หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

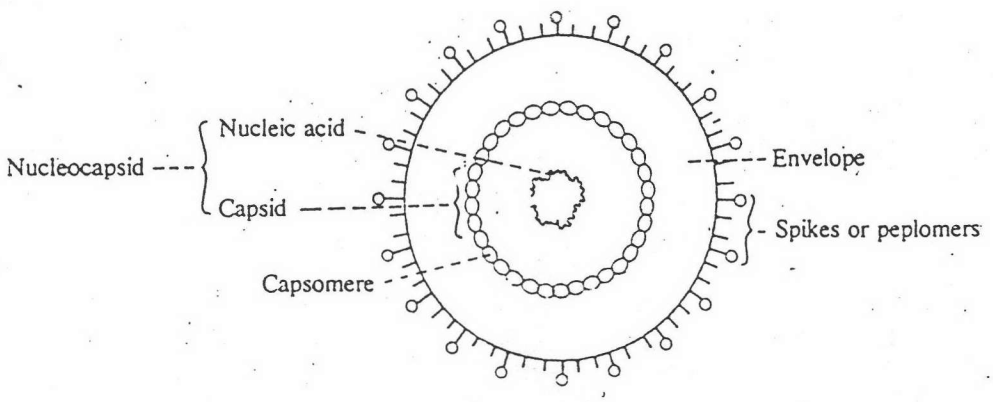
ทบทวนเอกสาร

คุณลักษณะโดยทั่วไปของไวรัส

ไวรัส หมายถึง จุลินทรีย์ขนาดเล็กมากที่สามารถทำให้คน สัตว์ และพืชเกิดโรคได้ ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดของอนุภาคไวรัสชนิดต่างๆ โดยแบ่งตามเซลล์ของผู้ให้อาศัย (host cell) เป็น 3 ชนิด คือไวรัสสัตว์ ไวรัสแบคทีเรีย และไวรัสพืช

ไวรัสมีกรดนิวคลีอิคเป็น DNA หรือ RNA อย่างใดอย่างหนึ่ง มีการสืบพันธุ์ภายในเซลล์สิ่งมีชีวิตที่เข้าไปอาศัย (ดำรงชีวิตแบบปรสิตโดยจะใช้สารประกอบต่างๆภายในเซลล์สิ่งมีชีวิตเพื่อการสังเคราะห์ตัวเองขึ้นมา และถ่ายทอดสู่เซลล์อื่นๆ)

อนุภาคของไวรัส โดยทั่วไปประกอบด้วย กรดนิวคลีอิคอยู่ภายใน และมีปลอกโปรตีนเรียกว่า capsid ห่อหุ้มอยู่ภายนอก ในไวรัสบางชนิดอาจมี envelope ห่อหุ้ม capsid อีกชั้นหนึ่งทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นได้ ดังรูปที่ 2.1 (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2532)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของอนุภาคไวรัส
ที่มา : Boyd and Marr (1980) อ้างถึงใน บัญญัติ สุขศรีงาม (2532)

ตารางที่ 2.1 ขนาดของอนุภาคไวรัส

ชนิดของไวรัส	ขนาด(นาโนเมตร)
1. ไวรัสสัตว์	
poliovirus	28
alphavirus	35-80
polyoma virus	45
papilloma	55
reovirus	70
adenovirus	60-90
influenza virus	90-100
rabies virus	60-180
herpesvirus	180-200
mump virus	150-300
small pox virus	230x300
vacinia virus	230x300
2. ไวรัสแบคทีเรีย	
coliphage øx 174	22
coliphage f2	18-38
3. ไวรัสพืช	
bushy stunt virus	18-38
wound tumor virus	70-77
turnip yellow masaic virus	28
tobacco mosaic virus	17x300
beet yellow mosaic virus	14x800

ที่มา : Boyd and Marr, 1980; Davis et al.,1980; Nester et al.,1983 อ้างถึงใน บัญญัติ สุขศรีงาม,2532

การตรวจสอบไวรัส

1. ขั้นตอนการตรวจสอบ การตรวจสอบไวรัสแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ การทำให้ความเข้มข้นของไวรัสในน้ำสูงขึ้น และกระบวนการตรวจหาปริมาณไวรัส (Hurst, Benton, Stetler, 1989)

1.1 การทำให้ความเข้มข้นของไวรัสในน้ำสูงขึ้น (Virus concentration) เป็นวิธีการ ที่จะทำการรวบรวมไวรัสที่อยู่ในตัวอย่างน้ำที่จะตรวจสอบให้มีความเข้มข้นมากขึ้น โดยลดปริมาตรของน้ำที่จะตรวจสอบ เพื่อความสะดวกในการตรวจหาปริมาณไวรัส (assay) วิธีที่ใช้ทำให้เข้มข้นมีหลายวิธีดังนี้

1.1.1 พาสสีฟ แอดซอร์พชัน (passive adsorption)

1.1.2 ไดเรกท์ แอดซอร์พชัน (directed adsorption)

1.1.3 อุลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration)

1.1.4 การรวมตะกอนโดยวิธีเคมีกายภาพ และวิธีแยกเฟส (direct physiochemical flocculation or phase separation)

1.1.5 อัฟฟินิตี โครมาโตกราฟฟี (affinity chromatography)

1.2 กระบวนการตรวจหาปริมาณไวรัส (Virus assay) แบ่งเป็น

1.2.1 อิเลกตรอน ไมโครสโคปี (electron microscopy, EM)

1.2.2 พลักแอสเส (cytopathogenicity or plaque assay)

1.2.3 อิมมูโนโลจิคอลแอสเส (immunological assay)

1.2.4 นิวคลีอิกแอซิดไฮบริดไดเซชัน (nucleic acid hybridization)

2. พลักแอสเส (Plaque assay) เป็นวิธีที่ใช้ในการทดลอง วิธีการตรวจสอบง่าย ไม่ซับซ้อน เหมาะสำหรับที่จะใช้ในห้องปฏิบัติการสามารถสังเกตผลที่เกิดขึ้นด้วยตาเปล่าไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ซับซ้อนในการนับจำนวนฟาจ (phage) ที่เกิดขึ้น โดยการบ่มไวรัสบนอาหารในจานเพาะเลี้ยงซึ่งมีโฮสท์เซลล์ ที่ไวรัสใช้ในการดำรงชีพ และขยายพันธุ์

ไวรัสจะทำการขยายพันธุ์ และทำลายโฮสท์เซลล์ ในจานเพาะเลี้ยง บริเวณที่ถูก ทำลายจะสามารถสังเกตุเห็น และเรียกว่า พลัก "Plaque" เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า "Cytopathogenic effect" หน่วยที่ใช้นับจำนวนไวรัสที่ปรากฏเรียกว่า พลัก ฟอร์มมิง ยูนิต (Plaque Forming Unit, PFU)

ไวรัสที่พบในน้ำ

ในปัจจุบันจะพบ enteric virus (ไวรัสที่อาศัยระบบทางเดินอาหาร โดยเฉพาะบริเวณลำไส้ในการดำรงชีวิต และขยายพันธุ์) มากกว่า 100 ชนิด ซึ่งไวรัสเหล่านี้จะมีการติดต่อกันได้จากการรับประทานอาหารที่มีอุจจาระปนเปื้อนเป็นหลัก ตามรายงานความเข้มข้นของไวรัสที่พบในน้ำเสียมีสูงถึง 500,000 อนุภาคต่อลิตร (York and Drewry, 1974)

กลุ่มของ enteric virus ที่มีการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ หรือตรวจพบเชื้อในผู้ป่วยติดเชื้อ ไวรัสแสดงดังตารางที่ 2.2 ซึ่งการติดเชื้อไวรัสดังกล่าว เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดโรคอันตรายกับคนได้ และความรุนแรงของโรคที่เกิดขึ้นกับสุขอนามัย และภูมิคุ้มกันของผู้ป่วยที่มีอยู่ ผู้ป่วยบางรายก็อาจเป็นโรคได้แม้เพียงได้รับเชื้อไวรัสเพียงหนึ่งอนุภาค (Slade, 1985)

Melnick และคณะ (1978) ได้สรุปเส้นทางการติดเชื้อไวรัสกลับสู่คน ในรูปที่ 2.2
นอกจากนี้ยังทำการศึกษา และตรวจสอบ enteric virus จากน้ำดื่มทั้งใน ปารีส โรมาเนีย รัสเซีย แอฟริกาใต้ และสหรัฐอเมริกา ผลการทดสอบระยะเวลาที่เชื้อนี้ สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมได้เป็นดังนี้

สภาพแวดล้อม	ระยะเวลา (วัน)
น้ำประปา	2-168
น้ำทะเล	2-130
ดิน	25-125

Payment และคณะ (1985) ได้รายงานการตรวจสอบไวรัส ที่ประเทศแคนาดา จากโรงผลิตน้ำสะอาด 7 แห่ง พบเชื้อดังนี้ คือ

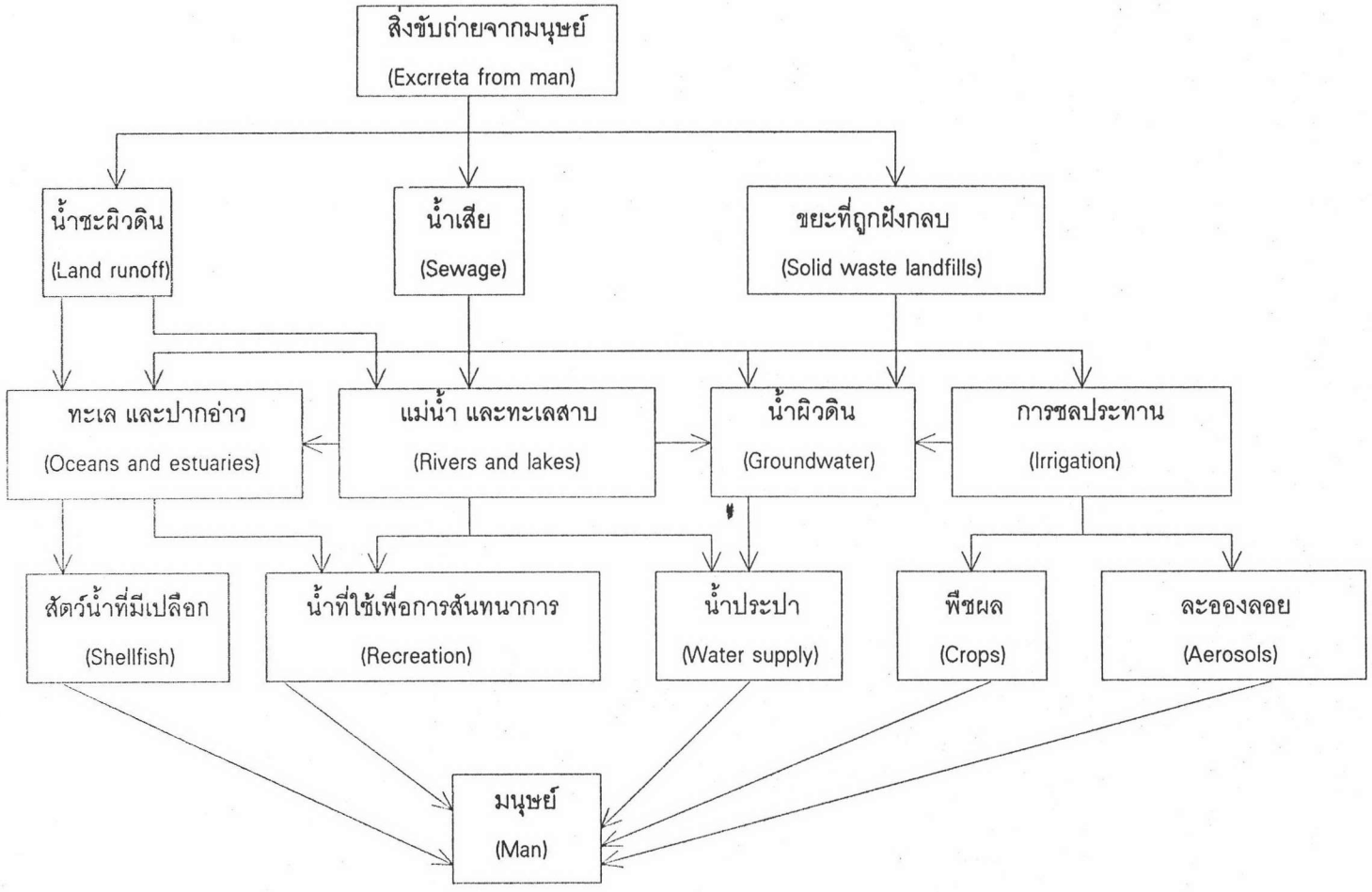
- Poliovirus types 1, 2 และ 3
- Coxsackievirus types B3, B4 และ B5
- Echovirus type 7
- Untyped picornaviruses

การพบเชื้อไวรัสเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณเชื้อไวรัสจากน้ำดิบที่นำมาผลิตน้ำสะอาด นอกจากจะต้องพิจารณาปรับปรุงความสามารถของระบบผลิตน้ำสะอาดแล้ว ก็เห็นสมควรที่จะต้องให้ความสำคัญกับระบบบำบัดน้ำเสีย ในการลดปริมาณไวรัสให้เหลือน้อยที่สุด (โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าต้องใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด เป็นน้ำดิบเพื่อผลิตน้ำสะอาด)

ตารางที่ 2.2 โรคต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นโดย Human Enteric Viruses

Virus Group	จำนวนชนิด	โรค หรือ อาการ
Entero virus		
Poliovirus	3	อัมพาต ไข้สันหลังอักเสบ เป็นไข้
Coxsackievirus A	24	โรคทางเดินหายใจ ไข้สันหลังอักเสบ เป็นไข้
Coxsackievirus B	6	กล้ามเนื้อหัวใจอักเสบ ความผิดปกติของหัวใจแต่กำเนิด ผื่นที่ผิวหนัง ปอดอักเสบ เยื่อสมองอักเสบ โรคทางเดินหายใจ เป็นไข้
Echovirus	34	ไข้สันหลังอักเสบ โรคทางเดินหายใจ โรคท้องร่วง เป็นไข้ ผื่นที่ผิวหนัง
New enterovirus	4	ไข้สันหลังอักเสบ เยื่อสมองอักเสบ โรคทางเดินหายใจ เลือดไหลไม่หยุด เยื่อตาขาวอักเสบ เป็นไข้
Hepatitis A	1	โรคตับอักเสบ
Norwalk	2	อาเจียน และท้องร่วง
Adenovirus	30	โรคทางเดินหายใจ อาการติดเชื้อที่ตา
Reovirus	3	ไม่ทราบแน่ชัด
Rotavirus	2	อาเจียน และท้องร่วง
Parvovirus	4	ไม่ทราบแน่ชัด แต่มีส่วนทำให้เกิดโรคทางเดินหายใจในเด็ก

ที่มา : Slade, J.S. (1985)



รูปที่ 2.2 แสดงเส้นทางการติดเชื้อไวรัสกลับสู่มนุษย์

ที่มา : Melnick, J.L., Gerba C.P., and Wallis C. (1978)

การใช้โคลิฟาจเป็นตัวบ่งชี้ทางด้านไวรัส (Coliphage as a Viral Indicator)

จากวิธีการที่ยุ่งยาก และต้องใช้ความชำนาญเป็นพิเศษ ในการตรวจสอบ และวัดปริมาณของ enteric viruses จึงได้มีผู้ทดลองใช้ แบคทีริโอฟาจ (Bacteriophage, ไวรัสที่อาศัยเซลล์แบคทีเรียในการดำรงชีพ และขยายพันธุ์) เป็นตัวแทนในการบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนของไวรัสในน้ำ สำหรับชนิดของแบคทีริโอฟาจ ที่มีผู้เสนอให้ใช้คือ โคลิฟาจ ในการดำรงชีพของโคลิฟาจจะอาศัยแบคทีเรียที่มีชื่อว่า Escherichia coli (E. Coli) เป็นเซลล์ผู้ให้อาศัย (โฮสท์เซลล์) (Stetler, 1984)

สาเหตุที่โคลิฟาจสามารถนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ คือ
(Kott et al., 1974; Stetler, 1984)

1. เป็นไวรัสที่ไม่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ (non-pathogenic)
2. เมื่อตรวจพบ enteric viruses ก็มักจะพบโคลิฟาจด้วย
3. โคลิฟาจมีความต้านทานต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้ดีกว่า enteric viruses เช่น ความทนทานต่อระบบผลิตน้ำสะอาด และกระบวนการฆ่าเชื้อโรค
4. วิธีตรวจนับปริมาณโคลิฟาจ (Plaque assay) ทำได้ง่าย และใช้เวลาสั้นประมาณ 12-18 ชั่วโมง ในขณะที่ การตรวจสอบ enteric virus อาจใช้เวลานานถึง 3 สัปดาห์
5. ในแหล่งน้ำโดยทั่วไปปริมาณของโคลิฟาจที่พบจะมากกว่า enteric viruses
6. ความสะดวกในการตรวจสอบ และค่าใช้จ่ายไม่สูง

ประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟาจ

หน่วยแสดงประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟาจโดยกระบวนการกรองด้วยเมมเบรน นิยมใช้ในหน่วยของล็อก (Log) ทั้งนี้เนื่องจากการแสดงในรูปของเปอร์เซนต์จะไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน เช่น ประสิทธิภาพการกำจัด 99.9 % และ 99.99 % ซึ่งหากแสดงในรูปของล็อกจะเป็น 3 ล็อก และ 4 ล็อก ตามลำดับทำให้เห็นความแตกต่างชัดเจนขึ้น การเปรียบเทียบหน่วยในรูปของเปอร์เซนต์ และล็อก แสดงดังสมการที่ 2.1

$$\left[\frac{(PFU/ml.)_{IN} - (PFU/ml.)_{OUT}}{(PFU/ml.)_{IN}}\right] \times 100 = \log(PFU/ml.)_{IN} - \log(PFU/ml.)_{OUT}$$

ตัวอย่างเช่น ความเข้มข้นของโคลิฟาจในน้ำเข้าเท่ากับ 10^4 พีเอฟยู/มิลลิลิตร

ความเข้มข้นของโคลิฟาจในน้ำกรองเท่ากับ 10 พีเอฟยู/มิลลิลิตร

ประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟาจในรูปของเปอร์เซนต์ $= \frac{(10^4 - 10)}{10^4} \times 100 = 99.9\%$

ประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟาจในรูปของล็อก $= \log(10^4) - \log(10) = 3$ ล็อก

ซึ่งการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟาจ ในหน่วยของเปอร์เซนต์ และล็อก แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบหน่วยในรูปเปอร์เซนต์ และล็อก

ประสิทธิภาพการกำจัด (เปอร์เซนต์)	ประสิทธิภาพการกำจัด (ล็อก)
90	1
99	2
99.9	3
99.99	4
99.999	5
99.9999	6

กระบวนการเมมเบรน (Membrane Process)

กระบวนการเมมเบรน (Membrane Process) หมายถึง กระบวนการต่างๆ ที่อาศัยเยื่อเมมเบรน (Semi-Permeable Membrane) ในการแยกสารละลายออกจากน้ำ หรือของเหลวอื่น ความสามารถในการแยกขึ้นกับ ขนาดช่องว่าง (Pore size) หรือ molecular weight cutoff (MWCO) ของเมมเบรน จากตารางที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการกรองโดยใช้เมมเบรนชนิดต่างๆ

กระบวนการเมมเบรนจะแตกต่างจากการกรองแบบติดผิวชั้นกรอง (Surface Filtration) และการกรองแบบติดค้างในชั้นกรอง (In-Depth Filtration) ตรงที่การกรองแบบเมมเบรนจะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Concentration Polarization

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบวิธีการกรองโดยใช้เมมเบรนชนิดต่างๆ

กระบวนการ	ขนาดรูเมมเบรน	แรงขับดัน	สารที่สามารถติดค้าง
UF	10 อังสตรอม- 0.1 ไมครอน	ความดัน 10 psig (68 kPa) - 200 psig (1380 kPa)	สารอินทรีย์น้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 1000 ไวรัส แบคทีเรีย คอลลอยด์
RO	5 อังสตรอม - 20 อังสตรอม	ความดัน 200 psig (1380 kPa) 1000 psig (6890 kPa)	ไอออน และสารอินทรีย์น้ำหนัก โมเลกุลมากกว่า 100
ED	< 10 อังสตรอม	ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.27 - 0.36 kW/lb salts	สารประกอบที่แตกตัวเป็นไอออนได้

ที่มา : สุเมธ ชวเดช, (2532)

ระบบเมมเบรนแบบต่างๆ (สุเมธ ชวเดช, 2532)

1. Ultrafiltration (UF) ลักษณะการทำงานของเครื่องกรองแบบ UF ใช้แผ่นเยื่อที่มีขนาดช่องว่าง (pore size) ประมาณ 10 อังสตรอม - 0.1 ไมครอน ใช้ความดันสูงถึง 10-200 psig (69-1380 kPa) สามารถกรองของแข็งแขวนลอย ยกเว้นสารที่แตกตัวละลายในน้ำที่มีน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight, MW) ต่ำกว่า1000 มักนิยมใช้ในการแยกโปรตีน และใช้ในการผลิตน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงโดยใช้ควบคู่กับ Ion Exchanger เป็นต้น

2. Reverse Osmosis (RO) หรือ Hyperfiltration หลักการทำงานของ RO จะตรงกันข้ามกับกระบวนการ Osmosis โดยใช้ความดันสูงถึง 200-1000 psig (1380-6890 kPa) ภายใต้สภาวะความดันสูงนี้จะดันสารโมเลกุลขนาดเล็กๆ รอดผ่านแผ่นเมมเบรนได้ สารต่างๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 100 จะถูกกรองไว้บนแผ่นเมมเบรน การกรองแบบ RO สามารถประยุกต์ใช้ในงานการผลิตน้ำบริสุทธิ์สูง โดยใช้ควบคู่กับ Ion Exchanger ใช้ในงานแยกโลหะมีค่า การทำให้น้ำตาลเข้มข้นสูงขึ้น การทำให้สีย้อมมีความบริสุทธิ์สูงขึ้น เป็นต้น แต่การใช้ประโยชน์เครื่องกรองแบบ RO ไม่แพร่หลายนัก เนื่องจากราคา อุปกรณ์และค่าใช้จ่าย สูงมาก

3. Electrodialysis (ED) ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นแรงขับดัน ให้เกิดการแยกสารประกอบซึ่งแตกตัวเป็นไอออนได้ ออกจากน้ำ แต่ไม่สามารถแยกสารอินทรีย์ แผ่นเมมเบรนสำหรับ ED มี 2 ชนิด คือ แผ่นบวก และแผ่นลบ ซึ่งยอมให้เฉพาะไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเหมือนกันไหลผ่าน

อุลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration, UF)

อุลตราฟิลเตรชัน เป็นกระบวนการเมมเบรนที่คล้ายคลึงกับ RO ทั้งในลักษณะการใช้งานและลักษณะทางกายภาพ สิ่งที่แตกต่างกันคือ UF สามารถแยกได้เฉพาะโมเลกุลขนาดใหญ่ออกจากน้ำ แต่ RO สามารถแยกไอออน และโมเลกุลขนาดเล็กกว่าออกจากน้ำได้ จากขีดความสามารถที่แตกต่างกัน ทำให้ UF ต้องการแรงดันประมาณ 100 psig หรือน้อยกว่า แต่ RO ต้องการแรงดัน 200-1000 psig หรือสูงกว่า และยังทำให้เมมเบรนของ RO และของ UF ไม่เหมือนกันอีกด้วย โดยปกติ UF มักใช้ในการกำจัดคอลลอยด์ต่างๆ เช่น แบคทีเรีย ไวรัส ดินเหนียว เป็นต้น รวมทั้งสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลหนักกว่า 500 เช่น โปรตีน แป้ง กรดฮิวมิค กรดฟัลวิค เป็นต้น กลไกในการกำจัดสารต่างๆ ของ UF เป็นแบบกรองติดค้างบนรู (Sieve) (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2527)

1. โพลีเมอร์ที่ใช้ผลิตเมมเบรน

เมมเบรนที่ใช้กับ UF สามารถสร้างขึ้นมาจากสารอินทรีย์โพลีเมอร์ได้หลายชนิด เช่น Cellulose acetate, Polyvinyl chloride, Polyacrylonitrile, Polycarbonate และ Polysulfone เป็นต้น (Applegate, 1984) คุณสมบัติของโพลีเมอร์บางชนิดที่ใช้ผลิตเมมเบรน แสดงดังตารางที่ 2.5

เมมเบรน UF มีความทนทานกว่าเมมเบรน RO ในทุกๆ ด้าน เช่น ทนกรด หรือด่าง หรืออุณหภูมิได้ดีกว่านอกจากนี้ยังทนต่อสารเคมีได้ดีกว่าด้วย ตารางที่ 2.6 เป็นคุณสมบัติบางอย่างของเมมเบรน UF ที่ผลิตโดยบริษัทต่างๆ ผู้ผลิตสามารถสร้างเมมเบรนให้มีความสามารถในการกำจัดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆได้ (เรียกว่า เมมเบรนมี MWCO ตามแต่ผู้ผลิต) เช่น HFA-300 มี MWCO 70,000 หมายความว่าเมมเบรนสามารถกำจัดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 70,000 (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2527)

2. โมดูลชนิดต่างๆ ของระบบอุลตราฟิลเตรชัน

โมดูลของระบบ UF มี 4 แบบ คือ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2527)

2.1 แบบท่อ (Tubular Module)

2.2 แบบแผ่น (Plate and Frame Module)

2.3 แบบม้วน (Spiral Wound Module)

2.4 แบบเส้นใยกลวง (Hollow-fiber Module)

ข้อแตกต่างของทั้ง 4 แบบ สรุปดังตารางที่ 2.7

2.1 Tubular Module

วิธีนี้เป็นการม้วนแผ่นเมมเบรนให้เป็นหลอด หรือท่อขนาดเล็ก และยึดติดไว้ภายในท่ออีกอันหนึ่ง ที่ทำด้วยสแตนเลส หรือไฟเบอร์กลาส ดังรูปที่ 2.3 และทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรองรับแผ่นเมมเบรนมิให้ฉีกขาด ในระหว่างการใช้งาน และใช้เป็นทางออกของน้ำสะอาดอีกด้วย น้ำดิบจะถูกสูบผ่านเข้าไปในท่อด้วยความดัน แรงดันของน้ำทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถซึมผ่านแผ่นเมมเบรนและท่อรองรับออกไปสู่ภายนอก เนื่องจากเทคนิคนี้สามารถทำความสะอาดได้ง่าย จึงนิยมใช้ในกรณีที่มีการอุดตันเกิดขึ้นเร็ว (Applegate, 1984)

ตารางที่ 2.5 โพลีเมอร์ที่ใช้ผลิตเมมเบรน

โพลีเมอร์ / คุณสมบัติ	Cellulose acetate	Polysulfone	Aromatic polyamides	Polyacrylonitrile, poly(vinyl chloride), copolymer
MWCO	1,000-50,000	5,000-50,000	1,000-50,000	30,000-100,000
pH	3.5-7	0-14	2-12	2-12
อุณหภูมิ (°C)	35	100	80	50
ความทนทานต่อคลอรีน	ดี	ดี	ด้อย	ปานกลาง
ความทนทานต่อสารละลายอินทรีย์	ด้อย	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
รูปแบบของเมมเบรน	แผ่น, ท่อ	แผ่น, ท่อ, แคปิลลารี	แผ่น, ท่อ, แคปิลลารี	แผ่น, ท่อ, แคปิลลารี

ที่มา : Strathman, H. (1984)

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของเมมเบรน UF บางชนิด

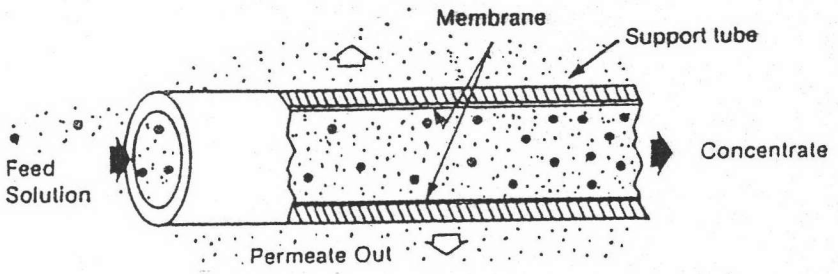
Membrane	Manufacturer	Water Flux at 100 psi ($gal/ft^2.day$)	Molecular Weight cutoff 80-100% Rejection
Cellulose acetate	Gulf env. system	30	600 (raffinose)
Pellicon	Millipore Corp.	10	600 (raffinose)
Diaflo UM-05	Amicon Corp.	35	250 (sucrose)
Disflo UM-2	Amicon Corp.	70	600 (raffinose)
Diaflo UM-10	Amicon Corp.	100	10,000 (dextran 10)
Diaflo PM-10	Amicon Corp.	600	10,000 (cytochrome c)
Diaflo PM-30	Amicon Corp.	3500	35,000 (pepsin)
Diaflo XM-50	Amicon Corp	250	70,000 (bovine serum albumin)
Diaflo XM-100	Amicon Corp.	3000	150,000 (gamma globulin)
HFA-100	Abcor, Inc.	25	10,000 (dextran 10
HFA-300	Abcor, Inc.	500	70,000 (bovine serum albumin)

ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, (2527)

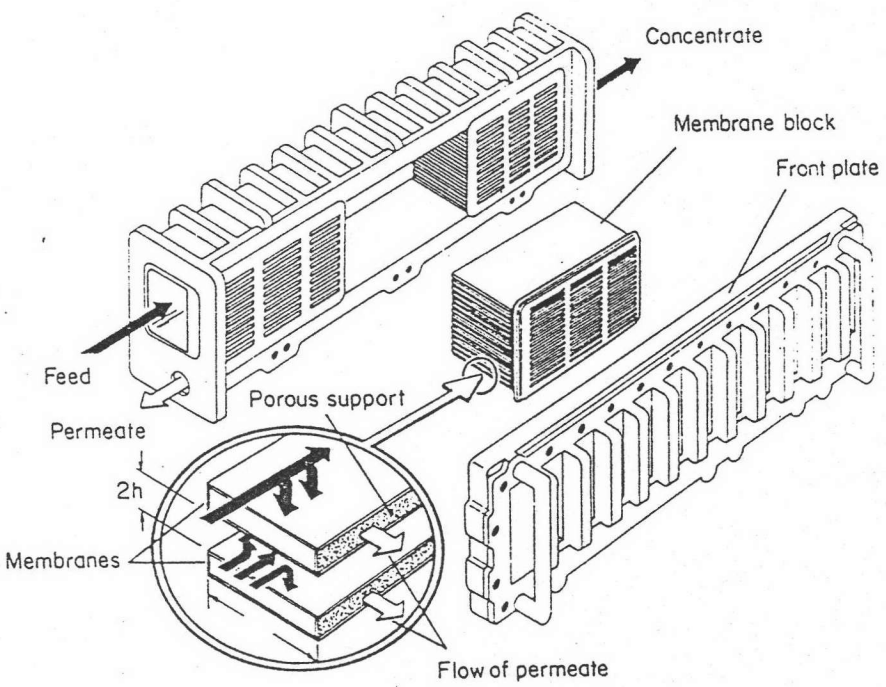
ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติโมดูลชนิดต่างๆ ของระบบอุลตราฟิลเตรชัน

ชนิดของโมดูล	พื้นที่เมมเบรนต่อโมดูล ($ม^2/ม^3$)	ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	การควบคุมอัตราการไหล	ความสะดวกในการทำความสะอาด
Tubular	25-50	สูง	สูง	ดี	ดี
Plate and frame	400-600	สูง	ต่ำ	ปานกลาง	ด้อย
Spiral wound	800-1000	ต่ำ	ต่ำ	ด้อย	ด้อย
Hollow-fiber	600-1200	ต่ำ	ต่ำ	ดี	ปานกลาง

ที่มา : Strathman, H. (1984)



รูปที่ 2.3 โมดูลของระบบอุลตราฟิลเตรชันแบบท่อ
ที่มา : Romicon, Inc. (1983)



รูปที่ 2.4 โมดูลของระบบอุลตราฟิลเตรชันแบบแผ่น
ที่มา : Rautenbach, R. ,and Albrecht, R. (1989)

2.2 Plate and Frame Module

เทคนิคนี้เป็นการจัดแผ่นเมมเบรนแบบที่ง่ายที่สุด โมดูลที่ใช้มีลักษณะการทำงานคล้าย Filter Press ดังรูปที่ 2.4 แผ่นเมมเบรนวางอยู่บนแผ่นรองรับซึ่งมีรูพรุน (Porous support) หรือแผ่นรองรับที่มีร่องให้น้ำไหลออกได้ เมมเบรนและแผ่นรองรับจะวางซ้อนกัน และสลับกัน น้ำถูกบังคับให้ซึมผ่านเมมเบรน และแผ่นรองรับ แล้วจึงไหลออกจากโมดูล

2.3 Spiral Wound Module

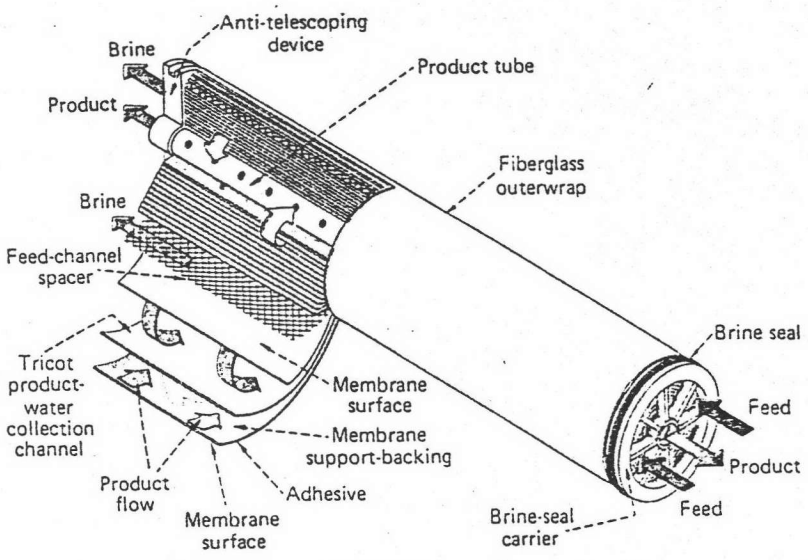
โมดูลแบบนี้ประกอบด้วยเมมเบรน 2 แผ่นประกบกัน โดยมีแผ่นวัสดุเนื้อพรุนสอดอยู่ ตรงกลางระหว่างเมมเบรนทั้งคู่ จากนั้นม้วนแผ่นแบนทั้งสามรอบท่อเจาะรู ดังรูปที่ 2.5 ขอบของแผ่นเมมเบรนทั้งสามด้านถูกอุดไว้ด้วยกาวพิเศษ ขอบที่เหลือปล่อยให้เปิดตามปกติ และยึดติดกับท่อเจาะรู ลักษณะเช่นนี้ทำให้น้ำถูกบังคับให้ไหลไปยังท่อเจาะรูเสมอ

2.4 Hollow-fiber Module

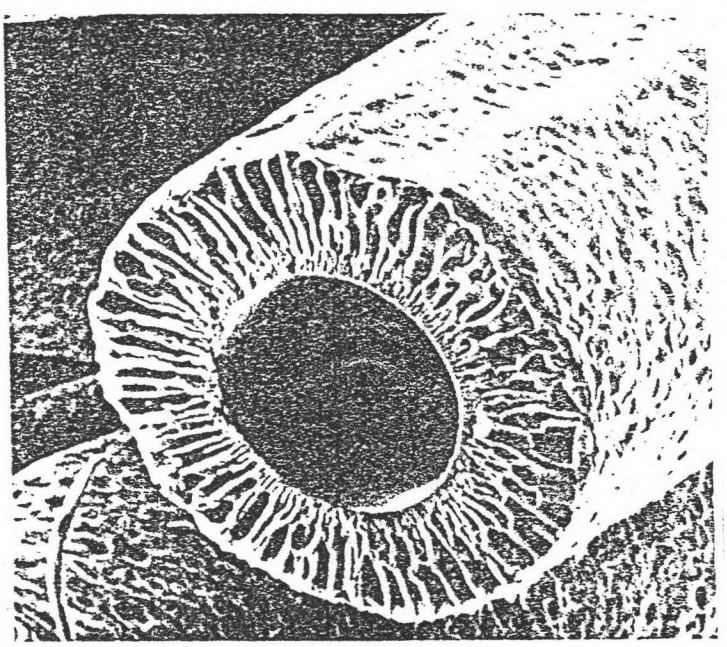
เมมเบรนแบบเส้นใยกลวง จะมีผิวที่คล้ายฟองน้ำ ล้อมรอบผิวชั้นใน (ซึ่งมีความหนาเพียง 0.1ไมครอน ดังรูปที่ 2.6 (Applegate, 1984)

การใช้งานจะนำเส้นใยกลวงเหล่านี้มารวมกันเป็นมัดๆ (bundles) บรรจุในโมดูลรูปทรงกระบอกปลายทั้งสองข้างของเส้นใยทั้งมัดถูกตรึงติดอยู่กับโมดูล ดังรูปที่ 2.7 ลักษณะการทำงานและการทำความสะอาดเมมเบรน แสดงดังรูปที่ 2.8

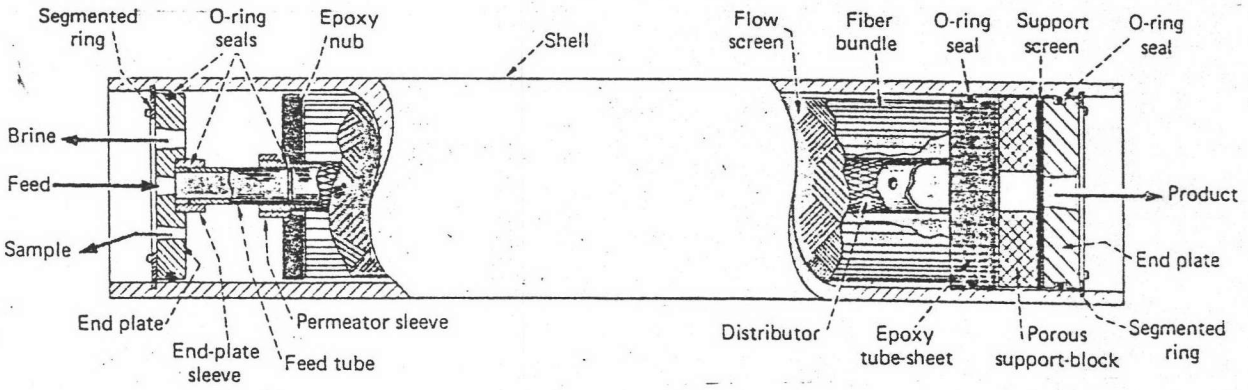
จากตารางที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบโมดูลชนิดต่างๆของระบบUF พบว่าชนิด Hollow-fiberจะเสียค่าใช้จ่ายน้อยเมื่อเทียบกับชนิด Tubular และ Plate and Frame การทำความสะอาดและการควบคุมอัตราการไหลก็จะดีกว่าชนิด Spiral Wound ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ UF ชนิด Hollow-fiber



รูปที่ 2.5 โมดูลของระบบอุลตราฟิลเตรชันแบบม้วน
ที่มา : Applegate, L. E. (1984)

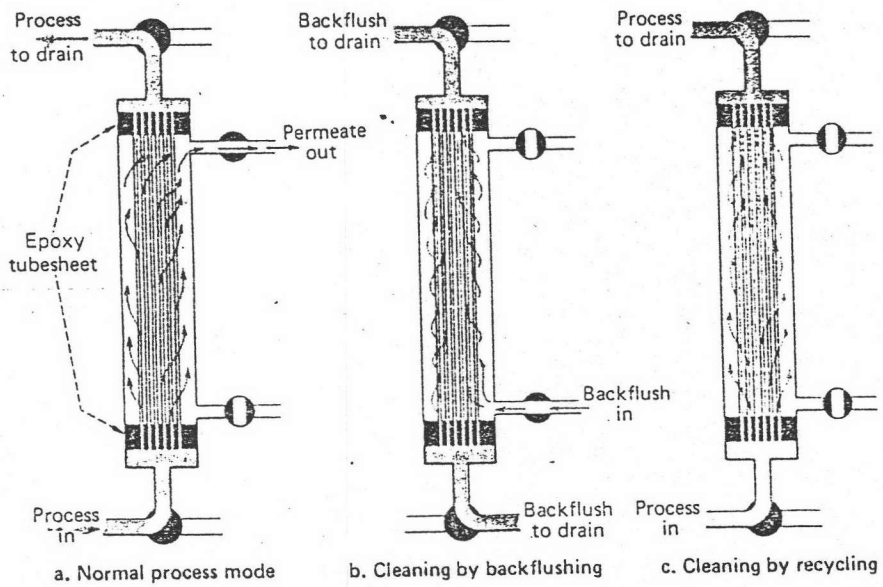


รูปที่ 2.6 ลักษณะของผิวเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวง
ที่มา : Applegate, L. E. (1984)



รูปที่ 2.7 โมดูลของระบบอุลตราฟิลเตรชันแบบเส้นใยกลวง

ที่มา : Applegate, L. E. (1984)



รูปที่ 2.8 ลักษณะการทำงาน และการทำความสะอาดเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวง

ที่มา : Applegate, L. E. (1984)

ปัจจัยที่มีผลต่อ Ultrafiltration Flux

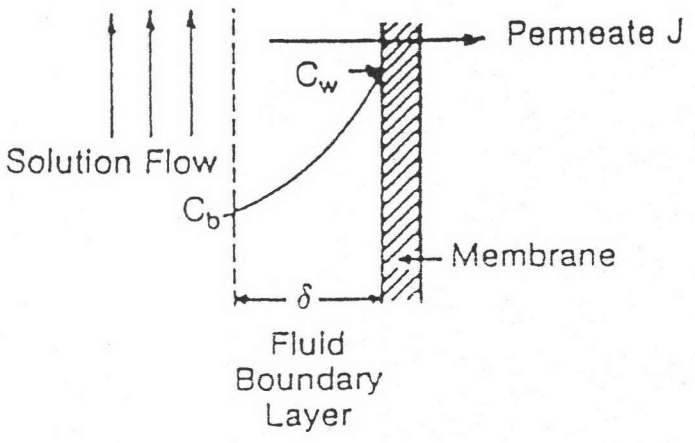
อุปสรรคที่สำคัญในการทำงานของอุลตราฟิลเตรชันเมมเบรน คือปัญหาการอุดตันซึ่งเกิดจากสิ่งสกปรก ในน้ำที่ยังไม่ได้ผ่านการบำบัด ปัจจัยที่ลดอัตราการไหลของน้ำ (permeate flux)ผ่านเมมเบรนขึ้นกับ

- Concentration Polarization (CP) หรือ gel layer
- Membrane Fouling

Concentration Polarization

การที่อนุภาคสิ่งสกปรก หรือโมเลกุล เคลื่อนที่มาสะสมใกล้ผิวเมมเบรนมากกว่าการกระจายออก ยังผลให้เกิดการสะสมของสิ่งสกปรกบริเวณผิวของเมมเบรนจนกระทั่งมีความเข้มข้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยของน้ำดิบหลายเท่า ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าการเกิด Concentration Polarization (CP) ดังรูปที่ 2.9 (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2527)

Flux ที่ลดลงเนื่องจาก CP สามารถแก้ไขให้มีสภาพดังเดิมได้โดยใช้การล้างย้อน (backflushing) และการกระแทกเป็นช่วงๆ (pulsing) ของน้ำ (AWWA, 1992)



รูปที่ 2.9 Concentration Polarization **ที่เกิดขึ้นในระบบอุลตราฟิลเตรชัน**
ที่มา : Romicon, Inc. (1983)

Membrane Fouling (AWWA, 1992)

คำว่า membrane fouling จะใช้สำหรับอธิบายการสูญเสียสภาพการกรองแบบ Irreversible ซึ่งไม่สามารถแก้ไขสภาพให้เหมือนเดิมได้โดยใช้แรงดันของน้ำ หรือสารเคมี

fouling ที่เกิดบนเมมเบรนส่วนใหญ่ เป็นผลมาจากการดูดเกาะของสารอินทรีย์ในรูพรุนของเมมเบรน ทำให้ลดอัตราการไหลของน้ำผ่านเมมเบรน และไม่สามารถทำให้กลับมาใช้งานได้ดีเหมือนเดิม หลังจากใช้ UF ไปได้เพียง 5 นาที ถึง 12 ชั่วโมง ลักษณะสมบัติของสารอินทรีย์ในน้ำดิบและธรรมชาติของแรงกระทำระหว่างสารละลายอินทรีย์กับเมมเบรน เป็นสิ่งสำคัญที่จะกำหนดประสิทธิภาพของกระบวนการเมมเบรน

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ membrane fouling มีดังต่อไปนี้คือ

1. ลักษณะสมบัติของน้ำดิบ

ความเข้มข้น และชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำจะมีผลถึงลักษณะสมบัติของน้ำที่จะผ่านระบบเมมเบรนโดยตรง องค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำจะแตกต่างกันในแต่ละแห่ง จากการศึกษาสารอินทรีย์ในน้ำธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับการเกิด fouling ของ UF เมมเบรน แบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

- polysaccharide
- polyhydroxy aromatics
- proteins
- amino sugars

โมเลกุลของแต่ละประเภทนี้จะมีผลต่อ fouling ต่างกัน แต่ละตัวจะมีคุณลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุล และโครงสร้างโมเลกุล ภายในโมเลกุลจะมีแรงกระทำต่อผิว เมมเบรน และต่อตัวมันเอง ทำให้เกิดการต้านแรงไหลของน้ำ เมื่อโมเลกุลขนาดใหญ่ต่างชนิดกันเหล่านี้อยู่ในสารละลายเดียวกันจะก่อให้เกิด fouling มากกว่าเมื่ออยู่แยกกันตัวใดตัวหนึ่ง Divalent cation และ pH ที่ต่ำจะทำให้สารอินทรีย์มีความสามารถในการดูดเกาะมากขึ้น น้ำที่กระด้าง และ pH มีผลต่อลักษณะการเกิด fouling ของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้(Dissolved Organic Carbon, DOC)

pH ที่จุด isoelectric point (จุดที่สารมีประจุไฟฟ้าเท่ากัน) ของตัวถูกละลายใดๆ จะทำให้เกิด flux ต่ำสุด เนื่องจากที่จุดนี้ ประจุของตัวถูกละลายจะลดลง ทำให้เกิดการรวมตัวใหญ่ขึ้น (agglomeration) ซึ่งจะลดอัตราการแพร่ผ่านผิวของเมมเบรนลง ดังนั้นการใช้วิธีการปรับ pH เพื่อตกตะกอนสารอินทรีย์ก็มีผลต่อการเกิด fouling จากสารอินทรีย์ในน้ำนั้นด้วย

2. วัสดุที่ใช้ทำเมมเบรน

วัสดุที่ใช้ทำเมมเบรน ขนาดของรู และการกระจายขนาดของรูในเมมเบรนมีผลต่อลักษณะ fouling ในระบบ UF วัสดุที่ใช้ทำเมมเบรนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ วัสดุที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และวัสดุที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic)

เมื่อพิจารณาการไหลของน้ำที่มีสารอินทรีย์ธรรมชาติปนอยู่ผ่านเมมเบรนก่อนและหลัง จากทำการล้างย้อน (backwash) พบว่าเมมเบรนแบบที่ชอบน้ำจะมีการไหลผ่านมากกว่าเมมเบรนที่ไม่ชอบน้ำเมื่อมี MWCO เท่ากัน คำอธิบายอย่างหนึ่งสำหรับพฤติกรรมนี้ก็คือเมมเบรนชนิดที่ชอบน้ำจะดูดซับสารอินทรีย์น้อยกว่าเมมเบรนแบบไม่ชอบน้ำ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถกล่าวได้ว่าการเกิด fouling จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำ และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเมมเบรน

3. การปรับสภาพน้ำ

จุดมุ่งหมายของการปรับสภาพในขั้นต้นก็เพื่อจะลดปริมาณของ irreversible fouling และเพิ่มอัตราการไหลของน้ำผ่านเมมเบรน ด้วยเหตุนี้สารที่ใช้ปรับสภาพเมมเบรนควรจะเป็นตัวที่ดูดซับได้ดีบนผิวของเมมเบรน และยับยั้งการดูดซับของ foulant และมีผลกระทบต่อการไหลน้อยที่สุด

ในอีกแง่หนึ่งการปรับสภาพของน้ำที่จะป้อนเข้าสู่ระบบ อาจจะช่วยปรับปรุงการไหลผ่านเมมเบรน การกำจัดสสารออกจากเมมเบรน หรือทั้งสองอย่าง

ผลการศึกษาที่ผ่านมา

Ironside and Sourirajan (1967) ได้ศึกษาการกำจัด E.Coli โดยใช้อุลตราฟิลเตรชันเมมเบรน ซึ่งทำจากเซลลูโลสอะซิเตท (Cellulose acetate) พบว่าอุลตราฟิลเตรชันเมมเบรนสามารถกำจัด E.Coli ได้ทั้งหมด

Sorber (1971) ทำการศึกษาโดยใช้ UF-RO unit เพื่อกำจัดโปลิโอไวรัส และโคลิฟาจชนิด T2 พบว่าสามารถกำจัดได้ 2 ล็อก - 5 ล็อก

Arika และคณะ (1977) พบว่าการใช้อุลตราฟิลเตรชันเมมเบรน กับน้ำเสียชุมชนสามารถลดของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) จาก 236 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ 0 มิลลิกรัม/ลิตร โดยใช้อัตราการกรองต่อหน่วยพื้นที่ (permeate flux) 25 ลิตร/ชั่วโมง/ตารางเมตร

Olesen and Haagensen (1983) พบว่าการใช้อุลตราฟิลเตรชันแบบแผ่น (plate and frame) สามารถลดของแข็งแขวนลอยจากปริมาณมากกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร ลงเหลือปริมาณน้อยกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร และลดความขุ่นจาก 30-50 เอ็นทียู เหลือ 0.2-0.5 เอ็นทียู โดยใช้ความดัน 3.1 บาร์ อัตราการกรอง 5900 ลิตร/ชั่วโมง อัตราการกรองต่อพื้นที่ 100 ลิตร/ชั่วโมง/ตารางเมตร

Jean-Michel Laine' และคณะ (1989) ได้ทดลองกรองน้ำผิวดินด้วย อุลตราฟิลเตรชัน ชนิดต่างๆ เพื่อศึกษาผลของการกำจัดความขุ่น อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) พบว่าสามารถกำจัด TOC ได้ 40 % โดยไม่ขึ้นกับขนาดช่องว่างของเมมเบรน สำหรับความขุ่นถูกกำจัดได้มากกว่า 98 %

Urase, Yamamoto and Ohgaki (1991) ศึกษาการกำจัดโคลิฟาจ αβ ออกจากน้ำเสียโดยกระบวนการกรอง 2 ชนิด คือ อุลตราฟิลเตรชันเมมเบรน และไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน พบว่าตะกอนที่เกิดบนผิวเมมเบรนมีบทบาทสำคัญในการกำจัดไวรัสออกจากระบบ

Jacangelo และคณะ (1991) ได้ทดลองใช้ Low-pressure hollow-fiber UF เพื่อกำจัด แบคทีเรียและไวรัสออกจากน้ำเพื่อให้ผ่านมาตรฐานของ Surface Water Treatment Rule (SWTR) จากผลการทดลองพบว่าผ่านมาตรฐานของ SWTR โดยลดแบคทีเรียได้ 4 ล็อก และลดไวรัสได้ 6.5 ล็อก