บทที่ 2
ทฤษฎี และวรรณกรรม

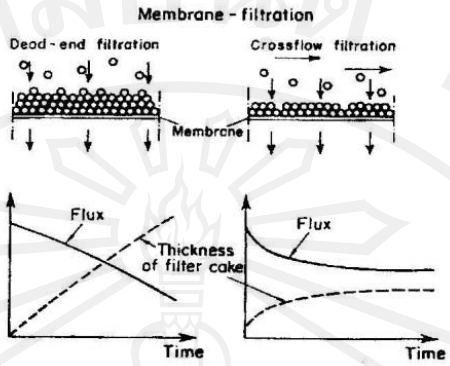
2.1 กระบวนการเมมเบรน (Membrane Process)

เมมเบรน(membrane) คือ เยื่อแผ่นสังเคราะห์บางๆ ของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ ที่จะทำให้เกิดการแยกสถานะของสสารออกจากกัน (Hwang and Kammermeyer,1975) ซึ่งอาจอยู่ในรูปก๊าซและของเหลว หรือ ของแข็งกับของเหลว และ ของเหลวกับของเหลว

2.2 กระบวนการแยกสารของเมมเบรน

ความสามารถในการแยกสารขึ้นอยู่กับขนาดรูพรุน (pore size) หรือ การคัดสรรด้วยน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight cut-off) ของเมมเบรน โดยอาศัยกลไก คือ การกรองติดค้าง (sieve effect) การกรองโดยใช้แผ่นเมมเบรนนี้มีสองรูปแบบ คือ แบบ dead end –filtration กับ แบบ crossflow-filtration ดังแสดงใน รูป 2.1 เปรียบเทียบการกรองน้ำผ่านแผ่นเมมเบรน แบบ dead end filtration กับ แบบ crossflow-filtration จะเห็นว่าทิศทางการไหลของน้ำแตกต่างกัน ทำให้การกรองแบบ dead end มีการอุดตันของอนุภาคเร็วกว่ากรองแบบ crossflow (นลินี, 2543) แผ่นเมมเบรนที่ใช้งานส่วนใหญ่เป็นแผ่นเมมเบรนที่มีการสังเคราะห์หรือผลิตขึ้น (synthetic membranes) หรือมาจากธรรมชาติ แผ่นเมมเบรนเป็นฟิล์มที่เป็นของแข็ง และอาจเป็นของเหลว ลักษณะที่สำคัญที่สุดของแผ่นเมมเบรน คือ มีคุณสมบัติในการเลือกผ่านสารเป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมี หรือทางกายภาพ ซึ่งอาจพิจารณาได้จากการมีความดึงดูดระหว่างแผ่นเมมเบรนกับสารนั้นๆ หรือจากขนาดของรูพรุน (pore size) เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ก.แบบ dead end –filtration ข.แบบ cross flow-filtration

รูปที่ 0.1 เปรียบเทียบการกรองน้ำผ่านแผ่นเมมเบรนแบบ dead end -filtration กับ แบบ crossflow-filtration (นลินี, 2543)

2.3 ประเภทคุณสมบัติและวัสดุที่ใช้ทำเมมเบรน

แผ่นเมมเบรนสังเคราะห์อาจจะผลิตจากวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ โดยแผ่นเมมเบรนส่วนใหญ่ผลิตจากวัสดุอินทรีย์ที่เป็นโพลิเมอร์ วิธีการผลิตแผ่นเมมเบรนขึ้นอยู่กับวัสดุที่เลือกใช้และคุณสมบัติของแผ่นเมมเบรน ชนิดของแผ่นเมมเบรนอาจแบ่งตามโครงสร้าง คือ แผ่นเมมเบรนไม่มีรูพรุน หรือแผ่นเมมเบรนมีรูพรุน

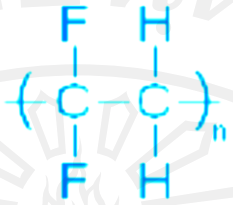
ในการศึกษานี้ได้นำ โพลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์(PVDF;polyvinylidene fluoride) ซึ่งเป็นโพลิ- เมอร์ชนิดหนึ่งที่มีสูตรโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.2 (Hashim *et al,* 2010) มาใช้ในการทำเมมเบรนสำหรับไมโครฟิลเตรชั่น (Microfiltration) ซึ่งมีข้อดีคือ

ก. เป็นวัสดุที่มีความทนทานต่อแรงกดอัดสูงและต้านทานการเสียดสีได้ดี

ข. สามารถใช้กับน้ำที่มีค่า pH ระหว่าง 1-11 ได้ดี เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีการละลายต่ำ ทนต่อแสง UV และสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง

ค. มีคุณสมบัติเป็น Hydrophilic สามารถให้ค่าฟลักซ์ในปริมาณที่สูงได้

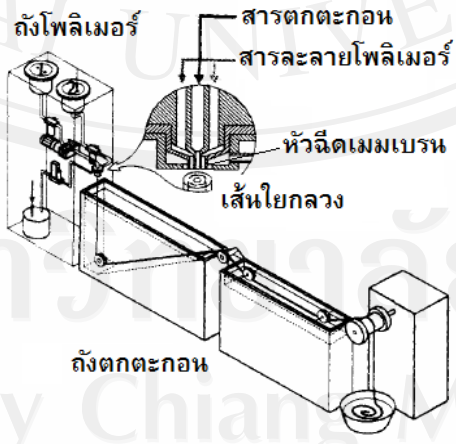
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 0.2 โครงสร้างของ PVDF (Hashim *et al.*, 2010)

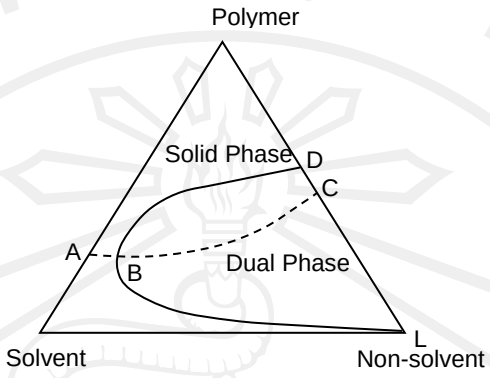
2.4 วิธีการผลิตเมมเบรนโดยวิธีการเปลี่ยนเฟส

วิธีการเปลี่ยนเฟส (phase inversion method) เป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุดในการผลิตเมมเบรนโพลิเมอร์เนื่องจากทั้งวัสดุที่ใช้ในการผลิตมีราคาถูกและหาง่ายรวมไปถึงขั้นตอนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไป โดยจะมีการเตรียมสารละลายโพลิเมอร์ซึ่งเป็นส่วนผสมของโพลิเมอร์ ตัวทำละลายและสารปรับแต่งอื่นๆ จากนั้นนำมาทำการฉีดขึ้นรูปโดยมีการจัดตั้งอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 แล้วทำให้ โพลิเมอร์แข็งตัวด้วยกระบวนการตกตะกอน (coagulation) ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีเช่น นำไปแช่ในน้ำหรือวางทิ้งไว้ให้ตัวทำละลายระเหยออกมา ซึ่งสุดท้ายจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่นสังเคราะห์โพลิเมอร์ที่มีรูพรุน (เมมเบรน) ได้ วิธีการเปลี่ยนเฟสแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบเปียก (wet process) และ แบบแห้ง (dry process) โดยกระบวนการแบบเปียกมีการใช้น้ำในการช่วยให้โพลิเมอร์ตกตะกอนและแข็งตัวโดยจะได้เมมเบรนที่มีโครงสร้างไม่สมมาตร(asymmetric) ในขณะที่กระบวนการแบบแห้งจะอาศัยหลักการระเหยของสารละลายทำให้สารละลายโพลิเมอร์หดตัวจนเกิดเป็นแผ่นฟิล์มขึ้นโดยจะได้เมมเบรนที่มีโครงสร้างสมมาตร (symmetric)



รูปที่ 0.3 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับผลิตเมมเบรนโดยวิธีการเปลี่ยนเฟส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 0.4 Triangular phase diagram สำหรับอธิบายกลไกการเปลี่ยนเฟสของโพลิเมอร์ (Rautenbach and Albrecht 1990)

การผลิตเมมเบรนส่วนใหญ่นิยมกระบวนการแบบเปียกดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยกลไกของวิธีการเปลี่ยนเฟส ได้แก่ การแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างตัวทำละลาย (solvent) และตัวทำให้เกิดการตกตะกอน (non-solvent) โดยโพลิเมอร์ที่ละลายในตัวทำละลายจะเกิดการตกตะกอนและแข็งตัว สามารถอธิบายได้ในรูปที่ 0.4 กล่าวคือจุด A ได้แก่จุดที่ในสารละลายมีเพียงโพลิเมอร์และตัวทำละลายเท่านั้น ไม่มีส่วนผสมของตัวทำให้เกิดการตกตะกอนซึ่งมักจะเป็นน้ำเลย แต่เมื่อสารละลายโพลิเมอร์ที่ถูกฉีดขึ้นรูปถูกนำไปแช่ในอ่างน้ำจะเกิดการแลกเปลี่ยนมวลระหว่างตัวทำละลายกับน้ำ ทำให้ส่วนผสมในสารละลายเคลื่อนมายังจุด B ซึ่งโพลิเมอร์บางส่วนจะเริ่มแข็งตัว เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณน้ำที่เคลื่อนเข้าสู่สารละลายมากขึ้นตามเส้นทาง BC จนถึงจุด C ซึ่งเป็นจุดสมดุลระหว่าง 2 เฟส โดยจุด D จะเป็นสภาวะสุดท้ายของเมมเบรนซึ่งมีการคงตัวเป็นของแข็งเต็มที่แล้ว

โดยฟลักซ์ของการแลกเปลี่ยนมวลของตัวทำละลายกับน้ำมักจะไม่เท่ากัน ซึ่งถ้าหากตัวทำละลายมีฟลักซ์การแพร่ออกที่สูงกว่าการแพร่เข้าของน้ำ จะทำให้ปริมาตรรวมของสารละลายลดลงทำให้ความเข้มข้นของโพลิเมอร์สูงขึ้นและตกตะกอนจนเกิดเป็นชั้นผิวของเมมเบรน ซึ่งชั้นผิวของเมมเบรนนี้เองจะลดฟลักซ์ของการแลกเปลี่ยนมวลทำให้โพลิเมอร์ที่อยู่ในชั้นล่างจากชั้นผิวมีการตกตะกอนอย่างช้าๆ ดังนั้น เมมเบรนที่ได้จากกระบวนการนี้มักจะมีชั้นผิวที่มีความหนาแน่นสูงและชั้นซัพพอร์ทด้านล่างที่มีความพรุนมากกว่า นั่นคือมีโครงสร้างแบบไม่สมมาตรซึ่งมีข้อดีคือมี ฟลักซ์การกรองสูงและมีค่าการเลือกผ่าน (Selectivity) สูงด้วย (Baker, *2004*) การผลิตเมมเบรนโดยวิธีการเปลี่ยนเฟสนั้นได้มีผู้ทำการศึกษาค้นคว้าวิจัย อาทิ เช่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Binetti (2001) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของ N,N-Dimethylacetamide (DMAc) โดยมีสูตรทางเคมีคือ $CH_3CON(CH_3)_2$ และมีคุณสมบัติ เป็นสารที่ไม่มีสี มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.9366 g/cm^3 สามารถละลายผสมกับน้ำและโพลิเมอร์ตัวอื่นๆได้ ซึ่งจากคุณสมบัติการละลายผสมกับน้ำและโพลิเมอร์ได้ดีจึงทำให้มีการนำ DMAc มาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยชนิดต่างๆในอุตสาหกรรม จากผลสำรวจในอิตาลี พบว่า มีการนำ DMAC ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆมากมาย อาทิเช่น อุตสาหกรรมเครื่องสำอางและยาซึ่งมีการนำไปใช้ประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ หรือใช้เป็นสารละลายในอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยจากโพลิเมอร์ชนิดต่างๆ ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

2.5 การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของเมมเบรน (Characterization of Membrane)

การทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นของเมมเบรนส่วนใหญ่จะทำการทดสอบหาลักษณะที่ปรากฏบนเมมเบรนชนิดนั้นๆ ซึ่งในการทำการทดสอบจะสามารถแบ่งแยกชนิดเมมเบรน ออกมาได้ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น

2.5.1 วิธีการ Bubble Point Test

มีหลักการ คือ ให้เมมเบรนสัมผัสกับของเหลวโดยที่ของเหลวนั้นต้องอยู่เต็มภายในรูพรุน จากนั้นค่อยๆเพิ่มความดันของก๊าซซึ่งจะถึงความดันค่าค่าหนึ่งที่ทำให้อากาศผ่านรูพรุนของเมมเบรนเกิดเป็นฟองลอยขึ้นมา ด้วยหลักการดังกล่าวนี้สามารถใช้ในการหาขนาดรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ที่สุดของเมมเบรนโดยการคำนวนขนาดรูพรุนของเมมเบรนสามารถทำได้โดยใช้ Laplace's Equation ดังแสดงในสมการที่ 2-1 (รัตนา, 2541)

$$r_p = \frac{2\gamma}{\Delta P}\cos\theta \qquad (2\text{-}1)$$

เมื่อ

r_p = รัศมีรูพรุน (m)

γ = แรงตึงผิวระหว่างของเหลวนั้นๆกับอากาศ (N/m)

ΔP = ความดัน (bar)

$\cos\theta$ = liquid-solid contact angle หรือ $\cos\theta$ = มุมสัมผัสแข็งเหลว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.2 การทดสอบหารูพรุนเฉลี่ยและความพรุนประสิทธิผลของเมมเบรน

การทดสอบหารูพรุนเฉลี่ยและความพรุนประสิทธิผลของเมมเบรน เพื่อใช้อธิบายถึงลักษณะทางกายภาพของขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยที่ปรากฏบนเมมเบรนและความคดเคี้ยวรูพรุนของเมมเบรนการติดตั้งอุปกรณ์ทำโดยการนำสายก๊าซต่อกับโมดูลเมมเบรนแล้วนำโมดูลเมมเบรนต่อเข้ากับสายยางที่ต่อกับ Bubble meter จากนั้นผ่านก๊าซเข้าไปในรูกลวงของเส้นเมมเบรนก๊าซจะไหลไปตามช่องรูพรุนที่เกิดขึ้นในเมมเบรน ก๊าซที่ไหลออกจากเมมเบรนจะไหลไปตามสายยางที่ต่อกับ Bubble meter แล้วดันให้ฟองสบู่ใน Bubble meter ลอยขึ้นมา ทำการจับเวลาของฟองสบู่ในระยะทางที่กำหนดแล้วนำไปคำนวณหาค่าการซึมผ่านของก๊าซ อ้างอิงตามวิธีทดสอบของ Khayet

2.5.3 วิเคราะห์พื้นผิวของเมมเบรนโดยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

การวิเคราะห์สัณฐานของเมมเบรนโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด วิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวก ใช้เพื่อศึกษาโครงสร้างที่ปรากฏบนเมมเบรน โดยมีหลักการคือ การปล่อยอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงจากแหล่งกำเนิดไปชนชิ้นตัวอย่างเมมเบรนและจะมีอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากผิวเมมเบรนและสามารถให้สัญญาณไปยังจอภาพ ซึ่งภาพที่ปรากฏจะแสดงลักษณะผิวของเมมเบรนรูพรุนที่ปรากฏบนผิวเมมเบรน ตลอดจนภาพตัดขวางที่ทำให้ทราบโครงสร้างของเมมเบรน

2.5.4 การหาความพรุนของเมมเบรน (porosity)

การทดสอบหาความพรุนของเมมเบรนโดยวิธีการแทนที่ด้วยเอทานอลภายในขวดวัดความถ่วงจำเพาะ (pycnometer) นั้นใช้เพื่อระบุความพรุนที่ปรากฏในโครงสร้างของเมมเบรนแบบเส้นใยกลวง (Liu *et. al*,2009)

2.5.5 การทดสอบฟลักซ์น้ำสะอาดของเมมเบรน (Water Flux)

การทดสอบฟลักซ์น้ำสะอาดของเมมเบรนที่ความดันแตกต่างกันเพื่อบ่งบอกความสามารถในการกรองน้ำของเมมเบรน โดยที่น้ำสะอาดจะผ่านเยื่อเมมเบรนโดยมีความดันเป็นตัวขับเคลื่อน ยิ่งความดันมากเท่าไหร่ปริมาณน้ำที่กรองผ่านเมมเบรนก็จะมีมากเท่านั้น (Wang *et al*.,1999)

2.5.6 ทดสอบความดันสูงสุดที่เมมเบรนสามารถรับได้

การทดสอบความดันสูงสุดที่เมมเบรนสามารถรับได้ เพื่อใช้บอกความทนทานของเมมเบรนเมื่อนำไปใช้ในการผลิตน้ำสะอาดหรือบำบัดน้ำเสียสามารถทนแรงดันที่ใช้ในกระบวนลักษณะนี้ โดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลักในการทดสอบคือ ค่อยๆเพิ่มความดันของก๊าซผ่านเมมเบรนจนถึงค่าค่าหนึ่งซึ่งทำให้เมมเบรนเกิดการฉีกขาด แล้วจึงทำการบันทึกค่านั้นเป็นค่าความดันสูงสุดที่เมมเบรนสามารถรับได้ (Liu *et.al.*,2009)

2.6 โมดูลเมมเบรน

โมดูลเมมเบรนในท้องตลาดแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 4 ประเภทดังแสดงในรูปที่ 0.5 คือ แบบแผ่น (plate and frame module) แบบท่อ (turbular) แบบม้วน (spiral wound) และ แบบเส้นใยกลวง (hollow fibres)

2.6.1 แบบแผ่น (Plate and Frame Module)

เทคนิคนี้เป็นการจัดแผ่นเมมเบรนที่ง่ายที่สุด โมดูลที่ใช้จะมีลักษณะทำงานคล้าย filter press แผ่นเมมเบรนวางอยู่บนแผ่นรองรับซึ่งมีรูพรุน (porous plate) ให้น้ำไหลออกได้ดังแสดงในรูปที่ 2.5ก. เมมเบรนและแผ่นรองรับจะวางซ้อนกัน และสลับกัน น้ำถูกบังคับให้ซึมผ่านเมมเบรน และแผ่นรองรับแล้วจึงไหลออกจากโมดูล

2.6.2 แบบท่อ (Turbular Module)

วิธีนี้เป็นการม้วนแผ่นเมมเบรน ให้เป็นหลอดหรือท่อขนาดเล็ก และยึดติดไว้ภายในท่ออีกอันหนึ่งที่ทำด้วยสแตนเลส หรือไฟเบอร์กล๊าส และทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรองรับแผ่นเมมเบรนมิให้ฉีกขาดในระหว่างการใช้งาน และใช้เป็นทางออกของน้ำสะอาดอีกด้วย น้ำดิบจะถูกสูบผ่านเข้าไปในท่อด้วยความดัน แรงดันของน้ำทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถซึมผ่านเมมเบรนและท่อรองรับออกไปสู่ภายนอกดังแสดงในรูปที่ 2.5 ข. เนื่องจากเทคนิคนี้สามารถทำความสะอาดได้ง่าย จึงนิยมใช้ในกรณีที่มีการอุดตันเกิดขึ้นเร็ว

2.6.3 แบบม้วน (Spiral Wound Module)

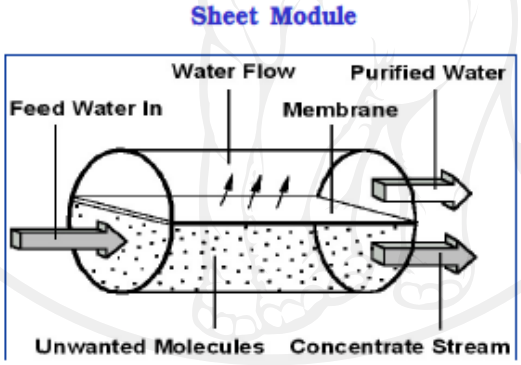
โมดูลแบบนี้ประกอบด้วยเมมเบรนสองแผ่นประกอบกัน โดยมีแผ่นวัสดุเนื้อพรุนสอดอยู่ตรงกลางระหว่างเมมเบรนทั้งคู่ จากนั้นม้วนแผ่นแบนและแผ่นวัสดุทั้งสามรอบท่อเจาะรู โดยมีแผ่นตะแกรงทำด้วย polypropyrene คลุมปิดด้านนอก ขอบของแผ่นเมมเบรนทั้งสามด้านถูกยึดไว้ด้วยกาวพิเศษ ขอบที่เหลือปล่อยให้เปิดตามปกติและจึงติดกับท่อเจาะรูดังแสดงในรูปที่ 2.5 ค. ลักษณะเช่นนี้ทำให้ถูกน้ำบังคับให้ไหลไปยังท่อเจาะรูเสมอ การม้วยเมมเบรน แผ่นรองรับ และตะแกรงพลาสติกทำให้ได้โมดูลรูปทรงกระบอกที่สามารถบรรจุลงในท่อทรงกระบอกธรรมดาได้ โมดูลแบบนี้อาจมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 5, 10, 20 หรือ 30 เซนติเมตร และมีความยาวต่างๆ กัน แต่มักไม่เกิน 1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

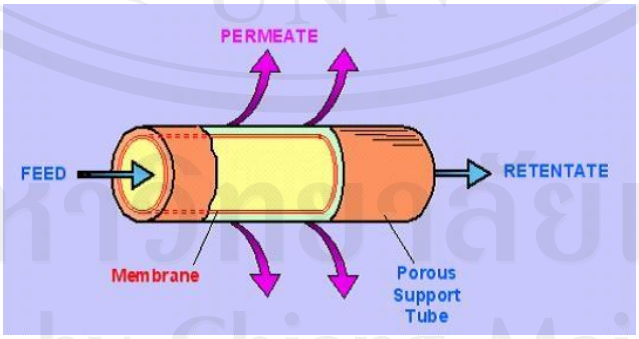
เมตร น้ำดิบจะถูกบังคับให้ไหลในแนวแกนของโมดูล เข้าไปตามแผ่นตะแกรง และจะถูกแรงดันอัดให้น้ำซึมผ่านเมมเบรนตามแนวรัศมีลงไปยังแผ่นรองรับ ซึ่งจะส่งน้ำบริสุทธิ์ไปยังท่อเจาะรูเพื่อนำน้ำออกจากโมดูลต่อไป

2.6.4 แบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Module)

เมมเบรนแบบเส้นใยกลวงจะมีโครงสร้างที่คล้ายฟองน้ำล้อมรอบรูกลวงตรงกลางดังแสดงในรูปที่ 2.5 ง. การใช้งานส่วนใหญ่จะใช้ผิวด้านนอกในการกรองน้ำ การใช้งานทำได้โดยการนำเมมเบรนแบบเส้นใยกลวงมามัดรวมกันเป็นมัดๆ และงอพับเป็นรูปเกือกม้า หรือตัวยู ปลายทั้งสองข้างของเส้นใยทั้งมัด ถูกตรึงติดอยู่กับด้านใดด้านหนึ่ง เมมเบรนชนิดนี้เหมาะกับน้ำดิบที่มีความสกปรก หรือของแข็งเจือปนสูง เพราะว่ามีช่องว่างขนาดใหญ่ ทำให้มีโอกาสอุดตันได้น้อย และยังสามารถจัดรูปแบบการวางโมดูลได้หลายลักษณะและป้อนน้ำเข้าได้หลายลักษณะ

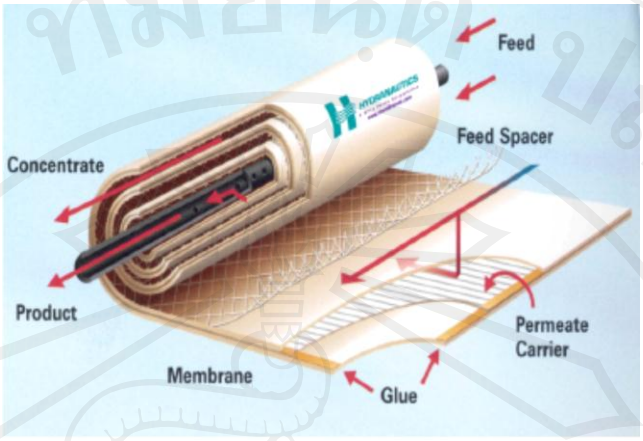


ก. เมมเบรนแบบแผ่น (Flat Sheet Membrane)

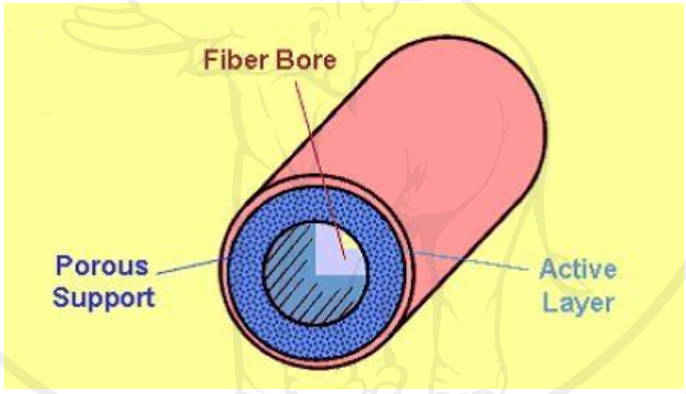


ข. เมมเบรนแบบท่อ (Tubular Membrane)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ค.เมมเบรนแบบเกลียว (Spiral Wound Membrane)



ง.เมมเบรนแบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Membrane)

รูปที่ 0.5 รูปแบบเมมเบรน (Pronsak, 2001)

2.7 กระบวนการไมโครฟิลเตรชั่น (Microfiltration)

กระบวนการไมโครฟิลเตรชั่น (MF) เป็นกระบวนการทางกายภาพ อาศัยแรงดันที่ต่ำเป็นแรงขับดันให้ของเหลวผ่านช่องว่างของเมมเบรน ในการแยกอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.01-10 ไมโครเมตร รวมทั้งแบคทีเรียและจุลชีพอื่น ๆ ออกจากของเหลว กระบวนการไมโครฟิลเตรชั่นเป็นกระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่งเนื่องจากมีอัตราการผลิตน้ำสูงกว่ากระบวนการเมมเบรนแบบอื่นที่ความดันเดียวกัน น้ำที่ผ่านการกรองมีคุณภาพดีกว่าน้ำที่ได้จากกระบวนการแยกทั่วไป นอกจากนี้สารมลพิษในน้ำส่วนใหญ่ จะมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.05-10 ไมโครเมตร ทำให้สามารถ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กำจัดได้โดยกระบวนการไมโครฟิลเตรชั่น เนื่องจากขนาดอนุภาคดังกล่าวอยู่ในช่วงค่าที่กำหนดของไมโครฟิลเตรชั่นพอดี

2.7.1 กลไกการทำงานของกระบวนการไมโครฟิลเตรชั่น

กลไกการทำงานของกระบวนการไมโครฟิลเตรชั่นจะแตกต่างจากการกระบวนการกรองแบบธรรมดา (conventional filtration) คือ ในระบบการกรองแบบธรรมดา เมื่อปล่อยให้น้ำไหลผ่านชั้นกรองอนุภาคแขวนลอยจะถูกกำจัดโดยจะติดค้างอยู่ที่ผิวหน้าของสารกรอง (surface filtration) หรือติดค้างในชั้นกรอง (depth filtration) ส่วนในไมโครฟิลเตรชั่นอนุภาคแขวนลอยหรือสารอินทรีย์จะถูกกำจัดโดยจะติดค้างอยู่ในช่องว่างของเมมเบรน เรียกกลไกนี้ว่า "กลไกการแยกสารแบบคัดขนาดอนุภาค (sieve mechanism)" สำหรับสารอินทรีย์ เช่น โปรตีน แบคทีเรีย อนุภาคแขวนลอยอาจถูกกำจัดด้วยกลไกการดูดติดผิวของเมมเบรนหรือภายในโครงสร้าง ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำเมมเบรน คือ ถ้าเป็นวัสดุชนิดไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) จะมีสมบัติในการดูดติดสารอินทรีย์สูง และ ยอมให้น้ำไหลผ่านได้น้อยกว่าชนิดที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) เมื่อเทียบที่ MWCO เดียวกันแต่จะก่อให้เกิดการอุดตันเมมเบรน

2.7.2 ลักษณะการกรองในกระบวนการไมโครฟิลเตรชั่น

ก) การกรองแบบ Dead-end

เป็นการใช้ความดันป้อนสารละลายให้ไหลในทิศทางที่ตั้งฉากกับเมมเบรน สารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของเยื่อแผนจะถูกกักไว้บนผิวหน้าของเมมเบรน หรืออยู่ในรูพรุนของเมมเบรน ทำให้เกิดการอุดตันของอนุภาคบนผิวหน้าของเมมเบรน และเกิดการสะสมอย่างต่อเนื่อง เรียกว่า "เค้ก (cake)" ปริมาณ permeate ที่ได้จะลดลงอย่างมาก ในทางปฏิบัติอาจต้องทำการล้างเมมเบรนบ่อยครั้งหรือเปลี่ยนเมมเบรนใหม่ ก่อนทำการกรองต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งระบบนี้เหมาะสำหรับใช้เมื่อสารละลายประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กและมีความเข้มข้นต่ำ

ข) การกรองแบบ Cross-flow

เป็นการใช้ความดันป้อนสารละลายให้ไหลในแนวขนานกับเยื่อแผ่น หรือตั้งฉากกับทิศทางการไหลของ permeate ซึ่งทำให้เกิดแรงเฉือนบริเวณผิวหน้าของเมมเบรน กวาดอนุภาคที่เกาะบริเวณนั้นให้กลับเข้าไปในสารละลายอย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถควบคุมการอุดตันของเมมเบรนได้ดี ปริมาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

permeate ที่ได้จึงมีค่าสูงกว่าการกรองแบบแรก ดังนั้นการประยุกต์ใช้ในปัจจุบัน จึงเป็นไมโครฟิลเตรชั่นแบบไหลขวางเป็นส่วนใหญ่

2.7.3 ทฤษฎีไมโครฟิลเตรชั่น

ในกระบวนการไมโครฟิลเตรชั่นแบบไหลขวาง ค่าฟลักซ์จะเป็นตัวบอกถึงประสิทธิภาพของการกรอง โดยแสดงในรูปปริมาตรของน้ำที่ผ่านการกรอง (Permeate) ที่ผ่านรูพรุนของเมมเบรนต่อหน่วยพื้นที่ของเมมเบรนต่อเวลา ซึ่งในการกรองสารละลายแขวนลอย ค่าฟลักซ์ของน้ำที่ผ่านการกรอง (permeate flux) ของสารละลายที่ผ่านรูพรุนของเยื่อแผ่น สามารถแสดงในรูปของความต้านทานการกรองดังนี้

$$J_V = \frac{\Delta P}{\mu v R t} \qquad (2\text{-}2)$$

เมื่อ

J_v = ค่าฟลักซ์ของน้ำที่ผ่านการกรอง($m^3/m^2.s$)

P = ผลต่างความดันที่ผิวเมมเบรนด้านสารละลายป้อนกับน้ำที่ผ่านการกรอง(Pa)

μ_v = ความหนืดของสารละลาย (Pa.s)

R_t = ความต้านทานรวม (m^{-1})

ในกรณีที่ไม่มีตัวถูกละลาย permeate flux ของน้ำที่ผ่านรูพรุนจะแสดงในรูปความต้านทานเดียวกับสมการ (2-2) โดยที่ $R_t = R_m$

เมื่อ R_m คือ ความต้านทานของเมมเบรน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเมมเบรนความหนาแน่นของรูพรุน ขนาดรูพรุน และความหนาของเมมเบรน ความต้านทานรวม (R_t) ในกระบวนการไมโคร-ฟิลเตรชั่นมีผลจากปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย คือ

- ความต้านทานของเมมเบรน
- ความต้านทานเนื่องจากการเกิดโพลาไรเซชัน (R_p) ซึ่งเป็นผลรวมของความต้านทานเนื่องจากการเกิด concentration polarization (R_{cp}) และ gel polarization (R_g)
- ความต้านทานเนื่องจากการเกิดการอุดตัน (R_f) ซึ่งเป็นผลรวมของความต้านทาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื่องจากการดูดซับ (R_a) และ การอุดตันรูพรุนของตัวถูกละลาย (R_{pp}) ดังสมการ

$$R_t = R_m + (R_{cp} + R_g) + (R_a + R_{pp}) \quad (2\text{-}3)$$

$$R_t = R_m + R_p + R_f \quad (2\text{-}4)$$

ในกระบวนการไมโครฟิลเตรชั่นจะใช้ความดันเป็นแรงขับ (driving force) ซึ่งแสดงในรูปของผลต่างความดันที่ผิวหน้าของเมมเบรนด้านสารละลายป้อนกับน้ำที่ผ่านการกรอง (transmembrane pressure) ดังสมการที่ 2-5

$$\Delta P = \frac{Pi+Po}{2} - P_f \quad (2\text{-}5)$$

เมื่อ

ΔP = ผลต่างความดันที่ผิวเมมเบรนด้านสารละลายป้อนกับน้ำที่ผ่านการกรอง (บาร์)

P_i = ความดันขาเข้าของสารละลายป้อน (บาร์)

P_o = ความดันขาออกของสารละลายป้อน (บาร์)

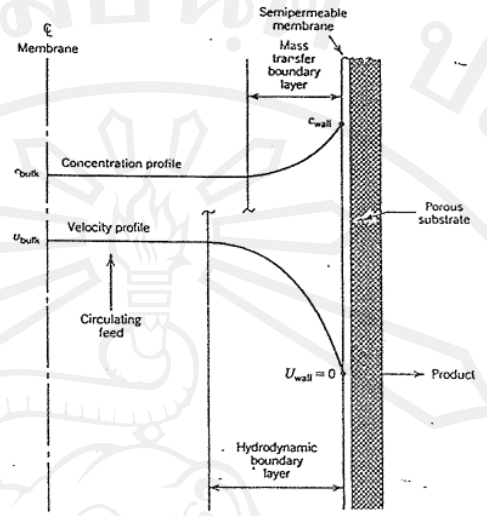
P_f = ความดันด้านของน้ำที่ผ่านการกรอง (บาร์)

2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเมมเบรน

2.8.1 การสะสมความเข้มข้นสูง (Concentration Polarization)

การสะสมความเข้มข้นสูง คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ หรืออนุภาคต่างๆ ใกล้ผิวหน้าเมมเบรน จนความเข้มข้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยของสารนั้นในน้ำหลายเท่า ทำให้ฟลักซ์ลดลง อธิบายโดยรูปที่ 2.6 สามารถแก้ไขโดยใช้แรงดันน้ำล้างย้อน การถอดล้างด้วยสารเคมี หรือ การกรองตั้งฉากกับทิศทางการไหล (cross flow) มากพอที่ช่วยให้ค่าฟลักซ์คงตัวยาวนานขึ้น เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 0.6 การเกิด Concentration Polarization (Eykamp and Steen , 1987)

2.8.2 อุณหภูมิ พีเอช และสารออกซิไดซ์

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศา ฟลักซ์จะเพิ่มขึ้น 3 - 5 % แต่เมมเบรนอินทรีย์ มักสลายตัวโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งเกิดช้าที่สุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส พีเอช 3 - 7 ทนทานต่อการต่อสารออกซิไดซ์ เช่น คลอรีนได้ดี ขณะที่เมมเบรนอนินทรีย์ ไม่ทนต่อสารออกซิไดซ์มากนัก แต่ทนทานต่อพีเอชในช่วงที่กว้างกว่า คือ 2 – 12 และอุณหภูมิทำงานที่ขีดจำกัดสูงกว่า คือ 45 องศาเซลเซียส

2.8.3 ความดัน

การเพิ่มแรงดันมากขึ้นจะทำให้ฟลักซ์ของเมมเบรนเพิ่มขึ้นรวมไปถึงคุณภาพน้ำที่ผลิตมีคุณภาพดีขึ้น แต่ถ้าแรงดันเพิ่มขึ้นเกินขีดจำกัด (critical pressure) จะทำให้โครงสร้าง และอนุภาคสารต่างๆ ที่สะสมบริเวณผิวหน้าเมมเบรน อัดตัวแน่น จนทำให้ค่าฟลักซ์ลดลง และอาจทำลายโครงสร้างภายในของเมมเบรน จนไม่อาจคืนสภาพการกรองน้ำได้ดังเดิมอีก

2.8.4 ความสกปรกของเมมเบรน

เป็นผลมาจากการเกาะสะสมของสารอินทรีย์ และอนุภาคสิ่งสกปรกต่างๆในรูช่องว่างของเมมเบรนที่ บริเวณผิวหน้า (surface fouling) ทำให้อัตราการซึมผ่านลดลง ความดันใช้งานเพิ่มขึ้น และไม่สามารถคืนสภาพให้กลับเหมือนใหม่ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wang *et al*. (1999) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการผลิตเมมเบรนในรูปแบบ Hollow fiber จากโพลีไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ (PVDF) ปริมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก โดยใช้วิธีการผลิตแบบ wet/dry และ wet phase inversion และทำการศึกษาผลของสารเติมแต่ง (PVP) โดยมีการทดลองเปรียบเทียบผลของการเติมพีวีพีที่มีน้ำหนักโมเลกุล 10000 ระหว่าง 2 เปอร์เซ็นต์ และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ได้ผลการทดลอง ในเรื่องรัศมีรูพรุนฉลี่ยของการเติมพีวีพี 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักมีรัศมีรูพรุนเท่ากับ 9.12×10^{-8} m มากกว่ารัศมีรูพรุนเฉลี่ยของการเติมพีวีพี 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก มีรัศมีรูพรุนเท่ากับ 6.94×10^{-8} m แต่การกรองน้ำของเมมเบรนที่มีการเติมพีวีพี 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักมีค่าต่ำกว่าเมมเบรนที่มีการเติมพีวีพี 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักรวมไปถึงค่าความพรุนประสิทธิผลที่มีมากกว่า นอกจากนี้ยังมีเปรียบเทียบการทดลองความแตกต่างระหว่างการใช้เอทานอลกับน้ำสะอาดเป็นสารช่วยในการตกตะกอนภายใน (internal coagulant) ซึ่งผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่าการใช้เอทานอลจะให้ค่าฟลักซ์ในการกรองน้ำที่สูงกว่าการใช้น้ำสะอาดเป็นสารช่วยในการตกตะกอนภายในแต่ค่าการกักกันสารของการใช้น้ำสะอาดเป็นสารช่วยในการตกตะกอนภายในจะมีค่ามากกว่าการใช้เอทานอลเป็นสารช่วยในการตกตะกอนภายใน

Yeow *et al*. (2005) ทำการทดลองเกี่ยวกับการผลิตเมมเบรนเส้นใยกลวงโดยวิธีการเปลี่ยนเฟสโดยใช้พีวีดีเอฟ (PVDF) เป็นโพลิเมอร์ ไดเมทริลอะเซตาไมด์ (DMAc) เป็นตัวทำละลาย แต่ใช้ลิเทียมเปอร์คลอเรท ($LiClO_4$)เป็นสารเติมแต่ง ซึ่งผลการเติมลิเทียมเปอร์คลอเรทในปริมาณที่มากขึ้นมีผลทำให้ขนาดของรูพรุนเฉลี่ยที่ปรากฏบนเมมเบรนมีขนาดมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งผลจากการใช้ Bubble point test แสดงให้เห็นว่าใช้ $LiClO_4$ 1-3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักจะช่วยเพิ่มขนาดรูพรุนของเมมเบรนแบบเส้นใยกลวง

Chakrabarty *et al*. (2008) ศึกษาวิธีการผลิตและทำการวัดประสิทธิภาพของเมมเบรนที่ผลิตได้จากโพลิซัลโฟนโดยมีตัวทำละลายสองชนิดคือ N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) และ dimethyl acetamide (DMAc) และใช้ polyvinyl pyrrolidone (PVP) เป็นโพลิเมอร์ที่ใช้ในการเติมแต่ง ผลจากการศึกษาพบว่าจำนวนรูพรุนและขนาดของรูพรุนเมมเบรนที่ผลิตได้มีความสัมพันธ์กับขนาดมวลโมเลกุลของ PVP ที่เพิ่มขึ้น และที่ความดันคงที่ผลการทดสอบฟลักซ์น้ำสะอาดมีค่าลดลงซึ่งสวนทางกับค่าการกักกันโปรตีน BSA ที่มีค่าการกักกันมากขึ้นซึ่งการทดสอบนี้เกิดขึ้นกับเมมเบรนที่ใช้ตัวทำละลายทั้ง NMP และ DMAc และตัวทำละลาย DMAc เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ NMP พบว่ามีความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เหมาะสมมากกว่าในการนำมาเป็นตัวทำละลายในการสร้างเมมเบรนและนำเมมเบรนนั้นมาทดสอบค่าการกักกันโปรตีน BSA โดยไม่คำนึงถึงค่า pH ของโปรตีน BSA ซึ่งสามารถกักกันโปรตีน BSA ได้ถึง 76 เปอร์เซ็นต์ ที่ pH เท่ากับ 9.3

Khayet and Matsuura (2001) ได้ทำการทดลองโดยผลิตเมมเบรนในรูปแบบแผ่น(Flat-sheet) ซึ่งใช้พีวีดีเอฟเป็นโพลิเมอร์ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และมีไดเมทริลอะเซตาไมด์ เป็นตัวทำละลาย โดยมีการใส่น้ำเป็นองค์ประกอบ 0-6.8 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก พบว่าค่าความพรุนของเมมเบรนที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบมากขึ้นจะมีแนวโน้มของการเกิดความพรุนในเมมเบรนมากขึ้นตามไปด้วยซึ่งค่าความพรุนที่ได้ของ Khayet and Matsuura (2001) อยู่ระหว่าง 26.8±3.5 ถึง 74.9±3.7 เปอร์เซ็นต์

Liu *et al*. (2009)ที่มีการทำเมมเบรนแบบเส้นใยกลวงโดยใช้พีวีดีเอฟเป็นโพลิเมอร์ และมีการผสม PET ลงในเมมเบรน ในส่วนของเมมเบรนที่นำมาทดสอบความทนทานของเมมเบรนต่อความดัน พบว่าเมมเบรนที่ใช้พีวีดีเอฟเป็นโพลิเมอร์ ในปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ไม่มีการผสม PET จะเกิดการฉีกขาดที่ความดันประมาณ 0.24 เมกะปาสคาล และ เมมเบรนที่มีการผสม PET จะเกิดการฉีกขาดที่ความดันประมาณ 0.23 เมกะปาสคาล จากผลการทดลองจะเห็นว่า PET มีผลน้อยมากในการเพิ่มความทนทานของเมมเบรนต่อความดันที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำการทดสอบหา ฟลักซ์น้ำสะอาดของเมมเบรนพบว่าเมมเบรนที่ผลิตได้นั้นมีความสามารถในการกรองน้ำได้ดีกว่าเมมเบรนแบบเส้นใยกลวงโดยใช้พีวีดีเอฟเป็นโพลิเมอร์ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักและมีการผสม PET ของ Liu *et al*. (2009) สามารถวัดค่าฟลักน้ำสะอาดได้ประมาณ 18 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง และใช้ความดันที่ใช้คือ 0.01 เมกะปาสคาลซึ่งต้องใช้ความดันในปริมาณมากในการทำให้โมเลกุลของน้ำผ่านรูพรุนของเมมเบรน

นลินี (2543) ทำการทดลองศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการไมโครฟิลเตรชั่นในการกำจัดความขุ่น สี สารอินทรีย์ เหล็ก แมงกานีส และโคลิฟอร์มแบคทีเรียออกจากน้ำที่ผ่านการกรอง (Permeate) และ ศึกษาถึงปัจจัยในการเดินระบบที่มีผลต่อการทำงานของกระบวนการไมโครฟิลเตรชั่น คือ ขนาดรูพรุนของเมมเบรน ค่าฟลักซ์ ในการกรองน้ำ ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ว่า น้ำที่ผ่านการกรองจากทุกการทดลอง ทั้งความขุ่น สี สารอินทรีย์ เหล็ก แมงกานีส และ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย มีค่า 0.30 เอ็นทียู, 12.70 ทีซียู, 5.60 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และไม่ปรากฏว่ามีโคลิฟอร์มแบคทีเรียหลงเหลือ ส่วนการศึกษาปัจจัยในการเดินระบบในเรื่องของรูพรุนของเมมเบรน ค่าฟลักซ์ ในการกรองน้ำ พบว่า เมมเบรนขนาดรูพรุน 0.1 ไมครอน จะให้ค่าความดันที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สูงกว่าเมมเบรนขนาดรูพรุน 0.4 ไมครอนที่ค่าฟลักซ์ 0.2 $ม^3/ม^2$-วัน โดยระบบที่ใช้น้ำดิบในช่วงความขุ่นต่ำที่ค่าฟลักซ์ 0.2 $ม^3/ม^2$-วัน มีการเพิ่มขึ้นของคาความดันสูงที่สุด รองลงมาคือ น้ำดิบในช่วงความขุ่นต่ำที่ค่าฟลักซ์ 0.3 $ม^3/ม^2$-วัน และน้ำดิบในช่วงความขุ่นสูง ที่ค่าฟลักซ์ 0.2 $ม^3/ม^2$-วัน ตามลำดับ

ดรุณี (2552) ทำการออกแบบและสร้างชุดทดสอบประสิทธิภาพการกรองของเซรามิกพรุนชนิดท่อกลวง ระดับไมโคร-อัลตร้าแบบไหลขวาง ที่ได้พัฒนาขึ้น ความดันใช้งานอยู่ระหว่าง 0-80 พีเอสไอ ชุดทดสอบประกอบด้วย ถังบรรจุสารละลายตั้งต้น ขนาดความจุ 2 -10 ลิตร ทำการทดสอบค่าฟลักซ์น้ำกลั่นของไส้กรองที่ผลิตขึ้นจาก ผงอลูมินา และดิน โดยทำการทดสอบที่ความดัน 0-50 พีเอสไอ ผลการทดสอบพบว่า ให้ค่าฟลักซ์น้ำกลั่นที่ความดัน 20 พีเอสไอ เท่ากับ160-250 ลิตรต่อตร.ม.ต่อชม. และสามารถกักกันสารแม่เหล็ก(แมกนีไทต์สังเคราะห์) ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ

Murato (1997) ได้นำเมมเบรนไมโครฟิลเตรชั่นมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำดื่มจากน้ำผิวดินโดยใช้เมมเบรนที่มีขนาดรูพรุน 0.2 ไมครอน โดยได้ข้อสรุปว่าสามารถกรองปรสิตจำพวก Giardia และ Cryptosporidium รวมไปถึงโคลิฟอร์มแบคทีเรียออกจากน้ำผิวดินได้ นอกจากนี้พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดเกี่ยวกับคุณภาพน้ำทางกายภาพได้แก่ ความขุ่น และของแข็งแขวนลอย พบว่า น้ำผิวดินเมื่อนำมากรองผ่านเมมเบรนและนำไปตรวจวัดความขุ่นวัดค่าความขุ่นได้น้อยกว่า 0.1 เอ็นทียูและมีค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำหลังกรองผ่านเมมเบรนที่น้อยมาก

Ma et al. (1998) ได้ทำการศึกษาโดยนำกระบวนการเมมเบรนมาใช้ในการทำน้ำดื่ม ที่เมืองดาชิง (Daqing City) กระบวนการทำประกอบไปด้วย preozonation, microfiltration (MF), activated carbon (AC) adsorption, ultrafiltration (UF) และ postozonation ในการกรองผ่านระบบเมมเบรนไมโครฟิลเตรชั่น40 min วัดTMP ได้ < 2 บาร์ และมีค่าฟลักซ์เท่ากับ 200 ลิตรต่อตร.ม.ต่อชม.และในการกรองผ่าน UF 40 min วัดTMP ได้ < 2 บาร์ และมีค่าฟลักซ์เท่ากับ 100 ลิตรต่อตร.ม.ต่อชม. เมื่อผ่านกระบวนการ 5 ขั้นตอนที่กล่าวมาแล้ว สามารถลดค่าพารามิเตอร์ได้ดังนี้ ค่าสี(Pt/Co) สามารถลดได้ 58.33% ค่าความขุ่น (NTU) สามารถลดได้ 96.66% ค่าของแข็งที่ละลายในน้ำ(mg/L) สามารถลดได้ 35.53% ค่า Fe (mg/L) สามารถลดได้ 62.5% และค่าซีโอดี(mg/L) สามารถลดได้ 88.88%

Kim et al. (2007) ทำการศึกษาการนำระบบเมมเบรนมาใช้ร่วมกับแอคติเว็ดเต๊ทคาร์บอนแบบผง (PAC) ในการบำบัดน้ำในแม่น้ำ ซึ่งเมมเบรนที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบเส้นใยกลวงทั้งหมด 320 เส้นแต่ละเส้นยาว 12 เซ็นติเมตร มีรูพรุน 0.1 ไมครอน โดยทำการทดลองที่แตกต่างกัน 4 ระบบ คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระบบที่หนึ่งมี PAC 0 กรัมต่อลิตร ระบบที่สองมี PAC 4 กรัมต่อลิตร ระบบที่สามมี PAC 40 กรัมต่อลิตร โดยที่สามระบบแรกมีอัตราการกรองเท่ากับ 42 ลิตรต่อตร.ม.ต่อชม. และ ระบบที่สี่มี PAC 40 กรัมต่อลิตร มีอัตราการกรองเท่ากับ 21 ลิตรต่อตร.ม.ต่อชม. ผลการทดลองพบว่า ค่าความขุ่นที่วัดออกมาได้น้อยกว่า 0.1 NTU ทุกการทดลอง ค่า TOC สามารถกำจัดได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นในการใช้ PAC ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 40 กรัมต่อลิตร ค่า TMP เฉลี่ยของทุกการทดลองมีค่าเท่ากับ 60 กิโลปาสคาล และระยะเวลาในการทดลองระบบที่หนึ่งและระบบที่สองใช้เวลาทั้งสิ้น 5 วัน ระบบที่สามและระบบที่สี่ใช้เวลา 2 วัน จากการทดลองสามารถบ่งบอกได้ว่าการใช้ PAC ในปริมาณที่มากประกอบกับใช้อัตรากรองที่ต่ำทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพดีขึ้น

Hillis (1997) ทดสอบการนำระบบไมโครฟิลเตรชั่นมาใช้ใน NorthWestWater (NWW)โดยมีจุดประสงค์เพื่อต้องการผลิตน้ำดื่มที่มีคุณภาพแก่ลูกค้าซึ่งจะเน้นการกำจัดสารที่ปะปนมาในน้ำรวมไปถึง Cryptosporidium และpathogen อื่นๆที่มากับน้ำดิบ สำหรับการนำไมโครฟิลเตรชั่นมาใช้จะเป็นเมมเบรนเส้นใยกลวงที่ผลิตจาก polyethersulphone ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น hydrophilic เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร มีรูพรุนเฉลี่ย 0.1 ไมครอน แต่ละเส้นมีความยาว 1 เมตร จากนั้นในส่วนของการทดสอบดำเนินโดยการสูบน้ำดิบเข้าโมดูลเมมเบรนโดยตรงซึ่งเป็นการกรองแบบ dead end และมีการล้างย้อนทุกๆ 10 นาทีด้วยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ผลการทดสอบปรากฏว่าสามารถกำจัดสารพวก เหล็ก แมงกานีส รวมไปถึง Cryptosporidium และ pathogen อื่นๆได้

Kunikane et. al (1995) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการใช้เมมเบรนในการผลิตน้ำสะอาดในชุมชนโดยใช้ระบบเมมเบรน 2 ชนิด คือ ระบบไมโครฟิลเตรชั่นจำนวน 14 ระบบโดยระบบนี้จะมีการทำการตกตะกอนด้วยโพลีอลูมินัมคลอไรด์ก่อน และระบบอุลตร้าฟิลเตรชั้นจำนวน 10 ระบบ พบว่าคุณภาพน้ำสะอาดที่ผลิตจากเมมเบรน 2 ระบบนี้ไม่มีความแตกต่างกัน โดยทำการวัดค่าพารามิเตอร์ในน้ำหลังกรองซึ่งได้แก่ ค่าความขุ่นวัดได้ประมาณ 0.17 เอ็นทียู ค่าสีในน้ำวัดได้ประมาณ 0.02 Pt-Co unit ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนวัดได้ประมาณ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าแมงกานีสทั้งหมดวัดได้ประมาณ 0.016 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าอลูมิเนียมวัดได้ประมาณ 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1 และ ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 0.1 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติเบื้องต้นของเมมเบรน

รายการ	เมมเบรน			สารช่วยในการตกตะกอนภายใน	รัศมีรูพรุน (m)	ความพรุนประสิทธิผล (m^{-1})	ความทนทานของเมมเบรนต่อความดัน
	โพลิเมอร์ (%)	ตัวทำละลาย(%)	สารเติมแต่ง(%)				
Khayet and Matsuura (2001)	พีวีดีเอฟ 15 เปอร์เซ็น	ไดเมทริลอะเซตาไมด์	ไม่มี	น้ำสะอาด 0-8%	1.09×10^{-8} ถึง 30.80×10^{-8}	4363.41 ถึง 8181.63	ไม่มีการทดสอบ
Liu *et al*. (2009)	พีวีดีเอฟ 20 เปอร์เซ็น	ไดเมทริลอะเซตาไมด์	พีวีพี 20 เปอร์เซ็น และ พีอีที	น้ำสะอาด	ไม่มีการทดสอบ	ไม่มีการทดสอบ	ประมาณ 0.23 เมกะปาสคาล
Wang et al. (1999)	พีวีดีเอฟ	ไดเมทริลอะเซตาไมด์	พีวีพี 2-5 เปอร์เซ็น	น้ำสะอาด	ประมาณ 3.56×10^{-8}	ประมาณ 4.33×10^{2}	ไม่มีการทดสอบ
Yeow *et al*. (2005)	พีวีดีเอฟ	เมทริลไพรโรลิโดนด์	ลิเทียมเปอร์คลอเรท	น้ำผสมกับเมทริลไพรโรลิโดนด์	ประมาณ 1.00×10^{-6}ถึง 1.12×10^{-6}	ไม่มีการทดสอบ	ไม่มีการทดสอบ

- หมายเหตุไม่มีการทดสอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 0.2 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตน้ำสะอาดของเมมเบรน

รายการ	ชนิดของเมมเบรน	ความขุ่นหลังกรองด้วยเมมเบรน (NTU)	ค่าสีในน้ำหลังกรองด้วยเมมเบรน (Pt-co)	ทีโอซี (TOC)หลังกรองด้วยเมมเบรน (mg/l)	โคลิฟอร์มทั้งหมดหลังกรองด้วยเมมเบรน (MPN/100ml.)	ฟีคอลล์โคลิฟอร์มหลังกรองด้วยเมมเบรน (MPN/100ml.)
นลินี(2543)	ไมโครฟิลเตรชั่น	ประมาณ 0.3	ประมาณ 12.70	ประมาณ 5.60	ไม่ปรากฏว่ามีโคลิฟอร์มแบคทีเรียหลงเหลือ	ไม่ปรากฏว่ามีฟีคอลล์โคลิฟอร์มแบคทีเรียหลงเหลือ
Kunikane et al.(1995)	ไมโครฟิลเตรชั่น	ประมาณ 0.17	ประมาณ 0.02	-	-	-
Mourato (1997)	ไมโครฟิลเตรชั่น	น้อยกว่า 0.1	-	-	ไม่ปรากฏว่ามีโคลิฟอร์มแบคทีเรียหลงเหลือ	ไม่ปรากฏว่ามีฟีคอลล์โคลิฟอร์มแบคทีเรียหลงเหลือ

- หมายเหตุไม่มีการทดสอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved