บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่เพื่อศึกษาถึงปริมาณการเติมพีวีพีที่เหมาะสมต่อเมมเบรนเส้นใยกลวงที่ผลิตจากพีวีดีเอฟ โดยสามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกเป็นการผลิตเมมเบรนแบบเส้นใยกลวง ขั้นตอนที่สองเป็นการทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นของเมมเบรนนแบบเส้นใยกลวงเพื่อใช้บอกคุณสมบัติและสามารถระบุชนิดเมมเบรนที่ผลิตได้ ขั้นตอนสุดท้ายคือการปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดินโดยการนำเมมเบรนมากรองน้ำดิบซึ่งสามารถอธิบายประสิทธิภาพการกรองน้ำของเมมเบรนแบบเส้นใยกลวง ซึ่งขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัยดังแสดงตามลำดับได้ดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1.ขวดแก้วเก็บตัวอย่างสารเคมียี่ห้อ Schott Duran ขนาด 500 มิลลิลิตร
2.บิวเร็ทยี่ห้อ E-mil B.S 846 ขนาด 50 มิลลิลิตร
3.ตู้อบ Binder BD 240 ปรับที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส
4.เครื่องสูบน้ำ ยี่ห้อ Masterflex Model 77200-60
5.Reactor ขนาด 20×20×60 เซ็นติเมตร ผลิตจากวัสดุอะคริลิกใส
6.PVDF (polyvinylidene fluoride) ยี่ห้อ Kynar 720 (supplier: 2 Amconnection)
7.สารละลาย DMAc (N-N,Dimethylacetamide) (supplier: Union Science)
8.สารเติมแต่ง PVP (Polyvinylpyrrolidone) (supplier: Union Science)
9.ถังโพลิเมอร์
10.หม้อความดันพร้อมเกจ
11.หัวฉีดโพลิเมอร์
12.รางตกตะกอนสแตนเลส
13.พิคโนมิเตอร์ ยี่ห้อ Marienfeld ขนาด 25 มิลลิลิตร
14.เครื่องเขย่า ยี่ห้อ Lab. Companion sk 600
15.เครื่องวัดพีเอชยี่ห้อ Horiba F-21

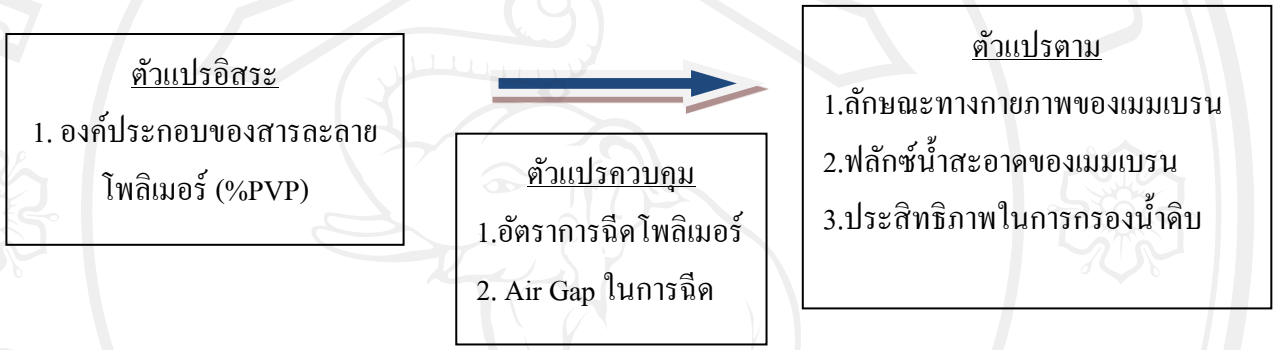
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

16.TOC Model 1010 Wet Oxidation TOC analyser (supplier: O.I Analytical American)

17. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด JEOL: Model JSM -5910 LV 15kV คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.2 ขั้นตอนและวิธีการทำการทดลอง

ตัวแปรที่พิจารณาในขั้นตอนการผลิตเมมเบรนแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 0.1 ตัวแปรอิสระ ตัวแปรควบคุม และตัวแปรตาม ที่ใช้ในการศึกษานี้

3.3 การผสมโพลิเมอร์ ตัวทำละลาย และสารเติมแต่ง

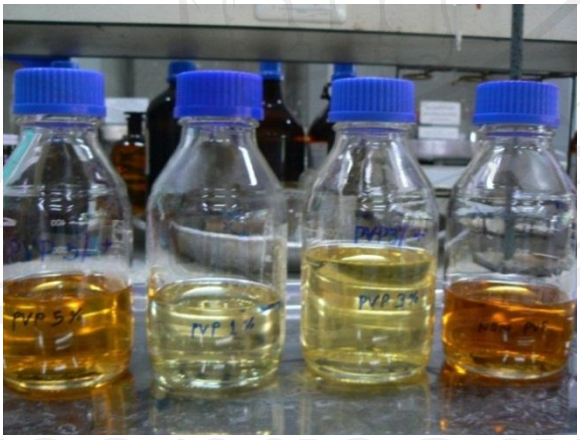
วัสดุโพลิเมอร์ที่ใช้ในการผลิตเมมเบรนเส้นใยกลวงเป็นชนิดโพลีไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในตัวทำละลายชนิดไดเมทิลอะเซตาไมด์และมีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของสารเติมแต่งพีวีพีเป็น จากไม่มีการเติมพีวีพี (No-PVP) เติมพีวีพี 1 เปอร์เซ็นต์ (PVP1) เติมพีวีพี 3 เปอร์เซ็นต์ (PVP3) และ เติมพีวีพี 5 เปอร์เซ็นต์ (PVP5)โดยน้ำหนักดังแสดงในตาราง 3.1 เพื่อศึกษาปริมาณการเติมพีวีพีที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและประสิทธิภาพในการกรองน้ำดิบของเมมเบรน โดยมีการควบคุมอัตราการฉีดโพลิเมอร์และระยะห่างระหว่างหัวฉีดโพลิเมอร์กับสารช่วยตกตะกอนภายนอกให้มีระยะห่างที่เท่ากันทุกการทดลองและทำการศึกษาผลของการเติมพีวีพีที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเมมเบรนและประสิทธิภาพในการกรองน้ำดิบดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็นไดอะแกรมแสดงตัวแปรอิสระ ตัวแปรควบคุม และตัวแปรตาม ของงานวิจัยชิ้นนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 0.1 อัตราส่วนของโพลิเมอร์ที่ใช้ต่อสารละลายต่อสารเติมแต่ง

Membrane	Polyvinylidene fluoride (%wt)	N-N, Dimethylacetamide (%wt)	Polyvinylpyrrolidone (%wt)
No-PVP	20	80	ไม่มีการเติม
PVP1	20	79	1
PVP3	20	77	3
PVP5	20	75	5

เมื่อได้สารละลายโพลิเมอร์ตามอัตราส่วนที่กำหนดแล้วนำขวดเก็บโพลิเมอร์ไปเก็บไว้ในตู้อบปรับอุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ 4-6 วัน จะได้สารละลายสีเหลืองอ่อนและสีเหลืองสาเหตุที่สีมีความแตกต่างกันเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการละลายของพีวีพีที่ไม่เท่ากันทำให้สารละลายมีสีแตกต่างกัน ดังแสดงรูปที่ 3.2 จากนั้นจึงสามารถนำสารละลายโพลิเมอร์ที่ผสมแล้วไปใช้ในขั้นตอนกระบวนการผลิตได้



รูปที่ 0.2 สารละลายผสมที่ประกอบไปด้วย โพลิเมอร์ ตัวทำละลายและสารเติมแต่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4 การผลิตเมมเบรนแบบเส้นใยกลวงใช้วิธีการเปลี่ยนเฟส

การเตรียมสารละลายโพลิเมอร์ซึ่งเป็นส่วนผสมของโพลิเมอร์ ตัวทำละลายและสารแต่งเติมดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งจะมีการปรับเปลี่ยนอัตราการเติมพีวีพี

↓

นำสารละลายมาทำการฉีดขึ้นรูปโดยใช้อุปกรณ์ที่แสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งประกอบด้วยหัวฉีดโพลิเมอร์ (spinneret) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.7/0.5 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ 3.4 ถังตกตะกอนและเครื่องม้วนเส้นใยเมมเบรน

↓

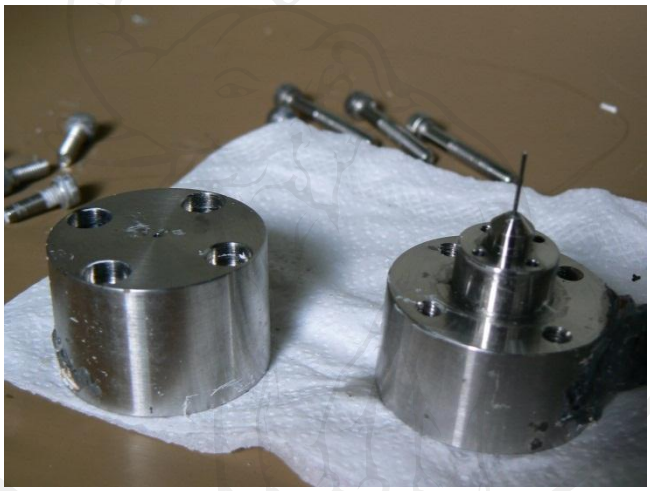
ซึ่งสารละลายโพลิเมอร์จะถูกฉีดที่แรงดันเท่ากับ 1.8 บาร์เกจ และมีอัตราการไหลของสารช่วยตกตะกอนภายในเท่ากับ 2 มิลลิลิตรต่อนาที โดยมีระยะห่างของหัวฉีด (air gap) เป็น 5 เซนติเมตร

↓

ปล่อยให้โพลิเมอร์ตกตะกอนในรางน้ำสะอาดแสดงในรูปที่ 3.5 ที่อุณหภูมิห้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 0.3 ระบบการผลิตเมมเบรนแบบเส้นใยกลวงในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 0.4 หัวฉีดโพลิเมอร์(spinneret)

รูปที่ 0.5 ขั้นตอนการฉีดขึ้นรูปโพลิเมอร์ลงในรางตกตะกอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อได้เมมเบรนเส้นใยกลวงแล้วนำไปแช่ในน้ำสะอาดเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้เมมเบรนคงตัว เก็บตัวอย่างเมมเบรนที่ผลิตได้ไว้ในน้ำสะอาดอย่างน้อย 7 วันเพื่อให้เมมเบรนมีการคลายตัว จากนั้นนำมาทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของเมมเบรนต่อไป

3.5 การทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นของเมมเบรนเส้นใยกลวง

การทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นของเมมเบรนมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการอธิบายประสิทธิภาพของเมมเบรนที่ผลิต และใช้ในการอธิบายชนิดของเมมเบรนด้วย รูปแบบในการทำการทดลองสามารถแบ่งออกเป็น 5 รูปแบบ ได้แก่

3.5.1 การทดสอบหาขนาดรูพรุนที่ใหญ่ที่สุดโดยวิธี Bubble Point Test

นำชิ้นเมมเบรนทั้ง 4 แบบ (No-PVP PVP1 PVP3 และ PVP5) มาตัดเป็นเส้นความยาวเส้นละ 10 เซนติเมตร จำนวน 2 เส้น นำมาซีลด้วยกาวอีพ๊อกซี่ในนิปเปิลขนาด ¼ นิ้ว ซีลปิดหัวและท้ายของชิ้นเมมเบรนทิ้งไว้ 1 วันรอให้ อีพ๊อกซี่แห้งจนสนิท

↓

นำโมดูลเมมเบรนต่อกับสายก๊าซแล้วนำไปแช่ในภาชนะที่บรรจุน้ำสะอาดเป็นเวลา 30 นาทีดังแสดงในรูปที่ 3.6 เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำนั้นต้องอยู่เต็มภายในรูพรุนของเมมเบรน จากนั้นค่อยๆเพิ่มความดันของก๊าซสังเกตฟองอากาศที่ลอยขึ้นมา

↓

นำค่าความดันที่ได้นี้มาคำนวณหาขนาดรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ที่สุดของเมมเบรนโดยการคำนวนขนาดรูพรุนของเมมเบรนสามารถทำได้โดยใช้ Laplace’s Equation

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 0.6 ขั้นตอนการทำ Bubble Point Test

3.5.2 การทดสอบหารัศมีรูพรุนเฉลี่ยและความพรุนประสิทธิผลโดยวิธี Gas permeation test

นำเมมเบรนทั้ง 4 แบบ (No-PVP PVP1 PVP3 และ PVP5) มาตัดเป็นเส้นความยาวเส้นละ 10 เซนติเมตร จำนวน 2 เส้น นำมาซีลด้วยกาวอีพ๊อกซี่ในนิปเปิลขนาด ¼ นิ้ว ซีลปิดหัวและท้ายของชิ้นเมมเบรนทิ้งไว้ 1 วันรอให้อีพ๊อกซี่แห้งจนสนิท

↓

นำโมดูลเมมเบรนมาต่อเข้ากับเกจน์วัดความดันแบบละเอียดและต่อกับวาล์วปรับระดับของถังก๊าซ โดยนำด้านหัวของโมดูลเมมเบรนต่อเข้ากับถังสแตนเลสที่มีท่อลำเลียงก๊าซที่ผ่านจากเส้นเมมเบรนไปยังบิวเรทที่บรรจุน้ำสบู่

↓

ทำการปรับแรงดันด้วยวาล์วถังก๊าซโดยให้เพิ่มขึ้นจาก 0.1 ถึง 1.0 บาร์เกจ ที่อุณหภูมิห้อง ใช้นาฬิกาจับเวลาความเร็วของฟองน้ำสบู่ที่ลอยตัวอยู่ภายในบิวเรทในระยะทางที่กำหนด แล้วทำการบันทึกเวลาของเมมเบรนทั้ง 4 แบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อได้ค่าเวลาความเร็วของฟองน้ำสบู่ที่ลอยตัวอยู่ภายในบิวเรทในระยะทางที่กำหนดแล้ว สามารถนำไปคำนวณหาค่ารัศมีรูพรุนเฉลี่ยได้ดังสมการ (Khayet and Matsuura,2001)

$$B = \frac{4}{3}\left(\frac{2}{\pi MRT}\right)0.5 \times \frac{r\varepsilon}{Lp} + \frac{Pm}{8\mu RT}\frac{r2\,\varepsilon}{Lp} = \mathrm{Io} + \mathrm{SoPm}$$

โดยที่ B = ค่าการซึมผ่านของก๊าซ (mol/m^2s Pa)

S_0= ความชันของกราฟของค่าการซึมผ่านของก๊าซกับค่าความดันเฉลี่ย (mol/m^2s Pa^2)

I_0= ค่าจุดตัดแกน Y (mol/m^2s Pa)

R = ค่าคงที่ของก๊าซ (J/mol K)

T = ค่าอุณหภูมิ (K)

M = ค่ามวลโมเลกุล (kg/kmol)

P_m= ค่าความดันเฉลี่ย (Pa)

Lp = ค่าความคดเคี้ยวของเมมเบรน (m^{-1})

μ= ค่าความหนืดของก๊าซ (kg/m s)

เมื่อคำนวณหาค่าการซึมผ่านของก๊าซได้แล้วนำค่าการซึมผ่านของก๊าซกับค่าความดันเฉลี่ยไปพล๊อตกราฟเพื่อหาค่าความชันของกราฟของค่าการซึมผ่านของก๊าซกับค่าความดันเฉลี่ย(S_0) และค่าจุดตัดแกน Y (I_0) ค่าที่ได้สามารถนำมาคำนวณหาค่ารัศมีรูพรุนเฉลี่ยดังสมการ (Khayet and Matsuura,2001)

$$\mathrm{r} = \frac{16}{3} \times \frac{\mathrm{So}}{\mathrm{Io}} \times \left(\frac{8RT}{\pi M}\right)^{0.5} \times \mu$$

ในกรณีความพรุนประสิทธิผลสามารถคำนวณได้ดังสมการ (Khayet and Matsuura,2001)

$$\varepsilon/\mathrm{Lp} = \frac{8\mu RT}{r^2} \times S_0$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.5.3 การหาความพรุนของเมมเบรน (porosity) ในรูปแบบความพรุนเชิงปริมาตร

ทำได้โดยการชั่งชิ้นเมมเบรนเส้นใยกลวงทั้ง 4 แบบ (No-PVP PVP1 PVP3 และ PVP5) ให้มีน้ำหนักประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำชิ้นเมมเบรนเส้นใยกลวงไปแช่ในเอทานอลเป็นเวลา 4 ชั่วโมงภายในขวดวัดความถ่วงจำเพาะ (pycnometer) จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักเมมเบรนและทำการบันทึกข้อมูล

นำเมมเบรนที่ชั่งน้ำหนักเสร็จแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมงเพื่อให้แน่ใจว่าเอทานอลระเหยออกจากรูพรุนของเมมเบรนหมดแล้วทิ้งไว้ให้เย็นจากนั้นนำเมมเบรนแช่ในน้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ภายในขวดวัดความถ่วงจำเพาะ (pycnometer) ทำการชั่งน้ำหนักเมมเบรนและทำการบันทึกข้อมูล

นำข้อมูลน้ำหนักของเมมเบรนที่แช่ในน้ำกับข้อมูลน้ำหนักของเมมเบรนที่แช่ในเอทานอลมาหาค่าน้ำหนักที่หายไปของเอทานอล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากนั้นคำนวณค่าความพรุนเชิงปริมาตรของเมมเบรนได้จากสูตร

$$\varepsilon = \frac{\Delta m}{\rho \cdot \Delta v} \quad (3\text{-}1)$$

โดยที่

ρ คือ ความหนาแน่นของเอทานอล(กรัมต่อลูกบาศ์กเซ็นติเมตร)

Δm คือ น้ำหนักของเมมเบรนที่เปลี่ยนแปลง (กรัม)

Δv คือ ปริมาตรของเอทานอลที่เปลี่ยนแปลง (มิลลิลิตร)

3.5.4 การทดสอบฟลักซ์น้ำสะอาดของเมมเบรนเส้นใยกลวง

นำเมมเบรนที่ผลิตขึ้นทั้ง 4 แบบจะถูกนำมาซีลรวมกันเป็นโมดูล โดยที่ 1 โมดูลจะมีเมมเบรนทั้งหมด 9 เส้นแต่ละเส้นยาว 15 เซ็นติเมตร

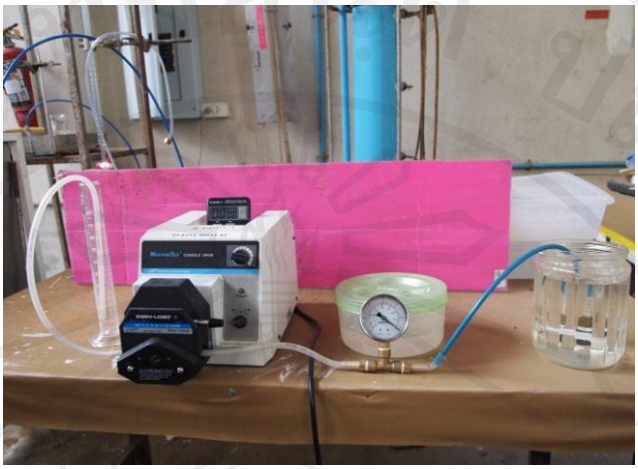
↓

นำโมดูลเมมเบรนต่อเข้ากับสายยางโดยที่ด้านขวาเป็นถังบรรจุน้ำสะอาด ส่วนด้านซ้ายเป็นกระบอกตวงดังแสดงในรูปที่ 3.7 วัดปริมาตรน้ำที่กรองผ่านเมมเบรนโดยมีปั๊มรีดเป็นตัวเดินระบบ

↓

เดินระบบปั๊มรีดที่ความดัน 26.66 กิโลปาสคาล 29.33 กิโลปาสคาล 33.33 กิโลปาสคาล 36.00 กิโลปาสคาล และ 40.00 กิโลปาสคาล ตามลำดับ จับเวลา 1 ชั่วโมงในการกรองน้ำสะอาดผ่านเมมเบรนแล้วบันทึกข้อมูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 0.7 ขั้นตอนการทดสอบหาค่าฟลักซ์น้ำสะอาด

3.5.5 วิเคราะห์พื้นผิวของเมมเบรนโดยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

ตัดเมมเบรนเป็นชิ้นเล็กๆ โดยตัดเมมเบรนทั้ง 4 แบบ (No-PVP PVP1 PVP3 และ PVP5) ให้มีความยาวประมาณ 1 เซ็นติเมตรจากนั้นนำชิ้นเมมเบรนที่ตัดแล้วไปแช่ในไนโตรเจนเหลวประมาณ 30 วินาที และทำการหักชิ้นเมมเบรนให้มีขนาด 0.5 เซนติเมตร

↓

นำชิ้นเมมเบรนมาติดกับวางบนฐานรองด้วยกาว จากนั้นนำไปทำการเคลือบทองแล้วจึงนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยจะทำการวิเคราะห์ภาพตัดขวางของเมมเบรน พื้นผิวภายนอกและพื้นผิวภายในของเมมเบรนที่ผลิตทั้ง 4 แบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.5.6 ทดสอบความดันสูงสุดที่เมมเบรนสามารถรับได้

นำเมมเบรนที่ผลิตได้ทั้ง 4 แบบ (No-PVP PVP1 PVP3 และ PVP5) ตัดที่ความยาว 10 เซนติเมตร จำนวน 2 เส้น นำมาซีลด้วยกาวอีพ๊อกซี่ในนิปเปิลขนาด ¼ นิ้ว ซีลปิดหัวและท้ายของชิ้นเมมเบรนทิ้งไว้ 1 วันรอให้อีพ๊อกซี่แห้งจนสนิท

↓

นำด้านท้ายของโมดูลมาต่อเข้ากับเกจน์วัดความดันแบบละเอียดและต่อกับวาล์วถังก๊าซดังแสดงในรูปที่ 3.8 จากนั้นค่อยๆปรับแรงดันโดยเริ่มจาก 0.1 บาร์เกจ เป็นต้นไป แล้วทำการจดบันทึกความดันที่ทำให้เมมเบรนเกิดการฉีกขาด

รูปที่ 0.8 ขั้นตอนการทดสอบหาความดันสูงสุดที่เมมเบรนรองรับได้

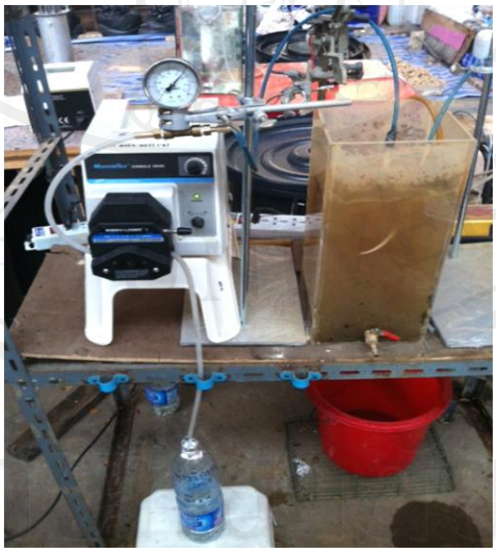
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.6 การนำเมมเบรนไปใช้ในการผลิตน้ำสะอาด

โมดูลเมมเบรนที่มีขนาดความยาว 15 เซ็นติเมตร จำนวน 9 เส้นวางไว้บนโครงสแตนเลสในถังที่บรรจุน้ำดิบโดยโมดูลเมมเบรนต่อกับสายยางที่มีความยาวประมาณ 1 เมตร เข้ากับปั๊มรีดโดยปรับความดันอยู่ที่ 33.33 กิโลปาสคาล ดังแสดงในรูปที่ 3.9

↓

การเดินระบบใช้เวลา 7 นาที หยุด 1 นาทีเพื่อให้เมมเบรนเส้นใยกลวงมีการคลายตัว และ มีการเติมอากาศมากเกินพอในทุกการทดลอง



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการกรองน้ำดิบจากธรรมชาติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.7 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ในการนำเมมเบรนมาใช้ในกระบวนการกรองน้ำดิบจากธรรมชาติจำเป็นที่จะต้องทำการวัดค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการบ่งบอกประสิทธิภาพการกรองของเมมเบรนแบบเส้นใยกลวงที่ผลิตขึ้นโดยกำหนดค่าพารามิเตอร์และวิธีที่ทำการวิเคราะห์ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 0.2 พารามิเตอร์ของระบบกรองไมโครฟิลเตรชั่นของน้ำที่เข้าและออกจากระบบ

พารามิเตอร์	ความถี่ในการวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
ความขุ่น (เอ็นทียู)	ทุกการทดลอง	Nephelometric
ของแข็งแขวนลอย (มก/ล.)	ทุกการทดลอง	Gravimetric
สีในน้ำ (Pt-Co unit)	ทุกการทดลอง	Spectrophotometer/single Beam
ซีโอดี(มก./ล.)	ทุกการทดลอง	Open Reflux method
เอฟซีโอดี (มก./ล.)	ทุกการทดลอง	Open Reflux method
ทีโอซี (มก./ล.)	ทุกการทดลอง	Wet-Oxidation Method
พีเอช	ทุกการทดลอง	pH Meter
แคลเซียมไอออน(มก./ล.ในรูปของหินปูน)	ทุกการทดลอง	Titrimetric Method
คลอไรด์ไอออน (มก./ล.)	ทุกการทดลอง	Argentometric Method
แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคอลโคลิฟอร์ม	ทุกการทดลอง	MPN Index

(APHA 1985) *Standard Methods the Examination of Water and Wastewater*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved