



การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียฟาร์มสุกรโดย กระบวนการชารอนร่วมกับอนาม็อก

Nitrogen Removal from Piggery Farm Wastewater by Combined Sharon/Anammox Process

ตฤณ เลขวรรณวิจิตร และ จิตเทพ ประสิทธิ์อยู่ดี

Trin Lekawanvijit and Jitthep Prasityousil

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

E-mail: jittthep@eng.cmu.ac.th, surasak416@hotmail.com

บทคัดย่อ

กระบวนการอนาม็อกเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีแอมโมเนียเข้มข้นสูง และมีอัตราส่วน C/N ต่ำ โดยสามารถประยุกต์ใช้ระบบชารอนเพื่อปรับน้ำเสียให้มีสัดส่วนแอมโมเนียและไนโตรเจนที่เหมาะสมกับระบบอนาม็อก ด้วยการควบคุมอุณหภูมิ, เวลาพักเก็บน้ำ (HRT) และออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ช่วยลดความต้องการออกซิเจนและแหล่งคาร์บอนเมื่อเทียบกับระบบไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันทั่วไป จากการศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียฟาร์มสุกรด้วยระบบชารอน (เป็นถังกวนสมบูรณ์) ร่วมกับระบบอนาม็อก (เป็นถังกรองชีวภาพ) ในระดับห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 91 วัน ได้อัตราภาระบรรทุกไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับระบบอนาม็อกคือ 0.2-1.0 กก./ม.³-วัน และที่อัตราภาระบรรทุกไนโตรเจน 1.0 กก./ม.³-วัน ระบบมีอัตราภาระบรรทุกไนโตรเจนจำเพาะ 10.73 ก./ม.²-วัน กำจัดแอมโมเนียและไนโตรเจนได้ร้อยละ 74.2 และ 84.5 ตามลำดับ อัตราภาระบรรทุกไนโตรเจนสูงสุดที่พบในการทดลองคือ 1.4 กก./ม.³-วัน แต่ขาดเสถียรภาพเพราะซีโอไลท์ที่เหลือน้ำออกจากระบบชารอนจะทำให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในระบบอนาม็อก ซึ่งจะลดประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ การเริ่มต้นระบบอนาม็อกด้วยหัวเชื้อตะกอนจากถังหมักไร้ออกซิเจนมีความเข้มข้น 7.8 ก.VSS/ล. ใช้เวลาเพียง 2 สัปดาห์ เป็นการเริ่มระบบอนาม็อกที่เร็วกว่าการเพาะเชื้อด้วยตะกอนที่มีแบคทีเรียกลุ่มไนตริฟายอิงจากระบบเอเอส

ABSTRACT

The anaerobic ammonium oxidation (ANAMMOX) process is a promising alternative to treat ammonium rich and low carbon to nitrogen ratio (C/N) wastewater. It is capable and effective to apply the single reactor system for high ammonium removal over nitrite process (SHARON) for producing an appropriate $\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+$ ratio in the Anammox influent with modifications of parameters (temperature, hydraulic retention time and aeration). The advantage is less requirement in aeration and carbon source compared to the conventional nitrification and denitrification system. In this study, the pilot-scale Sharon system (continuous stirred tank reactor: CSTR) combined with the Anammox system (anaerobic biological filter: ABF) was operated for 91 days to treat piggery wastewater. The experimental results showed that the ABF reactor had an appropriate nitrogen loading rate of 0.2-1.0 $\text{kg}/\text{m}^3\text{-d}$. At nitrogen loading rate of 1.0 $\text{kg}/\text{m}^3\text{-d}$, the specific nitrogen loading rate was 10.73 $\text{g}/\text{m}^2\text{-day}$, NH_4^+ and NO_2^- removal was 74.2%, 84.5% respectively. The highest achieved nitrogen loading rate was 1.4 $\text{kg}/\text{m}^3\text{-day}$. The 2 week start-up of Anammox process with 7.8 gVSS/l digestion sludge

was faster than other researches that started up by cultivating nitrifying activated sludge to Anammox. The residue COD in Sharon effluent could cause a decrease in Anammox system efficiency.

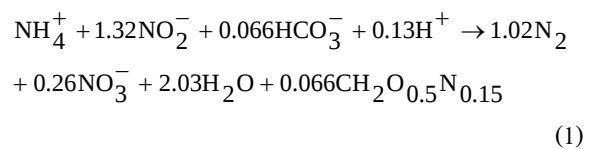
1. บทนำ

น้ำเสียที่มีแอมโมเนียเข้มข้นสูง เช่น น้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบขยะ น้ำเสียจากกระบวนการหมักตะกอนน้ำเสียชุมชนที่ผ่านระบบบำบัดขั้นต้นมาแล้ว น้ำออกจากระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนและน้ำเสียจากกิจกรรมการเกษตรที่ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับมลพิษทางน้ำ โดยเฉพาะประเทศไทยที่เป็นประเทศเกษตรกรรม ปัจจุบันฟาร์มสุกรส่วนใหญ่มีการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งมักเป็นระบบแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic) เนื่องจากเป็นระบบที่ใช้พลังงานต่ำ และยังได้ก๊าซมีเทนซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ได้ แต่ระบบนี้ไม่สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ น้ำเสียจากฟาร์มสุกรจึงยังคงมีค่าแอมโมเนียสูงเช่นเดียวกับน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโพร์ที่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ที่นำมาทดลองนั้น ใช้ระบบยูเอเอสบี (UASB) เพื่อบำบัดน้ำเสียที่ออกจากระบบบ่อหมักกรองแต่ยังคงมีค่าแอมโมเนียสูงอยู่ จึงต้องบำบัดต่อด้วยระบบบ่อฝั้ถึงจำนวน 10 บ่อ เพื่อให้ น้ำเสียในบ่อฝั้บ่อสุดท้ายมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2539)

การกำจัดแอมโมเนียด้วยวิธีทางเคมีโดยการตกตะกอนทางเคมีด้วยแมกนีเซียม-แอมโมเนีย-ฟอสเฟต (MAP) หรือการเติมอากาศ เป็นวิธีการที่เป็นไปได้แต่ยังคงมีค่าใช้จ่ายสูงอยู่เมื่อเทียบกับระบบไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันที่มีการเติมแหล่งคาร์บอน ในช่วงปลายคริสต์ศตวรรษที่ 19, Hellinga et al. [1] ได้รายงานการค้นพบการกำจัดแอมโมเนียความเข้มข้นสูงในน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพและให้ชื่อระบบว่า Single reactor system for High Ammonium Removal Over Nitrite (SHARON) ซึ่งเมื่อควบคุมสถานะของระบบให้มีอุณหภูมิสูง (ประมาณ 35°C) และปราศจากการกักเก็บตะกอนสามารถยับยั้งการออกซิไดซ์ไนโตรเจนไปเป็นไนเตรตและการเกิดปฏิกิริยาดินโตริฟิเคชันด้วยไนโตรเจน กระบวนการนี้สามารถลดการเติมอากาศและคาร์บอนลงได้ 20% และ

40% ตามลำดับเมื่อเทียบกับระบบไนตริฟิเคชันและระบบดีไนตริฟิเคชันแบบทั่วไป

ในช่วงคริสต์ศักราช 1990-2000 ได้มีการค้นพบการเปลี่ยนแอมโมเนียไปอยู่ในรูปก๊าซไนโตรเจนภายใต้สภาวะขาดแคลนออกซิเจน โดยไนโตรเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน [2] และเพราะแอมโมเนียถูกออกซิไดซ์ภายใต้สภาวะที่ขาดแคลนออกซิเจนกระบวนการใหม่นี้จึงถูกตั้งชื่อว่า ANaerobic AMMonium OXidation (ANAMMOX) แสดงดังสมการที่ (1) กระบวนการแบบออโดทรอปนีทำให้ลดการเติมอากาศลงกว่า 50% และไม่ต้องการแหล่งคาร์บอน นอกจากนี้ระบบยังมีปริมาณตะกอนต่ำอีกด้วย ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ระบบชารอนร่วมกับอนาโมกเพื่อกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร



2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 น้ำเสียฟาร์มสุกรที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของบริษัทโพร์ที่ อ.สันทราย ซึ่งใช้ระบบบำบัดขั้นต้นแบบบ่อหมักกรอง ต่อด้วยระบบยูเอเอสบี มี pH 7.7, ของแข็งแขวนลอย 2,500-4,000 มก./ล., FCOD 145-484 มก./ล., $\text{NH}_4\text{-N}$ 280-363 มก./ล., ความเค็ม 1,233-1,741 มก. $\text{CaCO}_3/\text{ล.}$

2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

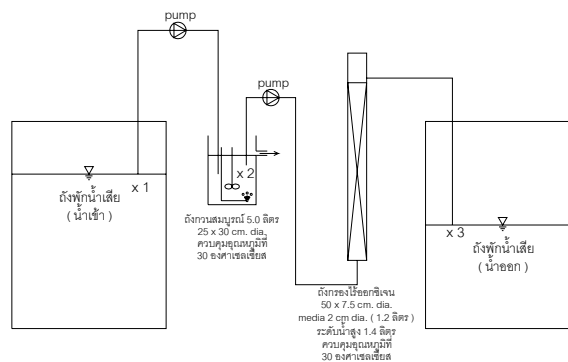
การทดลองชุดที่ 1 ของระบบชารอนนี้เป็นการเตรียมสภาวะน้ำเสียให้เหมาะสมกับระบบอนาโมก (น้ำเสียที่มีอัตราส่วนไนโตรเจน/แอมโมเนีย ประมาณ 1-1.3) ทำการทดลองหาเวลากักเก็บน้ำ (HRT) ที่เหมาะสมโดยทดลองที่

HRT 1.3, 1.0 และ 0.75 วัน โดยเริ่มต้นระบบที่ HRT 2 วัน เมื่อในน้ำออกเริ่มมีค่าแอมโมเนียลดลง จึงลดระยะเวลาพักเก็บน้ำลงมาอยู่ในช่วงที่ทำการทดลองเป็นลำดับจนน้ำออกระบบมีอัตราส่วน $\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+$ คงที่มีการตกตะกอนในน้ำเสียก่อนสูบน้ำเข้าระบบเดิมอากาศให้แก่อากาศอย่างต่อเนื่อง ควบคุม DO 0.4-1.7 มก./ล. มีการควบคุมผลต่อเวลาที่ความเร็ว 200 รอบต่อ นาที ควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่ 30-35 °C ควบคุม pH ของระบบ 7.5-8.0 โดยนำตะกอนปริมาตร 2 ลิตร จาก ระบบบำบัดแบบเอเอสของโรงบำบัดน้ำเสีย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่เป็นหัวเชื้อ

การทดลองชุดที่ 2 เพื่อหาช่วงค่าการะบรทุกทาง ชลศาสตร์ที่เหมาะสมของระบบอนาม็อก โดยทดลอง HRT 3 ค่า เริ่มต้นที่ 24 ชั่วโมง แล้วจึงลดเป็น 12, 6, 4.8 ชั่วโมง ตามลำดับ สูบน้ำจากระบบชารอนเข้าสู่ระบบอนาม็อกจากด้านล่างอย่างต่อเนื่อง ควบคุมอุณหภูมิของระบบที่ 30-35 °C ป้องกันไม่ให้ถูกแสงสว่างด้วยวัสดุทึบแสงเพื่อไม่ให้แบคทีเรียประเภทโฟโตทรอปปรบกวนการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มอนาม็อก ควบคุม pH ของระบบชารอน 7.5-8.0 แผนผังแบบจำลองและตัวกลางที่ใช้ในถังกรองชีวภาพแสดงดังรูปที่ 1 โดยประสิทธิภาพของระบบอนาม็อกนั้นจะคำนึงถึงการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนเป็นหลัก (พิจารณาเมื่อไนโตรเจนในน้ำออกมีค่าต่ำใกล้เคียงศูนย์) ทำการเพาะเชื้อโดยนำตะกอนที่ออกจาก ระบบ หมัก ตะ ก อน ของ โรง บำ บั ด น้ำ เสี ย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่มีความเข้มข้น 7.8 ก. VSS/ล. ปริมาตร 1 ลิตร

2.3 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

การทดลองชุดที่ 1 เก็บตัวอย่างน้ำจากจุดที่ 1 และ 2 ส่วนการทดลองชุดที่ 2 เก็บตัวอย่างน้ำจากจุดที่ 1, 2 และ 3 ดังแสดงในรูป 1(ก) วิเคราะห์โดยวิธีของ Standard Methods (APHA, AWWA, WPCF, 1995)



(ก)



(ข)

รูป 1 แผนผังแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา (ก) และ ตัวกลางที่ใช้ทดลองในถังกรองชีวภาพ (ข)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลของเวลากักเก็บน้ำต่ออัตราส่วน $\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+$ ในระบบชารอน

น้ำออกจากระบบชารอนที่ HRT 1.3, 1.0 และ 0.75 วัน มีอัตราส่วน $\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+$ เฉลี่ยเท่ากับ 1.73 ± 0.12 , 1.72 ± 0.21 และ 0.56 ± 0.04 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 2ก, 2ข อัตราส่วน $\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+$ ที่ HRT 1.3, 1.0 วันมีค่าไม่แตกต่างกัน ส่วนที่ HRT 0.75 วัน มีไนโตรเจนสะสม 113 ± 8 มก./ล. คิดเป็น 36% ของแอมโมเนียในน้ำเข้าระบบ อัตราส่วน $\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+$ โดยเฉลี่ย เท่ากับ 0.56 ± 0.04 ซึ่งมีค่าต่ำ ไม่เหมาะสมที่จะบำบัดต่อด้วยระบบอนาม็อก ซึ่งผลที่ได้ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Van Dongen et al. [3] ที่ทดลองเดินระบบชารอนในสภาวะควบคุมเหมือนกันซึ่งพบว่า ที่ HRT 0.8 วัน แอมโมเนียถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนโตรเจน 30%

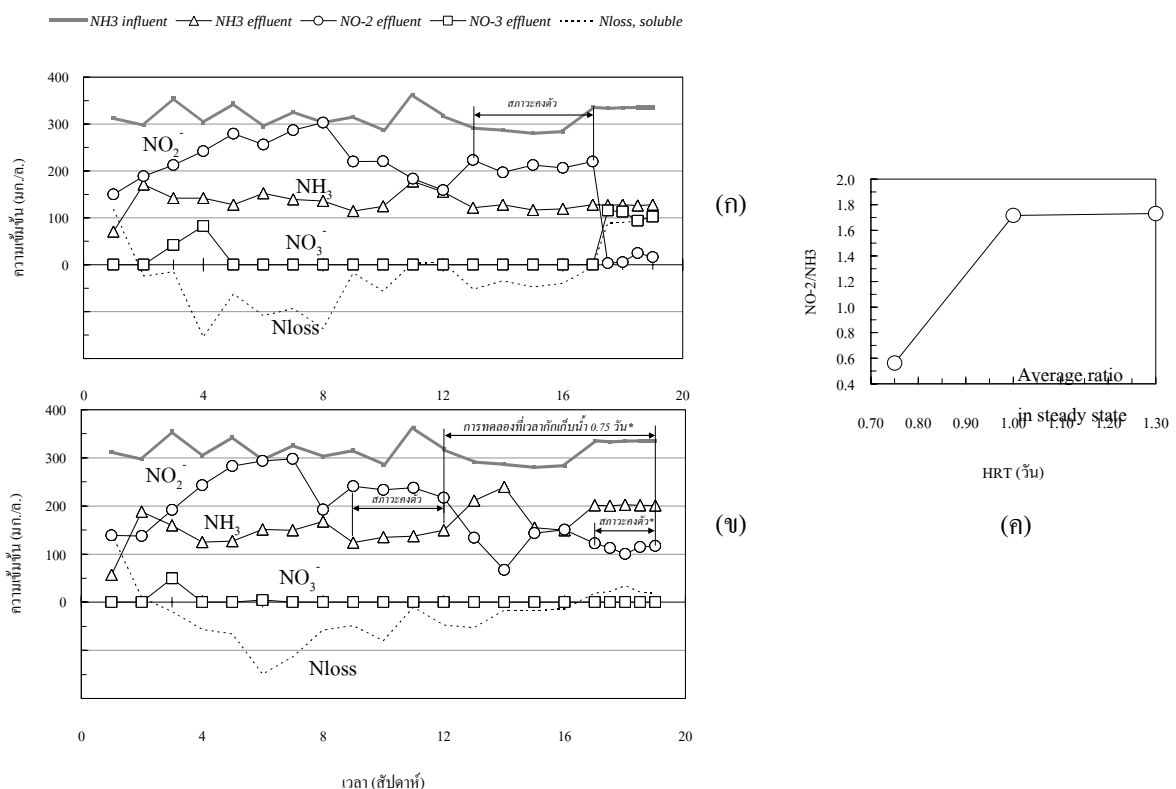
เมื่อใช้ข้อมูลในช่วงภาวะคงตัวนำมาพล็อตกราฟดังรูปที่ 2(ค) พบว่าเมื่อใช้เวลากักเก็บน้ำ 0.85-0.90 วัน อัตราส่วน $\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+$ จะเท่ากับ 1.0-1.3 ซึ่งจะทำให้ระบบบอานีอกำจัดไนโตรเจนและแอมโมเนียได้หมด

เมื่อไม่มีการออกซิไดซ์ COD ในกระบวนการชารอน ปริมาณของ COD ประมาณ 141 มก./ล. ที่เหลืออยู่ในน้ำเสียจึงเข้าสู่ระบบบอานีอก ซึ่งจะปลดประสิทธิภาพของระบบบอานีอกได้ [4], [5] โดย Van Dongen et al. [3] กล่าวว่า COD ที่เหลืออยู่ในระบบบอานีอกจะทำให้เกิดซัลไฟด์ซึ่งเป็นพิษต่อเชื้อบอานีอกในระบบ

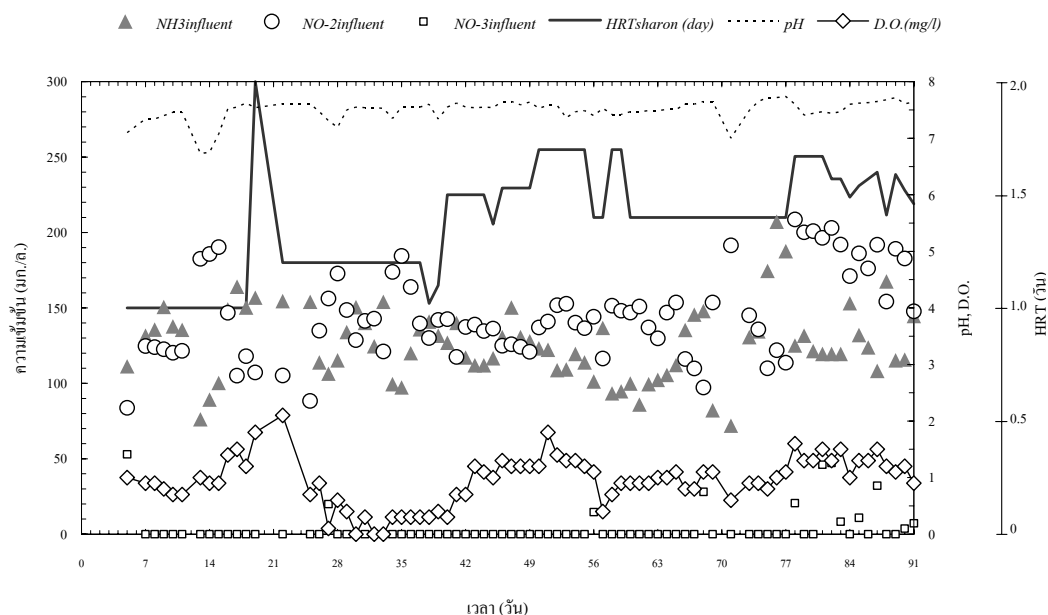
3.2 การควบคุมตัวแปรของระบบชารอนในกระบวนการชารอนร่วมกับบอานีอก

ในช่วงเพาะเชื้อบอานีอก สิ่งที่ต้องควบคุมคือ DO ให้มีปริมาณประมาณ 1 มก./ล. (ซึ่งเคยทำการเพาะเชื้อที่ค่า DO 1.7 มก./ล. HRT ที่ 0.85-0.90 วัน นั้นล้มเหลว) pH อยู่ในช่วง 7.5-8.0 และ HRT 1 วัน มีไนโตรเจนสะสม ในน้ำเข้าระบบต่ำกว่า 70 มก./ล. ซึ่งเหมาะสมสำหรับ ช่วงเพาะเชื้อตามที่ Van Dongen et al. [3] ได้เคยวิจัยไว้

ตลอดการทดลองที่ใช้กระบวนการชารอนร่วมกับบอานีอก มีการควบคุมตัวแปรของระบบชารอน (HRT และ DO) เพื่อให้ได้น้ำออกจากกระบวนการบอานีออัตราส่วน $\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+$ 1.0-1.3 แสดงดังรูปที่ 3



รูป 2 การทดลองระบบชารอนที่ HRT 1.3 วัน (ก), HRT 1.0 วันและ HRT 0.75 วัน (ข), แนวโน้มของอัตราส่วน $\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+$ ที่สภาวะคงตัวกับ HRT (ค)



รูป 3 ความเข้มข้นของ $\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+$ ของระบบชารอนเมื่อมีการควบคุม DO และ HRT

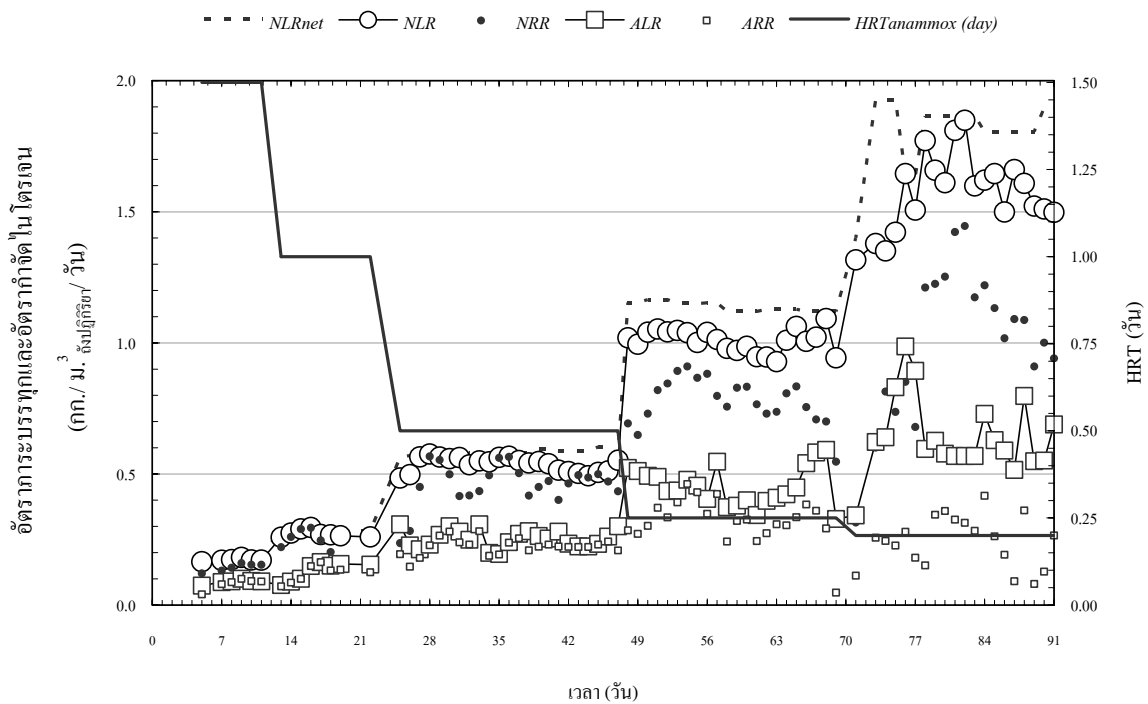
3.3 อัตราการบำบัดทุกไนโตรเจนของระบบน้าม็อก

ผลการทดลองแสดงเป็นค่าอัตราการบำบัดทุกไนโตรเจนได้ดังรูปที่ 4 ได้ค่าอัตราการบำบัดทุกไนโตรเจนที่เหมาะสมประมาณ $1.0 \text{ กก./ม.}^3 \text{ ถึงปฏิกิริยา-วัน}$ ที่เวลากักเก็บน้ำ 0.25 วัน ช่วงสภาวะคงตัว (วันที่ 58-65) ได้อัตรากำจัดไนโตรเจน $0.80 \pm 0.05 \text{ กก./ม.}^3 \text{ ถึงปฏิกิริยา-วัน}$ เมื่อเพิ่มอัตราการบำบัดทุกไนโตรเจนเป็น $1.5 \text{ กก./ม.}^3 \text{ ถึงปฏิกิริยา-วัน}$ ระบบมีความสามารถกำจัดไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้นเป็น $1.28 \pm 0.1 \text{ กก./ม.}^3 \text{ ถึงปฏิกิริยา-วัน}$ แต่ต่อมามีค่าลดลงเนื่องจากผลของซีโอดีที่คงเหลือในน้ำเสียค่าที่ได้จากการทดลองนี้ใกล้เคียงกับการทดลองของ Van Dongen et al. [3] ที่ใช้ถังแบบกึ่งเทกกับน้ำเสียระบบบำบัดตะกอนซึ่งระบบสามารถรับอัตราการบำบัดทุกไนโตรเจนมีค่า $1.0\text{-}1.6 \text{ กก./ม.}^3 \text{ ถึงปฏิกิริยา-วัน}$ มีอัตรากำจัดไนโตรเจน $0.75 \pm 0.2 \text{ กก./ม.}^3 \text{ ถึงปฏิกิริยา-วัน}$ และมีค่าสูงกว่าการทดลองของ Yamamoto et al. [5] ที่ทดลองด้วยระบบถังกรองแบบไหลขึ้นกับน้ำเสียฟาร์มสุกร ได้อัตรากำจัดไนโตรเจน $0.22 \text{ กก./ม.}^3 \text{ ถึงปฏิกิริยา-วัน}$

3.4 อัตราส่วนในสมการสตอยชิโอเมตริกจากการทดลองในระบบน้าม็อก

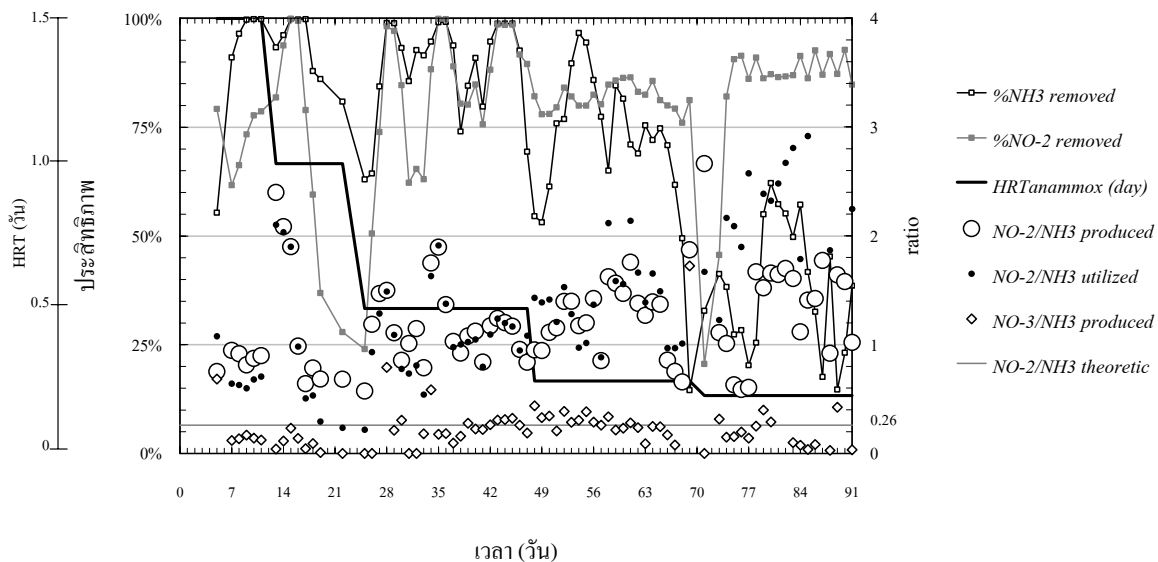
รูปที่ 5 แสดงช่วงการทดลองที่เวลากักเก็บน้ำ 0.5 วัน ซึ่งอัตราส่วนไนโตรเจนที่ถูกใช้/แอมโมเนีย มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าอัตราส่วนในน้ำเข้าระบบ และไนเตรทที่เกิดขึ้นเป็นไปตามที่ Van Dongen et al. [3] ทดลอง จึงถือได้ว่ามีเฉพาะกระบวนการน้าม็อกเกิดขึ้นในระบบไนโตรเจนที่ถูกใช้/แอมโมเนียมีค่าประมาณ 0.9-1.3 สำหรับช่วงการทดลองที่เวลากักเก็บน้ำ 0.25 วัน ไนเตรทที่เกิดขึ้น/แอมโมเนียในปฏิกิริยามีค่าใกล้เคียง 0.26 ส่วนอัตราส่วนไนโตรเจนที่ถูกใช้/แอมโมเนีย มีค่าประมาณ 1.0-1.5 และบางช่วงมีค่ามากกว่าอัตราส่วนไนโตรเจน/แอมโมเนียในน้ำเข้าระบบและกำจัดไนโตรเจนได้ไม่หมดไนโตรเจนบางส่วนจึงถูกกำจัดด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

อัตราส่วนไนเตรทที่เกิดขึ้นต่อแอมโมเนียที่ถูกใช้ในปฏิกิริยาในช่วงสภาวะคงตัวมีค่าเท่ากับ 0.24 ใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่น [6], [7], [8] ที่ทดลองได้ 0.26 ส่วนอัตราส่วนไนโตรเจนที่ถูกใช้/แอมโมเนีย ในช่วงสภาวะคงตัวมีค่าในช่วง 0.90-1.70 ในขณะที่ทฤษฎีมีค่า 1.31 ดังแสดงในตารางที่ 1 ที่เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น



รูป 4 อัตราการบรรทุกไนโตรเจนและแอมโมเนียของระบบอนาม็อกในแต่ละช่วง HRT

หมายเหตุ : NLRnet=Nitrogen loading rate (ไม่คิดการสูญเสียไนโตรเจนระบบชาออน), NLR=Nitrogen loading rate, NRR=Nitrogen removal rate, ALR=Ammonia loading rate, ARR=Ammonia removal rate



รูป 5 การกำจัดไนโตรเจนโดยพิจารณา NO_2^- ที่ถูกใช้ในกระบวนการอนาม็อกเทียบกับ NO_2^- ในน้ำเข้าระบบ

ตารางที่ 1 อัตราส่วนในสมการสโตยชิโอเมตริกจากการทดลองในระบบอนาม็อก

ชนิดน้ำเสีย	NH_4^+ ที่ถูกใช้	NO_2^- ที่ถูกใช้	NO_3^- ที่เกิดขึ้น	อ้างอิง
สังเคราะห์	1	1.32	0.26	Strous et al. [6]
	1	1.26	0.33	Yamamoto et al. [5]
	1	1.20	0.33	Tsushima et al. [8]
น้ำโสส่วนบนในระบบบำบัดตะกอน	1	1.03	0.04	Van Dongen et al. [3]
ฟาร์มสุกร	1	1.65	0.01	Ahn et al. [9]
	1	2.03	0.09	Hwan et al. [10]
	1	1.67	0.53	Yamamoto et al. [5]
	1	0.9 ^a , 1.70 ^b	0.24	งานวิจัยนี้

^a HRT 0.5 วัน, ^b HRT 0.25 วัน ที่สภาวะคงตัว

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่าการประยุกต์ระบบขารอนที่ใช้ถึงปฏิกิริยาแบบถึงกวนสมบูรณร่วกับระบบ อนาม็อกที่ใช้ถึงปฏิกิริยาแบบถึงกรองชีวภาพ เพื่อกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีค่า C/N ในช่วง 0.48-1.36, แอมโมเนียไนโตรเจนเข้มข้น 300-400 มก./ล. นั้นสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถใช้ตะกอนจากระบบหมักตะกอนน้ำเสียชุมชนเป็นหัวเชื้อในระบบ

อนาม็อก และด้วยตะกอนจากลานตากตะกอนที่มีความเข้มข้น 7.8 ก. VSS/ล. ใช้เวลาเริ่มระบบเพียง 2 สัปดาห์เป็นการเพาะเชื้อที่เร็วกว่างานวิจัยอื่นที่ใช้เวลาประมาณ 3 เดือน ระบบอนาม็อกแบบฟิล์มชีวภาพที่ใช้ถึงกรองชนิดไหลขึ้นมีอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่เหมาะสมคือ 0.54-1.09 ม.³/ม.²หน้าตัดถึงปฏิกิริยา-วัน อัตราภาระบรรทุกไนโตรเจนที่เหมาะสมของระบบคือ 1.0 กก./ม.³ถึงปฏิกิริยา-วัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hellings, C., Schellen, A.A.J.C., Mulder J.W., Van Loosdrecht, M.C.M., Heijnen, J.J., (1998). *The Sharon process: an innovative method for nitrogen removal from ammonium-rich waste water*. Wat. Sci. Tech. 37 (9), 135-142.
- [2] Mulder, A., Van de Graaf, A.A., Robertson, L.A., Kuenen, J.G., (1995). *Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized bed reactor*. FEMS Microbiol. Ecol. 16, 177-184.
- [3] Van Dongen, L.G.J.M., Jetten, M.S.M., Van Loosdrecht, M.C.M., (2001). *The Combined Sharon/Anammox Process*. STOWA report no. 2000-25. STOWA, Utrecht, The Netherlands. ISBN 1 84339 000 0.
- [4] Van de Graaf, A.A., Peter, de Bruijn., Robertson, L.A., Jetten, M.S.M., Kuenen, J.G., (1996). *Autotrophic growth of anaerobic ammonium-oxidizing micro-organisms in a fluidized bed reactor*. J. Microbiol. 142, 2187-2196.
- [5] Yamamoto, T., Takaki, K., Koyama, T., Furukawa, K., (2007). *Long-term stability of partial nitrification of swine wastewater digester liquor and its subsequent treatment by Anammox*. Bioresour. Technol.
- [6] Strous, M., Heijnen, J.J., Kuenen, J.G., Jetten, M.S.M., (1998). *The sequencing batch reactor as a powerful tool for the study of slowly growing anaerobic ammonium-oxidizing microorganisms*. Appl. Microbiol. Biot. 50, 589-596.

- [7] Dapena-Mora, A., Campos, J.L., Mosquera-Corral, A., Jetten, M.S.M., Mendez, R., (2004). *Stability of the Anammox process in a gas-lift reactor and a SBR*. J. Biotechnology. 110, 159-170.
- [8] Tsushima, I., Ogasawara, Y., Kindaichi, T., Satoh, H., Okabe, S., (2007). *Development of high-rate anaerobic ammonium-oxidizing (Anammox) Biofilm reactors*. Water Res. 41, 1623-1634.
- [9] Ahn, Y.H., Hwang, I.S., Min, K.S., (2004). *ANAMMOX and partial denitrification in anaerobic nitrogen removal from piggery waste*. Water Sci. Technol. 49, 145-153.
- [10] Hwang, I.S., Min, K.S., Choi, E., Yun, Z., (2005). *Nitrogen removal from piggery waste using the combined SHARON and ANAMMOX process*. Water Sci. Technol. 52, 487-494.