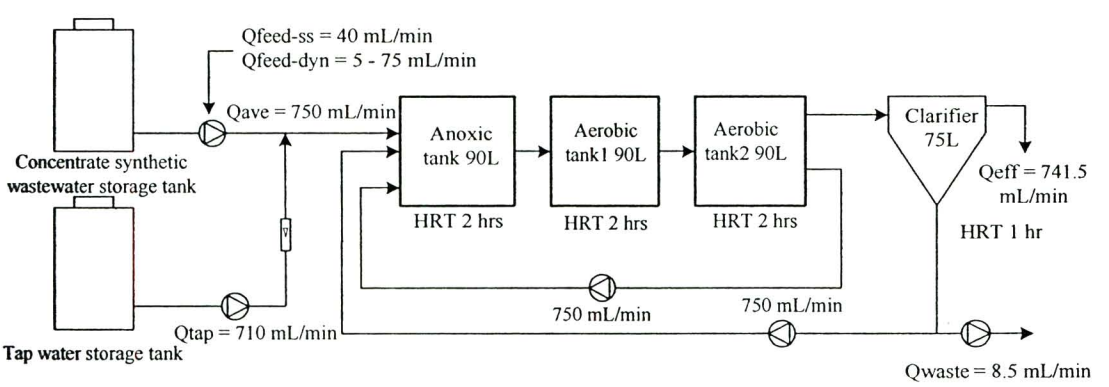
บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การทดลองหาอายุสลัดจ์ของระบบที่ตอบสนองต่อสภาวะผันแปรของภาระบรรทุกไนโตรเจน

ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ขึ้นอยู่กับอายุของจุลินทรีย์ในระบบ กล่าวคือ ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุสลัดจ์ของระบบมากขึ้น อายุสลัดจ์ที่แนะนำสำหรับเดินระบบกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ เช่น กระบวนการเอ็มแอลอี (MLE) อยู่ระหว่าง 7 – 20 วัน (Geradi, 2002; Metcalf and Eddy, 2003) การเดินระบบที่อายุสลัดจ์น้อยกว่าค่าอายุสลัดจ์ต่ำสุดที่กำหนดไว้จะส่งผลให้ออโตทรอฟิกแบคทีเรียที่มีบทบาทในการกำจัดไนโตรเจนถูกพัดพาทิ้งออกจากระบบจนหมด การเดินระบบในสภาวะเช่นนี้จะไม่มีการกำจัดไนโตรเจนเกิดขึ้น ยกเว้นไนโตรเจนบางส่วนที่นำไปสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ประมาณร้อยละ 25 – 30 เท่านั้น (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2542) รูปแบบและรายละเอียดทางชลศาสตร์กระบวนการสายหลักแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องและรายละเอียดทางชลศาสตร์ของกระบวนการสายหลัก (กระบวนการ MLE)

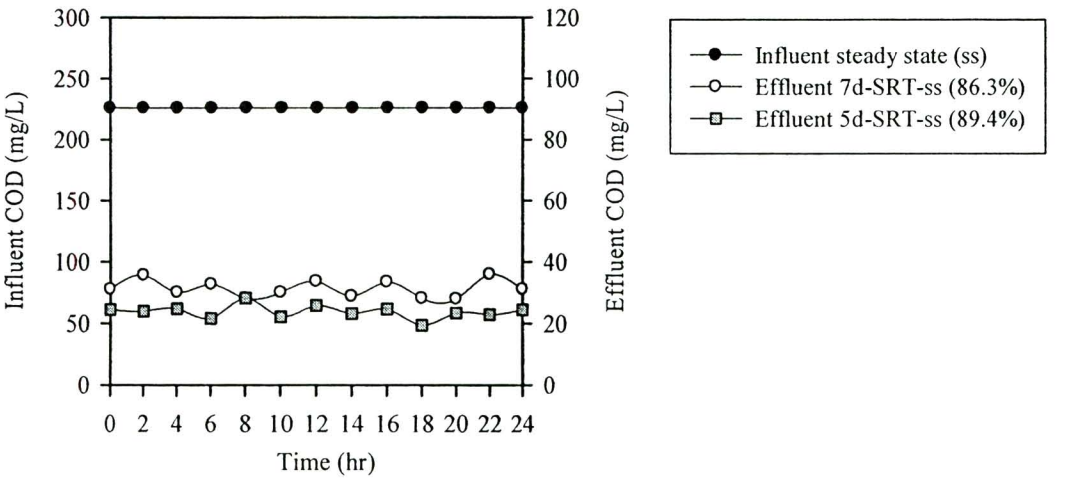
การทดลองในขั้นตอนแรกนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนและการตอบสนองของระบบภายใต้สภาวะภาระบรรทุกคงที่ (Steady state, ss) และภายใต้สภาวะภาระบรรทุกผันแปร (Dynamic, dyn) ของสารอินทรีย์ในกรณีการเดินระบบที่อายุสลัดจ์ต่ำกว่าอายุสลัดจ์ที่แนะนำสำหรับการเดินระบบโดยทั่วไป โดยเริ่มทำการทดลองที่อายุสลัดจ์เฉลี่ยระบบ 7 วัน และหลังจากนั้นลดอายุสลัดจ์เฉลี่ยระบบลงไปที่ 5 วัน และเดินระบบในรูปแบบพื้นฐาน การเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองและตัวอย่างน้ำทิ้งออกจากระบบ แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองและตัวอย่างน้ำทิ้งออก การทดลองการเดินระบบในรูปแบบพื้นฐาน

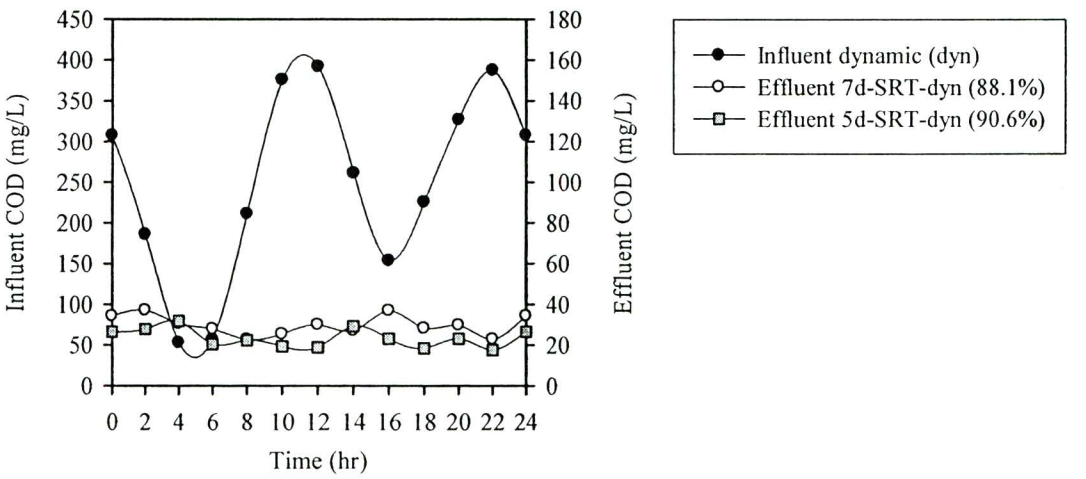
การทดลอง	อายุสลัดจ์ระบบ (วัน)	การเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลอง	
		ภายใต้สภาวะคงที่	ภายใต้สภาวะผันแปร
7d-SRT	7	3 วัน (36 ตัวอย่าง)	3 วัน (36 ตัวอย่าง)
5d-SRT	5	3 วัน (36 ตัวอย่าง)	3 วัน (36 ตัวอย่าง)

จากผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์อายุสลัดจ์ระบบเฉลี่ย 7 (7d-SRT-ss) และ 5 วัน (5d-SRT-ss) มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 86.3 และ 89.4 (รูปที่ 4.2) (ข้อมูลการทดลองที่แสดงในกราฟเป็นข้อมูลเฉลี่ยของการทดลองในช่วงระยะเวลา 3 วัน) และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์อายุสลัดจ์ระบบเฉลี่ย 7 วัน (7d-SRT-dyn) และ 5 วัน (5d-SRT-dyn) มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 88.1 และ 90.6 (รูปที่ 4.3)

การเดินระบบที่อายุสลัดจ์ 5 วัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าสูงกว่าการเดินระบบที่อายุสลัดจ์ระบบ 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ง) และแนวโน้มของค่าซีโอดีในน้ำทิ้งออกมีลักษณะคงที่เช่นเดียวกับแนวโน้มของค่าซีโอดีในน้ำเสียเข้า การทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงข้อดีของการเดินระบบที่อายุสลัดจ์ต่ำซึ่งจะทำให้จุลินทรีย์ในระบบไวงาน (Active) สูงกว่าการเดินระบบที่ค่าอายุสลัดจ์สูง



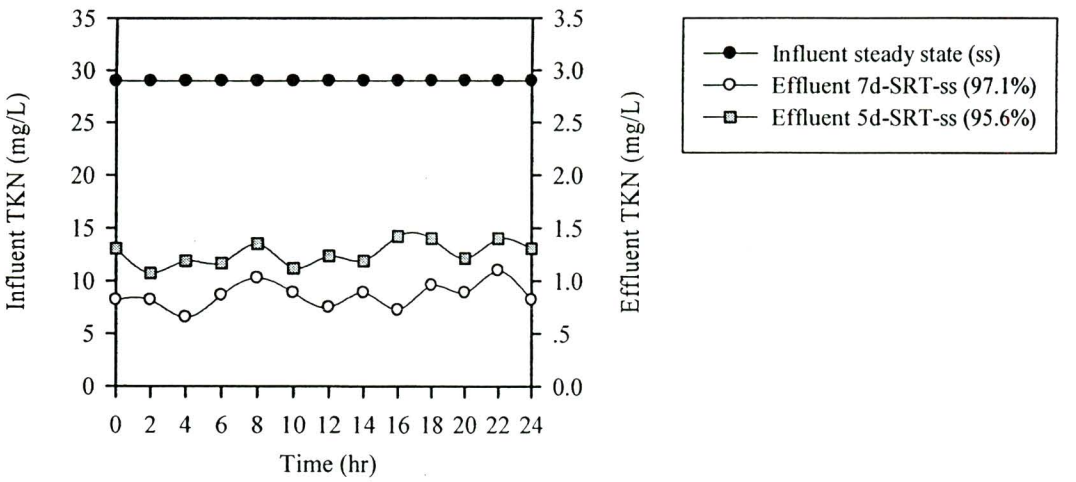
รูปที่ 4.2 แนวโน้มค่าซีโอดีการทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ อายุสลัดจ์ระบบ 5 และ 7 วัน เดินระบบในรูปแบบพื้นฐาน



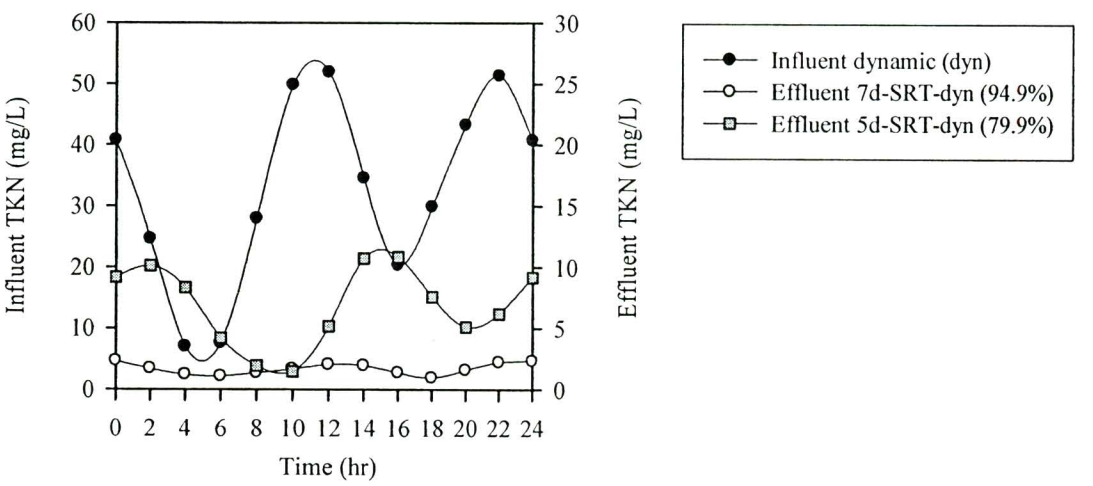
รูปที่ 4.3 แนวโน้มค่าซีโอดีการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ อายุสลัดจ์ระบบ 5 และ 7 วัน เดินระบบในรูปแบบพื้นฐาน

ในทางตรงกันข้ามเมื่อลดอายุสลัดจ์ระบบจาก 7 วัน เป็น 5 วัน ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ลดลงจากร้อยละ 97.1 เหลือร้อยละ 95.6 (รูปที่ 4.4) และในทำนองเดียวกันภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนลดลงจากร้อยละ 94.9 เหลือร้อยละ 79.9 (รูปที่ 4.5) ไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีค่าเฉลี่ย 1.6 มิลลิกรัม/ลิตร ที่อายุสลัดจ์ระบบ 7 วัน และ 6.4 มิลลิกรัม/ลิตร ที่อายุสลัดจ์ระบบ 5 วัน และมีค่าสูงสุดประมาณ 11.5 มิลลิกรัม/ลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนการเดิน

ระบบที่อายุสลัดจ์ระบบ 5 วัน มีค่าต่ำกว่าที่อายุสลัดจ์ระบบ 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



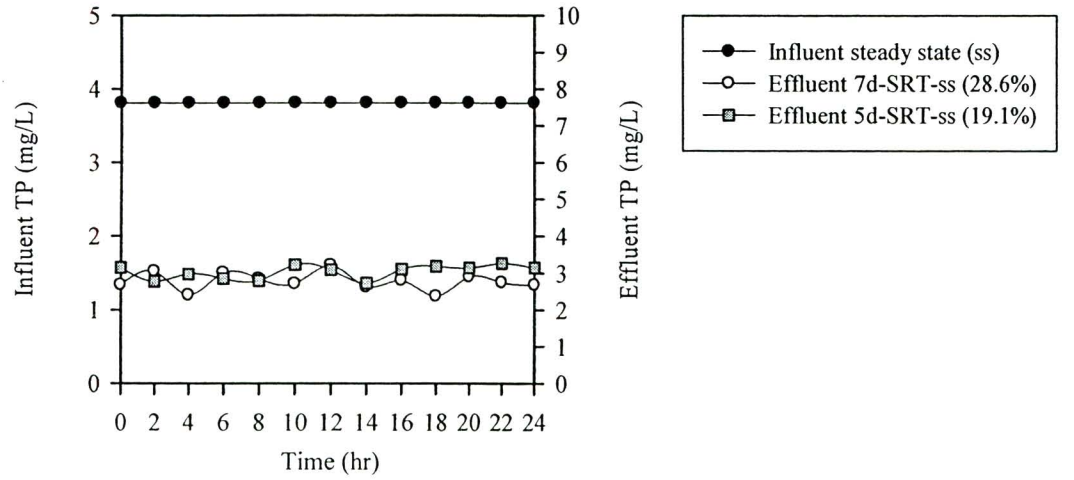
รูปที่ 4.4 แนวโน้มค่าทีเคเอ็นการทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ อายุสลัดจ์ระบบ 5 และ 7 วัน เดินระบบในรูปแบบพื้นฐาน



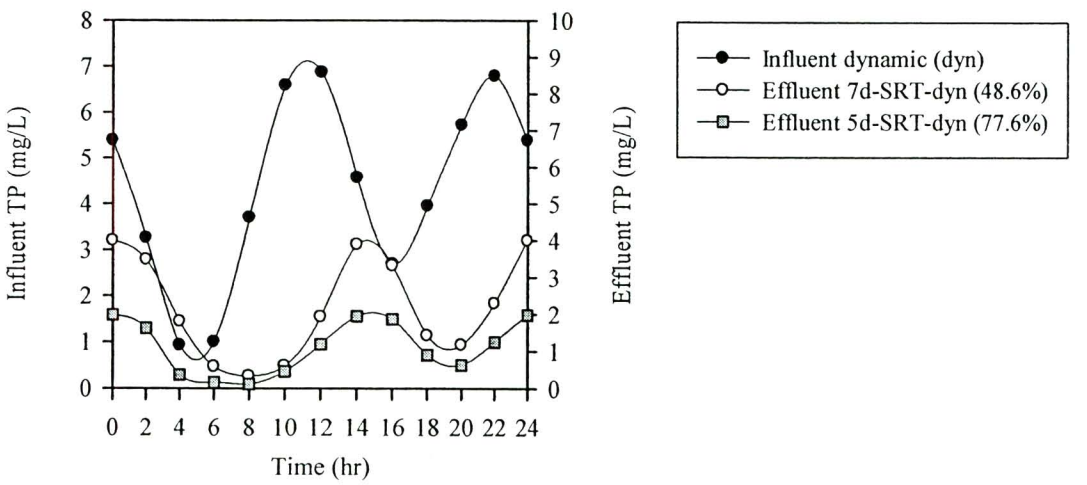
รูปที่ 4.5 แนวโน้มค่าทีเคเอ็นการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ อายุสลัดจ์ระบบ 5 และ 7 วัน เดินระบบในรูปแบบพื้นฐาน

ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสเมื่อลดอายุสลัดจ์ระบบลงจาก 7 วัน เป็น 5 วัน การทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์พบว่ามีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับไนโตรเจนจากร้อย

ละ 28.6 เหลือร้อยละ 19.1 (รูปที่ 4.6) ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์กลับมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากร้อยละ 48.6 เป็นร้อยละ 77.6 (รูปที่ 4.7)



รูปที่ 4.6 แนวโน้มค่าฟอสฟอรัสการทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ อายุสลัดจ์ระบบ 5 และ 7 วัน เดินระบบในรูปแบบพื้นฐาน



รูปที่ 4.7 แนวโน้มค่าฟอสฟอรัสการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ อายุสลัดจ์ระบบ 5 และ 7 วัน เดินระบบในรูปแบบพื้นฐาน

จากผลการทดลองที่ผ่านมาจะพบว่า การกำจัดซีโอดีไม่ได้รับผลกระทบจากอายุสลัดจ์ของระบบ เนื่องจากการเดินระบบที่อายุสลัดจ์ต่ำจุลินทรีย์จะมีระดับกิจกรรมสูงกว่าการเดินระบบที่อายุสลัดจ์สูง ดังนั้นค่าซีโอดีในน้ำทิ้งออกจึงค่อนข้างคงที่แม้ว่าจะเกิดการผันแปรของค่าซีโอดีในน้ำเสีย

เข้าก็ตาม เมื่อพิจารณาระยะการแบ่งตัวของจุลินทรีย์ที่กำจัดอินทรีย์คาร์บอนมีช่วงเวลา 15 – 30 นาที (Geradi, 2002) เปรียบเทียบกับระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นที่ป้อนเข้าสู่ระบบทุก 15 นาที พบว่าจุลินทรีย์สามารถปรับตัวและทำการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนที่เพิ่มขึ้นได้ในทันที ดังนั้นน้ำทิ้งออกจึงมีค่าซีโอดีไม่เปลี่ยนแปลงตามลักษณะการผันแปรของค่าซีโอดีในน้ำเสียเข้า

ในขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงระยะการแบ่งตัว 2 – 3 วัน (Geradi, 2002) ของออโตทรอฟิกแบคทีเรียซึ่งมีบทบาทสำคัญในการกำจัดไนโตรเจนพบว่า การผันแปรของไนโตรเจนเกิดขึ้นเร็วกว่าระยะการแบ่งตัว ขณะที่ปริมาณจุลินทรีย์มีค่าคงที่จะมีอัตราการกำจัดไนโตรเจนจำเพาะสูงสุดคงที่และเมื่อเกิดการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนในน้ำเสียเข้าเร็วกว่าช่วงระยะเวลาการแบ่งตัวจึงทำให้ไนโตรเจนหลงเหลือในน้ำทิ้งออกสูงขึ้นตามไปด้วยและมีลักษณะการผันแปรหรือแนวโน้มเหมือนกับไนโตรเจนในน้ำเสียเข้า ค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกสูงสุดจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อลดอายุสลัดจ์ของระบบลง จากผลการทดลองในขั้นตอนนี้สามารถสรุปได้ว่าที่อายุสลัดจ์ระบบ 5 วัน ระบบตอบสนองต่อการผันแปรของภาระบรรทุกมากกว่าอายุสลัดจ์ระบบ 7 วัน

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ซึ่งให้ผลตรงกันข้ามกับการทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียนำร่อง (กระบวนการ MLE) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ออกแบบสำหรับการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ ดังนั้นการกำจัดฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จึงถูกนำไปใช้สำหรับการสร้างเซลล์โดยเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรียเท่านั้น

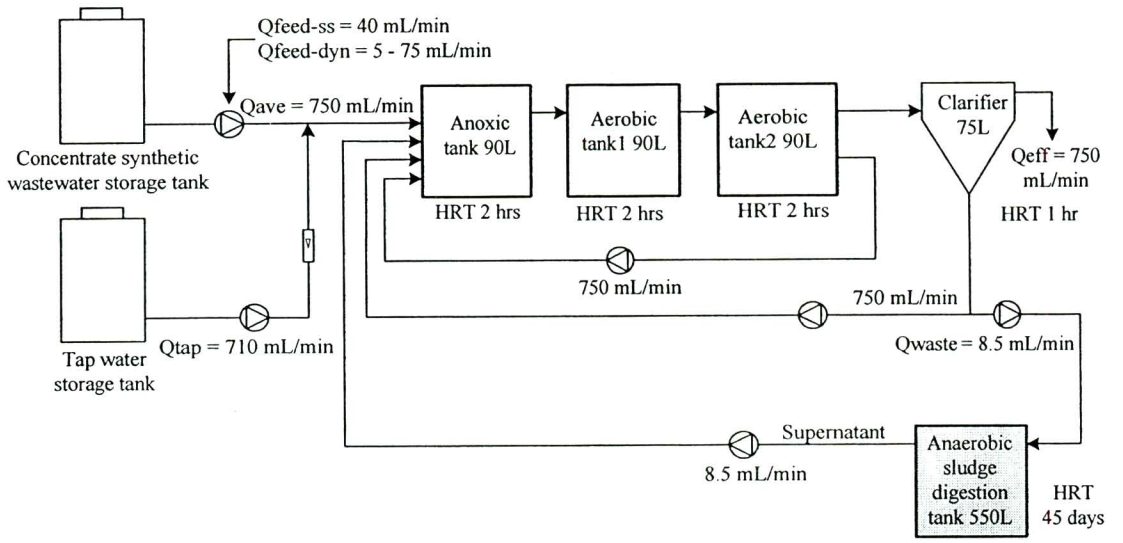
เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอย (Mixed liquor suspended solids, MLSS) การทดลองที่อายุสลัดจ์ 7 วัน มีค่าเฉลี่ย 3,906 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่ามีค่าสูงกว่าการทดลองที่อายุสลัดจ์ 5 วัน ซึ่งมีค่า MLSS เฉลี่ย 3,032 มิลลิกรัม/ลิตร แต่มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสูงกว่าเนื่องมาจากการทดลองที่อายุสลัดจ์เฉลี่ย 5 วัน มีปริมาณจุลินทรีย์ที่ไวงานมากกว่า (Grady *et al.*, 1999) และมีปริมาณซีโอดีเข้าระบบเฉลี่ยสูงกว่าการเดินระบบภายใต้สภาวะคงที่ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ (รูปที่ 4.3)

จากรูปที่ 4.5 และ 4.7 พบว่าตำแหน่งสูงสุดของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในน้ำเสียเข้าอยู่ที่เวลาประมาณ 11.00 น. และในขณะเดียวกันตำแหน่งสูงสุดค่าความเข้มข้นในน้ำทิ้งออกอยู่ที่เวลาประมาณ 15.00 น. ซึ่งมีช่วงระยะล่าช้าหรือเกิดการหน่วงประมาณ 4 ชม. เกิดเนื่องมาจากระยะเวลาเก็บกักจริงของระบบทั้งหมดของถังปฏิกิริยากวนสมบูรณ์แบบไหลต่อเนื่องและมีการหมุนเวียนสลัดจ์กลับไปยังต้นทางของกระบวนการ จากรูปที่ 4.1 ค่าออกแบบระยะเวลาเก็บกักของถังแอนอกซิก 2 ชม. และถังเติมอากาศ 4 ชม. รวมเวลาเก็บกัก 6 ชม.

จากพารามิเตอร์เดินระบบที่กำหนดอัตราการหมุนเวียนสลัดจ์ร้อยละ 100 ของอัตราการไหลน้ำเสียเข้าเฉลี่ย ส่งผลให้อัตราการไหลภายในระบบจริงเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ถังปฏิกิริยาในส่วนนี้จึงมีเวลาเก็บกักจริงประมาณ 3 ชม. ถังตกตะกอนมีค่าออกแบบเวลาเก็บกัก 1.7 ชม. ปริมาตรสำรองสำหรับพักสลัดจ์ให้มีการอัดตัวที่ก้นถังตกตะกอนประมาณ 1 ใน 3 ส่วน ดังนั้นจึงเหลือปริมาตรที่ใช้งานจริงประมาณ 2 ใน 3 ส่วน หรือประมาณ 1 ชม. รวมระยะเวลาเก็บกักทั้งระบบจริงประมาณ 4 ชม. จากข้อมูลผลการทดลองที่แนวโน้มการผันแปรในน้ำทิ้งออกเกิดขึ้นล่าช้าหรือเกิดการหน่วงขึ้นหลังจากป้อนน้ำเสียเข้าต้นทางของระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องประมาณ 4 ชม. สามารถอธิบายได้จากพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

4.2 การทดลองหมุนเวียนน้ำทิ้งจากบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง

การทดลองในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนและการตอบสนองของระบบในสภาวะคงที่และสภาวะผันแปรของภาระบรรทุกไนโตรเจนในกรณีหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง (รูปแบบและรายละเอียดทางชลศาสตร์ของระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องแสดงในรูปที่ 4.8) การบำบัดน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ตามวิธีนี้ถือว่าเป็นวิธีพื้นฐานและยอมรับโดยทั่วไป น้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์มีค่าซีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสเฉลี่ย 406, 356 และ 82.5 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และทำการทดลองที่อายุสลัดจ์ระบบเฉลี่ย 5 วัน ซึ่งเป็นค่าอายุสลัดจ์ที่ได้จากผลการทดลองในข้อที่ 4.1 โดยทดลองเดินระบบใน 2 สภาวะ ได้แก่ การเดินระบบภายใต้สภาวะคงที่และภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ รายละเอียดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2

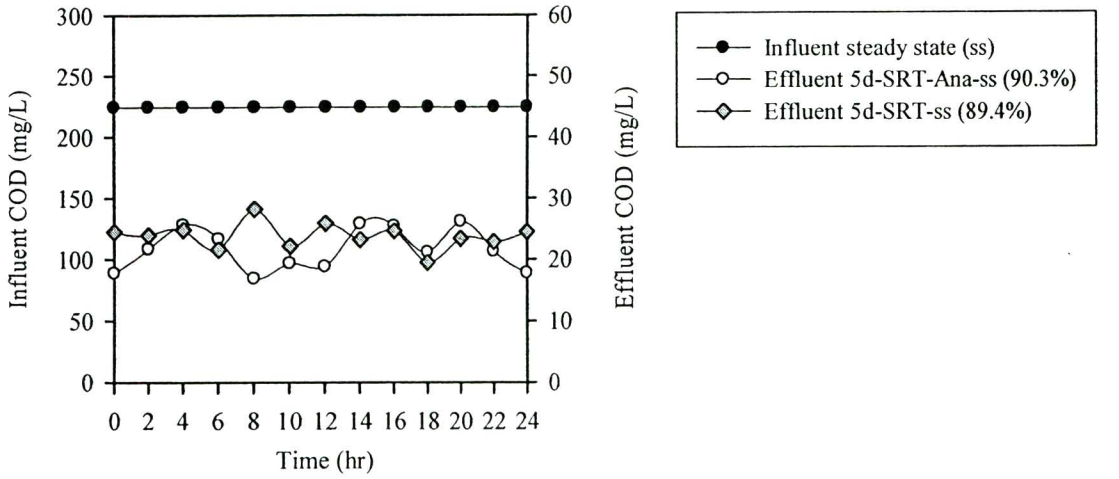


รูปที่ 4.8 รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องที่มีการหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง

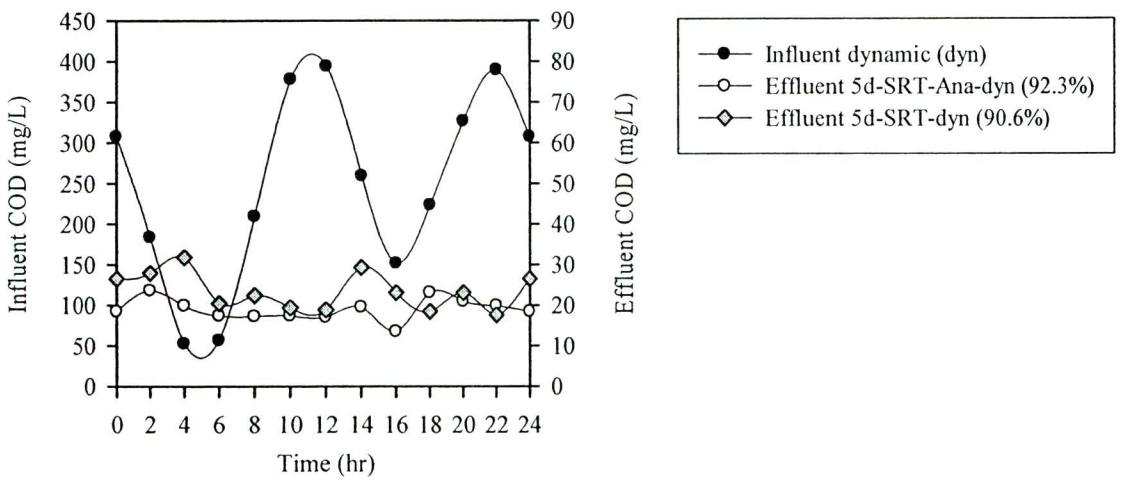
ตารางที่ 4.2 รายละเอียดการทดลองหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง

การทดลอง	อายุสลัดจ์ระบบ (วัน)	การเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลอง	
		ภายใต้สภาวะคงที่	ภายใต้สภาวะผันแปร
5d-SRT-Ana	5	3 วัน (36 ตัวอย่าง)	3 วัน (36 ตัวอย่าง)

จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 90.3 เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีการทดลองที่อายุสลัดจ์ระบบ 5 วัน เท่ากัน และมีรูปแบบการเดินระบบแบบพื้นฐานซึ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 89.4 (รูปที่ 4.9) และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 92.3 (รูปที่ 4.10) ซึ่งสูงกว่าการเดินระบบแบบพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบแนวโน้มค่าซีโอดีภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ระหว่าง การเดินระบบแบบพื้นฐานและการหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ กลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง

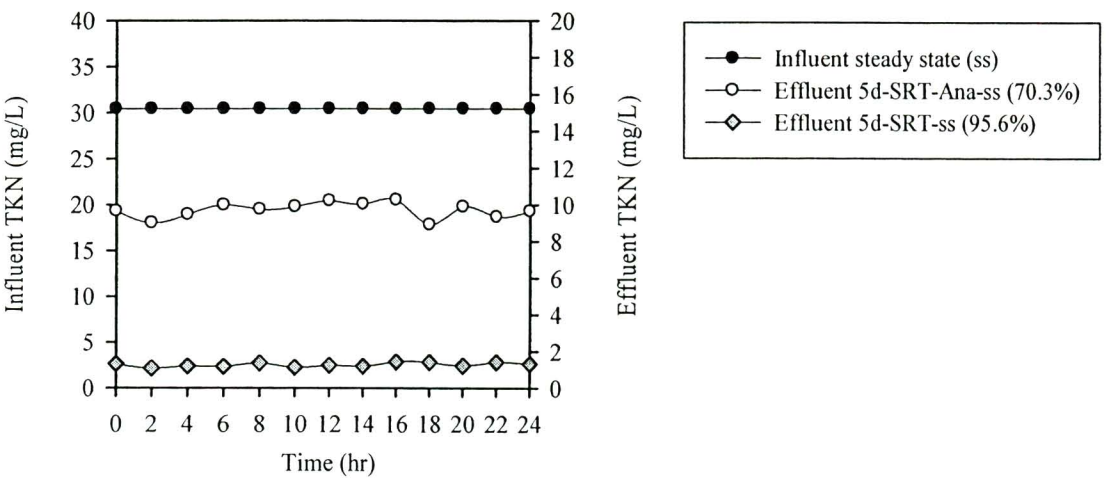


รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบแนวโน้มค่าซีโอดีภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ระหว่าง การเดินระบบแบบพื้นฐานและการหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ กลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง

ผลการทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบลดลงเหลือเพียงร้อยละ 70.3 (รูปที่4.11) ไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีค่าเฉลี่ย 9.7 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสูงกว่าค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกการเดินระบบแบบพื้นฐานที่อายุสลัดจ์ 5 วัน

เท่ากัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 1.3 มิลลิกรัม/ลิตร แนวโน้มของค่าซีโอดีในน้ำทิ้งออกมีลักษณะคงที่เหมือนกับแนวโน้มค่าไนโตรเจนในน้ำเสียเข้า

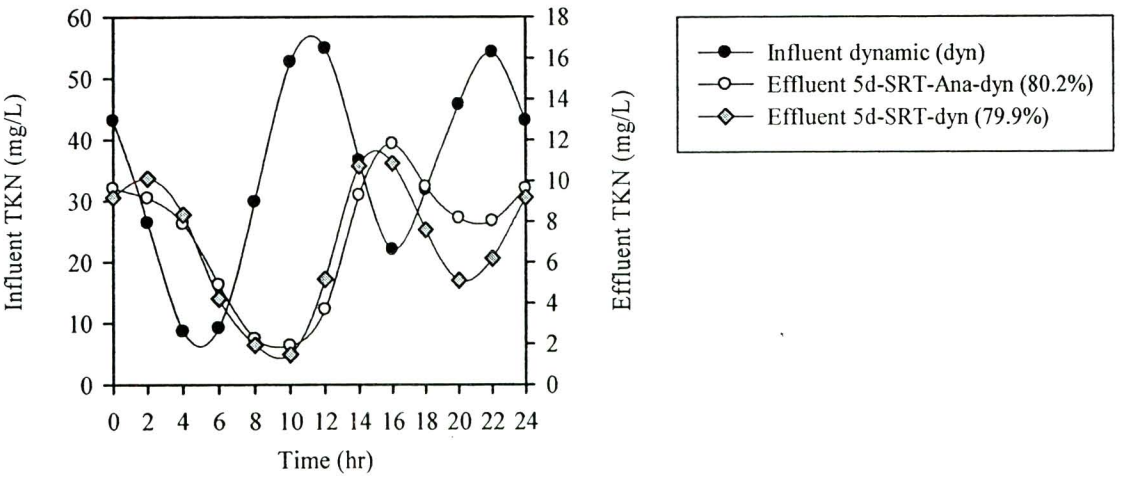
ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า การหมุนวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับเข้ามาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรงซึ่งเป็นวิธีที่นิยมปฏิบัติและยอมรับโดยทั่วไปไม่ได้เป็นการช่วยทำให้กระบวนการสายหลักมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้นแม้ว่าจะเป็นการนำคาร์บอนที่เกิดจากการย่อยสลัดจ์ส่วนเกินแบบแอนแอโรบิกมาเติมให้กับกระบวนการสายหลักก็ตาม สาเหตุอาจเนื่องมาจากการทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีปริมาณคาร์บอนไม่เพียงพอที่สำหรับกระบวนการดีไนตริฟิเคชันจึงทำให้มีไนโตรเจนเหลือออกมากับน้ำทิ้งเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย การทดลองเดินระบบในรูปแบบพื้นฐานและหมุนวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับเข้ามาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง น้ำเสียเข้ามีค่าซีโอดีเฉลี่ย 222 และ 225 มิลลิกรัม/ลิตร ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 28.2 และ 32.7 มิลลิกรัม/ลิตร



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบแนวโน้มค่าไนโตรเจนภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ระหว่างการเดินระบบแบบพื้นฐานและการหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง

ผลการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 80.2 (รูปที่ 4.12) เมื่อเปรียบเทียบกับการเดินระบบแบบพื้นฐานที่อายุสลัดจ์ 5 วัน เท่ากันพบว่าประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีค่าเฉลี่ย 7.2 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าสูงสุดประมาณ 11.8 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสูงกว่าค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกของการเดินระบบแบบพื้นฐานที่อายุสลัดจ์ 5 วัน เท่ากัน โดยไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีค่าเฉลี่ย 6.4 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าสูงสุด

ประมาณ 11.5 มิลลิกรัม/ลิตร การทดลองเดินระบบในรูปแบบพื้นฐานและการทดลองหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับเข้ามาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง น้ำเสียเข้ามีค่าซีโอดีเฉลี่ย 247 และ 246 มิลลิกรัม/ลิตร ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 33.4 และ 36.4 มิลลิกรัม/ลิตร



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบแนวโน้มค่าไนโตรเจนภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ระหว่างการเดินระบบแบบพื้นฐานและการหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง

จากข้อมูลการทดลองพบว่าการเดินระบบภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนสูงกว่าการเดินระบบภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สาเหตุเนื่องมาจากการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีปริมาณคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วยจึงส่งผลให้กระบวนการดีไนตริฟิเคชันเกิดได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม น้ำทิ้งออกจากระบบยังคงมีค่าไนโตรเจนสูงและยังคงมีแนวโน้มการผันแปรเกิดขึ้นในลักษณะเช่นเดียวกับการเดินระบบในรูปแบบพื้นฐานตามรูปแบบกระบวนการที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

การเดินระบบกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์สำหรับการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ (กระบวนการ MLE) ที่อายุสลัดจ์ต่ำกว่าช่วงที่แนะนำ 7 – 20 วัน (Geradi, 2002; Metcalf and Eddy, 2003) มีผลทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนลดลงและเกิดการผันแปรของค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกเหมือนกับลักษณะการผันแปรของไนโตรเจนในน้ำเสียเข้า สาเหตุเนื่องมาจากออโตทรอฟิกแบคทีเรียที่มีบทบาทในการกำจัดไนโตรเจนมีจำนวนลดลงจากการเดินระบบที่อายุสลัดจ์ต่ำและมีค่าเข้าใกล้กับค่าอายุสลัดจ์ต่ำสุดที่จะเกิดการพัดพาเอาออโตทรอฟิกแบคทีเรียทิ้ง

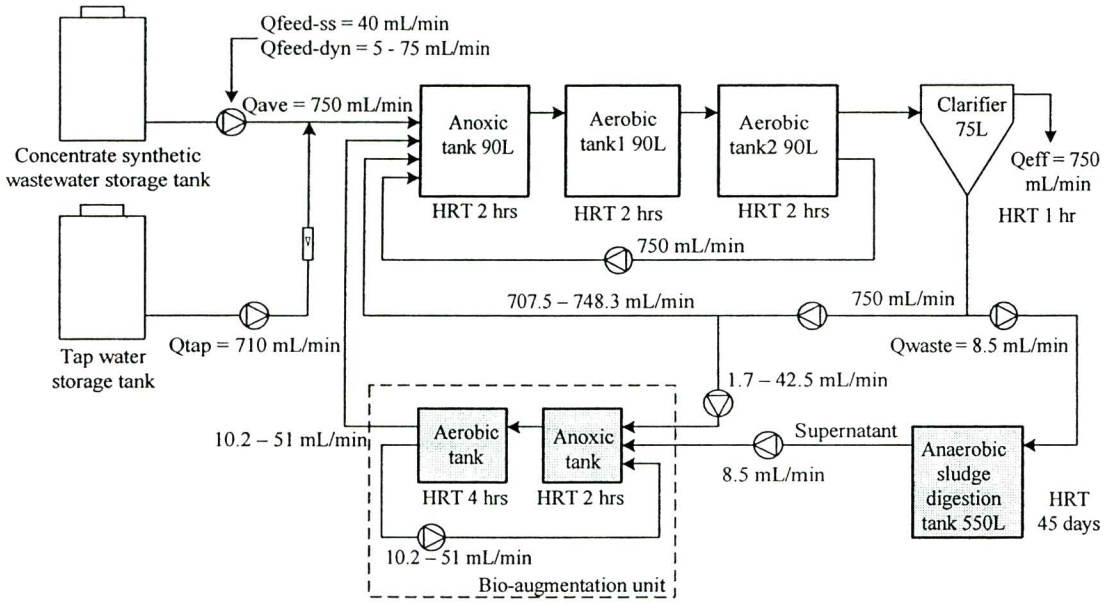
ออกไปจากระบบจนหมดซึ่งมีความเสี่ยงที่จะเกิดความล้มเหลวในการเดินระบบสำหรับกำจัดไนโตรเจนได้

แต่อย่างไรก็ตาม การเดินระบบที่อายุสลัดจ์ต่ำกลับพบว่าจุลินทรีย์ไวงานในระบบมีสัดส่วนที่เพิ่มสูงขึ้นและลดความต้องการออกซิเจนของระบบเนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ใช้สำหรับการย่อยสลายจุลินทรีย์ที่ตายหรือเน่าเปื่อยลดลง (Grady *et al.*, 1999) การเดินระบบที่อายุสลัดจ์ต่ำเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรียจะเป็นจุลินทรีย์กลุ่มเด่นในระบบ และเนื่องจากออโตทรอฟิกแบคทีเรียเจริญเติบโตสู้เฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรียไม่ได้และจะไม่เจริญเติบโตจนมีปริมาณที่มีนัยสำคัญในสลัดจ์ตราบใดที่ระบบยังมีความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนสูงอยู่ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

จากเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นข้อจำกัดที่สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในกระบวนแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่เดินระบบที่อายุสลัดจ์ต่ำ โดยเฉพาะสิ่งแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของออโตทรอฟิกแบคทีเรียในกระบวนการสายหลัก เช่น น้ำเสียชุมชนที่มีค่าซีโอดีสูงแต่มีค่าไนโตรเจนต่ำ ดังนั้นเพื่อให้ระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนได้สูงขึ้นและมีศักยภาพเพียงพอที่จะรองรับการผันแปรของภาระบรรทุกไนโตรเจนในรอบวันได้จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนหรือสัดส่วนของออโตทรอฟิกแบคทีเรียในกระบวนการสายหลักให้มากขึ้นด้วยการเพิ่มพูนจุลินทรีย์จากกระบวนการสายรองของระบบซึ่งใช้น้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์เป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการเจริญเติบโตของออโตทรอฟิกแบคทีเรียเนื่องจากน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์มีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงแต่มีความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนหรือซีโอดีต่ำและมีอุณหภูมิสูงซึ่งเหมาะสำหรับสำหรับการเจริญเติบของออโตทรอฟิกแบคทีเรียมากกว่าน้ำเสียชุมชน

4.3 การทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ด้วยกระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์

การทดลองหาอายุสลัดจ์ของระบบที่ตอบสนองต่อสภาวะผันแปรของภาระบรรทุกไนโตรเจนและการทดลองหมุนเวียนน้ำทิ้งจากบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง ซึ่งเป็นการทดลองอ้างอิงที่สำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นรูปแบบการเดินระบบที่เป็นมาตรฐานและเป็นที่นิยมและยอมรับโดยทั่วไป การทดลองในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ด้วยกระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ตลอดจนสัดส่วนของสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ในถังปฏิกิริยาสำหรับการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ที่เหมาะสม ซึ่งได้รวมการเดินระบบทั้งกระบวนการสายหลักและกระบวนการสายรองไปพร้อมกันและเดินระบบที่อายุสลัดจ์เฉลี่ย 5 วัน รูปแบบกระบวนการและรายละเอียดทางชลศาสตร์ของระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องที่รวมกระบวนการสายหลักเข้ากับกระบวนการสายรอง

การทดลองในขั้นตอนนี้ได้ลดจำนวนการเก็บรวบรวมข้อมูลและตัวอย่างน้ำทิ้งออกลง เพื่อให้สามารถทำการทดลองได้รวดเร็วขึ้นและลดการทำงานที่ไม่จำเป็นลง การทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ใช้เวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองและตัวอย่างน้ำทิ้งออก 1 วัน และการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ใช้เวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองและตัวอย่างน้ำทิ้งออก 2 วัน และเดินระบบต่อเนื่องอย่างน้อย 10 วัน (2 เท่าของอายุสลัดจ์ระบบ) ก่อนทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในแต่ละเงื่อนไขการทดลองรายละเอียดการทดลองในขั้นตอนนี้แสดงในตารางที่ 4.3

เนื่องจากได้ออกแบบระยะเวลาเก็บกักของถังปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์ไว้ที่ 6 ชม. (ระยะเวลาเก็บกักถังแอนอกซิกและถังแอโรบิกเท่ากับ 2 และ 4 ชม.) ซึ่งเท่ากับระยะเวลาเก็บกักของถังแอนอกซิกและถังแอโรบิกในกระบวนการสายหลัก การเปลี่ยนสัดส่วนของสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ในแต่ละการทดลองจะทำให้ปริมาตรรวมของถังปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เนื่องจากการทดลองได้กำหนดให้อัตราการไหลของน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์คงที่เฉลี่ย 8.5 มิลลิลิตร/นาที ลักษณะของน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ส่วนเกินแบบแอนแอโรบิกแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดการทดลองการเพิ่มพูนจุลินทรีย์

การทดลอง	สัดส่วน สลัดจ์ : น้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์	การเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลอง	
		ภายใต้ สภาวะคงที่	ภายใต้ สภาวะผันแปร
Bio0.2:1	0.2 : 1	1 วัน (12 ตัวอย่าง)	2 วัน (24 ตัวอย่าง)
Bio1:1	1 : 1	1 วัน (12 ตัวอย่าง)	2 วัน (24 ตัวอย่าง)
Bio3:1	3 : 1	1 วัน (12 ตัวอย่าง)	2 วัน (24 ตัวอย่าง)
Bio3:1-2TKN	3 : 1 (ความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำเสียเข้าเพิ่มขึ้น 2 เท่า)	-	1 วัน (12 ตัวอย่าง)
Bio3:1-syn	3 : 1 (น้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์สังเคราะห์)	-	1 วัน (12 ตัวอย่าง)
Bio5:1	5 : 1	1 วัน (12 ตัวอย่าง)	2 วัน (24 ตัวอย่าง)

ตารางที่ 4.4 ลักษณะน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ส่วนเกินแบบแอนแอโรบิก

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย
ซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	178
ทีเคเอ็น (มิลลิกรัม/ลิตร)	492
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/ลิตร)	65
MLSS (มิลลิกรัม/ลิตร)	94

การปรับเปลี่ยนสัดส่วนของสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ใหม่จำเป็นต้องปรับเพิ่มปริมาตรของถังปฏิกิริยาสำหรับการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ด้วยเพื่อให้ระยะเวลาเก็บกักมีค่าเฉลี่ยเท่ากันทุกการทดลอง รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.5 และพารามิเตอร์การควบคุมการทำงานของถังปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ค่าการออกแบบถังปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์

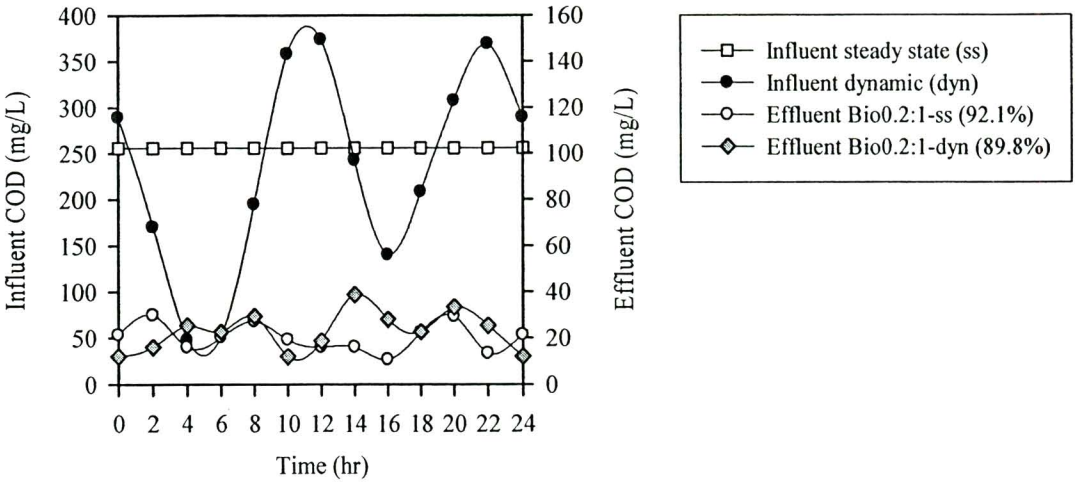
การทดลอง	ปริมาตรรวมถังแอนอกซิกและถังแอโรบิก (ลิตร)	สัดส่วนปริมาตรต่อกระบวนการสายหลัก (ร้อยละ)	อัตราการป้อนสลัดจ์จากระบบหมุนเวียน (มิลลิลิตร/นาที)
Bio0.2:1	3.7	1.4	1.7
Bio1:1	6.2	2.3	8.5
Bio3:1	12.3	4.5	25.5
Bio5:1	18.4	6.8	42.5

ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์ควบคุมการเดินระบบถังปฏิกิริยาสำหรับการเพิ่มพูนจุลินทรีย์

พารามิเตอร์ควบคุมการเดินระบบ	ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์
อุณหภูมิ (^{o}C)	34 ± 1.3
พีเอช	7.6 ± 0.2
ออกซิเจนละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)	2.5 ± 0.4
อัตราหมุนเวียนสลัดจ์ภายใน (ร้อยละ)	100

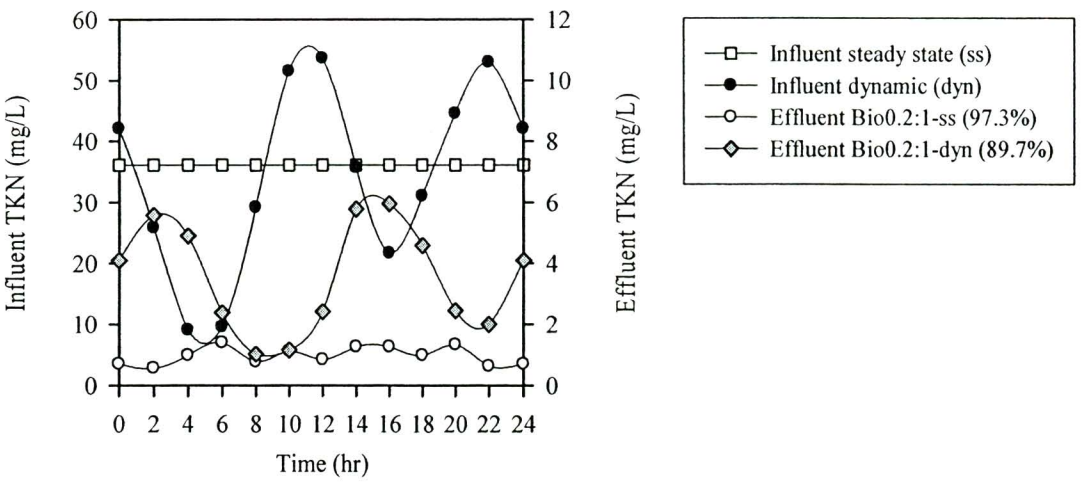
4.3.1 การทดลองการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ในสัดส่วนสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ 0.2 : 1 (Bio0.2:1)

การทดลองได้เริ่มจากสัดส่วนผสมระหว่างสลัดจ์จากระบบหมุนเวียนและน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ในถังปฏิกิริยาสำหรับการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ในสัดส่วนต่ำสุดเท่ากับ 0.2 : 1 ซึ่งสัดส่วนนี้ได้ทดลองโดย Salem *et al.* (2003) ในระบบบำบัดน้ำเสียจริง ผลจากการทดลองพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของซีโอดีในน้ำทิ้งออกมีลักษณะค่อนข้างคงที่และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ระหว่างค่าซีโอดีในน้ำทิ้งออกในการทดลองภายใต้สภาวะคงที่และการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และมีประสิทธิภาพกำจัดซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 92.1 และ 89.8 โดยแนวโน้มค่าซีโอดีในน้ำทิ้งออกมีลักษณะค่อนข้างคงที่เหมือนกับการทดลองที่ผ่านมา (รูปที่ 4.14)



รูปที่ 4.14 แนวโน้มค่าซีโอดีการทดลอง Bio0.2:1

การทดลองภายใต้สภาวะคงที่และการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 97.3 และ 89.7 ค่าไนโตรเจนเฉลี่ยในน้ำทิ้งออกในการทดลองภายใต้สภาวะคงที่และการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 และ 3.5 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าไนโตรเจนยังคงมีแนวโน้มและลักษณะผันแปรเช่นเดียวกับลักษณะแนวโน้มของไนโตรเจนในน้ำเสียเข้า (รูปที่ 4.15)

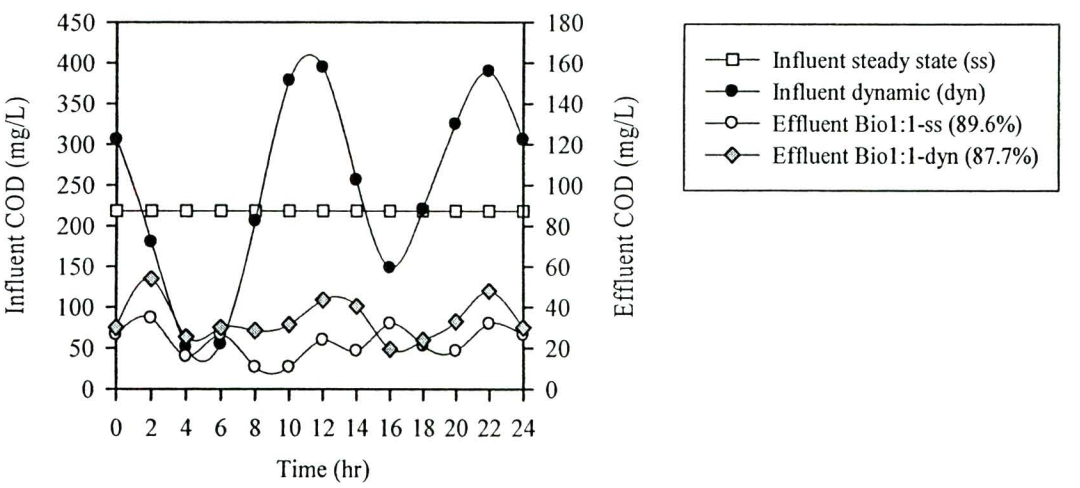


รูปที่ 4.15 แนวโน้มค่าไนโตรเจนการทดลอง Bio0.2:1

การทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของไนโตรเจนในน้ำออกเป็นค่าที่บ่งชี้ระดับความแปรปรวนของไนโตรเจน จากผลการทดลองหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับเข้ามาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรงไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีค่าเท่ากับ 7.2 ± 3.2 มิลลิกรัม/ลิตร (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) และมีค่าไนโตรเจนสูงสุดประมาณ 11.8 มิลลิกรัม/ลิตร (รูปที่ 4.12) และในการทดลอง Boi0.2:1 ไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีค่าเท่ากับ 3.5 ± 1.8 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าไนโตรเจนสูงสุดประมาณ 6.3 มิลลิกรัม/ลิตร จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและระดับความแปรปรวนของค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกแคบลง ผลจากการทดลองในสัดส่วนนี้ถือว่าระบบยังไม่มีศักยภาพเพียงพอที่จะรองรับต่อสภาวะผันแปรของภาระบรรทุกไนโตรเจนได้ เพราะไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกยังมีค่าสูงและมีแนวโน้มเหมือนกับการผันแปรในน้ำเสียเข้า

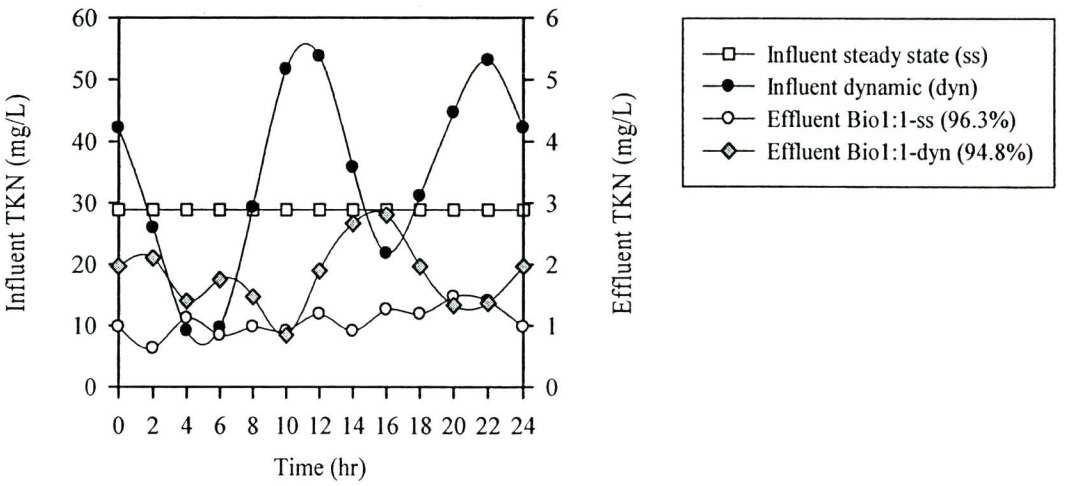
4.3.2 การทดลองการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ในสัดส่วนสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัด สลัดจ์ 1 : 1 (Bio1:1)

การทดลองนี้ได้ศึกษาไว้โดย Salem *et al.* (2003) แนวโน้มของค่าซีโอดีภายใต้สภาวะคงที่และภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีลักษณะค่อนข้างคงที่เหมือนผลการทดลอง Bio0.2:1 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 89.6 และ 87.7 (รูปที่ 4.16) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีการทดลองภายใต้สภาวะคงที่สูงกว่าการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 4.16 แนวโน้มค่าซีโอดีการทดลอง Bio1:1

ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนภายใต้สภาวะคงที่และภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 96.3 และ 94.8 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนการทดลองภายใต้สภาวะคงที่สูงกว่าการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 4.17) การพิ่มสัดส่วนผสมระหว่างสลัดจ์จากระบบหมุนเวียนต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ในถังปฏิกิริยาสำหรับการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ให้สูงขึ้นเป็น 1 : 1 ช่วยทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงมากขึ้น



รูปที่ 4.17 แนวโน้มค่าไนโตรเจนการทดลอง Bio1:1

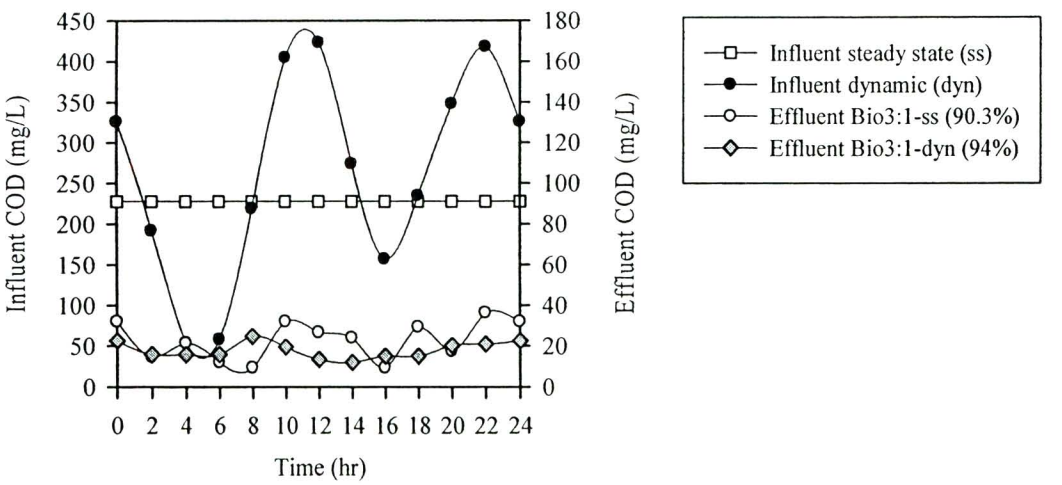
การทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีค่าเท่ากับ 1.8 ± 0.6 มิลลิกรัม/ลิตรและมีค่าไนโตรเจนสูงสุดประมาณ 2.9 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกยังปรากฏให้เห็นแนวโน้มลักษณะการผันแปรเช่นเดียวกับแนวโน้มในน้ำเสียเข้า การเพิ่มสัดส่วนของสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ให้สูงขึ้นนอกจากจะช่วยทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้นยังช่วยทำให้ไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีค่าความแปรปรวนลดลง (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าลดลง) แต่อย่างไรก็ตามค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกยังพบว่ามีการผันแปรขึ้นลงตามลักษณะของไนโตรเจนในน้ำเสียเข้าซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจน ผลการทดลองในสัดส่วนนี้ถือว่าระบบยังไม่มีศักยภาพเพียงพอที่จะรองรับต่อสภาวะผันแปรของภาระบรรทุกไนโตรเจนได้

หลังจากที่ได้ทดลองในสัดส่วนสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ที่ 0.2 : 1 และสัดส่วนที่ 1 : 1 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ได้มีการศึกษาไว้โดย Salem *et al.* (2003) ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการเดินระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดใน

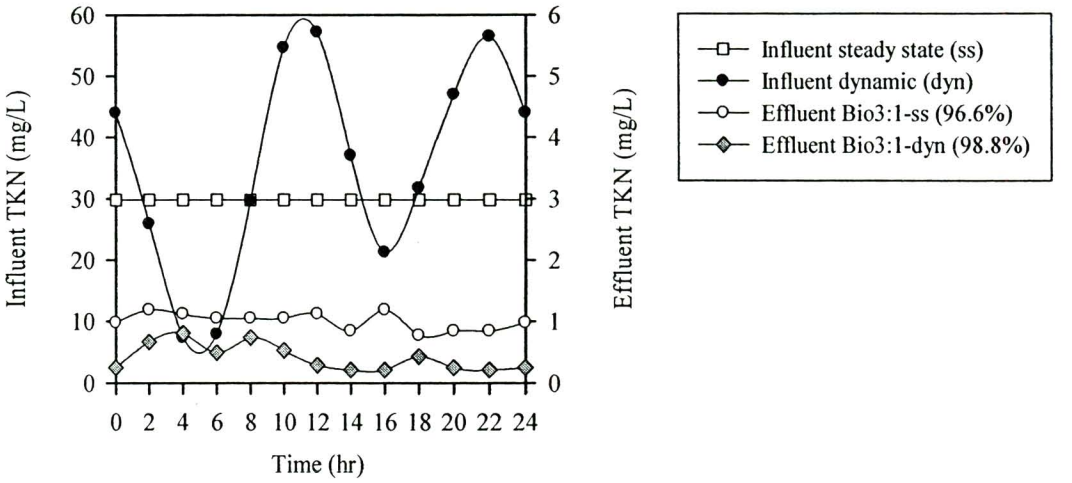
กระบวนการสายหลักโดยตรง แต่อย่างไรก็ตามระบบยังไม่มีศักยภาพสูงเพียงพอที่จะรองรับต่อสภาวะผันแปรของไนโตรเจนได้ กล่าวคือค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกยังมีลักษณะแนวโน้มการผันแปรเหมือนในน้ำเสียเข้า

4.3.3 การทดลองการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ในสัดส่วนสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ 3 : 1 (Bio3:1)

แนวโน้มของค่าซีโอดีและไนโตรเจนภายใต้สภาวะคงที่และภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีลักษณะค่อนข้างคงที่ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 90.3 และ 94 (รูปที่ 4.18) และประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 96.6 และ 98.8 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและไนโตรเจนการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรสูงกว่าการทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 การเพิ่มสัดส่วนของสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ขึ้นเป็น 3 : 1 พบว่าแนวโน้ม ของค่าซีโอดีในน้ำทิ้งออกทั้งสองสภาวะการทดลองมีลักษณะค่อนข้างคงที่ และมีค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกภายใต้สภาวะคงที่และภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 1 ± 0.2 และ 0.4 ± 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร (รูปที่ 4.19)



รูปที่ 4.18 แนวโน้มค่าซีโอดีการทดลอง Bio3:1



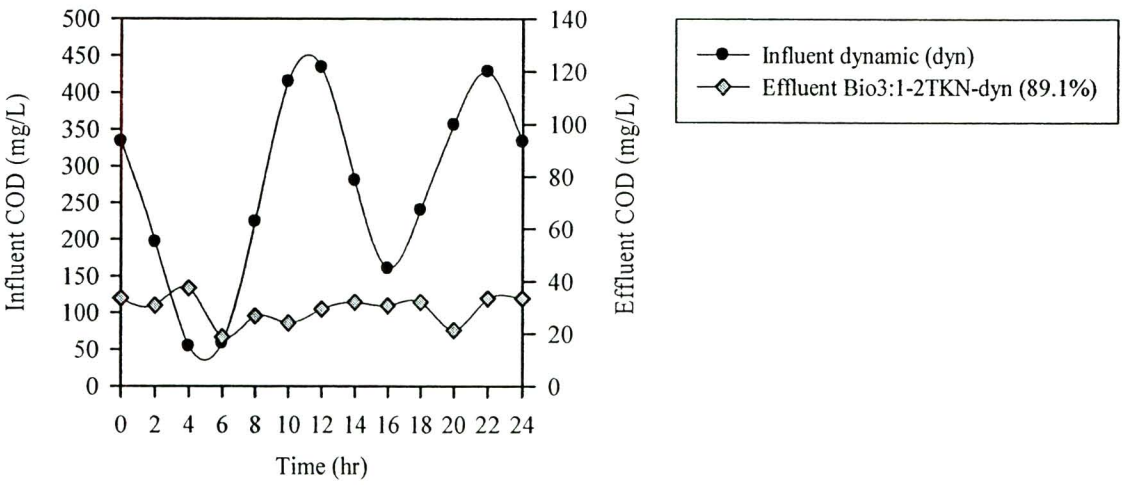
รูปที่ 4.19 แนวโน้มค่าไนโตรเจนการทดลอง Bio3:1

ผลการทดลองที่น่าสนใจมากก็คือ การทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ซึ่งพบว่าค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกไม่เกิดการผันแปรในลักษณะเหมือนกับการผันแปรในน้ำเสียเข้า กราฟแนวโน้มของไนโตรเจนมีลักษณะราบเรียบและอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าการเดินระบบภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีค่าต่ำกว่าการทดลอง Bio0.2:1 และ Bio1:1 ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า การเพิ่มสัดส่วนสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ขึ้นเป็น 3 : 1 ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของกระบวนการสายหลักมีศักยภาพสูงขึ้นในระดับที่เพียงพอที่จะรองรับต่อสภาวะผันแปรของภาระบรรทุกไนโตรเจนในน้ำเสียเข้าได้เป็นอย่างดี

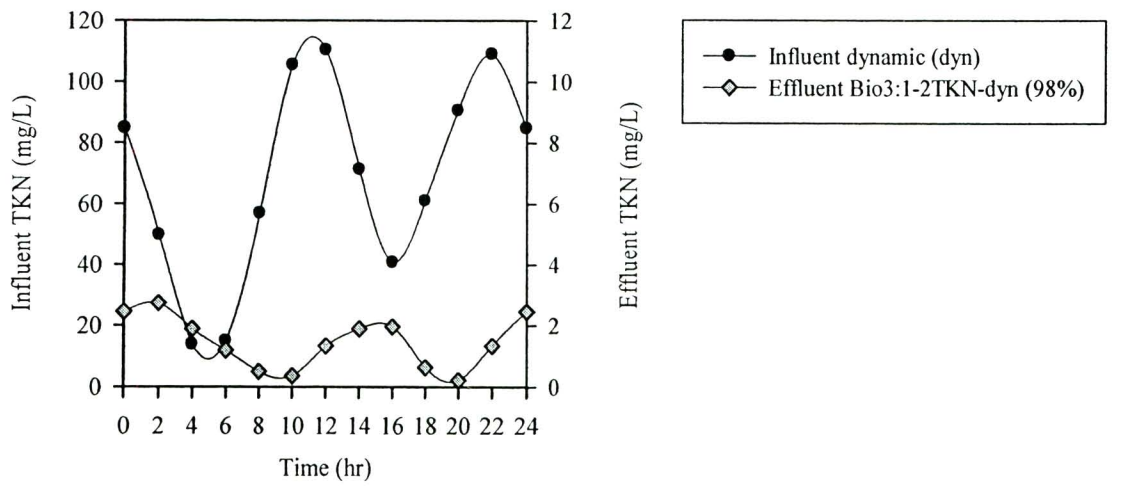
พร้อมกันนี้ได้ทำการทดลองที่ค่าสัดส่วนสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ 3 : 1 เพิ่มอีกใน 2 ลักษณะ ได้แก่ การทดลองเพิ่มความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำเสียเข้าขึ้น 2 เท่าของความเข้มข้นน้ำเสียเข้าปกติ (Bio3:1-2TKN) และการทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก (Bio3:1-syn) เพื่อประเมินความสามารถของระบบในการรองรับภาระบรรทุกที่เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าเดิมทั้งในด้านของน้ำเสียเข้าและน้ำเสียที่ป้อนให้กับกระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์

การทดลองแรกเป็นการทดลองเฉพาะภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์และเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองในช่วงระยะเวลา 1 วัน โดยเพิ่มระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำเสียเข้าจากความเข้มข้นปกติเฉลี่ย 35.5 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นความเข้มข้นเฉลี่ย 68 มิลลิกรัม/ลิตร และมีช่วงค่าต่ำสุดและสูงสุดอยู่ระหว่าง 7.5 – 119 มิลลิกรัม/ลิตรความเข้มข้นของซีโอดีและฟอสฟอรัสมีค่าเฉลี่ย 267 และ 5.1 มิลลิกรัม/ลิตร

จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าลดลงเหลือเพียงร้อยละ 89.1 ลักษณะแนวโน้มของค่าซีโอดีในน้ำทิ้งออกค่อนข้างคงที่ (รูปที่ 4.20) ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 98 ส่วนค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีลักษณะแนวโน้มการผันแปรเหมือนกับการผันแปรในน้ำเสียเข้า (รูปที่ 4.21) น้ำทิ้งออกมีค่าไนโตรเจนเท่ากับ 1.4 ± 0.8 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าสูงสุดประมาณ 2.7 มิลลิกรัม/ลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลอง Bio3:1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 4.20 แนวโน้มค่าซีโอดีการทดลอง Bio3:1-2TKN

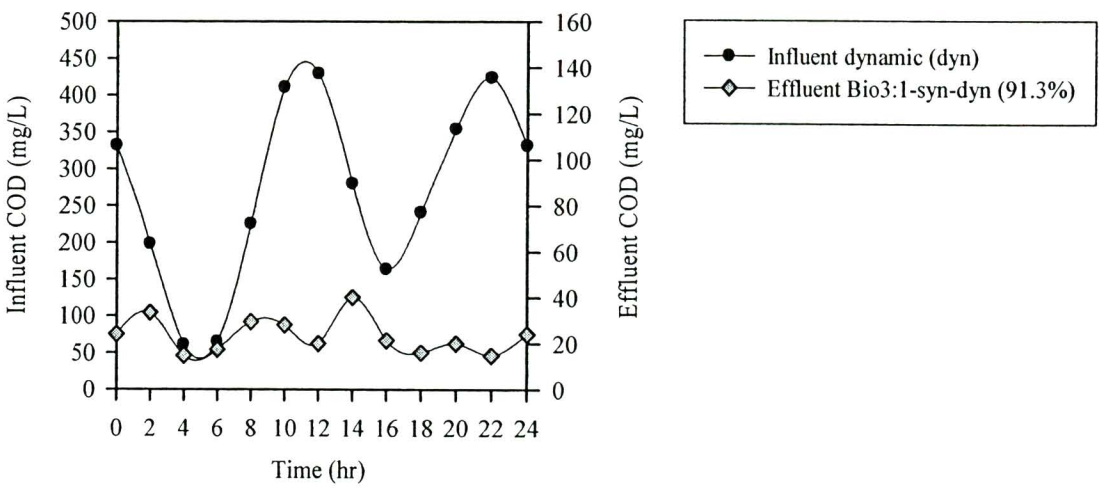


รูปที่ 4.21 แนวโน้มค่าไนโตรเจนการทดลอง Bio3:1-2TKN

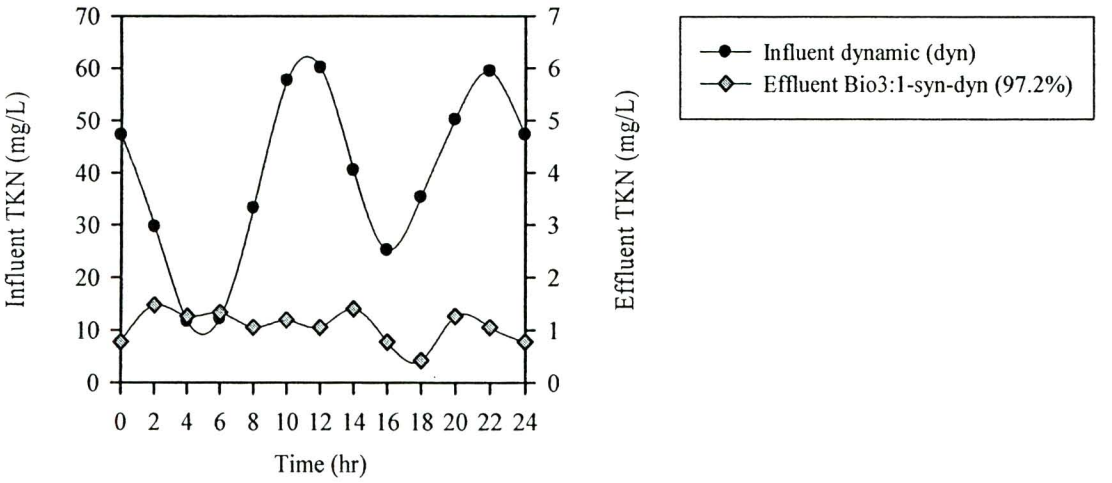
แต่อย่างไรก็ตามผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า สัดส่วนระหว่างสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ที่ 3 : 1 สามารถทำให้กระบวนการสายหลักมีศักยภาพสูงเพียงพอที่จะรองรับการผันแปรของไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นเท่าตัวได้ แม้ว่าค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกจะมีค่าเฉลี่ยสูงขึ้นและมีแนวโน้มการผันแปรเหมือนค่าไนโตรเจนในน้ำเสียเข้าก็ตาม แต่ค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกต่ำกว่าการทดลอง Bio1:1

ในส่วนการทดลองที่ใช้น้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ (Bio3:1-syn) น้ำเสียสังเคราะห์นี้เตรียมให้มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ที่ได้รายงานไว้โดย Gut (2006) ซึ่งน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าความเข้มข้นของซีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสเฉลี่ย 1,653, 931 และ 77.8 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียเข้ามีค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกับการทดลอง Bio3:1 ซึ่งเป็นน้ำเสียชุมชนสังเคราะห์ปกติ การทดลองนี้ป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าถังปฏิกิริยาสำหรับการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ด้วยอัตราไหลคงที่ 8.5 มิลลิลิตร/นาที อัตราการไหลของสลัดจ์ 25.5 มิลลิลิตร/นาที เก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองและตัวอย่างน้ำทิ้งออกเป็นระยะเวลา 1 วัน (12 ตัวอย่าง) ทำการทดลองเฉพาะสภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์

ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและไนโตรเจนของระบบเฉลี่ยร้อยละ 91.3 และ 97.2 (รูปที่ 4.22 และ 4.23) ไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีค่าเท่ากับ 1.1 ± 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร แนวโน้มของค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีลักษณะค่อนข้างคงที่เหมือนกับผลการทดลอง Bio3:1 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนไม่แตกต่างกันระหว่างการทดลอง Bio3:1-2TKN และการทดลอง Bio3:1-syn อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 4.22 แนวโน้มค่าซีโอดีการทดลอง Bio3:1-syn

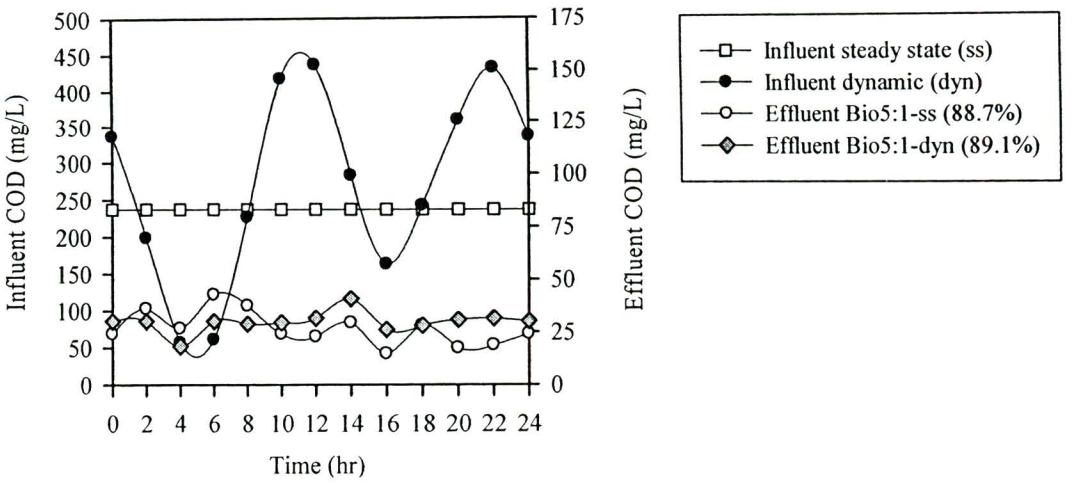


รูปที่ 4.23 แนวโน้มค่าไนโตรเจนการทดลอง Bio3:1-syn

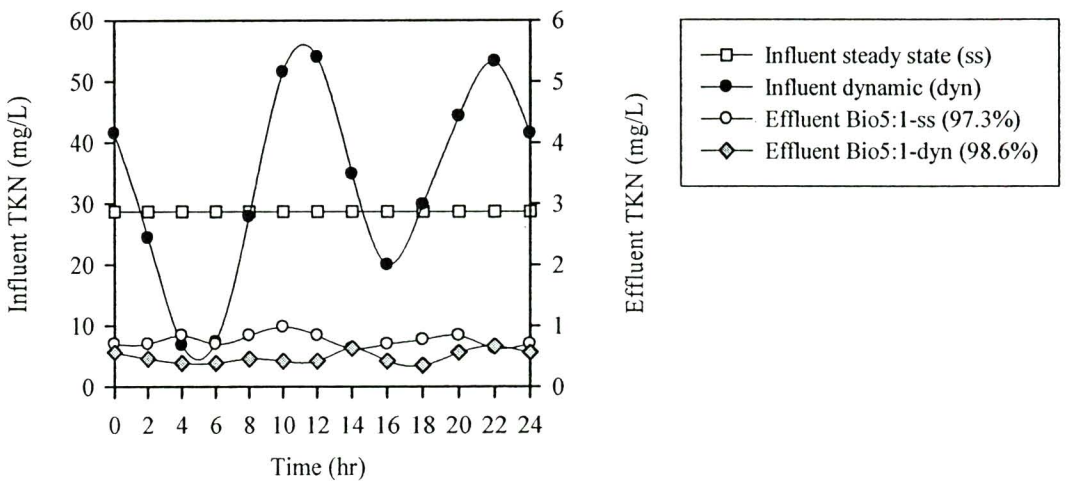
ผลการทดลองที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ 3 : 1 ทำให้กระบวนการสายหลักมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนสูงขึ้นและมีศักยภาพที่จะรองรับการผันแปรของภาระบรรทุกไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในรอบวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีลักษณะค่อนข้างคงที่แม้ว่าระบบจะทำงานอยู่ภายใต้สภาวะผันแปรก็ตาม

4.3.4 การทดลองการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ในสัดส่วนสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ 5 : 1 (Bio5:1)

การทดลองในขั้นตอนนี้ ถังปฏิกิริยาสำหรับการเพิ่มพูนจุลินทรีย์กลับมาใช้น้ำทิ้งจากระบบย่อยสลัดจ์ส่วนเกินแบบแอนแอโรบิกตามปกติเหมือนกับการทดลอง Bio0.2:1, Bio1:1 และ Bio3;1 ที่ผ่านมา แนวโน้มของค่าซีโอดีและไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกภายใต้สภาวะคงที่และภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีลักษณะค่อนข้างคงที่ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 88.7 และ 89.1 (รูปที่ 4.24) และประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 97.3 และ 98.6 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีการทดลองภายใต้สภาวะคงที่เท่ากับการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนการทดลองภายใต้สภาวะคงที่ต่ำกว่าการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกภายใต้สภาวะคงที่และภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 0.8 ± 0.1 และ 0.5 ± 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร (รูปที่ 4.25)



รูปที่ 4.24 แนวโน้มค่าซีโอดีการทดลอง Bio5:1



รูปที่ 4.25 แนวโน้มค่าไนโตรเจนการทดลอง Bio5:1

การทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ การเพิ่มสัดส่วนของสลัดจ์ให้สูงขึ้นจาก 3 ส่วนเป็น 5 ส่วนไม่ได้ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกอยู่ในระดับที่ต่ำมากอยู่แล้ว แต่เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกเปรียบเทียบกับผลการทดลอง Bio0.2:1, Bio1:1 และ Bio3:1 ที่ผ่านจะมาพบว่ามีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มสัดส่วนของสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์นอกจากจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนโดยรวมของระบบสูงขึ้นแล้วยังช่วยลดความแปรปรวนของค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้ง

ออกได้อีกด้วยแม้ว่าไนโตรเจนในน้ำเสียเข้าจะมีการผันแปรขึ้นลงก็ตามแต่ค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกยังคงมีลักษณะคงที่

4.4 การประเมินประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบ

การศึกษาการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเพิ่มจำนวนออโตทรอฟิกแบคทีเรียที่มีบทบาทในการกำจัดไนโตรเจน โดยใช้น้ำทิ้งจากกระบวนการย่อยสลัดจ์แบบแอนแอโรบิกเป็นแหล่งอาหารสำหรับการเจริญเติบโตและเนื่องจากเป็นน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงแต่ความเข้มข้นของคาร์บอนต่ำ จากผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการเดินระบบภายใต้สภาวะคงที่และภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะพบว่า อายุสลัดจ์ของระบบจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนมากกว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการมุ่งเน้นวิเคราะห์การตอบสนองของระบบในระยะสั้นหรือภายในระยะเวลา 24 ชม. ดังนั้นข้อมูลการทดลองที่ได้จึงเป็นการอธิบายในรายละเอียดพฤติกรรมของระบบซึ่งมักจะถูกมองข้ามไป แต่โดยแท้จริงแล้วสภาวะที่เกิดขึ้นกับระบบบำบัดน้ำเสียจริงจะมีลักษณะการผันแปรขึ้นลงของทั้งปริมาณการไหลและระดับความเข้มข้นของสารอาหาร และการศึกษานี้ให้ความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบจึงให้ความสำคัญต่อข้อมูลของไนโตรเจนมากกว่าข้อมูลของ ซีโอดีและฟอสฟอรัส

แต่โดยพื้นฐานแล้วกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัส และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในกระบวนการสายหลักโดยภาพรวมพบว่า ประสิทธิภาพค่อนข้างคงที่โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 89.9 ทั้งการทดลองภายใต้สภาวะคงที่และภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ซึ่งถือว่าระบบมีเสถียรภาพในการกำจัดซีโอดีสูงและคงที่ในทุกสภาวะการทดลอง ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนค่อนข้างมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนโดยเฉพาะเมื่อเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการทดลองและลดอายุสลัดจ์ระบบลงน้อยกว่า 7 วัน ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนการทดลองที่ผ่านมาทั้งหมดแสดงในตารางที่ 4.7

การทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบลดลงจากเฉลี่ยร้อยละ 97.1 เหลือร้อยละ 95.6 เมื่อลดอายุสลัดจ์ของระบบจาก 7 วัน ลงมาที่ 5 วัน (การเดินระบบในรูปแบบพื้นฐาน) และที่อายุสลัดจ์ 5 วัน เท่ากันเปรียบเทียบกับการเดินระบบที่หมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรงกลับพบว่าประสิทธิภาพของระบบลดลงอย่างมากเหลือเพียงร้อยละ 70.3 เท่านั้น และประสิทธิภาพของระบบเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากเมื่อมีการเติมจุลินทรีย์จากกระบวนการสายรองของระบบ แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองการเพิ่มพูนจุลินทรีย์แม้ว่าปริมาณ MLSS ในระบบจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่ประสิทธิภาพของระบบไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนโดย

เฉลี่ยร้อยละ 96.9 แสดงให้เห็นว่า ภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกของสารอินทรีย์ การเพิ่มสัดส่วนสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ให้สูงขึ้นส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนโดยรวมของระบบไม่มากนัก

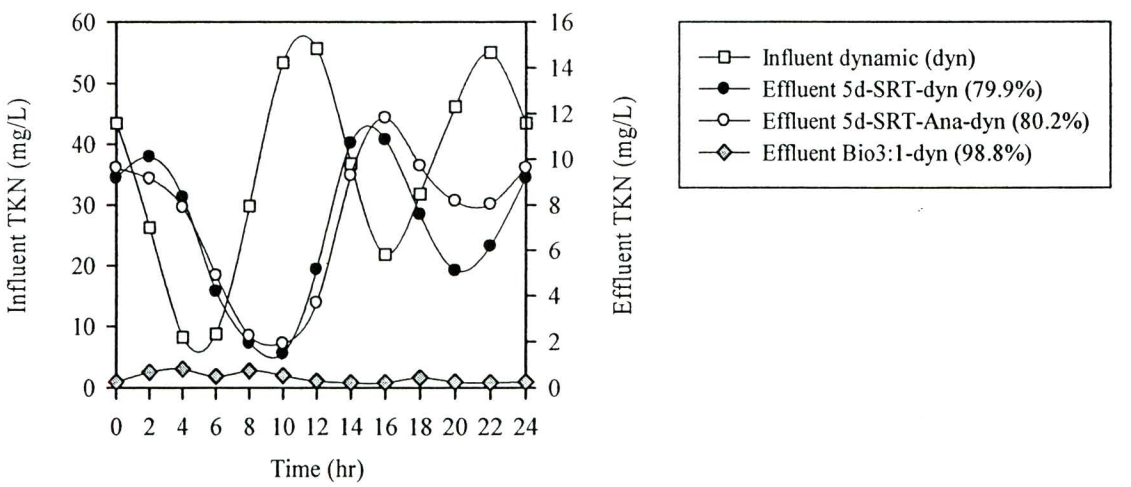
ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของกระบวนการสายหลักของทุกการทดลอง

การทดลอง	การทดลองภายใต้สภาวะคงที่		การทดลองภายใต้สภาวะผันแปร	
	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)	ความเข้มข้นเฉลี่ย MLSS ในระบบ (มิลลิกรัม/ลิตร)	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)	ความเข้มข้นเฉลี่ย MLSS ในระบบ (มิลลิกรัม/ลิตร)
7d-SRT	97.1	3,722	94.9	3,906
5d-SRT	95.6	3,122	79.9	3,032
5d-SRT-Ana	70.3	3,492	80.2	3,585
Bio0.2:1	97.3	3,613	89.7	3,733
Bio1:1	96.3	4,130	94.8	3,492
Bio3:1	96.6	4,460	98.8	4,643
Bio3:1-2TKN	-	-	98.0	4,633
Bio3:1-syn	-	-	97.2	4,776
Bio5:1	97.3	4,520	98.6	4,603

การทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบลดลงจากเฉลี่ยร้อยละ 94.9 เหลือร้อยละ 79.9 เมื่อลดอายุสลัดจ์ของระบบจาก 7 วัน ลงมาที่ 5 วัน เปรียบเทียบกับการเดินระบบที่หมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรงประสิทธิภาพของระบบลดลงเหลือเพียงร้อยละ 80.2 ประสิทธิภาพของระบบจะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อมีการเพิ่มพูนจุลินทรีย์จากกระบวนการสายรองของระบบและเพิ่มสัดส่วนของสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ ปริมาณ MLSS ในระบบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเหมือนกับการทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์การเพิ่มพูนจุลินทรีย์ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนโดยรวมของระบบสูงกว่าการเดินระบบภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 98.8 ที่สัดส่วนสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ 3 : 1

รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกจากการเดินระบบ 3 ลักษณะภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่อายุสลัดจ์ 5 วัน เท่ากัน ได้แก่ การเดินระบบตามรูปแบบพื้นฐาน (5d-SRT-dyn) การเดินระบบที่หมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง (5d-SRT-Ana-dyn) และการเดินระบบที่เพิ่มกระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ในสายรองของระบบในสัดส่วนสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ที่ 3 : 1 (Bio3:1-dyn) การเดินระบบใน 2 รูปแบบแรกนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 79.7 และ 80.3 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีลักษณะแนวโน้มการผันแปรเหมือนลักษณะของไนโตรเจนในน้ำเสียเข้า ผลจากการทดลอง 5d-SRT-dyn และ 5d-SRT-Ana-dyn ไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีค่าเท่ากับ 6.4 ± 3.3 และ 7.2 ± 3.2 มิลลิกรัม/ลิตร

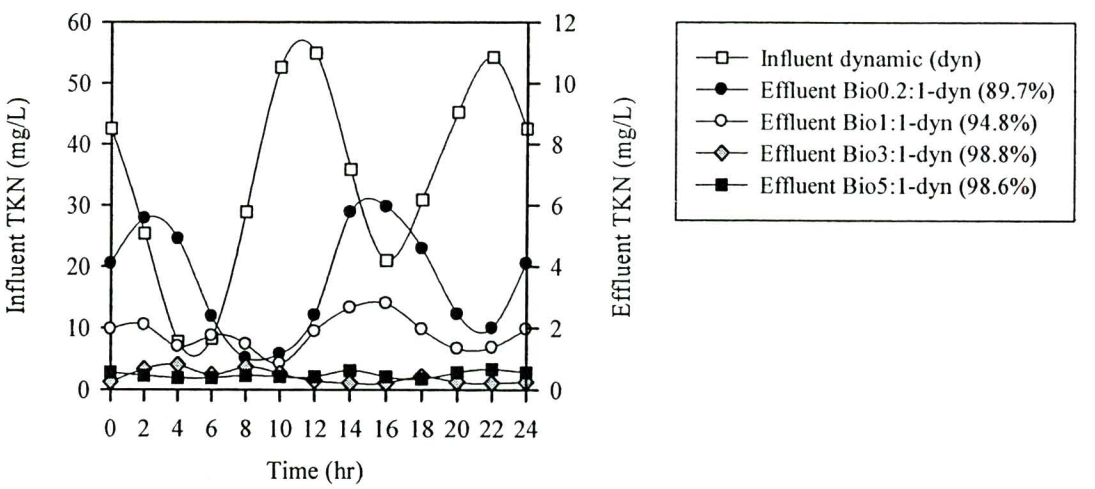
การรวมกระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์เข้ากับกระบวนการสายหลัก นอกจากจะช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนสูงขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 98.8 (การทดลอง Bio3:1) ยังส่งผลให้ค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีลักษณะคงที่เช่นเดียวกับค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกที่เกิดจากการเดินระบบภายใต้สภาวะคงที่ ค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีค่าเท่ากับ 0.4 ± 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์สามารถช่วยลดระดับความแปรปรวนของไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ (เปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ลดลง)



รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบแนวโน้มค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกจากการเดินระบบภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์การทดลอง 5d-SRT, 5d-SRT-Ana และ Bio3:1

รูปที่ 4.27 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของกระบวนการสายหลักภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์รวมเข้ากับกระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนระหว่างสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์จะเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อประสิทธิภาพและศักยภาพของระบบที่จะรองรับต่อสภาวะการผันแปรของภาระบรรทุกไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในรอบวัน การทดลองเดินระบบในสัดส่วนสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ที่ 0.2 : 1 (Bio0.2:1-dyn) และ 1 : 1 (Bio1:1-dyn) พบว่าค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกยังมีแนวโน้มการผันแปรที่เห็นได้อย่างชัดเจน โดยไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีค่าเท่ากับ 3.5 ± 1.8 และ 1.8 ± 0.56 มิลลิกรัม/ลิตร

เมื่อเพิ่มสัดส่วนของสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ขึ้นเป็น 3 : 1 (Bio3:1-dyn) แนวโน้มการผันแปรของค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกกลับไม่ปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจนและมีลักษณะคงที่เหมือนกับผลการทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีค่าเท่ากับ 0.4 ± 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร และในทำนองเดียวกันการเพิ่มสัดส่วนสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์เป็น 5 : 1 (Bio5:1-dyn) แนวโน้มการผันแปรของค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกก็มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกับการทดลอง Bio3:1-dyn ค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีค่าเท่ากับ 0.5 ± 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่านอกจากประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนจะเพิ่มสูงขึ้นแล้วระดับของความแปรปรวนของค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกยังลดลงตามสัดส่วนของสลัดจ์จากระบบหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้นด้วย (เปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)



รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนการทดลองการเพิ่มพูนจุลินทรีย์

4.5 การประเมินประสิทธิภาพถังปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์

กระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการที่มีบทบาทสำคัญที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของกระบวนการสายหลักเพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับ จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในถังปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของสลัดจ์ที่เพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอย (MLSS) ในถังปฏิกิริยาอยู่ระหว่าง 2,225 – 10,880 มิลลิกรัม/ลิตร และประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นสูงสุดอยู่ที่สัดส่วนสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ 5 : 1 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนภายใต้สภาวะคงที่และภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าเฉลี่ยเท่ากันร้อยละ 98.1 สรุปประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของถังปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์ แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในถังปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์

การทดลอง	การทดลองภายใต้สภาวะคงที่		การทดลองภายใต้สภาวะผันแปร	
	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)	ความเข้มข้นเฉลี่ย MLSS (มิลลิกรัม/ลิตร)	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)	ความเข้มข้นเฉลี่ย MLSS (มิลลิกรัม/ลิตร)
Bio0.2:1	31.6	2,225	46.8	2,270
Bio1:1	62.9	5,805	57.1	5,855
Bio3:1	83.3	10,430	96.1	9,830
Bio3:1-2TKN	-	-	98.9	10,050
Bio3:1-Syn	-	-	52.8	10,240
Bio5:1	98.1	9,810	98.1	10,880

การทดลองการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ในสัดส่วนสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ตั้งแต่ 3 : 1 – 5 : 1 สามารถช่วยให้กระบวนการสายหลักมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและมีศักยภาพสูงเพียงพอที่จะรองรับต่อการผันแปรของภาระบรรทุกไนโตรเจนในรอบวันได้ และปริมาณสลัดจ์ที่ป้อนเข้าถังปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์มีค่าร้อยละ 3.4 – 5.7 ของสลัดจ์จากระบบหมุนเวียน รูปแบบถังปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์ได้ออกแบบและปรับปรุงใหม่ให้มีรูปแบบกระบวนการเหมือนกับกระบวนการสายหลัก (กระบวนการ MLE) นอกจากจะช่วยทำให้จุลินทรีย์ปรับตัวได้อย่างรวดเร็วกับสิ่งแวดล้อมใหม่แล้วยังนำอินทรีย์คาร์บอนเกิดขึ้นภายในระบบและจากการหายใจในสภาวะเอ็นโด

จีนัสของสลัดจ์ในระบบหมุนเวียนมาช่วยให้กระบวนการดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นซึ่งช่วยลดปริมาณไนเตรทที่จะกลายไปเป็นภาระของกระบวนการสายหลักลงได้ด้วย

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า สัดส่วนของสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 3 : 1 เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาตรของถังปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์สัดส่วนสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ที่ 3 : 1 ต่อปริมาตรของกระบวนการสายหลักมีค่าร้อยละ 4.5 (เปรียบเทียบเฉพาะสัดส่วนของปริมาตรถังแอนอกซิกและถังแอโรบิก) ซึ่งเป็นสัดส่วนปริมาตรถังปฏิกิริยาน้อยกว่าสัดส่วนที่เสนอไว้โดย Salem *et al.* (2003) ประมาณร้อยละ 10 (เปรียบเทียบเฉพาะปริมาตรถังแอโรบิก) แต่ทั้งนี้รูปแบบกระบวนการและอุณหภูมิที่ทำการศึกษามีความแตกต่างกัน กล่าวคือ รูปแบบกระบวนการที่ได้ทำการศึกษาโดย Salem *et al.* (2003) เป็นรูปแบบกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบธรรมดาและอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 15 - 21°C แต่ในการศึกษานี้ใช้รูปแบบกระบวนการ MLE ซึ่งเป็นกระบวนการสำหรับการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพและเดินระบบที่อุณหภูมิเฉลี่ย 28°C

4.6 การประยุกต์ใช้งานกระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์

จากผลการทดลองที่ผ่านมาทั้งหมดทำให้มองเห็นถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหาการเดินระบบที่ยังคงประสบอยู่จนทุกวันนี้เกี่ยวกับความไม่มีเสถียรภาพในการทำงานของกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ โดยเฉพาะระบบบำบัดน้ำเสียจริงที่สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์แทบไม่มีโอกาสเกิดขึ้น การผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในรอบวันจึงยังคงเป็นปัญหาที่ยังไม่สามารถแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีเหตุผลที่เหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ กล่าวคือระบบบำบัดน้ำเสียต้องมีถังปรับสภาพการไหลที่สามารถเก็บพักน้ำเสียได้มากกว่า 1 วัน และมีระบบควบคุมการสูบน้ำเสียเข้าระบบบำบัดน้ำเสียอย่างมีประสิทธิภาพและคงที่ตามค่าการออกแบบในทฤษฎีตลอดเวลาซึ่งเป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติ

การผันแปรของปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นในรอบวันจึงยังคงเป็นปัญหาที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ และการผันแปรของภาระบรรทุกไนโตรเจนส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบมากกว่าการผันแปรของภาระบรรทุกอินทรีย์คาร์บอนหรือซีโอดีเนื่องจากออโตทรอฟิกแบคทีเรียมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำหรือมีระยะเวลาการแบ่งตัว 2 – 3 วัน ซึ่งนานกว่าช่วงระยะเวลาการผันแปร ที่เกิดขึ้นในรอบ 1 วัน และมีปริมาณเพียงร้อยละ 3 – 10 ของจุลินทรีย์ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ทั้งหมด (Geradi, 2002) โดยสัดส่วนของออโตทรอฟิกแบคทีเรียในระบบขึ้นอยู่กับลักษณะน้ำเสีย กล่าวคือ ถ้าความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำเสียมีค่าสูงจะทำให้มีออโตทรอฟิกแบคทีเรียในสัดส่วนที่เพิ่มสูงขึ้น แต่ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันนั้นไม่ได้เป็นไปอย่างตรงไปตรงมาแม้ว่าระบบบำบัดจะอยู่ในภาวะแอโรบิกและมีค่าออกซิเจนสูงถึง 7 – 8 มิลลิกรัม/ลิตร ก็ตามทั้งนี้เนื่องจากธรรมชาติของ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดวิจัย

ออโตทรอฟิกแบคทีเรียเจริญเติบโตสู้เฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรียที่มีบทบาทในการกำจัดอินทรีย์คาร์บอนไม่ได้และจะไม่เจริญเติบโตจนมีปริมาณที่มีนัยสำคัญในสลัดจ์ตราบใดที่ระบบยังมีความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนสูงอยู่ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

ข้อดีของกระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ที่สำคัญ ได้แก่ ใช้เวลาเก็บกักและค่าอายุสลัดจ์ระบบต่ำทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและการเดินระบบ มีความยืดหยุ่นในการเดินระบบสูง เพราะมีรูปแบบและพารามิเตอร์ในการเดินระบบเหมือนกับกระบวนการสายหลัก จุลินทรีย์เป็นกลุ่มเดียวกับกระบวนการสายหลักทำให้จุลินทรีย์ไม่ต้องปรับตัวกับสิ่งแวดล้อมใหม่ เป็นกระบวนการที่เชื่อถือได้เพราะเป็นกระบวนการไนตริฟิเคชัน/ดีไนตริฟิเคชันพื้นฐาน และเป็นกระบวนการที่สามารถนำอินทรีย์คาร์บอนที่เกิดขึ้นภายในระบบ ได้แก่ อินทรีย์คาร์บอนจากการหายใจแบบเอ็นโดจีนัสของสลัดจ์ในระบบหมุนเวียนและคาร์บอนจากการย่อยสลัดจ์ส่วนเกินมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและเพื่อชดเชยด่างในระบบ

กระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์เป็นกระบวนการบำบัดในสายรองอีกรูปแบบหนึ่งสำหรับบำบัดน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงแต่มีความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนต่ำและมีอุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นสิ่งแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของออโตทรอฟิกแบคทีเรียมากกว่าน้ำเสียชุมชน และการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไม่จำเป็นต้องสร้างโรงงานบำบัดน้ำเสียขึ้นมาใหม่ทั้งหมด โดยเฉพาะโรงงานบำบัดน้ำเสียเดิมที่มีกระบวนการบำบัดสลัดจ์ส่วนเกินแบบแอนแอโรบิกอยู่ก่อนแล้วย่อมเป็นการลดต้นทุนการก่อสร้างได้มากขึ้น และควรหลีกเลี่ยงวิธีการบำบัดน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์แบบดั้งเดิมที่นิยมปฏิบัติกันมานานเพราะผลการทดลองได้ชี้ให้เห็นว่าวิธีการหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับเข้ามาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนต่ำกว่าการบำบัดในสายรองด้วยกระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์

พร้อมกันนี้ยังพบว่าการเพิ่มภาระบรรทุกไนโตรเจนขึ้น 2 เท่า ไม่ได้ส่งผลให้ค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกของกระบวนการสายหลักมีค่าแตกต่างจากการเดินระบบในสภาวะผันแปรปกติมาก บ่งบอกให้ทราบว่าการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ทำให้กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีศักยภาพสูงขึ้นอย่างชัดเจนภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และมีความเป็นไปได้สูงที่จะนำมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาได้ในทันที เพราะเป็นกระบวนการที่เหมือนกันและเข้ากันได้กับกระบวนการสายหลักเดิมที่มีอยู่ก่อนแล้วและปริมาตรของถังปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์ร้อยละ 4.5 และแบ่งสลัดจ์จากระบบหมุนเวียนร้อยละ 3.4 (อัตราการหมุนเวียนสลัดจ์ของระบบร้อยละ 100 ของอัตราไหลน้ำเสียเข้า) จากข้อมูลการเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบธรรมดาให้ไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกต่ำกว่า 10 มิลลิกรัม/ลิตร การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบด้วยกระบวนการธรรมดาและกระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์จะต้องเพิ่มปริมาตร

ระบบขึ้นทั้งหมด 2.3 และ 0.8 เท่า และกระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์สามารถประหยัดพื้นที่สำหรับก่อสร้างได้ประมาณร้อยละ 50 (Salem *et al*, 2002) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อดีของการนำกระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

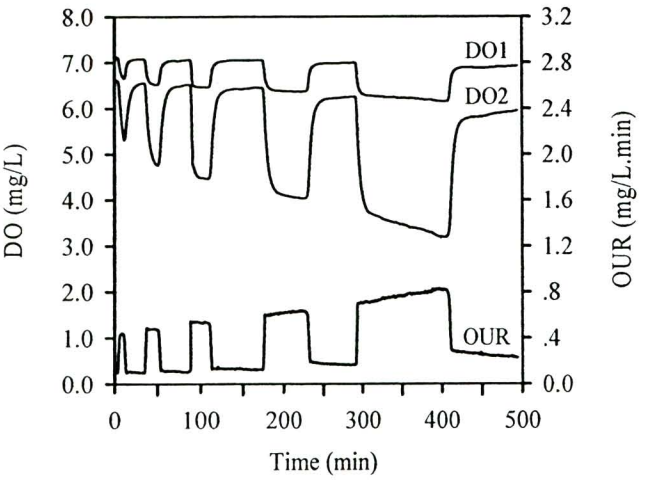
กระบวนการบำบัดน้ำเสียแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบธรรมดาหรือกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพที่ปัจจุบันมีประสิทธิภาพต่ำ ตลอดจนกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เดิมที่มีระบบย่อยสลัดจ์แบบแอนแอโรบิกอยู่แล้ว สามารถที่จะนำเทคนิคการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ไปประยุกต์ใช้ได้ทันที และมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นมาใหม่ การเลือกสัดส่วนระหว่างสลัดจ์ต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ที่เหมาะสมนั้นต้องพิจารณาจากลักษณะการผันแปรของไนโตรเจนในน้ำเสียเข้าและลักษณะการเดินระบบในปัจจุบัน ตลอดจนคุณภาพน้ำทิ้งที่ต้องการ

4.7 การประมาณค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรีย (X_{BH})

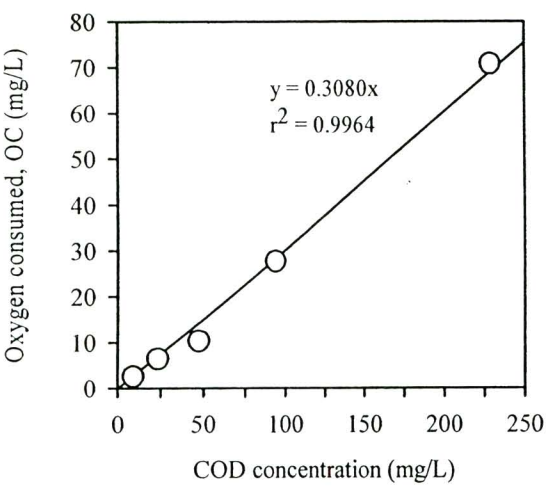
4.7.1 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ผลได้ (ยีลด์) ของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรีย (Y_H)

ยีลด์ของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรียสามารถประมาณค่าได้จากทดลองวัดอัตราการหายใจแบบกะ (Batch) การทดลองนี้ใช้ตัวอย่างสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องความเข้มข้นเฉลี่ย 1,200 มิลลิกรัม/ลิตร และใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตทซึ่งเป็นสารอาหารในรูปของซีโอดีที่ย่อยสลายง่าย (Readily biodegradable COD, rbCOD) เติมให้กับตัวอย่างสลัดจ์จำนวน 5 ครั้งต่อเนื่องกัน ความเข้มข้นของค่าซีโอดีอยู่ในช่วงระหว่าง 9.6 – 229.4 มิลลิกรัม/ลิตร กราฟแนวโน้มของค่าออกซิเจนและอัตราการใช้ออกซิเจนแสดงในรูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปต่อปริมาณสารอาหารที่เติม (พื้นที่ใต้กราฟ) แสดงในรูปที่ 4.29 และมีค่าความชัน (Slope) เท่ากับ 0.31 จากความสัมพันธ์ Slope = $(1 - Y_H)$ จะได้ค่ายีลด์ 0.69 มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัมซีโอดี (ขั้นตอนการแปลผลการทดลองโดยละเอียดดูในภาคผนวก ค)

ค่ายีลด์ที่อ้างอิงในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแอกทิเต็ดสลัดจ์ที่ 1 (ASM1) ได้ระบุค่ายีลด์เท่ากับ 0.67 มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัมซีโอดี ที่อุณหภูมิมาตรฐาน 20°C (Henze *et al.*, 2000) ผลการทดลองอื่นๆ และใช้อะซิเตทเป็นสารอาหารที่ศึกษาโดย Muller *et al.* (2004) ซึ่งใช้ตัวอย่างสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องกระบวนการ MLE ได้ค่ายีลด์เท่ากับ 0.69 มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัมซีโอดี และจากรายงานที่ศึกษาโดย Dricks, Pind, Mosbaek, and Henze, 1999) ได้ค่ายีลด์เท่ากับ 0.71 มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัมซีโอดี โดยทั่วไปยีลด์น้ำเสียชุมชนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.38 – 0.75 มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัมซีโอดี (Jeppsson, 1996)



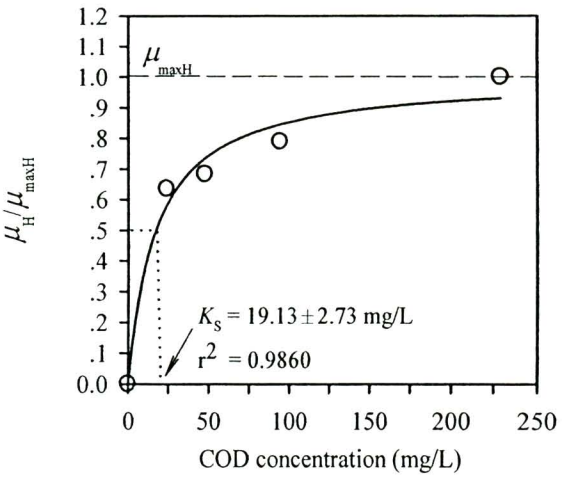
รูปที่ 4.28 แนวโน้มอัตราการใช้ออกซิเจนการทดลองสำหรับประมาณค่า Y_H



รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง OC และความเข้มข้นของค่าซีโอดี

4.7.2 การประมาณค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหารของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรีย (K_S)

การประมาณค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหารของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรียจะใช้ชุดข้อมูลจากการทดลองสำหรับการประมาณค่ายีลด์ (Y_H) จำนวน 4 ชุดข้อมูล ความเข้มข้นของซีโอดีอยู่ในช่วงระหว่าง 25 – 229.3 มิลลิกรัม/ลิตร ผลจากการจำลองสถานการณ์แบบไม่เชิงเส้นตรง (Nonlinear) โดยใช้ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ตามสมการที่ (2.9) ค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหาร (K_S) มีค่าเท่ากับ 19.1 มิลลิกรัม/ลิตร (รูปที่ 4.30)

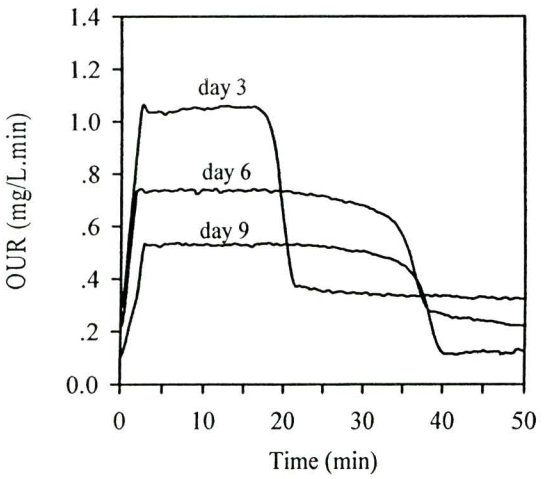


รูปที่ 4.30 กราฟแสดงผลการจำลองสถานการณ์การประมาณค่า K_S

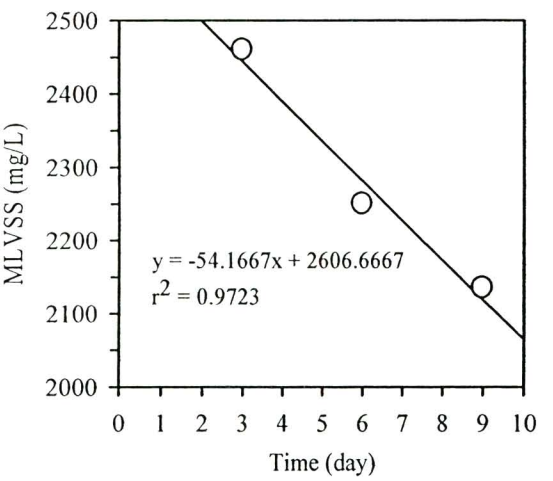
ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแอกทิเต็ดสลัดจ์ที่ 1 (ASM1) ได้ระบุค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหารเท่ากับ 20 มิลลิกรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิมาตรฐาน 20°C (Henze *et al.*, 2000) จากรายงานที่ศึกษาโดย Penya-Roja, Seco, Ferrer, and Serralta, 2002) ที่อุณหภูมิ 20°C ค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหารเท่ากับ 20.4 มิลลิกรัม/ลิตร และจากรายงานการศึกษาที่อุณหภูมิ 30°C โดย Dosta (2007) ค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหารเท่ากับ 15 มิลลิกรัม/ลิตร โดยทั่วไปค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหารน้ำเสียชุมชนมีค่าอยู่ระหว่าง 5 – 30 มิลลิกรัม/ลิตร (Jeppsson, 1996)

4.7.3 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเน่าเปื่อยของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรีย (b_H)

การทดลองได้ดำเนินการตามวิธีที่เสนอไว้โดย Spanjers and Vanrolleghem (1995) โดยวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (OUR_{max}) ของสลัดจ์หลังจากเติมสารอาหารจำพวกอินทรีย์คาร์บอน (โซเดียมอะซิเตท) ความเข้มข้นซีโอดีเฉลี่ย 46.8 มิลลิกรัม/ลิตร และนำสลัดจ์มาทำการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนซ้ำในลักษณะเดียวกันจำนวน 3 ครั้งตลอดช่วงระยะเวลา 9 วัน ในระหว่างนี้ได้เติมเฉพาะอากาศและไม่ให้อาหารกับสลัดจ์ จากผลการทดลองพบว่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับปริมาณ MLVSS (รูปที่ 4.31 และ 4.32) ทั้งนี้เพราะอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดมีความสัมพันธ์กับปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่ (Spanjers and Vanrolleghem, 1995)

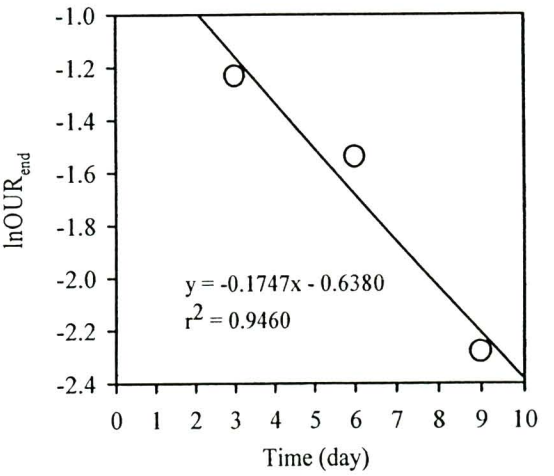


รูปที่ 4.31 แนวโน้มการลดลงของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดในช่วงเวลา 9 วัน ของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรีย

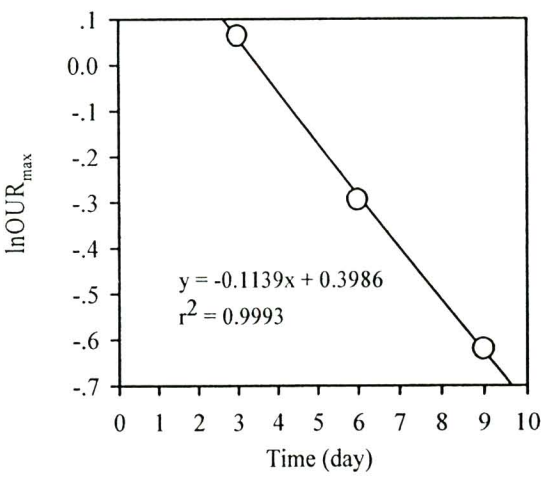


รูปที่ 4.32 การลดลงของปริมาณ MLVSS ในช่วงระยะเวลา 9 วัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลอัตราการหายใจของจุลินทรีย์ในสภาวะเอ็นโดจีนัส (OUR_{end}) ตามความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.14) (รูปที่ 4.33) และอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (OUR_{max}) พบว่าข้อมูล OUR_{max} มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงสูงกว่าข้อมูล OUR_{end} (รูปที่ 4.34) ค่าความชัน ($b_H^{Lineal\text{-}death}$) มีค่าเท่ากับ 0.11 วัน$^{-1}$ และเมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (2.15) โดยใช้ค่ายีลด์จากผลการทดลองที่ผ่านมา ($Y_H = 0.69$) จะได้ค่า $b_H^{Death\text{-}regeneration}$ เท่ากับ 0.31 วัน$^{-1}$



รูปที่ 4.33 กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง $lnOUR_{end}$ และเวลาของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรีย



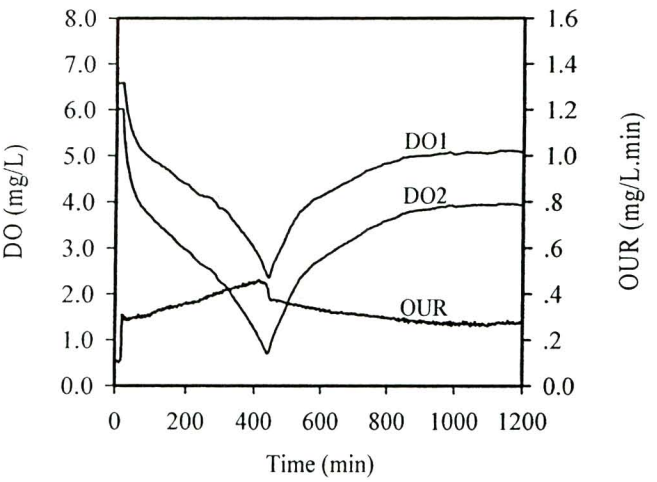
รูปที่ 4.34 กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง $lnOUR_{max}$ และเวลาของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรีย

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแอกทิเต็ดสลัดจ์ที่ 1 (ASM1) ได้ระบุค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเน่าเปื่อยเท่ากับ 0.62 วัน$^{-1}$ ที่อุณหภูมิมาตรฐาน 20^{o}C (Henze *et al.*, 2000) จากรายงานผลการศึกษาโดย Manser, Gujer, and Siegrist (2006) อัตราการเน่าเปื่อยมีค่าเท่ากับ 0.28 วัน$^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 20^{o}C และจากรายงานการศึกษาที่อุณหภูมิ 30^{o}C โดย Dosta (2007) อัตราการเน่าเปื่อยมีค่าเท่ากับ 0.04 วัน$^{-1}$ โดยทั่วไปอัตราการเน่าเปื่อยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.05 — 1.6 วัน$^{-1}$ (Jeppsson, 1996)

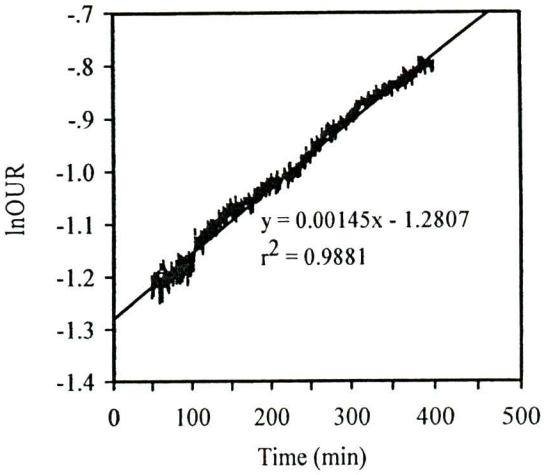
4.7.4 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรีย (μ_{maxH})

การทดลองได้ดำเนินการตามวิธีที่เสนอไว้โดย Kappeler and Gujer (1992) โดยตัวอย่างสลัดจ์มีความเข้มข้นเฉลี่ย 720 มิลลิกรัม/ลิตร หลังจากเติมสารอาหารอินทรีย์คาร์บอน (โซเดียมอะซิเตท) ความเข้มข้นซีโอดีเฉลี่ย 1,403 มิลลิกรัม/ลิตร แนวโน้มอัตราการใช้ออกซิเจน แสดงในรูปที่ 4.35 และการแปลผลนำเฉพาะช่วงข้อมูลที่อัตราการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นตรงจนกระทั่งเวลาประมาณ 400 นาที ความชันที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.00145 นาที$^{-1}$ (รูปที่ 4.36) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.2 วัน$^{-1}$ (แทนค่า $b_H = 0.11$ วัน$^{-1}$)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแอกทิเต็ดสลัดจ์ที่ 1 (ASM1) ได้ระบุค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (μ_{maxH}) เท่ากับ 6 วัน$^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 20°C (Henze *et al.*, 2000) ผลการศึกษาที่รายงานไว้โดย Guisasola (2005) มีค่าเท่ากับ 1.68 วัน$^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 25°C โดยทั่วไปอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดมีค่าอยู่ระหว่าง 0.6 — 13.2 วัน$^{-1}$ (Jeppsson, 1996)



รูปที่ 4.35 แนวโน้มอัตราการใช้ออกซิเจนการทดลองสำหรับประมาณค่า μ_{maxH}



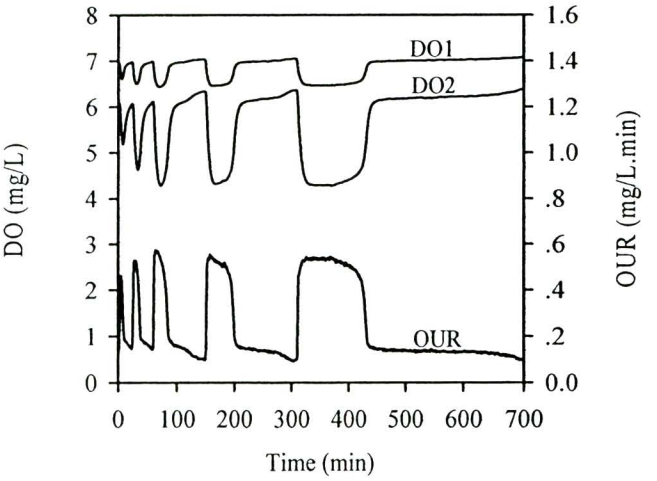
รูปที่ 4.36 กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง lnOUR และเวลา สำหรับประมาณค่า μ_{maxH}

4.8 การประมาณค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรีย (X_{AOB})

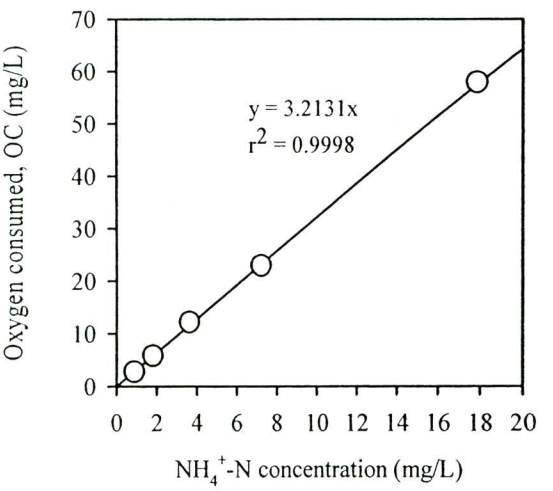
4.8.1 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ผลได้ (ยีลด์) ของแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรีย (Y_{AOB})

การทดลองใช้ตัวอย่างสลัดจ์ความเข้มข้นเฉลี่ย 835 มิลลิกรัม/ลิตร และใช้สารอาหารที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียมอยู่ในช่วงระหว่าง 0.9 – 17.9 มิลลิกรัม/ลิตร เติมให้กับตัวอย่างสลัดจ์จำนวน 5 ครั้งติดต่อกัน กราฟแนวโน้มของค่าออกซิเจนและอัตราการใช้ออกซิเจนแสดงในรูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปต่อปริมาณสารอาหารที่เติม (พื้นที่ใต้กราฟ) แสดงในรูปที่ 4.38 และกราฟมีค่าความชัน (Slope) เท่ากับ 3.21 จากความสัมพันธ์ Slope = (3.43 – Y_{AOB}) จะได้ค่ายีลด์เท่ากับ 0.22 มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัมแอมโมเนียม

จากผลการศึกษาที่รายงานไว้โดย Dosta (2007) ที่อุณหภูมิการทดลอง 30°C ได้ระบุค่ายีลด์เท่ากับ 0.22 มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัมแอมโมเนียม และผลการศึกษาที่รายงานโดย Marsili-Libelli and Tabani (2002) ที่อุณหภูมิ 20°C และ Guisaaola (2005) ที่อุณหภูมิ 25°C ได้ระบุค่ายีลด์เท่ากับ 0.21มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัมแอมโมเนียม และผลการศึกษาที่รายงานโดย Jubany (2007) ระบุค่ายีลด์เท่ากับ 0.18 มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัมแอมโมเนียม ที่อุณหภูมิ 25°C



รูปที่ 4.37 แนวโน้มอัตราการใช้ออกซิเจนสำหรับประมาณค่า Y_{AOB}



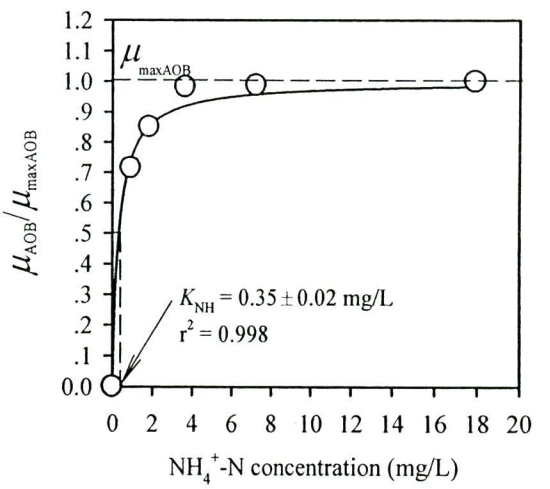
รูปที่ 4.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง OC และค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียม

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแอกทิเต็ดสลัดจ์ที่ 1 (ASM1) ได้ระบุค่ายีลด์ (Y_A) เท่ากับ 0.24 (Henze *et al.*, 2000) ซึ่งเป็นผลรวมระหว่างยีลด์ของแอมโมเนียม ออกซิไดซิงแบคทีเรียและไนไตรท์ออกซิไดซิงแบคทีเรีย ($Y_{AOB} + Y_{NOB}$) โดยที่ Y_{NOB} มีค่าอ้างอิงเท่ากับ 0.08 มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัมไนไตรท์ (Marsili-Libelli and Tabani, 2002; Guisasola, 2005; Jubany, 2007) โดยทั่วไปค่ายีลด์ (Y_A) มีค่าอยู่ระหว่าง0.07-0.28 มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัมแอมโมเนียม (Jeppsson, 1996)

4.8.2 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหารของแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรีย (K_{NH})

การแปลผลการทดลองใช้ข้อมูลจากการทดลองสำหรับการประมาณค่ายีลด์ของแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรีย จำนวน 5 ชุดข้อมูล ความเข้มข้นของแอมโมเนียมอยู่ระหว่าง 0.9 – 17.2 มิลลิกรัม/ลิตร ผลจากการจำลองสถานการณ์แบบไม่เชิงเส้นตรง (Nonlinear) โดยใช้ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ตามสมการที่ (2.29) ค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหาร (K_{NH}) มีค่าเท่ากับ 0.35 มิลลิกรัม/ลิตร (รูปที่ 4.39)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ 1 (ASM1) ระบุค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหาร (K_{NH}) เท่ากับ 1 มิลลิกรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิ 20°C (Henze *et al.*, 2000) ผลการศึกษาที่รายงานโดย Jubany (2007) ได้ระบุค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหารเท่ากับ 0.34มิลลิกรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิ 25°C และจากผลการศึกษาที่รายงานโดย Marsili-Libelli and Tabani (2002) และ Penya-roja *et al.* (2002) ระบุค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหารเท่ากับ 0.24 และ 0.25มิลลิกรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิ20°C และผลการศึกษาที่รายงานโดย Dosta (2007) ที่อุณหภูมิ 30°C ค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหารเท่ากับ 1.27 มิลลิกรัม/ลิตร

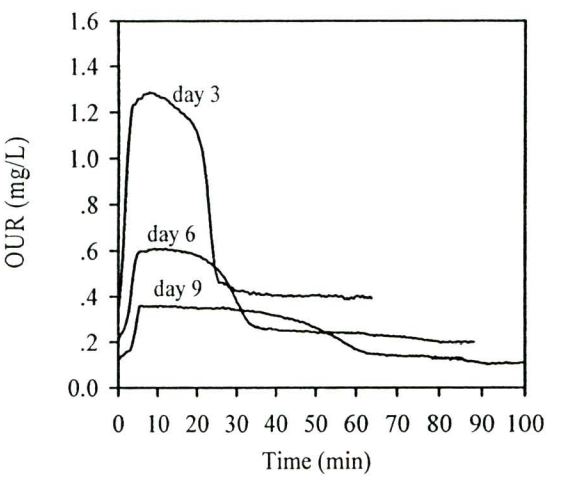


รูปที่ 4.39 กราฟแสดงผลการจำลองสถานการณ์การประมาณค่า K_{NH}

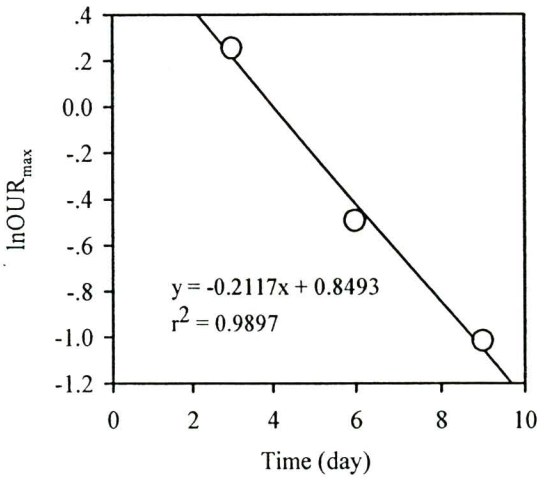
4.8.3 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเน่าเปื่อยของแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรีย (b_A)

การทดลองได้ดำเนินการตามวิธีที่เสนอไว้โดย Spanjers and Vanrolleghem (1995) โดยวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (OUR_{max}) ของสลัดจ์เมื่อเติมแอมโมเนียมความเข้มข้นเฉลี่ย 7.2 มิลลิกรัม/ลิตร การทดลองใช้ตัวอย่างสลัดจ์เดียวกันกับสลัดจ์ที่นำมาวิเคราะห์หาอัตราการเน่าเปื่อยของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรีย ทำการทดลองจำนวน 3 ครั้งในช่วงระยะเวลา 9 วัน อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของสลัดจ์ลดลงอย่างต่อเนื่อง (รูปที่ 4.40) และความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงระหว่าง OUR_{max} กับเวลา ค่าความชันคืออัตราการเน่าเปื่อยของแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรียมีค่าเท่ากับ 0.21 วัน$^{-1}$ (รูปที่ 4.41)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ 1 (ASM1) ไม่ได้ระบุค่าอ้างอิงอัตราการเน่าเปื่อยของแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรียไว้ จากการศึกษาที่รายงานไว้โดย Dosta (2007) ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30°C และ Jubany (2007) ที่อุณหภูมิ 25°C ได้ระบุค่าอัตราการเน่าเปื่อยของแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรียเท่ากับ 0.2 วัน$^{-1}$



รูปที่ 4.40 กราฟอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดในช่วงระยะเวลา 9 วัน ของแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรีย

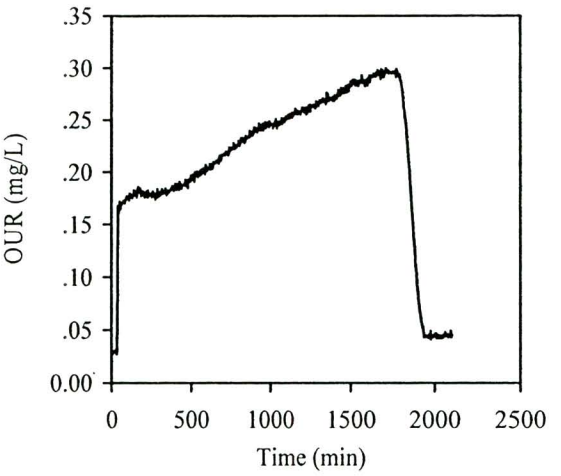


รูปที่ 4.41 กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง $\ln OUR_{max}$ และเวลาของแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรีย

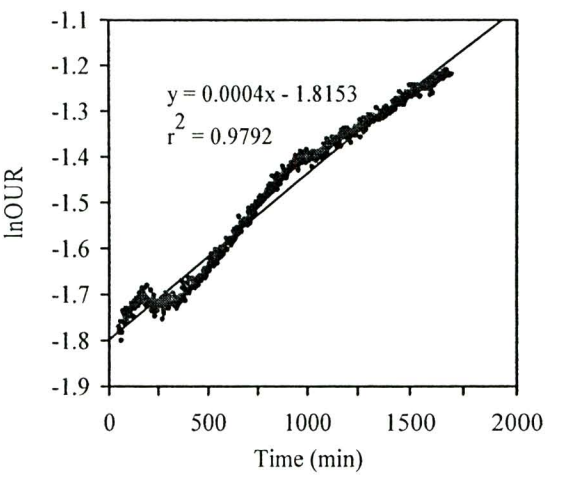
4.8.4 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรีย (μ_{maxAOB})

การทดลองใช้ตัวอย่างสลัดจ์ความเข้มข้นเฉลี่ย 65 มิลลิกรัม/ลิตร และสารอาหารแอมโมเนียมความเข้มข้นเฉลี่ย 37.1 มิลลิกรัม/ลิตร กราฟอัตราการใช้ออกซิเจน แสดงในรูปที่ 4.42 และการแปลผลนำเฉพาะช่วงข้อมูลที่อัตราการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นตรงจนกระทั่งเวลาประมาณ 1,600 นาที ค่าความชันที่ได้เท่ากับ 0.0004 นาที$^{-1}$ (รูปที่ 4.43) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.9 วัน$^{-1}$ (แทนค่า b_A = 0.21 วัน$^{-1}$)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ 1 (ASM1) ระบุค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 0.8 วัน$^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 20°C จากผลการทดลองที่รายงานโดย Jubany (2007) ที่อุณหภูมิ 25°C และ Dosta (2007) ที่อุณหภูมิ 30°C อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 1.2 วัน$^{-1}$ และจากผลการทดลองที่รายงานโดย Guisasola (2005) ที่อุณหภูมิ 25°C อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 1.27 วัน$^{-1}$



รูปที่ 4.42 การทดลองวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสำหรับประมาณค่า μ_{maxAOB}



รูปที่ 4.43 กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง lnOUR และเวลาสำหรับประมาณค่า μ_{maxAOB}

ผลการทดลองประมาณค่าสัมประสิทธิ์พารามิเตอร์จลนศาสตร์ของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรียและแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรียที่สำคัญ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ผลได้หรือยีลด์ (Y) ค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหาร(K) ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเน่าเปื่อย (b) และค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) โดยวิธีวัดอัตราการหายใจและแปลผลข้อมูลพารามิเตอร์จากความสัมพันธ์สมการโมโนดและบนพื้นฐานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ 1 (ASM1) สรุปผลการทดลองในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 สรุปค่าสัมประสิทธิ์พารามิเตอร์จลนศาสตร์ของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรีย (X_{BH}) และแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรีย (X_{AOB})

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่าสัมประสิทธิ์ (28°C)	ASM1/ ASM3 (20°C)	ช่วงค่าอ้างอิง
เฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรีย	X_{BH}			
Yield coefficient (mg/mg)	Y_H	0.69	0.67/0.85	0.38 - 0.75
Max. spec. growth rate (day^{-1})	μ_{maxH}	2.20	6/2	0.6 - 13.2
Saturation constant for COD (mg/L)	K_S	19.13	20/2	5 - 30
Decay rate (day^{-1})	b_H	0.31	0.62/0.2	0.05 - 1.6
แอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรีย	X_{AOB}			
Yield coefficient (mg/mg)	Y_{AOB}	0.22	0.24/0.24	0.07 - 0.28
Max. spec. growth rate (day^{-1})	μ_{maxAOB}	0.90	0.80/1	0.3 - 0.7
Saturation constant for NH_4^+(mg/L)	K_{NH}	0.35	1.0/0.01	0.2 - 1.0
Decay rate (day^{-1})	b_A	0.21	-/0.15	0.05 - 0.2

4.9 สรุปผลการทดลอง

4.9.1 การทดลองการเดินระบบในรูปแบบพื้นฐาน เมื่อทำการปรับลดอายุสลัดจ์ของระบบจาก 7 วันเหลือ 5 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะลดลงจากร้อยละ 97.1 เหลือร้อยละ 95.6 แต่การทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนลดลงจากร้อยละ 94.9 เหลือเพียงร้อยละ 79.9 และค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีแนวโน้มการผันแปรในลักษณะเดียวกับไนโตรเจนในน้ำเสียเข้า ไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีค่าสูงสุด 11.5 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ในขณะเดียวกันการเดินระบบภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าการเดินระบบภายใต้สภาวะคงที่ทั้ง 2 ค่าอายุสลัดจ์ และพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปรับลดอายุสลัดจ์ของระบบจาก 7 วันเหลือ 5 วัน โดยมีประสิทธิภาพร้อยละ 88.1 และ 90.6 ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งออกในการทดลองทั้ง 2 สภาวะมีลักษณะค่อนข้างคงที่ชี้ให้เห็นว่าการผันแปรของภาระบรรทุกของอินทรีย์คาร์บอนไม่ได้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและการทำงานของระบบโดยรวม

4.9.2 การทดลองหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ส่วนเกินแบบแอนแอโรบิกกลับมาบำบัดในกระบวนการสายหลักโดยตรงและอายุสลัดจ์ระบบ 5 วัน น้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์มีค่าซีโอดีและทีเคเอ็นเฉลี่ย 406 และ 356 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเปรียบเทียบกับการเดินระบบในรูปแบบพื้นฐานที่อายุสลัดจ์ 5 วัน เท่ากัน การทดลองภายใต้สภาวะภาระบรรทุกสารอินทรีย์คงที่พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนลดลงเหลือเพียงร้อยละ 70.3 และประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนภายใต้สภาวะ

ผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ร้อยละ 80.3 ขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีภายใต้สภาวะคงที่และภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าร้อยละ 90.3 และ 92.3 ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบโดยรวมยังถือว่าคงที่และมีศักยภาพสูง

4.9.3 การทดลองหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดในกระบวนการสายหลักโดยตรง ค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกยังคงมีลักษณะและแนวโน้มการผันแปรเหมือนกับค่าไนโตรเจนในน้ำเสียเข้า ไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีค่าสูงสุด 11.8 มิลลิกรัม/ลิตร ผลการทดลองในขั้นตอนนี้ชี้ให้เห็นว่า การหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดในกระบวนการสายหลักโดยตรงเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้นจึงควรทำการบำบัดด้วยกระบวนการที่เหมาะสมก่อนหมุนเวียนกลับเข้าสู่กระบวนการสายหลักอีกครั้ง

4.9.4 ถังปฏิกิริยาสำหรับการเพิ่มพูนจุลินทรีย์มีเวลาเก็บกักในถังแอนอกซิกและถังแอโรบิกเท่ากับ 2 และ 4 ชม. ซึ่งเท่ากับเวลาเก็บกักของกระบวนการสายหลักแต่มีทิศทางการไหลตรงกันข้าม การทดลองได้แบ่งย่อยออกเป็น 4 ลักษณะตามอัตราส่วนการผสมระหว่างสลัดจ์จากระบบหมุนเวียนต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ส่วนเกินแบบแอนแอโรบิก ซึ่งได้แก่ อัตราส่วน 0.2 : 1, 1 : 1, 3 : 1 และ 5 : 1 การทดลองได้ทำการเปรียบประสิทธิภาพการเดินระบบใน 2 ลักษณะคือ การเดินระบบภายใต้สภาวะคงที่และภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ผลการทดลองในส่วนนี้พบว่าค่าซีโอดีในน้ำทิ้งออกมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ในทุกอัตราส่วนการทดลองและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทุกการทดลองค่าเฉลี่ยร้อยละ 89.9 แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบจะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน การทดลองสัดส่วนสลัดจ์จากระบบหมุนเวียนต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ที่ 3 : 1 ภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์นอกจากประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนมีค่าสูงสุดร้อยละ 98.8 ยังพบว่าค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่เหมือนกับผลการทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ การเพิ่มสัดส่วนของสลัดจ์หมุนเวียนต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ให้สูงขึ้นเป็น 5 : 1 ก็ได้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่านอกจากจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบสูงขึ้นแล้วยังสามารถช่วยทำให้ระบบมีศักยภาพในการรองรับต่อสภาวะผันแปรของภาระบรรทุกได้

4.9.5 การเพิ่มภาระบรรทุกให้กับกระบวนการสายหลักและถังปฏิกิริยาสำหรับการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ขึ้นประมาณ 2 เท่า ในสัดส่วนการทดลองสัดส่วนสลัดจ์หมุนเวียนต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ที่ 3 : 1 ภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ยังคงพบว่าประสิทธิภาพของระบบไม่เปลี่ยนแปลงมากโดยมีค่าร้อยละ 98 และ 97.2 แม้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของถังปฏิกิริยาสำหรับการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ลดลงจากสภาวะผันแปรปกติอยู่ระหว่างร้อยละ 96.1 – 98.9 เหลือเพียงร้อยละ 52.8 แต่ปริมาณไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีการผันแปรในช่วงแคบระหว่าง 0.5 – 2.8

มิลลิกรัม/ลิตร เท่านั้น ในขณะที่การทดลองภายใต้สภาวะการผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ปกติค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกมีการผันแปรอยู่ในช่วง 0.2 – 0.8 มิลลิกรัม/ลิตร

4.9.6 สัดส่วนของสลัดจ์จากระบบหมุนเวียนต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ที่เหมาะสมอยู่ที่ 3 : 1 เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาตรของถังปฏิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์ต่อปริมาตรของกระบวนการสายหลักร้อยละ 4.5 (เปรียบเทียบเฉพาะสัดส่วนของปริมาตรถังแอนอกซิกและถังแอโรบิก) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าสัดส่วนที่ได้รายงานไว้โดย Salem *et al.* (2003) ประมาณร้อยละ 10 (เปรียบเทียบเฉพาะสัดส่วนของปริมาตรถังแอโรบิก) และสัดส่วนของปริมาณสลัดจ์ในระบบหมุนเวียนร้อยละ 3.4 ซึ่งสูงกว่าสัดส่วนที่ได้รายงานไว้โดย Salem *et al.* (2003) ประมาณร้อยละ 0.5 แต่ทั้งนี้รูปแบบกระบวนการและอุณหภูมิที่ทำการศึกษามีความแตกต่างกัน กล่าวคือ รูปแบบกระบวนการที่ศึกษาโดย Salem *et al.* (2003) เป็นรูปแบบกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบธรรมดาและอุณหภูมิประมาณ 14 - 21°C แต่ในการศึกษานี้ใช้รูปแบบกระบวนการ MLE ซึ่งเป็นกระบวนการสำหรับการกำจัดไนโตรเจนและอุณหภูมิเฉลี่ย 28°C

4.9.7 กระบวนการสำหรับการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการบำบัดในสายรองของระบบ เป็นกระบวนการที่มีบทบาทสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของกระบวนการสายหลักให้เพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับ โดยที่ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของสลัดจ์จากระบบหมุนเวียน การทดลองในสัดส่วนสลัดจ์หมุนเวียนต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ที่ 0.2 : 1, 1 : 1, 3 : 1 และ 5 : 1 (ภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์) ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนร้อยละ 46.8, 57.1, 96.1 และ 98.1 ตามลำดับ

4.9.8 การประมาณค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรีย (X_{BH}) ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ผลได้ (ยีลด์) (Y_H) ค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหาร (K_S) อัตราการเน่าเปื่อย (b_H) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (μ_{maxH}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.69 มิลลิกรัม/มิลลิกรัม 19.1 มิลลิกรัม/ลิตร 0.31 วัน$^{-1}$ และ 2.2 วัน$^{-1}$ ตามลำดับ

4.9.9 การประมาณค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรีย (X_{AOB}) ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ผลได้ (ยีลด์) (Y_{AOB}) ค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหาร (K_{NH}) อัตราการเน่าเปื่อย (b_A) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (μ_{maxAOB}) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.22 มิลลิกรัม/มิลลิกรัม 0.35 มิลลิกรัม/ลิตร 0.21 วัน$^{-1}$ และ 0.9 วัน$^{-1}$ ตามลำดับ