

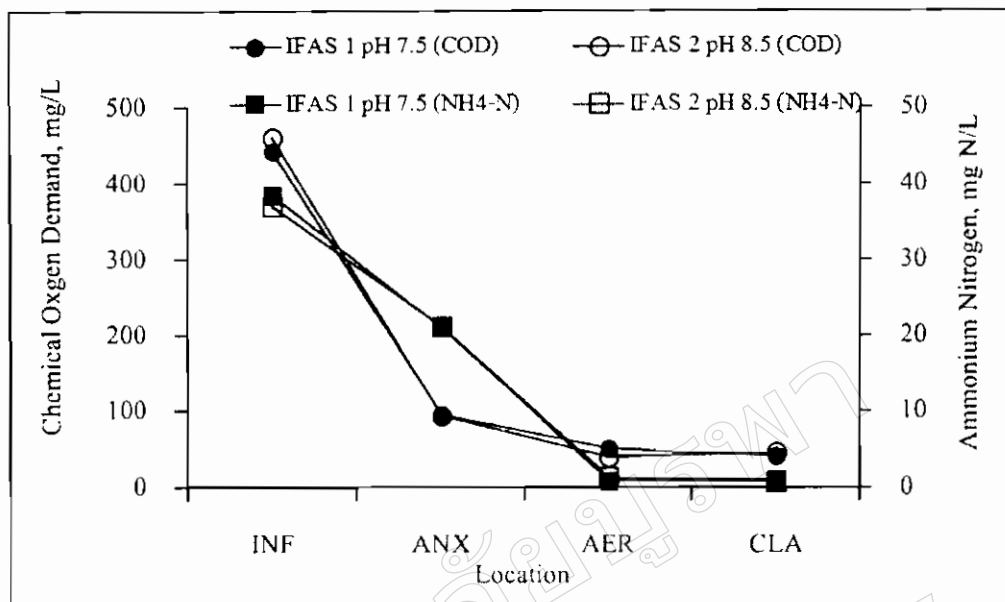
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรฟิเคชันของการทดลองระยะที่ 1

หลังจากเดินระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ระบบ เข้าสู่สภาวะคงตัวโดยไม่มีการติดตั้งตัวกลางในถังเดิมอากาศและป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่า pH เท่ากับ 7.5 ตามแผนการทดลองในระยะที่ 1 ขั้นตอนที่ 1 ผลการทดลอง พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของ COD เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 84.0 และ 85.3 และประสิทธิภาพการกำจัดสารแอมโมเนียมไนโตรเจนหรือไนโตรฟิเคชัน เท่ากับร้อยละ 99.1 และ 98.9 สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2 ตามลำดับ เห็นได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียทั้งสองมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และแอมโมเนียมไนโตรเจนสูงมาก เพราะระบบถูกเดินระบบที่อายุสลัดจ์เท่ากับ 8 วัน ซึ่งสูงกว่าค่าอายุสลัดจ์ขั้นต่ำ (Minimum Sludge Age) เป็นอย่างมากสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มที่กำจัดสารอินทรีย์และกลุ่มที่กำจัดสารแอมโมเนียมไนโตรเจน ตลอดจนอุณหภูมิที่ใช้ในการเดินระบบอยู่ที่ประมาณ 28 องศาเซลเซียส ทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ดี นอกจากนั้น จุลินทรีย์ในระบบทั้ง 2 ระบบ ยังสามารถตกตะกอนได้ดี ดังแสดงด้วยค่า SVI ของระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 เท่ากับ 178.2 และ 137.8 มิลลิลิตรต่อกรัม ตมลำดับ

ต่อมา เมื่อมีการเติมตัวกลางลงในถังเดิมอากาศตามจำนวนที่กำหนดและปรับ pH ของน้ำเสีย พบว่า ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารแอมโมเนียมไนโตรเจนลดลงตามลำดับ เมื่อน้ำเสียไหลผ่านถังปฏิกรณ์แอนнокซิกและถังปฏิกรณ์เติมอากาศ ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4-1 ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้นเท่ากับร้อยละ 90.9 และ 90.2 สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2 ตามลำดับ เพราะมีจุลินทรีย์ส่วนใหญ่เกาะติดบนตัวกลางกลายเป็นชั้นไบโอฟิล์ม เมื่อพิจารณาผลรวมของจุลินทรีย์กลุ่ม Heterotrophs ทั้งที่อยู่ในรูปแขวนลอยและในชั้นไบโอฟิล์มของจุลินทรีย์ ซึ่งสูงกว่าค่าอายุสลัดจ์ขั้นต่ำสุด (Minimum Sludge Age) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนโตรเจนในน้ำทิ้งของระบบ IFAS 2 กลับเพิ่มสูงขึ้น ส่วนระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2 พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนหรือไนโตรฟิเคชันนั้น โดยมีประสิทธิภาพไนโตรฟิเคชัน เท่ากับร้อยละ 97.6 และ 97.7 สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 4-1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอินทรีย์และแอมโมเนียมไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2

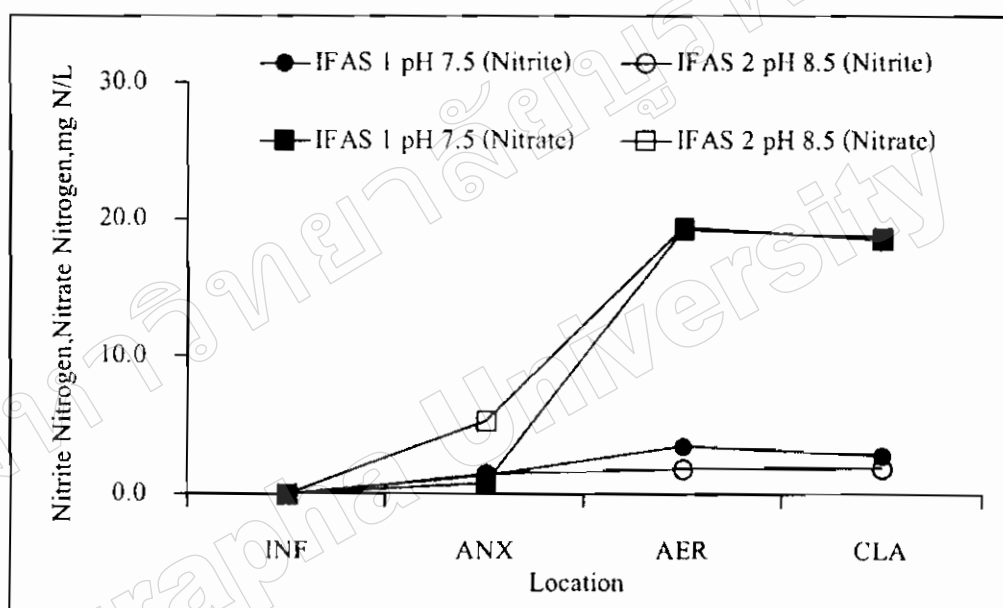
หมายเหตุ INF = Influent; ANX = Anoxic Reactor; AER = Aerobic Reactor; CLA = Clarifier

เมื่อพิจารณาสารประกอบไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน พบว่า สารประกอบแอมโมเนียมไนโตรเจนถูกออกซิไดซ์เป็นสารประกอบไนไตรท์และไนเตรท ตามลำดับ มีการสะสมของสารประกอบไนไตรท์ไนโตรเจนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ไม่มีความแตกต่างกัน ของสารประกอบไนเตรทไนโตรเจนที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียทั้งสองระบบ ดังภาพที่ 4-2

ปริมาณจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มของการทดลองระยะที่ 1

หลังเดินระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2 จนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวสำหรับการทดลองในระยะที่ 1 ตามขั้นตอนที่ 1 ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4-1 พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์แขวนลอยในถังเติมอากาศบ่งชี้ด้วยค่า MLVSS เท่ากับ 1557 และ 2020 mg/L สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2 ตามลำดับ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 2 สูงกว่า IFAS 1 อาจเป็นไปได้ว่าการผสมจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 2 อาจไม่ดีพอ เนื่องจากระบบ IFAS 2 ลักษณะของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศไม่รวมตัว

เป็นเนื้อเดียวกัน แสดงด้วยความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังแวนน็อกซิกซึ่งเท่ากับ 1533 และ 1513 mg/L สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2 ตามลำดับ จุลินทรีย์สามารถตกตะกอนภายในถังตกตะกอนได้ดังชี้ด้วยค่า SVI ซึ่งเท่ากับ 178.2 และ 137.8 mg/L สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณ MLVSS ในระบบบำบัดน้ำเสียก่อนการเติมตัวกลาง พบว่า ค่า MLVSS ในระบบ IFAS 2 มีปริมาณมากกว่า IFAS 1 แต่เมื่อเติมตัวกลางลงไปแล้วทำให้มีค่า MLVSS ที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจาก pH 8.5 ทำให้จุลินทรีย์ไปเกาะอยู่บนตัวกลางได้หนาจึงทำให้จุลินทรีย์แขวนลอยในระบบมีปริมาณลดลง



ภาพที่ 4-2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนโตรทไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2

หมายเหตุ INF = Influent; ANX = Anoxic Reactor; AER = Aerobic Reactor; CLA = Clarifier

หลังจากติดตั้งตัวกลางในถังเติมอากาศและเดินระบบทั้งสองเป็นเวลานานกว่า 9 สัปดาห์ ตามแผนการทดลองในระยะที่ 1 ขั้นตอนที่ 2 พบว่า ปริมาณของจุลินทรีย์แขวนลอยในถังเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2 ลดลง ความเข้มข้น MLVSS ภายในถังแวนน็อกซิกลดเหลือ 302 และ 160 mg/L และภายในถังเติมอากาศลดเหลือ 407 และ 485 mg/L สำหรับระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 ตามลำดับ สังเกตว่า จุลินทรีย์ในถังเติมอากาศมีปริมาณมากกว่า

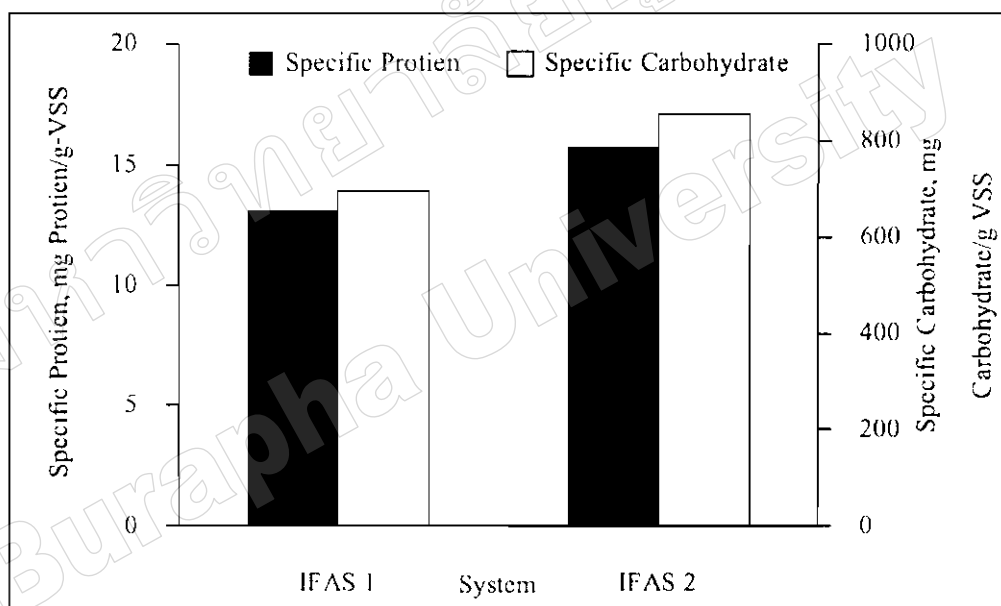
จุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาแอนน็อกซิก ทั้งนี้ เป็นเพราะว่า มีสารเป็นเมือกเกาะอยู่โดยรอบตัวกลางและมีจุลินทรีย์แขวนลอยผสมอยู่ในเมือกนั้น นอกจากนี้ เมื่อพิจารณามวลจุลินทรีย์รวมในระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2 ในการทดลองระยะที่ 1 ขั้นตอนที่ 1 พบว่า มีมวลรวมเท่ากับ 47.1 g $[(8.4 \text{ L} \times 1533 \text{ mg/L}) + (22 \text{ L} \times 1557 \text{ mg/L})] / 1000 \text{ mg/g}$ และ 46.0 g $[(30.4 \text{ L} \times 1513 \text{ mg/L}) / 1000 \text{ mg/g}]$ สำหรับระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 ตามลำดับ (สมมติว่าความเข้มข้น MLVSS ในถังเติมอากาศเท่ากับความเข้มข้น MLVSS ในถังแอนน็อกซิก) อย่างไรก็ตาม เมื่อคำนวณมวลรวมของจุลินทรีย์ในระยะที่ 1 ขั้นตอนที่ 2 นั้นเท่ากับ 29.0 g $[(8.4 \text{ L} \times 302 \text{ mg/L}) + (22 \text{ L} \times 407 \text{ mg/L}) + (89.5 \text{ mg/Loop} \times 195.5 \text{ loops})] / 1000 \text{ mg/g}$ และ 26.9 g $[(8.4 \text{ L} \times 160 \text{ mg/L}) + (22 \text{ L} \times 485 \text{ mg/L}) + (76.0 \text{ mg/Loop} \times 195.5 \text{ loops})] / 1000 \text{ mg/g}$ สำหรับระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 ตามลำดับ พบว่า มวลรวมของจุลินทรีย์ในระยะที่ 1 ขั้นตอนที่ 2 ลดลงกว่าร้อยละ 38.4 และ 41.5 สำหรับระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 ตามลำดับ สุดท้าย เมื่อคำนวณอายุสัปดาห์ของจุลินทรีย์แขวนลอย แต่เพียงอย่างเดียว จากความเข้มข้นของ MLSS พบว่า เท่ากับ 6.4 และ 6.1 วัน สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2 ตามลำดับ อธิบายได้ว่า จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ยึดเกาะบนผิวตัวกลาง กลายเป็นจุลินทรีย์ที่เจริญอยู่ในชั้นไบโอฟิล์ม ดังแสดงด้วยปริมาณของจุลินทรีย์รวม (Total MLVSS) ของตารางที่ 4-1 ทำให้จุลินทรีย์แขวนลอยมีปริมาณลดลง

ผลของ pH ต่อปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตจำเพาะของการทดลองระยะที่ 1

การทดลองครั้งนี้ มีการตรวจวัดปริมาณคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในชั้นไบโอฟิล์ม หลังจากนั้น นำมาคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตจำเพาะและโปรตีนจำเพาะโดยใช้จุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์ม ผลการทดลอง พบว่า ชั้นไบโอฟิล์มบนตัวกลางของระบบบำบัดน้ำเสียทั้งสองมีปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตใกล้เคียงกัน คือ มีปริมาณโปรตีน เท่ากับ 1.2 และ 1.1 mg/loop และมีคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 62.2 และ 62.2 mg/loop สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2 ตามลำดับ ปริมาณ โปรตีนจำเพาะและคาร์โบไฮเดรตจำเพาะเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 11.4 และ 17.8 ตามลำดับ เมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 7.5 เป็น 8.5 สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4-3

ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะลักษณะโครงสร้างของสาร EPS ที่สร้างมาเพื่อป้องกันตัวเองจากสภาวะที่ไม่เหมาะสม ที่เกิดจากความเป็นกรดค่า ความแห้ง ความเค็ม สารฆ่าเชื้อ ความร้อน หรือความเย็น เป็นต้น ซึ่งสภาวะแวดล้อมเหล่านี้สามารถกระตุ้นให้เชื้อบางชนิดสามารถสร้าง EPS ออกมาได้มากหรือน้อยต่างกัน (ฉันทนธ์ ตราฐ, 2551) และลักษณะโครงสร้างของสาร EPS มีความแตกต่างกันเมื่อ pH ของน้ำเสียแตกต่างกัน จากการศึกษาของ Dogsa et al. (2005) โดยใช้ Small-

Angle X-ray Scattering (SAXS) พบว่า โครงสร้างของสาร EPS มีโครงสร้างที่อัดแน่นที่ pH เท่ากับ 11 และอัดแน่นมากขึ้นที่ pH ต่ำ ๆ อย่างไรก็ตาม ที่ pH เท่ากับ 11 โครงสร้างของสาร EPS มีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) มากกว่าที่ pH ต่ำ ๆ แต่ผลการศึกษาระบุว่า โครงสร้างของ EPS มีโครงสร้างแบบหลวม ๆ มากที่สุดที่ pH 8.8 ดังนั้น จากภาพที่ 4-3 และปริมาณของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในชั้นไบโอฟิล์ม จึงอาจสรุปได้ว่า ที่ pH 8.5 โครงสร้างของสาร EPS มีลักษณะเกาะกันแบบหลวม ๆ ทำให้เกิดการหลุดลอกของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มได้มากกว่าที่ pH เท่ากับ 7.5 เนื่องจากความปั่นป่วนของน้ำเสียในถังเดิมอากาศ เพราะในถังเดิมอากาศมีการเติมหัวทรายลงไปเพื่อให้ออกซิเจนกับจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในชั้นไบโอฟิล์มมีปริมาณน้อยกว่าที่ pH เท่ากับ 8.5 ดังแสดงด้วยความเข้มข้นของ MLVSS ในตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4-3 ปริมาณโปรตีนจำเพาะและคาร์โบไฮเดรตจำเพาะของไบโอฟิล์มในระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 ของการทดลองระยะที่ 1

ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า ระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนเทียบเท่ากัน ค่าอายุสลัดจ์ที่นับเฉพาะปริมาณจุลินทรีย์แขวนลอยเท่านั้นลดต่ำลงเนื่องจากจุลินทรีย์ส่วนหนึ่งกลายเป็นจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์ม ถึงแม้ว่าจุลินทรีย์แขวนลอยลดต่ำลงในระบบแต่ระบบยังคงประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสารอินทรีย์และแอมโมเนียไนโตรเจนเพราะค่าอายุสลัดจ์ยังคงสูงกว่าอายุสลัดจ์ขั้นต่ำและอุณหภูมิที่ใช้เดินระบบ

นั้นมีอุณหภูมิสูง นอกจากนั้น ที่ pH เท่ากับ 8.5 ไบโอฟิล์มมีโครงสร้าง EPS ที่เกาะกันหลวม ๆ จึงทำให้จุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มเจริญได้ไม่ดีและมีปริมาณน้อยเนื่องจากการหลุดลอกของไบโอฟิล์ม แสดงด้วยปริมาณจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มในตารางที่ 4-1 ดังที่กล่าวมาข้างต้น

อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ IFAS ของการทดลองระยะที่ 1

การทดลองในขั้นตอนนี้ดำเนินการเป็นสองช่วง คือ ช่วงแรกทดลองเป็นการศึกษาอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ IFAS ที่มีทั้งจุลินทรีย์บนตัวกลางในชั้นไบโอฟิล์มและจุลินทรีย์แขวนลอย และช่วงที่สองเป็นการทดลองโดยนำตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยจากระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS ทั้งสองระบบมาศึกษาอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยในถังปฏิกรณ์ขนาดเล็กที่ดำเนินการภายใต้สภาวะเดียวกัน การทดลองมีการเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีคาร์บอนและไนโตรเจนเพิ่มเติม เมื่อนำอัตราที่ได้จากการทดลองทั้งสองช่วงมาหักลบกันจะได้อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในชั้นไบโอฟิล์ม ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-4 และ ภาพที่ 4-5 พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 ที่มีตัวกลางในถังเติมอากาศและ pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5 มีอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนของตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ -4.73 mg N/L-min และอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนของตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยเท่ากับ -0.91 mg N/L-min ทำให้สามารถคำนวณอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มได้เท่ากับ -3.82 mg N/L-min เมื่อนำความเข้มข้นของจุลินทรีย์เทียบเท่าในชั้นไบโอฟิล์ม 795 mg VSS/L และความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอย 448 mg VSS/L มาคำนวณอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนจำเพาะของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มและของจุลินทรีย์แขวนลอยได้เท่ากับ $-6.91 \text{ mg N/mg VSS-day}$ และ $-2.93 \text{ mg N/mg VSS-day}$ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแอมโมเนียมไนโตรเจนส่วนใหญ่ถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์ม

ตารางที่ 4-1 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ชั้นไบโอฟิล์มที่ติดค้างภายในถังเดิมอากาศของการทดลองระยะที่ 1

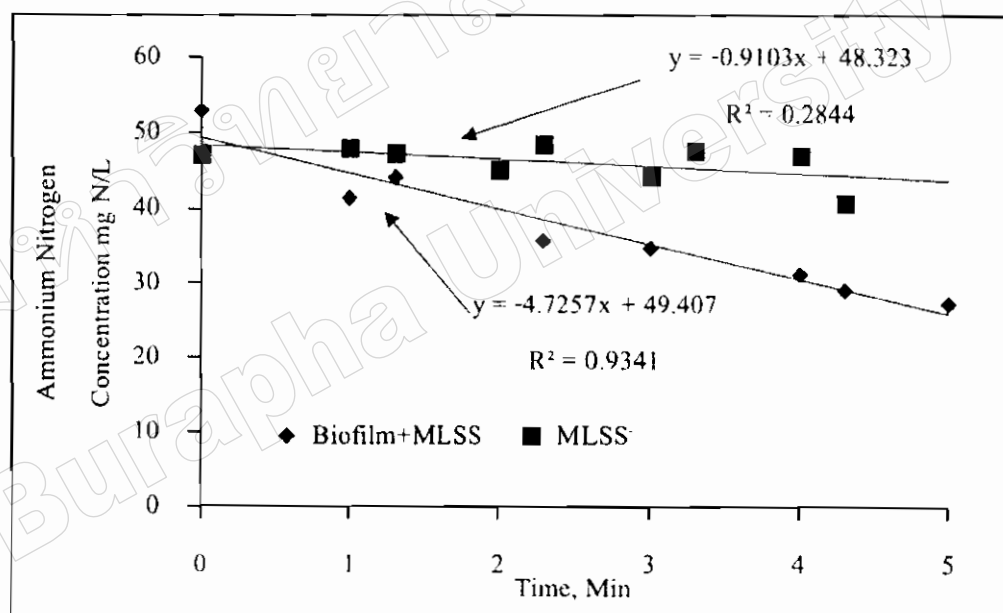
Procedure	System	pH	Media	MLSS		Biofilm		Equivalent		Total (mg/L)	
				(mg/L)	(mg/L)	MLSS	MLVSS	MLSS	MLVSS	MLSS	MLVSS
1	IFAS 1	7.5	No	1655	1557	-	-	-	-	1655	1557
	IFAS 2	8.5	No	2177	2020	-	-	-	-	2177	2020
2	IFAS 1	7.5	Yes	540	448	94.0	89.5	835	795	1375	1243
	IFAS 2	8.5	Yes	722	696	77.0	76.0	684	675	1406	1371

หมายเหตุ 1. Equivalent MLSS และ Equivalent MLVSS คำนวณ โดยนำ Biofilm ต้องคูณด้วยจำนวนวงของตัวกลางในระบบและหารด้วยปริมาตรของถังเดิมอากาศ (22 ลิตร)

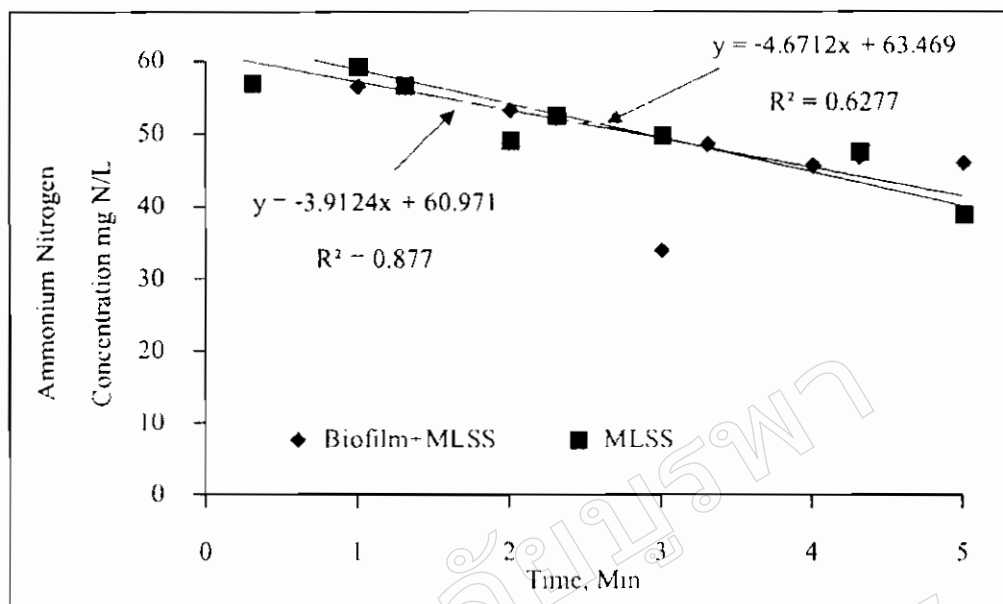
2. จำนวนวงของตัวกลาง = จำนวนพื้นที่ 0.275 ตารางเมตร x 711 วงต่อตารางเมตร = 195.5 วง

3. Total MLSS = MLSS + Equivalent MLSS และ Total MLVSS = MLVSS + Equivalent MLVSS

ส่วนระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 2 ที่มีตัวกลางในถังเดิมอากาศและ pH ของน้ำเสีย เท่ากับ 8.5 ดังภาพที่ 4-5 พบว่า อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนของตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ -4.67 mg N/L-min และอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนของตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยเท่ากับ -3.91 mg N/L-min เมื่อนำมาคำนวณ พบว่า อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ -0.76 mg N/L-min เมื่อนำความเข้มข้นของจุลินทรีย์เทียบเท่าในชั้นไบโอฟิล์ม 675 mg VSS/L และความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอย 696 mg VSS/L มาคำนวณอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนจำเพาะของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มและของจุลินทรีย์แขวนลอย ได้เท่ากับ $-1.62 \text{ mg N/mg VSS-day}$ และ $-8.09 \text{ mg N/mg VSS-day}$ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแอมโมเนียมไนโตรเจนส่วนใหญ่ถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์แขวนลอย



ภาพที่ 4-4 อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ IFAS 1 ที่มี pH ในน้ำเสียเท่ากับ 7.5



ภาพที่ 4-5 อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ IFAS 2 ที่มี pH ในน้ำเสียเท่ากับ 8.5

จากการคำนวณ พบว่า อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนโดยรวมของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2 ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม พบว่า อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์แขวนลอยของระบบ IFAS 2 สูงกว่าระบบ IFAS 1 เท่ากับ 3.00 mg N/L-min ในทางตรงกันข้าม อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มของระบบ IFAS 1 สูงกว่าระบบ IFAS 2 เท่ากับ 3.06 mg N/L-min สามารถสรุปได้ว่าเมื่อ pH ของน้ำเสียสูงขึ้น ทำให้อัตราการกำจัดแอมโมเนียมโดยจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของของ Ramli et al. (2012) ที่พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ pH เท่ากับ 7.2 นั้นมีปริมาณมากกว่า pH 8 ดังแสดงจาก VSS ในชั้นไบโอฟิล์มที่ได้จากการทดลองที่ระบุว่า ระบบ IFAS 1 มีค่าเท่ากับ 89.5 mg/loop และที่ IFAS 2 มีค่าเท่ากับ 76.0 mg/loop ซึ่งปริมาณ VSS ในชั้นไบโอฟิล์มของระบบ IFAS 2 ที่น้อยกว่า IFAS 1 จึงทำให้ระบบ IFAS 2 มีอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในชั้นไบโอฟิล์มได้น้อยกว่าระบบ IFAS 1

เมื่อค่า k เพื่อบอกอัตราเร็วของการลดลงของแอมโมเนียมไนโตรเจน pH 7.5 มีอัตราเร็วต่ำที่สุด และต่ำกว่า pH 8.5 เมื่อเติมตัวกลางลงไปในถังเดิมอากาศแล้ว ที่ pH 7.5 และ 8.5 มีอัตราเร็วใกล้เคียงกัน แสดงว่าถ้ามีตัวกลาง pH ที่เปลี่ยนไป ระหว่าง 7.5 กับ 8.5 ไม่ทำให้การกำจัด

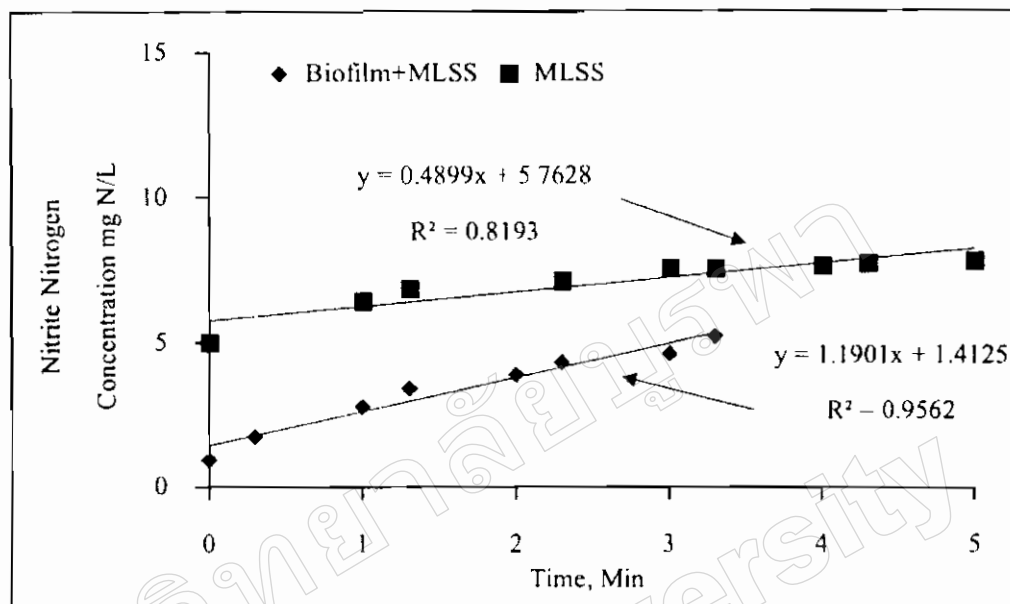
แอมโมเนียในโตรเจนแตกต่างกันมากซึ่งเป็นข้อดี เนื่องจากใช้แอมโมเนียเท่าเดิมแต่มีการกำจัดสารอินทรีย์ได้เพิ่มขึ้นหลังจากการเติมตัวกลาง

อัตราการเกิดไนโตรที่ไนโตรเจนในระบบ IFAS ของการทดลองระยะที่ 1

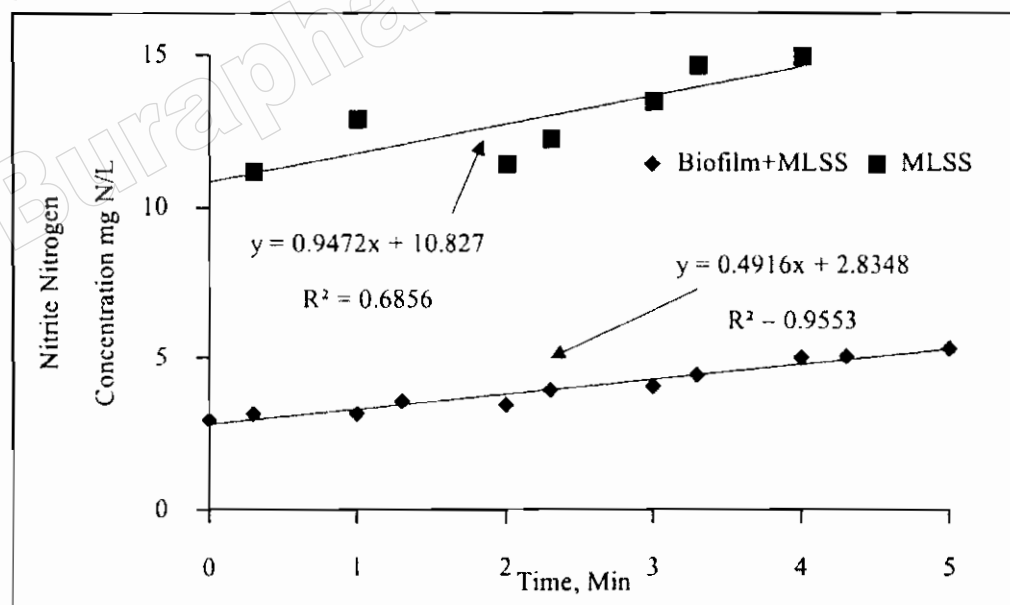
จากการทดลองในขั้นตอนที่ 3 และ 4 ของการทดลองระยะที่ 1 เมื่อนำข้อมูลไนโตรที่ไนโตรเจนมาศึกษาอัตราการเกิดสารประกอบไนโตรที่ไนโตรเจนจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ดังภาพที่ 4-6 พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 ที่มีตัวกลางในถังเดิมอากาศและ pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5 มีอัตราการเกิดไนโตรที่ไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ 1.19 mg N/L-min และอัตราการเกิดไนโตรที่ไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยเท่ากับ 0.49 mg N/L-min ทำให้อัตราการเกิดไนโตรที่ไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ 0.70 mg N/L-min เมื่อนำความเข้มข้นของจุลินทรีย์เทียบเท่าในชั้นไบโอฟิล์ม 795 mg VSS/L และความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอย 448 mg VSS/L มาคำนวณอัตราการเกิดไนโตรที่ไนโตรเจนจำเพาะได้เท่ากับ 1.27 mg N/mg VSS-day และ 1.57 mg N/mg VSS-day ตามลำดับ พบว่า ไนโตรที่ไนโตรเจนเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ทั้งในส่วนที่อยู่ในชั้นไบโอฟิล์มและจุลินทรีย์แขวนลอย

สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 2 ที่มีตัวกลางในถังเดิมอากาศและมี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 8.5 ดังภาพที่ 4-7 ผลการทดลอง พบว่า อัตราการเกิดไนโตรที่ไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ 0.49 mg N/L-min แต่อัตราการเกิดไนโตรที่ไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยเท่ากับ 0.95 mg N/L-min เมื่อนำมาคำนวณพบว่าอัตราการเกิดไนโตรที่ไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ -0.46 mg N/L-min เมื่อนำความเข้มข้นของจุลินทรีย์เทียบเท่าในชั้นไบโอฟิล์ม 675 mg VSS/L และความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอย 696 mg VSS/L มาคำนวณอัตราการเกิดไนโตรที่ไนโตรเจนจำเพาะ จะได้เท่ากับ -0.97 mg N/mg VSS-day และ 1.96 mg N/mg VSS-day ตามลำดับ พบว่า จุลินทรีย์แขวนลอยเพียงอย่างเดียวมีศักยภาพในการผลิตไนโตรที่ไนโตรเจนสูงกว่าระบบที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์ม แสดงว่าจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มมีศักยภาพในการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรที่ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นเป็นสารประกอบไนเตรทไนโตรเจน ผลจากการทดลองเมื่อพิจารณาจุลินทรีย์เทียบเท่าในชั้นไบโอฟิล์ม ที่ pH 7.5 เท่ากับ 795 mg VSS/L และที่ pH 8.5 เท่ากับ 675 mg VSS/L ลักษณะทางกายภาพของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์ม ที่ pH 8.5 นั้นจะเกาะกันแบบหลวม ๆ ซึ่งการเกาะกันแบบหลวม ๆ นั้นจะทำให้มีช่องว่างที่จะให้ออกซิเจนแพร่เข้าไปในเซลล์ได้ดีกว่าที่เกาะกันแบบแน่น ๆ และเมื่อพิจารณาผลการทดลองอัตราการเกิดไนโตรที่ไนโตรเจนในชั้น

ไบโอฟิล์มแล้วที่ pH 8.5 มีศักยภาพในการเปลี่ยนไนโตรเจนไนโตรเจนเป็นสารประกอบไนเตรทไนโตรเจนได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee and Rittmann (2003)



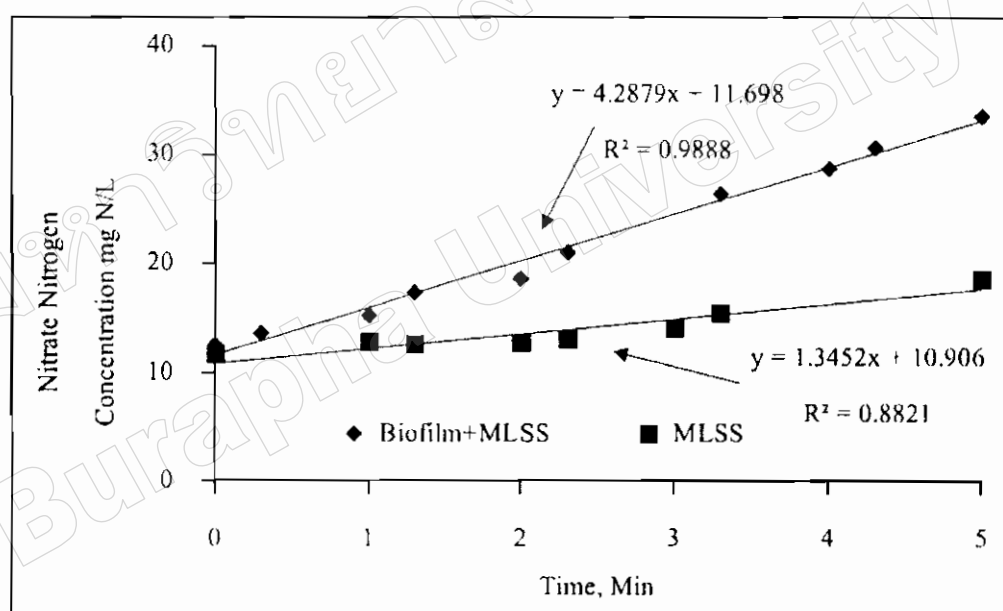
ภาพที่ 4-6 อัตราการเกิดไนโตรเจนไนโตรเจนในระบบ IFAS 1 ที่มี pH ในน้ำเสียเท่ากับ 7.5



ภาพที่ 4-7 อัตราการเกิดไนโตรเจนไนโตรเจนในระบบ IFAS 2 ที่มี pH ในน้ำเสียเท่ากับ 8.5

อัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนในระบบ IFAS ของการทดลองระยะที่ 1

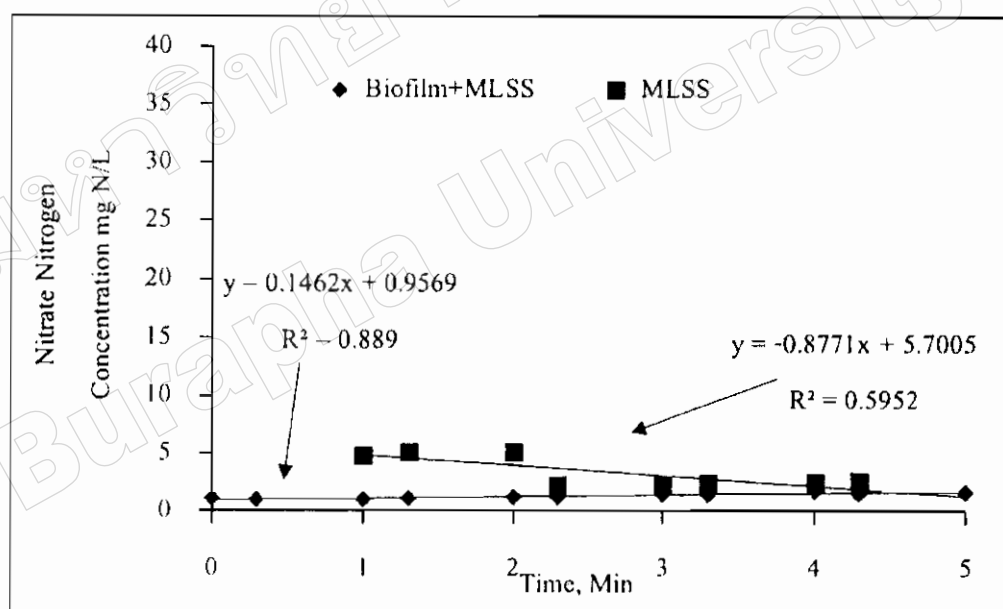
จากการศึกษาตามขั้นตอนที่ 3 และ 4 เมื่อนำข้อมูลไนเตรทไนโตรเจนมาศึกษาอัตราการเกิดสารประกอบไนเตรทไนโตรเจน พบว่า อัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนในระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 ที่มีตัวกลางในถังเดิมอากาศและมี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5 ดังภาพที่ 4-8 พบว่า อัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ 4.29 mg N/L-min และอัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยเท่ากับ 1.35 mg N/L-min เมื่อนำมาคำนวณพบว่าอัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ 2.94 mg N/L-min เมื่อ นำความเข้มข้นของจุลินทรีย์เทียบเท่าในชั้นไบโอฟิล์ม 795 mg VSS/L และความเข้มข้นของ จุลินทรีย์แขวนลอย 448 mg VSS/L ได้อัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนจำเพาะเท่ากับ 5.33 mg N/mg VSS-day และ 4.32 mg N/mg VSS-day ตามลำดับ



ภาพที่ 4-8 อัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนในระบบ IFAS 1 ที่มี pH ในน้ำเสียเท่ากับ 7.5

สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 2 ที่มีตัวกลางในถังเดิมอากาศและมี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 8.5 ดังภาพที่ 4-9 พบว่า อัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ 0.15 mg N/L-min ซึ่งเป็นอัตราที่ต่ำกว่าระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 อย่างมาก อย่างไรก็ตาม พบว่า สารประกอบไนเตรทไนโตรเจนลดลงเมื่อเทียบกับเวลา โดยมีอัตราที่ไนเตรทไนโตรเจนถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์แขวนลอยลดลงเท่ากับ -0.88 mg N/L-min เมื่อนำมาคำนวณ

อัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ 1.02 mg N/L-min เมื่อนำความเข้มข้นของจุลินทรีย์เทียบเท่าในชั้นไบโอฟิล์ม 675 mg VSS/L และความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอย 696 mg VSS/L ได้อัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนจำเพาะเท่ากับ $2.18 \text{ mg N/mg VSS-day}$ และ $-1.81 \text{ mg N/mg VSS-day}$ ตามลำดับ แสดงว่าจุลินทรีย์แขวนลอยสามารถกำจัดไนเตรทไนโตรเจนจากระบบหรือเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้ เมื่อเทียบปริมาณจุลินทรีย์แขวนลอยที่ระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 พบว่าที่ระบบ IFAS 2 มีปริมาณจุลินทรีย์แขวนลอยเท่ากับ 696 mg VSS/L และที่ระบบ IFAS 1 มีปริมาณจุลินทรีย์แขวนลอยเท่ากับ 448 mg VSS/L ที่ระบบ IFAS 2 มีอัตราการกำจัดไนเตรทไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์แขวนลอยได้ดีเพราะที่ระบบ IFAS 2 มีปริมาณจุลินทรีย์แขวนลอยมากกว่าระบบ IFAS 1 จากการศึกษาของ Lee and Rittmann (2003) กล่าวว่า pH สำหรับการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน จะอยู่ในช่วง pH 7.7-8.6 แต่จะเกิดได้มีประสิทธิภาพที่สุดที่ pH 8.4



ภาพที่ 4-9 อัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนในระบบ IFAS 2 ที่มี pH ในน้ำเสียเท่ากับ 8.5

เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนในระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 ที่เดินระบบด้วย pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5 และ 8.5 ตามลำดับ พบว่า ระบบ IFAS 1 ที่ป้อนน้ำเสียที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5 มีอัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนสูงกว่าระบบ IFAS 2 ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 8.5 ดังนั้น pH ของน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ

เดิมอากาศคือ pH 7.5 และเมื่อพิจารณาอัตราการเกิดไนโตรเจนในไตรท์ไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มพบว่าระบบ IFAS 1 มีอัตราการเกิดไนโตรเจนในไตรท์ไนโตรเจนในชั้นไบโอฟิล์มสูงกว่าระบบ IFAS 2

ตารางที่ 4-2 สรุปอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจน และอัตราการเกิดไนโตรเจนในไตรท์ไนโตรเจนและไนโตรเจนในไตรท์ไนโตรเจนของการทดลองระยะที่ 1

Chemical	IFAS 1 (pH 7.5)			IFAS 2 (pH 8.5)		
Component	Overall	Biofilm*	MLSS	Overall	Biofilm*	MLSS
NH_4^+ (mg/L-min)	-4.73	-3.82	-0.91	-4.67	-0.76	-3.91
NO_2^- (mg/L-min)	1.19	0.70	0.49	0.49	-0.46	0.95
NO_3^- (mg/L-min)	4.29	2.94	1.35	0.15	1.02	-0.88

หมายเหตุ * อัตราที่ได้จากการคำนวณ Overall – MLSS = Biofilm

จากตารางที่ 4-2 พบว่า อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ IFAS 1 มีอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนใกล้เคียงกันกับระบบ IFAS 2 อย่างไรก็ตาม เป็นที่น่าสนใจว่าปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันสำหรับระบบ IFAS 1 ส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์ม แต่ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของระบบ IFAS 2 นั้นเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ที่แขวนลอยในระบบ เพราะปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้ดีในช่วง pH 7.7-8.6 (Lee & Rittmann, 2003) ซึ่งอยู่ในช่วง pH ที่ศึกษา อย่างไรก็ตาม การฟอร์มของไบโอฟิล์มนั้นฟอร์มตัวได้ดีในช่วง pH 7.2 (Ramli et al., 2012) เมื่อพิจารณาปริมาณจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มของระบบ IFAS 1 ที่มีปริมาณมากกว่าระบบ IFAS 2 จึงทำให้ระบบ IFAS 1 มีอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในชั้นไบโอฟิล์มได้ดีกว่า IFAS 2 นั่นคือ เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันโดยจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มได้ดีกว่าระบบ IFAS 2 แต่ที่ระบบ IFAS 2 นั้น เป็น pH ที่ไม่เหมาะสมสำหรับการเกาะของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์ม จึงทำให้มีการเกาะกันแบบหลวม ๆ และสามารถหลุดลอกออกได้ง่ายจึงทำให้จุลินทรีย์บางส่วนที่อยู่ในชั้นไบโอฟิล์มหลุดออกมาเป็นจุลินทรีย์แขวนลอย จึงทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์แขวนลอยมากกว่าระบบ IFAS 1 จึงส่งผลให้ระบบ IFAS 2 เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันขึ้นโดยจุลินทรีย์แขวนลอย

เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดไนโตรเจนในไตรท์ไนโตรเจนของระบบ IFAS 1 และระบบ IFAS 2 พบว่า ระบบ IFAS 1 มีอัตราการเกิดไนโตรเจนในไตรท์ไนโตรเจนดีกว่าระบบ IFAS 2 เพราะไนโตรเจนในไตรท์ไนโตรเจนถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มในระบบ IFAS 2 เป็นเพราะว่าระบบ IFAS 2 มี

ความหนาของชั้นไบโอฟิล์มมากกว่าระบบ IFAS 1 โดยพิจารณาได้จากปริมาณคาร์โบไฮเดรตจำเพาะในระบบ IFAS 2 และ IFAS 1 เท่ากับ 818 mg Carbohydrate/ g VSS และ 695 mg Carbohydrate/ g VSS ตามลำดับ ความหนาของชั้นไบโอฟิล์มที่มากขึ้นส่งผลต่อประสิทธิภาพการแพร่ของออกซิเจนเข้าสู่ชั้นไบโอฟิล์มจนเกิดสภาวะไร้อากาศ จุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มจึงใช้ไนโตรเจนในโตรเจนที่เกิดขึ้นในชั้นไบโอฟิล์มเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนได้

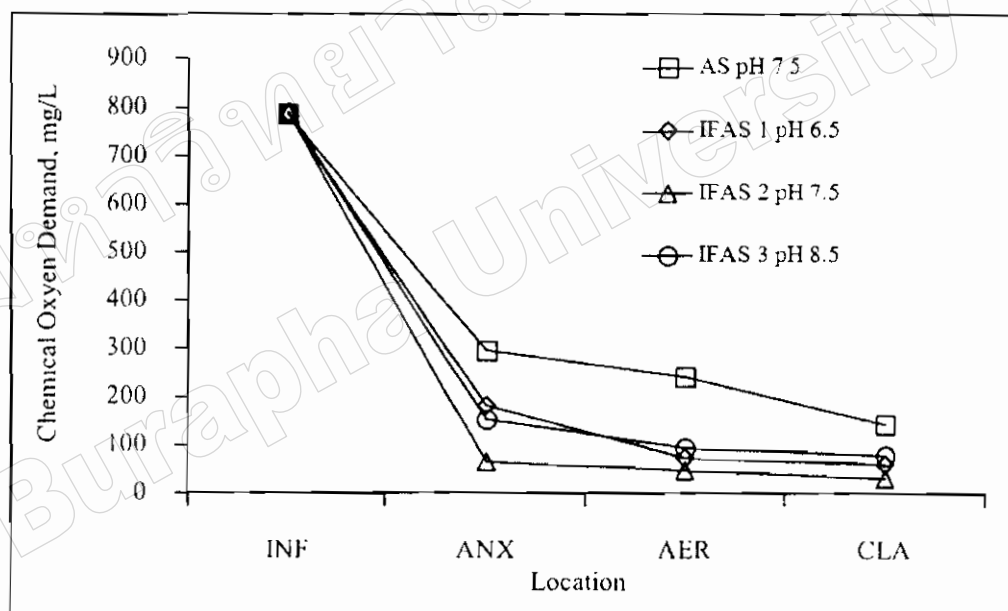
เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดไนเตรทในโตรเจนของระบบ IFAS 1 และระบบ IFAS 2 พบว่า จุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มของระบบ IFAS 2 สามารถกำจัดไนเตรทในโตรเจนได้ดีกว่าระบบ IFAS 1 เพราะความหนาของชั้นไบโอฟิล์มระบบ IFAS 2 มีมากกว่าระบบ IFAS 1 ดังที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มจึงใช้ไนโตรเจนในโตรเจนที่เกิดขึ้นในชั้นไบโอฟิล์มรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนได้

ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรฟิเคชันของการทดลองระยะที่ 2

หลังเดินระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 4 ระบบ จนเข้าสู่สภาวะคงตัวโดยที่น้ำเสียสังเคราะห์มีค่า pH เท่ากับ 7.5 ตามแผนการทดลองในระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 1 ผลการทดลอง พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของ COD เท่ากับร้อยละ 90.9, 96.2, 96.2 และ 96.2 สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย AS, IFAS 1, IFAS 2, และ IFAS 3 ตามลำดับ พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS ทั้ง 3 ระบบ มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์เท่ากัน ส่วนระบบบำบัดน้ำเสีย AS นั้นมีประสิทธิภาพต่ำกว่าระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS เนื่องจากเกิดปัญหาตะกอนลอยขึ้นในระบบอย่างต่อเนื่อง นอกจากนั้น ระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS มีจุลินทรีย์ที่เจริญในชั้นไบโอฟิล์มบนตัวกลางส่งผลให้ระบบ IFAS มีปริมาณจุลินทรีย์ในระบบมากกว่าระบบบำบัดน้ำเสีย AS ดังตารางที่ 4-3

หลังจากปรับเปลี่ยน pH ของน้ำเสียสำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย AS, IFAS 1, IFAS 2, และ IFAS 3 ให้เท่ากับ 7.5, 6.5, 7.5 และ 8.5 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-10 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสีย AS ลดต่ำลง โดยสามารถกำจัดได้ร้อยละ 81.8 เนื่องจากเกิดปัญหาตะกอนลอยขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่วนระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1, IFAS 2, และ IFAS 3 นั้นมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์เท่ากับร้อยละ 92.3, 96.0 และ 90.2 ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ IFAS 1 และ IFAS 3 ลดลงร้อยละ 4.1 และ 6.2 ตามลำดับ ดังนั้น แสดงว่า การปรับ pH ของน้ำเสียจาก 7.5 เหลือ 6.5 มีผลกระทบต่อการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยบัญญัติ สุขศรีงาม (2534) ระบุว่า เมื่อ pH เท่ากับ 6.5 และ 8.5 กิจกรรมและกระบวนการเมตาโบลิซึมของจุลินทรีย์ซึ่งถูกควบคุมโดยการทำงานของเอนไซม์นั้นเปลี่ยนไป จึงส่งผลให้การย่อยสลายของสารอินทรีย์ลดลง

ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดสารแอมโมเนียมไนโตรเจนหรือไนตริฟิเคชันนั้น ดังภาพที่ 4-11 พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียทุกระบบนั้นสามารถกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนได้อย่างสมบูรณ์ (100%) ทั้งระบบบำบัดน้ำเสีย AS และ IFAS ถึงแม้ว่าภาระบรรทุกไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าก็ตาม หลังจากปรับเปลี่ยน pH ของน้ำเสียดังขั้นตอนการทดลองระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 2 พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 4 ระบบยังคงมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนเช่นเดิม (100%) แสดงว่าช่วง pH ของน้ำเสียที่ทำการศึกษาไม่มีผลกระทบต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ทั้งนี้ เป็นเพราะว่าระบบบำบัดน้ำเสียเดินระบบที่อายุสัปดาห์เท่ากับ 8 วัน ซึ่งสูงกว่าค่าอายุสัปดาห์ขั้นต่ำ (Minimum Sludge Age) เป็นอย่างมากสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มที่กำจัดสารอินทรีย์และกลุ่มที่กำจัดสารแอมโมเนียมไนโตรเจน ตลอดจนอุณหภูมิที่ใช้ในการเดินระบบอยู่ที่ประมาณ 28 องศาเซลเซียส ทำให้จุลินทรีย์กลุ่มที่กำจัดสารประกอบแอมโมเนียมไนโตรเจนเจริญได้ดี



ภาพที่ 4-10 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสีย AS, IFAS 1, IFAS 2, และ IFAS 3 ของการทดลองระยะที่ 2 เมื่อ pH ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากับ 7.5, 6.5, 7.5 และ 8.5 ตามลำดับ

หมายเหตุ INF = Influent; ANX = Anoxic Reactor; AER = Aerobic Reactor; CLA = Clarifier

ตารางที่ 4-3 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในไบโอฟิล์มในถังเติมอากาศของการทดลองระยะที่ 2

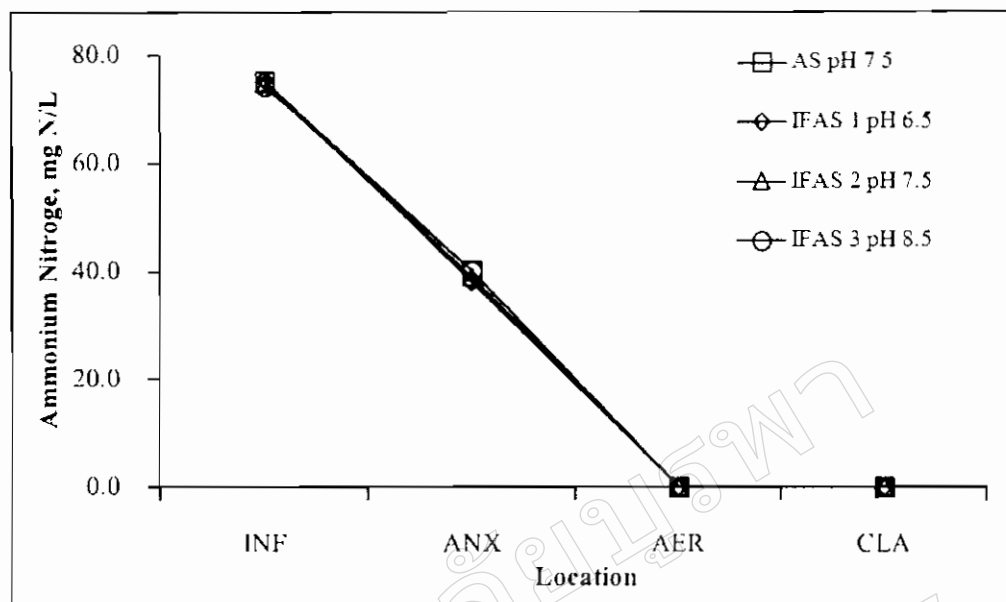
Procedure	System	pH	MLSS		MLVSS		Biofilm (mg/Loop)		Equivalent (mg/L)		Total (mg/L)	
			(mg/L)		(mg/L)		MLSS	MLVSS	MLSS	MLVSS	MLSS	MLVSS
I	AS (Control)	7.5	1565		1515							
	IFAS 1	7.5	5060		4955		62	60	441	427	5501	5382
	IFAS 2	7.5	4980		4580		61	59	434	419	5414	4999
	IFAS 3	7.5	4335		4028		61	60	434	427	4769	4455
II	AS (Control)	7.5	1317		1274							
	IFAS 1	6.5	4616		4610		48	46	341	327	4957	4937
	IFAS 2	7.5	5072		5060		57	56	405	398	5477	5458
	IFAS 3	8.5	4434		4400		52	50	370	356	4804	4756

หมายเหตุ 1. Equivalent MLSS และ Equivalent MLVSS คำนวณโดยนำ Biofilm คูณด้วยจำนวนของตัวกลางในระบบและหารด้วยปริมาตรของถัง

เติมอากาศ (22 ลิตร)

2. จำนวนวงของตัวกลาง = จำนวนพื้นที่ 0.220 ตารางเมตร x 711 วงต่อตารางเมตร = 156.4 วง

เมื่อพิจารณาสารประกอบไนโตรที่ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในระบบบำบัดน้ำเสีย AS และ IFAS พบว่า ระยะแรกของการเดินระบบที่มีค่า pH ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบคงที่เท่ากับ 7.5 ทุก ๆ ระบบ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-12 พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสีย AS และ IFAS ทุกระบบมีการสะสมของสารประกอบไนโตรที่ไนโตรเจนจำนวนมาก พบการสะสมของสารประกอบไนโตรที่ไนโตรเจนในระบบ AS สูงสุด ส่วนระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS ที่ได้รับน้ำเสียที่มี pH เท่ากับ 7.5 มีการสะสมของสารประกอบไนโตรที่ไนโตรเจนใกล้เคียงกันระหว่างระบบและมีการสะสมน้อยกว่าระบบบำบัดน้ำเสีย AS จากผลการทดลองที่ระบบ AS มีการสะสมของไนโตรที่ไนโตรเจนมากกว่าระบบ IFAS ทุกระบบ เพราะที่ระบบ AS มีปริมาณ VSS เท่ากับ 1515 mg/L ที่ระบบ IFAS 1, IFAS 2, IFAS 3, มีปริมาณ VSS เท่ากับ 4955, 4580, 4028 mg/L ตามลำดับ พบว่าระบบ AS มีปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่าระบบ IFAS ถึง 2 เท่า ทำให้จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสารประกอบไนโตรที่เป็นไนเตรทไนโตรเจนซึ่งปกติมีสัดส่วนอยู่น้อยมีปริมาณจุลินทรีย์น้อย ส่งผลทำให้การกำจัดไนโตรที่ไนโตรเจนในระบบ AS มีประสิทธิภาพต่ำจึงทำให้เกิดการสะสมของไนโตรที่ได้มากกว่าระบบ IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 หลังจากปรับเปลี่ยน pH ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 เท่ากับ 6.5, 7.5 และ 8.5 ตามลำดับ ผลการทดลอง ดังภาพที่ 4-12 พบการสะสมของสารประกอบไนโตรที่ไนโตรเจนที่แตกต่างกัน โดยระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 ที่มีน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากับ 6.5 มีการสะสมสูงสุด รองลงมา คือระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 2 และระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 3 มีการสะสมต่ำสุด แสดงให้เห็นว่า pH ของน้ำเสียมีผลกระทบต่อการสะสมของไนโตรที่ไนโตรเจนในระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shammas (1986) ที่ระบุว่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการออกซิเดชันไนโตรที่ไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrobacter* sp. คือ pH 7.7 และ 8.8

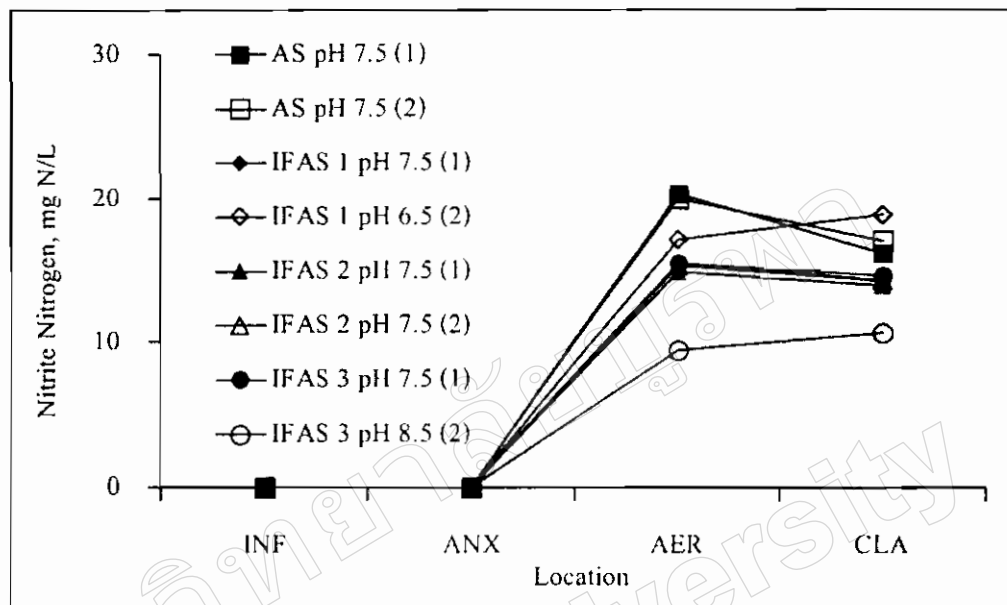


ภาพที่ 4-11 ความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสีย AS, IFAS 1, IFAS 2, และ IFAS 3 ของการทดลองระยะที่ 2 เมื่อ pH ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากับ 7.5, 6.5, 7.5 และ 8.5 ตามลำดับ

หมายเหตุ INF = Influent; ANX = Anoxic Reactor; AER = Aerobic Reactor; CLA = Clarifier

เมื่อพิจารณาสารประกอบไนเตรทไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS โดยขั้นตอนที่ 1 ของการทดลองระยะที่ 2 มีการเดินระบบบำบัดน้ำเสียโดยป้อนน้ำเสียที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5 ในทุกระบบ หลังจากนั้น การทดลองระยะที่สองเดินระบบโดยให้ระบบ AS, IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 เท่ากับ 7.5, 6.5, 7.5 และ 8.5 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-13 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองขั้นตอนที่ 1 และ 2 ระบบบำบัดน้ำเสีย AS มีการผลิตสารประกอบไนเตรทไนโตรเจนจากการออกซิไดส์สารประกอบไนไตรท์ไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrobacter* spp. เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ไม่แตกต่างกัน โดยความเข้มข้นของสารประกอบไนเตรทไนโตรเจนในถังเติมอากาศของการทดลองขั้นตอนที่ 1 และ 2 เท่ากับ 4.1 ± 0.6 และ 4.8 ± 0.3 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบว่า pH ของน้ำเสียมีผลกระทบต่อสารประกอบไนเตรทไนโตรเจนในระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS อย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าความเข้มข้นของสารประกอบไนเตรทไนโตรเจนในถังเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1,

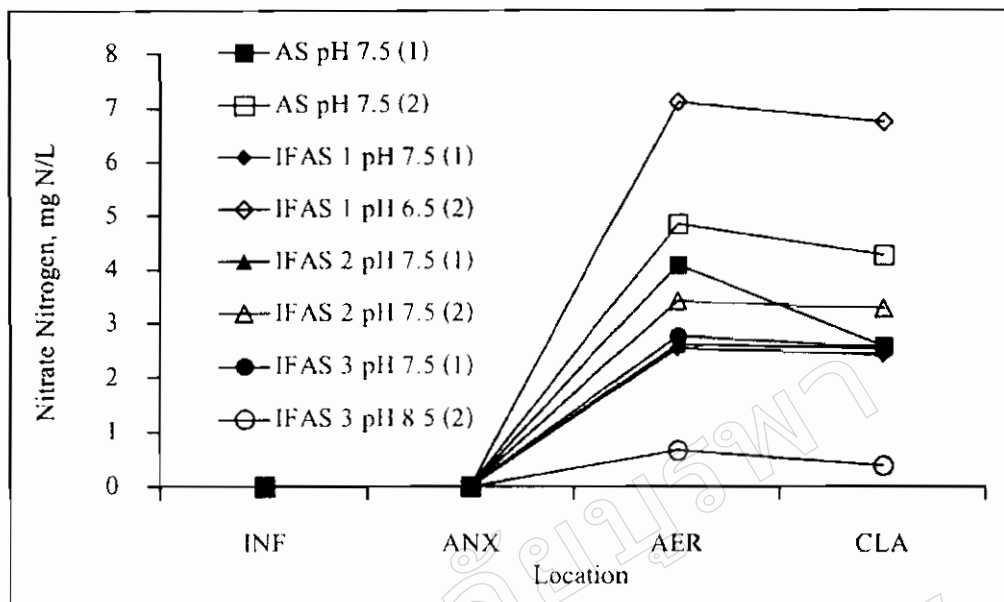
IFAS 2 และ IFAS 3 เท่ากับ 7.1 ± 0.5 , 3.4 ± 0.1 , 0.7 ± 0.1 mg N/L เมื่อ pH ของน้ำเสียเท่ากับ 6.5, 7.5 และ 8.5 ตามลำดับ



ภาพที่ 4-12 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนไตรท์ในไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสีย AS, IFAS 1, IFAS 2, และ IFAS 3 ของการทดลองระยะที่ 2 เมื่อ pH ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ เท่ากับ 7.5, 6.5, 7.5 และ 8.5 ตามลำดับ

หมายเหตุ INF = Influent; ANX = Anoxic Reactor; AER = Aerobic Reactor; CLA = Clarifier และ (1) เป็นระยะการทดลองขั้นที่ 1 ส่วน (2) เป็นการทดลองระยะขั้นที่ 2

นอกจากนั้น เป็นที่น่าสังเกตว่า การทดลองระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 2 ที่มีการเพิ่มความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์และไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าของการทดลองระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 1 ซึ่งพบการสะสมของสารประกอบไนไตรท์ไนโตรเจนจำนวนมากในระบบบำบัดน้ำเสียทั้งระบบ AS และระบบประเภท IFAS ซึ่งพบในปริมาณน้อยมากในการทดลองระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 1

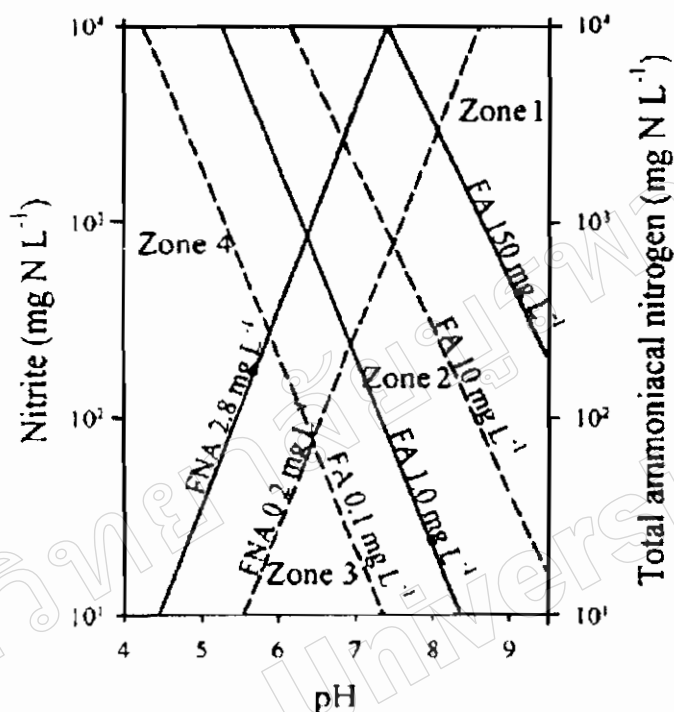


ภาพที่ 4-13 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรทไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสีย AS, IFAS 1, IFAS 2, และ IFAS 3 ของการทดลองระยะที่ 2 เมื่อ pH ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากับ 7.5, 6.5, 7.5 และ 8.5 ตามลำดับ

หมายเหตุ INF = Influent; ANX = Anoxic Reactor; AER = Aerobic Reactor; CLA = Clarifier และ (1) เป็นระยะการทดลองขั้นที่ 1 ส่วน (2) เป็นการทดลองระยะขั้นที่ 2

Yongzhen and Guibing (2006) ได้ทบทวนงานวิจัยกล่าวว่า pH ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีความสัมพันธ์โดยตรงกับประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจน, ไนไตรท์ไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจน โดยภาพที่ 4-14 แสดงถึงโซน 4 โซน โดยโซนที่ 1 แสดงกระบวนการยับยั้ง Nitritation และ Nitratation ด้วยแอมโมเนียอิสระ (FA) โซนที่ 2 แสดงกระบวนการยับยั้ง Nitratation ด้วยแอมโมเนียอิสระ (FA) โซน 3 แสดงไนตริฟิเคชันสมบูรณ์แบบโซน 4 แสดงกระบวนการยับยั้ง Nitratation ด้วยกรดไนตริกอิสระ, FNA เมื่อพิจารณาจากค่า pH ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากับ 6.5 ของระบบ IFAS 1 จะอยู่ในช่วงโซน 4 ก่อนมาทางโซน 3 ซึ่งกระบวนการกำจัดไนเตรทจะถูกยับยั้งด้วยกรดไนตริกอิสระ และเมื่อที่ค่า pH ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากับ 8.5 ของระบบ IFAS 3 จะอยู่ในโซน 3 ก่อนไปทางโซน 2 ซึ่ง Nitratation จะถูกยับยั้งด้วยแอมโมเนียอิสระแต่เนื่องจากการทดลองครั้งนี้เดินระบบด้วยความเข้มข้นของแอมโมเนียมที่ไม่

สูงมากจนเห็นผลได้ชัดเจนประกอบกับจุลินทรีย์ที่อยู่ชั้นไบโอฟิล์มช่วยกำจัดไนโตรเจนในโตรทไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนได้อีกด้วย



ภาพที่ 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมโมเนียอิสระ (Free Ammonia, FA) และกรดไนตรัสอิสระ (Free Nitrous Acid, FNA)

ที่มา: Peng and Zhu (2006)

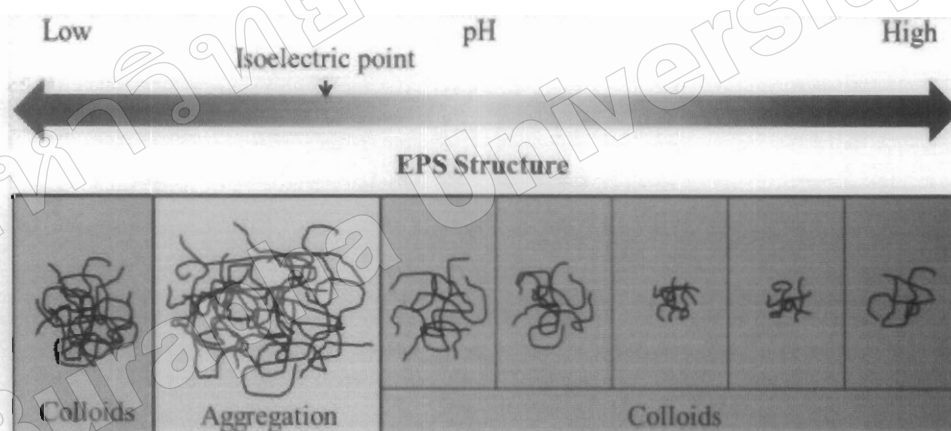
ปริมาณจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มของการทดลองระยะที่ 2

การทดลองในระยะที่ 2 นั้นเริ่มเดินระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์ด้วยค่า pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5 เท่ากันทั้ง 4 ระบบ ซึ่งมีการเติมตัวกลางชนิด Bioweb® ในระบบจำนวน 3 ระบบ ตั้งแต่เริ่มต้นการทดลอง เรียกระบบเหล่านี้ว่า ระบบ IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 ส่วนระบบที่ไม่มีตัวกลางเรียกว่า AS เพื่อใช้เป็นระบบควบคุม น้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบนั้นถูกเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์และไนโตรเจนเป็นสองเท่าของการทดลองในระยะที่ 1 หลังเดินระบบบำบัดน้ำเสียทั้งหมดจนเข้าสู่ระยะคงตัวของการทดลองขั้นตอนที่ 1 ระยะที่ 2 ผลการทดลองระบุว่าระบบ AS มีปริมาณจุลินทรีย์แขวนลอยบ่งชี้ด้วยค่า MLVSS เท่ากับ 1515 mg/L ส่วนระบบ IFAS 1,

IFAS 2 และ IFAS 3 มี MLVSS เท่ากับ 4955, 4580 และ 4028 mg/L ตามลำดับ นอกจากนั้นระบบ AS นั้นมีค่า SV_{30} เท่ากับ 928 ml/L ซึ่งเมื่อเทียบกับระบบ IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 ที่มีค่า SV_{30} เท่ากับ 48, 56 และ 55 ml/L ตามลำดับ พบว่า ถึงแม้ pH ของน้ำเสียเท่ากันทุกระบบ คือ เท่ากับ 7.5 แต่เมื่อปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพิ่มสูงขึ้น ระบบบำบัดน้ำเสีย AS นั้นมีปริมาณจุลินทรีย์ในระบบน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS เพราะปริมาณจุลินทรีย์ที่เข้าสู่ถังเติมอากาศมากขึ้น ทำให้จุลินทรีย์ประเภทเส้นใย (Filamentous Microorganisms) สามารถเจริญได้ดีกว่าจุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อกได้ดี เกิดปัญหาตะกอนลอย (Bulking) ในระบบ AS ตะกอนจุลินทรีย์ไม่สามารถจมตัวในถังตกตะกอนได้ดีเท่ากับระบบ IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 เกิดการสูญเสียมวลออกจากระบบไปกับน้ำทิ้ง จึงทำให้ปริมาณจุลินทรีย์บ่งชี้ด้วยค่า MLVSS ลดน้อยลง เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายเทียบเท่า (Equivalent MLVSS) บนตัวกลาง พบว่าระบบ IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 มีค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายเทียบเท่า เท่ากับ 427, 419 และ 427 mg/L ตามลำดับ พบว่า ระบบ IFAS 1, IFAS 2, และ IFAS 3 มีปริมาณจุลินทรีย์บนตัวกลางใกล้เคียงกัน

ต่อมาเมื่อมีการปรับเปลี่ยน pH ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ IFAS 1 และ IFAS 3 เป็น 6.5 และ 8.5 ตามลำดับ ตามการทดลองระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 2 เพื่อศึกษาผลกระทบของ pH ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่บ่งชี้ในรูปของซีไอดี, แอมโมเนียมไนโตรเจน, ไนไตรท์ ไนโตรเจน, ไนเตรทไนโตรเจน, ปริมาณของแข็งแขวนลอยเทียบเท่าบนตัวกลาง, ปริมาณโปรตีนจำเพาะและปริมาณคาร์โบไฮเดรตจำเพาะ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-3 พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสีย AS มีปริมาณ MLVSS เท่ากับ 1274 mg/L ลดลงร้อยละ 14.3 จากปัญหาตะกอนลอยที่ยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในระบบดังที่กล่าวมาข้างต้น สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 มีปริมาณ MLVSS เท่ากับ 4610, 5060 และ 4400 mg/L เมื่อ pH ของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 6.5, 7.5 และ 8.5 โดย MLVSS มีการเปลี่ยนแปลงร้อยละ 8.4, -13.1 และ -11.5 ตามลำดับ หรือปริมาณ MLVSS ลดลงในระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 ร้อยละ 8.4 แต่ปริมาณ MLVSS ของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 2 และ IFAS 3 เพิ่มขึ้นร้อยละ 13.1 และ 11.5 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มบนตัวกลาง พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 มีปริมาณจุลินทรีย์บนตัวกลางเทียบเท่า (Equivalent MLSS) เท่ากับ 327, 398 และ 356 mg/L ตามลำดับ ลดลงจากการทดลองระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 1 ร้อยละ 23.3, 5.1 และ 16.7 เมื่อน้ำเสียมี pH เริ่มต้น เท่ากับ 6.5, 7.5 และ 8.5 ตามลำดับ แสดงว่าจุลินทรีย์มีหลุดออกจากผิวตัวกลางโดยเฉพาะระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 3 เมื่อพิจารณาพร้อมกับปริมาณจุลินทรีย์แขวนลอย อธิบายได้ว่า เมื่อ pH ของน้ำเสียเท่ากับ 6.5 มีผลกระทบโดยตรงทำให้จุลินทรีย์หลุดลอกออกจากตัวกลาง

และจุลินทรีย์แขวนลอยมีปริมาณลดลง ส่วนเมื่อ pH ของน้ำเสียเท่ากับ 8.5 ทำให้จุลินทรีย์บนตัวกลางหลุดลอกออกมามากขึ้นกลายเป็นจุลินทรีย์แขวนลอยแต่ไม่มีผลกระทบกับจุลินทรีย์แขวนลอย Tournay and Ngwenya (2010) ได้อธิบายผลกระทบของ pH ของน้ำเสียว่าเมื่อ pH เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการบริจาดโปรตรอน (Deprotonate) ทำให้แกนของหมู่ฟังก์ชันของ EPS มีความเป็นประจุลบมากขึ้นทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มมีปริมาณลดลงเนื่องจากไม่สามารถรวมตัวกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับระบบ IFAS 3 ซึ่งมี pH ของน้ำเสีย เท่ากับ 8.5 นั้น พบว่า มีปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายเทียบเท่ากับ 50 mg/loop ซึ่งน้อยกว่าระบบ IFAS 2 ที่มี pH เท่ากับ 7.5 (56 mg/loop) และเมื่อ pH ของน้ำเสียเท่ากับ 6.5 ซึ่งใกล้กับจุด Isoelectric point ดังภาพที่ 4-15 และก็ยังมีการเกิดประจุลบกลับมาอีกครั้งของชั้น EPS ทำให้เกิดสภาวะ pH ก่อนไปทางกรด ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยและชั้นไบโอฟิล์มเกาะกันอย่างหลวมๆ เนื่องจากผลกระทบของสนามประจุไฟฟ้า (Wang et al., 2011)



ภาพที่ 4-15 จุด Isoelectric point ของ EPS และ โครงสร้างของ EPS ที่เป็นผลเนื่องมาจากค่า pH (Wang et al., 2011)

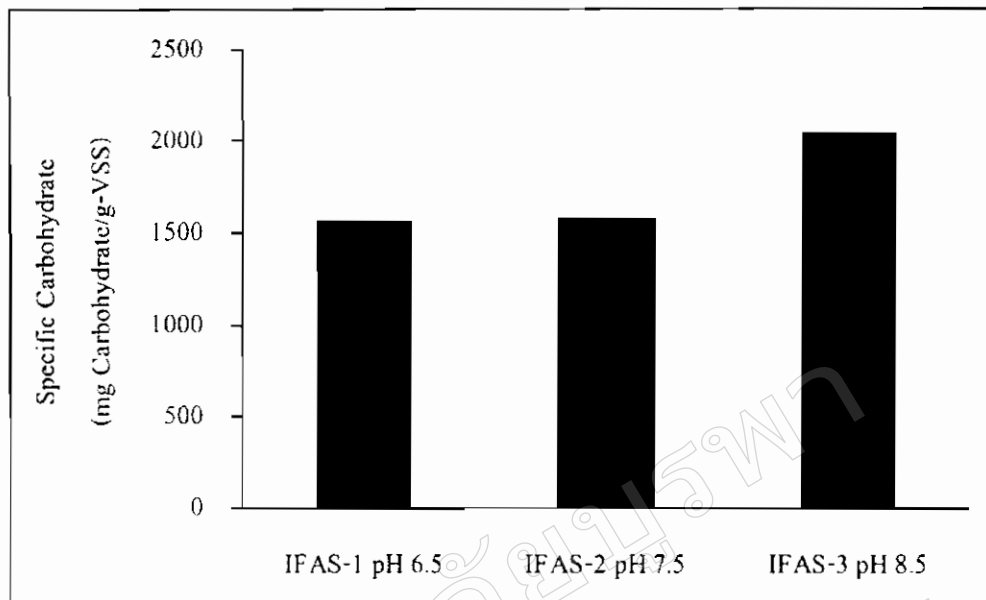
ผลของ pH ต่อปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตจำเพาะของการทดลองระยะที่ 2

การทดลองระยะที่ 2 มีการตรวจวัดคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน เมื่อนำข้อมูลมาคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณโปรตีนจำเพาะ ผลการทดลองขั้นตอนที่ 1 เมื่อ pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5 พบว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตจำเพาะของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1, IFAS 2, และ IFAS 3 เท่ากับ 1480, 1566 และ 1503 mg carbohydrate/g VSS ตามลำดับ และปริมาณ โปรตีนจำเพาะของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1, IFAS 2, และ IFAS 3 เท่ากับ 193, 210, และ 180 mg Protein/g VSS

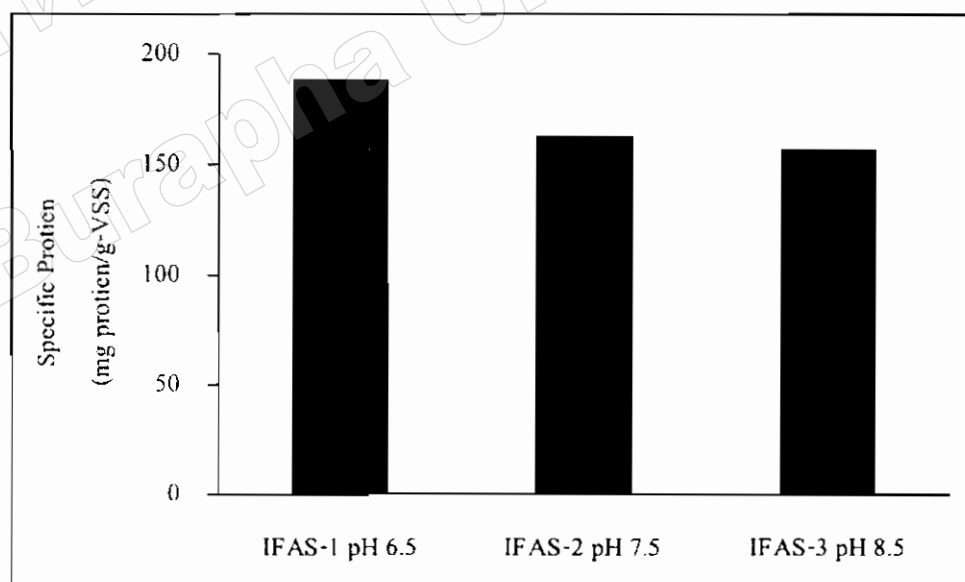
ตามลำดับ เมื่อดำเนินการทดลองจนถึงขั้นตอนที่ 2 โดยปรับ pH ของน้ำเสียเท่ากับ 6.5 และ 8.5 สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 3 ตามลำดับ โดย pH ของน้ำเสียของระบบ IFAS 2 คงที่ที่ 7.5 เช่นเดิม ดังภาพที่ 4-16 และ 4-17 พบว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตจำเพาะของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1, IFAS 2, และ IFAS 3 เท่ากับ 1568, 1584 และ 2044 mg carbohydrate/g VSS ตามลำดับ และปริมาณโปรตีนจำเพาะของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1, IFAS 2, และ IFAS 3 เท่ากับ 189, 163, และ 157 mg Protein/g VSS ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองหลังปรับเปลี่ยน pH พบว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตจำเพาะเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับร้อยละ 5.6, 1.1, และ 26.5 สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1, IFAS 2, และ IFAS 3 พบว่า การปรับลด pH ของน้ำเสียให้เท่ากับ 6.5 และปรับเพิ่มให้เท่ากับ 8.5 นั้น ทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของชั้นไบโอฟิล์มเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะที่ pH เท่ากับ 8.5 ในทางตรงกันข้าม ปริมาณโปรตีนจำเพาะนั้นลดต่ำลงหลังมีการปรับเปลี่ยน pH โดยปริมาณโปรตีนลดลงเท่ากับร้อยละ 2.5, 29.1 และ 14.5 สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1, IFAS 2, และ IFAS 3 ตามลำดับ Winggender et al. (1999) กล่าวว่า pH มีความสัมพันธ์กับโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต จากการปรับ pH ที่ระบบ IFAS 1 และ IFAS 3 เป็น 6.5 และ 8.5 ตามลำดับ ทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในชั้นไบโอฟิล์มสูงขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์มีการสร้างคาร์โบไฮเดรตขึ้นมาเพื่อป้องกันตัวเองจากสภาวะที่ไม่เหมาะสม (ณฐนนท์ ตราชู 2551) เพื่อการดำรงชีวิต แต่กลับมีการสร้างโปรตีนลดต่ำลงเนื่องจากมีจำนวนจุลินทรีย์ในไบโอฟิล์มน้อย โดยดูจากค่า MLVSS ในชั้นไบโอฟิล์ม พบว่าที่ระบบ IFAS 1 และ IFAS 3 มีปริมาณ น้อยกว่าระบบ IFAS 2

อัตราการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนในระบบ IFAS ของการทดลองระยะที่ 2.

เมื่อพิจารณาระบบ AS พบว่า อัตราการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยเท่ากับ -0.03 mg/L-min ดังภาพที่ 4-18 พบว่า อัตราการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยนั้นต่ำมาก แต่การกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนของระบบ AS นั้นสมบูรณ์ จึงเป็นไปได้ว่า แอมโมเนียไนโตรเจนถูกกำจัดออกจากระบบ AS โดยวิธีการอื่น



ภาพที่ 4-16 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตจำเพาะของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มบนตัวกลางที่ติดตั้งในถังเดิมอากาศของระบบ IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 สำหรับการทดลองในระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 2

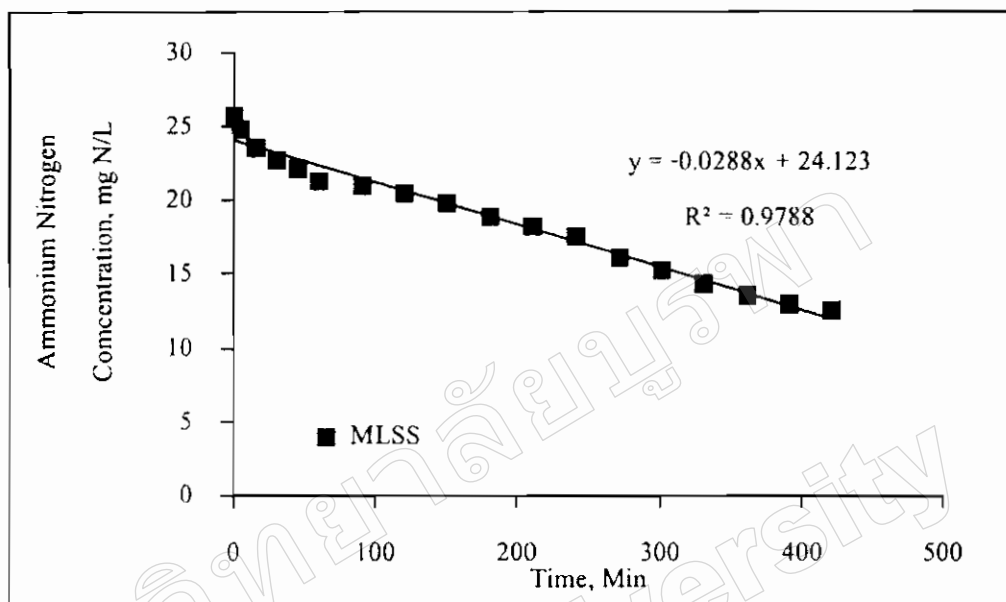


ภาพที่ 4-17 ปริมาณโปรตีนจำเพาะของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มบนตัวกลางที่ติดตั้งในถังเดิมอากาศของระบบ IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 สำหรับการทดลองในระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 2

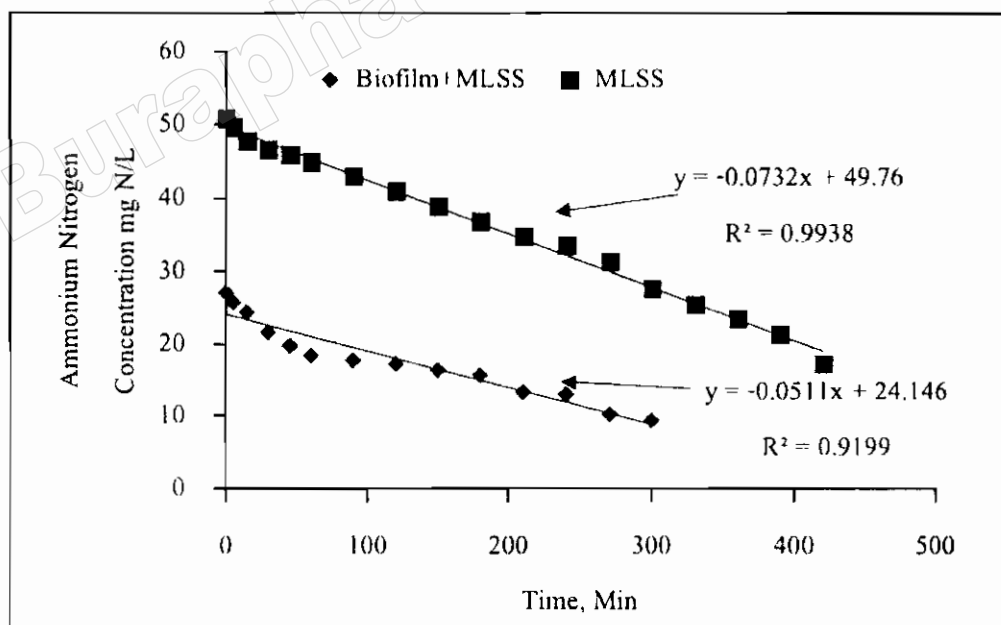
เมื่อพิจารณาระบบ IFAS 1 ที่มีตัวกลางติดตั้งในถังเติมอากาศและ pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5 และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจึงปรับ pH ของน้ำเสียที่ไคนเข้าสู่ระบบเป็น 6.5 หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวอีกครั้ง การทดลองในขั้นตอนนี้ดำเนินการเป็นสองช่วง คือ ช่วงแรกทดลองเป็นการศึกษาอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ IFAS ที่มีทั้งจุลินทรีย์บนตัวกลางในชั้นไบโอฟิล์มและจุลินทรีย์แขวนลอย และช่วงที่สองเป็นการทดลองโดยนำจุลินทรีย์แขวนลอยจากระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS ทั้งสองระบบมาศึกษาอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยในถังปฏิกรณ์ขนาดเล็กที่ดำเนินการภายใต้สภาวะเดียวกัน การทดลองมีการเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีคาร์บอนและไนโตรเจนเพิ่มเติม เมื่อนำอัตราที่ได้จากการทดลองทั้งสองช่วงมาหักลบกันได้อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในชั้นไบโอฟิล์ม ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-19 พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 ที่มีตัวกลางในถังเติมอากาศและ pH ของน้ำเสียเท่ากับ 6.5 มีอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนของตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ -0.05 mg N/L-min และอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนของตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยเท่ากับ -0.07 mg N/L-min เมื่อนำมาคำนวณพบว่าอัตราการเกิดแอมโมเนียมไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ 0.02 mg N/L-min เมื่อนำความเข้มข้นของจุลินทรีย์เทียบเท่าในชั้นไบโอฟิล์ม 327 mg VSS/L และความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอย 4610 mg VSS/L มาคำนวณอัตราการเกิดแอมโมเนียมไนโตรเจนจำเพาะได้อัตราการเกิดแอมโมเนียมไนโตรเจนจำเพาะในชั้นไบโอฟิล์มและอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนจำเพาะของจุลินทรีย์แขวนลอย เท่ากับ $0.09 \text{ mg N/mg VSS-day}$ และ $-0.02 \text{ mg N/mg VSS-day}$ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการกำจัดสารประกอบแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์แขวนลอย แต่การติดตั้งตัวกลางที่ทำให้เกิดชั้นไบโอฟิล์มมีผลทำให้เกิดการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนลดลง

เมื่อพิจารณาระบบ IFAS 2 ที่มีตัวกลางติดตั้งในถังเติมอากาศและ pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5 และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจึงปรับ pH ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบเป็น 7.5 เช่นเดิม หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวอีกครั้ง พบว่า ระบบ IFAS 2 มีอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มบนตัวกลาง เท่ากับ -0.07 mg/L-min และมีอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยเพียงอย่างเดียว เท่ากับ -0.05 mg/L-min ดังภาพที่ 4-20 เมื่อคำนวณอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มได้เท่ากับ -0.02 mg/L-min เมื่อนำความเข้มข้นของจุลินทรีย์เทียบเท่าในชั้นไบโอฟิล์ม 398 mg VSS/L ได้อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนจำเพาะในชั้นไบโอฟิล์ม เท่ากับ $-0.07 \text{ mg N/mg VSS-day}$ และความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอย 5060 mg VSS/L มาคำนวณอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนจำเพาะจุลินทรีย์แขวนลอย ได้เท่ากับ $-0.01 \text{ mg N/mg VSS-day}$ แสดง

ให้เห็นว่าการกำจัดสารประกอบแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์โดย
จุลินทรีย์แขวนลอย

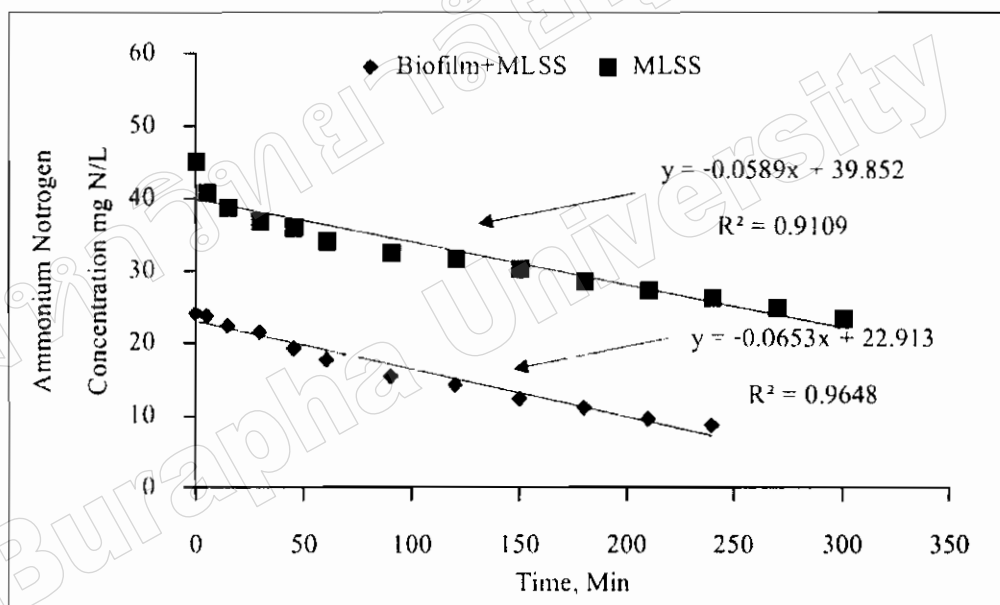


ภาพที่ 4-18 อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ AS ที่ค่า pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5



ภาพที่ 4-19 อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ IFAS 1 ที่ค่า pH ของน้ำเสียเท่ากับ 6.5

เมื่อพิจารณาระบบ IFAS 3 ที่มีตัวกลางติดตั้งในถังเดิมอากาศและ pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5 และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจึงปรับ pH ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบเป็น 8.5 หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวอีกครั้ง พบว่า ระบบ IFAS 3 มีอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มบนตัวกลาง เท่ากับ -0.07 mg/L-min และมีอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยเพียงอย่างเดียวเท่ากับ -0.09 mg/L-min ดังภาพที่ 4-21 เมื่อคำนวณอัตราการเกิดแอมโมเนียมไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มได้เท่ากับ 0.03 mg/L-min และความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอย 4400 mg VSS/L มาคำนวณอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนจำเพาะได้เท่ากับ $-0.03 \text{ mg N/mg VSS-day}$ แสดงให้เห็นว่าการกำจัดสารประกอบแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์แขวนลอย

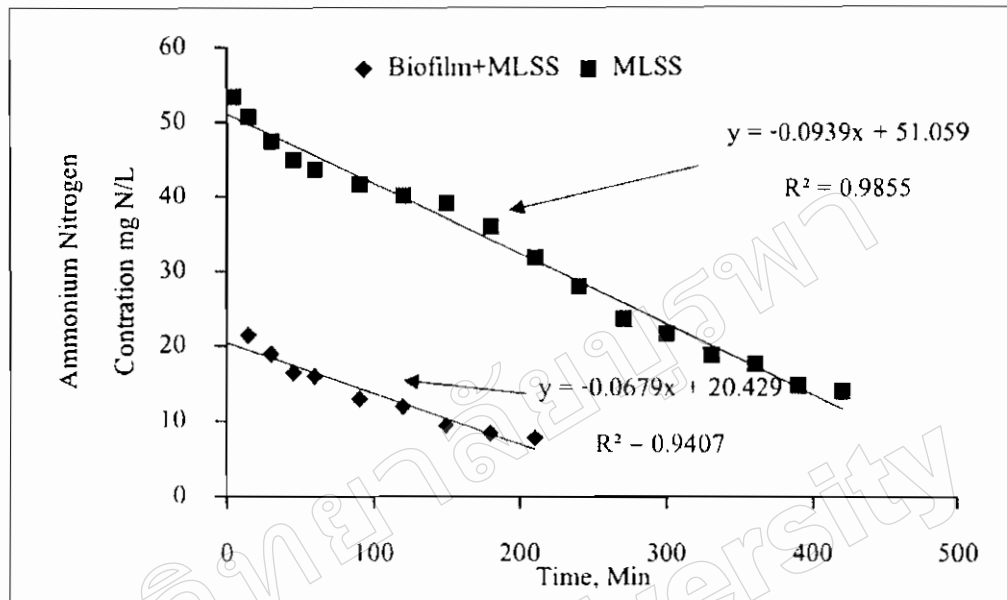


ภาพที่ 4-20 อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ IFAS 2 ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5

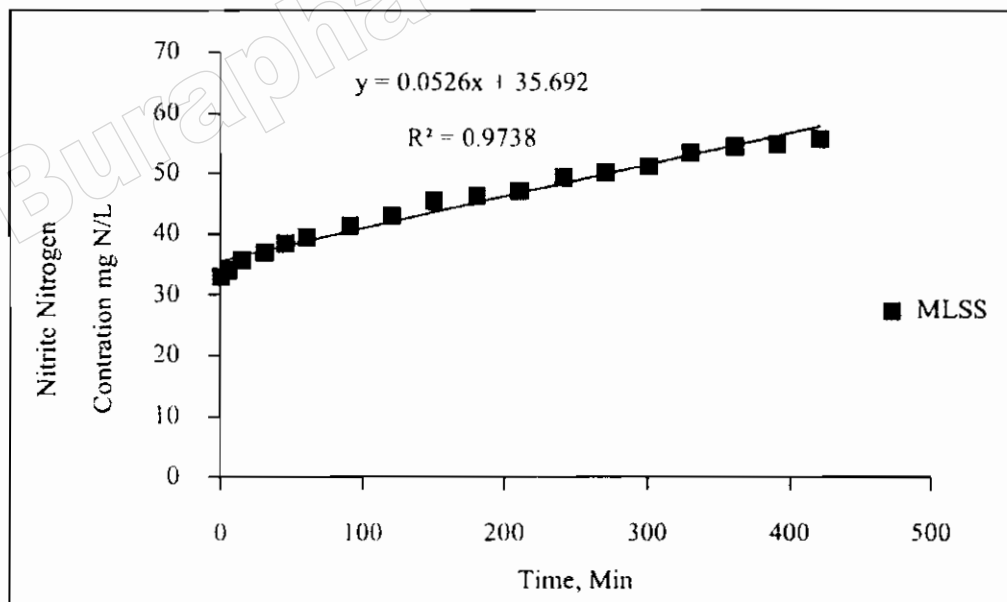
อัตราการเกิดไนโตรเจนในระบบ IFAS ของการทดลองระยะที่ 2

เมื่อพิจารณาระบบ AS พบว่า อัตราการเกิดไนโตรเจนในไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอย เท่ากับ 0.05 mg/L-min ดังภาพที่ 4-22 แต่อัตราการเกิดไนโตรเจนในระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 เท่ากับ -0.02 , -0.02 และ -0.03 mg/L-min ตามลำดับ ดังภาพที่ 4-23, 4-24, และ 4-25 ตามลำดับ ระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS ทั้งหมดมีอัตราการเกิดไนโตรเจนเป็น

แสดงให้เห็นไนโตรเจนในไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS ทั้งหมดถูกเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบไนเตรทไนโตรเจน

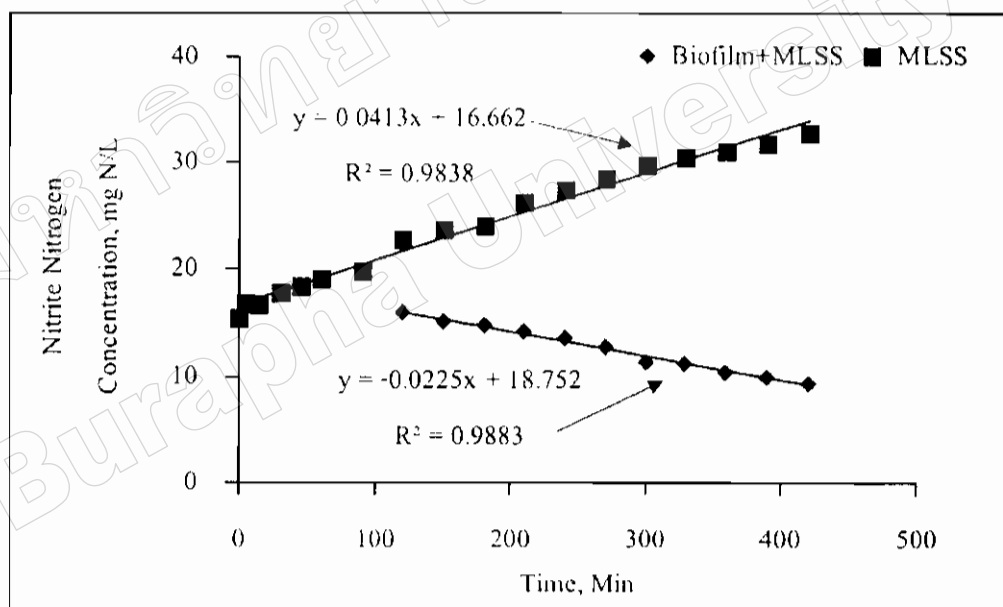


ภาพที่ 4-21 อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ IFAS 3 ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 8.5



ภาพที่ 4-22 อัตราการเกิดไนโตรเจนไนโตรเจนในระบบ AS ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5

สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 เมื่อเดินระบบที่ค่า pH ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากับ 7.5 โดยมีตัวกลางอยู่ในถังเดิมอากาศ เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วจึงปรับ pH ของน้ำเสียเท่ากับ 6.5 ดังภาพที่ 4-23 พบว่า อัตราการกำจัดไนโตรเจนในไตรโทไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ -0.02 mg/L-min และมีอัตราการเกิดไนโตรเจนในไตรโทไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยเท่ากับ 0.04 mg/L-min ทำให้สามารถคำนวณอัตราการเกิดไนโตรเจนในไตรโทไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ -0.06 mg/L-min เมื่อนำความเข้มข้นของจุลินทรีย์เทียบเท่าในชั้นไบโอฟิล์ม 327 mg VSS/L และความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอย 4610 mg VSS/L มาคำนวณอัตราการเกิดไนโตรเจนในไตรโทไนโตรเจนจำเพาะจะได้เท่ากับ $-0.28 \text{ mg N/mg VSS-day}$ และ $0.01 \text{ mg N/mg VSS-day}$ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ที่ pH 6.5 จุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มบนตัวกลางในถังเดิมอากาศสามารถเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นไนเตรทไนโตรเจนได้ดีกว่าจุลินทรีย์แขวนลอย

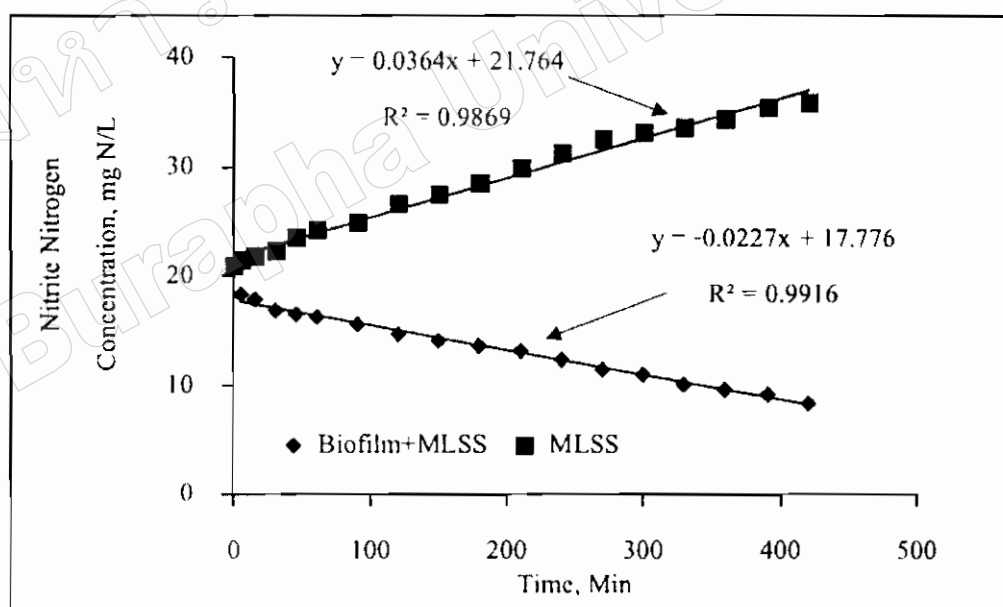


ภาพที่ 4-23 อัตราการกำจัดไนโตรเจนในไตรโทไนโตรเจนในระบบ IFAS 1 ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 6.5

เมื่อพิจารณาระบบ IFAS 2 ซึ่งเดินระบบที่ค่า pH เท่ากับ 7.5 ดังภาพที่ 4-24 พบว่า อัตราการเกิดไนโตรเจนในไตรโทไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มบนตัวกลางเท่ากับ -0.07 mg/L-min และอัตราการเกิดไนโตรเจนในไตรโทไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยเท่ากับ 0.04 mg/L-min ทำให้สามารถคำนวณอัตราการเกิดไนโตรเจนในไตรโทไนโตรเจนในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ -0.06 mg/L-min เมื่อนำความเข้มข้นของจุลินทรีย์เทียบเท่าในชั้นไบโอฟิล์ม 398 mg VSS/L และความ

เข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอย 5060 mg VSS/L มาคำนวณอัตราการเกิดไนโตรเจนในไนโตรเจนจำเพาะ จะได้เท่ากับ $-0.21 \text{ mg N/mg VSS-day}$ และ $0.01 \text{ mg N/mg VSS-day}$ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งตัวกลางลงในถังเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS ทำให้สารประกอบไนโตรเจนในไนโตรเจนถูกเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบไนเตรทในไนโตรเจนได้ดี

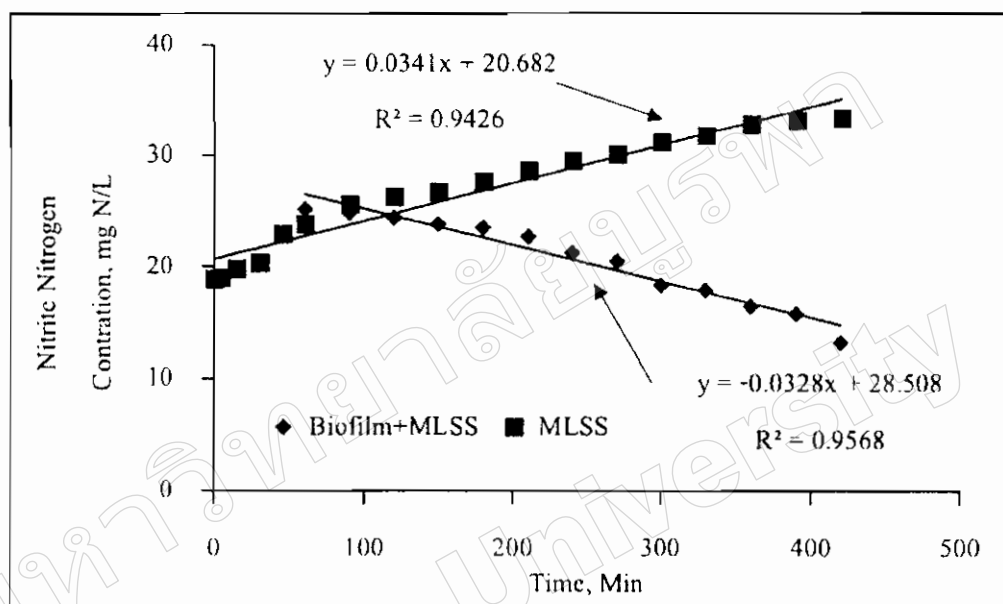
เมื่อพิจารณาระบบ IFAS 3 ซึ่งเดินระบบที่ค่า pH เท่ากับ 8.5 ดังภาพที่ 4-25 พบว่า อัตราการกำจัดไนโตรเจนในไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มบนตัวกลาง เท่ากับ -0.03 mg/L-min และอัตราการเกิดไนโตรเจนในไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยเท่ากับ 0.03 mg/L-min ทำให้สามารถคำนวณอัตราการเกิดไนโตรเจนในไนโตรเจนในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ -0.07 mg/L-min เมื่อนำความเข้มข้นของจุลินทรีย์เทียบเท่าในชั้นไบโอฟิล์ม 356 mg VSS/L และความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอย 4400 mg VSS/L มาคำนวณอัตราการเกิดไนโตรเจนในไนโตรเจนจำเพาะ จะได้เท่ากับ $-0.27 \text{ mg N/mg VSS-day}$ และ $0.01 \text{ mg N/mg VSS-day}$ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งตัวกลางลงในถังเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS ทำให้สารประกอบไนโตรเจนในไนโตรเจนถูกเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบไนเตรทในไนโตรเจนได้ดี



ภาพที่ 4-24 อัตราการกำจัดไนโตรเจนในไนโตรเจนในระบบ IFAS 2 ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5

อัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนในระบบ IFAS ของการทดลองระยะที่ 2

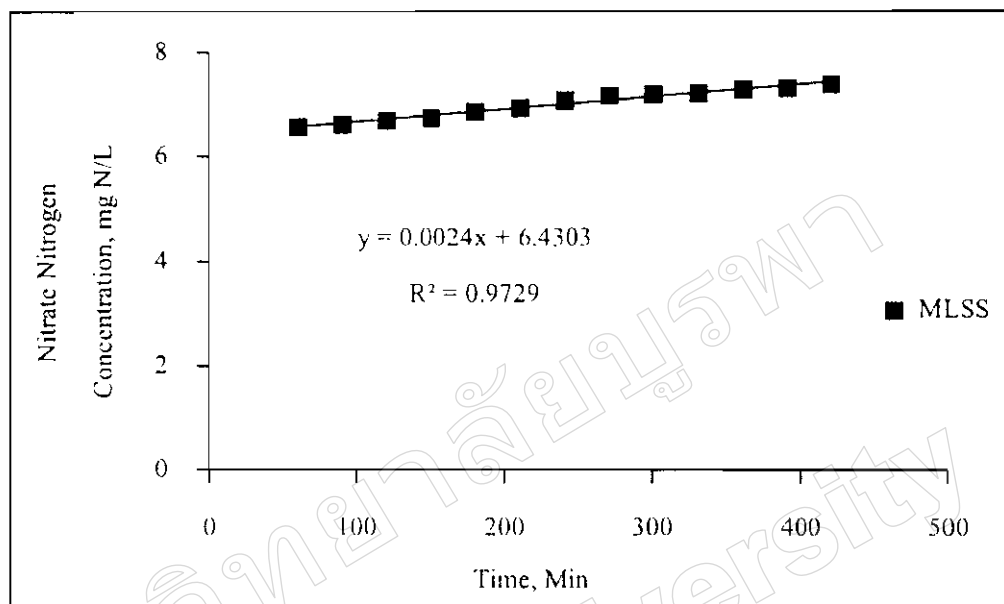
เมื่อพิจารณาระบบ AS พบว่าอัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยเท่ากับ 0.00 mg/L-min ดังภาพที่ 4-26 พบว่า ระบบ AS มีอัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนต่ำมาก ทำให้เกิดสารประกอบไนโตรทเกิดขึ้นในระบบน้อยมากดังแสดงในภาพที่ 4-13



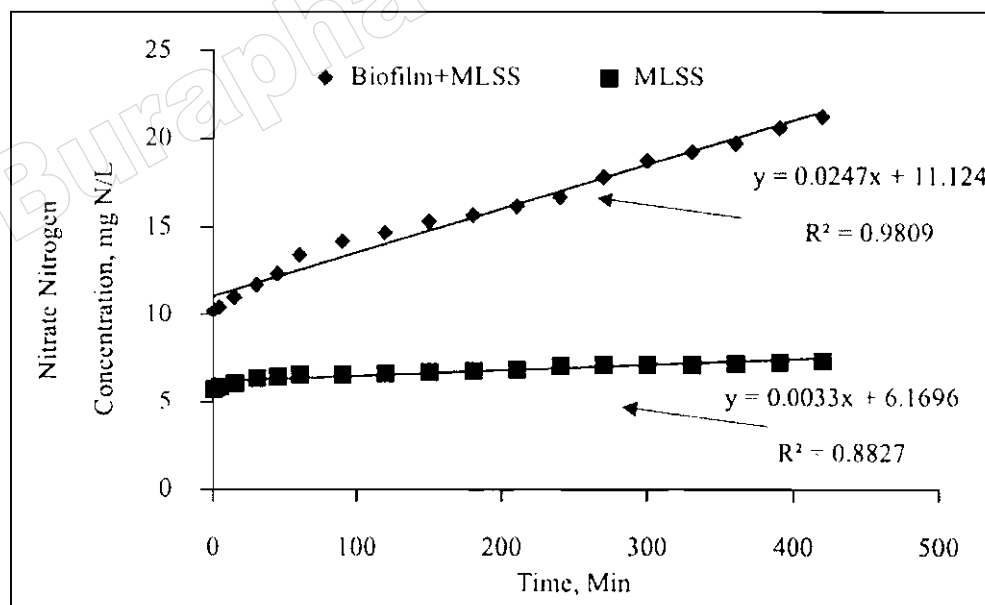
ภาพที่ 4-25 อัตราการกำจัดไนโตรทไนโตรเจนในระบบ IFAS 3 ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 8.5

เมื่อพิจารณาระบบ IFAS 1 ซึ่งเดินระบบในระยะแรก น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบมี pH เท่ากับ 7.5 และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วปรับ pH ของน้ำเสียเป็น 6.5 เดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัวอีกครั้งหนึ่ง ดังภาพที่ 4-27 พบว่า อัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์ม เท่ากับ 0.02 mg/L-min มีอัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยเท่ากับ 0.00 mg/L-min ทำให้มีอัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ 0.02 mg/L-min หรืออีกนัยหนึ่งจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนสารประกอบไนโตรทไนโตรเจนเป็นไนเตรทไนโตรเจนเป็นจุลินทรีย์ที่อยู่ในชั้นไบโอฟิล์ม เมื่อนำความเข้มข้นของจุลินทรีย์เทียบเท่าในชั้นไบโอฟิล์ม 327 mg VSS/L และความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอย 4610 mg VSS/L มาคำนวณอัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนจำเพาะได้เท่ากับ 0.09 mg N/mg VSS-day และ 0.00 mg N/mg VSS-day ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ที่ pH 6.5 จุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มบน

ตัวกลางในถังเติมอากาศสามารถเปลี่ยนไนโตรทไนโตรเจนเป็นไนเตรทไนโตรเจนได้ดีกว่า
จุลินทรีย์แขวนลอย

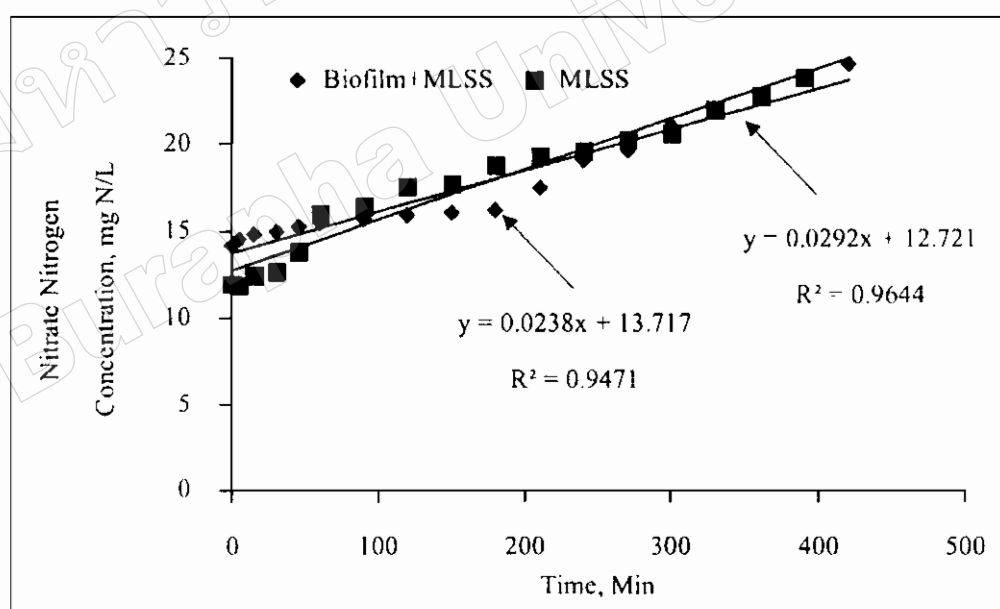


ภาพที่ 4-26 อัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนในระบบ AS ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5



ภาพที่ 4-27 อัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนในระบบ IFAS I ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 6.5

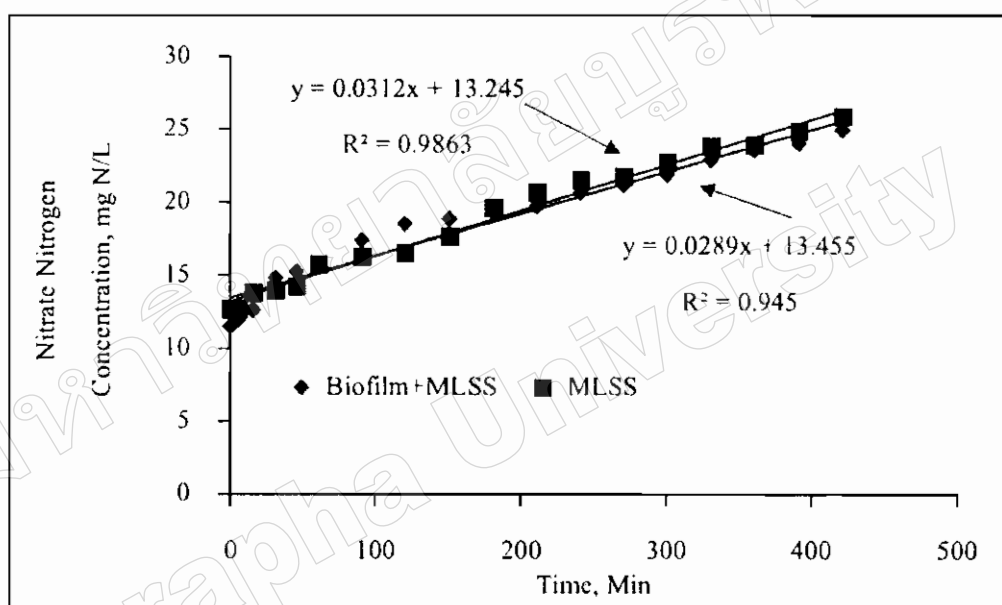
เมื่อพิจารณาระบบ IFAS 2 ที่ป้อนน้ำเสียที่มี pH เท่ากับ 7.5 ดังภาพที่ 4-28 พบว่า อัตราการเกิดไนโตรเจนในโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์ม เท่ากับ 0.02 mg/L-min อย่างไรก็ตาม พบว่า อัตราการเกิดไนโตรเจนในโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอย เท่ากับ 0.03 mg/L-min ดังนั้น อัตราการเกิดไนโตรเจนในโตรเจนของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์ม เท่ากับ -0.01 mg/L-min หรืออีกนัยหนึ่ง ไนโตรเจนถูกกำจัดออกไปด้วยอัตรา 0.01 mg/L-min เมื่อให้ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เทียบเท่าในชั้นไบโอฟิล์ม 398 mg VSS/L และความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอย 5060 mg VSS/L มาคำนวณอัตราการเกิดไนโตรเจนในโตรเจนจำเพาะจะได้เท่ากับ -0.02 mg N/mg VSS-day และ 0.01 mg N/mg VSS-day ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การติดตั้งตัวกลางลงในถังเดิมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS ทำให้สารประกอบไนโตรเจนในโตรเจนถูกกำจัดไปโดยจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์ม จากการศึกษาของ Ramli et al. (2012) พบว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส pH 7.2 ทำให้เกิดไบโอฟิล์มได้ดีกว่าที่ pH 5, 6.9, 8 และ 9 จากการศึกษาพบว่าเมื่อชั้นไบโอฟิล์มเกิดขึ้นได้ดี โดยดูจากค่าความเข้มข้นเทียบเท่าในชั้นไบโอฟิล์ม จึงส่งให้มีอัตราการกำจัดไนโตรเจนในโตรเจนในชั้นไบโอฟิล์มได้ดี



ภาพที่ 4-28 อัตราการเกิดไนโตรเจนในโตรเจนในระบบ IFAS 2 ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5

เมื่อพิจารณาระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 3 ที่เดินระบบด้วยค่า pH เท่ากับ 7.5 ต่อมาปรับ pH ของน้ำเสียเป็น 8.5 พบว่า อัตราการเกิดไนโตรเจนในโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ใน

ชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ 0.03 mg/L-min และมีอัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนของจุลินทรีย์แขวนลอยเท่ากับ 0.03 mg/L-min ดังภาพที่ 4-29 ทำให้สามารถคำนวณอัตราการกำจัดไนเตรทไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มเท่ากับ 0.00 mg/L-min เมื่อนำความเข้มข้นของจุลินทรีย์เทียบเท่าในชั้นไบโอฟิล์ม 356 mg VSS/L และความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอย 4400 mg VSS/L มาคำนวณอัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนจำเพาะจะได้เท่ากับ -0.01 mg N/mg VSS-day และ 0.01 mg N/mg VSS-day ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การติดตั้งตัวกลางลงในถังเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS ทำให้สารประกอบไนเตรทไนโตรเจนถูกกำจัดออกไปโดยจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์ม



ภาพที่ 4-29 อัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนในระบบ IFAS 3 ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 8.5

จากตารางที่ 4-4 พบว่าอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ AS มีอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนเกิดขึ้น ส่วนอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 พบว่า ระบบ IFAS 2 และ IFAS 3 สามารถกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนได้ดีกว่าระบบ IFAS 1 อย่างไรก็ตาม เป็นที่น่าสนใจว่า IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 นั้นเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้ดีโดยจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในระบบ แต่พบว่าที่ระบบ IFAS 2 เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันโดยจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มด้วย เป็นเพราะว่าที่ระบบ IFAS 2 เป็น pH ที่เหมาะสมสำหรับการเกิดชั้นไบโอฟิล์มของจุลินทรีย์ จึงทำให้มีปริมาณของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มอยู่มาก จึงส่งผลให้เพิ่มอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในชั้นไบโอฟิล์มขึ้น เมื่อพิจารณาอัตราการเกิด

ไนโตรเจนในโตรเจนของระบบ AS พบว่า มีการเกิดไนโตรเจนในโตรเจนขึ้นในระบบ ส่วนระบบ บำบัดน้ำเสีย IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 มีอัตราการกำจัดไนโตรเจนในโตรเจนและถูกกำจัดโดย จุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์ม แต่ระบบ IFAS 3 จะมีอัตราการกำจัดไนโตรเจนในโตรเจนได้สูงกว่าระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 โดยพิจารณาได้จากปริมาณคาร์โบไฮเดรตจำเพาะในระบบ IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 เท่ากับ 1568, 1584 และ 2044 Carbohydrate/g VSS ตามลำดับ ความหนาของชั้นไบโอฟิล์มที่มากส่งผลต่อประสิทธิภาพการแพร่ของออกซิเจนเข้าสู่ชั้นไบโอฟิล์มจนเกิดสภาวะไร้อากาศ จุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มจึงใช้ไนโตรเจนในโตรเจนที่เกิดขึ้นในชั้นไบโอฟิล์มเป็นตัวรับอิเล็กตรอน แทนออกซิเจนได้หรือเรียกกระบวนการนี้ว่า ANaerobic AMMonium OXidation (ANAMMOX) นั้นเอง (Strous et al., 1999) กระบวนการ ANAMMOX เป็นกระบวนการทางชีวภาพที่เปลี่ยน แอมโมเนียมไนโตรเจนและไนโตรเจนในโตรเจนไปเป็นก๊าซไนโตรเจน

เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดไนโตรเจนในโตรเจนของระบบ AS พบว่า มีการเกิดไนโตรเจนในโตรเจนต่ำมาก เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดไนโตรเจนในโตรเจนของระบบ IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 ในชั้นไบโอฟิล์ม พบว่า มีอัตราการเกิดไนโตรเจนในโตรเจนต่ำมาเช่นเดียวกัน นอกจากนั้น จุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มของระบบ IFAS 2 สามารถกำจัดไนโตรเจนในโตรเจนได้ดี เนื่องจากที่ ระบบ IFAS 2 pH มีความเหมาะสมสำหรับการเกิดชั้นไบโอฟิล์มจึงทำให้มีปริมาณของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มมาก เมื่อจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มมากจึงส่งผลให้มีศักยภาพในการเปลี่ยน สารประกอบไนโตรเจนที่เกิดขึ้นเป็นสารประกอบไนโตรเจนในโตรเจนได้ดี แต่ที่ระบบ IFAS 3 พบว่าไม่มีอัตราการเกิดหรือกำจัดไนโตรเจนในโตรเจนในชั้นไบโอฟิล์มเนื่องจากความหนาของชั้นไบโอฟิล์มที่มากส่งผลต่อประสิทธิภาพการแพร่ของออกซิเจนเข้าสู่ชั้นไบโอฟิล์มจนเกิดสภาวะไร้อากาศจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มจึงใช้ไนโตรเจนในโตรเจนที่เกิดขึ้นในชั้นไบโอฟิล์มเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนและเปลี่ยนไปเป็นแก๊สไนโตรเจนภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน นั้นเอง และที่ระบบ IFAS 1 พบว่ามีการสะสมของไนโตรเจนในโตรเจนในชั้นไบโอฟิล์มได้มาก

ตารางที่ 4-4 สรุปอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจน และอัตราการเกิดไนไตรท์ในไนโตรเจนและไนเตรทในโตรเจนของการทดลองระยะที่ 1

Chemical Component	AS (pH 7.5)	IFAS 1 (pH 6.5)			IFAS 2 (pH 7.5)			IFAS 3 (pH 8.5)		
		Overall	Biofilm*	MLSS	Overall	Biofilm*	MLSS	Overall	Biofilm*	MLSS
NH ₄ ⁺ (mg/L-min)	-0.03	-0.05	0.02	-0.07	-0.07	-0.02	-0.05	-0.07	0.03	-0.09
NO ₂ ⁻ (mg/L-min)	0.05	-0.02	-0.06	0.04	-0.02	-0.06	0.04	-0.03	-0.07	0.03
NO ₃ ⁻ (mg/L-min)	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	-0.01	0.03	0.03	0.00	0.03

หมายเหตุ *อัตราที่ได้จากการคำนวณ Overall – MLSS = Biofilm