

บทที่ 2

บททวนเอกสาร

2.1 การนำกลับมาใช้ใหม่ (Wastewater Reclamation)

2.1.1 แหล่งกำเนิดน้ำเสียกับการนำกลับมาใช้ใหม่

2.1.1.1 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย แบ่งออกเป็นแหล่งใหญ่ๆ ได้ ดังนี้

-: น้ำเสียชุมชน (domestic wastewater) รวมถึง น้ำเสียบ้านเรือน อาคารสูง โรงเรียน โรงพยาบาล สถานที่ราชการ สถานบันเทิง และเขตพาณิชย์กรรม เกิดจากการใช้น้ำในชีวิตประจำวัน เช่น จากห้องน้ำ ห้องครัว และการซักล้าง เป็นต้น ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะน้ำเสียจากอาคารประเภทต่างๆ

-: น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial wastewater) มีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของอุตสาหกรรม ประกอบด้วย น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต การหล่อเย็น การชะล้างทำความสะอาด และจากกิจกรรมของคนงาน โดยทั่วไป เป็นต้น

-: น้ำทิ้งทางการเกษตร (agricultural wastewater) จากการใช้ ปุ๋ยเคมี และยาปราบศัตรูพืช อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน หลังจากถูกใช้งานจะตกค้างอยู่บริเวณผิวดิน และถูกน้ำฝนชะ ซึมผ่านชั้นดิน และไหลไปตามผิวดิน จนเข้าปะปนกับแหล่งน้ำใต้ดินและผิวดิน ตามลำดับ

2.1.1.2 ข้อพิจารณาในการใช้แหล่งน้ำเสียและระบบนำกลับมาใช้ใหม่

-: คุณภาพน้ำที่จะนำกลับมาใช้ : ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ จากแหล่งน้ำเสียที่จะนำมาบำบัด เปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำที่ใช้ในกิจการนั้นๆ เพื่อพิจารณาถึงศักยภาพที่จะสามารถนำกลับมาใช้น้ำเสียนั้นมาใหม่ โดยเหมาะสมกับเทคโนโลยีการบำบัดที่มีอยู่

-: กระบวนการที่จะใช้ในระบบนำกลับมาใช้ : พิจารณาเลือกจากระดับชั้นคุณภาพน้ำที่ต้องการ ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ และความปลอดภัยของผู้ใช้บริการน้ำ เป็นสำคัญ

-: ปริมาณน้ำที่ต้องการนำกลับมาใช้ : มีอัตราการใช้น้ำแปรเปลี่ยน มากกว่าการใช้น้ำประปา และอัตราการไหลของน้ำเสีย ฉะนั้นข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการไหลในช่วงวันเวลาต่างๆ จึงมีความสำคัญเพื่อการรักษาอัตราการไหลของน้ำเข้าและจ่ายออกจากระบบให้สมดุลกัน

-: ความคงตัวของระบบนำกลับมาใช้ใหม่ : มีความแน่นอนและเตรียมพร้อมสูง เช่น พลังงาน-เครื่องจักรสำรอง การรับภาระสูงสุด การหยุดซ่อมบำรุง การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ การกักน้ำออกที่ไม่ได้มาตรฐานในกรณีฉุกเฉิน และการเก็บน้ำสำรองจ่ายให้เพียงพอแก่ความต้องการตลอดเวลา

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียจากอาคารประเภทต่างๆในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

ลักษณะ น้ำเสีย	หอพัก		ภัตตาคาร		โรงพยาบาล	ตลาดสด
	จากส้วม	จากส่วน อื่นๆ	ส้วมบำบัด แล้ว+ คร้ว + อื่นๆ	จากคร้ว + อื่นๆ		
pH	8.55	7.78	6.54	6.74	6.84	6.67
COD. , mg/l	1,290	135	1,785	3,164	350	2,528
BOD. , mg/l	723	75	919	1,759	238	1,172
TKN. , mg/l	329	19.2	55.1	63.2	15.2	76.5
PO ₄ , mg/l	6.8	3.9	3.2	2.6	3.29	5.1
SS. , mg/l	666	29	401	913	87.06	662

ต่อ

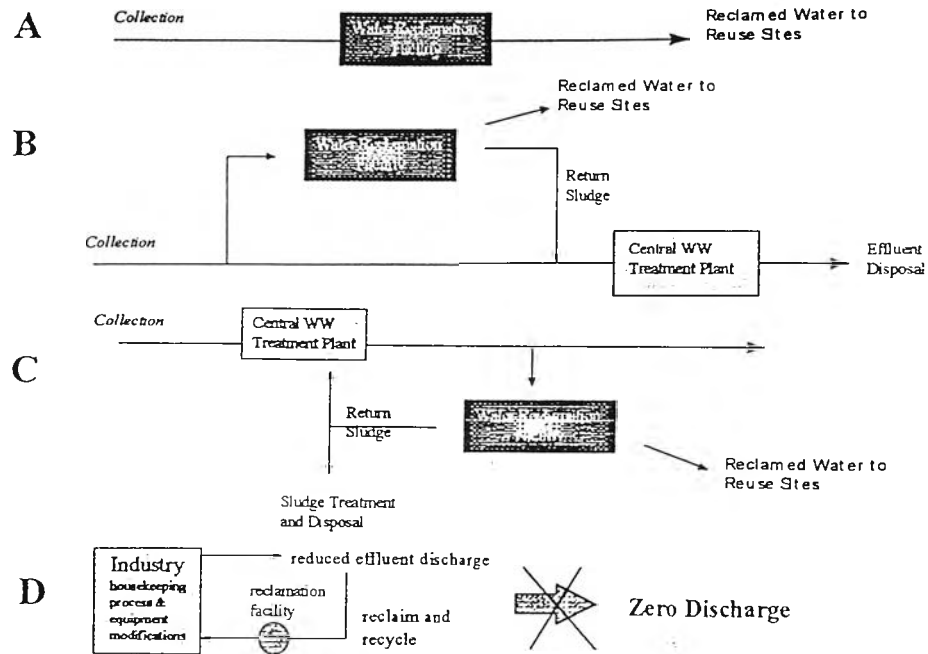
ลักษณะ	อาคารสำนักงาน		ห้างสรรพ สินค้า	โรงพยาบาล	โรงแรม	อาคารชุด คอนโดฯ **
	จากส้วม	จากคร้ว+ อื่นๆ				
pH	8.1	7.4	7.51	7.53	7.05	7.2
COD. , mg/l	392	96	253	110	311	221
BOD. , mg/l	181	41	81	60	190	151
TKN. , mg/l	44.1	9.7	66.8	72.7	23	33.7
PO ₄ , mg/l	2.0	0.4	10.1	2.7	1.8	2.0
SS. , mg/l	158	26	61	45	84	63

หมายเหตุ : ** บำบัดมาแล้วบางส่วน

ที่มา : (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2530 อ้างถึงใน สุรพล สายพานิช, 2538)

2.1.2 เทคนิคและการวางแผนระบบน้ำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่

2.1.2.1 ทางเลือกของระบบน้ำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ทางเลือกของระบบน้ำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ ,ที่มา : (C.Visvanathan , R.Ben Aim, 1997)

ทางเลือก A : ระบบน้ำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่รวม แบบทำงานอิสระเพียงระบบเดียว ตั้งอยู่ใกล้กับเขตของผู้ใช้บริการประเภทต่างๆ โดยน้ำเสียทั้งหมดจะถูกบำบัดและจ่ายกลับให้แก่ผู้บริการ วิธีนี้ใช้เมื่อระดับคุณภาพน้ำและกระบวนการบำบัด ไม่สลับซับซ้อนยุ่งยาก

ทางเลือก B : ระบบน้ำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ แบบแบ่งน้ำเสียบำบัดบางส่วน จากระบบที่รวบรวมรวมน้ำเสีย ซึ่งสัดค้ส่วนเกินจะทิ้งกลับลงที่รวบรวมไปกำจัดที่โรงบำบัดน้ำเสียหลัก โดยก่อสร้างระบบให้ตั้งอยู่ใกล้ หรือภายในบริเวณสถานที่ของผู้ใช้น้ำ จะเป็นการประหยัดต้นทุน ค่าระบบสูบน้ำจ่ายน้ำมากกว่าระบบแบบรวม

ทางเลือก C : ระบบน้ำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ แบบแบ่งน้ำทิ้งบางส่วนที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียรวมเดิม (ระบบบำบัดขั้นที่สอง) นำมาปรับปรุงคุณภาพเพิ่ม ซึ่งอาจก่อสร้างระบบบำบัดขั้นที่สามทางท้ายน้ำ บริเวณที่ช่องทางน้ำทิ้งเดิมไหลผ่าน และมีผู้ขอใช้บริการ จะเป็นการประหยัดต้นทุนรวมได้

ทางเลือก D : เป็นแนวคิดของกระบวนการผลิตที่สะอาด (Cleaner Production) ทำการลดปริมาณการปล่อยน้ำเสียทิ้ง โดยอาศัยเทคโนโลยีการนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ ในการหมุนเวียนน้ำภายในแหล่งกำเนิดหรือแหล่งที่ต้องการใช้น้ำ โดยไม่ให้มีการปล่อยน้ำเสียออกทิ้งเลย (Zero Discharge)

2.1.2.2 ขั้นตอนเพื่อการพิจารณาวางแผนระบบนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ มีดังต่อไปนี้

-: การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น : รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับ แหล่งน้ำเสียที่จะนำกลับมาใช้ และผู้ที่ต้องการใช้น้ำ เช่น ข้อมูลทางด้านปริมาณ คุณภาพของแหล่งน้ำเสีย และความต้องการของผู้ใช้น้ำแต่ละประเภท ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ราคาที่ดิน ค่าน้ำประปา ความเป็นไปได้ในการลงทุน ฯลฯ ข้อมูลการใช้ที่ดิน การใช้ทรัพยากรน้ำในพื้นที่ให้บริการ ผลกระทบสิ่งแวดล้อม กฎหมายที่เกี่ยวข้อง หน่วยงานของรัฐที่รับผิดชอบ และ การสนับสนุนของสาธารณชน เป็นต้น

-: การเลือกกลุ่มผู้ใช้น้ำ และแนวทางที่เป็นไปได้ของระบบนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ : โดยนำข้อมูลที่รวบรวมได้ มาประมวลผลทางเลือกรูปแบบต่างๆระหว่าง กลุ่มผู้ใช้น้ำ รูปแบบของระบบนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ สถานที่ก่อสร้าง เทคโนโลยี หรือกระบวนการที่จะนำมาใช้ในการบำบัด และเงินลงทุน ให้มีความสอดคล้องกัน โดยหลักการแล้วระบบนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ ควรอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดน้ำเสีย หรือบริเวณของผู้ให้บริการขนาดใหญ่มากที่สุด เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายของระบบสูบน้ำและลำเลียงน้ำ แต่ถ้าเป็นการเพิ่มระบบนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่จาก โรงบำบัดน้ำเสียรวมเดิม จะประหยัดต้นทุนการก่อสร้างลง ซึ่งสภาพการณ์จะแตกต่างกันไป ตามแต่ละพื้นที่ และประเภทของผู้ใช้น้ำ

ทางเลือกด้านอื่นๆที่ใช้ประกอบในการตัดสินใจ ได้แก่ โครงข่ายและแนวเส้นทางของการจ่ายน้ำแบบต่างๆ การขยายระบบเพิ่มในอนาคต ระบบสามารถลดการใช้แหล่งน้ำคุณภาพลงได้ ปริมาณการใช้พลังงานและสารเคมี ผลกระทบต่อการใช้ที่ดิน ความคล่องตัวในการดำเนินงาน และการติดต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอื่นๆ เป็นต้น

-: วิเคราะห์ความเหมาะสมของโครงการ : จากทางเลือกทาง วิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำได้ตามมาตรฐานที่ต้องการ แต่มีต้นทุนรวมต่ำสุด และมีความคุ้มค่าในการลงทุน โดยการประมาณเงินลงทุน ค่าใช้จ่ายดำเนินงานรายปี ดอกเบี้ยเงินกู้ รายรับจากค่าน้ำประปาที่ประหยัดได้ แล้วทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน โดยพิจารณาในรูปของ “Internal Rate of Return” กับ “ระยะเวลาคืนทุน” ของโครงการ เป็นต้น

หัวข้อที่ต้องใช้ประกอบในการพิจารณา เช่น การแปรเปลี่ยนของคุณภาพ และปริมาณที่ผู้ใช้น้ำสามารถยอมรับได้ การนำกลับน้ำเสียมาใช้ มีประโยชน์กับผู้ใช้น้ำ คู่กับการสร้างบ่อเก็บน้ำและระบบสูบน้ำใหม่หรือไม่ และผลกระทบสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

-: เปรียบเทียบทางเลือก และตัดสินใจดำเนินโครงการตามแนวทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด

2.1.3 ประเภทของกิจการที่ใช้น้ำจากการนำกลับมาใช้น้ำเสียมาใช้ใหม่

2.1.3.1 การนำกลับมาใช้น้ำเสียมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรม : ได้แก่ น้ำหล่อเย็น ปัญหาที่พบบ่อย คือ การเกิดตะกรัน กัดกร่อน อุดตัน และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ น้ำดื่มหม้อต้ม น้ำ อ่างหม้อน้ำมีความดันสูง ก็ยังต้องการน้ำที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น ปัญหาที่พบบ่อยคือ การเกิดตะกรัน กัดกร่อน การเกิดฟอง และการเดือดรุนแรง ใช้น้ำใช้ในขบวนการผลิต คุณภาพน้ำจะแตกต่างกันไปตามประเภทของอุตสาหกรรม น้ำสำหรับชะล้างทำความสะอาดทั่วไป และชำระ โถส้วมในห้องน้ำ

2.1.4.2 การนำกลับมาใช้น้ำเสียมาใช้ใหม่ทางการเกษตร : เพื่อการปลูกพืชและให้มนุษย์สัมผัส น้ำได้ ควรมีค่าพีคัล โคลโลฟอร์มเฉลี่ยน้อยกว่า 1,000/100 มล. ข้อที่พบบ่อย คือ อัตราการเจริญเติบโตของพืช จะช้าลงตามค่าความเค็มที่เพิ่มขึ้น เกือบ ไซเดียมทำให้ดินชั้นล่างแห้ง พืชเกิดอาการขาดน้ำ คลอโรนอติส ควรมีค่าน้อยกว่า 1 มก./ล ป้องกันเกิดใบพืชไหม้ สารอาหารพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม สังกะสี ฯลฯ ควรมีอยู่อย่างเพียงพอ

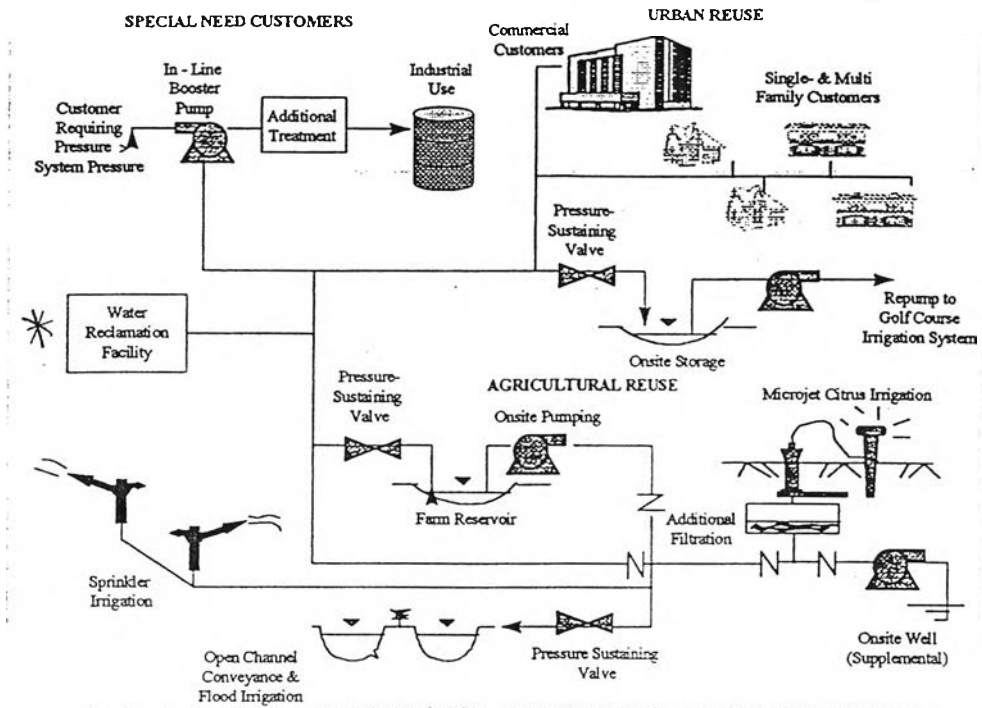
2.1.4.3 การนำกลับมาใช้น้ำเสียมาใช้ใหม่โดยส่งกลับเข้าชั้นน้ำใต้ดิน : จุดประสงค์เพื่อป้องกันการซึมของน้ำเค็มสู่ชั้นหินอุ้มน้ำ เก็บกัก เพิ่มระดับของชั้นน้ำใต้ดิน และป้องกันการทรุดตัวของชั้นดิน ข้อที่พบบ่อยคือ การปนเปื้อนสารมลพิษกับแหล่งน้ำใต้ดินเดิม แก๊สไฮดรอกและใช้เวลานาน

2.1.4.4 การนำกลับมาใช้น้ำเสียมาใช้ใหม่เพื่อการบริโภค : น้ำที่นำกลับมาใช้น้ำใหม่ ต้องมีคุณภาพดีเทียบเท่าได้กับมาตรฐานน้ำดื่มหรือน้ำประปา ซึ่งมนุษย์สามารถใช้บริโภคได้อย่างปลอดภัย ได้แก่ การดื่มกิน ,การประกอบอาหาร ,รวมถึงการใช้ชำระร่างกาย เช่น การแปรงฟัน อาบน้ำ ฯลฯ

2.1.4.5 การนำกลับมาใช้น้ำเสียมาใช้ใหม่ในการพักผ่อนและเลี้ยงสัตว์น้ำ : การนำกลับมาใช้น้ำเสียมาใช้ใหม่เพื่อการสันทนาการ ต่างๆ ได้แก่ การตกแต่งบริเวณสาธารณะ การเล่นเรือ กีฬาทางน้ำ การสูบน้ำ ฯลฯ ข้อคำนึงถึงคือ โคลโลฟอร์มทั้งหมด สูงสุดต้องมีค่าน้อยกว่า 2.2 หน่วย /100 มล.

2.1.4.6 การนำกลับมาใช้น้ำเสียมาใช้ใหม่ในชุมชน : เพื่อใช้ในการอุปโภคต่างๆ ได้แก่ การชลประทานสวนสาธารณะ สนามกอล์ฟ สนามหญ้า การตกแต่งอาคารและที่พัก เช่น น้ำพุ สระน้ำ น้ำตก น้ำชำระ โถส้วม และปัสสาวะ ระบบป้องกันเพลิงไหม้ น้ำชดเชยในระบบปรับอากาศ การควบคุมฝุ่น และการพาณิชย์ เช่น สถานีล้างรถ การชำระชะล้างต่างๆ เป็นต้น

โครงข่ายของ ระบบสูบน้ำจากระบบนำกลับมาใช้น้ำเสียมาใช้ใหม่ ไปยังผู้ใช้บริการใน กิจการประเภทต่างๆ แสดงผังรูปและตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงข่ายของระบบสูบน้ำที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมต่างๆ
ที่มา : (C.Visvanathan , R.Ben Aim, 1997)

ตารางที่ 2.2 ประเภทกิจการที่ใช้น้ำจากการนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่

Non-Potable Urban Use :	Toilet flushing ,Washing ,Fire protection , Air-conditioning
Landscape Irrigation :	Parks , School yards , Golf courses , Cemeteries ,Residential
Industrial Recycle / Reuse:	Cooling water , Boiler feed , Process water
Agricultural Irrigation :	Crop irrigation , Commercial nurseries
Groundwater Recharge :	Groundwater replenishment , Salt water intrusion / subsidence control
Recreation / Envir. Use :	Lakes and ponds , Marsh , Fisheries
Potable Reuse :	Blending in water supply , Pipe to pipe water supply

ที่มา : (C.Visvanathan , R.Ben Aim, 1997)

2.1.4 การนำกลับมาใช้น้ำเสียมาใช้ใหม่ในอาคารสูง

2.1.4.1 ลักษณะของอาคารสูง : (อัมพวัน พงศ์สิทธิศักดิ์, 2539) อาคารสูง คือ อาคารที่บุคคลสามารถเข้าใช้สอยหรืออยู่อาศัยได้ โดยมีความสูงตั้งแต่ 23 เมตรขึ้นไป วัดจากระดับพื้นดินถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด โดยแบ่งกลุ่มของประเภทอาคาร ดังนี้

-: ตามประเภทการใช้งานของอาคาร จากสถิติการก่อสร้างมากที่สุด ได้แก่ อาคารพักอาศัย อาคารพาณิชย์-พักอาศัย และอาคารพาณิชย์ รองลงมาได้แก่ อาคารอุตสาหกรรม และคลังสินค้า

-: ตามความสูงของอาคาร คือ อาคารที่สูง 1-5 ชั้นจัดเป็นกลุ่มอาคารระดับต่ำ (Low-Rise) และอาคารที่สูงตั้งแต่ 6 ชั้นขึ้นไปจัดเป็นกลุ่มอาคารระดับกลาง ถึงอาคารสูง (Mid.-Rise to High.-Rise)

2.1.4.2 ระบบการใช้น้ำในอาคารที่มีการนำกลับมาใช้น้ำเสียมาใช้ใหม่ : แสดงผังรูปที่ 2.3

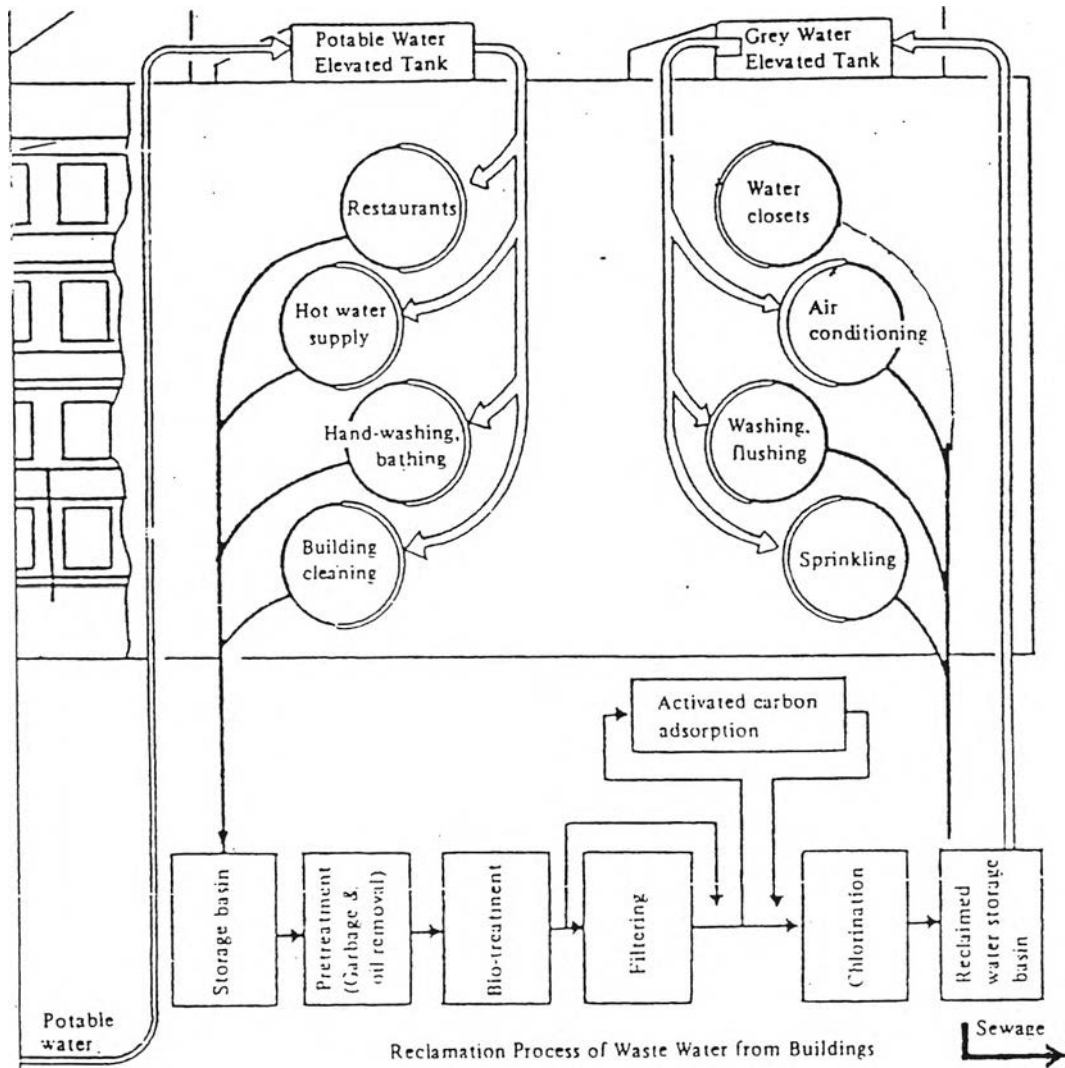
ระบบน้ำในอาคารประกอบด้วย ถังพักน้ำที่ระดับพื้น และคาบฟ้า ระบบสูบส่งน้ำขึ้น ทั้งของระบบน้ำประปาและน้ำนำกลับมาใช้ ท่อระบายน้ำเสีย ระบบนำกลับมาใช้น้ำเสียมาใช้ใหม่ และระบบท่อจ่ายน้ำ ซึ่งจะแยกการเดินท่อภายในอาคารออกเป็นสองชุด เรียกว่า “ระบบสองท่อ” ได้แก่ระบบท่อน้ำประปาและท่อน้ำนำกลับมาใช้ ซึ่งจะแยกเข้าสู่อุปกรณ์ปลายทางตามแต่ละประเภทการใช้น้ำ และมีการทำสัญลักษณ์แยกชุดระบบท่ออย่างชัดเจน (สุรพล สายพานิช, 2539)

น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆของอาคาร เมื่อนำมาบำบัด จนผ่านกระบวนการขั้นสูงและฆ่าเชื้อโรคแล้ว สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมต่างๆของอาคาร ได้แก่ การชำระ โถส้วม ปัสสาวะ การชกเชยน้ำในระบบปรับอากาศ น้ำในระบบป้องกันอัคคีภัย น้ำชะทำความสะอาด หรือล้างรถ ใช้ในงานภูมิสถาปัตยกรรมบริเวณอาคาร เช่น รดสนามหญ้า น้ำพุ และ สระน้ำประดับ เป็นต้น

2.1.4.3 ปริมาณการนำกลับมาใช้น้ำเสียมาใช้ใหม่ในอาคาร :

ความต้องการนำกลับมาใช้น้ำเสียมาใช้ใหม่ ขึ้นอยู่กับประเภท และกิจกรรมของแต่ละอาคาร (Young, Holliman, 1990 อ้างถึงใน อัมพวัน พงศ์สิทธิศักดิ์, 2539) ที่พักอาศัย และอาคารสำนักงาน อาจมีการใช้น้ำชำระ โถส้วม ถึง 45% และ 70-80% ของการใช้น้ำทั้งหมด ตามลำดับ

(Sanders and Thurow อ้างถึงใน สุรพล สายพานิช, 2539) ความต้องการใช้น้ำภายนอก (งานภูมิสถาปัตยกรรม) และความต้องการใช้น้ำภายใน (ดื่ม อาบ ชักล้าง ชำระ โถส้วม) ของอาคาร หรือที่พักอาศัย คิดเป็น 32% และ 68% ของความต้องการน้ำทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งสรุปได้คือ ความต้องการน้ำคุณภาพถึงระดับการบริโภคคิดเป็น 40% ของความต้องการน้ำโดยเฉลี่ย ซึ่งมาจากกิจกรรม



รูปที่ 2.3 ระบบการใช้น้ำภายในอาคารสูงที่มีการนำกลับมาใช้ใหม่
 ที่มา : (ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2536 อ้างถึงใน อัมพวัน พงศ์สิทธิศักดิ์, 2539)

ภายในอาคาร ได้แก่ การใช้อาบ 23% ,ใช้ดื่ม-ทำอาหาร 3% และการซักล้าง 14% และความต้องการนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อการอุปโภคคิดเป็น 60% ของความต้องการน้ำโดยเฉลี่ย มาจากกิจกรรมภายในอาคาร คือ การใช้น้ำชำระโถส้วม 28% และภายนอกอาคารทั้งหมด 32%

2.1.4.4 มาตรฐานคุณภาพน้ำในการนำกลับมาใช้ใหม่ในอาคาร :

เกณฑ์ในการพิจารณาเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการนำกลับมาใช้ใหม่ในอาคาร ได้แก่ ความปลอดภัยทางด้านสาธารณสุข ความมีสุนทรีย์ภาพ และความพอใจในการใช้น้ำ การยอมรับจากสาธารณชนผู้ใช้น้ำ ,ความคงตัว และเชื่อถือได้ของระบบ

ซึ่ง ยูเอส.-อีพีเอ. ได้เสนอมาตรฐานที่ใช้เป็นแนวทางสำหรับการนำกลับมาใช้ใหม่ ในกิจการที่ต้องสัมผัสกับมนุษย์โดยตรง ดังกิจกรรมต่างๆ ในอาคารสูงที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยคำนึงถึงพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อสุขภาพ และความปลอดภัยของผู้ใช้ แสดงดังตารางที่ 2.3

สำหรับประเทศไทยนั้น ได้กำหนดมาตรฐานน้ำที่จะนำกลับมาใช้สำหรับชำระ โถส้วม และชดเชยน้ำในระบบปรับอากาศไว้เช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ในกิจกรรมที่สัมผัสกับมนุษย์ของ ยูเอส.อีพีเอ.

Parameter	Urban uses ,Irrigation eaten food crop ,Recreation impoundments	Aesthetic impoundments ,irrigation of restricted access areas
pH	6 - 9	6 - 9
BOD.	< 10 mg./l.	≤ 30
Turbidity	< 2 NTU	-
Suspended solids	< 5 mg./l.	≤ 30
Fecal coliform	Not Detectable	≤ 200 / 100ml.
Residual chlorine	1 mg./l.	1 mg./l.

ที่มา : U.S.EPA. (1992)

ตารางที่ 2.4 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ภายในอาคารของประเทศไทย

Parameter	หน่วย	ชำระ โถส้วม	ระบบปรับอากาศ
pH	-	5.8 - 9.0	5.8 - 9.0
Turbidity	NTU	≤ 5	≤ 10
Color	Unit	≤ 10	-
Suspended. solids	มก./ล	≤ 5	≤ 10
BOD.	มก./ล	≤ 10	≤ 10
COD.	มก./ล	≤ 40	≤ 20
ABS.	มก./ล	≤ 1	≤ 1
Total Hardness	มก./ล	≤ 200	≤ 300
Total Nitrogen	มก./ล	-	-
Ammonia Nitrogen	มก./ล	≤ 20	≤ 20
Phosphase	มก./ล	≤ 1	-
Total Coliform	Colony/ml	Not Detectable	-
Residual Chlorine	มก./ล	-	-

ที่มา : (Sanki Engineering CO..LTD (n.d.) อ้างถึงใน อัมพวัน พงศ์สิทธิศักดิ์, 2539)

2.1.5 กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ในอาคารสูง

กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ มีหลักการต่างๆ ดังเช่นกับกระบวนการบำบัดน้ำเสีย และการผลิตน้ำประปา โดยคุณภาพของน้ำเสียที่เข้า ประเภทของงานที่ต้องการใช้น้ำ และสภาพพื้นที่ของอาคาร จะเป็นตัวบ่งชี้ในการเลือกหน่วยกระบวนการต่างๆ ที่ใช้ออกแบบ จนสามารถบำบัดน้ำออกให้มีคุณภาพได้มาตรฐานตามความต้องการใช้น้ำสำหรับกิจกรรมต่างๆ ในอาคาร

หน่วยกระบวนการที่มักถูกเลือกใช้งาน ในระบบนำกลับมาใช้ใหม่ของอาคาร แสดงดังรูปที่ 2.4 โดยระบบจะมีส่วนประกอบพื้นฐานที่คุ้นเคยในระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป คือ

- : การบำบัดก่อนขั้นต้น = การกรองหยาบ การบดคัด การตกตะกอนหนัก การบำบัดทางเคมี
- : การบำบัดขั้นต้น = การตกตะกอนขั้นที่ 1 การทำตะกอนลอย การกรองละเอียด
- : การบำบัดขั้นที่สอง = กระบวนการ เอ.เอส. ถานกรองชีวภาพ และ แผ่นหมุนชีวภาพ
- : การฆ่าเชื้อโรค = การเติมคลอรีน โอโซน แสงอัลตราไวโอเลต (UV)

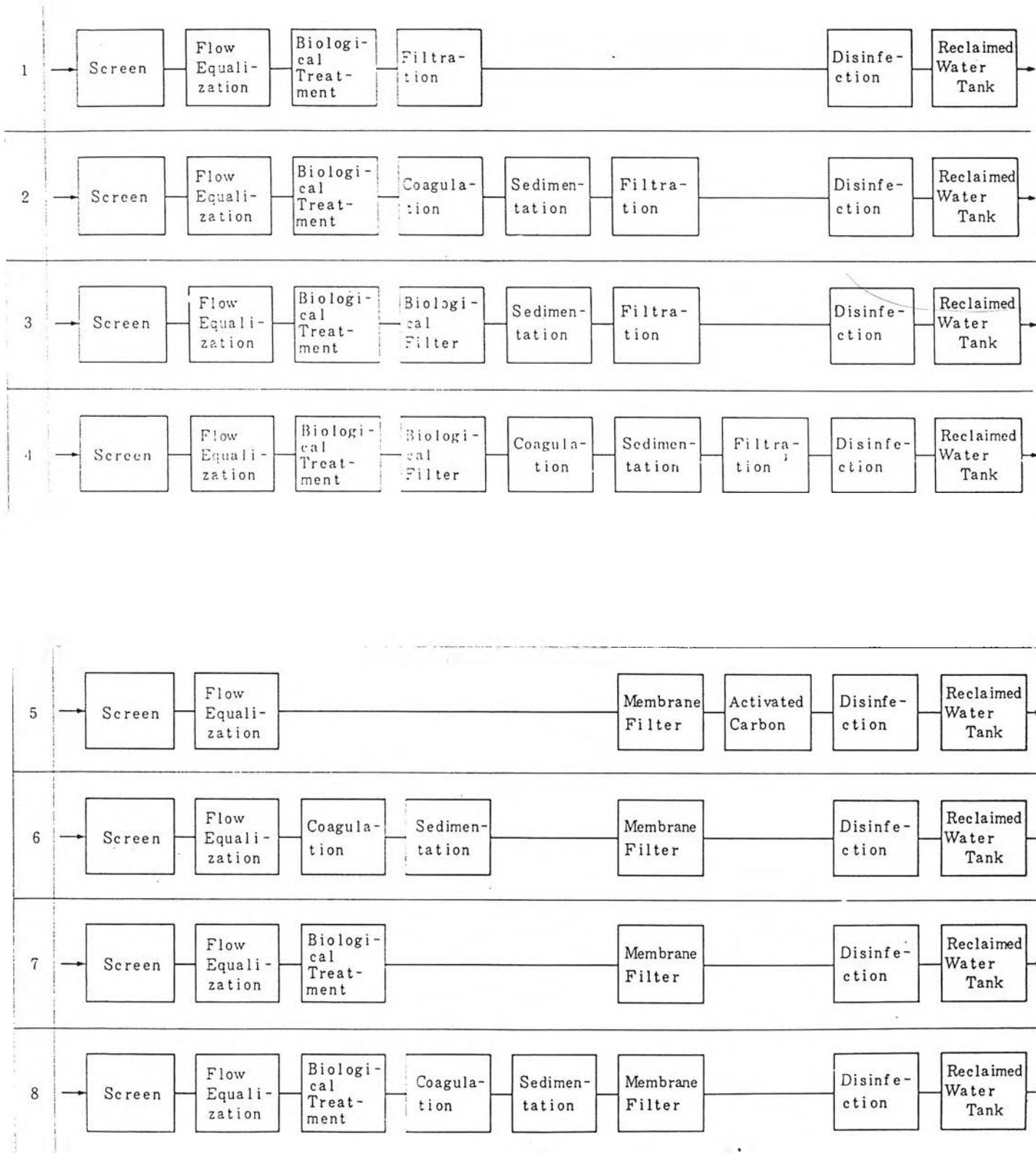
และมีการใช้ระบบบำบัดขั้นที่สาม หรือ ระบบบำบัดขั้นสูง เป็นตัวเพิ่มคุณภาพน้ำให้สูงจนสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งมีหลักการโดยสังเขปของกระบวนการที่นิยมใช้ ดังเช่น

-: การกรอง (Filtration) : นิยมใช้ในงานประปา นำมาใช้กรองน้ำที่ออกจากถังตกตะกอนที่สอง เพื่อกำจัดอนุภาคแขวนลอยที่ยังหลงเหลืออยู่ ก่อนส่งน้ำไปฆ่าเชื้อโรค สารกรองที่ใช้ได้แก่ ทราย (ชั้นกรองเคียว) ทราย แอนทราไซค์ และคาร์เนด (หลายชั้นกรอง) และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกรองได้โดยการเติมโพลีเมอร์ และ โคลแอกกูแลนต์

-: การสมานตะกอน (Chemical Coagulation) ใช้สาร โคลแอกกูแลนต์ (สารส้ม .เพอริคลอไรด์) ร่วมกับปูนขาวช่วยปรับพีเอช และทำให้เกิดการจับเป็นอนุภาคที่ไม่ละลาย โดยกระบวนการจะประกอบด้วย การกวนเร็ว (Destabilization) การกวนช้า (Flocculation) และการตกตะกอน ซึ่งจะสามารกกำจัดอนุภาคลอย ความขุ่น สี โลหะหนักบางตัว ฟอสฟอรัส ฯลฯ เป็นต้น

-: การดูดซับด้วยถ่าน (Carbon Adsorption) ถ่านที่ใช้มี 2 ชนิด คือ แบบเม็ด (GAC.) บรรจุในถังหรือคอลัมน์ กรองน้ำผ่านชั้นถ่าน แบบผง (PAC.) มักเติมผสมกับน้ำเสียในถังเดิมอากาศ เรียกรวมกันว่า ถ่านกัมมันต์ มีสมบัติในการดูดซับสารอินทรีย์ไว้ภายในรูพรุนของถ่าน และยังสามารถกำจัดโลหะหนักได้หลายชนิด เช่น แคดเมียม ปรอท สารหนู เซเลเนียม เฮกซะวาเลนซ์-โครเมียม เป็นต้น

-: กระบวนการอื่นๆ เช่น การเป่าไล่ด้วยอากาศ การแลกเปลี่ยนไอออน และการกำจัดฟอสฟอรัส รูปแบบต่างๆ เป็นต้น สำหรับการกำจัดไนโตรเจน และกระบวนการเมมเบรน ซึ่งเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ ในลำดับต่อไป



รูปที่ 2.4 กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ในอาคารสูง
ที่มา : (Asano et al., 1986)

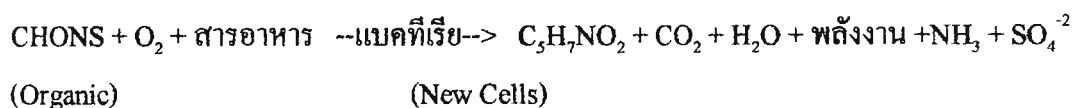
2.2 การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการเอ.เอส. (Activated Sludge Process)

ระบบเอ.เอส. เป็นระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์เจริญเติบโตแขวนลอยในน้ำ (Suspension Growth) มีส่วนประกอบหลัก คือ ถังเติมอากาศ ถังตกตะกอน ระบบเวียนตะกอนกลับ และระบบเติมอากาศ แผนผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.5 การคิดแปลงใช้งานมีหลายรูปแบบ เช่น กระบวนการเติมอากาศตามยาว และเป็นขั้นๆ การสัมผัส-ย่อยสลาย ยืดการเติมอากาศ การไหลวนเวียน ฯลฯ อาศัยการเปลี่ยนแปลงภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ อายุสัปดาห์ และปรับปรุงรูปแบบทางกายภาพ ซึ่งมีผลกับการคัดพันธุ์ สภาพแวดล้อมของจุลินทรีย์ และการทำงานของกระบวนการ ตามลำดับ โดยแต่ละรูปแบบมี ข้อดี และข้อเสียแตกต่างกัน แต่ล้วนมีองค์ประกอบในการทำงานเหมือนกัน

2.2.1 องค์ประกอบในการทำงานของระบบเอ.เอส.

2.2.1.1 การกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอน : โดยใช้จุลินทรีย์ชนิดแอโรบิกและแฟคัลเททีฟที่สามารถจับตัวเป็นฟล็อก และมีปริมาณมากพอแขวนลอยสัมผัสกับน้ำเสียในถังเติมอากาศด้วยระบบการกวน และ/หรือระบบเติมอากาศ โดยขั้นตอนจะเกิดอย่างต่อเนื่องในถังเติมอากาศ ดังนี้

จุลินทรีย์จะส่งเอนไซม์มาย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสียให้มีโมเลกุลเล็กลงจนซึมผ่านผนังเซลล์ได้ (Transfer Step) และจะถูกเปลี่ยนรูปด้วยกระบวนการออกซิเดชัน โดยใช้ออกซิเจนอิสระที่เติมให้แก่ระบบ (Conversion Step) และขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนขึ้น พร้อมกับได้ผลผลิตต่างๆ ดังปฏิกิริยาชีวเคมี คือ



2.2.1.2 การตกตะกอน : เมื่อน้ำออกจากถังเติมอากาศ สารอินทรีย์จะถูกใช้ไปเกือบหมด จุลินทรีย์จะมีพลังงานลดลง เมื่อเกิดการชนกันจะรวมตัวเป็นตะกอนขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า ฟล็อก (Floc) โดยใช้ถังตกตะกอนแยกตะกอนจุลินทรีย์ไม่ให้หลุดไปกับน้ำออก ซึ่งจะสามารถควบคุมจำนวนจุลินทรีย์ภายในระบบได้ตามต้องการ และจะปล่อยแต่น้ำใสส่วนบนให้ไหลล้นออกจากระบบไป

2.2.1.3 เวียนสัปดาห์จุลินทรีย์เข้มข้นจากถังตกตะกอนกลับไปยังถังเติมอากาศ : เพื่อช่วยในการควบคุมความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ และรักษาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ โดยควบคุมอัตราส่วนการเวียนสัปดาห์กลับ

2.2.1.4 ค่าอายุเฉลี่ยสลัดจ์จุลชีพในระบบ (Sludge age : Θ_c) และอัตราส่วนน้ำหนักรวมอินทรีย์ต่อจุลชีพ (F/M Ratio) : มีความสำคัญต่อการทำงานของระบบโดยตรง สามารถควบคุมได้โดยการระบายตะกอนส่วนเกินทิ้ง ด้วยการสูบออกจากก้นถังตกตะกอน หรือถังเติมอากาศโดยตรง

ถ้าจุลชีพมีค่าอายุสลัดจ์ต่ำ (F/M สูง) จะเกิดสลัดจ์ส่วนเกินมาก จุลชีพจะใช้สารอินทรีย์และเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนไม่รวมตัวเป็นฟล็อก ซึ่งตกตะกอนได้ยาก และน้ำออกยังมีปริมาณสารอินทรีย์สูง การเพิ่มค่าอายุสลัดจ์ ระบบจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สูงขึ้น จนถึงค่าหนึ่ง

ถ้าจุลชีพมีค่าอายุสลัดจ์สูง (F/M ต่ำ) แม้จะเกิดสลัดจ์ส่วนเกินทิ้งน้อย แต่จุลชีพในระบบจะมีจำนวนมาก จนเกิดการขาดอาหาร และจะรวมตัวเป็น ฟล็อกปลายแหลม (Pin Point Floc) หลุดออกไปกับน้ำออก ทำให้ระบบกลับมีประสิทธิภาพด้อยลงได้ ฉะนั้นการออกแบบ และควบคุมระบบที่ดี จึงควรมีค่าอายุสลัดจ์เหมาะสมกับรูปแบบของระบบ และไม่ต่ำหรือสูงจนเกินไป

2.2.2 หลักการออกแบบระบบเอ.เอส.

ข้อมูลหลักที่ใช้ในการออกแบบระบบเอ.เอส. รูปแบบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.5 ซึ่งการออกแบบต้องมีการคำนวณค่าต่างๆ ดังนี้

2.2.2.1 ปริมาตรถังเติมอากาศ (m^3) : การคำนวณนิยมอยู่ 2 วิธี คือ จากค่าอัตราส่วนสารอาหารต่อจุลชีพ หรือค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และจากสมการทางจลศาสตร์

2.2.2.2 ปริมาณสลัดจ์ส่วนเกิน (kg/day) : เป็นค่าที่มีความสำคัญ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของระบบเปลี่ยนแปลงได้ โดยมีความสัมพันธ์กับค่าอายุสลัดจ์ คำนวณจากผลหารของ ปริมาณสลัดจ์จุลชีพทั้งหมดในถังเติมอากาศกับค่าอายุสลัดจ์

2.2.2.3 ความต้องการออกซิเจนของระบบ (kg/day) : คำนวณจากค่าความต้องการออกซิเจนของสารอินทรีย์ (CBOD.) รวมถึงไนโตรเจน (NBOD.) ด้วย ถ้าระบบเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Single Stage Nitrification)

2.2.2.4 ระบบเติมอากาศ ทำหน้าที่ทั้ง ให้ออกซิเจน และกวนผสมสลัดจ์จุลชีพ ในถังเติมอากาศ ซึ่งคำนวณปริมาณอากาศส่งเข้า (m^3/day) และพลังงานที่ใช้จากน้ำหนักรวมของออกซิเจนในอากาศ ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ และข้อกำหนดของผู้ผลิต เครื่องเติมอากาศนั้นๆ ($kgO_2/HP-hr$) ตามลำดับ

2.2.2.5 อัตราการสูญเสียแอมโมเนีย (m^3/day) คำนวณจากการคูณมวลแอมโมเนียในระบบ ได้เป็นค่าอัตราส่วนการเวียนกลับ (R) คือ อัตราไหลของแอมโมเนียต่ออัตราไหลน้ำเสีย (Q_r/Q)

2.2.3 ปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการทำงานของระบบเอ.เอส : (WEF. & ASCE. Manual,1992)

2.2.3.1 อุณหภูมิ : ส่งผลกระทบต่อค่าคงที่ทางจลศาสตร์ และ อัตราการถ่ายเทออกซิเจน ซึ่งในการออกแบบระบบบำบัดทางชีวภาพ นิยมใช้ค่าปรับแก้อุณหภูมิ เช่น ค่าอัตราการย่อยสลายสูงสุด ต่อหน่วยมวลจุลินทรีย์ (k) และ ค่าคงที่การย่อยสลาย (b) ตามสมการของ Van't Hoff - Arrhenius คือ

$$K_{T_2} = K_{T_1} \Theta^{(T_2 - T_1)}$$

โดยค่า Θ สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ จะอยู่ในช่วง 1.0 - 1.04 , ค่าแนะนำคือ 1.02

2.2.3.2 ออกซิเจนละลาย : ภายใต้อุณหภูมิอากาศ ต้องมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ คือ 0.5 และ 2.0 มก./ล ที่ภาระบรรทุก สูงสุด และปกติ ตามลำดับ , ค่าเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับกระบวนการไนตริฟิเคชัน นิยมออกแบบที่ 2 มก./ล ในทุกสภาวะ

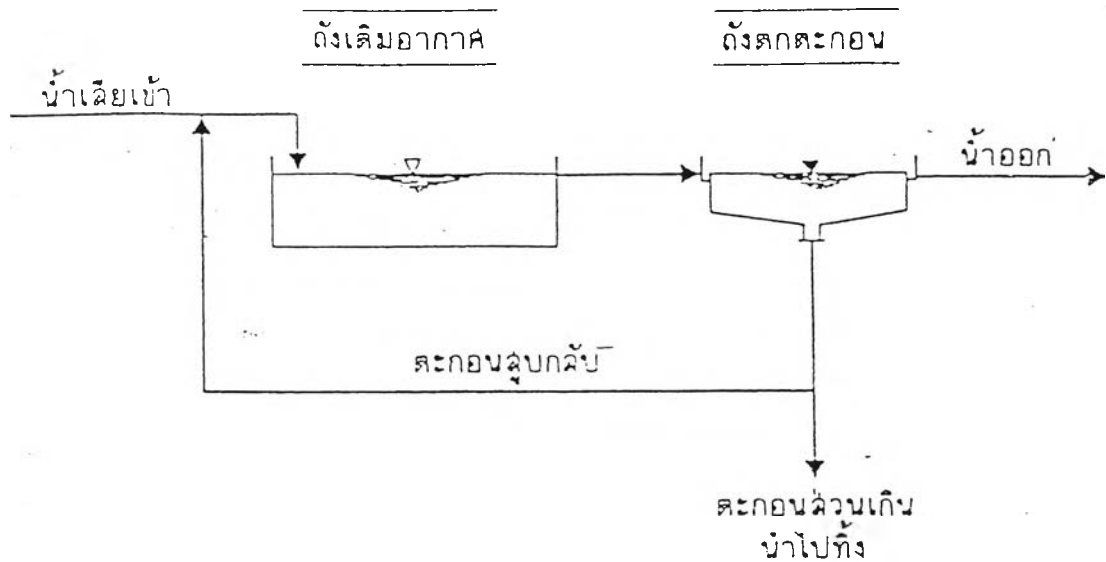
2.2.3.3 สารอาหาร : อัตราส่วนปริมาณสารอาหารที่ต้องการ คือ บีโอดี5 : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส เท่ากับ 100 : 5 : 1 เพื่อให้ในระบบเกิดจุลินทรีย์ชนิดที่ต้องการ ไม่เกิดปัญหาสลัดจ์ลอยตัว และ ตกตะกอนได้ดี ซึ่งน้ำเสียชุมชนโดยปกติจะมีสารอาหารอยู่เพียงพอกับความต้องการของระบบ

2.2.3.4 สารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่มีพิษ : จะยับยั้งปฏิกิริยา และ ทำลายจุลินทรีย์ที่แขวนลอยในระบบ โดยเฉพาะปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจะมีความอ่อนไหวต่อสารพิษ และฟิเอชมาก

2.2.3.5 ฟิเอช : ของสลัดจ์จุลินทรีย์ในระบบที่เหมาะสมกับการกำจัดสารอินทรีย์ ควรมีค่าอยู่ในช่วง 6.5 - 7.5 และเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการลดลงของฟิเอช ระบบควรคงค่าความเป็นค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 50 มก./ล

2.2.3.6 การแปรเปลี่ยนอัตราการไหล ความเข้มข้นสารอินทรีย์และไนโตรเจนในน้ำเข้า : มีผลกับประสิทธิภาพของระบบ โดยเฉพาะในกระบวนการไนตริฟิเคชัน ค่าความเข้มข้นในน้ำออกของไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยรายปี อาจต่างจาก ค่าเฉลี่ยสูงสุดของเดือนได้ถึง 40%

2.2.3.7 การผสม : มากพอให้ความเข้มข้นสลัดจ์จุลินทรีย์ สารอาหาร ออกซิเจนละลาย และอัตราการใช้ออกซิเจน สม่าเสมอทั่วถึง แต่ไม่ทำให้ฟล็อกแตก ปกติมีค่า 13.8 - 60 KW/1000 m^3 หรือ 20 - 90 $\text{m}^3 \text{air}/\text{min}-1000\text{m}^3$ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นสลัดจ์จุลินทรีย์ในระบบ (ธีระ เกรอด, 2539)



รูปที่ 2.5 แผนผังการทำงานของกระบวนการเอ.เอส.

ที่มา : (สุรพล สายพานิช, 2539)

ตารางที่ 2.5 หลักการออกแบบ (Criteria) สำหรับกระบวนการเอ.เอส.

Process	Θ_c (day)	\square kg BOD/kg MLVSS-day	\square MLSS (mg/l)	\square V/Q (h)	Q_r/Q \square
Conventional	5 - 15	0.2 - 0.4	1500 - 3000	4 - 8	0.25 - 0.5
Complete Mix.	5 - 15	0.2 - 0.6	3000 - 6000	3 - 5	0.25 - 1.0
Step Aeration	5 - 15	0.2 - 0.4	2000 - 3500	3 - 5	0.25 - 0.75
High rate Aeration	5 - 10	0.4 - 1.5	4000 - 10000	2 - 4	1 - 5
Modified Aeration	0.2 - 0.5	1.5 - 5.0	200 - 1,000	1.5 - 3	0.05 - 0.25
Contact & Stabilization \square	5 - 15	0.2 - 0.6	1000 - 3000	0.5 - 1.0	0.25 - 1.0
Extended Aeration	20 - 30	0.05 - 0.15	3000 - 6000	18 - 36	0.5 - 1.5
Pure-Oxygen System	3 - 10	0.25 - 1.0	2000 - 5000	1 - 3	0.25 - 0.5
Oxidation Ditch	10 - 30	0.05 - 0.3	3000 - 6000	8 - 36	0.75 - 1.5
1 Stage Nitrification	8 - 20	0.1 - 0.25	2000 - 3500	6 - 15	0.5 - 1.5

ที่มา : (WEF. & ASCE. Manual, 1992)

2.3 การกำจัดไนโตรเจนออกจากริ่เสีย (Nitrogen Removal)

ไนโตรเจน สารอาหารที่มีความจำเป็นในการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต โดยปกติน้ำเสียชุมชนจะมีความเข้มข้นไนโตรเจน 30 - 40 มก./ล ในรูปอินทรีย์ และแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งมากเกินความต้องการของระบบบำบัดทางชีวภาพ เมื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ จะก่อให้เกิดความต้องการออกซิเจน เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดพิษน้ำเค็ม โดยอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้แหล่งน้ำเน่าเสียได้ในที่สุด

2.3.1 กระบวนการกำจัดไนโตรเจน

2.3.1.1 วิธีทางกายภาพ : เช่น การเป่าไล่ด้วยอากาศ (Air Stripping) จะกำจัดได้เฉพาะแอมโมเนียไนโตรเจน ฟิลาเทรชัน กำจัดเฉพาะอินทรีย์ไนโตรเจนในรูปอนุภาคเท่านั้น รีเวอร์สออสโมซิส กำจัดไนโตรเจนได้ทุกรูป แต่ประสิทธิภาพขึ้นกับชนิดของเมมเบรนที่ใช้

2.3.1.2 วิธีทางกายภาพเคมี : เช่น การเติมคลอรีน กำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้เท่านั้น โดยการออกซิไคซ์ให้เป็นก๊าซไนโตรเจน ไคแอกกูเลชัน และการดูดซับด้วยถ่าน ใช้กำจัดสารอินทรีย์ไนโตรเจน และการแลกเปลี่ยนประจุ กำจัดไนโตรเจนได้ทุกรูป ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเรซิน

3.3.1.3 วิธีทางชีวภาพ : เป็นวิธีการกำจัดไนโตรเจนที่ประหยัด และนิยมใช้มากที่สุด โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงรูปต่างๆในวัฏจักรของไนโตรเจน ตามกระบวนการดังนี้

-:แบคทีเรียที่มีอยู่ทั่วไปในท่อรวบรวม และระบบบำบัดน้ำเสีย จะใช้เอนไซม์เปลี่ยนอินทรีย์ไนโตรเจน ไปเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งเกิดได้รวดเร็วและสมบูรณ์ (Ammonification)

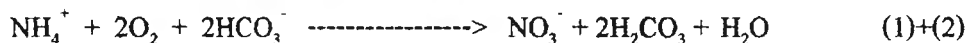
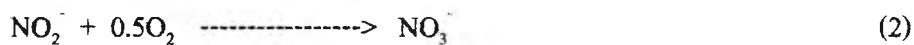
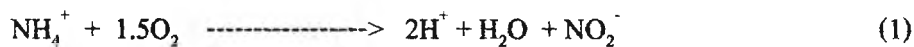
-:จุลชีพใช้แอมโมเนียไนโตรเจนเพียงเล็กน้อยในอัตราส่วน บีโอดี : ไนโตรเจน 100 : 5 เป็นสารอาหารในปฏิกิริยาชีวเคมีกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนและสร้างเซลล์ใหม่ (Assimilation)

-:ในสภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) อย่างเพียงพอ แอมโมเนียไนโตรเจนจะถูกออกซิไคซ์ เปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรต์และไนเตรท โดยแบคทีเรียออกโตโทรป คือ ไนตริไฟอิงค์ แบคทีเรีย 2 ชนิด ได้แก่ ไนโตรโซโมแนส และ ไนโตรแบคเตอร์ ตามลำดับ (Nitrification)

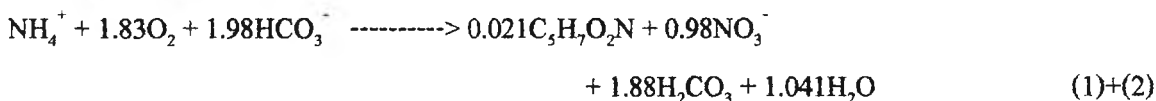
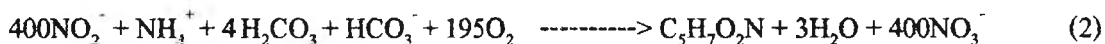
-:ในสภาวะที่ขาดแคลนออกซิเจน (Anoxic) และมีแหล่งอาหารคาร์บอนเพียงพอ จุลชีพพวกเฮเทอโรโทรป และออกโตโทรป จะดึงออกซิเจนจากไนเตรท มาใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอน และแบ่งเซลล์ แล้วปลดปล่อยไนโตรเจนออกจากริ่เสียในรูปของก๊าซ (Denitrification)

2.3.2 กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

2.3.2.1 ปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน : มีอยู่ 2 ขั้น คือ ปฏิกริยาที่ออกซิไดส์แอมโมเนียให้เปลี่ยนเป็นไนไตรท์ และไนเตรท โดยแบคทีเรียไนโตรโซโมแนส และไนโตรแบคเตอร์ ตามลำดับ



เมื่อรวมผลของการเกิด แอสซิมิเลชัน ที่มีการใช้แอมโมเนียไนโตรเจนเป็นสารอาหาร ในการกำจัดสารอินทรีย์ และสังเคราะห์เซลล์ใหม่ ทำให้สมการของปฏิกริยาไนตริฟิเคชันเปลี่ยนไป ดังนี้



จากสมการดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การออกซิไดส์แอมโมเนียไนโตรเจน 1 มก./ล จะใช้ปริมาณออกซิเจน และความเป็นด่าง ประมาณ 4.33 กับ 7.14 มก./ล ตามลำดับ และปริมาณเซลล์ยีสต์มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับหน่วยของแอมโมเนียที่ถูกออกซิไดส์

2.3.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน :

-: อัตราส่วน บี โอ ดี.ต่อทีเคเอ็น : ปกติไนตริไฟด์อิงค์ มีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับเฮเทอโรโทรป ซึ่งเมื่อสัดส่วนสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น จำนวนไนตริไฟด์อิงค์จะลดลง ซึ่งอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจะลดลงเมื่อภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น เนื่องจากพวกเฮเทอโรโทรปที่มีจำนวนมากกว่า ไนตริไฟด์อิงค์ จะแย่งใช้ออกซิเจนละลาย (Stenstrom and Song, 1975)

-: อุณหภูมิ : อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จนถึง 30 °C แต่จะมีผลเพียงเล็กน้อยในช่วง 15-30 °C , ส่งผลมาจากอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดจำเพาะ ($\mu_{n,max}$) ที่เพิ่มขึ้น (Stankewich, 1972 อ้างถึงใน ซีระ เกรอค, 2539) ตามสมการ

$$\mu_{mT} = \mu_{m15} e^{K(T-15)}$$

โดยค่า K = 0.095 - 0.12 สำหรับไนโตรโซโมแนส และ 0.056 - 0.069 สำหรับไนโตรแบคเตอร์

-: พีเอช : ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันทำลายความเป็นด่าง พีเอชในระบบลดลง เมื่อบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอ ส่งผลต่ออัตราปฏิกริยา แต่ไม่รุนแรงในระบบเอ.เอส ซึ่งเป็นจุลชีพกลุ่มผสม มีช่วงพีเอชเหมาะสมกว้าง แต่ส่งผลมากขึ้นถ้าอุณหภูมิลดลง (Downing et al, 1967 อ้างถึงใน ชีวะ เกรอต, 2539) สมการแสดงผลของพีเอชต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ เมื่อพีเอชน้อยกว่า 7.2 สำหรับ ไนโตรโซโมแนส (จำกัดปฏิกริยา)

$$\mu_m = \mu_{m,max} [1 - 0.833 (7.2 - pH)]$$

โดยค่า $\mu_{m,max}$ สมมุติว่าคงที่ในช่วงพีเอช 7.2-8.0 จากการศึกษาของหลายท่าน สรุปได้ว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมกับ ไนตริไฟอิงค์ สำหรับปฏิกริยาไนตริฟิเคชันควรมีค่า 7.5-8.5 (US.EPA., 1975)

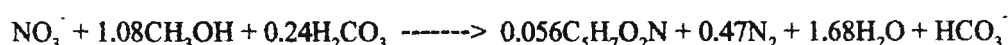
-: ออกซิเจนละลาย : ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนของปฏิกริยา โดยค่าที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียไนโตรโซโมแนส และ ไนโตรแบคเตอร์ ต้องไม่ต่ำกว่า 1 และ 2 มก./ล ตามลำดับ โดยทั่วไปจะรักษาให้มีค่าออกซิเจนละลาย มากกว่า 2 มก./ล เสมอ

-: สารยับยั้งและเป็นพิษ : ไนตริไฟอิงค์แบคทีเรียอ่อนไหวต่อสารต่างๆ อาจยับยั้งการเจริญหรือถึงขั้นทำลาย ได้แก่ สารอนินทรีย์ เช่น แอมโมเนียอิสระ (FA) และกรดไนตริสอิสระ (FNA) และสารประกอบอินทรีย์บางชนิด เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลต่อปฏิกริยาตามชนิดและความเข้มข้นต่างๆกันไป

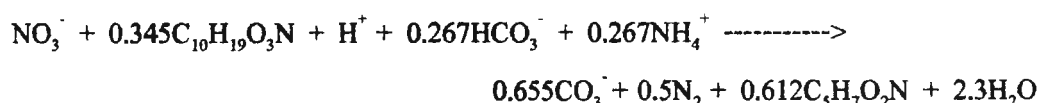
2.3.3 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

2.3.3.1 ปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชัน : แบ่งเป็น 3 ประเภท ตามชนิดแหล่งอาหารคาร์บอน

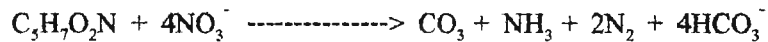
-: แหล่งอาหารอินทรีย์คาร์บอนภายนอก : จากการเติมสารเคมี โดยทั่วไปนิยมใช้ เมธานอล (Methanal) ซึ่งมีราคาถูกที่สุด ย่อยสลายง่าย และมีค่ายึดค้ำ โดยการรีดิวซ์ไนเตรท 1 มก./ล ในรูปไนโตรเจนให้เป็นก๊าซ ต้องใช้เมธานอลประมาณ 2.47 มก./ล ปฏิกริยารวมที่เกิดแสดงดังสมการ



-: แหล่งอาหารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสีย ($C_{10}H_{19}O_3N$) : มักเป็นระบบที่มีเซตแอนนอกซิคินำ การเติมอากาศ และใช้น้ำเสียที่เข้าระบบเป็นแหล่งคาร์บอนซึ่งจะมีแอมโมเนียไนโตรเจนอยู่ด้วย การรีดิวซ์ไนเตรทไนโตรเจน 1 มก./ล. ใช้ซีโอตีประมาณ 4.5 มก./ล แสดงดังสมการ



-: แหล่งอาหารคาร์บอนจากการสลายตัวของเซลล์ช่วงเอ็น โคจีนัส : ไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอน การรีดิวซ์ไนเตรทในโตรเจน 1 มก./ล จุลชีพจะใช้เซลล์ที่ย่อยสลายไป 2.02 มก./ล อัตราปฏิกิริยาต่ำที่สุด



จากปฏิกิริยาทั้งหมด ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ผลสรุปที่น่าสนใจคือ ค่าออกซิเจนได้คืน 2.86 mg.O₂/mg.NO₃-N ความเป็นด่างกลับคืน 3 mg.as CaCO₃/mg.NO₃-N และการสร้างเซลล์ใหม่ 0.4 VSS./mg.COD (WEF ,ASCE Manual, 1992)

2.3.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน :

-: ออกซิเจนละลาย : จุลชีพสามารถใช้ออกซิเจนอิสระได้ดีกว่าจากไนเตรท การสร้างสภาวะขาดแคลนออกซิเจน (Anoxic) จึงต้องควบคุมให้ระบบมีค่าดีไอ. น้อยที่สุด หรือไม่มีเลย ซึ่งอัตราปฏิกิริยาที่ ดีไอ. 0.2 มก./ล อาจเป็นครึ่งหนึ่งของอัตราปฏิกิริยาที่ ดีไอ. เท่ากับศูนย์ Rittman และ Langeland (1985) สรุปรวบรวมผลการศึกษาไว้ว่า สามารถเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในระบบ เอ.เอส. ได้ที่ ดีไอ. เท่ากับ 0.5 มก./ล เนื่องจากจุลชีพที่อยู่ในชั้นฟล็อก จะได้รับ ดีไอ. ต่ำกว่าที่วัดได้จริง

-: ปริมาณไนเตรทและอาหารอินทรีย์คาร์บอน : เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะมีค่าสูง ถ้าปริมาณไนเตรท และอินทรีย์คาร์บอน มีไม่จำกัด แต่จะต้องใช้อัตราส่วนปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่อไนเตรท ซึ่งเมื่อจบปฏิกิริยาจะกำจัดสารทั้งสองให้เหลือต่ำกว่าค่ามาตรฐานได้ Ekama และ Marais (1984) ได้ทำการทดลอง และสรุปไว้ว่าการกำจัดไนเตรท 1. กรัม ต้องใช้ซีไอดี 8.6 กรัม

-: พีเอช : ปกติกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ทำให้ค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้นทดแทนค่าที่ถูกใช้ไปในกระบวนการ ไนตริฟิเคชัน Parker และคณะ (1975) อัตราปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน มีค่าสูงสุดที่ช่วงพีเอช 7-7.5 และจะลดลงแบบเชิงเส้นเมื่อ 7 > พีเอช > 7.5 ในทางปฏิบัติ พีเอชที่เหมาะสมควรมีค่า 6.5-8.5

-: อุณหภูมิ: Parker และคณะ (1975) สรุปผลการศึกษาจากหลายท่านไว้ว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง ซึ่งจะพิจารณาร่วมกับ ค่าดีไอ. แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$r_{DN,T} = r_{DN,20} \Theta^{(T-20)} (1 - DO)$$

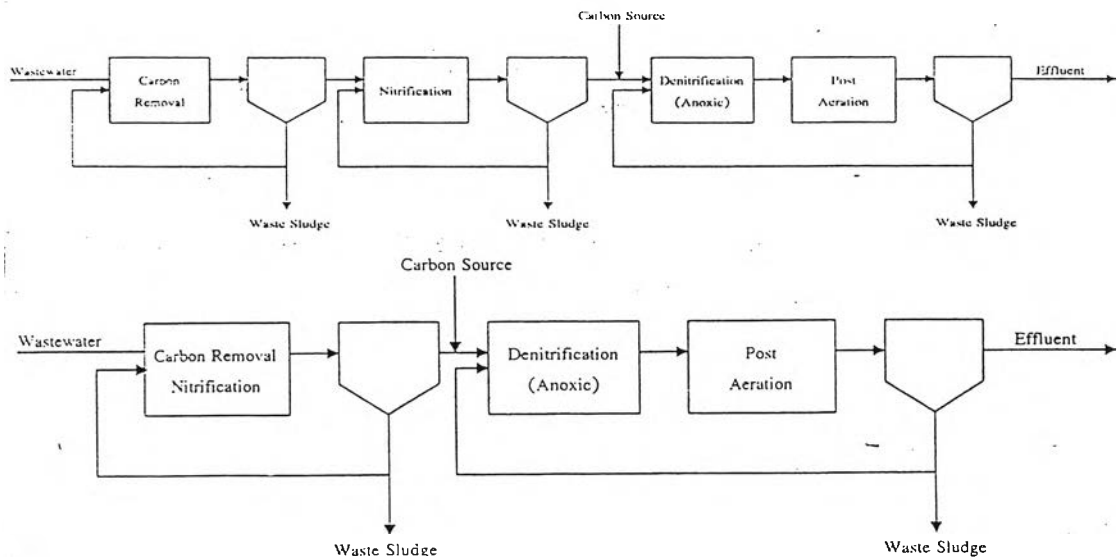
(WEF and ASCE. Manual,1992) Θ มีค่า 1.07 - 1.15 สำหรับเมธานอล ,1.03 - 1.09 สำหรับน้ำเสีย และ 1.2 สำหรับ เอ็นโคจีนัสเซลล์เป็นแหล่งอาหารคาร์บอน ตามลำดับ

2.3.4 การประยุกต์กระบวนการเอ.เอส. ในการกำจัดไนโตรเจน :

จากหลักการข้างต้น ได้นำระบบเอ.เอส.มาดัดแปลงเพื่อการออกแบบระบบกำจัดไนโตรเจน โดยจัดวางถึงปฏิกรณ์ในรูปแบบต่างๆเพื่อสร้างสภาวะระหว่าง แอนน็อกซิกกับเอโรบิก ดังนี้

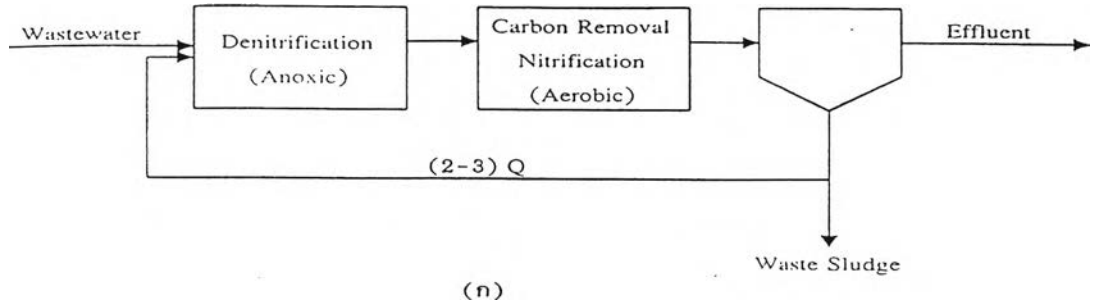
2.3.4.1 ระบบกำจัดไนโตรเจนแบบแยก : ตั้งปฏิกรณ์-ตกตะกอน การกำจัดสารอินทรีย์ และไนโตรเจน เป็นอิสระจากกัน ใช้ปรับปรุงระบบเดิมที่ไม่ได้เตรียมการกำจัดไนโตรเจนไว้ก่อน และมีการเติมแหล่งคาร์บอนในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน มีความสิ้นเปลืองในทางปฏิบัติ แสดงดังรูป 2.6

2.3.4.2 ระบบกำจัดไนโตรเจนแบบรวม อาศัยหลักการหมุนเวียนตะกอนที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ และปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในเขตเอโรบิก จนมีไนเตรทปริมาณมากกลับมาผสมกับน้ำเสียเข้าเป็นแหล่งคาร์บอน เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในเขตแอนน็อกซิก ซึ่งอาจมีการสลับสภาวะแอนน็อกซิก-เอโรบิก อีกครั้งเพื่อให้เกิด ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันซ้ำ จากเอ็นโดจีนัสเซลล์ และไลก์ก๊าซไนโตรเจนออกจากน้ำ ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับรูปแบบของกระบวนการ ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการสูบน้ำ หรือสลับจุ่มหมุนเวียนกลับ ให้ไนเตรทถูกนำมากำจัดมากขึ้น ระบบไม่ต้องอาศัยแหล่งคาร์บอนจากภายนอก ลดความต้องการออกซิเจนลง 20-30% และใช้ถังตกตะกอนเพียงถังเดียว พัฒนาใช้หลายรูปแบบ เช่น กระบวนการ คอนเวนชัน และ โมดิไฟด์ลูคแซค-เอ็ททิงเกอร์ แสดงดังรูปที่ 2.7 ก และ ข กระบวนการไหลเป็นวงจร แสดงดังรูปที่ 2.7 ค ,บาร์เดิน โฟว์ 4 ชั้น แสดงรูปที่ 2.7 ง และอื่นๆ ได้แก่ กระบวนการ เอสบีอาร์, เฟสไอโซเลชันดิทซ์ เป็นต้น

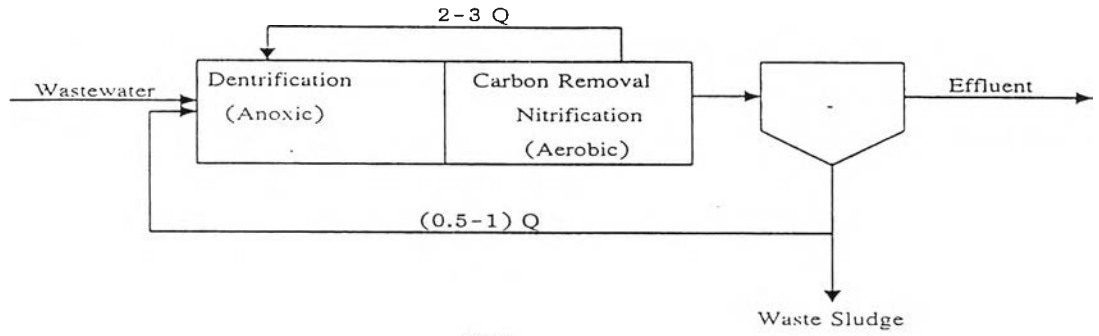


รูปที่ 2.6 การกำจัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการสลัดจ์ 3 และ 2 ชั้น (Triple & Dual Sludge Process)

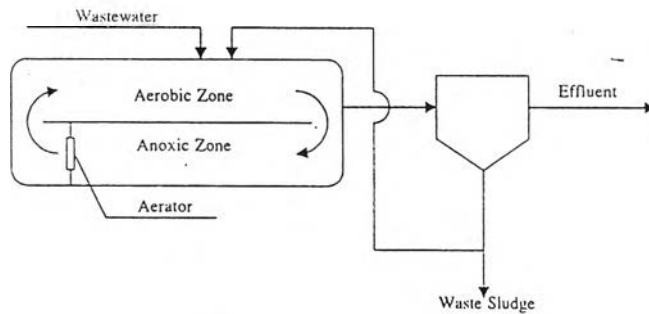
ที่มา : (WEF and ASCE, Manual,1992)



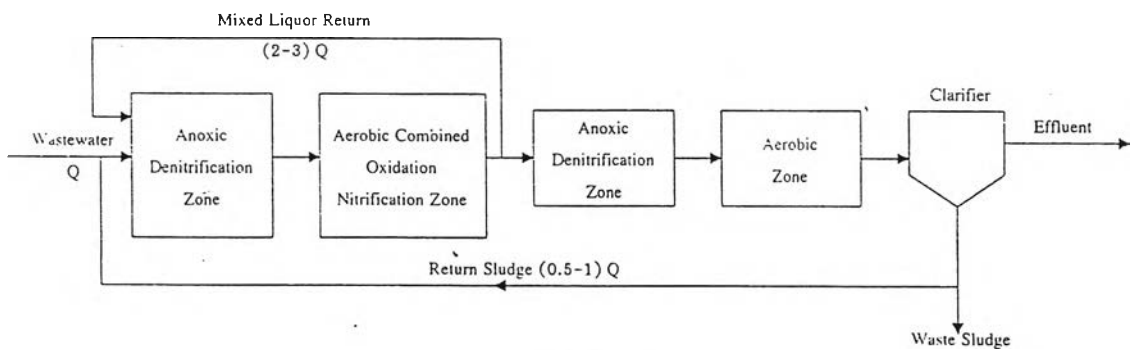
(น)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างกระบวนการกำจัดไนโตรเจนแบบรวม (ที่มา : WEF and ASCE Manual, 1992)

ก Convention Ludzack - Ettinger Process

ข Modified Ludzack - Ettinger Process

ค Oxidation Ditch Process

ง Bardenpho 4 ชั้น

2.4 กระบวนการเมมเบรน (Membrane Process)

เมมเบรน คือ เยื่อฟิล์มบางที่สังเคราะห์ขึ้นจากวัสดุอินทรีย์หรืออนินทรีย์เช่น เซลลูโลสอะซิเตต และ โพลีเอไมด์ ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการเลือกกักแยก ไอออน สารอินทรีย์-อนินทรีย์ และ อนุภาคต่างๆออกจากของเหลวหรือก๊าซได้

กระบวนการเมมเบรน หมายถึง กระบวนการต่างๆ ที่อาศัยเยื่อเมมเบรน (Semi-Permeable Membrane) ในการแยกสารละลายออกจากของเหลวหรือก๊าซ โดยใช้แรงขับเคลื่อนในการเคลื่อนของไหล ให้ซึมผ่านเยื่อเมมเบรน และกักแยกสารต่างๆไว้ในรูปของสารละลายเข้มข้น โดยไม่ยอมให้ผ่านไป

2.4.1 เมมเบรนเทคโนโลยี

ความสามารถของเมมเบรนในการกักแยกสารต่างๆ จะขึ้นอยู่กับชนิดของเมมเบรน โดยจำแนกออกได้ตาม ขนาดรูช่องว่าง (Pore size) หรือ การคัดออกตามน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight Cutoff) ของเมมเบรน ขนาดแรงขับเคลื่อน ขนาดและน้ำหนักโมเลกุลของสารที่เมมเบรนสามารถแยกออกได้ ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 2.8 เทคโนโลยีของเมมเบรนในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

2.4.1.1 รีเวอร์สออสโมซิส (RO) บางครั้งเรียก ไฮเพอร์ฟิลเทรชัน ทำงานโดยแรงขับเคลื่อนที่มีค่าสูงหรือมากกว่า 300-1000 psig ซึ่งมีค่ามากกว่าแรงดันออสโมซิสของสารละลายที่จะทำการแยก ทำการเคลื่อนของไหลให้ซึมผ่านเยื่อเมมเบรน โดยสามารถแยก ความเค็มของน้ำทะเล เกลือแร่ กรด ค่าง สารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 200 สารอนินทรีย์เกือบทุกชนิด รวมถึงแบคทีเรียและไวรัส มักใช้ในงานที่ต้องผลิตน้ำให้มีความบริสุทธิ์สูงร่วมกับกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

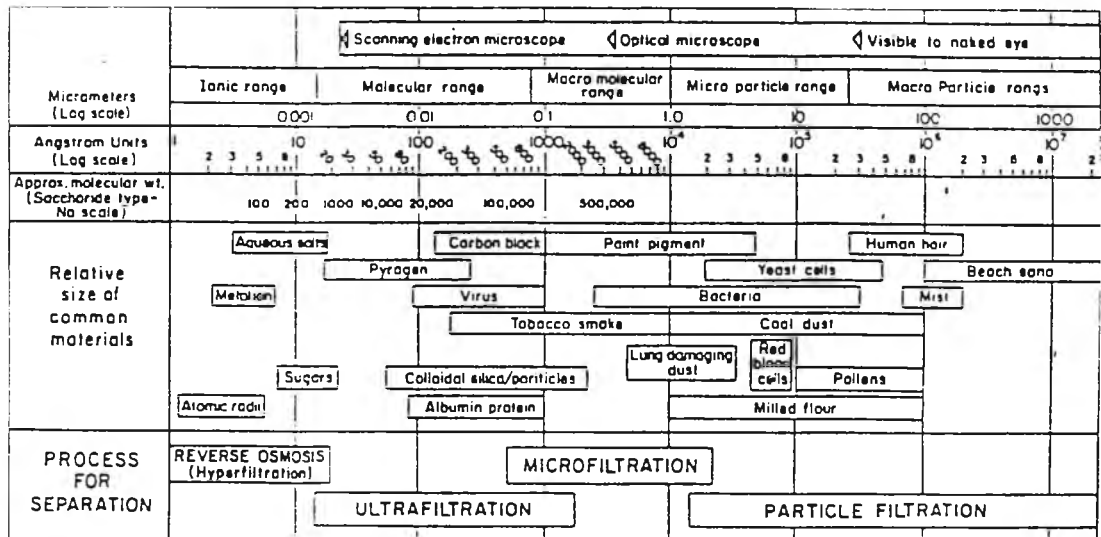
2.4.1.2 นาโนฟิลเทรชัน (NF) หรือ การกำจัดความกระด้างโดยเมมเบรน มีสมบัติเช่นกับ อาร์โอ. ยกเว้น ไอออนวาเลนซ์เดี่ยว กับสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กมาก จะผ่านไป และ ไอออนวาเลนซ์คู่กับ อนุภาคขนาดใหญ่กว่า 1 นาโนเมตร จะถูกแยกออก ปัจจุบันถูกประยุกต์ใช้ในงานที่มีอัตราไหลสูงๆและมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากมีกำลังการผลิตที่สูง และ ใช้ความดันต่ำกว่าอาร์โอ.

2.4.1.3 อิเล็กโทรไดอะไลซิส (ED) ทำงานด้วยแรงขับเคลื่อนทางไฟฟ้า โดยการสร้างความต่างศักย์ไฟฟ้าบวกและลบ ให้กับแผ่นเมมเบรนสองแผ่น ซึ่งแต่ละแผ่น จะปล่อยให้ไอออนที่มีประจุเหมือนกันผ่านไปได้นั้น โดยน้ำจะไหลผ่านเมมเบรนในแนวสัมผัส แต่ไอออนจะเคลื่อนที่ในทิศตั้งฉากกับเมมเบรน ซึ่งไม่สามารถแยกสารอินทรีย์ แต่จะแยกสารประกอบที่แตกตัวเป็นไอออนได้เท่านั้น

2.4.1.4 อัลตราฟิลเตรชัน (UF.) ทำงานโดยใช้แรงขับเคลื่อน ที่มีค่า 100 psig หรือต่ำกว่า ในการเคลื่อนของไหลให้ซึมผ่านเมมเบรน โดยมีความสามารถแยก สารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 500 และสารที่ไม่มีประจุ ส่วนสารที่แตกตัวเป็น ไอออนจะสามารถซึมผ่านไปได้ นิยมใช้ในงาน เช่น การทำน้ำผลไม้เข้มข้น การแยกโปรตีน ฯลฯ

2.4.1.5 ไมโครฟิลเตรชัน (MF.) ทำงานโดยใช้แรงขับเคลื่อนที่ต่ำ และมีอัตราการผลิตน้ำมากกว่าเมมเบรนชนิดอื่นๆที่ความดันเดียวกัน โดยสามารถกำจัดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากๆ ได้แก่อนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.01 - 10 μm . รวมถึงแบคทีเรีย ยีสต์ เชื้อรา และปรตติอื่น ๆ แต่ไม่สามารถกักแยกไอออนหรือสารละลายได้

ไมโครฟิลเตรชัน เป็นเมมเบรนลำดับสุดท้าย ที่มีสถานะการทำงานอยู่ระหว่าง อัลตราฟิลเตรชัน และการกรองหยาบอื่นๆ เปิดตัวใช้งานในแบบการกรองตามแนวขวาง กับงานประปา โดยทำหน้าที่แทนถังกรองเร็ว และพัฒนาต่อมาในงานบำบัดน้ำเสียขั้นที่สาม ซึ่งได้รับความนิยมเช่นกันกับ อัลตราฟิลเตรชัน จนกระทั่งทำหน้าที่แทนถังตกตะกอนที่สองของกระบวนการ เอ.เอส. ซึ่งมีทั้งแบบติดตั้งภายนอก และจมอยู่ภายในถังเดิมอากาศ ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป



รูปที่ 2.8 ชนิดของเมมเบรนและช่วงขนาดอนุภาคสารต่างๆที่สามารถกักแยกได้

ที่มา : (Applegate, 1984)

2.4.2 โมดูลชนิดต่างๆในกระบวนการเมมเบรน

2.4.2.1 โมดูลชนิดท่อ (Tubular Module) : โดยมีวนแผ่นเมมเบรนให้เป็นท่อเล็กๆขนาด 12 มม. แล้วบรรจุรวมกันใน Shell ที่ทำด้วยเสตนเลส ไฟเบอร์กลาส แสดงดังรูปที่ 2.9 ซึ่งทำหน้าที่เป็น โครงรองรับแผ่นเมมเบรนไม่ให้ฉีกขาดเมื่อถูกแรงดันสูงขั้ระหว่างการทำงาน และใช้เป็นทางรวบรวม น้ำที่ซึมผ่านแผ่นเมมเบรนมาสู่ท่อรองรับ เพื่อนำน้ำสะอาดออกจากตัวโมดูล

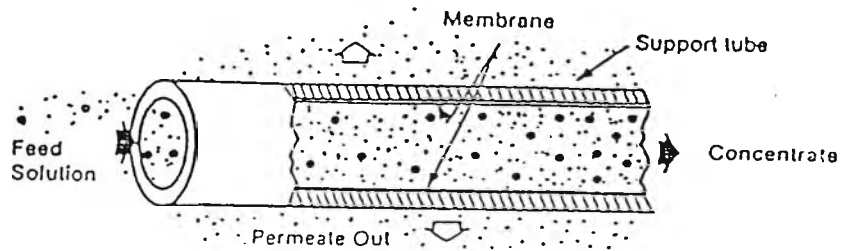
2.4.2.2 โมดูลชนิดแผ่น (Plate and Frame Module) : โดยแผ่นเมมเบรนจะวางบนแผ่นรองรับที่มีรูพรุน หรือร่องที่ให้น้ำไหลออกได้ ซึ่งจะวางซ้อนสลับกัน น้ำจะถูกบังคับให้ซึมผ่านเมมเบรน แผ่นรองรับ และไหลออกจากโมดูล แสดงดังรูปที่ 2.10

2.4.2.3 โมดูลชนิดม้วน (Spiral Wound Module) : ประกอบด้วยเมมเบรนสองแผ่นประกบกัน โดยมีแผ่นวัสดุเนื้อพรุนกึ่งตรงกลาง จากนั้นม้วนวัสดุทั้งสามรอบท่อเจาะรู โดยมีตะแกรง โพลีโพรพิลีน คลุมทับชั้นนอก แสดงดังรูปที่ 2.11 ใช้กาวพิเศษอุดขอบแผ่นเมมเบรนสามด้าน ส่วนอีก ด้านยึดติดเข้ากับท่อเจาะรู ให้น้ำซึมผ่านเมมเบรน ไปยังท่อเจาะรู เพื่อรับน้ำออกได้

2.4.2.4 โมดูลชนิดเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Module) : จะมีผิวคล้ายฟองน้ำล้อมรอบ ผิวชั้นในซึ่งมีความหนาเพียง 0.1 ไมครอน เป็นเมมเบรนชนิดที่มีความหนาแน่นในการขึ้นรูปสูงที่สุด ชนิดที่ทำด้วย เซลลูโลส ไตรอะซิเตด มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 200-300 ไมครอน ทำจากโพลีเอไมด์ เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 50-85 ไมครอน และเส้นผ่าศูนย์กลางภายในประมาณครึ่งหนึ่งของภายนอก แสดงดังรูปที่ 2.12 ก. ปัจจุบันมีการนำมาใช้งานในสองลักษณะ คือ

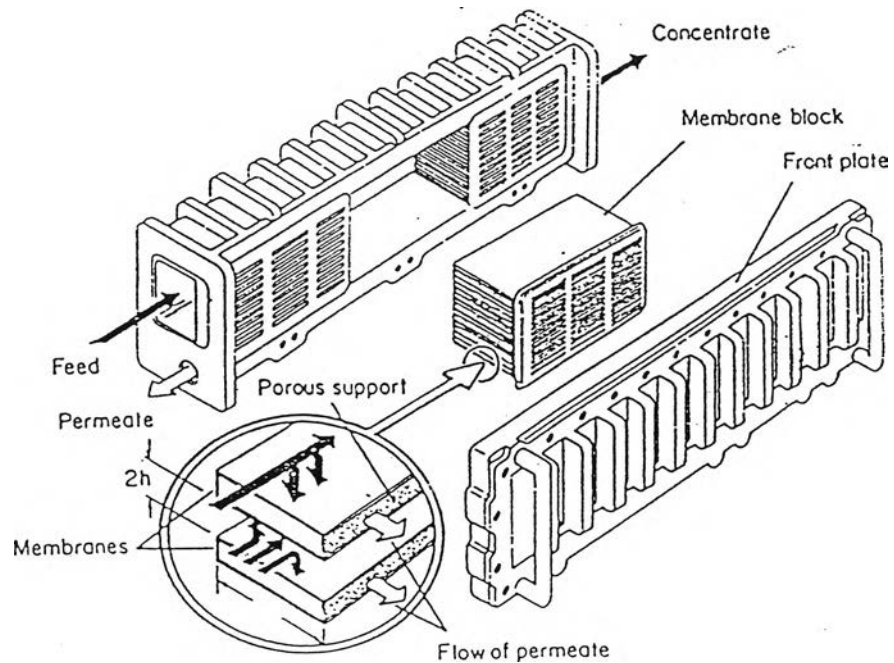
-: เส้นใยกลวงติดตั้งอยู่ในท่ออัดความดัน โดยนำมาวมกันเป็นมัดๆและงอพับเป็นรูปตัวยู ปลาย ทั้งสองถูกตรึงติดกับทางน้ำออก แล้วนำเส้นใยทั้งหมดติดตั้งเข้าไปในท่ออัดความดัน รูปทรงกระบอกซึ่งอาจ มีท่อเจาะรูอยู่ตรงกลางเพื่อกระจายน้ำเข้า และใช้แรงดันอัดให้น้ำซึมผ่านเข้าไปในเส้นใย ไหลตามรูกลวง ไปรวมกันที่ทางน้ำออก แสดงดังรูปที่ 2.12 ข.

-: เส้นใยกลวงติดตั้งใช้งานจมอยู่ใต้น้ำ ภายในถัง โดยไม่ต้องมีท่ออัดความดัน (ใช้ในการวิจัยนี้) เช่น จัดวางเส้นใยกลวงขนานเรียงกันเป็นผืน ซึ่งอาจวางซ้อนกัน 2-3 ผืน ยึดปลายทั้งสองข้างในแต่ละผืน ติดเข้ากับท่อรับน้ำออกสองท่อ ซึ่งต่อเข้ากับปั๊มดูด โดยสูบน้ำซึมผ่านเข้าไปในเส้นใย ไหลตามรูกลวง ไปรวมกันที่ท่อทางน้ำออก แสดงดังรูปที่ 2.12 ค. มักใช้ในงานที่น้ำมีความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอย สูงๆ เช่น น้ำจากถังปฏิกรณ์ เอ.เอส. เป็นต้น



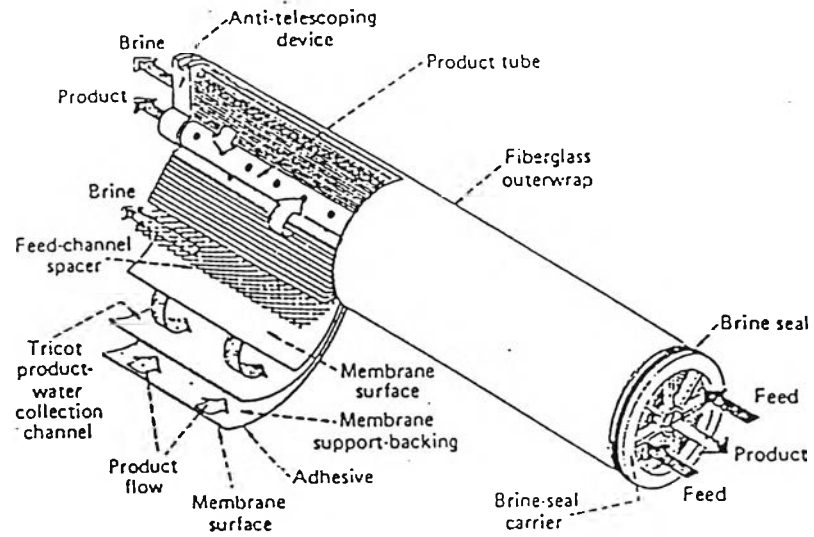
รูปที่ 2.9 โมดูลเมมเบรนชนิดท่อ (Tubular Membrane Module)

ที่มา : Romicon, Inc (1983)

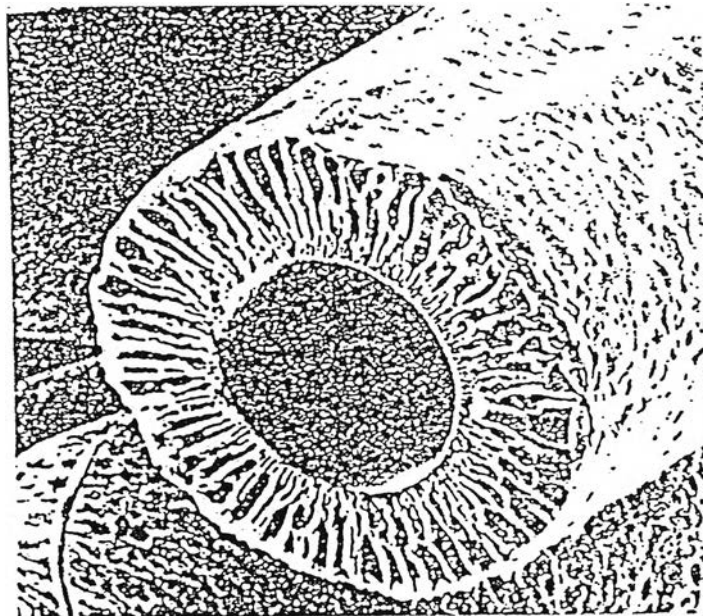


รูปที่ 2.10 โมดูลเมมเบรนชนิดแผ่น (Plate and Frame Membrane Module)

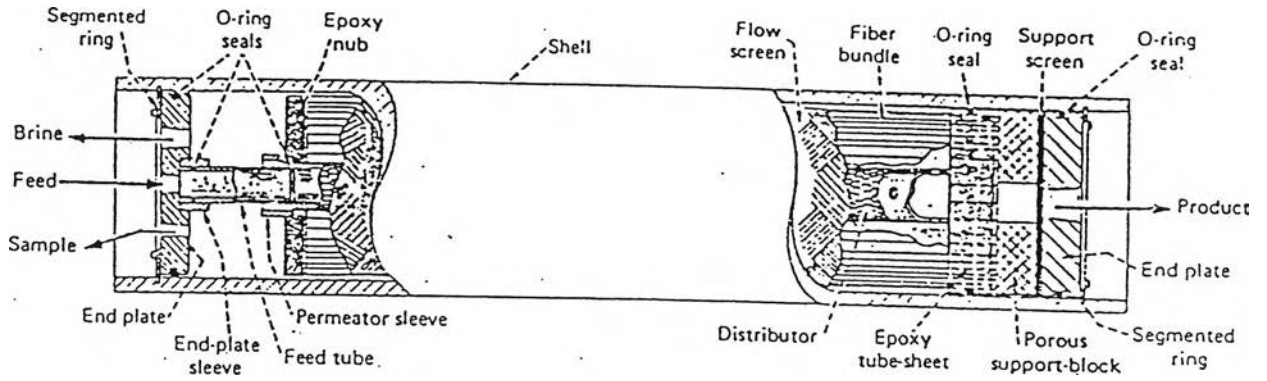
ที่มา : Rautenbach, R., and Albrecht, R. (1989)



รูปที่ 2.11 โมดูลเมมเบรนชนิดม้วน (Spiral Wound Membrane Module)
ที่มา มั่นสิน ตัณฑุเวศม์ (2539)

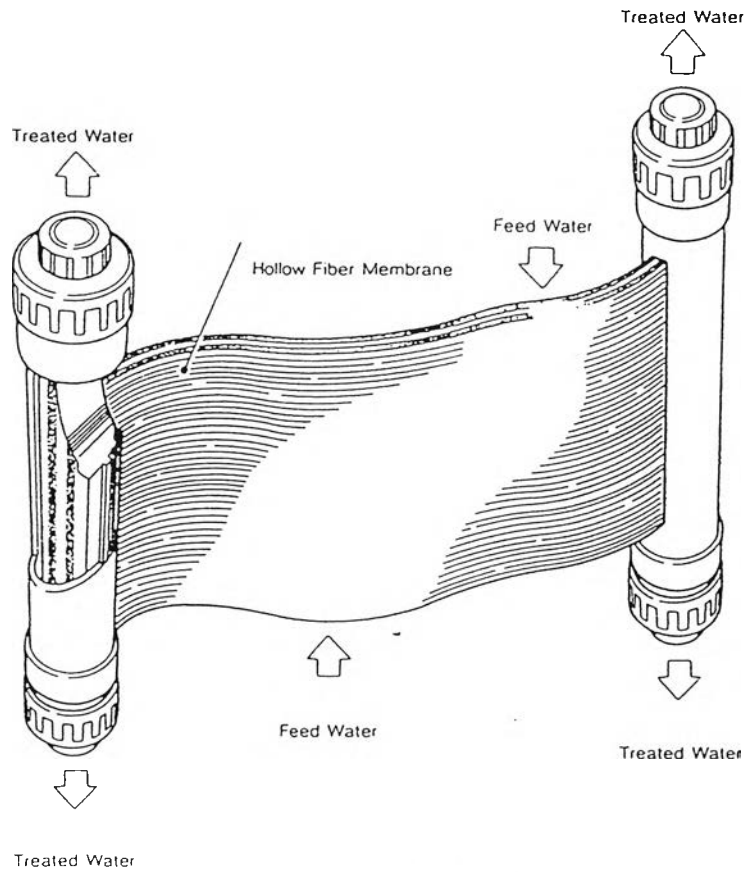


รูปที่ 2.12 ก. ลักษณะผิวของเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวง
ที่มา : Applegate , L.E. (1984)



รูปที่ 2.12 ข. โมดูลเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวงในท่ออัดความดัน (Hollow Fiber Membrane Module)

ที่มา : Applegate , L.E. (1984)



รูปที่ 2.12 ค. โมดูลเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวงแบบติดตั้งจมใต้น้ำ (Hollow Fiber Membrane Module)

ที่มา : Mitsubishi Rayon (1998)

2.4.3 กลไกการทำงานของเมมเบรน

2.4.3.1 กลไกในการกำจัดเกลือ: มีอยู่ในเมมเบรนชนิดอาร์โอ และเอ็นเอฟ. อาศัยแรงผลัก “ไดอิเล็กทริกอินเทอร์เรคชั่น” ที่ผิวเมมเบรนกับ ไอออนของเกลือ ตัวที่มีวาเลนซ์สูงจะถูกผลักได้ไกลกว่า ค่า จนเกิดชั้นน้ำบริสุทธิ์บางๆ ที่ผิวหน้า รูของเมมเบรน และซึมผ่านชั้นเมมเบรนออกไปที่ละ โมเลกุล

2.4.3.2 กลไกในการกำจัดสารอินทรีย์ และอนุภาคแขวนลอยต่างๆ : เป็นสมบัติซึ่งมีอยู่ในเมมเบรนทุกชนิด แต่เป็นกลไกอย่างเดียวของ ไมโครและอัลตราฟิลเทรชันเมมเบรน ได้แก่

-: การกรองติดค้าง (Sieve) ซึ่งสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่า ขนาดรูช่องว่าง ของเมมเบรน และหรือ มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงกำหนดของแต่ละชนิดเมมเบรนนั้นๆ จะไม่สามารถลอดผ่านรูช่องว่างของเมมเบรนไปได้ ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.5

-: การดูดติดผิว (Adsorption of Organic Substance) วัสดุชนิด “ไฮโดร โฟบิก” มีสมบัติในการดูดติดสารอินทรีย์สูง เช่น โปรตีน แบคทีเรีย อนุภาคแขวนลอย และยอมให้น้ำไหลผ่านได้น้อย กว่าชนิด “ไฮโดรฟิลิก” (MWCO. เดียวกัน) ซึ่งช่วยในการกำจัดสารอินทรีย์ แต่เกิดความสกปรกต่อเมมเบรน จนค่าฟลักซ์ ลดลงอย่างรวดเร็ว จึงมักนิยมใช้เมมเบรนชนิด ไฮโดรฟิลิก ในงานบำบัดน้ำเสียมากกว่า

-: อื่นๆ (ไม่ต้องการให้เกิด) เช่น การกำจัด โดยเกิด ชั้นเค้ก ที่เกาะผิวหน้าของ เมมเบรน ความสกปรกอัดแน่นจนไม่สามารถคืนสภาพด้วยการล้างย้อนด้วยแรงดันน้ำ เป็นต้น

2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเมมเบรน

2.4.4.1 การสะสมความเข้มข้นสูง (Conc.Polarization) : คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดการสะสมของสารอินทรีย์หรืออนุภาคต่างๆ ใกล้ผิวหน้าเมมเบรน จนความเข้มข้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยของสารนั้นในน้ำหลายเท่า ทำให้ฟลักซ์ลดลง แก้ไขโดยแรงดันน้ำล้างย้อน การถอดล้างด้วยสารเคมี หรือใช้กระแสไหลสร้างแรงเฉือนที่ผิวหน้าเมมเบรน (Cross Flow) มากพอที่ช่วยให้ ฟลักซ์คงด้วยยาวนานขึ้น เป็นต้น

2.4.4.2 อุณหภูมิ พีเอช และ สารออกซิไดส์ : อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศา ฟลักซ์จะ เพิ่มขึ้น 3-5% แต่เมมเบรนอินทรีย์ มักสลายตัวโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งจะเกิดซ้ำที่จุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30°C พีเอช 3-7 ทนทานต่อสารออกซิไดส์ เช่น คลอรีนได้ดี ขณะที่เมมเบรนอินทรีย์ ไม่ทนต่อสารออกซิไดส์มากนัก แต่ทนทานต่อพีเอช ในช่วงที่กว้างกว่า คือ 2-11 และอุณหภูมิทำงานที่ขีดจำกัดสูงกว่าคือ 45°C

2.4.4.3 ความดัน : การเพิ่มแรงดันมากขึ้นจะทำให้ฟลักซ์ ของเมมเบรน และคุณภาพน้ำที่ผลิตได้ดีขึ้น แต่ถ้าแรงดันเพิ่มขึ้นเกินขีดจำกัด (Critical Pressure) จะทำให้โครงสร้าง และอนุภาคสารต่างๆที่สะสมบริเวณผิวหน้าเมมเบรน อัดตัวกันแน่น จนทำให้ค่าฟลักซ์ ลดลง และ อาจทำลายโครงสร้างภายในของเมมเบรน จนไม่อาจคืนสภาพการกรองน้ำได้ดังเดิมอีก

2.4.4.4 ความสกปรกของเมมเบรน (Membrane Fouling) : เป็นผลมาจากการเกาะสะสมของสารอินทรีย์ และอนุภาคสิ่งสกปรกต่างๆ ในรูช่องว่างของเมมเบรน ทำให้อัตราการซึมผ่านลดลง ความดันใช้งานเพิ่มขึ้น และไม่สามารถคืนสภาพให้กลับเหมือนใหม่ได้ โดยการใช้แรงดันน้ำ หรือสารเคมี โดยมีปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกัน ดังต่อไปนี้

-: ลักษณะของน้ำดิบ สารอินทรีย์แต่ละประเภทมีผลต่อการเกิดความสกปรก ต่างกันไป ตามขนาด โครงสร้างของ โมเลกุล และแรงกระทำระหว่างผิวเมมเบรนกับตัวมันเอง เมื่อสารอินทรีย์หลายชนิดรวมอยู่ในสารละลายเดียวกัน และหรือ มีความเข้มข้นสูง จะก่อให้เกิดความสกปรก มากกว่าที่อยู่เป็นชนิดเดี่ยวๆ และหรือความเข้มข้นต่ำ ตามลำดับ

-: วัสดุที่ใช้ทำเมมเบรน ดังที่อธิบายในหัวข้อ 2.4.3.2 (Adsorption of Organic Substance) รวมถึงขนาด และการกระจายของรูช่องว่างบนเมมเบรน มีผลต่ออัตราการเกิดความสกปรก เช่นกัน

-: การปรับสภาพน้ำเบื้องต้น ได้แก่ การกำจัดอนุภาคแขวนลอยขนาดใหญ่ สารอินทรีย์ปรับพีเอช และอุณหภูมิ และการกำจัดน้ำมัน ไขมัน เป็นต้น จะสามารถเพิ่มอัตราการซึมผ่านเมมเบรน และบรรเทาปัญหาความสกปรก ให้ระบบมีรอบระยะเวลาการทำงานที่ยาวนานขึ้น

2.4.5 การพัฒนาเทคโนโลยีเมมเบรนในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ :

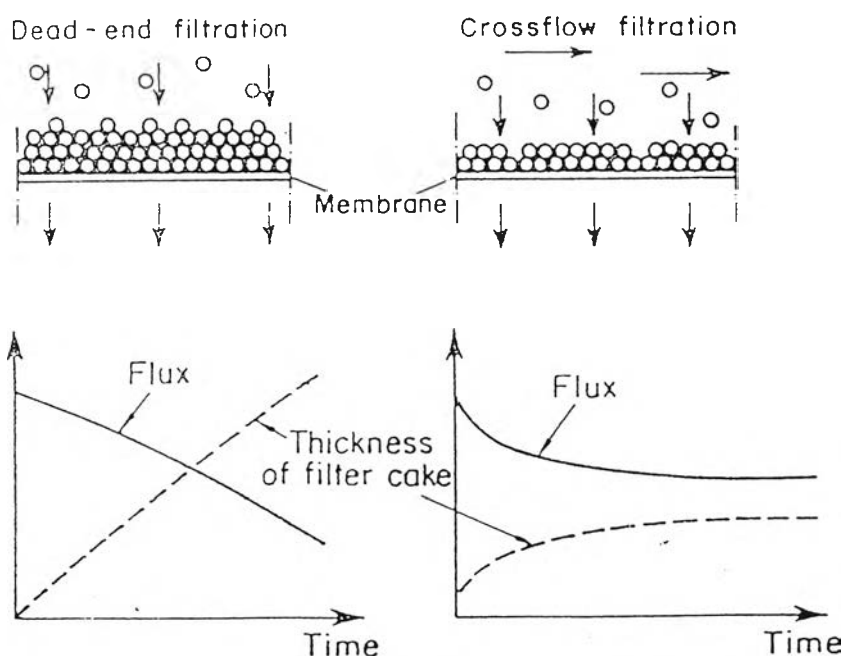
ปัจจุบันนิยมใช้เมมเบรนที่มีสถานะการทำงานในช่วง ไมโครและอัลตราฟิลเตรชัน มีจุดมุ่งหมาย เพื่อประยุกต์ใช้ในการกักแยกสัจฉัชีวภาพ ของแข็งแขวนลอย สารอินทรีย์น้ำหนักโมเลกุลสูง และจุลชีพก่อโรค จากระบบบำบัดน้ำเสีย ไม่ให้หลุดไปกับน้ำทิ้ง ในขณะที่น้ำกรองผ่านเมมเบรนจะมีคุณภาพสูงขึ้นกว่าระบบบำบัดแบบดั้งเดิม

กระบวนการกรองโดยทั่วไป ทิศทางการไหลของน้ำจะตั้งฉากกับผิวตัวกรอง ซึ่งอนุภาคส่วนใหญ่จะถูกกักไว้บนผิวหน้าตัวกรอง ก่อให้เกิดการสะสมเพิ่มปริมาณ และหนาแน่นขึ้นเรื่อยๆ หลักการนี้ เรียกว่า “การกรองอัดตัว” (Dead End Filtration) ซึ่งไม่อาจใช้กับการทำงานของเมมเบรนในการบำบัดน้ำเสียได้ เนื่องจากเมมเบรนเป็นตัวกรองที่มีประสิทธิภาพสูง น้ำเสียที่มีความเข้มข้นอนุภาค

แขวนลอยสูง จะทำให้เกิดการสะสมตัวของอนุภาคอย่างรวดเร็ว และอัดตัวแน่น ส่งผลเกี่ยวกับกระบวนการกรอง และสมบัติของเมมเบรนเองได้

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงมีการประยุกต์ใช้หลักการที่เรียกว่า “การกรองแนวขวาง” (Cross Flow Filtration และ Agitation Filtration) เป็นการสร้างกระแสไหล และกระแสความปั่นป่วน ของน้ำอย่างต่อเนื่อง ขนานไปกับผิวหน้าของเมมเบรนในระหว่างดำเนินการกระบวนการกรอง ซึ่งต้องมีความเร็วมากพอ เพื่อสร้างแรงเฉือนให้เกิดขึ้นแก่ผิวหน้าของเมมเบรน เป็นการขจัดอนุภาคส่วนใหญ่ให้หลุดออก และไม่สะสมตัวแน่น ทำให้ค่าฟลักซ์ของเมมเบรนคงตัว ได้ยาวนาน และล้างทำความสะอาดได้ง่าย

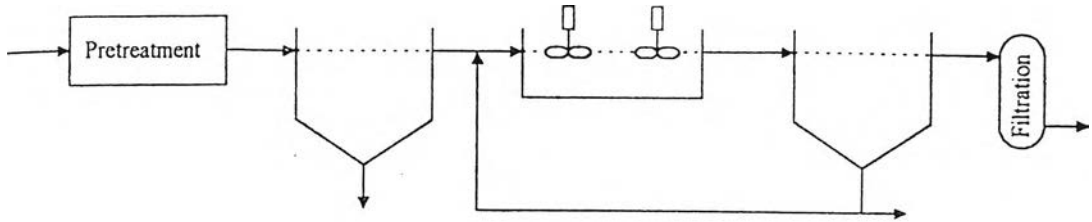
รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบกระบวนการกรองแบบ อัดตัว และ แนวขวางปั่นป่วน ในรูปของความหนาชั้นอนุภาคที่สะสม และค่า ฟลักซ์



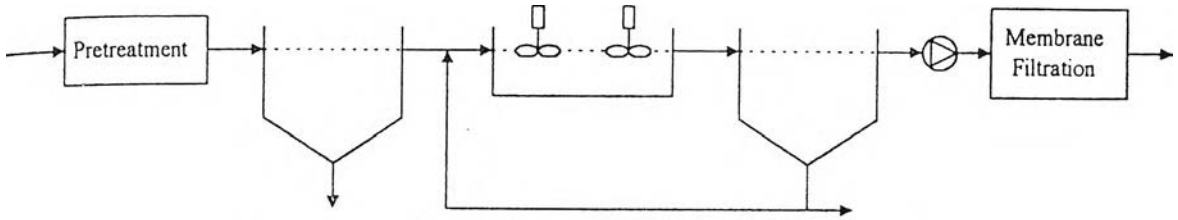
รูปที่ 2.13 การกรองแบบ อัดตัวและแนวขวางปั่นป่วน (Dead End and CrossFlow & Agitation Filtration)

ที่มา : (Mitsubishi Rayon, 1998)

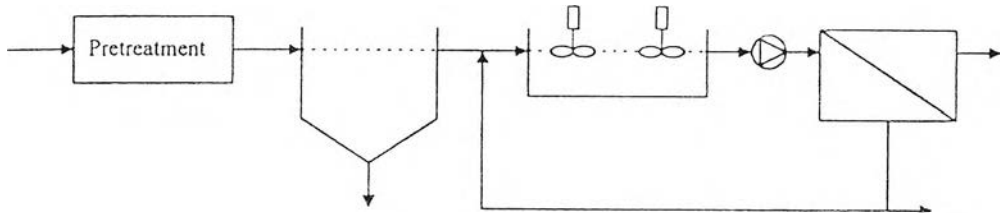
การประยุกต์ใช้เมมเบรนในงาน ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ได้รับการพัฒนาขึ้นเป็นลำดับ แสดงดังรูปที่ 2.14 a - d



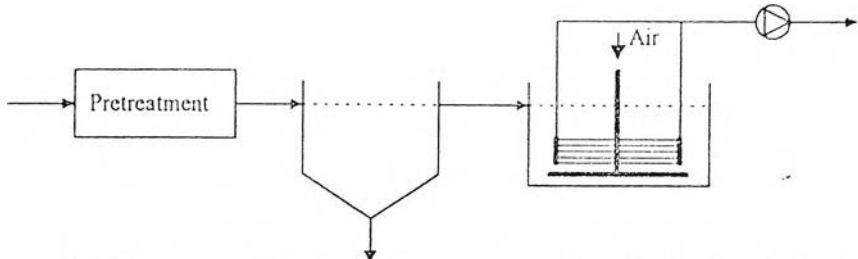
(a) Conventional Treatment



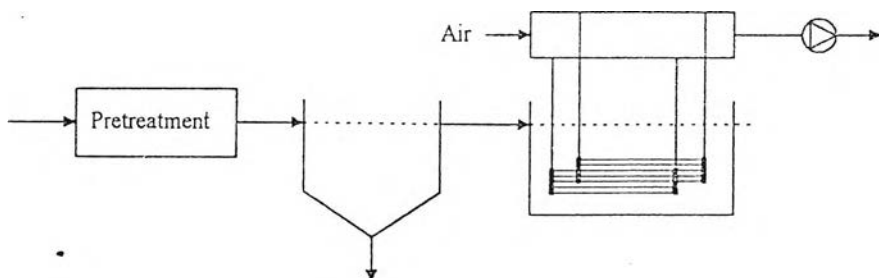
(b) Membrane Filtration in Place of Conventional Filtration



(c) Membrane Separation in Place of Secondary Sedimentation



(d) Membrane Submerged into the Reactor to Withdraw Effluent



(e) Membrane as Solid/Liquid Separator and Air Diffuser

รูปที่ 2.14 การประยุกต์ใช้งาน ไมโครและอัลตราฟิลเตรชันเมมเบรน ในการบำบัดน้ำเสีย

ที่มา : Kathiravelu, P., 1997

รูป a แสดงถึงระบบ เอ.เอส.แบบดั้งเดิม (Conventional) ตามด้วยถังกรองทราย เป็นกระบวนการบำบัดขั้นที่สาม ให้น้ำออกมีคุณภาพสูงขึ้น เป็นระบบต้นแบบเริ่มแรก ในการคิดพัฒนาใช้เมมเบรนกับงานบำบัดน้ำเสียในเวลาต่อมา

รูป b เมมเบรนชนิดกรองแนวขวาง (Cross Flow) : เป็นการพัฒนายุคแรก คิดตั้งเมมเบรน อยู่ภายในท่ออัดความดัน ทำหน้าที่แทนถังกรองทราย ซึ่งผู้ที่ทำการวิจัยในขณะนั้น เช่น Pouet et al., 1994 ; Langlais et al., 1992 และ Kolega et al., 1991 สรุปผลว่า เมมเบรนมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดอนุภาค และของแข็งแขวนลอย

รูป c ถังปฏิกรณ์ชีวภาพทำงานร่วมกับเมมเบรนชนิดกรองแนวขวาง (External-MBR.) : พัฒนาขึ้นต่อมาโดยใช้ เมมเบรนทำงานแทนที่ถังตกตะกอนที่สอง โดยกักแยกสลัดจ์จุลชีพเข้มข้น และส่ง กลับไปยังถังเติมอากาศ เพื่อรักษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายทางชีวภาพ แต่มีต้นทุนค่าพลังงานที่สูง ในการรักษา ความเร็วแนวขวาง ให้เกิดแรงเฉือน ลดการสะสมตัวของอนุภาคที่ผิวหน้าเมมเบรน

รูป d ถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเมมเบรนแบบจมตัวชนิดกรองแบบปั่นป่วน (Submerged Type -MBR.) : นิยมใช้ ไมโครหรืออัลตราฟิลเตรชัน ชนิดเส้นใยกลวง คิดตั้งจมตัวอยู่ในถังปฏิกรณ์ ทำหน้าที่กักแยกสลัดจ์จุลชีพที่มีความเข้มข้นสูง ให้คงอยู่ในถัง และอาศัยการเติมอากาศสร้างความปั่นป่วน ลดการสะสมของอนุภาคที่ผิวหน้าของเมมเบรน และใช้ปั๊มดูด สูบน้ำที่ถูกบำบัดทาง ชีวภาพแล้ว กรอง ผ่านเมมเบรนออกจากระบบ (Mitsubishi Rayon, 1998 ; Yamamoto et al., 1989)

รูป e ถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเมมเบรนแบบจมตัวผสมผสานการเติมอากาศ มีหลักการคล้ายกับ รูป d แต่จะใช้เมมเบรน ทั้งในการกรองน้ำ ผสมผสานเทคนิคการล้างย้อนด้วยอากาศ เพื่อลดการอุดตัน ของเมมเบรน และใช้เป็นหัวกระจายเติมอากาศสู่ถังปฏิกรณ์ได้ในตัว (Kathiravelu, P., 1997)

ข้อสังเกตบางประการ :

รูป b ปัจจุบันมักใช้ปรับปรุงระบบบำบัดที่มีอยู่ โดยไม่ต้องมีการดัดแปลงระบบเดิม จุดประสงค์ เพื่อผลิตน้ำให้มีคุณภาพสูงขึ้นสำหรับนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเมมเบรนจะทำงานอิสระ ไม่ขึ้นกับระบบ ชีวภาพ และสามารถ เริ่มหรือหยุด การทำงาน ได้ตามความเหมาะสม

รูป c - d เป็นที่มาของระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน (MBR.) รูปแบบต่างๆ นิยมใช้ในงาน ศึกษาวิจัยอย่างกว้างขวาง เช่น การใช้งาน เอ็มบีอาร์.บำบัดน้ำเสียชุมชน หรือร่วมกับผงดำนกัมมันต์ (PAC.) บำบัดน้ำชะขยะ การกำจัดสีย้อม เป็นต้น

ระบบเอ็มบีอาร์.สามารถดัดแปลงจากระบบเอ.เอส.เค็มได้ไม่ยุ่งยาก รับประทานบรรทุกสารอินทรีย์ ความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพ และอายุสลัดจ์ ได้ในช่วงกว้าง ระบบกระทัดรัด ใช้พื้นที่น้อย หรือมีสลัดจ์ทิ้งจาก ระบบน้อย (F/Mต่ำ) ขณะนี้น้ำออกมีคุณภาพสูงขึ้น เป็นต้น

2.5 ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนแบบจมตัว (SMF-MBR.)

ระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน จุลชีพเจริญแบบแขวนลอย พัฒนาจากระบบเอ.เอส. มีส่วนประกอบหลักคือ ถังเติมอากาศ ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน ระบบเติมอากาศ และระบบสูบน้ำออก โดยมีแผนผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.14 a และ d ข้างต้น

2.5.1 หลักการและองค์ประกอบในการทำงานของระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์.

2.5.1.1 การกำจัดสารอินทรีย์ และปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน : ระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ มีกลไกเช่นเดียวกับระบบเอ.เอส. ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 2.1 ,2.2.2 ตามลำดับ โดยมีสภาวะการทำงานคล้ายกับระบบเอ.เอส.แบบยัดการเติมอากาศ ซึ่งมีค่าอายุสัปดาห์ยาวนาน (F/M ratioต่ำ) จุลชีพในถังเติมอากาศมีจำนวนมาก และทำงานอยู่ในช่วงภาวะเอ็นโดจีนัส ระบบจึงมีปริมาณสลัดจ์ส่วนเกินที่น้อย ถึงอาจไม่มีเลย และจากค่าอายุสัปดาห์ที่ยาวนานพอ จะช่วยให้จุลชีพที่เติบโตได้ช้าอย่างไนตริไฟอิงค์แบคทีเรีย เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้อย่างสมบูรณ์ (Visvanathan, 1996)

2.5.1.2 การกักแยกตะกอน : ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวง โมดูลแบบเปลือย (No Pressure Vessel) ติดตั้งจมอยู่ในถังปฏิกรณ์ แสดงดังรูปที่ 2.10 ค ทำหน้าที่แทนถังตกตะกอนที่สอง ซึ่งจะมีประสิทธิภาพ และความแน่นอนสูง ในการกักแยกตะกอนชีวภาพ , สารอินทรีย์น้ำหนักโมเลกุลสูง , ของแข็งแขวนลอย และจุลชีพก่อโรค ให้คงอยู่ในถังปฏิกรณ์ จึงสามารถลดความกังวลเรื่องการเกิดสลัดจ์ลอยตัว และฟล็อกปลายแหลม ที่เป็นปัญหาในถังตกตะกอนระบบเอ.เอส. โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบ (Visvanathan, 1996)

2.5.1.3 ความสัมพันธ์ของการเติมอากาศ ระบบสูบน้ำออก และทำความสะอาดเมมเบรน

ระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ เป็นระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนที่มีการกรองแนวขวาง โดยอาศัยความปั่นป่วนของฟองอากาศ จากการเติมอากาศ ทำให้เกิดการผสม และสร้างแรงเฉือนเพื่อทำความสะอาดผิวหน้าของเมมเบรนอย่างต่อเนื่อง เป็นการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า

ระบบการนำน้ำออก ใช้ปั๊มดูดซึ่งจะทำงานเป็นช่วงๆ (Intermittent Operation) เช่น ช่วง เติมน้ำหยุด เท่ากับ 8:2 นาที เพื่อป้องกันการสะสมของอนุภาค จนเกิดการอุดตัน และ อัดแน่นในรูช่องว่าง ของเมมเบรน เนื่องจากระหว่าง “ช่วงหยุด ” กระแสปั่นป่วนจะมีประสิทธิภาพในการจัดอนุภาคสะสมให้กระจายตัวออกไปได้ดีกว่า “ช่วงเดิน” และผิวหน้าของเมมเบรนจะสะอาดขึ้น พร้อมสำหรับรอบการทำงานต่อไป ในขณะที่เมมเบรน โมดูลประกอบขึ้นจากเส้นใยกลวง เรียงกัน มีรูปร่างคล้าย ตะแกรง

อ่อนเหนียว ยืดหยุ่น สบัดพริ้วไปตามกระแสความปั่นป่วน ซึ่งช่วยในการจัดอนุภาคที่สะสมออกได้ดี และสามารถถอดโมดูลนำไปทำความสะอาดด้วยสารเคมีหรือน้ำประปา เมื่อปั๊มสูบน้ำ ทำงานถึง “ความดันสูญเสียทางคูดึงดูด” (Critical Suction -Pressure lose.)

2.5.2 ปัจจัยทางเทคนิคที่มีผลต่อการทำงานของระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์.

2.5.2.1 ความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพ : ภายในถังเติมอากาศของระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ สามารถคงไว้ได้สูงถึง 12,000-20,000 มก./ล มากกว่าระบบเอ.เอส.โดยทั่วไป โดยความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพ จะแปรผันตามค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาตร ซึ่งถ้ามีค่าสูง จะออกแบบขนาดถังเติมอากาศได้เล็ก แต่อย่างไรก็ตาม Yamamoto and Talat, 1989 พบว่าที่ ความดันแตกต่างของปั๊มเริ่มต้นเท่ากัน ค่าฟลักซ์จะลดลงตามความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพที่สูงขึ้น และค่าจำกัดสูงสุด คือ 30,000-40,000 มก./ล

2.5.2.2 ความดันแตกต่างเริ่มต้นของปั๊มคูด : มีค่าสูงจะทำให้ ฟลักซ์ ของเมมเบรนลดลง ได้อย่างรวดเร็ว แม้ว่าความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพจะต่ำ ; Yamamoto, 1989 พบว่า ความดันแตกต่างเริ่มต้น กว่า 80 KPa ที่ความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพเพียง 5,200 มก./ล ค่าฟลักซ์ จะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสรุปได้ว่าการควบคุมกระบวนการให้คงตัวอย่างเหมาะสม ต้องเดินระบบให้ความดันปั๊มสูบน้ำมีค่าต่ำ

2.5.2.3 ขนาดรูช่องว่างของเมมเบรน : (Talat, 1988) ทำการศึกษาไมโครฟิลเทรชันที่มีขนาดรูช่องว่างในช่วง 0.1 ,0.2 และ 0.45 μm พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคต่างๆ ใกล้เคียงกัน แต่ขนาด 0.45 μm จะใช้ความดันปั๊มคูดต่ำกว่า ที่ค่าฟลักซ์เดียวกัน และ (Mitsubishi Rayon, 1998) จากการศึกษา การกระจายขนาดอนุภาคของสลัดจ์ในถังเติมอากาศ พบว่า ค่าสูงสุดอยู่ที่อนุภาคขนาด 0.5 ,15 μm ซึ่งขนาดรูช่องว่าง 0.1 μm สามารถกำจัดสลัดจ์ดังกล่าวได้ 99.7 %

2.5.2.4 ความเร็วของกระแสปั่นป่วน และ อัตราส่วนช่วงเวลา เดิน:หยุด ของปั๊มคูด : ที่เหมาะสมจะสามารถควบคุม การเกิดและการอุดตันของชั้นเค้ก ที่ผิวหน้าเมมเบรน ซึ่งจะสามารถลดการสะสมของสลัดจ์จุลชีพลงได้ โดยพิจารณาจากหลักการที่ว่า

ถ้ากระแสปั่นป่วนมีความเร็วต่ำ อนุภาคจะสะสมที่ผิวหน้าเมมเบรนได้ง่าย ความดันสูญเสียจะเพิ่มขึ้น ได้อย่างรวดเร็ว แต่ถ้ากระแสปั่นป่วนมีความเร็วสูงไป จะสิ้นเปลืองพลังงาน

ถ้าอัตราส่วนเวลา เดิน/หยุด ของปั๊มคูดมีค่าสูง และ แต่ละช่วงกินเวลานาน อนุภาคจะสะสมตัวที่ผิวเมมเบรนได้ง่าย และแน่นกว่า ที่อัตราส่วนเวลา เดิน/หยุด ต่ำ และแต่ละช่วงมีเวลา

สั้นๆ ซึ่งในกรณีหลังนี้ ปัมที่ใช้ต้องมีอัตราไหลสูงขึ้น เพื่อรักษาค่าเวลากักเก็บ และมอเตอร์ขับปั้มน้ำจะมีจังหวะในการ ค่อยเข้าและตัดออก (Cut In/Out) ถี่ขึ้น ตามลำดับ

2.5.2.5 ปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับ การกำจัดสารอินทรีย์ ปฏิกริยาไนตริ-ดีไนตริฟิเคชัน และกระบวนการเมมเบรน เป็นดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.2.3 ,2.3.2 ,2.3.3 และ 2.4.4 ตามลำดับ

2.5.3 หลักการออกแบบระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ :

ข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมระบบ ซึ่งอาจใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ เปรียบเทียบ ระหว่างระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ และ เอ.เอส. แสดงดังตารางที่ 2.6 ,ซึ่งต้องมีการคำนวณค่าต่างๆ ดังนี้

2.5.3.1 ปริมาตรถังเติมอากาศ (m^3) : คำนวณจากค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (F/M) และการกำหนดมิติของถัง ต้องพิจารณาร่วมกับ “โมดูลยูนิต”

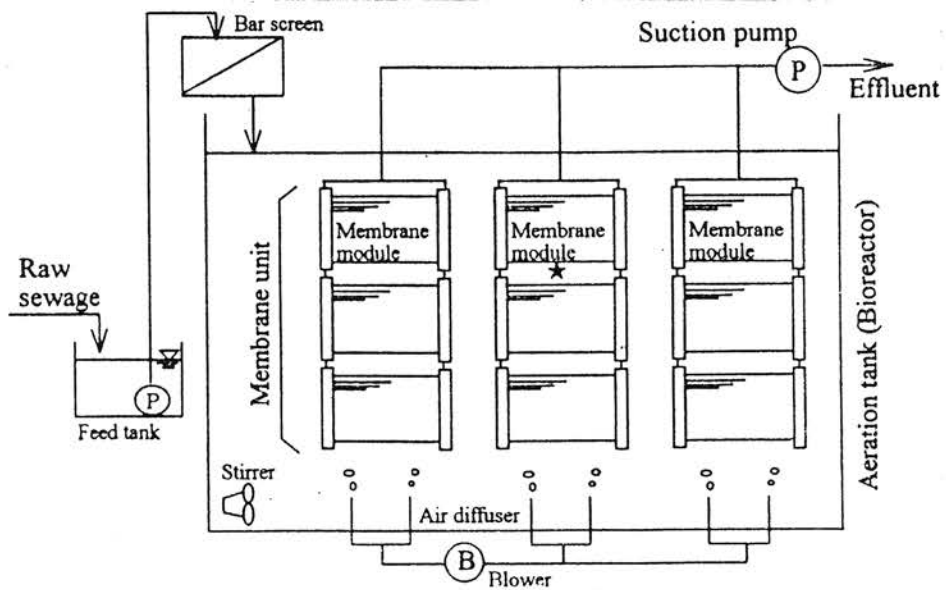
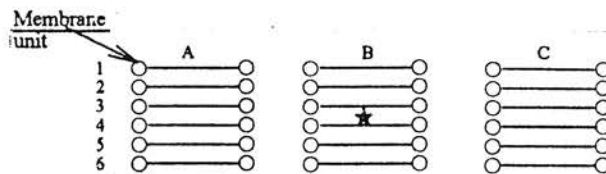
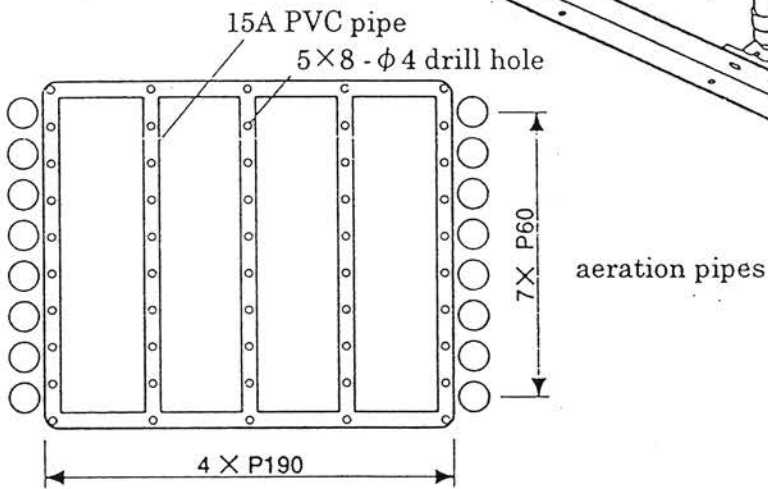
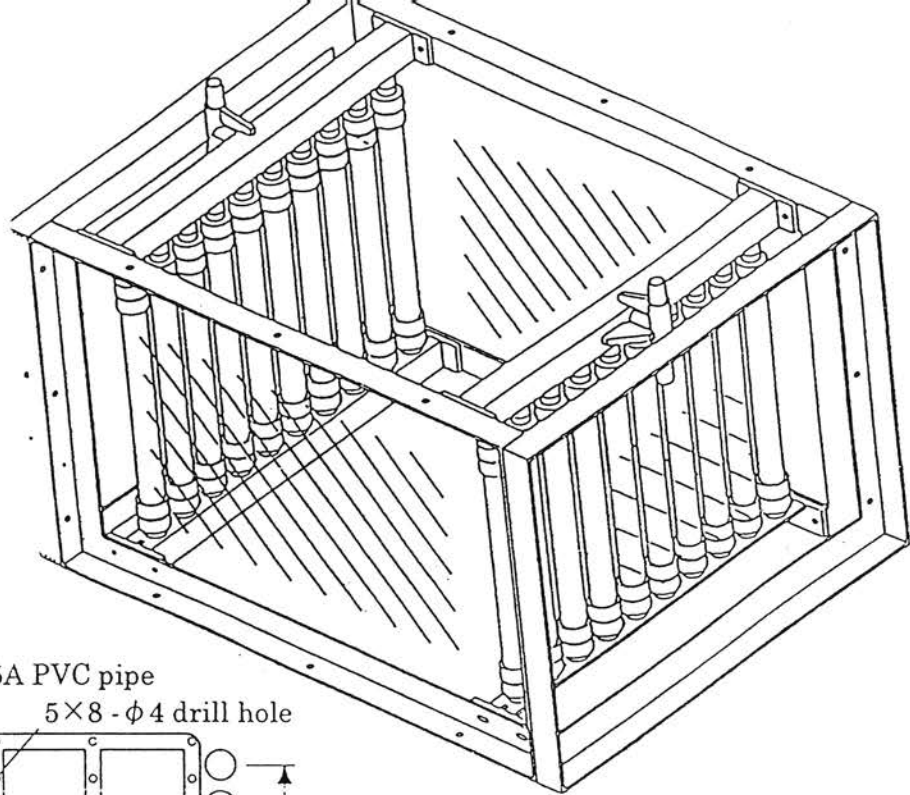
2.5.3.2 พื้นที่ผิวประสิทธิผลของไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน (m^2) : คำนวณได้จากค่าฟลักซ์ (m^3/m^2-d) และ จำนวนจำนวนโมดูลที่ต้องใช้จากค่า “พื้นที่ผิวของไมโครฟิลเตรชัน ต่อหนึ่งโมดูล” ซึ่งขอข้อมูลได้จากผู้ผลิตเมมเบรน เพื่อนำไปออกแบบ โมดูลยูนิต ต่อไป

2.5.3.3 โมดูลยูนิต : การประกอบขึ้นรูปในทางปฏิบัติ ขึ้นอยู่กับรูปแบบโมดูลที่ใช้ ซึ่งอาจขอคำแนะนำจากผู้ผลิต ตัวอย่างการออกแบบ โมดูลยูนิต ท่อจ่ายอากาศ และการจัดวางในถังเติมอากาศ แสดงดังรูปที่ 2.15 โดยนำมิติ และจำนวนของโมดูลยูนิต ไปพิจารณาร่วมในการกำหนดมิติของถังปฏิกรณ์จนมีเนื้อที่เพียงพอให้กระแสปั่นป่วนหมุนเวียนผ่านผิวหน้าของเมมเบรน

2.5.3.4 ความต้องการออกซิเจนของระบบ (kg/day) : คำนวณจากค่า ซีบีไอดี. ร่วมกับ เอ็นบีไอดี. หรือ จากการสร้างกระแสปั่นป่วน เพื่อทำความสะอาดเมมเบรน ซึ่งอาจขึ้นกับสภาพการติดตั้ง และ การออกแบบโมดูลยูนิต โดยเลือกใช้ค่าที่มากกว่า ในการออกแบบระบบเติมอากาศต่อไป

2.5.3.5 ปริมาณสลัดจ์จุลชีพส่วนเกิน (kg/day) : ใช้สมการทางจลน์ศาสตร์ ที่แสดงค่าความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพในการคำนวณ ซึ่งแสดงถึงปริมาณสลัดจ์ส่วนเกินที่ลดลง เมื่อสลัดจ์จุลชีพมีความเข้มข้นสูง และบางสภาวะที่ภาระสารอินทรีย์มีค่าต่ำ ความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพต่ำกว่าที่ออกแบบ ก็อาจสามารถดำเนินระบบได้โดยไม่ต้องมีการทิ้งสลัดจ์

membrane unit



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างการออกแบบ โมดูลยูนิต ,ท่อจ่ายอากาศ และการจัดวางในถังเติมอากาศ ของระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ ,ที่มา : (Mitsubishi Rayon, 1998 ; Ueda et al., 1997)

2.5.3.6 อัตราไหลของปั๊มสูบน้ำออกจากระบบ : ซึ่งทำงานแบบ เดินสลับหยุด เป็นช่วงๆ ต้องคำนวณอัตราไหลขณะเมื่อปั๊มหยุดทำงาน เพื่อรักษาเวลาดักเก็บ (HRT.) ให้คงที่โดยสมการ

$$Q_{\text{suction pump}} = Q_{\text{influent}} \times (\min_{\text{on}} + \min_{\text{off}}) / \min_{\text{on}}$$

โดย \min_{on} และ \min_{off} คือ เวลาเป็นนาที ที่ปั๊มเดินและหยุด ตามลำดับ

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมระบบ เปรียบเทียบระหว่างระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์. ระบบเอ.เอส.แบบดั้งเดิม (Conventional) และ แบบยัดการเติมอากาศ (Extended Aeration)

Parameter	Process		
	SMF-MBR	Convention AS	Extented Aeration AS
Aeration Tank Volume (m ³)	2.67	3.42	13.6
Influent BOD. (mg/l)	250	250	250
Aeration Tank MLSS (mg/l)	10,000	2,500	3,500
Organic Loading Rate (kg BOD./kg MLSS-d)	0.12	0.2-0.7	0.1-0.15
Volumetric Loading Rate (kg BOD./m ³ -d)	1.35	0.59	0.27
Aeration Tank DO. (mg/l)	1.5	1.5	1.5
Sludge Retention Time (d)	infinite	2-10	11
Recirculation Ratio (%)	-	25	50-100
Hydraulic Retention time (hr)	5	6	12-24

ที่มา : (Kathiravelu, P., 1997)

2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 งานวิจัยเกี่ยวกับระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน

Talat, 1988 รอบการทำงานของบ่อบำบัดน้ำเสีย 10/10 นาที ให้ค่าฟลักซ์ ที่มีความคงตัวสูง และยาวนานที่สุด ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาตร มีค่าวิกฤติและเหมาะสม ที่ 3 และ 2 kg.COD/m³-d ตามลำดับ กำจัดซีโอดี. 95-97% ปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน 100% พีเอชในระบบมีค่า 7.7-8.2 และ ขนาดรูของเมมเบรน ไม่ส่งผลกับประสิทธิภาพการกำจัด แต่ความดันบ่อบำบัดจะต่ำกว่าเมื่อขนาดรูใหญ่ขึ้น ระบบมีค่า F/M ต่ำ สลัดจ์ส่วนเกินน้อย แต่การระบายสารสะสมที่ไม่ใช่อาหารของจุลชีพเป็นครั้งคราวยังคงจำเป็น

Sopajaree, 1989 ที่ค่าอายุสลัดจ์ไม่จำกัด ค่าซีโอดี.ในน้ำออกไม่ขึ้นกับ ความลึกในการจมตัวเมมเบรน ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.15-0.35 kg.COD./m³-d มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 90-98 % ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันเกิด ได้กว่า 90% แต่จะต่ำลงเป็น 78% ที่เวลากักเก็บต่ำ และเมมเบรนอยู่สูงจากกันถึง จนเกิดการตกตะกอน ซึ่งค่าสลัดจ์จุลชีพในเขตเดิมอากาศมีค่าน้อย ความดันส่งผ่านจะมีค่าต่ำสุดที่ค่าฟลักซ์เท่ากัน การเพิ่มอัตราไหลอากาศ จะลดการอุดตันและค่าความดันส่งผ่านเมมเบรนลงได้

Yamamoto, 1989 การกรองผ่านเมมเบรนอย่างต่อเนื่อง จะเกิดการอุดตันรุนแรง จนความดันบ่อบำบัดสูงถึง 100 KPa ค่าฟลักซ์ลดอย่างรวดเร็ว การให้บ่อบำบัดทำงานเป็นช่วง พื้นที่ผิวเมมเบรน 0.3 m² อัตราเดิมอากาศ 1.8 ลิตร/นาที เวลากักเก็บ 4 ชม. ค่าฟลักซ์มีค่ามากกว่า 0.121 m³/m²-d คงตัวได้นานที่ความดัน 13 KPa ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.5 kg.COD./m³-d ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกว่า 95% อัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพมีค่า 0.1 kg.COD/kg.MLSS-d ค่าวิกฤติภาระบรรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาตร และค่าสลัดจ์จุลชีพมีค่า 3-4 kg.COD/m³-d และ 30-40 ก./ล. ตามลำดับ ซึ่งระบบสามารถคงตัวอยู่ได้

Chaize and Huyard, (1991) ที่เวลากักเก็บ 8 ชั่วโมง และอายุสลัดจ์ 100 วัน น้ำเสียชุมชน ค่าซีโอดี. 250-550 มก./ล ทีเคเอ็น. 65-150 มก./ล ค่าสลัดจ์จุลชีพคงตัวใน 25 วัน ที่ 8,000-10,000 มก./ล ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันเกิด ได้ดีใน 14 วัน น้ำออกมีค่าซีโอดี ทีเคเอ็น.ไนเตรท น้อยกว่า 30, 10, 40-130 มก./ล. ตามลำดับ โดยมีค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพเท่ากับ 0.06-0.1 kg.COD./kg.MLSS-d.

Kim Jeong Hun, 1991 ผลของสารอินทรีย์ต่อปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน แอโมเนีย 400 มก./ล เวลากักเก็บ 4-16 ชม.พบว่า ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อค่าซีโอดีต่อ ไนโตรเจนสูงขึ้น ค่าเฉลี่ยแอโมเนีย น้ำออก และปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน มีค่า 4.1-9.4 มก./ล และ 97.8-99% 7.4-18.5 มก./ล และ 86.9-91.9% 6.3-23.8 มก./ล และ 74.4-83.4% โดยอัตราการย่อยสลายแอมโมเนียของไนโตรโซโมแนส มีค่า 1.2-4.14 0.9-2.5 และ 0.88-2.3 g.NH₄⁺-N/g.VSS.-d ที่ค่าซีโอดีในน้ำเข้า 0, 1000, 2000 มก./ล ตามลำดับ

Chiemchaisri , 1992 บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ค่าซีไอดี. ในโครเจนทั้งหมด. 150-500 และ 30-50 มก./ล ตามลำดับ ระบบเติมอากาศ ต่อเนื่องและเป็นช่วง ไม่มีผลต่อการกำจัดซีไอดี มีประสิทธิภาพ 85-97% น้ำออก 20.8 ,15.9 มก./ล ตามลำดับ ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันสมบูรณ์ใน 35 วัน และ ถูกจำกัดที่ค่า ซีไอ. < 1 มก./ล ส่วนการเติมอากาศเป็นช่วง ค่าซี.ไอ. 4-5 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนมากกว่าที่ 1-2 มก./ล คือ 90 , 80% ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยในน้ำออก 4.5 มก./ล

Udeda , 1997 ผลของกระแสฟองอากาศปั่นป่วน ต่อความดันของบิมูด ค่าสถิติจลจลชีพ ในถังปฏิกรณ์ 8-12 ก./ล พบว่าการเพิ่มอัตราไหลอากาศ 0.31-1 ลบ.ม./นาที่ ที่ฟลักซ์คงที่ ความดันบิมจะลดลง ซึ่งส่งผลมากที่ค่าฟลักซ์ 0.37 ม./วัน และน้อยมากที่สุดที่ 0.19 ม./วัน จนถึงค่าวิกฤต 0.7 ลบ.ม./นาที่ จะไม่มีผลกับความดันอีกต่อไป และการเพิ่มความหนาแน่นการเติมอากาศ (Intensity) จาก 0.41 เป็น 0.612 $m^3/m^2 \cdot min$ จะเพิ่มความรุนแรงของกระแสปั่นป่วน โดยค่าฟลักซ์เท่ากัน บิมจะมีความดันต่ำกว่า

2.6.3 งานวิจัยทางด้านการนำกลับมาใช้ใหม่ในอาคารสูง (Wastewater Reclamation)

Arceivala, 1977 เมืองบอมเบย์-อินเดีย การนำกลับมาใช้ใหม่ในระบบปรับอากาศ คุ่มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด โดยอาคารขนาด 20-25 ชั้น มีการนำกลับมาใช้ 150-250 ลบ.ม./วัน โดยรวบรวมน้ำเสียจากกิจกรรมของอาคาร บำบัดโดยกระบวนการ ชีวภาพ ตกตะกอน โคแอกกูเลชัน ตกตะกอน ถังกรองทราย กำจัดความกระด้าง และฆ่าเชื้อ โดยระบบขั้นที่ 3 ขนาด 200 ลบ.ม./วัน ลงทุน 50,000 \$ ค่าเดินระบบรวมเงินกู้ยืมคืน 0.04 \$/1,000 l. ขณะที่ค่าน้ำประปาของเมือง 0.058 \$/ 1,000 l.

Asano, 1981 ตำรวจอาคาร 52 แห่ง มีระบบนำกลับมาใช้ เฉพาะอาคาร 47 แห่ง รับน้ำจากส่วนกลาง 5 แห่ง ใช้ชักโครกมากที่สุด รองลงไปคือ ระบบปรับอากาศ สระน้ำประดับ ทะเลสาบ และระบบดับเพลิง โดยใช้น้ำในเวลาว่างเฉลี่ย 385 ลบ.ม./วัน และวันหยุด 23 ลบ.ม./วัน คุณภาพน้ำมี บีไอดี ซีไอดี และเอสเอส. 3-30 5-40 และ 30 มก./ล ตามลำดับ อาคารมีขนาดท่อประปาเข้ามากกว่า 50 มม. หรือพื้นที่มากกว่า 5,000 ตร.ม. น้ำเสียบำบัดด้วยกระบวนการ อัลตราสกรีน เติมอากาศ-ตกตะกอน กรองทราย คลอรีนฆ่าเชื้อ ตามลำดับ ระบบขนาด 476 ลบ.ม./วัน ลงทุน 1,428,600 ดอลลาร์ ค่าดำเนินงาน 0.55 ดอลลาร์/ลบ.ม. ค่าน้ำประปารวมค่าบริการน้ำเสียในโตเกียว 1.89 ดอลลาร์/ลบ.ม.

Lewinger and Young, 1987 อาคารสำนักงานขนาดใหญ่ในแคลิฟอร์เนีย 11 ชั้น พื้นที่ 249,000 ตร.ฟุต ,พนักงาน 1,660 คน ปริมาณความต้องการน้ำรวม น้ำประปา น้ำเสียนำกลับ 24,900 7,844 และ 17,056 แกลลอน/วัน ตามลำดับ เดิมใช้ระบบท่อเดียวต้องการเปลี่ยนเป็นระบบสองท่อ รับน้ำจากระบบบำบัดรวม ใช้ชักโครกและสระประดับ น้ำมีความใสเช่นกับน้ำประปา ไม่มีกลิ่น มีความกักคร่อนเล็กน้อยแต่ไม่สร้างปัญหา อาคารเก่าลงทุนเพิ่มระบบบิมและท่อ 66,565 \$ อาคารใหม่ลงทุนเพิ่ม 45,000 \$

สมิทซ์ และ สุมาลี, 2537 อ้างถึงใน อัมพวัน พงษ์สิทธิศักดิ์. 2539 อาคาร 32 ชั้น พื้นที่ 130,000 ตร.ม., ปริมาณน้ำเสีย 1,300-1,500 ลบ.ม./วัน มาจากชักโครกกว่า 70% ปริมาณน้ำเสียที่นำกลับ 1,000-1,100 ลบ.ม./วัน 66-75% ของปริมาณน้ำเสียทั้งหมด บำบัดด้วยระบบ เอ.เอส. กรองทราย ดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ และคลอรีนฆ่าเชื้อ ตามลำดับ ใช้พลังงาน 120 KW. ลงทุน 5 ล้านบาท ค่าไฟฟ้า 2.8 บาท/หน่วย ค่าน้ำประปา 10 บาท/ลบ.ม. ที่ปริมาณใช้น้ำ 800 ลบ.ม./วัน คืนทุนใน 3 ปี

Chaisak, 1997 กรณีศึกษา อาคาร 30 แห่ง ในโตเกียวประเทศญี่ปุ่น การบำบัดขั้นสูงต่อจากระบบเอ.เอส. คือ ถังกรองทราย ฆ่าเชื้อด้วยโอโซน และคลอรีน ซึ่งกำจัดโคลิฟอร์มได้หมด ถ้าเพิ่มการดูดซับด้วยถ่าน บีโอดี ซีโอดี จะลดลงจาก 4,10 เป็น 2,4.5 ตามลำดับ ความขุ่นเพิ่มจาก 1.3 เป็น 2.3 NTU. และ โอโซน มีผลในการลดสีที่ดีที่สุด สิ่งจูงใจของผู้ใช้น้ำ คือ อนุรักษ์น้ำ 44.1% รั่วแนะนำ 17.9% ประหยัด 13.54% ส่วนใหญ่ตอบสนองทางบวกต่อ ความสะอาด กลิ่น และสี โดยเห็นไม่ต่างจากน้ำประปา 45-60% และสังเกตได้เล็กน้อย 18 -30% ต้นทุนการก่อสร้าง และควบคุมซ่อมบำรุง มีค่าในช่วง 120-250% และ 100-630% ของระบบเอ.เอส. ตามลำดับ

Delgado Diaz., 1998 ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนบำบัดน้ำจากระบบขั้นที่สอง เพื่อการชลประทานและการเกษตร เมืองซานตาครูส น้ำเสียจากระบบเอ.เอส. มีค่าความขุ่น เอสเอส. ซีโอดี 43, 28, 89 มก./ล ตามลำดับ โดยกำจัดความขุ่น ซีโอดี 93% และ 60% ตามลำดับ กำจัด เอสเอส. ฟิคัลโคไลฟอร์มโคไลฟอร์มทั้งหมด และฟิคัลสเตรปโตคอคัส ได้หมดโดยไม่ต้องใช้คลอรีน ค่าฟลักซ์ของเมมเบรนมีค่าสูง คงตัว ที่ความเร็วแนวขวางสูง และความดันส่งผ่านต่ำ โดยความดันส่งผ่าน จะมีผลกับค่าฟลักซ์น้อยถ้าความเร็วแนวขวางต่ำ ซึ่งมีขีดจำกัดที่ 1-3 บาร์ เมื่อระบบทำงานที่ 1 บาร์ 3 ม./วินาที ค่าฟลักซ์จะมีค่า $100 \text{ l/m}^2\text{-h}$ ซึ่งใกล้เคียงกับการใช้ไมโครฟิลเตรชันกรองน้ำประปา