บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 น้ำเสียจากกิจกรรมสะพานปลา

2.1.1 คุณลักษณะน้ำเสียจากกิจกรรมสะพานปลา

กิจกรรมสะพานปลาเกิดขึ้นประมาณ 23.00 – 6.00 น. ของแต่ละวัน ลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นมาจากส่วนต่างๆ ของกิจกรรมบริเวณสะพานปลาดังนี้

- น้ำเสียจากการล้างทำความสะอาดสัตว์น้ำ
- น้ำเสียจากการล้างทำความสะอาดรถ-เรือขนส่ง
- น้ำเสียจากการแช่แข็งสัตว์น้ำ
- น้ำเสียจากการล้างทำความสะอาดพื้นบริเวณกองสัตว์น้ำ

คุณลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นแปรตามฤดูกาล ชนิด ประเภท และปริมาณของสัตว์น้ำ ทำให้มีค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียไม่คงที่ (อ้างอิงภาคผนวก ค)

2.1.2 คุณสมบัติและองค์ประกอบของปลา

ปลา ส่วนประกอบและจุลชีววิทยาของปลา ทั่วไปมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ วิตามินและน้ำ ดังนี้

2.1.2.1 โปรตีน เป็นสารประกอบไนโตรเจนชนิดหนึ่ง ซึ่งโปรตีนในปลาสามารถจำแนกตามลักษณะการละลายได้เป็น 4 ประเภท คือ

- โปรตีนที่ละลายน้ำได้ในน้ำหรือที่เรียกว่า มัยโอเจน (myogen) มีอยู่ประมาณ 10 - 20 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วยน้ำย่อยชนิดต่างๆ เม็ดสีในเนื้อและไซโตโครม
- โปรตีนที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในสารละลายเกลือเจือจาง มีค่า Ionic strength ประมาณ 0.15 เรียกว่า โกลบูลินเอ็กซ์ (globulin-x) โดยมีอยู่ประมาณ 8 - 22 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนในเลือดและน้ำย่อยบางชนิด
- โปรตีนที่ละลายในสารละลายเกลือที่มีค่า Ionic strength สูงกว่า 0.5 ได้แก่ โปรตีน กล้ามเนื้อ (myfIbrillar protein) เช่น แอคติน (actin) , มัยโอซิน (myosin), แอคติโนมัยโอซิน (actinomyosin) เป็นต้น พวกนี้มีอยู่ประมาณ 65 - 75 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนทั้งหมด

- โปรตีนที่ไม่ละลายน้ำหรือสารละลายของเกลือแต่ละลายในกรด และด่างเข้มข้น เรียกว่า สโตรมอล โปรตีน (stromal protein) พวกนี้ได้แก่ โปรตีนในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เช่น คอลลาเจน (collagen), อีลาสติน (elastin), เรทติคูลิน (reticulin) พบอยู่ประมาณ 3 - 10 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมด นอกจากนี้ในเนื้อปลายังมีสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนอีก ได้แก่ กรดอะมิโนอิสระซึ่งในเนื้อปลามีสูงกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆ มีอยู่ประมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ของกรดอะมิโนทั้งหมด แอมโมเนียและสารระเหยง่ายอื่นๆ ไตรเมธิลเอมีนออกไซด์ (trimethylamine-oxide) และสารพวกนิวคลีโอไทด์ สารประกอบเหล่านี้ทำให้ปลาชนิดต่างๆมีรสชาติแตกต่างกัน

2.1.2.2 ไขมัน ไขมันในปลามีคุณสมบัติที่ต่างจากไขมันของสัตว์อื่น คือในโมเลกุล ประกอบด้วย กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมมากกว่า 18 อะตอม และโมเลกุลของกรดไขมันต่อกันเป็นสายโมเลกุลที่ยาว และมีกรดลิโคลินิก (linolenic acid) ที่มีจำนวนคาร์บอนระหว่างพันธะคู่ เท่ากับ 3 อะตอม ในปริมาณมากไขมัน ในปลาแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

-ไขมันสะสม (depot fat) เป็นไขมันที่ปลาเก็บไว้เป็นแหล่งพลังงาน ส่วนมากพบใต้ผิวหนัง กล้ามเนื้อแดง และตับ ไขมันในกลุ่มนี้สภาพเป็นกลางซึ่งส่วนใหญ่เป็นไตรกลีเซอไรด์ เมื่อย่อยด้วยเอนไซม์ไลเปส จะให้กรดไขมันซึ่งจะนำไปสร้างพลังงานโดยกระบวนการออกซิเดชัน

-ไขมันไม่สะสม (non-depot fat) เป็นไขมันซึ่งเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) และช่วยในการทำงานของเซลล์ให้เป็นไปตามปกติ ไขมันนี้จะอยู่ในสภาพขั้ว (polar) ที่สำคัญ ได้แก่ ฟอสโฟลิปิดและไตรกลีเซอไรด์

กรดไขมัน (fatty acid) ที่พบในปลาจะแตกต่างกันออกไป มีทั้งกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) แต่จะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว มากถึง 40 เปอร์เซ็นต์และเป็นพวกที่มีความไม่อิ่มตัวสูง กล่าวคือ มีปริมาณพันธะคู่มากถึง 6 พันธะใน 1 โมเลกุล ทำให้ไขมันจากปลาเสียและเหม็นหืนง่าย ลักษณะสำคัญอีกอย่างหนึ่งของกรดไขมันในปลา คือ ส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ซึ่งมีมากถึง 97 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างของกรดไขมันที่เป็นส่วน ประกอบของไตรกลีเซอไรด์และฟอสโฟลิปิดในปลาชนิดต่างๆ

กรดไขมันของปลาทะเลและปลาน้ำจืดมีความแตกต่างกัน คือ ปลาทะเลจะมีกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็น 18, 20 และ 22 มากกว่าในปลาน้ำจืด ซึ่งมีกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็น 20 และ 22 น้อย แต่จะมีกรดปาล์มมิติดมากกว่าในปลาน้ำเค็ม ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะความแตกต่างของสภาพแวดล้อม อาหาร ฤดูกาล ในปลาที่มีไขมันมากจะมีเนื้อสีเข้มกว่าปลาที่มีไขมันน้อย

2.1.2.3 แร่ธาตุ ได้แก่ โปตัสเซียม ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ แมกนีเซียม เป็นต้น

2.1.2.4 วิตามิน พบทั้งที่ละลายในไขมัน เช่น วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินเค และที่ละลายได้ในน้ำ เช่น ไธอะมีน ไรโบพลาวิน ไนอะซีน กรดโฟลิค ไบโอติน เป็นต้น

หอสมุดกลาง สถาบัน หอบ กลาง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.3 **จุลชีววิทยาของปลาและเกลือ**

2.1.3.1 จุลชีววิทยาของปลา

จุลินทรีย์ที่พบในปลานั้นจะแตกต่างกันไปตามฤดูกาล สถานที่ ชนิดของปลา กรรมวิธีการจับปลา การเก็บรักษาและการขนส่ง เหงือกและลำไส้ของปลา

จุลินทรีย์ที่พบ ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียที่พบตามผิวหนังและเมือกบนตัวปลา เช่น Pseudomonas sp., Achromobacter sp., Micrococcus sp., Bacillus sp., Streptococcus sp., Flavobacterium sp., Sarcina sp., Corynebacterium sp., Serratia sp., Vibrio sp., Alcaligenes sp., Lactobacillus sp., **ฯลฯ ส่วนพวกที่พบบริเวณลำไส้ของปลา เช่น** Bacillus sp., Flavobacterium sp., Achromobacter sp., Vibrio sp., Pseudomonas sp., Clostridium sp., Escherichia sp., **ฯลฯ ปลาที่จับมาจากทะเลใหม่ ๆ จะมีจำนวนแบคทีเรียบริเวณเมือกบนตัวปลา** ประมาณ 10^2 - 10^7 **เซลล์ต่อตารางเซนติเมตร ในลำไส้ประมาณ** 10^3-10^9 **เซลล์ต่อกรัมและตรง บริเวณเหงือกประมาณ** 10^3-10^9 **เซลล์ต่อกรัม โดยพบว่า** Escherichai sp., Serratia sp., Pseudomonas sp., **และ** Clostriduim sp. **จะมีบทบาทสำคัญที่ทำให้ปลาเกิดการเน่าเสีย เพราะ** แบคทีเรียเหล่านี้สามารถเจริญอย่างรวดเร็ว **เนื่องจากเนื้อปลามีสารอาหารและกรดอะมิโนสูง** นอกจากนี้ยังสามารถใช้สารอาหารที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายตัวเองของปลา (autolysis) และสารอาหารที่เกิดจากการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย **เช่น** เปปไทด์และกรดอะมิโนซึ่งจะถูก เปลี่ยนไปเป็นเอมีน(amine) อินโดล (indole) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide) ต่อไป

2.1.3.2 จุลชีววิทยาของเกลือ

เกลือ ส่วนประกอบและจุลชีววิทยาของเกลือ **ทั้งเกลือทะเลและเกลือสินเธาว์** มีชื่อเรียกทางเคมีเหมือนกัน คือ **โซเดียมคลอไรด์** (NaCl) **เกลือทะเลที่ใช้ในประเทศไทยมี โซเดียมคลอไรด์อยู่ประมาณ** 88.26+2.79 **เปอร์เซ็นต์ สารชนิดอื่นที่เจือปนในเกลือทะเลได้แก่ แคลเซียมซัลเฟส** 0.24 **เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียมคลอไรด์** 0.30 **เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมคลอไรด์** 0.24 **เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียมซัลเฟต** 0.17 **เปอร์เซ็นต์ สารที่ไม่ละลายน้ำ** 0.40 **เปอร์เซ็นต์ และน้ำ** 2.40 **เปอร์เซ็นต์**

สามารถแบ่งประเภทของแบคทีเรีย ออกเป็น 3 **กลุ่ม ตามสภาพความต้อง** การเกลือได้ดังนี้

2.1.3.2.1 **แบคทีเรียพวกไม่ชอบเกลือ** (non-halophilic , halophobic **หรือ** salt -sensitive bacteria) **ซึ่งจะรวมแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคส่วนใหญ่ แบคทีเรียกลุ่มนี้ ไม่สามารถเจริญได้ในที่มีความเข้มข้น เกลือสูงกว่า** 6 **เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าจะมีชีวิตอยู่ได้ยาวนาน ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม**

2.1.3.2.2แบคทีเรียพวกทนเค็ม (halotolerant หรือ haloduric bacteria) เป็นกลุ่มที่ไม่ต้องการเกลือสำหรับการเจริญ แต่อาจเจริญได้ในที่มีความเข้มข้นเกลือตั้งแต่ 10 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ซึ่งได้แก่ แบคทีเรียที่สร้างสปอร์, Micrococci, Staphylococci และแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนบางชนิด โดยเฉพาะ Clostridium botulinum

2.1.3.2.3 แบคทีเรียพวกชอบความเค็ม (halophilic bacteria) ต้องการเกลือในการเจริญมากกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ และไม่สามารถเจริญได้ในสภาวะที่ไม่มีเกลือ อาจแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

- แบคทีเรียชอบเค็มปานกลาง (moderately halophilic bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถเจริญในที่มี ความเข้มข้นเกลือ 3 - 15 เปอร์เซ็นต์ มักพบมากในน้ำทะเล ได้แก่ Pseudomonas spp., Achromobacter spp., Micrococcus ssp., Pediococcus spp., Bacillus spp. และกลุ่ม Coryneform

- แบคทีเรียชอบเค็มสูง (extremely halophilic bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้ต้องการเกลือ สำหรับการเจริญ 12 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ได้แก่ แบคทีเรียในวงศ์ Halobacteriaceae ซึ่งมี 2 สกุล คือ Halobacterium spp. และ Halococcus sp. แบคทีเรียในกลุ่มนี้มีลักษณะเด่น คือ โคโลนีจะมีสีชมพู ส้มถึงแดงสด เนื่องจากมี รงควัตถุคาโรทีนอยด์สีแดง ซึ่งเป็นตัวกั้น (Screen) แสงแดดและรังสีอุลตรา-ไวโอเลต ช่วยให้อาศัยอยู่ใน แหล่งน้ำหรือทะเลที่ถูกแผดเผาตลอดเวลา

2.2 การเจริญของจุลินทรีย์แบบตะกอนเร่ง

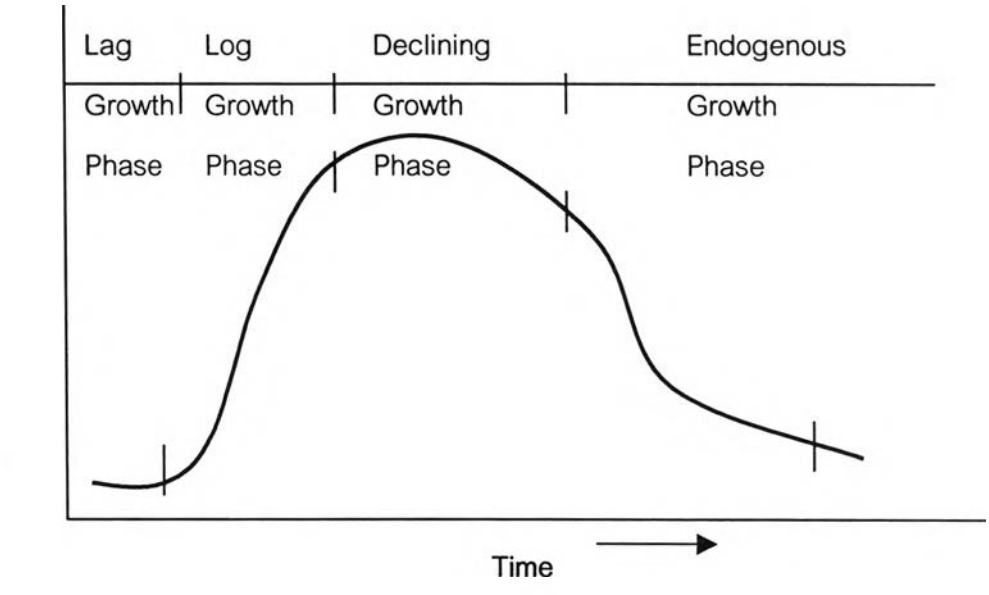
จุลินทรีย์ที่อยู่ในถังปฏิกรณ์แบบต่างๆ สามารถแบ่งการเจริญเติบโตออกได้เป็น 4 ช่วง แสดงดังรูปที่ 2-1 ซึ่งจากรูปมีรายละเอียดดังนี้

ช่วงที่ 1 มีอัตราการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ต่ำ เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องใช้เวลาในการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมและเริ่มสร้างเอนไซม์จำเป็นในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

ช่วงที่ 2 จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีอาหารเหลือเฟือ ลักษณะจุลินทรีย์จะเติบโตแบบกระจายเป็นเซลล์อิสระไม่รวมกันเป็นฟล็อกที่ดี ถ้าระบบบำบัดน้ำเสียทำงานในช่วงนี้ ตะกอนเร่งจะตกตะกอนไม่ดีเป็นผลให้น้ำออกขุ่น เนื่องจากมีตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกมามาก อีกทั้งยังมลสารอินทรีย์เหลืออยู่เป็นจำนวนมากทำให้น้ำออกมีค่าซีโอดีและค่าบีโอดีสูง

ช่วงที่ 3 การเจริญของจุลินทรีย์จะลดลงเนื่องจากอาหารเหลืออยู่จำกัด จุลินทรีย์เกาะรวมกลุ่มกันเป็นฟล็อคที่ดี ตกตะกอนได้ง่ายและน้ำออกมีคุณภาพดีและใส ช่วงนี้จะเหมาะสำหรับนำมาใช้บำบัดน้ำเสีย โดยจะต้องรักษาอัตราส่วนของอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ให้มีค่าพอเหมาะ

ช่วงที่ 4 จุลินทรีย์จะขาดอาหารและตาย ในช่วงนี้จะมีอาหารเหลืออยู่น้อยหรือไม่มีอาหารอยู่เลย ดังนั้น เมื่อจุลินทรีย์ได้ใช้อาหารที่เก็บสะสมเอาไว้ภายในหมดแล้ว ก็จะตายและเซลล์แตกกลายเป็นอาหารของจุลินทรีย์ตัวอื่นซึ่งยังมีชีวิตอยู่ หากไม่มีอาหารเพิ่มขึ้นจำนวนจุลินทรีย์ก็จะลดลงและตายจนหมด เช่น ในถังย่อยตะกอนแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นการลดปริมาณของตะกอนเร่งส่วนเกินที่จะต้องนำไปทิ้ง



รูปที่ 2-1 การเจริญของจุลชีพในถังปฏิกิริยาแบบแบตช์ (กรมควบคุม, 2544)

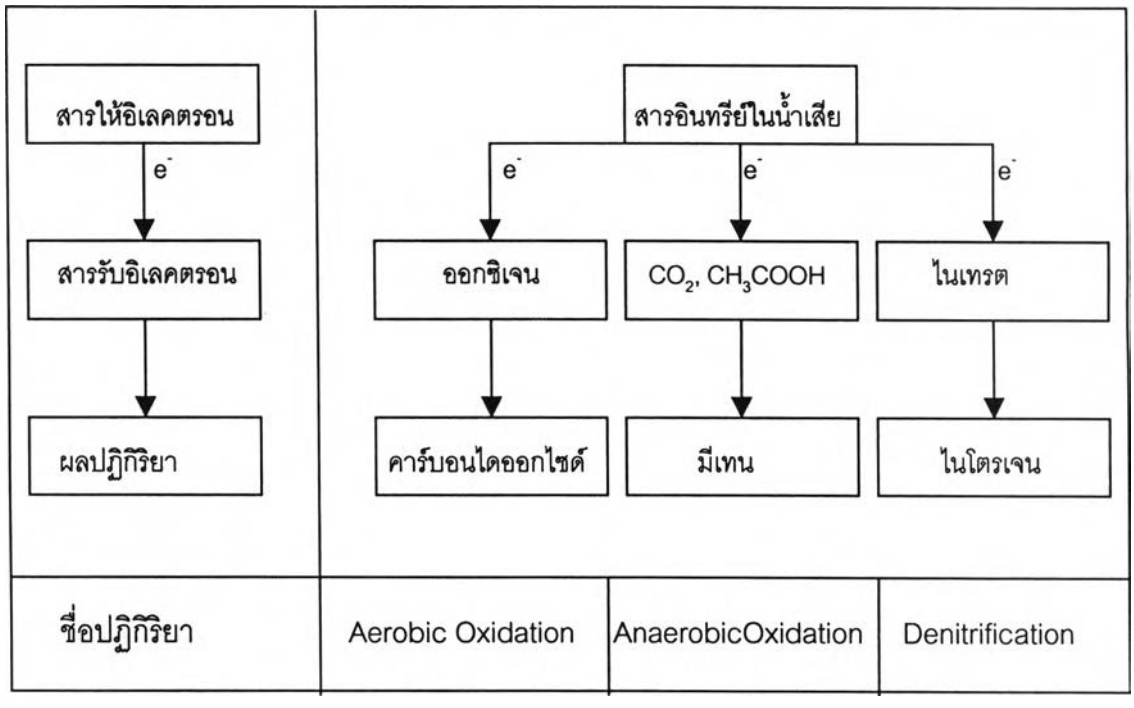
สำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ จะมีค่าคงที่ตลอดหากอัตราการไหลของน้ำเสียและค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์มีค่าคงที่ ดังนั้นจึงสามารถควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ได้อย่างสม่ำเสมอเท่ากันตลอดทั้งถัง สำหรับช่วงการเจริญขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของอาหารและปริมาณของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปมักจะควบคุมให้ทำงานในช่วงที่ 2 และช่วงที่ 4

2.3 กระบวนการไร้ออกซิเจน

2.3.1 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการไร้ออกซิเจน

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย มีปฏิกิริยาที่เกิดการถ่ายเทอิเลคตรอนระหว่างสารให้อิเลคตรอนและสารที่รับอิเลคตรอน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิเดชันและแบบรีดักชัน หรือรีด็อกซ์ โดยที่สารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งมีพลังงานสูงจะเป็นสารให้อิเลคตรอนและมีสารอย่างอื่นเป็นตัวรับอิเลคตรอน ถ้าปฏิกิริยาเป็นแบบใช้ออกซิเจนสารที่รับอิเลคตรอน คือ ออกซิเจน

แต่ถ้าสารที่รับอิเลคตรอนเป็นสารอื่น เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ หรือ ไนเทรต ปฏิกิริยาก็จะเป็นแบบไร้ออกซิเจน ปฏิกิริยารีด๊อกซ์ในน้ำเสีย แสดงดังรูปที่ 2-2



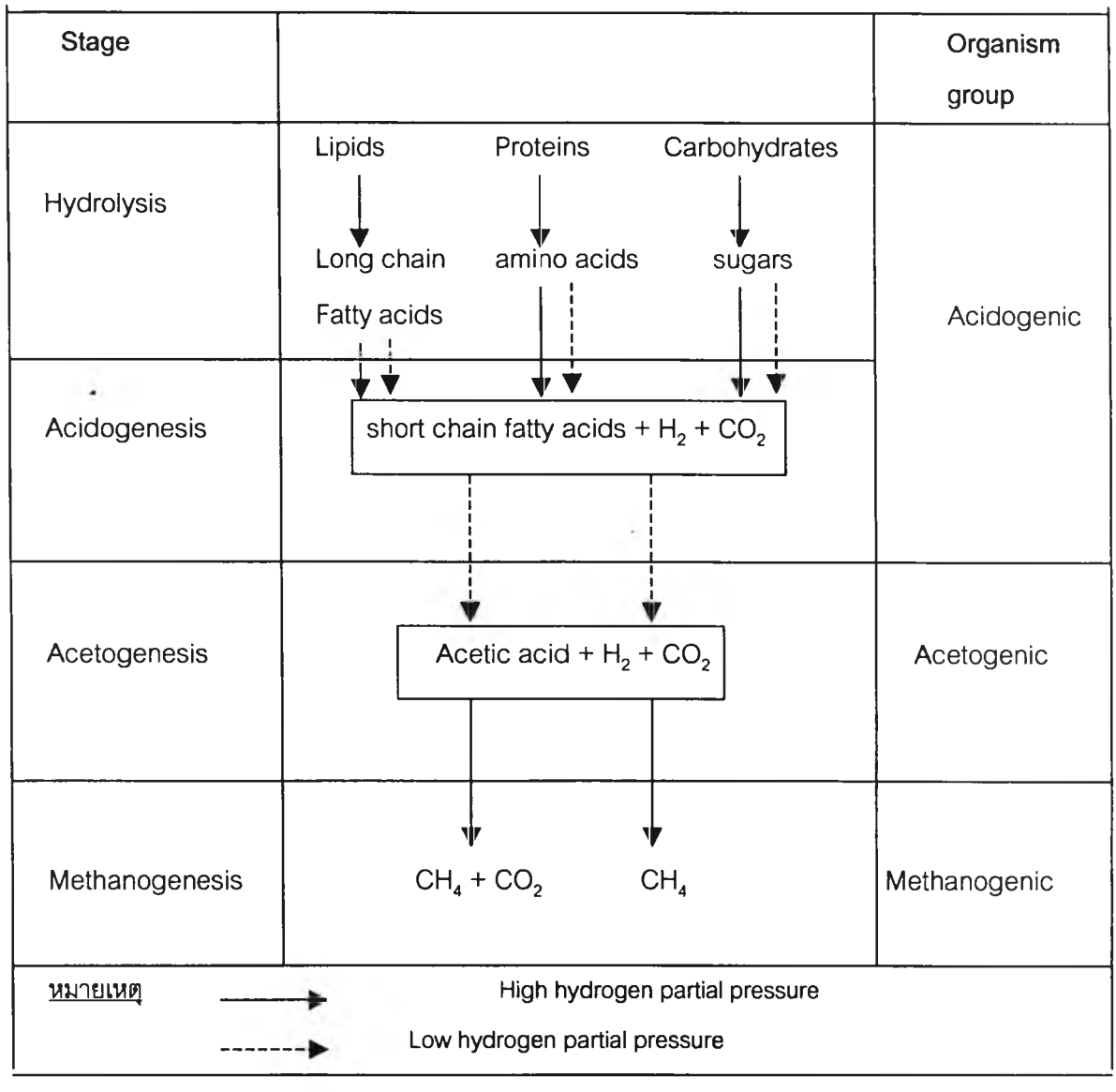
รูปที่ 2-2 ปฏิกิริยารีด๊อกซ์ในน้ำเสีย (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2536)

กระบวนการไร้ออกซิเจนเป็นระบบที่ซับซ้อนมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่ร่วมกันมากมายหลายกลุ่ม ความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์เหล่านี้มีทั้งการพึ่งพาอาศัยกันและการแข่งขันกัน สารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบจะถูกเปลี่ยนรูป เนื่องจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์หลายกลุ่มต่อกัน ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของกลุ่มจุลชีพหนึ่งถูกย่อยสลาย โดยจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่ง เกิดเป็นความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกัน แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นสามารถใช้โดยจุลินทรีย์หลายกลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้สารอาหารชนิดเดียวกัน ก็ทำให้เกิดความสัมพันธ์แบบแข่งขันกันขึ้น จุลินทรีย์หลายกลุ่มที่อาศัยอยู่ร่วมกันและมีปฏิสัมพันธ์กันเหล่านี้ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ และเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปต่างๆ เช่น มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ หรือซัลไฟด์ เป็นต้น แต่สารอินทรีย์ในระบบจะถูกใช้โดยจุลินทรีย์กลุ่มใด และถูกใช้ในสัดส่วนเท่าใดนั้นขึ้นกับปัจจัยต่างๆมากมาย โดยเฉพาะปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมที่ส่งผลให้แบคทีเรียกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเด่นที่สุดในระบบ หากพิจารณาในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนโดยทั่วไปที่ผลิตมีเทน แบคทีเรียที่โดดเด่น คือ แบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนทำงานร่วมกัน ผลิตภัณฑ์หลักของระบบคือ ก๊าซมีเทน

ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 : Hydrolysis
- ขั้นตอนที่ 2 : Acidogenesis
- ขั้นตอนที่ 3 : Acetogenesis
- ขั้นตอนที่ 4 : Methanogenesis

ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการไร้ออกซิเจน แสดงดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการไร้ออกซิเจน (Sam-soon ,1987)

ขั้นตอนที่ 1 ไฮโดรไลซีส (Hydrolysis)

เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล และกรดอะมิโน เป็นต้น โดยแบคทีเรียหลายจำพวกซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกแบคทีเรียสร้างกรด แบคทีเรียเหล่านี้ปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์ ซึ่งจะลดพลังงานกระตุ้นเป็นการช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น เอนไซม์เป็นโปรตีนที่มีความเฉพาะเจาะจงต่อปฏิกิริยาและสารที่ทำปฏิกิริยา ดังนั้นเอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมานอกเซลล์ จึงขึ้นอยู่กับสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย เช่น แป้งและไกลโคเจน ต้องใช้อะไมเลส (Amylase) ไขมันและไลปิดใช้ไลเปส (Lipase) โปรตีนต้องใช้ โปรตีส (Protease) เป็นต้น ชนิดของสารตั้งต้นและผลิตผลที่ได้จากขั้นตอน hydrolysis และเอนไซม์ที่ใช้ แสดงดังรูปที่ 2.4

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenesis)

ผลผลิตจากขั้นตอนที่ 1 จะได้เป็นสารประกอบอินทรีย์โมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะมิโน น้ำตาล และกรดไขมัน เป็นต้น ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์จะถูกแบคทีเรียกลุ่มเดียวกับขั้นตอน ที่ 1 คือ พวกแบคทีเรีย สร้างกรดดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงาน โดยผ่านกระบวนการหมัก (Fermentation) ภายในเซลล์แล้วเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก เป็นต้น ผลผลิตที่ได้จะขึ้นอยู่กับ

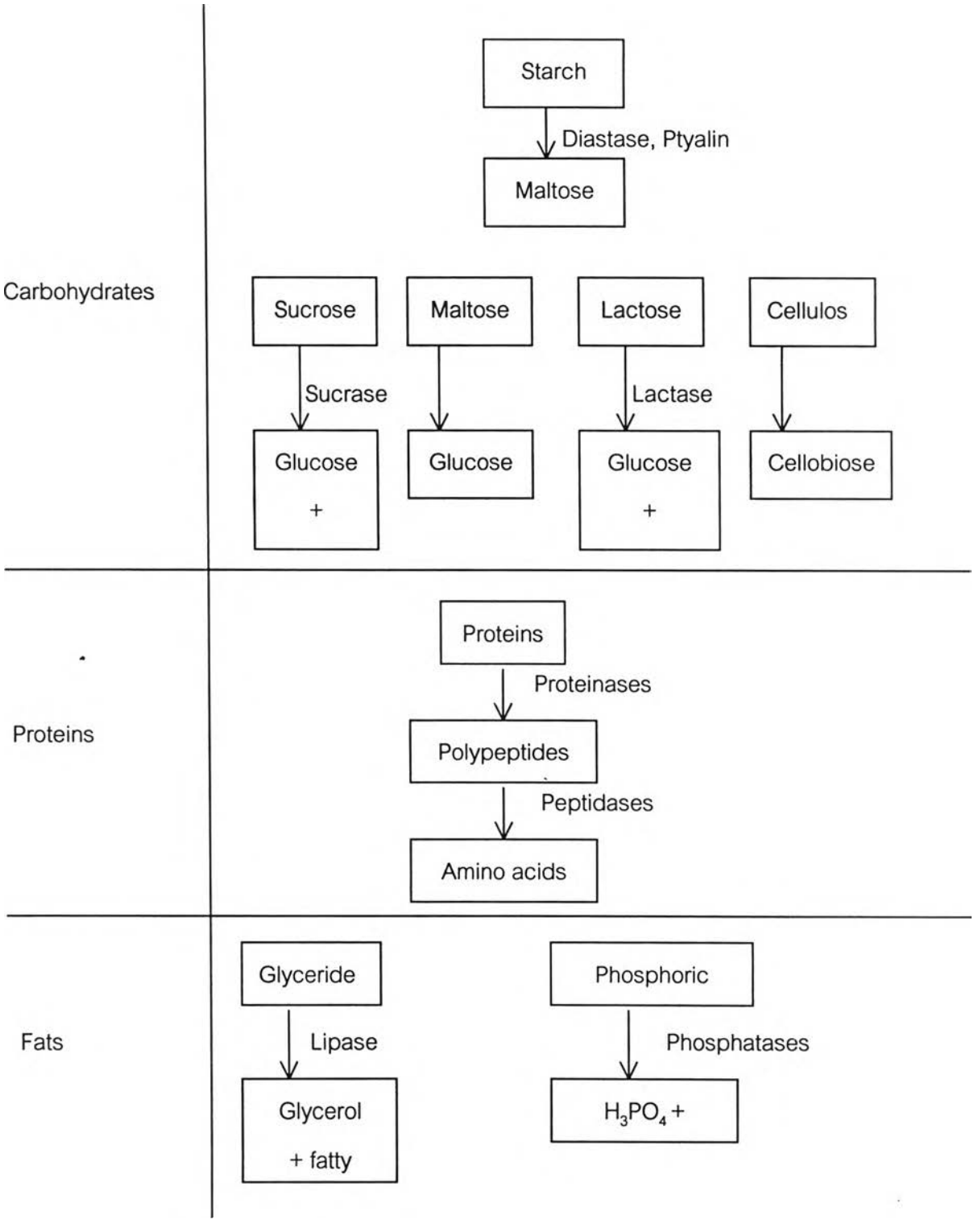
- ชนิดของสารอินทรีย์
- ความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนในขณะนั้น

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis)

กรดไขมันระเหยที่ผลิตขึ้นในขั้นตอนที่ 2 จะเป็นอาหารให้แบคทีเรียกลุ่มที่ทำหน้าที่สร้างมีเทน แต่เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างมีเทนไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม เช่น กรดบิวทิริก กรดโพรพิโอนิกเป็นสารอาหารได้ จึงต้องอาศัยแบคทีเรียสร้างอะซิเตท ทำการย่อยกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอน มากกว่า 2 อะตอม ให้กลายเป็นกรดอะซิติกเพื่อให้แบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้ต่อไป ในขั้นตอนนี้จะได้ไฮโดรเจนด้วย

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กรดอะซิติกหรือก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 ถูกแบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปเป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานและผลิตมีเทนเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งสารอื่นนอกเหนือจากกรดอะซิติกหรือไฮโดรเจนแล้วก็มีเพียงเมทานอลและเมทิลลามีนเท่านั้น ที่สามารถถูกใช้โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน ส่วนกรดไขมันระเหยและสารอื่นๆที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 จะหลุดออกไปกับน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัด



รูปที่ 2-4 ชนิดของสารตั้งต้น และผลิตผลที่ได้จากขั้นตอน hydrolysis **และเอนไซม์ที่ใช้**
(Sawyer and McCarty,1987)

2.3.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี

2.3.2.1. กลไกการทำงานของระบบยูเอเอสบี

การออกแบบให้ระบบสามารถเก็บเซลล์ไว้ในระบบ โดยอาศัยส่วนประกอบหลัก 2 อย่าง ดังนี้

- การเลี้ยงจุลินทรีย์ให้เป็นเม็ดที่มีความหนาแน่นสูงและตกตะกอนได้ดี เกิดเป็นชั้นของตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งมีการเรียงตัว โดยเชื้อที่มีขนาดใหญ่และความหนาแน่นสูงจะจมตัวอยู่ด้านล่าง ส่วนที่มีขนาดเล็กรองลงมาจะอยู่ในชั้นถัดไปเรื่อยๆ ซึ่งการเรียงตัวมีลักษณะเหมือนชั้นทรายกรอง สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายในชั้นนี้ ซึ่งเรียกว่า ชั้นสลัดจ์ (Sludge bed) ส่วนกลุ่มที่มีความหนาแน่นต่ำและมีความเร็วในการจมตัวต่ำกว่า จะถูกพัดพาโดยฟองก๊าซที่ระบบผลิตขึ้นมา และตามทิศทางการไหลของน้ำที่เข้ามาจากด้านล่างถังปฏิกรณ์กวนให้ขึ้นมาเป็นชั้นตะกอนแขวนลอย

- การออกแบบอุปกรณ์แยกสามสถานะ (GSS, Gas Solid Separation) ให้ทำงานได้ดี ตะกอนจุลินทรีย์ที่ตะกอนแยกตัวลงมาแล้วต้องไม่ตกกลับเข้าถังปฏิกรณ์ได้ง่าย ไม่มีการสะสมตัวอยู่ในส่วนตกตะกอนและมีตะกอนหลุดออกไปกับน้ำทิ้งน้อยที่สุด ซึ่งมีหลักดังนี้

สามารถเก็บกักก๊าซไว้โดยการแทนที่น้ำ แยกน้ำกับก๊าซไม่ให้ไหลออกทางเดียวกัน โดยอาศัยหลักการที่ว่าน้ำสามารถเปลี่ยนทิศทางการไหลได้ง่าย ก๊าซมีการลอยตัวจากด้านล่างขึ้นด้านบนเป็นเส้นตรงเท่านั้น ถ้ามีสิ่งกีดขวางหรือแผ่นปะทะใดมาเปลี่ยนทิศทางการลอยตัวขึ้นหลังจากพ้นสิ่งกีดขวางนั้นแล้วจะลอยเป็นเส้นตรงดังเดิม และแยกตะกอนออกจากน้ำโดยการตกตะกอน ดังนั้นในส่วนของอุปกรณ์แยกสามสถานะจึงต้องมี ส่วนที่น้ำนิ่งและช่องเปิดใหญ่พอที่ตะกอนจะตกกลับลงมายังถังปฏิกรณ์ได้

2.3.2.2 ระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด

2.3.2.2.1 ลักษณะทั่วไปของถังสร้างกรด

ระบบไร้ออกซิเจนมีขั้นตอนที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการสร้างกรด และขั้นตอนการสร้างมีเทน แบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนมีความต้องการแตกต่างในเรื่องอาหาร สภาพทางกายภาพ อัตราการเจริญ และความสามารถในการทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงต่างกัน แบคทีเรียสร้างกรดเป็นชนิดกึ่งไร้ออกซิเจนเจริญเร็ว ทำให้เจริญอยู่ในลักษณะแบบฟล๊อคได้ง่ายทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นชนิดไร้ออกซิเจนเด็ดขาดและเจริญช้า ทำให้สามารถเจริญอยู่ในเม็ดตะกอนที่แน่นได้ ในทางทฤษฎีการแยกระบบออกเป็น 2 ขั้นตอน จะทำให้ระบบแต่ละขั้นตอนมีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากสามารถรักษาสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียแต่ละชนิดได้มากที่สุด

2.3.2.2.2 ข้อดีและความจำเป็นในการมีถังสร้างกรด

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน การมีถังสร้างกรดมีข้อได้เปรียบเหนือกว่าระบบที่ไม่มีถังสร้างกรดหลายประการ ดังนี้

- ถังสร้างกรดป้องกันถังสร้างมีเทนจากสภาวะที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน เช่น การเพิ่มภาระของระบบอย่างกะทันหัน การมีสารพิษเข้าระบบหรือจากสภาวะที่แปรปรวนต่างๆ ทั้งนี้เป็นเพราะ แบคทีเรียสร้างกรดสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดี

- ถังสร้างกรดช่วยป้องกันการเจริญที่มากเกินไปของแบคทีเรียที่สร้างกรด เป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัวในระบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Bulking) ในถังสร้างมีเทน เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดสามารถเจริญได้รวดเร็วกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน และผลิตสารโพลิเมอร์ (Extracellular Polymer) ออกมาจำนวนมาก

- การมีถังสร้างกรดทำให้ระบบสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นได้ ซึ่งเป็นผลมาจากโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่เป็นอันตรายต่อถังสร้างมีเทนน้อยลง อีกทั้งน้ำเสียถูกย่อยให้เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย เช่น พวกกรดไขมันระเหยโมเลกุลเล็กซึ่งสามารถย่อยสลายต่อได้อย่างรวดเร็วในถังสร้างมีเทน

นอกจากนี้ถังสร้างกรดช่วยป้องกันผลเสียจากอนุภาคแขวนลอย เข้าไปในระบบ Lettinga และคณะ (1991) ได้กล่าวไว้ว่าในระบบยูเอเอสบีที่มีอนุภาคแขวนลอยปริมาณสูงในน้ำเสียมีผลต่อการทำงานของระบบ อนุภาคของแขวนลอยจะติดผิวแบคทีเรียที่เป็นฟล็อคขัดขวางการรวมตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้การเจริญของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ช้า และการรวมตัวของเม็ดตะกอนไม่แข็งแรง กรณีอนุภาคแขวนลอยย่อยสลายยากและสะสมในชั้นตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้การทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนโดยปริมาตรลดลง คือ ปริมาณตะกอนในชั้นตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเนื่องจากอนุภาคแขวนลอยสะสม ถ้าอนุภาคแขวนลอยติดอยู่ในชั้นตะกอนจุลินทรีย์เป็นเวลานาน อาจเกิดการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ กรณีที่อนุภาคแขวนลอยเป็นพวกไขมันจะทำให้เกิดการลอยตัวและหลุดออกของตะกอนจุลิทรีย์เช่นกัน ในระบบบำบัดน้ำเสียที่มี ถังสร้างกรดการย่อยสลายสารแขวนลอยจะเกิดขึ้นในถังสร้างกรดก่อน เพื่อป้องกันอนุภาคแขวนลอยสะสมในถังสร้างมีเทน (Sayed และคณะ, 1993) กล่าวคือ ถังสร้างกรดช่วยเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำให้กลายเป็นสารอินทรีย์ละลายน้ำและย่อยสลายง่าย

ถังสร้างกรดยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพอื่น ๆ ทำให้ประหยัด เนื่องจากถังสร้างกรดจะเปลี่ยนน้ำเสียที่ซับซ้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมให้เป็นกรดไขมันระเหยอย่างง่าย สำหรับเป็นแหล่งคาร์บอนให้กับจุลิทรีย์ในระบบ เช่น ระบบ Biological /nutrient Removal และระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน (Alexion และคณะ, 1994)

2.3.2.2.3 เกณฑ์การออกแบบถังสร้างกรด

Lettinga และคณะ(1991) แนะนำให้ใช้ถังกวนผสมอย่างสมบูรณ์เป็นถังสร้างกรดและถังพักน้ำเสียที่มีอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรม สามารถดัดแปลงนำมาใช้เป็นถังสร้างกรดได้

ปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการออกแบบ

- อุณหภูมิและพีเอช

อุณหภูมิที่เหมาะสมของถังสร้างกรดขึ้นกับค่าพีเอชที่เลือกใช้ Zoetemeyer และคณะ(1982a, 1982b) กล่าวว่า อุณหภูมิของถังสร้างกรดควรอยู่ในช่วงมีโซฟิลิกหรือเทอร์โมฟิลิก โดยที่ช่วงมีโซฟิลิคจะมีส่วนประกอบของกรดคงที่กว่า ส่วนประกอบของกรดจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและอัตราส่วนการเจือจาง ค่าพีเอชที่เหมาะสมของถังสร้างกรดอยู่ระหว่าง 5.8 - 6.2

- ระยะเวลากักน้ำ

การเลือกเวลากักน้ำของถังสร้างกรด ขึ้นกับระยะเวลาที่ทำให้เกิดปริมาณกรดไขมันระเหยที่เหมาะสม คือ ไม่ก่อให้เกิดผลเสียกับระบบสร้างมีเทนในขั้นต่อไป เกณฑ์การออกแบบถังสร้างกรดไม่มีข้อกำหนดที่ตายตัว พารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบถังสร้างกรดจากการศึกษาที่ผ่านมาสำหรับน้ำเสียประเภทต่างๆ ในการออกแบบระบบบำบัดไร้ออกซิเจนแสดงดังตารางที่ 2.1

2.3.2.3 ความสำคัญของการหมุนเวียนน้ำกลับในยูเอเอสบี

ระบบยูเอเอสบีใช้ตะกอนที่เจริญรวมกันเป็นเม็ด ในการบำบัดน้ำเสียการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสีย จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพ ระบบยูเอเอสบีมีโอกาสที่จะเกิดการไหลลัดทางของน้ำเสีย อันเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ เช่น การกระจายจุดน้ำเสียเข้าไม่เพียงพอ ความเร็วน้ำเข้าระบบต่ำหรือเกิดก๊าซน้อย เป็นต้น การหมุนเวียนน้ำกลับในระบบยูเอเอสบีช่วยเพิ่มการสัมผัสกันระหว่างเม็ด ตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสียให้เพียงพอ ซึ่งมีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ

2.3.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี

ก) สารพิษ

น้ำเสียที่บำบัดด้วยกรรมวิธีทางชีววิทยาไม่ควรมีสารพิษ เพราะจะไปรบกวนการทำงานของแบคทีเรียในระบบหรือยับยั้งการเจริญ โดยเฉพาะแบคทีเรียผลิตมีเทนทำให้ระบบเกิดความล้มเหลว ความรุนแรงของสารพิษย่อมขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นนั้นๆด้วย สารที่เป็นพิษต่อระบบได้แก่

ตารางที่ 2-1 พารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบถังสร้างกรดจากการศึกษาที่ผ่านมาสำหรับน้ำเสียประเภทต่างๆ ในการออกแบบระบบบำบัดไร้ออกซิเจน (เนตรนภา ศรุตวราพงศ์, 2539)

ประเภทน้ำเสีย	พีเอช	อุณหภูมิ (C)	เวลากักน้ำ (hr)	การเกิดกรด	อ้างถึง
กลูโคส	6.0	37	-	-	Zoetemeyer (1982a,1982b)
	5.8	30	24.0	-	Alphenaar (1994)
น้ำตาล	4.8	30	3.0	-	Lettiga (1980)
แป้งมัน	4.5 - 4.7	30 - 32	12.0	1200 mg/L	Lwin (1996)
	7.0	37	24.0	-	ธาราฉัตรธานี (1987)
กาแฟ	6.0	37	6.0	40 – 50 %	Alexion (1994)
	4.5	45	3.0	-	Kozuchowska (1995)
กากน้ำตาล	4.0 - 5.0	35 - 37	4.7	60 %	Yoda (1997)
	6.0	35	3.4	50 %	Romli (1994)
น้ำเสียชุมชน	-	18	4.0	-	Sayed (1993)
เนยแข็ง	6.5	-	-	23 – 28 %	Malaspina (1996)
	4.5	35	9.6	70 %	Garcia (1991)
โรงเบียร์	5.9	32	7.0	20 %	Stadlbauer (1994)
มูลหมู	-	36	4 วัน	-	Cseh (1984)
นมผง	5.0 - 5.5	35	12.0	85 %	Anderson (1994)
แป้ง	6.2	35	12.0	67 %	Zhang (1994)

<u>พิษของกรดไขมันระเหย</u>

กรดไขมันระเหยถ้าหากถูกสร้างขึ้นมากเกินไปในสภาวะที่มีสารอินทรีย์ หรืออาหารเข้ามาก แบคทีเรียผลิตกรดจะผลิตกรดไขมันระเหยออกมามาก หากว่าระบบมีกำลังของบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอจะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลงส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดที่ผลิตมีเทนได้

<u>พิษของแอมโมเนีย</u>

แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในน้ำเสียของระบบไร้ออกซิเจนมาจากการย่อยสลาย พวกโปรตีนโดยไนโตรเจนที่ปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมอิออน(NH_4^+) และแอมโมเนีย (NH_3) ดังสมการที่ 2-1

$$NH_4^+ \longleftrightarrow NH_3 + H^+ \quad \text{..... 2-1}$$

โดยปริมาณของแอมโมเนียมอิออนนี้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช คือ พีเอชประมาณ 7 ความเข้มข้นของแอมโมเนียมีประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ของแอมโมเนียทั้งหมดโดยจะมีความเข้มข้นของแอมโมเนียอิออน 99 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าค่าพีเอชสูงขึ้นปฏิกิริยาจะไปทางขวามือมากขึ้นทำให้เกิดแอมโมเนียมาก แอมโมเนียมีพิษต่อแบคทีเรียมากกว่าแอมโมเนียมอิออน ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เป็นพิษต่อแบคทีเรีย คือ มากกว่า 150 มก./ล. ในขณะที่แบคทีเรียสามารถทนความเข้มข้นของแอมโมเนียอิออนสูงถึง 3,000 มก./ล. ดังนั้นการรักษาพีเอช ให้มีค่าประมาณ 7 หรือต่ำกว่า จะทำให้แอมโมเนียทั้งหมดอยู่ในรูปของแอมโมเนียอิออนซึ่งเป็นพิษต่อระบบน้อยกว่า ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน แสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2.2 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน (McCarty,1994)

แอมโมเนียไนโตรเจน (มก./ล.)	ผลต่อระบบ
50-200	ปริมาณพอเหมาะ
200-100	ยังไม่เกิดผลเสีย
1500-3000	เริ่มยับยั้งเมื่อพีเอชสูง
>3000	เป็นพิษโดยตรง

<u>พิษของอิออนบวกและโลหะหนัก</u>

อิออนบวกที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ได้แก่ Na^+ , K^+, Mg^{2+} และ Ca^{2+} ซึ่งธาตุเหล่านี้โดยปกติในระดับความเข้มข้นที่พอเหมาะจะเป็นธาตุที่มีประโยชน์ต่อแบคทีเรีย แต่ถ้ามีมากเกินความจำเป็นจะเกิดเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ ปกติอิออนบวกที่มีวาเนซีสูงจะมีความเป็นพิษมากกว่าอิออนบวกที่มีวาเลนซีต่ำ สามารถลดความเป็นพิษลงได้ (antagonism) เมื่ออยู่รวมกับธาตุอื่นๆในปริมาณที่เหมาะสม เช่น พิษของ Na^+ มีความเข้มข้น 3,500 มก./ล. สามารถทำให้ลดลงได้ ถ้ามี Mg^{2+} และ Ca^{2+} ที่มี ความเข้มข้นเหมาะสมอยู่ระหว่าง 50 - 1,000 มก./ล.

ส่วนโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส สังกะสี แคดเมียม นิกเกิล โคบอลท์ ทองแดง เป็นต้น ความเป็นพิษของโลหะหนักเหล่านี้สามารถลดลงได้ถ้าระบบมีซัลไฟด์พอเหมาะ เพราะสามารถรวมตัวกับโลหะหนักเกิดเป็นโลหะซัลไฟด์ซึ่งสามารถตกตะกอนได้

ข) อุณหภูมิ

พบว่ามีผลต่ออัตราการย่อยสลายของมวลจุลินทรีย์ ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ ช่วงมีโซฟิลิค ซึ่งจะมีอุณหภูมิประมาณ 20 - 45 องศาเซลเซียส

ค) พีเอช

แบคทีเรียผลิตมีเทน (Methanogens) มีความไวต่อพีเอชมากที่สุด โดยขั้นตอน methanogenesis จะเกิดขึ้นได้ที่พีเอช 6.5-8.2 ประสิทธิภาพของระบบลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อพีเอชต่ำกว่า 6.2 แบคทีเรียสร้างกรด (Acidogens) ยังสามารถทำงานได้ที่พีเอช 6.0-6.5

นอกจากนี้ค่าพีเอชยังส่งผลทางอ้อมต่อแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน โดยที่ค่าพีเอชดังกล่าวจะส่งผลต่อรูปไอออนของสารต่างๆเช่น Volatile fatty acid, NH_3 และ H_2S ซึ่งจะมีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียแตกต่างกัน

ง) สารอาหารเสริม

การบำบัดด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจนมีข้อดีอย่างหนึ่ง คือ มีเซลล์จุลินทรีย์ที่สร้างขึ้นมาน้อยกว่าแบบใช้ออกซิเจน จากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสต่อซัลเฟอร์ (C : N : P: S) ในเซลล์มีค่าประมาณ 100 : 10 : 1 : 1 จึงต้องรักษาอัตราส่วนไม่ให้น้อยไปกว่านี้ แบคทีเรียต้องการสารอาหารเสริมนอกจากคาร์บอน เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในการย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียอย่างน้อย ควรมีอัตราส่วน BOD : N : P = 100 : 1.1 : 0.2 หรือ COD : N : P = 350 : 5 : 1

ในปัจจุบันพบว่าแบคทีเรียผลิตมีเทนยังต้องการธาตุบางอย่างในปริมาณน้อยแต่ขาดไม่ได้ มิฉะนั้น ระบบไม่อาจดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพได้ เช่น เหล็ก โคบอลท์ นิกเกิล และซัลเฟอร์ (ในรูปซัลไฟด์)

- เหล็กและโคบอลท์

เหล็กเป็นธาตุอาหารเสริมที่ละลายน้ำได้น้อยและสามารถรวมกับซัลไฟด์ในระบบแยกตัวออกจากน้ำ โดยการตกตะกอนผลึกในรูปเหล็กซัลไฟด์ ทำให้อาจเกิดปัญหาการกำจัดเหล็กได้ ส่วนโคบอลท์มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีกว่า แต่อาจเกิดปัญหาเช่นเดียวกันได้

- นิกเกิล

นิกเกิลเป็นส่วนประกอบสำคัญของโคเอนไซม์ F_{430} ซึ่งเป็นหนึ่งในโคเอนไซม์สำคัญต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน โดยปกติแล้วนิกเกิลเป็นตัวที่ติดอยู่ในยีสต์และในเกลือแร่อื่นๆ แต่อาจเกิดการตกตะกอนผลึกเช่นเดียวกับเหล็ก

- ซัลไฟด์

บทบาทของซัลไฟด์ที่มีต่อระบบไร้ออกซิเจนมีทั้งเชิงบวกและเชิงลบ ซัลไฟด์มีผลเสียต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนเนื่องจากสามารถตกผลึกเหล็ก นิกเกิลและโลหะหนักที่จำเป็นต่างๆ นอกจากนี้ซัลไฟด์ในรูปก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่า 100-150 มก./ล. เป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน (มั่นสิน, 2536) แต่อย่างไรก็ดีซัลไฟด์ในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็เป็นสาร

จำเป็นและขาดไม่ได้สำหรับแบคทีเรียสร้างมีเทน ความต้องการซัลไฟด์ของแบคทีเรียสร้างมีเทนแปรในช่วง 1-25 มก./ล.

2.3.2.5 ปัญหาของตะกอนลอยตัวเนื่องจากการใช้น้ำเสียโปรตีน

สินีนุช ศศิยศชาติ (2544) กล่าวว่า น้ำเสียประเภทโปรตีนจะเกิดการลอยตัวของตะกอนสลัดจ์ ทำให้ตะกอนสลัดจ์ที่มีอยู่ในถังน้อยลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีลดลงในที่สุดระบบจะล้มเหลว และตะกอนที่ลอยยังไปปิดส่วนแยกก๊าซ-ตะกอน ทำให้ก๊าซไม่สามารถเข้าไปยังชุดวัดก๊าซทำให้วัดก๊าซได้น้อยกว่าที่ควร

สาเหตุการลอยตัวของตะกอนสลัดจ์

- เกิดจากของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย ซึ่งเป็นอนุภาคที่ย่อยสลายได้ช้าทางชีวภาพ เช่น น้ำเสียประเภทโปรตีนหรือไขมัน โดยอนุภาคดังกล่าวจะถูกเชื้อจุลินทรีย์ดูดซับไว้ที่ผิวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ แต่เนื่องจากอนุภาคดังกล่าวย่อยสลายได้ยาก จึงทำให้เกิดการติดอยู่ที่ผิวเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขัดขวางการย่อยสลายสาร อาหารชนิดอื่นๆก่อให้เกิดผลเสียต่อเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ คือ การทะลุผ่านเกิดไม่ได้ดี ทำให้การปลดปล่อยก๊าซที่เกิดขึ้นออกจากเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้ไม่ดีด้วย ซึ่งลักษณะนี้ถ้าเกิดนานๆจะทำให้มีการสะสมตัวของก๊าซในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มากขึ้นจนเกิดการลอยตัว

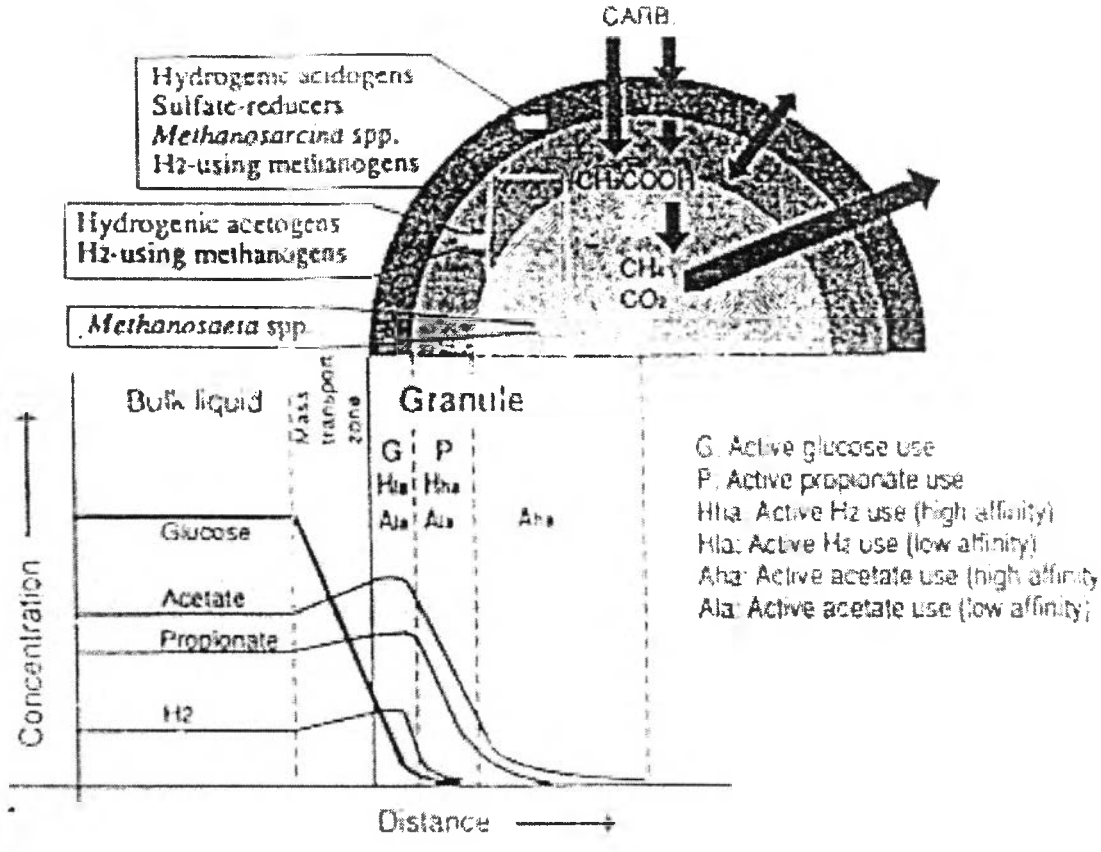
- เกิดจากลักษณะน้ำเสียที่เป็นสารอาหารจำพวกโปรตีน (COD:N=10:1) โดยไม่จำเป็นต้องอยู่ในรูปของแข็งแขวนลอยทำให้เกิดการสร้างเม็ดที่ไม่ดีมีลักษณะเป็นปุ๋ยและหลุดออกจากระบบ สาเหตุมาจากเอนไซม์โปรติเอทในขั้นตอนไฮโดรไลซิสของสารอาหารจำพวกโปรตีน ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ถูกปลดปล่อยออกมาจากจุลินทรีย์ เพื่อย่อยสลายให้มีโมเลกุลขนาดเล็กลงและสามารถดูดซึมเข้าสู่ภายในเซลล์ได้ ส่งผลต่อลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทำให้เม็ดที่เกิดมีลักษณะเป็นปุ๋ยและมีแนวโน้มการลอยตัวหลุดออกจากระบบได้ง่าย

2.3.2.6 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

Guiot และ คณะ (1992) กล่าวว่าความเร็วการไหลในถังปฏิกรณ์เป็นปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกพันธุ์ของแบคทีเรีย ที่สามารถรวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่สามารถตกตะกอนได้ดี เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นมีข้อดีดังนี้ คือ

- มีความหนาแน่นสูง
- เนื่องจากไม่มีการใช้ตัวกลาง (media) จึงไม่มีการสูญเสียพื้นที่ในถังปฏิกรณ์
- เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีอัตราส่วนของแบคทีเรียต่อปริมาตรที่สูงมาก

การศึกษาโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตด้วยวิธีการ SEM (Scanning Electron Microscopy) พบว่ามีโครงสร้างภายในแบ่งออกเป็น 3 ชั้น โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ UASB บำบัดน้ำเสียกลูโคส แสดงดังรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ UASB บำบัดน้ำเสียกลูโคส (Guiot, 1992)

ชั้นนอก ประกอบด้วยแบคทีเรียหลายกลุ่ม ได้แก่ Hydrogenic acidogens Sulfate reducers Methanosarcina และ H_2-utilizing methanogens

ชั้นกลาง ประกอบด้วย Hydrogenics acetogens และ H_2-utilizing methanogens เช่น Methanosarcina Methanococcales และ Maethanospirillum

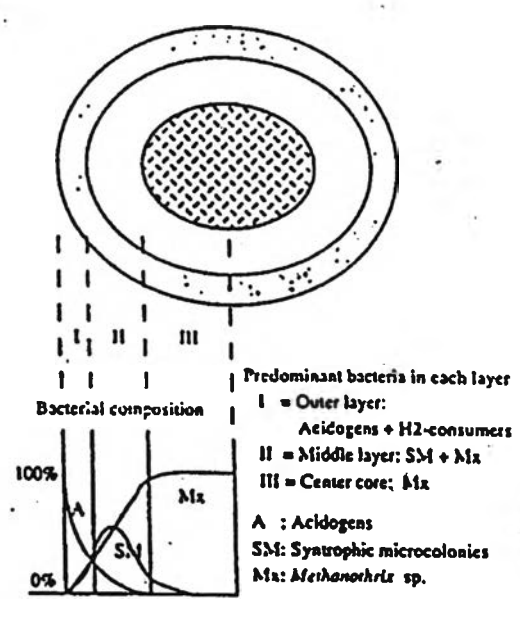
ชั้นใน เป็นแบคทีเรียประเภท Aceticlastic ซึ่งส่วนใหญ่เป็น Methanosaeta

แบคทีเรียกลุ่ม H_2-utilizing methanogens ในชั้นกลาง และชั้นนอกมีความแตกต่างกัน คือ กลุ่มแบคทีเรียชั้นนอกมีความชอบที่จะใช้ substrate ที่ต่ำกว่า (มี ค่า K_s สูง) กลุ่มแบคทีเรียชั้นกลางและแบคทีเรียกลุ่ม Aceticlastic ที่อยู่ชั้นในมีค่า K_s ต่ำ แบคทีเรียกลุ่ม Aceticlastic ในชั้นกลาง การเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Granulation) เป็นโครงสร้างในลักษณะดังกล่าว ส่งผลให้เกิดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียแต่ละชนิด โดยเฉพาะในแกนกลางของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งเป็น Aceticlastic methanogens (ซึ่งส่วนใหญ่ เป็น Methanosaeta) เป็นส่วนสำคัญในการผลิตมีเทนโดยอาศัย substrate ได้แก่ อะซิเตท ซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียกลุ่มชั้นนอกและชั้นกลาง โดยทั้งนี้

Methanosaeta เป็นแบคทีเรียที่มีค่า K_s ต่ำมากที่สุดในกลุ่มแบคทีเรีย Aceticlastic methanogens ซึ่งถือว่าเป็นผลดีต่อการทำปฏิกิริยาของ Methanosaeta ในสภาวะที่ ข้อจำกัดของการแพร่กระจายอะซิเตทมายังแกนกลางของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

โครงสร้างและขนาดของชั้นแบคทีเรียในแต่ละชั้น ขึ้นกับอัตราการย่อยสลาย substrate และการแพร่กระจายของสารที่เป็นผลผลิตของปฏิกิริยาในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต ที่ผิวนอกสุดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์พบว่ากลุ่ม acidogens จะมีปริมาณมาก ทั้งนี้เพราะนอกเหนือไปจากความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตที่มีค่าสูงบริเวณรอบนอก (bulk liquid) แล้ว ยังเป็นผลมาจากอัตราการเกิดปฏิกิริยา acidogenesis ที่มีค่าสูงกว่า acetogenesis และ methanogenesis อะซิเตทที่ถูกผลิตจะแพร่กระจายไปยังโครงสร้างชั้นกลางและชั้นในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ต่อไป โครงสร้างและความหนาแน่นของแบคทีเรียในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต แสดงดังรูปที่ 2-6

ในกรณีที่เป็นน้ำเสียประเภทโปรตีนหรือกรดอะมิโน เช่น กลูตาเมต ขั้นตอน acidogenesis จะเป็นขั้นกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมด (rate limiting step) ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการย่อยสลายและแพร่กระจายที่ช้าของกลูตาเมต ทำให้มีการแพร่กระจายของสารอาหารอย่างทั่วถึงทั้งเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งส่งผลให้แบคทีเรียมีลักษณะเหมือนกันทั่วทั้งเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ และไม่เกิดโครงสร้างที่แบ่งเป็นชั้นของกลุ่มแบคทีเรีย (Fang และคณะ, 1994)



. Proposed layered structure and bacterial composition for the granules treating soluble carbohydrates.

รูปที่ 2-6 โครงสร้างและความหนาแน่นของแบคทีเรียในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต (Fang และคณะ, 1994)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียในการกำจัดสารไนโตรเจน

2.4.1 สารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสีย

โดยทั่วไปสารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำเสีย พบอยู่ 4 ชนิด ดังนี้

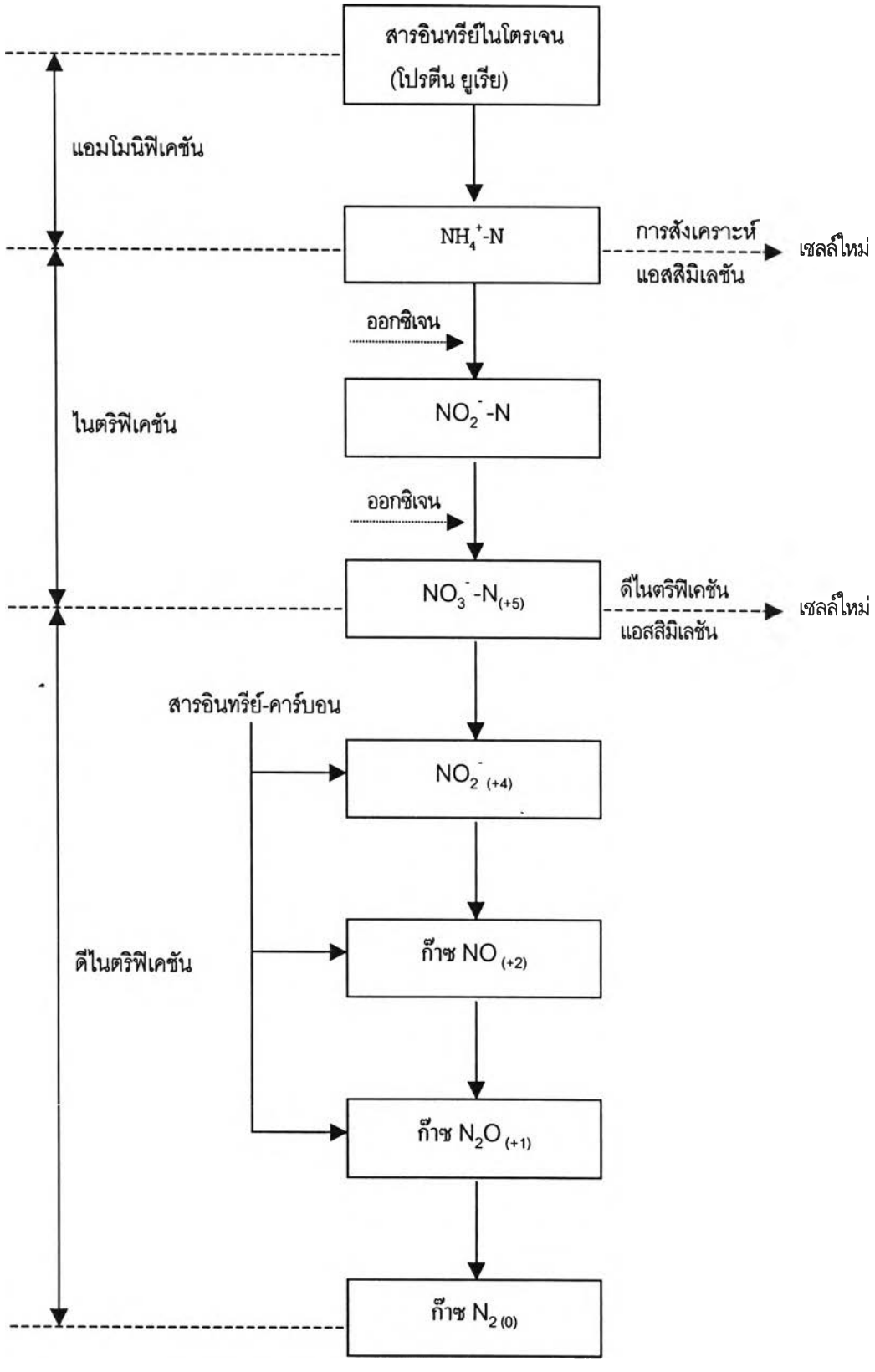
- สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนหมายถึงสารอินทรีย์มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ
- สารแอมโมเนียไนโตรเจน หมายถึง ไนโตรเจนทั้งหมดที่อยู่ในรูปแอมโมเนีย หรือ สารประกอบแอมโมเนีย
- สารประกอบไนไทรต์ หมายถึง สารประกอบที่มีอยู่ในรูป NO_2^- ซึ่งเกิดจากการออกซิเดชัน ที่ยังไม่สมบูรณ์ของสารประกอบไนโตรเจนอื่น
- สารประกอบไนเทรต หมายถึง สารประกอบที่อยู่ในรูป NO_3^- ซึ่งเป็นผลจากการออกซิเดชันที่สมบูรณ์ของสารประกอบไนโตรเจนอื่น และหากสภาพแวดล้อมมีออกซิเจนปริมาณมากเกินพอแล้ว จัดว่าเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเสถียรมากที่สุด

2.4.2 กลไกการกำจัดไนโตรเจน

สารประกอบไนโตรเจนสามารถเปลี่ยนรูปได้โดยอาศัยจุลินทรีย์ เป็นตัวการสำคัญ ขั้นตอนการกำจัดสารไนโตรเจน แสดงดังรูปที่ 2-7 ประกอบด้วย 3 กระบวนการ ดังนี้

2.4.2.1 กระบวนการแอมโมโนฟิเคชัน

เป็นปฏิกิริยาซึ่งเปลี่ยนไนโตรเจนอินทรีย์ให้เป็นแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งแอมโมเนียไนโตรเจนที่เกิดเนื่องจากปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชันนี้ จะถูกใช้โดยไนตริไฟเออร์ในปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันต่อไปซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยานี้ขึ้นอยู่กับ ปริมาณไนโตรเจนในสารอาหารและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในสารอาหาร ซึ่งอัตราส่วนบีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสสำหรับการเจริญเติบโตของจุลชีพโดยทั่วไปคือ 100:5:1 ดังนั้นหากปริมาณไนโตรเจนในสารอาหารมีไม่เพียงพอต่อการสังเคราะห์เซลล์ก็จะไม่เกิดปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชัน แต่หากปริมาณไนโตรเจนมีสูงกว่าที่ใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ ก็จะเกิดปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชันขึ้น ซึ่งทำให้ปริมาณแอมโมเนียในระบบมีสูงขึ้น (Grady และคณะ, 1999)



รูปที่ 2-7 ขั้นตอนการกำจัดสารไนโตรเจน (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

2.4.2.2 กระบวนการไนตริฟิเคชัน

- หลักการพื้นฐาน

กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันทางชีวภาพที่แอมโมเนียเกิดการสูญเสียอิเลคตรอนแปลงรูปเป็นไนเทรต แบคทีเรียที่ทำหน้าที่นี้คือแบคทีเรียชนิดออโทโทรฟ ได้แก่ แบคทีเรียไนโตรโซโมนัสแสดงดังสมการที่ 2-2 และไนโตรแบกเทอร์แสดงดังสมการที่ 2-3 โดยแบคทีเรียทั้งสองจะทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นภายในเซลล์เป็นสมการรวมแสดงดังสมการที่ 2-4

$$2NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+ \quad \text{..... 2-2}$$

$$2NO_2^- + O_2 \xrightarrow{\text{Nitrobactor}} 2NO_3^- \quad \text{.....2-3}$$

$$\text{Total reaction; } NH_4^+ + 2O_2 \longrightarrow 2NO_3^- + H_2O + 2H^+ \quad \text{2-4}$$

จากสมการที่ 2-2 และสมการที่ 2-3 พบว่า ไนโตรโซโมนัสเป็นตัวออกซิไดซ์แอมโมเนียไนโตรเจนให้เป็นไนไทรต์ จากนั้นไนโตรแบกเทอร์ก็จะออกซิไดซ์ไนไทรต์ให้เป็นไนเทรต จากสมการที่ 2.4 การออกซิเดชันแอมโมเนียจำนวน 1 กรัม ต้องใช้ออกซิเจนปริมาณ 4.57 กรัม โดยเป็นออกซิเจนสำหรับการออกซิไดซ์แอมโมเนีย 3.43 กรัม และสำหรับการออกซิไดซ์ไนไทรต์ 1.142 กรัม ปริมาณความต้องการออกซิเจนอาจจะน้อยกว่านี้ถ้าการสังเคราะห์เซลล์เกิดขึ้นด้วยในขณะที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพราะในการสังเคราะห์เซลล์นี้จะใช้ออกซิเจนจากแหล่งคาร์บอน คือ คาร์บอนไดออไซด์ด้วย ทำให้ปฏิกิริยารวมที่เกิดขึ้นแสดงดังสมการที่ 2-5

$$NH_4^+ + 1.83O_2 + 1.98HCO_3^- \longrightarrow 0.98NO_3^- + 0.021C_5H_7NO_2 + 1.88H_2CO_3 + 1.041H_2O \quad \text{.....2-5}$$

จากสมการที่ 2-5 พบว่า แอมโมเนียไนโตรเจนปริมาณ 1 กรัม ต้องการออกซิเจนเพียง 4.33 กรัม ซึ่งออกซิเจน 3.22 กรัม ถูกใช้ในการออกซิไดซ์แอมโมเนียและออกซิเจนที่เหลือ 1.11 กรัม จะถูกใช้สำหรับการออกซิไดซ์ไนไทรต์ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต้องการออกซิเจนในสมการที่ 2-4 ที่ไม่รวมการสังเคราะห์เซลล์ใหม่แล้วจะเห็นว่าค่าไม่แตกต่างกันมากนัก จึงอาจจะกล่าวว่าการสังเคราะห์เซลล์ใหม่ไม่มีผลต่อการกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการนี้มากนัก

-ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน

ก) ค่าออกซิเจนละลาย

การเพิ่มความเข้มข้นของออกซิเจนละลายมีผลให้ การแทรกของออกซิเจนเข้าไปในฟล็อคมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันด้วย ค่าออกซิเจนละลายในน้ำมากกว่า 1.0 มก./ล. จะไม่มี ผลในการยับยั้งการเกิดไนตริฟิเคชัน กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดในช่วงที่เป็นสภาพแอโรบิกซึ่งต้องมีปริมาณออกซิเจนมากพอ เพื่อให้ปริมาณแอมโมเนียมเป็นตัวควบคุมการเกิดไนตริฟิเคชัน ดังนั้นค่าออกซิเจนละลายไม่ควร ต่ำกว่า 2 มก./ล.

ข) พีเอช

Orhon และ Artan (1994) กล่าวว่า กระบวนการไนตรฟิเคชันมีความไวต่อพีเอชมากด้วยเหตุผล ดังนี้

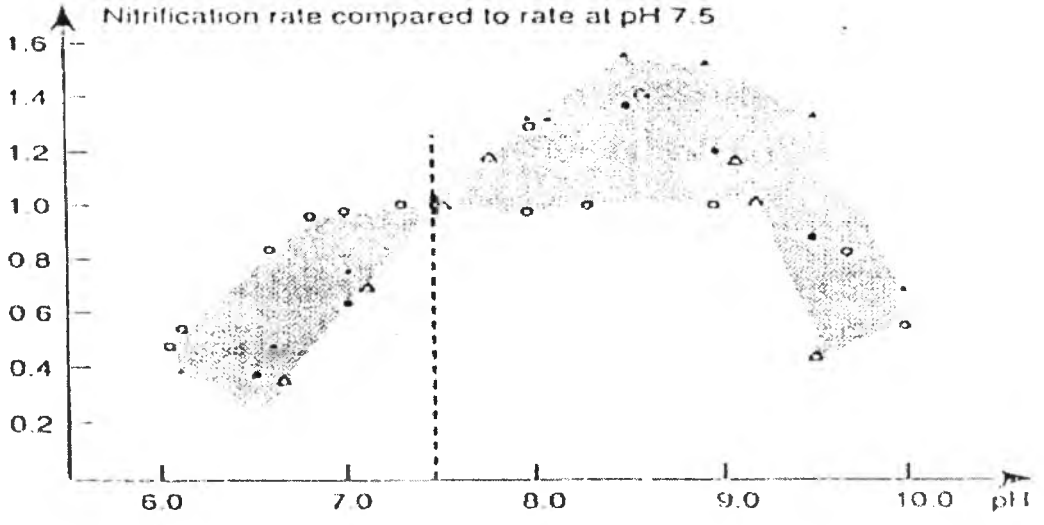
- ปฏิกิริยาของไฮโดรเจนอิออน และไฮดรอกซิลอิออน มีผลในการยับยั้งการเติบโตของไนตริไฟเออร์

- กระบวนการไนตริฟิเคชันจะใช้สภาพด่างจากน้ำเสีย ซึ่งมีผลให้ค่าพีเอชลดต่ำลงดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมระดับพีเอชให้เหมาะสม ผลของพีเอชที่มีต่อการเติบโตของไนตริไฟเออร์นั้น พบว่าค่าพีเอชที่มีผลน้อยที่สุดต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันจะอยู่ในช่วง 7.5-8.5 และพบว่าอัตราการเจริญเติบโตจะสูงสุดเมื่อพีเอชมีค่า 8.5

สำหรับผลของพีเอชที่เกิดจากการเปลี่ยนสภาพด่างในกระบวนการไนตริฟิเคชันนั้น Sedlak,R.I.(1991) กล่าวว่า ในการออกซิไดซ์แอมโมเนียไนโตรเจน 1 มิลลิกรัม จะใช้สภาพด่าง 7.14 มิลลิกรัมในรูปของหินปูน ซึ่งการใช้สภาพด่างนี้จะมีผลให้ค่าพีเอชลดต่ำลง เพื่อควบคุมค่าพีเอชให้เหมาะสมต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันจึงจำเป็นต้องมีการเติมสภาพด่างลงในระบบ ซึ่งได้แก่ โซดาแอช และโซเดียมไบคาร์บอเนต เป็นต้น โดยต้องควบคุมให้ค่าพีเอชที่สูงพอสำหรับป้องกันพีเอชที่ลดไปจากการเกิดไนตริฟิเคชัน ผลของพีเอชต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันแสดงดังรูปที่ 2-8

ค) ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไทรต์

จากการศึกษาผลการยับยั้งการเกิดไนตริฟิเคชัน แอมโมเนียและไนไทรต์ในรูปของกรดไนตรัส พบว่า ไนโตรแบกเทอร์จะถูกรบกวนที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระ มีค่า 0.1 - 1.0 มก./ล. และการเกิดปฏิริยาไนตรฟิเคชันจะถูกยับยั้งที่ความเข้มข้นของกรดไนตรัสมากกว่า 0.2 มก./ล.

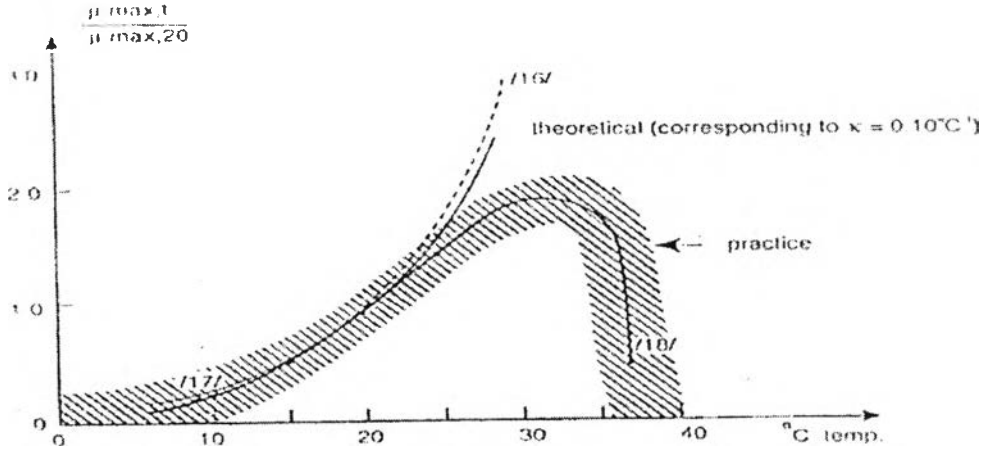


รูปที่ 2-8 ผลของพีเอชต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Henze และคณะ,1996)

ง) อุณหภูมิ

อัตราการเจริญเติบโตของไนตริไฟเออร์นั้นลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันลดลง นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงยังทำให้อัตราการเจริญเติบโตของไนติไฟเออร์ต่ำกว่าปกติ

Henze และคณะ (1996) พบว่าไนตริไฟเออร์มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส และอัตราการเจริญเติบโตจะต่ำลง เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจนอยู่ในช่วง 10-22 องศาเซลเซียส หรือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนอยู่ในช่วง 35-45 องศาเซลเซียส ผลของอุณหภูมิที่มีต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน แสดงดังรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Henze และคณะ,1996)

จ) สารยับยั้งอื่นๆ

สารที่สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้นั้นมีหลายตัว เช่น สารจากการคีเลทโดยโลหะและสารที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เป็นต้น ซึ่ง Henze และคณะ (1996) ได้รวบรวมความเข้มข้นและผลของโลหะหนักชนิดต่างๆที่มีต่อไนตริไฟเออร์ แสดงดังตารางที่ 2-3 นอกจากนี้โซเดียมคลอไรด์ก็เป็นสารตัวหนึ่ง ที่สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้ ซึ่งผลกระทบจากสารต่างๆที่ยับยั้งการทำงานไนตริไฟเออร์นี้ ขึ้นอยู่กับชนิดความเข้มข้น ระยะเวลาการสัมผัสและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ

ตารางที่ 2-3 ความเข้มข้นและผลของโลหะหนักชนิดต่างๆที่มีต่อไนตริไฟเออร์ (Henze และคณะ 1996)

Metal	Conc.(g/m3)	Effect
Cu	0.05-0.56	Nitrosomonas activity inhibited (pure culture)
Cu	4	No essential inhibition in activated sludge
Cu	150	75 เปอร์เซ็นต์ inhibition of activated sludge
Ni	>0.25	Nitrosomonas growth inhibition (pure culture)
Cr (III)	>0.25	Nitrosomonas growth inhibition (pure culture)
Cr (III)	118	75 เปอร์เซ็นต์ inhibition of activated sludge
Zn	0.08-0.5	Inhibition of Nitrosomonas (pure culture)
Co	0.08-0.5	Inhibition of Nitrosomonas (pure culture)

2.4.2.3 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

- หลักการพื้นฐาน

การรีดักชันของไนเทรตในระบบทางชีวภาพ มี 2 แบบ คือ แบบแอสสิมิเลชันและแบบดีสสิมิเลชัน โดยการรีดักชันของไนเทรตแบบแอสสิมิเลชันเป็นการรีดักชันไนเทรตให้เป็นแอมโมเนียมไนโตรเจนเพื่อใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ ซึ่งจะเกิดขึ้นได้โดยไม่ขึ้นกับออกซิเจนและเกิดขึ้นเมื่อไนเทรตเป็นไนโตรเจนเพียงรูปเดียวที่จะนำไปใช้ได้ ส่วนการรีดักชันของไนเทรตแบบดีสสิมิเลชันหรือกระบวนการดีไนตริฟิเคชันนั้นเป็นการรีดักชันไนเทรตให้เป็นไนโตรเจนก๊าซ ซึ่งรูปแบบของไนโตรเจนก๊าซที่มีมากที่สุดคือก๊าซไนโตรเจน รูปแบบอื่นๆที่มีบ้าง เช่น ไนตรัสออกไซด์และไนตริกออกไซด์ ดังนั้นการรีดักชันของไนเทรตแบบดีสสิมิเลชันจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนที่ไนเทรตถูกลดไปเป็นไนไทรต์ เกิดการถ่ายเทอิเลคตรอน 2 ตัวจากการออกซิเดชันของสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งดีไนตริฟายอิงแบคทีเรียทุกตัวสร้างไนไทรต์เป็นผลผลิต

ในปฏิกิริยาขั้นแรก ในขั้นตอนที่สองไนไทรต์จะถูกลดไปอยู่ในรูปของผลผลิตสุดท้ายที่เป็นก๊าซ ซึ่งขั้นตอนการรีดักชันของไนเทรต แสดงดังสมการที่ 2-6 ของ (Orhon, D., 1994)

$$NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NO(g) \longrightarrow N_2O(g) \longrightarrow N_2(g) \quad \text{.....2-6}$$

กล่าวว่า กระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะเกิดในสภาพที่เป็นแอน็อกซิก ซึ่งเป็นสภาพที่ขาดออกซิเจนอิสระและต้องการตัวรับอิเลคตรอนที่เป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบคทีเรียที่รับผิดชอบมีทั้งแบคทีเรียชนิดเฮเทอโรโทรฟและออโทโทรฟ แบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟเป็นแบคทีเรียที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้สามารถใช้ไนเทรตเป็นตัวรับอิเลคตรอนแทนออกซิเจนได้ อีกทั้งสามารถทำให้เกิดการหมักในขณะที่ขาดออกซิเจนหรือไนเทรตได้ด้วย สำหรับแบคทีเรียชนิดออโทโทรฟจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์หรือไบคาร์บอเนตเป็นแหล่งคาร์บอนแทนคาร์บอนอินทรีย์

- ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเป็นปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการเติบโตของแบคทีเรียดีไนตริฟายอิงและการกำจัดไนเทรต

ก) ปริมาณออกซิเจนละลาย

ในระบบซึ่งมีทั้งออกซิเจนและไนเทรตเป็นตัวรับอิเลคตรอนตัว อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันนั้นจะสูง เมื่อระบบอยู่ในสภาพแอน็อกซิกที่ทำให้แบคทีเรียต้องใช้ออกซิเจนจากไนเทรต ดังนั้นจึงต้องควบคุมให้มีค่าออกซิเจนละลายในปริมาณน้อย จากการศึกษาของ Lie และ Welander (1994) กล่าวว่าค่าออกซิเจนละลายที่มากกว่า 0.5 มก./ล. มีผลในการยับยั้งปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน

ข) ค่าพีเอช

ในปฏิกิริยาดีไนตริฟริเคชันนั้นจะทำให้เกิดสภาพด่าง ทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน Randall และคณะ (1992) กล่าวว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมกับอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันอยู่ในช่วง 7.0 ถึง 8.0 ซึ่งค่าพีเอชที่เป็นกลางจะเหมาะสมที่สุดสำหรับการแปลงรูปไนตรัสออกไซด์ ไปเป็นก๊าซไนโตรเจน

Henze และคณะ (1996) พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 7.0–9.0 เมื่อพีเอชในระบบต่ำกว่า 7.0 จะทำให้เกิดก๊าซ NO และ N_2O ขึ้น ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาถูกจำกัด เพราะก๊าซทั้งสองนั้นเป็นสารยับยั้งการเกิดปฏิริยา

ค) ปริมาณไนไทรต์

จากการศึกษาของ Abeling และ Seyfried (1992) พบว่าความเข้มข้นของกรดไนตรัสอิสระ มีผลในการยับยั้งปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน โดยมีค่าจำกัดในการยับยั้งที่ความเข้มข้น 0.13 มก.ของกรดไนตรัส/ลิตร แต่เมื่อทดลองที่สภาพพีเอชเท่ากับ 6.8 ค่าจำกัดค่านี้จะเทียบได้กับความเข้มข้น 100 มก.ของไนไทรต์/ลิตร

ง) ภาระไนโตรเจน

Abeling และ Seyfried (1992) กล่าวว่าที่สภาวะที่แบคทีเรียขาดแคลนสารอาหาร อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันนั้นถ้าระบบมีไนไทรต์จะเกิดได้ดีกว่ามีไนเทรต โดยมีอัตราจำเพาะประมาณ 0.22 มก.ไนเทรตไนโตรเจน/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม.และ 0.4 มก.ไนไทรต์ไนโตรเจน/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. และถ้าระบบมีแหล่งคาร์บอนอย่างเพียงพอก็จะมีอัตราจำเพาะประมาณ 5.1 มก.ไนเทรตไนโตรเจน/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม และ 7.1 มก.ไนไทรต์ไนโตรเจน/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม

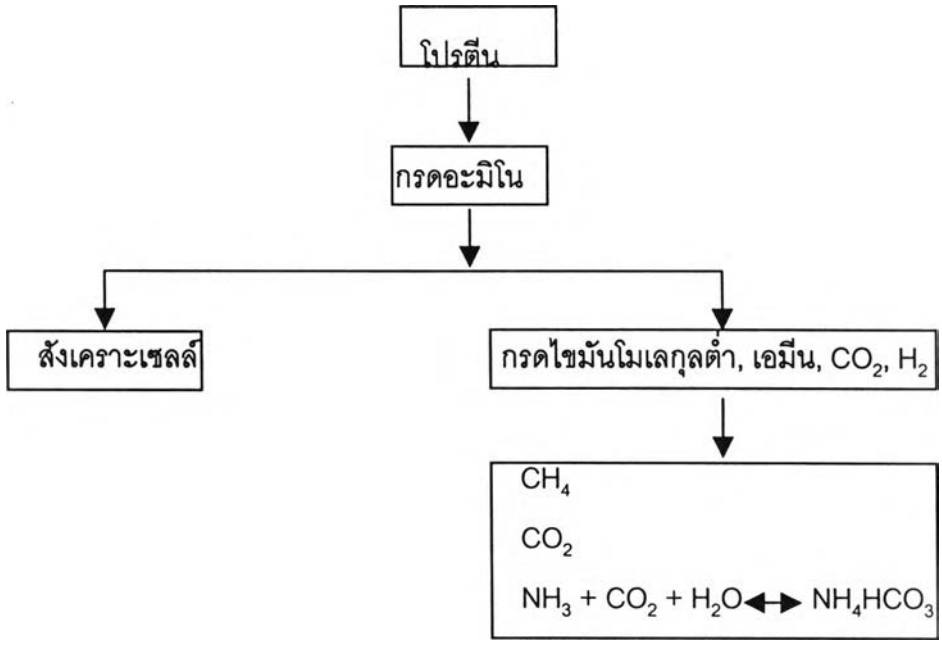
จ) ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน

อัตราการกำจัดไนโตรเจน จะทำได้มากเมื่อปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนต่อปริมาณไนโตรเจนออกไซด์มากพอ แต่ถ้ามากเกินไปก็จะเกิดปัญหาในการกำจัด สารอินทรีย์คาร์บอนอีกภายหลัง ดังนั้นจึงต้องให้อัตราส่วนนี้พอดีสำหรับการกำจัดได้ทั้งสองค่า จากการศึกษาของ Tam และคณะ (1994) พบว่าการเกิดดีไนตริฟิเคชันที่ดีที่สุดนั้นค่าอัตราส่วนของ COD/NOx-N ควรจะอยู่ระหว่าง 3:1 และ 6.6:1 ทั้งนี้อัตราส่วนที่ดีที่สุดขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่เติม

2.4.3 **การสร้างสภาพด่างในน้ำเสียโปรตีน**

น้ำเสียประเภทโปรตีนสามารถสร้างสภาพด่างได้ เนื่องจากในน้ำเสียจะมีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ ซึ่งการสร้างสภาพด่างในน้ำเสียโปรตีน แสดงดังรูปที่ 2-10

การบำบัดน้ำเสียประเภทโปรตีน ในขั้นตอนแรกโปรตีนโมเลกุลใหญ่จะถูกกระบวนการไฮโดรไลซีสให้เป็นเปปไตด์หรือกรดอะมิโน จากนั้นเปปไตด์และกรดอะมิโนจะถูกแบคทีเรียสร้างกรดย่อยสลายต่อ โดยส่วนหนึ่งจะนำไปสังเคราะห์ส่วนประกอบของเซลล์และอีกส่วนหนึ่ง เปลี่ยนไปเป็นสารประกอบโมเลกุลต่ำ



รูปที่ 2-10 การสร้างสภาพด่างในน้ำเสียโปรตีน (สินีนุช ศศิยศชาติ, 2544)

กรดไขมันระเหยง่ายโมเลกุลต่ำรวมทั้งหมู่อะมีนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไบคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน ส่วนแอมโมเนียจะถูกใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับใช้ในการสังเคราะห์ส่วนประกอบของเซลล์ หรืออาจเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (NH_4HCO_3) โดยเปลี่ยนแอมโมเนียให้กลายเป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ได้นั้นพีเอชของระบบต้องอยู่ในช่วงเป็นกลาง แสดงดัง สมการที่ 2.7

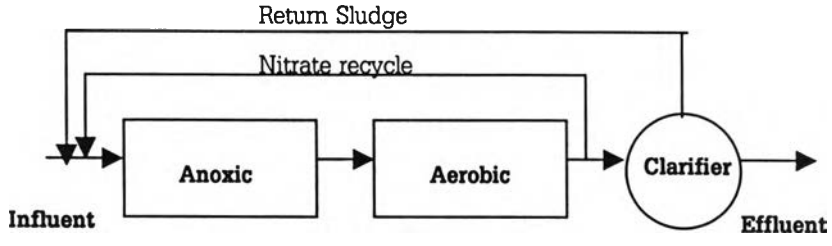
$$NH_3 + CO_2 + H_2O \longleftrightarrow NH_4HCO_3 \quad \text{..... 2-7}$$

จากสมการที่ 2.7 แอมโมเนีย 1 โมล (17 กรัม) จะดึง คาร์บอนไดออกไซด์ในระบบมา 1 โมล เพื่อทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต 1 โมล (79 กรัม) (ไบคาร์บอเนตอิออน 61 กรัม) หรือคิดเป็น แอมโมเนีย 1 กรัม จะให้สภาพด่างไบคาร์บอเนตได้ประมาณ 3.6 กรัม แต่แอมโมเนียที่เกิดขึ้นได้จากการย่อย สลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ โดยปริมาณแอมโมเนียที่เกิดจะเท่ากับปริมาณของไนโตรเจน ที่สามารถเปลี่ยนมาเป็นแอมโมเนียได้ ดังนั้นการเกิดสภาพด่างในน้ำเสียจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณไนโตรเจนและระดับพีเอช ถ้าน้ำเสียมีปริมาณไนโตรเจนมากและแบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เปลี่ยนเป็นแอมโมเนียได้ มากสภาพด่างที่เกิดขึ้นจะมากตาม

2.4.4 ระบบบำบัดน้ำเสียในการกำจัดสารไนโตรเจน

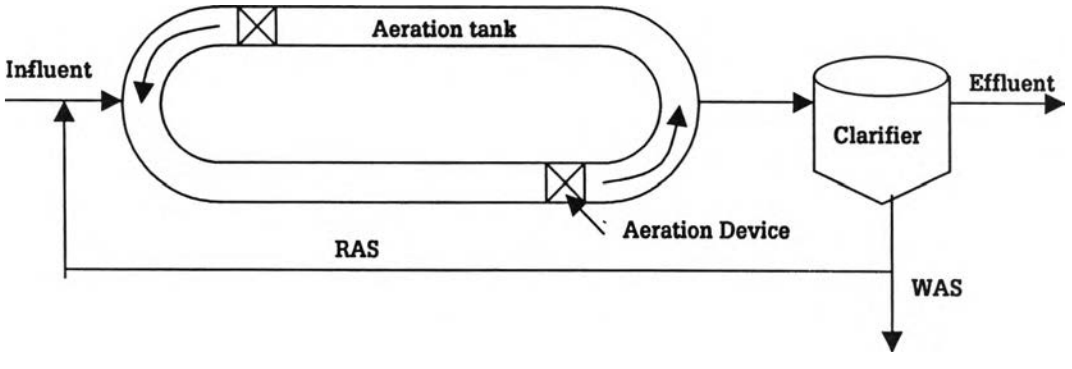
Sedlak (1991) ได้แบ่งการกำจัดไนโตรเจนอย่างเดียวออกเป็น 3 รูป แบบพื้นฐาน คือ

ก) ระบบสลัดจ์เดี่ยวที่มีการเวียนตะกอนกลับ มีกระบวนการและการจัดเรียงดังรูปที่ 2-11



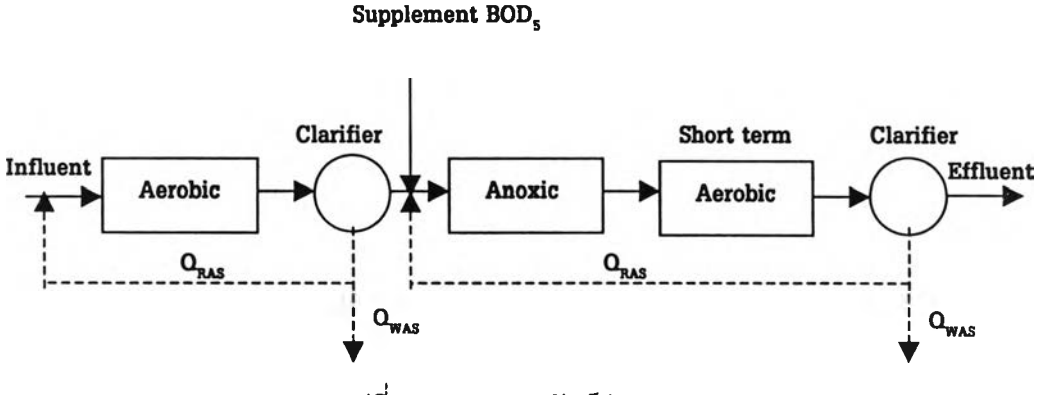
รูปที่ 2-11 ระบบสลัดจ์เดี่ยวที่มีการเวียนตะกอนกลับ (Sedlak, 1991)

ข) ระบบสลัดจ์เดี่ยวที่มีการเวียนตะกอนกลับแบบคลองวนเวียน (Randall, 1992) ซึ่งมีกระบวนการ และการจัดเรียงดังนี้รูปที่ 2-12



รูปที่ 2-12 ระบบสลัดจ์เดี่ยวที่มีการเวียนตะกอนกลับแบบคลองวนเวียน (Randall, 1992)

ค) ระบบสลัดจ์คู่ ซึ่งมีกระบวนการและการจัดเรียงดังนี้รูปที่ 2-13



รูปที่ 2-13 ระบบสลัดจ์คู่ (Sedlak, 1991)

ปัจจัยที่มีผลต่อระบบแอโรบิกและแอน็อกซิก

ก) ค่า F/M

ควรออกแบบระบบเป็นแต่ละถังและใช้อัตราส่วน ค่า F/M ลดลง โดยให้ถังแรกมีค่าสูงเพื่อจะทำให้เกิดอัตราการกำจัดสารอินทรีย์ได้อย่างเหมาะสมและทำให้ค่าควบคุม เอสวีไอของระบบอยู่ในช่วง 100 – 150 มก./ล. สำหรับน้ำเสียย่อยง่ายออกแบบ ค่า F/M ประมาณ 1-2 กก.ซีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน ให้การตกตะกอนที่ดี

ข) ระยะเวลากักเก็บ

ควรออกแบบให้มีเวลาเพียงพอที่จะกำจัดสารอินทรีย์ ถ่ายเทใช้ในเมตาบอลิซึมของระบบได้ ส่วนมากออกแบบให้สามารถกำจัดซีโอดีประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์

ค) ออกซิเจนละลาย

สำหรับถังแอโรบิกต้องมีการเติมออกซิเจน อัตราการใช้ออกซิเจนประมาณ 50-60 มก.ออกซิเจน/ก.เอ็มแอลวีเอสเอ หรือมากกว่า คิดประมาณ 15-25 เปอร์เซ็นต์ ของซีโอดีที่ถูกกำจัด ความเข้มข้นของดีโอ ควรอยู่ระหว่าง 1-2 ก./ลบ.ม.

สำหรับถังแอน็อกซิกต้องผสมด้วยเครื่องกวนผสม และต้องเติมไนเทรตในระบบด้วยโดยการหมุนเวียนน้ำตะกอนจากแอโรบิก อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันสำหรับน้ำเสียที่ย่อยง่าย 5-10 ก.ไนเทรต / ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ชม.

2.5 ความสำคัญของความเค็มในน้ำเสีย

จากการศึกษาที่ผ่านมาระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ได้ที่ระดับความเค็มหรือความเข้มข้นของเกลือโซเดียมได้ต่างแตกกัน

- ทำให้เกิดแรงดันออสโมซีส (osmotic pressure) ทำให้เซลล์แบคทีเรียตาย หรือหยุดการเจริญเติบโตเนื่องจากเกิดพลาสโมไลซีส (plasmolysis)

- ดึงความชื้นออกจากอาหารเป็นการควบคุมปริมาณ available water (Aw)

- การแตกตัวของโซเดียมคลอไรด์ ทำให้ได้โซเดียมอิออนและคลอไรด์อิออนซึ่งจะเป็นอันตรายต่อเซลล์แบคทีเรียที่ไวต่ออิออนชนิดนั้นๆ โดยโซเดียมอิออนจะไปรวมตัวกับสารที่มี sulfhydryl group (-SH) ทำให้สารนั้นไม่สามารถ transfer acyl group

- ขัดขวางต่อการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ภายในเซลล์แบคทีเรีย

- ทำให้เซลล์แบคทีเรียไวต่อคาร์บอนไดออกไซด์

- ลดการละลายของออกซิเจนในน้ำ ทำให้เกิดสภาพที่ค่อนข้างจะเป็นสภาพ

ไร้ออกซิเจน (anaerobic) ซึ่งพบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ออกซิเจนจะละลายในน้ำได้ประมาณ 6.1 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้ามีเกลือละลายอยู่ 25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณการละลายของออกซิเจนเหลือเพียง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.6 การศึกษาที่ผ่านมา

2.6.1 การศึกษาที่ผ่านมาของกระบวนการยูเอเอสบี-แบบมีถังสร้างกรด

Pohland และ Ghost (1971 อ้างถึงใน Fang H.H.P.,1995) ได้แนะนำให้แยกระบบไร้ออกซิเจน ออกเป็น 2 ถังปฏิกรณ์ ถังใบแรกสำหรับขั้นตอนไฮโดรไลซีสและขั้นตอนการสร้างกรด ขั้นตอนทั้ง 2 นี้ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ เนื่องจากแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องเป็นตัวเดียวกัน ส่วนถังใบที่ 2 สำหรับกระบวนการสร้างอะซิเตทและขั้นตอนการสร้างมีเทน เพราะแบคทีเรียที่สร้างอะซิเตด ต้องอาศัยแบคทีเรียที่สร้างมีเทนที่ใช้ไฮโดรเจนเป็นสารอาหาร ช่วยรักษาความดันพาร์เชียสไฮโดรเจนให้ต่ำ เพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปได้และการแยก ถังออกจากกันอย่างสมบูรณ์ ไม่มีความจำเป็นการควบคุมระบบทำได้ยาก (Lettinga et.al,1991)

Holshoff (1983) แนะนำว่าระยะเวลากักน้ำในถังสร้างกรดควรอยู่ระหว่าง 6 - 24 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำเสีย โดยเลือกระยะเวลากักน้ำที่ทำให้เกิดการหมักกรด 20 - 40 เปอร์เซ็นต์ การทำให้เกิดกรดโดยสมบูรณ์ไม่ใช่สิ่งจำเป็น ทำให้ต้องเสียเงินลงทุนและเสียค่าดำเนินการสูงขึ้นและยังเป็นผลเสียต่อระบบ เพราะอาจมีแบคทีเรียสร้างกรดจำนวนมากปนเข้าไปปนถังสร้างมีเทนทำให้เกิดผลเสียต่อเม็ดตะกอนจุลิทรีย์และการทำงานของระบบได้

Shin และคณะ (1992) พบว่า ถังสร้างกรดช่วยให้การบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณซัลเฟตสูง มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยถังสร้างกรดสามารถลดปริมาณซัลเฟตจากโรงกลั่นเหล้าได้ถึง 33 - 65 เปอร์เซ็นต์ การลดลงของปริมาณซัลเฟตในถังสร้างกรดคาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการที่ซัลเฟตสามารถหลุด ออกมาจากถังสร้างกรดได้ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีค่าพีเอชในถังสร้างกรดประมาณ 6.5

Lettinga และคณะ (1991) กล่าวว่าถังสร้างกรดในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานแป้งมันฝรั่ง เพื่อกำจัดซัลไฟด์และโปรตีนในน้ำเสียซึ่งซัลไฟด์เป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบ ส่วนโปรตีนทำให้เกิดการลอยตัวของตะกอนจุลินทรีย์

2.6.2 การศึกษาที่ผ่านมาของสารไนโตรเจนในน้ำเสีย

Randall และคณะ (1992) กล่าวว่า กระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพพัฒนามาจากระบบเอเอสโดยเพิ่มส่วนที่ไม่เติมอากาศ (อาจเป็นหนึ่งถังหรือมากกว่า) เข้ามาในระบบรวมกันเป็นระบบสลัดจ์เดี่ยว ซึ่งหมายถึงระบบที่มีถังตกตะกอนขั้นที่สองเพียงถังเดียวและมี

การนำกลับมวลจุลินทรีย์ที่ตกตะกอนกลับมาในระบบเป็นการสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมทางชีวภาพให้จุลินทรีย์

Orhan และ Artan (1994) กล่าวว่า กระบวนการดีไนตรฟิเคชันจะเกิดในสภาพแอน็อกซิก ซึ่งเป็นสภาพที่ขาดออกซิเจนอิสระและต้องการตัวรับอิเลคตรอนที่เป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์

Jones และ Hood (1980) กล่าวว่า แบคทีเรียประเภทไนโตรโซโมนัสในน้ำดิบและน้ำที่มีความเค็มบริเวณปากแม่น้ำ พบว่า แบคทีเรียประเภทไนโตรโซโมนัสในน้ำดิบจะเกิดมากที่สุดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พีเอช 8.5 ค่าความเค็มร้อยละ 0.3-0.5 และค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่า 0.5 ก./ล. และในน้ำเค็มจะเกิดมากที่สุดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พีเอช 8.0 ค่าความเค็มร้อยละ 0.5-1.0 และค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่า 0.2 ก./ล. ซึ่งในน้ำเสียทั้งสองประเภทนั้นความเข้มข้นของไนไทรต์ ที่มากกว่า 5 มก./ล. จะมีผลยับยั้งการเกิดไนตริฟิเคชันได้ ในขณะที่ความเข้มข้นของไนเทรตไม่มีผลเลย

ชฎารัตน์ อนันต์ (2540) ได้ศึกษาผลของความเค็มที่มีต่อการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของ กระบวนการเอเอสแบบฟอรีดอกซ์ 3 ขั้นตอน พบว่า ประสิทธิภาพของระบบที่ใช้หัวเชื้อที่ชินต่อคลอไรด์มาก่อนนั้นสามารถทำงานได้ดีกว่า เร็วกว่า และรับสภาพช็อกได้ดีกว่าระบบที่ใช้หัวเชื้อทั่วไป และประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนลดลงเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นคลอไรด์

2.6.3 การศึกษาที่ผ่านมาของความสำคัญของความเค็มในน้ำเสีย

Kincannon และ Gaudy (1996) ได้ศึกษาพบว่าอัตราการกำจัดสารอาหารในระบบเอเอสจะลดลงภายใน 4 ชั่วโมง. เมื่อมีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์อย่างทันทีด้วยความเข้มข้น 30,000 มก./ล.ของ โซเดียมคลอไรด์แต่ความเข้มข้นนี้ยังไม่มีผลรบกวนอย่างรุนแรงต่อระบบ ซึ่งถ้าหากความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้นถึง 45,000 มก./ล.จะมีผลให้สลัดจ์เกิดได้ยากเป็นผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหารลดลง ในการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์จากความเข้มข้นต่ำไปสูงนั้น สลัดจ์ค่อยๆปรับตัวให้ชินจนกระทั่งความเข้มข้นของเกลือมีผลน้อยต่อระบบ แต่ถ้าหากเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสูงไป เซลล์ของจุลชีพจะเกิดการชะงักเนื่องจากการช็อกของแรงดันออสโมติก (Osmotic shock)

Ludzack และ Noran (1965) ได้ศึกษาผลของเกลือโดยใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสพบว่าผลของความเค็มที่มีต่อระบบจะเกิดขึ้น เมื่อความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ สูงกว่า 20,000 มก./ล. และการเพิ่มของเกลือจะทำให้เกิดการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนั้นที่ความเข้มข้นของ เกลือโซเดียมคลอไรด์สูงๆจะทำให้การรวมตะกอนเกิดได้ไม่ดีเป็นผลให้ของแข็งลอยหลุดออกไปกับน้ำเสียมีมาก สำหรับความเค็มที่มีผลต่อการเกิดไนตริฟิเคชัน

พบว่าที่ความเข้มข้น 20,000 มก./ล. จะทำให้เกิดไนตริฟิเคชันลดลง 10 เปอร์เซ็นต์ แต่การยับยั้งการเกิดไนตริฟิเคชันโดยเกลือโซเดียมนั้นต้องใช้เวลา ประมาณ 24 ชั่วโมง ในทำนองเดียวกันถ้าต้องการปรับการเกิดไนตริฟิเคชันกลับมาได้ฟื้นสภาพได้ดังเดิม ต้องใช้เวลาอีกหลายวันภายหลังจากที่ความเข้มข้นของคลอไรด์ลดลงแล้ว

Tokuz และ Eckenfelder (1979) ได้ศึกษาถึงผลของเกลืออนินทรีย์ ซึ่งได้แก่ เกลือโซเดียมคลอไรด์ และเกลือโซเดียมซัลเฟตต่อการทำงานของกระบวนการเอเอส พบว่าเมื่อระบบเริ่มชินกับความเค็ม แล้วค่าของแข็งแขวนลอยที่ออกไปกับน้ำเสียจะมีค่าต่ำมาก (น้อยกว่า 10 มก./ล.) กรณีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ในน้ำเสียที่เข้ามาต้องน้อยกว่า 35,000 มก./ล. ซึ่งความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นจะมีผลให้ค่าซีโอดีในน้ำออกเพิ่มขึ้นด้วยในขณะที่ค่าบีโอดีที่เหลืออยู่มีค่าต่ำมาก (น้อยกว่า 5 มก./ล.) แสดงว่าค่าซีโอดีที่เพิ่มขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับส่วนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้โดยทางชีวภาพ

Hamoda และ Al-Attar (1995) ผลของความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อกระบวนการเอเอส โดยทำการทดลองที่ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 10 กรัม/ลิตร และ 30 กรัม/ลิตร และแปรค่าอายุสลัดจ์อยู่ในช่วง 3 ถึง 20 วัน พบว่าความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่สูงถึง 30 กรัม/ลิตร ยังไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ ถ้าหากเพิ่มเวลาการกักพักของแข็งนานขึ้น ซึ่งระบบยังสามารถกำจัดซีโอดีได้สูงถึง 93 - 95 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองเพิ่มความเข้มข้นขึ้นด้วย แสดงว่าแบคทีเรียมีความสามารถที่ดำรงชีพและ เติบโตได้ถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพความเค็มในน้ำเสีย

บุญเลิศ (1978) ศึกษาผลกระทบของความเค็มที่ช่วงค่าต่างๆต่อประสิทธิภาพการบำบัด ของระบบเอเอส ซึ่งสามารถแสดงดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 แสดงผลของความเค็มต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆ

(บุญเลิศ ผดุงศุภไลย, 1978)

ผลของความเค็มต่อประสิทธิภาพของระบบเอเอส	
ความเค็ม	ประสิทธิภาพการบำบัด phosphorus จะลดเมื่อน้ำทิ้งมีความเค็มทั้งภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน และมีออกซิเจน ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงจาก 82 เปอร์เซ็นต์เป็น 25 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเพิ่มความเค็มจาก 200 mg/L เป็น 400 mg/L
ผลของการเปลี่ยนแปลงความเค็ม น้อย ⟶ มาก	- จุลินทรีย์จะค่อยปรับสภาพให้ชินกับความเค็มจากนั้นความ เค็มจะมีผลต่อระบบน้อยลง

มาก ⟶ น้อย	-เซลล์จุลินทรีย์จะเกิดการสลัด เนื่องจากการช็อคของแรงดันออสโมติก
ที่ความเค็มของ NaCl, Na_2SO_4, $NaNO_3$ ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 1,168 mg/L	พบว่ามีผลต่อการจับใช้ phosphorus ของจุลินทรีย์
ที่ระดับความเค็ม 5-8 ppt	ไม่พบว่าประสิทธิภาพของระบบจะลดลง
Chloride มีค่าตั้งแต่ 1,200-1,500 mg/L ของโรงงานปลากระป๋อง	BOD removal 95 เปอร์เซ็นต์, COD removal 90 เปอร์เซ็นต์ SS removal 95 เปอร์เซ็นต์
ที่ความเค็ม 20,000 mg/L	พบว่าประสิทธิภาพของระบบจะลดลงการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น การรวมตะกอนไม่มีประสิทธิภาพทำให้อนุภาค แขวนลอยหลุดออกไปกับน้ำเสียมากขึ้น ผลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันประสิทธิภาพจะลดลง 10 เปอร์เซ็นต์ การยับยั้งไนตริฟิเคชันอย่างสมบูรณ์เกิดขึ้นภายใน 24 ชม. และทำให้เกิดไนตริฟิเคชันกลับคืนมาได้ ต้องใช้เวลาหลายวันหลังความเข้มข้นลดลง
ที่ความเค็มระดับ 29,000 mg/L	การเติม powers activated carbon,(PAC) ถึง 200 mg/Lทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีขึ้น แต่จะมีการใช้ออกซิเจน เพิ่มแต่ถ้าเติมมากกว่านี้จะไม่มีผล การใช้น้ำผิวดินเจือจางจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น แต่ต้องใช้ไม่เกิน 70 เปอร์เซ็นต์
ที่ความเค็ม 30 ppt ของ NaCl	ยังไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ ถ้าหากเพิ่มเวลากักน้ำ ซึ่งระบบยังสามารถกำจัด COD ได้ 93-95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียมีความสามารถดำรงชีพและเจริญได้ แม้มีการเปลี่ยนแปลงสภาพความเค็มของน้ำเสียเมื่อมี การเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหัน อัตราการกำจัดสารอาหารในระบบจะลดลงภายใน 4 ชม.แต่ความเข้มข้นนี้ยังไม่มีผลรุนแรง
ที่ความเค็มของ NaCl, Na_2SO_4, $NaNO_3$ ที่มีความเข้มข้น น้อยกว่า 35,000 mg/L	ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นมีผลต่อ COD ซึ่งทำให้ COD เพิ่มขึ้นตามในขณะที่ BOD ที่เหลืออยู่ในระบบมีค่าต่ำมาก (น้อยกว่า10 mg/L) แสดงว่า COD ที่เพิ่มขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับส่วนที่ไม่ไม่สามารถ ย่อยสลายได้โดยทางชีวภาพ

I21235880

2.6.4 การศึกษาที่ผ่านมาของการคัดพันธุ์

Okuda Shin-Ichi (1991)ได้ทำการคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์จากโรงงานเนื้อ 2 แห่ง ในเขตเซนได ประเทศญี่ปุ่น พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่คัดเลือกได้และมีความสามารถในการย่อยไขมันวัว น้ำมัน น้ำมันมะกอก และน้ำสลัดจ์ที่ใช้แล้วได้มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ เชื้อแบคทีเรียสกุล Bacillus sp. และเมื่อนำเชื้อที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงระบบการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบ Water Circulation System ที่มีการลงเชื้อ Bacillus sp ที่แยกได้เป็นการบำบัดขั้นต้นและต่อด้วยระบบเอเอส พบว่าไขมันถูกกำจัดได้เกือบสมบูรณ์ โดยไม่ต้องมีการบำบัดทางกายภาพก่อน

เกศสุคนธ์ มณีวรรณ (2539) ได้คัดเลือกจุลินทรีย์ 7 ชนิด จากห้องปฏิบัติการเพื่อมาช่วยกำจัดไขมัน พบว่าเชื้อ Geotrichum candidum มีความสามารถในการย่อยไขมันได้สูงสุด คือ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พีเอช 7.0 และหัวเชื้อเริ่มต้น 4 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ของปริมาณน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสามารถบำบัดไขมัน ได้ถึง 43.3 เปอร์เซ็นต์

กาญนิถา ครองธรรมชาติ (2540) ได้นำเทคนิคการใช้เชื้อผสมระหว่าง Halophilic methanogens และ anaerobic digester biomass เป็นเชื้อตั้งต้นในการเดินระบบถังกรองไร้อากาศเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมสูง พบว่า ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ความเข้มข้นของเกลือ 0-35 กรัม/ลิตร โดยสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 6.2 กิโลกรัม ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และมีประสิทธิภาพในการบำบัดมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ที่ระดับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยต่ำกว่า 500 มก./ล.