วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 26 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2564
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 26 (No.1) January – April 2021 บทความวิจัย

ผลกระทบของระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ที่มีต่อเสถียรภาพของระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพแบบ Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS)

Effects of Hydraulic Retention Time on Process Stability of Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS) Biological Wastewater Treatment Process

นุศรา เนียมสูงเนิน และ ธงชัย ศรีวิริยรัตน์*

Nussara Neamsungneon and Tongchai Sriwiriyarat*

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University

Received : 17 April 2020

Revised : 24 July 2020

Accepted : 4 August 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ที่มีต่อเสถียรภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS) โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบ Modified Ludzack-Ettinger (MLE) จำนวน 2 ระบบ คือ ระบบที่มีตัวกลาง Bioweb ในถังเติมอากาศร้อยละ 34.5 โดยปริมาตร เรียกว่า ระบบ IFAS และระบบที่ไม่มีการติดตั้งตัวกลาง เรียกว่า ระบบ AS ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8, 6 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ อายุสลัดจ์เท่ากับ 8 วัน และอุณหภูมิเท่ากับ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ผลการทดลอง พบว่า ระบบ AS มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์เท่ากับ 90.4 ± 0.6%, 88.7 ± 3.2% และ 84.2 ± 10.2% ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมเท่ากับ 99.2 ± 0.5%, 99.4 ± 1.1% และ 97.9 ± 0.5% ตามลำดับ ส่วนระบบ IFAS มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์เท่ากับ 87.6 ± 3.0%, 85.4 ± 3.7% และ 87.7 ± 4.8% ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมเท่ากับ 85.1 ± 5.61%, 84.3 ± 6.6% และ 67.5 ± 5.6% ตามลำดับ ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8, 6 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การลดระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์มีผลกระทบต่อการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ AS เพราะสลัดจ์ถูกชะล้างออกจากถังตกตะกอนเนื่องจากมีเวลาตกตะกอนไม่เพียงพอ และพบแบคทีเรียจำพวกเส้นใยทำให้เกิดตะกอนเบาขึ้น แต่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ทำให้การกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ IFAS น้อยลงเนื่องจากระยะเวลาสำหรับการแพร่ของแอมโมเนียมเข้าสู่ชั้นไบโอฟิล์มลดน้อยลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้น โดยภาพรวมสรุปได้ว่า ระบบ AS มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบ IFAS ที่อายุสลัดจ์เท่ากับ 8 วัน และที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8, 6 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากการแพร่ของสารอินทรีย์และแอมโมเนียมไนโตรเจนในชั้นไบโอฟิล์มถูกจำกัด โดยระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์มีผลกระทบทางลบต่อเสถียรภาพของระบบ IFAS ที่อายุสลัดจ์เท่ากับ 8 วัน และควรใช้ระบบ AS บำบัดน้ำเสียแทน

คำสำคัญ : ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ ; IFAS ; เสถียรภาพ ; ไบโอฟิล์ม ; ไนตริฟิเคชัน

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effects of hydraulic retention time (HRT) on the stability of Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS) wastewater treatment process. The experiments were conducted by two pilot-scale Modified Ludzack-Ettinger (MLE) systems, i.e., the system installed with Bioweb media in the aerobic zone at the filling volume of 34.5% v/v, so-called as IFAS system, and the system operated without media installed, so-called AS system. Both systems were operated at different HRTs of 8, 6 and 4 hours, at the solid retention time (SRT) of 8 days, and at the temperature of 28 ± 2 ^{o}C. The results revealed that the organic removal efficiencies were 90.4 ± 0.6%, 88.7 ± 3.2%, and 84.2 ± 10.2%, respectively, in AS system and were 87.6 ± 3.0%, 85.4 ± 3.7% and 87.7 ± 4.8%, respectively, in IFAS system. Nitrification were 99.2 ± 0.5%, 99.4 ± 1.1%, and 97.9 ± 0.5%, respectively, for AS system and were 85.1 ± 5.61%, 84.3 ± 6.6%, 67.5 ± 5.6%, respectively, for IFAS system, at the HRTs of 8, 6, and 4 hours, respectively. The reductions of HRTs had the negative effects on the organic removal efficiencies in the AS system because sludges were washed out from the final clarifier due to insufficient settling time and excessive filamentous bacteria resulting in bulking sludge. The negative effects of HRT were resulted in the IFAS system for nitrification because the diffusion time of substrates into the biofilm layers were limited at higher flowrates. It appears that the capacities of AS system for organics and nitrogen removals were higher than IFAS system at the SRT of 8 days and at the HRTs of 8, 6 and 4 hours, respectively, due to the limitations of substrates diffusion. The results indicate that the HRT has a negatively impact on the stability of IFAS system at the SRT of 8 days and the conventional AS should be used instead for the wastewater treatment.

Keywords : hydraulic retention Time ; IFAS, stability ; biofilm ; nitrification

***Corresponding author. E-mail** : sriwiri@buu.ac.th

บทนำ

ระบบท่อระบายน้ำเสียชุมชนในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นระบบท่อระบายน้ำเสียรวมที่รองรับน้ำเสีย และน้ำฝน โดยน้ำฝนที่ไหลเข้าสู่ระบบท่อระบายน้ำเสียรวมในช่วงฤดูฝน ทำให้ความเข้มข้นของน้ำเสีย และระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time, HRT) ของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนลดลง และทำให้ระบบอาจมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ดีในช่วงฤดูแล้ง แต่มีประสิทธิภาพลดลงในช่วงฤดูฝนเนื่องจากการชะแบคทีเรียผสมออกจากระบบในช่วงฤดูฝน ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) มักถูกออกแบบให้มีค่า HRT อยู่ระหว่าง 4 - 8 ชั่วโมง (Tchobanoglous *et al*., 2003) หากค่า HRT ลดลงเนื่องจากปริมาณน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่ระบบมีมากขึ้นก็จะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยากำจัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารไนโตรเจนได้ เนื่องจากระยะเวลาสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ และธาตุอาหารไนโตรเจนไม่เพียงพอ Grady *et al*. (1999) ระบุวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าว คือ การปรับเปลี่ยนรูปแบบของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์จาก Conventional Activated Sludge (CAS) ในช่วงฤดูแล้งเป็นรูปแบบ Step-Feed Activated Sludge (SFAS) หรือ Contact Stabilization Activated Sludge (CSAS) สำหรับการเดินระบบในช่วงฤดูฝน อย่างไรก็ตาม การปรับเปลี่ยนระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์จากรูปแบบ CAS ไปเป็นรูปแบบ SFAS หรือ CSAS จำเป็นต้องมีการปรับปรุงโครงสร้างของระบบและต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับระบบทั้งสามรูปแบบ ทำให้เป็นเรื่องยากต่อการดำเนินการได้

ระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพแบบ Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการผสมผสานระหว่างระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์และไบโอฟิล์มเข้าด้วยกัน (Jabari *et al*., 2014; Mannina & Viviani, 2017) โดยระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีแบคทีเรียผสมแบบแขวนลอยในระบบ (Suspended-growth Mixed Culture Bacteria) ส่วนระบบไบโอฟิล์มที่มีแบคทีเรียผสมแบบตรึง (Attached-growth Mixed Culture Bacteria) เกาะบนผิวตัวกลาง ทำให้ระบบ IFAS มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์และธาตุไนโตรเจนที่มีอุณหภูมิต่ำได้ (Hubbell *et al*., 2006; Sriwiriyarat *et al*., 2008a; Arias *et al*., 2018) เพราะแบคทีเรียกลุ่มที่ทำหน้าที่กำจัดธาตุอาหารไนโตรเจนนั้นเจริญเติบโตได้ไม่ดีที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้น้ำทิ้งมีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนเกินกว่ามาตรฐาน การแก้ไขปัญหานี้โดยปกติดำเนินการได้โดยการเพิ่มค่าอายุสลัดจ์ (Sludge Age หรือ Solid Retention Time, SRT) เพื่อเพิ่มปริมาณแบคทีเรียในระบบให้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม หากถังตกตะกอนไม่ได้ถูกออกแบบเพื่อรองรับปริมาณตะกอนที่เพิ่มขึ้นหรือไม่สามารถขยายถังเติมอากาศหรือถังตกตะกอนได้ ก็อาจส่งผลให้คุณภาพน้ำทิ้งมีความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด สำหรับระบบ IFAS นั้นมีการติดตั้งตัวกลางลงในถังเติมอากาศของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เพื่อให้แบคทีเรียยึดเกาะอยู่บนผิวตัวกลางจนมีความหนาแน่นสูง เพิ่มอายุสลัดจ์ของแบคทีเรียในระบบได้ (Moretti *et al*., 2015) โดยที่แบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นไม่ได้ถูกตกตะกอนในถังตกตะกอนจึงไม่เป็นภาระต่อถังตกตะกอน

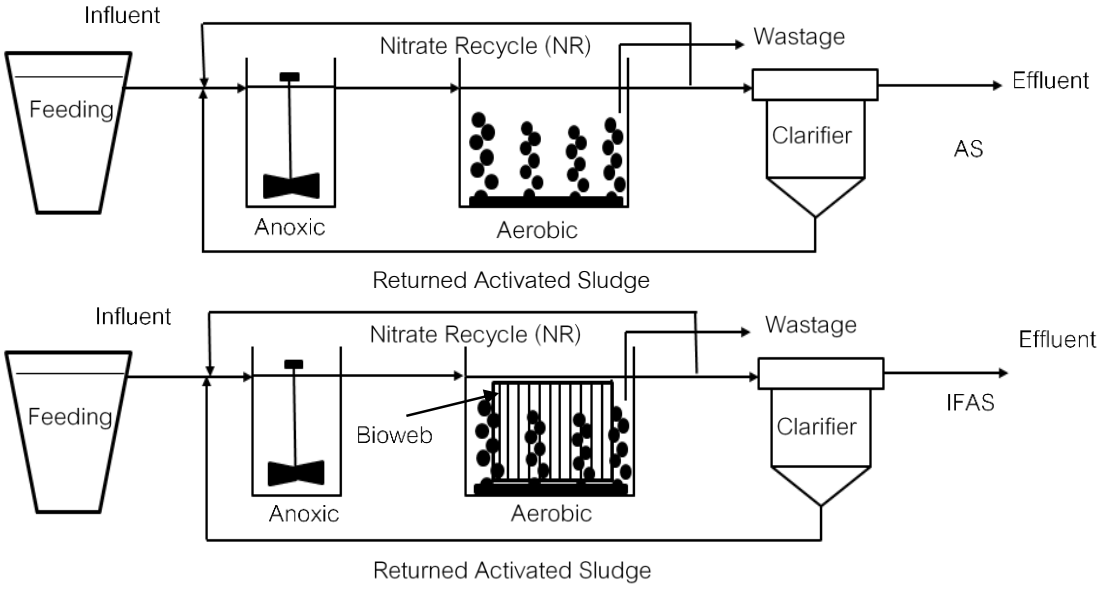
สำหรับการเลือกระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์และอัตราภาระน้ำเข้า (Hydraulic Loading Rate) ที่เหมาะสมของระบบ IFAS ขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำทิ้งที่กำหนดและความเข้มข้นของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Li & Visvanathan, 2019; Mannina *et al*., 2018) Sriwiriyarat *et al*. (2008b) พบว่า ระบบ IFAS กำจัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารไนโตรเจนได้ดีขึ้นหรือไม่นั้นอยู่กับค่า SRT และ HRT โดยระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารไนโตรเจนลดลงเมื่อค่า HRT เท่ากับ 6 ชั่วโมง และมีค่า SRT เท่ากับ 4 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ทั่วไปที่ล้มเหลวเมื่อมีการลดค่า HRT ลง ดังนั้น ระบบ IFAS จึงเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางเลือกที่นำมาเพิ่มเสถียรภาพของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ทั่วไปได้ (Sriwiriyarat *et al*., 2008b; Ødegaard, 2017) อย่างไรก็ตาม การทดลองไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น

ของสารอินทรีย์และธาตุอาหารไนโตรเจน ดังนั้น ถึงแม้ว่าค่า HRT ลดลง ภาระสารอินทรีย์และธาตุอาหารไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบกลับเพิ่มสูงขึ้น แบคทีเรียมีสารอินทรีย์อยู่มากจึงทำให้แบคทีเรียถูกชะออกไม่หมด ยังไม่มีการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของ HRT และความเข้มข้นของน้ำเสียที่ลดลงจากการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลดังที่กล่าวมาข้างต้น นอกจากนั้น เมื่อนำเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสีย IFAS มาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย หากคุณลักษณะของน้ำเสียและปริมาณน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ระบบอาจมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ดีในช่วงฤดูแล้ง แต่อาจมีผลกระทบต่อการเกิดชั้นไบโอฟิล์มและการหลุดลอกของชั้นไบโอฟิล์มในช่วงฤดูฝน อาจทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารไนโตรเจนลดลงได้ จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงทางฤดูกาลดังกล่าวที่มีต่อระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ที่มีต่อระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพแบบ IFAS และเพื่อเปรียบเทียบศักยภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ IFAS กับระบบบำบัดน้ำเสียแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ในการรองรับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอินทรีย์และธาตุอาหารไนโตรเจน

วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ดำเนินการในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแอกทิเวเต็ดสลัดจ์จำลองแบบ Modified Ludzack-Ettinger (MLE) จำนวน 2 ระบบ ได้แก่ ระบบ AS และ ระบบ IFAS ดังภาพที่ 1 โดยระบบ AS เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบธรรมดา ส่วนระบบ IFAS เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่มีการติดตั้งตัวกลาง Bioweb (ดังภาพที่ 2) ลงในถังปฏิกิริยาเติมอากาศที่มีการรักษาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ในถังปฏิกิริยาให้อยู่ที่ประมาณ 4 - 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยถังปฏิกิริยาแอนนอกซิกมีปริมาตรเท่ากับ 7.9 ลิตร และถังปฏิกิริยาเติมอากาศมีปริมาตรเท่ากับ 21.6 ลิตร ทำให้มีปริมาตรรวมทั้งหมดของแต่ละระบบเท่ากับ 29.5 ลิตร ทั้งสองระบบมีอัตราส่วนการหมุนเวียนตะกอนแบคทีเรียกลับจากถังปฏิกิริยาเติมอากาศเข้าสู่ถังปฏิกิริยาแอนนอกซิก (Nitrate Recycle, NR) เท่ากับ 100%Q เพื่อหมุนเวียนไนไตรท์และไนเตรทไนโตรเจนจากถังปฏิกิริยาเติมอากาศไปยังถังปฏิกิริยาแอนนอกซิกสำหรับปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่น นอกจากนั้น ยังมีการสูบตะกอนแบคทีเรียกลับจากถังตกตะกอนเข้าสู่ถังปฏิกิริยาแอนนอกซิก (Returned Activated Sludge, RAS) ด้วยอัตราการไหลเท่ากับ 100%Q เช่นเดียวกัน โดยที่ Q คืออัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ



ภาพที่ 1 ระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพจำลองแบบ MLE ของระบบ AS และระบบ IFAS

ภาพที่ 2 ลักษณะของตัวกลาง Bioweb ที่ติดตั้งในถังปฏิกิริยาเติมอากาศของระบบ IFAS

ระบบ AS และระบบ IFAS ถูกควบคุมการทำงานที่อุณหภูมิห้องประมาณ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ด้วยค่าอายุสลัดจ์ (SRT) เท่ากับ 8 วัน และระยะเวลาเก็บกักชลศาสตร์เท่ากับ 8, 6 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยมีการลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์บ่งชี้ด้วยค่าซีโอดี เท่ากับ 400, 300, และ 200 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ตามลำดับ ดังนั้น การทดลองสามารถจำแนกได้เป็น 3 ระยะ ตามระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ หัวเชื้อแบคทีเรียผสมถูกนำมาจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี และเติมลงในถังปฏิกิริยาเติมอากาศของทั้งสองระบบในปริมาณเท่าๆ กัน น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีคุณลักษณะของน้ำเสียคล้ายกับน้ำเสียชุมชน โดยใช้สารเคมี ดังตารางที่ 1 ละลายลงในน้ำประปาปริมาตร 100, 130 และ 200 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ เพื่อป้อนเข้าสู่ระบบด้วยอัตราการไหลเท่ากับ 87.5, 118.0, และ 174.5 ลิตร

ต่อวัน สารเคมีส่วนใหญ่เป็นสารเคมีที่ใช้ทางการค้าเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบน้ำประปาที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์แต่ละวันมีความเป็นกรดด่างที่แตกต่างกัน ดังนั้น น้ำเสียที่เตรียมได้มีการปรับ pH ให้อยู่ประมาณ pH 7.5 ตลอดระยะเวลาของการทดลองด้วยการเติมกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1 N คุณลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ที่ระยะการทดลองที่ 1, 2 และ 3 แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 สารเคมีที่ใช้ในเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์สำหรับการทดลองระยะที่ 1, 2 และ 3

ประเภทสารเคมี	มวลของสารเคมี (g)		
	ระยะที่ 1	ระยะที่ 2	ระยะที่ 3
Sodium acetate (CH_3COONa)	34.0	32.1	32.0
Sodium bicarbonate ($NaHCO_3$)	39.1	39.1	39.1
Ammonium chloride (NH_4Cl)	25.0	24.3	25.0
Dipotassium hydrogen phosphate (K_2HPO_4)	10.8	10.8	10.8
Magnesium sulfate ($MgSO_4$)	10.5	10.5	10.5
Calcium chloride ($CaCl_2$)	0.6	0.6	0.6
Manganese sulfate ($MnSO_4$)	0.4	0.4	0.4
Yeast extract	6.3	5.1	6.3
Dried milk	35.0	34.1	35.0

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ช่วงการทดลองที่ 1, 2 และ 3

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ (HRT)		
	8 hrs	6 hrs	4 hrs
Total Chemical Oxygen Demand (TCOD), mg COD/L	418 ± 21	313 ± 18	224 ± 17
Total Kjeldahl Nitrogen (TKN), mg N/L	60.3 ± 3.1	40.8 ± 1.0	31.3 ± 0.5
Ammonium Nitrogen, mg N/L	34.3 ± 1.2	37.6 ± 2.5	27.0 ± 1.1
pH	5.98 ± 0.03	6.03 ± 0.06	6.02 ± 0.03
Total COD/TKN (C/N Ratio), mg COD/mg N	6.9 ± 0.2	7.7 ± 0.2	7.1 ± 0.1
COD Loading, g/day	37.2 ± 2.0	36.6 ± 2.4	39.0 ± 0.5
Nitrogen Loading, g/day	5.3	4.8	5.5

หลังจากเดินระบบทั้งหมดจนเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วจึงทำการเก็บตัวอย่างทุก 2 วัน เพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่าง (pH), ซีโอดีทั้งหมด (TCOD), ซีโอดีละลายน้ำ (SCOD), ของแข็งแขวนลอยในถังปฏิกิริยาเติมอากาศ (MLSS), ของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในถังเติมอากาศ (MLVSS), แอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N), ไนไตรท์ไนโตรเจน (NO_2^--N), และไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^--N) เมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้ว มีการสุ่มเก็บตัวอย่างไบโอฟิล์มบนตัวกลางจาก

ถังเติมอากาศเพื่อนำไปตรวจวัดปริมาณของแบคทีเรียผสมบนผิวตัวกลาง การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดำเนินเก็บข้อมูลอย่างน้อย 3 ข้อมูลของแต่ละการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8, 6 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ แล้วนำข้อมูลแต่ละชุดการทดลองหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย

1. ปริมาณแบคทีเรียผสมของระบบบำบัดน้ำเสีย AS และ IFAS

ในตารางที่ 3 แสดงความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (MLVSS) ของระบบ AS และ IFAS ตลอดจนปริมาณแบคทีเรียผสมบนผิวตัวกลางในชั้นไบโอฟิล์มภายในถังปฏิกิริยาเติมอากาศของระบบ IFAS ที่อายุสลัดจ์เท่ากับ 8 วัน และที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8, 6 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายเป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความเข้มข้นของแบคทีเรียผสม (Mixed Culture Bacteria) ภายในถังปฏิกิริยาเติมอากาศ พบว่า ระบบ AS นั้นมีความเข้มข้น MLVSS น้อยกว่าระบบ IFAS ทุกระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ นอกจากนั้น เมื่อลดระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์หรือเพิ่มอัตราการไหลน้ำเสียเข้าสู่ระบบมากขึ้น พบว่า ความหนาแน่นของแบคทีเรียผสมในชั้นโบโอฟิล์ม (Biofilm Density) เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ เมื่อนำความหนาแน่นของไบโอฟิล์มมาคำนวณเป็นค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายเทียบเท่า (Equivalent MLVSS) และนำมารวมกับของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายของแบคทีเรียผสมแบบแขวนลอย พบว่า แบคทีเรียผสมทั้งหมดในระบบเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ลดลง

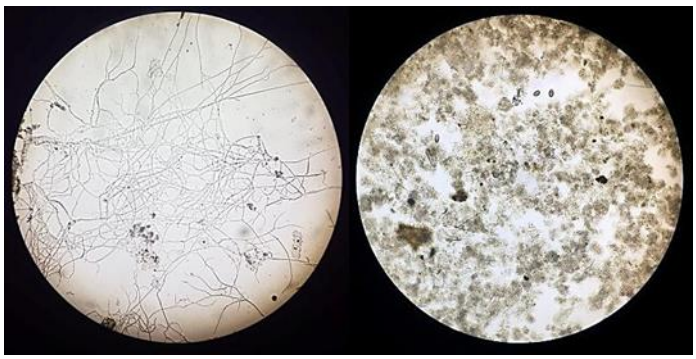
ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของ MLSS และ MLVSS ในถังปฏิกิริยาเติมอากาศของระบบ AS และ IFAS ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8, 6 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ

HRT (hrs)	MLSS (mg/L)		MLVSS (mg/L)		Biofilm MLVSS (g/m^2)	MLVSS Equiv. (mg/L)	Total MLVSS (mg/L)	SVI (mL/g)	
	AS	IFAS	AS	IFAS	IFAS	IFAS	IFAS	AS	IFAS
8	1888 ± 294	1845 ± 33	1760 ± 188	1835 ± 33	77.7	1425	3260	283 ± 64	52 ± 6
6	1563 ± 43	2368 ± 277	1525 ± 49	2335 ± 266	120.5	2209	4544	640 ± 18	51 ± 4
4	1826 ± 378	2970 ± 778	1770 ± 338	2786 ± 707	162.3	2976	5762	569 ± 128	43 ± 5

Total MLVSS = MLVSS + Equivalent MLVSS

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากถังตกตะกอนขั้นที่สองของระบบ AS และระบบ IFAS พบว่า ความเข้มข้นของ MLSS ในน้ำทิ้งจากระบบ AS เท่ากับ 8 ± 3, 15 ± 4, และ 44 ± 16 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากระบบ IFAS เท่ากับ 13 ± 6, 22 ± 9, และ 58 ± 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8, 6, และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ลดลง นอกจากนั้น ยังพบว่า ของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งของระบบ IFAS นั้นสูงกว่าระบบ AS ที่ทุกระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์อีกด้วย จากตารางที่ 3 พบว่า ระบบ AS มีค่าดัชนีปริมาตรสลัดจ์ (Sludge Volume Index, SVI) สูงที่ระยะเวลา

เก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8, 6 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยเฉพาะที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ 6 และ 4 ชั่วโมง ซึ่งพบว่า สลัดจ์ไม่จมตัวจนไม่สามารถวัดค่าปริมาตรสลัดจ์ที่ระยะเวลา 30 นาที ได้ ส่วนระบบ IFAS นั้น มีค่าดัชนีปริมาตรสลัดจ์ต่ำมากตลอดระยะเวลาการทดลองทุกระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ เมื่อนำตัวอย่างสลัดจ์จากระบบ AS และระบบ IFAS มาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า ระบบ AS มีแบคทีเรียจำพวกเส้นใยจำนวนมาก ดังภาพที่ 3(ก) เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ IFAS ดังภาพที่ 3(ข) พบว่า ระบบ IFAS มีแบคทีเรียกลุ่มสร้างฟล็อคได้ดีจำนวนมาก ซึ่งมีความแตกต่างอย่างชัดเจนของคุณลักษณะของสลัดจ์ในระบบบำบัดน้ำเสียทั้งสอง



(ก) (ข)

ภาพที่ 3 ลักษณะของสลัดจ์ของ (ก) ระบบ AS และ (ข) ระบบ IFAS

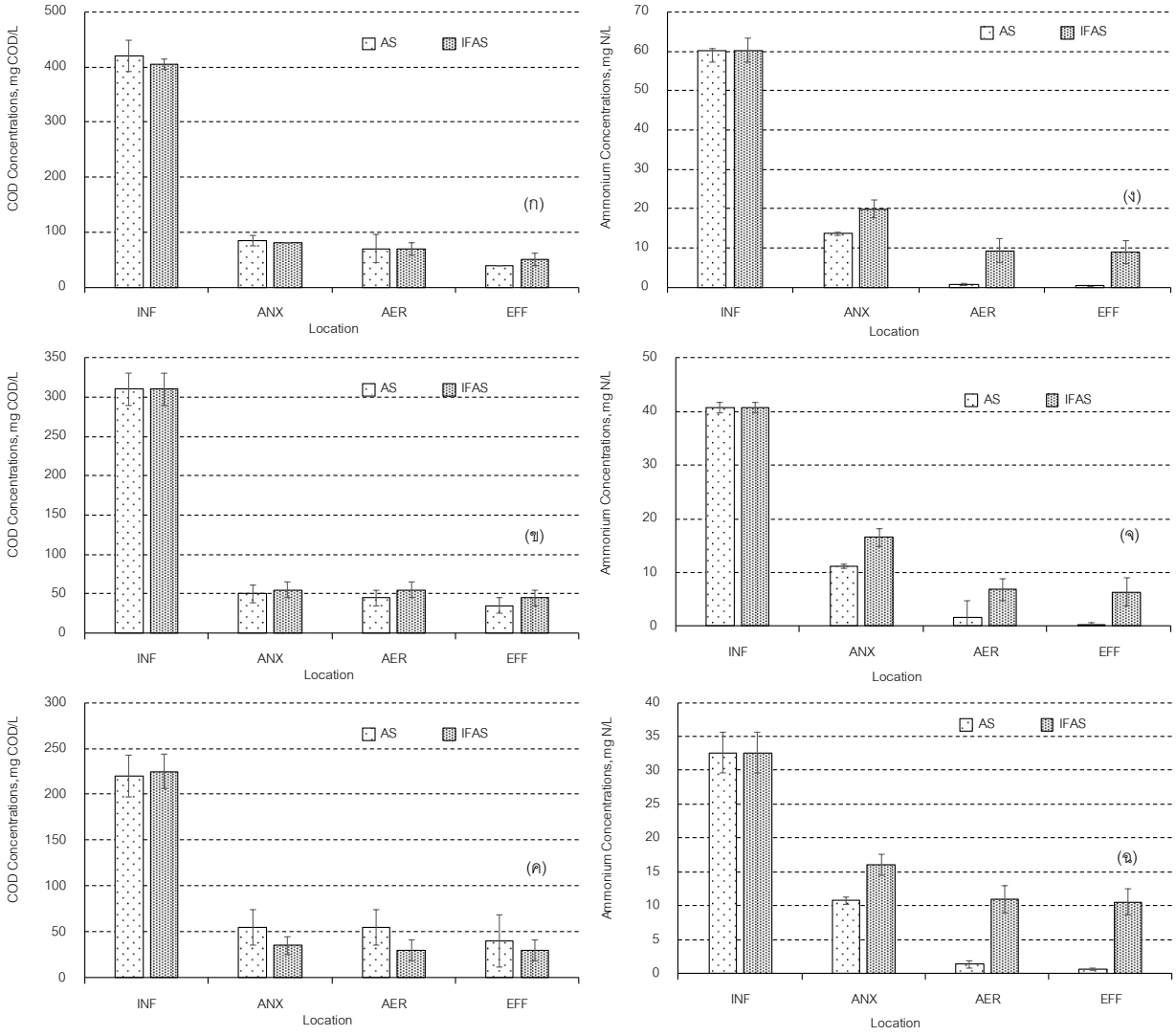
2. ผลกระทบของระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ต่อการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ AS และระบบ IFAS

ในภาพที่ 4(ก), 4(ข) และ 4(ค) แสดงความเข้มข้นของสารอินทรีย์บ่งชี้ในรูปของซีโอดีของระบบ AS และระบบ IFAS ในถังปฏิกิริยาแอนนอกซิก ถังปฏิกิริยาเติมอากาศ และถังตกตะกอน ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8, 6 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ AS เท่ากับ 90.4 ± 0.6%, 88.7 ± 3.2%, และ 84.2 ± 10.2% ตามลำดับ ทำให้ความเข้มข้นซีโอดีในน้ำทิ้งเหลือเท่ากับ 40 ± 0, 35 ± 10, และ 40 ± 28 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ระบบ IFAS มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ เท่ากับ 87.6±3.0%, 85.4±3.7% และ 87.7±4.8% ตามลำดับ ทำให้น้ำทิ้งของระบบ IFAS มีความเข้มข้นซีโอดีเหลือในน้ำทิ้งเท่ากับ 50±12, 45±10, และ 30±12 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์บ่งชี้ด้วยค่าซีโอดีของระบบ AS และระบบ IFAS ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8 และ 6 ชั่วโมง นั้นไม่มีความแตกต่างมากนัก

3. ผลกระทบของระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ต่อการกำจัดไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสีย AS และระบบ IFAS

หลังจากควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพแบบ AS และ IFAS เข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ผลการวิเคราะห์ TKN ในน้ำเสียและปริมาณแอมโมเนียมในถังปฏิกิริยาต่างๆ ตลอดจนในน้ำทิ้งของทั้งระบบ AS และระบบ IFAS แสดงดังภาพที่ 4(ง), 4(จ) และ 4(ฉ) พบว่า ระบบ AS มีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนหรือไนตริฟิเคชันเท่ากับ 99.2 ± 0.5%, 99.4 ± 1.1%, และ 97.9 ± 0.5% ทำให้มีแอมโมเนียมไนโตรเจนเหลือในน้ำทิ้งเท่ากับ 0.5 ± 0.3, 0.22 ± 0.45 และ 1.3 ± 0.6 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8, 6 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ในขณะที่ระบบ IFAS มีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนเท่ากับ 85.1 ± 5.6%, 84.3 ± 6.6% และ 67.5 ± 5.6% เหลือ

แอมโมเนียมไนโตรเจนในน้ำทิ้งเท่ากับ 8.9 ± 3.0, 6.4 ± 2.6 และ 10.9 ± 1.5 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8, 6 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ เห็นได้ว่า ระบบบำบัดน้ำเสีย AS มีการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนเกือบสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบ IFAS ที่ทุกระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์



ภาพที่ 4 ความเข้มข้นสารอินทรีย์บ่งชี้ด้วยค่าซีโอดีของระบบ AS และ IFAS ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ (ก) 8 ชั่วโมง (ข) 6 ชั่วโมง และ (ค) 4 ชั่วโมง และความเข้มข้นแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ (ง) 8 ชั่วโมง (จ) 6 ชั่วโมง และ (ฉ) 4 ชั่วโมง

หมายเหตุ : INF = Influent; ANX = Anoxic; AER = Aerobic; EFF = Effluent

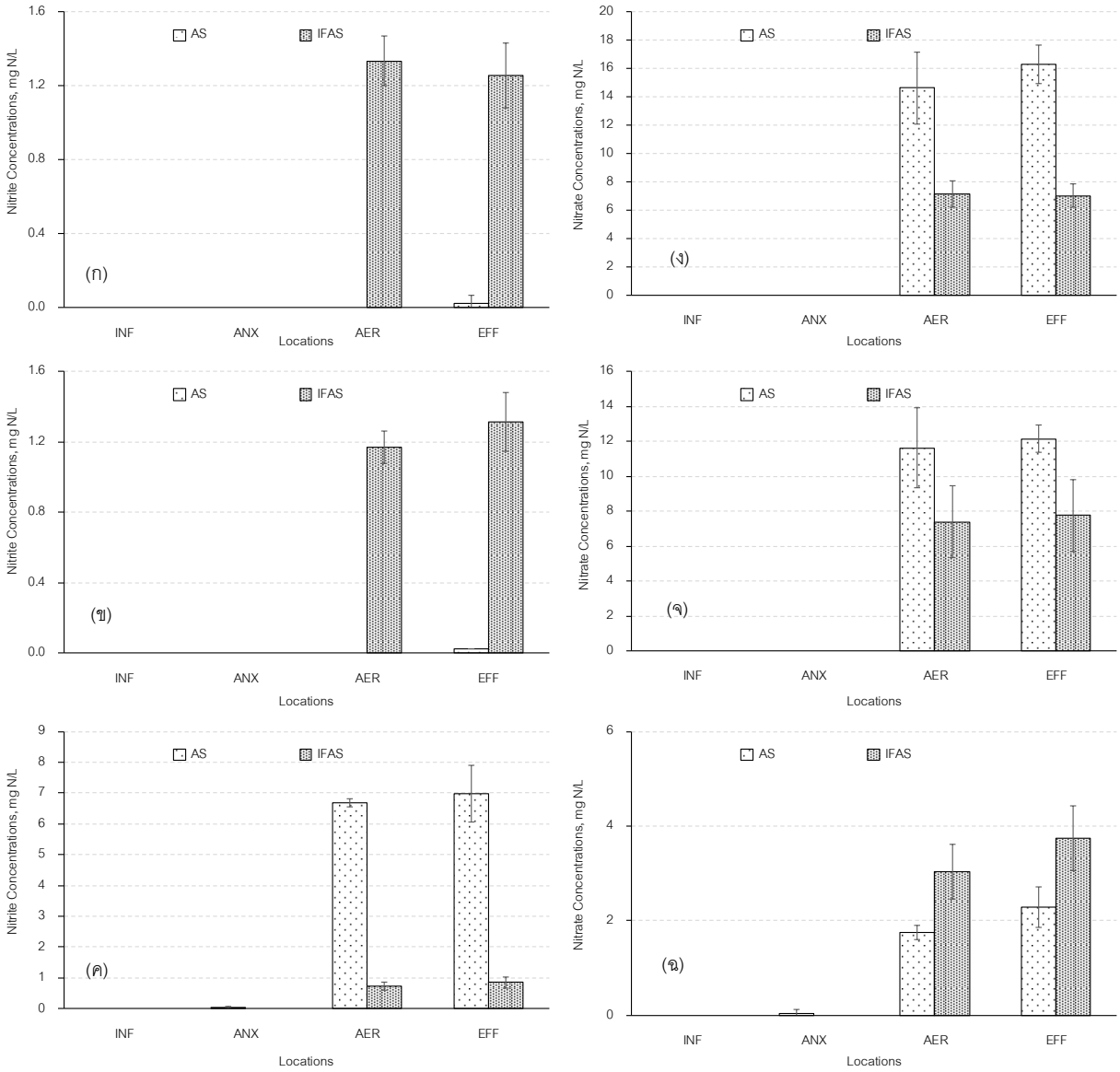
ในภาพที่ 5(ก), 5(ข) และ 5(ค) แสดงความเข้มข้นของไนไตรท์ไนโตรเจน และภาพที่ 5(ง), 5(จ) และ 5(ฉ) แสดงความเข้มข้นของไนเตรทไนโตรเจนของระบบ AS และระบบ IFAS ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8, 6 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ จากภาพแสดงให้เห็นว่า ไม่มีการสะสมของไนไตรท์ในถังปฏิกิริยาแอนนอกซิกของระบบ AS และระบบ

IFAS ที่ทุกระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ อย่างไรก็ตาม พบการสะสมของไนไตรท์ในถังปฏิกิริยาเติมอากาศและถังตกตะกอนของระบบ IFAS เพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8 และ 6 ชั่วโมง ในขณะที่ระบบ AS ไม่พบการสะสมไนไตรท์ไนโตรเจน เนื่องจากเกิดไนตริฟิเคชันขึ้นโดยสมบูรณ์ในระบบ AS ทำให้เกิดไนเตรทไนโตรเจนขึ้นดังภาพที่ 5(ง) และ 5(จ) โดยพบการสะสมของไนเตรทไนโตรเจนในถังปฏิกิริยาเติมอากาศและถังตกตะกอนของระบบ IFAS น้อยกว่าระบบ AS อย่างไรก็ตาม เมื่อระบบถูกป้อนน้ำเสียมากขึ้น ทำให้ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ลดลงเหลือเท่ากับ 4 ชั่วโมง ซึ่งเป็นระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ต่ำสุดในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ไนไตรท์ไนโตรเจนของระบบ AS กลับเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก ทำให้เกิดไนตริฟิเคชันไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้ไนเตรทไนโตรเจนลดลง ส่วนระบบ IFAS ยังคงพบการสะสมไนไตรท์เพียงเล็กน้อยเช่นเดิม แต่ความเข้มข้นไนเตรทไนโตรเจนกลับเพิ่มสูงขึ้น ดังภาพที่ 5(ฉ)

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการทดลอง พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ IFAS มีความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (MLVSS) ในถังปฏิกิริยาเติมอากาศสูงกว่าระบบ AS ที่ทุกระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ของการศึกษาทดลอง คือ 8, 6, และ 4 ชั่วโมง สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อระบบ IFAS ถูกติดตั้งตัวกลางในถังปฏิกิริยาเติมอากาศแล้ว ทำให้เกิดการแทนที่น้ำขึ้นเนื่องจากมีปริมาตรของตัวกลาง Bioweb ทำให้ปริมาตรประสิทธิผล (Effective Volume) ของถังปฏิกิริยาเติมอากาศลดลง จากการคำนวณพบว่า ปริมาตรประสิทธิผลลดลงร้อยละ 8.3 ทำให้เหลือปริมาตรเท่ากับ 19.8 ลิตร Grady *et al.* (1999) ระบุว่า ถังปฏิกิริยาขนาดเล็กมีปริมาณแบคทีเรียผสมมากกว่าถังปฏิกิริยาขนาดใหญ่ที่อายุสลัดจ์ อัตราการไหล และปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดต่อหน่วยเวลาเท่ากัน การทดลองนี้ มีการควบคุมอายุสลัดจ์ให้คงที่เท่ากัน คือ 8 วัน ตลอดการทดลอง และระบบทั้งสองมีอัตราการไหลเท่ากันและประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ใกล้เคียงกันที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เดียวกัน ดังนั้น ระบบ IFAS จึงมีความเข้มข้นของแบคทีเรียผสมสูงกว่าระบบ AS เนื่องจากระบบ IFAS มีปริมาตรประสิทธิผลน้อยกว่าระบบ AS

เมื่อพิจารณาปริมาณแบคทีเรียผสมที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน พบว่า ความเข้มข้นของแบคทีเรียผสมของระบบ AS นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ Grady *et al.* (1999) ระบุว่า ความเข้มข้นของแบคทีเรียผสมต้องเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ลดลงเมื่อปริมาตรถังปฏิกิริยาและอายุสลัดจ์คงที่ เพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดภายในระบบบำบัดน้ำเสียประเภทแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองครั้งนี้ พบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ลดลง แต่ปริมาณของแข็งแขวนลอยหลุดไปกับน้ำทิ้งเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงด้วยค่าความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่หลุดไปกับน้ำทิ้งของระบบ AS เท่ากับ 8 ± 3, 15 ± 4 และ 44 ± 16 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8, 6 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นเพราะว่าระยะเวลาการจมตัวของตะกอนของแข็งแขวนลอยในถังตกตะกอนไม่เพียงพอ ส่งผลให้ปริมาณแบคทีเรียผสมลดน้อยลงและยังทำให้อายุสลัดจ์ลดลงอีกด้วย จากการคำนวณอายุสลัดจ์จริงของระบบ AS พบว่า อายุสลัดจ์ของระบบ AS เท่ากับ 7.9, 8.0 และ 6.3 วัน ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8, 6 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ นอกจากนั้น จากการตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการในระยะการทดลองที่ 2 และ 3 พบว่า ระบบ AS มีแบคทีเรียจำพวกเส้นใยจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ IFAS ที่มีแบคทีเรียจำพวกกลุ่มสร้างฟล็อคได้ดี ซึ่งเป็นข้อดีของระบบ IFAS (Sriwiriyarat *et al.*, 2008b) ทำให้เกิดตะกอนเบา (Bulking Sludge) ขึ้นในระบบ AS จึงทำให้ความเข้มข้นของแบคทีเรียผสมไม่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียแบบ IFAS นั้น



ภาพที่ 5 ความเข้มข้นไนไตรท์ไนโตรเจนในระบบ AS และระบบ IFAS ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ (ก) 8 ชั่วโมง (ข) 6 ชั่วโมง และ (ค) 4 ชั่วโมง และความเข้มข้นไนเตรทไนโตรเจนที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ (ง) 8 ชั่วโมง (จ) 6 ชั่วโมง และ (ฉ) 4 ชั่วโมง

หมายเหตุ : INF = Influent; ANX = Anoxic; AER = Aerobic; EFF = Effluent

พบว่า ความเข้มข้นของแบคทีเรียผสมเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับเมื่อระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ลดลง อย่างไรก็ตาม พบว่าความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่หลุดไปกับน้ำทิ้งของระบบ IFAS เพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 13±6, 22±9 และ 58±7 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8, 6 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ทั้งนี้ อธิบายได้ว่า เมื่อระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ลดลงทำให้แบคทีเรียผสมเพิ่มสูงขึ้น แต่สารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดส่วนหนึ่งถูกใช้โดยแบคทีเรียผสมในชั้นไบโอฟิล์ม จึงทำให้ความหนาแน่นของแบคทีเรียผสมเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ลดลง อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ลดลงเนื่องจากอัตราการไหลของน้ำเสียเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้เกิดแรงเฉือนเนื่องจากอัตราการไหลเพิ่ม

สูงขึ้น ทำให้เกิดการหลุดลอกของชั้นไบโอฟิล์มมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยในระบบเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้เกิดภาระของแข็งแขวนลอยที่มีต่อถังตกตะกอนขั้นที่สองมากขึ้น ส่งผลให้ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่หลุดไปกับน้ำทิ้งมากขึ้นเมื่อเทียบกับระบบ AS

ทั้งนี้ จากข้อมูลประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์บ่งชี้ด้วยค่าซีโอดีของระบบ AS และระบบ IFAS ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8 และ 6 ชั่วโมง พบว่า ระบบ AS และระบบ IFAS มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ใกล้เคียงกัน เพราะระบบทั้งสองถูกควบคุมที่อายุสลัดจ์ เท่ากับ 8 วัน ซึ่งเป็นอายุสลัดจ์ที่สูงกว่าอายุสลัดจ์ขั้นต่ำ (Minimum SRT) มากสำหรับแบคทีเรียกลุ่มเฮเทอโรทรอฟิกที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน และแหล่งพลังงาน นอกจากนั้น ระบบบำบัดทั้งสองยังทำงานที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้แบคทีเรียกลุ่มนี้เจริญเติบโตได้ดี อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ลดลงเท่ากับ 6 และ 4 ชั่วโมง พบว่า ระบบ AS มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ลดลงตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นไปได้ว่า แบคทีเรียผสมในระบบ AS ถูกชะออกจากระบบเป็นจำนวนมากกว่าระบบ IFAS ทำให้อายุสลัดจ์ของระบบ AS ลดต่ำกว่าระบบ IFAS นอกจากนั้น ระบบ IFAS ยังคงมีเสถียรภาพต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบจากการมีแบคทีเรียผสมในชั้นไบโอฟิล์ม ทำให้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับระบบ AS จากการคำนวณอายุสลัดจ์ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 4 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ของระบบ AS เท่ากับ 6.3 วัน ซึ่งน้อยกว่า 8 วัน ขณะที่ระบบ IFAS ยังสามารถควบคุมอายุสลัดจ์ให้เท่ากับ 8 วัน เช่นเดิม

สำหรับการกำจัดธาตุอาหารโนโตรเจนทางชีวภาพ พบว่า ระบบ AS มีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนหรือไนตริฟิเคชันสูงกว่าระบบ IFAS เป็นไปได้ว่า แบคทีเรียกลุ่มออโทรทรอฟิก (Autotrophic Bacteria) แบบแขวนลอยมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียกลุ่มออโทรทรอฟิกที่ถูกตรึงในชั้นไบโอฟิล์ม เนื่องจากสามารถเข้าถึงแอมโมเนียมไนโตรเจนได้ดีกว่าแบคทีเรียกลุ่มออโทรทรอฟิกในชั้นไบโอฟิล์มที่ต้องอาศัยกระบวนการแพร่ผ่านชั้นไบโอฟิล์มที่มีความต้านทานการถ่ายโอนมวลสาร (Mass Transport Resistances) ทำให้แอมโมเนียมไนโตรเจนแพร่เข้าสู่ชั้นไบโอฟิล์มน้อยลง และยังสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อลดระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เนื่องจากอัตราการไหลที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ระยะเวลาที่แอมโมเนียมไนโตรเจนแพร่เข้าสู่ชั้นไบโอฟิล์มลดลง ทั้งนี้ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ยังสามารถคงประสิทธิภาพได้เนื่องจากระบบ AS ยังคงมีอายุสลัดจ์เท่ากับ 7.9, 8.0 และ 6.3 วัน ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8, 6 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งยังคงมีสัดส่วนของแบคทีเรียกลุ่มออโทรทรอฟิกที่เพียงพอสำหรับกระบวนการไนตริฟิเคชัน นอกจากนั้น ระบบทำงานที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส จึงทำให้แบคทีเรียกลุ่มนี้เจริญเติบโตได้ดี นอกจากนั้น ระบบ AS และ IFAS สามารถดีไนตริไฟด์ทั้งไนไตรท์และไนเตรทไนโตรเจนได้อย่างสมบูรณ์ภายในถังปฏิกิริยาแอนนอกซิก โดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันนั้นเป็นกระบวนการที่ใช้ไนไตรท์และไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ทำให้ไนไตรท์และไนเตรทลดรูปเป็นก๊าซไนโตรเจนภายใต้สภาวะแอนนอกซิกได้ นอกจากนั้น พบการสะสมของไนไตรท์น้อยมากในถังปฏิกิริยาเติมอากาศของระบบ AS ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8 และ 6 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า ระบบ AS มีปริมาณแบคทีเรียกลุ่ม *Nitrobacter sp.* เพียงพอที่อายุสลัดจ์ดังกล่าวข้างต้น ส่วนระบบ IFAS มีการสะสมไนไตรท์เพียงเล็กน้อย แต่สูงกว่าระบบ AS เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้ส่วนหนึ่งอยู่ในชั้นไบโอฟิล์ม แต่เมื่อลดระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 4 ชั่วโมง พบว่า มีการสะสมไนไตรท์มากขึ้นในระบบ AS ทำให้เกิดไนเตรทน้อยลงเพราะระบบมีการสูญเสียแบคทีเรียกลุ่ม *Nitrobacter sp.* ที่หลุดออกไปกับน้ำทิ้งเนื่องจากระยะเวลาตกตะกอนไม่เพียงพอและมีแบคทีเรียประเภท

เส้นใยจำนวนมาก เกิดตะกอนเบาขึ้น ในขณะที่ระบบ IFAS ยังสามารถเปลี่ยนไนไตรท์เป็นไนเตรทได้ดีเนื่องจากยังมีแบคทีเรียกลุ่มนี้ในชั้นไบโอฟิล์ม

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณและคุณภาพน้ำเสียจากปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝนนั้นมีผลกระทบต่อระบบ AS สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ เพราะระบบ AS เกิดการชะล้างตะกอนออกจากระบบส่งผลให้อายุสลัดจ์ลดลงเหลือ 6.3 วัน ที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 4 ชั่วโมง เพราะระยะเวลาการตกตะกอนไม่เพียงพอในถังตกตะกอนเนื่องจากระบบมีอัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้น และมีแบคทีเรียจำพวกเส้นใยเจริญเติบโตจำนวนมากทำให้เกิดตะกอนเบาขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ไม่มีผลกระทบต่อระบบ IFAS ที่ค่าอายุสลัดจ์เท่ากับ 8 วัน เพราะแบคทีเรียผสมส่วนหนึ่งเจริญเติบโตอยู่ในชั้นไบโอฟิล์ม ซึ่งไม่ได้เข้าสู่ถังตกตะกอน จากผลการทดลอง พบว่า การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดธาตุอาหารไนโตรเจนของระบบ AS แต่ส่งผลกระทบต่อระบบ IFAS อย่างมากเนื่องจากมีความต้านทานการถ่ายโอนมวลสารของแอมโมเนียมไนโตรเจนในชั้นไบโอฟิล์ม เมื่อระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ลดลง อัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ระยะเวลาที่แอมโมเนียมไนโตรเจนแพร่เข้าสู่ชั้นไบโอฟิล์มลดลง อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองบ่งชี้ว่า ระบบ AS นั้นยังคงมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบ IFAS สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารไนโตรเจนที่ระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์เท่ากับ 8, 6, และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 145/2559

เอกสารอ้างอิง

Arias, A., Alvarino, T., Allegue, T., Suárez, S., Garrido, J.M. & Omil, F. (2018). An innovative wastewater treatment technology based on UASB and IFAS for cost-efficient macro and micropollutant removal. *Journal of Hazardous Materials*, *359*, 113-120.

Grady, C.P.L., Daigger, G.T., & Lim, H.C. (1999). *Biological Wastewater Treatment*. New York : Marcel Dekker, Inc.

Hubbell, S.B., Pehrson, R., & Schuler, A. (2006). Eight years of successful cold weather with Integrated Fixed Film/Activated Sludge. In *Proceedings of the Water Environment Federation 2006*. (pp. 240-250). Virginia: Water Environment Federation.

Jabari, P., Munz, G. & Oleszkiewicz, J.A. (2014). Selection of denitrifying phosphorous accumulating organisms in IFAS systems: comparison of nitrite with nitrate as an electron acceptor. *Chemosphere*, *109*, 20-27.

Li, L. & Visvanathan, C. (2019). Effect of PVA-gel filling ratio in attached growth membrane bioreactor for treating polluted surface water. *Environmental Technology*, *40*(2), 219-225.

Mannina, G., Capodici, M., Cosenza, A., Trapani, D.D. & Ekama, G.A. (2018). The effect of the solids and hydraulic retention time on moving bed membrane bioreactor performance. *Journal of Cleaner Production*, *170*, 1305-1315.

Mannina, G. & Viviani, G. (2017). Hybrid moving bed biofilm reactors: an effective solution for upgrading a large wastewater treatment plant. *Water Science & Technology*, *60*(5), 1103-1116.

Moretti, P., Choubert, J.M., Canler, J.P., Petrimaux, O., Buffiere, P., & Lessard, P. (2015). Understanding the contribution of biofilm in an integrated fixed-film-activated sludge system (IFAS) designed for nitrogen removal. *Water Science & Technology*, *71*(10), 1500-1506.

Ødegaard, H. (2017). New applications for MBBR and IFAS systems. In G. Mannina (Eds.), *Frontiers in Wastewater Treatment and Modelling (FICWTM 2017)* (pp. 499-507). Springer International Publishing.

Sriwiriyarat, T., Ungkurarate, K., Fongsatikul, P., & Chinwetkitvanich, S. (2008a). Effects of dissolved oxygen on biological nitrogen Removal in Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS) wastewater treatment processes. *Journal of Environmental Science and Health, Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, *43*(5), 518-527.

Sriwiriyarat, T., Pittayakool, K., Fongsatitkul, P., & Chinwetkitvanich, S. (2008b). Stability and capacity enhancements of activated sludge process by IFAS technology. *Journal of Environmental Science and Health, Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, *43*(11), 1318-1324.

Tchobanoglous, G., Burton, F.L., & Stensel, H.D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. New York: Metcalf & Eddy, Inc.