

การหาค่าซีโอดีของน้ำเสียกล่ำ เพื่อเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพ

Determination COD of Distillery Slop Wastewater to Increasing of Biogas Production

ธัญชนก พรดอน (Thunchanok Phorndon)* ดร.นิตยา บุญเทียน (Dr.Nittaya Boontian)^{1**}

ฉัตรลดา เพ็ชชัย (Chatlada Piasai)*** Mohamad Padri***

บทคัดย่อ

ศึกษาการเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียกล่ำ โดยหาค่าซีโอดี (Chemical oxygen demand, COD) ที่แตกต่างกัน อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์ (Organic loading rates, OLR) อยู่ในช่วง 3.50 – 4.70 kg.COD/m³-day ทำการทดลองแบบกะ (Batch test) ขนาดถัง 6 l แบ่งออกเป็น 3 ครั้ง คือ (1) ค่า COD 17,200.00 24,000 35,400 41,200 และ 72,000.00 mg/l ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 0.01x10⁻² 0.12 x10⁻² 0.14 x10⁻² และ 0.01 x10⁻² m³/kg.COD ตามลำดับ (2) ค่า COD 25,687.20 27,633.20 และ 29,579.20 mg/l ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 0.14 0.13 และ 0.12 m³/kg.COD ตามลำดับ (3) ค่า COD 23,283.36 mg/l ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 0.05 m³/kg.COD จากการทดลองพบว่า ค่า COD 25,687.20 mg/l ได้ก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด 0.14 m³/kg.COD เมื่อเปรียบเทียบกับค่าก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุดของค่า COD 35,400 mg/l พบว่ามากกว่าถึง 100 เท่า และ 2.5 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่า COD 23,283.36 mg/l จากการทดสอบสถิติด้วย One - Way ANOVA แบบ Tukey พบว่า ค่า COD 25,687.20 mg/l มีความแตกต่างจากสภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (Sig. = 0 < 0.05)

ABSTRACT

This study the increasing of biogas production from distillery slop wastewater by finding different Chemical oxygen demand values (COD), Organic loading rates (OLR) in the range of 3.50 - 4.70 kg.COD/m³-day. Batch test was conducted in a 6 l tank and divided into 3 times, (1) COD values of 17,200.00 24,000 35,400 41,200 and 72,000.00 mg/l, cumulative biogas content 0.0001 0.0012 0.0014 and 0.0001 m³/kg.COD respectively. (2) COD values of 25,687.20 27,633.20 and 29,579.20 mg/l obtained cumulative biogas 0.14 0.13 and 0.12 m³/kg.COD respectively. (3) COD value of 23,283.36 mg/l, cumulative biogas content 0.05 m³/kg.COD. From the experiment. It was found that COD 25,687.20 mg/l obtained the highest cumulative biogas was 0.14 m³/kg.COD. Compared with the maximum cumulative biogas of COD 35,400 mg/l is more than 100 times and 2.5 times compared to COD 23,283.36 mg/l. Statistical analysis using the One- Way ANOVA and Tukey method that COD 25,687.20 mg/l was significantly different from other conditions ($\alpha = 0 < 0.05$).

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ น้ำเสียกล่ำ ซีโอดี

Keywords: Biogas, Distillery slop, Chemical oxygen demand

¹Corresponding author: n.boontian@sut.ac.th

*นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

***นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทนำ

น้ำเสียจากคั่ว (Distillery slop) เกิดจากกระบวนการผลิตสุรากลั่นในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์และยีสต์ มีลักษณะเป็นของเหลวข้น สีน้ำตาลเข้ม มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง ลักษณะของน้ำเสียจะแตกต่างกันตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ค่าบีโอดี (Biochemical oxygen demand, BOD) สูงถึง 40,000.00 - 70,000.00 mg/l [1] และค่าซีโอดี (Chemical oxygen demand, COD) สูงถึง 100,000.00 - 150,000.00 mg/l [2] ค่าดังกล่าวสูงกว่าน้ำเสียอุตสาหกรรมทั่วไป เทคโนโลยีที่ใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานกลั่นสุราส่วนใหญ่นิยมใช้เป็นแบบไร้ออกซิเจน [3 - 4] ซึ่งสามารถนำกากสุราผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ โดยในปัจจุบันพบว่า น้ำเสียจากคั่วเป็นปัญหาหลักของโรงงานอุตสาหกรรมสุรา [5] จึงนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยใช้ระบบ Anaerobic lagoon ซึ่งได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากต้นทุนการก่อสร้างต่ำกว่าระบบอื่นๆ สามารถรองรับค่าความสกปรกได้สูง แต่พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์เพื่อเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่น ปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดสาเหตุดังกล่าวคือ เกิดการสะสมของซัลไฟด์ (Sulfites) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide, H_2S) อิสระ ซึ่งมีพิษยับยั้งจุลินทรีย์ จากการศึกษาพบว่าค่า COD และ ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic loading rates, OLR) เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในระบบและการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพ พบว่า ถ้า OLR มากเกินไปจะส่งผลทำให้การย่อยสลายลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์ถูกทำลายเพราะไม่สมดุล แต่ถ้าน้อยเกินไป ส่งผลทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับ OLR ที่ต่ำได้ ซึ่งอาจทำให้ระบบล้มเหลวได้ [6] โดยก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (Methane, CH_4) 50 - 70% คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide, CO_2) 30 - 50 % และ H_2S ปริมาณเล็กน้อย [7 - 8] กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีข้อดี คือประหยัดพลังงานในการเดินระบบและสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงๆ ได้ นอกจากนี้ยังเกิดผลพลอยได้คือ ก๊าซชีวภาพ

จากงานวิจัยของ Yubolsai [9] ได้ศึกษาปริมาณน้ำเสียจากโรงงานเอทานอลต่อปริมาณน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล ที่อัตราส่วน 1 : 2 โดยใช้ อัตราส่วนสารอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) 0.50 และ COD 2,000 mg/l ควบคุมอุณหภูมิที่ 35 °C ระยะเวลาการทดลอง 24 day พบว่า ที่อัตราส่วน 1 : 2 จุลินทรีย์ (Methanogenesis bacteria) มีความสามารถในการย่อยสลาย COD ไปเป็น CH_4 ได้ 46.00% ของ COD จากน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบ โดยสภาวะควบคุมจากน้ำเสียโรงงานเอทานอล 42.00% และจากน้ำเสียโรงงานน้ำตาล 77.00% [9] จากงานวิจัยของ Chanpalakorn [10] ได้ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และการกำจัด COD จากน้ำเสียจากคั่ว โดยใช้ระบบบำบัดแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ขนาด 20 l จำนวน 3 การทดลอง ทำการควบคุมอัตราการไหลคงที่ เท่ากับ 1.50, 3.00 และ 5.00 l/day โดยมี COD ของน้ำเสียเข้าระบบเฉลี่ยเท่ากับ 4,500.00 7,500.00 และ 15,000.00 mg/l ซึ่งคิดเป็น OLR อยู่ระหว่าง 0.30 - 3.78 kg.COD/m³-day จากการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และการกำจัด COD ที่อัตราการไหลเดียวกัน พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด COD และการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าสูงขึ้น พบว่า ค่าที่ดีที่สุดคือ COD 15,000 mg/l ได้ก๊าซชีวภาพสูงสุด 0.41 m³/kg COD และประสิทธิภาพการกำจัด COD เท่ากับ 67% [10] จากการศึกษา Xiangwen [11] ได้ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AnSBR (Anaerobic Sequencing Batch Reactor, AnSBR) ขนาด 45 l โดยทำการเจือจาง COD ให้ได้เท่ากับ 5,000 mg/l และใช้ OLR ระหว่าง 1 - 5 kg.COD/m³-day การทดลองใช้เวลาพักเก็บ 1 day และทำการควบคุมอุณหภูมิที่ 33 °C โดยพบว่าประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.48 m³/kg COD และประสิทธิภาพการกำจัด COD ถึง 90% [11] จากการศึกษาของ Sarker [12] ทำการทดลองด้วยถังปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ใช้กากสุราร่วมกับมูลวัว ระยะเวลาการทดลอง 69 day พบว่า pH 7.81 ได้ปริมาณ CH_4 สูงสุด 0.22 m³/kg VS และ CH_4 57.00% [12] และจากการศึกษา Sumaeth [13] ได้ใช้ระบบหมักเป็นแบบระบบตัวกลางกรอง - ยูเอเอสบีสองขั้นตอนแบบอุณหภูมิสูง ซึ่งประกอบด้วย

องค์ประกอบหลัก 3 ประการคือ หลักการสองขั้นตอน ระบบหมักประสิทธิภาพสูง (ระบบหมักตัวกลางกรองและระบบหมักชั้นตะกอนไหลขึ้น) และการควบคุมที่อุณหภูมิสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดและการผลิตก๊าซชีวภาพ ใช้กากสาที่มีค่า COD 90,000.00 - 120,000.00 mg/l ระบบหมักในการทดลองนี้ประกอบด้วยถังหมักสภาวะกรด (ตัวกลางกรอง) มีขนาด 6.80 l และถังหมัก CH_4 (ตัวกลางกรอง - ยูเอเอสบี) มีขนาด 55 l ถังหมักทั้งสองถังถูกควบคุมอุณหภูมิที่ 55 °C อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic loading rate, OLR) ที่เหมาะสมเท่ากับ 6.38 kg.COD/m³-day มีประสิทธิภาพการกำจัด COD 52% และก๊าซชีวภาพสูงสุดถึง 0.1 m³/kg COD [13] จากงานวิจัยของ Choosuwana [14] ทำการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำกากส่าของโรงงานสุรา โดยการเพิ่มอัตราการไหลเวียนกลับและความเร็วไหลขึ้นของระบบ UASB โดยใช้ท่อ PVC ขนาด 640 l สูง 4 m ผ่านศูนย์กลาง 45 cm ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด COD และผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า อัตราการไหลที่เหมาะสมอยู่ที่ 20 เท่าของอัตราการป้อนน้ำเสียกากส่า ประสิทธิภาพการกำจัด COD อยู่ในช่วง 55 - 66 % ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 90 - 127 l/kg.COD [14] และพบว่าน้ำเสียกากส่า มีปริมาณความเข้มข้นทั้งสารอินทรีย์ และอนินทรีย์สูง นอกจากนี้ยังมีสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งเกิดจากการ caramel (Caramel) สารนี้เกิดจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน (Polymerization) ในกระบวนการผลิตน้ำตาล ดังนั้นสารคาราเมลจึงมีน้ำหนักโมเลกุลสูง แต่ไม่ทราบโครงสร้างที่แน่นอน โดยทั่วไปเรียกสารประกอบพวกนี้ว่า เมลานอยด์สีน้ำตาล (Brown Melanoidin) [15]

จากงานวิจัยข้างต้น พบว่า ต้องหาช่วง COD ของน้ำเสียกากส่าที่เหมาะสม เพื่อส่งผลทำให้ก๊าซชีวภาพสูงสุด และเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัด COD จากน้ำเสียกากส่า โดยใช้ระบบแบบกะ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียกากส่าได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

หาค่า COD ของน้ำเสียกากส่า เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด

วิธีการวิจัย

ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการศึกษา

วิเคราะห์พารามิเตอร์ก่อนเข้าระบบและหลังปิดระบบ ได้แก่ (1) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids, TS) อบแห้งที่ 103 - 105 °C (2) ปริมาณของของแข็งที่แขวนลอย (Total Dissolved Solids, TDS) อบแห้งที่ 103 - 105 °C (3) ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids, VFAs) Direct titration method (4) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) Kjeldahl (5) ปริมาณฟอสฟอรัส (Total Phosphate, TP) Wet digestion method (6) Chemical oxygen demand (COD) Closed reflux titrimetric method (7) ค่าความเป็นกรด-ด่าง pH meter (8) ความเป็นด่าง (Alkalinity, Alk.) Titration method (9) Mixed Liquor Volatile Suspended Solids (MLVSS) เตาที่ 550 °C (10) Reducing sugar วิเคราะห์โดยใช้วิธี Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [16]

สร้างถังปฏิกรณ์จำลองสำหรับการทดลองแบบกะ

จากภาพที่ 1 ถึงปฏิกรณ์ขนาด 6 l ประกอบด้วย 3 ถัง ดังต่อไปนี้ ถังที่ 1 กากแป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำเสียโรงงานแป้งมันสำปะหลังและจุลินทรีย์ ใช้ อัตราส่วนสารอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) 0.50 เมื่อเกิดก๊าซชีวภาพ ก๊าซจะเคลื่อนผ่านสายยางไปยัง ถังที่ 2 คือถังน้ำเมื่อก๊าซถูกส่งผ่านทางสายยางมา ทำให้เกิดการดันน้ำไหลจากถังที่ 2 ไปยังถัง

ที่ 3 ซึ่งเป็นถังรองรับน้ำและวัดปริมาตรก๊าซชีวภาพ โดยการแทนที่น้ำและวัด CH_4 CO_2 O_2 และ H_2S ใช้เครื่อง Geotech เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพแบบพกพา รุ่น Biogas 5000

การทดลองหาค่าเสียค่าค่า

การทดลองใช้น้ำเสียจากสาจากบริษัท สเตฟไวส์ เอ็นเนอร์ยี แมเนจเม้นท์ จำกัด โดยทำการหาค่า COD น้ำเข้า ตั้งแต่ 25,000.00 - 35,000.00 mg/l ในขณะที่วัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสำหรับแต่ละค่า โดยน้ำเสียที่ใช้ทดลองเป็นน้ำเสียจริงจากบริษัทฯ แต่จุลินทรีย์ใช้ของ บริษัท อุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัด จังหวัดนครราชสีมา เนื่องจากไม่สามารถเก็บจุลินทรีย์จากระบบจริงได้

ผลการวิจัย

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ครั้ง โดยใช้จุลินทรีย์ จากบริษัท อุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัด โดยมีค่า MLVSS คือ 10,443.90 9,380.00 และ 10,977.00 mg/l ตามลำดับ การทดลองเป็นแบบกะ (Batch test) ใช้ F/M ratio เท่ากับ 0.5 และ ค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic loading rate, OLR) อยู่ในช่วง 3 - 5 kg.COD/m³ - day [8]

การทดลองครั้งที่ 1 ค่า COD ในช่วง 17,200 - 72,000 mg/l

การทดลองครั้งที่ 1 ใช้น้ำในบ่อ CP และน้ำทิ้ง มีค่า COD เท่ากับ 72,000.00 และ 14,000.00 mg/l ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการกำจัด COD เท่ากับ 80.50% TKN มีค่าเท่ากับ 1,796.20 และ 1,535.80 mg/l ตามลำดับ TP มีค่าเท่ากับ 495.83 และ 391.67 mg/l ตามลำดับ กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids, VFAs) มีค่าเท่ากับ 7,794.78 และ 267.51 mg/l ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 VFAs ที่บ่อ CP มีค่ามากกว่าน้ำทิ้ง แสดงว่าภายในบ่อมีการเปลี่ยนจากโมเลกุลใหญ่ กลายเป็นโมเลกุลเล็กจึงทำให้ค่า VFAs สูง แต่จากการศึกษาของ Wittawat และ Chatchaval (2009) ค่า VFAs มีความสำคัญต่อค่า pH ของระบบ เมื่อมีปริมาณ VFAs สูงเกินไป จะทำให้ค่า pH ต่ำลง ซึ่งส่งผลทำให้เป็นพิษต่อ Methanogenesis bacteria ทำให้ค่า CH_4 ลดลงตามไปด้วย [17] Alkalinity มีค่าเท่ากับ 28,750.00 และ 21,250.00 mg/l การควบคุมระบบ Modified Covered Lagoon (MCL) ควรมีค่า VFAs : Alkalinity อยู่ในช่วง 0.03 - 0.30 [18] จากการทดลอง เท่ากับ 0.27 ซึ่งเป็นไปตามค่าในการควบคุมแสดงว่า ระบบมีความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าสูงกว่าเกณฑ์ แสดงว่าถ้ามีการเพิ่มขึ้นของ VFA จะทำให้ค่า pH ของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว และสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซชีวภาพควรมีค่า C : N : P เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 จากการทดลองได้เท่ากับ 100 : 2.49 : 0.69 ซึ่งทำให้ค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงเมื่อทำการวิเคราะห์น้ำทิ้ง คือ 1,535.80 และ 391.67 mg/l ตามลำดับ

ทำการเจือจางน้ำในบ่อ CP และน้ำทิ้ง ได้ค่า COD เจือจาง คือ 17,200 24,000 35,400 41,200 และ 72,000 mg/l ใช้ MLVSS ของจุลินทรีย์ เท่ากับ 10,443.90 mg/l ระยะเวลาการทดลองทั้งหมด 49 day ค่า COD 35,400.00 mg/l ได้ ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุด 0.0014 m³/kg.COD ดังภาพที่ 2 อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 4.60 kg.COD/m³ - day ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อ COD มี ค่าลดลงจะทำให้ค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์นั้นแตกต่างกันไปด้วย โดยค่าอัตรา การบรรทุกสารอินทรีย์ในการควบคุมระบบที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 3 - 5 kg.COD/m³ - day [15] ซึ่งค่า COD 35,400.00 mg/l มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุด ดังตารางที่ 5

การทดลองครั้งที่ 2 ค่า COD ในช่วง 25,687 - 29,579 mg/l

การทดลองครั้งที่ 2 เก็บน้ำในบ่อ CP บ่อ Mix และน้ำทิ้ง มีค่า pH เท่ากับ 4.33, 6.67 และ 7.56 ตามลำดับ ค่า COD เท่ากับ 106,329.40 53,164.72 และ 34,366.36 mg/l ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการกำจัด COD เท่ากับ 35.36 % น้ำตาลรีดิวซ์ในบ่อ CP บ่อ Mix และน้ำทิ้ง มีค่าเท่ากับ 28.88 23.83 และ 21.84 mg/l ตามลำดับ VFAs มีค่าเท่ากับ 658.44 463.64 และ 202.60 mg/l ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 VFAs ที่บ่อ CP มีค่ามากกว่าบ่ออื่นเพราะภายในบ่อ CP มีการเปลี่ยนจากโมเลกุลใหญ่กลายเป็นโมเลกุลเล็กจึงทำให้ค่า VFAs สูงกว่าบ่ออื่น Alkalinity มีค่าเท่ากับ 11,666.67 10,833.33 และ 10,000 mg/l ตามลำดับ การควบคุมระบบ MCL ควรมีค่า VFA : Alkalinity อยู่ในช่วง 0.03 - 0.30 [15] จากการทดลองเท่ากับ 0.043 ซึ่งเป็นไปตามค่าในการควบคุมแสดงว่า ระบบมีความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์สูง แต่ค่าสูงกว่าเกณฑ์ แสดงว่า pH ของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว [19] และสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซชีวภาพควรมีค่า C : N : P เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 จากการทดลองได้เท่ากับ 100 : 8.44 : 4.62 ซึ่งทำให้ค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงเมื่อทำการวิเคราะห์น้ำทิ้ง คือ 2,485.00 และ 1,953.17 mg/l ตามลำดับ

ทำการเจือจางน้ำในบ่อ CP และน้ำทิ้ง ได้ค่า COD เจือจาง คือ 25,687.20 27,633.20 และ 29,579.20 mg/l พบว่า ค่า COD 25,687.20 mg/l ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุด 0.14 m³/kg.COD ดังภาพที่ 3 a. โดยการทดลองครั้งนี้ใช้ MLVSS ของจุลินทรีย์เท่ากับ 9,380.00 mg/l ระยะเวลาการทดลอง 50 day โดยทำการวัด CH₄, CO₂, O₂ และ H₂S พบว่า ในช่วงระยะเวลา 1 - 26 day มี CH₄ ต่ำมาก (อยู่ในช่วง 2 - 20 %) ดังภาพที่ 3 a. แต่ระบบกลับมี H₂S ที่สูง ดังภาพที่ 3 b. ซึ่งก่อนเข้าระบบมี VFAs ประมาณ 1,194.80 mg/l ต่อมาในวันที่ 28 เป็นต้นไป CH₄ มีอัตราส่วนเพิ่มขึ้น จนมากที่สุดถึง 55.50 % แต่ระบบมี H₂S ลดลง ค่า COD ที่ 25,687.20 มี CH₄ มากที่สุด เท่ากับ 52.50% และน้อยที่สุด 2.00% ค่า COD ที่ 27,633.20 มี CH₄ มากที่สุด เท่ากับ 55.50% และน้อยที่สุด 3.50 % และ ค่า COD ที่ 29,579.20 mg/l มี CH₄ มากที่สุด เท่ากับ 51.00% และน้อยที่สุด 3.00% ดังตารางที่ 5

การทดลองครั้งที่ 3 ค่า COD 23,283.36 mg/l

การทดลองครั้งที่ 3 เก็บน้ำในบ่อ CP บ่อ Mix และน้ำทิ้ง มีค่า pH เท่ากับ 4.39 7.33 และ 7.56 ตามลำดับ ค่า COD เท่ากับ 104,880.00 45,448.00 และ 42,860.96 mg/l ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการกำจัด COD เท่ากับ 5.69% น้ำตาลรีดิวซ์ในบ่อ CP บ่อ Mix และน้ำทิ้ง มีค่าเท่ากับ 30.08 23.69 และ 21.21 mg/l ตามลำดับ VFAs มีค่าเท่ากับ 13,383.12 1,909 และ 1,071.43 mg/l ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 VFAs ที่บ่อ CP มีค่ามากกว่าบ่ออื่นเพราะภายในบ่อ CP มีการเปลี่ยนจากโมเลกุลใหญ่กลายเป็นโมเลกุลเล็กจึงทำให้ค่า VFAs สูงกว่าบ่ออื่น Alkalinity มีค่าเท่ากับ 17,083.33 18,750.00 และ 14,250.00 mg/l ตามลำดับ การควบคุมระบบ MCL ควรมีค่า VFA : Alkalinity อยู่ในช่วง 0.03-0.30 [17] จากการทดลองเท่ากับ 0.10 ซึ่งเป็นไปตามค่าในการควบคุมแสดงว่า ระบบมีความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์สูง แต่ค่าสูงกว่าเกณฑ์แสดงว่าถ้ามีการเพิ่มขึ้นของ VFA จะทำให้ค่า PH ของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว และสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซชีวภาพควรมีค่า C : N : P เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 จากการทดลองได้เท่ากับ 100:1.83:1.24 ซึ่งทำให้ค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงเมื่อทำการวิเคราะห์น้ำทิ้ง คือ 1,071.00 และ 489.33 mg/l ตามลำดับ

ทำการเจือจางน้ำในบ่อ CP และน้ำทิ้ง ได้ค่า COD เจือจาง คือ 23,283.36 mg/l เนื่องจากเป็นค่า COD ที่ดีที่สุด MLVSS ของจุลินทรีย์เท่ากับ 10,977.00 mg/l ระยะเวลาการทดลอง 38 day โดยทำการวัด CH₄, CO₂, O₂ และ H₂S พบว่า ในช่วงระยะเวลา 1 - 13 day มีปริมาณ CH₄ สูง ดังภาพที่ 4 a. และมีปริมาณ H₂S สูง ดังภาพที่ 4 b. ซึ่งก่อนเข้าระบบมี VFAs ประมาณ 1,110.39 mg/l ต่อมาในวันที่ 14 เป็นต้นไป CH₄ มีอัตราส่วนลดลง ดังภาพที่ 4 a. และระบบมีค่า H₂S ลดลง จากภาพที่ 4 c. ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุด 51.96 l/kg.COD ดังภาพที่ 4 a. อัตราการบรรเทารวมทุกสารอินทรีย์ 4.44 kg.COD/m³-day การทดลองชุดนี้ใช้ MLVSS เท่ากับ 10,977 mg/l มี CH₄ ในระบบมากที่สุด 48.10% และมีค่าน้อย

ที่สุด 3.40% ค่า COD เริ่มต้นที่ให้ CH_4 สูงสุด คือ 27,633.20 mg/l อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 4.01 kg.COD/m³-day มี CH_4 สูงสุดอยู่ที่ 55.50% ดังตารางที่ 5

การทดสอบทางสถิติ One - Way ANOVA แบบ Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุดของการทดลองครั้งที่ 1 2 และ 3

จากผลการทดสอบทางสถิติ One - Way ANOVA แบบ Tukey's HSD test พบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละครั้งการทดลอง มีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4 ได้ค่า Sig. = 0.00 หรือ น้อยกว่า 0.05 (Sig. < 0.05) ซึ่งแตกต่างจากทุกสภาวะ โดยพบว่า ก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด คือ ค่า COD 25,687.20 mg/l ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุด 0.14 m³/kg.COD เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ จากน้ำเสียกากส่า

การเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียกากส่า ในการทดลองแบบกะ (Batch) และแบบต่อเนื่อง (Continuous)

จากตารางที่ 5 พบว่าการทดลองครั้งที่ 2 ใช้ปริมาณของถังปฏิกรณ์ขนาด 6 l ได้ปริมาณของก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุด เท่ากับ ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุด 0.14 m³/kg.COD มีค่า OLR 3.96 kg.COD/m³-day ระยะการทดลอง 50 day ประสิทธิภาพการกำจัด COD 78.12% จากงานวิจัยของ Chanpalakorn [10] ได้ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และการกำจัด COD จากน้ำเสียกากส่า โดยใช้ระบบบำบัดแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ขนาด 20 l พบว่าค่าที่ดีที่สุด คือ COD 15,000 mg/l ได้ก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด 0.41 m³/kg COD และประสิทธิภาพการกำจัด COD เท่ากับ 67% [10] เมื่อเปรียบเทียบกับทดลองครั้งที่ 2 พบว่าได้ก๊าซชีวภาพสะสมมากกว่าถึง 2.93 เท่า เนื่องจากขนาดถังที่ใหญ่กว่าถึง 3.33 เท่า จากการศึกษา Xiangwen [11] ได้ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AnSBR ขนาด 45 l โดยทำการเจือจาง COD ให้ได้เท่ากับ 5,000 mg/l และควบคุมอุณหภูมิที่ 33 °C พบว่าประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.48 m³/kg COD และประสิทธิภาพการกำจัด COD ถึง 90% [11] เมื่อเปรียบเทียบกับทดลองครั้งที่ 2 พบว่าได้ก๊าซชีวภาพสะสมมากกว่าถึง 3.43 เท่า เนื่องจากขนาดถังที่ใหญ่กว่าถึง 7.5 เท่า จากการศึกษาของ Sarker [12] ใช้กากส่าร่วมกับมูลวัว พบว่า pH 7.81 ได้ปริมาณ CH_4 สูงสุด 0.22 m³/kg VS [12] และจากการศึกษา Sumaeth [13] ได้ใช้ระบบหมักเป็นแบบระบบตัวกลางกรอง - ยูเอเอสบีสองขั้นตอนแบบอุณหภูมิสูง ขนาด 55 l ควบคุมอุณหภูมิที่ 55 °C OLR 6.38 kg.COD/m³-day มีก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุดถึง 0.1 m³/kg COD และประสิทธิภาพการกำจัด COD 52.00% [13] เมื่อเปรียบเทียบกับทดลองครั้งที่ 2 พบว่าได้ก๊าซชีวภาพสะสมน้อยกว่า 1.4 เท่า จากการศึกษาของ Nery [20] ใช้ระบบ UASB ขนาด 60 l ระยะเวลาการทดลอง 700 day โดยใช้อัตราการหมุนเวียนน้ำเข้าและน้ำออก คือ 1 : 3 มีค่า COD 19,220 mg/l ได้ก๊าซชีวภาพสะสม 0.23 m³/kg COD [20] เมื่อเปรียบเทียบกับทดลองครั้งที่ 2 พบว่าได้ก๊าซชีวภาพสะสมมากกว่าถึง 1.64 เท่า เนื่องจากขนาดถังที่ใหญ่กว่าถึง 10 เท่า จากการศึกษาของ Mailin [21] ใช้น้ำเสียกากส่าทำการเพิ่มก๊าซชีวภาพ ทำการทดลองแบบกึ่งต่อเนื่อง ขนาด 50 l มีค่า COD 284.50 g/kg ได้ก๊าซชีวภาพสะสม 0.37 m³/kg COD และประสิทธิภาพการกำจัด COD 64.00% [21] เมื่อเปรียบเทียบกับทดลองครั้งที่ 2 พบว่าได้ก๊าซชีวภาพสะสมมากกว่า 2.64 เท่า เนื่องจากขนาดถังที่ใหญ่กว่าถึง 8.33 เท่า จากการศึกษาของ Barros [22] ทำการทดลองการเพิ่มก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียกากส่า แบบระบบ UASB ทำการทดลอง 140 day ใช้ขนาดถัง 40.50 l มีค่า COD 15,344 mg/l ได้ก๊าซชีวภาพสะสม 0.19 m³/kg COD [22] เมื่อเปรียบเทียบกับทดลองครั้งที่ 2 พบว่าได้ก๊าซชีวภาพสะสมมากกว่า 1.36 เท่า เนื่องจากขนาดถังที่ใหญ่กว่าถึง 6.75 เท่า จากการทดลองของ Moraes [23] ใช้เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง (CSTR) โดยใช้กากส่าร่วมกับปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 3% เพื่อเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่าใช้ถังขนาด 20 l มีค่า COD 421,600 mg/l ได้ก๊าซชีวภาพสะสม 0.27 m³/kg COD [23] เมื่อเปรียบเทียบกับทดลองครั้งที่ 2 พบว่าได้ก๊าซชีวภาพสะสมมากกว่า 1.93 เท่า เนื่องจากขนาดถังที่ใหญ่กว่าถึง 3.33 เท่า จากการทดลองของ Syaichurrozi [24] พบว่าใช้ถังขนาด 5 l มีค่า

COD 268,647 mg/l ได้ก๊าซชีวภาพสะสม 0.14 m³/kg COD [24] เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองครั้งที่ 2 พบว่าได้ก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากัน จากงานวิจัยอื่น พบว่าเมื่อขนาดถังเพิ่มขึ้นปริมาณของก๊าซชีวภาพก็เพิ่มขึ้นตามขนาดของถังไปด้วย [20 - 23] และพบว่าเมื่อใช้ขนาดถังในปริมาณใกล้เคียงกัน ทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกันไปด้วย [24]

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของน้ำเสียจากส้วมต่อปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ พบว่าค่า COD ที่เกิดก๊าซชีวภาพมากที่สุด คือ ค่า COD อยู่ในช่วง 25,000 - 35,000 mg/l และค่า OLR อยู่ในช่วง 3.50 - 4.70 kg.COD/m³-day ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในระบบให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพ การควบคุมระบบใช้ F/M ratio เท่ากับ 0.5 เมื่อค่า COD อยู่ในช่วง 25,000 - 35,000 mg/l พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด COD มีมากกว่า 70.00%

การทดลอง ครั้งที่ 1 ค่า COD 17,200.00 24,000 35,400 41,200 และ 72,000.00 mg/l พบว่าค่า COD 35,400.00 mg/l ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุด 0.14x10⁻² m³/kg.COD ที่ระยะเวลาการทดลอง 49 day มีประสิทธิภาพการกำจัด COD เท่ากับ 94.73% การทดลองครั้งที่ 2 ค่า COD 25,687.20 27,633.20 และ 29,579.20 mg/l พบว่าค่า COD 25,687.20 mg/l ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุด 0.14 m³/kg.COD ที่ระยะเวลาการทดลอง 50 day ในช่วงระยะเวลา 1 - 26 day มี CH₄ ต่ำ (อยู่ในช่วง 2 - 20%) แต่ระบบกลับมี H₂S ที่สูง (อยู่ในช่วง 1,000 - 3,000) ต่อมาในวันที่ 28 เป็นต้นไป ค่า CH₄ มีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นถึง 52.00% และ H₂S ลดลงถึง 2.00% พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัด COD 78.12, 67.79 และ 81.83 % ตามลำดับ และการทดลองครั้งที่ 3 ค่า COD 23,283.36 mg/l ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 0.05 m³/kg.COD ที่ระยะเวลาการทดลอง 38 day พบว่า ในช่วงระยะเวลา 1 - 13 day มี CH₄ สูง และมีปริมาณอัตราส่วน H₂S ที่ต่ำ ต่อมาในวันที่ 14 เป็นต้นไป CH₄ และ H₂S มีอัตราส่วนลดลง มี CH₄ ในระบบมากที่สุด 48.10% และค่าน้อยที่สุด 3.40% พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัด COD 74.67 %

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก “One Research One Graduate (OROG)” ปีการศึกษา 2/2560 สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ ผศ.ดร.นิธยา บุญเทียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนและให้คำปรึกษาในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ขอขอบพระคุณบริษัท สเตปไวส์ เอ็นเนอร์ยี แมเนจเม้นท์ จำกัด ที่อนุเคราะห์น้ำเสียจากส้วม และบริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด จังหวัดนครราชสีมา ที่อนุเคราะห์จุลินทรีย์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Kasetsart Agricultural and Agro- Industrial Product Improvement Institute. Utilization of waste from ethanol production To add value. 2006; Kasetsart University. Thai.
2. Duangkheaw P. Treatment of distillery slop by hybrid reactor: Upflow anaerobic sludge blanket (UASB) and anaerobic filter (AF) [MSc thesis]. Bangkok: Mahidol University; 2002. Thai.
3. Tanthunwet M. Industrial wastewater treatment technology. Bangkok: Chulalongkorn university. 1999; 2. Thai.
4. Wheatley AD, Fisher MB, Grobicki AMW. Applications of Anaerobic Digestion for the Treatment of Industrial Wastewater in Europe. Water and Environ J. 1997; 11: 39-46.

5. Department of industrial works [Internet]. 2018. Information industrial : <http://www.diw.go.th>. Thai.
6. Nakornping, Energy Research and Development Institute, 2010; Chiang Mai Universit. Thai.
7. Pollution Control Department. Manual Anaerobic Wastewater Treatment. Volume 1 . 2003a; Bangkok. Thai.
8. Pollution Control Department . Manual Anaerobic Wastewater Treatment. Volume 2. 2003b; Bangkok. Thai.
9. Yubolsai C. Treatment of mixed wastewater consisting of vinasses and sugar factory wastewater by anaerobic treatment process [MSc thesis]. Khon Kaen: Khon Kaen University. 2013. Thai.
10. Chanpalakorn C. Effect of cod loading rate on biogas production from distillery slop wastewater by anaerobic baffled reactor. Chulalongkorn university. 2008; 101. Thai.
11. Xiangwen S, Dangcong P, Zhaohua T, Xinghua J. Treatment of brewery wastewater using anaerobic sequencing batch reactor (ASBR). *Bioresour. Technolo.* 2008; 99: 3182–3186.
12. Sarker S, Møller HB. Regulating feeding and increasing methane yield from co-digestion of C₅ molasses and cattle manure. *Energy Conversion and Management.* 2014; 84: 7–12.
13. Sumaeth C. Two-stage thermophilic filter-UASB system for distillery waste treatment and biogas production. Chulalongkorn university. 1997. Thai.
14. Choosuwan P. Alternative : Raise of biogas production efficiency and treatment of distillery slop by increasing return flow rate and upflow velocity of UASB [MSc thesis]. Bangkok: Kasetsart University. 2007. Thai.
15. Jiranuntipon S. Decolorization of molasses wastewater from distilleries using bacterial consortium [PhD thesis]. Bangkok: Chulalongkorn university. 2008; 183. Thai.
16. APHA, AWWA, WPCF, Eaton AD, Franson M. Ann H., Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington DC. USA. 2005.
17. Wittawat T, Chatchaval A. Performance of a Novel Anaerobic Reactor for Treatment of Tapioca Wastewater, The 12 th National Graduate Research Conference. 2009. Thai.
18. Department of industrial works, Work manual on production design, quality control And the use of biogas for industrial plants. 2010; 1-346. Thai.
19. Metcalf R, Eddy MA. Wastewater engineering - treatment and reuse. 4th ed. 2004.
20. Nery VD, Alves I, Helena M, Damianovic RZ, Pires EC. Hydraulic and organic rates applied to pilot scale UASB reactor for sugar cane vinasse degradation and biogas generation, *Biomass and Bioenergy.* 2018; 199: 411–417.
21. Mailin L, González L, Reyes IP, Romero OR. Anaerobic co-digestion of sugarcane press mud with vinasse on methane yield. *Waste Management.* 2017; 68: 139–145.
22. Barros VG, Duda RM, Oliveira RA. Biomethane production from vinasse in upflow anaerobic sludge blanket reactors inoculated with granular sludge. *Brazilian journal of microbiology.* 2016; 47: 628–639.
23. Moraes BS, Triolo JM, Lecona VP, Zaiat M, Sommer SG. Biogas production within the bioethanol production chain: Use of co-substrates for anaerobic digestion of sugar beet vinasse. *Bioresource Technology.* 2015; 190: 227–234.
24. Syaichurrozi I, Budiyo, Sumardiono S. Predicting kinetic model of biogas production and biodegradability organic materials: Biogas production from vinasse at variation of COD/N ratio. *Bioresource Technology.* 2013; 149: 390–397.

ตารางที่ 1 ผลการทดลองน้ำในบ่อ Collecting Pond (CP) และน้ำทิ้ง ของค่า COD ในช่วง 17,200.00 - 72,000.00 mg/l

พารามิเตอร์	Collecting Pond (CP)	น้ำทิ้ง	ประสิทธิภาพ %	มาตรฐานน้ำทิ้ง
1. pH	4.10	7.61	-	5.50-9.00
2. COD (mg/l)	72,000.00	14,000.00	80.50	ไม่เกิน 120
3. TKN (mg/l)	1,796.20	1,535.80	14.50	ไม่เกิน 120
4. TP (mg/l)	495.83	391.67	21.00	-
5. VFAs (mg/l)	7,794.78	267.51	-	-
6. Alkalinity (mg/l)	28,750.00	21,250.00	-	-

ตารางที่ 2 ผลการทดลองน้ำในบ่อ Collecting Pond (CP) และน้ำทิ้ง ของค่า COD ในช่วง 25,687.20 - 29,579.20 mg/l

พารามิเตอร์	Collecting Pond (CP)	บ่อกวนผสม (mix)	น้ำทิ้ง	ประสิทธิภาพ %	มาตรฐานน้ำทิ้ง
1. pH	4.33	6.67	7.56	-	5.50-9.00
2. COD (mg/l)	106,329.40	53,164.72	34,366.36	35.36	ไม่เกิน 120
3. Alkalinity (mg/l)	11,666.67	10,833.33	10,000.00	-	-
4. TP (mg/l)	2,162.67	2,453.50	1,953.17	20.39	-
5. TKN (mg/l)	1,540.00	4,487.00	2,485.00	44.62	ไม่เกิน 120
6. Reducting sugar (mg/l)	28.88	23.83	21.84	-	-
7. VFAs (mg/l)	658.44	463.64	202.60	-	-
8. TSS (mg/l)	4,795.33	4,724.67	3,558.00	24.69	ไม่เกิน 50
9. TDS (mg/l)	88,078.00	51,238.67	43,006.67	16.07	ไม่เกิน 3,000
10. Sulfate (mg/l)	7,851.27	2,490.18	1,852.20	25.62	ไม่เกิน 200

ตารางที่ 3 ผลการทดลองน้ำในบ่อ Collecting Pond (CP) และน้ำทิ้ง ของค่า COD 23,283.36 mg/l

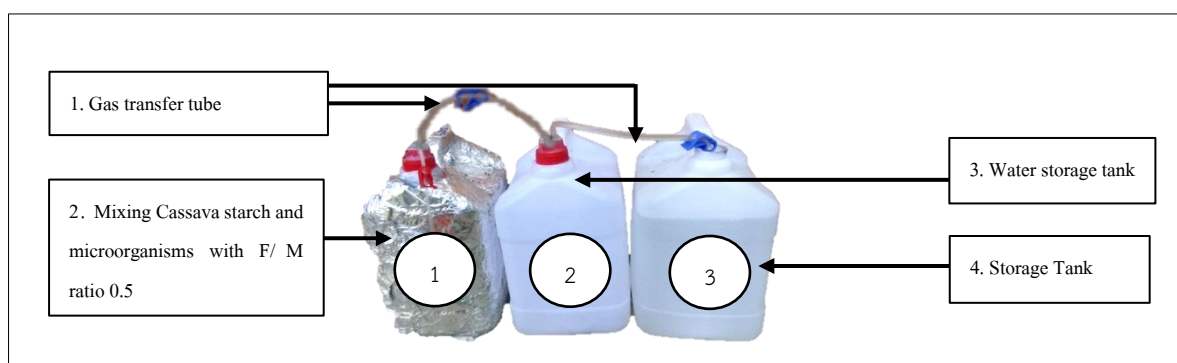
พารามิเตอร์	Collecting Pond (CP)	บ่อกวนผสม (mix)	น้ำออก	ประสิทธิภาพ %	มาตรฐานน้ำทิ้ง
1. pH	4.39	7.33	7.56	-	5.50-9.00
2. COD (mg/l)	104,880.00	45,448.00	42,860.96	5.69	ไม่เกิน 120
3. Alkalinity (mg/l)	17,083.33	18,750.00	14,250.00	-	-
4. TP (mg/l)	731.00	564.33	489.33	13.29	-
5. TKN (mg/l)	756.00	833.00	1,071.00	น้ำออก > น้ำบ่อกวนผสม	ไม่เกิน 120
6. Reducting sugar (mg/l)	30.08	23.69	21.21	-	-
7. VFAs (mg/l)	13,383.12	1,909.00	1,071.43	-	-
8. TSS (mg/l)	17,409.50	2,461.00	14,358.00	น้ำออก > น้ำบ่อกวนผสม	ไม่เกิน 50
9. TDS (mg/l)	79,037.50	43,230.00	29,520.00	29.40	ไม่เกิน 3,000

ตารางที่ 4 การทดสอบทางสถิติ One - Way ANOVA แบบ Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุดของการทดลองครั้งที่ 1 2 และ 3

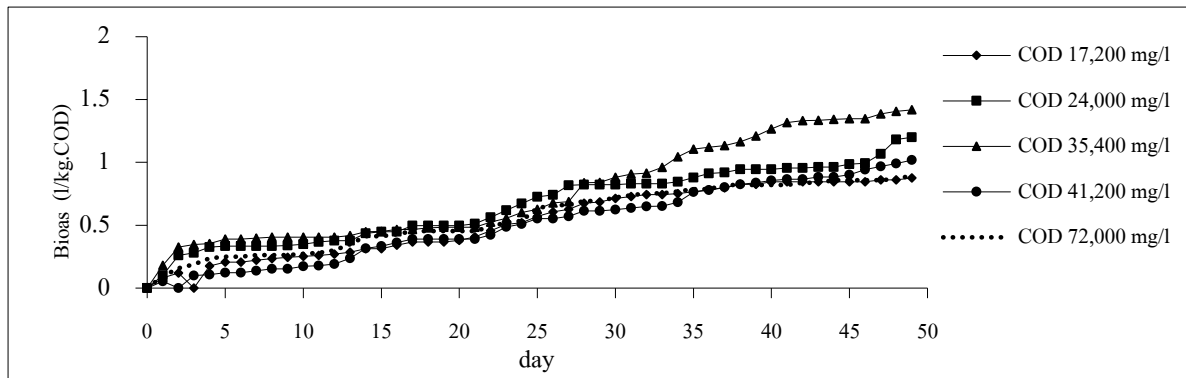
Tukey TSD		Sig. (α)
การทดลอง	การทดลองคู่เปรียบเทียบ	
35,400.00	25,687.20	0.00
	23,283.36	0.00
25,687.20	35,400.00	0.00
	23,283.36	0.00
23,283.36	35,400.00	0.00
	25,687.20	0.00

ตารางที่ 5 ก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียกากส่า ในการทดลองแบบกะ (Batch) และแบบต่อเนื่อง (Continuous)

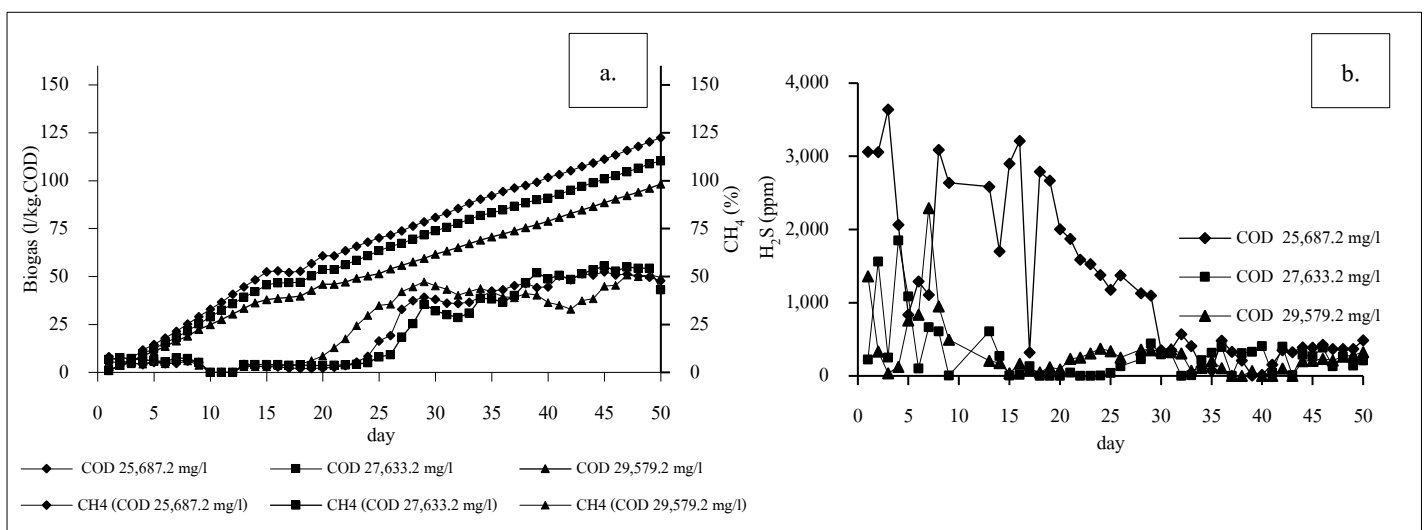
Researcher	Type	Volume (l)	Duration (day)	COD (mg/l)	OLR (kg.COD/m ³ -day)	COD removal (%)	Gas _{Total} (m ³ /kg.COD)
1. This Study	Batch	1.5	49	35,400.00	4.60	94.73	0.14x10 ⁻²
2. This Study	Batch	6	50	25,687.20	3.96	78.12	0.14
3. This Study	Batch	6	38	23,283.36	4.44	74.67	0.05
4. Chanpalakorn [10]	Continuous	20	4	15,000.00	3.78	67.00	0.41
5. Xiangwen [11]	Continuous	45	1	5,000.00	5.00	90.00	0.48
6. Sarker [12]	Continuous	-	69	-	-	-	0.22
7. Sumaeth [13]	Continuous	6.80	-	90,000.00	-	52.00	0.10
8. Nerry [20]	Continuous	60	700	19,220.00	32.40	76.40	0.23
9. Mailin [21]	Continuous	50	29	284,500.00	2.20	64.00	0.37
10. Barros [22]	Continuous	40.50	140	15,344.00	6.25	81.00	0.19
11. Moraes [23]	Batch	20	100	421,600.00	2.00	-	0.27
12. Syaichurrozi [24]	Batch	5	60	268,647.00	-	38.09	0.14



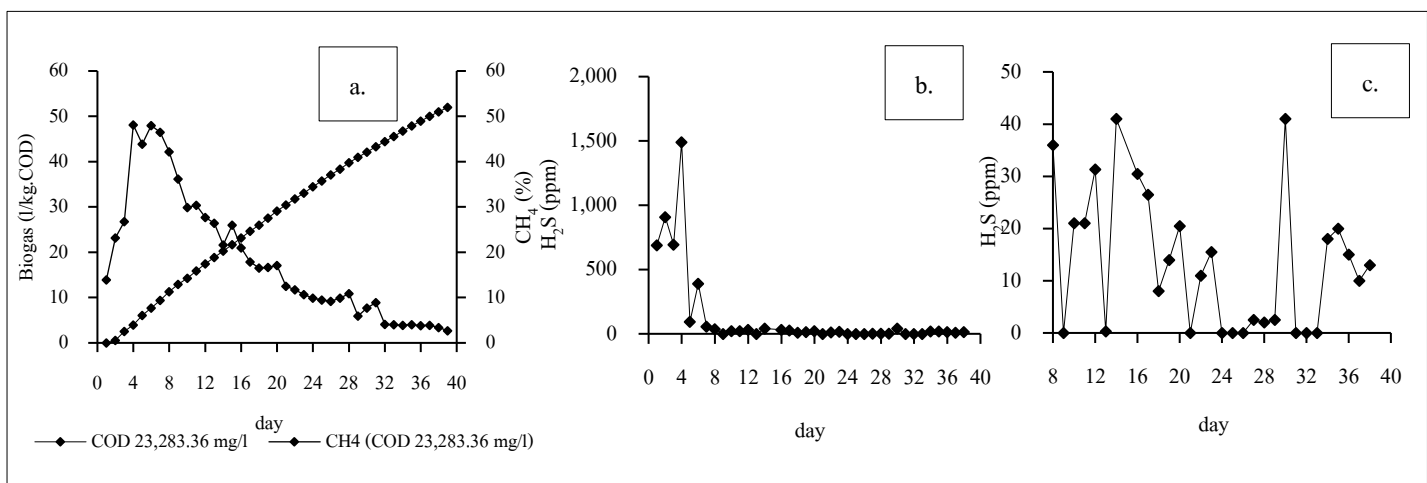
ภาพที่ 1 ถังปฏิกรณ์จำลอง ขนาด 6 l



ภาพที่ 2 การทดลองครั้งที่ 1 ค่า COD 17,200.00 24,000 35,400 41,200 และ 72,000.00 mg/l เพื่อหาค่า COD ที่เหมาะสมของปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (l/kg.COD)



ภาพที่ 3 การทดลองครั้งที่ 2 ค่า COD 25,687.20 27,633.20 และ 29,579.20 mg/l, a. ปริมาณ Biogas (l/kg.COD) และ CH₄ (%), b. ปริมาณ H₂S (ppm)



ภาพที่ 4 การทดลองครั้งที่ 3 ค่า COD 23,283.36 mg/l, a. ปริมาณ Biogas (l/kg.COD) และ CH₄ (%), b. ช่วงปริมาณ H₂S (ppm) วันที่ 1 - 38, c. ช่วงปริมาณ H₂S (ppm) วันที่ 8 - 38