บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

อภิปรายผล

1. การกำจัดไนโตรเจนและอินทรีย์สาร

1.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SCAS

จากการศึกษาการกำจัดไนโตรเจนโดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SCAS ซึ่งมีการเติมอากาศตลอดการทดลองพบว่า ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นในช่วง 10 วันแรกของการทดลอง แล้วจะเริ่มลดลงในวันที่ 12 ขณะเดียวกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนไตร์ท-ไนโตรเจน ซึ่งเมื่อปริมาณไนไตร์ท-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 14-26 แล้วปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนก็จะลดลงต่ำสุดในช่วงดังกล่าวด้วย อาจอธิบายได้ว่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในระบบถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนไตร์ท-ไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์จำพวก Autotrophic Bacteria (Metcalf & Eddy, 2003) ส่วนปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นหลังจากการเพิ่มขึ้นของไนไตร์ท-ไนโตรเจนประมาณ 2 วัน และปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนคงที่ตลอดการทดลอง ในขณะที่ปริมาณไนไตร์ท-ไนโตรเจนลดลงในวันที่ 28 จึงอาจอธิบายได้ว่าไนไตร์ท-ไนโตรเจนที่เกิดจากการออกซิไดซ์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นไนเตรทในช่วงหลังของการทดลองโดยจุลินทรีย์เช่นเดียวกัน แสดงว่าจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SCAS มีสองประเภทที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้แก่ จุลินทรีย์พวก *Nitrosomonas* (*Nitrosococus, Nitrorosospira, nitrosolobus* และ *Nitrosorobrio*) และ *Nitrobactor* (*Nitrococcus, Nitrospina, Nitrospina* และ*Nitrooeystis*) โดยพวก *Nitrosomonas* ทำให้แอมโมเนียเปลี่ยนไปเป็นไนไตร์ทและพวก *Nitrobactor* ทำให้ไนไตร์ทเปลี่ยนเป็นไนเตรทในท้ายที่สุด ดังสมการ (Eckenfelder, 2000)

Nitrosomonas

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

Nitrobacter

$$NO_2^- + 1/2O_2 \text{ ----------> } NO_3^-$$

และจากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนไตร์ท-ไนโตรเจนใช้เวลาประมาณ 12 วัน ส่วนปริมาณไนไตร์ท-ไนโตรเจนก็จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรท-ไนโตรเจนเช่นเดียวกัน แต่ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพียง 2 วันเท่านั้น จึงสามารถอธิบายได้ว่า จุลินทรีย์จำพวก *Nitrobactor* มีอัตราการเจริญเติบโตเร็วกว่าจุลินทรีย์จำพวก *Nitrosomanas* ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนจากไนไตร์ทไปเป็นไนเตรท จึงมีอัตราเร็วกว่าการเปลี่ยนจากแอมโมเนียไปเป็นไนไตร์ทนั้นเอง (Eckenfelder, 2000; เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)

จากผลการศึกษาพบว่า ระบบการบำบัดน้ำเสียแบบนี้มีปริมาณ ไนเตรท-ไนโตรเจนคงที่ (มีค่าประมาณ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตั้งแต่วันที่ 20 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าไนเตรท-ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นไม่ถูกรีดิวซ์ต่อไปเป็นก๊าซไนโตรเจนโดยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เนื่องจากระบบมีการเติมอากาศตลอดเวลา โดยพบว่า ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันของจุลินทรีย์ที่สามารถรีดิวซ์ไนเตรทให้เป็นก๊าซไนโตรเจนได้นั้นต้องอยู่ในสภาพแอนอกซิกเท่านั้น (Henze et al., 1997) แสดงว่าระบบบำบัดน้ำเสียที่ทำการศึกษาครั้งนี้ไม่เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันขึ้น เนื่องจากกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพนั้นระบบบำบัดน้ำเสียต้องมีสภาพที่อยู่ในสภาวะเติมอากาศและสภาวะขาดอากาศหรือสภาวะแอนอกซิกควบคู่กันไป จึงจะทำให้เกิดกระบวนการกำจัดไนโตรเจนได้ โดยจะเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันก่อนคือ ปฏิกิริยาชีวเคมีของจุลินทรีย์จะเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็น ไนไตร์ทและไนเตรทอย่างต่อเนื่องในสภาพเติมอากาศก่อน หลังจากนั้นในสภาวะแอนอกซิกจะเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันขึ้นเพื่อเปลี่ยนไนเตรทไปเป็นก๊าซไนโตรเจน (Rittmann & McMarty, 2001)

การศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณซีโอดีถูกกำจัดไปอย่างรวดเร็วในวันที่ 2 ของการทดลอง ส่วนการกำจัดไนโตรเจนของระบบต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 10 วัน จึงจะเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่เปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรท จึงอาจสันนิษฐานได้ว่าอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดคาร์บอนและไนโตรเจนไม่เท่ากันกล่าวคือ ในระบบที่มีการเติมอากาศจะมีจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการกำจัด ซีโอดีคือพวก Heterotrophs และจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่กำจัดพวกไนโตรเจนคือจุลินทรีย์พวก Autotrophs (Metcalf & Eddy, 2003) แสดงว่า จุลินทรีย์จำพวก Heterotrophs มีอัตราการเจริญเติบโตเร็วกว่าจุลินทรีย์พวก Autotroph ในระบบบำบัดน้ำเสียนี้ส่งผลให้ค่าซีโอดีถูกกำจัดอย่างรวดเร็วกว่าค่าไนโตรเจน

1.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SBR

จากการศึกษาการบำบัดไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SBR ซึ่งมีการออกแบบให้สามารถกำจัดไนโตรเจนโดยใช้ถังปฏิกิริยาถังเดียว ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้คือ การเติมอากาศและเติมน้ำเสีย (5ชั่วโมง)/การตกตะกอน (1.5ชั่วโมง)/ปล่อยน้ำเสียออก (0.5ชั่วโมง)/ทิ้งไว้

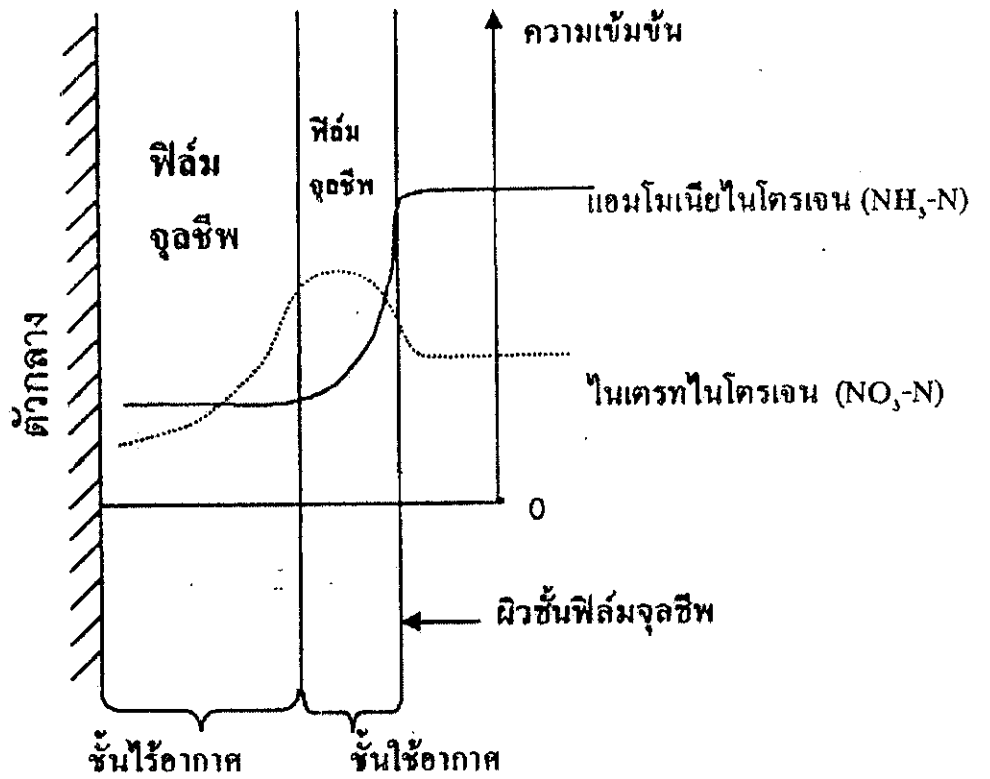
เฉย ๆ (17ชั่วโมง) ซึ่งใช้เวลา เดินระบบ 24 ชั่วโมงต่อรอบ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นสูงที่สุดใน 14 วันแรกและลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งมีปริมาณต่ำสุดในวันที่ 40 ของการทดลอง ขณะที่ปริมาณไนไตร์ท-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 26 และคงที่จนกระทั่งเสร็จสิ้นการทดลอง (มีค่าประมาณ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร) แสดงว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนไตร์ท-ไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ประเภท *Nitrosomonas* (Eckenfelder, 2000) แต่จากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SBR ไม่มีไนเตรท-ไนโตรเจนเกิดขึ้นเลย จึงอาจอธิบายได้ว่าระบบเกิดปฏิกิริยาไนติฟิเคชันอย่างไม่สมบูรณ์ เนื่องจากไนไตร์ท-ไนโตรเจนไม่ถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นไนเตรท-ไนโตรเจน ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับช่วงเวลาการเติมอากาศของระบบมีระยะเวลาสั้นเกินไป (คิดเป็น 21 เปอร์เซ็นต์ต่อรอบ) จึงทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์พวก *Nitrobacter* ที่เกี่ยวข้องกับการออกซิไดซ์ไนไตร์ท-ไนโตรเจนให้เป็นไนเตรท-ไนโตรเจน (Metcalf & Eddy, 2003) เกิดขึ้นน้อยหรือไม่เกิดขึ้นเลย ซึ่งแตกต่างจากผลการทดลองของ Kang and Shin (2002) ที่ทำการศึกษาการกำจัดอินทรีย์สารและไนโตรเจนโดยใช้ระยะเวลาในการเดินระบบ 3 ชั่วโมงต่อรอบ ซึ่งในแต่ละรอบ มีช่วงเวลาการเติมอากาศ 100 นาที (คิดเป็น 56 เปอร์เซ็นต์ต่อรอบ) หลังการศึกษาพบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและไนโตรเจนได้มากกว่า 97 และ76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาในการเติมอากาศของระบบบำบัดแบบ SBR ที่ทำการศึกษานี้พบว่า มีช่วงเวลาการเติมอากาศสูงกว่าซึ่งขั้นตอนที่มีการเติมอาหารและอากาศ ระบบจะมีสภาวะแอโรบิกทำให้เกิดปฏิกิริยาไนติฟิเคชันขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ (Grady, Daigger & Lim, 1999) ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจึงถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนไปเป็นไนเตรท-ไนโตรเจน อีกทั้งอาจสันนิษฐานได้ว่า จุลินทรีย์จำพวก *Nitrobacter* มีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าจุลินทรีย์พวก *Nitrosomonas* เนื่องจากสภาพไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์พวก *Nitrosomonas* ที่ต้องใช้อากาศในการเจริญเติบโต ทำให้ไนไตร์ท-ไนโตรเจนไม่ถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นไนเตรท-ไนโตรเจนด้วยเช่นเดียวกัน

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ปริมาณซีโอดีถูกกำจัดไปอย่างรวดเร็วในวันที่ 4 ของการทดลองโดยจุลินทรีย์จำพวก Heterotrophs ที่อาศัยคาร์บอนจากสารอินทรีย์ในการสร้างเซลล์ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544) ส่วนการกำจัดไนโตรเจนของระบบต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 20 วัน จึงจะเกิดปฏิกิริยาไนติฟิเคชันที่แอมโมเนียเปลี่ยนไปเป็นไนไตร์ท-ไนโตรเจน แสดงว่าอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิด Nitrifying ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไตร์ท-ไนโตรเจนหรือไนเตรท-ไนโตรเจนนั้นเจริญเติบโตได้ช้ากว่าจุลินทรีย์พวก Heterotrophs (Callada & Foresli, 2001) ทำให้ค่าแอมโมเนียถูกกำจัดได้ช้ากว่าค่าซีโอดีนั้นเอง

1.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ BSC

จากการศึกษาการกำจัดไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ BSC บนตัวกลางชนิดต่าง ๆ ได้แก่ โรล์ม้วนผม ออกซิบอล ไม้ไผ่ ไม้ระกำ รังบวบ และหลอด ซึ่งตัวกลางมีการเคลื่อนที่ตลอดการทดลองพบว่า ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในช่วง 6-10 วันแรกของการทดลองมีค่าแอมโมเนียไนโตรเจนสูงที่สุด และปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของทุกตัวกลางยึดเกาะเริ่มลดลงต่ำที่สุดในช่วงวันที่ 14-18 ของการทดลอง ยกเว้นปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในตัวกลางยึดเกาะชนิดไม้ไผ่และไม้ระกำซึ่งจะลดลงต่ำที่สุดในวันที่ 8 และ 24 ตามลำดับ ขณะเดียวกันกับช่วงเวลาที่ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเริ่มลดลง ปริมาณไนไตร์ท-ไนโตรเจนเริ่มสูงขึ้นในช่วงวันที่ 12-32 ของการทดลอง ยกเว้นปริมาณไนไตร์ท-ไนโตรเจนในตัวกลางยึดเกาะชนิดไม้ไผ่เริ่มมีค่าสูงที่สุดในวันที่ 14-16 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สั้นที่สุดของการทดลอง ส่วนช่วงเวลาที่นานที่สุดที่ปริมาณไนไตร์ท-ไนโตรเจนมีค่าสูงสุดคือช่วงวันที่ 8 ถึงสัปดาห์ที่ 7 ของการทดลองที่มีตัวกลางยึดเกาะชนิดไม้ระกำเป็นตัวกลางสำหรับจุลินทรีย์ยึดเกาะ แสดงว่าในทุกระบบปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนไตร์ท-ไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์พวก Autotrophic Bacteria (Metcalf & Eddy, 2003; Grady, Daigger & Lim, 1999) ส่วนปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นหลังจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนไตร์ท-ไนโตรเจนประมาณ 2 วัน สันนิษฐานได้ว่า ปริมาณไนไตร์ท-ไนโตรเจนก็สามารถถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นไนเตรท-ไนโตรเจนได้โดยจุลินทรีย์ Autotrophic Bacteria เช่นเดียวกัน และปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนของทุกระบบลดลงต่ำที่สุดในวันที่ 40 และคงที่ตลอดการทดลอง ยกเว้นระบบที่มีตัวกลางยึดเกาะชนิดที่มีหลอดเป็นตัวกลางสามารถลดปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนได้เร็วที่สุดคือวันที่ 16 ของการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า คงเหลือปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในระบบ BSC ที่มีตัวกลางยึดเกาะชนิด

โรล์ม้วนผม ออกซิบอล ไม้ไผ่ ไม้ระกำ รังบวบ และหลอดมีค่าต่ำกว่า 0.50 0.50 10 2 15 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แสดงว่า ในการศึกษาครั้งนี้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ BSC ที่มีตัวกลางสำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะทุกชนิดสามารถบำบัดไนโตรเจนได้โดยกระบวนการไนติฟิเคชันและดีไนติฟิเคชันควบคู่กันไป อธิบายได้ว่า เมื่อเปิดเครื่องเติมอากาศ จุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจะมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ซึ่งในช่วงแรกแผ่นฟิล์มจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นมีชั้นบาง ๆ ออกซิเจนจึงสามารถแพร่เข้าสู่แผ่นฟิล์มจุลินทรีย์ได้ และในช่วงหลังแผ่นฟิล์มจุลินทรีย์จะมีความหนามากขึ้น แผ่นฟิล์มชั้นในจึงมีสภาพแบบไร้อากาศ ซึ่งออกซิเจนไม่สามารถเข้าไปในชั้นในของแผ่นฟิล์มได้ แสดงดังภาพที่ 26 โดยกระบวนการเกิดปฏิกิริยาไนติฟิเคชันจะเกิดภายในแผ่นฟิล์มจุลินทรีย์ชั้นนอกที่มีสภาวะใช้อากาศ และกระบวนการเกิดปฏิกิริยาดีไนติฟิเคชันนั้นจะเกิดขึ้นภายในแผ่นฟิล์มลินทรีย์ชั้นในที่ออกซิเจนแพร่เข้าไปไม่ถึง (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) ทำให้ทุกระบบสามารถบำบัดค่าไนโตรเจนได้ในที่สุด



ภาพที่ 26 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในชั้นฟิล์มจุลินทรีย์ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543, หน้า 110)

ซึ่งในการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบ BSC นี้สามารถกำจัดปริมาณไนโตรเจนได้แตกต่างกันโดยพิจารณาจาก

1. ลักษณะผิวของตัวกลาง พบว่า ผิวของตัวกลางที่มีลักษณะขรุขระจะทำให้จุลินทรีย์สามารถเข้าไปยึดเกาะและเจริญได้ดีกว่าผิวที่มีลักษณะเรียบและลื่น หลังการศึกษาพบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ BSC ชนิดที่มีตัวกลางยึดเกาะทำมาจาก หลอด มีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเหลืออยู่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มีตัวกลางยึดเกาะชนิดอื่น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Maurer, Fux, Garaff and Siegrist (2001) ที่ทำการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบที่ตัวกลางเคลื่อนที่ตลอดเวลาโดยตัวกลางที่นำมาใช้เปรียบเทียบกันคือตัวกลางที่ทำมาจากโฟมและพลาสติก ซึ่งตัวกลางชนิดที่ทำมาจากโฟมมีลักษณะแบบลูกบาศ์ก ซึ่งพื้นที่ 1 เซนติเมตรจะมีช่องที่เป็นรูพรุนอยู่ 20 ช่องและตัวกลางชนิดที่ทำมาจากพลาสติกมีลักษณะเป็นทรงกระบอกคล้ายหลอดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ยาว 8 มิลลิเมตร หลังการวิจัยพบว่าในระบบบำบัดที่มีการใช้ตัวกลางที่ทำมาจากโฟมและพลาสติกมีค่าไนโตรเจนลดลงมีค่าเท่ากับ 101.5 และ 147 กรัมต่อวัน

จากค่าเริ่มต้นคือ 232.4 และ 302.8 กรัมต่อวัน และสรุปได้ว่าตัวกลางชนิดที่ทำมาจากโฟมมีการกำจัดปริมาณไนโตรเจนได้มากกว่าตัวกลางชนิดที่ทำมาจากพลาสติก เนื่องจากตัวกลางที่ทำมาจากโฟมมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสมากกว่าตัวกลางชนิดพลาสติกจึงทำให้สารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำสามารถเข้าไปยึดเกาะและถูกเก็บไว้ภายในได้ง่ายกว่าตัวกลางที่ทำมาจากโฟม ซึ่งมีลักษณะคล้ายหลอด สารที่แขวนลอยอยู่ในน้ำจึงเข้าไปยึดเกาะได้ยาก เนื่องจากมีลักษณะผิวของตัวกลางลื่นและเป็นรูกว้างสารที่แขวนลอยอยู่จึงหลุดออกได้ง่าย ทำให้การบำบัดไนโตรเจนของตัวกลางที่ทำมาจากพลาสติกน้อยกว่าตัวกลางที่ทำมาจากโฟม

2. การเคลื่อนที่ของตัวกลางภายในระบบ กล่าวคือ ตัวกลางที่มีน้ำหนักเบาจะสามารถเคลื่อนที่ได้ดีในน้ำ ทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบสามารถสัมผัสกับตัวกลางได้อย่างทั่วถึงทั้งด้านนอกและด้านในของตัวกลางยึดเกาะ จุลินทรีย์จึงเข้าไปยึดเกาะบริเวณตัวกลางได้ดี สอดคล้องกับการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตซีสและเครื่องซักผ้าของ Andreottola et al. (2002) โดยใช้ตัวกลางชนิด FLOCOR-RMP ซึ่งเป็นพลาสติก ลักษณะเป็นทรงกระบอก มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำทำให้ตัวกลางสามารถลอยอยู่ในน้ำได้ หลังการศึกษาพบว่า สามารถบำบัดไนโตรเจนของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตซีสและเครื่องซักผ้าได้มากกว่า 13.3 เปอร์เซ็นต์ และ 96.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

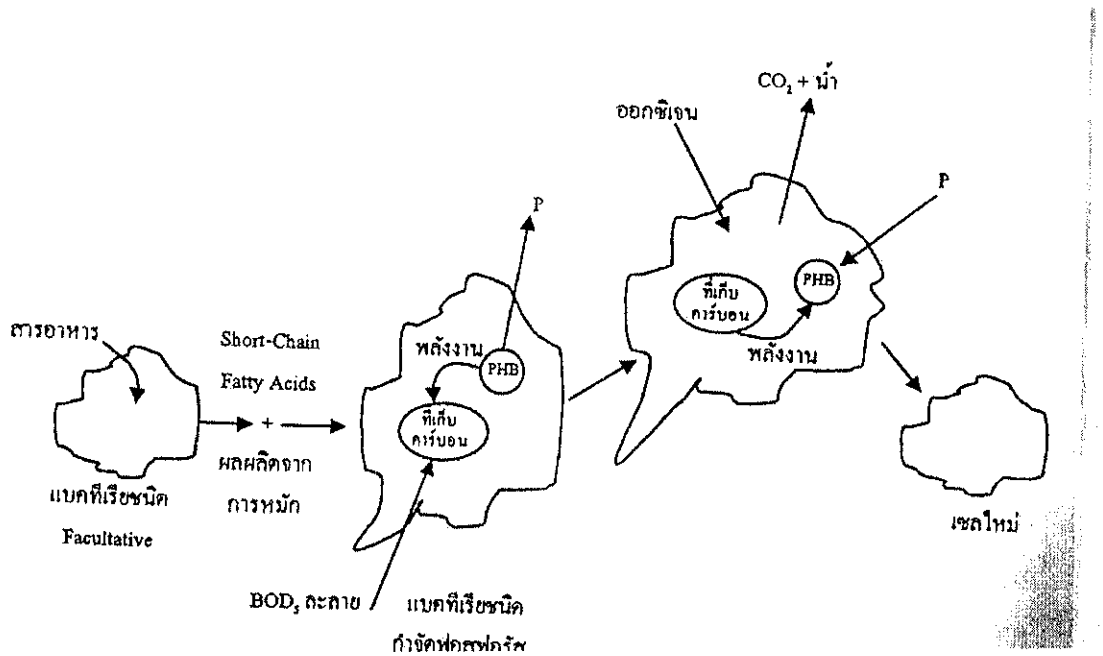
3. ความคงทนและการนำตัวกลางกลับมาใช้ซ้ำใหม่ จากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าตัวกลางที่ทำมาจากพลาสติกมีอายุการใช้งานนานกว่าตัวกลางที่มาจากธรรมชาติ ซึ่งผลของการสังเกตและบันทึกพบว่า ในสัปดาห์สุดท้ายตัวกลางชนิดรังบวบเกิดการย่อยสลาย ทำให้เมื่อปิดเครื่องเติมอากาศจุลินทรีย์ที่จับรังบวบจะหลุดออกมามีลักษณะเป็นเส้น ๆ ลอยอยู่ในน้ำและใช้เวลาค่อนข้างนานกว่าจะเกิดการตกตะกอน อีกทั้งเมื่อกล่าวถึงการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจนในช่วงสุดท้ายของการทดลอง พบว่ามีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนคงเหลืออยู่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดที่ใช้ตัวกลางยึดเกาะแบบอื่น

จากการศึกษาการบำบัดซีโอดีของระบบบำบัดน้ำเสียนี้พบว่า ในวันที่ 4 ของการทดลองปริมาณซีโอดีลดลงอย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์พวก Heterotrophs ที่สามารถออกซิไดซ์อินทรีย์สารได้ (Grady, Daigger & Lim, 1999) ทำให้ปริมาณซีโอดีถูกกำจัดได้ง่ายบริเวณผิวของแผ่นฟิล์มจุลินทรีย์ที่สัมผัสกับน้ำเสียตลอดเวลา ส่วนการกำจัดไนโตรเจนนั้นต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 14 วัน จึงจะเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่สามารถเปลี่ยนแอมโมเนีย-ไนโตรเจนไปเป็นไนไตร์ทและไนเตรท-ไนโตรเจนได้โดยจุลินทรีย์จำพวก Autotrophs ในบริเวณที่มีการเจริญของชั้นแผ่นฟิล์มจุลินทรีย์แสดงว่า จุลินทรีย์จำพวก Heterotrophs มีอัตราการเจริญเติบโตเร็วกว่าจุลินทรีย์จำพวก Autotrophs (Ronald, 1997) ทำให้ปริมาณซีโอดีถูกกำจัดได้เร็วกว่าปริมาณไนโตรเจนเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง

4. พื้นที่ผิวของตัวกลาง จากการทดลองพบว่า ตัวกลางที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกัน คือ 1) รูปทรงกระบอก ได้แก่ โรล์ม้วนผม ไม้ระกำ และหลอด 2) รูปทรงกลม ได้แก่ ออกซิบอล 3) รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ได้แก่ ไม้ไผ่ ไม้ระกำ และหลอด พบว่ามีค่าพื้นที่ผิวประมาณ 23.91 11.07 32.5 32.1 และ 25.12 ตารางเมตรต่อชิ้น ตามลำดับ โดยตัวกลางสำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะชนิดรังบวบไม่สามารถคำนวณพื้นที่ผิวได้ เนื่องจากรังบวบมีพื้นที่ผิวที่ละเอียดและซับซ้อนมาก ทำให้เครื่องมือวัดธรรมดาไม่สามารถวัดค่าได้ แต่ต้องใช้เครื่องมือวัดที่มีความละเอียดสูง เช่น เครื่องมือวัดระดับอิเล็คตรอน หรือเครื่องมือวัดแบบเอ็กซ์เรย์อิเล็คตรอน เป็นต้น และจากการทดลองยังพบอีกว่า ตัวกลางแต่ละชนิดมีพื้นที่ผิวที่มีลักษณะขรุขระไม่เรียบเสมอตลอดทั้งชนิด ทำให้มีช่องว่างสำหรับให้จุลินทรีย์เข้าไปยึดเกาะได้ภายในตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวมากจะสามารถดูดซับน้ำไว้ที่ผิวได้มากกว่าตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวน้อยกว่า จึงทำให้พื้นที่ผิวของตัวอย่างสัมผัสกับจุลินทรีย์ในน้ำเสียได้ดี จุลินทรีย์จึงสามารถเจริญเติบโตได้ดีและมีความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนได้ดีตามไปด้วย จากเหตุผลที่ไม่สามารถวัดค่าพื้นที่ผิวของตัวกลางทุกชนิดได้ข้างต้น ก่อนทำการทดลอง จึงมีการชั่งน้ำหนักตัวกลางแต่ละชนิดก่อนใส่ลงในถึงปฏิกิริยา โดยในแต่ละถังมีค่าน้ำหนักของตัวกลางอยู่ในช่วง 150 – 155 กรัม โดยมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาจากจำนวนตัวกลางแต่ละชนิดที่เติมลงไปต้องมีประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรน้ำที่ใช้ในการทดลอง ทำให้การศึกษาครั้งนี้มีจำนวนปริมาณตัวกลางที่ใส่ลงในถึงปฏิกิริยาแตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่า ตัวกลางที่มีการกำจัดไนโตรเจนได้ดีที่สุด คือตัวกลางยึดเกาะชนิดรังบวบ คือ เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองมีค่าไนเตรทลดลงเฉลี่ยเหลือประมาณ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร และยังพบว่ามีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จากค่าเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.0054 กรัม เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเป็น 2.0 กรัม เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง อาจเนื่องมาจากลักษณะผิวของตัวกลางมีลักษณะขรุขระ ส่วนภายในมีช่องว่างเล็ก ๆ จำนวนมาก ทำให้จุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียสามารถเข้าไปเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ Welander, Henrysson and Welander (1997) ที่นำตัวกลางประเภทหลอดใส หลอด Polyethylene และเซลลูโรสใส่ลงในถังปฏิกิริยา โดยแบ่งออกเป็นชุดการทดลองที่ 1 ใส่ตัวกลางลงไป 40 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณถัง และชุดการทดลองที่ 2 ใส่ตัวกลางลงไป 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรถัง หลังการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่มีตัวกลางชนิดเซลลูโรส ซึ่งมีลักษณะผนังด้านในขรุขระและมีพื้นที่ผิวด้านนอกไม่เรียบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดโดยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน โดยสามารถเกิดได้ในอัตราเร็ว 40 กรัมต่อลูกบาศก์ต่อชั่วโมง

การกำจัดฟอสฟอรัส

จากการศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสในครั้งนี้ ซึ่งทำการวิเคราะห์ในรูปของออโธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 100 วัน พบว่า ใน 10 วันแรกของการทดลอง ปริมาณออโธฟอสเฟตของทุกระบบลดลงมีค่าอยู่ระหว่างช่วง 60-120 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (มีค่าต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งอาจสรุปได้ว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแต่ละระบบไม่สามารถกำจัดค่าฟอสฟอรัสได้โดยจุลินทรีย์ เนื่องจากในระบบมีสภาพไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ที่มีหน้าที่กำจัดฟอสฟอรัสในสภาพแอนแอโรบิก อีกทั้งระยะเวลาในการเดินระบบสั้นเกินไป ทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบมีจำนวนน้อยตามไปด้วย ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่ลดลงเพียงเล็กน้อยนั้น อาจสันนิษฐานว่าปริมาณฟอสฟอรัสน่าจะจับอยู่ที่ตะกอนน้ำเสีย จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสลดลงเล็กน้อยเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง ซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนการกำจัดฟอสฟอรัสได้ว่า การกำจัดฟอสฟอรัสนั้นต้องใช้สองขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนแอนแอโรบิกและขั้นตอนแอโรบิก ซึ่งจุลินทรีย์ที่มีหน้าที่ในการกำจัดฟอสฟอรัสจะอยู่ในสภาพแอนแอโรบิก คือ จุลินทรีย์พวกที่มีชื่อว่า Polyphosphate Accumulating Organisms หรือ PAO เป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่สามารถจับใช้ฟอสฟอรัสจากน้ำเสียได้มากกว่าจุลินทรีย์กลุ่ม Heterotrophic ที่มีทั่วไปในสภาพเติมอากาศ (Rittmann & MacCarty, 2001) ซึ่งในสภาวะที่ไม่มีการใช้อากาศ จุลินทรีย์จะได้รับสารอาหารจนได้ Fatty Acids ขึ้น ซึ่งผลผลิตทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในเซลล์ในรูปของ Polyhydroxybutyrate หรือ PHB แสดงดังภาพที่ 25 และเมื่อจุลินทรีย์ได้รับคาร์บอนละลายจากภายนอกเข้าไปในเซลล์แล้ว จะเก็บคาร์บอนไว้แล้วคายออโธฟอสเฟตไปอยู่ในน้ำ เมื่อเข้าสู่สภาวะแอโรบิก ออโธฟอสเฟตที่ละลายอยู่ในน้ำจะถูกนำไปสร้างเซลล์ใหม่เป็นกลุ่มพวกโพลีฟอสเฟต โดยออกซิเจนที่อยู่ในน้ำจะถูกใช้ในการย่อยสลายอินทรียสาร ส่วนคาร์บอนที่เก็บอยู่ในเซลล์จะทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายพลังงานให้แก่พวก PHB จนเกิดการออกซิไดซ์ทำให้ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ นอกนั้นยังได้เซลล์ใหม่เกิดขึ้นด้วย ทำให้ปริมาณออโธฟอสเฟตในน้ำเหลือน้อยลงในระบบนั่นเอง (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)



ภาพที่ 27 ขั้นตอนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543, หน้า 582)

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า แต่ละระบบบำบัดน้ำเสียที่ทำการศึกษาไม่สามารถบำบัดฟอสฟอรัสได้ แตกต่างกับงานวิจัยของ Brandt, Sieker and Hegemann (2002) ที่ทำการศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสโดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบที่มีตัวกลางยึดเกาะชนิด Linpor ที่ทำมาจากโฟมมีลักษณะแบบลูกบาศ์ก และมีขนาดกว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ 14 × 14 × 14 เซนติเมตร ซึ่งใช้ระยะเวลา ทำให้แผ่นฟิล์มจุลินทรีย์เจริญขึ้นก่อน 3-4 เดือน ก่อนนำมาทำทดลอง หลังการบำบัดพบว่ามีฟอสฟอรัสเฉลี่ยเท่ากับ 10-12 มิลลิกรัมต่อลิตร และการศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SBR ของ Ng, Ong and Hu (2001) พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสได้ 40-100 เปอร์เซ็นต์ โดยในการศึกษานั้นจะดำเนินระบบให้อยู่ในสภาพแอนแอโรบิกและแอนอกซิกควบคู่กันไป และใช้เวลาในการทดลองทั้งสิ้น 18 เดือน

การเจริญของจุลินทรีย์บนตัวกลางยึดเกาะ

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนตัวกลางชนิดต่าง ๆ พบว่า ตัวกลางที่มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มากที่สุดคือ ตัวกลางที่ทำมาจากรังบวบ ไม้ระกำ หลอด ไม้ไผ่ ออกซิบอล และโรล์ม้วนผม ตามลำดับ สาเหตุที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ดีในตัวกลางชนิดที่ทำมาจากรังบวบนั้น อาจเนื่องจากลักษณะผิวของตัวกลางยึดเกาะที่มีลักษณะขรุขระ ส่วนภายใน

มีช่องว่างเล็ก ๆ จำนวนมาก และมีน้ำหนักเบาเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในน้ำ ทำให้จุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในระบบสามารถเข้าไปยึดเกาะและเจริญได้ง่าย อีกทั้งเมื่อปล่อยให้น้ำตกตะกอน จะเห็นได้ว่า น้ำหลังการบำบัดมีลักษณะใสที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวกลางชนิดอื่น

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียโดยทำเปรียบเทียบกันทั้งสิ้น 3 ระบบแบ่งออกเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SCAS SBR และ BSC แบบต่าง ๆ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ BSC มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SCAS และ SBR เนื่องจากสามารถบำบัดค่าไนโตรเจนและอินทรีย์คาร์บอนได้ และสามารถแยกเซลล์จุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียได้เร็ว เนื่องจากเซลล์ของจุลินทรีย์เกาะอยู่ที่ตัวกลาง จึงง่ายต่อการนำเซลล์จุลินทรีย์ออกจากระบบ นอกจากนั้นระบบนี้ยังประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบอีกด้วย

2. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ BSC ที่มีตัวกลางทำมาจากวัสดุจากธรรมชาตินั้นมีข้อดีในการนำมาใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียคือ

2.1 มีราคาถูก

2.2 เป็นการนำวัสดุที่เหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์

2.3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณไนโตรเจนและซีโอดีในน้ำเสียชุมชน

2.4 กำจัดง่ายเนื่องจากสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

3. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ BSC ที่มีตัวกลางทำมาจากพลาสติกนั้นมีข้อดีในการนำมาใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียคือ

3.1 มีอายุการใช้งานนาน

3.2 สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำใหม่ได้

3.3 มีน้ำหนักเบาเคลื่อนที่ได้ดี

3.4 มีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณไนโตรเจนและซีโอดีในน้ำเสียชุมชน

4. ตัวกลางที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียในการศึกษาครั้งนี้คือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ BSC ที่มีตัวกลางทำมาจากรังบวบ ซึ่งสามารถบำบัดปริมาณไนโตรเจนและซีโอดีได้ นอกจากนั้นยังพบว่าลักษณะของน้ำเสียหลังการบำบัดมีลักษณะใสที่สุดด้วย

5. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SCAS SBR และ BSC ไม่สามารถบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนได้