

ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบ
เอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor; SBR)
Efficiency of Ammonia-Nitrogen Treatment in Synthetic Wastewater by
Sequencing Batch Reactor

ธัญญรัตน์ เบนญกุล¹ สมชาย ดารารัตน์² และฐิติยา แซ่ปึง¹
Thanyarat Benjakul¹, Somchai Dararat² and Thitiya Pung¹

บทคัดย่อ

การกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียโดยใช้การบำบัดทางชีวภาพสามารถทำได้ง่ายและต้นทุนต่ำ กระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) เป็นกระบวนการทางชีวภาพแบบใช้อากาศที่สามารถกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนออกจากน้ำเสียได้โดย ammonium-oxidation bacteria แอมโมเนียถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรทโดยกระบวนการไนตริเตชัน (nitritation) และสุดท้ายจะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรทโดยกระบวนการไนเตรเตชัน (nitrataion)

ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียในแบบจำลองของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (sequencing batch reactor; SBR) ที่มีขนาดปริมาตรทำปฏิกิริยา 16 ลิตร ความเข้มข้นตะกอนของแข็งแขวนลอย 3000 มิลลิกรัมต่อลิตร รอบการกวน 50 รอบ/นาที ความเข้มข้นซีโอดี 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีระยะเวลาพักชลศาสตร์ (HRT) เพื่อเลี้ยงเชื้อตั้งแต่ 24, 20, 16, 12, 8 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ ตลอดจนการทดลองระบบสามารถบำบัดค่าซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 80 และเริ่มศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนที่ระยะพักชลศาสตร์ 6 ชั่วโมง พบว่าระบบสามารถบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้ร้อยละ 50-90 ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) คิดเป็นร้อยละ 70-80 และผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นไนเตรทในน้ำออกอยู่ในช่วง 53.1-57.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเพิ่มขึ้นจากความเข้มข้นไนเตรทในน้ำเข้าที่อยู่ในช่วง 5.7-7.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทของระบบคิดเป็นร้อยละ 78-96

คำสำคัญ : ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ ระยะเวลาพักชลศาสตร์ กระบวนการไนตริเตชัน กระบวนการไนเตรเตชัน

¹ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
จ. นครปฐม 73140

Environmental Science and Technology, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus,
Nakhon Pathom 73140

² ฝ่ายสิ่งแวดล้อม นิเวศวิทยาและพลังงาน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว)

Department of Environment, Ecology and Energy, Thailand Institute of Scientific and Technological Research

ABSTRACT

Biological treatment is considered as the easiest and low cost-effective process in removing ammonia-nitrogen from wastewater. Nitrification is a biological process to remove ammonium from wastewater, under aerobic condition by ammonium-oxidation bacteria. Ammonium is converted to nitrite by nitritation (partial nitrification) process and it is finally converted to nitrate by nitrataion process.

In this research, the feasibility of ammonia-nitrogen removal from synthetic wastewater was tested using the laboratory scale-sequencing batch reactor (SBR), which was set up and operated to study an optimization of the partial nitrification process. The research performed a model of SBR with 16 liters of working volume, 3000 mg/L of MLSS, 1000 mg/L of COD, stirring at 50 rpm and hydraulic retention (HRT) at 24, 20, 16, 12, 8 and 6 hours respectively. Every HRT conditions gave more than 80% of COD removal. At HRT of 6 hours, 50-90% of ammonia nitrogen was removed. The result showed that nitrate concentrations of effluent (53.1-57.5 mg/L) were higher than nitrate concentrations of influent (5.7-7.3 mg/L). Moreover, the efficiency of nitrite removal of the system was 78-96%.

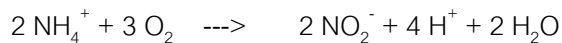
Keywords : sequencing batch reactor (SBR), hydraulic retention (HRT), nitritation process, nitrataion process

E-mail : thanyarat_ku@hotmail.com

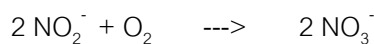
คำนำ

กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการออกซิเดชันที่เกิดขึ้นทางชีววิทยา เพื่อทำการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียให้กลายเป็นไนเตรท ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดจากจุลินทรีย์ชนิดไนตริฟายอิง (Nitrifying bacteria) ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกเปลี่ยนแอมโมเนียให้อยู่ในรูปไนไตรท์โดยอาศัยจุลินทรีย์ไนโตรโซโมนาส (Nitrosomonas sp.) ส่วนขั้นตอนที่สองเปลี่ยนไนไตรท์ให้เป็นไนเตรทโดยอาศัยจุลินทรีย์ชนิดไนโตรแบคเตอร์ (Nitrobacter sp.) ตามลำดับ ดังสมการ

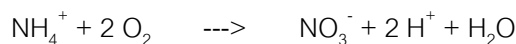
ไนโตรโซโมนาส :



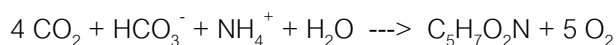
ไนโตรแบคเตอร์ :



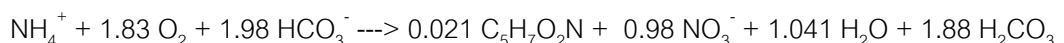
ปฏิกิริยารวม :



แต่แอมโมเนียมีไอออนบางส่วนจะถูกนำไปสังเคราะห์หรือสร้างเซลล์จุลินทรีย์ใหม่ ดังสมการ



ปฏิกิริยารวมของการเกิดออกซิเดชันและการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ :



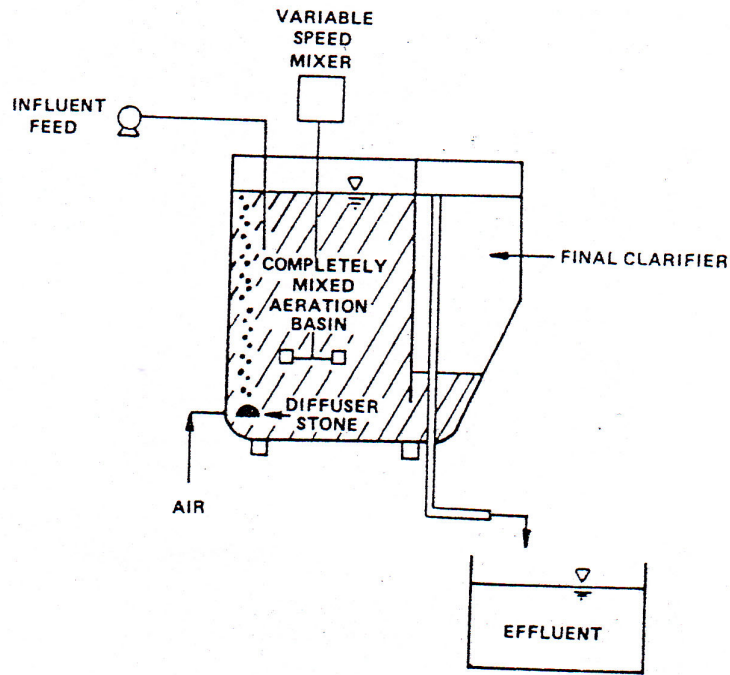
พบว่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนเตรทเท่ากับ 4.3 มก. O_2 / มล. NH_4^+ -nitrogen ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า 4.57 ที่ได้จากการคำนวณ โดยค่า 4.57 นี้ได้จากสมการไนโตรแบคเตอร์โดยจะไม่พิจารณาถึงการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ (เกรียงศักดิ์, 2543)

การออกซิไดซ์แอมโมเนียไนโตรเจนและไนเตรท ต้องใช้ออกซิเจน 4.6 กก./ กก. NH_4^+ -nitrogen นอกจากนี้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจะมี H^+ เกิดขึ้น จึงจำเป็นต้องเติมด่างเพื่อรักษาค่า pH ภายในถังบำบัดให้มีค่าเหมาะสม ในทางกลับกันการรีดิวซ์ไนโตรทและไนเตรท ต้องใช้ H^+ และเกิดเมทานอล กรดอะซิติก หรือใช้สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย โดยที่สารอินทรีย์ทำหน้าที่เป็นแหล่งคาร์บอนในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน และถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ของแบคทีเรีย (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2545)

การวิจัยประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนเพื่อนำผลการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการเกิดกระบวนการไนโตรเตชันโดยการจำกัดออกซิเจนในการผลิตไนโตรททดแทนการเติมโซเดียมไนโตรทเพื่อให้เกิดการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนเป็นก๊าซไนโตรเจนในกระบวนการ Anaerobic Ammonium Oxidation (Annamox) โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) ในห้องปฏิบัติการโดยใช้กระบวนการ nitrification (nitritation หรือ partial nitrification และ nitratation) ในแบบจำลองของระบบเอสบีอาร์ (sequencing batch reactor : SBR) ดังปฏิกิริยาเอสบีอาร์ทำจากอะคริลิกใส ลักษณะดังรูปที่ 1 ส่วนสูงของถังปฏิกิริยาเท่ากับ 33 เซนติเมตร ความกว้าง 26 เซนติเมตร ความยาว 30 เซนติเมตร แบ่งเป็นช่องสำหรับเติมอากาศจำนวน 2 ช่องเท่ากันโดยมีอะคริลิกใสเป็นตัวกั้นมีปริมาตรรวม 18 ลิตร มีปริมาตรส่วนทำปฏิกิริยา 16 ลิตร โดยน้ำเสียชุมชนสังเคราะห์ที่ใช้เตรียมจากการละลายผงไอโซมิลกับน้ำประปาที่พักทิ้งไว้อย่างน้อย 1 คืนก่อนนำมาใช้ ซึ่งไอโซมิล 1 กรัมต่อลิตรมีค่าซีโอดีประมาณ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการทดลองปรับสภาพสลัดจ์ที่ค่อยๆ เพิ่มความเข้มข้นของซีโอดีน้ำเข้าจากประมาณ 250, 300, 350 จนถึงความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงใช้ไอโซมิล 1 กรัมต่อลิตร และในระบบมีความเข้มข้นตะกอนของแข็งแขวนลอย 3000 มิลลิกรัมต่อลิตร รอบการกวน 50 รอบ/นาที โดยมีระยะเวลาพักชดศาสตร์ (HRT) เพื่อเลี้ยงเชื้อตั้งแต่ 24, 20, 16, 12, 8 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ และความเข้มข้นของไนโตรทและไนเตรทของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนเข้าระบบมีปริมาณน้อยมากจนถือได้ว่าไม่มีไนโตรทและไนเตรทเลย พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลองระบบเอสปีอาร์และส่วนประกอบในการเดินระบบ

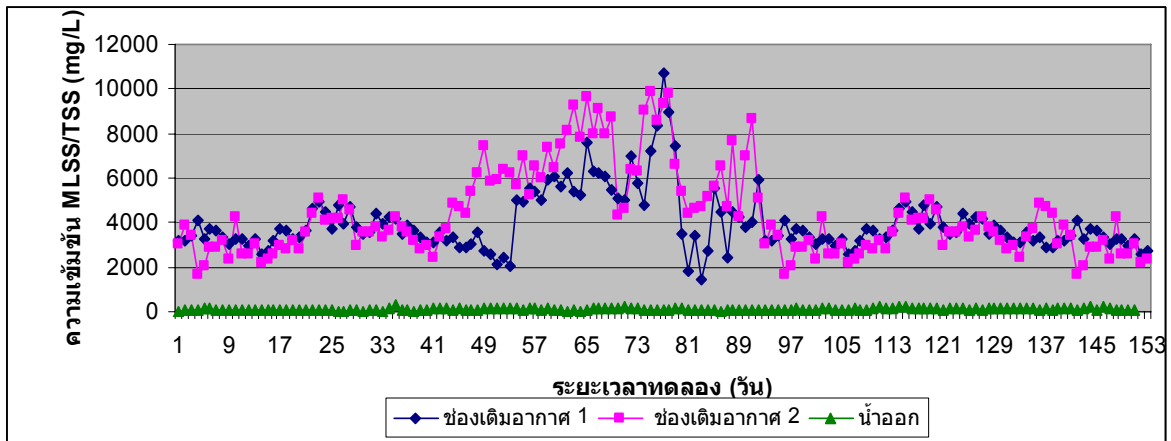
ตารางที่ 1 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาและควบคุมการทำงานของระบบเอสปีอาร์ (APHA et al., 1998)

ที่	พารามิเตอร์	หน่วย	ความถี่	วิธีวิเคราะห์
1	pH	-	ทุกวัน	pH meter
2	อุณหภูมิ	°C	ทุกวัน	Thermometer
3	ซีไอดี	mg/L	ทุกวัน	Closed Reflux, Titration Method
4	บีไอดี	mg/L	ทุกวัน	Dilution Method
5	ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	mg/L	3 ครั้ง/สัปดาห์	Distillation, Titration Method
6	แอมโมเนีย	mg/L	ทุกวัน	Distillation, Titration Method
7	ไนไตรท์	mg/L	ทุกวัน	NED/Colorimetric Method
8	ไนเตรท	mg/L	2 ครั้ง/สัปดาห์	Cadmium Reduction

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ความเข้มข้นของ MLSS ของช่องเติมอากาศ 1, 2 และในน้ำออกทดลองทดลอง

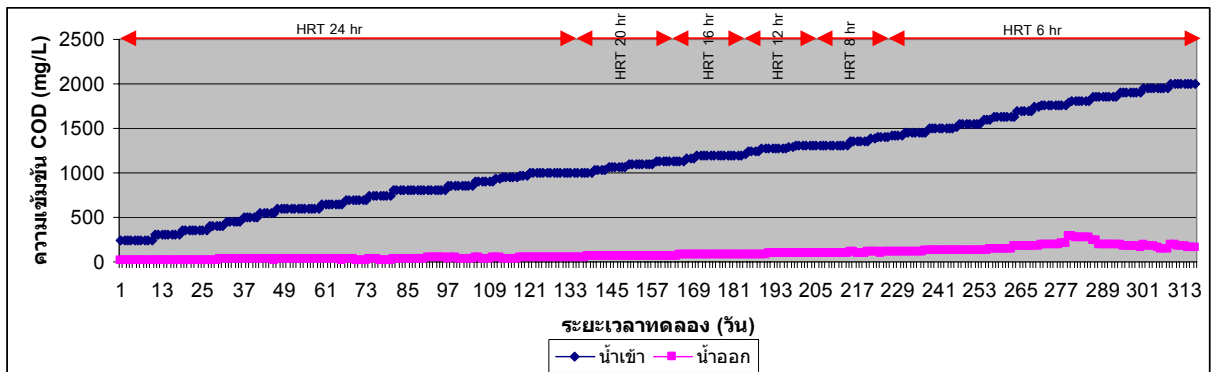
ความเข้มข้นของ MLSS ในน้ำออกของระบบส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 50-150 mg/L ซึ่งถือว่าไม่มีผลต่อความเข้มข้นของ MLSS ในช่องเติมอากาศทั้งสองบ่อที่ต้องควบคุมให้อยู่ในช่วง 3000 – 4000 มก./ล. (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545) ดังรูปที่ 2 อาจมีบางช่วงที่ MLSS มีค่าสูงเกินจากค่าควบคุมของการเดินระบบที่กำหนดไว้ ซึ่งเกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ มีการแก้ไขโดยการปล่อยตะกอนออกจนได้ค่าตามที่กำหนด และในช่วงที่มีการลดลงของตะกอนมักเป็นการปรับตัวของจุลินทรีย์ในช่วงของการเริ่มต้นเดินระบบและจากการเพิ่มความเข้มข้น ซีไอดีของน้ำเข้าและการลดระยะกักพักชลศาสตร์



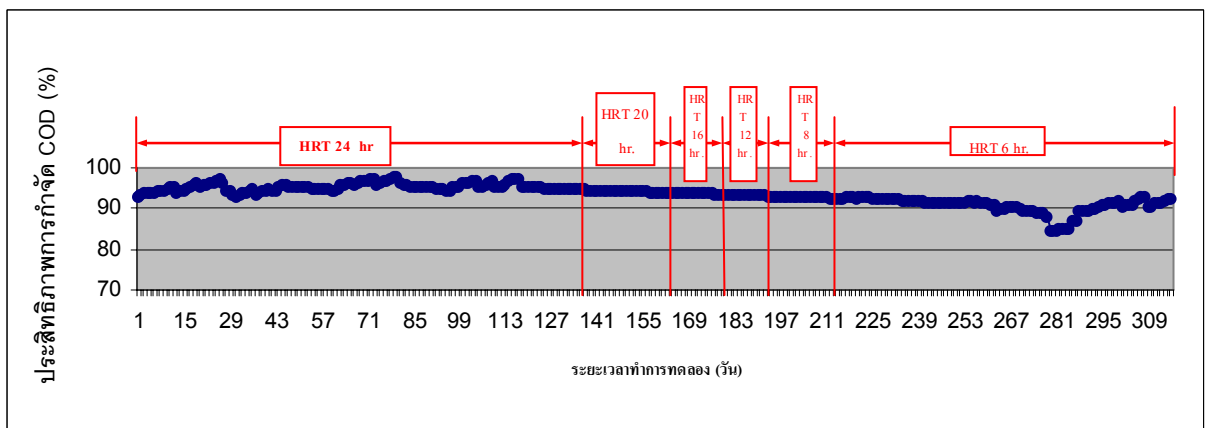
รูปที่ 2 ความเข้มข้นของ MLSS ของช่องเติมอากาศ 1, 2 และในน้ำออกของระบบเอเอสบีอาร์ตลอดการทดลอง

2. ความเข้มข้นของซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ตลอดการเลี้ยงเชื้อตลอดการทดลอง

ความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำเข้าตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 250-2000 mg/L พบว่าในน้ำออกมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 8-284.18 mg/L ดังรูปที่ 3 ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมากกว่าร้อยละ 80 ตลอดการทำการทดลอง แสดงว่าระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้ดี อาจมีบางช่วงที่ประสิทธิภาพลดลง เนื่องจากเมื่อลดระยะเวลาพักชดเชยทำให้การระบรทุกซีโอดีของระบบเพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามระบบยังคงมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ดังรูปที่ 4



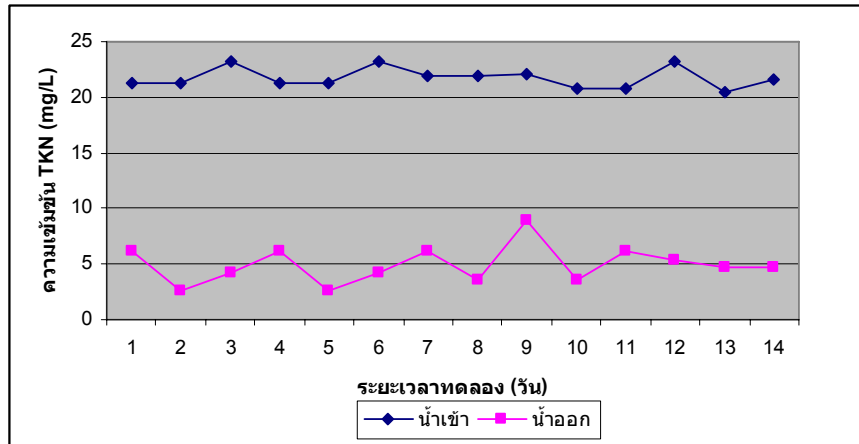
รูปที่ 3 ความเข้มข้นของซีโอดี น้ำเข้า-ออกของระบบเอเอสบีอาร์ตลอดการทดลอง



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบเอเอสบีอาร์ตลอดการทดลอง

3. ความเข้มข้นของ TKN ของระบบเอสปีอาร์ ช่วงระยะเวลาพักชลศาสตร์ที่ 6 ชั่วโมง

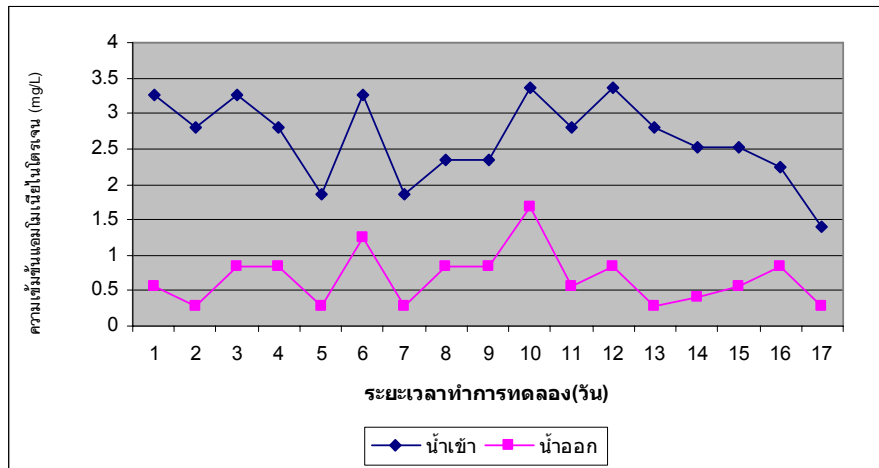
ความเข้มข้นของ TKN ของน้ำเข้าระบบอยู่ในช่วง 3.7- 23.3 mg/L น้ำออกจากระบบอยู่ในช่วง 2.5-9 mg/L และพบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดความเข้มข้นของ TKN ประมาณร้อยละ 70-80



รูปที่ 5 ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ของระบบเอสปีอาร์ ช่วงระยะเวลาพักชลศาสตร์ที่ 6 ชั่วโมง

4. ความเข้มข้นของแอมโมเนียของระบบเอสปีอาร์ ช่วงระยะเวลาพักชลศาสตร์ที่ 6 ชั่วโมง

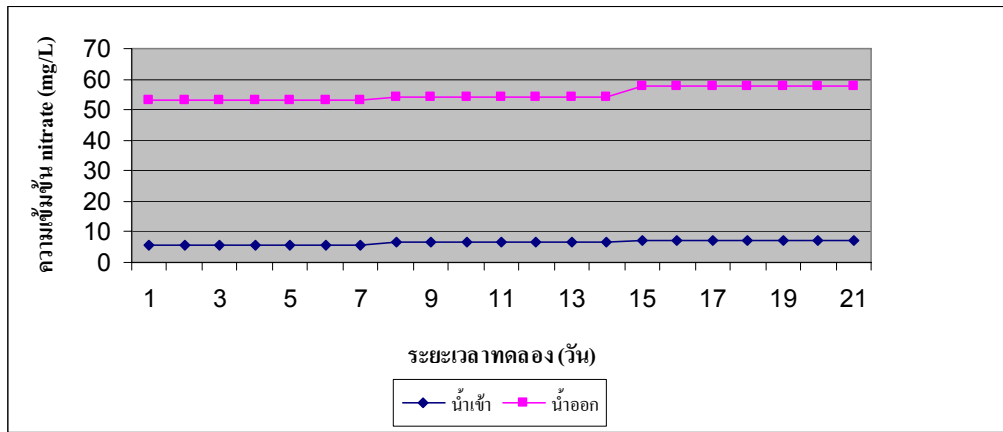
ความเข้มข้นของแอมโมเนียของน้ำเข้าระบบอยู่ในช่วง 1.4-8.4 mg/L น้ำออกจากระบบอยู่ในช่วง 0.28-2.8 mg/L และพบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดความเข้มข้นของแอมโมเนียประมาณร้อยละ 50-90



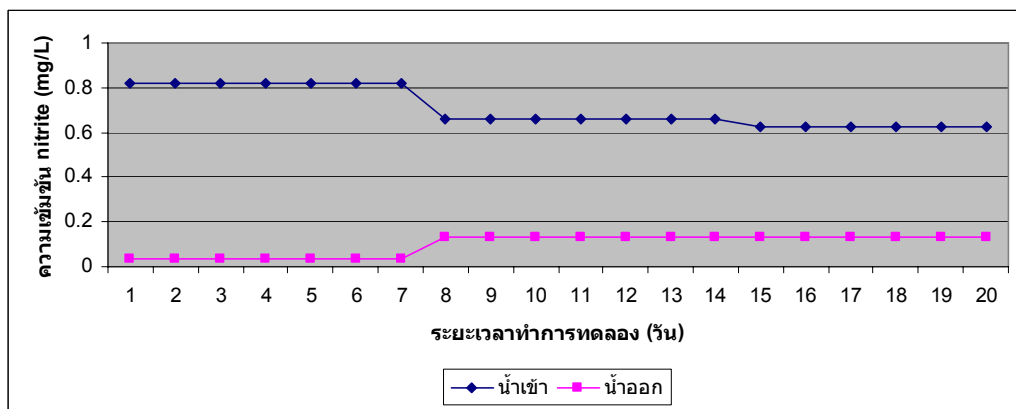
รูปที่ 6 ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนของระบบเอสปีอาร์ ช่วงระยะเวลาพักชลศาสตร์ที่ 6 ชั่วโมง

5. ความเข้มข้นของไนเตรทของระบบเอสปีอาร์ ช่วงระยะเวลาพักชลศาสตร์ที่ 6 ชั่วโมง

การเติมอากาศให้กับระบบเอสปีอาร์อย่างเกินพอทำให้นิโตรเจนทั้งหมด (แอมโมเนียและสารอินทรีย์ไนโตรเจน) ถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรท (รูปที่ 7) ตามกระบวนการไนตริฟิเคชันในวัฏจักรไนโตรเจน ส่วนความเข้มข้นไนเตรททั้งในน้ำเข้าและน้ำออกพบว่ามีความเข้มข้นไนเตรทไม่เกิน 1 mg/L ซึ่งถือได้ว่ามีค่าน้อยมาก (รูปที่ 8)



รูปที่ 7 ความเข้มข้นไนเตรทในน้ำเข้าและน้ำออกของระบบเอสปีอาร์ ช่วงระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 6 ชั่วโมง



รูปที่ 8 ความเข้มข้นไนไตรท์ในน้ำเข้าและน้ำออกของระบบเอสปีอาร์ ช่วงระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 6 ชั่วโมง

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยพบว่าระบบเอสปีอาร์สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 80 และจากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนที่ระยะกักพักชลศาสตร์ 6 ชั่วโมง พบว่าระบบสามารถบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้ร้อยละ 50-90 ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) คิดเป็นร้อยละ 70-80 และความเข้มข้นไนเตรทในน้ำออกอยู่ในช่วง 53.1-57.5 mg/L ซึ่งเพิ่มขึ้นจากความเข้มข้นไนเตรทในน้ำเข้าที่อยู่ในช่วง 5.7-7.3 mg/L ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรทของระบบคิดเป็นร้อยละ 78-96 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Christian et al. (2002) ที่ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีแอมโมเนียสังเคราะห์เข้มข้น โดยกระบวนการไนโตรฟิเคชันบางส่วนแล้วต่อกับกระบวนการ anaerobic ammonium oxidation (Annamox) ผลการทดลองพบว่า แอมโมเนียถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรทได้ร้อยละ 58 และการเกิดปฏิกิริยาของ Annamox ในระบบเอสปีอาร์ด้วยอัตราการรักษาแอมโมเนียไนโตรเจน 2.4 kgNm⁻³d⁻¹ สามารถบำบัดไนโตรเจนได้มากกว่าร้อยละ 90 และสอดคล้องกับรายงานของน้ำเงิน (2549) ที่ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนโดยไซเดียมไนเตรทในระบบเอสปีอาร์พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้มากกว่าร้อยละ 50 และสูงสุดร้อยละ 70 ที่ภาระบรทุกสารอินทรีย์ในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจน 0.053 กรัม แอมโมเนียไนโตรเจน/ลิตร-วัน และบำบัดไนเตรทได้มากกว่าร้อยละ 99 ในทุกภาระบรทุกสารอินทรีย์ นอกจากนี้ระบบเอสปีอาร์

สามารถบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอติได้มากกว่าร้อยละ 80 ดังที่ได้กล่าวข้างต้น และจากผลการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนของระบบเอสปีอาร์ ในงานวิจัยนี้ทำให้ผู้วิจัยสามารถนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการเกิดกระบวนการไนโตรเตชันโดยการจำกัดออกซิเจนในการผลิตไนโตรที่ทดแทนการเติมโซเดียมไนโตรที่เพื่อให้เกิดการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนเป็นก๊าซไนโตรเจนในกระบวนการ Anammox โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศต่อไป ทั้งนี้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง

เอกสารอ้างอิง

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2543. วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่ม 4. กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์.

อุตสาหกรรม, กระทรวง. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ:

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

น้ำเงิน จันทรมณี . 2549 . ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนโดยโซเดียมไนโตรในระบบเอสปีอาร์.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

APHA, AWWA, WPCF. 1998. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed.

Washington D.C.: American Public Health Association.

Christian, F., Marc, B., Philipp, H., Irene, B. and Hansruedi, S. 2002. Biological treatment of ammonium-rich wastewater by partial nitritation and subsequent anaerobic ammonium oxidation (anammox) in a pilot plant. Journal of Biotechnology 99: 295-306