บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม

2.1 แนวคิดทฤษฎี

การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีววิทยา (Biological Treatment) มีจุดประสงค์หลักเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย โดยอาศัยหลักการที่ใช้จุลินทรีย์ต่างๆ มาทำการย่อยสลายแปรเปลี่ยนสภาพของสารอินทรีย์ต่างๆ ไปเป็นก๊าซ CO_2 (ถ้าใช้ระบบเติมอากาศ) หรือไปเป็นก๊าซ CH_4 (ถ้าใช้ระบบไร้อากาศ) (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2550)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) ลักษณะที่จุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในถังปฏิกิริยา (Aerobic suspended growth treatment process) ได้แก่ กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated sludge process) บ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon) และกระบวนการย่อยแบบใช้อากาศ (Aerobic digestion process) 2) ลักษณะที่จุลินทรีย์จับตัวอยู่ที่ตัวกลางหรือตัวกรอง ได้แก่ กระบวนการถังกรองจุลชีพ (Trickling filter) ระบบจานหมุนชีวภาพ (Rotating biological contactors) ส่วนกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ได้แก่ การย่อยแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion) กระบวนการสัมผัสไร้อากาศ (Anaerobic contact process) ระบบบำบัดแบบปฏิกรณ์ชั้นสลัดจ์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow anaerobic sludge blanket reactor) ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic filter) (พัฒนา มูลพฤกษ์. 2539)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะ (Sequencing Batch Reactor) เป็นส่วนหนึ่งของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ โดยเป็นระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ประเภทเติมเข้า-ถ่ายออก (Fill-and-Draw Activated Sludge) ซึ่งมีขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียแตกต่างจากระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ แบบอื่นๆ คือ การเติมอากาศ (Aeration) และการตกตะกอน (Sedimentation) จะดำเนินการเป็นไปตามลำดับภายในถังปฏิกิริยาเดียวกัน โดยการเดินระบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ 1 รอบการทำงาน (Cycle) (รูปที่ 2-1) มี 5 ช่วงตามลำดับ โดยการเดินระบบสามารถเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในแต่ละช่วงได้ง่ายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการบำบัด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นของระบบบำบัดน้ำเสียแบบแบบสลับเป็นกะ (กรมควบคุมมลพิษ. 2551) ดังนี้

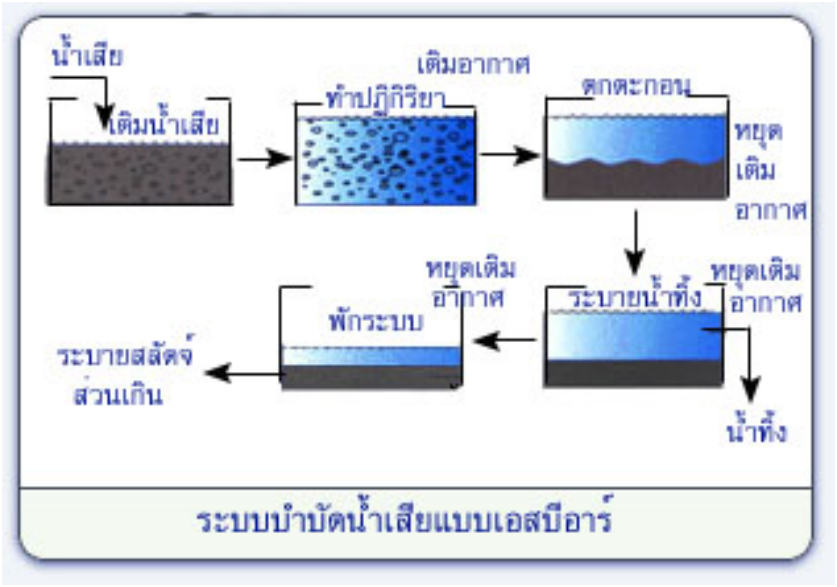
1) ช่วงเติมน้ำเสีย (Fill) นำน้ำเสียเข้าระบบ

2) ช่วงทำปฏิกิริยา (React) เป็นการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (BOD_5)

3) ช่วงตกตะกอน (Settle) ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกลงก้นถังปฏิกิริยา

4) ช่วงระบายน้ำทิ้ง (Draw) ระบายน้ำที่ผ่านการบำบัด

5) ช่วงพักระบบ (Idle) เพื่อซ่อมแซมหรือรอรับน้ำเสียใหม่



รูปที่ 2-1 การทำงานของระบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบแบบสลับเป็นกะ

(ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ. 2551)

ช่วงเติมน้ำเสีย (Fill) เป็นช่วงเวลาที่มีการเติมน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยาที่ยังเหลือน้ำตะกอนจุลินทรีย์จากวัฏจักรการทำงานก่อนหน้านี้ การเติมน้ำเสียสามารถทำให้ระดับน้ำในถังปฏิกิริยาสูงขึ้นจากเดิมที่มีอยู่ร้อยละ 25-70 ไปจนเต็มร้อย ขึ้นกับภาระบรรทุก เวลาเก็บกัก และ ความสูงของชั้นตะกอนที่ต้องการ น้ำเสียอาจไหลเข้าสู่ถังปฏิกิริยาตามธรรมชาติของน้ำเสียนั้น หรือขึ้นกับความสามารถของเครื่องสูบน้ำ ช่วงเวลาเติมน้ำเสียโดยทั่วไปคือร้อยละ 25 ของวัฏจักรการทำงาน

ช่วงทำปฏิกิริยา (React) เป็นช่วงเวลาที่เกิดปฏิกิริยาบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะขึ้นกับคุณภาพน้ำทิ้งที่ต้องการ ทั้งนี้ต้องมีระยะเวลาพอเพียงที่

จะให้ทำปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ด้วย ช่วงเวลาทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปคือร้อยละ 35 ของวัฏจักรการทำงาน

ช่วงตกตะกอน (Settle) เป็นช่วงเวลาที่เกิดการแยกตัวของตะกอนออกจากน้ำใส โดยในช่วงนี้จะไม่มีการรบกวนจากการเติมอากาศและการกวนผสม ตะกอนจึงตกได้ดีกว่าระบบเลี้ยงตะกอนแบบต่อเนื่อง ระยะเวลาในการตกตะกอนไม่ควรนานเกินไป เพื่อป้องกันปัญหาตะกอนลอยตัว โดยทั่วไปเวลาตกตะกอนอยู่ระหว่าง 0.5 – 1.5 ชั่วโมง

ช่วงระบายน้ำทิ้ง (Draw; Decant) เป็นช่วงการระบายน้ำใสที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากถังปฏิกิริยา ระยะเวลาการระบายน้ำทิ้งและกลไกที่ใช้จะขึ้นกับการออกแบบระบบ ส่วนใหญ่จะประมาณร้อยละ 5-30 ของวัฏจักรการทำงาน ทั้งนี้ไม่ควรใช้เวลานานเกินไปและไม่ควรมีตะกอนหลุดออกมาจากถังปฏิกิริยา

ช่วงพักระบบ (Idle) เป็นช่วงเวลาสำหรับการพักระบบเพื่อรอรับน้ำเสียที่จะเข้ามาบำบัดในถังปฏิกิริยา ช่วงนี้อาจมีการเติมอากาศหรือกวนผสมน้ำตะกอนจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่ หรืออาจไม่มีทั้งการกวนและการเติมอากาศ ช่วงพักระบบนี้อาจกำหนดให้มีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม

การระบายตะกอนทิ้งเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะ เนื่องจากปริมาณและอายุของตะกอนจะส่งผลต่อลักษณะของระบบ โดยใน 5 ขั้นตอนที่กล่าวข้างต้นไม่ได้รวมการระบายตะกอนไว้ แต่โดยทั่วไปการระบายตะกอนจะทำในช่วงของการตกตะกอนหรือช่วงพักระบบ

การทำงานแบบไม่ติดต่อกันของระบบบำบัดน้ำเสียแบบแบบสลับเป็นกะ ทำให้ระบบมีความเหมาะสมกับโรงงานที่มีขนาดเล็ก และมีปริมาณน้ำเสียน้อย หรือมีน้ำเสียไหลเป็นช่วงๆ ซึ่งในทางปฏิบัติอาจมีการใช้ถังบำบัดน้ำเสียมากกว่า 2 ถัง ขึ้นไป เพื่อให้การดำเนินการบำบัดน้ำเสียเป็นไปได้อย่างต่อเนื่อง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2545)

2.1.1 กลไกการบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะสามารถปรับให้มีการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนได้ โดยการปรับเปลี่ยนกลไกการทำงานของระบบให้เหมาะสม การกำจัดสารอินทรีย์เกิดขึ้นจากการที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ เพื่อให้เป็นพลังงานในการเติบโตและดำรงชีพ เมื่อจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น การใช้สารอินทรีย์ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย การกำจัดไนโตรเจนทำได้โดยการทำให้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่นเกิดขึ้นในระบบ ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นจะเกิดขึ้นได้จะต้องมีระยะเวลาเก็บกักตะกอนที่นานพอ เพื่อให้ไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrifying Bacteria) เจริญได้ดีและต้องการการเติมอากาศอย่างเพียงพอในถังปฏิกิริยา เพื่อให้ระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) เพียงพอสำหรับปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น ในขณะที่ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่นจะเกิดขึ้นได้นั้น ระบบจำเป็นจะต้องอยู่ในสภาพแอนอกซิก (มีออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) แต่ไม่มีออกซิเจนอิสระ) เกิดขึ้นในระบบ (สุภาณี สำราญกิจดำรง. 2540)

การบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะ ควรจัดให้มีสภาวะที่เหมาะสมตามลำดับ (ชาญชัย วิทูรปัญญากิจ. 2539) ดังนี้

1) สภาวะแอนแอโรบิค

ในสภาวะนี้ไม่มีออกซิเจนอิสระ และออกซิเจนในรูปต่างๆ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนภายนอก โดยกลไกที่เกิดขึ้นในสภาวะแอนแอโรบิค คือ

1.1 สารอินทรีย์จะถูกแยกสลายโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยเอนไซม์ภายนอก (External Enzyme) จากจุลินทรีย์ต่างๆ ไปเป็น Basic Structure Building Block (Higher Organic Acid)

1.2 แอนแอโรบิคแบคทีเรียจะหมัก (Fermentation) พวก Higher OrganicAcid ไปเป็น Simple Organic Acid (VFA) เพื่อให้ได้พลังงานในการดำรงชีพโดยใช้ EMP Pathway

1.3 จุลินทรีย์ที่สะสมฟอสฟอรัสได้และมี EMP Pathway จะรับเอา VFA ได้ดีกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นเมื่ออยู่ในสภาวะนี้ และนำไปใช้ในการดำรงชีพและเก็บสะสมไว้ในรูปของ PHB และพลังงานที่ได้จากการเปลี่ยน VFA ไปเป็นPHB จะได้จากการสลาย (Depolymerization) โพลีฟอสเฟตที่เก็บสะสมไว้ภายในเซลล์ และฟอสฟอรัสที่ได้จากการสลายพันธะ Poly – P ก็จะถูกขับออกภายนอกเซลล์ ทำให้ฟอสฟอรัสในสารละลายเพิ่มขึ้น

2) สภาวะแอนอกซิก

ในสภาวะนี้ไม่มีออกซิเจนอิสระเป็นตัวรับอิเล็กตรอนภายนอก แต่จะมีไนเตรทและไนไตรท์ ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนภายนอกแทน โดยกลไกที่เกิดขึ้นโดยแบคทีเรีย 2 กลุ่ม ในสภาวะแอนอกซิก คือ

2.1 แฟคคัลเททีฟ เฮเทอโรโทป (Facultative Heterotroph) จะใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานในการสร้างเซลล์ใหม่ โดยใช้ไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายแทนออกซิเจนในกระบวนการหายใจ (Anaerobic Respiration) ดังสมการ 2-1

$$NO_3^- + 10.8CH_3OH + 0.2H_2CO_3 \text{ ------> } 0.056C_5H_7NO_2 + 0.47N_2 + 1.68H_2O + HCO_3^- \quad \text{……..(2-1)}$$

แบคทีเรียบางชนิดจะรีดิวซ์ไนเตรทไปเป็นไนไตรท์เพียงอย่างเดียว และมีแบคทีเรียบางชนิดที่ใช้ไนไตรท์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ทำให้ได้ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ออกมา และถูกสลายไปเป็นก๊าซไนโตรเจนออกสู่บรรยากาศ เป็นการเปลี่ยนแปลงของออกไซด์ของไนโตรเจนในระบบบำบัดน้ำเสีย

2.2 แบคทีเรียที่สะสมฟอสฟอรัสได้ แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

2.2.1 กลุ่มที่สามารถใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนได้เพียงอย่างเดียว กลุ่มนี้จะไม่สามารถใช้ไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนได้ ดังนั้นแบคทีเรียกลุ่มนี้จึงยังคงรับเอา VFA เข้าไปเก็บไว้ในเซลล์ และปล่อยฟอสฟอรัสออกมาเหมือนในสภาวะแอนแอโรบิค

2.2.2 กลุ่มที่สามารถใช้ได้ทั้งออกซิเจนและไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนได้ แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถใช้ไนเตรทในกระบวนการหายใจ (Anaerobic Respiration) ได้ และสลายสารอินทรีย์เพื่อสร้างพลังงานในการดำรงชีพ แต่เนื่องจากพลังงานที่ได้จากกระบวนการหายใจนี้น้อย ดังนั้นแบคทีเรียจึงต้องสลาย PHB ที่เก็บไว้ภายในเซลล์ เพื่อใช้ในการสังเคราะห์เซลล์และสร้างพลังงาน และในการสร้างพลังงานนั้น จะมีการรับเอาฟอสฟอรัสที่อยู่ภายนอกเซลล์เข้ามาใช้ในกระบวนการสร้างพลังงานของเซลล์ พลังงานส่วนใหญ่จะถูกเก็บสะสมไว้ภายในเซลล์ ในรูปของพันธะ Poly – P แต่เนื่องจากแบคทีเรียที่สะสมฟอสฟอรัสได้ส่วนใหญ่ จะสามารถสะสมฟอสฟอรัสได้ในสภาวะแอโรบิค ดังนั้นในสภาวะแอนอกซิกนี้จึงมีการรับเอาฟอสฟอรัสไปเก็บไว้ภายในเซลล์น้อยมาก

3) สภาวะแอโรบิค

ในสภาวะแอโรบิค มีกลไกเกิดขึ้น คือ

3.1 แอโรบิคแบคทีเรีย จะสามารถใช้สารอินทรีย์สร้างพลังงานเพื่อการดำรงชีพได้ โดยใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนภายนอก ดังสมการที่ 2-2

$$CHONS + O_2 + \text{nutrient} \text{ ------> } CO_2 + H_2O + NH_3 + C_5H_7NO_2 + \text{Other End Product} \quad \text{……..(2-2)}$$

3.2 แอโรบิคแบคทีเรีย จะใช้สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน เช่น แอมโมเนียมไนโตรเจน เป็นแหล่งพลังงาน โดยส่งถ่ายอิเล็กตรอนจากแอมโมเนียมไนโตรเจนไปยังออกซิเจน และการส่งถ่ายอิเล็กตรอนนี้ จะเกิดควบคู่กับการสังเคราะห์ ATP และในสภาวะที่มีออกซิเจนอยู่ แอมโมเนียมจะถูกออร์โตโทฟิคแบคทีเรีย (Autotrophic Bacteria) ออกซิไดซ์ต่อไปเป็นไนไตรท์และไนเตรท โดยแบคทีเรียพวกนี้คือ Nitrosomonas spp. และ Nitrobacter spp. ซึ่งมีปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน ดังสมการที่ 2-3 เรียกกระบวนการนี้ว่า ไนตริฟิเคชั่น (Nitrification)

$$2NH_4^+ + 3O_2 + \text{------>} \ 2NO_2^- + 4H^+ + 2H_2O + \text{new cells}$$

$$2NO_2^- + O_2 \text{ ------> } 2NO_3^- + \text{new cell} \quad \text{……..(2-3)}$$

จุลชีพที่สามารถออกซิไดซ์แอมโมเนียไนโตรเจน จำเป็นจะต้องมีแหล่งอินทรีย์คาร์บอน ดังนั้นสารอินทรีย์และสารอาหารที่จำเป็น จะถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วในขั้นตอนนี้

3.3 แบคทีเรียที่สะสมฟอสฟอรัสได้ จะใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานและใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ในสภาวะนี้แบคทีเรียจะมีการสังเคราะห์เซลล์ใหม่ขึ้นมาใหม่ด้วย แต่เนื่องจากมีสารอินทรีย์เหลืออยู่น้อย ดังนั้นแบคทีเรียจึงต้องสลาย PHB ที่เก็บไว้ภายในเซลล์ เพื่อใช้ในการสังเคราะห์และการสร้างพลังงานเพื่อการดำรงชีพของเซลล์ ในการสร้างพลังงานนั้น อิเล็กตรอนที่ได้จากการสลาย PHB จะถูกนำมาใช้ในการสร้างพลังงาน การสร้างพลังงาน จะมีการรับเอาฟอสฟอรัสอิสระจากภายนอกเซลล์เข้ามาภายในเซลล์ เพื่อใช้สร้างพลังงาน และพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ และพลังงานอีกส่วนหนึ่งก็จะถูกเก็บสะสมไว้ในรูปของพันธะ Poly – P เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานของเซลล์ต่อไป

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2525)

1) ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลชีพในระบบ ดังนั้นหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมาก จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลชีพในระบบ โดยอาจทำให้อัตราส่วนระหว่างอาหารต่อจุลชีพสูง ทำให้จุลชีพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีลักษณะเติบโตกระจายอยู่ทั่วไปแทนที่จะรวมตัวกันเป็นก้อนที่ดี เป็นผลให้ตกตะกอนได้ไม่ดี น้ำทิ้งจะขุ่นมีค่าสารอินทรีย์หรือบีโอดีสูง หรือถ้าสารอินทรีย์ต่ำจะทำให้อัตราส่วนของสารอาหารต่อจุลชีพต่ำ จนทำให้จุลชีพเจริญเติบโตลดน้อยลง ซึ่งถึงแม้ตะกอนจุลชีพจะตกตะกอนได้เร็ว แต่ก็ไม่สามารถจับตะกอนเล็กๆ ที่ตกลงมา ทำให้น้ำทิ้งขุ่นได้

2) อาหารเสริม

จุลชีพต้องการอาหารเสริม (Nutrient) ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก นอกเหนือจากสารอินทรีย์ต่างๆ ที่นำมาใช้เป็นพลังงาน ปกติแร่ธาตุเหล่านี้มีอยู่ในน้ำเสียชุมชน แต่อาจจะมีไม่เพียงพอในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การขาดอาหารเสริมที่สำคัญเหล่านี้ จะทำให้จุลชีพที่จับกันเป็นก้อนเจริญเติบโตได้ไม่ดี จนทำให้จุลชีพชนิดเส้นใย (Filamentous) เจริญเติบโตได้ดีกว่า โดยปกติระบบควรมีอัตราส่วนระหว่าง บีโอดี:ไนโตรเจน:ฟอสฟอรัส:เหล็ก เท่ากับ 100:5:1:0.5

3) ออกซิเจนละลายน้ำ

ในถังเติมอากาศจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งปริมาณของอากาศและออกซิเจนที่ใช้เพื่อรักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงจุลชีพสามารถทำงานได้ดีจะต้องการออกซิเจนมาก นอกจากนี้ที่อุณหภูมิสูง ออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอิ่มตัวต่ำ จึงทำให้ต้องใช้ออกซิเจนมาก เมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังเติมอากาศสูง ในทำนองกลับกัน หากอุณหภูมิของน้ำต่ำ ก็จะทำให้ความต้องการเติมอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง ในการที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่ค่าเท่ากัน

4) ระยะเวลาในการบำบัด

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศ จะต้องมีมากเพียงพอที่จุลชีพจะใช้ในการย่อยสลายสารต่างๆ หากมีระยะเวลาต่ำเกินไป จะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้าย ทำให้มีค่าบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมาก

5) ค่าพีเอช

แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีที่พีเอชระหว่าง 6.5-8.5 ถ้าพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.5 รา (Fungi) จะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรีย ทำให้ประสิทธิภาพต่ำลง และตะกอนจะตกตะกอนได้ไม่ดี ส่วนที่ค่าพีเอชสูง ก็จะทำให้ฟอสฟอรัสแยกตัวออกมาจากน้ำ และจุลชีพไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทำให้ระบบทำงานไม่ดี แต่ถ้าพีเอชสูงมากหรือต่ำมาก จุลชีพจะไม่สามารถดำรงชีพได้

6) สารเป็นพิษ

สารเป็นพิษแบ่งได้เป็น 2 จำพวก คือ แบบพิษเฉียบพลัน (Acute Toxicity) ซึ่งจุลชีพจะตายหมดภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมง และแบบออกฤทธิ์ช้า (Chronic Toxicity) ซึ่งใช้เวลานานและค่อยๆ ตาย พิษเฉียบพลันสังเกตได้ง่าย เนื่องจากมีผลเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว สารพิษจำพวกนี้ ได้แก่ ไซยาไนด์ อาร์เซนิค เป็นต้น สำหรับสารพิษออกฤทธิ์ช้า เช่น ทองแดง และโลหะหนักต่างๆ จุลชีพจะสะสมเอาไว้ภายในเซลล์จนเกิดเป็นพิษและตายในที่สุด

7) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงาน และการเจริญเติบโตของจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วๆ ไป การเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุกๆ 10^0C จะทำให้จุลชีพเจริญเติบโตน้อยลงอย่างรวดเร็ว

8) การกวน

ภายในถังเติมอากาศจะต้องมีการกวนอย่างทั่วถึง เพื่อป้องกันมิให้ตะกอนจุลชีพตกตะกอน รวมทั้งจะได้จับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่ดี การกวนที่ถูกต้องจะต้องป้องกันมิให้น้ำเสียไหลลัดวงจร และทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสูง

2.1.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะ มีข้อดี ดังนี้ (Arora, et al. 1985)

1) ถังปฏิกิริยาของระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะ สามารถใช้เป็นถังปรับสภาพ (Equalization Tank) ไปในตัวระหว่างช่วงเวลาเติมน้ำเสีย ทำให้ระบบมีความอดทนต่อ Peak Flow และ Shock Load ได้ดีโดยไม่ลดคุณภาพของน้ำทิ้ง

2) เนื่องจากการปล่อยน้ำทิ้งออกจากระบบทำเป็นช่วง จึงอาจเก็บกักน้ำเสียไว้จนได้คุณภาพน้ำทิ้งตามต้องการ

3) เมื่ออัตราการไหลต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ เซ็นเซอร์บอกระดับของเหลวสามารถตั้งที่ค่าต่ำสุด ดังนั้นจึงสามารถใช้ความจุเพียงส่วนหนึ่งของถัง ในกรณีนี้ความยาวของช่วงเวลาบำบัดอาจทำให้เหมือนกับที่ออกแบบโดยไม่ต้องเสียพลังงานในการเติมอากาศเพิ่ม

4) ของแข็งแขวนลอยอยู่ในระบบได้นานตามต้องการ โดยไม่ถูกชะออกจากระบบ

5) ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องสูบตะกอนกลับ เนื่องจากตะกอนคงอยู่ในถังปฏิกิริยาอยู่เสมอ

6) การแยกตัวระหว่างตะกอนกับน้ำทิ้งอยู่ในสภาพสงบเกือบจะเป็นแบบอุดมคติ (Ideal) ในช่วงการตกตะกอนจึงไม่เกิดการลัดวงจร

7) เนื่องจากช่วงการเติมน้ำเสีย ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าใกล้ศูนย์จนถึงศูนย์ ซึ่งจัดเป็นสภาพแอนอกซิก (Anoxic) ทำให้มีความต้องการออกซิเจนในช่วงเติมอากาศมากกว่าปกติ ซึ่งอาจทำให้มีประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนสูงกว่าปกติแม้จะใช้อุปกรณ์เดิม

8) สามารถควบคุมการเกิดแบคทีเรียพวกเส้นใยได้ง่าย โดยการปรับเปลี่ยนวิธีการเดินระบบ เนื่องจากการปรับตัวตามสภาพแวดล้อมที่กำหนด มีผลต่อจุลินทรีย์ที่อาศัยในระบบ ความเข้มข้นของอาหารที่เพิ่มขึ้น จะช่วยทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่สร้างฟล็อคเจริญได้มากกว่ากลุ่มที่สร้างเส้นใย

9) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) โดยไม่ต้องเติมสารเคมีเพิ่มเติม

10) ระบบดูแลได้ง่ายกว่าระบบเลี้ยงตะกอนแบบต่อเนื่อง มีประสิทธิภาพสูง สามารถปรับระบบเพื่อลดการใช้พลังงานได้ และการลงทุนต่ำกว่า เหมาะกับสถานที่ที่มีพื้นที่จำกัด

ข้อเสียที่อาจจะเกิดขึ้นของระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะ ซึ่งโดยปกติสามารถควบคุมได้โดยการออกแบบที่เหมาะสม การปรับปรุงการดำเนินการ (Operation) หรือการปรับปรุงเครื่องมือ มีดังนี้

1) ปัญหาเกี่ยวกับการตกตะกอนของสลัดจ์ จะทำให้มีของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) ในน้ำทิ้งสูง และทำให้การดำเนินการของระบบเสียหาย

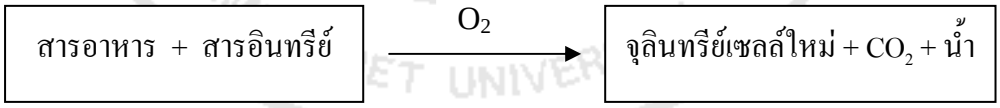
2) ถ้ามีอัตราการไหลสูงในระหว่างการ Decant หรือมีการฆ่าเชื้อโรค หรือระบบการกรองในตอนสุดท้าย จำเป็นจะต้องมี Flow Equalization หรือ Over Design

3) เมื่อระยะเวลาเก็บตะกอน (STR) นาน อาจจะเกิดดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) ขึ้นระหว่างการตกตะกอน และสลัดจ์อาจเริ่มลอยขึ้นเนื่องจากการเกิดก๊าซไนโตรเจน ซึ่งจะเป็นปัญหามากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

4) อุปกรณ์การเติมอากาศจะมีขนาดใหญ่กว่าปกติ เนื่องจากกระบวนการเติมอากาศมีความจำเป็นอย่างมากสำหรับช่วงเวลาการบำบัดสั้นๆ

2.1.4 ปฏิกิริยาทางชีวเคมีในระบบบำบัดน้ำเสีย

สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโต โดยผลที่ได้คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งจะลอยขึ้นไปในอากาศ และน้ำซึ่งจะผสมออกไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว และพลังงานก็จะถูกจุลินทรีย์ใช้ในการดำรงชีวิตต่อไป (อนุกูล อร่ามเรืองไพศาล. 2547) ซึ่งปฏิกิริยาทางชีวเคมี แสดงดังสมการที่ 2-4

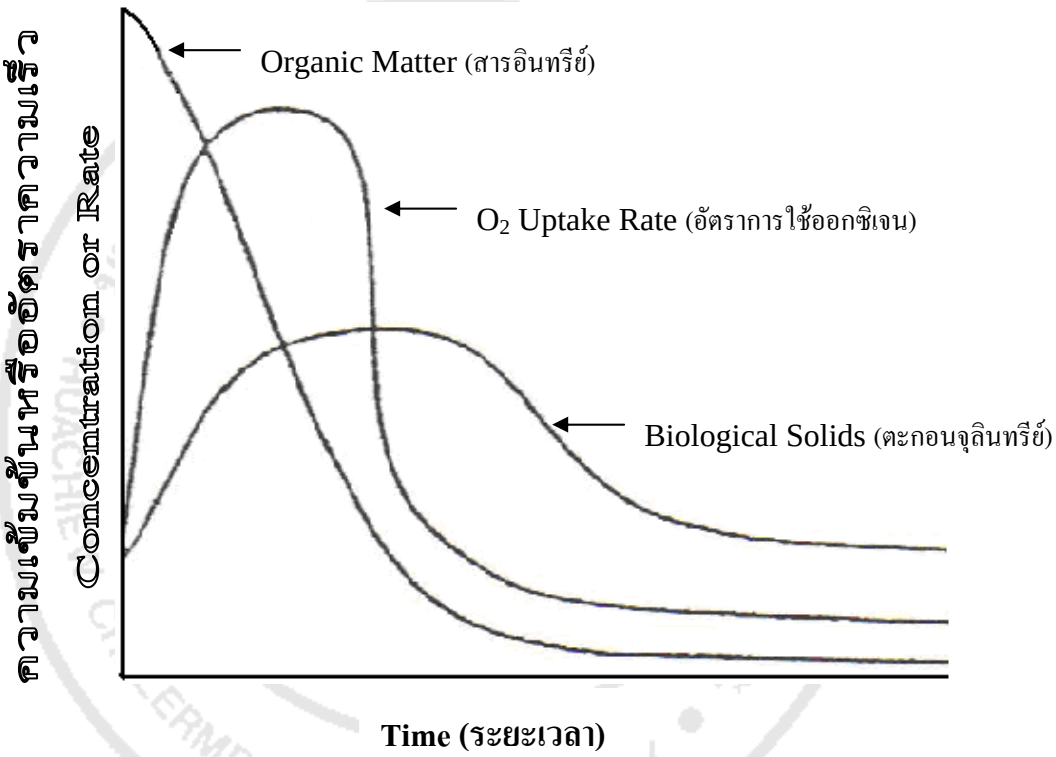


จุลินทรีย์ พลังงาน

……..(2-4)

โดยสรุปแล้ว สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนมาเป็นมวลจุลินทรีย์ที่หนักกว่าน้ำ ซึ่งสามารถแยกออกไปได้ง่ายด้วยการตกตะกอน ส่วนน้ำเสียที่จุลินทรีย์นำสารอินทรีย์ต่างๆ มาใช้จนเหลือน้อยลงแล้ว ก็จะเป็นน้ำที่มีความสกปรกน้อยเพียงพอที่จะปล่อยทิ้งได้โดยไม่มีการเน่าเหม็น

ในการใช้อาหารหรือการย่อยอาหาร (Break Down) ของจุลินทรีย์ อาจมีการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์หลายชนิด โดยจุลินทรีย์บางชนิดเริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ซับซ้อน (Complex organics) ก่อน จากนั้นก็จะมีจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนที่เหลือ หรือมิฉะนั้นก็อาจเป็นการนำเอาผลหรือของเสียที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ มาทำการย่อยสลายต่อ จนเป็นสารที่ไม่สามารถย่อยสลายได้อีกต่อไป (End Product) ซึ่งลักษณะของการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในการทำงานของกระบวนการ แสดงดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะ (ที่มา : อนุกูล อร่ามเรืองไพศาล. 2547)

2.1.5 การแบ่งประเภทของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท (อนุกูล อร่ามเรืองไพศาล. 2547) ดังต่อไปนี้

1) จุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อก (Floc Former) เป็นแบคทีเรียที่สามารถจับตัวกันเป็นกลุ่ม (ฟล็อก) และตกตะกอนได้ดี

2) ซัฟโปรไฟท์ (Saprophyte) เป็นแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ บางชนิดสามารถสร้างฟล็อกได้ด้วย

3) จุลินทรีย์ทำลาย (Predator) ได้แก่ พวกที่กินจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กกว่าเป็นอาหาร ประกอบด้วย โปรโตซัว (Protozoa) โรติเฟอร์ (Rotifer) เป็นต้น ซึ่งพวกนี้กินตะกอนจุลินทรีย์ที่ลอยกระจายอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำที่ออกจากระบบบำบัดใส และยังสามารถใช้เป็นตัวบอกสภาพการทำงานของระบบโดยรวมได้ด้วย

4) จุลินทรีย์ก่อกวน (Nuisance Microorganisms) เป็นพวกที่ก่อกวนการทำงานของระบบ เช่น จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย (Filamentous Microorganism) ซึ่งทำให้เกิดตะกอนไม่จมตัว ระบบจะทำงานได้ดีก็ต่อเมื่อมีจุลินทรีย์ทั้ง 4 ประเภทในปริมาณที่เหมาะสม โดยการอาศัยอยู่ร่วมกัน ซึ่งมีทั้งพึ่งพาอาศัยกัน แย่งชิงอาหาร หรือกินกันเอง

2.1.6 ลักษณะจุลินทรีย์ที่สำคัญในระบบบำบัดน้ำเสีย

1) แบคทีเรีย (Bacteria) เป็นจุลินทรีย์ที่มีเซลล์เดียว มีอยู่ทั่วไปทุกหนทุกแห่งในน้ำ ในดินและในอากาศ แต่ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในน้ำหรือที่ที่มีความชื้นสูง แบคทีเรียอาจมีรูปร่างทรงกลม หรือโซ่ ซึ่งประกอบด้วยแบคทีเรียหลายตัวเกาะกัน แบคทีเรียมีขนาดตั้งแต่ 0.003 ถึง 0.05 แต่โดยทั่วๆ ไป จะมีขนาดตั้งแต่ 0.0005 ถึง 0.003

เซลล์ของแบคทีเรียประกอบด้วยน้ำร้อยละ 80 และของแข็งร้อยละ 20 แบ่งออกได้เป็นสารอินทรีย์ร้อยละ 90 และสารอนินทรีย์ร้อยละ 10 ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ประกอบด้วย คาร์บอนร้อยละ 53 ออกซิเจนร้อยละ 29 ไนโตรเจนร้อยละ 12 และไฮโดรเจนร้อยละ 6 ดังนั้น ส่วนของแบคทีเรียที่เป็นสารอินทรีย์ จึงเขียนสูตรได้เป็น $C_5H_7O_2N$ ส่วนของแบคทีเรียที่เป็นสารอนินทรีย์ ประกอบด้วย P_2O_4 (ร้อยละ 50), SO_3 (ร้อยละ 15), Na_2O (ร้อยละ 11), CaO (ร้อยละ 9), MgO (ร้อยละ 8), K_2O (ร้อยละ 6) และ Fe_2O_3 (ร้อยละ 1) ด้วยเหตุนี้แบคทีเรียจึงต้องเจริญเติบโตในสภาพแวดล้อมที่มีแร่ธาตุและสารประกอบเหล่านี้อย่างเพียงพอ

แบคทีเรียแพร่พันธุ์ได้ด้วยการแบ่งเซลล์ เพิ่มจำนวนแบบทวีคูณ ในการสร้างเซลล์ใหม่จะใช้คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และพลังงาน แบคทีเรียส่วนมากจะใช้พลังงานที่ได้จากการออกซิไดส์สารเคมีต่างๆ (Oxidation) ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ (Chemosynthesis) แบคทีเรียอาจแบ่งได้ 2 ประเภท ตามประเภทของสารที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการสร้างเซลล์ ได้แก่

1.1 Autotropic Bacteria แบคทีเรียชนิดนี้สามารถสังเคราะห์สารอินทรีย์ในเซลล์ได้จากสารอนินทรีย์ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ หรือ คาร์บอเนต Autotropic Bacteria ที่สำคัญใน

กระบวนการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ Nitrifying Bacteria ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียให้เป็นไนเตรต

1.2 Heterotropic Bacteria แบคทีเรียชนิดนี้ใช้ธาตุคาร์บอนจากสารอินทรีย์ในการสร้างเซลล์ โดยแบคทีเรียในกลุ่มนี้ที่มีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสีย แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1.2.1 Aerobic Bacteria เป็นแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนอิสระไปเผาผลาญสารอินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงาน

1.2.2 Anaerobic Bacteria เป็นแบคทีเรียที่สามารถเผาผลาญสารอินทรีย์ได้โดยไม่ต้องอาศัยออกซิเจนอิสระ แต่จะใช้ออกซิเจนที่อยู่ในสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ เช่น NO_3^- และ SO_4^{2-} เป็นต้น

1.2.3 Facultative Bacteria เป็นแบคทีเรียที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งแบบมีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนในภาวะแวดล้อมที่แบคทีเรียอาศัยอยู่

1.2.4 โปโตซัว (Protozoa) เป็นพวกสัตว์ชั้นต่ำเซลล์เดียวที่ต้องอาศัยอยู่ในน้ำที่มีออกซิเจน โปโตซัวกินแบคทีเรียที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเป็นอาหาร ดังนั้นจึงช่วยทำให้น้ำทิ้งจากระบบบำบัดใสขึ้น และช่วยควบคุมจำนวนแบคทีเรียไม่ให้มีมากเกินไป โปรโตซัวที่สำคัญในระบบบำบัดแบบชีวภาพ มี 3 จำพวก คือ

1) Sacrodina ใช้ Pseudopodium ในการเคลื่อนไหว เช่น Amoeba Spp. อาศัยอยู่ในน้ำที่มีค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำ

2) Flagellata ใช้ Flagella ในการเคลื่อนไหว เช่น Paranema Spp., Gonium Spp.

3) Ciliata จะใช้ Cilia ในการเคลื่อนไหว เช่น Paramoecium Spp, Coleps Spp. และ Colpidium Spp.

1.2.5 โรติเฟอร์ (Rotifers) เป็นสัตว์หลายเซลล์และเป็น Aerobic Heterotrophs มีซิเลียไว้สำหรับการเคลื่อนที่และจับอาหาร เป็นตัวที่แสดงถึงประสิทธิภาพของกระบวนการบำบัดน้ำเสียว่าดีหรือไม่ ถ้าพบโรติเฟอร์อยู่ในน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้ว (Effluent) แสดงว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจ

1.2.6 รา (Fungi) เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีหลายเซลล์ ส่วนประกอบของเซลล์เป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์มีสูตรทั่วๆ ไป คือ $C_{10}H_{17}O_6N$ เมื่อเทียบกับสูตรแบคทีเรีย คือ $C_5H_7O_2N$ แล้ว จะเห็นว่าราต้องการไนโตรเจนน้อยกว่าแบคทีเรีย จึงเจริญเติบโตได้ดีกว่าในสภาวะแวดล้อมที่ขาดแคลนไนโตรเจน เนื่องจากรามีลักษณะเป็นเส้นยาว จึงทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ไม่สามารถรวมตัวกันตกตะกอนได้ดี ซึ่งส่งผลทำให้เกิดปัญหาในการแยกมวลจุลินทรีย์ออกจากน้ำที่บำบัดแล้ว (อนุกูล อร่ามเรืองไพศาล. 2547)

2.1.7 การเริ่มเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ (Start-up)

ก่อนที่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะ จะสามารถทำงานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ ต้องทำการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ ให้สามารถดำรงอยู่ได้ในสภาพแวดล้อมและน้ำเสียที่ต้องการบำบัด และจะต้องมีปริมาณมากเพียงพอที่จะกำจัดมลสารให้ลดลงตามต้องการได้ โดยการเริ่มเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ สามารถทำได้ 2 แบบ คือ

แบบที่ 1 เริ่มเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียที่ทำงานได้ดีแล้วโดยระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าว จะต้องบำบัดน้ำเสียที่มีลักษณะสมบัติใกล้เคียงกับน้ำเสียที่ต้องการบำบัด การเริ่มเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์แบบเป็นการนำตะกอนมาจากที่อื่น สามารถเริ่มการทำงานของระบบ และสามารถบำบัดน้ำเสียได้เต็มที่ภายในระยะเวลาสั้น แต่ต้องเลือกชนิดของตะกอนให้ใกล้เคียงหรือเหมาะสมกับชนิดของน้ำเสียที่ต้องการบำบัด และจะต้องเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่สมบูรณ์แข็งแรงและตกตะกอนได้ดี เพราะถ้านำตะกอนจุลินทรีย์ที่มีปัญหามาเลี้ยง จะทำให้การควบคุมการทำงานเป็นไปด้วยความลำบาก และเกิดผลเสียมากกว่าผลดี เช่น หากตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาเลี้ยง มีจุลินทรีย์เส้นใย (Filamentous Microorganism) หรือ มีเชื้อรา (Fungi) อยู่ ก็จะแพร่ขยายพันธุ์ ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกได้ยาก ซึ่งจะต้องแก้ปัญหาตะกอนจมตัวไม่ลงอีก หรืออาจต้องถ่ายน้ำตะกอนทิ้งทั้งระบบ ซึ่งสร้างปัญหาให้มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ต้องคำนึงถึงระยะเวลาที่ทำการขนถ่ายตะกอนจุลินทรีย์ด้วย เพราะถ้าใช้เวลานานเกินไปจะทำให้จุลินทรีย์ขาดออกซิเจนและตายในที่สุด โดยปกติไม่ควรเกิน 3 ชั่วโมง ระบบบำบัดน้ำเสียที่เริ่มเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ จะต้องเติมน้ำในถังเติมอากาศก่อนแล้วจึงสูบตะกอนเข้าถังเติมอากาศ ทำการให้อาหารสังเคราะห์หรือน้ำเสียโดยเข้าทีละน้อยๆ จนจุลินทรีย์ค่อยๆ เจริญเติบโต จนได้ปริมาณตะกอนแขวนลอย (MLSS) ตามที่ต้องการ ซึ่งในการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ดังกล่าว ต้องคอยปรับค่าพีเอชให้ใกล้เคียง 7.0-8.0 และต้องช่วยให้มีอัตราส่วนบีโอดี:ไนโตรเจน:ฟอสฟอรัส ไม่น้อยกว่า 100: 5: 1

แบบที่ 2 ค่อยๆ เลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียที่ต้องการบำบัดเอง โดยน้ำเสียนั้นๆ จะต้องมีจุลินทรีย์อยู่บ้างแล้ว หรือนำเชื้อจากแหล่งอื่นมาใช้ แล้วปล่อยให้เกิดการปรับตัวหรือคัดพันธุ์ จนได้ประเภทจุลินทรีย์ที่สามารถเติบโตในน้ำเสียที่ต้องการบำบัด วิธีนี้จะใช้ต่อเมื่อน้ำเสียมีจุลินทรีย์อยู่แล้ว หรือในกรณีที่เชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ไม่ได้มาจากการบำบัดน้ำเสียที่มีลักษณะน้ำเสียที่ต้องการทำการบำบัด ซึ่งอาจจะมีปัญหาในการขนส่ง หรือคุณสมบัติของน้ำเสียที่จะบำบัดมีลักษณะพิเศษ จึงหาตะกอนที่เหมาะสมไม่ได้ วิธีการนี้ต้องเริ่มนำน้ำเสียเข้าถังเติมอากาศทีละน้อยๆ ประมาณร้อยละ 10 ของปริมาตรถัง แล้วเดินเครื่องเติมอากาศ ปรับค่าพีเอช และดูอัตราส่วนบีโอดี:

ไนโตรเจน:ฟอสฟอรัส ให้ได้ดังที่กล่าวมา จากนั้นจึงเพิ่มน้ำเสียเข้าสู่ระบบร้อยละ 5-10 ต่อวัน โดยผู้ควบคุมระบบ จะต้องควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสม และสังเกตการหากเกิดตะกอนจุลินทรีย์หรือน้ำขุ่น ให้หยุดป้อนน้ำเสียเข้า แต่ต้องเติมอากาศต่อไป ทำเช่นนี้จนกว่าตะกอนใสดีแล้ว จึงนำน้ำเสียเข้าสู่ระบบ โดยปริมาณหรือ Loading ที่จะบำบัดต่อไป การทำงานด้วยวิธีนี้ จะใช้เวลานานกว่าวิธีแรก ประมาณ 2-8 สัปดาห์ แต่จะได้ตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับลักษณะของน้ำเสียที่ต้องการบำบัด (อนุกูล อร่ามเรืองไพศาล. 2547)

2.2 รายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุชาติ เหลืองประเสริฐ (2537) ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะ บำบัดน้ำทิ้งที่มีค่า BOD เท่ากับ 3,500 mg/l ค่า COD เท่ากับ 4,600 mg/l SS เท่ากับ 1,000 mg/l และ TKN เท่ากับ 47 mg/l โดยแบ่งระยะเวลาเก็บกักไว้ 1.5, 3, 5, และ 8 วัน โดยเป็นระบบที่ไม่มีการระบายตะกอนทิ้ง และกำหนดให้มีระยะเวลาป้อนน้ำเสีย 2 ชั่วโมงต่อวัน ระยะเวลาเติมอากาศ 20 ชั่วโมงต่อวัน และระยะเวลาตกตะกอนและระบายน้ำทิ้ง 4 ชั่วโมงต่อวัน จากผลการทดลองพบว่า ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 และ 8 วัน สามารถบำบัด BOD ได้เฉลี่ยร้อยละ 99 และ บำบัด COD ได้เฉลี่ยร้อยละ 98 โดยที่ระยะเวลาเก็บกัก 1.5 วัน ระบบจะมีกลิ่นเหม็น และน้ำที่ออกจากระบบมีลักษณะขุ่น ซึ่งระบบไม่สามารถบำบัดน้ำเสียต่อไปได้ เนื่องจากเกิดภาวะ Overload

ปาจรีย์ ทองสนิท (2539) ศึกษาการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร จากการศึกษาอิทธิพลของระยะเก็บกักต่อประสิทธิภาพของระบบ พบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัด BOD ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 24 ชั่วโมง สูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง โดยคิดเป็นร้อยละ 96.03 และ 87.03 โดยมีปริมาณ BOD ที่ถูกกำจัดคิดเป็น 0.82 และ 1.49 kg/m^3- d ที่ภาระบรรทุก BOD 0.86 และ 1.71 kg/m^3- d ตามลำดับ และจากการศึกษาอิทธิพลของการเติมอากาศ โดยเปรียบเทียบสัดส่วนของระยะเวลาการเติมอากาศระหว่างช่วงเวลาการเกิดปฏิกิริยาในวัฏจักร เท่ากับ 0.8, 0.5 และ 0.2 พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการลด BOD สูงสุดที่สัดส่วนการเติมอากาศ เท่ากับ 0.8 ที่ภาระบรรทุก BOD เท่ากับ 0.77 kg/m^3- d โดยมีปริมาณการกำจัด BOD เฉลี่ย เท่ากับ 0.705 kg/m^3- d

จันทนา ริรัตนพงษ์ (2540) ศึกษาการจำจัดไนโตรเจนจากน้ำทิ้งโรงอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่มีค่า COD เท่ากับ 300 mg/l และ TKN เท่ากับ 30 mg/l ด้วยระบบ

บำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะที่มีตัวกลางสัมผัสในการกำจัดไนโตรเจน โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบโดยเปลี่ยนตัวแปรคือ สัดส่วนการเติมอากาศ:หยุดการเติมอากาศ:เติมอากาศ ทั้งหมด 9 สัดส่วน ดังนี้ 1.5:2:0.5, 1.5:5:0.5, 1.5:8:0.5, 4:2:1, 4:5:1, 4:8:1, 6:2:2, 6:5:2, 6:8:2, ด้วยภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.10 - 0.20 kg.COD/kg.MLSS-d พบว่าสัดส่วนการเติมอากาศที่เหมาะสมในการจำจัดไนโตรเจน คือ 4:5:1 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 0.14 kg.COD/kg.MLSS-d มีประสิทธิภาพในการลดค่า COD, T-N และ SS เฉลี่ย ร้อยละ 91.17, 84.91 และ 90.86 ตามลำดับ และศึกษาความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนของระบบที่สัดส่วนเติมอากาศ 4:5:1 โดยเพิ่มปริมาณไนโตรเจนเป็น 30, 45, 60, 75, 90 และ 105 mg/l ปรากฏว่า ระบบมีความสามารถในการกำจัด TKN และ T-N สูงสุด 62.58 g -N/m^3 และ 57.56 g -N/m^3

ลักขณา เบ็ญจวรรณ์ (2541) ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลราชวิถีด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะชนิดเติมอากาศ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 ควบคุมความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (MLVSS) ในถังปฏิกิริยาขณะเติมอากาศ ให้อยู่ในช่วงระหว่าง 400-600 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดที่ 2 ควบคุมความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในถังปฏิกิริยาขณะเติมอากาศ ให้อยู่ในช่วงระหว่าง 1400-1600 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี (COD) ไนโตรเจน (TKN) และของแข็งแขวนลอย (SS) ของระบบ ผลการศึกษา พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะชุดที่ 2 มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD) ไนโตรเจน (TKN) และของแข็งแขวนลอย (SS) มากกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะชุดที่ 1อย่างไรก็ตาม ระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ชุดนี้ มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้มากกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นจึงถือว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะชนิดเติมอากาศทั้งชุดที่ 1 และชุดที่ 2 มีประสิทธิในการการบำบัดน้ำเสียสูง

อดิศักดิ์ นุสิทธิ์ (2543) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะ พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (F/M Ratio) ระยะเวลาเติมอากาศ และอายุตะกอน ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการออกแบบระบบ จากการทดลอง พบว่า การบำบัดสารอินทรีย์มีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ค่าอายุตะกอน 5 วัน และตัวแปรที่เหมาะสมในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโรงอาหาร คือ ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.038 kgCOD/m^3-d อายุตะกอน 5 วัน ระยะเวลาเติมอากาศ 20 ชั่วโมง ระยะเวลาตกตะกอน 1 ชั่วโมง ระยะเวลาเติมน้ำเสีย 2 ชั่วโมง F/M ratio 0.34 l/d และ MLSS 1,200 mg/l โดยระบบจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูงสุด เมื่ออัตราส่วน BOD:COD ในน้ำทิ้งที่

ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.107 :1 ประสิทธิภาพการลดค่า COD, BOD, SS, TKN และ TP ที่ค่าอายุตะกอน 5 วัน ค่าภาระบรรทุกเชิงปริมาตร 0.119 kgBOD/m^3-d เท่ากับ ร้อยละ 90.79, 98.09, 95.21, 93.28 และ 83.98 ตามลำดับ ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 11.60 mg/l

ธารา วรศิริ และคณะ (2544) ทดลองหาประสิทธิภาพของชุดทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งน้ำเจ้าพระยาบริเวณสะพานพระราม 7 คลองบางโพและคลองสี่พระยา พบว่า ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD_5 ของชุดทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะ คือ ร้อยละ 83.00, 85.55 และ 82.60 ตามลำดับ และคิดเฉลี่ยจากผลการทดลองประสิทธิภาพการบำบัดค่า BOD_5 ทั้ง 3 การทดลอง ได้ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD_5 ของชุดทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะ ร้อยละ 83.71

ศิริเพ็ญ เชิญชัยวชิรากุล (2545) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด COD TKN และ P ในน้ำเสียชุมชน ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะชนิดไร้อากาศ ที่มีการลดช่วงเวลาการเดินระบบลง การทดลองได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการเดินระบบภายใต้สภาวะที่เหมาะสม รอบเวลาเดินระบบ 24 ชั่วโมง กำหนดเวลาการเติมน้ำเสีย 5 ชั่วโมง ทำปฏิกริยา 16 ชั่วโมง ตกตะกอน 1 ชั่วโมง ระบายน้ำทิ้ง 0.5 ชั่วโมง พักระบบ 1 ชั่วโมง และระยะเวลาเก็บกักตะกอน 30 วัน ผลการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัด COD TKN และ P อยู่ระหว่างร้อยละ 91.02-97.45, 95.41-98.38 และ 20.65-64.70 ตามลำดับ ส่วนที่สอง ทำการเดินระบบภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเช่นเดียวกับส่วนแรกโดยมีการเติมกลูโคส เพื่อหาอัตราส่วนระหว่าง COD:TKN ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสารอาหารทางชีวภาพที่ 10:1, 12:1 และ 14:1 จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด COD TKN และ P อยู่ระหว่าง ร้อยละ 94.15-98.64, 96.12-98.73 และ 42.31-98.92 ตามลำดับ ส่วนที่สามเป็นการลดช่วงการเดินระบบและเติมกลูโคส โดยมีรอบเวลาเดินระบบ 12 ชั่วโมง กำหนดเวลาการเติมน้ำเสีย 2.5 ชั่วโมง ทำปฏิกริยา 8 ชั่วโมง (ช่วงเวลาแอนออกซิก 5 ชั่วโมง และออกซิก 3 ชั่วโมง) ตกตะกอน 1 ชั่วโมงระบายน้ำทิ้ง 0.25 ชั่วโมง และพักระบบ 0.25 ชั่วโมง โดยกำหนดให้ระยะเก็บกักตะกอนเท่ากับ 40, 50 และ 60 วัน ส่วนช่วงเวลาแอนออกซิก 1-2 เท่ากับ 2-3, 2.5-2.5 และ 3-2 ชั่วโมง ในขณะที่ช่วงเวลาออกซิก 1-2 เท่ากับ 0.5-2.5, 1.5-1.5 และ 2.5-0.5 ชั่วโมง พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัด COD TKN และ P อยู่ระหว่างร้อยละ 93.05-96.90, 79.02-99.08 และ 94.75-99.04 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะชนิดไร้อากาศ ที่มีการลดรอบเวลาสำหรับการบำบัดน้ำ

เสียชุมชนคือ ช่วงเวลาแอนออกซิก 1-2 เท่ากับ 2-3 ชั่วโมง ขณะที่ช่วงเวลาออกซิก 1-2 เท่ากับ 2.5-0.5 ชั่วโมง และระยะเก็บกักตะกอน 60 วัน โดย ประสิทธิภาพการบำบัด COD TKN และ P ประมาณร้อยละ 94.86, 97.26 และ 98.72 ตามลำดับ

อนุกูล อร่ามเรืองไพศาล (2547) ศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะในการกำจัดธาตุอาหาร โดยจากการศึกษา พบว่า ประสิทธิภาพการลดค่า TKN และ NH_4^+ ขึ้นอยู่กับกระบวนการ Nitrification หรือ ระยะเวลาการเติมอากาศ เช่น ที่สัดส่วนการเติมอากาศ 2:6:2 ประสิทธิภาพการลดค่า TKN และ NH_4^+ เฉลี่ย ร้อยละ 93.77 และ 94.17 สูงกว่าที่สัดส่วนการเติมอากาศ 2:2:6 ซึ่งประสิทธิภาพการลดค่า TKN และ NH_4^+ เฉลี่ยร้อยละ 50.98 และ 67.87 ประสิทธิภาพการลดค่า T-N ที่สัดส่วนการเติมอากาศ 2:4:4 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 70.92 ซึ่งสูงกว่าที่สัดส่วนการเติมอากาศ 2:2:6 ซึ่งมีประสิทธิภาพการลดค่า T-N เฉลี่ยร้อยละ 27.71 ประสิทธิภาพการลดค่า T-P ขึ้นอยู่กับสัดส่วนการหยุดเติมอากาศต่อการเติมอากาศ โดยพบว่า ที่สัดส่วนการเติมอากาศ 2:4:4 มีประสิทธิภาพการลดค่า T-P เฉลี่ยร้อยละ 41.82 สำหรับกรณีของสัดส่วนการเติมอากาศ 2:2:6 และ 4:2:6 ระบบไม่สามารถบำบัด T-P ได้ เนื่องจากมีสัดส่วนการเติมอากาศที่ไม่เหมาะสม จากการศึกษาได้ตัวแปรที่เหมาะสมของระบบ คือ ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 0.25 วัน ระยะเวลากักเก็บ 14 ชั่งโมง สัดส่วนการเติมอากาศ (AN : A : Anox) 4:4:4 ชั่วโมง ระยะเวลาเติมน้ำเสีย 0.5 ชั่วโมง ระยะเวลาตกตะกอน 1 ชั่วโมง ระยะเวลาเทน้ำทิ้งและพัก 1 ชั่งโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพการลดค่า TKN , NH_4^+ ,T-N และ T-P สัดส่วนการเติมอากาศ (AN : A :Anox) 4:4:4 ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 0.25 วัน เท่ากับร้อยละ 97.61 , 92.12, 68.14, และ 40.04 โดยค่า TKN, NH_4^+, T-N และ T-P เมื่อเริ่มทำการทดลอง มีค่าเฉลี่ย 63.39, 77.83, 79.01, และ 10.09 mg/l และในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.60, 6.31, 25.17 และ 6.05 mg/l ตามลำดับ

ทัศนา หลายสุขศิริ (2548) ศึกษาประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะโดยใช้ตัวกลางพลาสติกสำหรับบำบัดน้ำเสียโรงนม (Sequencing Batch Biofilm Reactor) พบว่า ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบมากกว่าระยะเวลากักเก็บ ดังนั้นค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ จึงเป็นตัวแปรสำคัญในการออกแบบระบบ และประสิทธิภาพระบบที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาตร 0.32-0.95 kgCOD/m^3-d มีประสิทธิภาพการบำบัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 94-97 , BOD ร้อยละ 97-99, TKN ร้อยละ 90-94, TP ร้อยละ 20-34 โดยมีปริมาณสารแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว 4-12 mg/l ในระยะเวลาเก็บกัก 2-5 วัน และพบว่า ตัวกลางในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะตัวกลาง เนื่องจาก

ตัวกลางทำหน้าที่เป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ และลดการหลุดลอยของตะกอนเมื่อระยะเวลากักเก็บเพิ่มขึ้น จึงเป็นการเพิ่มอายุของตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้ระบบสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เจตนา วงศ์วิเชียร และคณะ (2550) ศึกษาผลกระทบของอายุตะกอนต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะ โดยมีลำดับช่วงเวลาในการเดินระบบ 12 ชั่วโมง ประกอบด้วย ช่วงการเติมน้ำ 1 ชั่วโมง, ช่วงบำบัด 8 ชั่วโมง, ช่วงตกตะกอน 2 ชั่วโมง และช่วงการถ่ายน้ำ 1 ชั่วโมง จากผลการศึกษา พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะโดยเฉลี่ย คือ ร้อยละ 89, 92 และ 89 ที่อายุตะกอน 5, 10 และ 15 วัน ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัด NH_4-N ที่อายุตะกอน 5, 10 และ 15 วัน เท่ากับ ร้อยละ 72, 69 และ 65 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD_5 คิดเป็นร้อยละ 97, 97 และ 96 ที่อายุตะกอน 5, 10 และ 15 วัน ตามลำดับ ส่วนปริมาณตะกอนในระบบ มีอัตราส่วนระหว่าง MLSS ต่อ MLVSS อยู่ในช่วง 0.8-0.9 ซึ่งอายุตะกอน 10 วัน มีความเหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำเสีย

นุชนาถ แช่มช้อย (2550) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบสลับเป็นกะชนิดไร้อากาศ ในการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสีย โดยใช้กระบวนการแอนแอมมอกซ์ พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม ประมาณร้อยละ 80 โดยมีลำดับช่วงเวลาการเดินระบบที่เหมาะสม คือ ช่วงทำปฏิกิริยา 7-8 ชั่วโมง ช่วงตกตะกอน 30 นาที และช่วงระบายน้ำทิ้ง 15 นาที