

การส่งเสริมกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งน้ำเสียชุมชนที่มีไนโตรเจนสูง โดยเพิ่มแหล่งคาร์บอนภายนอก

PROMOTE BIODEGRADATION OF HIGH CONTAMINATED NITROGEN DOMESTIC WASTEWATER BY EXTERNAL CARBON

สุวนันท์ เทศทอง* วชรพงษ์ วาระรัมย์ คณิตา ตังคณานุรักษ์ นพวรรณ เสมวิมล

Suwanan Thetthong, Watcharapong Wararam, Kanita Tangkananuruk, Noppawan Semvimol*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

Department of Environment Science, Faculty of Environment, Kasetsart University, Bang Khen Campus.

**Corresponding author, e-mail: suwanandaw2537@gmail.com*

Received: 14 January 2019; **Revised:** 22 March 2019; **Accepted:** 4 April 2019

บทคัดย่อ

ปัจจุบันจำนวนประชากรเพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีการอุปโภคและบริโภคมากขึ้น เกิดภาวะมลพิษในแหล่งน้ำ โดยเฉพาะการปนเปื้อนของไนโตรเจนที่พบมากในน้ำเสียชุมชน หากแหล่งน้ำมีปริมาณคาร์บอนไม่เพียงพอ จะทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายช้าลง ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มแหล่งคาร์บอนให้เพียงพอเพื่อช่วยให้เกิดกระบวนการย่อยสลายเร็วขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัดส่วนคาร์บอนที่เหมาะสมในน้ำเสียที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงจากน้ำเสียชุมชนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อส่งเสริมกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้แหล่งคาร์บอนภายนอก ได้แก่ ชูโครสและเอทานอล ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน โดยมีอัตราส่วนของ C:N ในรูปของ COD:NH₃ เท่ากับ 3:1 5:1 และ 7:1 และมีระยะเวลาเก็บเท่ากับ 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ ผลการศึกษพบว่า ในสภาวะที่มีออกซิเจน อัตราส่วน 5:1 โดยใช้ชูโครสเป็นแหล่งคาร์บอนที่ระยะเวลาเก็บ 48 ชั่วโมง สามารถลดไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียได้สูงสุด คือ ร้อยละ 83.03 จากปริมาณเริ่มต้น 311.5 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงเหลือ 52.86 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อมีการเติมออกซิเจนในน้ำให้เพียงพอ ซึ่งมีค่าออกซิเจนละลายมากกว่า 4 มิลลิกรัม/ลิตร ที่มีอัตราส่วนและระยะเวลาเก็บเดียวกัน สามารถบำบัดแอมโมเนียได้ร้อยละ 100 โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันที่มีการออกซิไดซ์แอมโมเนียเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรตด้วยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ส่งผลทำให้ไนเตรตมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 48 มิลลิกรัม/ลิตร เป็น 355 มิลลิกรัม/ลิตร จึงบำบัดไนเตรตในสภาวะไร้ออกซิเจนต่อจากสภาวะที่มีการเติมออกซิเจนให้เพียงพอ พบว่าที่ระยะเวลาเก็บ 48 ชั่วโมง สามารถบำบัดไนเตรตได้ร้อยละ 100 ดังนั้นจากงานวิจัยดังกล่าวจึงสามารถใช้ชูโครสเป็นแหล่งคาร์บอนภายนอกสำหรับส่งเสริมกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งน้ำที่มีไนโตรเจนสูงได้

คำสำคัญ: น้ำเสียชุมชน กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ แหล่งคาร์บอนภายนอก

Abstract

At present the population increased from more consumption cause water pollution. Especially the contamination of nitrogen that found in Domestic wastewater. If there isn't enough carbon biodegradation process will slow down. Therefore, add enough external carbon that to promote biodegradation process. This research aimed to study the optimum ratio of carbon in high-nitrogen wastewater from the Domestic wastewater of at Kasetsart University. To promote the biodegradation process using external carbon such as sucrose and ethanol in both in aerobic and anaerobic conditions, which have the C:N ratio of COD:NH₃ was 3:1, 5:1 and 7:1 while the hydraulic retention time (HRT) of 24, 48, 72 and 96 hours respectively were used. The results showed that 5:1 ratio of aerobic condition using sucrose as a carbon source and HRT of 48 hours has the highest treatment efficiencies of NH₃-N which was 83.03% from 311.5 mg/L reduce to 52.86 mg/L. While when there was add enough oxygen in the wastewater that oxygen dissolved more than 4 mg/L. The same ratio and HRT case the treatment efficiencies of NH₃ to be 100% by the nitrification process that oxidize NH₃ into NO₃⁻ using Aerobic bacteria. As a result, the NO₃⁻ increased from 48 mg/L to 355 mg/L. Therefore, nitrate treatment is carried out in anaerobic conditions following the conditions when there was enough oxygen. At the HRT of 48 hours, where the treatment efficiency of NO₃⁻ was 100%. Concluding the experiment that sucrose can be used as an external carbon to promote the biodegradation process in high-nitrogen wastewater.

Keywords: Domestic wastewater, Biodegradation, External carbon

บทนำ

ด้วยการขยายตัวอย่างรวดเร็วของชุมชนในอดีตจนถึงปัจจุบัน ทำให้มีการอุปโภคและบริโภคที่มากขึ้น รวมถึงการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ย่อมเพิ่มขึ้นตามมาด้วย ส่งผลให้เกิดภาวะมลพิษในแหล่งน้ำ โดยเฉพาะการปนเปื้อนของไนโตรเจน ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตสำหรับเซลล์เดียวและพืชน้ำ แหล่งน้ำที่ได้รับธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้นจะกระตุ้นให้พืชสีเขียวในแหล่งน้ำมีเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และเมื่อแหล่งน้ำขาดธาตุอาหาร สำหรับเซลล์เดียว และพืชน้ำ รวมถึงสัตว์น้ำอาจตายได้ ส่งผลให้เกิดการเน่าเสียแบบซ้ำซากในแหล่งน้ำ หรือที่เรียกว่า ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) [1] โดยทั่วไปน้ำเสียชุมชนน้ำเสียจากพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากพื้นที่เหล่านี้จะมีปริมาณไนโตรเจนปนเปื้อนสูง หากแหล่งน้ำมีปริมาณคาร์บอนไม่เพียงพอ จะทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายช้าลง ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มแหล่งคาร์บอนให้เพียงพอเพื่อช่วยให้เกิดกระบวนการย่อยสลายเร็วขึ้น

สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง เพราะเป็นวิธีที่สามารถลดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย โดยอาศัยหลักการที่ใช้จุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ มาทำการย่อยสลายแปรสภาพของสารอินทรีย์ต่าง ๆ ไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในระบบเติมอากาศ หรือไปเป็นแก๊สมีเทน (CH₄) ในระบบไม่เติมอากาศ [2] ซึ่งการกำจัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการทางชีวภาพที่ให้ประสิทธิภาพสูงนั้น จะต้องใช้ทั้งกระบวนการแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันและกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน และอาศัยแหล่งคาร์บอนจากภายนอก เพื่อกระตุ้นให้เกิดการกระบวนการย่อยสลายเร็วขึ้น ซึ่งแหล่งคาร์บอนจากภายนอกนั้นได้จากสารอินทรีย์หลายชนิด เช่น ซูโครส เอทานอล กลูโคส ตะกอนจุลินทรีย์ เป็นต้น โดยส่วนหนึ่งแบคทีเรีย

จะนำไปใช้เป็นพลังงาน อีกส่วนหนึ่งจะนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ทั้งนี้แหล่งคาร์บอนแต่ละชนิด จะมีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนที่ต่างกัน ซึ่งงานวิจัยของวลัยภรณ์ วุฒิเมธา [3] ศึกษา COD:NO₃⁻ ที่อัตราส่วน 2:1 5:1 และ 8:1 โดยใช้กลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนภายนอก พบว่าที่อัตราส่วน 5:1 และ 8:1 มีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในรูปไนเตรตร้อยละ 96.62 และ 99.82

ซึ่งงานวิจัยนี้จึงหาแนวทางในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยใช้แหล่งคาร์บอนจากภายนอกมาส่งเสริมกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพให้เกิดเร็วขึ้น เลือกใช้แหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูง ได้แก่ ซูโครสและเอทานอล โดยเฉพาะซูโครส ซึ่งมีโมเลกุลขนาดเล็ก ทำให้แบคทีเรียย่อยสลายและดูดซึมได้ง่าย [4] อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกากน้ำตาล เป็นการนำของเสียกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ทั้งนี้เพื่อสามารถนำผลการศึกษาที่ได้มาเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงในระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาชนิดและสัดส่วนคาร์บอนภายนอกที่เหมาะสมต่อปริมาณไนโตรเจนในการส่งเสริมกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพในน้ำเสียที่มีไนโตรเจนสูง
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพ ระยะเวลาการกักเก็บและรูปแบบที่เหมาะสมต่อกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพในน้ำเสียที่มีไนโตรเจนสูง
3. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน โดยใช้ซูโครสและเอทานอลเป็นแหล่งคาร์บอนภายนอก
4. เพื่อศึกษาเชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เก็บตัวอย่างน้ำเสีย (น้ำเข้า) จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิเคราะห์คุณภาพน้ำตามวิธีมาตรฐานที่กำหนดไว้ใน Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater [3] ได้แก่ พีเอช (pH) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH₃-N) และปริมาณไนเตรด-ไนโตรเจน (NO₃-N)

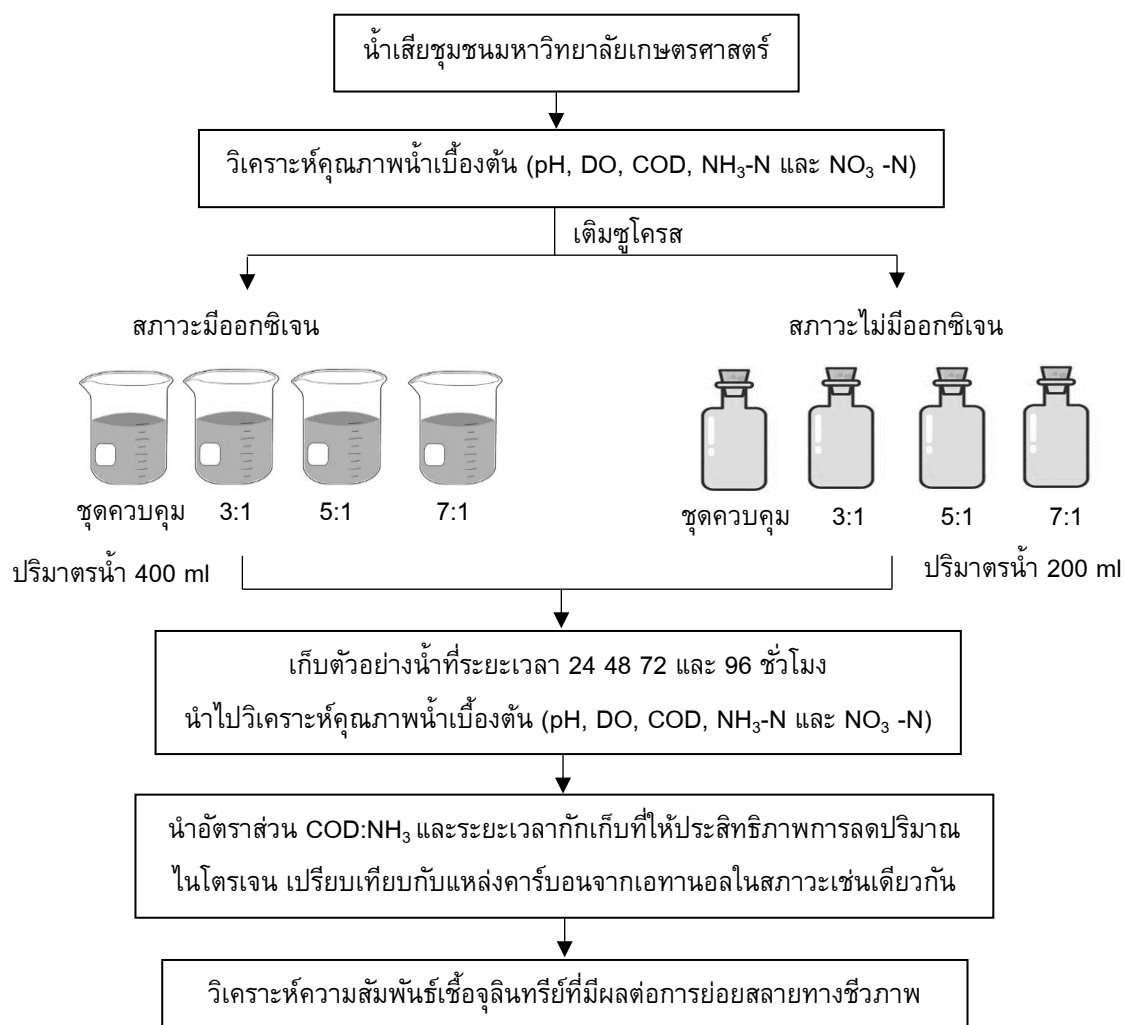
2. ศึกษาสัดส่วนคาร์บอนภายนอกของน้ำเสียต่อปริมาณไนโตรเจนในการส่งเสริมกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยใช้ซูโครส (C₁₂H₂₂O₁₁) เป็นแหล่งคาร์บอนภายนอก และอัตราส่วนที่ทำการศึกษาคือ 3:1 5:1 7:1 และชุดควบคุม (ไม่เติมแหล่งคาร์บอนภายนอก) ตามลำดับ ในรูปของ COD:NH₃ ที่ระยะเวลาการกักเก็บ 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ แบ่งสภาวะในการศึกษาเป็น 2 สภาวะ ดังนี้

2.1 สภาวะที่มีออกซิเจน ใช้ตัวอย่างน้ำปริมาตร 400 มิลลิลิตร ใส่ในภาชนะเปิด (บีกเกอร์) ปรับอัตราส่วน COD:NH₃ เท่ากับ 3:1 5:1 7:1 และชุดควบคุม เก็บตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังข้อ 1

2.2 สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ใช้ตัวอย่างน้ำปริมาตร 200 มิลลิลิตร ใส่ในภาชนะปิด ปรับอัตราส่วน COD:NH₃ เท่ากับ 3:1 5:1 7:1 และชุดควบคุม เก็บตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังข้อ 1

3. นำอัตราส่วน COD:NH₃ และระยะเวลาเก็บที่ให้ประสิทธิภาพการลดปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากข้อ 2 มาศึกษาเปรียบเทียบกับแหล่งคาร์บอนจากเอทานอลในสภาวะเช่นเดียวกัน เพื่อศึกษาชนิดของแหล่งคาร์บอนที่ให้ประสิทธิภาพการลดปริมาณไนโตรเจนสูงสุด

4. วิเคราะห์ความสัมพันธ์เชื้อจุลินทรีย์ที่มีผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพโดยตัดแยกเชื้อด้วยเทคนิค Streak Plate Technique บนอาหารแข็ง



ภาพที่ 1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

ผลการวิจัย

1. คุณภาพน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
คุณภาพน้ำจากการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน [5] มีผลดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำเสียชุมชนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พารามิเตอร์	หน่วย	ผลวิเคราะห์	ค่ามาตรฐาน 1	ค่ามาตรฐาน 2
พีเอช (pH)	-	7.3	5.5 – 9.0	5.5 – 9.0
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	มิลลิกรัม/ลิตร	3.3	-	4.0
ซีโอดี (COD)	มิลลิกรัม/ลิตร	64.0	120	-
ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (NH ₃ -N)	มิลลิกรัม/ลิตร	311.5	-	0.5
ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน (NO ₃ -N)	มิลลิกรัม/ลิตร	48.0	-	5.0

หมายเหตุ

ค่ามาตรฐาน 1: ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบอุตสาหกรรม

ค่ามาตรฐาน 2: ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3: แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถให้ประโยชน์เพื่อการเกษตร

จากตารางที่ 1 คุณภาพน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่าตัวอย่างน้ำเข้าระบบบำบัด (Influent) มีค่าแอมโมเนียสูงเท่ากับ 311.5 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณไนเตรตเท่ากับ 48.0 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียได้รับการปนเปื้อนไม่นานจากการใช้อุปโภคและบริโภค จำเป็นที่จะต้องได้รับการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเนื่องจากยังมีค่าที่สูง โดยแหล่งกำเนิดน้ำเสียภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่สำคัญ ได้แก่ โรงอาหาร หอพัก และอาคารเรียน ซึ่งในสภาวะที่มีออกซิเจนนั้น แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์โดยแบคทีเรียกลุ่มไนโตรฟายอิงไปเป็นไนเตรต และได้พลังงานออกมา แบคทีเรียจะใช้พลังงานนี้ในการดึงเอาคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) หรือไฮโดรเจนคาร์บอเนต (HCO₃⁻) มาเป็นแหล่งคาร์บอน ทั้งนี้แหล่งคาร์บอนที่สำคัญในน้ำเสียนั้นมาจากสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสีย เมื่อพิจารณาค่าซีโอดีที่พบในน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 64.0 มิลลิกรัม/ลิตร ถือว่าเป็นค่าที่มีปริมาณน้อย อยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐาน 1 กำหนด โดยค่าซีโอดีนั้นจะบ่งบอกความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียสามารถย่อยสลายได้และไม่ได้ ซึ่งหากในระบบบำบัดน้ำเสียมีสัดส่วน C:N ที่น้อย ประสิทธิภาพการย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้น้อยลง ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาสัดส่วนของ C:N ให้มีความเหมาะสม สำหรับในการศึกษาครั้งนี้จึงพิจารณาแหล่งคาร์บอนภายนอกในรูปซีโอดี เพื่อให้ได้สัดส่วนที่เหมาะสมกับแอมโมเนีย (COD:NH₃) เพื่อส่งเสริมการลดปริมาณแอมโมเนียที่มีค่าสูงในน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

2. ศึกษาสัดส่วนคาร์บอนภายนอกของน้ำเสียต่อปริมาณไนโตรเจนในการส่งเสริมกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ

2.1 สภาวะมีออกซิเจน

จากการศึกษาสัดส่วนคาร์บอนภายนอก (ซูโครส) ต่อปริมาณไนโตรเจนในรูปของ COD:NH₃ ที่อัตราส่วน 3:1 5:1 7:1 และชุดควบคุมตามลำดับ มีระยะเวลาเก็บ 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่าที่ระยะเวลาเก็บ 96 ชั่วโมง อัตราส่วน 7:1 มีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับร้อยละ 84.54 แต่พบปัญหาคือระยะเวลาเก็บนานส่งผลทำให้น้ำขุ่น มีกลิ่นเหม็น และมีปริมาณซีโอดีที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากใส่แหล่งคาร์บอน

ภายนอกที่มากเกินไป ปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ ส่งผลให้แหล่งน้ำมีค่าความสกปรกสูง ทำให้ทราบว่าอัตราส่วน 7:1 ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ส่งเสริมกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสียชุมชน เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่เก็บ 48 ชั่วโมง ที่อัตราส่วน 5:1 มีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียร้อยละ 83.03 ใกล้เคียงกับระยะเวลาที่เก็บ 96 ชั่วโมง ที่อัตราส่วน 7:1 และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อีกทั้งระยะเวลาที่เก็บ 48 ชั่วโมงนี้ จุลินทรีย์สามารถบำบัดสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [6] โดยใช้คาร์บอนภายนอกเป็นแหล่งให้พลังงาน ส่วนไนโตรเจนใช้สำหรับกระบวนการสร้างเซลล์ และสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์ เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างอัตราส่วน 5:1 กับอัตราส่วน 7:1 ที่ระยะเวลาที่เก็บเดียวกัน คือ 48 ชั่วโมง พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียใกล้เคียงกัน และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทำให้ทราบว่าอัตราส่วน 5:1 และ 7:1 เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย กรณีเลือกอัตราส่วน 7:1 ต้องใช้แหล่งคาร์บอนภายนอกปริมาณที่สูงกว่า ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการเติมแหล่งคาร์บอน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ระยะเวลาที่เก็บ 48 พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียเพียงร้อยละ 30.65 ทำให้ทราบได้ว่าแหล่งคาร์บอนจากซูโครสสามารถส่งเสริมให้จุลินทรีย์ลดค่าแอมโมเนียในน้ำเสียได้ สำหรับปริมาณไนเตรตมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 48 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระยะเวลาที่เก็บ 72 ชั่วโมง อัตราส่วน 3:1 และ 5:1 มีประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตร้อยละ 100 ทั้งนี้เนื่องจากค่าออกซิเจนละลาย ลดต่ำลงจากค่าเริ่มต้น 3.34 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ 0.24 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งค่าออกซิเจนละลายที่ต่ำกว่า 0.30 มิลลิกรัม/ลิตร จะส่งผลทำให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเป็นการรีดิวซ์ไนเตรตให้อยู่ในรูปของแก๊สไนโตรเจน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rittman และ Langeland [7] พบว่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.10 - 0.50 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถสร้างสภาวะดีไนตริฟิเคชัน และเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่ามีปริมาณไนเตรตเพิ่มสูงขึ้นทุกระยะเวลาที่เก็บเนื่องจากมีค่าออกซิเจนละลายสูง จึงเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรตดังแสดงในตารางที่ 2

เมื่อพิจารณาน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดโดยอาศัยแหล่งคาร์บอนภายนอกจากซูโครสในสภาวะมีออกซิเจน สำหรับการปล่อยลงแหล่งน้ำผิวดิน พบว่าค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ที่ใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตร กำหนดค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งนี้การบำบัดแอมโมเนียในสภาวะดังกล่าว ยังไม่สามารถบำบัดให้อยู่ในค่ามาตรฐานของแหล่งน้ำผิวดินได้ หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วน COD:NH₃ 5:1 ที่ระยะเวลาที่เก็บ 48 ชั่วโมง ในการศึกษาสภาวะเดิมอากาศในน้ำให้เพียงพอ

ตารางที่ 2 ดัชนีคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียและไนโตรเจนด้วยการเติมแหล่งคาร์บอนในอัตราส่วนแตกต่างกัน ในสภาวะมีออกซิเจนตลอดระยะเวลาเก็บ 96 ชั่วโมง

Time	COD:NH ₃ ratio	DO (mg/L)	COD (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	Efficient of NH ₃ (%)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Efficient of NO ₃ ⁻ (%)
Before adding Sucrose	-	3.34	64	311.5	-	48	-
24 hr.	Control	3.20	64	278.77	10.51 ^h	150	-
	3:1	0.76	320	125.59	59.68 ^f	35	27.08 ^c
	5:1	0.65	640	72.41	76.75 ^{cde}	13	72.91 ^{ab}
	7:1	0.58	1280	125.13	59.83 ^f	33	31.25 ^c
48 hr.	Control	3.14	32	216.04	30.65 ^g	619	-
	3:1	0.35	425	68.32	78.07 ^{bcd}	9	81.25 ^{ab}
	5:1	0.34	745	52.86	83.03 ^{ab}	37	22.92 ^c
	7:1	0.25	1491	53.77	82.73 ^{ab}	24	50 ^{ab}
72 hr.	Control	3.12	32	122.87	60.55 ^f	1,874	-
	3:1	0.24	425	88.32	71.64 ^e	0	100 ^a
	5:1	0.24	640	77.86	75.00 ^{de}	0	100 ^a
	7:1	0.23	1280	48.77	84.34 ^a	16	66.67 ^{ab}
96 hr.	Control	3.08	32	60.14	80.69 ^{abc}	5,078	-
	3:1	0.25	320	63.31	79.67 ^{abcd}	0	100 ^a
	5:1	0.20	640	77.86	75.00 ^{de}	0	100 ^a
	7:1	0.19	1280	48.16	84.54 ^a	0	100 ^a

xx^a, xx^b : ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ ($p < 0.05$)

2.2 สภาวะไร้ออกซิเจน

จากการศึกษาสัดส่วนคาร์บอนภายนอกต่อปริมาณไนโตรเจนในรูปของ COD:NH₃ ที่อัตราส่วน 3:1 5:1 7:1 และชุดควบคุมตามลำดับ มีระยะเวลาเก็บ 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่าที่ระยะเวลาเก็บ 24 ชั่วโมง ที่อัตราส่วน 3:1 มีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียเพียงร้อยละ 6.44 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม มีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียใกล้เคียงกัน และไม่มีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกับระยะเวลาเก็บ 48 ชั่วโมง ทำให้ทราบได้ว่าการเติมซูโครสเป็นแหล่งคาร์บอนภายนอกลงในน้ำเสียภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนสามารถลดแอมโมเนียได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

และที่ระยะเวลาเก็บ 96 ชั่วโมง อัตราส่วน 7:1 มีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับร้อยละ 56.48 แต่พบปัญหา คือ ระยะเวลาเก็บนานส่งผลทำให้น้ำขุ่น และมีกลิ่นเหม็น เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะมีออกซิเจนที่อัตราส่วนและระยะเวลาเก็บเดียวกัน พบว่าในสภาวะที่มีออกซิเจน ประสิทธิภาพการบำบัด

แอมโมเนียสูงกว่า เนื่องจากการบำบัดแอมโมเนียจะต้องเกิดภายใต้สภาวะมีออกซิเจนเพียงพอต่อกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในกระบวนการไนตริฟิเคชัน ที่มีการออกซิไดซ์แอมโมเนียเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรต [8] สำหรับปริมาณไนเตรตมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 24 มิลลิกรัม/ลิตร ที่อัตราส่วน 3:1 5:1 และ 7:1 ระยะเวลาเก็บ 48 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตร้อยละ 100 เนื่องจากปริมาณออกซิเจนลดต่ำกว่าค่าเริ่มต้น 3.34 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือต่ำกว่า 0.60 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งในสภาวะไร้ออกซิเจนนี้ส่งผลทำให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเป็นการรีดิวซ์ไนเตรตให้อยู่ในรูปของแก๊สไนโตรเจน และเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ระยะเวลาเก็บเดียวกันพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) มีประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตร้อยละ 100 เช่นกัน ทั้งนี้ทำให้ทราบว่าที่ระยะเวลาเก็บน้ำ 48 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรตร้อยละ 100 ที่มีความเข้มข้นของไนเตรต 24 มิลลิกรัม/ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 3

จากผลการทดลองการใช้ซูโครสเป็นแหล่งคาร์บอนภายนอกในการลดปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียในน้ำเสียภายใต้สภาวะมีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน พบว่าสภาวะมีออกซิเจนสามารถลดแอมโมเนียได้ดีกว่าสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อัตราส่วน COD:NH_3 5:1 ระยะเวลาเก็บ 48 ชั่วโมง ซึ่งเป็นระยะเวลาเก็บที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วน 5:1 มาทำการทดลองในสภาวะที่มีการเติมออกซิเจนในน้ำให้เพียงพอโดยใช้แหล่งคาร์บอน 2 ชนิด คือ ซูโครสและเอทานอล เพื่อพิจารณาเลือกแหล่งคาร์บอนภายนอกที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียสูงสุด

ตารางที่ 3 ดัชนีคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียและไนเตรตด้วยการเติมแหล่งคาร์บอนในอัตราส่วนแตกต่างกัน ในสภาวะไร้ออกซิเจนตลอดระยะเวลาเก็บ 96 ชั่วโมง

Time	C:N ratio	DO (mg/L)	COD (mg/L)	NH_3 (mg/L)	Efficient of NH_3 (%)	NO_3^- (mg/L)	Efficient of NO_3^- (%)
Before adding Sucrose	-	3.06	96	283.30	-	24	-
24 hr.	Control	0.68	96	273.30	3.53 ^{fg}	32	-
	3:1	0.60	960	265.05	6.44 ^f	86	-
	5:1	0.68	960	254.70	10.09 ^e	40	-
	7:1	0.66	1280	246.93	12.85 ^e	32	-
48 hr.	Control	0.47	32	276.20	2.51 ^g	0	100 ^a
	3:1	0.55	320	275.18	2.87 ^{fg}	0	100 ^a
	5:1	0.57	960	214.19	24.39 ^d	0	100 ^a
	7:1	0.43	960	206.50	27.11 ^d	0	100 ^a
72 hr.	Control	0.38	32	318.77	-	0	100 ^a
	3:1	0.37	320	170.12	39.95 ^b	0	100 ^a
	5:1	0.37	640	184.73	34.79 ^c	0	100 ^a
	7:1	0.34	960	175.15	38.17 ^b	0	100 ^a
96 hr.	Control	0.38	32	350.61	-	0	100 ^a

3:1	0.24	320	189.22	33.21 ^c	0	100 ^a
5:1	0.23	320	169.24	40.26 ^b	0	100 ^a
7:1	0.23	960	123.30	56.48 ^a	0	100 ^a

xx^a, xx^b, xx^c : ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ ($p < 0.05$)

3. แหล่งคาร์บอนภายนอกต่อการลดปริมาณไนโตรเจน

จากการศึกษานำอัตราส่วน COD:NH₃ ระยะเวลากักเก็บที่ให้ประสิทธิภาพการลดปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียที่ได้จากข้อ 2 คือ อัตราส่วน 5:1 ระยะเวลากักเก็บ 48 ชั่วโมง โดยใช้ซูโครสมาเปรียบเทียบกับแหล่งคาร์บอนจากเอทานอล มีการเติมออกซิเจนในน้ำให้เพียงพอ เพื่อส่งเสริมให้กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้น ผลการศึกษาพบว่า ที่ระยะเวลากักเก็บ 24 ชั่วโมง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มสูงขึ้น อยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับส่งเสริมกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพคือ มากกว่า 4.6 มิลลิกรัม/ลิตร [1] แหล่งคาร์บอนจากซูโครสมีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียร้อยละ 98.93 และที่ระยะเวลากักเก็บ 24 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียสูงสุดคือร้อยละ 100 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งคาร์บอนจากเอทานอลระยะเวลากักเก็บ 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียเพียงร้อยละ 90.13 และ 81.75 เนื่องจากซูโครสเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่มีน้ำตาลกลูโคสหนึ่งหน่วยเชื่อมต่อกับน้ำตาลฟรุกโทสหนึ่งหน่วย และมีโมเลกุลขนาดเล็ก ทำให้แบคทีเรียย่อยสลายและดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้ง่าย [4] ส่วนค่าไนเตรตที่ระยะเวลากักเก็บที่ 48 ชั่วโมง หลังจากเติมซูโครสเป็นแหล่งคาร์บอน พบว่าปริมาณไนเตรตเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน แต่เมื่อเติมเอทานอลเป็นแหล่งคาร์บอน ปริมาณไนเตรตมีค่าลดลงจนเหลือ 0 มิลลิกรัม/ลิตร เนื่องจากเกิดกระบวนการไนเตรตรีดักชัน (Nitrate Reduction) โดยไนเตรตจะถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์และแอมโมเนีย [9] ดังแสดงในตารางที่ 4

จากผลการศึกษาแหล่งคาร์บอนภายนอกที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ในการส่งเสริมกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งน้ำที่มีไนโตรเจนสูง ที่อัตราส่วน 5:1 ภายใต้สภาวะที่มีการเติมออกซิเจนในน้ำให้เพียงพอ ที่ระยะเวลากักเก็บ 48 ชั่วโมง พบว่าแหล่งคาร์บอนจากซูโครสมีประสิทธิภาพบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียสูงได้มากกว่าแหล่งคาร์บอนจากเอทานอล แต่ทั้งนี้พบปริมาณไนเตรตสูง ดังนั้นหากต้องการบำบัดปริมาณไนเตรตที่เพิ่มขึ้นนี้จำเป็นต้องบำบัดในสภาวะไร้ออกซิเจนต่อเนื่องจากสภาวะมีออกซิเจน

ตารางที่ 4 แหล่งคาร์บอนภายนอกที่อัตราส่วน COD:NH₃ 5:1 ต่อการลดปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย ภายใต้สภาวะเติมออกซิเจนให้เพียงพอ

Time	Parameter (mg/L)	External Carbon	
		Sucrose	Ethanol
Before adding	DO	3.34	3.20
	COD	96	64
	NH ₃	311.5	312.0
	NO ₃ ⁻	48.00	28.00

24 hr.	DO	5.65	7.17
	COD	960	2,560
	NH ₃	3.32	30.59
	NO ₃ ⁻	355	92
48 hr.	DO	5.07	6.69
	COD	960	3,840
	NH ₃	0.00	56.95
		(100%)	(81.75%)
	NO ₃ ⁻	342	0

(xx) : ร้อยละการบำบัด

4. รูปแบบการลดปริมาณไนโตรเจนในน้ำเสียที่มีปริมาณสูงด้วยแหล่งคาร์บอนภายนอกชูโครส

แหล่งคาร์บอนจากชูโครส ปรับอัตราส่วน COD:NH₃ 5:1 ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากผลการศึกษาข้อที่ 2 และ 3 คือที่ระยะเวลาเก็บ 48 ชั่วโมง มีการเติมออกซิเจนให้เพียงพอตลอดระยะเวลาเก็บ เพื่อให้มีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ จากนั้นบำบัดไนเตรตที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ควบคุม pH อยู่ในช่วง 8.0 - 9.5 และ 7.0 - 8.5 [10] เพื่อส่งเสริมกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ผลการศึกษพบว่าที่ระยะเวลาเก็บ 48 ชั่วโมง ที่มีการเติมออกซิเจนให้เพียงพอ สามารถบำบัดแอมโมเนียได้ร้อยละ 100 ต่อเนื่องด้วยสภาวะไร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บ 48 ชั่วโมง สามารถบำบัดไนเตรตได้ร้อยละ 79.16 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ารูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการใช้ชูโครสเป็นแหล่งคาร์บอนภายนอกลดปริมาณไนโตรเจนคือ เติมออกซิเจนในน้ำให้เพียงพอ เพื่อลดปริมาณแอมโมเนียและต่อเนื่องด้วยสภาวะไร้ออกซิเจน เพื่อลดปริมาณไนเตรต

ตารางที่ 5 แหล่งคาร์บอนจากชูโครสที่อัตราส่วน COD:NH₃ 5:1 ต่อการลดปริมาณไนโตรเจนภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

	Time (hr.)	pH	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
aerobic	24	8.24	5.65	3.32	48
				(98.93%)	
	48	8.87	5.07	0	355
				(100%)	
anaerobic	24	7.00	0.40	0	342
				(100%)	
	48	7.19	0.39	0	10
				(100%)	(79.16%)

(xx) : ร้อยละการบำบัด

5. จุลินทรีย์ที่พบในน้ำเสีย

น้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์นำมาคัดแยกเชื้อด้วยเทคนิค Streak Plate Technique บนอาหารแข็ง บ่มทิ้งไว้ 3 วัน ศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อโดยการนับจำนวนโคโลนี เปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำเสียที่รับอัตราส่วน COD:NH₃ 5:1 โดยใช้ชูโครสเป็นแหล่งคาร์บอนภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากผลการศึกษาข้อที่ 3 คือ มีการเติมออกซิเจนให้เพียงพอที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 48 ชั่วโมง พบว่า มีจำนวนโคโลนีมากกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมชูโครส แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์จากการเติมแหล่งคาร์บอนจากชูโครส เพื่อส่งเสริมให้กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดเร็วขึ้น โดยโคโลนีที่พบส่วนมากมีรูปร่างเล็กบาง สีขาวใส ขอบเรียบ และเจริญเติบโตช้า คือ ลักษณะโคโลนีดังกล่าวสามารถสันนิษฐานได้ว่าเป็น สันฐานจุลินทรีย์สกุล *Nitrosomonas* ที่พบในน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและอภิปรายผล

การใช้แหล่งคาร์บอนจากชูโครส ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนภายนอกเติมลงในน้ำเสียที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง สามารถลดไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียได้สูงสุด คือ ร้อยละ 83.03 ที่อัตราส่วน COD:NH₃ 5:1 ระยะเวลา กักเก็บ 48 ชั่วโมง และเมื่อมีการเติมออกซิเจนในน้ำให้เพียงพอ ให้มีค่าออกซิเจนละลายมากกว่า 4 มิลลิกรัม/ลิตร ที่อัตราส่วนและระยะเวลากักเก็บเดียวกัน สามารถบำบัดแอมโมเนียได้ร้อยละ 100 โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน ที่มีการออกซิไดซ์แอมโมเนียเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรตด้วยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ส่งผลทำให้ไนเตรตมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงทำการบำบัดไนเตรตต่อในสภาวะไร้ออกซิเจนที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าสามารถบำบัดไนเตรต ได้ร้อยละ 100 จากงานวิจัยดังกล่าวจึงสามารถใช้ชูโครสเป็นแหล่งคาร์บอนภายนอกสำหรับส่งเสริมกระบวนการ ย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งน้ำที่มีไนโตรเจนสูงได้ นอกจากนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกากน้ำตาล ซึ่งอยู่ในรูปของชูโครส เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายและนำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thongchai Phansawat. (2544). *Biological Nitrogen and Phosphorus Removal*. Bangkok: Environmental Engineering Association of Thailand.
- [2] Kiangsak Udomsinroj. (2543). *Wastewater removal engineering*. Bangkok. Prince of Songkla University.
- [3] Walaiporn Vuthimatha. (2551). *The Role of COD/Nitrate Ratio on Microbial Diversity in UASB Process*. Master of Master of Engineering. (Environmental Engineering). Bangkok: Chulalongkorn University.
- [4] Moore-landecker, E. (1996). *Fundamentals of the fungi*. 4th ed. U.S.A.: Prentice-Hall.
- [5] Standard Methods. (1998). *Standard Methods for the Examination of water and Wastewater*. 4th ed. U.S.A.: American Public Health Association, Washington, DC.
- [6] Pochana, k., & Keller, J. (1999, July). Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification. *Water Science and Technology*, 39(6), 61-68.
- [7] Rittman, B., & Langeland, W. (1985). Simultaneous denitrification with nitrification in single-channel oxidation ditches. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 57(4), 300-308.
- [8] McCarty, G.W. (1999, April). Modes of action of nitrification inhibitors. *Biology and Fertility of Soils*, 29(1), 1-9.

[9] Bitton, G. (2005). *Wastewater Microbiology*. America: Wilry-Liss, Inc.

[10] Metcalf, & Eddy. (1991). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. Boston: McGraw-Hill.