

การศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังยูเอเอสบีของโรงงานผลิตเอทานอล A study of effect of various factors on Granular Sludge in UASB reactor of ethanol factory

วาสนาศักดิ์ ลิ้มสุวรรณ^{1*} และ พันชัย เม่นฉาย¹
Vassanasak Limkhuanasuan^{1*} and Phanchai Mencha¹

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate : OLR) และสารแขวนลอยที่มีผลต่อเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และประสิทธิภาพของระบบ UASB ได้ทำการทดสอบปัจจัยต่าง ๆ ในระบบ UASB ระดับห้องปฏิบัติการทำจากแผ่นอะคริลิกใส (acrylic) ทรงสี่เหลี่ยม กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร สูง 58 เซนติเมตร มีพื้นที่หน้าตัด 225 ตารางเซนติเมตร ปริมาตรใช้งานรวมถึง 10 ลิตร เติมน้ำเชื่อมตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ที่มีค่า SMA อยู่ที่ 0.21 g_{COD}/g_{VSS}.day ทำการเดินระบบที่มี OLR ที่ 2 g_{COD}/L_{reactor}.day และ 4 g_{COD}/L_{reactor}.day ที่ความเข้มข้นสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีอยู่ที่ประมาณ 16,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราการป้อน 1.2 ลิตรต่อวัน มีระยะเวลาในการกักเก็บ (Hydraulic Retention Time : HRT) ประมาณ 8 วัน ภายใต้สภาวะไร้อากาศ เป็นเวลา 30 วัน พบว่าที่ OLR 2 g_{COD}/L_{reactor}.day มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีอยู่ที่ร้อยละ 85-90 แต่เมื่อเพิ่ม OLR เป็น 4 g_{COD}/L_{reactor}.day ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีลดลงเหลือร้อยละ 35-50 การทดสอบการเพิ่มสารแขวนลอยในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ สารแขวนลอย และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ UASB มีค่าลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่กว่า 4 มิลลิเมตร ลดลงจากที่มีอยู่ในระบบร้อยละ 3 เหลือร้อยละ 0 นอกจากนั้นผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางด้านสถิติด้วยโปรแกรม SPSS version 17.0 ของสารแขวนลอยที่เติมและไม่เติมในน้ำเสียป้อนเข้าระบบต่อการผลิตก๊าซชีวภาพทางพบว่า p-value เท่ากับ 0.002 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99

คำสำคัญ: อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์, ถังยูเอเอสบี, โรงงานผลิตเอทานอล

Abstract

This research aims to study the effect of organic loading rate (OLR) and suspended solids on microbial granular sludge, and the efficiency of generated UASB reactor. Various factors of UASB reactor were tested in laboratory scale made of acrylic material, rectangular shape of 15 cm. in width, 15 cm. in length and 58 cm. in height. The sectional area of UASB reactor was 225 cm² denoted 10 liters of total volume. UASB sludge from ethanol factory (SMA=0.21 g_{COD}/g_{VSS}.day) was added to UASB reactor. The UASB was then operated with OLR at 2 g_{COD}/L_{reactor}.day and 4 g_{COD}/L_{reactor}.day, fed up with organic concentration in form of COD at 16,000 mg/L. The feeding rate was 1.2 L/day with 8 days Hydraulic Retention Time (HRT). Following the 30-day operation under anaerobic condition, OLR 2 g_{COD}/L_{reactor}.day showed COD removal efficiency at 85-90%. As the OLR was increased at 4 g_{COD}/L_{reactor}.day, the COD removal efficiency was decreased to 35-50%. Regarding the test of adding suspended solid into the influent of UASB reactor, it showed the reduction in removal efficiency of COD, suspended solids and biogas yield from the UASB reactor. In particular, the larger sludge granules than 4 mm. size decreased from 3% to 0%. Furthermore, the statistical analysis using SPSS version 17.0 showed significantly different (p-value at .002) in efficiency with suspended solids added into UASB reactor and without suspended solids at 99 percent confidence level for the biogas production.

Keywords: Organic loading rate, UASB reactor, Ethanol factory

¹หลักสูตร สิ่งแวดล้อมและอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสวนดุสิต กรุงเทพฯ 10700 ประเทศไทย

*Corresponding author: E-mail: Vassanasak_lim@dusit.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมอยู่จำนวนมาก ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมเป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสียที่สำคัญ โดยน้ำเสียเกิดจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ ของโรงงานอุตสาหกรรม คุณสมบัติของน้ำเสียจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับประเภทของโรงงาน กระบวนการผลิต เทคโนโลยีการผลิต และวัตถุดิบในการผลิต ซึ่งน้ำเสียส่วนใหญ่มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมตามที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดไว้ โดยเฉพาะน้ำเสียที่มาจากอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบเรียกว่า น้ำกากส่า (Molasses wastewater) น้ำกากส่ามีองค์ประกอบสารอินทรีย์สูง (ค่า BOD อยู่ที่ 30,000–50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีค่าพีเอช (pH) อยู่ที่ 3-5 ซึ่งถ้าหากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่มีการบำบัด จะทำให้เกิดมลพิษต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำนั้นได้ (Robles-Gonzalez et al., 2012) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ไม่สามารถปล่อยน้ำเสียออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ จึงทำให้ในปัจจุบันมีการนำระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ มาใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปแบบอื่น เช่น กรดอินทรีย์, มีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์ หรือซัลไฟด์ เป็นต้น ซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน (aerobic process) และระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic process) โดยระบบที่มีความนิยมในปัจจุบัน ได้แก่ ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือถังหมัก เนื่องจากมีรูปแบบการทำงานที่ง่ายและไม่สิ้นเปลืองพลังงาน (Salomon et al., 2017; กรมควบคุมมลพิษ, 2552) สามารถกำจัดและลดความสกปรกของน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังได้พลังงานที่เกิดจากการทำงานของระบบซึ่งได้แก่ ก๊าซชีวภาพที่สามารถหมุนเวียนนำกลับไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้อีก (Jimenez, 2006) ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ได้รับความนิยมสูงในปัจจุบัน ได้แก่ ระบบยูเอเอสบี (UASB) หรือ Up flow Anaerobic Sludge Blanket เนื่องจากเป็นระบบที่สามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate: OLR) ได้สูงถึง 20 kg_{CO₂}/m³.day มีระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสียสั้นกว่าระบบอื่น อีกทั้งยังไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับวัสดุตัวกลาง (Del Nery et al., 2018; กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553) และมีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูง ในปี ค.ศ. 2017 Salomon และคณะทำการศึกษาการเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพในน้ำเสียกากส่า โดยใช้ Modified UASB ผลการศึกษพบว่า สามารถเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพได้มากถึง 2,140 มิลลิลิตรมีเทนต่อวัน และในปี ค.ศ. 2019 Musa และคณะได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของ Modified UASB กับ Conventional UASB พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของ Modified UASB เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 43 เป็นร้อยละ 88 เมื่อเทียบกับแบบ Conventional UASB (Musa et al., 2019) มากไปกว่านั้น มีนักวิจัยอีกหลายคนที่ประยุกต์ใช้ระบบ UASB ในการกำจัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการเกษตร โดย Musa และคณะ ได้ศึกษาผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ (Slaughterhouse Wastewater) พบว่าสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 70 ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูง (Musa et al., 2018) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Nacheva และคณะ ในปี ค.ศ. 2011 ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดสารอินทรีย์สูงจากน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ พบว่า สามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้มากถึงร้อยละ 90 (Nacheva et al., 2011)

ถึงแม้ว่าระบบ UASB จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ที่สูงก็ตาม แต่ข้อจำกัดของระบบยูเอเอสบี คือระบบต้องมีการควบคุมดูแล หากไม่มีความเชี่ยวชาญอาจยุ่งยาก และในการเริ่มต้นระบบ (Startup) ใช้ระยะเวลานาน เนื่องจากต้องสร้างเม็ดตะกอนและขึ้นสลัดจ์ก่อน ทั้งยังต้องพยายามรักษาตะกอนจุลินทรีย์ในระบบให้เหมาะสมและไม่ให้ตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบ โดยต้องควบคุมการไหลของน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์ นอกจากนี้ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับตะกอนจุลินทรีย์ เนื่องจากระบบยูเอเอสบีเหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีของแข็งแขวนลอยต่ำ หากน้ำเสียเข้าระบบมีค่าของแข็งแขวนลอยสูง (High Suspended Solid Content) อาจไปเสียดสีทำให้เม็ดตะกอนแตกและฟุ้งกระจาย และส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพในการบำบัด สอดคล้องกับการศึกษาของ Del Nery และคณะ ในปี ค.ศ. 2018 ที่ใช้ระบบ UASB ในการบำบัดน้ำเสียกากส่าที่มีปริมาณสารแขวนลอยสูง ผลการศึกษพบว่า การบำบัดสารแขวนลอยมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำอยู่ที่ร้อยละ 39 (Del Nery et al., 2018) แสดงให้เห็นว่าระบบ UASB ไม่เหมาะกับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง ดังนั้นก่อนนำน้ำเสียไปใช้อาจต้องมีขั้นตอนปรับสภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553) สารอินทรีย์ที่เป็นอนุภาคของแข็ง เช่น ตะกอนแขวนลอยในน้ำเสียจะต้องผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสเพื่อให้อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ละลายน้ำ จากนั้นจะเปลี่ยนรูปไปเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acids) และก๊าซมีเทน ทำให้การบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยสูงจะต้องใช้เวลาในการบำบัดน้ำเสียไม่ต่ำกว่า 10 วัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ในปี ค.ศ. 2019 นักวิจัยชาวมาเลเซีย Mahmod และคณะ ได้ทำการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม (Palm Oil Mill Effluent: POME) โดยทำการบำบัดน้ำเสีย POME เบื้องต้น (Pre-treatment) ด้วยการใช้กรดไนตริก (Nitric Acid) ในการเพิ่มการย่อยสลาย

สารแขวนลอยในน้ำเสีย POME พบว่าปริมาณสารแขวนลอยรวมมีค่าลดลงและส่งผลให้ประสิทธิภาพและการเดินระบบดีขึ้น (Mahmod et al., 2019) แต่อย่างไรก็ตามการบำบัดเบื้องต้นทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นและยังมีความยุ่งยากในการเดินระบบจริงในโรงงานอุตสาหกรรม แต่ในทางทฤษฎีการแยกตะกอนออกก่อนหรือกำจัดสารแขวนลอยก่อนป้อนเข้าสู่ระบบ UASB เป็นสิ่งที่จำเป็น เนื่องจากถ้าตะกอนแขวนลอยไม่ถูกย่อยสลายหรือกำจัด แบคทีเรียอาจติดเกาะไปกับตะกอนแขวนลอยและถูกพัดออกไป (ยุทธนา ตันวงศ์वाल, 2555) นอกจากนี้ของแข็งที่ย่อยสลายยากจะเกิดการสะสมในชั้นตะกอน ของแข็งแขวนลอยอาจก่อให้เกิดฝ้าตะกอนและอาจจะขัดขวางการสร้างเม็ดตะกอน โดยจะพาเอาแบคทีเรียที่เริ่มจะรวมกลุ่มกันติดออกไปกับน้ำออกด้วย (วสวัตดี พิจอมบุตร, 2556)

ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจเรื่องอิทธิพลของสารแขวนลอยและการบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีผลต่อระบบ UASB อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น งานวิจัยฉบับนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาผลกระทบของสารอินทรีย์และสารแขวนลอยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบยูเอสบีในด้านต่าง ๆ รวมถึงศึกษาผลกระทบของสารแขวนลอยต่อตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ในระบบ UASB เพื่อเพิ่มองค์ความรู้ของการเดินระบบ UASB ที่เหมาะสมต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 น้ำกากส่า

การศึกษานี้ใช้น้ำกากส่าจากโรงงานผลิตเอทานอล (Molasses wastewater) อยู่ที่จังหวัดราชบุรี โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากบริเวณทางน้ำเข้าระบบ UASB1 และเก็บรักษาภาวไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส เพื่อยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย น้ำตัวอย่างดังกล่าวถูกทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ความเป็นกรดต่าง (pH) บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD) ของแข็งทั้งหมด (Total Solids : TS) ของแข็งทั้งหมดระเหย (Total Volatile Solids : TVS) ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids : TDS) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids : SS) เจลคาลท์ ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN) คลอไรด์ (Chlorides) ฟอสฟอรัส (Phosphorus) โพแทสเซียม (Potassium) แคลเซียม (Calcium) แมกนีเซียม (Magnesium) โดยวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน APHA, 2005

2.2 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์

การศึกษานี้ใช้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Granular Sludge) จากโรงงานเดียวกันกับตัวอย่างของน้ำเสีย ตั้งอยู่ที่จังหวัดราชบุรี โดยเก็บจากระบบ UASB1 และนำมาเก็บรักษาด้วยการหล่อน้ำเสียออก (Effluent) จากระบบ UASB เพื่อใช้เป็นสารอาหารของตะกอนเชื้อก่อนนำมาทดสอบในขั้นตอนต่อไป การวิเคราะห์คุณสมบัติของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ประกอบไปด้วยดัชนีต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความชื้น (Moisture) ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids) ค่าของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solids) และค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) โดยการวิเคราะห์ดังกล่าวทำตามวิธีมาตรฐาน APHA, 2005

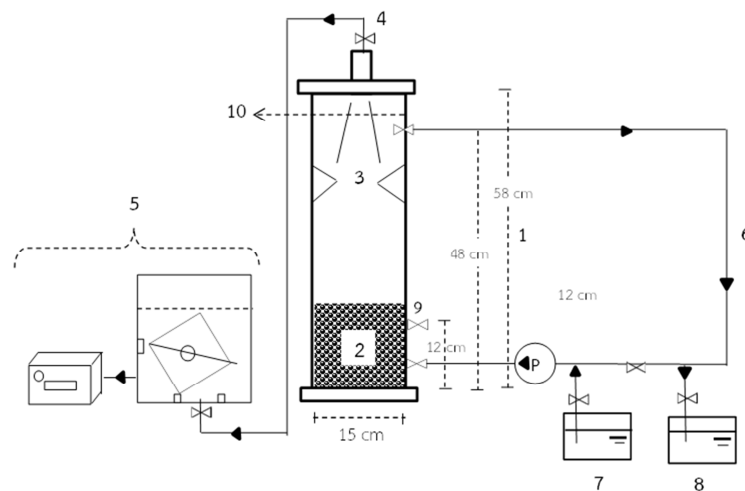
นอกจากนั้นนำเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ปริมาณ 100 กรัมมาทำการวิเคราะห์หาขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Granular Sludge) โดยใช้ตะแกรงวัดขนาด 0.5, 1, 2 และ 4 มิลลิเมตรซึ่งได้มีการดัดแปลงวิธีการหาขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากมาตรฐานการทดสอบการหาขนาดของดินด้วยตะแกรงของสำนักวิจัยและพัฒนากรมชลประทาน (กรมชลประทาน, 2558)

2.3 การทดสอบ Specific Methanogenic Activity

การศึกษาศามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนจุลินทรีย์ (Specific Methanogenic Activity; SMA) ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ในโรงงานราชบุรีเอทานอล ทำการศึกษาเพื่อหาความสามารถของตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ก่อนนำไปทดลองในขั้นตอนต่อไปของการศึกษา โดยการทดสอบจะทำการแปรผันค่าสัดส่วนอาหารต่อเชื้อ (F/M Ratio) ในขวด Serum vial ที่สัดส่วน F/M ratio ที่ 0.5 และ 1 ของสารอาหารกลูโคสและกรดอะซิติก โดยปริมาณตะกอนเชื้อคำนวณจากค่าสารแขวนลอยระเหยง่าย (VSS) การทดสอบประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ (Granular Sludge) ใช้ตะกอนจุลินทรีย์ $1\ g_{VSS}$ ทุกการทดลอง โดยดำเนินการทำการทดลองเป็นเวลาอย่างน้อย 20 วันหรือจนกว่าก๊าซชีวภาพจะอยู่ในระดับสมดุล ขณะดำเนินการทดลอง ทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมทุกวันด้วยวิธีการแทนที่น้ำและวิเคราะห์ก๊าซองค์ประกอบก๊าซชีวภาพสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ด้วยเครื่องแก๊สโครโมโตกราฟฟี GC-FID รุ่น SHIMADZU GC-14

2.4 ระบบถังปฏิกรณ์ UASB

ใช้แบบจำลองถังปฏิกรณ์ UASB ระดับห้องปฏิบัติการจำนวน 2 ถัง ทำจากแผ่นอะคริลิกใส (Acrylic Price) ทรงสี่เหลี่ยม กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร มีพื้นที่หน้าตัด 225 ตารางเซนติเมตร สูง 58 เซนติเมตร ปริมาตรใช้งาน รวมถึงละ 10 ลิตร (0.01305 ลูกบาศก์เมตร) ในถังแยกเป็น 2 ส่วน ส่วนล่างเป็นส่วนทำปฏิกิริยา มีปริมาตร 7.110 ลิตร ส่วนบนเป็นส่วนแยกก๊าซ (Gas Solid Separator) น้ำจะถูกนำเข้ามาทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ผ่านก๊อก 3 ก๊อก ด้วยแรงดันจากปั๊มถึงมีจุดเก็บตัวอย่าง 3 จุด คือ จุดเก็บน้ำออกที่ความสูง 48 เซนติเมตร จุดเก็บตะกอนที่ความสูง 12 เซนติเมตร และมีจุดเก็บตัวอย่างก๊าซอยู่ด้านบนสุดของถัง ซึ่งในการวัดปริมาณก๊าซจะใช้อุปกรณ์วัดก๊าซ (Gas Counter) ลักษณะของถังปฏิกรณ์ UASB มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมปริมาตร 6 ลิตร แสดงดังภาพประกอบที่ 1



- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| No1, UASB Reactor (high) | No5, Gas Collector and Detector |
| No2, Microbial Sludge Granules | No6, Effluent and Recirculation |
| No3, Sludge Precipitator | No7, Recirculation Tank |
| No4, Gas Separating Sector | No8, Effluent Tank |

ภาพประกอบที่ 1 ชุดการทดลองระบบ UASB ระดับห้องปฏิบัติการ

2.5 ผลกระทบของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพระบบ UASB

ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียเข้าที่แยกสารแขวนลอยออก มีค่าซีโอดีประมาณ 16,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ป้อนเข้าระบบที่อัตราค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate: OLR) ที่ 2 กรัมซีโอดีต่อลิตรปริมาตรถังปฏิกรณ์ต่อวัน ทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์ คือ UASB-C (ถังควบคุม) และ UASB-T (ถังทดสอบ) โดยทำการป้อนน้ำเสีย 1.25 ลิตรต่อวันที่อัตราการไหลอยู่ที่ 0.3 ลิตรต่อชั่วโมง มีระยะเวลาในการกักเก็บ (Hydraulic Retention Time: HRT) ประมาณ 8 วัน เติมนระบบจนประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเริ่มคงที่ จากนั้นในถัง UASB-T ทำการป้อนน้ำเสียเพิ่มขึ้นที่ OLR เป็น 4 กรัมซีโอดีต่อลิตรปริมาตรถังปฏิกรณ์ต่อวัน โดยทำการป้อนน้ำเสียเป็น 2.5 ลิตรต่อวันที่อัตราการไหล 0.3 ลิตรต่อชั่วโมง ระยะเวลาการกักเก็บ 4 วัน ในขณะที่ UASB-C ยังคงป้อนน้ำเสียที่อัตราเดิม คือ 2 กรัมซีโอดีต่อลิตรปริมาตรถังปฏิกรณ์ต่อวันเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดสอบต่อไป

2.6 ผลกระทบของสารแขวนลอยต่อประสิทธิภาพของระบบ UASB

การทดสอบทำป้อนน้ำเสียเข้าโดยจะแบ่งเป็น 2 ชุดการทดลอง โดยถึงปฏิกิริยา UASB-T เป็นถังทดสอบปริมาณแขวนลอยที่ป้อนให้กับน้ำเสียเข้า และถึงปฏิกิริยา UASB-C ที่เป็นถังควบคุม ใช้น้ำเสียเข้าที่แยกสารแขวนลอยออก มีค่าสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีประมาณ 16,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ป้อนเข้าถัง UASB-T และ UASB-C ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 2 กรัมซีโอดีต่อลิตรปริมาตรถังปฏิกิริยาต่อวัน แต่ในถัง UASB-T (ถังทดลอง) น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีการเพิ่มปริมาณสารแขวนลอย 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้ง UASB-T และ UASB-C ทำการป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 1.25 ลิตรต่อวัน มีระยะเวลาเก็บเก็บประมาณ 8 วัน ซึ่งระหว่างการทดลองทำการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดต่าง ๆ

2.7 การวิเคราะห์ผลและการเปรียบเทียบเชิงสถิติ

2.7.1 สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) จำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในการบรรยายข้อมูลของชุดข้อมูล ค่าการบรรทุกสารอินทรีย์ และค่าสารแขวนลอยในน้ำเสียที่ป้อน เข้าระบบ UASB

2.7.2 สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistic) ใช้ Compare means ด้วย Paired simple t-test เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่ค่าการบรรทุกสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบค่าสภาวะแวดล้อมในการเดินระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าการบรรทุกสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน รวมทั้ง เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ ค่าสารแขวนลอย และการผลิตก๊าซชีวภาพ เมื่อมีการเติมสารแขวนลอยกับไม่เติมสารแขวนลอยในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบ UASB

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

3.1 ลักษณะน้ำเสีย

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำกากส่าทางกายภาพพบว่า น้ำมีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลอ่อน มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยว มีตะกอนขุ่น ไม้ใส และเมื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวเคมีพบว่า ค่าสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD) และปริมาณของแข็งค่อนข้างสูงโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $57,600 \pm 1,253$ และ $32,360 \pm 191$ มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนของบีโอดีต่อซีโอดีในการศึกษาครั้งนี้พบว่ามีความอยู่ที่ 0.51 แสดงให้เห็นว่าน้ำกากส่าที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีปริมาณสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้มากกว่าร้อยละ 50 ซึ่งค่าดังกล่าวหากมีค่าอัตราส่วนมากกว่า 0.5 จะมีความเหมาะสมในการย่อยสลายทางชีวภาพในกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน (Abdalla and Hammam, 2014)

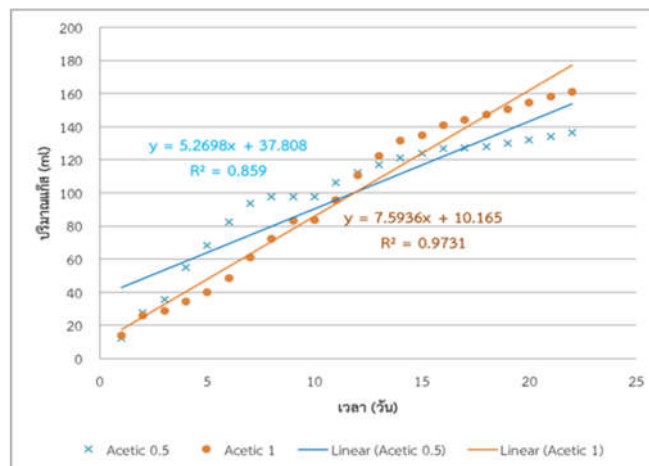
ตารางที่ 1 ลักษณะน้ำกากส่าโรงงานผลิตเอทานอล จังหวัดราชบุรี

ดัชนีชี้วัดคุณลักษณะ	ผลการวิเคราะห์	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความเป็นกรดต่าง	4.2	-	-
บีโอดี (mg/L)	29,000-30,000	29,333	± 577.35
ซีโอดี (mg/L)	55,500-58,000	57,600	$\pm 1,253.35$
ของแข็งทั้งหมด (mg/L)	32,000-32,600	32,360	± 191.19
ของแข็งทั้งหมดระเหย (mg/L)	25,000-25,400	25,129	± 182.43
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (mg/L)	22,800-24,200	23,433	± 709.45
ของแข็งแขวนลอย (mg/L)	4,600-4,650	4,616	± 28.86
ไนโตรเจนทั้งหมด (mg/L)	1,055-1,070	1,062	± 7.04

3.2 ผลความสามารถของตะกอนเชื้อในการกำจัดสารอินทรีย์

การคำนวณหาประสิทธิภาพของตะกอนในการรองรับสารอินทรีย์ของระบบไร้อากาศเบื้องต้นสามารถนำข้อมูลจากการทำ SMA มาทำการคำนวณได้ ซึ่งจากผลการทดสอบเบื้องต้นได้นำข้อมูลของสารอาหารกรดอะซิติกที่ F/M ratio ที่ 1 และ 0.5 ที่ให้ค่าก๊าซมีเทนสูงที่สุดมาใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของตะกอน พบว่าเบื้องต้นผลการผลิตก๊าซมีเทนมีแนวโน้มการผลิตก๊าซเป็น Simple Linear Regression โดยมีค่า R^2 อยู่ที่ 0.97 และ 0.86 ที่สัดส่วน F/M ratio ที่ 1 และ 0.5

(แสดงดังภาพประกอบที่ 2) จากค่าแนวโน้มดังกล่าวเมื่อพิจารณา R^2 ผู้วิจัยจึงทำการเลือกค่าสารอาหารที่เป็นกรดอะซิติกที่ F/M ratio ที่ 1 มาทำการคำนวณหาความชัน (Slope) เนื่องจากมีค่า R^2 สูงกว่า (ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือสูงกว่า) เพื่อหาความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ต่อปริมาณตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ต่อวันพบว่า ตะกอนเชื้อที่ทดสอบมีค่า SMA อยู่ที่ 0.21 g COD g⁻¹ VSS day⁻¹ ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับงานวิจัยของ Salomon et al., 2017 โดยทั่วไป SMA ของตะกอน UASB จะมีช่วงค่าที่กว้างมากตามระยะเวลาการเติบโตตั้งแต่ 0.04-0.85 g COD g⁻¹ VSS day⁻¹ (Guiot, 1992; Lettinga et al., 1980) สำหรับการศึกษาในงานวิจัยนี้ใช้ค่า SMA ที่ 0.21 g COD g⁻¹ VSS day⁻¹ มาใช้ในการคำนวณปริมาณตะกอนเริ่มต้นของการทดลองในขั้นต่อไป

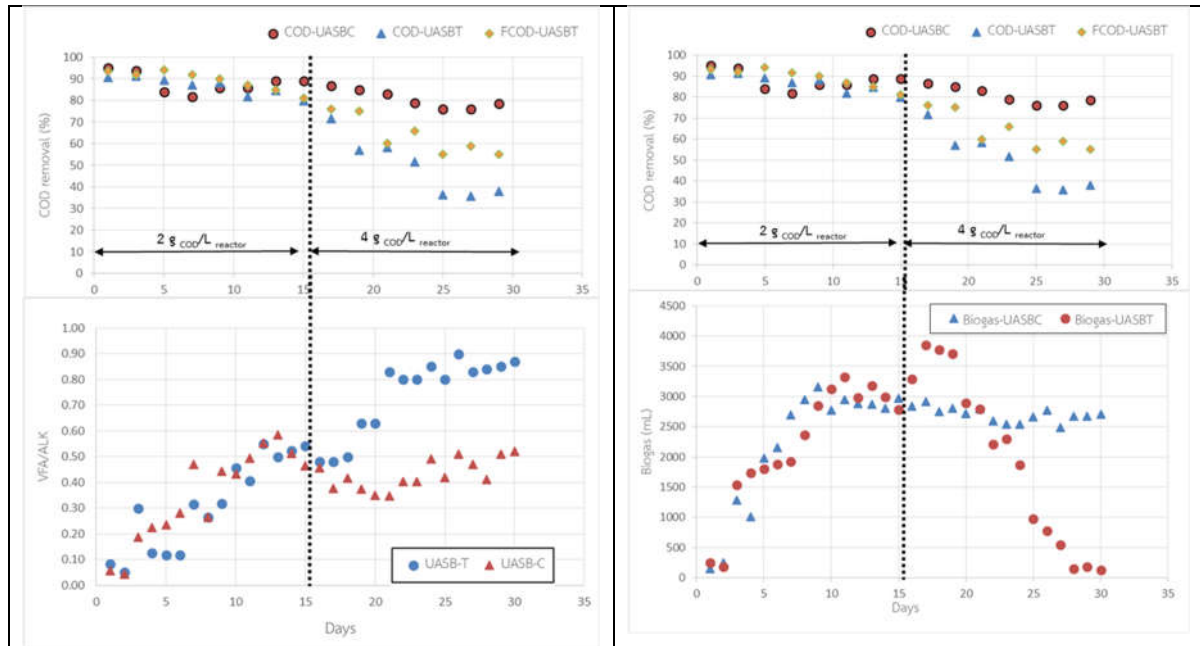


ภาพประกอบที่ 2 Simple Linear Regression ของตะกอนเชื้อในการทดสอบ SMA

3.3 การกำจัดสารอินทรีย์ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ ของ UASB

ผลของการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ UASB ทำการเดินระบบเป็นเวลาทั้งหมด 30 วัน ระยะแรกของการเดินระบบเป็นเวลา 16 วันด้วยภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 2 g_{COD}/L_{reactor}·day พบว่าทั้ง UASB-T และ UASB-C มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สูงอยู่ที่ร้อยละ 85-95 โดยที่ทั้งสองถังมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณา VFA/ALK ซึ่งเป็นสภาวะแวดล้อมของระบบมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ แสดงดังภาพประกอบที่ 3 หลังจากเดินระบบได้ 16 วัน ได้ทำการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 4 g_{COD}/L_{reactor}·day ในถัง UASB-T พบว่าประสิทธิภาพในช่วงแรกในการบำบัดยังค่อนข้างสูงทั้งสารอินทรีย์ (COD) และ สารอินทรีย์ที่กรอง (FCOD) โดยมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 71-79 และร้อยละ 76-81 และเมื่อเดินระบบต่อเนื่องที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ดังกล่าวพบว่าในช่วงท้ายของการเดินระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ลดลงพบว่าเหลือประสิทธิภาพของ COD และ FCOD อยู่ที่ร้อยละ 35-50 และร้อยละ 55-66 ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดเป็นด่างและค่าอัตราส่วน VFA/ALK พบว่าระบบมีค่าดังกล่าวสูงขึ้น ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) นั้นมีความเป็นกรดสูงขึ้น (ค่า pH ต่ำ) และค่า VFA/ALK มีค่ามากกว่า 0.8 (แสดงดังภาพประกอบที่ 3) ค่าดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าสภาวะของระบบเริ่มขาดเสถียรภาพเนื่องจากการสะสมของกรดระเหยง่ายสูงขึ้น (VFA) ซึ่งการสะสมของกรดดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในการบำบัดสารอินทรีย์ในระบบโดยเฉพาะกรดระเหยง่าย Propionic และ Butyric acid จากรายงานของจงกล พูลทวี (2537) พบว่า ปริมาณกรด propionic acid สูงจะส่งผลทำให้เกิดการยับยั้งจุลินทรีย์ กลุ่ม Methanogenic bacteria ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในระบบมีค่าสูงขึ้นส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ 2 g_{COD}/L_{reactor}·day และ 4 g_{COD}/L_{reactor}·day พบว่าประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนั้นมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบ UASB โดยในช่วงที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในระบบอยู่ที่ 2 g_{COD}/L_{reactor}·day ทั้งระบบ UASB-C และ UASB-T ผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงอยู่ในช่วง 2,800-3,300 มิลลิลิตรต่อวัน แต่หลังจากทำการเดินระบบมาเป็นเวลา 16 วัน ได้ทำการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในระบบเป็น 4 g_{COD}/L_{reactor}·day ของระบบ UASB-T แต่ UASB-C ทำการป้อนที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เดิม พบว่าในช่วง

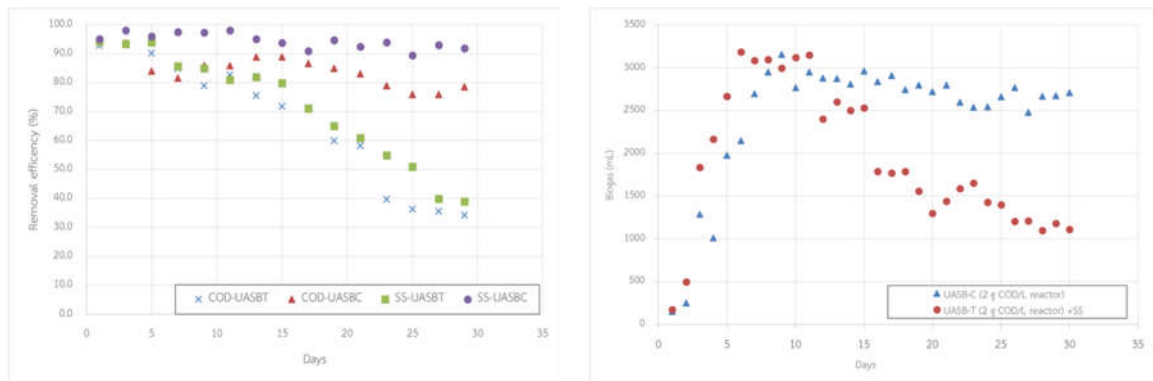
วันที่ 17-19 ของการเดินระบบ ระบบ UASB-T สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เพิ่มมากขึ้นอยู่ในช่วง 3,700-3,850 มิลลิลิตรต่อวัน แต่เมื่อทำการเดินระบบต่อเนื่องพบว่าหลังจากวันที่ 20 ของการเดินระบบ UASB-T มีความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพลดลงอย่างมาก วันที่ 28-30 ของการเดินระบบ UASB-T ผลิตก๊าซชีวภาพได้อยู่ในช่วง 124-186 มิลลิลิตรต่อวันหรือแทบไม่มีการผลิตก๊าซชีวภาพ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาพบว่าความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพที่ลดลงในช่วงเวลาดังกล่าวมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบที่ลดลงในช่วงเวลาดังกล่าวแสดงดังภาพประกอบที่ 3



ภาพประกอบที่ 3 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพของ UASB-T และ UASB-C

3.4 ผลของสารแขวนลอยต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์

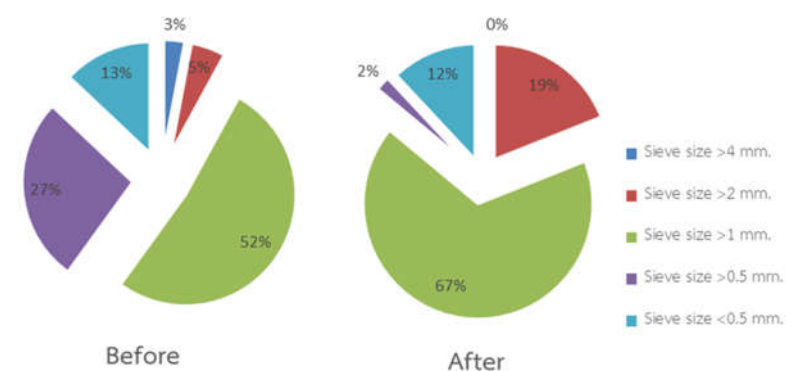
การศึกษาทำการป้อนน้ำเสียที่ OLR เท่ากับ $2 \text{ g}_{\text{COD}}/\text{L}_{\text{reactor}} \cdot \text{day}$ ทั้งถึง UASB-C และ UASB-T พบว่าในช่วงแรกของการเดินระบบ UASB (10 วันแรก) ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอไซด์และสารแขวนลอยได้ดีอยู่ในช่วงร้อยละ 80-95 และร้อยละ 85-97 ของทั้ง UASB-C และ UASB-T แสดงดังภาพประกอบที่ 4 หลังจากทำการเดินระบบต่อเนื่อง พบว่าถึงทดสอบ UASB-T นั้น ประสิทธิภาพของการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอไซด์กับสารแขวนลอยมีการลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเทียบกับถึง UASB-C ในช่วงท้ายของการเดินระบบประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอไซด์และสารแขวนลอยของ UASB-T ลดลงเหลือร้อยละ 34.3-36.3 และ 40-51 ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mahmood และคณะ ในปี 2019 โดยประสิทธิภาพในการบำบัดสารแขวนลอยลดลงเมื่อมีการเดินระบบนานขึ้น แสดงดังภาพประกอบที่ 4 ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากน้ำเสียที่ป้อนเข้าถึง UASB-T มีการเพิ่มปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียทำให้ระบบเกิดการสะสมปริมาณตะกอนมากขึ้นโดยในช่วงแรกของการเดินระบบ ประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยค่อนข้างดี แต่หลังจากเดินระบบนานมากขึ้น ปริมาณที่สะสมในระบบสูงขึ้นมากและทำให้ตะกอนเกิดการหลุดออกมาในน้ำเสียขาออกจากระบบทำให้ประสิทธิภาพของการกำจัดสารแขวนลอยต่ำลง (ร้อยละ 40-51) นอกจากนั้นปริมาณสารแขวนลอยที่สูงในน้ำเสียส่งผลให้เม็ดตะกอนเชื้อ UASB มีการแตกสลายสูงขึ้นและเชื้อหลุดออกมากับน้ำเสียขาออก (Washout) ซึ่งเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอไซด์ก็มีความต่ำลง สอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยดังที่ได้กล่าวมาแล้ว กนกกาญจน์ กาญจนวัฒน์ ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการอัตราการไหลขึ้นต่อเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ EGSB ในปี พ.ศ. 2552 พบว่านอกจากอัตราการไหลขึ้นแล้วปริมาณสารแขวนลอยที่มากับน้ำเสียส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสารแขวนลอยในระบบดังกล่าว ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และสารแขวนลอยในระบบต่ำลง นอกจากนั้นยังส่งผลต่อการแตกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีกด้วย



ภาพประกอบที่ 4 ผลของสารแขวนลอยต่อประสิทธิภาพของระบบ UASB

3.5 ผลของสารแขวนลอยต่อตะกอนเชื้อในระบบ UASB

เมื่อทำการเดินระบบ UASB-T เป็นเวลา 30 วันได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบเม็ดตะกอน UASB ทั้งก่อนและหลังการเดินระบบเพื่อศึกษาผลของสารแขวนลอยต่อลักษณะตะกอนเชื้อในระบบ UASB พบว่า ขนาดเม็ดตะกอนมากกว่า 4 มิลลิเมตรไม่เหลืออยู่ในระบบ UASB-T หลังจากการเดินระบบเป็นเวลา 30 วัน นอกจากนั้นขนาดเม็ดตะกอนมากกว่า 2 มิลลิเมตรมีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 12 จากเดิมก่อนเดินระบบอยู่ที่ร้อยละ 5 ตะกอนขนาดมากกว่า 1 มิลลิเมตรมีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 67 จากเดิมก่อนการเดินระบบอยู่ที่ร้อยละ 52 ในขณะที่ตะกอนขนาดมากกว่า 0.5 และน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตรมีปริมาณลดลง คือร้อยละ 2 และ 12 จากเดิมก่อนเดินระบบอยู่ที่ร้อยละ 27 และ 13 ที่เป็นอย่างนี้ อาจเนื่องจากปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบ UASB-T นั้นมีค่าสูง ซึ่งตะกอนเหล่านี้อาจทำให้เกิดการสะสมในระบบทำให้ตะกอนเชื้อที่มีน้ำหนักน้อยกว่าถูกดันออกจากระบบไปกับน้ำเสียออกจากระบบ และในขณะเดียวกันสารแขวนลอยในน้ำเสียจะส่งผลทำให้ตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ในระบบเกิดการแตกตัวและหลุดออกไปกับน้ำเสียออก ทำให้ตะกอนเชื้อขนาดใหญ่หายไปจากระบบ (ตะกอนขนาดมากกว่า 4 มิลลิเมตร) โดยผลการศึกษาในครั้งนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ กนกกาญจน์ กาญจนวัฒน์ (2552) ที่ได้แนะนำเกี่ยวกับการเดินระบบ UASB ว่าในน้ำเสียไม่ควรมีสารแขวนลอยในปริมาณสูงและควรกำจัดออกจากน้ำเสียก่อนการป้อนเข้าระบบ ซึ่งขนาดของเม็ดตะกอนแสดงดังภาพประกอบที่ 5



ภาพประกอบที่ 5 ขนาดเม็ดตะกอนของถัง UASB-T ก่อนและหลังการเดินระบบ 30 วัน

3.6 การวิเคราะห์สถิติเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ UASB ด้านต่าง ๆ จากการเติมสารแขวนลอยกับไม่เติมสารแขวนลอยในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบ

จากตารางที่ 2 การป้อนน้ำเสียเข้าระบบที่ $OLR = 2 \text{ g}_{\text{COD}}/\text{L}_{\text{reactor}}\cdot\text{day}$ ที่มีการเติมและไม่เติมสารแขวนลอยในน้ำเสียพบว่าในกรณีที่ไม่มีเติม SS มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์เท่ากับ 84.566 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.771 ส่วนในกรณีที่มีการเติม SS มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 67.066 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 21.689 เมื่อนำประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีที่เกิดขึ้นในกรณีที่ไม่มีเติม SS และ กรณีที่มีการเติม SS มาเปรียบเทียบกับพบว่า p-value เท่ากับ .002 แสดงว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในกรณีที่ไม่มีเติม SS และในกรณีที่มีการเติม SS มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ส่วนผลกระทบต่อผลการกำจัดสารแขวนลอยพบว่าในกรณีที่ไม่มีเติม SS มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยเท่ากับ 94.487 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.624 ส่วนในกรณีที่มีการเติม SS มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 71.800 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 18.959 เมื่อนำประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยที่เกิดขึ้นในกรณีที่ไม่มีเติม SS และ กรณีที่มีการเติม SS มาเปรียบเทียบกับพบว่า p-value < 0.001 แสดงว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยที่เกิดขึ้นในกรณีที่ไม่มีเติม SS และในกรณีที่มีการเติม SS มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99 แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของการป้อนน้ำเสียที่เติมและไม่เติมสารแขวนลอย

$2 \text{ g}_{\text{COD}}/\text{L}_{\text{reactor}}$	n	mean	S.D	t	df	p-value
No SS	15	84.566	5.771	3.928	14	0.002
Add SS	15	67.066	21.689			

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยของการป้อนน้ำเสียที่เติมและไม่เติมสารแขวนลอย

$2 \text{ g}_{\text{COD}}/\text{L}_{\text{reactor}}$	n	mean	S.D	t	df	p-value
No SS	15	94.487	2.624	5.118	14	0.000
Add SS	15	71.800	18.959			

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาผลของสารอินทรีย์และสารแขวนลอยที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ สารแขวนลอย และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบบำบัดไร้อากาศ UASB นั้นพบว่าในการกำจัดสารอินทรีย์พบว่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อมีการเพิ่มค่า OLR จาก $2 \text{ g}_{\text{COD}}/\text{L}_{\text{reactor}}\cdot\text{day}$ เป็น $4 \text{ g}_{\text{COD}}/\text{L}_{\text{reactor}}\cdot\text{day}$ เมื่อทำการศึกษาการเติมสารแขวนลอยและไม่เติมสารแขวนลอยของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบนั้นพบว่าทั้งประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ สารแขวนลอย และการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากการเพิ่มสารแขวนลอยในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบส่งผลกระทบต่อตะกอนเชื้อในระบบ UASB ทำให้ตะกอนเชื้อเกิดการแตกสลายและหลุดออกมาจากระบบเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ ของระบบ UASB โดยเฉพาะอย่างยิ่งตะกอนขนาด มากกว่า 4 มิลลิเมตรไม่เหลืออยู่ในระบบ UASB-T หลังจากการเดินระบบเป็นเวลา 30 วัน เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าสารแขวนลอยในระบบมีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบ UASB ที่ลดลง โดยปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในกรณีที่ไม่มีเติม SS มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2444.50 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 764.62 ส่วนปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีการเติม SS มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 69.38 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 829.92 เมื่อนำปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในกรณีที่ไม่มีเติม SS และ กรณีที่มีการเติม SS มาเปรียบเทียบกับพบว่า p-value เท่ากับ 0.002 แสดงว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในกรณีที่ไม่มีเติม SS และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีการเติม SS มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษางานวิจัยในหัวข้อเรื่อง การศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อเมัตตะกอนจุลินทรีย์ในถัง UASB ของโรงงานผลิตเอทานอล การดำเนินการสำเร็จและลุล่วงไปได้ดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และช่วยเหลือจากหลายส่วนคณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัยนี้ ขอขอบคุณแหล่งเงินทุนที่ทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี วิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

- กนกกาญจน์ กาญจนวัฒน์. (2552). ผลของพีเอชและอัตราบรรทุกสารอินทรีย์ต่อการลดซัลเฟตในระบบยูเอเอสบีสำหรับการบำบัดน้ำเสียน้ำยางข้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2546). [ไฟล์ข้อมูล] น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย. สืบค้นเมื่อ 2 พฤศจิกายน 2562, จาก <http://infofile.pcd.go.th/water/Domestic.pdf>.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2552). [ไฟล์ข้อมูล] คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 1. สืบค้นเมื่อ 2 พฤศจิกายน 2562, จาก : http://infofile.pcd.go.th/ptech/anair_manual1.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2553). [ไฟล์ข้อมูล] คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. สืบค้นเมื่อ 2 พฤศจิกายน 2562, จาก : http://www.diw.go.th/km/safety/pdf/biogas_2.pdf.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2546). [ไฟล์ข้อมูล] น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย. สืบค้นเมื่อ 2 พฤศจิกายน 2562, จาก: <http://infofile.pcd.go.th/water/Domestic.pdf>.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2552). [ไฟล์ข้อมูล] คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 1. สืบค้นเมื่อ 2 พฤศจิกายน 2562, จาก : http://infofile.pcd.go.th/ptech/anair_manual1.
- จกมล พูลทวี. (2537). ผลของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับ การผลิตก๊าซชีวภาพ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิทยาศาสตร์ (เทคโนโลยีชีวภาพ) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บัณฑิตวิทยาลัย.
- ยุทธนา ตันวงศ์वाल. (2555). [ไฟล์ข้อมูล] สรุปการประเมินผลสัมฤทธิ์โครงการเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางของเขตประกอบการ อุตสาหกรรมสยามอีสเทิร์นอินดัสเตรียลพาร์คและในส่วนของปรับปรุงบ่อกักน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว. สืบค้น 12 กุมภาพันธ์ 2562, จาก <http://envfund.onep.go.th/wpcontent/uploads/2017/03/11siameastern.pdf>
- วสวัตดี พิจอมบุตร. (2556). ผลของแอมโมเนียอิสระต่อสมรรถนะของระบบยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Abdalla, K.Z. and Hammam, G. (2014). Correlation between biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand for various wastewater treatment plants in Egypt to obtain the biodegradability indices. International Journal Science: Basic Applied Resource. 13(1): 42–8.
- APHA (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC.
- Del Nery, V.D., Alves, I., Damianovic, M. H., Pires, E.C. (2018). Hydraulic and organic rates applied to pilot scale UASB reactor for sugar cane vinasse degradation and biogas generation. Biomass and Bioenergy. 119, 411-417.
- Guiot, S. (1992). A structured model of the anaerobic granule consortium. Water Science Technology. 25(7):1–10.
- Jimenez, A. (2006). Kinetic analysis of the anaerobic digestion of untreated vinasses and vinasses previously treated with Penicillium decumbis. Journal Environment Management. 80(4): 303–10.

- Lettinga, G., Velsen van, A.F.M., Hobma, S.W., Zeeuw de, W. and Klapwijk, A. (1980), "Use of upflow sludge blanket reactor concept for biological waste water treatment", especially for anaerobic treatment, *Biotechnology and Bioengineering*, Vol.22, pp.699-734.
- Mahmod, S.S., Azahar, A.M., Tan, J.P., Jahim, J.M., Abdul, P.M., ..., Wu, S.Y. (2019). Operation performance of up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) bioreactor for biohydrogen production by self-granulated sludge using pre-treated palm oil mill effluent (POME) as carbon source. *Renewable Energy*, 134. 1262-1272.
- Musa, M. A., Idrus, S., Man, H.C., Daud, N.N. (2019). Performance Comparison of Conventional and Modified Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors Treating High-Strength Cattle Slaughterhouse Wastewater. *Water*. 11, 806. doi:10.3390/w11040806.
- Musa, M., Syazwani, I., Hasfalina, C.M., Daud, N.N. (2018). Effect of Organic Loading Rate on Anaerobic Digestion Performance of Mesophilic (UASB) Reactor Using Cattle Slaughterhouse Wastewater as Substrate. *International Journal Environment Research and Public Health*. 15(10), 2220.
- Nacheva, P.M., Pantoja, M.R., Serrano, E. (2011). Treatment of slaughterhouse wastewater in up flow anaerobic sludge blanket reactor. *Water Science Technology*, 63, 877–884.
- Robles-Gonzalez, V., Galindez-Mayer, J., Rinderknecht-Seijas, N., Poggi-Varaldo, M. (2012). Treatment of mezcal vinasses: a review. *Journal Biotechnology*, 157, 524–46.
- Salomon, A.C., Meza-Gordillo, R., Rosales-Quintero, A., Ventura-Canseco, C., Lagunas-Rivera, S., Carrasco-Cervantes, J. (2017). Biogas production from a native beverage vinasse using a modified UASB bioreactor. *Fuel*, 198, 170–174.