บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่สำคัญของโลกในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาที่เกี่ยวข้องกับมลภาวะทางน้ำ น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรในภาคใต้มาจากหลายๆแหล่งด้วยกัน ซึ่งน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง เช่น โรงงานแปรรูปอาหารทะเล, โรงงานแปรรูปน้ำยางข้น, บ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ฯลฯ เหมาะต่อการใช้ระบบทางชีวภาพในการบำบัด จากรายงานการเกิดสีแดงในบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานแปรรูปอาหารทะเล พบว่าสีแดงเกิดจากรงควัตถุของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และ วรรณา ชูฤทธิ์, 2531) แสดงว่าแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสามารถใช้สารอาหารที่มีอยู่ในน้ำเสียของโรงงานแปรรูปอาหารทะเลได้ นอกจากนี้ในบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานแปรรูปน้ำยางข้นปรากฏเป็นน้ำเสียสีแดงเช่นเดียวกัน ซึ่งจากการจำแนกชนิดของเชื้อที่แยกได้พบว่าเป็นแบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่ม purple non-sulfur bacteria (จรินทร์ ทองประดิษฐ์, 2542) และในการจำแนกเชื้อในน้ำเสียจากการเลี้ยงกุ้งสามารถแยกเชื้อแบคทีเรียซึ่งสามารถใช้สารอินทรีย์จากน้ำเสียได้เช่นกัน (ปรียานุช บวรเรืองโรจน์, 2541) แต่ยังไม่มีรายงานการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้ง

จากงานวิจัยการแยกแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทนเค็มจำนวน 5 สายพันธุ์ที่สามารถเจริญได้ที่ความเค็ม 6 % NaCl (อมรรัตน์ ตั้งประสิทธิภาพ, 2543) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่สายพันธุ์นี้จะเจริญได้ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้ง งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาการใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในการบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้ง รวมทั้งน้ำเสียของโรงงานแปรรูปอาหารทะเลและโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น เซลล์ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสามารถนำมาใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนสำหรับเลี้ยงสัตว์และเป็นปุ๋ยได้ (Kobayashi and Kurata, 1978) โดยจะศึกษาสายพันธุ์ของเชื้อที่เหมาะสมกับน้ำเสียแต่ละแหล่ง รวมทั้งคัดเลือกตัวพยุงที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียสังเคราะห์แสง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

ตรวจเอกสาร

ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับโรงงานและน้ำเสีย

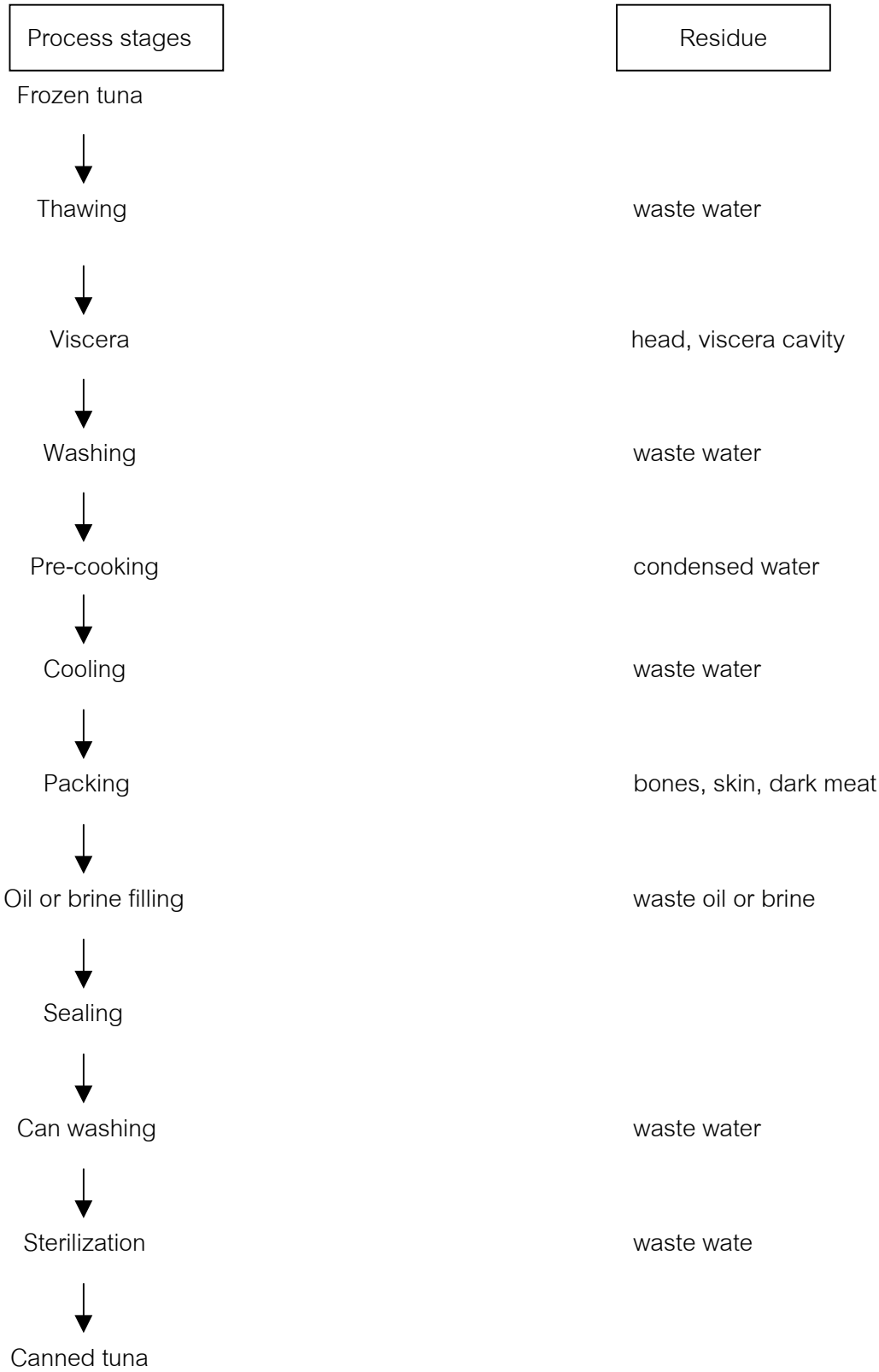
1. โรงงานแปรรูปอาหารทะเล

ในกระบวนการแปรรูปอาหารทะเลไม่ว่าจะเป็นการผลิตปลาทูน่ากระป๋องหรือผลิตภัณฑ์กุ้งแช่แข็งซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ส่งออกที่สำคัญและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ในปัจจุบันพบว่ามีการจับปลาทูน่าทั่วโลกถึง 100 ล้านตันและพบว่าในกระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋องจะมีวัสดุเศษเหลือเหล่านี้มีทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว โดยวัสดุเศษเหลือที่เป็นของเหลวได้แก่ เลือดปลา น้ำนึ่งปลาทูน่า ซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูง (Prasertsan *et al.,* 1988)

1.1 น้ำนึ่งปลาทูน่า

การผลิตปลาทูน่าทั่วโลกมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องจึงทำให้อุตสาหกรรมการแปรรูปปลาทูน่ากระป๋องมีความสำคัญอย่างมากในภาคพื้นอาเซียน ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จะถูกส่งไปขายทั่วโลกซึ่งปลาทูน่าที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตได้จากภายในประเทศและมีการนำเข้าจากต่างประเทศด้วย จากรายงานพบว่ามีการจับปลาทูน่าประมาณ 3% ของการผลิตปลาทั่วโลก ประเทศที่มีความต้องการปลาทูน่ามากที่สุดคือ ญี่ปุ่น รองลงมาคือ สหรัฐอเมริกา, สเปน, ฟิลิปปินส์ และอินโดนีเซีย ตามลำดับ (Hotrabhavananda, 1987)

กระบวนการแปรรูปปลาทูน่ากระป๋องแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งในระหว่างการผลิตปลาทูน่ากระป๋องมีวัสดุเศษเหลือได้แก่ น้ำนึ่งปลาทูน่าจากกระบวนการทำให้ปลาสุกมีปริมาณถึง 20% ของน้ำหนักปลา (สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ, 2537 อ้างโดย พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, 2542) การนึ่งปลา (pre-cooking) เป็นขั้นตอนการทำให้สุกก่อนนำไปแปรรูป มีจุดมุ่งหมายเพื่อไล่น้ำออกจากตัวปลา ทำให้แยกเนื้อออกจากกระดูกได้ง่ายและช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ก่อนการแปรรูป น้ำนึ่งปลาจะเป็นน้ำที่ออกจากโปรตีนกล้ามเนื้อของปลา จึงมีปริมาณสารอินทรีย์สูง ในการให้ความร้อนโดยการนึ่งด้วยไอน้ำ ทำให้น้ำ ไขมัน และสารประกอบพวกโปรตีนที่ละลายน้ำ เช่น เจลาติน ถูกสกัดออกจากตัวปลาและสะสมอยู่ในรูปน้ำนึ่งปลาทูน่า ส่วนสารประกอบที่ระเหยได้จะออกไปทางท่อไอน้ำ น้ำนึ่งปลาทูน่ามีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข้ม มีความหนืด มีกลิ่นคาวจัดและมีชั้นไขมันบางๆลอยอยู่บริเวณผิวหน้า (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, 2542) มีปริมาณสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูง โดยบำบัดค่าซีโอดี (COD, chemical oxygen demand) และปริมาณไนโตรเจน สูงกว่า 64,000 และ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ รวมทั้งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยในปริมาณกว่า 63,000 และ 29,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เกลือ NaCl ร้อยละ 3.5 และแร่ธาตุต่างๆ (ตารางที่ 1)



รูปที่ 1 ขั้นตอนกระบวนการผลิตปลาทูน่าบรรจุกระป๋องและวัสดุเศษเหลือที่เกิดขึ้น

Fig. 1 The scheme for processing of tuna canning and wastes

Source: Hotrabhavananda (1987)

ตารางที่ คุณลักษณะของน้ำนึ่งปลาทูน่า

Table 1 Characteristics of Tuna condensate

Parameter	
pH	5.9
COD (mg/l)	64,260
Total nitrogen (mg/l)	7,164
Total solid (mg/l)	63,107
Total suspended solid (mg/l)	29,692
Salt (NaCl) (%)	3.5
Mineral (mg/l)	
Mg	26.71
Fe	3.07
K	289.75
Na	468.57

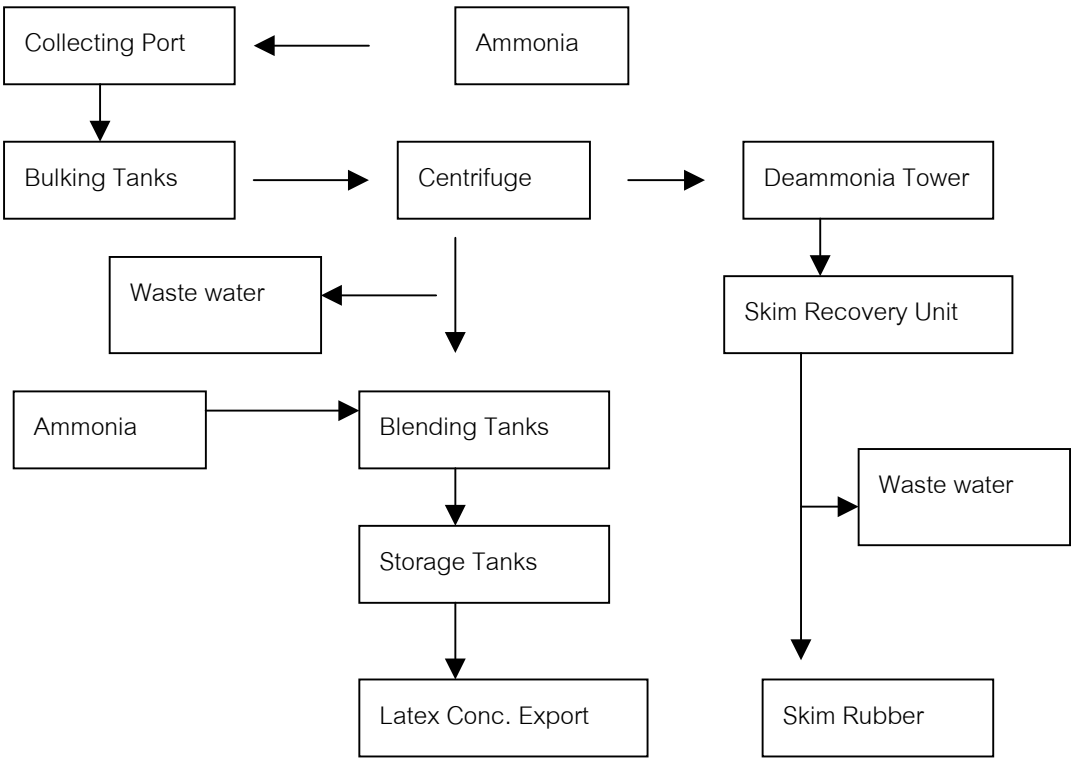
ที่มา: ศุภารัตน์ รักขพันธ์ (2544)

2. โรงงานแปรรูปน้ำยางข้น

อุตสาหกรรมการแปรรูปน้ำยางข้นเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายการผลิตอย่างรวดเร็ว และทำรายได้สูงให้กับภาคใต้ของไทย มีแนวโน้มการขยายตัวสูงเพราะมีแหล่งวัตถุดิบภายในประเทศ กองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง (2538) รายงานว่า จำนวนโรงงานแปรรูปน้ำยางสดและน้ำยางข้นเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีประมาณกว่า 500 โรงงานทั่วประเทศ ในจำนวนนี้เป็นโรงงานที่ตั้งอยู่ในภาคใต้ประมาณ 300 โรงงาน ซึ่งในการแปรรูปน้ำยางข้นอาจก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการผลิต ซึ่งประกอบด้วย ซีรัมหลังแยกยางในกระบวนการแปรรูปน้ำยางข้น ซึ่งมีโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์และสารประกอบอื่นๆ อีกหลายชนิดประกอบอยู่ทำให้น้ำทิ้งที่ออกมามีปริมาณสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูง (สุมาลี จิรธนกิจ, 2526)

2.1 การผลิตน้ำยางข้น

กระบวนการผลิตน้ำยางข้น (รูปที่2) โรงงานต้องทำการเก็บรวบรวมน้ำยางสดและรักษาสภาพน้ำยางสดด้วยสารแอมโมเนีย, Tetramethyl Thiiuram Disulfide (TMTD) และ Zinc Oxide (ZnO) หลังจากน้ำยางสดผ่านกระบวนการตรวจคุณภาพตามต้องการแล้ว จะเติม Diammonium Hydrogen Phosphate (DAHP) ลงในน้ำยางและทิ้งไว้นาน 1 วัน เพื่อตกตะกอนธาตุแมกนีเซียม จากนั้นจะนำน้ำยาง มาใส่เครื่องปั่นเหวี่ยง น้ำยางที่ออกกจากเครื่องปั่นส่วนหนึ่งคือ น้ำยางข้นที่ต้องการ อีกส่วนหนึ่งเป็นผลพลอยได้ คือหางน้ำยาง ซึ่งจะมีปริมาณเนื้อยางอยู่ประมาณร้อยละ 8 หางน้ำยางจะถูกไล่แอมโมเนียออกโดยการปล่อยให้หางน้ำยางไหลไปตามรางรองรับสู่บ่อกักที่อยู่ในที่โล่งมีอากาศพัดผ่าน ทำให้ยางจับตัวกันเป็นก้อนด้วยกรดซัลฟูริค แล้วนำไปผ่านการตัดย่อยอบ อัดแท่งเป็นสกิม บล็อก หรือผ่านเครื่องรีดเครพ อัดก้อนเป็นสกิมเครพ (วราภรณ์ ขจรไชยกุล, 2536; เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี, 2540) จากขั้นตอนการแยกหางน้ำยางนี้จึงเกิดน้ำเสียขึ้นคือ ซีรัมจากการแยกหางยาง ซึ่งประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ปริมาณที่สูง มีค่าบีโอดี (BOD, biochemical oxygen demand) ในช่วง 11,830 - 13,760 มิลลิกรัมต่อลิตร และของแข็งทั้งหมดในช่วง 8,000 - 42,550 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 2)



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น

Fig. 2 Processing of latex concentrate

ที่มา: วราภรณ์ ขจรไชยกุล (2536)

ตารางที่ 2 คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น

Table 2 Characteristics of latex concentrate effluent

Parameter	[1]Hunpongkittikul (1981)	[2]Phusarun (1986)
pH	6.3	4.8
BOD	11,830	13,760
COD	-	32,690
Total nitrogen (mg/l)	750	4,620
Total solid (mg/l)	8,000	42,550

ที่มา: [1]อรัญ พันพงศ์กิตติกูล (2524)

[2]นัยทัศน์ ภู่ศรัณย์ และคณะ (2529)

3. บ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

ในปี พ.ศ. 2537 ประเทศไทยมีพื้นที่การเลี้ยงกุ้งประมาณ 500,000 ไร่ ซึ่งในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปเป็นหลัก ซึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 40-50, ไขมันร้อยละ 6.0-7.5, ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.5-2.0 (น้ำหนักแห้ง) (Akiyama and Dominy, 1988) ซึ่งแม็กซ์ แอนเดอร์สัน (2533) กล่าวว่า กุ้งสามารถนำอาหารไปใช้ประโยชน์ได้เพียงร้อยละ 25-35 ส่วนอาหารที่เหลือจะตกค้างบริเวณพื้นก้นบ่อรวมกับสิ่งขับถ่ายของกุ้ง ดังนั้นเมื่อระยะเวลาในการเลี้ยงกุ้งนานมากขึ้น จึงมีปริมาณสารอินทรีย์เหลือคงค้างภายในบ่อเพิ่มสูงขึ้น จากการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาในเดือนที่ 3-4 ของศูนย์ฝึกอบรมการเลี้ยงกุ้ง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี พบว่าน้ำทิ้งเหล่านี้มีปริมาณสารอินทรีย์ค่อนข้างสูงโดยเฉพาะปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย, ไนไตรท์ และไนเตรท ซึ่งมีค่าเท่ากับ 108.2, 116.5 และ 70.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 3) เมื่อปล่อยออกสู่ธรรมชาติจึงอาจก่อให้เกิดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมจึงต้องทำการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่ธรรมชาติ

ตารางที่ 3 คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (แบบพัฒนา)

Table 3 Characteristics of effluent from intensive shrimp farm

Parameter	
pH	8.1 ± 0.3
Salinity (ppt)	14.0 ± 1.7
COD (mg/l)	40.6 ± 13
Nitrate (mg/l)	70.20 ± 0.96
Nitrite (mg/l)	116.59 ± 6.30
Ammonia (mg/l)	108.27 ± 7.54
Total nitrogen (mg/l)	2.64 ± 1.17
Phosphorus (mg/l)	32.43 ± 7.20

ที่มา: สุภาพร แซ่อึ่ง (2539)

<u>การบำบัดน้ำเสีย</u>

กระบวนการบำบัดน้ำเสียจะครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนที่น้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดจนถึงขั้นปล่อยน้ำทิ้งออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ มีการแบ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียออกเป็นขั้นตอนต่างๆคือ (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, 2543)

1.การบำบัดขั้นต้น (Pretreatment and Primary Treatment)

2.การบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment)

3.การบำบัดขั้นสูง (Tertiary or Advance Treatment)

1.การบำบัดขั้นต้น

การบำบัดขั้นต้น มีจุดประสงค์เพื่อกำจัดอนุภาคแขวนลอย ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของของแข็ง ไขมันหรือน้ำมันนอกจากนี้ยังรวมถึงการปรับสภาพน้ำเสียให้เหมาะกับการบำบัดขั้นที่สองต่อไป

วิธีการทางกายภาพที่ใช้ในการบำบัดขั้นต้นได้แก่

1) การแยกอนุภาคของแข็งออกจากน้ำด้วยตะแกรง

2) การแยกโดยอาศัยการตกจม (sedimentation) หรือการลอยตะกอน (floatation)

3)การแยกด้วยการกรอง

2.การบำบัดขั้นที่สอง

การบำบัดขั้นที่สอง เป็นการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของสารแขวนลอยและสารที่ละลายน้ำได้ ซึ่งต้องอาศัยกระบวนการทางชีวภาพอันเป็นผลจากการทำงานของจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำซึ่งอาจเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน (aerobe) หรือจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน (anaerobe) และจุลินทรีย์เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำหรือสารแขวนลอยที่ไม่สามารถแยกออกได้ง่าย โดยการใช้สารเหล่านี้เป็นอาหารในการเจริญและเพิ่มปริมาณเซลล์มากขึ้น ซึ่งตัวเซลล์จะถือว่าเป็นสารแขวนลอยด้วย จนถึงสภาวะหนึ่ง เซลล์เหล่านี้จะรวมตัวกันตกตะกอน หากตกตะกอนในถังตกตะกอนจะทำให้สมารถแยกตะกอนเหล่านี้ออกได้ง่ายขึ้นซึ่งอาจจะอยู่ในรูปที่เรียกว่า กากตะกอนจุลินทรีย์หรือสลัดจ์ (sludge)

สารอินทรีย์ในน้ำมีองค์ประกอบที่เป็นแร่ธาตุหลักๆคือคาร์บอน(C),ไนโตรเจน(N), ไฮโดรเจน(H),ออกซิเจน (O),ฟอสฟอรัส (P),ซัลเฟอร์ (S) เขียนอยู่ในรูป CHONPS เมื่อถูกจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนใช้เป็นอาหารย่อยสลายได้ผลิตผล คือ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (เช่นเดียวกับกระบวนการเมตาบอลิซึมของมนุษย์และสัตว์) รวมทั้งผลิตภัณฑ์อื่นๆอีกเล็กน้อย พลังงานที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะถูกใช้ไปเพื่อการสังเคราะห์ให้ได้เซลล์ใหม่ ซึ่งเขียนในรูป $C_5H_7NO_2$ เมื่อสารอินทรีย์ถูกใช้หมดไป จุลินทรีย์อยู่ในสภาวะขาดแคลนอาหาร ก็จะนำพลังงานที่สะสมอยู่

ภายในมาใช้เรียกว่า endogenous respiration หรือ autooxidation เป็นการย่อยสลายตัวเองของจุลินทรีย์นั่นเอง

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (dissimilatory process)

$$CHONPS+O_2+\text{แบคทีเรีย} \longrightarrow CO_2+NH_3+\text{ฯลฯ}+\text{พลังงาน}$$

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เซลล์ (assimilatory process)

$$CHONPS+O_2+\text{แบคทีเรีย}+\text{พลังงาน} \longrightarrow C_5H_7NO_2(\text{เซลล์ใหม่})$$

ปฏิกิริยา endogenous respiration หรือ autooxidation

$$C_5H_7NO_2+5O_2 \longrightarrow 5CO_2+NH_3+2H_2O$$

ในสภาวะไร้อากาศ จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศจะมีบทบาทหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ก๊าซมีเธน คาร์บอนไดออกไซด์ และเซลล์ดังสมการ

$$\text{สารอินทรีย์}+\text{จุลินทรีย์} \longrightarrow CH_4+CO_2+\text{เซลล์}$$

สำหรับจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ จุลินทรีย์สร้างกรด (acid former) และจุลินทรีย์สร้างมีเธน (methane former)

3.การบำบัดขั้นสูง

น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดในขั้นที่สอง จะมีมลสารและค่าความสกปรกลดลงร้อยละ 90 ดังนั้นจึงมีการบำบัดขั้นสูงเพื่อต้องการบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพดีขึ้น หรือปรับปรุงให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ ได้แก่ การใช้ระบบกรองทราย ระบบดูดซึมด้วยถ่านกัมมันต์

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ

การใช้แบคทีเรียบำบัดน้ำเสียเป็นการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ โดยใช้สิ่งมีชีวิตเป็นตัวช่วยในการเปลี่ยนสภาพของของเสียในน้ำเสียให้อยู่ในสภาพที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะมลพิษต่อแหล่งน้ำธรรมชาติได้แก่ การเปลี่ยนให้กลายเป็นก๊าซ, น้ำและเซลล์ใหม่ของจุลินทรีย์สิ่งมีชีวิตที่มีบทบาทในการช่วยเปลี่ยนสภาพสิ่งสกปรกในน้ำเสียคือพวกจุลินทรีย์ ที่สำคัญคือพวก แบคทีเรีย โปรโตซัว สาหร่าย ราและโรติเฟอร์ จุลินทรีย์ที่นับว่ามีบทบาทสำคัญที่สุดในการบำบัดน้ำเสีย คือ แบคทีเรีย ซึ่งจะเปลี่ยนสภาพของสารอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายอยู่ในน้ำเสียในรูปคอลลอยด์และสารละลายให้อยู่ในรูปก๊าซ,น้ำและเซลล์ใหม่ของจุลินทรีย์ซึ่งอาจนำเซลล์ใหม่ที่เกิดขึ้นนี้กลับไปช่วยในการบำบัดน้ำเสียได้อีก การย่อยสลายสารอินทรีย์อาจจะกระทำในสภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนอิสระละลายอยู่ในน้ำหรือไม่มีออกซิเจนอิสระละลายอยู่ในน้ำ นอกจากนี้แบคทีเรียอีกพวกหนึ่งที่เริ่มมีบทบาทสำคัญต่อการนำมาใช้แก้ไขปัญหาการมีสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสีย คือ พวก Chemoautotrophs ได้แก่ Nitrifying Bacteria ซึ่งจะเปลี่ยนแอมโมเนียในน้ำเสียให้กลายเป็น

ไนไตรต์และไนเตรตเรียกการเกิดไนตริฟิเคชัน (Nitrification) หลังจากนั้นต้องทำการเปลี่ยนไนเตรตให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนในสภาวะขาดออกซิเจนเรียกว่าดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) เพื่อให้ก๊าซไนโตรเจนลอยสู่บรรยากาศเป็นการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนออกจากน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ ในการจำแนกชนิดของกระบวนการที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียอาจแยกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กระบวนการแอโรบิก (ใช้อากาศ) กระบวนการแอนแอโรบิก (ไม่ใช้อากาศ) และกระบวนการแอน็อกซิก ซึ่งกระบวนการที่ใช้ในการบำบัดทั้ง 3 วิธีอาจใช้ร่วมกันในระบบบำบัดเดียวกันทั้ง 3 วิธีการเลยก็ได้ การจำแนกชนิดของกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพนี้เป็นการแบ่งตามลักษณะของการควบคุมให้จุลินทรีย์อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายของเสีย

กระบวนการแอโรบิก (Aerobic Process) **หรือกระบวนการใช้อากาศ**

เป็นการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพที่ต้องการควบคุมให้มีก๊าซออกซิเจนในระบบเพื่อเร่งให้มีสภาวะสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อแบคทีเรียพวกแอโรบิกในการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสีย

กระบวนการแอนแอโรบิก (Anaerobic Process) **หรือกระบวนการไม่ใช้อากาศ**

กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพที่ต้องการควบคุมไม่ให้มีออกซิเจนในระบบ เพื่อเร่งให้มีสภาวะเหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียพวกแอนแอโรบิกในการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสีย ในอดีตการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพที่มีสภาวะขาดออกซิเจนนี้ มักนำมาใช้ในการบำบัดตะกอนที่เกิดจากหน่วยบำบัดน้ำเสียต่างๆ โดยเฉพาะตะกอนจุลินทรีย์จากถังตกตะกอนที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพ เช่นระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ระบบถังกรองจุลชีพ ฯลฯ ซึ่งตะกอนดังกล่าวยังคงมีสารอินทรีย์ที่มาจากน้ำเสียหรือสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของจุลินทรีย์ แต่ในปัจจุบันเมื่อมีการขาดแคลนพลังงานต่างๆรวมถึงพลังงานไฟฟ้า จึงได้มีการนำเอาวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบแอนแอโรบิกมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียกันมากขึ้น

กระบวนการแอน็อกซิก (Anoxic Process)

กระบวนการแอน็อกซิก เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเปลี่ยนไนเตรตให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนเพื่อเป็นการกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสียภายใต้สภาวะที่ขาดอากาศ หรือจะเรียกกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ในอดีตเคยมีความเข้าใจว่าเกิดดีไนตริฟิเคชันภายใต้สภาวะแอนแอโรบิก จึงมักเรียกว่า anaerobic denitrification แต่ในความเป็นจริงแล้วปฏิกริยาการย่อยสลายเป็นรูปดัดแปลงอย่างหนึ่งทางแอโรบิก ในปัจจุบันจึงนำเอาคำว่า แอน็อกซิก มาใช้แทนแอนแอโรบิก

กระบวนการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียเป็นไนไตรต์ เปลี่ยนไนไตรต์เป็นไนเตรต และไนเตรตเป็นก๊าซไนโตรเจนนั้นมีกระบวนการหลักอยู่สองขั้น คือ

ขั้นแรก เป็นการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรต์ โดยจุลินทรีย์พวก *Nitrosomonas* และ ไนไตรต์เป็นไนเตรตโดยจุลินทรีย์พวก *Nitrobacter* มีปฏิกริยาชีวเคมีเป็นพวกแอโรบิก จึงต้องให้มีสภาวะสิ่งแวดล้อมที่มีอากาศ เรียก ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ดังนี้

$$NH_4^+ + 3/2\ O_2 \longrightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O$$

$$NO_2^- + 1/2O_2 \longrightarrow NO_3^-$$

เมื่อรวมสองสมการ ได้

$$NH_4^+ + 2\ O_2 \longrightarrow NO_3^- + 2H^+ + H_2O$$

ขั้นที่สอง เป็นการเปลี่ยนไนเตรตให้อยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจนโดยแบคทีเรียพวก Facultative ได้แก่ *Achromobacter, Aerobacter, Alcaligenes, Bacillus, Brevibacterium*, *Flavobacterium, Lactobacillus, Micrococcus, Proteus, Pseudomanas*, และ *Spirillum* ในสภาวะที่ขาดอากาศ และถ้าในน้ำเสียมีไนเตรตอยู่แล้ว การย่อยสลายก็จะเกิดเฉพาะขั้นนี้ขั้นเดียว เรียก การเกิดดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) โดยการให้มีสภาวะที่ขาดอากาศพอดีเพื่อให้ออกซิเจนจากไนเตรตถูกดึงไปใช้ ซึ่งจำเป็นต้องควบคุมสัดส่วนคาร์บอนและไนโตรเจนให้มีความเหมาะสม คือ C:N ต้องมากกว่า 2:1 (TON : Total Nitrogen)

$$NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NO \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2$$

หน่วยบำบัดน้ำเสียที่ถูกนำมาใช้ในการกำจัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการทางแอน็อกซิกนี้เหมือนกับที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการแบบแอโรบิก ได้แก่ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ระบบถังกรองจุลชีพ เป็นต้น เพียงแต่ขึ้นอยู่กับการควบคุมสภาวะสิ่งแวดล้อมภายในถังปฏิกิริยาให้มีความเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์สองจำพวกคือ จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดไนตริฟิเคชันและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดดีไนตริฟิเคชัน

แบคทีเรียสังเคราะห์แสง

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงถูกจัดอยู่ในกลุ่ม Anoxygenic phototrophic bacteria เป็นแบคทีเรียแกรมลบ เซลล์มีรูปร่างเป็นท่อน, โค้ง และมีรูปไข่ หรืออาจจะต่อกันเป็นสาย ขนาดเส้น

ผ่านศูนย์กลางของเซลล์ มีตั้งแต่ 0.3 ถึงมากกว่า 0.6 ไมโครเมตร การขยายพันธุ์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงจะขยายพันธุ์โดยการแบ่งเซลล์แบบ binary fission เซลล์จะมีสี ม่วง-แดง, น้ำตาล-ส้ม, น้ำตาล-เหลือง, แดง,น้ำตาล, เขียว พบได้ทั่วไปตามแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น แหล่งน้ำจืด น้ำเค็ม ฯลฯ ในสภาพไร้อากาศ-มีแสง

สามารถแบ่งแบคทีเรียสังเคราะห์แสงได้เป็น 2 กลุ่มคือ แบคทีเรียสีม่วง (purple bacteria) และ แบคทีเรียสีเขียว (green bacteria) แบคทีเรียสีม่วงจัดอยู่ในอันดับ Rhodospirillineae แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ Rhodospirillaceae และ Chromatiaceae ส่วนแบคทีเรียสีเขียวมีออร์แกเนลที่มีสารสีอยู่เรียกว่าคลอโรโซม (Chlorosomes) สามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อยคือ Chlorobiaceae และ Chloroflexaceae (วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล, 2540) แบคทีเรียสังเคราะห์แสงมีประโยชน์หลายๆประการด้วยกัน สามารถเลี้ยงในของเสียที่ได้จากแหล่งชุมชน และของเสียจากแหล่งการเกษตรหรือโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถนำแบคทีเรียสังเคราะห์แสงมาใช้บำบัดน้ำเสียได้

1.<u>Purple phototrophic bacteria</u>

แบคทีเรียกลุ่มนี้ มีแบคเทอริโอคลอโรฟิลล์ เอ และบี สารสีที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงอยู่ที่ไซโทพลาสมิก เมมเบรน อาจเป็นกระเปาะเล็กเป็นชั้นบาง หรือเป็นถุง มี 2 วงศ์ คือ

1.1 วงศ์ Rhodospirillaceae ได้แก่ กลุ่มของ purple non-sulfur bacteria เซลล์มีรูปร่างกลม ท่อน และเกลียว เพิ่มจำนวนโดยการแตกหน่อ หรือแบ่งตัวส่วนใหญ่เคลื่อนที่ได้ โดยทั่วไปต้องการออกซิเจนเล็กน้อย เป็นพวกโฟโตออร์แกโนโทรฟ (photoorganotroph) คือ ใช้สารอินทรีย์เป็นทั้งแหล่งคาร์บอน และตัวให้อิเล็กตรอนในการรีดิวส์คาร์บอนไดออกไซด์ บางชนิดอาจเติบโตได้ในสภาพออโตโทรป (autotroph) โดยใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นตัวให้อิเล็กตรอน แต่ไม่มีพวกใดที่สามารถใช้ธาตุซัลเฟอร์เป็นตัวให้อิเล็กตรอน การสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นในสภาพที่มีแสงและไม่มีออกซิเจน บางชนิดสามารถเติบโตได้ในสภาพมีออกซิเจน หรือมีออกซิเจนเล็กน้อย โดยการหายใจและใช้สารประกอบอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารในสภาพมีออกซิเจนโคโลนีมีสีส้ม-น้ำตาล ถึงม่วง-แดง ในสภาพไม่มีออกซิเจนบางพวกมีสีเหมือนสภาพมีออกซิเจน แต่บางพวกมีสีเขียว-เหลือง ตัวอย่างแบคทีเรียกลุ่มนี้เช่น *Rhodospirillum, Rhodocyclus* และ *Rhodopseudomonas*

1.2 วงศ์ Chromatiaceae ได้แก่ กลุ่มของ purple sulfur bacteria รูปร่างกลม รูปไข่ ท่อน รูปโค้ง และรูปเกลียว มีทั้งพวกเคลื่อนที่ได้และเคลื่อนที่ไม่ได้ พวกเคลื่อนที่ได้มีแฟลเจลลาที่ขั้วหลายเส้น ประกอบด้วยแบคเทริโอคลอโรฟิลล์ เอ หรือ บี แคโรทีนอยด์ ส่วนใหญ่เป็นพวกไม่ต้องการออกซิเจน ทุกชนิดสามารถเติบโตในสภาพโฟโตลิโทโทรฟ (photolithotroph) โดยใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือธาตุซัลเฟอร์เป็นตัวให้อิเล็กตรอนในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อใช้

ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะได้ธาตุซัลเฟอร์ซึ่งมักสะสมภายในเซลล์ และถ้าใช้ซัลเฟอร์ก็จะได้ซัลเฟต บางสายพันธุ์สามารถเจริญเติบโตในสภาพโฟโตออร์แกโนโทรฟ มีสีส้ม น้ำตาลจนถึงม่วง ตัวอย่างแบคทีเรียกลุ่มนี้ เช่น *Thiocystis* และ *Thiospirillum*

2. Green phototrophic bacteria

แบคทีเรียกลุ่มนี้ประกอบด้วยแบคเทริโอคลอโรฟิลล์ (bacteriochlorophyll) ซี และดีหรืออี มีเอเป็นจำนวนน้อย มีสีเขียวหรือน้ำตาล สารสีจะอยู่ในกระเปาะเล็กที่มีเมมเบรนล้อมรอบและอยู่ภายในเซลล์บางส่วนอาจจะต่อกับไซโทพลาสมิกเมมเบรน

2.1 วงศ์ Chlorobiaceae ได้แก่ กลุ่มของ Green sulfur bacteria เซลล์รูปกลม รูปไข่หรือท่อน ส่วนใหญ่ไม่เคลื่อนที่ภายในอาจมีแวคิวโอลหรือไม่มีเป็นพวกโฟโตลิโทโทรฟ ใช้ไฮโดรเจนซัลไฟต์เป็นตัวให้อิเล็กตรอนในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ธาตุซัลเฟอร์ที่ได้จะสะสมอยู่นอกเซลล์ และเชื้อสามารถออกซิไดส์ซัลเฟอร์ต่อไปเป็นซัลเฟตเป็นพวกไม่ต้องการออกซิเจน ไม่สามารถเติบโตในที่มืดในสภาพมีออกซิเจนเล็กน้อย ตัวอย่าง แบคทีเรียกลุ่มนี้ เช่น *Chlorobium* และ *Prosthecochloris*

2.2 วงศ์ Chloroflexaceae กลุ่มของ Green non-sulfur bacteria ต่างจากกลุ่มแรกเนื่องจากสามารถเจริญได้ในสภาพมีออกซิเจนโดยใช้สารอินทรีย์ ตัวอย่างที่สำคัญของแบคทีเรียในกลุ่มนี้ ได้แก่ *Chloroflexus*

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

1. แหล่งอาหาร

1.1 แหล่งคาร์บอน

อาหารจำพวกคาร์บอนที่เซลล์ต้องการมักจะได้จากแหล่งให้พลังงานเช่นเดียวกันนอกจากจุลินทรีย์พวกออโตโทรฟ (autotroph) และแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจะได้คาร์บอนจากคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนจุลินทรีย์จำพวกเฮเทอโรโทรฟ (heterotroph) จะใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน สำหรับจุลินทรีย์กึ่งต้องการอากาศ (facultative aerobe) เมื่อเมทาบอไลซ์คาร์บอนในสภาพไม่มีอากาศ ปริมาณคาร์บอนจากสับเสตรทร้อยละ 10 จะใช้ในการสร้างเซลล์ แต่ถ้าเลี้ยงในสภาพที่มีอากาศสมบูรณ์ คาร์บอนจากสับเสตรทประมาณร้อยละ 45-50 จะใช้ในการสร้างเซลล์ (อรพิน ภูมิภมร, 2526)

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในวงศ์ Rhodospirillaceae สามารถเจริญได้ในอาหารที่มีสารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนได้หลายชนิด (shipman *et al*., 1975) นอกจากนี้ยังเจริญได้ในอาหารสังเคราะห์วัสดุเศษเหลือใช้ทางเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น กากมันสำปะหลัง (สาวิตร ตระกูลน่า

เลื่อมใส, 2530) น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการใช้จุลินทรีย์ อุตสาหกรรมเคมี และน้ำทิ้งอื่นๆที่มีสารอินทรีย์สูง (Kobayashi and Kurata, 1978)

1.2 แหล่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในกลุ่ม purple bacteria ต้องการแหล่งไนโตรเจนจากเกลือแอมโมเนีย ไนเตรท ยูเรีย เปปโตน ยีสต์สกัด และกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ส่วนฟอสฟอรัสมีความจำเป็นต่อการสร้างกรดนิวคลีอิกและเอสเทอร์ (Shipman *et al.*,1977) ในสภาวะไร้อากาศ-มีแสง แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในวงศ์ Rhodospirillaceae สามารถตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศได้ และจะถูกยับยั้งเมื่อมีเกลือแอมโมเนียที่ปะปนในอาหาร และแก๊สไฮโดรเจนจากบรรยากาศ หรือออกซิเจนร้อยละ 4 ซึ่งทำให้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงไม่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ (Gest and Kamen, 1949)

1.3 แหล่งเกลือแร่

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงโดยส่วนใหญ่ต้องการแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญ และการสร้างผลิตผลต่างๆของเซลล์ ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม โคบอลต์ แมกนีเซียม แมงกานีส และเหล็ก (Hutner, 1946)

1.4 แหล่งอาหารเสริม

การเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจำเป็นต้องใช้แหล่งอาหารเสริมเพื่อเพิ่มอัตราการเจริญและปริมาณชีวมวลแบคทีเรียสังเคราะห์แสงแต่ละชนิดต้องการแหล่งอาหารเสริมต่างกันตามแต่ละสายพันธุ์ เช่น แบคทีเรียสังเคราะห์แสงพวก purple non-sulfur bacteria ต้องการวิตามินบางตัวในการเจริญ (Hutner, 1946) จึงอาจมีการเติมสารอาหารบางตัวลงไปเพื่อช่วยให้การเจริญดีขึ้น

2. พีเอชของอาหาร

ค่าพีเอชที่เหมาะสมของอาหารที่ใช้เลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแบคทีเรีย ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ระหว่าง 7.0-8.5 แต่บางสายพันธุ์มีพีเอชเหมาะสมระหว่าง 6.5-6.8 (Pfennig, 1967; Shipman *et al*.,1977) ส่วนพวก purple non-sulfur bacteria มีพีเอชประมาณ 7.0-7.5 (Van Neil, 1944) นอกจากนี้ในระหว่างการเจริญการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของอาหารอาจเกิดขึ้นได้จากการใช้หรือปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ การผลิตกรดซัลฟูริกโดยการออกซิเดชันไนโตรเจนซัลไฟด์หรือไธโอซัลเฟต และการสะสมกรดอินทรีย์ในอาหาร (Shipman *et al*.,1977) นอกจากนี้ยังพบว่าที่พีเอช 7.0 เซลล์จะให้ปริมาณแบคเทอริโอคลอโรฟิลล์และคาโรทินอยด์สูงสุด (สุวิทย์ สุวรรณโณ, 2535)

3. **ออกซิเจน**

สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์แสงของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง คือ สภาวะไร้อากาศ-มีแสง มีหลายสายพันธุ์ที่สามารถเจริญได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน โดยเฉพาะ purple non-sulfur bacteria ในสกุล *Rhodopseudomona* และ *Rhodospirillum* ซึ่งเป็นชนิดที่ต้องการอากาศเล็กน้อย และเจริญได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจน ส่วนมากเพอร์เพิลแบคทีเรียเป็นชนิดที่ไม่ต้องการอากาศ (oligo anaerobes) พวก purple non-sulfur bacteria ซึ่งสามารถเจริญเติบโตในแหล่งอาหารอินทรีย์ภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสงได้ (Kondrat'eva, 1965 อ้างโดย Shipman *et al.*,1977)

4. **อุณหภูมิ**

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสามารถเจริญเติบโตได้ในอุณหภูมิช่วงกว้าง การเจริญเติบโตสูงสุดและการรีดักชันคาร์บอนไดออกไซด์ จะเกิดขึ้นที่ช่วงอุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตคือ 37 องศาเซลเซียส (Van Niel.,1944;Shipman *et al*.,1977) อุณหภูมิต่ำมีผลเสียต่อการเจริญของเชื้อ โดยอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสมีผลทำลายโครงสร้างของแบคเทอริโอคลอโรฟิลล์และทำให้เซลล์ตาย (Shipman *et al.*,1977;Sasaki and Nakai,1979)

5. **ความเข้มแสง**

ความเข้มแสงมีผลต่ออัตราการเจริญ การเพิ่มผลผลิตของเซลล์ การสร้างรงควัตถุและการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ที่ความเข้มแสงต่ำพวก purple non-sulfur photosynthetic bacteria จะดำรงชีพแบบ photoheterotrophic โดยใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งอิเล็กตรอนและแหล่งคาร์บอน ส่วนในสภาวะความเข้มสูงจะดำรงชีพแบบ photoautotrophic สังเคราะห์สารประกอบภายในเซลล์จากคาร์บอนไดออกไซด์ (Shipman *et al.*,1977) ความเข้มแสงที่เหมาะต่ออัตราการเจริญและการสร้างรงควัตถุอยู่ในช่วง 1,000-5,000 ลักซ์ และการให้ผลผลิตของเซลล์สูงสุดที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ ค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 3,000-5,000 ลักซ์ (Kobayashi and Kurata, 1978; Prasertsan *et al*., 1993)

<u>ระบบบำบัดน้ำเสีย</u> ระบบบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้ตามลักษณะของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบบำบัด คือ ลักษณะที่จุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในถังปฏิกิริยา (suspended growth treatment) และลักษณะที่จุลินทรีย์ถูกจับอยู่ที่ตัวกลางหรือการตรึง (immobilized cell)

1. **ลักษณะที่จุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในถังปฏิกริยา** (suspended growth treatment) ซึ่งแบ่งได้เป็น

กระบวนการใช้ออกซิเจน เช่น บ่อธรรมชาติ (Oxidation pond), บ่อให้อากาศ(Aerated

lagoon) ระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) เป็นต้น

บ่อธรรมชาติ (Oxidation pond) เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างแบคทีเรียและสาหร่ายโดยสาหร่ายจะสังเคราะห์แสงซึ่งอาศัยคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนและแสงแดดเป็นแหล่งพลังงาน แล้วปลดปล่อยก๊าซออกซิเจน ซึ่งแบคทีเรียจะใช้ในกระบวนการเมตาบอลิสมในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยแบคทีเรียจะปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและใช้พลังงานเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ สาหร่ายก็จะอาศัยคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนต่อไป ดังนั้นระบบนี้จึงเป็นการพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับความลึกของบ่อ ซึ่งบ่อที่มีความลึกน้อยกว่า (เช่น 0.5 เมตร) จะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าบ่อที่มีความลึกมากๆ เนื่องจากสาหร่ายจะได้รับแสงอย่างเต็มที่ สามารถให้ออกซิเจนกับแบคทีเรียเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว

บ่อให้อากาศ (Aerated lagoon) เป็นระบบบ่อที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบบ่อธรรมชาติ เนื่องจากมีการติดตั้งเครื่องให้อากาศ เพื่อให้มีปริมาณออกซิเจนอย่างเพียงพอในการที่แบคทีเรียจะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ระบบนี้จึงมีความลึกมากกว่าและสิ้นเปลืองเนื้อที่น้อยกว่าระบบบ่อธรรมชาติ

ระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) เป็นระบบที่มีการหมุนเวียนตะกอนเซลล์กลับเข้ามาใช้ในระบบ เพื่อให้การบำบัดมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเซลล์ในระบบจึงต้องมีการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับระบบด้วย ระบบนี้ประกอบด้วย 2 หน่วยคือ ถังเติมอากาศ (aeration tank) และถังตกตะกอน (setting tank) ระบบนี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงถึง 90-95%แต่เสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าไฟฟ้าสูง

กระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน เช่น บ่อไร้อากาศ, ถังไร้อากาศ เป็นต้น

บ่อไร้อากาศ เป็นระบบบ่อที่ขุดให้มีความลึกมากกว่า 2 เมตรสามารถรับน้ำเสียได้ปริมาณมากและน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงได้ เป็นระบบที่เสียค่าใช้จ่ายต่ำ ลงทุนน้อย ให้ประสิทธิภาพการบำบัดดีพอควร ข้อเสียที่พบคือ มีกลิ่นเหม็น

ถังไร้อากาศ เป็นการใช้ถังหมักแทนการใช้บ่อบำบัด ทำให้ลดปัญหาเรื่องกลิ่น ต้องมีการลงทุนเพิ่มขึ้น แต่จะได้ผลตอบแทนคุ้มค่าหากมีการเก็บกักก๊าซที่เกิดขึ้น และนำไปใช้ประโยชน์เนื่องจากก๊าซมีเธนใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

2. **ลักษณะที่จุลินทรีย์ถูกจับอยู่ที่ตัวกลางหรือการตรึง** (Immobilized cell)

การจับจุลินทรีย์ที่ตัวกลางหรือ การตรึงจุลินทรีย์ในระบบ แบ่งได้เป็น

กระบวนการใช้ออกซิเจน เช่นระบบโปรยกรอง (Trickling filter), ระบบจานหมุนชีวภาพ (Rotating biological disks) เป็นต้น

ระบบโปรยกรอง (Trickling filter) เป็นระบบที่จุลินทรีย์มีการยึดเกาะกับตัวกลางที่มีความกลวงเพื่อให้อากาศไหลผ่านได้โดยมีการปล่อยหรือโปรยน้ำจากท่อที่ติดอยู่กับแกนหมุน ซึ่งจะหมุนอย่างช้าๆ เพื่อโปรยน้ำลงทางด้านบนของถังบำบัดน้ำเสียที่บรรจุตัวกลางที่มีจุลินทรีย์ยึดเกาะ น้ำจะไหลผ่านไปบนตัวกลางและสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย

ระบบจานหมุนชีวภาพ (Rotating biological disks) เป็นระบบที่จุลินทรีย์มีการยึดเกาะกับตัวกลางเช่นกัน แต่ตัวกลางซึ่งมีลักษณะเป็นจานหรือแผ่นบางๆที่มีความพรุนจะมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดและอย่างช้าๆ ตัวกลางจะจุ่มอยู่ในบ่อน้ำเสียเมื่อตัวกลางหมุนสารอินทรีย์ในน้ำเสียก็จะถูกย่อยสลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่แบคทีเรียที่เกาะกับตัวกลางได้สัมผัสกับอากาศ

กระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน เช่นถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter), ระบบปฏิกรณ์ชั้นสลัดจ์แอนแอโรบิกแบบไหลขึ้นหรือ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), ชั้นฟลูอิดไดซ์ (Fluidized Beds) เป็นต้น

ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) เป็นระบบที่อาศัยการมีตัวกรองให้จุลินทรีย์ยึดเกาะโดยมีจุดประสงค์เพิ่มปริมาณเซลล์ในระบบโดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเธน เนื่องจากเชื้อกลุ่มนี้เจริญช้ามาก มีอัตราการเจริญต่ำ รวมทั้งปริมาณเซลล์ที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่าปริมาณเซลล์ของระบบให้อากาศมาก ดังนั้นการรักษาให้จุลินทรีย์อยู่ในระบบนานๆจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดได้เป็นอย่างดี

ระบบปฏิกรณ์ชั้นสลัดจ์แอนแอโรบิกแบบไหลขึ้นหรือ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) เป็นระบบที่ได้รับการออกแบบจากชาวเนเธอร์แลนด์ น้ำเสียจะถูกป้อนเข้าถังบำบัดจากทางด้านล่าง เพื่อให้ไหลขึ้นผ่านอนุภาคตะกอนจุลินทรีย์ที่เกาะกลุ่มกันเป็นชั้นเรียกว่า sludge bed และ sludge blanket ก๊าซที่เกิดขึ้นจะถูกเก็บกัก ในถังเก็บก๊าซซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน

ชั้นฟลูอิดไดซ์ (Fluidized Beds) เป็นระบบที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าจากทางด้านล่างของระบบ และปล่อยก๊าซให้ผ่านขึ้นไปเพื่อทำให้ตัวกลางที่มีในระบบหมุนวนในระบบและสัมผัสกับน้ำเสียได้อย่างทั่วถึง

การตรึงเซลล์แบคทีเรียในระบบจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำและลดค่าซีโอดีได้มากขึ้นเนื่องจากเป็นการหมุนเวียนเซลล์ยู่ในระบบและตรึงเซลล์ให้อยู่ได้นานขึ้น

วิธีที่ใช้ในการตรึงเซลล์จุลินทรีย์ ได้แก่

1.**วิธีที่ใช้ในการทำให้เซลล์จุลินทรีย์จับกับพาหะที่ไม่ละลายน้ำ** การทำให้เซลล์จุลินทรีย์จับกับพาหะมีอยู่ 2 วิธีใหญ่ๆ คือ

<u>การดูดซับ</u> เนื่องจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในสภาพธรรมชาติส่วนใหญ่ไม่ได้อยู่ในสภาพอิสระมีการเจริญอยู่บนผิวของของแข็ง เช่นจุลินทรีย์ที่อยู่บนดิน จุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้และ *Rhizobium* ที่จับกับรากของพืชตระกูลถั่ว เป็นต้น ดังนั้นการดูดซับจึงเป็นวิธีที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ที่ทำได้ง่ายที่สุด

กรรมวิธีการดูดซับจุลินทรีย์และสปอร์ไว้บนผิวของสารพาหะทำได้โดยการบรรจุสารพาหะลงไปในคอลัมน์ แล้วปล่อยให้สารแขวนลอยของเซลล์ไหลผ่านจนกระทั่งจำนวนเซลล์ต่อมิลลิลิตรของสารที่ไหลออกมามีค่าคงที่ หรืออาจทำโดยการผสมสารพาหะเข้ากับเซลล์แล้วเขย่าจนกระทั่งจำนวนเซลล์ต่อมิลลิลิตรในของเหลวมีค่าคงที่

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับคือ พีเอช พื้นที่ผิว อายุของเซลล์ ทั้งนี้เนื่องจากส่วนประกอบของผนังเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับการจับกับพาหะแปรไปตามอายุและสภาวะแวดล้อมของเซลล์

<u>การทำให้จับกับพาหะด้วยพันธะโควาเลนท์</u> โดยการทำให้เซลล์จับกับพาหะด้วยพันธะโควาเลนท์ โดยอาจผ่านทางแขนในที่ว่าง ซึ่งการจับกันโดยพันธะโควาเลนท์นี้จะทำให้เซลล์เจริญได้ในอัตราที่ช้าและตายในที่สุด

2. **การเชื่อมโยง** มีรายงานเกี่ยวกับการใช้สารที่มีหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่เชื่อมโยงเซลล์จุลินทรีย์ที่มีชีวิตเข้าด้วยกันน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากการตรึงด้วยวิธีนี้ จะทำให้เซลล์ตายหรือสูญเสียแอคติวิตีสูง

3.**การล้อมรอบหรือการห่อหุ้ม** เป็นการตรึงเซลล์จุลินทรีย์โดยอาศัยการล้อมรอบไว้ภายในโครงตาข่ายของเจล เป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุด โดยพอลิเมอร์ที่ใช้ในการล้อมรอบเจล ได้แก่

<u>พอลิอะคริลาไมด์เจล</u> เนื่องจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ไม่ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ จึงทำให้การรายงานเกี่ยวกับการหาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้พอลิอะคริลาไมด์ล้อมรอบเซลล์จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ (เซลล์แต่ละชนิดคงทนต่อสารเคมีไม่เท่ากัน) มีมากมายเนื่องจากพอลิอะคริลาไมด์เป็นสารที่มีพิษต่อเซลล์ ปฏิกิริยาการพอลิเมอไรเซชันเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน อาจทำให้จุลินทรีย์บางชนิดตายได้ โดยทั่วไปสามารถป้องกันผลกระทบที่มาจากความร้อนของปฏิกิริยาได้ด้วยการทำให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ (แช่สารละลายในน้ำแข็ง)

<u>คอลลาเจน</u> คอลลาเจนเป็นโปรตีนเส้นใย กระจายได้ดีเมื่ออยู่ในสารละลายที่มีพีเอช 2.5-4.5 เกิดการจับกับผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ด้วยพันธะไฮโดรเจนและพันธะอิออนิค

<u>เจลาติน</u> เจลาตินเป็นอนุพันธ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์คอลลาเจน ถูกนำมาใช้ในการตรึงเซลล์จุลินทรีย์

<u>อะการ์/อะกาโรส</u> อะการ์เป็นพอลิแซคคาไรด์ที่แยกได้จากสาหร่ายสีแดงสกุล *Gracilaria* , ,*Gelidium* ส่วนอะกาโรสนั้นคืออะการ์ที่ถูกทำให้บริสุทธิ์เพิ่มขึ้นด้วยการใช้เกลือเช่น cetylpyridinium chloride ทำให้อะกาโรเพคตินที่มีซัลเฟต ไพรูเวต ในโครงสร้างของโมเลกุลตกตะกอนและกรองแยกในขณะที่ร้อน โดยอะกาโรสเจลจะมีความแข็งแรงมากกว่าอะการ์เจล

<u>เคปปา-คาร์ราจิแนน</u> เคปปา-คาร์ราจิแนนเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่แยกได้จากสาหร่ายสีแดงสกุล *Eucheuma* มีโครงสร้างทางเคมีประกอบด้วย 3,6-anhydro-D-galactose เชื่อมต่อกับ D-galactose-4-sulfate ด้วยพันธะแบบ1,4ไกลโคซิเดต

<u>แคลเซียม-อัลจิเนท</u> กรดอัลจินิคเป็นโคพอลิเมอร์ของกรดแมนนูโรนิคกับกรดกูลูโรนิค ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบตา-ดี(1,4)ไกลโคซิดิค ถูกสกัดออกมาจากผนังเซลล์ของสาหร่ายสีน้ำตาลสกุล *Laminaria* ด้วยน้ำร้อนที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์เล็กน้อย

การตรึงเซลล์จุลินทรีย์ด้วยอัลจิเนทนั้น ทำได้โดยการดูดสารผสมของเซลล์ (1-2% โดยน้ำหนักของเซลล์เปียก) กับโซเดียมอัลจิเนท (1-7% โดยน้ำหนัก) ผ่านกระบอกฉีดยาแล้วปล่อยให้หยดลงสู่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.05-0.5 โมลาร์ที่เย็นปล่อยให้เม็ดเจลอยู่ในสารละลายนาน 2 ชั่วโมงเพื่อให้แคลเซียมอิออนเข้าแทนที่โซเดียมอิออน ความแข็งของเม็ดเจลจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของโซเดียมอัลจิเนท ซึ่งถ้าใช้ชนิดที่มีอัตราส่วนของกรดกูลูโรนิคต่อแมนนูโรนิคสูง ก็จะได้เม็ดเจลที่มีความเสถียรสูง

<u>ไคโตแซน</u> ไคโตแซน คืออนุพันธ์ของไคตินที่มีหมู่อะซิติลบางส่วนถูกขจัดออกไปด้วยการไฮโดรไลซ์ด้วยด่างเข้มข้น ละลายได้ในกรดอินทรีย์เจือจางที่มีพีเอชต่ำกว่า 6 เกิดการจับอิออนตรงกันข้ามกลายเป็นเจล การล้อมรอบเอนไซม์ด้วยไคโตแซนเจลที่มีลักษณะเป็นเม็ดกลม ทำได้ดังนี้ ผสมสารละลายไคโตแซนอะซิเตทกับเซลล์แล้วหยดลงในสารละลายของสารที่มีอิออนลบหลายอิออน พีเอชต่ำกว่า 6 ซึ่งพีเอชนี้หมู่อะมิโนของไคโตแซนจะอยู่ในรูป $-NH_3^+$ เกิดการจับกับอิออนลบกลายเป็นเม็ดเจล

การใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในการบำบัดน้ำเสีย

แบคทีเรียสังเคราะห์แสง สามารถพบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ เช่นแหล่งน้ำ ดินโคลน เป็นเชื้อที่สามารถใช้คาร์บอนไดออกไซด์และตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ ตลอดจนใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานในการดำรงชีพได้ จึงสามารถใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในการบำบัดน้ำ

เสียจากอุตสาหกรรมต่างๆได้เช่น อุตสาหกรรมอาหาร, อุตสาหกรรมเคมีสังเคราะห์, อุตสาหกรรมปิโตรเลียมและอื่นๆ และสามารถนำเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียและของเสียมาใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนสำหรับเลี้ยงสัตว์และเป็นปุ๋ยได้ (Kobayashi, 1978) และมีประสิทธิภาพที่สูงในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายๆประเภท (Kobayashi, 1973) การใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงบำบัดน้ำเสียจึงเป็นวิธีที่น่าสนใจและเหมาะสมแก่การนำมาใช้งาน

มีการทดลองใช้แบคทีเรียบำบัดน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ สุวิทย์ สุวรรณโณ (2535) แยกแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจากน้ำเสียของโรงงานแปรรูปอาหารทะเลได้จำนวน 4 สายพันธุ์ (T6, R4, R5, R7) และทุกสายพันธุ์เป็นเชื้อ *Rhodocyclus gelatinosus* กลุ่ม purple non-sulfer วงศ์ *Rhodospirillaceae Gelatinosus* R7 ที่เลี้ยงในน้ำนึ่งปลาทูน่าที่เจือด้วยน้ำต้มกุ้ง 10 เท่าภายใต้สภาวะไร้อากาศ-มีแสง พบว่าที่พีเอช 7 และความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ การเจริญของเชื้อสามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 85.8

ปิยะรัตน์ ธนโกเศศ (2537) เลี้ยง *Rhodobacter sp.*ในน้ำทิ้งจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็งในถังหมักแบบเปิด ปริมาตรใช้งาน 30 ลิตรภายใต้สภาวะไม่ปลอดเชื้อ อากาศน้อย-มีแสงและไม่ควบคุมอุณหภูมิ พบว่า ระบบสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้มากที่สุด 1.07 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ได้ปริมาณเซลล์ 1.17 กรัมต่อลิตร ลดค่าซีโอดีและบีโอดีได้ร้อยละ 85.94 และ 91.8 ตามลำดับ

สมนึก แซ่โกย (2539) ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปน้ำยางพารา โดยทดลองเลี้ยง *Rhodocyclus spp.2* สายพันธุ์คือ TRS 102 และ KT 502 ในน้ำเสียจากการแปรรูปน้ำยางพารา พบว่าที่สภาวะไร้อากาศ-มีแสง (ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์) สามารถลดค่าซีโอดีได้สูงสุดคิดเป็นในร้อยละอยู่ในช่วง 78.4-82.0 โดยพบว่าเชื้อสายพันธุ์ TRS 2 ลดค่าซีโอดีสูงกว่าในสายพันธุ์ KT502 นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของพีเอช และความเข้มแสงที่เหมาะสม ในการเจริญและการลดค่าซีโอดีของ *Rhodocyclus spp.* 2 สายพันธุ์ ในน้ำเสียจากการแปรรูปน้ำยางพาราภายใต้สภาวะไร้อากาศ-มีแสง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ พีเอช 7.0 ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์

จรินทร์ ทองประดิษฐ์ (2542) จากตัวอย่างน้ำเสีย 54 ตัวอย่างที่เก็บจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น 3 โรงงานในเขตจังหวัดสงขลา สามารถแยกแบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่ม purple non-sulfur ได้ 10 สายพันธุ์ เมื่อนำแบคทีเรียสังเคราห์แสงที่แยกได้มาเลี้ยงในอาหารน้ำเสียจากบ่อบำบัดน้ำเสียรวมของบริษัทสยามเซมเพอร์เมด จำกัด ซึ่งมีค่าบีโอดี,ซีโอดี,ไนโตรเจน

ทั้งหมด,ของแข็งทั้งหมด และของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับ 502, 1,990, 298, 1,328 และ 93 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ พีเอชเท่ากับ 7.45 ภายใต้สภาวะไร้อากาศ-มีแสง อุณหภูมิห้อง (35-38 องศาเซลเซียส) นาน 40 ชั่วโมงพบว่าทุกสายพันธุ์สามารถเจริญได้ในอาหารน้ำเสีย โดยลดค่าซีโอดีในช่วงร้อยละ 20.0 - 34.1 สายพันธุ์ SS51 และ SY40 ซึ่งแยกได้จากบ่อบำบัดน้ำเสียของบริษัทสยามเซมเมอร์เมด จำกัด และบริษัทเซฟสกินคอร์เปอร์เรชัน (ประเทศไทย) จำกัด ตามลำดับ ลดค่าซีโอดีเท่ากับร้อยละ 34.1 และ33.9 ตามลำดับ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียและเพิ่มปริมาณเซลล์ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง จึงทดลองเลี้ยงเชื้อผสม พบว่าการเลี้ยงเชื้อผสมระหว่างสายพันธุ์ SS51 และSY40 ลดค่าซีโอดีเท่ากับร้อยละ 55.1 ผลการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญ การลดค่าซีโอดีและศึกษาคุณภาพเซลล์ จากการเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงผสมสายพันธุ์ SS51 และ SY40 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ การผสมแบคทีเรียสายพันธุ์ SY40 ปริมาณ 7 มิลลิลิตร ลงไปในอาหารเลี้ยงเชื้อหลังการเติมแบคทีเรียสายพันธุ์ SS51 ปริมาณ 14 มิลลิลิตร นาน 12ชั่วโมง พีเอชเริ่มต้น 6.5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ (หลอดทังสเตน) สามารถลดค่าซีโอดีเท่ากับร้อยละ 80.5

Nishizawa และคณะ (1980) เลี้ยง *Rhodopseudomonas sphaeroides* และ *Rubrivivax gelatinosus (Rhodopseudomonas gelatinosus)* ในน้ำทิ้งจากการต้มถั่วเหลืองของโรงงานผลิตเต้าเจี้ยว ซึ่งมีค่าซีโอดีเริ่มต้นประมาณ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง พบว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เชื้อ *Rhodopseudomonas sphaeroides* สามารถลดค่าซีโอดีได้มากที่สุด ร้อยละ 73 ส่วนเชื้อ *Rubrivivax gelatinosus (Rhodopseudomonas gelatinosus)* ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส สามารถลดซีโอดีได้มากที่สุด ร้อยละ 81

Noparatnaraporn และคณะ (1980) เลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในสภาวะอากาศ-ไร้แสงในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบ ซึ่งในน้ำทิ้งมีค่าซีโอดีสูงพบว่าสามารถลดค่าซีโอดีลดลงได้มากกว่าร้อยละ 80

Noparatnaraporn และคณะ (1986) เลี้ยงเชื้อ *Rhodopseudomonas sphaeroides* P47 ในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสับปะรดซึ่งมีแหล่งคาร์บอนเป็นน้ำตาล ซูโครส กลูโคส และฟรักโทส เมื่อทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ในสภาวะมีอากาศ-ไร้แสง สามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 85.3 ในเวลา 60 ชั่วโมง

Sasaki และคณะ (1991) ใช้น้ำต้มถั่วเหลือง ในการเลี้ยง *Rubrivivax (Rhodocyclus) gelatinosus* โดยใช้เชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 เลี้ยงในถังหมักขนาด 3 ลิตร ภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสง เลี้ยงเชื้อนาน 40 ชั่วโมง สามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 80

Prasertsan และคณะ (1993) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของ *Rhodocyclus gelatinosus* ในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตปลาทูน่า น้ำล้างกุ้ง และน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็งในสภาวะไร้อากาศ-มีแสง พบว่าสายพันธุ์ R7 สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากการผลิตปลาทูน่าที่เจือจาง 10 เท่าได้ร้อยละ 78 และจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมพบว่าที่ พีเอช 7 และความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ สามารถลดค่าซีโอดีได้ ร้อยละ 86

Takeno และคณะ (1999) ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง *Rhodobacter sphaeroides IL106* กำจัดฟอสฟอรัสจากน้ำเสียในฟาร์มหอยนางรม ภายใต้สภาวะไร้อากาศ พบว่าสามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 58 และสามารถกำจัด PO_4^{3-} ได้ ร้อยละ 92

ตารางที่ 4 การบำบัดน้ำเสียแหล่งต่างๆโดยใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง

Table 4 Treatment of various wastewater sources by photosynthetic bacteria.

Source	strains	conditions	% COD removal	References
Seafood factory	*Rhodocyclus gelatinosus* R7	anaerobic-light	86	Prasertsan *et al*.,(1993)
Seafood frozen factory	*Rhodobacter sp.*	microaerobic-light	85.94	Tanakoset (1994)
Rubber factory	*Rhodocyclus spp.*	anaerobic-light		Koy (1996)
	TRS 102	anaerobic-light	82.25	
	KT 502	anaerobic-light	78.35	
Rubber factory	SS51	anaerobic-light	34.1	Thongpradit (1999)
	SY40	anaerobic-light	33.9	
	SS51 + SY40	anaerobic-light	80.5	
Oyster farm	*Rhodobacter sphaeroides* IL 106	anaerobic-light	58	Takeno *et al*., (1999)

ซึ่งจากตารางที่แสดงรวบรวมผลการใช้แบคทีเรียบำบัดน้ำเสียจากหลายๆแหล่งที่มา จะเห็นได้ว่าสามารถใช้แบคทีเรียบำบัดน้ำเสียได้เป็นอย่างดี ซึ่งน้ำเสียจากแหล่งที่มาที่แตกต่างกันสามารถใช้เชื้อแบคทีเรียแต่ละชนิดบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากนี้ในหลายๆงานวิจัยพบว่าเมื่อนำแบคทีเรียมาตรึงกับตัวกลางหรือตัวพยุงจะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น สามารถกำจัดสารพิษและลดค่าซีโอดีได้มากขึ้น

การบำบัดน้ำเสียโดยแบคทีเรียที่ถูกตรึง

Nagadomi และคณะ (1999) กำจัดไนโตรเจนจากน้ำในบ่อเลี้ยงปลาโดยใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง *Rhodobacter sphaeroides* โดยตรึงกับ Polyvinyl Alcohol Beads (PVA) และ alginate ซึ่งทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพความสามารถในการลดค่าซีโอดีและกำจัดไนโตรเจนของจุลินทรีย์ที่ไม่ถูกตรึงและจุลินทรีย์ที่ถูกตรึงพบว่า จุลินทรีย์ที่ถูกตรึงมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนและลดค่าซีโอดีได้ดีกว่า จากการทดลองตรึงจุลินทรีย์ด้วย alginate พบว่าสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดี ได้ผลลดค่าซีโอดีและสารประกอบไนโตรเจนได้โดยประสิทธิภาพในการตรึงจุลินทรีย์ด้วย alginate ค่อนข้างดีกว่าการตรึงจุลินทรีย์ด้วย PVA ซึ่งการตรึงด้วย alginate จะสามารถลดค่าซีโอดีและปริมาณไนเตรตได้สูงกว่า

Cheng และคณะ (1998) บำบัดน้ำเสียและกำจัดคาร์บอน-ไนโตรเจนจากน้ำเสียของชุมชนโดยใช้ phosphorylated PVA ตรึงจุลินทรีย์ในระบบ continuous aeration vessel โดยศึกษาการลดค่าซีโอดีและลดปริมาณไนโตรเจนรวมทั้งหมด พบว่าการบำบัดน้ำเสียและกำจัดคาร์บอน-ไนโตรเจนจากน้ำเสียของชุมชนโดยใช้ phosphorylated PVA ตรึงจุลินทรีย์ในระบบ continuous aeration vessel สามารถลดค่าซีโอดีและกำจัดไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยสามารถลดค่าซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 90 และลดปริมาณไนโตรเจนรวมทั้งหมดได้ประมาณร้อยละ 45

Feng และคณะ (1997) ใช้ *Pseudomonas sp.* Strain M285 ที่ตรึงกับ diatomaceous earth beads กำจัด 3,5,6 trichioro-2-pyridinol (TCP) TCPในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งน้ำเสียจะถูกนำผ่านคอลัมน์ซึ่งมี *Pseudomonas* sp. Strain M285 ที่ตรึงอยู่ จากการทดลองพบว่าการใช้ *Pseudomonas sp.* Strain M285 ตรึงกับ diatomaceous earth beads ในคอลัมน์เพื่อกำจัด 3,5,6 trichioro-2-pyridinol (TCP) ในน้ำเสีย มีประสิทธิภาพโดยสามารถที่จะกำจัด TCP ได้เป็นอย่างดี โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด TCP อยู่ในช่วงร้อยละ 80-100

Shimomura และคณะ (1997) กำจัด Trichloroethylene (TCE) บนน้ำผิวดินโดยใช้ *Methylocystis sp.* ที่ตรึงกับ calcium alginate gel beads ในระบบ fluidized-bed bioreactor (FBB) พบว่าเมื่อระบบทำงานปริมาณ TCE ในน้ำเสียจะลดลงโดยปริมาณ TCE ในน้ำเสียที่เข้า

ระบบมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.9-1.6 มิลลิกรัมต่อลิตร และในน้ำเสียที่ออกจากระบบจะมีค่าปริมาณ TCE ลดลงเหลือประมาณ 0.1-0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งการกำจัด TCE โดยใช้ *Methylocystis sp.* ที่ตรึงกับ calcium alginate gel beads ในระบบ fluidized-bed bioreactor (FBB) สามารถสรุปได้ว่ามีประสิทธิภาพที่ดี โดยร้อยละการกำจัด TCE อยู่ ในช่วงร้อยละ 80-90

Hallas และคณะ (1992) บำบัดน้ำเสียโดยกำจัด Glysophate ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยให้น้ำเสียผ่านคอลัมน์ที่ตรึงแบคทีเรียด้วย GDA พบว่าจากการทดสอบการตรึงเซลล์แบคทีเรียเพื่อใช้บำบัดให้ผลดีเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมด้วยระบบทางชีวภาพ Shen และคณะ (1993) ตรึงแบคทีเรียสังเคราะห์แสง *Rhodobacter spaheroides* กับ PVA เพื่อบำบัดน้ำเสีย(ทดสอบ)ในระบบบำบัดพบว่าสามารถกำจัด NO_3-N ได้อยู่ในช่วง 50-700 ppm เช่นเดียวกับ Guerrero และคณะ (1997) บำบัดน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปปลา ในระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่มีการตรึงจุลินทรีย์ ภายใต้สภาวะที่มีแอมโมเนียสูง พบว่าสามารถบำบัดค่าซีโอดีได้สูง โดยสามารถบำบัดได้มากกว่าร้อยละ 80

Kobayashi และคณะ (1982) ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในการกำจัด H_2S จากน้ำทิ้งในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ โดยตรึง *Chlorobium* ผ่านคอลัมน์เพื่อการบำบัด พบว่าสามารถกำจัด H_2S ได้ร้อยละ 81-95

จะเห็นได้ว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ถูกตรึงเป็นวิธีการที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ไม่ว่าจะเป็นน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล ,โรงงานแปรรูปน้ำยางข้นหรือบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งการบำบัดน้ำเสียอาจเพิ่มประสิทธิภาพได้โดยคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมกับน้ำเสียนั้นๆอย่างแท้จริงและตรึงจุลินทรีย์ให้อยู่ในระบบได้นานขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. คัดเลือกสายพันธุ์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่เหมาะสมกับน้ำเสียแหล่งต่างๆ
2. คัดเลือกตัวพยุงที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่คัดเลือกได้
3. บำบัดน้ำเสียโดยการใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงไม่ตรึงรูปและตรึงรูปในระบบเปิด