

การประเมินสมรรถภาพของเอสบีอาร์ที่มีฟิล์มชีวภาพในการกำจัด ไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนที่มีความเค็ม

Performance Evaluation of Sequencing Batch Biofilm Reactor for Nitrogen Removal from Saline Domestic Wastewater

จิราพร อนันทยากร และ ศุภเกียรติ ศรีพนมณการ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพฯ 10530

E-mail: suppakiet@gmail.com

Manuscript received October 24, 2015

Revised November 24, 2015

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถภาพของเอสบีอาร์ที่มีตัวกลางเคลื่อนที่ในการกำจัดไนโตรเจนและซีโอดีในน้ำเสียชุมชนที่มีความเค็ม ดำเนินระบบภายใต้สภาวะที่สนับสนุนการไนตริฟิเคชันและการดีไนตริฟิเคชัน กำหนดระยะเวลาแอโรบิกและแอนอกซิกเท่ากับ 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ และเติมอากาศซ้ำอีก 1 ชั่วโมง ผลจากการหาอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการกำจัดไนโตรเจนและซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเค็มพบว่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนเท่ากับ 3:1 เป็นอัตราส่วนที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและไนโตรเจนสูงสุด ขณะที่ผลการบำบัดน้ำเสียชุมชนเมืองพัทยาที่มีอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนในช่วง 2.6:1-3.9:1 พบว่าระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมดและแอมโมเนีย-ไนโตรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 79-86, 77-81 และ 80-86 ตามลำดับ ในการติดตามค่าซีโอดีและการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนระหว่างดำเนินระบบในวัฏจักร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและไนโตรเจนในน้ำเสียเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากการใช้เอสบีอาร์ร่วมกับฟิล์มชีวภาพและการลดเส้นทางการกำจัดไนโตรเจนโดยการเกิดดีไนตริฟิเคชันบางส่วนจากสาเหตุของความเค็มในน้ำ

คำสำคัญ: การกำจัดไนโตรเจน, เอสบีอาร์, น้ำเสียที่มีความเค็ม

and COD removal efficiencies in saline domestic wastewater. The SBR reactor was operated under the operation of nitrification-denitrification process. The process was subjected to 4-h aeration followed by 5-h anoxic and 1-h aeration stage. The effects of COD:N ratio and salt concentration on the N and COD removal efficiencies in moving-bed sequencing batch reactors with synthetic wastewater were investigated. The results showed that the operating COD:N ratio of 3:1 had the highest performance in both the COD and N removal efficiencies. For the domestic wastewater of Pataya City Hall, the percentage of the COD, total N, and ammonia-N removal efficiencies ranged from 79 to 86 mg/l, 77 to 81 mg/l, and 80 to 86 mg/l, respectively at the operation COD:N ratios of 2.6:1-3.9:1. The monitoring of COD value and nitrogen transformation during cycle operation indicated that the COD and nitrogen removal efficiencies were improved by using of SBR with moving-bed biofilm occurred with partial denitrification and nitrogen removal pathway was shortening by salt content in wastewater.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the performance of a SBR with moving-bed biofilm on N

Keywords: Nitrogen removal, SBR, Saline wastewater

1. บทนำ

น้ำเสียชุมชนที่มีความเค็มมักเกิดจากการรั่วซึมของน้ำเค็มเข้ามาในระบบทอรวรรมน้ำเสียในชุมชนที่อยู่ใกล้ทะเล ความเค็มที่เพิ่มในน้ำเสียจะไปรบกวนการเมตาบอลิซึมของจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนที่ต่ำลง ในทางกลับกันการเติมเกลือในน้ำเสียยังมีข้อดีที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในระบบบำบัดน้ำเสีย คือทำให้เส้นทางในการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพสั้นลง โดยความเข้มข้นของเกลือที่เติมลงในน้ำเสียต้องเหมาะสมที่ทำให้มีการลดเส้นทางไนเตรต [1] หากสูงเกินไปจะมีผลทำให้ทั้งจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพมีปริมาณไนโตรเจนสูงขึ้น [2] เอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor, SBR) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ยอมรับกันว่ามีความยืดหยุ่น สามารถปรับเปลี่ยนการดำเนินการเพื่อให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้นได้โดยง่าย และยังปรับตัวรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์และความเค็มได้ดี นอกจากนี้การเติมตัวกลางที่มีฟิล์มจุลชีพเข้าไปในเอสบีอาร์ยังทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพของระบบเพิ่มขึ้น [3] โดยมีการดีไนตริฟิเคชันบางส่วน (Partial denitrification) เกิดขึ้นในระบบด้วย [4] การศึกษาจึงมีแนวความคิดในการนำระบบเอสบีอาร์ที่มีตัวกลางฟิล์มชีวภาพ โดยศึกษาถึงสภาวะการดำเนินระบบที่เหมาะสมและประเมินสมรรถภาพการกำจัดไนโตรเจนน้ำเสียชุมชนที่มีความเค็มจากชุมชนเมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี ซึ่งคาดว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนและสามารถลดผลกระทบจากปริมาณไนโตรเจนในน้ำทิ้งได้ดี

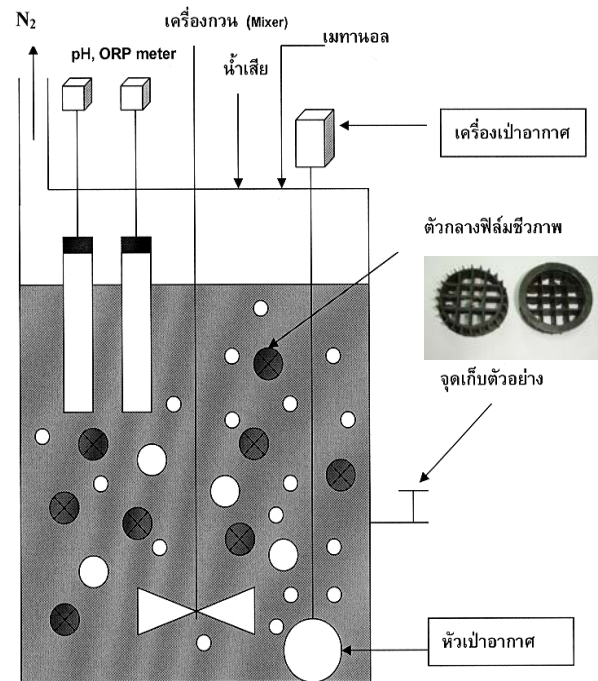
2. อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วยถังปฏิกรณ์พลาสติกขนาด 10 ลิตร บรรจุตัวกลางพลาสติกเป็นพื้นที่ผิวรวม 0.21 ตร.ม. ติดตั้งเครื่องกวนและเครื่องเป่าอากาศ (รูปที่ 1) ดำเนินระบบรอบละ 12 ชม. จำนวน 2 รอบต่อวันตามขั้นตอน Fill: Aeration: Anoxic: Aeration: Settle: Draw: Idle เป็นเวลา 10 นาที: 4 ชม.: 5 ชม.: 1 ชม.: 1.5 ชม.: 10 นาที: 10 นาทีตามลำดับ พารามิเตอร์ที่ศึกษาได้แก่ ค่า COD, NO_2^- -N, NO_3^- -N, TKN, NH_4 -N, MLSS, pH และ DO อ้างอิงตามวิธีวิเคราะห์ [5] การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน

2.1 อัตราส่วน COD:N ที่เหมาะสมในการดำเนินระบบ

ทำการทดลอง 5 ชุดและดำเนินระบบโดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปรับค่า COD:N ของน้ำเสียเข้าเท่ากับ 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 และ 5:1 ในช่วงค่า COD ประมาณ 70 – 350 มก./ล. เทียบเป็นภาระบรรทุก COD ในช่วง 0.08-0.4 กก./ม³-วัน ส่วนประกอบของน้ำเสีย

สังเคราะห์ แสดงไว้ในตารางที่ 1 ทั้งนี้ได้มีการเติม NaCl ในปริมาณ 10 กรัมต่อลิตรลงในน้ำเสียเพื่อควบคุมให้มีการเกิดดีไนตริฟิเคชันบางส่วนในระบบ [1]



รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 1 สารประกอบในน้ำเสียสังเคราะห์ (ดัดแปลงจาก [6])

สารประกอบ	กรัม/ล.	Trace elements*	กรัม/ล.
CH_3OH	0.073-0.368	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.786
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0.235	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	5.0
NaNO_2	0.098	$\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	12.609
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.2	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	4.05
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.026	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	4.398
KH_2PO_4	5.0	$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2.453
K_2HPO_4	3.0	KI	0.75
NaHCO_3	0.7	H_2BO_4	3.0
		$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	5.0
		EDTA	5.0
Trace elements*	1.0 มล./ล.		

2.2 ประสิทธิภาพการบำบัด COD และ N ในน้ำเสียชุมชน

ดำเนินการศึกษาโดยใช้น้ำเสียชุมชนที่เก็บจากโรงบำบัดน้ำเสียเมืองพัทยา จ.ชลบุรี ซึ่งมีลักษณะสมบัติในช่วงระหว่างดำเนินการศึกษาแสดงในตารางที่ 2 ดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุมที่ไม่มีตัวกลางฟิล์มชีวภาพ และชุดการทดลองควบคุมที่ไม่เติม NaCl ในน้ำเสีย

ตารางที่ 2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียชุมชนระหว่างการศึกษา

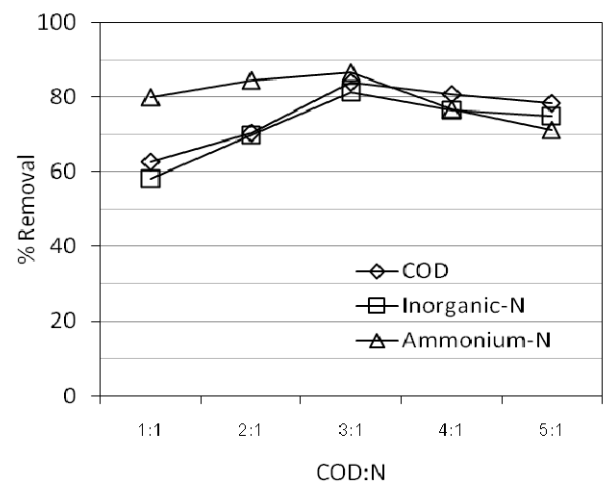
พารามิเตอร์	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
pH	7.06 - 8.20	7.38
TDS (mg/L)	285 - 1,215	349
TSS (mg/L)	25 - 115	58
Chlorides (mg/L)	300 - 2,040	450
BOD (mg/L)	41 - 99	68
COD (mg/L)	112 - 249	150
TP (mg/L)	8.2 - 14.7	9.2
TKN (mg/L)	20.4 - 38.6	23.4

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 อัตราส่วน COD:N ที่เหมาะสม

การพิจารณาประสิทธิภาพของระบบเพื่อวิเคราะห์หาอัตราส่วน COD:N ที่เหมาะสมได้ทำการเก็บข้อมูลหลังจากระบบดำเนินการเข้าสู่สภาวะคงที่ในช่วงตั้งแต่วันที่ 55 ถึงวันที่ 75 ของการดำเนินระบบเป็นระยะเวลา 20 วัน โดยเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2 พบว่าการดำเนินระบบที่มีค่า COD:N ประมาณ 3:1 สามารถให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD อนินทรีย์-ไนโตรเจน และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เท่ากับร้อยละ 85, 80 และ 85 ตามลำดับ การดำเนินระบบที่มีค่า COD:N สูงหรือต่ำกว่านี้จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ลดลง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัด COD ของระบบพบว่ามีความไม่สูงมากเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพทั่วไป ซึ่งอาจเนื่องมาจากการศึกษานี้มีการเติม NaCl ในระบบที่ทำให้ความเค็มเพิ่มขึ้น ซึ่งงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัด COD มีค่าลดลงเมื่อมีความเข้มข้นของ NaCl เพิ่มขึ้น [7] - [8] และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความเค็มกับงานวิจัยอื่นๆพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด COD ที่ใกล้เคียงกัน โดยจากการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการใช้น้ำทะเลเป็นน้ำชักโครกด้วย SBR พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด COD มากกว่าร้อยละ 80 [9] ขณะที่การบำบัด COD ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วย SBR สามารถบำบัด COD ได้ถึงร้อยละ 96 และลดลงเหลือร้อยละ 86 กรณีที่มีการเติม NaCl ใน

อัตรา 60 กรัมต่อลิตร [10] สำหรับค่าประสิทธิภาพการบำบัด N เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆที่ผ่านมาพบว่าจากการศึกษาการบำบัด N ด้วยการยับยั้งการออกซิโดซ์ของไนโตรท-ไนโตรเจนด้วย NaCl ร่วมกับการควบคุม pH ด้วย SBR พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนถึงร้อยละ 95 [11] ขณะที่งานวิจัยถึงการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีความเค็มด้วย SBR ร่วมกับฟิล์มชีวภาพสามารถบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนถึงร้อยละ 87 [12] ซึ่งไม่แตกต่างกันกับผลการศึกษานี้



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัด COD และ N ที่ค่า COD:N ต่าง ๆ

3.2 ประสิทธิภาพการบำบัด COD และ N ในน้ำเสียชุมชน

ในช่วงที่ทำการทดลองพบว่าค่า COD:N ในน้ำเสียชุมชนของเมืองพัทยายู่ในช่วง 2.6-3.9 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.1 ซึ่งเป็นช่วงค่าที่เหมาะสมจากผลจากการศึกษาในช่วงแรก โดยมีค่า COD และ Total N ในช่วง 120-209 มก./ล. และ 31.4-40.5 มก./ล. ตามลำดับ ผลการศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบที่ศึกษาเปรียบเทียบกับระบบควบคุมที่ไม่มีตัวกลางและระบบควบคุมที่ไม่มีการเติม NaCl ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด COD, NH₄-N และ Total N ของระบบที่ศึกษามีค่าในช่วงร้อยละ 79-86, 80-86 และ 77-81 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการบำบัด COD และ N ในน้ำเสียชุมชน

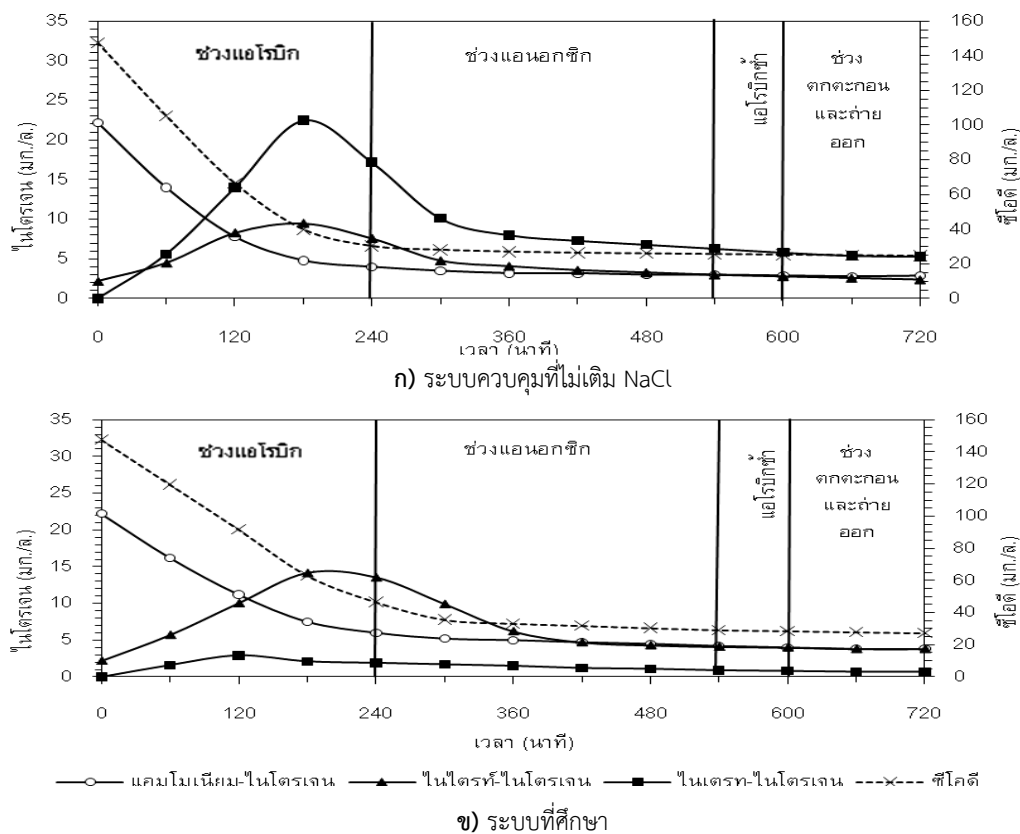
พารามิเตอร์	ระบบที่ศึกษา (%)	ระบบควบคุมไม่มีตัวกลาง (%)	ระบบควบคุมไม่เติม NaCl (%)
COD	79-86 (81.7)	75-84 (78.8)	82-87 (84.2)
NH ₄ -N	80-86 (84.1)	76-82 (79.9)	85-90 (87.9)
Total-N	77-81 (78.8)	55-65 (60.8)	70-76 (73.7)

เมื่อเปรียบเทียบกับระบบไม่มีตัวกลางพบว่าระบบที่ศึกษามีประสิทธิภาพการบำบัด COD, $\text{NH}_4\text{-N}$ และ Total N ที่สูงกว่าแสดงให้เห็นว่าฟิล์มชีวภาพมีผลทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ศึกษากับระบบควบคุมไม่มีความเค็ม พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด COD และ $\text{NH}_4\text{-N}$ ต่ำกว่าระบบควบคุมไม่เติม NaCl เล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัด Total N ของระบบที่ศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงที่สุด

3.3 ค่า COD และสารประกอบ N ขณะดำเนินระบบ

ผลการทดลองจากค่าเฉลี่ย 4 ครั้งในวันที่ 1, 5, 10 และ 15 ขณะดำเนินระบบในหนึ่งวัฏจักรแสดงในรูปที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ศึกษากับระบบควบคุมที่ไม่มีการเติม NaCl ในน้ำเสียพบว่าทั้ง 2 ระบบมีค่า COD ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแอโรบิก โดยขั้นตอนการไนตริฟิเคชันของระบบที่ประกอบด้วยขั้นตอนการ

ออกซิเดชันของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน และการออกซิเดชันของไนไตรท์-ไนโตรเจน พบว่ามีการออกซิเดชันของแอมโมเนียม-ไนโตรเจนคล้ายกัน โดยมีการออกซิไดซ์แอมโมเนียมในช่วงแอโรบิก ส่วนในขั้นตอนของการออกซิเดชันของไนไตรท์-ไนโตรเจน ในกระบวนการไนตริฟิเคชันของระบบที่ศึกษาซึ่งถูกป้อนด้วยน้ำเสียที่เติม NaCl ไม่มีการออกซิไดซ์ไนไตรท์-ไนโตรเจนเพื่อเป็นไนเตรท-ไนโตรเจนหรือมีน้อยมาก ซึ่งสังเกตได้จากในช่วงแอโรบิกมีความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำเสียของระบบน้อยมาก มีแต่เพียงความเข้มข้นของไนไตรท์-ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นจากการออกซิไดซ์แอมโมเนียม-ไนโตรเจนและเริ่มลดลงในช่วงท้ายของการแอโรบิกจนถึงช่วงแอนอ็อกซิก ขณะที่ในระบบควบคุมที่ไม่เติม NaCl มีความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นมากสังเกตจากเส้นกราฟที่สูงขึ้นมากในช่วงแอโรบิก



รูปที่ 3 ค่า COD และสารประกอบ N ขณะดำเนินระบบหนึ่งวัฏจักร (ก) ระบบควบคุมที่ไม่เติม NaCl (ข) ระบบที่ศึกษา

ในการศึกษาการไนตริฟิเคชันสำหรับระบบที่ศึกษาที่เป็น SBR ร่วมกับฟิล์มชีวภาพ จากการพบว่าในช่วงหลังของแอโรบิกมีการรีดักชันของไนไตรท์และไนเตรทเกิดขึ้นด้วย โดยมีความเข้มข้นไน

ไตรท์-ไนโตรเจนและไนเตรท-ไนโตรเจนลดลงในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าระบบมีการไนตริฟิเคชันพร้อมกับดีไนตริฟิเคชัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Garzon-Zuniga and Gorzalez-

Martinez [12] และการศึกษาของ Pastorelli et al. [4] ซึ่งพบว่า การกำจัดไนโตรเจนในระบบที่มีฟิล์มชีวภาพนั้น มีดีโนทริฟิเคชัน บางส่วนเกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมอากาศด้วย จากผล การศึกษาแสดงให้เห็นว่าระบบที่ศึกษาเมื่อถูกป้อนด้วยน้ำเสียที่มีความเค็มมีการลดขั้นตอนการเกิดขึ้นของไนเตรท-ไนโตรเจน โดยมีการรีดักชันของไนเตรท-ไนโตรเจนเป็นก๊าซไนโตรเจนโดยตรง สอดคล้องกับรายงานของ Cui et al. [1] ซึ่งรายงานว่า การเติม NaCl ในน้ำเสียทำให้เกิดการข้ามขั้นตอนการเกิดไนเตรท ออกซิเดชันเพื่อเป็นไนเตรท โดยความเค็มในน้ำเสียทำให้เกิดการ เปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรจุลชีพ มีผลทำให้ประชากรจุลชีพ พวกที่เด่นเปลี่ยนจากตัวออกซิไดซ์ไนเตรทเป็นตัวออกซิไดซ์ แอมโมเนีย แต่อย่างไรก็ตามการนำวิธีการกำจัดไนโตรเจนโดยการ ลดขั้นตอนการเกิดไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำเสียที่มีความเค็ม หรือ ด้วยการเติม NaCl เข้าไปในระบบเพื่อยับยั้งการออกซิไดซ์ของไนเตรท-ไนโตรเจน มีข้อดีคือทำให้เกิดการประหยัดพลังงานในการเติม ออกซิเจน และลดการใช้แหล่งคาร์บอนจากภายนอกแล้ว[11] ในทางปฏิบัติจะต้องพิจารณาด้วยว่าแหล่งรองรับน้ำทิ้งที่ออกจาก ระบบเป็นแหล่งน้ำประเภทใด หากเป็นแหล่งน้ำจืดจะได้รับ ผลกระทบจากความเค็มน้ำออกจากระบบรวมถึงอาจมีความเสี่ยง ต่อการมีไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำทิ้ง ซึ่งอาจทำให้อันตรายต่อ สิ่งมีชีวิตและเป็นเหตุทำให้ระบบนิเวศในแหล่งน้ำนั้นเสียหายได้

4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้คือ

4.1 SBR ที่มีฟิล์มชีวภาพให้ประสิทธิภาพการบำบัด N และ COD ในน้ำเสียชุมชนที่มีความเค็มในระดับที่น่าพอใจ โดยให้ ประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงกว่าการใช้ SBR อย่างเดียว ซึ่งเป็นผล มาจากการมีฟิล์มชีวภาพในระบบและการลดเส้นทางการกำจัด ไนโตรเจนโดยการเกิดดีโนทริฟิเคชันบางส่วน

4.2 การดำเนินระบบที่ค่า COD:N ในช่วง 1:1-5:1 โดยเทียบ เป็นภาระบรรทุก COD ในช่วง 0.08-0.40 กก.COD/ลบ.ม.-วัน ให้ ประสิทธิภาพการบำบัด COD, Total N และ $\text{NH}_4\text{-N}$ ในช่วงร้อยละ 57.0-85.7, 49.6-82.5 และ 65.8- 87.1 ตามลำดับ โดยการดำเนิน ระบบโดยมีค่า COD:N เท่ากับ 3:1 สามารถให้ประสิทธิภาพการ บำบัดน้ำเสียสูงสุด

4.3 ระบบที่ใช้ศึกษามีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนเมือง พัทยา ที่มีค่า COD และ Total N เข้าระบบในช่วง 120.3-209.1 และ 34.7-40.5 มก./ล. ตามลำดับ เทียบเป็นค่า COD:N ในช่วง 2.6-3.9 ได้ดี โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด COD, Total N และ $\text{NH}_4\text{-N}$ ในช่วงร้อยละ 79-86, 77-81 และ 80-86 ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Y.W. Cui, Y.Z. Peng, C.Y. Peng, X.O. Gan and L. Ye, "Achieving biological nitrogen removal via nitrite by salt inhibition", *Water Science and Technology*, vol. 53, no.6, pp. 115-122, 2006.
- [2] Y.Z. Peng, D.F. Yu, D.W. Liang and G.B. Zhu, "Nitrogen removal via nitrite from seawater contained sewer", *Journal of Environmental Science and Health, A*, vol. 39, no.7, pp. 1667-1680, 2004.
- [3] B.M. Kumar and S. Chaudhari, "Evaluation of sequencing batch reactor (SBR) and sequencing batch bilofilm reactor (SBBR) for biological nutrient removal from simulated wastewater containing glucose as carbon source", *Water Science and Technology*, vol. 48, no.3, pp. 73-79, 2003.
- [4] G. Pastorelli, G. Andreottola, R.Canzani, C. Darriulat, E. Frangipane and A. Rozzi, "Organic carbon and nitrogen removal in moving-bed biofilm reactors", *Water Science and Technology*, vol. 35, no. 6, pp. 91-99, 1997.
- [5] APHA, AWWA and WEF, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 21st Edition. Washington D.C. USA., 2005.
- [6] A.N. Katsogiannis, M. Kornaros and G. Lyberatos, "Enhance nitrogen removal in SBRs bypassing nitrate generation accomplished by multiple aerobic/anoxic phase pairs", *Water Science and Technology*, vol. 47 no. 11 pp. 53-59, 2003.
- [7] F. Kargi and A. Uygur, "Improved nutrient removal from saline wastewater in an SBR by halobacter supplement activated sludge", *Environmental Engineering Science*, vol. 22, no. 2, pp. 170-176, 2005.
- [8] A. Uygur, "Specific nutrient removal rate in saline wastewater treatment using sequencing batch reactor", *Biochemistry Journal*, vol. 41, no. 1, pp. 61-66, 2006.
- [9] Y.Z. Peng, G.B. Zhu, S.Y. Wang, D.S. Yu, Y.W. Cui, and X.S. Meng, "Pilot-scale studies on biological treatment hypersaline wastewater at low temperature", *Water Science and Technology*, vol.52 no.10-11, pp. 129-137, 2005.
- [10] H.Y. Ng, Ong. and L. Say, "Sequencing batch reactor for treatment of high saline wastewater" *Proceedings of the Water Environmental Federation, WEFTEC*, pp. 2248-2256, 2005.
- [11] Y. Liu, B. Tang, K.F. Zhao, M. Pijuan and Y.Z. Peng, "Nitrogen removal via nitrite in domestic wastewater treatment using combined salt inhibition and on-line

process control”, Water Science Technology, vol. 60, no. 6, pp.1633-1639, 2009.

- [12]M. A. Gazon-Zuniga and S. Gonzalez-Martinez, “Biological phosphate and nitrogen removal in a biofilm sequencing batch reactor”, Water Science and Technology, vol. 34, no. 1-2 pp. 293-301, 1996.



ศุภเกียรติ ศรีพนมณกร สำเร็จการศึกษา
ระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมสภาวะ
แวดล้อม และปริญญาโทสาขาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และจบ
การศึกษาระดับปริญญาเอกสาขา Water and
Wastewater Engineering จาก Asian
Institute of Technology ปัจจุบันเป็น
อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร