

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

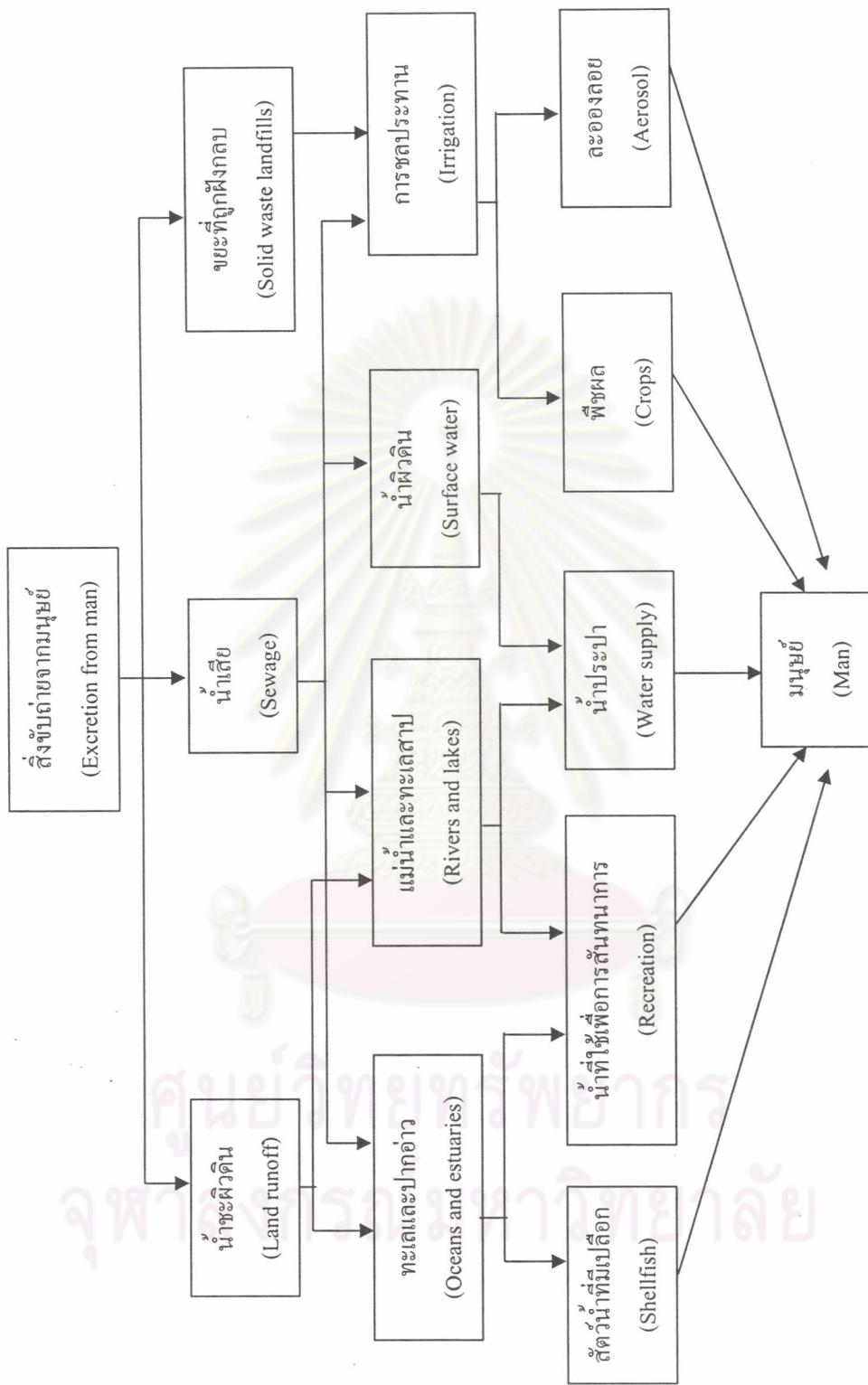
น้ำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตทั้งคน สัตว์ และพืช ในร่างกายของคนน้ำเป็นส่วนประกอบถึง 2 ใน 3 ของน้ำหนัก อย่างไรก็ตามแม้ว่าน้ำจะเป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญมากซึ่งมนุษย์ต้องอาศัยเพื่อการเจริญเติบโตของร่างกาย เพื่อการเกษตร การคมนาคม และกิจกรรมอื่นๆแต่น้ำก็เป็นสิ่งนำเชื้อโรคติดต่อหลายชนิด เช่น อหิวาตกโรค ไทฟอยด์ และบิด เป็นต้น ซึ่งทำให้มนุษย์ป่วยและตายปีละมากๆ เช่นเดียวกัน เชื้อโรคร้ายต่างๆ อาศัยน้ำเป็นสิ่งช่วยให้วงจรชีวิตสมบูรณ์และกลับมาติดต่อถึงคนได้ดังรูปที่ 2.1 การจัดหาน้ำสะอาดถูกหลักสุขอนามัยจึงยังเป็นปัญหาที่มีความสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชุมชนชนบทที่อยู่ห่างไกล ดังนั้นหากสามารถหาน้ำดื่มน้ำใช้ที่มีคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สุขภาพอนามัยของประชาชนดีขึ้น (ณรงค์, 2530)

โรคที่เกิดจากน้ำเป็นสื่อโดยทั่วไป หมายถึง โรคที่เกิดจากการนำของน้ำที่มีสิ่งเจือปนอยู่สิ่งที่เจือปนอาจเป็นเชื้อแบคทีเรีย จุลินทรีย์ชนิดที่เป็นอันตราย หรือสารเคมีเป็นพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด โรคที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นโรคเกี่ยวกับทางเดินอาหาร

ประโยชน์ของน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประการใหญ่ๆ คือ

1. ประโยชน์ส่วนบุคคล ได้แก่ ใช้ดื่ม หุงต้มอาหาร ชำระล้าง ซักฟอก ทำความสะอาด และถ่ายเทของเสีย เป็นต้น
2. ประโยชน์ต่อสาธารณะ ได้แก่ งานอุตสาหกรรมเพื่อสร้างผลผลิตและขับถ่ายของเสียงานเพื่อความสวยงาม เช่น รดน้ำต้นไม้ ทำน้ำพุ ทำสระ หรือบ่อน้ำในสวนสาธารณะ งานบรรเทาสาธารณภัย และงานกิจการประปา เป็นต้น

ความต้องการน้ำมีความแตกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่น เช่น ความต้องการน้ำของประชาชนที่อาศัยอยู่ตามชนบทอาจมีประมาณ 200-400 ลิตร หรือ 50-100 แกลลอนต่อคนต่อวัน แต่ในเมืองหลวงความต้องการจะเพิ่มขึ้นเป็น 5-10 เท่า (ณรงค์, 2530 และมันสิน, 2537)



รูปที่ 2.1 เส้นทางทางการคิดเชื้อไวรัสและแบคทีเรียกลับเข้าสู่สู่มนุษย์ (ณัฐพงษ์, 2540)

2.1 โรคที่เกิดจากน้ำเป็นสื่อ (Water-Borne Diseases) (ณรงค์, 2530)

โรคที่เกิดจากน้ำเป็นสื่ออาจทำให้ประชาชนเกิดอาการป่วยอย่างรุนแรงจนถึงแก่ความตาย ส่วนใหญ่เป็นโรคเกี่ยวกับทางเดินอาหาร ซึ่งมีอาการโดยทั่วไปคือ ท้องเดิน มีไข้ อาเจียน โรคดังกล่าวนี้สามารถแบ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคได้ ดังนี้

2.1.1 สาเหตุเนื่องจากแบคทีเรีย (Bacteria infection) ได้แก่

- โรคไข้รากสาด (Typhoid fever)
- โรคไข้รากสาดเทียม (Paratyphoid fever)
- โรคบิดชนิดบาซิลลารี (Bacillary desentery)
- โรคบิดชนิดซัลโมเนลลา (Salmonellosis)
- โรคกระเพาะอาหารและลำไส้อักเสบมีเชื้อ (Gastroenteritis)
- โรคอหิวาตกโรค (Cholera)

2.1.2 สาเหตุเนื่องจากโปรโตซัว (Protozoa infection)

- โรคบิดชนิดอมีบีส (Amoebiasis)

2.1.3 สาเหตุเนื่องจากไวรัส (Virus infection)

- โรคตับอักเสบจากเชื้อไวรัส (Infectious hepatitis)

2.1.4 สาเหตุเนื่องจากสารเคมีเป็นพิษ (Chemical poison)

- สารอาร์เซนิก (Arsenic poisoning)
- สารตะกั่ว (Lead poisoning)
- สารฟลูออไรด์ (Fluoride poisoning)
- สารสังกะสี (Zinc poisoning)
- สารซีลีเนียม (Selenium poisoning)
- สารปรอท (Mercury poisoning)

2.1.5 สาเหตุเนื่องจากพยาธิ (Helminths infection)

- โรคพยาธิไส้เดือนกลม (Ascariasis)
- โรคพยาธิใบไม้ในตับ (Opisthorchiasis)
- โรคพยาธิใบไม้ในลำไส้ (Fasciolepsiiasis)
- โรคพยาธิแส้ม้า (Trichuriasis)

ปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนน้ำเป็นผลมาจากการเพิ่มประชากร การขยายงานด้านการเกษตร และการขยายงานด้านอุตสาหกรรมที่ต้องใช้น้ำเกือบทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต จึงเกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ ปัญหาด้านปริมาณน้ำเป็นปัญหาลักษณะการขาดแคลนน้ำจัดในบางพื้นที่สำหรับการอุปโภคบริโภคของประชาชน อุตสาหกรรม และเกษตรกรรม ปัญหานี้มีการแก้ไขโดยการชลประทานและการขุดเจาะน้ำบาดาล ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาติดตามมา คือ การชลประทานมักก่อให้เกิดปัญหาแก่ผู้ใช้น้ำตอนล่างเกี่ยวกับปริมาณการใช้น้ำและขอบเขตการรับน้ำ รวมทั้งการระบายสิ่งโสโครกของลำน้ำ ส่วนการขุดเจาะน้ำบาดาลก่อให้เกิดการอัดตัวของชั้นดินและการปนเปื้อนของน้ำเค็มเนื่องจากเกิดการหนุนของน้ำเค็มและระดับความดันในชั้นน้ำบาดาลลดลง

ปัญหาด้านคุณภาพน้ำจากการกระทำของมนุษย์ก่อผลกระทบต่อระบบนิเวศของลำน้ำและทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมลง ซึ่งในกิจกรรมการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคมีข้อกำหนดด้านคุณภาพน้ำเสมอ เช่น น้ำที่ใช้ในหม้อกั้นต้องเป็นน้ำอ่อน น้ำที่ใช้ในโรงงานกระดาษเส้นใยต้องเป็นน้ำที่มีปริมาณธาตุเหล็ก และแมงกานีสอยู่น้อย และน้ำที่ใช้ในโรงงานเหล็กเส้นต้องเป็นน้ำที่มีคลอไรด์ในระดับต่ำกว่ามาตรฐานน้ำดื่ม

2.2 แหล่งของน้ำดื่มที่ใช้ (Source of water supply)

แหล่งของน้ำดื่มที่ใช้โดยทั่วไปได้แก่ แม่น้ำ ลำคลอง บึง สระ อ่างเก็บน้ำ และเขื่อน เป็นต้น น้ำผิวดินตามธรรมชาติมีสิ่งเจือปนอยู่ตั้งแต่ฝนตกลงมายังโลก ปริมาณและชนิดของสิ่งเจือปนในน้ำขึ้นอยู่กับสถานที่ที่ไหลผ่าน บริเวณลุ่มน้ำ (Watershed) แหล่งกำเนิดสิ่งสกปรก (Source of pollution) ตลอดจนการฟอกตัวเองของแหล่งน้ำ (Self purification of water) (ณรงค์, 2530 และกรมโรงงานอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

สิ่งเจือปน (Impurities) ในน้ำผิวดินแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ (มันสิน, 2537)

- สิ่งแขวนลอยในน้ำ (Suspended impurities) ได้แก่ อนุภาคดินขนาดต่างๆ เช่น แร่ธาตุ สารอินทรีย์ สาหร่าย โปรโตซัว และแบคทีเรียทั้งชนิดที่ทำให้เกิดโรคและชนิดที่ไม่ทำให้เกิดโรค (Pathogenic and non-pathogenic bacteria) สิ่งแขวนลอยเหล่านี้ทำให้น้ำมีสี กลิ่น และความขุ่น
- สิ่งละลายน้ำ (Dissolved impurities) ได้แก่ แก๊สต่างๆ เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน คลอไรด์ ไนไตรท์ และไนเตรท เป็นต้น
- สารคอลลอยด์ในน้ำ (Colloidal impurities) ได้แก่ อนุภาคที่เล็กที่สุดของซิลิกา และดิน สารอินทรีย์ที่เน่าเปื่อย กรดอินทรีย์ ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลายที่ไม่ตกตะกอน

2.3 เชื้อนลำตะคอง

เชื้อนลำตะคองเป็นเชื้อที่สร้างปิดกั้นลำตะคอง อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา เป็นเขื่อนดินสูง 40.30 เมตร สันเขื่อนยาว 521 เมตร เก็บกักน้ำได้ 310 ล้านลูกบาศก์เมตร เริ่มก่อสร้างเมื่อ พ.ศ. 2507 เสร็จสิ้นเมื่อ พ.ศ. 2512 เป็นเขื่อนที่กักเก็บน้ำเพื่อใช้ประโยชน์สำหรับการเพาะปลูก ในฤดูฝน 127,540 ไร่ และในฤดูแล้งอีก 50,000 ไร่ นอกจากนี้ยังใช้เป็นน้ำดิบเพื่อการประปาในเขต อำเภอสีคิ้ว อำเภอโนนสูง อำเภอมะขามสอ และเขตเทศบาลนครราชสีมา รวมทั้งใช้เพื่อบรรเทาปัญหาภัยแล้ง และอุทกภัยในกลุ่มน้ำลำตะคองและลุ่มน้ำมูลให้ลดน้อยลง

คุณภาพน้ำในกลุ่มน้ำลำตะคอง โดยเฉพาะลำตะคองตอนล่าง (ท้ายเขื่อนลำตะคองไปจนถึง จังหวัดนครราชสีมา) มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ มักตรวจพบปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen, DO) มีค่าต่ำมาก และมีการปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มฟีคัล โคลิฟอร์มสูงมาก โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง เนื่องจากมีการสะสมของของเสียในแหล่งน้ำจากแหล่งกำเนิดประเภท ชุมชนลงสู่แหล่งน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546 และมูลนิธิโลกสีเขียว, 2545)

ตารางที่ 2.1 คุณภาพน้ำในเขื่อนลำตะคอง (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2543-2545)

พารามิเตอร์	หน่วย	ปี 2543	ปี 2544	ปี 2545
พีเอช	-	7.0-8.5	7.5-8.5	7.50-8.5
ความกระด้าง	มก./ล.	114.0-177.0	85-220	72-169
ออกซิเจนละลาย	มก./ล.	3.9-6.7	1.54-7.90	4.03-8.17
บีโอดี	มก./ล.	0.7-3.0	1.1-6.0	0.4-5.8
ไนเตรต-ไนโตรเจน	มก./ล.	0.4-3.7	0.25-1.40	0.05-2.80
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	มก./ล.	0.05-0.90	0.10-0.80	0.09-3.40
ทีเคเอ็น (TKN)	มก./ล.	0.5-4.3	0.70-2.15	0.28-1.87
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./ล.	0.02-1.30	0.01-0.90	0.01-2.10
อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด	มก./ล.	0.03-0.27	0.05-0.70	-
สภาพด่าง (Alkalinity & CaCO ₃)	มก./ล.	123.5-142.5	110.50-246.5	19-280
แมงกานีส	มก./ล.	0.024-0.420	0.004-0.244	0.002-0.750
ทองแดง	มก./ล.	0.019-0.145	0.002-0.081	0.003-0.080
สังกะสี	มก./ล.	0.002-0.031	0.002-0.033	0.001-0.038
ตะกั่ว	มก./ล.	0.001-0.01	0.01-0.037	0.001-0.025
โครเมียม (Cr ⁶⁺)	มก./ล.	0.001	0.001-0.02	-
แคดเมียม	มก./ล.	0-0.005	-	-
แคลเซียม	มก./ล.	31.75-41.82	25.93-74.49	29.24-73.2
แมกนีเซียม	มก./ล.	4.87-6.67	5.55-23.90	3.64-17.86
โพแทสเซียม	มก./ล.	2.17-4.00	0.75-6.13	0.06-4.16
โซเดียม	มก./ล.	8.99-18.20	5.00-33.13	0.17-22.81
ซิลิคอน	มก./ล.	6.67-9.50	0.14-7.78	4.97-9.25
เหล็ก	มก./ล.	-	0.025-5.45	0.02-8.04
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	เอ็มพีเอ็น/100 มล.	4-16,000	4-16,000	4-16,000

จากตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ที่เกินมาตรฐานน้ำดื่ม (ภาคผนวก ค) คือ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆ ในมาตรฐานน้ำดื่มที่ไม่มีข้อมูลได้แก่ คลอไรด์ ซัลเฟต ฟลูออไรด์ แมงกานีส

เซลิเนียม ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids, TS) ซีโอดี โปรท สารหนู อี.โคไล (*E.coli*) และ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย

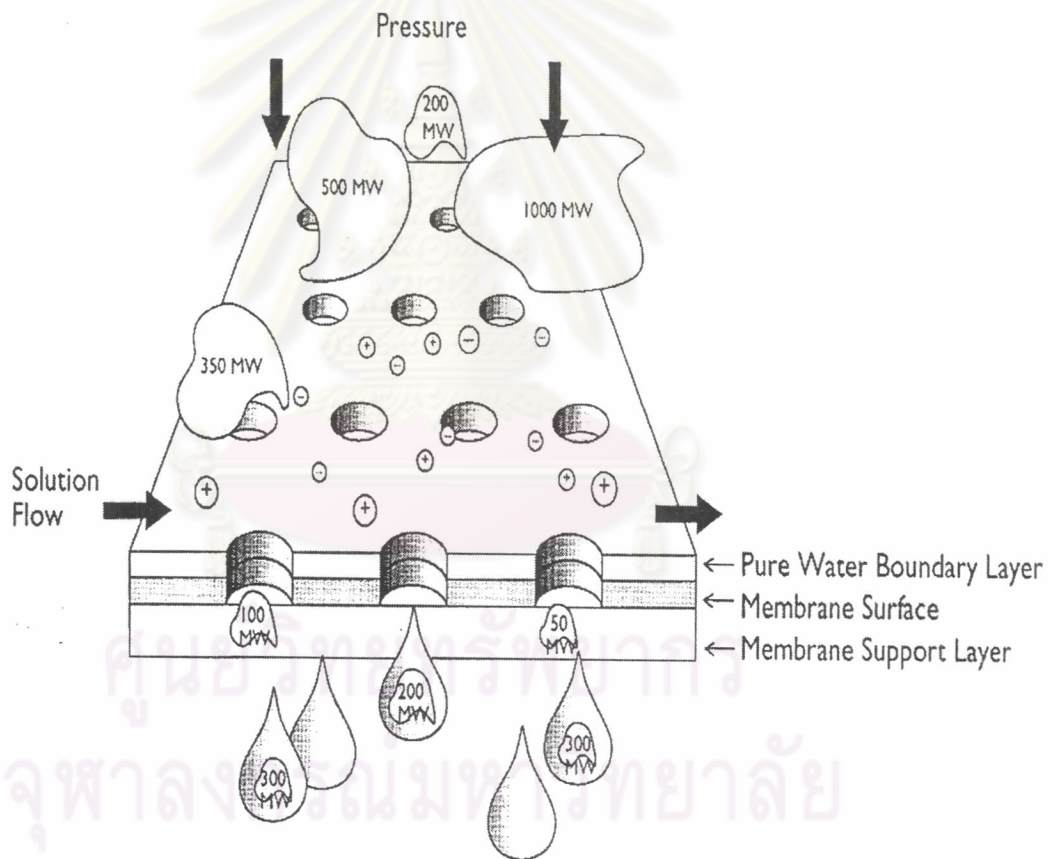
ดังนั้นการนำน้ำดิบจากเขื่อนลำตะคองมาผลิตน้ำประปา จึงต้องผ่านขั้นตอนต่างๆ ตามกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยทั่วไปดังนี้ คือ ในเบื้องต้นมีการกำจัดมูลฝอย กุ้งพลาสติกและเศษวัสดุอื่นๆ ด้วยตะแกรงหยาบ และตะแกรงละเอียดคอกจากน้ำดิบ จากนั้นใช้สารเคมีในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้สอดคล้องกับคุณภาพน้ำดิบในแต่ละฤดูกาล สารเคมีทำให้เกิดการตกตะกอนของสารแขวนลอย สารเคมีที่ใช้ คือ สารส้ม ช่วยทำให้สารแขวนลอยในน้ำดิบสามารถเกิดตะกอนได้ดีและเร็ว ปูนขาวช่วยปรับสภาพน้ำดิบให้มีความเป็นด่างที่เหมาะสมช่วยให้สารส้มทำปฏิกิริยาดีขึ้น พอลิเมอร์ช่วยเร่งให้สารแขวนลอยตกตะกอนได้อย่างสม่ำเสมอ น้ำดิบที่ผสมสารเคมีแล้วส่งเข้าชุดตกตะกอน ตะกอนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีตกลงสู่ก้นถัง ส่วนน้ำใสไหลไปยังถังกรองน้ำเพื่อกรองเอาตะกอนที่ไม่สามารถตกตะกอนได้หมด น้ำที่ผ่านการกรองแล้วมีการควบคุมความขุ่นไม่เกิน 1 หน่วยเอ็นทียู สำหรับสารกรองที่ใช้มี 2 ชนิด คือ ทรายกรองและถ่านกรองแอนทราไซส มีการเติมคลอรีนซึ่งเป็นสารฆ่าเชื้อโรคที่มีประสิทธิภาพสูงลงในน้ำที่ผ่านการกรองแล้ว เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำประปาสะอาดปราศจากเชื้อโรค สามารถใช้อุปโภค บริโภคได้อย่างปลอดภัย (มันส์ 2537)

2.4 กระบวนการเมมเบรน (Membrane process)

กระบวนการเมมเบรนเป็นกระบวนการที่ใช้เมมเบรนเพื่อแยกสาร หรือเพิ่มความเข้มข้นของสารให้บริสุทธิ์ขึ้น หลักการสำคัญของกระบวนการเมมเบรนคือ แรงขับเคลื่อนที่สามารถทำของผสมหรือสารละลายไหลผ่านเมมเบรนและเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น ผลต่างของความดัน เมมเบรนที่ใช้อาจเป็นของแข็งหรือของเหลวแต่ต้องมีสมบัติในการเลือกสารใดสารหนึ่งมากกว่าสารอื่น (Semi-permeable/permeable) การเลือกผ่านสารเป็นผลมาจากการสร้างทางเคมีหรือทางกายภาพของเมมเบรน ผลจากขนาดรูพรุน หรือผลจากการมีประจุเมมเบรน เป็นต้น (จันทอง, 2545 และรัตนา, 2543)

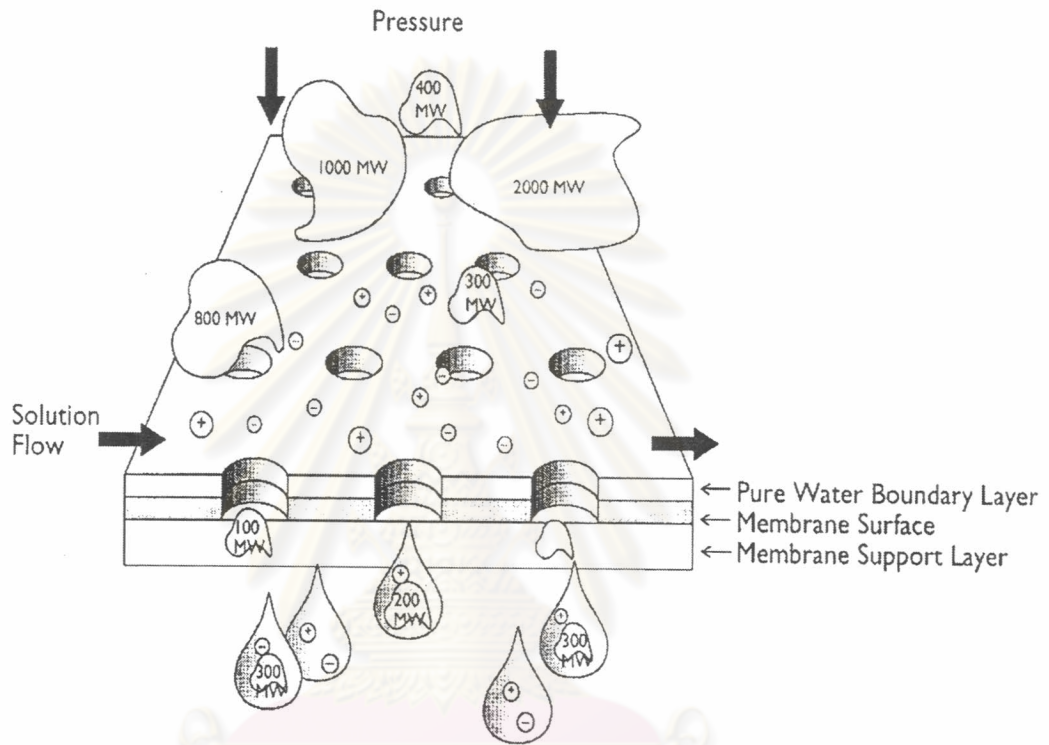
2.4.1 กระบวนการเมมเบรนที่ใช้เพื่อการบำบัดน้ำดื่ม (รัตนา, 2543 ณ์ฐพงศ์, 2540 และ Wegner, 2001)

1. ออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis, RO) เป็นกระบวนการที่ใช้เมมเบรนในการแยกน้ำออกจากสารโมเลกุลเล็กที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่เกิน 500 (เช่น เกลือ น้ำตาล) โดยการป้อนสารละลายภายใต้ความดันสูง ซึ่งต้องมีค่ามากกว่าความดันออสโมติก (Osmotic pressure) ของสารละลาย น้ำบริสุทธิ์จึงไหลผ่านเมมเบรนไปได้ โดยทิ้งเกลือและตัวถูกละลายต่างๆ เอาไว้ ดังรูปที่ 2.2 หลักการทำงานของออสโมซิสผันกลับจะตรงข้ามกับกระบวนการออสโมซิส (Osmosis) โดยใช้ความดันสูงถึง 15-150 บาร์ (bar) มักใช้ในการผลิตน้ำที่ต้องการความบริสุทธิ์สูง



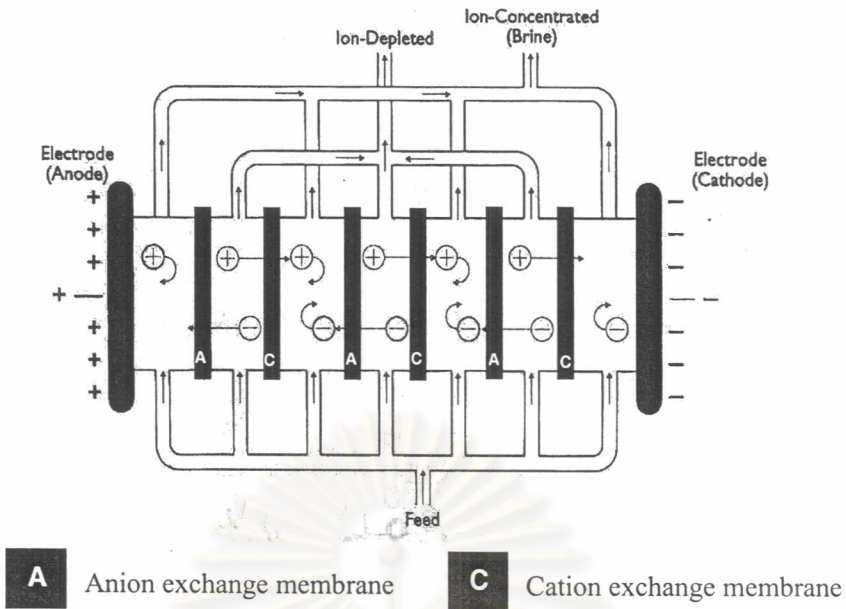
รูปที่ 2.2 กระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Osmonics™, 1997)

2. นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration, NF) เป็นกระบวนการที่ใกล้เคียงกับออสโมซิสผกกลับ ใช้ในการแยกสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 1000 เช่น น้ำตาล และสารอินทรีย์น้ำหนักโมเลกุลต่ำดังรูปที่ 2.3 ความดันที่ใช้อยู่ในช่วง 5-35 บาร์ ความสามารถในการกักกันเกลือประจุเดี่ยวต่ำกว่าเมมเบรนออสโมซิสผกกลับ คือ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 40-80



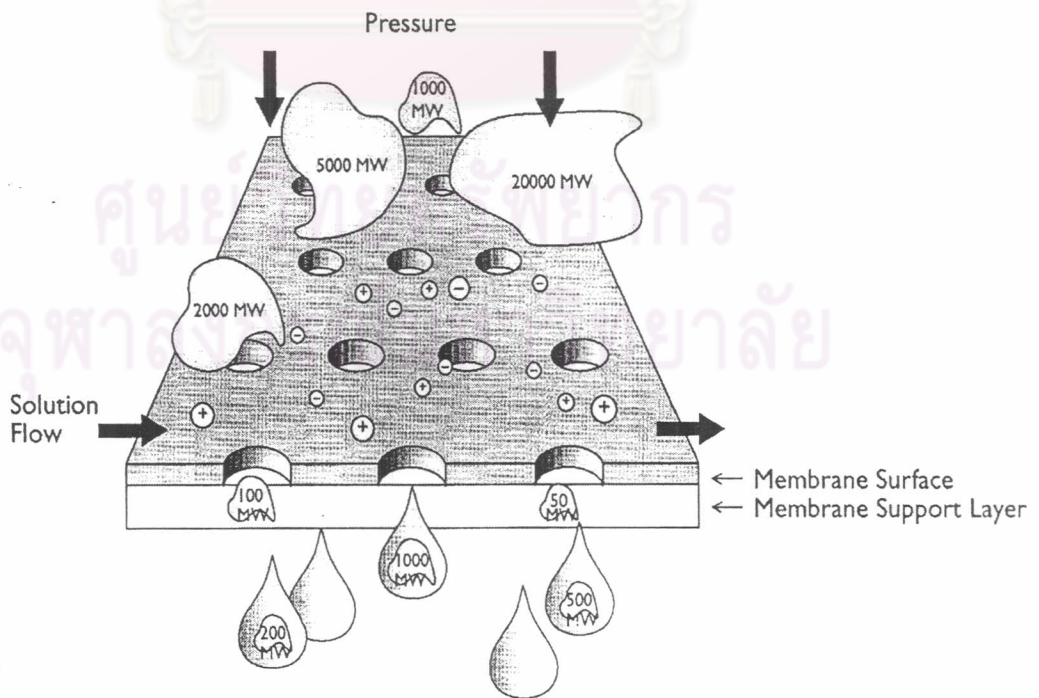
รูปที่ 2.3 กระบวนการนาโนฟิลเตรชัน (Osmonics™, 1997)

3. อิเล็กโทรไดอะลิซิส (Electrodialysis, ED) เป็นกระบวนการแยกทางไฟฟ้า-เคมี มักใช้ในการแยกเกลือจากน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลเพื่อผลิตน้ำดื่ม เมมเบรนที่ใช้เป็นเมมเบรนแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange membrane) และเมมเบรนแลกเปลี่ยนแอนไอออน (Anion exchange membrane) ที่ต่ออนุกรมกันอยู่ระหว่างแอโนดและขั้วแคโทดดังรูปที่ 2.4 ความต่างศักย์ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเป็นแรงขับเคลื่อนร่วมกับการเลือกผ่านไอออนของเมมเบรนทำให้เกิดการแยก ได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของไอออนสูงและสารละลายเจือจาง



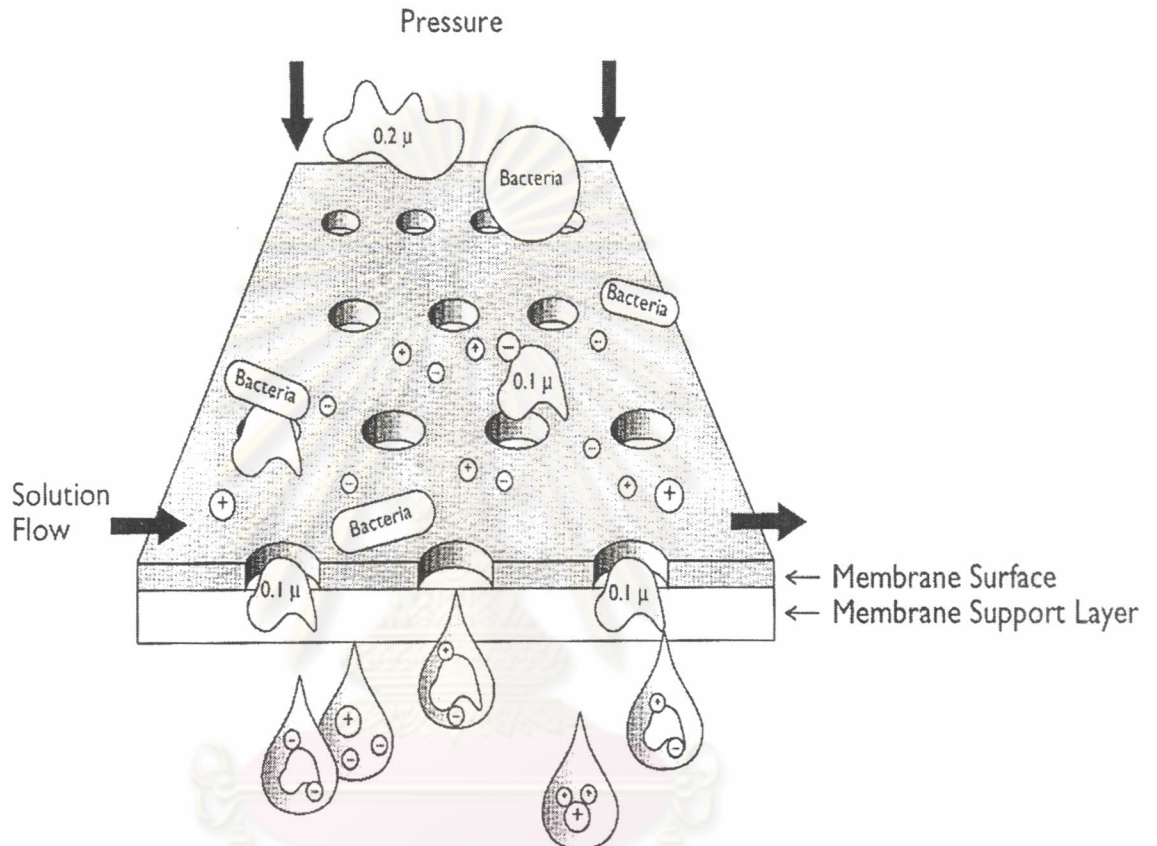
รูปที่ 2.4 กระบวนการอิเล็กโทรไดอะลิซิส (Osmonics™, 1997)

4. อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration, UF) เป็นกระบวนการที่ใช้เมมเบรนแบบที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (Microporous) ประมาณ 10 อังสตรอม– 0.1 ไมโครเมตร หรือเมมเบรนแบบไม่สมมาตรที่มีชั้นผิวหนาประมาณ 0.1-2 ไมโครเมตร สำหรับแยกสารโมเลกุลใหญ่และคอลลอยด์ออกจากน้ำ ดังรูปที่ 2.5 แรงขับเคลื่อนที่ใช้ในการแยกต่ำกว่าออสโมซิสผันกลับ คือ 1-10 บาร์



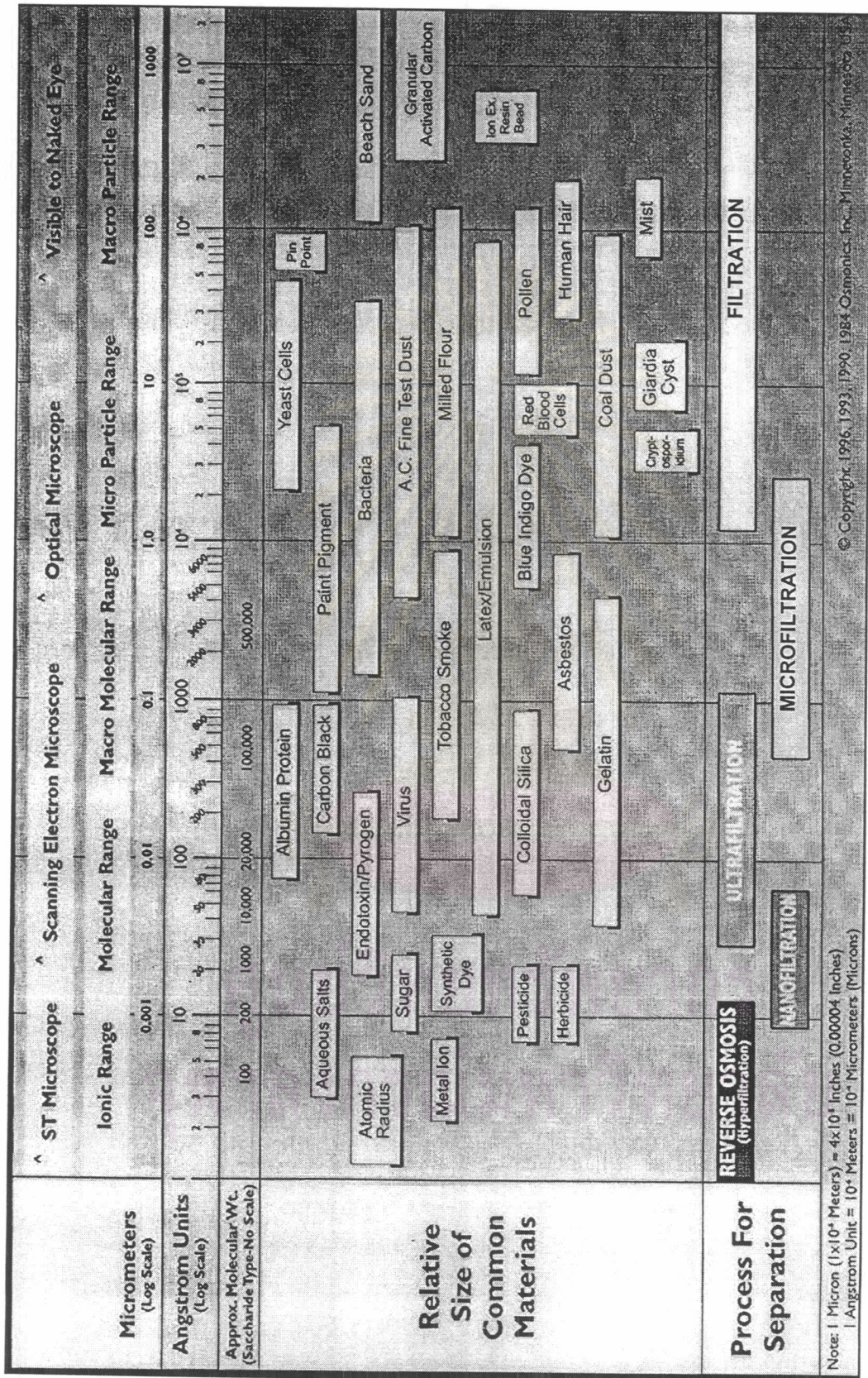
รูปที่ 2.5 กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน (Osmonics™, 1997)

5. ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration, MF) เป็นกระบวนการที่ใช้เมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดค่อนข้างใหญ่ ประมาณ 0.1-10 ไมโครเมตร มักใช้ในการแยกสาร โมเลกุลใหญ่ สารแขวนลอย และอนุภาคขนาดเล็กๆ ออกจากน้ำ ดังรูปที่ 2.6 ความดันที่ใช้ในการแยกต่ำกว่าอัลตราฟิลเตรชันคือน้อยกว่า 2 บาร์



รูปที่ 2.6 กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน (Osmonics™, 1997)

กระบวนการเมมเบรนที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการแยกสารที่มีโมเลกุลและอนุภาคขนาดต่างๆ กันได้ ดังรูปที่ 2.7



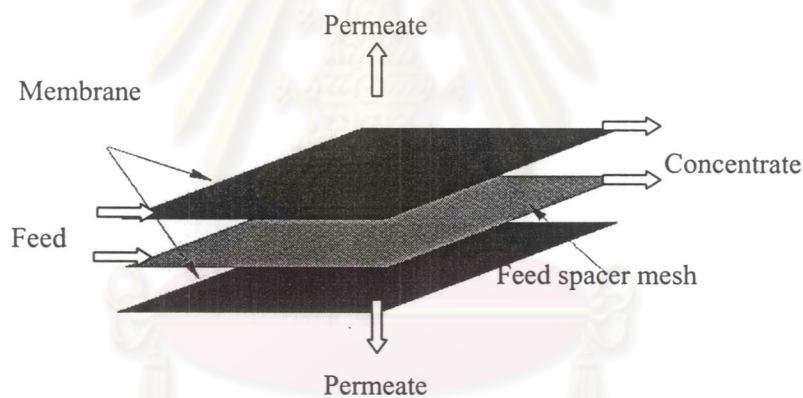
รูปที่ 2.7 Filtration spectrum ของเมมเบรน (OsmonicsTM, 1997)

2.4.2 โมดูลเมมเบรน (Membrane module) (รัตนา, 2543 และ มั่นสิน, 2537)

เมมเบรนที่ผลิตขึ้นอาจมีรูปร่างแตกต่างกัน ในการใช้งานต้องบรรจุหรือประกอบเมมเบรนให้มีพื้นที่การใช้งานตามต้องการ ซึ่งเรียกว่า โมดูล (Module) โมดูลมีรูปร่างต่างๆ กัน โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 แบบ คือ

1. แบบแผ่นและกรอบ (Plate and frame module)

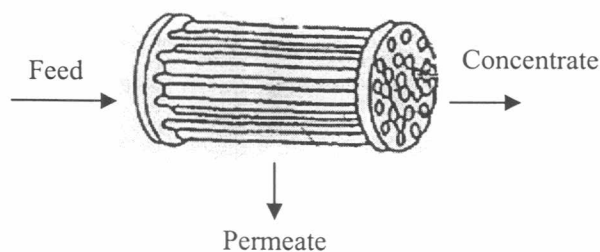
เทคนิคนี้เป็นการจัดวางเมมเบรนแบบง่ายที่สุด โมดูลมีลักษณะการทำงานคล้าย Filter press แผ่นเมมเบรนวางอยู่บนแผ่นรองรับที่มีรูพรุน (Porous plate) หรือแผ่นรองรับที่มีร่องให้น้ำไหลออกได้ เมมเบรนและแผ่นรองรับวางเรียงซ้อนสลับกันเป็นชั้นๆ ในแนวตั้ง และมีอุปกรณ์อื่นๆ ประกอบ ดังรูปที่ 2.8 เพื่อกำหนดทิศทางการไหลของน้ำให้ซึมผ่านเมมเบรนและแผ่นรองรับก่อนไหลออกจากโมดูล



รูปที่ 2.8 โมดูลแบบแผ่นและกรอบ (จันทอง, 2545)

2. แบบท่อ (Tubular module)

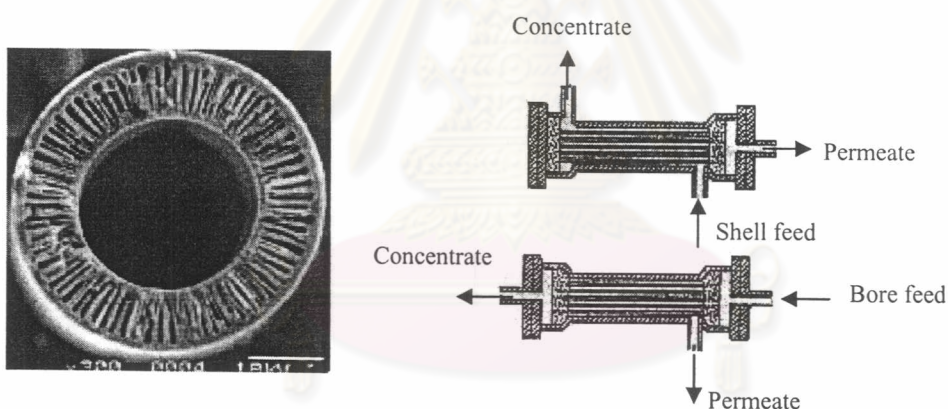
เทคนิคนี้เป็นการม้วนเมมเบรนให้เป็นหลอดหรือเป็นท่อขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5-12 มิลลิเมตร และยึดติดไว้ภายในท่ออีกอันหนึ่งที่ทำด้วยสแตนเลสหรือไฟเบอร์กลาส ดังรูปที่ 2.9 และทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรองรับแผ่นเมมเบรนไม่ให้ฉีกขาดระหว่างการใช้งานและใช้เป็นทางออกของน้ำสะอาด น้ำดิบสูบเข้าไปในท่อด้วยความดัน แรงดันของน้ำทำให้น้ำสามารถซึมผ่านเมมเบรนและท่อรองรับออกมาได้



รูปที่ 2.9 โมดูลแบบท่อ (ฉัตรพงษ์, 2540)

3. แบบเส้นใยกลวง (Hollow fiber module)

เมมเบรนแบบเส้นใยกลวงเป็นเมมเบรนที่ผลิตขึ้นโดยใช้เทคนิค Spinning ทำให้ได้เมมเบรนลักษณะเป็นเส้นใยที่มีรูกลวงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเพียง 0.1-0.5 มิลลิเมตร ในการใช้งานนำเส้นใยกลวงเหล่านี้มารวมกันเป็นมัดๆ (Bundles) บรรจุในโมดูลรูปทรงกระบอกปลายทั้งสองด้านของเส้นใยฝังติดอยู่กับโมดูล ดังรูปที่ 2.10

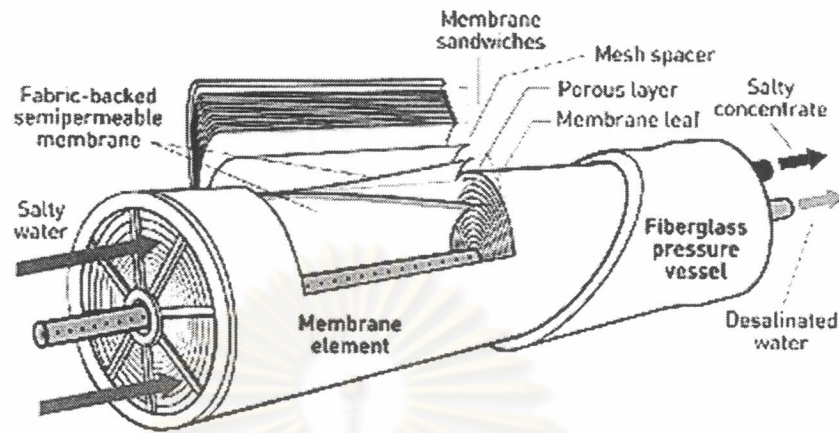


รูปที่ 2.10 เมมเบรนแบบเส้นใยกลวงและโมดูลแบบเส้นใยกลวง (Qin และคณะ, 2001 และชันทอง, 2545)

4. แบบท่อม้วน (Spiral wound module)

โมดูลแบบนี้ประกอบด้วยเมมเบรนสองแผ่นประกบกัน โดยมีแผ่นวัสดุเนื้อพรุนสอดอยู่ตรงกลางระหว่างเมมเบรนทั้งคู่ จากนั้นนำเมมเบรนและแผ่นวัสดุเนื้อพรุนมาม้วนพันรอบท่อเจาะรู โดยมีแผ่นตะแกรงคลุมปิดอยู่ด้านนอก ดังรูปที่ 2.11 ขอบของแผ่นเมมเบรนทั้งสามด้านถูกไว้ด้วยกาว ขอบที่เหลือปล่อยให้เปิดไว้ตามปกติและยึดติดอยู่กับท่อเจาะรู ซึ่งทำให้น้ำมีทิศทางการไหลไปยังท่อเจาะรูเสมอ น้ำดิบไหลเข้าไปตามแผ่นตะแกรงด้วยแรงดันและซึมผ่าน

เมมเบรนออกไปตามแนวรัศมีของโมดูล ความแตกต่างของโมดูลเมมเบรนทั้ง 4 แบบ แสดงดังตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.11 โมดูลแบบท่อม้วน (Osmonics™, 1997)

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของโมดูลเมมเบรนแบบต่างๆ (รัตนา, 2543)

ข้อมูล	แบบแผ่นและกรอบ	แบบท่อ	แบบเส้นใยกลวง	แบบท่อม้วน
พื้นที่ / ปริมาตร (ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร)	100-400	150-300	9,000-30,000	300-1,000
ฟลักซ์ (ลิตร/ตารางเมตร/ชั่วโมง)	10-50	10-50	0.5-5.0	10-50
การเกิดฟาวลิง (Fouling)	ปานกลาง	ต่ำ	สูง	ปานกลาง
การทำความสะอาด	ปานกลาง	ง่าย	ยาก	ปานกลาง
ราคา	ปานกลาง	สูง	ต่ำ	ต่ำ

2.5 วัสดุสำหรับผลิตเมมเบรน (Membrane materials) (รัตนา, 2543 และ Amjad, 1993)

เมมเบรนที่ดีต้องมีลักษณะสมบัติที่สำคัญ คือ

1. ให้ฟลักซ์สูง
2. สามารถกักกันตัวถูกละลายได้ดี
3. ทนต่อคลอรีน ตัวทำละลาย และตัวออกซิไดซ์ได้ดี
4. ด้านทานการเจริญของจุลินทรีย์

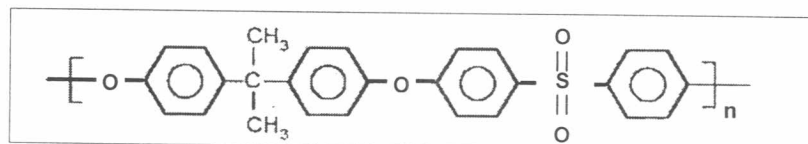
5. ด้านทานการเกิดฟาวลิง
6. ราคาถูก
7. สามารถขึ้นรูปเป็นแบบแผ่น และแบบเส้นใยถ่วงได้ง่าย
8. ทนต่อแรงทางกล เช่น ความดันได้ดี
9. มีเสถียรภาพทางเคมี
10. สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูง

เมมเบรนที่ใช้งานกันอยู่ส่วนใหญ่ผลิตจากวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์พอลิเมอร์ พอลิเมอร์โดยทั่วไปอาจสามารถนำมาผลิตเป็นเมมเบรนได้เกือบทั้งหมด แต่เนื่องจากสมบัติทางกายภาพและเคมีที่มีความแตกต่างกันมาก ในทางปฏิบัติจึงมีพอลิเมอร์จำนวนจำกัดที่สามารถนำมาผลิตเป็นเมมเบรนที่ดีได้

2.5.1 เมมเบรนพอลิซัลโฟน (Polysulfone membrane)

พอลิซัลโฟนมีสูตรทั่วไป คือ $(C_{27}H_{22}O_4S)_n$ และมีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.12 หน่วยซ้ำในโครงสร้างของพอลิซัลโฟนประกอบด้วยหมู่เอเทอร์ 2 หมู่ หมู่เมทิลอิสระ 2 หมู่ และมีวงแหวนเบนซีน 4 หมู่ พอลิซัลโฟนมีความแข็งแรงสูง และทนต่อความร้อนได้ดี มีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสูง (T_g) ประมาณ 190 องศาเซลเซียส นิยมนำมาใช้ในการผลิตเป็นแผ่นฟิล์มและแผ่นพลาสติก (เจริญ, 2545)

เมมเบรนพอลิซัลโฟนเป็นเมมเบรนชนิดไม่ชอบน้ำ มีเสถียรภาพสูงทั้งด้านเคมีและชีวภาพ ทนต่อความร้อนและแรงทางกลได้ดี สามารถใช้งานได้ในช่วงพีเอชกว้าง และมีความยืดหยุ่นที่ดีเยี่ยม นอกจากนี้สมรรถนะของเมมเบรนพอลิซัลโฟนยังมีความแตกต่างกันไปตามหมู่ฟังก์ชันและสารเติมแต่งที่เติมลงไป ส่งผลให้เมมเบรนมีสมบัติชอบน้ำมากยิ่งขึ้น (Rucka และคณะ, 1996 และรัตน์า, 2543)



รูปที่ 2.12 สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิซัลโฟน (Higuchi และคณะ, 1992)

2.5.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพอลิเมอร์ (รัตนนา, 2543)

พอลิเมอร์เป็นสาร โมเลกุลใหญ่ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และประกอบด้วยหน่วยย่อยๆ ที่เรียกว่า โมโนเมอร์ (Monomer) มาต่อกันเป็นสายโซ่ยาว ดังนั้นน้ำหนักโมเลกุลจึงขึ้นอยู่กับจำนวนหน่วยในสายโซ่ และน้ำหนักโมเลกุลของหน่วยย่อย การจัดเรียงตัวของสายโซ่อาจเป็นแบบสายตรง มีกิ่งก้าน หรือมีการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่ (Crosslink) การจัดเรียงตัวแบบต่างๆ มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ ทั้งสมบัติทางกายภาพ ทางกล และทางความร้อน

2.5.3 สถานะของพอลิเมอร์ (State of polymers) (เสาวรจน์, 2545 และรัตนนา, 2543)

สถานะของพอลิเมอร์มีความสำคัญอย่างมากต่อสมบัติทางกล ทางความร้อน และการซึมผ่านของสารในเมมเบรน สถานะของพอลิเมอร์หมายถึง เฟสที่พอลิเมอร์นั้นปรากฏหรือเป็นอยู่ เนื่องจากพอลิเมอร์เป็นสาร โมเลกุลใหญ่ สถานะของพอลิเมอร์จึงมีความซับซ้อนกว่าสาร โมเลกุลเล็กโดยทั่วไป

เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างสามารถแบ่งชนิดของพอลิเมอร์เป็น 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์ที่เป็นผลึก (Crystalline) กับพอลิเมอร์อสัณฐาน (Amorphous) พอลิเมอร์ที่เป็นผลึก คือ พอลิเมอร์ที่มีการจัดเรียงตัวของสายโซ่อย่างเป็นระเบียบ อย่างไรก็ตามความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ต่างจากความ เป็นผลึกในสารประกอบอื่นๆ เช่น เกลือ โซเดียมคลอไรด์ เพราะพอลิเมอร์ส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นผลึกแบบไม่สมบูรณ์ กล่าวคือ อาจมีความเป็นผลึกในช่วงแคบๆ และมีส่วนอสัณฐานปนอยู่ เช่น Polyethylene, Polypropylene และ Polyesters เป็นต้น สำหรับพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างอสัณฐาน เช่น Polydimethylsiloxane และ Atactic polystyrene

เมื่อพอลิเมอร์อสัณฐานได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงถึงค่าหนึ่ง สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสถานะคล้ายแก้ว (Glassy state) ไปเป็นสถานะยืดหยุ่น (Rubbery state) อุณหภูมิ ดังกล่าวคือ อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) เมื่อพอลิเมอร์อยู่ในสถานะคล้ายแก้วสายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนไหวได้อย่างจำกัด คือ ไม่สามารถหมุนรอบแกนของสายโซ่หลักได้อย่างอิสระ ซึ่งมีผลทำให้สภาพการซึมผ่านสารในเมมเบรนที่ผลิตจากพอลิเมอร์นั้นๆ มีค่าต่ำลง อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิมิค่าเท่ากับหรือสูงกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว พอลิเมอร์มีพลังงานเพียงพอที่เอาชนะความแข็งแรงของพันธะได้ สายโซ่พอลิเมอร์จึงเคลื่อนไหวได้มากขึ้น ส่งผลให้ปริมาตรหรือช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงจากสถานะคล้ายแก้วไปเป็นสถานะยืดหยุ่น คือ มีการ

เปลี่ยนแปลงของความร้อนจำเพาะ ครรชนีหักเห และการซึมผ่านของสารพอลิเมอร์ที่มีค่าอุณหภูมิ การเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสูงมีความคงทนต่อความร้อนและสารเคมีได้ดี เพราะการเคลื่อนไหว ของสายโซ่พอลิเมอร์ต่ำ และมีแรงกระทำระหว่างสายโซ่แข็งแรง

ดังนั้นการที่พอลิเมอร์ออสถฐานอยู่ในสถานะคล้ายแก้วหรือสถานะยืดหยุ่นจึงขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิที่ใช้งานว่าสูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ตัวอย่างอุณหภูมิ การเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์บางชนิดที่นิยมนำมาผลิตเมมเบรนแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์ (รัตนา, 2543)

พอลิเมอร์	ชื่อย่อ	T _g (°C)	พอลิเมอร์	ชื่อย่อ	T _g (°C)
Polydimethylsiloxane	PDMS	-123	Polyvinyl alcohol	PVA	85
Polyethylene	PE	-120	Polyvinyl chloride	PVC	87
Natural rubber	NR	-72	Polystyrene	PS	100
Polyvinylidene fluoride	PVDF	-40	Polyacrylonitrile	PAN	120
Polymethylacrylate	PMA	10	Polytetrafluoroethylene	PTFE	126
Nylon 6	-	50	Polycarbonate	PC	150
Cellulose nitrate	CN	53	Polysulfone	PSf	190
Cellulose diacetate	CA	80	Polyethersulfone	PES	230

2.6 การแบ่งชนิดของเมมเบรน (รัตนา, 2543 และปิยะธร, 2543)

การแบ่งชนิดของเมมเบรนที่ทำให้เห็นความแตกต่างทางกายภาพและการใช้งานของ เมมเบรนได้อย่างชัดเจน คือ การแบ่งชนิดตามโครงสร้าง และกลไกในการแยก โดยสามารถแบ่งได้ เป็น 4 ประเภท คือ เมมเบรนแบบแน่น (Dense membrane) เมมเบรนรูพรุน (Porous membrane) เมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออน (Ion-exchange membrane) และเมมเบรนสมมาตร/ไม่สมมาตร (Symmetric/asymmetric membrane)

2.6.1 เมมเบรนแบบแน่น

คือ เมมเบรนที่มีความหนาแน่นของเนื้อพอลิเมอร์สูง และมีช่องว่างในเนื้อพอลิเมอร์อยู่น้อย (น้อยกว่าร้อยละ 40) หรือมีช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ขนาดเล็กกว่า 5 นาโนเมตร (50 อังสตรอม) ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน การซึมผ่านของสารอาศัยการถ่ายโอน โดยการแพร่ภายใต้แรงขับเคลื่อนจากความดัน ความเข้มข้น หรือความแตกต่างศักย์ทางไฟฟ้า การแยกสารละลายที่มีหลายองค์ประกอบมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการถ่ายโอนที่เกิดขึ้นในเมมเบรน ซึ่งอธิบายได้ด้วยค่าสภาพแพร่ได้และสภาพละลายได้ของวัสดุที่ผลิตเมมเบรน สมบัติที่สำคัญของเมมเบรนแบบแน่น คือ การแยกของสารที่มีขนาดเท่ากัน อาจเกิดจากสภาพการละลายของสารในวัสดุที่นำมาผลิตเมมเบรนได้แตกต่างกัน เมมเบรนแบบแน่นนี้นำมาใช้ในกระบวนการออสโมซิสผันกลับและนาโนฟิลเตรชัน และมักมีโครงสร้างเป็นแบบไม่สมมาตร เพื่อให้ฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้น

2.6.2 เมมเบรนรูพรุน

คือ เมมเบรนมีโครงสร้างเป็นรูพรุน และทำหน้าที่เหมือนกับการกรองโดยปกติทั่วไป ความหมายของคำว่ารูพรุน ตามคำจำกัดความของ IUPAC (International Union of Pure Applied Chemistry) ได้แบ่งขนาดรูพรุนออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

ขนาดใหญ่ : ขนาดรูพรุน > 50 นาโนเมตร

ขนาดกลาง : 2 นาโนเมตร < ขนาดรูพรุน < 50 นาโนเมตร

ขนาดเล็ก : ขนาดรูพรุน < 2 นาโนเมตร

อนุภาคทั้งหมดที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนถูกกันออกไปทั้งหมด แต่อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนสามารถผ่านออกไปได้เพียงบางส่วน อย่างไรก็ตามอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนที่เล็กที่สุดสามารถผ่านทะลุเมมเบรนชนิดนี้ได้ ดังนั้นการแยกตัวถูกละลายด้วยเมมเบรนรูพรุน จึงเกิดจากกลไกการคัดขนาดของโมเลกุล และการกระจายขนาดรูพรุนของเมมเบรน

2.6.3 เมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออน

เมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออน คือ เมมเบรนที่ผลิตจากพอลิเมอร์ที่มีประจุ มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกหรือไอออนลบ สามารถเป็นได้ทั้งเมมเบรนแบบแน่นหรือแบบ

รูปพรุน แต่ส่วนใหญ่เป็นแบบรูปพรุน ที่ผนังของรูปพรุนมีประจุของไอออนบวกหรือลบยึดติดอยู่กับหลักการทำงานของเมมเบรน คือ การกีดกันไอออนที่มีประจุชนิดเดียวกับประจุที่ติดอยู่กับเมมเบรนออกไป การแยกที่เกิดขึ้นมีผลมาจากประจุ และความเข้มข้นของไอออน เมมเบรนประจุไฟฟ้ามักนำมาใช้ในการแยกสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ในกระบวนการอิเล็กโทรไดแอไลซิส

2.6.4 เมมเบรนสมมาตร/ไม่สมมาตร

เมมเบรนสมมาตร คือ เมมเบรนที่มีโครงสร้างสม่ำเสมอหรือเหมือนกันตลอดชั้นความหนา ส่วนเมมเบรนแบบไม่สมมาตร คือ เมมเบรนที่มีชั้นผิวเนื้อแน่นกว่าชั้นล่าง ชั้นผิวทำหน้าที่ในการกักกันสาร ส่วนโครงสร้างชั้นล่างทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงให้แก่เมมเบรน

เมมเบรนแบบไม่สมมาตรสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ 1. เมมเบรนที่มีชั้นผิว (Skinned membrane) โดยที่ชั้นผิวและชั้นล่างเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน และ 2. เมมเบรนเชิงประกอบ (Composite membrane) เป็นเมมเบรนที่มีชั้นผิวกับชั้นล่างเป็นวัสดุต่างชนิดกัน

2.7 วิธีการผลิตเมมเบรนจากพอลิเมอร์

2.7.1 วิธีการเปลี่ยนเฟส (Phase inversion method) (Muldel, 1990 และรัตนนา, 2543)

เป็นวิธีการที่ใช้กันมากที่สุดในการผลิตเมมเบรนทางการค้า การเปลี่ยนเฟส คือ การทำให้สารละลายพอลิเมอร์ (Casting dope) ที่มีส่วนประกอบต่างๆ เปลี่ยนจากสารละลายเนื้อเดียว (Homogeneous) ไปเป็นสารละลายเนื้อผสม ทำให้เกิดชั้นผิวและรูปพรุนภายในเมมเบรน

สารละลายสำหรับผลิตเมมเบรนโดยทั่วไปประกอบด้วย พอลิเมอร์ ตัวทำละลาย และสารพองตัว (Swelling agent) ปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ เปลี่ยนแปลงได้ซึ่งมีผลต่อสมบัติของเมมเบรน นอกจากนี้สภาวะในการทำให้เกิดการเปลี่ยนเฟส หรือสภาวะในการขึ้นรูปเมมเบรน เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ก็มีความสำคัญเช่นกัน

ขั้นตอนในการขึ้นรูปเมมเบรนคือ ผสมสารละลายพอลิเมอร์ตามอัตราส่วนที่ต้องการ และอาจต้องปล่อยให้สารละลายทิ้งไว้ที่อุณหภูมิคงที่ ช่วงเวลานี้ คือ เวลาปรับตัว (Maturation time) ตัวทำละลายแทรกซึมเข้าไปละลายพอลิเมอร์ และในบางกรณีอาจทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สั้นลง การกวนช่วยให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันและช่วยให้พอลิเมอร์ละลายง่ายขึ้น นำสารละลาย

พอลิเมอร์มาขึ้นรูปบนแผ่นกระจกหรือบนชั้นรองรับ การขึ้นรูปควรทำในบรรยากาศที่มีการควบคุม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

การผลิตเมมเบรนโดยวิธีการเปลี่ยนเฟส สามารถแบ่งออกเป็นแบบเปียก (Wet process) และแบบแห้ง (Dry process) โดยกระบวนการแบบเปียกมีการระเหยตัวทำละลายบางส่วนออกจากฟิล์มบาง (Film) ของสารละลายพอลิเมอร์แล้วทำให้แข็งตัว (Coagulation) ในตัวไม่ละลาย ทำให้ได้เมมเบรนแบบไม่สมมาตร ส่วนในกระบวนการแบบแห้งมีการระเหยตัวทำละลายทั้งหมดซึ่งอาจใช้เวลานาน เมมเบรนที่ผลิตโดยกระบวนการแบบแห้งมีโครงสร้างแน่น สมมาตร และให้ฟลักซ์ (Flux) ต่ำ

2.7.2 วิธีการผลิตเมมเบรนด้วยวิธีอื่นๆ

การผลิตเมมเบรนจากพอลิเมอร์โดยวิธีการเปลี่ยนเฟสอาจมีข้อจำกัด เช่น พอลิเมอร์บางชนิดมีความคงตัวสูงไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ ทำให้มีความจำเป็นต้องใช้วิธีอื่นๆ ได้แก่

1. **วิธีการเผาให้พรุน (Sintering)** คือ การให้ความร้อนแก่ผงอนุภาคของพอลิเมอร์บางชนิด หรือโลหะ ให้มีอุณหภูมิสูงแต่ต่ำกว่าอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของสารนั้นๆ ซึ่งจะทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของอนุภาคที่อยู่ชิดกัน การรวมตัวของอนุภาคทำให้อช่องว่างระหว่างอนุภาคหายไป และเกิดช่องว่างหรือรูพรุนที่เชื่อมถึงกัน วิธีการ Sintering สามารถใช้ผลิตเมมเบรนรูพรุนจากโลหะบางชนิด เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม ทังสเตน และจากเซรามิก เช่น อะลูมินา พอลิเมอร์ที่สามารถนำมาผลิตเป็นเมมเบรนได้ด้วยวิธีนี้ คือ Polyethylene และ Polypropylene ขนาดของรูพรุนที่ได้อยู่ระหว่าง 0.1-1.0 ไมโครเมตร คืออยู่ในช่วงไมโครฟิลเตรชัน แต่การใช้วิธีนี้มีข้อเสียคือเมมเบรนที่ได้มีความพรุน (Porosity) ต่ำ นั่นคือไม่เกินร้อยละ 20

2. **วิธีการดึงยืด (Stretching)** คือ การนำแผ่นฟิล์มของพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นผลึกหรือเป็นผลึกบางส่วน (เช่น Polyethylene, Polypropylene) ที่ผลิตเป็นแผ่นฟิล์มโดยวิธีการอัดรีด (Extrusion) แล้วนำมาดึงในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางที่อัดรีดซึ่งจะทำให้บริเวณที่มีโครงสร้างเป็นผลึกเกิดการรอยแตกเนื่องจากความเค้น (Stress) จึงเกิดเป็นโครงสร้างรูพรุน โดยวิธีนี้ทำให้เมมเบรนมีขนาดของรูพรุน 0.1-3.0 ไมโครเมตร และเมมเบรนที่ได้มีความพรุนสูง โดยอาจสูงถึงร้อยละ 90

3. **วิธีการกัดรอย (Track etching)** เป็นวิธีการผลิตที่ทำให้รูพรุนมีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีขนาดเท่าๆ กัน วิธีการผลิต คือ การปล่อยให้อนุภาคกัมมันตภาพรังสีที่มี

พลังงานสูงไปกระทบแผ่นฟิล์ม (ส่วนใหญ่คือ พอลิคาร์บอเนต ที่มีความหนาประมาณ 100 ไมโครเมตร) ทำให้เกิดรอย จากนั้นนำแผ่นฟิล์มนั้นไปแช่กรดหรือด่าง เพื่อให้เกิดการกัดเซาะ เนื้อพอลิเมอร์เป็นรูพรุนทรงกระบอก ขนาดของรูพรุนขึ้นอยู่กับเวลาที่อนุภาควิ่งมาชนและพลังงานของอนุภาค ขนาดรูพรุนที่ได้มีค่าระหว่าง 0.02-10.0 ไมโครเมตร แต่มีความพรุนต่ำ (ไม่เกินร้อยละ 10) ทำให้ไม่เป็นที่นิยมในการใช้งาน

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 การเตรียมเมมเบรนพอลิซัลโฟน

I. C. Kim และ K. H. Lee (2003) ศึกษาผลจากการเติมสารเติมแต่ง (Additive) ชนิดต่างๆ ต่อสมรรถนะและโครงสร้างของเมมเบรน โดยเตรียมเมมเบรนแบบไม่สมมาตรด้วยวิธีการเปลี่ยนเฟส จากสารละลายพอลิซัลโฟนที่มี N-methyl pyrrolidone (NMP) เป็นตัวทำละลาย และมีการเติมสารเติมแต่ง 4 ชนิดลงในสารละลายพอลิซัลโฟน ได้แก่ 1,4-dioxane, Diethylene glycol dimethyl ether (DGDE), แอซีโตน (Acetone) และ γ -butyrolactone (GBL) จากนั้นจึงทำให้พอลิเมอร์แข็งตัวในอ่างน้ำ ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการผสมกันได้ระหว่างสารเติมแต่งชนิด 1,4-dioxane, DGDE และแอซีโตน กับน้ำในอ่างน้ำมีค่าค่อนข้างต่ำจึงทำให้เมมเบรนที่ได้มีรูพรุนขนาดเล็ก แต่สารเติมแต่งชนิด GBL สามารถผสมเข้ากันกับน้ำได้ดีกว่าตัวทำละลาย NMP ดังนั้นจึงทำให้เมมเบรนมีรูพรุนขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนี้ปริมาณสารเติมแต่งที่เติมลงในสารละลายพอลิเมอร์ยังสามารถควบคุมค่า Molecular weight cut off (MWCO) ของเมมเบรนแบบไม่สมมาตรได้อีกด้วย

S. H. Chen และคณะ (2001) ศึกษาการเตรียมเมมเบรนซัลโฟเนตพอลิซัลโฟน (Sulfonated polysulfone membrane, sPSf) เพื่อใช้แยกน้ำออกจากเอทานอลด้วยกระบวนการเพอแวปพอเรชัน (Pervaporation) พบว่า สมรรถนะในการแยกด้วยเมมเบรนซัลโฟเนตพอลิซัลโฟนขึ้นอยู่กับระดับการแทนที่ในพอลิซัลโฟน ระดับการแทนที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของกรดคลอโรซัลโฟนิก (Chlorosulfonic acid) ที่ใช้ และปฏิกิริยาการแทนที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายในเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการซึมของน้ำผ่านเมมเบรน (Water permeation rate) และค่าการแยก (Separation factor) ของเมมเบรนมีค่าเพิ่มขึ้นจนระดับการแทนที่มีค่าเท่ากับ 2 การทำซัลโฟเนชัน (Sulfonation) ส่งผลต่อสมรรถนะด้านการแยกของเมมเบรนได้เนื่องจากไปปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำของเมมเบรนพอลิซัลโฟน ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการแยกคือ ความสามารถ

ด้านการแพร่ในเมมเบรนที่แตกต่างกันระหว่างน้ำกับเอทานอล ดังนั้นจึงสามารถเตรียมเมมเบรนที่มีสมรรถนะสูงสำหรับกระบวนการเพอเวปอเรชันได้จากซัลโฟเนตพอลิซัลโฟน

พรทิพย์ และคณะ (2544) ศึกษาผลจากการปรับสภาพผิวเมมเบรนพอลิซัลโฟนด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ Brij-58 ต่อการลดการเกิดฟาวลิง (Fouling) ของสารลดฟอง (Antifoam) โดยใช้วิธีการปรับสภาพผิวเมมเบรนแบบสแตติก (Static) และแบบไดนามิก (Dynamic) พบว่า การปรับสภาพผิวเมมเบรนทำให้ฟลักซ์ของสารลดฟองมีค่าสูงกว่าฟลักซ์ของเมมเบรนที่ไม่ได้ปรับสภาพผิว นอกจากนี้ยังพบว่าความต้านทานหลักที่ทำให้ฟลักซ์ลดลงคือความต้านทานเนื่องจากการเกิดฟาวลิง ซึ่งการปรับสภาพผิวเมมเบรนด้วยสารลดแรงตึงผิวสามารถทำให้ความต้านทานต่างๆ ลดลงได้ประมาณร้อยละ 15-45

H. A. Tsai และคณะ (2000) ศึกษาบทบาทของปริมาณสารลดแรงตึงผิว Span-80 ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ องค์ประกอบของสารป้อน และอุณหภูมิของสารป้อนต่อสมรรถนะของกระบวนการเพอเวปอเรชัน พบว่าการเติม Span-80 ลงไปในสารละลายพอลิซัลโฟนสามารถยับยั้งการเกิดโครงสร้างช่องว่างขนาดใหญ่ภายในเมมเบรนได้ ทำให้ค่าการแยกสูงขึ้นแต่อัตราการซึมผ่านของเพอร์มิเอตในเมมเบรน (Permeation rate) ลดลง นอกจากนี้การเพิ่มความเข้มข้นของพอลิซัลโฟนยังส่งผลให้ค่าการแยกสูงขึ้นแต่อัตราการซึมผ่านของเพอร์มิเอตในเมมเบรนลดลง ค่าการแยกและอัตราการซึมผ่านของน้ำในเมมเบรนพอลิซัลโฟนแบบไม่สมมาตรที่มีสารลดแรงตึงผิว Span-80 อยู่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก จากสารละลายป้อนเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 16 และ 240 กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

A. Yamasaki (2000) พบว่าการเติมสารลดแรงตึงผิว Sodium dodecyl sulfate (SDS) ลงในสารละลายพอลิเมอร์ สามารถเพิ่มอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนในเมมเบรนพอลิซัลโฟนแบบไม่สมมาตรได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยยังสามารถรักษาการเลือกผ่านออกซิเจนไว้ได้ดีอีกด้วย การเตรียมเมมเบรนใช้วิธีการเปลี่ยนเฟส ระเหยตัวทำละลายบางส่วนเป็นเวลา 0-15 นาที ณ อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส และทำให้พอลิเมอร์แข็งตัวด้วยสารละลายของ 2-propanol กับน้ำ ปริมาณของ SDS ที่เติมลงในสารละลายพอลิเมอร์เท่ากับร้อยละ 0 ถึง 2 โดยน้ำหนัก การซึมผ่านของออกซิเจนในเมมเบรนมีค่าสูงที่สุดเมื่อมี SDS อยู่ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และจากรูปโครงสร้างของเมมเบรนแสดงให้เห็นว่า การเติม SDS ลงไปทำให้เมมเบรนมีชั้นผิวเนื้อแน่นลดลง แม้ให้เวลาในการระเหยตัวทำละลายมากขึ้น

M. H. Chen และคณะ (1996) ได้เตรียมเมมเบรนจากพอลิเมอร์ผสมขึ้น 2 ชนิด คือ เมมเบรนซัลโฟเนตพอลิซัลโฟน/พอลิซัลโฟน (Sulfonated polysulfone/polysulfone membrane; SPSf/PSf membrane) และเมมเบรนเอมีนเตดพอลิซัลโฟน/พอลิซัลโฟน (Aminated polysulfone/polysulfone membrane; APSf/PSf membrane) และทำการทดสอบสมรรถนะของเมมเบรนได้แก่ ร้อยละการกักกันเกลือและฟลักซ์ ภายใต้ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนระหว่าง SPSf/PSf จาก 1:9 ไปเป็น 2:1 ในเมมเบรน SPSf/PSf ส่งผลให้ฟลักซ์มีค่าสูงขึ้น แต่ร้อยละการกักกันเกลือมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณ SPSf ที่เติมลงไปเป็นส่วนที่เพิ่มความชอบน้ำให้กับเมมเบรน ดังนั้นน้ำจึงผ่านไปได้มากขึ้น และเมื่อมีการเติมสาร Tetrahydrofuran (THF) ซึ่งเป็นตัวทำละลายระเหยง่ายลงในสารละลายพอลิเมอร์พบว่า ฟลักซ์มีค่าลดลงแต่ร้อยละการกักกันเกลือมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก THF ไปทำให้รูพรุนของเมมเบรนมีขนาดเล็กลง สำหรับเมมเบรน APSf/PSf เมื่อเพิ่มอัตราส่วนระหว่าง APSf/PSf จาก 1:9 ไปเป็น 1:3 พบว่า ฟลักซ์คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ร้อยละการกักกันเกลือมีค่าสูงขึ้น โดยการเพิ่ม APSf ไปทำให้ความหนาแน่นของประจุบนเมมเบรนมากขึ้นเกลือจึงผ่านไปได้น้อยลง ลำดับการกำจัดเกลือของเมมเบรน SPSf/PSf คือ $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{MgSO}_4 > \text{NaCl} > \text{MgCl}_2$ และสำหรับเมมเบรน APSf/PSf คือ $\text{MgCl}_2 > \text{NaCl} > \text{MgSO}_4 > \text{Na}_2\text{SO}_4$

E. Stauder และ L. Breitbach (1992) ศึกษาการใช้เมมเบรนพอลิซัลโฟน และอนุพันธ์ของเมมเบรนพอลิซัลโฟนในกระบวนการแยกด้วยเมมเบรนประเภทต่างๆ พบว่า พอลิซัลโฟนมีความเหมาะสมมากในการนำมาใช้เตรียมเป็นเมมเบรนสำหรับกระบวนการต่างๆ ได้แก่ เมมเบรนในกระบวนการแยกแก๊ส (Gas separation membrane) เมมเบรนอิเล็กโทรไลต์ เมมเบรนเอนไซม์ (Enzyme membrane) เมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน และเมมเบรนออสโมซิสผันกลับ

S. Murai และคณะ (1988) ศึกษาการเตรียมเมมเบรนพอลิซัลโฟนจากสารละลายพอลิเมอร์ที่มีการเติมสารพอลิไวนิลไพโรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone, PVP) เป็นสารเติมแต่ง พบว่า พอลิไวนิลไพโรลิโดนส่งผลให้เมมเบรนมีโครงสร้างและความพรุนเปลี่ยนแปลงไป

2.8.2 การประยุกต์ใช้กระบวนการเมมเบรนเพื่อการผลิตน้ำดื่ม

X. Li และ H. P. Chu (2003) ศึกษาการนำเมมเบรนแบบเส้นใยกลวง (Membrane bioreactor) ที่มีขนาดรูพรุนขนาด 0.4 ไมโครเมตร และมีพื้นที่ผิวเมมเบรนทั้งหมด 0.2 ตารางเมตร มาใช้ในการบำบัดน้ำคิบบที่ปนเปื้อนมลสารจากน้ำเสียชุมชน สารป้อนมีปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด

3-5 มิลลิกรัมต่อลิตร และแอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) 3-4 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองที่มีการดำเนินการต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่า 500 วัน โดยมีเวลาในการกักเก็บน้ำ (Hydraulic retention time) เป็นระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 1 ชั่วโมงพบว่า เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์และไนตริฟิเคชัน (Nitrification) อย่างสมบูรณ์ น้ำที่ออกจากระบบมีปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และแอมโมเนียไนโตรเจนน้อยกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ลดความขุ่นจาก 4.5 ± 1.11 เหลือ 0.08 ± 0.03 เอ็นทียู (NTU) โคลิฟอร์มทั้งหมด (Total coliforms) 10^5 ต่อมิลลิลิตร เหลือน้อยกว่า 5 ต่อมิลลิลิตร และค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 (UV_{254}) จาก 0.098 ± 0.019 เหลือ 0.036 ± 0.007 ต่อเซนติเมตร (cm^{-1})

R. Liikannen และคณะ (2003) ศึกษาการใช้เมมเบรนในกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน 6 ชนิด ได้แก่ NF70, NF225, NTR-7450, NTR-7410, Desal-5 และ TFC-S เพื่อบำบัดน้ำผิวดินในระดับห้องปฏิบัติการ จากการศึกษาพบว่า เมมเบรนที่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้สูงและกำจัดไอออนได้เล็กน้อยคือ NF225 ซึ่งจัดเป็นเมมเบรนที่มีคุณภาพทั้งในด้านการให้ฟลักซ์สูงและการเกิดฟาวลิงต่ำ สำหรับเมมเบรนที่ไม่ทนต่อการเกิดฟาวลิงและให้ผลด้านคุณภาพน้ำต่ำคือ เมมเบรน NTR-7410 อย่างไรก็ตามเมมเบรนทั้งหมดมีประสิทธิภาพดีในการกำจัดจุลินทรีย์แต่กำจัดแร่ธาตุต่างๆ ได้ในปริมาณต่ำ

A. Gorenflo และคณะ (2002) ศึกษาการใช้กระบวนการนาโนฟิลเตรชันบำบัดน้ำผิวดินที่มีความกระด้างสูงและมีปริมาณสารอินทรีย์ตามธรรมชาติ (Natural organic matter, NOM) อยู่สูง กล่าวคือ มีปริมาณแคลเซียม 115 มิลลิกรัมต่อลิตร แมกนีเซียม 12 มิลลิกรัมต่อลิตร และคาร์บอนอินทรีย์ละลายได้ (Dissolved organic carbon, DOC) 2.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนนำไปใช้บำบัดน้ำเพื่อชุมชนในประเทศเยอรมัน (Germany) เมมเบรนที่ใช้ คือ NF200B, Filmtec/DOW โดยสามารถกำจัดสารอินทรีย์ตามธรรมชาติได้มากกว่าร้อยละ 95 และสามารถกำจัดแคลเซียมและแมกนีเซียมได้มากกว่าร้อยละ 74 และ 86 ตามลำดับ การกำจัดแคลเซียมและแมกนีเซียมได้มากอาจเกิดจากแหล่งน้ำดิบมีปริมาณซัลเฟตอยู่สูง และอาจเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของแคลเซียมกับสารฮิวมิก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกำจัดแคลเซียมในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) บริสุทธิ์พบว่าสามารถกำจัดได้น้อยกว่าร้อยละ 45 ระหว่างการดำเนินการเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าไม่มีปัญหาฟาวลิงเกิดขึ้นเพราะค่าฟลักซ์ลดลงน้อยกว่าร้อยละ 2 ทั้งนี้เป็นผลมาจากการบำบัดขั้นต้น ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการระบบบำบัดด้วยกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน เท่ากับ 0.23 ยูโรต่อลูกบาศก์เมตรที่กำลังการผลิตเพอร์มิเอต 20,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หมายความว่าราคาน้ำดื่มเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 9 อย่างไรก็ตามหากทำการผสมเพอร์มิเอตที่ได้จากกระบวนการนาโนฟิลเตรชันกับน้ำที่ใช้

กันอยู่ทั่วไปในอัตราส่วนที่ทำให้คาร์บอนอินทรีย์ละลายเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถทำให้ค่าใช้จ่ายลดลงเหลือ 0.11 ยูโรต่อลูกบาศก์เมตร

H. Ozaki และ H. Li (2002) ศึกษาค่าการกักกันของสารประกอบอินทรีย์มวลโมเลกุลต่ำ ด้วยกระบวนการออสโมซิสผันกลับความดันต่ำ (Ultra-low pressure reverse osmosis) การศึกษานี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการที่ความดัน 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และอัตราการป้อนสารเท่ากับ 1.2 ลิตรต่อนาที พบว่า ร้อยละการกักกันสารประกอบอินทรีย์ไม่แตกตัวเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงกับน้ำหนักโมเลกุลและขนาดโมเลกุล นอกจากนี้พีเอชของสารป้อนยังมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ที่แตกตัวได้โดยประสิทธิภาพลดลงเป็นเส้นตรงกับค่าคงที่การแตกตัว (Dissociation constant) ที่เพิ่มขึ้น

ณัฐพงษ์ (2544) ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด *อี. โคไล* และโคลิฟาจ ออกจากน้ำด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน โดยใช้ตัวอย่างน้ำดิบ 3 ชนิด คือ น้ำประปาเดิม *อี. โคไล* น้ำประปาเดิมโคลิฟาจ และน้ำประปาเดิม *อี. โคไล* และโคลิฟาจ พบว่า เมมเบรนที่มีรูพรุนขนาด 0.1 และ 0.03 ไมโครเมตร สามารถกำจัด *อี. โคไล* ได้ทั้งหมด แต่ยังคงตรวจพบโคลิฟาจในน้ำที่ผ่านเมมเบรนรูพรุนขนาด 0.1 ไมโครเมตรอยู่ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 50-700 พีเอฟยูต่อมิลลิลิตร และตรวจไม่พบโคลิฟาจในน้ำที่ผ่านเมมเบรนรูพรุนขนาด 0.03 ไมโครเมตร

R. Kettunen และ P. Keskitalo (2000) ศึกษาการใช้กระบวนการเมมเบรนเพื่อบำบัดน้ำในเมือง Laitila ประเทศฟินแลนด์ (Finland) ที่ประสบกับปัญหาการปนเปื้อนของฟลูออไรด์และอลูมิเนียมในน้ำใต้ดินปริมาณสูง โดยได้ทำการก่อสร้างโรงกรองน้ำด้วยกระบวนการเมมเบรนที่มีกำลังการผลิตเท่ากับ 16-25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ กระบวนการออสโมซิสผันกลับและนาโนฟิลเตรชัน ระหว่างการดำเนินการเป็นเวลา 1 ปี พบว่า ทั้งกระบวนการออสโมซิสผันกลับและนาโนฟิลเตรชันเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพ โดยสามารถกำจัดอลูมิเนียมได้มากกว่าร้อยละ 78 และกำจัดฟลูออไรด์ได้มากกว่าร้อยละ 95 ด้วยกระบวนการออสโมซิสผันกลับที่ความดัน 7.3 บาร์ และกำจัดได้ร้อยละ 76 ด้วยกระบวนการนาโนฟิลเตรชันที่ความดัน 5.7 บาร์ ทำให้ฟลูออไรด์และอลูมิเนียมในเพอร์มิเอตอยู่ในระดับที่ยอมรับได้คือ ไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ราคาค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการเมมเบรนมีค่าประมาณ 0.02 ยูโรต่อลูกบาศก์เมตรของเพอร์มิเอต

K. Hagen (1998) ศึกษาผลการดำเนินงานเป็นเวลา 2 ปี ในโรงงานบำบัดน้ำดื่มแบบที่ประกอบด้วยโมดูลเมมเบรนในกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชันเป็นจำนวน 5

โมคูล พบว่า โรงงานต้นแบบดังกล่าวมีความเหมาะสมต่อการบำบัดน้ำดิบที่มีสมบัติไม่แน่นอน และสามารถกำจัดแบคทีเรีย ปรสิติ และอนุภาคต่างๆ ออกจากน้ำดิบได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยต้นทุนในการดำเนินการที่น้อยกว่า 0.1 DM ต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำที่ได้รับการบำบัด ทำให้ประเทศเยอรมันทำการก่อสร้างโรงงานบำบัดน้ำเพื่อผลิตน้ำดื่มด้วยกระบวนการเมมเบรนในส่วนแรกเสร็จสิ้นเมื่อเดือนมิถุนายน ปี 1998 ที่ผ่านมา โดยมีกำลังการผลิตน้ำดื่มเท่ากับ 140 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

B. Ericsson และคณะ (1996) ศึกษาการใช้กระบวนการเมมเบรนเพื่อผลิตน้ำดื่มให้กับชุมชน Nynashamn ประเทศสวีเดน แหล่งน้ำดิบที่ใช้คือ ทะเลสาบ Muskan ซึ่งมีปัญหาเกี่ยวกับสีของน้ำจากสารฮิวมิก (Humic substance) งานวิจัยและพัฒนาที่ประกอบด้วงาน 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับการคัดเลือกเมมเบรนเพื่อนำไปใช้งานเป็นกระบวนการหลักและนำไปใช้ร่วมกับคาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon) เปรียบเทียบกับการบำบัดด้วยระบบบำบัดแบบดั้งเดิม (Conventional) ที่ประกอบด้วย การรวมตะกอน (Flocculation) การตกตะกอน (Sedimentation) การกรอง (Filtration) และการใช้คาร์บอนกัมมันต์ ส่วนที่ 2 เป็นโรงงานนำร่องที่นำเฉพาะกระบวนการนาโนฟิลเตรชันมาใช้ในการออกแบบสำหรับการใช้งานจริง ผลการศึกษาพบว่า การดำเนินงานในส่วนที่ 2 เป็นที่น่าพอใจโดยสามารถกำจัดสีและสารอินทรีย์ต่างๆ ได้อย่างสมบูรณ์ รวมทั้งยังรักษาการให้ฟลักซ์ไว้ได้ภายในระยะการดำเนินการเป็นเวลา 6 เดือน อย่างไรก็ตามต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินการด้วยกระบวนการเมมเบรนยังมีค่าสูงกว่าระบบบำบัดแบบดั้งเดิมร่วมกับการใช้คาร์บอนกัมมันต์อยู่เล็กน้อย (ประมาณ 0.17 ดอลลาร์สหรัฐต่อลูกบาศก์เมตร) แต่น้ำดื่มที่ได้มีคุณภาพดีกว่าเดิม ดังนั้นเทคนิคการใช้เมมเบรนจึงมีความโดดเด่นมาก และเป็นกระบวนการที่ไม่มีสารเคมีมาเกี่ยวข้องต่างจากการผลิตน้ำดื่มแบบดั้งเดิม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย