journal of Hazardous Materials*. 369: 1-8.

ภาคผนวก

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การคำนวณฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ของเมมเบรน

$$J_w = \frac{Q}{A\Delta t} \quad (1)$$

โดยที่ J_w คือฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ (ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)

Q คือปริมาตรของของเหลวที่ผ่านการกรอง (ลิตร)

A คือพื้นที่เมมเบรนประสิทธิภาพ (ตารางเซนติเมตร) และ

t คือเวลาที่ใช้ในการสูมตัวอย่าง (ชั่วโมง)

จากข้อมูลการทดลองใช้เมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Clay 0.2 กรัม

$$\begin{aligned} J_w &= \frac{\frac{10.66}{1000}}{0.001076 \times \frac{10}{60}} \\ &= 59.44 \quad \text{L/m}^2 \text{ hr} \end{aligned}$$

2. การคำนวณร้อยละความสามารถในการกำจัดเมทิลีนบลูของเมมเบรน

$$\% \text{ Removal} = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ C_t คือค่าความเข้มข้นของเพอร์มิเอต (ppm)

C_0 คือค่าความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น (ppm)

จากข้อมูลการทดลองใช้เมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Clay 0.2 กรัม ช่วงเวลา 10 นาทีแรก

$$\begin{aligned} \% \text{ Removal} &= \frac{(10 - 1.95)}{10} \times 100 \\ &= 80.40 \quad \% \end{aligned}$$

3.การคำนวณ Flux Recovery Ratio (FRR)

$$\% \text{ FRR} = \left(\frac{J_2}{J_1} \right) \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ J_1 คือค่าฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์เริ่มต้น

J_2 คือค่าฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ครั้งถัดไป

จากข้อมูลการทดลองใช้เมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Clay 0.2 กรัม

$$\% \text{ FRR} = \left(\frac{43.59}{38.24} \right) \times 100$$

$$= 19.21 \%$$

4.อัตราส่วนของการเกิดตะกอนทั้งหมด (R_t) การปนเปื้อนผันกลับได้ (R_r) และการปนเปื้อนผันกลับไม่ได้ (R_{ir})

$$R_t (\%) = \left(1 - \frac{J_p}{J_1} \right) \times 100 \quad (4)$$

$$R_r (\%) = \left(\frac{J_2 - J_p}{J_1} \right) \times 100 \quad (5)$$

$$R_{ir} (\%) = \left(\frac{J_1 - J_2}{J_1} \right) \times 100 \quad (6)$$

โดยที่ J_p คือค่าฟลักซ์การซึมผ่านเมื่อป้อนเป็นสารละลาย โบวิน ซีรัม อัลบูมิน (ลิตรต่อตารางเมตร วินาที)

จากข้อมูลการทดลองใช้เมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เติม Clay 0.2 กรัม

$$R_t (\%) = \left(1 - \frac{11.07}{38.24} \right) \times 100 = 54.73 \%$$

$$R_r (\%) = \left(\frac{43.59 - 11.07}{38.24} \right) \times 100 = -26.05 \%$$

$$R_{ir} (\%) = \left(\frac{38.24 - 43.59}{38.24} \right) \times 100 = 80.78 \%$$

5.การคำนวณร้อยละการดูดซับน้ำของเมมเบรน

$$\% \text{ water uptake} = \left(\frac{w_w - w_d}{w_d} \right) \times 100 \quad (7)$$

โดยที่ w_w คือ มวลของเมมเบรนเปียก (กรัม)

w_d คือ มวลของเมมเบรนแห้งในหน่วย (กรัม)

จากข้อมูลการทดลองใช้เมมเบรนพอลิซิลิโคนที่เติม Clay 0.2 กรัม

$$\begin{aligned} \% \text{ water uptake} &= \left(\frac{0.121 - 0.0105}{0.0105} \right) \times 100 \\ &= 16.9 \% \end{aligned}$$