การบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้ระบบเอสบีอาร์ที่ใช้ยางในของยางรถยนต์บรรทุกขนาดใหญ่ที่ใช้แล้วเป็นตัวกลางเคลื่อนที่

สุริยะกิจ ย่อมมี[1,*], กิตติชนม์ เรืองศรี ภัทรนาวิก[2], อรรถบูรณ์ วิทูวิทยา[3]
[1,2,3]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

Received: 18 November 2020
Revised: 16 August 2021
Accepted: 10 November 2021

บทคัดย่อ

ปัจจุบันฟาร์มเลี้ยงสุกรมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพื่อตอบสนองความต้องการทั้งในและต่างประเทศ การเลี้ยงสุกรทำให้เกิดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกสูง ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่ที่ใช้ในประเทศไทยเป็นระบบบำบัดทางชีวภาพที่ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมากและบางระบบอาจก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวน ทั้งนี้ลักษณะของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมักเกิดขึ้นเป็นบางช่วงเวลา (batch) งานวิจัยนี้จึงใช้ระบบบำบัดชนิด sequencing batch reactor (SBR) ที่ต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างและใช้พลังงานน้อยกว่าและเหมาะสมกับลักษณะของน้ำเสียฟาร์มสุกร ทำการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยเปรียบเทียบระบบ SBR แบบไม่ใช้ตัวกลาง และระบบ SBR ที่ใช้ชิ้นส่วนยางในของรถบรรทุกขนาดใหญ่ (10 ล้อ) เป็นตัวกลาง เรียกว่าระบบ moving-bed sequencing batch biofilm reactor (MSBBR) เพื่อสร้างจุลินทรีย์แบบฟิล์มชีวภาพ และศึกษาการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำ (HRT) ต่างกันคือ 1.5 3 และ 5 วัน พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ได้แก่บีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น และของแข็งแขวนลอย ผลการศึกษาพบว่าระบบ MSBBR (ใช้ตัวกลาง) มีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น และของแข็งแขวนลอยสูงสุดที่ระยะเก็บกัก 5 วันได้ร้อยละ 66.7 86.8 81.2 และ 69.2 ตามลำดับซึ่งดีกว่าระบบ SBR แบบธรรมดา ยังทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นเฉลี่ยของซีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอย และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกรด้วย

คำสำคัญ: เอสบีอาร์ น้ำเสียฟาร์มสุกร ตัวกลางเคลื่อนที่

[*] ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล; suriyakit@sci.tu.ac.th

Piggery Wastewater Treatment using SBR System with used Inner Tube of Heavy Truck Tyre as Moving-bed

Suriyakit Yommee[1,*], Kiitichon Reungsee Pataranawik[2], Atthaboon Witowitaya[3]
[1,2,3]Environmental Science Department, Faculty of Science and Technology
Thammasat University (Rangsit Campus)

Received: 18 November 2020
Revised: 16 August 2021
Accepted: 10 November 2021

Abstract

At present, swine farming has been expanded continuously in responding to increasing demands of both domestically and internationally. Swine farming creates piggery wastewater that is highly polluted, with high organic loading and foul odors causing distress to the community. Most of the wastewater treatment systems used in Thailand are biological treatment systems that occupy a large area of construction and some systems may also cause a disturbing odor. As such, the characterization of piggery wastewater often occurs in batches. So, this research used a sequencing batch reactor (SBR) treatment system that requires less space for construction and uses less energy for the treatment processes. The research aimed at (1) comparing between the conventional SBR system (non-media) and moving-bed sequencing batch biofilm reactor (MSBBR) treatment system using the inner tube of heavy trucks (10 wheels truck) tires as the moving-beds for forming biofilm; and (2) studying the appropriate water retention time (HRT) using a variety of 1.5, 3, and 5 days for treating the wastewater. Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Kjeldahl Nitrogen (TKN), and Suspended Solids (SS) were analyzed. Research results showed that performance resulted from the MSBBR system was much better than that of the conventional system with the percentages of reduction of BOD, COD, TKN, and SS being 66.7, 86.8, 81.2, and 69.2, respectively. The appropriated HRT was 5 days resulted in the treated effluent concentrations of COD, TKN, SS and pH passing the standard criteria for piggery wastewater control from swine farms.

Keywords: SBR, Piggery Wastewater, Moving-bed

[*] Corresponding author; E-mail; suriyakit@sci.tu.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันฟาร์มเลี้ยงสุกรมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสังคมแบบเกษตรกรรมเป็นสังคมอุตสาหกรรม ประกอบกับความรู้และเทคโนโลยีในการเลี้ยงสุกรมีความก้าวหน้ามากขึ้น การเลี้ยงสุกรจึงเป็นการตอบสนองความต้องการบริโภคของประชาชนทั้งในและต่างประเทศ (Faculty of Public Health, Mahidol University, 2018) การเลี้ยงสุกรทำให้เกิดน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง ปัญหากลิ่นเหม็น และแมลงรบกวน ซึ่งอาจทำให้เกิดความเดือดร้อนแก่ชุมชนใกล้เคียงได้ (Pollution Control Department, 2003) ฟาร์มเลี้ยงสุกรถูกจัดเป็นกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพประเภทการประกอบกิจการที่เกี่ยวกับสัตว์เลี้ยงตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง กิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ พ.ศ. 2558 (Faculty of Public Health, Mahidol University, 2018) น้ำเสียจากฟาร์มสุกรส่วนใหญ่เกิดจากคอกและโรงเรือน เช่น น้ำล้างทำความสะอาดคอกสุกร น้ำที่ใช้ฉีดล้างตัวสุกร น้ำจากระบบส้วม น้ำจากรางระบายน้ำเสียรวมถึงปัสสาวะจากโรงเรือน โดยค่าความสกปรกในรูปบีโอดี โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,500-3,000 มก./ล ค่าซีโอดี 4,000-7,000 มก./ล ค่าไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น 400-800 มก./ล ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด 8-17 มก./ล ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด 2,000-4,800 มก./ล และค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6-8 (Pollution Control Department, 2003)

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรเป็นน้ำเสียอินทรีย์ที่มีค่าความสกปรกสูงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นระบบบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่ที่เจ้าของกิจการนิยมใช้เป็นระบบที่ใช้กระบวนการทางชีวภาพ ระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีหลายแบบ เช่น ระบบบ่อผึ่ง (oxidation pond) หรือบ่อปรับเสถียร (waste stabilization pond) ระบบบ่อหมักแบบไร้อากาศ (anaerobic digester pond) รวมถึงระบบผลิตแก๊สชีวภาพ เช่น UASB (Faculty of Public Health, Mahidol University, 2018) อย่างไรก็ตามระบบต่าง ๆ เหล่านี้เป็นระบบที่ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมาก และบางระบบอาจก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวน ซึ่งแนวโน้มความต้องการพื้นที่อยู่อาศัยเพื่อรองรับการขยายตัวของเมืองทั้งในปัจจุบันและอนาคตทำให้พื้นที่สำหรับสร้างระบบบำบัดเหล่านี้เป็นไปได้ยากมากขึ้น ประกอบกับลักษณะของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรซึ่งจะเกิดขึ้นเป็นบางช่วงเวลา (batch) งานวิจัยนี้จึงใช้ระบบบำบัดชนิดเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor : SBR) ซึ่งเป็นระบบตะกอนเร่งแบบชีวภาพ มีการทำงานแบบทีละเท (Batch) ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน คือ การเติมน้ำเสีย (Fill) การทำปฏิกิริยาเพื่อบำบัด (React) การตกตะกอน (Settle) การถ่ายน้ำออก (Draw) และการพักระบบ (Idle) ระบบนี้สามารถบำบัดสารอินทรีย์หรือสารอาหารเช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ดี เป็นระบบที่พัฒนามาจากระบบตะกอนเร่งแบบเดิมให้สามารถควบคุมดูแลระบบได้สะดวกยิ่งขึ้น เหมาะสำหรับน้ำเสียที่เกิดขึ้นเป็นช่วงทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีค่าความสกปรกไม่สูงมากได้ ข้อดีของระบบ SBR คือ มีถังเติมอากาศและตกตะกอนในถังเดียวกันทำให้ประหยัดพื้นที่มากขึ้น สามารถแยกส่วนน้ำใสกับตะกอนหลังการบำบัดได้ดี ทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพตามต้องการ สามารถกำหนดรอบระยะเวลาบำบัดตามสภาพของน้ำเสียได้ สามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น-ดีไนตริฟิเคชั่นได้ ไม่จำเป็นต้องหมุนเวียนตะกอนมากนักเนื่องจากมีตะกอนอยู่ภายในถังทำปฏิกิริยาอยู่ตลอดเวลา และกลิ่นรบกวนน้อย จึงเป็นระบบบำบัดอีกรูปแบบหนึ่งที่เหมาะสมกับลักษณะของน้ำเสียฟาร์มสุกร ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ SBR ได้แก่ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ปริมาณธาตุอาหาร ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ระยะเวลาในการบำบัด ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความสมบูรณ์ในการกวนน้ำเสีย อุณหภูมิ และปริมาณสารพิษที่มีอยู่ในระบบ (Sombatsomphob, 2008)

โดยทั่วไประบบ SBR ที่ใส่ตัวกลางเพื่อเลี้ยงจุลินทรีย์แบบฟิล์มชีวภาพ (biofilm) จะมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงกว่าระบบที่ใช้จุลินทรีย์แบบแขวนลอยเพียงอย่างเดียว เช่น งานวิจัยของ Sirianuntapiboon and Yommee (2006) ที่บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ระบบ SBR แบบธรรมดาที่ใช้จุลินทรีย์แบบแขวนลอยเพียงอย่างเดียว เปรียบเทียบกับระบบ SBR แบบ moving-bed sequencing batch biofilm reactor (MSBBR) ที่ใช้จุลินทรีย์แบบแขวนลอยร่วมกับจุลินทรีย์แบบฟิล์มชีวภาพที่มีตัวกลางเป็นชิ้นส่วนยางในของรถบรรทุก ผลการศึกษาพบว่าระบบ SBR แบบธรรมดามีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี บีโอดี และทีเคเอ็นร้อยละ 96.1 97.2 และ 96.5 ตามลำดับ ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียแบบ MSBBR มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี บีโอดี และทีเคเอ็นร้อยละ 97.5 97.9 และ 97.6 ตามลำดับ นอกจากนี้ในงานวิจัยอื่นๆ พบว่าระยะเวลากักเก็บน้ำ (HRT) มีผลต่อประสิทธิภาพใน การบำบัดน้ำเสียของระบบ SBR ด้วย

ดังนั้นการศึกษานี้จึงทำการบำบัดน้ำเสียโดยใช้น้ำเสียจริงจากฟาร์มสุกร ใช้ระบบบำบัดแบบ SBR ชนิดธรรมดา (ไม่ใช้ตัวกลาง) เปรียบเทียบกับระบบ SBR ที่ใช้ตัวกลางชนิดเคลื่อนที่ คือชิ้นส่วนยางในของรถบรรทุกขนาดใหญ่ (10 ล้อ) ซึ่งเรียกว่าระบบ moving-bed sequencing batch biofilm reactor (MSBBR) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด ใช้ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำ (HRT) ต่างกันคือ 1.5 3 และ 5 วัน พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ได้แก่บีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น และของแข็งแขวนลอย ทั้งนี้มีการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำหลังการบำบัดกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร (Pollution Control Department, 2003) ด้วยผลการศึกษาจะช่วยให้สามารถนำวัสดุเหลือใช้ไปใช้ในกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจากกิจการฟาร์มสุกรได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดปัญหามลพิษทางน้ำจากฟาร์มสุกรได้

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฟาร์มสุกรในปัจจุบันมีอยู่เป็นจำนวนมากและกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ ของเสียจากฟาร์มสุกรที่สำคัญมาจากการล้างคอกด้วยน้ำ และปัสสาวะสุกรซึ่งจะกลายเป็นน้ำเสีย โดยฟาร์มสุกรขุนจะมีค่าความสกปรกของน้ำเสียมากกว่าฟาร์มสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ น้ำเสียจากฟาร์มสุกรเป็นแหล่งที่ทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติเสื่อมโทรมเนื่องจากฟาร์มส่วนใหญ่มักตั้งอยู่ใกล้แหล่งน้ำ ฟาร์มบางแห่งมีบ่อกักเก็บน้ำเสียแต่อาจเกิดการไหลล้นจากน้ำฝนออกนอกฟาร์ม ดังนั้นฟาร์มสุกรต้องจัดการของเสียและน้ำเสียจากฟาร์มสุกรอย่างเหมาะสม (Pollution Control Department, 2003) ฟาร์มเลี้ยงสุกรถูกจัดเป็นกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพประเภทการประกอบกิจการที่เกี่ยวกับสัตว์เลี้ยงตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง กิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ พ.ศ. 2558 ซึ่งในกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพทั้งหมด 141 ประเภทนั้น การเลี้ยงสัตว์จัดเป็นกิจการที่ถูกร้องเรียนมากเป็นอันดับที่ 1 โดยกิจการที่มีข้อพิพาทกับชุมชนเป็นประจำคือการประกอบกิจการเลี้ยงสุกร เนื่องจากฟาร์มสุกรจำนวนมากตั้งอยู่ใกล้ชุมชน บางแห่งขาดการดูแลสิ่งแวดล้อมและสุขลักษณะจนก่อให้เกิดมลพิษ โดยเฉพาะเรื่องกลิ่นเหม็นซึ่งกลิ่นจากฟาร์มเลี้ยงสุกรประกอบด้วยสารประกอบไนโตรเจน เช่น แอมโมเนีย เอมีน สารประกอบซัลเฟอร์ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมอร์แคปแทน รวมถึงสารระเหยอินทรีย์มากกว่า 300 ชนิด (Faculty of Public Health, Mahidol University, 2018)

คุณลักษณะของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร มีค่าความสกปรกในรูปบีโอดี โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,500-3,000 มก./ล ค่าซีโอดี 4,000-7,000 มก./ล ค่าไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น 400-800 มก./ล ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด 8-17 มก./ล ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด 2,000-4,800 มก./ล และค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6-8 ในส่วนของค่าบีโอดีนั้น

หากเจ้าของฟาร์มสุกรไม่ได้ทำความสะอากคอกก่อนล้างพื้น อาจมีค่าบีโอดีในน้ำเสียสูงถึง 7,000-10,000 มก./ล ส่วนการทำความสะอาดคอกโดยเก็บกวาดมูลสุกรออกก่อนจะลดค่าบีโอดีในน้ำเสียให้เหลือไม่เกิน 1,000 มก./ล ได้ การระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรนั้นต้องบำบัดน้ำเสียให้ได้คุณภาพตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร พ.ศ. 2548 โดยน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ (น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ (นปส. หรือ Livestock Unit) มากกว่า 600 นปส. เทียบเท่าจำนวนสุกรมากกว่า 5,000 ตัว) ต้องมีค่าบีโอดี ≤ 60 มก./ล ซีโอดี ≤ 300 มก./ล ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ≤ 120 มก./ล และสารแขวนลอย ≤ 150 มก./ล ส่วนฟาร์มสุกรขนาดกลาง (น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ 60-600 นปส. เทียบเท่าจำนวนสุกรมากกว่า 500-5,000 ตัว) และขนาดเล็ก (น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ตั้งแต่ 6 ถึงน้อยกว่า 60 นปส. เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 50 ถึงน้อยกว่า 500 ตัว) ต้องมีค่าบีโอดี ≤ 100 มก./ล ซีโอดี ≤ 400 มก./ล ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ≤ 200 มก./ล และสารแขวนลอย ≤ 200 มก./ล (Pollution Control Department, 2003) ดังนั้นจึงต้องการระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมเพื่อรองรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ค่อนข้างสูงจากแหล่งกำเนิดฟาร์มสุกร ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่ที่เจ้าของกิจการนิยมใช้เป็นระบบที่ใช้กระบวนการทางชีวภาพ ปัจจุบันมีหลายแบบที่นิยมใช้ เช่น ระบบบ่อผึ่ง (oxidation pond) หรือบ่อปรับเสถียร (waste stabilization pond) ระบบบ่อหมักแบบไร้อากาศ (anaerobic digester pond) รวมถึงระบบผลิตแก๊สชีวภาพ เช่น Upflow anaerobic sludge blanket (UASB) (Faculty of Public Health, Mahidol University, 2018) แต่ระบบต่างๆ เหล่านี้ต้องการพื้นที่ก่อสร้างมาก และอาจเกิดกลิ่นรบกวนชุมชนรอบข้างได้

ระบบ sequencing batch reactor (SBR) เป็นระบบตะกอนเลี้ยงเชื้อที่มีลักษณะเฉพาะ คือ มีถังตกตะกอนและถังเติมอากาศเป็นถังเดียวกัน ทำหน้าที่ตกตะกอนและเติมอากาศในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งขั้นตอนในการบำบัดของระบบประกอบด้วยขั้นตอนการป้อนน้ำเสียเข้า (fill) การบำบัดและการเติมอากาศ (react and aerate) การตกตะกอน (settle) การระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดและตะกอนส่วนเกินออกจากถังปฏิกิริยา (draw) (Sombatsomphob, 2008) ดังนั้นระบบ SBR จึงเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่สามารถลดพื้นที่ในการก่อสร้างและใช้พลังงานในการดำเนินระบบบำบัดน้ำเสียน้อย โดยค่าออกแบบ (design parameters) ของระบบ SBR ที่สำคัญคือ ค่า F/M ratio ระยะเวลาการบำบัด (หรือช่วงเติมอากาศ) MLSS และระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) (US.EPA, 1999) ระบบ SBR สามารถบำบัดทั้งความสกปรกในรูปบีโอดี ซีโอดี รวมถึงธาตุอาหารได้ดี และระบบ SBR ที่ใส่ตัวกลางเพื่อเลี้ยงจุลินทรีย์แบบฟิล์มชีวภาพ (biofilm) จะมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงกว่าระบบที่ใช้จุลินทรีย์แบบแขวนลอยเพียงอย่างเดียว เช่น งานของ Sirianuntapiboon and Yommee (2006) บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าปริมาณบรรทุกสารอินทรีย์สูง 800 มก./ล โดยใช้ระบบ SBR แบบธรรมดาที่ใช้จุลินทรีย์แบบแขวนลอยเพียงอย่างเดียว และระบบ SBR แบบ moving-bed sequencing batch biofilm reactor (MSBBR) ที่ใช้จุลินทรีย์แบบแขวนลอยร่วมกับจุลินทรีย์แบบฟิล์มชีวภาพที่ใช้ตัวกลางเป็นชิ้นส่วนยางในรถบรรทุกสิบล้อ ผลการศึกษาพบว่าระบบ SBR ธรรมดามีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี บีโอดี และไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ร้อยละ 96.1 97.2 และ 96.5 ตามลำดับ เทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบ MSBBR ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี บีโอดี และไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ร้อยละ 97.5 97.9 และ 97.6 ตามลำดับ งานของ Helness and Ødegaard (1999) บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์แบบ sequencing batch moving bed biofilm reactor (SBMBBR) โดยใช้ถังปฏิกิริยาปริมาตร 10 ลิตร บรรจุตัวกลางพลาสติก KMT ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะคิดเป็นร้อยละ 53 ของปริมาตรถัง ใช้ช่วงวัฏจักรของระบบ 4-6 ชม. ผลการศึกษาพบว่าสามารถบำบัดฟอสเฟตได้ถึงร้อยละ 98 นอกจากนี้เริ่มมีการใช้ระบบ SBR เพื่อบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร เช่น งานวิจัยของ Sombatsompop et al. (2011)

ใช้ระบบ SBR ที่เรียกว่า moving-bed sequencing batch reactor ใช้ฟองน้ำชนิด poly vinyl chloride เป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร มีค่าภาระบรรทุก 1.18-2.36 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ผลการศึกษาพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีร้อยละ 83-86 และบีโอดีร้อยละ 90-91 การพัฒนาระบบ SBR ที่มีตัวกลางสัมผัสให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ ทำให้ระบบเกิดการตกตะกอนอย่างมีประสิทธิภาพ แก้ปัญหาตะกอนลอยและสามารถควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ในระบบได้ดีขึ้นด้วย (Pastorelli et al. 1999; Ødegaard, Rusten and Badin, 1993)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของระบบ SBR แบบธรรมดา (ไม่ใช้ตัวกลาง) และระบบ MSBBR (ใช้ตัวกลางเลี้ยงจุลินทรีย์แบบไบโอฟิล์ม) ที่ใช้ตัวกลางเคลื่อนที่ในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ และศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้วิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของฟาร์มสุกรจำเนียร ตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ซึ่งเป็นฟาร์มสุกรขนาดเล็ก (ประมาณ 200 ตัว) คุณลักษณะของน้ำเสียที่ระบายออกจากฟาร์มสุกร (ความเข้มข้นเริ่มต้น) คือบีโอดีในช่วง 300-450 มก./ล ซีโอดีในช่วง 600-1,000 มก./ล ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็นในช่วง 140-320 มก./ล และของแข็งแขวนลอย ในช่วง 210-560 มก./ล ถังปฏิกิริยา (reactor) ของระบบ SBR ที่ใช้ทำจากอะครีลิกรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร มีการติดตั้งสายเติมอากาศและใบพัดเข้ากับมอเตอร์เพื่อทำหน้าที่ในการกวนน้ำเสียให้เข้ากัน มีช่องเปิดเพื่อถ่ายเทน้ำใสที่บำบัดเสร็จแล้ว สำหรับในถังปฏิกิริยาที่ใช้ตัวกลาง หรือเรียกว่า MSBBR นั้น จะใส่ตัวกลางที่เป็นยางในรถบรรทุกขนาดใหญ่ (10 ล้อ) ตัดเป็นรูปลูกบาศก์ขนาดกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 2x2x2 มิลลิเมตร (คิดเป็นพื้นที่ผิวรวมต่อชิ้นประมาณ 0.24 ตารางเซนติเมตร) ก่อนใช้งานจะล้างตัวกลางแล้วนำไปอบให้แห้ง จากนั้นชั่งตัวกลางให้มีน้ำหนักรวม 300 กรัมต่อหนึ่งถังปฏิกิริยา

ในการวิจัยผู้ศึกษามีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ลงไปเพื่อให้มีปริมาณจุลินทรีย์เพียงพอในการทำปฏิกิริยา โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบตะกอนเร่ง (AS) ของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำประชานิเวศน์ 3 จังหวัดนนทบุรี ก่อนทดลองจริงมีการปรับสภาพเชื้อจุลินทรีย์ให้คุ้นชินกับน้ำเสียก่อน (acclimatization) โดยใช้ถังขนาดใหญ่ที่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์แล้วค่อย ๆ ใส่น้ำเสียฟาร์มสุกรไว้ โดยปรับสัดส่วนปริมาตรน้ำเสียในแต่ละวันเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ เพื่อให้เชื้อปรับสภาพ โดยดำเนินการปรับสภาพเป็นเวลา 14 วัน

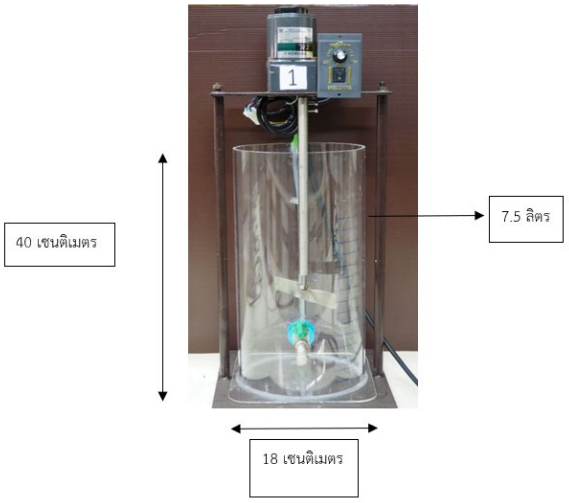
เมื่อทำให้เชื้อปรับสภาพแล้ว จึงเริ่มทดลองจริงโดยนำน้ำเสียฟาร์มสุกรใส่ในถังปฏิกิริยาจำนวน 6 ถังๆ ละ 7.5 ลิตร แบ่งเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่เป็นระบบ SBR แบบธรรมดา (ไม่ใส่ตัวกลาง) และชุดที่เป็นระบบ MSBBR ซึ่งบรรจุตัวกลางที่เป็นยางในรถบรรทุกขนาดใหญ่เอาไว้ โดยในการทดลองมีการแปรผันระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ต่างกัน 3 ค่า คือ 1.5 3 และ 5 วัน ดังนั้นจึงมีชุดทดลอง SBR จำนวน 3 ถัง และชุด MSBBR จำนวน 3 ถัง โดยคำนวณเวลาเก็บกักน้ำได้จากสมการ

$$HRT = V/Q$$

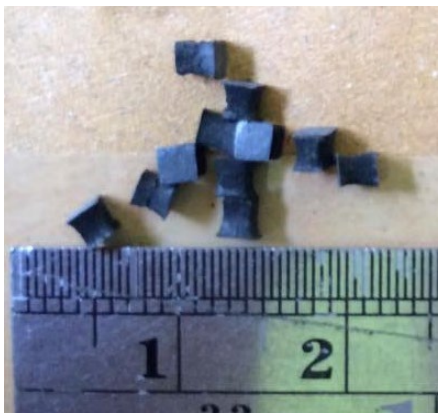
โดย HRT คือระยะเวลาที่ใช้เก็บกักน้ำ (วัน) V คือปริมาตรของน้ำในถัง (มิลลิลิตร) และ Q คือปริมาตรน้ำที่ถ่ายออกต่อวัน (มิลลิลิตรต่อวัน) ดังนั้นระยะเวลากักเก็บน้ำ 1.5 วัน จะต้องระบายน้ำออก 5,000 มิลลิลิตรต่อวัน ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน จะต้องระบายน้ำออก 2,500 มิลลิลิตรต่อวัน และระยะเวลากักเก็บน้ำ 5 วัน จะต้องระบายน้ำออก 1,500 มิลลิลิตรต่อวัน การทดลองใช้วัฏจักร 24 ชั่วโมงต่อรอบ แบ่งขั้นตอนออกเป็นกระบวนการเติมน้ำเสียเข้า/ออก 1 ชั่วโมง เติมอากาศ 19 ชั่วโมง ตกตะกอน 3 ชั่วโมง และระยะพักระบบ 1 ชั่วโมง ทุกวันที่ทดลองจะควบคุมความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในรูป MLSS ในช่วง 2,000-2,500 มก./ล และมีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ให้อยู่ในช่วง 6.5-8.0 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ยี่ห้อ UNIVAR ความบริสุทธิ์ร้อยละ 97) และกรดซัลฟูริค (ยี่ห้อ Qrec ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98) การเก็บตัวอย่างน้ำหลังการบำบัดเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพจะเก็บตัวอย่างแบบวันเว้นวัน ดำเนินการทดลองทั้งหมด 30 วัน ดังนั้นจึงมีผลของประสิทธิภาพทั้งหมด 15 ครั้ง

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบบำบัด ทำโดยวิเคราะห์บีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น และของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียก่อนเริ่มเดินระบบ (Influent) และน้ำทิ้งหลังเดินระบบครบรอบวัฏจักรแล้ว (Effluent) โดยวิเคราะห์บีโอดีด้วย Azide Modification Method วิเคราะห์ซีโอดีด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด/การไตเตรท (Closed Reflux, Titrimetric Method) วิเคราะห์ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็นด้วย Kjeldahl Method และวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยด้วย Gravimetric Method โดยกรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองใยแก้วแล้วนำไปอบที่ 103-105 องศาเซลเซียส

เมื่อศึกษาครบระยะเวลา 30 วันแล้ว ผู้ศึกษามีการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวฟิล์มชีวภาพที่ติดบนตัวกลาง โดยนำตัวกลางไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจนตัวอย่างแห้งลง แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM; ยี่ห้อ Hitachi รุ่น SU8230) กำลังขยาย 1000 5000 และ 10000 เท่า ที่ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)



ภาพที่ 1 ถังปฏิกิริยาที่ใช้ทดลอง (บรรจุน้ำเสียฟาร์มสุกรปริมาตร 7.5 ลิตร)

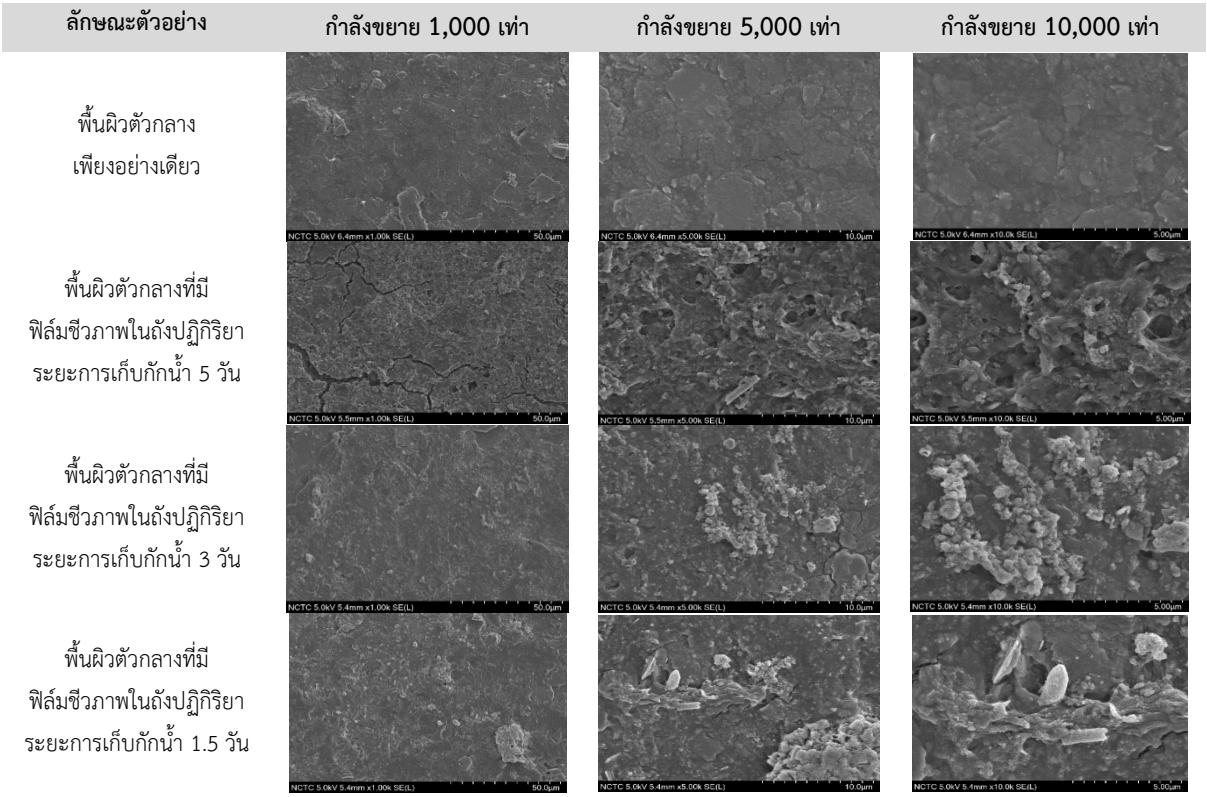


ภาพที่ 2 ตัวกลางขนาด 2 มิลลิเมตร x 2 มิลลิเมตร

ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวตัวกลางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

จากการวิเคราะห์พื้นผิวฟิล์มชีวภาพที่เกาะบนตัวกลางยางรถยนต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กำลังขยาย 1000 5000 และ 10000 เท่า ได้ผลดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ลักษณะฟิล์มชีวภาพที่ยึดติดอยู่บนตัวกลางของระบบ MSBBR
เมื่อใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 1.5 3 และ 5 วัน

จากภาพที่ 3 พบว่าพื้นผิวของตัวกลางเพียงอย่างเดียวก่อนการทำปฏิกิริยา มีลักษณะเรียบสม่ำเสมอกัน ในขณะที่ตัวกลางยางรถบรรทุกซึ่งผ่านการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระยะเวลาการเก็บกักน้ำที่ต่างกัน 1.5 3 และ 5 วัน พบว่าสัณฐานของฟิล์มชีวภาพมีการเกาะกับตัวกลางเป็นแผ่นและเป็นกลุ่มก้อนอย่างชัดเจนในทุกระยะเวลาเก็บกักน้ำ

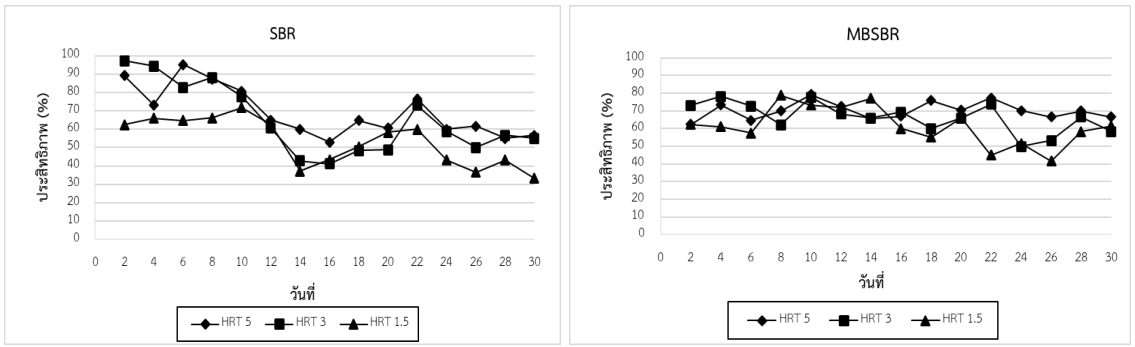
2. ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรของระบบ MSBBR

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ MSBBR เมื่อคุณลักษณะของน้ำเสียที่ระบายออกจากฟาร์มสุกร (ความเข้มข้นเริ่มต้น) ได้แก่ บีโอดีในช่วง 300-450 มก./ล ซีโอดีในช่วง 600-1,000 มก./ล ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็นในช่วง 140-320 มก./ล และของแข็งแขวนลอย ในช่วง 210-560 มก./ล เมื่อกระบวนการบำบัดใช้ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำแตกต่างกันคือ 1.5 3 และ 5 วัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดทั้งบีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น และของแข็งแขวนลอย ของชุดปฏิกิริยา MSBBR ที่มีตัวกลางยางรถบรรทุก มีประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีกว่าระบบ SBR แบบธรรมดาที่ไม่ใส่ตัวกลาง โดยค่าบีโอดีมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดร้อยละ 66.7 เมื่อเทียบกับแบบไม่มีตัวกลางซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 56.7 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงสุดร้อยละ 86.8 เมื่อเทียบกับแบบไม่มีตัวกลางซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 66.6 ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็นสูงสุดร้อยละ 81.2 เมื่อเทียบกับแบบไม่มีตัวกลางซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 76.8 และประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยสูงสุดร้อยละ 69.2 เมื่อเทียบกับแบบไม่มีตัวกลางซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 50.0

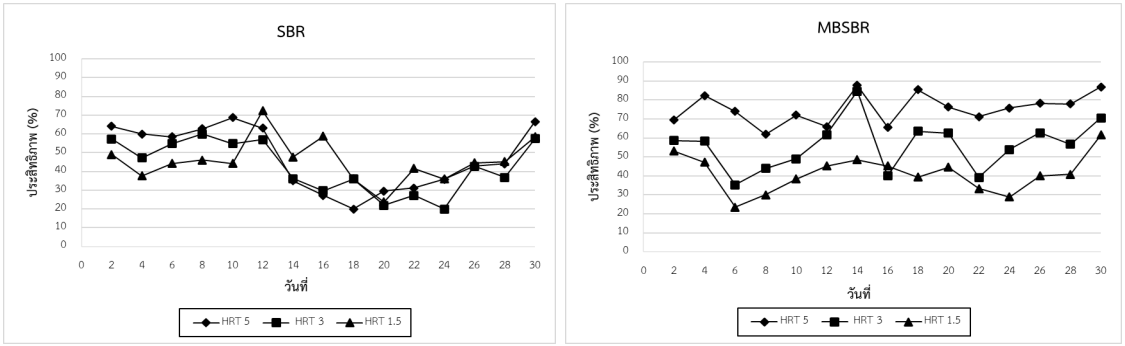
สำหรับผลของระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ กันเมื่อใช้ตัวกลางยางรถบรรทุกนั้นพบว่าการใช้ระยะเวลาการเก็บกักน้ำ 5 วัน สามารถบำบัดบีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น และของแข็งแขวนลอยได้มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 66.7 86.8 81.2 และ 69.2 ตามลำดับ โดยตารางที่ 1 และภาพที่ 4 เป็นการสรุปประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรของระบบ SBR และ MSBBR เมื่อใช้ระยะเวลาการเก็บกักน้ำ 1.5 3 และ 5 วัน

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างๆ กัน ของระบบ SBR และ MSBBR

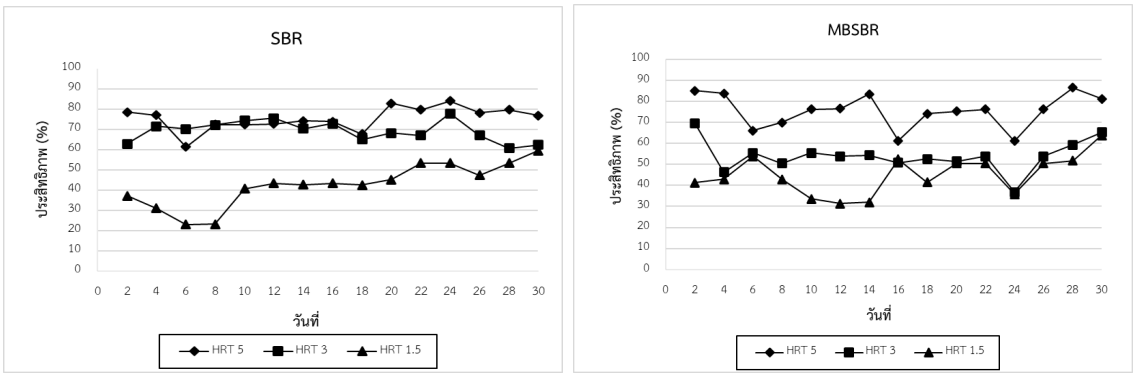
ดัชนีตรวจวัด	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยเฉลี่ย (ร้อยละ)					
	HRT 1.5 วัน		HRT 3 วัน		HRT 5 วัน	
	SBR	MSBBR	SBR	MSBBR	SBR	MSBBR
บีโอดี	33.3	61.7	55.0	58.3	56.7	66.7
ซีโอดี	58.5	61.5	57.5	70.6	66.6	86.8
ทีเคเอ็น	59.4	63.8	62.3	65.2	76.8	81.2
ของแข็ง ฯ	40.4	50.0	48.0	51.9	50.0	69.2



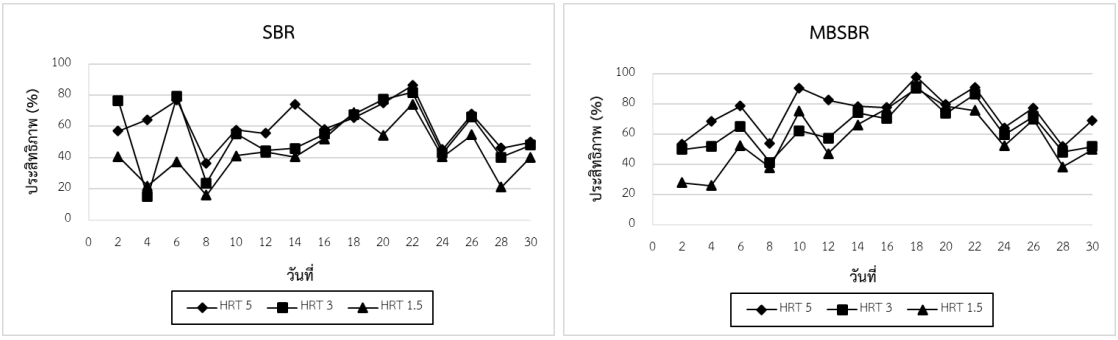
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรเมื่อใช้ระยะเวลาการเก็บกักน้ำแตกต่างกัน 1.5 3 และ 5 วัน (ก) บีโอดี (ข) ซีโอดี (ค) ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น และ (ง) ของแข็งแขวนลอย

3. ผลเปรียบเทียบน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

เมื่อนำความเข้มข้นโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดลอง ของบีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น และของแข็งแขวนลอย ของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ MSBBR (ดังตารางที่ 2) มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานสูงสุดตามมาตรฐาน ข (มีน้ำหนักปศุสัตว์เทียบเท่าจำนวนสุกรตั้งแต่ 50-น้อยกว่า 500 ตัว) พบว่าการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรด้วยระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน ทำให้ความเข้มข้นเฉลี่ยของซีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอย และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐานสูงสุดทั้งหมด ยกเว้นบีโอดีซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานเล็กน้อย (ดังตารางที่ 2) ทั้งนี้ค่าไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอย และค่า pH ของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดโดยใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำทั้ง 3 แบบผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ MSBBR กับมาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

ดัชนีตรวจวัด	**ความเข้มข้นเฉลี่ยของน้ำทิ้งเมื่อบำบัดด้วยระบบ MSBBR โดยใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างกัน (มก./ล)**			**เกณฑ์มาตรฐานสูงสุด* ตามมาตรฐาน ข (มก./ล)**
	1.5 วัน	**3 วัน**	**5 วัน**	
บีโอดี	143.06±58.58	124.80±62.15	110.85±44.85	100
ซีโอดี	542.56±82.58	406.34±106.34	227.41±71.35	400
ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น	198.00±100.66	165.82±100.56	88.06±44.82	200
ของแข็งแขวนลอย	173.98±82.58	149.25±63.55	105.69±51.69	200
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	8.3±0.5	8.5±0.3	8.6±0.3	5.5-9.0
บีโอดี : ซีโอดี	0.26	0.31	0.49	

*ที่มา: ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร ลงวันที่ 7 พฤศจิกายน 2548 ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเล่มที่ 122 ตอนที่ 125ง วันที่ 29 ธันวาคม 2548

4. น้ำหนักฟิล์มชีวภาพบนตัวกลาง

การคำนวณน้ำหนักฟิล์มชีวภาพบนตัวกลาง ทำโดยสุ่มหยิบตัวกลางยางในรถบรรทุกในถังปฏิกิริยาหลังทดลองแล้วเสร็จมาจำนวน 30 ชิ้นจากนั้นล้างตัวกลางโดยให้น้ำไหลผ่านจนกระทั่งฟิล์มชีวภาพหลุดออกมาจากชิ้นยางทั้งหมด นำน้ำที่ชะล้างทั้งหมดมาวิเคราะห์หาค่าของแข็งแขวนลอยเพื่อหาน้ำหนักมวลชีวภาพในหน่วยมิลลิกรัมต่อชิ้นตัวกลาง และคำนวณมวลชีวภาพถังหมดในแต่ละถังปฏิกิริยา ค่าที่ได้แสดงดังตารางที่ 3 การศึกษาพบว่าตัวกลางของชุดปฏิกิริยาที่ใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 3 วัน มีมวลชีวภาพเกิดขึ้นในระบบมากที่สุด ส่วนระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน พบว่าปริมาณมวลชีวภาพบนตัวกลางมีน้อยที่สุด ในการบำบัดสารอินทรีย์เมื่อใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน มีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งนี้อาจเกิดจากเมื่อทดลองด้วยระยะเวลานานขึ้น พื้นที่ผิวของตัวกลางในการเกาะของจุลินทรีย์เริ่มเป็นปัจจัยจำกัด ทำให้มวลจุลินทรีย์บางส่วนหลุดออกมาในรูปจุลินทรีย์แขวนลอยในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มีประสิทธิภาพสูงสุด

ตารางที่ 3 น้ำหนักมวลชีวภาพบนตัวกลางของระบบ MSBBR

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (วัน)	มวลฟิล์มชีวภาพบนตัวกลาง (มิลลิกรัม/ชิ้นตัวกลาง)	มวลชีวภาพทั้งหมด (มิลลิกรัม/ถังปฏิกิริยา)
5	0.347±0.10	16,660±699
3	0.395±0.15	18,802±1,334
1.5	0.370±0.13	17,612±1,109

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้ระบบ MSBBR ซึ่งใช้ตัวกลางยางในรถบรรทุกเป็นตัวกลาง เปรียบเทียบกับระบบ SBR แบบธรรมดา และศึกษาระยะเวลากักเก็บน้ำต่างกันได้แก่ 1.5 3 และ 5 วัน ผลการศึกษาพบว่าระบบ MSBBR มีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น และของแข็งแขวนลอยดีกว่าระบบ SBR แบบธรรมดา สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sirianuntapiboon and Yommee (2006) ที่ศึกษาการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าปริมาณบรรทุกสารอินทรีย์สูง (800 มก./ล) โดยใช้ระบบ SBR แบบธรรมดาที่ใช้จุลินทรีย์แบบแขวนลอยเพียงอย่างเดียว และระบบ SBR แบบ moving-bed sequencing batch biofilm reactor (MSBBR) ที่ใช้จุลินทรีย์แบบแขวนลอยร่วมกับจุลินทรีย์แบบฟิล์มชีวภาพที่มีตัวกลางเป็นยางในรถบรรทุก พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสทั้งหมด และของแข็งแขวนลอย ของชุดปฏิกิริยาที่มีตัวกลางให้ประสิทธิภาพในการบำบัดดีกว่า สอดคล้องกับการศึกษาของ Binnima (2006) ที่ศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยใช้เชือกไนลอนเป็นตัวกลางในการเลี้ยงจุลินทรีย์ เปรียบเทียบกับแบบไม่ใช้ตัวกลาง พบว่าการบำบัดน้ำเสียแบบที่ใช้ตัวกลางมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอย ดีกว่าแบบไม่ใช้ตัวกลาง ทั้งนี้เนื่องจากการใส่ตัวกลางเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างจุลินทรีย์กับน้ำเสีย นอกจากนี้ชั้นฟิล์มชีวภาพที่หนามากขึ้นบนยางในรถบรรทุก จะเกิดชั้น Slime layer ซึ่งมีทั้งชั้นแอโรบิก (ใช้อากาศ) ที่สัมผัสกับน้ำเสีย และชั้นแอนแอโรบิก (ไม่ใช้อากาศ) ที่แนบอยู่บนผิวตัวกลาง (Sirianuntapiboon and Yommee, 2006) ทำให้สามารถกำจัดไนโตรเจนออกจากระบบด้วยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่นในเวลาเดียวกันได้

สำหรับผลของระยะเวลาการกักเก็บน้ำที่ใช้ต่างๆ กัน พบว่าการใช้ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ 5 วัน สามารถบำบัดบีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น และของแข็งแขวนลอย ได้มากที่สุดเช่นเดียวกัน โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของซีโอดี ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอย และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร (เกณฑ์มาตรฐานสูงสุดตามมาตรฐานข) ทั้งหมด สอดคล้องกับการศึกษาของ Song et al. (2020) และ Zinatizadeh and Ghaytooli (2015) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียแบบฟิล์มชีวภาพที่เจริญเติบโตบนตัวกลาง Kaldness โดยทำการควบคุมระยะเวลาในการเก็บกักน้ำภายในถังปฏิกรณ์ที่ยาวนานมากขึ้น ส่งผลให้การกำจัดไนโตรเจนในระบบสามารถทำงานดียิ่งขึ้นและมีประสิทธิภาพคงที่ การที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำมากขึ้นจะส่งผลให้บำบัดได้ดีนั้น เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเสียทำให้แบคทีเรียมีเวลาสัมผัสกับน้ำเสียได้นานขึ้น การย่อยสลายจึงมีมากกว่าการใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำเสียน้อย (Young and Dahab, 1982) และทำให้บำบัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ดีขึ้นด้วย (Sirianuntapiboon and Yommee, 2006) ซึ่งสอดคล้องกับผลในตารางที่ 2 ที่เมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำนานขึ้นจะทำให้อัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีเพิ่มมากขึ้น แสดงถึงการบำบัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากได้ดีขึ้นด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 เนื่องจากความเข้มข้นเฉลี่ยของบีโอดีภายหลังการบำบัดในการศึกษานี้ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จึงควรเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในระบบและปริมาณตัวกลางในถังปฏิกิริยาให้สูงขึ้น

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ศึกษาตัวกลางที่มีน้ำหนักเบาเพื่อให้เคลื่อนที่ได้อย่างทั่วถึงในถังปฏิกิริยา

2.2 ศึกษาน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีภาระบรรทุกอินทรีย์สูงขึ้นเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ MSBBR

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย สำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และขอขอบคุณโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำประชานิเวศน์ 3 เทศบาลนครนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี ให้ความเอื้อเฟื้อเชื้อจุลินทรีย์ตลอดช่วงงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Binnima, N. (2006). *Wastewater Treatment by Microorganisms with Nylon Fiber Media by sludge System*. Thesis of the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering. Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)

Faculty of Public Health, Mahidol University. (2018). *A Study the Pattern of Management of Nuisance Events that are Hazardous to Health in Swine Farming.* [Online]. Retrieved September 10, 2020, from: https://bit.ly/31JfsXQ (in Thai)

Helness, H. and Ødegaard, H. (1999). Biological Phosphorus Removal in a Sequencing Batch Moving Bed Biofilm Reactor. *Water Science and Technology*, 40, 161-168.

Ødegaard, H., Rusten, B. and Badin, H. (1993). Small Wastewater Treatment Plants Based on Moving Bed Biofilm Reactors. *Water Science and Technology*, 28, 351-359.

Pastorelli, G., Canziani, R., Pedrazzi, L. and Rozzi, A. (1999). Phosphorus and Nitrogen Removal in Moving-Bed Sequence Batch Biofilm Reactors. *Water Science and Technology*, 40, 169-176.

Pollution Control Department. (2003). Handbook of Selection, Care and Maintenance of The Piggery Wastewater Treatment System according to The Standard Form of The Department of Livestock Development. [Online]. Retrieved September 10, 2020, from: https://bit.ly/3mlfMUP (in Thai)

Sirianuntapiboon, S. and Yommee, S. (2006). Application of a new type of moving bio-film in aerobic sequencing batch reactor (aerobic-SBR). *Journal of Environmental Management*, 78, 149-156.

Sombatsomphob, K. (2008). SBR Wastewater Treatment. *Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 18, 96-103. (in Thai)

Sombatsompop, K., Songpim, A., Reabroi, S. and Inkong-ngam, P. (2011). A comparative study of sequencing batch reactor and moving-bed sequencing batch reactor for piggery wastewater treatment. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 5, 191-203.

Song, X., Yang, X., Hallerman, E., Jiang, Y. and Huang, Z. (2020). Effects of Hydraulic Retention Time and Influent Nitrate-N Concentration on Nitrogen Removal and the Microbial Community of an Aerobic Denitrification Reactor Treating Recirculating Marine Aquaculture System Effluent. *Water*, 12(3), 650, https://doi.org/10.3390/w12030650.

Temmink, H., Klapwijk, A. and de Korte, K. F. (2001). Feasibility of the BIOFIX-Process for Treatment of Municipal Wastewater. *Water Science and Technology*, 43 (1), 241-249.

Tuntoolavest, M. (1982). *SBR System for Small Industrial Wastewater Treatment*. Bangkok: Research and Development Institute of the Faculty of Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University. (in Thai)

US.EPA. (1999). W*astewater Technology Fact Sheet: Sequencing Batch Reactors.* [Online]. Retrieved August 10, 2020, from: https://www3.epa.gov/npdes/pubs/sbr_new.pdf.

Young, J.C. and Dahab, M.F. (1982). Effect of media design and the performance of fixed-bed anaerobic reactors. *Water Science and Technology,* 15(8-9), 369–383.

Zinatizadeh, A.A.L. and Ghaytooli, E. (2015) Simultaneous nitrogen and carbon removal from wastewater at different operating conditions in a moving bed biofilm reactor (MBBR): Process modeling and optimization. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 53, 98–111.