บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการเจริญของแบคทีเรีย

การบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีชีวภาพ เป็นการใช้จุลินทรีย์ (microbes) โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรีย (bacteria) ไปย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งโดยใช้เป็นอาหารในการดำรงชีวิตเช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ดังนั้น ความรู้เกี่ยวกับการดำรงชีพของแบคทีเรียจึงเป็นพื้นฐานในการศึกษาหลักการของการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีชีวภาพ

2.1.1 ประเภทของแบคทีเรีย

แบคทีเรียแพร่พันธุ์ได้ด้วยการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนแบบทวีคูณ คือ 1,2,4,8 เรื่อยไป ในการสร้างเซลล์ใหม่ แบคทีเรียจะต้องใช้คาร์บอน ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส และจะต้องใช้พลังงานด้วย แบคทีเรียส่วนมากจะใช้พลังงานที่ได้จากการย่อยสลาย (oxidation) สารเคมีต่างๆ ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ (chemosynthesis) ดังนั้น แบคทีเรียจึงอาจแบ่งได้เป็นสองประเภท ตามลักษณะของสารเคมีที่ใช้เป็นพลังงาน คือ

1) Autotrophic Bacteria แบคทีเรียชนิดนี้จะใช้ออกซิเจนอิสระ (free oxygen) ย่อยสลายสารอนินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงาน และจะใช้คาร์บอนจากคาร์บอนไดซ์ออกไซด์ แบคทีเรียประเภทนี้จึงสามารถสังเคราะห์สารอินทรีย์ในเซลล์ได้จากสารอนินทรีย์ โดยเรียกกลุ่มนี้ว่า Autotrophic bacteria เช่น Nitrifying bacteria ซึ่งสามารถเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนเตรต

2) Heterotrophic Bacteria แบคทีเรียประเภทนี้จะได้พลังงานและธาตุคาร์บอนจากสารอินทรีย์ แบ่งออกเป็น

- aerobic bacteria เป็นแบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจนอิสระไปย่อย

สลายสารอินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงาน

- anaerobic bacteria เป็นแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้โดยไม่ต้องอาศัยออกซิเจนอิสระ แต่จะใช้ออกซิเจนที่อยู่ในสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ เช่น NO_3 , SO_4 เป็นต้น

- facultative bacteria เป็นแบคทีเรียที่สามารถดำรงชีพอยู่ได้ทั้งแบบ aerobic และ anaerobic ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนในสภาวะแวดล้อมที่แบคทีเรียอาศัยอยู่

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของแบคทีเรีย

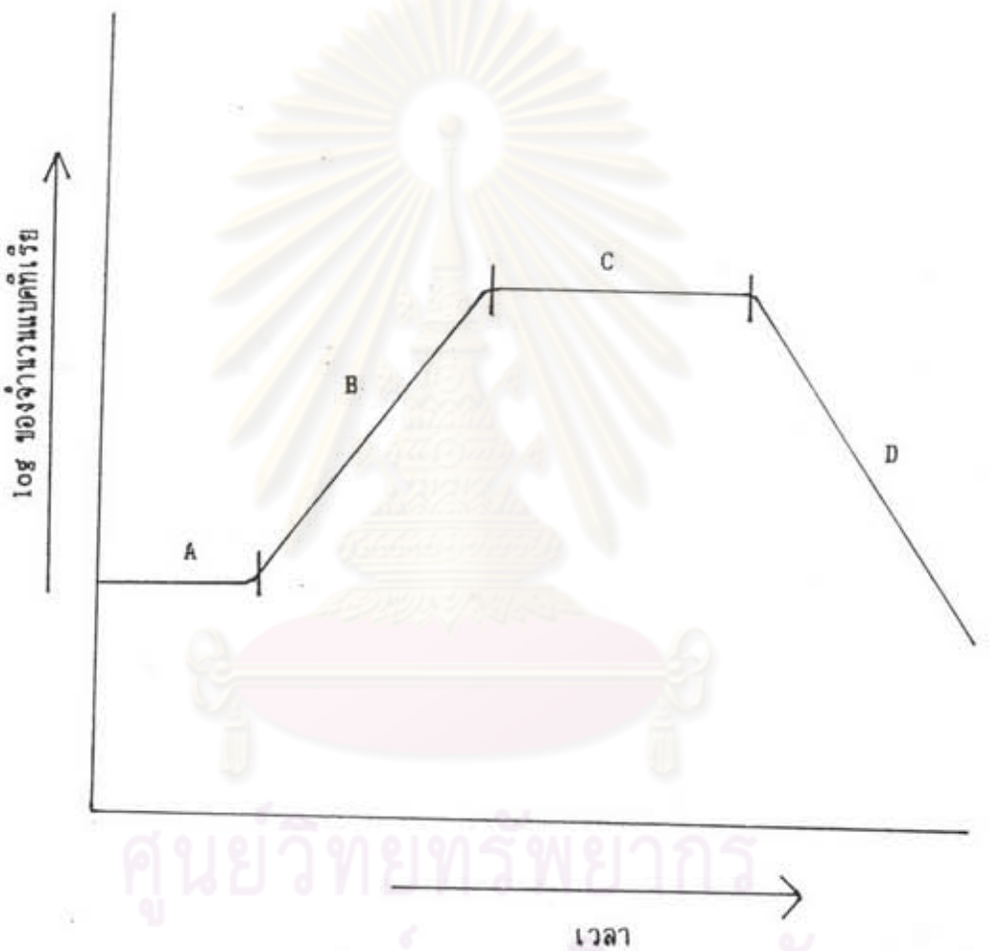
ถ้าสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น ค่าพีเอช, อุณหภูมิ ไม่ขัดต่อการเจริญของแบคทีเรียแล้ว อัตราเร็วในการเจริญของแบคทีเรียจะขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารเท่านั้นถ้าอาหารเสริมสร้างมีเพียงพอ การเจริญของแบคทีเรียจะขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่เป็นพลังงาน อัตราการเจริญของแบคทีเรียอาจวัดได้จากจำนวนแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้น หรือจากน้ำหนักของแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นวิธีวัดที่ง่ายที่สุด ปริมาณแบคทีเรียจะมีการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 2.1 ลักษณะการเจริญเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียอาจแบ่งได้เป็น 4 ช่วงสำคัญๆ ดังนี้

1) Lag phase เป็นช่วงแรกที่แบคทีเรียทำความคุ้นเคยต่อสารอินทรีย์และสิ่งแวดล้อมต่างๆในอาหาร ดังนั้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงทั้งจำนวนของแบคทีเรียและความเข้มข้นของสารอินทรีย์น้อยมาก ถ้ามีสารพิษหรือสภาวะแวดล้อมต่างๆที่ยากต่อแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ช่วง Lag phase นี้จะยาวนานมากขึ้น

2) Log phase เป็นช่วงที่แบคทีเรียคุ้นเคยต่อสารอินทรีย์ในอาหารแล้ว และ ปริมาณอาหารที่มีอยู่มากมาย ดังนั้น อัตราการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียจะสูงขึ้นตลอดเวลา และขณะเดียวกันอัตราการลดของปริมาณสารอินทรีย์จะสูงขึ้นตลอดเวลาด้วย อัตราการเจริญของแบคทีเรียในระยะนี้จึงขึ้นอยู่กับความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์

3) Stationary phase เป็นช่วงที่ถัดจากช่วง Log growth สารอินทรีย์ที่เป็นอาหารแก่แบคทีเรียเริ่มน้อยลง ดังนั้น อัตราการเจริญของแบคทีเรียจะต่ำลง และ อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์จะช้าลง น้ำหนักของแบคทีเรียจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดในระยะนี้

4) Endogenous phase เป็นช่วงระยะสุดท้าย เมื่อสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายจนเกือบหมด ดังนั้นจึงเกิดการขาดแคลนอาหารแบคทีเรียบางส่วนจะตายลงลดจำนวนลง จะเกิดกระบวนการย่อยทำลายเซลล์แบคทีเรียเอง (cell lysis) สารอินทรีย์จากแบคทีเรียที่ตายลงจะเป็นอาหารให้กับแบคทีเรียที่ยังมีชีวิตอยู่ ดังนั้น แบคทีเรียในช่วงนี้จะมีจำนวนน้อยลง ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในอาหารจะต่ำสุด



A. Lag phase

B. Log phase

C. Stationary phase

D. Endogenous phase

รูปที่ 2.1 แสดงการเจริญของแบคทีเรีย (Pelczar และคณะ , 1993)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.3 ปฏิกิริยาชีวเคมีในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรีย

ปฏิกิริยาชีวเคมีที่สำคัญที่สุดในการบำบัดน้ำทิ้งมีอยู่ 2 ชนิด คือ

1) ปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน (aerobic reaction) เกิดขึ้นเมื่อแบคทีเรียใช้ออกซิเจนอิสระไปย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงานในการดำรงชีวิต สารประกอบต่างๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยา เป็นสารที่คงตัวไม่มีกลิ่นเหม็น ที่สำคัญ ได้แก่ คาร์บอนไดซ์ออกไซด์ และ น้ำ ดังสมการ (เสริมพล และ ไชยยุทธ , 2524)

$$\text{Organic} + O_2 \xrightarrow{\text{bacteria}} CO_2 + H_2O + NO_2 + SO_4 + \text{etc.} + \text{Energy}$$

แบคทีเรียจะใช้สารอินทรีย์ประมาณ 70 % เพื่อย่อยสลายให้ได้พลังงาน ส่วนอีก 30 % แบคทีเรียจะนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่เพื่อการเจริญ

2) ปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic reaction) เกิดขึ้นเมื่อไม่มีออกซิเจนอิสระ แบคทีเรียประเภท anaerobic จะย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ออกซิเจนที่มีอยู่ในสารอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ เช่น NO_3^- และ SO_4^{2-} ทำให้สารอินทรีย์สลายตัวให้พลังงานและสารประกอบอื่น ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4), ไนโตรเจน (N_2) และ ไดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ดังสมการ

$$\text{Organic} + \text{combined oxygen} \xrightarrow{\text{bacteria}} H_2O + CH_4 + N_2 + H_2S + CO_2 + \text{Energy}$$

สารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ประมาณ 80-90 % จะถูกทำลายเป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดซ์ออกไซด์ ส่วนที่นำไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่จึงมีน้อยมาก

2.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญของแบคทีเรียกับการย่อยสลายสารอินทรีย์

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรีย พบว่า แบคทีเรียจะย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ให้เป็นพลังงานเพื่อนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ โดยสารอินทรีย์ส่วนหนึ่งจะถูกใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญของแบคทีเรีย กับ อัตราการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่เป็นอาหาร เขียนได้เป็น

อัตราการเติบโตสุทธิ = อัตราการสร้างเซลล์ใหม่ - อัตราการตาย

หรือ $(dX/dt) = Y\,(dF/dt) - k_d X$ .....(1)

ในเมื่อ dX/dt = อัตราการเติบโตสุทธิของแบคทีเรีย (น้ำหนัก/ปริมาตร-เวลา)

Y = สัมประสิทธิ์การเจริญของแบคทีเรีย

= อัตราส่วนน้ำหนักของแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นต่อน้ำหนักของอาหารที่หายไป

dF/dt = อัตราการกินอาหารโดยแบคทีเรีย (น้ำหนัก/ปริมาตร-เวลา)

k_d = สัมประสิทธิ์การตายของแบคทีเรีย (เวลา$^{-1}$)

X = ความเข้มข้นของแบคทีเรีย (น้ำหนัก/ปริมาตร)

สมการข้างต้นนี้ เป็นสมการที่ใช้ได้ทั้งในกรณีการเติบโตแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจน แต่อาหารของแบคทีเรียจะต้องอยู่ในรูปสารละลายเท่านั้น จากผลการศึกษาและวิจัย พบว่า อัตราการกินอาหารโดยแบคทีเรียมีสมการเป็น (เสริมพล และ ไชยยุทธ , 2524)

$$dF/dt = kS/(K_s + S) = dS/dt \quad \ldots\ldots(2)$$

ในเมื่อ k = อัตราสูงสุดในการกินอาหารต่อหน่วยน้ำหนักของแบคทีเรีย(เวลา$^{-1}$)

K_s = ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง หรือ บีโอดี (BOD) ที่จุดซึ่งอัตราการกินอาหารเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราสูงสุด

S = ความเข้มข้นของบีโอดีในน้ำทิ้ง (น้ำหนัก/ปริมาตร)

จากสมการที่ (1)

$$(dX/dt)/X = Y\,(dF/dt)/X - k_d \quad \ldots\ldots(3)$$

$(dX/dt)/X = \mu$ (มิว) = อัตราการเจริญจำเพาะของแบคทีเรีย

แทนค่า μ และ (dF/dt) จากสมการที่ (2) ลงในสมการที่ (3) จะได้สมการใหม่คือ

$$\mu = Y\,kS/(K_s + S) - k_d \quad \ldots\ldots(4)$$

สมการที่ (3) อยู่ในรูปสมการดิฟเฟอเรนเชียล ถ้าพิจารณาถึงมวลและเวลาที่มีค่าแน่นอน สมการที่ (3) จะเขียนได้ใหม่เป็น

$$\frac{1}{X_s / (\Delta X/\Delta t)_s} = Y\,\frac{(\Delta F/\Delta t)_s}{X_s} - k_d \quad \ldots\ldots(5)$$

สัญญลักษณ์ m หมายถึงมวลของแบคทีเรียที่มีค่าแน่นอน ส่วน $(\Delta F/\Delta t)_m /X_m$ ในสมการที่ (5) นิยมเรียกว่า food-to-microorganism ratio เขียนแทนด้วยสัญญลักษณ์ U หมายถึง อัตราการกินอาหารของแบคทีเรียต่อหน่วยน้ำหนักของแบคทีเรีย ส่วน $X_m/(\Delta x/\Delta t)_m$ นิยมเรียกว่า solid retention time , sludge age หรือ mean cell residence time เขียนแทนด้วยสัญญลักษณ์ θ_c ในที่นี้เรียกว่า solid retention time หรือ SRT หมายถึงเวลาเฉลี่ยที่แบคทีเรียใช้ในการทำลายสารอินทรีย์ จะเห็นได้ว่า $1/\theta_c$ คือ อัตราการเจริญของแบคทีเรียต่อหน่วยน้ำหนักของแบคทีเรีย ดังนั้น สมการที่ (5)เขียนใหม่ได้เป็น

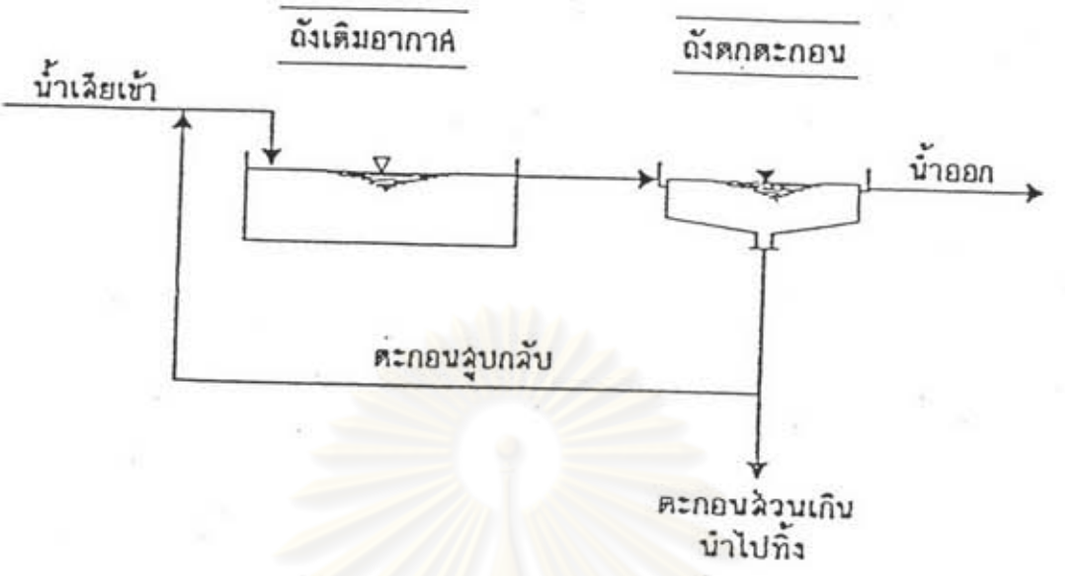
$$1/\theta_c = YU - k_d \quad \text{.....(6)}$$

สมการที่ (6) นี้เป็นพื้นฐานที่จะใช้ในการศึกษาและออกแบบระบบบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีชีววิทยาแบบต่างๆ ตัวแปรที่สำคัญที่สุด ได้แก่ θ_c และ U

2.2 <u>ปฏิกิริยาชีวเคมีในระบบหมักแบบใช้ออกซิเจน</u>

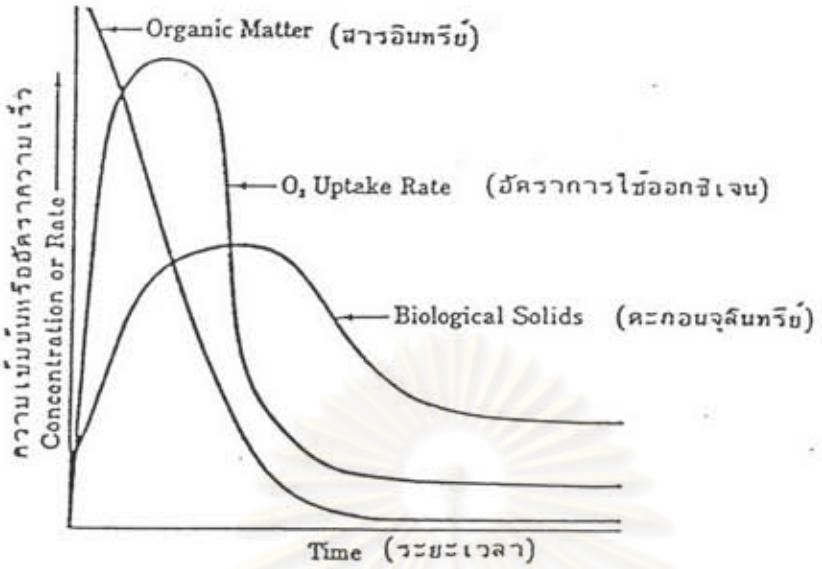
2.2.1 <u>หลักการพื้นฐาน</u>

การบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนมีหลายระบบ แต่ระบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คือ ระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบตะกอนเร่ง กระบวนการตะกอนเร่ง (Activated sludge process) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งสามารถกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอน และ สารไนโตรเจนออกจากน้ำทิ้ง การทำงานของกระบวนการประกอบด้วยการให้ออกซิเจนแก่น้ำทิ้ง และ กวนให้ผสมกับตะกอนจุลินทรีย์ (biological floc)ในถังเติมอากาศ เพื่อให้จุลินทรีย์ย่อยสลายมวลสารในน้ำทิ้งและเปลี่ยนมาเป็นมวลจุลินทรีย์ จากนั้นน้ำทิ้งที่ถูกบำบัดแล้วและตะกอนจุลินทรีย์จะไหลไปยังถังตกตะกอน เพื่อแยกน้ำใสส่วนบนทิ้งออกจากระบบ ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งจมอยู่ที่ก้นถังนั้น ส่วนใหญ่จะถูกสูบกลับเข้าไปในถังเติมอากาศ มีเพียงส่วนน้อยซึ่งเป็นผลจากการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องนำไปทิ้ง แผนผังแสดงการทำงานของกระบวนการได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 ส่วนตะกอนเร่ง (Activated sludge) ประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายชนิดอยู่ร่วมกันทำให้สามารถกำจัดของเสีย ทั้งที่มีอยู่ในรูปของสารละลายคอลลอยด์ ของแข็งแขวนลอยรวมทั้งมวลสารอื่นๆที่สามารถกำจัดได้ด้วยการดูดจับเข้าไว้ในตะกอนเร่งและแร่ธาตุต่างๆ (สุรพล,2528)



รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของกระบวนการตะกอนเร่ง

กระบวนการตะกอนเร่งประกอบด้วยสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กมากมายหลายชนิดที่ถูกควบคุมให้เจริญอยู่ในน้ำ ซึ่งมีออกซิเจนอิสระละลายอยู่ และ จะต้องมีสารอินทรีย์ที่สามารถใช้เป็นอาหารสำหรับเจริญขยายพันธุ์ต่อไป และใช้เป็นแหล่งพลังงานที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในการดำรงชีพ นอกจากนี้ยังมีก๊าซคาร์บอนไดซ์ออกไซด์และน้ำเกิดขึ้นอีกด้วย สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์นำมาใช้เปลี่ยนมาเป็นมวลจุลินทรีย์ที่หนักกว่าน้ำ สามารถแยกออกได้ง่ายด้วยการตกตะกอนในถังตกตะกอน น้ำทิ้งที่ถูกจุลินทรีย์นำสารอินทรีย์ต่างๆมาใช้จนหมดแล้ว ก็จะเป็นน้ำที่สะอาดพอที่จะปล่อยทิ้งได้โดยไม่เกิดการเน่าเหม็น ในการใช้สารอาหารหรือในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (break down) ของจุลินทรีย์นั้น อาจจะมีการทำงานร่วมกันหลายชนิดก็ได้ โดยจุลินทรีย์บางชนิดเริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนก่อน จากนั้นก็จะมีจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆย่อยสลายส่วนที่เหลือ หรืออาจจะเป็นการนำเอาผลหรือของเสียที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ มาทำการย่อยสลายต่อจนเป็นสารที่ไม่สามารถย่อยได้อีกต่อไป ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงต่างๆในการทำงานของกระบวนการแบบการทำงานเป็นครั้ง (Batch process) แสดงไว้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบไม่ต่อเนื่อง (เพชรงาม ,2535)

เมื่อพิจารณาน้ำทิ้งในถังเริ่มแรก ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจะมีค่าสูงส่วนจุลินทรีย์จะมีค่าต่ำและมีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำ ต่อจากนั้นเมื่อจุลินทรีย์เริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ก็จะเริ่มมีการใช้ออกซิเจนมากขึ้นและมีการเจริญ เป็นผลให้มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ครั้นเมื่ออาหารเริ่มขาดแคลนจนไม่เพียงพอในการดำรงชีพของจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์และอัตราความต้องการออกซิเจนก็จะลดลงตามลำดับ แต่สำหรับในระบบบำบัดน้ำทิ้งจริงซึ่งมีน้ำทิ้งไหลเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง จุลินทรีย์ก็จะย่อยสลายสารอินทรีย์และเพิ่มปริมาณอยู่ตลอดเวลา และ มีอัตราการใช้ออกซิเจนสูงตลอดเวลาเช่นเดียวกัน จุลินทรีย์ต้องนำออกซิเจนมาใช้ด้วยเหตุผล 3 ประการ (สุรพล,2528) คือ

1) ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ไปเป็นคาร์บอนไดซ์ออกไซด์ น้ำ และ พลังงาน

$$\text{สารอินทรีย์} + \text{ออกซิเจน} \xrightarrow[\text{เอ็นไซม์}]{\text{จุลินทรีย์}} \text{คาร์บอนไดซ์ออกไซด์} + \text{น้ำ} + \text{พลังงาน}$$

2) ใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่โดยใช้พลังงานที่สร้างได้จากข้อ 1)

$$\text{สารอินทรีย์} + \text{ฟอสฟอรัส} \xrightarrow[\text{พลังงาน}]{\text{จุลินทรีย์}} \text{เซลล์ใหม่} + \text{คาร์บอนไดซ์ออกไซด์} + \text{น้ำ} + \text{ไนโตรเจน} + \text{ออกซิเจน}$$

3) ใช้ในการย่อยสลายจุลินทรีย์ตัวอื่นที่ตายแล้วเพื่อใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตอยู่

$$\text{จุลินทรีย์ที่ตายแล้ว} + \text{ออกซิเจน} \xrightarrow[\text{เอ็นไซม์}]{\text{จุลินทรีย์}} \text{คาร์บอนไดซ์ออกไซด์} + \text{น้ำ} + \text{แอมโมเนียหรือไนเตรต} + \text{พลังงาน}$$

2.2.2 <u>การเกิดตะกอนเร่ง</u>

การเกิดตะกอนเร่งมีขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน 3 ขั้นตอน ซึ่งทั้งหมดนี้จะเกิดภายในถังเติมอากาศ คือ

ก)ขั้นส่งถ่าย (transfer step) ขั้นแรกแบคทีเรียในถังเติมอากาศ จะดูดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งมาไว้ที่ผนังเซลล์และส่งเอ็นไซม์ที่มีความเหมาะสมกับชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์ ให้มีโมเลกุลเล็กลงพอที่จะซึมผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ได้ ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 15-30 นาที เพื่อให้แบคทีเรียมีเวลาสัมผัสกับน้ำทิ้งได้เพียงพอและทั่วถึง

ข)ขั้นเปลี่ยนรูป(conversion step)เมื่อสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งถูกย่อยและดูดซึมเข้าไปในเซลล์แล้ว แบคทีเรียจะเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ภายในเซลล์ด้วยกระบวนการย่อยสลาย (oxidation)ซึ่งในขั้นนี้แบคทีเรียต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในกระบวนการ และ ได้คาร์บอนไดซ์ออกไซด์ น้ำ พลังงาน และสร้างเซลล์ใหม่ ด้วยกระบวนการสังเคราะห์(synthesis) กระบวนการทั้งสองนี้เป็นกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์ของแบคทีเรีย (Metabolic process)

ค)ขั้นรวมตะกอน (flocculation step) เมื่อแบคทีเรียได้ใช้สารอินทรีย์ในขั้นที่สองไปบางส่วน จนเหลือสารอินทรีย์ที่ใช้เป็นอาหารจำกัด แบคทีเรียจะมีพลังงานลดลงขณะเดียวกันแบคทีเรียจะถูกการกวนผสมในถังเติมอากาศทำให้เซลล์ของมันชนกันและจับตัวรวมกันเป็นตะกอนใหญ่ขึ้น เรียกว่า ฟลอค (floc) ซึ่งมีความสามารถในการตกตะกอนได้ดีกว่าเซลล์เดี่ยวๆ ทำให้แบคทีเรียในขั้นนี้สามารถแยกตัวจากน้ำที่กำจัดแล้วได้ง่าย

2.2.3 จุลชีววิทยาของตะกอนเร่ง

จุลชีพที่มีอยู่ในระบบตะกอนเร่งสามารถจำแนกออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้ (มั่นสิน,2523)

1) จุลชีพสร้างฟลอค (Floc forming microorganisms) เป็นจุลชีพที่มีบทบาทสำคัญมากในระบบตะกอนเร่ง เพราะเป็นจุลชีพหลักที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งและสามารถจับรวมกันเป็นกลุ่มก้อน แยกตัวออกจากน้ำที่บำบัดแล้วได้ง่ายเรียกว่า ฟลอค จุลชีพประเภทนี้ส่วนใหญ่ได้แก่ แบคทีเรีย , โปรโตซัว และ ฟังไจบางชนิด

2) แซฟโปรไฟต์ (saprophytes) เป็นจุลชีพที่รับผิดชอบต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ส่วนใหญ่ ได้แก่ แบคทีเรียซึ่งมักเป็นพวกสร้างฟลอค แซฟโปรไฟต์สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 ชนิดคือ แซฟโปรไฟต์แบบปฐมภูมิ(primary) ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก แซฟโปรไฟต์แบบทุติยภูมิ (secondary) ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็กที่สร้างโดยแซฟโปรไฟต์แบบปฐมภูมิให้สมบูรณ์ และได้ผลสุดท้ายของปฏิกิริยา คือ คาร์บอนไดซ์ออกไซด์ และ น้ำ

3) จุลชีพทำลาย (Predator) เป็นจุลชีพที่กินจุลชีพด้วยกันเองเป็นอาหาร ซึ่งจุลชีพชนิดนี้มีขนาดใหญ่กว่าหรือมีศักยภาพที่สูงกว่า จะกินจุลชีพที่มีขนาดเล็กกว่า ทำให้จุลชีพทำลายมีความสำคัญกับระบบตะกอนเร่ง กล่าวคือ ช่วยทำให้น้ำที่จะออกจากระบบบำบัดใสขึ้น

4) จุลชีพก่อกวน (Nuisance microorganisms) เป็นจุลชีพที่ทำให้เกิดปัญหาในการทำงานของระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบตะกอนเร่ง เป็นแบคทีเรียชนิดที่เป็นเส้นใย หรือฟังไจบางชนิดที่มีรูปร่างยาวคล้ายเส้นใย ทำให้เกิดการจมตัวไม่ลงของตะกอน

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ

1) ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง

ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงมากจะมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในระบบ โดยอาจจะทำให้มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง(มีอาหารมาก) ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมีการเจริญกระจายอยู่ทั่วไป (dispersed growth) แทนที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่ดี (floc)เป็นผลให้ตกตะกอนได้ไม่ดี น้ำออกขุ่น และ มีค่าสาร

อินทรีย์หรือบีโอดีเหลืออยู่สูง หรืออาจจะเกิดขึ้นในทำนองตรงกันข้าม คือ มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำ (มีอาหารน้อย) ทำให้จำนวนจุลินทรีย์ลดน้อยลง ซึ่งถึงแม้ตะกอนของจุลินทรีย์จะตกตะกอนได้เร็วแต่ก็ไม่สามารถจับตะกอนเล็กๆตกลงมาได้หมด ทำให้น้ำที่ออกจากถังตะกอนขุ่น

2) สารอาหารเสริม

จุลินทรีย์ต้องการสารอาหารเสริมในการเจริญเติบโต ซึ่งอาจแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ สารอาหารเสริมหลัก และ สารอาหารเสริมปริมาณน้อย สารอาหารเสริมหลักซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส สารอาหารเสริมปริมาณน้อย ได้แก่ เหล็ก, ทองแดง, โคบอลต์, โมลิบดินั่ม เป็นต้น การขาดอาหารเสริมที่สำคัญเหล่านี้ จะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างฟลอคเติบโตได้ไม่ดีจนทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย (filamentous) เจริญเติบโตได้มากกว่า ซึ่งทำให้ตกตะกอนได้ยากและเกิดเป็นชั้นตะกอนอืดขึ้นมาลอยในถังตกตะกอนและอาจจะล้นออกมากับน้ำทิ้งจนระบบไม่สามารถทำงานได้อีก นอกจากนี้การที่จุลินทรีย์หลายชนิดเจริญได้ไม่ดี จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานต่างๆของระบบต่ำลงอีกด้วย ปกติจะควบคุมให้บีโอดี 100 กิโลกรัม ต้องมีไนโตรเจน 5 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 1 กิโลกรัม และ เหล็ก 0.5 กิโลกรัม

3) ออกซิเจนละลายน้ำ

ในถังเติมอากาศจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อให้จุลชีพมีออกซิเจนอย่างเพียงพอต่อการดำรงชีวิต ปริมาณความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำขึ้นกับอัตราเติมอากาศและขึ้นกับอีกสองปัจจัย คือ อุณหภูมิของน้ำและอัตราการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ ถ้าอุณหภูมิสูงจุลินทรีย์จะสามารถทำงานได้มากก็จะต้องการออกซิเจนมากด้วย นอกจากนั้นที่อุณหภูมิสูงออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอิ่มตัว (saturation value) ต่ำ ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายโอนออกซิเจนโดยเครื่องเติมอากาศ

4) ระยะเวลาในการบำบัด

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งในถังเติมอากาศ จะต้องยาวนานพอที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายมวลสารต่างๆ หากมีระยะเวลาสั้นเกินไปสารที่ย่อยยากๆ จะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้าย ทำให้ค่าบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำทิ้งมาก สำหรับระยะเวลาในถังตกตะกอนก็เช่นกัน หากน้อยเกินไปก็จะทำให้ตะกอนจมตัวได้ไม่ดีน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วจะขุ่นไม่ใส แต่ถ้านานเกิน

ไปก็จะทำให้ตะกอนที่จมที่ก้นถังขาดออกซิเจนเน่าลอยขึ้น

5) ค่าพีเอช

พีเอช (pH) เป็นค่าแสดงความเป็นกรดด่าง ค่าพีเอชเท่ากับ 7 ถือว่าเป็นกลาง ค่าพีเอชต่ำกว่า 7 ถือว่าเป็นกรด และ ค่าพีเอชมากกว่า 7 ถือว่าเป็นด่าง แบคทีเรียเจริญได้ดีที่ค่าพีเอช 6.5-8.5 ถ้าพีเอชต่ำกว่า 6.5 ราจะเจริญได้ดีกว่าแบคทีเรีย ทำให้ประสิทธิภาพต่ำลงและตะกอนเร่งตกตะกอนได้ไม่ดี ส่วนที่ค่าพีเอชสูงก็จะทำให้ฟอสฟอรัสแยกตัวออกมาจากน้ำ (precipitate) และจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทำให้ระบบทำงานได้ไม่ดีเช่นกัน แต่ถ้าพีเอชมีค่าต่ำหรือสูงมากจุลินทรีย์จะตายหมดไม่สามารถดำรงชีพต่อไปได้

6) สารเป็นพิษ

ความเป็นพิษแบ่งออกเป็นสองระดับ คือ แบบพิษเฉียบพลัน (Acute toxicity) ซึ่งจุลินทรีย์จะตายหมดภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมง และ แบบพิษออกฤทธิ์ช้า (Chronic toxicity) ซึ่งจะใช้เวลานานและค่อยๆตาย

7) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงาน และ การเจริญของจุลินทรีย์ในกระบวนการตะกอนเร่ง โดยทั่วๆไปการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุก 10 องศาเซลเซียส จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัวจนถึงอุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 37 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์จะเจริญได้น้อยลงอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิยังมีผลต่อการทำงานในถังตกตะกอนขั้นสอง โดยพบว่าหากอุณหภูมิต่ำตะกอนจะตกได้ดีกว่าที่อุณหภูมิสูง และ ถ้าอุณหภูมิในถังตกตะกอนมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันเกิน 2 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการไหลวนของน้ำ เนื่องจากมีความหนาแน่นแตกต่างกันซึ่ง เรียกว่า Density current

8) การกวน

ภายในถังเติมอากาศจะต้องมีการกวนอย่างทั่วถึง เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอนและเพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำทิ้งที่ส่งเข้ามาบำบัด โดยใช้เป็นอาหารและลดมลสารต่างๆ รวมทั้งจะได้จับตัวกันเป็นฟลอคที่ดี การกวนที่ถูกต้องจะป้องกันไม่ให้น้ำทิ้งไหลลัดวงจรและทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมวลสารสูง การกวนที่สมบูรณ์ในถังเติมอากาศ

แบบกวนลมบูรณ์ (complete mix) จะต้องมีค่าความเข้มข้นของจุลินทรีย์และค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำในถังหมักสม่ำเสมอกันทั่วทั้งถัง

9) อัตราการไหลของน้ำทิ้ง

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ส่งเข้าระบบบำบัด มีผลโดยตรงต่อการทำงานของกระบวนการทางชีววิทยา และในถังตกตะกอน หากน้ำทิ้งมีอัตราการไหลเพิ่มมากขึ้นและระยะเวลาในการบำบัดน้อยลง และระยะเวลาในการตกตะกอนในถังตกตะกอนขั้นสองลดลงด้วย ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง ส่วนอัตราการไหลที่น้อยเกินไปก็มีผลเสียเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงควรมีการควบคุมให้มีการส่งน้ำทิ้งเข้ามาบำบัดอย่างสม่ำเสมอในอัตราที่ใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้ เช่น อาจจะสร้างเป็นบ่อพักเก็บกัก (Equalizing tank) เป็นต้น

2.3 แบคทีเรียสังเคราะห์แสง

2.3.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

แบคทีเรียสังเคราะห์แสง (Photosynthetic Bacteria) เป็นแบคทีเรียที่มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติตามแหล่งน้ำและพื้นดิน แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ตามแหล่งที่ได้รับคาร์บอน (Madigan , 1988) คือ

1.Photoautotrophic bacteria เป็นแบคทีเรียที่ได้อาหารคาร์บอนจากคาร์บอนไดซ์ออกไซด์ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ แบคทีเรียพวกนี้ได้แก่ green sulfur bacteria และ purple sulfur bacteria

2. Photoheterotrophic bacteria เป็นแบคทีเรียที่ได้อาหารคาร์บอนจากสารอินทรีย์ บางพวกอาจได้สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต กรดไขมัน แอลกอฮอล์ และกรดอะมิโน แบคทีเรียพวกนี้ ได้แก่ purple nonsulfur bacteria

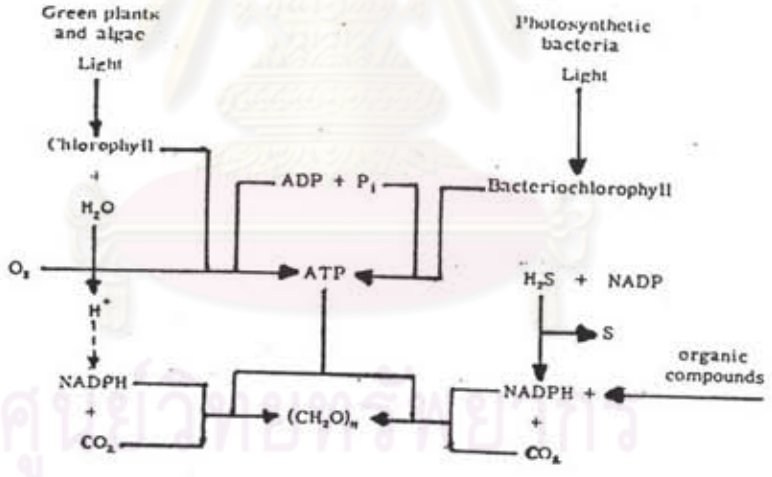
ความแตกต่างของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติบางประการของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง (Sasaki และคณะ ,1991)

Bacteria	*Color*	*Bacterio-chlorophyll*	*Main carbon source*	*Main electron donor*	*Growth condition*	*Typical genera*
Rhodospirillaceae	Red Violet Brown	Bchl a or b	Organic matter CO_2	Organic matter, H_2 $(H_2S)^b$	Anaerobic-light Aerobic-dark Aerobic-light	*Rhodobacter* *Rhodospirillum* *Rhodopseudomonas* *Rhodocyclus*
Chromatiaceae	Red Pink Violet	Bchl a or b	Organic matter CO_2	H_2S, $S_2O_3^{2-}$ $(S, H_2)^b$	Anaerobic-light	*Chromatium* *Thiocyctis* *Thiocapsa*
Ectothiorhodospiraceae	Red Pink Green	Bchl a or b	Organic matter CO_2	Organic matter H_2S, H_2	Anaerobic-light	*Ectothiorhodospira*
Chlorobiaceae	Green Brown	Bchl a or c, d, e	CO_2		Anaerobic-light	*Chlorobium* *Pelodictyon* *Chlorochromatium*
Chloroflexaceae	Green Orange	Bchl a or c, d, e	Organic matter CO_2	Organic matter H_2S, $S_2O_3^{2-}$	Anaerobic-light	*Chloroflexus* *Chloronema* *Oscillochloris*

[a] Modified from Kitamura, 1986.
[b] Only a few bacteria can utilize.

การสังเคราะห์แสงที่เกิดขึ้นในพืช และ สาหร่าย จะมีความแตกต่างจากการสังเคราะห์แสงของแบคทีเรีย (Shipman และคณะ , 1977) ดังรูปที่ 2.4 จะเห็นว่า การสังเคราะห์แสงของพืชและสาหร่ายจะเป็นกระบวนการที่มีออกซิเจนเข้ามาเกี่ยวข้องโดยมีคาร์บอนไดซ์ออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับใช้ในการสร้างเซลล์เหมือนกัน ต่างกันที่รงควัตถุและความสามารถในการใช้ไฮโดรเจนในการสร้างมวลชีวภาพ ส่วนการสังเคราะห์แสงของแบคทีเรียจะเป็นกระบวนการที่ไม่มีออกซิเจนเข้ามาเกี่ยวข้องและใช้โมเลกุลไฮโดรเจน , สารประกอบซัลเฟอร์ และสารประกอบอินทรีย์เป็นตัวให้อิเล็กตรอน แต่บทบาทของรงควัตถุของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจะคล้ายกับของสาหร่าย แต่แบคทีเรียสังเคราะห์แสงบางชนิดก็สามารถใช้คาร์บอนไดซ์ออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนในการสร้างเซลล์เช่นเดียวกับพืช ปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงของพืช , สาหร่าย และ แบคทีเรียสังเคราะห์แสง แสดงในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบการสังเคราะห์แสงของพืชและแบคทีเรีย (Shipman และคณะ , 1977)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงของพืชและจุลินทรีย์

(Shipman และคณะ, 1977)

I. Higher plants and unicellular algae

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow[\text{chlorophyll}]{\text{solar energy}} (CH_2O) + O_2$$

biomass

II. Certain algae and bacteria

$$CO_2 + 2H_2 \xrightarrow[\text{chlorophyll or bacteriochlorophyll}]{\text{solar energy}} (CH_2O) + H_2O$$

III. Photosynthetic sulfur bacteria

$$CO_2 + H_2S \xrightarrow[\text{bacteriochlorophyll}]{\text{solar energy}} (CH_2O) + S + H_2O$$

IV. Purple photosynthetic bacteria

$$CO_2 + \underset{\text{organic material}}{CHO} + H_2O \xrightarrow[\text{bacteriochlorophyll}]{\text{solar energy}} (CH_2O) + H_2 + H_2O$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญและการสร้างผลผลิตของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

1. อาหารและสารอาหารเสริม

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสามารถเจริญในน้ำที่มีองค์ประกอบง่ายๆเช่น น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม โดยแบคทีเรียแต่ละชนิดจะมีความต้องการชนิดของอาหารไม่เหมือนกันและในปริมาณที่ไม่เท่ากัน ในการนำไปใช้ในการเจริญหรือในการสร้างผลผลิตต่างๆของเซลล์ มีรายงานว่าแบคทีเรียกลุ่ม purple photosynthetic bacteria สามารถเจริญบนอาหารที่มีเกลือแอมโมเนียม,ไนเตรต,ยูเรีย,กรดอะมิโนต่างๆ,เปปโตน หรือ ยีสต์เอ็กซ์แทรค เป็นแหล่งไนโตรเจน (Van Niel,1944; Cohen-Bazier และคณะ,1957; Schick,1971; Shipman และคณะ,1977; ดวงพร,1982) Bregoff และ Kamen (1952) พบว่า กรดอะมิโนในรูปดีแอล (DL-form) เช่น ดีแอล-วาลีน,ดีแอล-ไอโซลูซีน,ดีแอล-ทรีโอนีน เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่จะมีผลยับยั้งการเจริญของ *Rhodospirillum rabrum* ส่วนกรดอะมิโนชนิดอื่นๆจะมีผลแตกต่างกันออกไป เช่น แอล-ฮีสติดีน,แอล-ไลซีน และ กลูซีน จะมีผลเพิ่มการเจริญแต่ยับยั้งการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ในขณะที่แอล-โพรลีน,แอล-ลูซีน และ แอล-อาร์จินีน มีผลเพิ่มการเจริญแต่ไม่มีผลใดๆต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ส่วนแอล-ไฮดรอกซีโพรลีน และ ดีแอล-ทรีโอเฟน มีผลยับยั้งทั้งการเจริญและการเกิดก๊าซไฮโดรเจน เป็นต้น นอกจากนี้สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนบางชนิดในอาหาร minimal ยังสามารถกระตุ้นการทำงานของเอ็นไซม์ในเซลล์บางตัวได้ (Koparatnaraporn,1983)นอกจากนี้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงบางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนได้จากอากาศ (Shipman และคณะ,1977; Schick,1971) และยังต้องการสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น อะซิเตรต,ไพรูเวท เป็นต้นเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญ(Carr และ Exell,1965; Morikawa และคณะ,1971; Hillmer และ Gest,1977; Kim และคณะ,1981) Hillmer และ Gest (1977) พบว่าการเกิดก๊าซไฮโดรเจนขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของปริมาณแหล่งไนโตรเจนต่อคาร์บอนในอาหาร อัตราส่วนที่ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนมากที่สุด คือ แลคเตรต 40 มิลลิโมล ต่อกลูตาเมต 22 มิลลิโมล ปริมาณไนโตรเจนและแอมโมเนียมถ้ามีมากเกินไปจะไปยับยั้งเอ็นไซม์ไนโตรเจนเนสในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน นอกจากนี้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงส่วนใหญ่ยังต้องการสารอาหารเสริมได้แก่ วิตามินและแร่ธาตุ ในการเจริญและสร้างผลผลิตของเซลล์ จากรายงาน

ของ Hutner (1946,1950) พบว่า แบคทีเรียสังเคราะห์แสงแต่ละชนิดต้องการชนิดของวิตามินไม่เหมือนกัน *Rhodopseudomonas capsulata* ต้องการไทอามิน (thiamine),กรดนิโคตินิค (nicotinic acid) และไบโอติน (biotin) บางสายพันธุ์ต้องการไทอามินอย่างเดียว *R. palustris* ต้องการกรดอะมิโนเบนโซอิค (p-aminobenzoicacid) *R.gelatinosa* ต้องการไทอามินและไบโอติน *R.spheroides* ต้องการไทอามิน,กรดนิโคตินิค และไบโอติน ส่วน *Rhodospirillum rubrum* ต้องการไบโอตินเพียงอย่างเดียว นอกจากวิตามินแล้วแบคทีเรียสังเคราะห์แสงบางชนิดต้องการแร่ธาตุด้วย Hutner (1946) กล่าวว่าแบคทีเรียต้องการโคบอลต์,วานาเดียม,เหล็กในปริมาณที่ไม่สูงจนก่อพิษซึ่งจะช่วยให้การเจริญดีขึ้น ดวงพร (1982) กล่าวว่าแบคทีเรียต้องการวิตามินและแร่ธาตุ โดยมีบทบาทแตกต่างกันคือกรดนิโคตินิคจะมีผลทำให้การเจริญดีขึ้น ไบโอตินทำให้สร้างรงควัตถุและวิตามินบี12ได้สูง โคบอลต์คลอไรด์ทำให้สร้างวิตามินบี12ได้สูง นอกจากนี้การเติมสารที่เป็นบัฟเฟอร์ลงไปในอาหารเช่น โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต,ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต จะช่วยรักษาระดับพีเอชไม่ให้เปลี่ยนแปลงมาก

2. ออกซิเจน

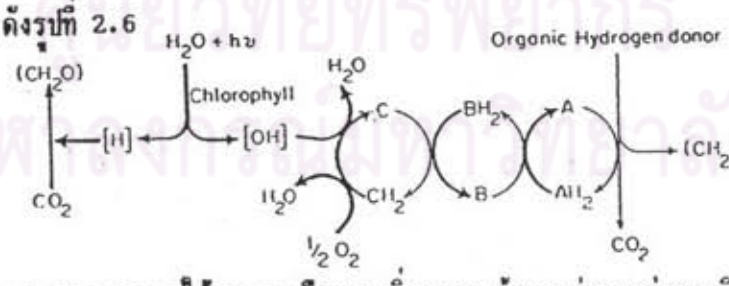
ความเข้มข้นของออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญ ในการสร้างเซลล์ และปริมาณของรงควัตถุ โดยออกซิเจนจะไปยับยั้งการสร้างรงควัตถุและเป็นตัวที่ทำให้เกิดการชิดของเซลล์ (Cohen-Bazire และคณะ ,1957; Prasertsan และคณะ ,1993) จากการศึกษาของ Bull และ Lascelles (1963) พบว่า *Rhodopseudomonas spheroides* ในสภาวะไร้แสง ถ้าให้อากาศต่ำเซลล์จะมีปริมาณรงควัตถุมากกว่าการให้อากาศสูง และมากกว่าในสภาวะไม่มีอากาศ-มีแสง นอกจากนี้ Sawada และ Roger (1977)ได้ศึกษาผลของออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen tension,DOT) ต่อจุลินทรีย์ผสม (mix culture) พบว่าในสภาวะมีแสงที่ DOT 0.5-1.4 % จะได้ปริมาณเซลล์มากที่สุด คือ 0.92 กรัม/ลิตร ส่วนประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี(COD) พบว่าเมื่อมี DOT มากขึ้น จะสามารถลดค่าซีโอดีได้มากขึ้นเช่นกัน

3. แสง

ความเข้มแสงมีผลต่อ อัตราการเจริญ , การผลิตเซลล์ , การสร้างรงควัตถุ และการใช้คาร์บอนไดซ์ออกไซด์ เมื่อเพิ่มความเข้มแสงไม่ได้มีผลให้มีการสร้างรงควัตถุ

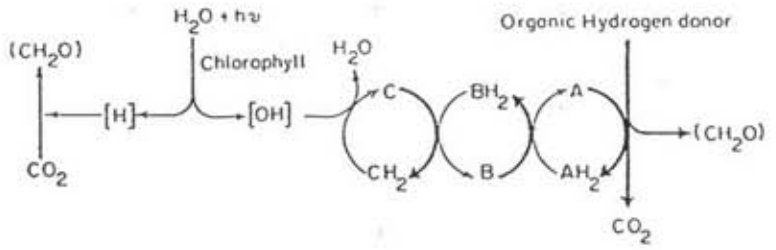
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มากขึ้นแต่มีผลให้การอัตราการเจริญเพิ่มขึ้น(Shipman และคณะ, 1977) Aiking และ Sojka (1979) พบว่า ในสภาวะที่มีแสงจำกัด องค์ประกอบของเซลล์ รวมทั้งรงควัตถุและกรดไรโบนิวคลีอิค (ribonucleic acid) ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มแสง แต่ที่สภาวะคงตัว (steady state) ความเข้มข้นของเซลล์จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มแสง และ ปริมาณรงควัตถุและกรดไรโบนิวคลีอิค ขึ้นอยู่กับอัตราการเจริญของเซลล์ ดังนั้นสภาวะที่มีแสงในระบบจะมีอัตราการเจริญและปริมาณรงควัตถุ มากกว่าสภาวะที่ไม่มีแสง โดยเฉพาะสภาวะไม่มีอากาศ-มีแสง จะให้อัตราการเจริญที่สูง (Kohlmiller และ Gest ,1951; Cohen-Bazire และคณะ ,1957; Uffen และ Wolfe ,1970; Siefert และคณะ ,1978; Prasertsan และคณะ ,1993) Sawada และ Roger (1977) ศึกษาผลของความเข้มแสงในช่วง 80-450 f.c. ต่อจุลินทรีย์ผสม พบว่า ที่ความเข้มแสงในช่วง 150-300 f.c.เมื่อความเข้มแสงมากขึ้น ค่าซีโอดีจะลดลงจนถึงค่าความเข้มแสงค่าหนึ่งถึงแม้จะเพิ่มความเข้มแสงมากกว่านี้ ก็ไม่ได้มีผลให้ซีโอดีลดลงไปอีกได้ (light energy limitation) นอกจากนี้ แสงยังมีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน โดยความเข้มแสงที่เหมาะสมจะมีการเจริญและการเกิดก๊าซไฮโดรเจนสูงที่สุด ถ้าความเข้มแสงน้อยกว่านี้การเจริญและการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจะลดลง แต่ถ้าความเข้มแสงมากกว่านี้ก็ไม่ได้ส่งผลให้การเจริญและการเกิดก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นด้วย (Kohlmiller และ Gest,1951; Hillmer และ Gest ,1977) ผลของการให้อากาศหรือการเพิ่มความเข้มแสง ต่อระบบการถ่ายเทอิเลคตรอนของ non-sulfur purple bacteria ดังรูปที่ 2.5 และผลของการไม่ให้อากาศหรือการลดความเข้มแสง ต่อระบบการถ่ายเทอิเลคตรอนของ non-sulfur purple bacteria ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 แสดงผลของการให้อากาศหรือการเพิ่มความเข้มแสงต่อการถ่ายเทอิเลคตรอนภายในเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสง (ปฏิกิริยาที่เป็นเส้นทึบ)

(Cohen-Bazire และคณะ , 1957)



รูปที่ 2.6 แสดงผลของการไม่ให้อากาศหรือการลดความเข้มแสงต่อการถ่ายเทอิเลคตรอนภายในเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสง (ปฏิกิริยาที่เป็นเส้นทึบ)

(Cohen-Bazire และคณะ , 1957)

4. ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชมีความสำคัญต่อการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง ค่าพีเอชที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรีย ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่าง 7.0-8.5 นอกจากนี้ค่าพีเอช หรือ ความเป็นกรด-ด่าง ระหว่างการเจริญเติบโตของแบคทีเรียขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ การเปลี่ยนแปลงของพีเอชระหว่างการเจริญนี้อาจเกิดเนื่องมาจาก การใช้หรือปลดปล่อยคาร์บอนไดซ์ออกไซด์, การผลิตกรดซัลฟูริคโดยกระบวนการออกซิเดชั่นของไดไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือไทโอซัลเฟต หรือ อาจเกิดจากการสะสมของกรดอินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อ (Shipman และคณะ , 1977) Sasaki และ Nagai (1979) พบว่า *R.gelatinosa* มีค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ที่ 6.5-7.5 และถ้าค่าพีเอชสูงหรือน้อยกว่าค่านี้ อัตราการเจริญจะลดลง

5. อุณหภูมิ

มีรายงานว่า แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสามารถเจริญได้ในช่วงของอุณหภูมิที่กว้าง(Shipman และคณะ,1977) โดยมีการเจริญสูงสุดและการใช้คาร์บอนไดซ์ออกไซด์เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิที่เหมาะสมของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงส่วนใหญ่อยู่ที่ 37 องศาเซลเซียส (Van Niel,1944) *R.gelatinosa* อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ 35 องศาเซลเซียส (Shipman และคณะ ,1977) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเจริญก็จะเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมของจุลินทรีย์จะได้อัตราการเจริญสูงที่สุด และถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้อัตราการเจริญก็จะลดลง (Shipman และคณะ , 1977 ; Sasaki และ Nagai , 1979 ;

Noparatnaraporn และคณะ,1986) ที่อุณหภูมิต่ำจะเป็นผลเสียต่อการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง เช่น ที่ 1 องศาเซลเซียส มีผลทำลายแบคทีริโอคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์ของเซลล์และทำให้เซลล์ตาย (Shipman และคณะ , 1977)

2.3.3 การนำแบคทีเรียสังเคราะห์แสงไปใช้ประโยชน์

ปัจจุบันได้มีการศึกษา และ ทำการวิจัยอย่างกว้างขวาง เกี่ยวกับแบคทีเรียสังเคราะห์แสงโดยเฉพาะกลุ่ม purple nonsulfur หรือ *Rhodospillaceae* ทั้งนี้เนื่องมาจากเป็นกลุ่มที่มีคุณลักษณะเด่นหลายประการ (Sasaki และ คณะ , 1991) คือ

- สามารถเจริญได้ดีและเร็วในน้ำทิ้งที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง และเจริญได้โดยตรงในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร

- สามารถเจริญได้ในสภาวะแวดล้อมต่างๆกัน คือ ทั้งในสภาวะมีอากาศไร้แสงและไม่มีอากาศ มีแสง

- สามารถใช้วัตถุดิบได้หลายชนิด เช่น น้ำตาล แป้ง กรดอินทรีย์ เป็นต้น

- เซลล์มีคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากมีปริมาณโปรตีน ,กรดอะมิโน และวิตามินอยู่สูงจึงสามารถนำไปเร่งการเจริญเติบโต ระบบสืบพันธุ์ เพิ่มอัตราการอยู่รอด เพิ่มสีที่ผิวและเนื้อแก่สัตว์เลี้ยงโดยเซลล์ไม่มีพิษใดๆต่อสัตว์เลี้ยงนั้นๆ

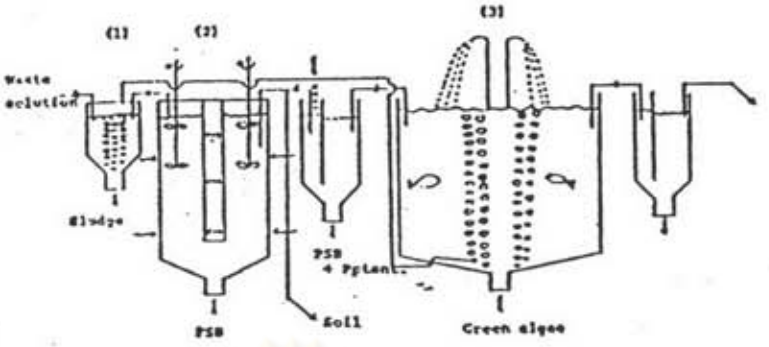
จากข้อดีหลายประการดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แบคทีเรียสังเคราะห์แสงจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์กันมากซึ่งส่วนใหญ่การนำแบคทีเรียไปใช้มักให้ประโยชน์ได้มากกว่าหนึ่งอย่าง ตัวอย่าง เช่น

- นำไปใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งชนิดต่างๆ
- นำไปใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว
- นำไปใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ
- นำไปใช้ในการผลิตเป็นอาหารสัตว์
- นำไปใช้ในการผลิตยาปราบศัตรูพืช
- นำไปใช้ในการผลิตเอ็นไซม์บางชนิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.4 ผลงานวิจัยเกี่ยวกับแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในการบำบัดน้ำทิ้ง

Kobayashi และคณะ (1971) ได้ทำการทดลองระบบการบำบัดน้ำทิ้งระดับ pilot scale โดยบำบัดน้ำทิ้งที่มีค่าบีโอดี(BOD) มากกว่า 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร ระบบบำบัดที่ทำการทดลองประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการกำจัดของแข็งและสารแขวนลอยโดยใช้เครื่องเหวี่ยง (centrifuge) ขั้นตอนที่สองเป็นการใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการเลี้ยงสาหร่าย (Chlorella) ซึ่งจะช่วยลดสารอาหารเสริม และได้ผลพลอยได้ คือ เซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงและสาหร่าย การกำจัดใช้ถังเติมอากาศ (Preaeration Tank) ขนาดความจุ 10 ลูกบาศก์เมตร ถังบำบัดโดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง (Photosynthetic Bacteria Tank) มีขนาดความจุ 5.7 ลูกบาศก์เมตร จำนวนแปดถังต่ออนุกรมกัน และถังเลี้ยงสาหร่าย (Chlorella Tank) มีขนาดความจุ 10.8 ลูกบาศก์เมตรจำนวน 6 ถัง พบว่าได้ปริมาณเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสง 150 กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และเซลล์ Chlorella 120 กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนน้ำล้นจากถังเลี้ยงสาหร่าย (discharged water) จะปล่อยสู่บ่อปลา ส่วนรายงานของ Kobayashi (1972) ก็คล้ายกัน คือประกอบด้วย 3 ส่วน คือ การให้อากาศ, การเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสง และการเกิดออกซิเดชั่นโดยสาหร่าย ระบบบำบัดดังแสดงในรูปที่ 2.7 พบว่า สามารถลดค่าบีโอดีจาก 3,556 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ 2,128 มิลลิกรัม/ลิตรในถังเติมอากาศ และลดลงเหลือ 326 มิลลิกรัม/ลิตรในถังPSB และ 27 มิลลิกรัม/ลิตร ในถังสาหร่าย บีโอดีสุดท้ายก่อนปล่อยออกจากระบบลดลงเหลือประมาณ 7.6 มิลลิกรัม/ลิตร นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดไนโตรเจนได้ โดยมีค่าไนโตรเจนเริ่มต้น 1,628 มิลลิกรัม/ลิตร และเพิ่มขึ้นเป็น 2,046 มิลลิกรัม/ลิตรในถังเติมอากาศ และลดลงเหลือ 310 มิลลิกรัม/ลิตรในถัง PSB และ 13 มิลลิกรัม/ลิตร ในถังสาหร่าย ไนโตรเจนสุดท้ายก่อนปล่อยออกจากระบบเหลือประมาณ 5 มิลลิกรัม/ลิตร



(1) ถังให้อากาศ

(2) ถังเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

(3) ถังเลี้ยงสาหร่าย

รูปที่ 2.7 แสดงระบบบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง (Kobayashi , 1972)

Kobayashi และคณะ (1973) ทำการทดลองบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอาหารกระป๋อง โดยออกแบบออกเป็น 3 ถัง คือ ถังรับน้ำทิ้งจากโรงงาน , ถังเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสง และ ถังเลี้ยงสาหร่าย ตามลำดับ พบว่า สามารถลดปริมาณบีโอดีจาก 5,000-10,000 เหลือ 50 มิลลิกรัม/ลิตร นำเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ผลิตได้ไปเป็นอาหารไก่และนก สามารถเพิ่มอัตราการวางไข่ได้

Kobayashi และคณะ (1977) พบว่าในน้ำทิ้งซึ่งมีสารที่มีคุณสมบัติเป็น carcinogen อยู่ในระดับที่เป็นอันตราย เมื่อมีการกำจัดน้ำทิ้งโดยใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงร่วมด้วย สารเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารที่ไม่เป็นพิษ

Sawada และ Rogers (1977) ได้ศึกษาน้ำทิ้งภายใต้สภาวะไร้อากาศ-มีแสง พบว่า ชนิดของจุลินทรีย์ซึ่งมีมากเป็นลำดับดังนี้ คือ พวก heterotrophic bacteria ต่างๆ,แบคทีเรียสังเคราะห์แสงและสาหร่าย และในปีเดียวกันได้ทดลองเลี้ยง mixed culture ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง *Rhodopseudomonas capsulata* และ *Klebsiella sp.* ในอาหารกลูโคสภายใต้สภาวะไม่มีอากาศ-มีแสง พบว่า เมื่อทำการทดลองแบบเติมอาหารครั้ง

เดียว (batch culture) น้ำตาลกลูโคสจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติค โดย *Klebsiella sp.* จากนั้นกรดไขมันระเหยจะถูกใช้ต่อไปโดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง นอกจากนี้การสลายตัวของ *Klebsiella sp.* ยังเป็นตัวกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง ทำให้สามารถลดค่าซีโอดี (COD) ได้มากกว่าเมื่อใช้เซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงร่วมกับจุลินทรีย์อื่น เช่นนี้ช่วยให้การเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง และประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำทิ้งดีขึ้น นอกจากนี้ Sawada และคณะ (1977) ยังได้ทดลองใช้ mixed culture ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง *R.capsulata* และ *Klebsiella sp.* ในการบำบัดน้ำทิ้งแบบไม่ต่อเนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรม 3 แหล่ง คือ โรงงานฆ่าสัตว์ , โรงงานฟอกหนัง และ โรงงานผลิตสารปฏิชีวนะ (antibiotic) ภายใต้สภาวะมีอากาศน้อย-มีแสง พบว่าเมื่อใช้ mixed culture บำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสัตว์ภายใน 7 วันจะสามารถลดค่าบีโอดีจาก 3,030 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ 140 มิลลิกรัม/ลิตร และ เมื่อเปรียบเทียบกับการบำบัดโดยไม่ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง ค่าบีโอดีลดจาก 3,480 มิลลิกรัม/ลิตร เป็น 370 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนเมื่อใช้ mixed culture บำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกหนังและโรงงานผลิตสารปฏิชีวนะ จะสามารถลดค่าบีโอดีได้ใกล้เคียงกับเมื่อบำบัดโดยไม่ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง

Chaung และ Lai (1978) ได้ทำการทดลองกำจัดน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล การกำจัดทำ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกใช้ยีสต์ ขั้นตอนที่สองสร้างมิเทนโดยใช้แบคทีเรีย และขั้นตอนที่สามใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง โดยเลี้ยงในสภาวะมีอากาศ-ไร้แสง ในถังหมักแบบต่อเนื่อง ปรับพีเอชและอุณหภูมิให้เหมาะสมในเวลา 5 วัน พบว่า สามารถลดค่าบีโอดีจาก 9,100 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 380 มิลลิกรัม/ลิตร คิดเป็น 95.82 % และได้เซลล์ที่มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 62 % ซึ่งเมื่อนำเซลล์ที่ได้นี้ไปผสมเพิ่มด้วยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอย่างละเล็กน้อยก็สามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้โดยตรง

Kobayashi และ Kurata (1978)ทำการทดลองเลี้ยง *R.capsulata* ภายใต้สภาวะไม่มีอากาศ-มีแสงในอาหารสังเคราะห์ พบว่าได้ปริมาณเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงประมาณ 1-2 กรัม/ลิตร แต่เมื่อนำไปเลี้ยงร่วมกับจุลินทรีย์ตัวอื่น (mixed culture)

พบว่า การเจริญและความสามารถในการตรึงไนโตรเจน มากกว่า เมื่อเลี้ยง *R. capsulata* หรือ จุลินทรีย์ตัวอื่นที่เข้ามาร่วมกับแบคทีเรียสังเคราะห์แสงนั้นอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงตัวเดียว และเมื่อนำ mixed culture มาเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ พบว่า สามารถผลิตเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงได้มากกว่าจุลินทรีย์ตัวอื่นที่เข้ามาร่วมถึง 10 เท่า และเมื่อนำเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ผลิตได้ไปผสมในสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์ พบว่า เมื่อนำไปใช้เลี้ยงไก่เป็นเวลา 1 เดือน ทำให้ไก่มีความสามารถในการวางไข่เพิ่มขึ้น คุณภาพของไข่ที่ได้ก็ดีขึ้นเก็บไว้ได้นานขึ้น น้ำหนักตัวไก่ที่ได้รับอาหารเพิ่มขึ้นกว่าเมื่อใช้เลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่ผสมแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

Kitamura และคณะ (1980) ได้ทำการทดลองบำบัดน้ำทิ้ง humam waste ที่มีค่าบีโอดีมากกว่า 11,000 มิลลิกรัม/ลิตรโดยใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง (PSB Method) ร่วมกับแบคทีเรียอื่นและสาหร่าย โดยน้ำทิ้งจะผ่านขั้นตอนแยกของแข็งก่อนไหลเข้าสู่ถังเติมอากาศเบื้องต้น (preaeration tank) เป็นเวลา 1 วัน เพื่อให้เกิดไฮโดรไลซ์โพลิเมอร์เป็นกรดไขมันโมเลกุลเล็กๆ จากนั้นของเสียจะไหลเข้าถังเพาะเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสง (PSB Tank) มีเวลาเก็บกัก 4 วัน มีแบคทีเรียสังเคราะห์แสง 10^7 เซลล์/มิลลิลิตร โดยเลี้ยงเซลล์สังเคราะห์แสงภายใต้แสงอาทิตย์ และมีการให้อากาศ 1 ปริมาตร/ปริมาตร/ชั่วโมง จากนั้นเข้าสู่ถังบำบัดขั้นที่สอง (secondarytreatment tank) เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนสารแอมโมเนียมเป็นไนเตรต (nitrification) และ เกิดปฏิกิริยาย่อยสลายทางชีววิทยา (biological oxidation) งานวิจัยนี้ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง *Rhodopseudomonas spheroides* จากการทดลอง พบว่า สามารถลดค่าบีโอดีจาก 11,000-12,000 มิลลิกรัม/ลิตร เป็น 8,000-9,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในถังเติมอากาศเบื้องต้น และ ลดลงเหลือ 500-600 มิลลิกรัม/ลิตร หลังจากผ่านถัง PSB บีโอดีสุดท้ายก่อนปล่อยออกจากระบบลดลงเหลือประมาณ 20 มิลลิกรัม/ลิตร นอกจากนี้ ในส่วนบำบัดขั้นที่สองยังสามารถกำจัดไนโตรเจนได้มากกว่า 95 % และสามารถลดปริมาณฟอสเฟตได้มากกว่า 95 % เซลล์แบคทีเรียที่ได้มีโปรตีน 66 % มีปริมาณกรดอะมิโนและวิตามินมากมาย โดยเฉพาะไซยาโนโคบาลามิน (cyanocobalamin) , กรดโฟลิค (folic acid) และ ไบโอติน (biotin) มีค่าสูงมาก

Noparatnaraporn และคณะ (1980) ได้ทดลองเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในสภาวะมีอากาศ-ไร้แสงในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบ ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลกลูโคส ซูโครสและราฟฟิโนส ซึ่งทำให้น้ำทิ้งมีค่าซีโอดีสูง แต่เมื่อผ่านการเลี้ยงด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง พบว่า สามารถลดค่าซีโอดีได้มากกว่า 80 % และยังได้ผลผลิตเซลล์เท่ากับ 8.5-9.3 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร ภายในเวลา 40 ชั่วโมง

Kobayashi และคณะ (1983) ทำการทดลองโดยใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง (green photosynthetic sulfide-oxidizing bacterium, *Chlorobium* และ purple photosynthetic bacterium, *Rhodopseudomonas* และ *Rhodospirillum*) เพื่อลดปริมาณไดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) จากน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบไม่ใช้ออกซิเจนแล้วโดยการตรึงเซลล์ในคอลัมน์ (packed column) และในหลอด (phototube) ในสภาพไร้อากาศ พบว่า มีประสิทธิภาพในการลดไดไฮโดรเจนซัลไฟด์ 81-95 % ภายใน 24 ชั่วโมง โดยเมื่อตรึงเซลล์ในหลอดจะใช้เวลาสั้นกว่าและสามารถรับอัตราการป้อนเข้าสู่ระบบได้มากกว่าเมื่อตรึงเซลล์ในคอลัมน์

ดวงพร (2525) ได้ทดลองเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสง *R.sphaeroides* ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตลับปะรดปรุงแต่ง ภายใต้สภาวะไม่มีอากาศ-มีแสง จะได้ปริมาณเซลล์สูงสุด 3.73 กรัม/ลิตร และได้ปริมาณวิตามินบี12 สูงสุด 72.72 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง มีปริมาณคาโรทีนอยด์ และ แบคทีเรียคลอโรฟิลล์ 2.96 และ 22.36 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และเมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบการลดค่าซีโอดีภายใต้สภาวะมีอากาศ-ไร้แสงและสภาวะไม่มีอากาศ-มีแสง พบว่า สามารถลดค่าซีโอดีได้ 46.7 และ 41.6 % ตามลำดับ

วรรณา (2528) ได้ทดลองเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสง *R.sphaeroides* P_{47} ในน้ำคั้นเปลือกและแกนลับปะรดจากโรงงานผลิตลับปะรดกระป๋อง มีน้ำตาลตั้งต้น 20 กรัมต่อลิตร ในสภาวะมีอากาศ-ไร้แสง พบว่า สามารถลดค่าซีโอดี ได้ 52.3 % ได้เซลล์ประมาณ 4.62 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร ภายในเวลา 12 ชั่วโมง แต่เมื่อทำการทดลองในน้ำคั้นเปลือกและแกนลับปะรดที่ผ่านการย่อยด้วยกรดที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 3 จะสามารถลดค่าซีโอดีได้เพิ่มขึ้นเป็น 81.4 % ได้เซลล์ประมาณ 8.34 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร ภายในเวลา 14 ชั่วโมง เซลล์ที่ได้มี

ปริมาณโปรตีนเท่ากับ 66.57 %ของน้ำหนักแห้ง และเมื่อนำเซลล์นี้ไปเลี้ยงปลา พบว่า สามารถช่วยเร่งระยะการพัฒนาระบบสืบพันธุ์ได้เป็นอย่างดี ช่วยให้มีปริมาณไข่มากขึ้นและไข่สุกเร็วขึ้น

จารุวรรณ (2532) ได้ทดลองเพาะเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ P VI ในบ่อหมักแบบเปิดกลางแจ้ง โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง พบว่า เมื่อใช้หัวเชื้อ 10 % ได้ปริมาณวัตถุแห้งเท่ากับ 5 กรัม/ลิตร และมีประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีเป็น 94.4 % ภายในระยะเวลา 13 วัน เปอร์เซ็นต์การใช้แป้งเท่ากับ 98.65 และเมื่อเพิ่มปริมาณหัวเชื้อเป็น 50 % พบว่า ได้ปริมาณวัตถุแห้งเท่ากับ 6.2 กรัม/ลิตร และมีประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นเป็น 96.5 % ภายในระยะเวลา 12 วัน เปอร์เซ็นต์การใช้แป้งเท่ากับ 98.95 เซลล์ที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยมีปริมาณโปรตีน 53.58 % และยังประกอบด้วยวิตามินหลายชนิด เช่น ไบโอติน วิตามิน12 และ ไนอาซิน ในปริมาณ 35.9 , 16.6 และ 253.7 มิลลิกรัม/กิโลกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ

ทัศนีย์ (2534) ได้ทำการทดลองเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสง ในสภาวะมีอากาศน้อย-มีแสง และไม่ปลอดเชื้อ พบว่า เมื่อเลี้ยงในขวดรูซ์ (Rhoux bottle) 1.5 ลิตร แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ PIV มีประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี 91.5 % ภายใน 16 วัน ส่วนสายพันธุ์ PVI มีประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี 89 % ภายใน 16 วัน เมื่อทำการทดลองเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในถังหมักกลางแจ้งแบบเปิดขนาด 40 ลิตร แบบเติมครั้งเดียว (batch) โดยใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 10 % พบว่า สายพันธุ์ PIV มีประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี 32.8 % ภายใน 26 วัน ส่วนสายพันธุ์ PVI มีประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี 26.1 % ภายใน 20 วัน และเมื่อเพิ่มปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นเป็น 50 % ผลปรากฏว่าประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของสายพันธุ์ PIV เพิ่มเป็น 73.3 % ภายใน 21 วัน เมื่อทำการทดลองเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous) ในถังหมักกลางแจ้งแบบเปิดขนาด 40 ลิตร พบว่า ที่อัตราเติมเข้าและตักออก 1 ลิตรต่อวัน มีประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี 84.3 % ที่อัตรา 2 ลิตรต่อวัน มีประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี 70.7 % สำหรับที่อัตรา 3 ลิตรต่อวัน หลังจากเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงแล้วมีค่าซีโอดีเพิ่มขึ้น และเมื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ PIV พบว่า มีปริมาณโปรตีน 51.79 % ,วิตามิน

เช่น ไบโอติน,บี12 และไนอาซิน มีปริมาณ 49.62 , 11.82 และ 19.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ และยังมีปริมาณคาโรทีนอยด์ 3.27 มิลลิกรัมต่อกรัมวัตถุแห้ง

Prasertsan และคณะ (1993) ได้ทำการแยกเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจากโรงงานการผลิตอาหารทะเลแปรรูป พบว่าเป็น *Rhodocyclus gelatinosus* ซึ่งเป็น purple non-sulfur photosynthetic bacteria ของกลุ่ม *Rhodospillaceae* และเมื่อนำไปเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ ภายใต้สภาวะไร้อากาศ-มีแสง ได้ปริมาณเซลล์ 1.7-2.3 กรัม/ลิตร ปริมาณคาโรทีนอยด์และแบคทีริโอคลอโรฟิลล์ 11.1-12.6 และ 102-108 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ปริมาณโปรตีน 32-48 % ต่อมาในปีเดียวกัน Prasertsan และคณะ ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของ *Rhodocyclus sp.* ในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตทูน่า , น้ำล้างกุ้ง และน้ำทิ้งจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง ในสภาวะไม่มีอากาศ-มีแสง พบว่าสายพันธุ์ R7 สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้ดีที่สุดในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตทูน่าที่เจือจาง 10 เท่า เท่ากับ 78 % ได้ปริมาณเซลล์สูงที่สุด คือ เท่ากับ 4 กรัม/ลิตร หรือ 0.32 กรัมเซลล์/กรัมซีโอดี

2.4 <u>โรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง</u>

อุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้สัตว์น้ำเป็นวัตถุดิบในการผลิต ซึ่งโรงงานผลิตส่วนใหญ่จะผลิตผลิตภัณฑ์หลายๆชนิดควบคู่กันไป ในปัจจุบันมีโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็งประมาณ 150 โรงงานโดยเป็นโรงงานที่ได้รับการส่งเสริมการลงทุนจำนวน 39 โรงงาน สถานที่ตั้งของโรงงานส่วนใหญ่จะอยู่ในเขตภาคกลางมากที่สุด คือ บริเวณองค์การสะพานปลาในจังหวัดสมุทรสาครและสมุทรปราการ และองค์การสะพานปลากรุงเทพ รองลงมาได้แก่ ภาคใต้ ซึ่งมีโรงงานมากที่สุดในจังหวัดสงขลาและสุราษฎร์ธานี (องอาจ,2536)

<u>การผลิต</u>

วัตถุดิบที่สำคัญที่สุดที่ใช้ในการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง คือ กุ้ง ปลา และปลาหมึก นอกจากนี้ยังมีสัตว์น้ำอื่นๆอีก เช่น ปูและหอย สำหรับกุ้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต คือ กุ้งกุลาดำ กุ้งกุลาลาย กุ้งแชบ๊วย และกุ้งโอคัก ส่วนปลาที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ ปลากระพงขาว,แดง ปลาพลังเขียว ปลาทราย และปลาตาโต และปลาหมึกที่โรงงานใช้เป็นวัตถุดิบ ได้แก่ ปลาหมึก

กระดอง ปลาหมึกกล้วย ปลาหมึกสาย และปลาหมึกหอม

ขั้นตอนการผลิตของโรงงานส่วนใหญ่มีดังนี้ (องอาจ,2536)

1.นำวัตถุดิบ (กุ้ง ปลา และปลาหมึก) มาล้างน้ำทำความสะอาด และ คัดคุณภาพวัตถุดิบ

2.นำวัตถุดิบที่ผ่านการคัดคุณภาพแล้วมาตัดหัวและลอกเปลือกออก หรือ ติดเปลือกไว้บ้างตามที่ลูกค้าต้องการ

3.นำไปล้างในน้ำที่ผสมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค เสร็จแล้วนำมาล้างน้ำสะอาดอีกครั้งหนึ่ง

4.คัดขนาดของสินค้าให้ได้มาตรฐานโดยการชั่งน้ำหนักและนำมาเรียงลงในถาด

5.นำสินค้าเข้าห้อง quick freezing ที่อุณหภูมิ -40 °ซ. โดยใช้เวลาประมาณ 10-70 ชั่วโมง ตามปริมาณสินค้าที่นำมาแช่แข็ง

6.นำสินค้าที่ผ่านการแช่แข็งแล้วมาแกะออกจากถาดบรรจุในกล่องตามขนาดที่ลูกค้าต้องการ และ นำไปบรรจุในหีบห่อที่มีขนาดใหญ่ต่อไป

เนื่องจากอาหารทะเลแช่แข็งที่ส่งไปจำหน่ายต่างประเทศนั้น ส่วนใหญ่จะผลิตตามคำสั่งของลูกค้า ดังนั้น กรรมวิธีการผลิตสินค้าแต่ละชนิดแม้ว่าจะแตกต่างกันบ้างแต่ก็ไม่มากนัก เพียงแต่สินค้าบางชนิดมีขั้นตอนการผลิตที่ค่อนข้างละเอียดกว่าขั้นตอนโดยทั่วไป

<u>การตลาด</u>

อาหารทะเลแช่แข็งของไทย เป็นสินค้าที่ผลิตส่งออกไปขายต่างประเทศเกือบทั้งหมด โดยลักษณะของตลาดสินค้าอาหารทะเลแช่แข็ง เพื่อการส่งออกเป็นตลาดที่มีการแข่งขันกันสูงมาก เพราะมีผู้ผลิตสินค้าประเภทนี้เป็นจำนวนมาก ขณะที่ผู้ซื้อส่วนใหญ่เป็นประเทศที่พัฒนาแล้ว อย่างไรก็ตามการที่ผู้ผลิตของไทยได้พยายามพัฒนาการผลิต จนเป็นที่ยอมรับของตลาดต่างประเทศ ทำให้มูลค่าการส่งออกอาหารทะเลแช่แข็งของไทยเพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับ สำหรับในช่วงปี 2532-2535 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกอาหารทะเลแช่แข็งของไทยเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 15.39 และ ร้อยละ 34 ตามลำดับ สำหรับในปี 2537 ผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแช่เยือกแข็ง คาดหมายได้ว่าจะสามารถส่งออกและมีมูลค่า ดังตารางที่ 2.3 โดยตลาดส่งออกที่สำคัญคือ ญี่ปุ่น รองลงมาได้แก่ สหรัฐฯ อิตาลี สิงคโปร์ ฮ่องกง และ ฝรั่งเศส

ตารางที่ 2.3 แสดงปริมาณการส่งออกสินค้าสัตว์น้ำ ปี 2537

ปริมาณส่งออก: พันตัน ; มูลค่า: พันล้านบาท

ผลิตภัณฑ์	ปี 2536		ปี 2537		อัตราเพิ่ม/ลด (%)	
	ปริมาณส่งออก	มูลค่า	ปริมาณส่งออก	มูลค่า	ปริมาณส่งออก	มูลค่า
กุ้งสดแช่เยือกแข็ง	125	30	130	32	4	7
ปลาหมึกสดแช่เยือกแข็ง	75	6.6	79	7	5	6
เนื้อปลาสดแช่เยือกแข็ง	75	4.9	80	5.1	7	4
ปลาสดแช่เย็นแช่แข็ง	180	2.25	180	2.5	-	11

ที่มา : ดัดแปลงจากทวี (2537)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย