

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย

2.1.1 โรงงานสุรา

โรงงานสุรา ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ได้แบ่งประเภทที่เกี่ยวกับโรงงานสุราออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. ประเภทที่ 016 โรงงานต้ม กลั่น หรือผสมสุรา
2. ประเภทที่ 017 โรงงานผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ ซึ่งมีใช้เอทิลแอลกอฮอล์ ที่ผลิตจากกากซัลไฟต์ในการทำเยื่อกระดาษ
3. ประเภทที่ 018 โรงงานทำหรือผสม สุราจากผลไม้

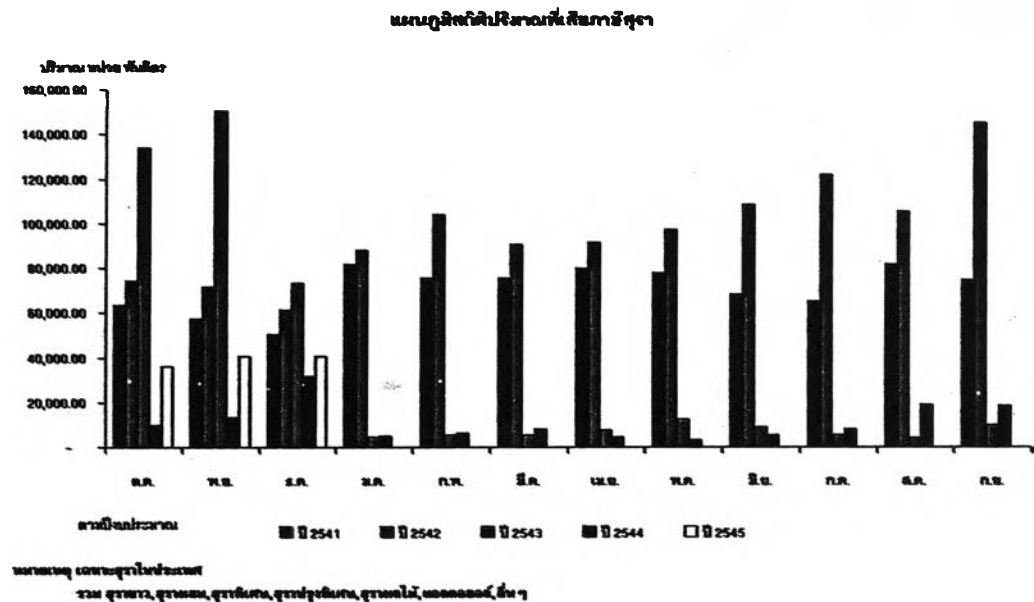
โดยสามารถแจกแจงรายละเอียด จำนวนโรงงาน เงินลงทุน ตลอดจนคนงานที่ใช้ในสายการผลิต ได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงจำนวนโรงงาน เงินลงทุน และคนงานรวมของโรงงานสุราแต่ละประเภท (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 1 ม.ค. 2545)

ประเภทโรงงาน	จำนวนโรงงาน (โรง)	เงินลงทุน (ล้านบาท)	คนงาน (คน)
016	52	11,139.71	8,046
017	3	483.03	321
018	16	661.32	464
รวมทั้งสิ้น	71	12,284.06	8,831

โดยโรงงานสุราจะกระจายไปตามภูมิภาคต่างๆ ของประเทศ ทั้งนี้ยังมีการผลิตสุราพื้นบ้าน ซึ่งไม่ได้รวบรวมจำนวนตัวเลขที่แน่นอนในการศึกษารั้งนี้ แต่แหล่งผลิตใหญ่คือในเขต

กรุงเทพมหานคร และปริมณฑล ในเขตลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง และลุ่มน้ำท่าจีนตอนล่าง โดยมียอดการผลิตที่ดูจากปริมาณการผลิตที่แจ้งเสียภาษีของกรมสรรพสามิต ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนภูมิสถิติปริมาณที่เสียภาษีสุรา (กรมสรรพสามิต, 3 เมษายน 2545)

2.1.2 กรรมวิธีการผลิตสุรา

สุราเป็นเครื่องดื่มที่ได้จากการผสมแอลกอฮอล์ น้ำ และส่วนผสมอื่นๆ เพื่อให้มีรสชาติและสีแตกต่างกันไป สุราแบ่งตามประเภทของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตรวบรวมไว้ได้ 3 ประเภทคือ

1. สุราที่ผลิตจากเมล็ดธัญพืช (Grain Distilleries) ได้แก่ สุราประเภท สก๊อตวิสกี้ (Scotch Whiskey) ผลิตจากเมล็ดธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า ข้าวบาเลย์ เป็นต้น
2. สุราที่ผลิตจากผลไม้ (Fruit Distilleries) เช่น สับปะรด องุ่น เป็นต้น ได้แก่ สุราประเภท ไวน์ (Wine) บรัันดี (Brandy) แชมเปญ (Champagne)
3. สุราที่ผลิตจากกากน้ำตาล (Molasses distilleries) เช่น สุราขาว สุราผสมรัม (Rum) เป็นต้น

โดยสุราที่เป็นจุดสนใจในวิทยานิพนธ์นี้คือ สุราที่ผลิตจากกากน้ำตาล เนื่องจากมีน้ำเสีย ที่ทำการบำบัดได้ยากที่สุด คือ น้ำกากสา ซึ่งกระบวนการผลิตสุราจากกากน้ำตาลแบ่งได้ 4 ขั้นตอนใหญ่ๆ ดังรูปที่ 2.2 ได้ดังนี้

2.1.2.1 การหมักกากน้ำตาล (Fermentation)

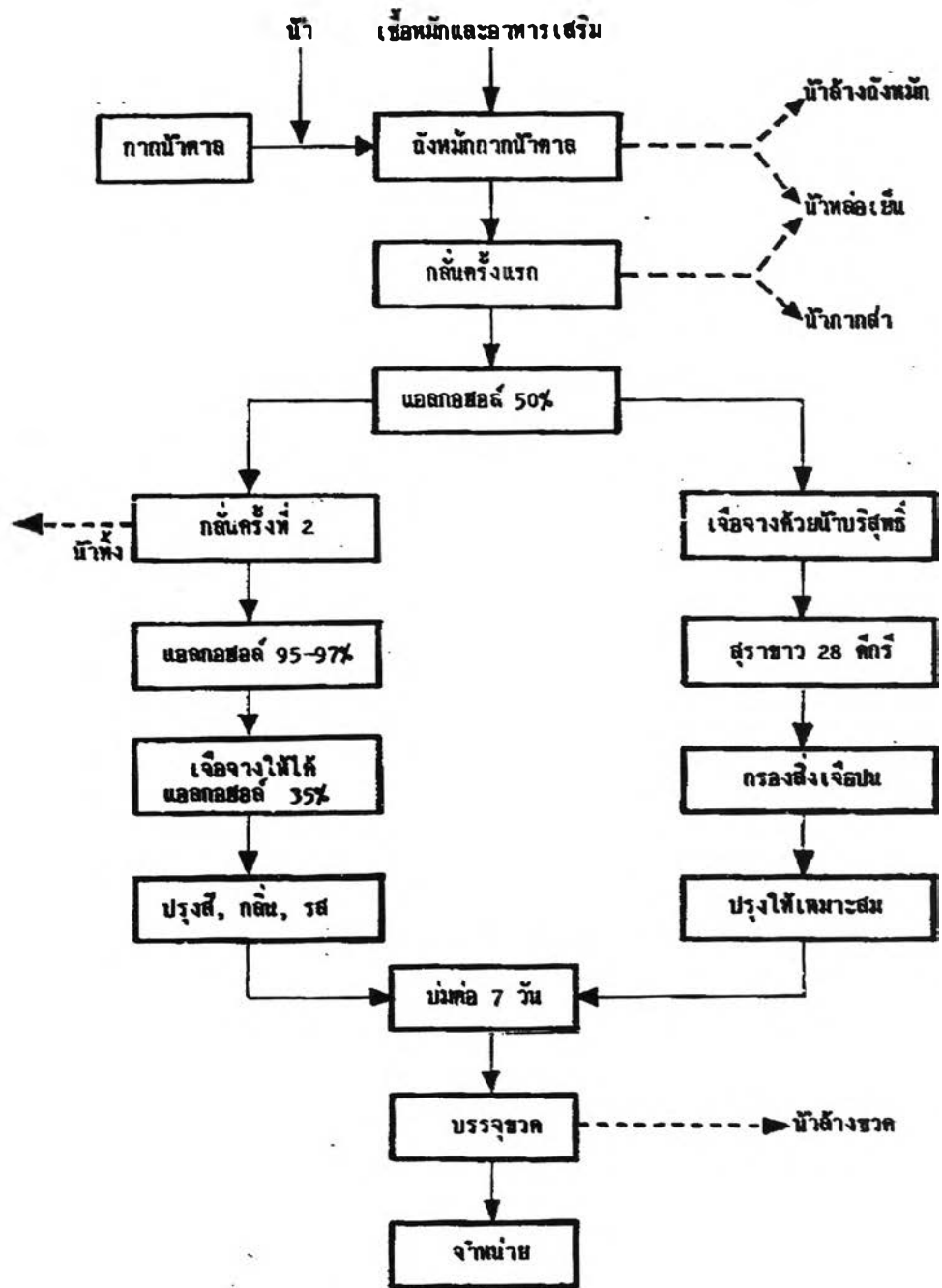
กากน้ำตาล (Molasses) เป็นผลผลิตเหลือจากการผลิตของโรงงานน้ำตาล ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถตกผลึกได้ต่อไปอีก มีสีดำหรือน้ำตาลเข้ม มีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก อัตราความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหมาะสมในการหมักประมาณร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก ดังนั้นการหมักจึงต้องเจือจางกากน้ำตาลด้วยน้ำ 3 เท่า แล้วจึงใส่เชื้อหมัก (Yeast) และอาหารเสริม การหมักใช้เวลาประมาณ 48 ชั่วโมง จะได้แอลกอฮอล์ร้อยละ 8 – 10 โดยปริมาตร ส่วนผลมของแอลกอฮอล์ภายหลังการหมักเรียกว่า เบียร์ (Beer) หรือ แมช (Mash) หรือน้ำสา ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังหมักกลั่น

2.1.2.2 การกลั่นแอลกอฮอล์ (Distillation)

น้ำสาถูกส่งมายังหมักกลั่นแรก เพื่อกลั่นแยกแอลกอฮอล์ออกมา ได้แอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 50 ส่วนหนึ่งของที่กลั่นได้นี้ถูกนำไปผลิตสุราขาว และอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปกลั่นในขั้นต่อไป เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95 – 97 โดยปริมาตร

2.1.2.3 การผลิตสุราขาว (Raw Alcohol Production)

ส่วนหนึ่งของแอลกอฮอล์ร้อยละ 50 โดยปริมาตรที่ได้จากการกลั่นครั้งแรก จะถูกนำมาเจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์เพื่อให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 28 โดยปริมาตร หรือ 28° (degree) เรียกว่า สุราขาว จากนั้นกรองเศษผงและสิ่งเจือปนออก ปรุงให้เหมาะสมและนำมาบ่มต่อประมาณ 7 วัน แล้วนำไปบรรจุขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป



รูปที่ 2.2 แผนผังแสดงกรรมวิธีการผลิตสุรา และจุดปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานสุรา (มาลี, 2530)

2.1.2.4 การผลิตสุราผสม (Blended Liquor Production)

นำแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95 – 97 โดยปริมาตรที่ได้จากการกลั่นครั้งที่สอง มาเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 35 โดยปริมาตร หรือ 35° (degree) แล้วเติมสี ยาสมุนไพร และส่วนผสมอื่นๆ เพื่อให้ได้กลิ่นหอมและรสชาติตามความต้องการ จากนั้นนำมากรองและบ่มต่อประมาณ 7 วัน ก่อนบรรจุลงขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป

2.1.3 ลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานสุรา

น้ำเสียจากโรงงานสุรา แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. น้ำเสียประเภทเจือจาง ได้แก่ น้ำล้างขวด น้ำที่มีอุณหภูมิสูง น้ำล้างพื้น
2. น้ำเสียประเภทเข้มข้น ได้แก่ น้ำกากสา น้ำเสียที่มีอุณหภูมิสูง ได้แก่ น้ำจากการพ่นเข้า (Blow Down) เครื่องกำเนิดไอน้ำ และน้ำที่ใช้สำหรับหล่อเย็นในหม้อสำหรับทำให้น้ำกลายเป็นไอ (Condenser) ของเครื่องกลั่นสุรา

น้ำทิ้งของโรงงานสุรามีส่วนใหญ่มากจากระบวนการผลิตสุราในแต่ละขั้นตอน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 สำหรับคุณลักษณะของน้ำทิ้งประเภทต่างๆ จากโรงงานสุรา มีลักษณะแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.2

น้ำกากสาเป็นน้ำเสียส่วนใหญ่ของโรงงาน ซึ่งได้มาจากเครื่องกลั่นสุรา ลักษณะของน้ำกากสาจะอยู่ในรูปของเหลวสีน้ำตาล โดยมีสารอาหารสำหรับพืชในปริมาณพอสมควรที่จะนำไปเป็นปุ๋ยหรืออาหารได้

สีน้ำตาลเข้มในน้ำกากสานั้น เกิดจากสองสาเหตุด้วยกัน คือ เกิดจากสีของคาราเมลจากน้ำตาลชนิดต่างๆ ที่มีเหลือในกากน้ำตาลที่ยังไม่ได้ใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ เป็นสารที่ไม่มีธาตุไนโตรเจน และเกิดจากสารเมลานอยดิน ซึ่งเป็นสารที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากการรวมตัวระหว่างน้ำตาลชนิดต่างๆ กับกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ภายใต้อุณหภูมิสูง โดยผ่านกระบวนการปฏิกิริยาบราวน์นิ่ง (Browning Reaction) ซึ่งมีสีเหลืองถึงน้ำตาลเข้ม และมีผลทำให้กากน้ำตาลและน้ำกากสามีสีน้ำตาลเข้มด้วย สารนี้เป็นสารที่ถูกย่อยสลายได้ยาก จึงเป็นปัญหาในการกำจัดก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ

ตารางที่ 2.2 คุณภาพของน้ำเสียประเภทต่างๆของโรงงานของโรงงานต้มกลั่นสุรา 32 แห่ง ที่ราชอาณาจักร (กรมสรรพสามิต, 2528)

ประเภทน้ำเสีย	ท่า	ปริมาณน้ำทิ้ง (ลบ.ม.ต่อวัน)	pH	อุณหภูมิ (C)	BOD ₅ (กรัมต่อลบ.ม.)	COD (กรัมต่อลบ.ม.)	COD/BOD	SS (กรัมต่อลบ.ม.)	TS (กรัมต่อลบ.ม.)	TVS (กรัมต่อลบ.ม.)	ของแข็งแขวนลอย (กรัมต่อลบ.ม.)	Total N (กรัมต่อลบ.ม.)	P (กรัมต่อลบ.ม.)	K (กรัมต่อลบ.ม.)	SO ₄ (กรัมต่อลบ.ม.)	ความเป็นด่าง (กรัมต่อลบ.ม.)	ความกระด้าง (กรัมต่อลบ.ม.)
น้ำกากา	เฉลี่ย	90	3.7	88.6	27,476	118,100	4.3	11,318	76,830	58,520	27	940	115	4,760	3,720	-	-
	พิสัย	23-400	2.3-6.5	53-100	17,600-45,000	66,970-193,800	1.90-7.67	5,240-23,830	36,280-123,640	30,280-59,220	Trace-280	40-2,160	24-380	2,300-8,900	1,820-5,160	-	-
น้ำล้างขวด	เฉลี่ย	90	7.2	29.5	100	220	2.2	107.3	308.6	143.9	-	3.2	0.16	-	-	-	-
	พิสัย	4.0-720	4.5-12.2	24-38.6	10-150	36-98	-	7-658	96-1,414	36-394	-	0.7-10.6	0.06-0.26	-	-	-	-
น้ำหล่อเย็น	เฉลี่ย	812	8.8	42.8	27	54.2	2.0	72.4	277.8	98.4	-	347	7	-	-	77	57
	พิสัย	18-4,680	4.3-8.6	28-59	11-42	8-158	1-4	0.5-815	34-982	22-718	-	0.33-3,000	-	-	-	5.6-130	606-134

น้ำกากส่าแบ่งได้ 2 ชนิด คือ กากส่าขาว ได้จากการใช้ข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบในการผลิต และกากส่าแดง ซึ่งได้จากกระบวนการผลิตที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ น้ำกากส่าจากโรงงานสุราเกือบทุกแห่งในประเทศไทยเป็นชนิดกากส่าแดง มีสีน้ำตาลเข้มหรือดำ มีฤทธิ์เป็นกรด และมีความเข้มข้นของปริมาณสารอินทรีย์สูง โดยปกติที่อัตราการผลิต 4,500 เท/วัน (1 เท = 20 ลิตร) จะมีปริมาณน้ำกากส่าประมาณ 300 ลบ.ม. /วัน หรือมีปริมาณน้ำกากส่าประมาณ 3.5 เท่าของอัตราการผลิต (มาลี, 2530)

2.1.4 การบำบัดน้ำกากส่า

เนื่องจากน้ำกากส่าในโรงงานผลิตแอลกอฮอล์และสุราทำให้เกิดปัญหามลภาวะของแม่น้ำ ลำคลองที่ถูกปนเปื้อน จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำกากส่าที่เป็นน้ำทิ้งเสียก่อน โดยการแยกสิ่งสกปรกต่างๆ ตลอดจนสีน้ำตาลเข้มของน้ำกากส่านั้น ให้มีปริมาณลดลงจนอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหา มลภาวะในแหล่งน้ำระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน อุตสาหกรรมและแหล่งชุมชนต่างๆ จะเป็นแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมที่ต้องการบำบัด ตลอดจนสภาพที่จะใช้ในการสร้างระบบ โดยระบบที่นิยมใช้ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางเคมี เคมีไฟฟ้า และทางชีวภาพ

2.1.4.1 กระบวนการบำบัดทางเคมี

การตกตะกอนสีน้ำกากส่าด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation) โดยใช้สารเคมี ชนิดต่างๆ เช่น สารส้ม ปูนขาว และเฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) จากการศึกษาพบว่า สารเคมีที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนสีน้ำกากส่าด้วยสารเคมี คือ สารส้ม รองลงมาคือ เฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) และปูนขาว โดยปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอนสีน้ำกากส่า คือ สารส้ม 35 กก.ต่อน้ำกากส่าสด 1 ลูกบาศก์ม. ซึ่งเสียค่าใช้จ่าย 197 บาท ต่อน้ำกากส่าสด 1 ลูกบาศก์ม. (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2525)

นอกจากนี้ยังมีผู้ศึกษาการกำจัดสีเมลานอยดินด้วยเคมี คือ Hayase และคณะ, 1984 ได้ทำการศึกษาพบว่าเมื่อใช้เอนไซม์กลูโคสออกซิเดสกำจัดสีเมลานอยดิน ในสภาวะที่เหมาะสมจะกำจัดสีเมลานอยดินได้ถึง 65 % ซึ่งปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับสารตั้งต้น ทำให้เกิด

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และย่อยสลายเมลานอยดินได้ถึง 65% ซึ่งปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับสารตั้งต้นทำให้เกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และย่อยสลายเมลานอยดิน จากเหตุผลนี้เราจึงใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาทำการทดลองแทนเอนไซม์ดังกล่าว โดยการใส่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณความเข้มข้นเหมาะสมที่สุดคือ 6.72% ที่พีเอช 2 ระดับ คือ เป็นกลาง 7.0 และเป็นด่าง 10.0 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 ชั่วโมง เมลานอยดินจะถูกย่อยสลายลง 64 – 97% ตามลำดับ เมลานอยดินที่ถูกย่อยสลายลงนี้เป็นเมลานอยดินที่มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 3,500 – 5,300

การกำจัดสีของเมลานอยดินด้วยวิธีการทางเคมียังมีอีกหลายรูปแบบซึ่งใช้ค่าใช้จ่ายสูง เช่น การดูดซับด้วย แอคติเวเต็ดคาร์บอน หรือการตกตะกอนด้วยสารเคมีบางอย่าง เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต เพอร์ริคซัลเฟต สารส้ม ปูนขาว และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แต่เนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง เช่น การตกตะกอนด้วยสารส้ม ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงถึง 197 บาท ต่อน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์ม. หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ก็เป็นสารเคมีที่มีราคาแพงมาก (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2525)

Veronica และคณะ, 1993 แยกเมลานอยดินในน้ำกากส่าโดยใช้สารรวมตะกอนอนินทรีย์ ชนิดการค้า (Commercial Inorganic Flocculant) ที่มีสูตรทางเคมี $[Fe_2(OH)_n(SO_4)_{3-n/2}]_m$ ประสิทธิภาพในการกำจัดสี 32 87 และ 94 % เมื่อใช้กำจัดสีน้ำกากส่าสด น้ำทิ้งที่ผ่านทั้งระบบย่อยสลายแบบชีวภาพกับระบบบ่อบำบัดตามลำดับ TOC ลดลง 21% สำหรับน้ำกากส่าสด และประมาณ 73 % สำหรับระบบย่อยสลายทางชีวภาพและระบบที่ผ่านทั้งระบบย่อยสลายทางชีวภาพและระบบบ่อบำบัด ในน้ำกากส่าสดมีปริมาณฟลูออไรด์อิออนอยู่มากพอสมควร ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลง การเติมแคลเซียมออกไซด์ 30 ก./ล. น้ำกากส่าจะช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีเป็น 93 %

2.1.4.2 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบำบัดน้ำกากส่าโดยวิธีทางชีวภาพ โดยร่วมกับกระบวนการบำบัดไร้ออกซิเจน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Watanabe และคณะ, 1982 รายงานว่า เห็ด *Coriroles ap. No. 20* สามารถกำจัดสีน้ำตาลจากสาได้ 80 % เมื่อเลี้ยงในอาหารเชื้อที่ประกอบด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ 1.5 ก. ในสารละลายสีเมลานอยดินที่สังเคราะห์ขึ้นเองด้วยวิธีการข้างต้นปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร pH 6.4 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ การกำจัดสีพบว่าเกิดจากเอนไซม์ภายในเซลล์ (intercellular enzyme) ซึ่งสามารถสกัดได้จากสายใยของเห็ดที่กำลังเจริญเติบโต เอนไซม์นี้ชื่อว่า ซอร์โบสออกซิเดส (Sorbos Oxidase) ปฏิกริยาของเอนไซม์นี้จะไปออกซิไดซ์กลูโคสให้ได้ แอคทีฟออกซิเจน (Active Oxygen) และ แอคทีฟออกซิเจนนี้จะไปกำจัดสีเมลานอยดิน

Ueda, 1983 ได้รายงานการวิจัยพบว่ามีจุลินทรีย์ ได้แก่ เห็ด รา และแบคทีเรียบางชนิดสามารถกำจัดสีของน้ำตาลจากสาได้ เช่น *Coriolusversicolor* และ *Fumitopsis cytosine* สามารถกำจัดสีน้ำตาลจากสาได้ ส่วนแบคทีเรียที่พบว่า มีความสามารถกำจัดสีของน้ำตาลจากสาได้ ยังมีความสามารถกำจัดสีของน้ำตาลจากสาได้ ยังมีความสามารถในการย่อยวุ้นได้ด้วย จากรายงานดังกล่าว จึงทำให้เกิดความสนใจที่จะหาวิธีการทางชีวภาพ เพื่อกำจัดสีน้ำตาลจากสามากขึ้น

สันทนต์, 2527 พบว่า เชื้อราสายพันธุ์ D 90 ที่อยู่ในกลุ่ม *Deuteromycetes* สามารถลดความเข้มข้นน้ำตาลได้ 90 % ในเวลา 10 วัน โดยมีการเติมน้ำตาลกลูโคส 2.5 % และยีสต์สกัด 0.2 % พีเอช 6.0 และมีปริมาณเชื้อเริ่มต้นไม่ต่ำกว่า 0.15 % นำเชื้อรา D 90 ไปทำการลดความเข้มข้นน้ำตาลจากสาสด น้ำตาลจากสาหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ และน้ำตาลจากสาหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ พบว่า น้ำตาลจากสาสดเหมาะสมที่สุดสำหรับเชื้อรา D 90 ซึ่งสามารถลดความเข้มข้นน้ำตาลจากสาได้ 91.0 % ในเวลา 10 วัน และยังลดระดับ บีโอดี ได้ 81.0 % ในเวลา 12 วัน ในขณะที่น้ำตาลจากสาหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ และระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ ลดความเข้มข้นน้ำตาลจากสาได้เพียง 65 และ 60 % ตามลำดับ และลดระดับ บีโอดี ได้ 85.5 และ 93.4 % ตามลำดับ

Aoshima และคณะ, 1985 ได้ศึกษาความสามารถในการกำจัดสีน้ำตาลจากสา (Molasses pigment (melanoidin) decolorizing activity) หรือ MDA พบว่าในพวกราที่มีสายใยสีขาว (White – rot fungi) โดยเฉพาะในเห็ด *Coriolus versicolor Ps4a* ซึ่งสามารถกำจัดสีน้ำตาลจากสาได้ 80 % เมื่อเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคส 5 % เปปโตน 0.5 % โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.1 % แมกนีเซียมซัลเฟต 0.05 % ในสารละลายสีน้ำตาลจากสา

จากโรงงานผลิตยีสต์ทำขนมปัง 100 มล. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน MDA นี้เกิดจากเอนไซม์ภายในเซลล์ ซึ่งถูกชักนำโดยสีน้ำตาลกากสา (Molasses pigment) เอนไซม์นี้มี 2 ชนิด คือ เอนไซม์ที่ขึ้นอยู่กับน้ำตาล (Sugar dependent enzyme) และเอนไซม์ที่ไม่ขึ้นอยู่กับน้ำตาล (Sugar independent enzyme) การกำจัดสีของเอนไซม์ดังกล่าวเป็นการย่อยสลายสีของน้ำตาลกากสาตัวเอง

Ohmomo และคณะ, 1988 พบว่าแบคทีเรียไม่ต้องใช้ออกซิเจน ในกลุ่มของแลคติกแอซิดแบคทีเรีย สามารถลดความเข้มข้นน้ำตาลกากสาได้ 30 % ซึ่งมีค่าต่ำกว่าความสามารถในการลดความเข้มข้นของเชื้อราในกลุ่ม *Basidiomycetes* และ *Ascomycetes* การเจริญและความสามารถในการลดความเข้มข้นน้ำตาลกากสานั้นไม่ต้องการออกซิเจน ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำกากสาในอุตสาหกรรม และพบว่าเมื่อนำแบคทีเรียไม่ต้องการอากาศนี้ไปตรึงด้วยเจลแคลเซียมอัลจิเนต จะสามารถลดความเข้มข้นน้ำตาลกากสาได้เพิ่มขึ้น 1.6 เท่า ของการใช้เซลล์อิสระ ทั้งนี้เนื่องจากการที่นำเซลล์ของแบคทีเรียไปใส่ในเจลนั้น เป็นการปรับสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมแก่เชื้อมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ เซลล์ที่ถูกตรึงนั้นยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกหลายครั้ง ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากสาลงไปได้อีก ซึ่งนับว่าเป็นเรื่องที่น่าสนใจและควรจะได้มีการค้นคว้าวิจัยต่อไป

Sirianuntapiboon และคณะ, 1988 ได้นำราสายพันธุ์ D - 90 ที่ได้จากการคัดพันธุ์ในประเทศไทยมาทำการศึกษากำจัดสีน้ำตาลกากสาต่อ โดยใช้กากสาจากโรงงานผลิตเอทานอลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบกรองไร้อากาศ และใช้อากาศตามลำดับ แล้วนำมาวิเคราะห์ทางเคมี โดยนำ บีโอดี และ ซีโอดี จากการทดลองพบว่ารา D - 90 สามารถกำจัดสีน้ำตาลกากสาหรือเมลานอยดิน ที่ได้จากโรงงานผลิตเอทานอลที่ผสมด้วยกลูโคส 2.5% โซเดียมไนเตรท 0.2% โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.1 % แมกนีเซียมซัลเฟต 0.05% และนำไปผ่านการตกตะกอนนำไประเหย และไดอะไลซ์นำมาปรับความเข้มข้นของสีด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 475 นาโนม. วัดได้ค่าเท่ากับ 3.5 ปรับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 6.0 เลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน เมื่อการทดลองใช้กากสาที่ไม่ได้ใส่สารอาหารลงไปพบว่ารา D - 90 สามารถกำจัดสีน้ำตาลกากสาได้เพียง 17.5 % และในสภาวะที่ไม่ได้ใส่เชื้อจะสามารถกำจัดสีได้ 70 % ในเวลา 11 วัน และลดค่า บีโอดี ได้ 90 % ในเวลา 15 วัน เมื่อทำการกำจัดสีเมลานอยดินในระบบกึ่งต่อเนื่อง (Fedbatch) พบว่าสามารถกำจัดสีน้ำตาลกากสาได้ประมาณ 80 % ในเวลา 10 วัน และลดค่า บีโอดี ได้ 70%

Ohmomo และคณะ, 1988 ได้คัดเลือกจุลินทรีย์พวกกึ่งไม่ใช้ออกภาค (Facultative anaerobe) ที่มีความสามารถกำจัดน้ำกากส่า (melanoidin – decolorizing activity) หรือ MDA โดยคัดเลือกมาจากบ่อเก็บน้ำกากส่าในโรงงานผลิตเอธานอลพบว่าแบคทีเรียบางสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการกำจัดสีน้ำกากส่าโดยเฉพาะ *Lactobacillus hilgardii* สายพันธุ์ W – NS สามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้ 28 % เมื่อเลี้ยงเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วย กลูโคส 1.0 % ยีสต์ 0.2 % เปปโตน 0.3 % โปรแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.1% แมกนีเซียม 0.05% ในสารละลายสีน้ำกากส่าเมลาโนอิดินที่ได้ จากโรงงานผลิตเอธานอล เตรียมสารละลายสีน้ำกากส่าด้วยวิธีการเดียวกันกับวิธีการข้างต้น ปรับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7.3 ด้วยโซเดียมคาร์บอเนต เลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน เมื่อทำการปรับปรุงการกำจัดสีน้ำกากส่าด้วยวิธีการตรึงเซลล์ด้วยแคลเซียมอัลจีเนตแล้ว พบว่ากำจัดสีน้ำกากส่าได้เพิ่มมากขึ้นเป็น 40 %

Ohmomo และคณะ, 1988 ยังได้ศึกษาการกำจัดสีน้ำกากส่าแบบระบบต่อเนื่องด้วยแบคทีเรีย *Lactobacillus hilgardii* สายพันธุ์ W-NS ที่ตรึงเซลล์ด้วยแคลเซียมอัลจีเนตแล้ว ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีกลูโคส 1 % ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.0 เลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้ 90 % ในเวลา 1 เดือน ในระหว่างนี้ต้องเติมเปปโตน 0.05 % ลงในน้ำกากส่านั้นด้วย และเมื่อทำการทดลองในถังหมักแบบคอลัมน์ (Column-types reactor) จะไม่สามารถบำรุงรักษาเชื้อได้ และการกำจัดสีน้ำกากส่าจะลดลงครึ่งหนึ่งในเวลา 5 วัน ถ้าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7.3 การกำจัดสีก็จะลดลงอีก

2.1.5 การบำบัดน้ำกากส่าในประเทศไทย

น้ำกากส่าจากโรงงานสุรามีความเข้มข้นมากมีค่า บีโอดี สูงราว 35,000 มก./ล. ซึ่งเข้มข้นกว่าน้ำไฮโดรคอกจากชุมชนกว่า 200 เท่า มีฤทธิ์เป็นกรด (pH 4.2) มีไนโตรเจนราว 1,500 มก./ล. P_2O_5 200 มก./ล. และ K_2O ราว 1,000 มก./ล. มีสีดำเข้ม จึงยากต่อการกำจัดโดยวิธีทางชีววิทยา แต่จากการศึกษาและรวบรวมของ ดร.สุจินต์ พนาปวุฒิกุล (2528) มีอยู่ 8 วิธี ดังนี้ โดยสามารถเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีการได้จากตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบราคาค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำกากส่าโดยวิธีต่างๆ พร้อมกับแสดง
ข้อดีและข้อเสีย (สุจินต์, 2528)

วิธีการบำบัดน้ำ กากส่า	ผลตอบแทน สุทธิ บาท/ลบ.ม.	ข้อดี	ข้อเสีย
การทำบ่อเก็บกัก และลานตาก	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -3 (หาก ขายปุ๋ย ไม่ได้) ▪ +17 (หาก ขายปุ๋ยได้) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ได้ปุ๋ยอินทรีย์เข้มข้นมา ใช้ ▪ ลงทุนระยะแรกต่ำมาก ▪ ดำเนินการง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ใช้เนื้อที่ราว 150 ไร่ สำหรับน้ำเสีย 400 ลบ.ม./วัน ▪ ฤดูฝนหากมีฝนตก มากต้องมีการสูบน้ำ กลับไปเก็บไว้ในบ่อ เก็บกัก
ใช้ในการเกษตร โดยตรง	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -2 (ค่า ขนส่ง) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ เป็นปุ๋ยอินทรีย์ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ มีค่าดำเนินการอยู่ บ้างในระยะแรก
ราดถนน	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -10 (ไม่ได้ ค่าตอบแทน น) ▪ 0 (ได้ ค่าตอบแทน น) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ได้แก้มลภาวะเกี่ยวกับ ฝุ่น ▪ ลงทุนระยะแรกต่ำมาก 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ใช้ได้ในฤดูแล้ง เท่านั้น ▪ ต้องขนส่งทางรถ
ใช้เป็นอาหารปลา	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -15 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ เป็นอาหารทางอ้อมแก่ ปลา 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ใช้จำนวนน้อยมาก ▪ ใช้ได้เฉพาะฤดูแล้ง เมื่อดินแห้งรถเข้าไป ได้

ตารางที่ 2.3(ต่อ) การเปรียบเทียบราคาค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำกากส่าโดยวิธีต่างๆ พร้อมกับ
แสดงข้อดีและข้อเสีย (สุจินต์, 2528)

วิธีการบำบัดน้ำ กากส่า	ผลตอบแทนสุทธิ บาท/ลบ.ม.	ข้อดี	ข้อเสีย
การทำปุ๋ยหมัก	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -50 (หากขายปุ๋ยไม่ได้) ▪ -20 (หากขายปุ๋ยได้) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ได้ปุ๋ยอินทรีย์หรืออาหารเสริมในดินมาใช้ ▪ ลงทุนระยะแรกต่ำและไม่ขาดทุน ▪ หากใช้ร่วมกับการย่อยแบบไร้อากาศจะมีต้นทุนถูกกว่าระบบเอเอส 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ใช้เนื้อที่มากพอสมควร ▪ การลงทุนดำเนินการสูง
การหมักและเลี้ยง ตะกอน	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -120 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ได้ก๊าซมีเทนมาใช้ราว 80 บาท/ลบ.ม. ▪ ใช้เนื้อที่น้อย 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ การลงทุนดำเนินการสูง ▪ ยังมีปัญหาเรื่องสีและความเข้มข้นไม่ได้มาตรฐาน
การเคี้ยว	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -200 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ได้ปุ๋ยอินทรีย์เหลวมาใช้ ▪ ใช้เนื้อที่น้อย 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ การลงทุนดำเนินการสูง
การเคี้ยวและการ เผา	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -300 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ใช้เนื้อที่น้อย ▪ ได้ผลพลอยได้ เช่น ความร้อน และน้ำ กลับมาใช้ได้บ้าง แต่ไม่คุ้มต่อการลงทุน 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ การลงทุนดำเนินการสูง ▪ มีปัญหาหมอกภาวะทางอากาศ

2.1.5.1 บ่อเก็บกักและลานตาก (Storage Lagoon and Land Application)

วิธีนี้เป็นการเก็บน้ำกากส่า 6 เดือนในฤดูฝนในบ่อเก็บกัก จากนั้นก็ระบายน้ำกากส่าจากบ่อเก็บกัก และน้ำกากส่าในฤดูแล้ง 6 เดือน รวม 12 เดือน เพื่อไปตากแห้งบนลานในฤดู

แล้ง 6 เดือน อัตราระเหยอยู่ระหว่าง 4-5 มม./วัน วิธีนี้จะใช้ที่ดินมากพอสมควร คือราว 150 ไร่ สำหรับน้ำเสียอัตราประมาณ 400 ลบ.ม./วัน ค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำเสียโดยวิธีนี้อยู่ในเกณฑ์ราว 2-3 บาท/ลบ.ม. ของน้ำกากส่า ซึ่งนับว่าถูกมาก จะใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นไม่จำกัด แต่มีข้อเสียที่ต้องใช้ที่ดินมาก แต่ในชนบทพอจะหาที่ได้ง่าย จึงไม่น่าจะมีปัญหา ประกอบกับประเทศไทยมีความแห้งแล้งมากโดยทั่วไปในฤดูแล้ง จึงทำให้การระเหยของน้ำเป็นไปได้มาก แบบเดียวกับวิธีการทำนาเกลือ

วิธีการเก็บกักน้ำกากส่าแบบบ่อเก็บกักและลานตากนี้ อาจมีปัญหาในเรื่องกลิ่น หากเป็นน้ำกากส่าสด เพราะสภาพกรดจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นฉุนเฉียว ของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และจึงต้องป้องกันด้วยการเติมปูนขาวในบ่อตอนแรกเริ่มการใช้น้ำกากส่า หรือหากมีน้ำกากส่าต่างแล้วก็อาจสูบน้ำจากบ่อกรดมาบ่อต่าง เพื่อให้สะเทินได้แล้วย้ายกลับมาบ่อกรดเดิมได้ ทำให้อบทั้งหมดเป็นต่างปัญหากลับก็จะหมดไป

2.1.5.2 วิธีใช้น้ำกากส่าโดยตรงทางเกษตร (Direct Agricultural Use)

เนื่องจากน้ำกากส่ามีคุณค่าอาหารหลัก (NPK) อยู่บ้าง จึงนำไปทดลองโดยตรงทางการเกษตร เช่น ข้าว พืชผลต่างๆ โดยการบรรทุกออกไปใส่ในนาล่วงหน้าในฤดูแล้งในอัตราที่เหมาะสม ต่อมาเมื่อมีฝนแล้ว จะต้องทำการไถโดยรอบให้น้ำเสียคลุกเคล้าในดิน แม้ค่าพีเอชในน้ำกากส่าจะเป็นกรดบ้างก็ตาม แต่ในดินมี Buffering Capacity แล้ว ประกอบกับปริมาณน้ำกากส่าที่ใช้ก็น้อยจึงไม่ทำให้เกิดผลเสียหายต่อพืชได้ อัตราการใช้กากส่าสดอยู่ในเกณฑ์ราว 10 – 50 ลบ.ม./ไร่ของนาข้าว แล้วแต่ชนิดของข้าว นอกจากนั้นก็ทดลองกับพืชผักสวนครัว ไม้ประดับ ไม้ผล และไม้ยืนต้น อีกกว่า 50 ชนิดก็พบว่าได้ผลดีตลอด

ปัญหาโลหะหนักและสารพิษในน้ำกากส่าและกากส่าแห้งมีในระดับต่ำมากจนไม่เกิดผลเสียหายต่อพืช และแม้ว่าจะใช้น้ำกากส่าในอัตราสูงเป็น 4 – 5 เท่าของอัตราปกติก็ไม่พบว่าเกิดปัญหากับพืชแต่อย่างใด ตรงกันข้ามกลับได้ผลผลิตเพิ่มมากยิ่งขึ้นเสียอีก

2.1.5.3 การใช้น้ำกากสำราดถนนลูกรังเพื่อลดฝุ่น (Road Spray)

วิธีนี้เป็นไปตามความต้องการของท้องถิ่น เกิดความนิยมขึ้นทีละน้อย จนมีความต้องการสูงถึงขนาดมีไม่พอบริการได้หมดทุกราย และไม่มีน้ำเสียไปเข้าบ่อเก็บกักเลย น้ำกากสำราในรถบรรทุกขนาดจุ 12 ลบ.ม. จะราดได้ไกล 0.5 กม. สำหรับถนนกว้าง 8 ม. และจะไม่มีฝุ่นไป 14 วัน ปัญหากลิ่นเหม็นไม่มี เพราะน้ำกากสำราจะมีกลิ่นหอมของน้ำตาลไหม้ ไม่มีผลกระทบต่อรถยนต์ที่ขับไปมา เพราะจะแห้งภายใน 3-4 ชั่วโมงเท่านั้น แต่มีข้อเสีย คือ ใช้ได้เฉพาะฤดูแล้งเท่านั้น ค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้ำกากสำราทางรถบรรทุกอยู่ในเกณฑ์ราว 10 บาท/ลบ.ม. ของน้ำกากสำรา ต่อระยะทางขนส่ง 10 กม. (ไป-กลับ 20 กม.)

2.1.5.4 การใช้น้ำกากสำราในการเลี้ยงปลาสด (Fish Farming)

ได้นำน้ำกากสำราไปทดลองในบ่อเลี้ยงปลาสดจำนวน 12 บ่อ แต่ละบ่อมีขนาดยาว 20 ม. กว้าง 10 ม. ลึก 1 ม. โดยใช้น้ำกากสำราอัตราส่วนต่างๆ และพบว่าอัตราที่เหมาะสมทำให้ปลาสดเจริญเติบโตมากที่สุดในเกณฑ์ราว 600 ppm โดยปริมาตร หรือราว 1.0 ลบ.ม. น้ำกากสำราต่อ 2 อาทิตย์ สำหรับบ่อเลี้ยงปลาขนาด 1 ไร่ลึก 1.0 ม. หากใช้น้ำกากสำรามากกว่านี้ จะทำให้ระดับออกซิเจนละลายลดลงจนเป็นอันตรายต่อปลาได้ ระดับออกซิเจนต้องลดไม่มากกว่า 2.5 มก./ล. น้ำกากสำราจะเป็นสารอินทรีย์ที่จะใช้เลี้ยงสัตว์ขนาดเล็กๆ พวกแพลงค์ตอน ซึ่งจะเป็นอาหารแก่ปลาอีกต่อหนึ่ง เนื่องจากอัตราการใช้น้ำกากสำราในการเลี้ยงปลานี้้น้อย หากต้องขนส่งไปตามบ่อเลี้ยงปลาขนาดเล็กตามที่ต่างๆ อาจจะมีต้นทุนค่าขนส่งมากกว่าปกติ ยกเว้นแต่ที่มีบ่อเลี้ยงปลาขนาดใหญ่หลายๆ บ่ออยู่ใกล้เคียง ก็อาจจะใช้น้ำกากสำราเป็นแหล่งอาหารทางอ้อมแก่ปลาในราคาที่ถูกลงได้

2.1.5.5 การใช้น้ำกากสำราทำปุ๋ยหมัก (Composting)

น้ำกากสำราสดหรือผ่านการหมักแบบไร้ออกซิเจนมาแล้วอาจนำมาใช้ทำประโยชน์ในการทำปุ๋ยหมักได้ วิธีการทำปุ๋ยหมักได้แก่ การนำเอาเศษพืช เช่น ชานอ้อย เปลือกและขุยมะพร้าว ชี้อ้อย ผักตบชวา มากองไว้ แล้วเติมสารยูเรีย เชื้อจุลินทรีย์ไปอินดิ แล้วฉีคน้ำกากสำราไปบนกองเศษพืช แล้วใช้รถแทรกเตอร์ไถกองเศษพืชนี้ให้คลุกเคล้ากันอย่างสม่ำเสมอ การ

หมักใช้เวลานาน 1 เดือน เชื้อจุลินทรีย์จะทำลายสารอินทรีย์ต่างๆ ให้สลายตัวไป และทำให้เกิดพลังงานความร้อนระหว่าง 60 – 70 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำระเหยไปได้มาก เศษพืช 1 ตัน จะระเหยน้ำกากสาได้วันละ 280 ล. ดังนั้นวิธีนี้จะไม่มีการเสียน้ำไหลล้นลงแหล่งน้ำสาธารณะได้ เพราะจะเป็นการระเหยน้ำให้หมดไป

2.1.5.6 วิธีการหมักแบบก๊าซชีวภาพ (Anaerobic Digestion)

วิธีนี้เป็นการหมักน้ำกากสาในถังปิดมิดชิด เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์ทำลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้อากาศ จะได้ผลพลอยได้เป็นไบโอแก๊ส มีมีเทนที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ นำมาทดแทนน้ำมันเตาในเครื่องกำเนิดไอน้ำ เพื่อใช้ไอน้ำในการกลั่นและหมัก หลังจากหมักค่า บีโอดี จะลดลงไปราว 90 % น้ำกากสา 1 ลบ.ม. จะได้แก๊สมีเทนราว 20 ลบ.ม. ซึ่งให้ความร้อนเทียบเท่ากับน้ำมันเตา 20 ล. ผลประโยชน์ที่ได้จากระบบนี้ เมื่อหักค่าใช้จ่ายแล้วจะได้เงินตอบแทนราว 80 บาท/ลบ.ม. ของน้ำกากสา การใช้วิธีการนี้ถึงแม้ว่า บีโอดี จะลดลงไปบ้างแล้ว แต่ที่เหลือก็ยังเข้มข้นอยู่และต้องนำไปกำจัดในขั้นต่อไปด้วยวิธีที่เหมาะสมต่อไป

2.1.5.7 วิธีเอเอส (Activated Sludge)

วิธีนี้ได้บำบัดน้ำกากสาโดยวิธีทางชีววิทยา โดยมีการเติมลมหรือออกซิเจน แต่เนื่องจากน้ำกากสาเข้มข้นทั้งค่า บีโอดี และสี จึงต้องเสียค่าน้ำ ไฟฟ้า และสารเคมีในอัตราที่สูงมาก เฉพาะค่าไฟฟ้าก็อยู่ในเกณฑ์ระหว่าง 20 – 50 บาท/ลบ.ม. และการกำจัดสีระหว่าง 100 – 200 บาท/ลบ.ม. ซึ่งรวมค่าไฟฟ้าและสารเคมีอยู่ในอัตราเฉลี่ยราว 200 บาท/ลบ.ม. ซึ่งนับว่าสูงมาก

2.1.5.8 วิธีการเคี้ยวและเผา (Evaporation and Incineration)

วิธีกำจัดน้ำกากสาที่เคยมีการสร้างในประเทศไทยแล้ว วิธีการคือนำน้ำกากสาไปเคี้ยวให้แห้งปริมาตรของน้ำระเหยไปโดยใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในการเคี้ยว เมื่อของแห้งเข้มข้นจนถึงขั้นแล้ว ก็นำไปเข้าเตาเผาให้เผาไหม้ไป ความร้อนที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งนำไปใช้พลังงานในหม้อต้มสุรา และได้ผลพลอยได้เช่น ธาตุโปแตสเซียม ซึ่งอาจนำไปจำหน่ายให้โรงงานแก้วต่อไป

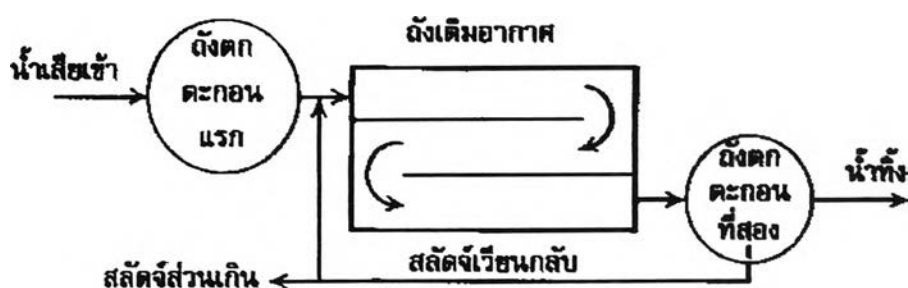
แต่ผลพลอยได้ที่ได้นี้ไม่ค่อยจะคุ้มกับการลงทุนในการสร้างระบบกำจัดวิธีนี้ เพราะมีปัญหามากมาย เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยมากต้องพึ่งนักวิชาการจากต่างประเทศ จุดเผาไหม้ของกากน้ำตาลก็ต่ำเกินไปที่จะเผาไหม้กากน้ำตาลที่มาจากอ้อย ทำให้เศษเปลือกของแข็งเกาะติดข้างปล่องไม่สามารถเผาไหม้ให้หมดได้ ทำให้ต้องหยุดเดินเครื่องอยู่บ่อยๆ ทำให้เยื่อผนังเสียหายบ่อยๆ นอกจากนั้นเศษกากของแข็งมักจะอุดตันในท่อที่ส่งไปเข้าเตาเผา ค่าใช้จ่ายสูงประมาณ 200 – 300 บาท/ลบ.ม. นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศอีกด้วย

2.2 ระบบเอเอส

ระบบเอเอส (Activated Sludged) ได้เริ่มใช้โดย Arden & Lockett ในปี 1914 กระบวนการนี้ใช้กันเรื่อยมาจนถึงปัจจุบันอย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสีย แม้ว่ากระบวนการแยกแติเวตสลัดจ์จะมีหลายแบบ แต่ก็มีองค์ประกอบที่เหมือนกันดังนี้

1. ใช้จุลินทรีย์ที่จับตัวเป็นฟล็อกได้ กำจัดสารอาหารละลายจากน้ำเสีย
2. ใช้การตกตะกอนแยกจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยน้ำเสียทิ้ง
3. เวียนตะกอนจุลินทรีย์ที่เข้มข้นจากถังตกตะกอนกลับไปยังถังเติมอากาศ
4. การทำงานของกระบวนการขึ้นอยู่กับอายุเฉลี่ยของจุลินทรีย์ (Mean Cell Residence time : MCRT) ที่อยู่ในระบบ

ส่วนประกอบที่จำเป็นของระบบนี้คือถังเติมอากาศ ถังตกตะกอน และระบบเวียนตะกอนกลับจากถังตกตะกอนไปยังถังเติมอากาศ ส่วนหนึ่งของตะกอนจุลินทรีย์จะถูกทิ้งออกจากระบบเพื่อรักษาอายุเฉลี่ยของจุลินทรีย์ ที่ต้องการ แผนผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนผังการทำงานของระบบเอเอส (ธีระ, 2539)

ระบบเอเอส เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนระบบหนึ่ง ซึ่งมีการปรับปรุงการใช้งานหลายรูปแบบ อาทิการเปลี่ยนแปลงภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ อายุสลัดจ์ และการปรับปรุงแบบทางกายภาพ ซึ่งมีผลกับการคัดพันธุ์ สภาพการดำรงชีพของจุลินทรีย์ และการทำงานของระบบ ตามลำดับ โดยแต่ละรูปแบบมีข้อดี และข้อเสียแตกต่างกัน แต่ล้วนมีองค์ประกอบในการทำงานเหมือนกัน

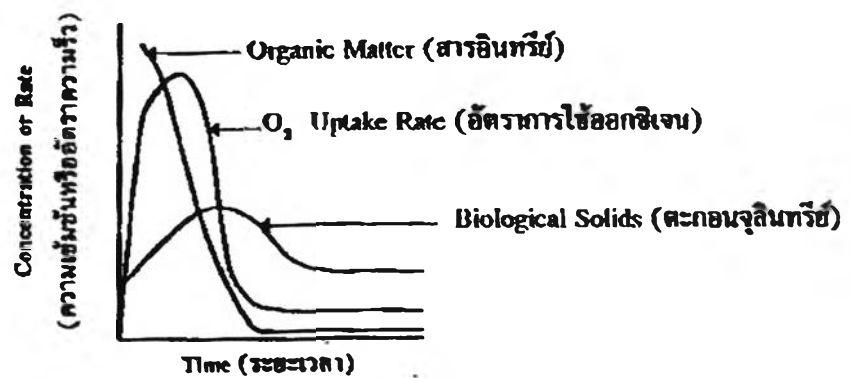
2.2.1 กลไกในการทำงาน

กระบวนการเอเอส ประกอบด้วยสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กมากมายหลายชนิดที่ถูกควบคุมให้เจริญเติบโตอยู่ในน้ำ ซึ่งมีออกซิเจนอิสระละลายอยู่และจะต้องมีสารอินทรีย์ที่สามารถใช้เป็นอาหารและแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิตได้อีกด้วย ปฏิกริยาทางชีวเคมีของกระบวนการสามารถเขียนได้ดังนี้



มลสาร (Pollutants) ที่อยู่ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารและเจริญเติบโตขยายพันธุ์ต่อไป ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะแยกออกสู่อากาศ ส่วนน้ำจะผสมออกไปกับน้ำที่บำบัดแล้ว พลังงานก็จะถูกจุลินทรีย์ใช้ในการดำรงชีวิต สรุปแล้วมลสารซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่สารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนมาเป็นมวลจุลินทรีย์ที่หนักกว่าน้ำสามารถแยกออกได้ง่ายด้วยการตกตะกอนในถังตกตะกอน น้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์นำสารอินทรีย์ต่างๆ มาใช้จนหมดก็จะ

เป็นน้ำที่สะอาดพอที่จะปล่อยทิ้งได้โดยไม่เกิดการเน่าเหม็น ในการใช้สารอาหารหรือในการย่อยสลาย (Break Down) สารอินทรีย์ของจุลินทรีย์อาจจะมีการทำงานร่วมกันหลายชนิดก็ได้ โดยจุลินทรีย์บางชนิดเริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ซับซ้อน (Complex organics) ก่อน จากนั้นก็จะมีจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนที่เหลือ หรือมีฉะนั้นก็อาจจะเป็นการนำเอาผลหรือของเสีย ที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดอื่นมาทำการย่อยสลายต่อจนเป็นสารที่ไม่สามารถย่อยได้อีกต่อไป (End products) ลักษณะของการเปลี่ยนแปลง ต่างๆ ในการทำงานของกระบวนการแบบทำงานเป็นครั้งๆ (Batch-process) สามารถแสดงได้ตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ปฏิกริยาการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบไม่ต่อเนื่อง (สุกชม, 2539)

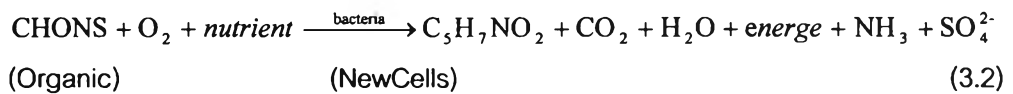
เมื่อเริ่มการทำงาน ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะมีค่าสูง ส่วนจุลินทรีย์จะมีค่าความเข้มข้นต่ำและมีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำ ต่อจากนั้นเมื่อจุลินทรีย์เริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ก็จะเริ่มใช้ออกซิเจนมากขึ้น และเจริญเติบโตเป็นผลให้มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ครั้นเมื่ออาหารเริ่มขาดแคลนจนไม่เพียงพอในการดำรงชีพของจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์และอัตราความต้องการออกซิเจนจะลดลงตามลำดับ แต่สำหรับในระบบบำบัดน้ำเสียจริงซึ่งมีน้ำไหลเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง จุลินทรีย์ก็จะย่อยสลายสารอินทรีย์และเพิ่มปริมาณอยู่ตลอดเวลา และมีอัตราการใช้ออกซิเจนสูงตลอดเวลาเช่นเดียวกัน

2.2.2 องค์ประกอบในการทำงานของระบบเอเอส

2.2.2.1 การกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอน

โดยจุลินทรีย์ชนิดต้องการออกซิเจน (aerobe) และชนิดที่อยู่ได้ทั้งที่มีและไม่มีออกซิเจน (facultative anaerobe) ที่สามารถจับตัวเป็นฟลอค และปริมาณมากพอ แขนงลอยสัมผัสกับน้ำเสียในถังเดิมอากาศด้วยระบบการกวน และ/หรือ ระบบเดิมอากาศ โดยขั้นตอนจะเกิดอย่างต่อเนื่องในถังเดิมอากาศ ดังนี้

จุลินทรีย์จะส่งเอนไซม์มาย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสียให้มีโมเลกุลเล็กลง จนดูดซึมผ่านผนังเซลล์ได้ (Transfer Step) จะถูกเปลี่ยนรูปด้วยกระบวนการออกซิเดชันโดยการใช้ออกซิเจนอิสระที่เติมให้แก่ระบบ (Conversion Step) และขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนขึ้น พร้อมกับได้ผลผลิตต่างๆ ดังปฏิกิริยาชีวเคมี คือ



2.2.2.2 การตกตะกอน

เมื่อน้ำออกจากถังเดิมอากาศสารอินทรีย์จะถูกใช้ไปเกือบหมด จุลชีพจะมีพลังงานลดลง เมื่อเกิดการชนกันจะรวมตัวเป็นตะกอนขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า ฟลอค (Floc) โดยใช้ถังตกตะกอนแยกตะกอนจุลชีพไม่ให้หลุดไปกับน้ำออก ซึ่งจะสามารถควบคุมจำนวนจุลชีพภายใน ระบบได้ตามต้องการ และจะปล่อยแต่น้ำใสส่วนบนให้ไหลล้นออกจากระบบไป

2.2.2.3 การหมุนเวียนตะกอนสลัดจ์

การเวียนสลัดจ์จุลชีพเข้มข้นจากกันถังตกตะกอนกลับไปยังถังเดิมอากาศ เพื่อช่วยในการควบคุมความเข้มข้นของจุลชีพในถังเดิมอากาศ และรักษาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ โดยควบคุมอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์กลับ

2.2.2.4 ค่าอายุเฉลี่ยสลัดจ์จุลชีพในระบบ และอัตราส่วนน้ำหนักสารอินทรีย์ต่อจุลชีพ

ค่าอายุเฉลี่ยสลัดจ์จุลชีพในระบบ (Sludge age : θ_c) และอัตราส่วนน้ำหนักรสารอินทรีย์ต่อจุลชีพ (F/M Ratio) มีความสำคัญต่อการทำงานของระบบโดยตรง สามารถควบคุมได้โดยการระบายตะกอนส่วนเกินทิ้ง ด้วยการสูบออกจากกันถังตกตะกอน หรือดึงเติมอากาศโดยตรง

ถ้าจุลชีพมีค่าอายุสลัดจ์ต่ำ หรือ F/M สูง จะเกิดสลัดจ์ส่วนเกินมาก จุลชีพจะใช้สารอินทรีย์และเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว จนไม่รวมตัวเป็นฟลอค ซึ่งตกตะกอนได้ยาก และน้ำออกยังมีปริมาณสารอินทรีย์สูง การเพิ่มค่าอายุสลัดจ์ ระบบจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สูงขึ้น จนถึงค่าหนึ่ง

ถ้าจุลชีพมีค่าอายุสลัดจ์สูง หรือ F/M ต่ำ แม้จะเกิดสลัดจ์ส่วนเกินทิ้งน้อย แต่จุลชีพในระบบ จะมีจำนวนมาก จนเกิดการขาดอาหาร และจะรวมตัวเป็น ฟลอคปลายแหลม (Pin Point Floc) หลุดออกไปกับน้ำออก ทำให้ระบบกลับมีประสิทธิภาพด้อยลงได้ ฉะนั้นการออกแบบ และควบคุมระบบที่ดี จึงควรมีค่าอายุสลัดจ์เหมาะสมกับรูปแบบของระบบ และไม่ต่ำหรือสูงจนเกินไป

2.2.3 จุลชีววิทยาของระบบเอเอส

จุลินทรีย์ที่มีในระบบเอเอส สามารถจำแนกออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ได้ดังนี้

2.2.3.1 จุลินทรีย์สร้างฟลอค (Floc forming microorganisms)

เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญมากในระบบเอเอส เพราะเป็นจุลินทรีย์หลักที่ใช้ในการกำจัดน้ำเสียและสามารถจับตัวรวมกัน เป็นกลุ่มก้อนแยกตัวออกจากน้ำที่บำบัดแล้วได้ง่าย เรียกว่า "ฟลอค" จุลินทรีย์ประเภทนี้ส่วนใหญ่ ได้แก่ แบคทีเรีย และโปรโตซัว ฟังไจบางชนิด

2.2.3.2 แซฟโพรไฟท์ (Saprophytes)

เป็นจุลินทรีย์ที่รับผิดชอบต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ส่วนใหญ่ของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้แก่ แบคทีเรีย ซึ่งมักเป็นพวกสร้างฟลอคแซฟโพรไฟท์ สามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

- แซฟโพรไฟท์แบบปฐมภูมิ (Primary) ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอาหาร (Substrate) ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก
- แซฟโพรไฟท์แบบทุติยภูมิ (Secondary) ทำหน้าที่ช่วยให้เกิดการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็ก ที่สร้างโดยแซฟโพรไฟท์แบบปฐมภูมิ ให้สมบูรณ์ และได้ผลสุดท้ายของปฏิกิริยา คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ

2.2.3.3 จุลินทรีย์ทำลาย (Predator)

เป็นจุลินทรีย์ที่กินจุลชีพด้วยกันเองเป็นอาหาร ซึ่งจุลินทรีย์ชนิดนี้มีขนาดใหญ่กว่า หรือมีศักยภาพที่สูงกว่า จะกินจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก ทำให้จุลินทรีย์ทำลาย มีความสำคัญกับระบบเอเอส กล่าวคือช่วยให้น้ำออกจากระบบบำบัดใส

2.2.3.4 จุลินทรีย์ก่อกวน (Nuisance microorganisms)

เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดปัญหาในการทำงาน ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส เป็นแบคทีเรียชนิดที่เป็นเส้นใยหรือฟองใบบางชนิด ที่มีรูปร่างยาวด้วยเส้นใย ทำให้เกิดการจมตัวไม่ลงของตะกอน

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ

2.2.4.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในกระบวนการเอเอส ดังนั้นหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

ในระบบ โดยอาจจะทำให้มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง (มีอาหารมาก) ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนมีลักษณะเติบโตกระจายอยู่ทั่วไป (Dispersed growth) แทนที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่ดี (Floc) เป็นผลให้ตะกอนได้ไม่ดี น้ำออกขุ่นและมีค่าสารอินทรีย์หรือบีโอดีเหลืออย่างสูง (มีอาหารน้อย) จนทำให้จำนวนจุลินทรีย์เจริญเติบโตลดน้อยลง ซึ่งถึงแม้ตะกอนจุลินทรีย์จะตกตะกอนได้เร็วแต่ก็ไม่สามารถจับตะกอนเล็กๆ ตกลงมาได้หมด ทำให้น้ำที่ออกจากถังตกตะกอนขุ่น

2.2.4.2 อาหารเสริม

จุลินทรีย์ต้องการอาหารเสริม (Nutrients) ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก นอกเหนือจากสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งนำมาใช้เป็นพลังงานปกติ แร่ธาตุเหล่านี้มีอยู่ครบในน้ำเสียจากชุมชน (Domestic wastewater) แต่อาจจะมีไม่พอในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การขาดอาหารเสริมที่สำคัญเหล่านี้ จะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างฟลอคเติบโตได้ไม่ดี จนทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่เป็นเส้นใย (Filamentous) เจริญเติบโตได้มากกว่า ซึ่งจะทำให้เอเอสตกตะกอนได้ยากและเกิดเป็นชั้นตะกอนอืดขึ้นมาสูงในถังตกตะกอน และอาจจะล้นไหลออกมากับน้ำจากระบบไม่สามารถทำงานต่อไปได้อีกได้ นอกจากนี้การที่จุลินทรีย์หลายชนิดเจริญเติบโตได้ไม่ดีจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานต่างๆ ของระบบต่ำอีกด้วย ปกติจะควบคุมให้บีโอดี 100 กก. ต้องมีไนโตรเจน 5 กก. ฟอสฟอรัส 1 กก. และเหล็ก 0.5 กก.

2.2.4.3 ออกซิเจนละลายในน้ำ

ในถังเติมอากาศจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 1 ถึง 2 มก./ล. ซึ่งปริมาณของอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้เพื่อรักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูงจุลินทรีย์สามารถทำงานได้มากก็จะต้องการออกซิเจนมาก นอกจากนั้นที่อุณหภูมิสูงออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอิ่มตัว (Saturation value) ต่ำ จึงทำให้ต้องเพิ่มออกซิเจนให้กับระบบมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังเติมอากาศสูง ในทำนองเดียวกันหากอุณหภูมิต่ำก็ทำให้มีความต้องการเติมอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง ในการที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจน ละลายน้ำที่ค่าเท่ากัน

2.2.4.4 ระยะเวลาในการบำบัด

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศ จะต้องมากพอเพียงที่ จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายมลสารต่างๆ หากมีระยะเวลาต่ำเกินไปสารที่ย่อยยากๆ จะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้าย ทำให้ค่าบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมาก สำหรับระยะเวลาในถังตกตะกอนชั้นสองก็เช่นเดียวกัน หากมีน้อยเกินไปก็จะทำให้เอเอสตกตะกอนได้ไม่ดี แต่ถ้านานเกินไปก็จะทำให้เอเอสขาดออกซิเจนและเน่าได้

2.2.4.5 ค่าพีเอช

พีเอช (pH) เป็นค่าแสดงความเป็นกรด - ด่าง ค่าพีเอชเท่ากับ 7 ถือว่าเป็นกลาง ถ้าน้อยกว่า 7 ถือว่าเป็นกรด และถ้ามากกว่า 7 ถือว่าเป็นด่าง แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าพีเอชระหว่าง 6.5 - 8.5 ถ้าพีเอชมีค่าน้อยกว่า 6.5 รา (Fungi) จะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรีย ทำให้ประสิทธิภาพต่ำลงและตกตะกอนได้ไม่ดี ส่วนที่ค่าพีเอชสูงจะทำให้ฟอสฟอรัสแยกตัวออกมาจากน้ำ (Precipitate) และจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทำให้ระบบทำงานได้ไม่ดีเช่นกัน แต่ถ้าพีเอชมีค่าต่ำมากหรือสูงมากจุลินทรีย์จะตายหมด ไม่สามารถดำรงชีพต่อไปได้

2.2.4.6 สารพิษ

สารพิษแบ่งออกได้เป็นสองจำพวก คือ แบบพิษเฉียบพลัน (Acute toxicity) ซึ่งจุลินทรีย์จะตายหมดภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมง และแบบพิษออกฤทธิ์ช้า (Chronic toxicity) ซึ่งใช้เวลานานและค่อยๆ ตาย พิษเฉียบพลัน สามารถสังเกตได้ง่ายเนื่องจากมีผลเกิดขึ้นรวดเร็ว สารพิษจำพวกนี้ได้แก่ ไซยาไนด์, อาร์เซนิก เป็นต้น สำหรับสารพิษออกฤทธิ์ช้า เช่น ทองแดง และโลหะหนักต่างๆ จุลินทรีย์จะสะสมเอาไว้ภายในเซลล์จนเกิดเป็นพิษและตายในที่สุด นอกจากนั้นอาจจะเกิดจากสารอินทรีย์ก็ได้ เช่น แอมโมเนียมีค่าความเข้มข้นสูงกว่า 500 มก./ล. เป็นต้น

2.2.4.7 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงาน และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการเอเอส โดยทั่วไปการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุก 10 องศาเซลเซียส จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว จนถึงอุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิจะร้อนเกินไปจนจุลินทรีย์เจริญเติบโตน้อยลงอย่างรวดเร็ว

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมียังมีผลต่อการทำงานในถังตกตะกอนชั้นสอง โดยพบว่าทุกอุณหภูมิต่ำ ตะกอนจะตกได้ดีกว่าอุณหภูมิสูง และถ้าอุณหภูมิในถังตกตะกอนมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันเกิน 2 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการไหลวนของน้ำ เนื่องจากมีความหนาแน่นแตกต่างกัน ซึ่งเรียกว่า การไหลเนื่องจากความหนาแน่น (Density current)

2.2.4.8 การกวน

ภายในถังเติมอากาศจะต้องมีการกวนอย่างทั่วถึง เพื่อป้องกันมิให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอน และเพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียที่ส่งเข้ามาบำบัดโดยใช้เป็นอาหาร และลดมลสารต่างๆ รวมทั้งจะได้จับตัวกันเป็นฟลอคที่ดี การกวนที่ถูกต้องจะป้องกันมิให้น้ำเสียไหลลัดวงจร และทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสูง การกวนที่สมบูรณ์ในถังเติมอากาศแบบกวนสมบูรณ์ (Completely mixed) จะต้องมีค่า เอ็มแอลเอสเอส และค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำสม่ำเสมอทั่วทั้งถัง

2.2.4.9 อัตราการไหลของน้ำเสีย

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียที่ส่งเข้าระบบบำบัด มีผลโดยตรงต่อการทำงานของกระบวนการทางชีววิทยา และในถังตกตะกอนหากน้ำเสียมีอัตราการไหลเพิ่มมากขึ้น และระยะเวลาในการตกตะกอนในถังตกตะกอนชั้นสองลดลงด้วย ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง ส่วนอัตราการไหลที่น้อยเกินไปก็มีผลเสียเช่นเดียวกัน ดังนั้น จึงควรมีการควบคุมให้มีการส่งน้ำเสียเข้ามาบำบัดอย่างสม่ำเสมอ ในอัตราที่ใกล้เคียงกับที่ได้ออกแบบไว้ เช่น อาจจะทำเป็นบ่อพักเก็บกัก (Equalizing tank) เป็นต้น

2.2.5 หลักการในการออกแบบระบบเอเอส

ข้อมูลหลักที่ใช้ในการออกแบบระบบเอเอส รูปแบบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.4 ซึ่งการออกแบบต้องมีการคำนวณค่าต่างๆ ดังนี้

2.2.5.1 ปริมาตรถังเติมอากาศ (m^3)

การคำนวณนิยมอยู่ 2 วิธี คือ จากค่าอัตราส่วนสารอาหารต่อจุลชีพ หรือค่าภาระสารอินทรีย์ และจากสมการทางพลวัต

2.2.5.2 ปริมาณสลัดจ์ส่วนเกิน (kg/day)

เป็นค่าที่มีความสำคัญ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของระบบเปลี่ยนแปลงได้ โดยมีความสัมพันธ์กับค่าอายุสลัดจ์ จำนวนจากผลหารของปริมาณสลัดจ์ จุลินทรีย์ทั้งหมดในถังเติมอากาศกับค่าอายุสลัดจ์

2.2.5.3 ความต้องการออกซิเจนของระบบ (kg/day)

คำนวณจากค่าความต้องการออกซิเจนของสารอินทรีย์ (C-BOD) รวมถึงไนโตรเจน (N-BOD) ด้วย ถ้าระบบเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Single Stage Nitrification)

2.2.5.4 ระบบเติมอากาศ

ทำหน้าที่ทั้งให้ออกซิเจน และการกวนสลัดจ์จุลินทรีย์ ในถังเติมอากาศ ซึ่งคำนวณปริมาณอากาศส่งเข้า (m^3/day) และพลังงานที่ใช้จากน้ำหนักรวมของออกซิเจนในอากาศ ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ และข้อกำหนดของผู้ผลิต เครื่องเติมอากาศนั้นๆ ($kg O_2/HP-hr$) ตามลำดับ

2.2.5.5 อัตราการสูบสลัดจ์เวียนกลับ (m^3/day)

คำนวณจากการคูณมวลจุลชีพในระบบ ได้เป็นค่าส่วนการเวียนกลับ (R) คือ อัตราการไหลน้ำเสีย (Qr/Q)

ตารางที่ 2.4 หลักการออกแบบสำหรับระบบเอเอส (WEF และ ASCE, 1992)

Process	θ_c (day)	kg บีโอดี/kg MIVSS - day	เอ็มแอลเอส เอส (mg/l)	V/Q (h)	Qr/Q
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 – 1000	1.5 – 3	0.05 – 0.25
Contact & Stabilization	5 – 15	0.2 – 0.6	1000 – 3000 4000 – 10000	0.5 – 1.0 3 – 6	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 10 – 30	0.25 – 1.0 0.05 – 0.3	2000 – 5000 3000 – 6000	1 – 3 8 – 36	0.25 – 0.5 0.75 – 1.5
Oxidation Ditch 1 Stage Nitrification	8 - 20	0.1 – 0.25	2000 – 3500	6 – 15	0.5 – 1.5

2.2.6 ข้อดีและข้อเสีย

2.2.6.1 ข้อดีทั่วไป

1. ข้อดีที่สำคัญของกระบวนการเอเอส ก็คือการผลิตน้ำออกที่มีคุณภาพสูง เมื่อเทียบกับกระบวนการบ่อเติมอากาศ สามารถลดความเข้มข้นของสารละลายใน

ปริมาณเท่ากัน โดยใช้ดังปฏิกรณ์ที่มีปริมาตรเล็กกว่ามาก ขณะที่ผลิตน้ำออกที่เกือบไม่มีของแข็งแขวนลอย

2. การทำงานสามารถควบคุมได้ โดยปรับปริมาณการทิ้งของตะกอนก็สามารถปรับค่าเวลาพักเก็บเซลล์ เพื่อให้ได้คุณภาพของน้ำออกที่ต้องการ
3. ระบบเอเอสค่อนข้างมีความต้านทานต่อภาระเฉียบพลัน และสามารถผลิตน้ำออกที่ยอมรับได้ เมื่อกระแสเข้าแบบพลวัต (dynamic) แต่ถ้าอยู่ภายใต้สภาพคงตัวจะทำงานได้ดีกว่า
4. เนื่องจากมีปริมาตรน้อยกว่าบ่อเติมอากาศ ระบบเอเอสจะได้รับอิทธิพลของการถ่ายเทความร้อนจากบรรยากาศน้อยกว่า จึงมีอุณหภูมิค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนก็อาจชดเชยด้วยการปรับ อายุเฉลี่ยของจุลินทรีย์

2.2.6.2 ข้อเสียทั่วไป

1. ข้อเสียที่สำคัญเกี่ยวกับการควบคุม ความซับซ้อนของกระบวนการทำให้ยุ่งยากต่อการควบคุมคุณภาพของกระแสออกให้ได้ตามต้องการ
2. การสนองต่อการเปลี่ยนแปลงกะทันหันค่อนข้างช้า จึงจำกัดการใช้วิธีการควบคุมอัตโนมัติบางแบบ
3. ค่าลงทุนและดำเนินการอยู่ในกลุ่มสูงสุดของการดำเนินการชีวเคมี

2.3 เมมเบรนเทคโนโลยี

เมมเบรนเทคโนโลยีเริ่มต้นขึ้นด้วยการพัฒนาการแลกเปลี่ยนอนุภาคด้วยเมมเบรน (Ion Exchange Membranes) ในช่วงทศวรรษที่ 1950 และการปรากฏตัวของกระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis Membrane : RO) ในช่วงทศวรรษที่ 1960 ในช่วง 40 ปีนี้ กระบวนการ เมมเบรนก็กลายเป็นหนึ่งในกระบวนการสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ (Osamu, 2000)

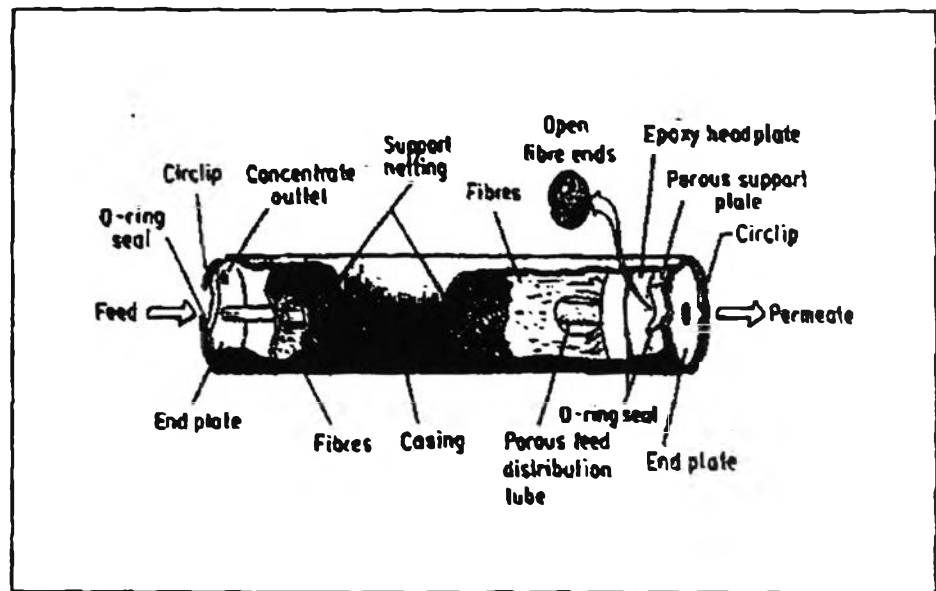
เมมเบรนเทคโนโลยีมีพื้นฐานมาจากเทคโนโลยีการแยกความเข้มข้น (Separation-Concentration technology) และใช้คุณลักษณะแบบการปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพ

(Physical treatment) ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ การกรองด้วยเมมเบรน (Membrane Filtration) จะแยกสาร (ตัวถูกละลาย หรือ ของแข็ง) ออกโดยการไหลผ่านของน้ำ โดยมีแรงดันผ่านเมมเบรน (Trans-membrane pressure) เป็นแรงขับเคลื่อน ซึ่งแบ่งออกเป็น ไมโครฟิลเตรชัน (Micro-Filtration : MF) อัลตราฟิลเตรชัน (Ultra-Filtration : UF) นาโนฟิลเตรชัน (Nano-Filtration : NF) และ ออสโมซิสผันทกลับ (Reverse Osmosis : RO)

ข้อแตกต่างของกระบวนการเมมเบรนกับกระบวนการแยกอื่นๆ การจำแนกกระบวนการแยกตามขนาดของโมเลกุลหรืออนุภาค และตามตัวแปรสำคัญ หรือสาเหตุที่ทำให้เกิดการแยกได้ โดยโมเลกุลขนาดเล็ก หรือไอออนที่มีขนาด $10^{-17} - 10^{-16}$ nm หรือ $0.0001 - 0.001$ μm อาจแยกออกจากสารละลายได้โดยใช้ออสโมซิสผันทกลับ ไดอะไลซิส (Dialysis, D) หรืออิเล็กโทรไดอะไลซิส (Electrodialysis, ED) โดยทั้ง 3 กระบวนการนี้ จัดเป็นกระบวนการเมมเบรน ซึ่งตัวแปรที่ทำให้เกิดการแยกต่างจากการแลกเปลี่ยนอนุภาค และการกลั่นหรือสกัดด้วยตัวทำละลาย โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นอาจแยกโดยใช้อัลตราฟิลเตรชัน ซึ่งก็เป็นกระบวนการเมมเบรน หรือใช้เจลโครมาโตกราฟี (Gel Chromatography) เป็นต้น สำหรับอนุภาคเล็กและใหญ่ ก็อาจแยกโดยใช้ไซโคลน (Cyclone) เครื่องแยกเหวี่ยง (Centrifuge) และไมโครฟิลเตรชัน ซึ่งส่วนมากอาศัยผลของขนาดและความหนาแน่นในการแยก

2.3.1 กระบวนการเมมเบรน

เมมเบรน คือ แผ่นฟิล์มบางๆ ของสารอินทรีย์สังเคราะห์หรือสารอนินทรีย์ ที่จะทำให้เกิดการแยกตัวอย่างละเอียดของอนุภาคในของไหล ซึ่งของไหลในที่นี้คือก๊าซและของเหลว เมมเบรนมีได้หลายรูปร่าง เช่น แผ่นเรียบ หลอดซึ่งมีหลายขนาด และ Hollow fiber ซึ่งที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายในน้อยกว่าสิบเท่าของมิลลิเมตร. โดยทั่วไปแล้ว เมมเบรนที่ทำจากสารอนินทรีย์จะมีความต้านทานต่อความดันและสารเคมี โดยเฉพาะการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน แต่มีความยุ่งยากและราคาแพงกว่า เมมเบรนที่ทำจากสารอินทรีย์จะมีความยืดหยุ่นดีกว่า และสามารถใส่ไว้ในระบบที่มีเนื้อที่จำกัด ซึ่งจะได้พื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก ส่วนประกอบต่างๆ ของเมมเบรนแสดงดังรูปที่ 2.5



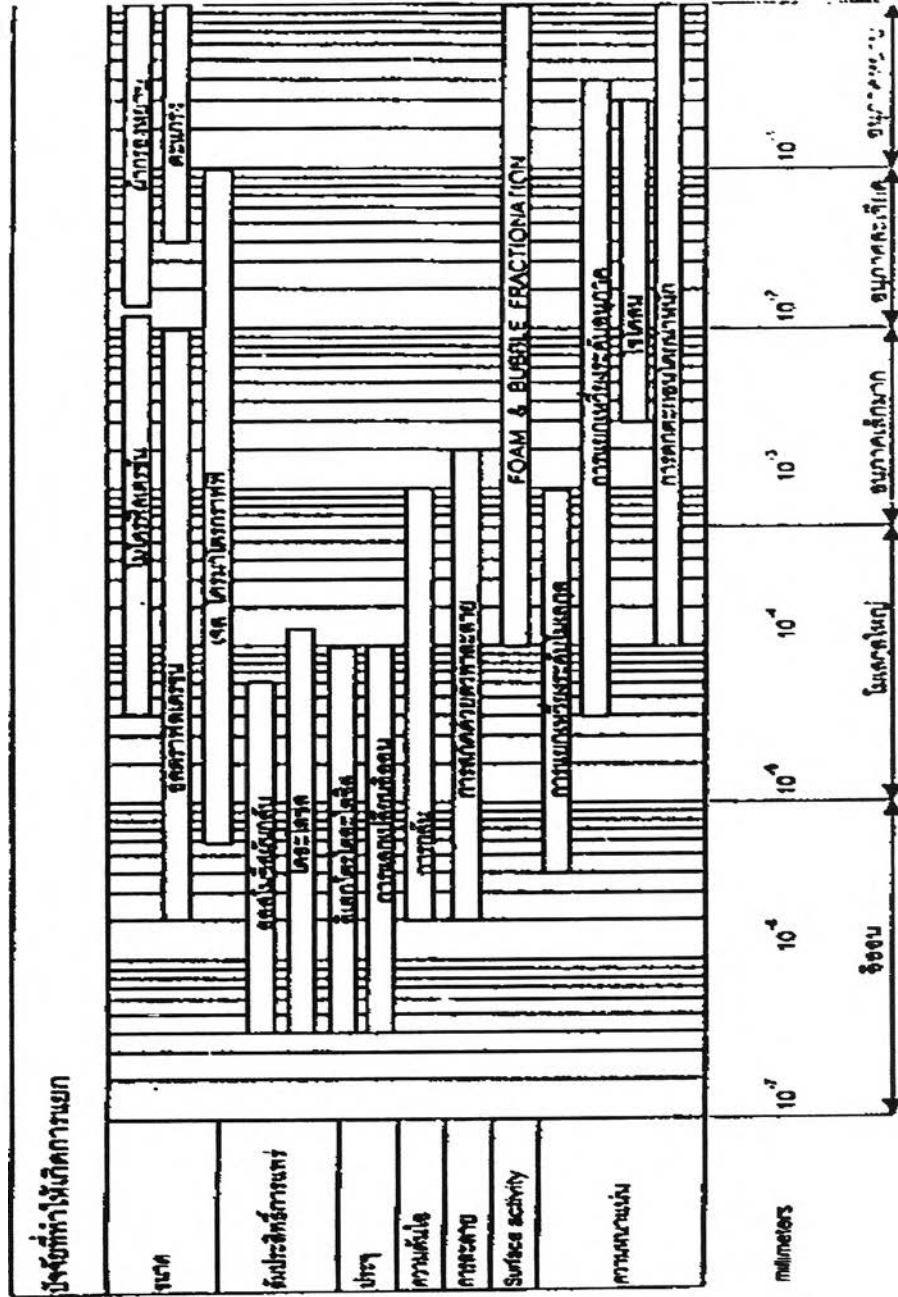
รูปที่ 2.5 ลักษณะโมดูลของเมมเบรนเส้นใยกลวง

(Rautanbach และ Albrecht, 1989)

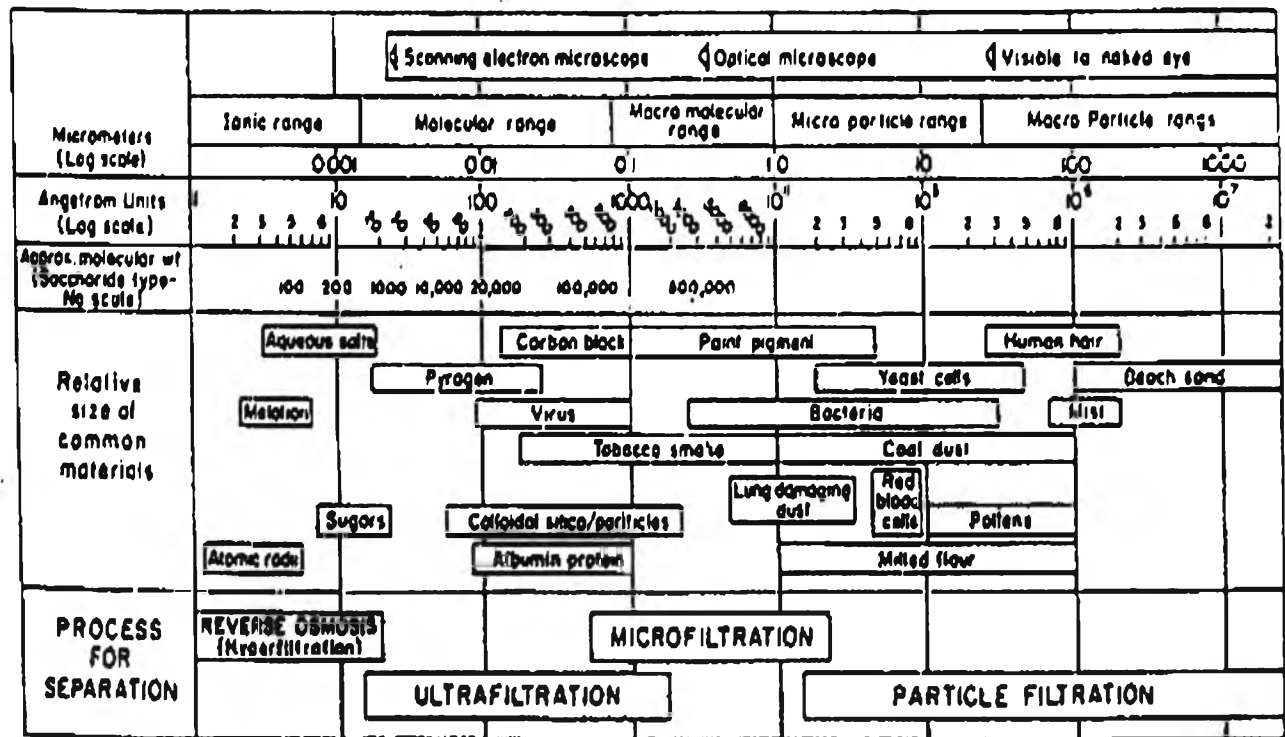
Fane (1987) ได้กล่าวว่า กระบวนการเมมเบรน (Membrane process) เป็นกระบวนการที่ใช้แผ่นเมมเบรนเพื่อแยกสาร หรือเพิ่มความเข้มข้น หรือทำสารให้บริสุทธิ์ขึ้น สำหรับสารละลายหรือก๊าซผสม กระบวนการเมมเบรนถูกค้นพบมานานกว่า 30 ปีแล้ว และมีการพัฒนาขึ้นมาเป็นลำดับ จนปัจจุบันนี้มีการใช้กระบวนการในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยอาจนำไปใช้แทนกระบวนการแยกธรรมดา หรือใช้เสริมในกระบวนการเดิม

หลักการสำคัญของกระบวนการเมมเบรน คือ จะต้องมีความดันที่ทำให้สารละลายไหลผ่านแผ่นเมมเบรนและเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น หรือผลต่างของความดัน การกรองโดยใช้แผ่นเมมเบรนนี้มีข้อแตกต่างจากการกรองธรรมดา รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบการกรองน้ำผ่านแผ่นเมมเบรนกับแผ่นกรองธรรมดา จะเห็นว่าทิศทางการไหลของน้ำแตกต่างกัน ทำให้การกรองแบบธรรมดามีการอุดตันของอนุภาคเร็วกว่าการกรองผ่านเมมเบรน แผ่นเมมเบรนที่ใช้งานอยู่ทั้งหมด กล่าวได้ว่าเป็นแผ่นเมมเบรนที่มีการสังเคราะห์หรือผลิตขึ้น (Synthetic membranes) หรือมาจากธรรมชาติ แผ่นเมมเบรนเป็นฟิล์มที่เป็นของแข็ง และอาจเป็นของเหลว ลักษณะที่สำคัญที่สุดของแผ่นเมมเบรนคือ มีคุณสมบัติในการเลือกผ่านสารเป็นผลมาจากโครงสร้างทาง

เคมี หรือทางกายภาพ ซึ่งอาจพิจารณาได้จากการมีความตึงตูดระหว่างแผ่นเมมเบรนกับสารในน้ำ หรือจากขนาดของรูพรุน หรือจากการมีประจุของแผ่นเมมเบรน เป็นต้น



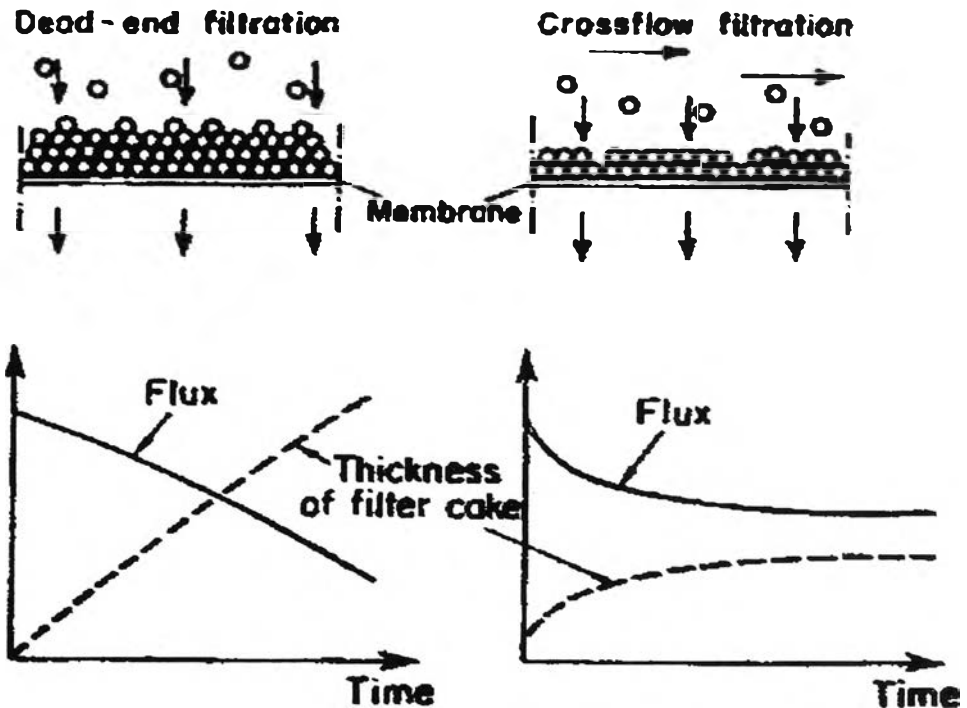
รูปที่ 2.6 การจำแนกกระบวนการแยกตามขนาดของโมเลกุล/อนุภาค (ฮาไฟ, 2536)



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างโมเลกุล/อนุภาคที่สามารถแยกได้โดยการใช้กระบวนการเมมเบรนและการกรอง

(Vigneswaran และคณะ, 1991)

Membrane - filtration



รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบการกรองน้ำผ่านแผ่นกรองธรรมดา กับ แผ่นเมมเบรน

(Rearick และคณะ, 1995)

2.3.2 ประเภทของเมมเบรน

ปัจจุบันได้มีการผลิตเมมเบรนขึ้นมาหลายชนิด เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการนำไปใช้งานประเภทต่างๆ โดยเราสามารถแบ่งประเภทของเมมเบรนได้ 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่

2.3.2.1 Isotropic Membranes

เป็นเมมเบรนที่มีส่วนประกอบโครงสร้างสม่ำเสมอ สามารถแบ่งได้อีก 3 ประเภท ได้แก่

1) Microporous Membranes เมมเบรนประเภทนี้จะมีรูพรุนกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น แยกสารโดยอาศัยการกรองติดค้างเช่นเดียวกับการกรองด้วยทราย แต่รูพรุนมีขนาดเล็กกว่าถึงกรองทรายมากคือ จะอยู่ที่ 0.01 – 10 ไมครอน กลไกหลักในการทำงานคือ

การกรองดักสารที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของตัวเมมเบรน เมมเบรนชนิดนี้ได้แก่ ไมโครฟิลเตรชัน อัลตราฟิลเตรชัน และนาโนฟิลเตรชัน

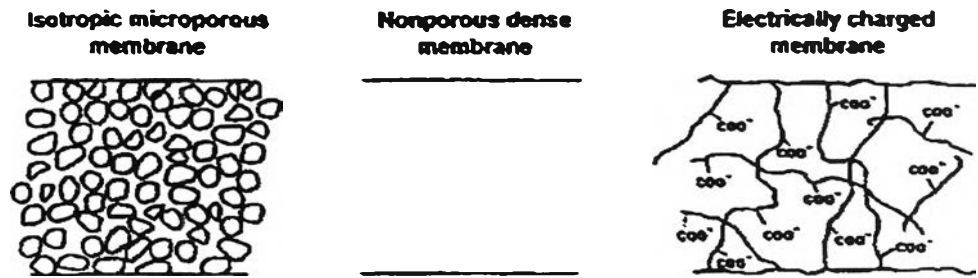
2) Noporous Dense Membranes เป็นเมมเบรนที่เนื้อแน่นไม่มีรูพรุน แยกสารด้วยการแพร่ผ่าน กลไกหลักคือ จะอาศัยความสามารถในการแพร่ผ่านเมมเบรนของสารละลาย 2 ชนิด ที่อยู่แต่ละด้านของเมมเบรน เมมเบรนประเภทนี้จะมีความแน่นสูง ได้แก่ กระบวนการออสโมซิสผันกลับ เมมเบรนสำหรับแยกก๊าซ และ pervaporation membrane

3) Electrically Charge Membranes เมมเบรนประเภทนี้อาจจะมีรูพรุนหรือไม่มีรูพรุนก็ได้ แต่โดยทั่วไปจะมีรูพรุนขนาดเล็กมาก โดยที่ผนังของรูพรุนจะมีอิออนที่มีประจุลบหรือบวกติดแน่นอยู่ เมมเบรนที่มีประจุบวกติดอยู่เรียกว่า Anion Exchange Membranes เพราะว่าไอออนลบในน้ำจะเข้ามาจับ ส่วนเมมเบรนที่มีประจุลบเรียกว่า Cation Exchange Membrane การแยกสารจะต้องอาศัยความแตกต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นแรงขับเคลื่อน และขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดประจุของอิออนที่อยู่ในน้ำเป็นหลัก โดยจะใช้ในการกำจัดไอออนเป็นหลัก เมมเบรนประเภทนี้ได้แก่ อิลเล็กโตรไดอะไลซิส

2.3.2.2 Anisotropic Membranes

อัตราการถ่ายเทมวลสารต่างๆ ผ่านเมมเบรนนั้น จะแปรผกผันกับความหนาแน่นของเยื่อแผ่นเมมเบรน สำหรับการกรองน้ำเพื่อให้ได้น้ำที่ผลิตมีปริมาณมากพอสมควรนั้น ความหนาแน่นของชั้นเมมเบรนที่มีประสิทธิภาพไม่ควรเกิน 20 ไมครอน การพัฒนาระบบผลิต การประกอบเมมเบรนนั้นต่างๆ เข้าด้วยกันช่วยให้สามารถบรรลุเป้าหมายในการนำมาใช้งานจริงได้มากขึ้น โดยใช้เทคนิคของโครงสร้างแบบ Anisotropic ซึ่งวางแผ่นฟิล์มเมมเบรนขนาดที่บางมากบนแผ่นฟิล์มรองรับ ซึ่งมีรูพรุนและมีความหนาแน่นมากกว่า ซึ่งเรียกว่า เยื่อบางประกอบ (Thin Film Composite, TFC) ซึ่งแผ่นฟิล์มทั้งสองชั้นทำมาจากวัสดุโพลีเมอร์คนละชนิดกัน โพลีเมอร์แต่ละชนิดที่ใช้ผลิตเมมเบรนแสดงดังตารางที่ 2.9 ประโยชน์ที่ได้จากเมมเบรนประเภทนี้คือ ได้อัตราการกรองน้ำสูงขึ้น ซึ่งในเชิงธุรกิจมักจะมีผลผลิตเมมเบรนประเภทนี้

Isotropic membranes



Anisotropic membranes



รูปที่ 2.9 การแบ่งประเภทของเมมเบรนตามโครงสร้างของเมมเบรน (Baker, 2000)

2.3.2.3 Ceramic Metal and liquid Membranes

โดยปกติแล้ววัสดุที่ใช้ผลิตเมมเบรนส่วนใหญ่จะเป็นโพลีเมอร์ที่เป็นสารอินทรีย์ แต่เร็วๆ นี้ได้มีการผลิตเมมเบรนที่ใช้วัสดุอย่างอื่น เช่น เซรามิก โดยใช้เมมเบรนที่มีรูพรุน เช่น ไมโครฟิลเตรชัน และอัลตราฟิลเตรชัน เพื่อให้ทนทานต่อสารตัวทำละลาย และมีความเสถียรภาพต่อความร้อน โลหะ เช่น พัลลาเดียม สามารถที่จะใช้ผลิตเมมเบรนเนื้อแน่นสำหรับแยกก๊าซไฮโดรเจนเพื่อทำให้บริสุทธิ์ได้ พิล์มชั้นของเหลวก็สามารถที่จะนำมาผลิตเป็นเมมเบรนเหลว (Liquid Membranes) ได้เช่นกัน

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของโพลีเมอร์ที่ใช้ทำเมมเบรน (สนธยา, 2545)

คุณสมบัติ	โพลีเมอร์			
	Celulose Acetate	Polysulfone	Aromatic Polyamide	Polyacrylonitile
MWCO	1,000 – 50,000	5,000 – 50,000	1,000 – 50,000	30,000 – 100,000
pH	3.5 – 7	0 – 14	2 – 12	2 – 12
อุณหภูมิ (°C)	35	100	80	50
ความทนทานต่อ คลอรีน	ดี	ดี	ด้อย	ปานกลาง
ความทนทานต่อ สารละลาย	ด้อย	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
รูปแบบของเมม เบรน	แผ่น, ท่อ	แผ่น, ท่อ, แคปิลลารี	แผ่น, ท่อ, แคปิลลารี	แผ่น, ท่อ, แคปิลลารี

2.3.3 ชนิดของเมมเบรน

2.3.3.1 ไมโครฟิลเตรชัน

เป็นกระบวนการที่อาศัยแรงขับเคลื่อน เพื่อแยกอนุภาคขนาดไมครอน หรือเล็กกว่าไมครอน เมมเบรนแบบนี้ สามารถกักอนุภาคแขวนลอยและจุลชีพได้ แต่ยอมให้สารละลายและน้ำผ่านกระบวนการตกตะกอนผ่านได้ มีขนาดช่องว่าง (pore size) ประมาณ 0.03 – 10 ไมครอน ค่า MWCO (Molecular Weight Cut Off) มากกว่า 100,000 ดาลตัน ใช้ความดันต่ำประมาณ 100 – 400 KPa (15 – 60 psi)

2.3.3.2 อัลตราฟิลเตรชัน

อัลตราฟิลเตรชัน โดยทั่วไปใช้ในการแยกของแข็งแขวนลอยในระดับไมครอน และสารอนุภาคละเอียด เช่น แบคทีเรีย และคอลลอยด์ ซึ่งแสดงตามน้ำหนักโมเลกุล ในระดับต่ำกว่าไมครอน ตัวถูกละลายที่มีโมเลกุลสูง และ ไวรัส ตามลำดับ ในกรณีอื่นๆ สารที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของรูพรุนบนผิวหน้าของเมมเบรน จะถูกกำจัดได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งเรียกว่า ผลการเลือกเฟ้น (Sieving effect) และปัจจัยเชิงกลของการแยกสารด้วยอัลตราฟิลเตรชัน

2.3.3.3 ออสโมซิสผกกลับ

ออสโมซิสผกกลับสามารถกำจัดเกลือละลาย และแยกเกลือออกจากน้ำเกลือ ในกรณีนี้ การกระทำระหว่างชั้นเมมเบรน กับตัวทำละลาย และตัวถูกละลายเป็นปัจจัยเชิงกลในการควบคุมการแยกสาร

2.3.3.4 นาโนฟิลเตรชัน

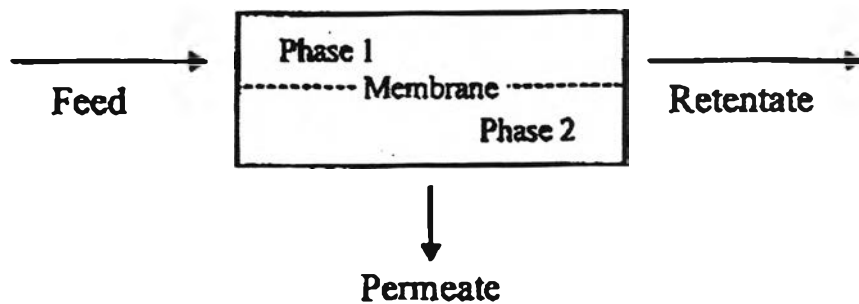
นาโนฟิลเตรชันจะอยู่ในช่วงระหว่าง อัลตราฟิลเตรชัน และออสโมซิสผกกลับ นาโนฟิลเตรชันเมมเบรนแต่เดิมถูกเรียกว่า ออสโมซิสผกกลับแบบหลวม หรือออสโมซิสผกกลับความดันต่ำ นาโนฟิลเตรชันได้พัฒนาขึ้นเพื่อแยกสารในช่วงมวลโมเลกุลต่ำกว่า 300 ถึง สารที่ใช้แรงดันในการแยกต่ำกว่าแรงดันของออสโมซิสผกกลับทั่วไปด้วยเหตุนี้อัตราในการกำจัดสารจึงต่ำกว่าระบบออสโมซิสผกกลับ (Yamamoto, 2000 อ้างโดย Osamu, 2001)

ความสัมพันธ์ระหว่างประเภทของเมมเบรนและวัตถุที่ถูกแยก แสดงไว้ในรูปที่ 2.6

2.3.4 กระบวนการแยกสารของเมมเบรน

ความสามารถในการแยกสารขึ้นอยู่กับขนาดช่องว่าง (pore size) หรือ การคัดสรรด้วยน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight Cut-off) ของเมมเบรน โดยอาศัยกลไก 2 ชนิด คือ การกรองติดค้าง (Sieve Effect) และการแพร่ผ่าน (Diffusion Effect) ซึ่งสามารถนำมาใช้เพิ่มความเข้มข้นหรือทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น หลักการสำคัญของกระบวนการเมมเบรน ก็คือ จะต้องมีความเข้มข้น

ตันที่ทำให้สารละลายไหลผ่านและเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น ผลต่างของความดัน แผ่นเยื่อเมมเบรนที่ใช้งานในปัจจุบันจะสังเคราะห์ขึ้นจากสารโพลีเมอร์และสารประกอบอื่นๆ เช่น เซลลูโลสอะซิเตต เซลลูโลสไนเตรท โพลีเอไมด์ เป็นต้น และในปัจจุบันได้มีการนำกระบวนการเมมเบรนเข้ามาใช้ในงานอุตสาหกรรมมากมาย รวมทั้งในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของกระบวนการเมมเบรน (รัตนานา, 2543)

หลักการพื้นฐานในระบบการแยกความแตกต่าง ขึ้นอยู่กับขนาดของเมมเบรน และขนาดของอนุภาคที่จะถูกแยก การแบ่งประเภทจะขึ้นอยู่กับขนาดและน้ำหนักโมเลกุลของอนุภาคที่สามารถแยกได้

ไมโครฟิลเตรชัน ใช้สำหรับแยกอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 – 10 μm . ที่ความดัน 1 bar อนุภาคแขวนลอยจะถูกกั้นด้วยผิวหน้าของเมมเบรน ในขณะที่น้ำสามารถผ่านเข้าไปในโครงข่ายรูพรุนโดยการพา ปัจจัยหลักที่ทำให้ประสิทธิภาพของไมโครฟิลเตรชันลดลงคือ การอุดตันภายในรูพรุน คอลลอยด์สามารถสะสมตัวอยู่บนผิวหน้าของเมมเบรนระหว่างรู ในบางเวลาอนุภาคของคอลลอยด์จะปิดกั้นรูพรุนได้อย่างสมบูรณ์ จะลดความสามารถในการกรอง การล้างย้อน (Backwashing) เป็นเทคนิคหนึ่งในการแก้ปัญหา

ในทางกลับกัน อัลตราฟิลเตรชัน และนาโนฟิลเตรชัน จะแยกตามขนาดเล็กสุดของน้ำหนักโมเลกุลของวัสดุที่สามารถกั้นได้ด้วยเมมเบรน อัลตราฟิลเตรชัน เมมเบรนโดยทั่วไปจะทำขึ้นจากแผ่นฟิล์ม ที่กั้นสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 1,000 – 80,000 กลไกในการเคลื่อน

ผ่านอัลตราฟิลเตรชัน จะกันและดูดซับผ่านเมมเบรน สารละลายของสารโมเลกุลใหญ่มีแรงดันออสโมติกน้อยมาก ดังนั้น อัลตราฟิลเตรชัน ไม่ต้องการใช้แรงดันสูงเพื่อจะเก็บวัสดุที่ซึมผ่าน

นาโนฟิลเตรชัน มีคุณลักษณะในการแยกสารอยู่ระหว่างออสโมซิสผันกลับ และอัลตราฟิลเตรชัน คือน้ำหนักโมเลกุลที่แยกได้ (MWCO) ในช่วง 100 – 200 ดาลตัน ในช่วงแรงดันที่ 6 – 20 บาร์ กระบวนการแยกสารรวม 2 กลไก คือการลอดผ่าน และไฟฟ้าสถิตย์ เมมเบรนประกอบด้วย โพลีเมอร์ที่มีรูพรุนและสามารถกันสารประกอบได้ที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 นาโนม. ในขณะเดียวกันเนื่องจากมีชั้นประจุลบสำหรับนาโนฟิลเตรชันเมมเบรนทั่วไป การกำจัดเกลือสามารถกระทำได้ด้วยแรงผลักรวมของไฟฟ้าสถิตย์ น้ำหนักโมเลกุลที่แยกได้แสดงลักษณะของเมมเบรน สิ่งที่ต้องคำนึงถึงอีกประการคือ ความขรุขระซึ่งจะบ่งชี้ความสามารถในการกำจัดอนุภาคของสารประกอบ เพราะปัจจัยเช่นรูปร่าง โมเลกุล และขั้ว จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการแยก

ออสโมซิสผันกลับใช้สำหรับทำน้ำบริสุทธิ์สำหรับใช้ในครัวเรือน และอุตสาหกรรม ที่แรงดัน 20 – 80 บาร์ แผ่นออสโมซิสผันกลับบางและซึมผ่านไม่ได้ มีรูพรุนขนาด 3 – 1000 Å ให้น้ำสามารถผ่านได้ด้วยการแพร่และกำจัดตัวถูกละลายอื่นๆ

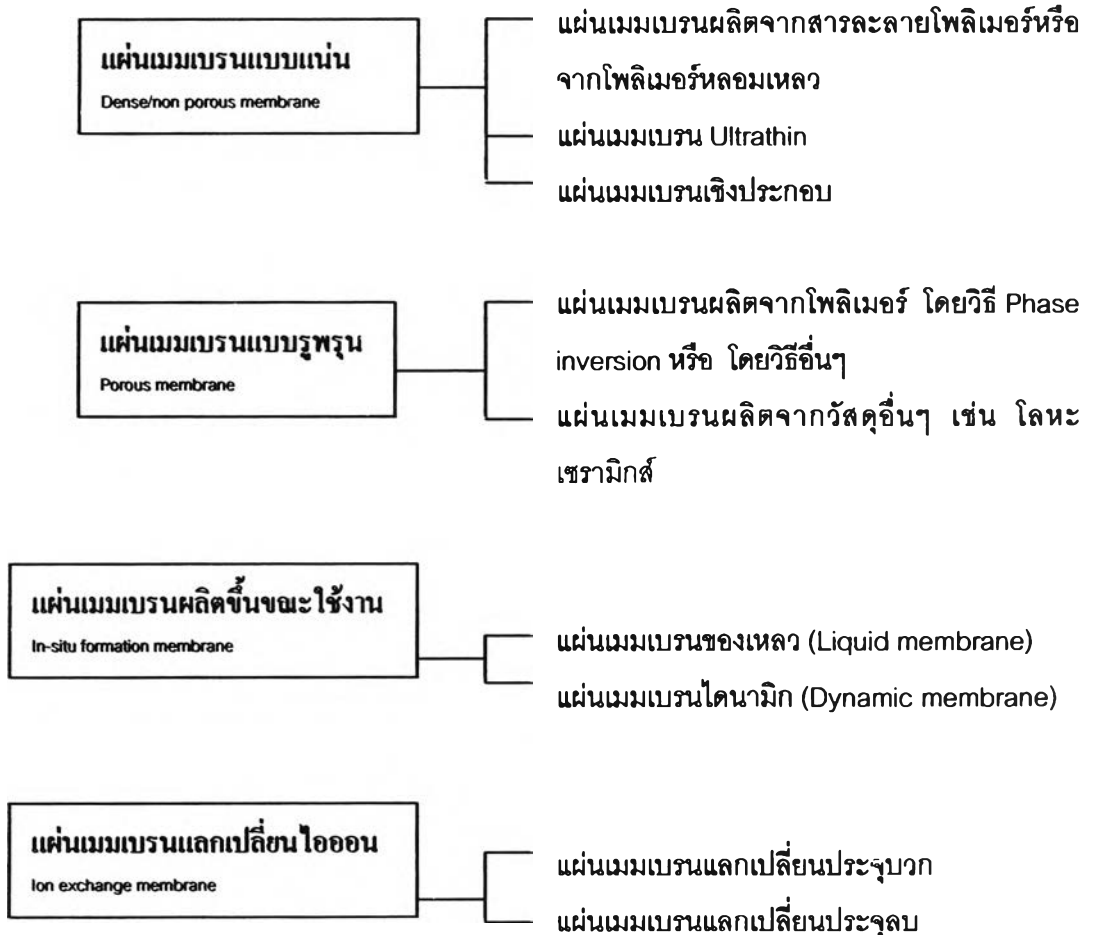
2.3.5 วัสดุและการผลิตแผ่นเมมเบรนสังเคราะห์

แผ่นเมมเบรนสังเคราะห์อาจจะผลิตจากวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ โดยแผ่นเมมเบรนส่วนใหญ่ผลิตจากวัสดุอินทรีย์ที่เป็นโพลีเมอร์ วิธีการผลิตแผ่นเมมเบรนขึ้นอยู่กับวัสดุที่เลือกใช้ และคุณสมบัติของแผ่นเมมเบรนที่ต้องการ ในบทนี้เป็นกรกล่าวถึงการแบ่งชนิดลักษณะ และ คุณสมบัติของแผ่นเมมเบรน กรรมวิธีการผลิตแผ่นเมมเบรนที่สำคัญ ตลอดจนรูปแบบแผ่นเมมเบรนและการเลือกใช้งาน

การแบ่งชนิดของแผ่นเมมเบรน สามารถแบ่งตามที่มา หรือวัสดุที่ใช้ผลิตว่า มาจากธรรมชาติ หรือสังเคราะห์ขึ้น (ในที่นี้จะกล่าวถึงแผ่นเมมเบรนที่ได้จากการสังเคราะห์เท่านั้น) หรืออาจแบ่งตามโครงสร้าง คือ แผ่นเมมเบรนไม่มีรูพรุน หรือแผ่นเมมเบรนมีรูพรุน บางกรณีอาจแบ่งตามการใช้งาน เช่น แผ่นเมมเบรนสำหรับการแยกของเหลว/ของเหลว ของเหลว/ก๊าซ หรือ ก๊าซ/ก๊าซ และท้ายสุดอาจแบ่งตามกลไกการทำงานของแผ่นเมมเบรน เช่น ถ้ากลไกการ

แยกเป็นการแพร่ เรียกว่า Diffusive membrane ถ้ากลไกการแยกเป็นการแลกเปลี่ยนประจุ เรียกว่า แผ่นเมมเบรนแลกเปลี่ยนประจุ (Ion – Exchange membranes) เป็นต้น

Kesting (1971) กล่าวว่า โพลีเมอร์สำหรับผลิตแผ่นเมมเบรน ส่วนใหญ่อาจจะสามารถนำมาผลิตเป็นแผ่นเมมเบรนได้ แต่เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโพลีเมอร์ต่างกันมาก จึงทำให้ในทางปฏิบัติ มีโพลีเมอร์ที่สามารถนำมาผลิตเป็นแผ่นเมมเบรนได้จำนวนจำกัด ในที่นี้จะกล่าวถึง โพลีเมอร์หลักๆ หลายชนิดที่นำมาผลิตแผ่นเมมเบรนแล้วสามารถนำไปใช้งานได้ดี เนื่องจากการแบ่งชนิดของแผ่นเมมเบรนแบบหยาบๆ ตามโครงสร้างรูพรุน อาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ แผ่นเมมเบรนรูพรุน และ แผ่นเมมเบรนแบบแน่น การแบ่งประเภทเมมเบรนในแบบนี้จะมีผลในการเลือกชนิดวัสดุที่นำมาใช้



รูปที่ 2.11 การแบ่งชนิดของแผ่นเมมเบรน (Kesting, 1971)

การแบ่งชนิดของแผ่นเมมเบรนที่จะทำให้เห็นความแตกต่างชัดเจนในการทำงานและวิธีการผลิต ก็คือ การแบ่งตามชนิดของโครงสร้าง อย่างไรก็ตาม ก็ยังไม่สามารถครอบคลุมแผ่นเมมเบรนที่ได้มีการพัฒนาใช้งานกันอยู่ ดังนั้นในที่นี้จะเสริมชนิดของแผ่นเมมเบรนที่สำคัญอื่นๆ เข้ากับการแบ่งชนิดตามโครงสร้าง และกลไกการแยก โดยแบ่งเป็น 4 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 2.11

2.3.6 โมดูลชนิดต่างๆ

อุปกรณ์ในกระบวนการแยกสาร คือ โมดูล (Modules) หรือ แผ่นกรอง (Cartridges) การใช้เมมเบรนต้องคำนึงหลักสำคัญ 2 ประการ คือ

- 1) เลือกใช้ให้ถูกต้องตามระดับของเมมเบรน
- 2) โมดูลต้องออกแบบให้กะทัดรัด สามารถบรรจุแผ่นเมมเบรนได้มากที่สุด เหตุผลประการหนึ่งก็คือ จะมีพื้นที่ผิวสำหรับแลกเปลี่ยนต่อปริมาตรมากที่สุด

จากเหตุผล 2 ประการนี้จะนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำต่อปริมาตร แต่จะเพิ่มค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานในการแยกสาร เนื่องจาก ความเร็วหมุนเวียนสูง มีพื้นที่หน้าตัดเล็ก ทำให้มีการสูญเสียเสดมากขึ้น ซึ่งจะต้องหาจุดที่คุ้มค่าที่สุด แต่โมดูลที่ใช้ต้องคำนึงถึงความต้องการอื่นๆ อีก เช่น

- ง่ายต่อการทำความสะอาด
- ง่ายต่อการซ่อมแซมและเปลี่ยน

โมดูลในท้องตลาดแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 4 ประเภท คือ แบบแผ่น (Plate type) แบบท่อ (Tubular) แบบม้วน (Spiral wound) แบบเส้นใยกลวง (Hollow fibres)

เมมเบรนใช้งานส่วนใหญ่ในการทำน้ำให้บริสุทธิ์ แต่ในสาขาอื่น เมมเบรนถูกใช้ในการบำบัดน้ำทิ้ง ระบบชีวภาพ การคืนสภาพโลหะหนัก ลดน้ำในตัวทำลาย และการคืนสภาพของสี การเจริญเติบโตของการใช้เมมเบรนตอบสนองทั้งด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม กระบวนการ

เมมเบรนไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีรุนแรง สามารถใช้ได้ในอุณหภูมิห้อง ตั้งแต่น้ำใสจนถึงน้ำที่มีการปนเปื้อน และใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ จากที่กล่าวมาจึงทำให้เมมเบรนมีความน่าสนใจทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติต่าง ๆ ของโมดูลชนิดต่าง ๆ (Osamu, 2001)

Criteria	Plate type	Spiral wound	Tubular	Hollow Fibres
Compactness	+	++	-	+++
Ease of Cleaning :				
- in situ	+	-	++	-
- by backflush	-	-	-(2)	++
Cost of module	+	+++	-	+++
ΔP (feed – reject)	-	++	+++	++(1)
Dead volume	+	+	-	+++
Quality of pretreatment required	+	-	+++	-

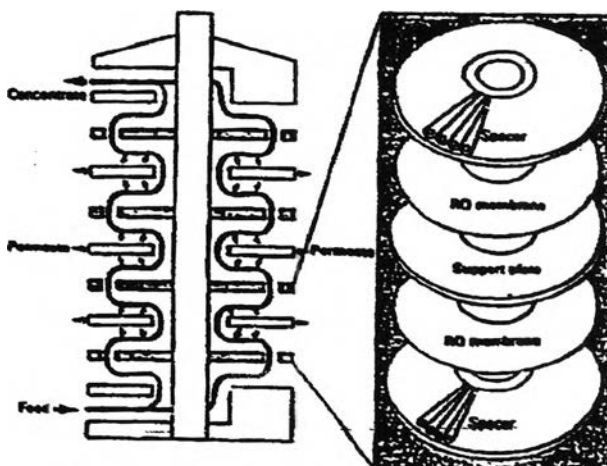
- clear disadvantage +++ clear advantage

- (1) มีความหลากหลายเนื่องจาก การจัดเรียงภายในของโมดูล และเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย
- (2) โดยยกเว้นโมดูลเซรามิก ที่เชื่อมแต่ละชั้นด้วยพันธะเคมี

ในการนำเมมเบรนไปใช้จริง จำเป็นต้องมีการบรรจุแผ่นเมมเบรนในวัสดุรองรับที่เรียกว่า โมดูลให้สะดวกในการนำไปใช้งาน ซึ่งโมดูลที่ใช้กันในปัจจุบันพบอยู่ 4 ลักษณะได้แก่

2.3.6.1 แบบแผ่น (Plate and Frame Module)

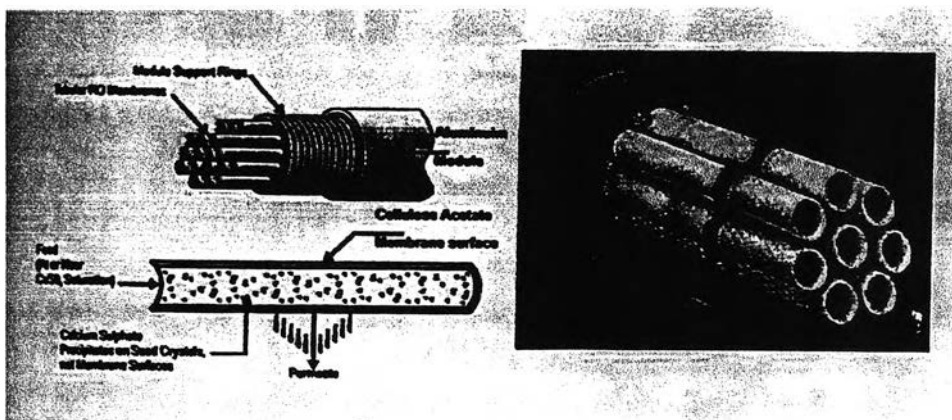
เทคนิคนี้เป็นการจัดแผ่นเมมเบรนที่ง่ายที่สุด โมดูลที่ใช้จะมีลักษณะทำงานคล้าย เครื่องกรองที่ใช้แรงดันอัด ดังรูปที่ 2.12 แผ่นเมมเบรนวางอยู่บนแผ่นรองรับซึ่งมีรูพรุน (Porous Plate) หรือ แผ่นรองรับที่มีร่องให้น้ำไหลออกได้ เมมเบรนและแผ่นรองรับจะวางซ้อนกัน และ สลับกัน น้ำถูกบังคับให้ซึมผ่านเมมเบรน และแผ่นรองรับแล้วจึงไหลออกจากโมดูล



รูปที่ 2.12 โมดูลแบบแผ่น (Osamu, 2001)

2.3.6.2 แบบท่อ (Tubular Module)

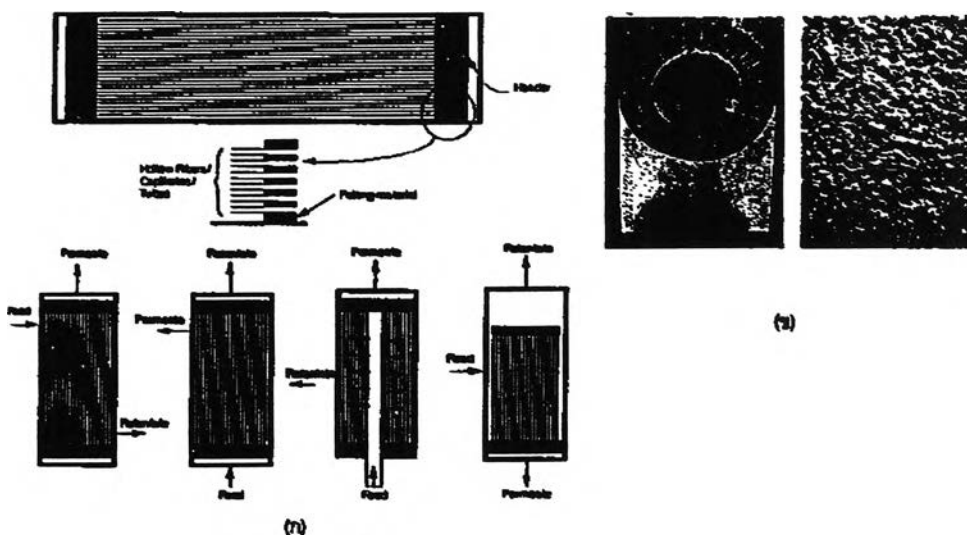
วิธีนี้เป็นการม้วนแผ่นเมมเบรน ให้เป็นหลอดหรือท่อขนาดเล็ก และยึดติดไว้ ภายในท่ออีกอันหนึ่งที่ทำด้วยสแตนเลส หรือไฟเบอร์กลาส ดังรูปที่ 2.13 และทำหน้าที่เป็น โครงสร้างรองรับแผ่นเมมเบรน มิให้ฉีกขาดในระหว่างการใช้งาน และใช้เป็นทางออกของน้ำ สะอาดอีกด้วย น้ำดิบจะถูกสูบผ่านเข้าไปในท่อด้วยความดัน แรงดันของน้ำทำให้โมเลกุลของน้ำ สามารถซึมผ่านเมมเบรนและท่อรองรับออกไปสู่ภายนอก เนื่องจากเทคนิคนี้สามารถทำความสะอาดได้ง่าย จึงนิยมใช้ในกรณีที่มีการอุดตันเกิดขึ้นเร็ว (Applegate, 1984)



รูปที่ 2.13 โมดูลแบบท่อ (Osamu, 2001)

2.3.6.3 แบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Module)

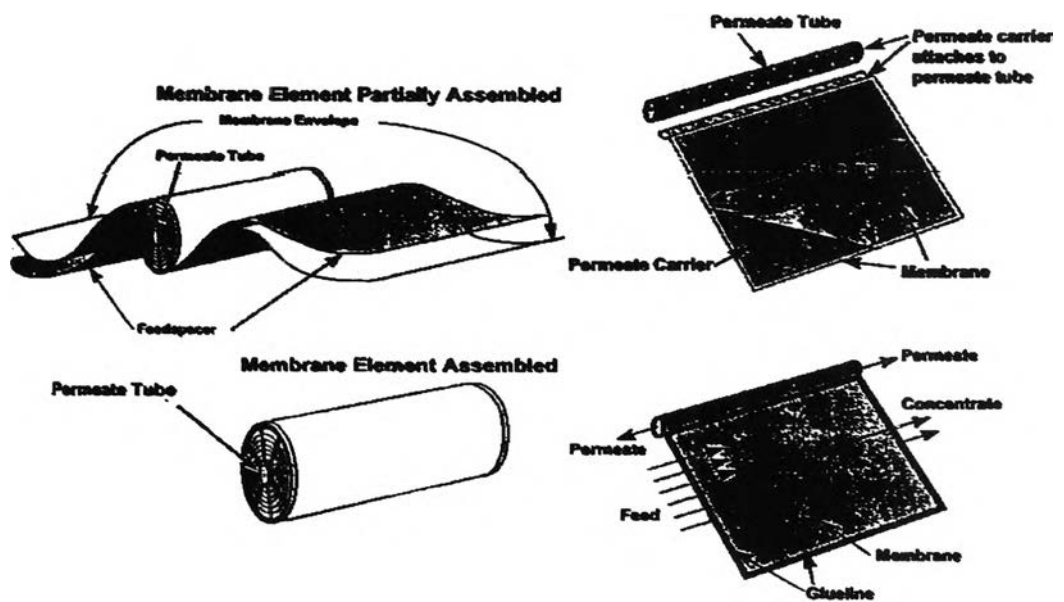
เมมเบรนแบบเส้นใยกลวงจะมีผิวที่คล้ายฟองน้ำล้อมรอบผิวชั้นใน (ซึ่งมีความหนาเพียง 0.1 ไมครอน) ทำโดยการนำเมมเบรนแบบเส้นใยกลวงมามัดรวมกันเป็นมัดๆ และงอพับเป็นรูปเกือกม้า หรือตัวยู ปลายทั้งสองข้างของเส้นใยทั้งมัด ถูกตรึงติดอยู่กับด้านใดด้านหนึ่ง เมมเบรนชนิดนี้เหมาะสำหรับน้ำดิบที่มีความสกปรก หรือของแข็งเจือปนสูง เพราะว่ามีช่องว่างขนาดใหญ่ ทำให้มีโอกาสอุดตันได้น้อย และยังสามารถจัดรูปแบบการวางโมดูลได้หลายลักษณะและป้อนน้ำเข้าได้หลายลักษณะ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 (ก) โมดูลแบบเส้นใยกลวง (ข) เมมเบรนเส้นใยกลวง (Osamu, 2001)

2.3.6.4 แบบม้วน (Spiral Wound Module)

โมดูลแบบนี้ประกอบด้วยเมมเบรนสองแผ่นประกบกัน โดยมีแผ่นวัสดุเนื้อพรุนสอดอยู่ตรงกลางระหว่างเมมเบรนทั้งคู่ จากนั้นม้วนแผ่นแบนและแผ่นวัสดุทั้งสามรอบท่อเจาะรู ดังรูปที่ 2.15 โดยมีแผ่นตะแกรงทำด้วย โพลีโพรไพรีน คลุมปิดด้านนอก ขอบของแผ่นเมมเบรนทั้งสามด้านถูกยึดไว้ด้วยกาวพิเศษ ขอบที่เหลือปล่อยให้เปิดตามปกติและจึงติดกับท่อเจาะรู ลักษณะเช่นนี้ ทำให้ถูกน้ำบังคับให้ไหลไปยังท่อเจาะรูเสมอ การม้วนเมมเบรน แผ่นรองรับ และตะแกรงพลาสติก ทำให้ได้โมดูลรูปทรงกระบอกที่สามารถบรรจุลงในท่อทรงกระบอกธรรมดาได้ โมดูลแบบนี้อาจมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 5 10 20 หรือ 30 ซม. และมีความยาวต่างๆ กัน แต่มักไม่เกิน 1 ม. น้ำดิบจะถูกบังคับให้ไหลในแนวแกนของโมดูล เข้าไปตามแผ่นตะแกรง และจะถูกแรงดันอัดให้น้ำซึมผ่านเมมเบรนตามแนวรัศมีลงไปยังแผ่นรองรับ ซึ่งจะส่งน้ำบริสุทธิ์ไปยังท่อเจาะรูเพื่อนำน้ำออกจากโมดูลต่อไป



รูปที่ 2.15 โมดูลแบบม้วน (Osamu, 2001)

2.3.7 การใช้งาน

การใช้งานของเมมเบรนสำหรับงานต่าง ๆ ในญี่ปุ่นแสดงไว้ในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 การใช้งานเมมเบรน (Osamu, 2001)

Water Membrane	Groundwater Surface water	Sea water Brackish water	Industrial wastewater	Domestic wastewater
Microfiltration (MF)	- Industrial water treatment - Tap water treatment - Pretreatment for RO	- Pretreatment for RO	- Membrane separation activated sludge	- Membrane separation activated sludge - Wastewater treatment and reclamation for re-use
Ultrafiltration (UF)	- Industrial water treatment - Tap water treatment			-Wastewater treatment and reclamation for re-use
Reverse Osmosis (RO)	- Pure water clarification - Tap water treatment	- Pure water clarification - Tap water treatment	- Treated wastewater reclamation	

ไมโครฟิลเตรชัน และ อัลตราฟิลเตรชัน สำหรับการบำบัดของเสียจากมนุษย์จะใช้
รวมกับการโคแอกูเลชัน การตกตะกอน และระบบเอเอส

2.3.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเมมเบรน

2.3.8.1 การสะสมความเข้มข้นสูง (Concentration Polarization)

การสะสมความเข้มข้นสูง คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ หรืออนุภาคต่างๆ ใกล้ผิวหน้าเมมเบรน จนความเข้มข้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยของสารนั้นในน้ำหลายเท่า

ทำให้ฟลักซ์ลดลง แก้ไขโดยแรงดันน้ำล่างย้อน การถอดล้างด้วยสารเคมี หรือการกรองขนานกับทิศทางการไหล (Cross Flow) มากพอที่ช่วยให้ ฟลักซ์คงด้วยยาวนานขึ้น เป็นต้น

2.3.8.2 อุณหภูมิ พีเอช และสารออกซิไดซ์

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ฟลักซ์จะเพิ่มขึ้น 3 – 5 % แต่เมมเบรนอินทรีย์มักสลายตัวโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งปฏิกิริยาเกิดได้รวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส พีเอช 3 – 7 และเมมเบรนอินทรีย์สามารถทนทานต่อการต่อสารออกซิไดซ์ เช่น คลอรีนได้ดี ขณะที่เมมเบรนอินทรีย์ ไม่ทนต่อสารออกซิไดซ์มากนัก แต่ทนทานต่อพีเอช ในช่วงที่กว้างกว่า คือ 2 – 11 และอุณหภูมิทำงานที่ขีดจำกัดสูงกว่าคือ 45 องศาเซลเซียส

2.3.8.3 ความดัน

การเพิ่มแรงดันมากขึ้นจะทำให้ฟลักซ์ของเมมเบรน และคุณภาพน้ำที่ผลิตได้ดีขึ้น แต่ถ้าแรงดันเพิ่มขึ้นเกินขีดจำกัด (Critical Pressure) จะทำให้โครงสร้าง และอนุภาคสารต่างๆ ที่สะสมบริเวณผิวหน้าเมมเบรน อัดตัวแน่น จนทำให้ค่าฟลักซ์ลดลง และอาจทำลายโครงสร้างภายในของเมมเบรน จนไม่อาจคืนสภาพการกรองน้ำได้ดังเดิมอีก

2.3.8.4 ความสกปรกของเมมเบรน

เป็นผลมาจากการเกาะสะสมของสารอินทรีย์ และอนุภาคสิ่งสกปรกต่างๆ ในรูช่องว่างของเมมเบรน ทำให้อัตราการซึมผ่านลดลง ความดันใช้งานเพิ่มขึ้น และไม่สามารถคืนสภาพให้กลับเหมือนใหม่ได้ โดยการใช้แรงดันน้ำ หรือสารเคมีโดยมีปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

— ลักษณะของน้ำดิบ สารอินทรีย์แต่ละประเภทมีผลต่อการเกิดความสกปรกต่างกันไปตามขนาดโครงสร้างของโมเลกุล และแรงกระทำระหว่างผิวเมมเบรนกับตัวมันเอง เมื่อสารอินทรีย์หลายชนิดรวมอยู่ในสารละลายเดียวกัน และ/หรือ มีความเข้มข้นสูง จะก่อให้เกิดความสกปรก มากกว่าที่อยู่เป็นชนิดเดี่ยวๆ และหรือความเข้มข้นต่ำ ตามลำดับ

— วัสดุที่ใช้เมมเบรน รวมถึงขนาด และการกระจายของรูช่องว่างบนเมมเบรน มีผลต่ออัตราการเกิดความสกปรก เช่นกัน

— การปรับสภาพน้ำเบื้องต้น ได้แก่ การกำจัดอนุภาคแขวนลอยขนาดใหญ่ สารอินทรีย์ ปรอทพิษและอุณหภูมิ และการกำจัดน้ำมัน ไขมัน เป็นต้น จะสามารถเพิ่มอัตราการซึมผ่านเมมเบรน และบรรเทาปัญหาความสกปรก ให้ระบบมีรอบระยะเวลาการทำงานที่ยาวนานขึ้น

2.3.9 ข้อดีและข้อจำกัดของกระบวนการเมมเบรน

2.3.9.1 ข้อดีของกระบวนการเมมเบรน

กระบวนการเมมเบรนมีข้อได้เปรียบกระบวนการแยกอื่นๆ คือ (Fane, 1987)

- เป็นการแยกตามขนาดของโมเลกุล (หรือรูปร่าง หรือชนิดของประจุ) ซึ่งทำให้สามารถดำเนินการที่อุณหภูมิปกติ จึงเหมาะสำหรับแยกสารที่อาจเสื่อมสภาพเพราะความร้อนได้
- กระบวนการเมมเบรนส่วนใหญ่ใช้พลังงานในการแยกค่อนข้างต่ำ เพราะสามารถแยกได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนสถานะ ตัวอย่างเช่น สำหรับกระบวนการแยกเกลือจากน้ำกร่อยหรือน้ำทะเล ถ้าใช้ออสโมซิสผันกลับ หรืออิเล็กโตรไลซิส จะมีข้อได้เปรียบทางด้านพลังงานกว่าการกลั่นหรือการต้มระเหย
- ไม่ก่อให้เกิดของเหลือทิ้ง เพราะกระบวนการเมมเบรนทำให้สามารถแยกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งน้ำส่วนที่ผ่าน และน้ำเข้มข้น ตัวอย่างเช่น ในการผลิตน้ำสะอาดจากน้ำทะเล ได้ส่วนของน้ำผ่านเมมเบรนคือ น้ำจืด ส่วนสารละลายเกลือเข้มข้นสามารถนำไปต้มระเหย ตกผลึก เพื่อผลิตเกลือ หรือในการบำบัดน้ำทิ้งบางชนิดที่ได้น้ำสะอาดกลับไปใช้ในกระบวนการและได้ผลิตภัณฑ์เข้มข้นซึ่งใช้ประโยชน์ได้ต่อไป
- สามารถขยายขนาดจากระดับต้นแบบให้เป็นระดับอุตสาหกรรมได้ไม่ยาก เนื่องจากชุดเมมเบรนมีลักษณะเป็นชุด หรือหน่วยและสามารถนำหน่วยย่อยๆ มาต่อกันเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการแยก

- สามารถดำเนินการแบบกะ (Batch) หรือแบบต่อเนื่อง (Continuous) ตลอดจนติดตั้งระบบควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติได้ไม่ยาก
- มีขนาดกะทัดรัดไม่เปลืองพื้นที่ เพราะชุดอุปกรณ์เยื่อแผ่นมีการออกแบบให้มีพื้นที่ในการกรองต่อหน่วยปริมาตรของอุปกรณ์สูง

ด้วยเหตุผลดังกล่าวมาแล้ว ทำให้สามารถนำกระบวนการเมมเบรนไปใช้แทนกระบวนการเดิมที่ใช้อยู่อาจจะในลักษณะแทนบางขั้นตอน หรือทั้งกระบวนการทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของกระบวนการนั้นๆ

2.3.9.2 ข้อจำกัดของกระบวนการเมมเบรน

ถึงแม้ว่ากระบวนการเมมเบรนจะมีประสิทธิภาพ หรือศักยภาพในการประยุกต์ใช้ แต่ก็มีข้อจำกัด หรือข้อเสีย เช่นเดียวกับกระบวนการอื่นๆ ซึ่งผู้ใช้งานจำเป็นต้องทราบ

- Concentration Polarization (CP) เป็นคำที่อ้างถึงกันอยู่เสมอในการศึกษาวิจัย พื้นฐานของกระบวนการเมมเบรน CP หมายถึง การสะสมของโมเลกุล/อนุภาคของตัวถูกละลายที่ไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นได้ ทำให้ความเข้มข้นบริเวณผิวหน้าเยื่อแผ่นสูงกว่าในบริเวณที่อยู่ห่างออกไป (Bulk Solution) จะลดสมรรถนะของการแยกทั้งในแง่ของค่าการไหล (flux) และการกักกัน เพราะส่งผลต่อเนื่องให้เกิด Fouling การลด CP ในระดับหนึ่งทำได้โดยการออกแบบอุปกรณ์ให้มีการป้อนสารผ่านแผ่นเมมเบรนแบบไหลขวางและที่ความเร็วสูง ซึ่งจะช่วยให้ถูกละลายที่สะสมเกิดการแพร่กลับไปในส่วนที่อยู่ห่างออกไป
- Fouling การเกิด fouling หมายถึง การสะสม/อุดตันของตัวถูกละลายทั้งบนผิวหน้าแผ่นเมมเบรนและภายในรูพรุน ซึ่งทำให้ค่าการไหลลดลงและการกักกันโมเลกุลเปลี่ยนแปลง Fouling เกิดขึ้นด้วยกลไกที่ซับซ้อนขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของแผ่นเมมเบรนและสารละลาย สิ่งสะสมอุดตันจะไม่สามารถล้างออกมาได้ ต้องล้างทำความสะอาดด้วยสารเคมีที่เหมาะสม
- ความคงตัวของแผ่นเมมเบรน แผ่นเมมเบรนที่ใช้อยู่ส่วนใหญ่ผลิตจากโพลีเมอร์ จึงมีความคงตัวจำกัด เช่น แผ่นเมมเบรนจำพวกเซลลูโลส (Cellulosics) คงตัวในช่วง pH 4-8 ส่วนโพลีซัลโฟน (Polysulfone) สามารถใช้งานในช่วงกว้างกว่า

คือ pH 1 – 13 อุณหภูมิก็มีผลต่อเยื่อเมมเบรน ปัจจุบันมีการพัฒนาเมมเบรนที่ทนอุณหภูมิได้สูง 60 – 80 องศาเซลเซียส แผ่นเมมเบรนบางชนิดไม่ทนต่อคลอรีน หรือตัวทำละลายอินทรีย์ ส่วนแผ่นเมมเบรนเซรามิกส์มีความคงตัวต่ออุณหภูมิและสารเคมีดีมาก สามารถฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำได้ ทนต่อจุลินทรีย์ แต่ความสามารถในการแยกยังด้อยกว่าแผ่นเมมเบรนโพลีเมอร์ การพัฒนายังค่อนข้างจำกัด และราคาแพง

2.4 ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน

เนื่องจากสารแขวนลอยทั้งของแข็งที่สามารถจมตัวได้เองและคอลลอยด์ จะต้องถูกกำจัดออกไปจากน้ำเสีย ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีการต่างๆ ที่ใช้สำหรับการแยกสารแขวนลอยออกจากน้ำ เช่น การตกตะกอน, ไฮโดรไซโคลน, กรองด้วยแรงดัน เป็นต้น

ไมโครฟิลเตรชันเป็นหนึ่งในวิธีการเหล่านั้นที่ใช้สำหรับกำจัดความขุ่นออกจากน้ำ ซึ่งสามารถกำจัดตะกอนละเอียด และคอลลอยด์ออกจากน้ำได้ (Prochem Tech International, 2002)

2.4.1 หลักการพื้นฐานของไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน

ไมโครฟิลเตรชันเป็นการกรองสารที่มีขนาดระหว่าง 0.1 μm . ถึง 20 μm . โดยทั่วไปไมโครฟิลเตรชันจะสามารถเคลื่อนย้ายจุลชีพออกจากน้ำได้ เช่น แบคทีเรีย, ฟังไจ, สปอร์, ยีสต์ และไวรัสบางชนิด ที่มีขนาดอยู่ในช่วงที่กรองได้ การกรองจะเป็นผลมาจาก 2 หลักการ คือ ผลจากขนาดของอนุภาคหรือโมเลกุล และเนื่องจากแรงดันที่สามารถพาวัสดุต่างๆ ผ่านเมมเบรนไปได้

ตัวกลางของไมโครฟิลเตรชันมีหลากหลายวัสดุและวิธีการผลิต ซึ่งจะแบ่งเป็นโดยสมบูรณ์ (absolute) และบางส่วน (nominal) ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ในการจับอนุภาคที่มีขนาดใกล้เคียง หรือมากกว่าอนุภาคที่กำหนดในค่ามาตรฐานของตัวกลาง

เยื่อเมมเบรนโดยทั่วไปจะเป็นตัวกลางโดยสมบูรณ์ ซึ่งผลิตมาจากโพลีเมอร์ หลากหลายชนิด โลหะ และเซรามิก ตัวกลางบางส่วนจะประกอบด้วยตัวกลางที่ทำจากใยแก้ว เส้นใยโพลีเมอร์ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ดี ตัวกลางโดยสมบูรณ์นั้นจะสมบูรณ์ในช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น เพราะแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้

ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนสามารถแบ่งตามโครงสร้างของรูได้เป็นสองกลุ่ม เมมเบรนที่มี Capillary-type pore ซึ่งเรียกว่า Screen Membrane และเมมเบรนที่มี Tortuous-type pores ซึ่งเรียกว่า Depth membrane

Depth membrane จะผลิตมาจากโพลีเมอร์ต่างๆ โดยใช้เครื่องหล่อเมมเบรนที่หล่อด้วย Cellulosic esters เป็นที่นิยมในปัจจุบัน Cellulosic ester ผลิตโดยการทำละลาย Cellulose esters ในตัวทำละลายสารอินทรีย์ผสม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ และหล่อสารละลายเป็นแผ่นฟิล์มบาง ความหนาประมาณ 150 μm . บนสายพานเคลื่อนที่ ตัวทำละลายจะถูกระเหยออกไปภายใต้สภาวะควบคุม Tortuous pore จะเกิดขึ้น จะมีพื้นที่เปิดอยู่ในช่วง 75 – 89 % เมมเบรนมีความสามารถในการซึมผ่านได้สูง

ความแตกต่างระหว่าง Screen และ Depth เมมเบรนคือแต่ละชนิดจะมีข้อดี ข้อเสียต่างๆ กัน เพื่อประสิทธิภาพในการทำงานจำเป็นต้องศึกษาคุณลักษณะของแต่ละชนิดก่อนเลือกใช้

Screen membrane ควรจะใช้เมื่อผู้ใช้ต้องการให้มีสิ่งติดพันน้อย คือมีความสามารถสูงสุดในการกรองอนุภาคที่เป็นสารโมเลกุลใหญ่ สามารถกรองโปรตีนได้มากกว่า Depth membrane 10%

Depth membrane อนุภาคส่วนใหญ่จะถูกสกัดไว้ในรูพรุนของเมมเบรน นอกจากอนุภาคขนาดใหญ่ดังนั้นการจับสกัดอนุภาคของ Depth membrane จะขึ้นอยู่กับ Tortuosity ของเส้นทางการไหล

2.4.2 ไมโครฟิลเตรชันที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียและงานสุขาภิบาล

ไมโครฟิลเตรชันเป็นเทคนิคที่ใช้ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสีย และงานสุขาภิบาล ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนใช้ในงานเกี่ยวกับน้ำเสียด้วยการเปลี่ยนแปลงแทนที่ตัวกลางแบบเดิม เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการบำบัดแบบเดิมพบว่า ไมโครฟิลเตรชันใช้พื้นที่น้อยกว่า อีกทั้งไม่ต้องการสารเคมีในการบำบัดก่อนเข้าสู่ระบบ รวมถึงใช้งานได้ง่าย และค่าบำรุงรักษาต่ำ แต่อย่างไรก็ดีเพื่อให้ระบบไมโครฟิลเตรชันมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีตะแกรงหรือที่ดักของแข็งหรืออนุภาคขนาดใหญ่เกินกว่าขนาดประสิทธิภาพ (Effective size) ดังนั้นกระบวนการไมโครฟิลเตรชันโดยปกติจะสามารถให้คุณภาพของน้ำที่ผ่านระบบสูงและไม่ขึ้นกับคุณภาพและปริมาณของน้ำที่เข้าสู่ระบบ รวมถึงภาระทางกลศาสตร์ด้วย

2.5 เมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

ระบบบำบัดแบบชีวภาพเป็นรูปแบบสำคัญในการบำบัดคุณภาพน้ำ และนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ สำหรับน้ำเสียชุมชนและอุตสาหกรรม ประสิทธิภาพของระบบชีวภาพจะขึ้นกับปัจจัยสำคัญคือ ความเข้มข้นของมวลชีวภาพ (Biomass) ในถังปฏิกรณ์ ความพยายามที่จะพัฒนากระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยทางชีววิทยาเป็นเวลามากกว่า 100 ปี คือ การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ โดยการแยกส่วนของแข็งและของเหลว และหมุนเวียนกลับส่วนของมวลชีวภาพ หรือโดยการพัฒนาตัวกลางเคลื่อนที่หรือไม่เคลื่อนที่ สำหรับเป็นตัวยึดจุลินทรีย์ เนื่องด้วยการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเมมเบรนในปัจจุบัน ทำให้เกิดแนวคิดใหม่สำหรับการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ (Osamu, 2001)

ในการพัฒนาความรู้ในด้านเมมเบรนสำหรับในช่วงไม่นานมานี้ ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับการใช้แทนที่การแยกของแข็ง-ของเหลว ด้วยแรงโน้มถ่วง หรือถังตกตะกอน ด้วยเหตุนี้ เทคโนโลยีในการแยกสารด้วยเมมเบรนสามารถรักษาระดับความเข้มข้นสูงของมวลชีวภาพในถังปฏิกรณ์ และได้คุณภาพสูงในการบำบัดน้ำในเวลาเดียวกัน ซึ่งไม่สามารถทำได้ด้วยวิธีดั้งเดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระบบนี้สามารถเรียกได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบผสม (Composite wastewater treatment process) ตัวอย่างเช่น การรวมการบำบัดแบบชีวภาพและเมมเบรน เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียที่ต้องการรักษาคุณสมบัติของระบบ เทคโนโลยีใหม่นี้ให้ข้อดี

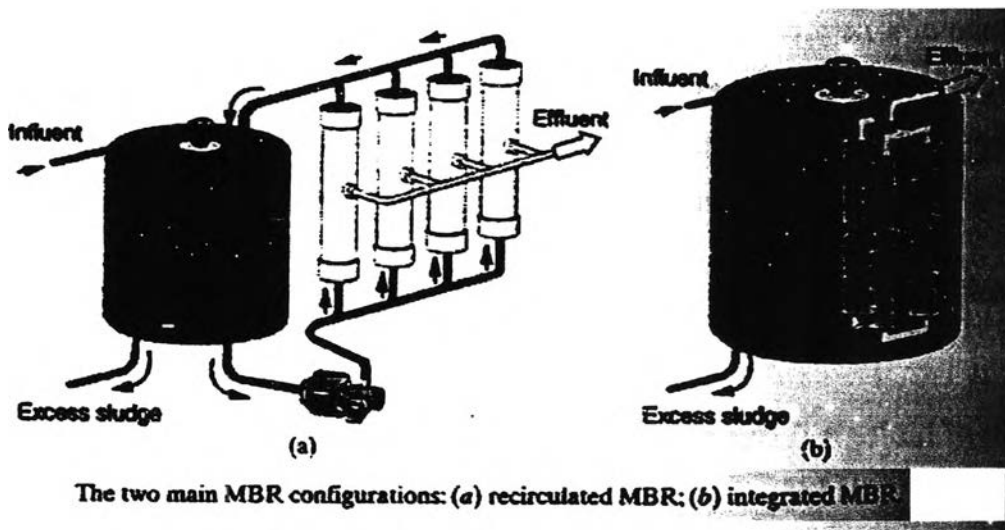
เช่น เสถียรภาพ กะทัดรัด และคุณภาพน้ำหลังการบำบัด เป็นต้น เหนือกว่ากระบวนการดั้งเดิมที่ใช้ในปัจจุบัน

2.5.1 ขั้นตอนของระบบ

เมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ (Membrane Bioreactor : MBR) สามารถให้คำจำกัดความได้ว่า คือ การรวมระบบพื้นฐานสองระบบ (การย่อยสลายเชิงชีวภาพ และการแยกสารด้วยเมมเบรน) เข้าสู่ระบบเดียว โดยสารแขวนลอยและจุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยสลายทางชีวภาพ และถูกแยกออกจากน้ำที่ต้องการบำบัดด้วยการกรองผ่านเมมเบรน มวลชีวภาพทั้งหมดยังคงอยู่ในระบบ รวมถึงสามารถควบคุมอายุของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ได้อย่างดีเยี่ยม และลดปริมาณเชื้อในน้ำออก

การใช้งานโดยทั่วไปมีอยู่ 2 รูปแบบ แบบแรกถังปฏิกรณ์ชีวภาพ และเมมเบรนจะทำงานร่วมกันภายนอก ส่วนอีกแบบหนึ่งส่วนของเมมเบรนจะถูกรวมไว้ในถังปฏิกรณ์ซึ่งแสดงตามรูปที่

2.16



รูปที่ 2.16 สองรูปแบบหลักของการใช้งาน MBR (Osamu, 2001)

ในกรณีแรก น้ำเข้าจะไหลสู่ถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ซึ่งจะสัมผัสกับมวลชีวภาพ ของผสมนี้จะถูกสูบจากถังปฏิกรณ์ภายใต้แรงดันไปถูกกรองผ่านเมมเบรน น้ำส่วนที่ผ่านเมมเบรนจะไหลออกจากระบบ ในขณะที่มวลชีวภาพทั้งหมดจะถูกนำกลับไปสู่ถังปฏิกรณ์ ตะกอนส่วนเกินจะถูกสูบ

ออกเพื่อควบคุมอายุตะกอนให้คงที่ และเมมเบรนจะถูกทำความสะอาดด้วยการล้างย้อนกลับ (Backwashing) ล้างด้วยสารเคมี หรือ ชัดด้วยฟองอากาศ

ส่วนกรณีหลัง น้ำเข้าจะถูกสูบเข้าถังปฏิกรณ์ชีวภาพ เพื่อสัมผัสกับมวลชีวภาพ และกรองด้วยเมมเบรน การทำความสะอาดสามารถทำได้โดยอากาศ อากาศจะถูกปล่อยเข้าไปจากทางด้านล่างของชุดเมมเบรน เพื่อกำจัดสิ่งอุดตันที่ผิวหน้าของเมมเบรนด้วยการยกตัวของฟองอากาศ (Airlift effect) การใช้งานแบบกรองขนานกับทิศทางการไหล (Cross flow) และฟองอากาศจะช่วยป้องกันสิ่งตกค้างของตะกอนที่จะอุดตันผิวหน้าของเมมเบรน และอากาศยังถูกใช้สำหรับการออกซิเดชันสสาร และการสันดาปภายในของจุลินทรีย์ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลออกจากถังด้วยการดูดผ่านเมมเบรน ซึ่งในปัจจุบันการใช้เมมเบรนทั้ง ไมโครฟิลเตรชัน และ อัลตราฟิลเตรชัน จะใช้รูปแบบนี้

2.5.2 ข้อดีของกระบวนการเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

ข้อดีประการสำคัญที่สุดของระบบนี้คือ คุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัด เนื่องด้วยระบบมีขีดความสามารถในการบำบัดแบบชีววิทยา และกำจัดเชื้อโรคในน้ำออก

การแยกอย่างสมบูรณ์ระหว่างเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time : HRT) และ เวลาเก็บกักสารแขวนลอย (Suspended solid Retention Time : SRT) นำไปสู่การควบคุมปฏิกิริยาทางชีวภาพอย่างเหมาะสมและคุ้มค่าที่สุด และมีเสถียรภาพสูงในการใช้งาน การควบคุมอายุตะกอนได้อย่างสมบูรณ์เป็นจุดสำคัญที่จะสามารถเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตช้า เช่น ไนตริฟายอิงแบคทีเรีย

ความเข้มข้นมวลชีวภาพที่สูงกว่า จะนำไปสู่ความสามารถที่มากกว่าระบบเอเอสทั่วไปที่ใช้การแยกสารด้วยแรงโน้มถ่วง เนื่องจากเหตุผลนี้ ระบบจะมีขนาดเล็กลง

เมมเบรนสามารถรักษาสารที่ถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงไว้ได้ เป็นการเพิ่มการย่อยสลายทางชีวภาพในถังปฏิกรณ์

ข้อดีของเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบแบบดั้งเดิม สามารถ แยกแยะได้ ดังต่อไปนี้

1. สามารถกำจัดสารแขวนลอยได้อย่างสมบูรณ์ และคุณภาพของน้ำผ่านการบำบัด ไม่ขึ้นกลับเสถียรภาพของตะกอน
2. แบคทีเรียและไวรัส จะถูกกำจัดได้ด้วยตัวของเมมเบรนเอง โดยคุณสมบัติทาง พลวัตของเมมเบรน (Dynamic membrane)
3. จุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตช้าสามารถรักษาไว้ในถังปฏิกรณ์ด้วยอายุตะกอนที่นาน
4. จุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารพิษ สามารถเจริญเติบโตและดำรงชีพอยู่ได้
5. ด้วยปริมาณของเอ็มแอลเอสเอสที่มากกว่า ทำให้มีขีดความสามารถในการ บำบัดสูง และเกิดตะกอนส่วนเกินน้อยกว่า

2.5.3 ตัวแปรควบคุมในระบบเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

สิ่งที่ควรคำนึงถึงในกระบวนการเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

1. ของเหลวที่ถูกแยก เป็นระบบผสมที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ สารอินทรีย์ที่มี น้ำหนักโมเลกุลหลากหลาย และสารอนินทรีย์
2. คุณลักษณะของของผสมจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เนื่องจากกิจกรรมการ บริโภคของจุลินทรีย์
3. น้ำส่วนที่ผ่านเมมเบรนควรระวังสิ่งอุดตัน หรือสิ่งที่ลดประสิทธิภาพของเมมเบรน เช่น เชื้อรา เป็นต้น

ตัวแปรควบคุมของกระบวนการเมมเบรน คือ สภาวะในการใช้งาน (เช่น แรงดันในการ กรอง) ความเร็วไหลผ่าน (Cross-flow Velocity) และสภาวะการบำบัดทางชีวภาพ (เช่น ความ เข้มข้นของจุลินทรีย์) ลักษณะของส่วนผสม และโดยเฉพาะ ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ของ จุลินทรีย์ที่ละลายน้ำ ซึ่งจับตัวเป็นชั้นเคลือบผิวหน้าของเมมเบรน

แบบจำลองหนึ่งที่น่าใช้ที่สุด คือ รูปแบบความต้านทานในเชิงอนุกรม (Resistance-in-series model) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ง่าย ที่เกี่ยวข้องกับค่าการไหล (permeate flux) ในรูป

ความสัมพันธ์ของแรงดันผ่านเมมเบรน พื้นฐานของแบบจำลองนี้ การเปลี่ยนแปลงของค่าการไหลจะขึ้นอยู่กับแรงดันผ่านเมมเบรนที่ใส่ให้ระบบ ซึ่งแสดงได้ตามสมการที่ 3.5 (Momi และ Komatsu อ้างโดย Osamu, 2001)

$$J = \frac{\Delta P}{\mu (R_m + R_p + R_g + R_c)} \quad (3.5)$$

Where	J	=	permeate flux, ลบ.ม./ตร.ม.-ชั่วโมง
	μ	=	permeate viscosity, ปาสคาล-วินาที
	Δp	=	transmembrane pressure, ปาสคาล
	Rm	=	hydraulic resistance (membrane resistance), ล./ม.
	Rp	=	irreversible fouling resistance (plugging resistance), ล./ม.
	Rg	=	resistance due to gel layer, ล./ม.
	Rc	=	resistance due to cake layer, ล./ม.

สมการนี้จะแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของตัวแปรนั้น มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการกรอง ความต้านทานเชิงพลศาสตร์ (hydraulic resistance : Rm) เป็นลักษณะของเมมเบรน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของเมมเบรนแต่ละแผ่น ความต้านทานด้วยการอุดตันถาวร (Irreversible fouling resistance : Rp) ซึ่งเป็นผลมาจากความต้านทานที่เพิ่มในการกรอง และสามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุ สัมพันธ์กับความพรุนของเมมเบรน ที่โดยทั่วไปจะทำให้เกิดการอุดตันโมเลกุลสารอินทรีย์ละลาย Rg เป็นความต้านทานเนื่องมาจากเมือก ซึ่งเกิดมาจากผลผลิตข้างเคียงจากการสันดาปเชิงชีวภาพ ซึ่งมีส่วนร่วมในการสร้างเป็นชั้นบนผิวเมมเบรน ความต้านทาน Rc มาจากการจับตัวเป็นก้อนบนผิวเมมเบรน เป็นผลมาจากความสัมพันธ์ของความเข้มข้นและสิ่งตกค้างของสารแขวนลอย และสภาวะทางพลศาสตร์

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการกำจัดสีน้ำกากสา

มาลี, 2530 ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากน้ำกากสาโรงงานสุราในการผลิตก๊าซชีวภาพ ทำโดยใช้ถังหมักรูปทรงกระบอกติดตั้งในแนวนอน ถังหมักทำด้วยเหล็กไร้สนิมมีเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 0.33 ม. ยาว 0.60 ม. ลักษณะเป็นแบบกวนสมบูรณ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อแปรอัตราการรับสารอินทรีย์ในช่วง 2.31 ถึง 7.41 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งในช่วง 6.67 ถึง 11.11 วัน อัตราการรับสารอินทรีย์ที่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุด คือ 5.52 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 11.11 วัน โดยให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 0.31×10^{-3} ลบ.ม./กก.ซีไอดี เข้า หรือ 0.58×10^{-2} ลบ.ม./กก.ซีไอดี กำจัด ก๊าซชีวภาพที่ได้มีก๊าซมีเทน 65.5 % และมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี 54 % พบว่าการผลิตก๊าซชีวภาพ และประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งที่เพิ่มขึ้น

อะเคือ, 2536 ทำการศึกษาสภาพการทำงานที่เหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำกากส่า ในระบบหมักยูเอเอสบีที่อุณหภูมิสูง ถังหมักที่ใช้ทดลองเป็นถังเหล็กปลอดสนิมสองชั้น ชั้นในเป็นถังหมักมีปริมาตรใช้งาน 34.7 ล. สูง 172 ซม. และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15 ซม. ชั้นนอกเป็นน้ำอุ่นหล่อเพื่อควบคุมอุณหภูมิของถังหมัก น้ำเสียที่ใช้ทดลองเป็นน้ำกากส่ามีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูง (113,280มก.ซีไอดี/ล.) และปริมาณสารพิษสูง จากผลการทดลองพบว่าอัตราป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์และผลิตก๊าซชีวภาพคือ 5.2 และ 7.1 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ระบบนี้สามารถรับอัตราป้อนสารอินทรีย์สูงสุดได้ 10.1 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน โดยมีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 0.225 ลบ.ม./กก.ซีไอดี กำจัด 0.099 ลบ.ม./กก.ซีไอดี เข้า 1.003 ลบ.ม./วัน – ลบ.ม. ถังหมัก มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี 44% ซึ่งดีกว่าระบบยูเอเอสบีที่ใช้งานในอุณหภูมิต่ำกว่า

อานนท์, 2537 ได้ศึกษาสภาพการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำกากส่า โดยระบบหมักยูบีเอฟและระบบเคมีไฟฟ้าในการกำจัดสารอินทรีย์และสี ถังปฏิกริยายูบีเอฟเป็นถังเหล็กปลอดสนิมสองชั้น มีปริมาตรการใช้งาน 34.7 ล. ชั้นนอกเป็นน้ำอุ่นหล่อเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 28 – 35 องศาเซลเซียส น้ำเสียที่ใช้ทดลองเป็นน้ำกากส่าเจือจางให้มีความเข้มข้นสารอินทรีย์ประมาณ 25,000 มก.ซีไอดี/ล. ส่วนระบบเคมีไฟฟ้าเป็นถังปฏิกริยาทำด้วยพลาสติกอะคริลิค มีปริมาตรการใช้งาน 4 ล. ขั้วไฟฟ้าทำด้วยเหล็กแผ่นธรรมดา ผลการทดลองส่วนแรกพบว่า อัตราป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ และการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ 5.07 และ 7.53 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 7.53 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบหมักยูบีเอฟมีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 0.3309 ลบ.ม./กก.ซีไอดี กำจัด หรือ 0.2256 ลบ.ม./กก.ซีไอดี เข้า หรือ 1.6981 ลบ.ม./วัน – ลบ.ม. ถังหมัก ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 39 % ก๊าซมีเทนและก๊าซอื่นๆ 61 % และมี

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 68.18 % ระบบยูบีเอฟไม่สามารถกำจัดซีโอดีของน้ำเสียได้ น้ำเสียที่ออกจากระบบยูบีเอฟที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 7.53 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ได้นำไปบำบัดต่อโดยระบบเคมีไฟฟ้า น้ำเสียที่นำมาทดลองมีความเข้มข้นสารอินทรีย์ 10.820 มก.ซีโอดี/ล. ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า HRT ที่เหมาะสมคือ 0.66 ชั่วโมง โดยสามารถลดซีโอดีได้ 89.90%

กัณจมาศ, 2538 ศึกษาการกำจัดซีโอดีและสารอินทรีย์ของน้ำกากส่าด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี ระบบการทดลองใช้เซลล์อิเล็กโทรด 3 ชนิด คือ โทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำ, เหล็ก และ อะลูมิเนียม จัดเรียงอิเล็กโทรดแบบโมโนพาร์ ทำการทดลองเป็นแบบกะและใช้ไฟฟ้ากระแสตรง โดยทำการทดลองที่อัตราเจือจางน้ำกากส่า 5, 10 และ 20 เท่า จากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและสารอินทรีย์ได้แก่ ความต่างศักย์ไฟฟ้า, พื้นที่ผิวอิเล็กโทรด และระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด ระบบที่ใช้โทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำ

ทรงพล, 2544 ได้ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดซีโอดีของน้ำกากส่า ด้วยระบบยูเอเอสพีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศจำนวน 2 คอลัมน์ ซึ่งภายในคอลัมน์จะบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีนที่แตกต่างกัน การทดลองจะใช้คอลัมน์จำนวน 2 ชุดที่ทำด้วยวัสดุพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มม. และสูง 2800 มม. โดยภายในคอลัมน์ที่ 1 จะบรรจุตัวกลางโพลีเอทิลีนรูปวงแหวนที่มีพื้นที่ผิว 187 ตร.ม./ลบ.ม. ตัวกลาง ในขณะที่ภายในคอลัมน์ที่ 2 จะบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีนรูปทรงกลมที่มีพื้นที่ผิว 135 ตร.ม./ลบ.ม. ตัวกลาง และกำหนดให้ความสูงของชั้นตัวกลางภายในคอลัมน์ทั้งสองสูงเท่ากัน คือ 1.25 ม. และทำการป้อนน้ำเสียกากส่าเป็นแบบไหลขึ้นที่อัตราสูบ 7.5 ล./วัน โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของน้ำกากส่าเป็น 3,500 และ 4,500 ซึ่งคิดเป็นอัตราภาระอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของคอลัมน์ที่หนึ่งเท่ากับ 58 % และ 65 % และสำหรับคอลัมน์ที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 55 % และ 65 % ที่อัตราภาระอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ และคอลัมน์ที่ 1 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 41 และ 45 และสำหรับคอลัมน์ที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 45 และ 51 ที่อัตราภาระอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ

อำนาจ, 2546 ได้ศึกษาการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับแกลบเผา ซิลิกาอะลูมินา หรือ เถ้าลอย อย่างใดอย่างหนึ่ง ในการกำจัดน้ำกากส่า ด้วยกระบวนการโคแอกูเลชัน ใช้น้ำกากส่าที่ผ่านการบำบัดโดยบ่อบำบัดทางชีวภาพ โดยนำมาเจือจาง 5 เท่า ค่าความเข้มข้นอยู่ที่

ประมาณ 900 – 1200 เอสยู และน้ำกากส่าที่ไม่ผ่านการบำบัดโดยกระบวนการชีวภาพ ความเข้มข้นประมาณ 1300 – 1500 เอสยู พบว่า การใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 8 ก./ล. สามารถกำจัดสีได้ 94.64 % สำหรับน้ำที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว และใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 10 ก./ล. สามารถกำจัดสีได้ 65.89 % สำหรับน้ำที่ไม่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพ

2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน

Buckley, 1992 ได้นำเทคโนโลยีเมมเบรนมาบำบัดน้ำเสียจากโรงย้อมผ้า แยกทดลองแต่ละชนิดเมมเบรน พบว่า เมมเบรนชนิดไมโครฟิลเตรชัน ทดลองกับน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าชนิดเส้นใยโพลีเอสเตอร์ พีเอช 5.5-6 ด้วยอัตราการกรองต่อพื้นที่ผิว 50 ล./ตร.ม.-ชั่วโมง ความดัน 400 KPa สามารถกำจัดสีย้อมดิสเพอร์สได้ และน้ำมีความขุ่นต่ำ แต่น้ำที่ผ่านบำบัดยังคงมองเห็นสีอยู่บางส่วน และสามารถกำจัดสีย้อมซัลเฟอร์ สีย้อมแวต และสีย้อมอะโซอิกได้

Delgado Diaz และคณะ, 1998 ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนบำบัดน้ำจากระบบชั้นที่สอง เพื่อการขลประทานและการเกษตร เมืองซานตาครูส น้ำเสียจากระบบเอเอส มีค่าความขุ่นของแข็งแขวนลอย ซีไอดี 43, 28, 89 มก./ล. ตามลำดับ โดยการกำจัดความขุ่น ซีไอดี 93% และ 60% ตามลำดับกำจัดของแข็งแขวนลอย พีคัลโคไลฟอร์ม โคไลฟอร์มทั้งหมด และพีคัลสเตอร์ปโตคอคคัส ได้หมดโดยไม่ต้องใช้คลอรีน ค่าฟลักซ์ของเมมเบรนมีค่าสูง คงตัว ที่ความเร็วแนวขวางสูง และความดันส่งผ่านต่ำ โดยความดันส่งผ่าน จะมีผลกับค่าฟลักซ์น้อยถ้าความเร็วแนวขวางต่ำ ซึ่งมีขีดจำกัดที่ 1 – 3 บาร์ เมื่อระบบทำงานที่ 1 บาร์ 3 ม./วินาที ค่าฟลักซ์จะมีค่า 100 l/m²-h ซึ่งใกล้เคียงกับการใช้ไมโครฟิลเตรชันกรองน้ำประปา

2.6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

LI และคณะ, 1984 ได้หาความเป็นไปได้ในการใช้เมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบไร้อากาศ (Membrane anaerobic reactor system) สำหรับบำบัดน้ำเสียจากหางนมหวาน (sweet whey) ในแบบจำลอง (pilot scale) มีค่าซีไอดี และบีไอดี 560,000 และ 35,000 มก./ล. ตามลำดับ ในการศึกษาได้แปรผันค่าภาระบรรจุทุกเชิงปริมาตร 8 – 16 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และ

อายุสลัดจ์ 25 – 50 วัน ระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้ 95% ที่ภาระบรรทุกเชิงปริมาตร 16 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของแข็งแขวนลอยในกระแสออกต่ำกว่า 10 มก./ล. ในขณะที่น้ำเข้ามีค่าของแข็งแขวนลอย 13,000 มก./ล. ระบบสามารถดำเนินการได้ในช่วงมวลชีวภาพระหว่าง 0.06 – 0.12 กก.วีเอสเอส/กก.ซีโอดีถูกกำจัด ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยระเหยได้ถึงปฏิกรณ์มีค่าระหว่าง 22,000 – 26,000 มก./ล. ผลึกก๊าซมีเทน 0.28 – 0.34 ลบ.ม./กก.ซีโอดีถูกกำจัด ที่ความดันและอุณหภูมิมาตรฐาน ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสีย

Talat, 1988 รอบการทำงานของปั๊ม 10 นาที หยุด 10 นาที ให้ค่าฟลักซ์ ที่มีความคงตัวสูง และยาวนานที่สุด ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาตร มีค่าวิกฤติและเหมาะสมที่ 3 และ 2 กก.ซีโอดี./ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ กำจัดซีโอดี 95 – 97 % ปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน 100% พีเอชในระบบมีค่า 7.7 – 8.2 และขนาดรูของเมมเบรน ไม่ส่งผลกับประสิทธิภาพการกำจัด แต่ความดันดูดปั๊มจะต่ำกว่าเมื่อขนาดรูพุนใหญ่ขึ้น ระบบมีค่า F/M ต่ำ สลัดจ์ส่วนเกินน้อย แต่การระบายสารสะสมที่ไม่ใช่อาหารของจุลชีพเป็นครั้งคราวยังคงจำเป็น

Sopajaree, 1989 ที่ค่าอายุสลัดจ์ไม่จำกัด ค่าซีโอดีในน้ำออกไม่ขึ้นกับความลึกในการจมตัวของเมมเบรน ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.15 – 0.35 กก.ซีโอดี./ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 90 – 98% ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันเกิดได้กว่า 90% แต่จะต่ำลงเป็น 78% ที่เวลากักเก็บต่ำ และเมมเบรนอยู่สูงจากกันถึงจนเกิดการตกตะกอน ซึ่งค่าสลัดจ์จุลชีพในเขตเติมอากาศมีค่าน้อย ความดันส่งผ่านจะมีค่าต่ำสุดที่ค่าฟลักซ์เท่ากัน การเพิ่มอัตราไหลของอากาศ จะลดการอุดตันและค่าความดันส่งผ่านเมมเบรนลงได้

Yamamoto และคณะ, 1989 การกรองผ่านเมมเบรนอย่างต่อเนื่อง จะเกิดการอุดตันรุนแรง จนความดันปั๊มสูงถึง 100 KPa ค่าฟลักซ์ลดอย่างรวดเร็ว การให้ปั๊มทำงานเป็นช่วง พื้นที่ผิว 0.3 ตร.ม. อัตราเติมอากาศ 1.8 ล./นาที เวลากักเก็บ 4 ชม. ค่าฟลักซ์มีค่ามากกว่า 0.121 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน คงตัวได้นานที่ความดัน 13 KPa ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.5 กก.ซีโอดี./ลบ.ม.-วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกว่า 95% อัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพมีค่า 0.1 กก.ซีโอดี/ กก.เอ็มแอลเอสเอส-วัน ค่าวิกฤตภาระบรรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาตร และค่าสลัดจ์จุลชีพมีค่า 3 – 4 กก.ซีโอดี./ลบ.ม.-วัน และ 30 – 40 ก./ล. ตามลำดับ ซึ่งระบบสามารถคงตัวอยู่ได้

Chaize และ Huyard, 1991 ทดลองระบบเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ควบคุมระบบ ที่เวลากักเก็บ 8 ชั่วโมง และอายุสัปดาห์ 100 วัน น้ำเสียชุมชนค่าซีไอดี 250 – 500 มก./ล. ทีเคเอ็น 65 – 150 มก./ล. ค่าสัลไฟด์ซัลไฟฟองตัวใน 25 วัน ที่ 8,000 – 10,000 มก./ล. ปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน เกิดได้ดีใน 14 วัน น้ำออกมีค่าซีไอดี, ทีเคเอ็น, ไนเตรท น้อยกว่า 30, 10, 40-130 มก./ล. ตามลำดับ โดยมีค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพเท่ากับ 0.06 – 0.4 kg.ซีไอดี/kg.เอ็มแอลเอสเอส-day

Chiemchaisri และคณะ, 1992 บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ค่าซีไอดี ในโตรเจนทั้งหมด 150 – 500 และ 30 – 50 มก./ล. ตามลำดับ ระบบเติมอากาศต่อเนื่องและเป็นช่วง ไม่มีผลต่อการ กำจัดซีไอดี มีประสิทธิภาพ 85 – 97% น้ำออก 20.8, 15.9 มก./ล. ตามลำดับ ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันสมบูรณ์ใน 35 วัน ถูกกำจัดที่ค่าออกซิเจนละลายน้อยกว่า 1 มก./ล. ส่วนการเติมอากาศเป็น ช่วง ค่าออกซิเจนละลาย 4 – 5 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนมากกว่า 1 – 2 มก./ล. คือ 90, 80% ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยในน้ำออก 4.5 มก./ล.

Ueda, 1997 ผลของกระแสฟองอากาศปั่นป่วน ต่อความดันของบับดูด ค่าสัลไฟด์ซัลไฟฟอง ในถังปฏิกรณ์ 8 – 12 ก./ล. พบว่าการเพิ่มอัตราไหลอากาศ 0.31 – 1 ลบ.ม./นาที่ ที่ฟลักซ์คงที่ ความดันบับจะลดลง 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 ลบ.ม./ตร.ม.-นาที่ จะเพิ่มความรุนแรงของกระแส ปั่นป่วน โดยค่าฟลักซ์เท่ากัน บับจะมีความดันต่ำกว่า

อริยะ, 2543 ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนติดตั้งจมตัวในถังปฏิกรณ์เอเอส และใช้วิธีการ เติมอากาศเป็นช่วงๆ พบว่า ที่รอบเวลาการเติมอากาศ 120 นาที เกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน 94 – 98% และดีไนตริฟิเคชัน 41 – 93 % ระบบสามารถกำจัดความขุ่น และของแข็งแขวนลอยได้ มากกว่า 99 % กำจัดซีไอดีได้ 90 % และไนโตรเจน 40 – 90% ต้นทุนในการบำบัดต่อหน่วยมีค่า สูง เนื่องจากคิดราคาเมมเบรนต่อหน่วยการบำบัดตลอดอายุการใช้งาน และอุปกรณ์ประกอบมี ต้นทุนแรกเริ่มสูงไม่ได้สัดส่วนกับกำลังผลิต ต้นทุนค่าพลังงานของระบบเติมอากาศเป็นช่วงๆ มีค่า สูง แต่มีต้นทุนค่าสารเคมีต่ำกว่าหลายเท่าตัว เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเติมอากาศต่อเนื่อง

ณัฐพันธ์, 2545 ทำการศึกษาประสิทธิภาพ และกลไกในการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัสของระบบถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพ แบบแอนนออกซิก-แอนแอโรบิก-แอโรบิก โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ มีอัตราการป้อนน้ำเสียเฉลี่ย 96 ล./วัน ค่าซีโอดี 325 มก./ล. ค่าฟอสฟอรัส ทั้งหมด 7.9 มก./ล. และไนโตรเจน 35.8 มก.ทีเคเอ็น/ล. จากผลการทดลองพบว่า อัตราการแบ่ง น้ำเสียไม่มีผลต่อการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เนื่องจากในเตรตที่เวียนมาจากส่วนเติม ออกซิเจนของระบบมีค่าต่ำ ค่าอายุสลัดจ์ที่เพิ่มขึ้นก็ไม่มีผลต่อการกำจัดมลสาร แต่อายุสลัดจ์ที่ เพิ่มขึ้น ทำให้ขนาดอนุภาคฟล็อกในระบบมีขนาดใหญ่ขึ้น ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอ ดีสูงกว่า 97% ประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นสูงกว่า 95 % ประสิทธิภาพในการกำจัด ฟอสฟอรัสสูงกว่า 80% โดยมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเท่ากับ 171 บาท/ลบ.ม

นัทกาญจน์, 2546 ศึกษาการใช้ระบบถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพ แบบแอนนออกซิก- แอนแอโรบิก-แอโรบิก บำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้า ผลการทดลองพบว่า ระบบมีประสิทธิภาพ ในการกำจัดซีโอดี 92-95 % ประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็น 86-91 % ประสิทธิภาพในการ กำจัดฟอสฟอรัส 62-92% โดยมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเท่ากับ 182 บาท/ลบ.ม

2.6.4 ความรู้จากงานวิจัยที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้

เมมเบรนเทคโนโลยี แบบไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนนี้ มีความสามารถในการกำจัดสีย้อม ซึ่งสามารถกำจัดได้ทั้งสีที่มาจากสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ จากงานวิจัยของ Buckley, 1992 จากงานวิจัยการบำบัดน้ำกากส่าอื่นๆ พบว่า การกำจัดน้ำกากส่าด้วยวิธีชีวภาพมีความน่าสนใจ ในการศึกษา เนื่องจากเป็นวิธีที่ลงทุนไม่สูง อีกทั้งยังมีพัฒนาเชื้อแบคทีเรีย เช่น *Lactobacillus hilgardii* สายพันธุ์ W-NS ซึ่งศึกษาโดย Ohmomo และคณะ ในปี 1988 ซึ่งแบคทีเรียจำพวกนี้มีความสามารถในการกำจัดสีน้ำกากส่าได้ ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ได้จากโรงงานที่มีส่วนผสมของ เอทานอล ในงานวิจัยนี้จึงได้หาแหล่งที่เชื้อรับน้ำเสียที่มีเอทานอลเจือปน ซึ่งได้แก่ โรงงานผลิต สุรา หรือเบียร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้รับความอนุเคราะห์เชื้อจาก โรงงานคาร์ลเบิร์ก อ.วังน้อย จ.อยุธยา

นอกจากนั้นสายพันธุ์แบคทีเรียนี้ เป็นจุลินทรีย์พวกกึ่งไม่ใช้ออกาศ การนำระบบเดิม อากาศเป็นช่วงๆ มาใช้ มีความเหมาะสมสำหรับแบคทีเรียประเภทนี้ งานวิจัยนี้ยังนำไปใช้ในถัง ปฏิกรณ์ที่ติดตั้งไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนจมตัวไว้ ซึ่งเมมเบรนชนิดนี้ สามารถกักกันเชื้อจุลินทรีย์

ในระบบให้อุณหภูมิในระบบได้ทั้งหมด ซึ่งทำให้ความต้องการสารอาหารในการสร้างเซลล์มีน้อย และอายุผลิตภัณฑ์ยาวนานขึ้น ทำให้สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากกว่าระบบปกติ และประหยัดเนื้อที่

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยในส่วนการดำเนินการระบบเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ที่นำมาประยุกต์ใช้ รอบการทำงานของปั๊มแบบสูบ หยุด สลับกัน จะให้ค่าฟลักซ์ ที่มีความคงตัวสูง และยาวนานขึ้น (Talat, 1988) ซึ่งในงานวิจัยนี้ ใช้การสูบ 5 นาที หยุด 5 นาที เนื่องจากเป็นค่าที่ตั้งได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม ในการปรับแต่งปั๊มในท้องตลาด ฟองอากาศปั่นป่วนมีส่วนช่วยในการรักษาความคงตัวของเมมเบรน ซึ่งฟองอากาศสามารถเป็นตัวล้างผิวเมมเบรนให้ตะกอนที่เคลือบหน้าผิวเมมเบรนหลุดออกมาได้ (Ueda, 1997)

จากงานวิจัยและบทความวิชาการที่รวบรวมมา ได้นำสู่การออกแบบระบบ กระบวนการวิธีการดำเนินการ ซึ่งจะกล่าวถึงในบทต่อไป