

อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ที่ผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียมูลสุกร ภายในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Food per Microorganism (F/M ratio) to Pig Manure Wastewater Biogas Production at Suranaree University of Technology Farm

ศักรินทร์ พงษ์ศักดิ์ (Sakkarin Pongsak)¹* นัตริลดา เพ็ชช้าย (Chatlada Piasai)*

ชั้นยัชฌก พรดอน (Thunchanok Porndon)* ดร.นิตยา บุญเทียน (Dr.Nittaya Boontian)**

โมฮัมหมัด เพตรี (Mohamad Padri)***

(Received: June 6, 2019; Revised: October 2, 2019; Accepted: October 7, 2019)

บทคัดย่อ

อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food per Microorganism, F/M ratio) ที่ผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุดจากน้ำเสียมูลสุกร ศึกษาที่ F/M Ratio 0.50 1.00 1.50 และ 2.00 day⁻¹ ระยะเวลาเก็บกัก (Hydraulic Retention Time) 20 days ทำการทดลองแบบกะ (Batch test) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.0% พบว่าปริมาณแก๊สชีวภาพมีค่าไม่แตกต่างกัน ($\alpha > 0.05$) จึงเลือก F/M Ratio 0.50 day⁻¹ ที่อัตราภาระบรรสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) 11.7 kg.COD/m³-day ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) 16.3 และ C : N : P 100 : 6.10 : 0.63 เนื่องจากสามารถผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุด 4.33 m³/kg.COD จากน้ำเสียมูลสุกรน้อยที่สุด และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) สูงสุด (79.2%)

ABSTRACT

This study was aimed to determine the optimum Food per Microorganism (F/M ratio) for biogas production from pig manure wastewater. F/M ratio was varied from 0.50 to 2.00 day⁻¹ with 20-days Hydraulic Retention Time in batch test experiment. Statistical analysis of One-way ANOVA at the 95.0% confidence level revealed that biogas volume was significantly not different ($\alpha > 0.05$). The result suggested that the F/M Ratio 0.50 day⁻¹ Organic Loading Rate 11.7 kg.COD/m³-day at carbon-to-nitrogen ratio (C/N ratio) 16.3 and C : N : P at 100 : 6.10 : 0.63 could produce optimum biogas volume of 4.33 m³/kg.COD from pig manure wastewater with the efficiency Chemical Oxygen Demand removal (79.2%).

คำสำคัญ : น้ำเสียมูลสุกร อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ แก๊สชีวภาพ

Keyword : Biogas, Pig manure wastewater, Food per Microorganism

¹Corresponding author: sukuruin@gmail.com

*นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

***นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทนำ

อัตราส่วนสารอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food per Microorganism, F/M ratio) คือ สัดส่วนปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบ เป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดน้ำเสียนั้นมีสภาพอย่างไร ทำให้เกิดความสมดุลของสารอินทรีย์กับจุลินทรีย์ (Food per Microorganism, F/M ratio) ค่าที่เหมาะสมกับระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศอยู่ที่ $0.20 - 0.60 \text{ day}^{-1}$ [1] ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการบำบัดและการผลิตแก๊สชีวภาพ กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศต้องอาศัยแบคทีเรียในกลุ่มผลิตกรด (Acid-forming bacteria) ย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้น Hydrolysis ผลที่ได้คือกรดไขมันที่ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids, VFAs) ในรูป แอซิเตต (Acetate) โดยแบคทีเรียกลุ่มผลิตแก๊สมีเทน (Methane-producing bacteria) สามารถนำมาใช้ผลิตแก๊สชีวภาพได้ในขั้น Methanogenesis [2] ค่า C : N : P ที่เหมาะสมในระบบผลิตแก๊สชีวภาพคือ $100 : 1.10 : 0.20$ [3] และค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่เหมาะสมคือ $8.00 - 30.0$ แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตแก๊สชีวภาพคือประมาณ 23.0 [4] ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก ไนโตรเจนจะถูก Methane-producing bacteria นำไปใช้เพื่อเสริมโปรตีนให้ตัวเองและจะหมดอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ได้แก๊สน้อย แต่ถ้าหาก C/N Ratio ต่ำมากเกินไป ไนโตรเจนมีมากเกินไปและไปเกาะกันเป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียจะไปเพิ่มค่า pH ซึ่งถ้าหากค่า pH สูงถึง 8.50 ก็จะเริ่มเป็นพิษกับ Methane-producing bacteria ทำให้มีจำนวนลดลง [4]

โดยการศึกษางานวิจัยอื่น ๆ พบว่ามีการใช้ค่า F/M ratio ที่ต่างกันดังนี้ Kafil [5] ศึกษาการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของน้ำเสียกะหล่ำปลีจลินท์ร่วมกับมูลสุกร ที่อัตราส่วน กะหล่ำปลีจลินท์ : มูลสุกร ($25.0 : 75.0$) ศึกษาผลของ F/M ratio $2.00 \ 3.20 \ 4.90 \text{ day}^{-1}$ ที่ HRT 32 days ทำการทดลองแบบกะ ขนาดถังปฏิกรณ์ 2.00 l พบว่าที่ F/M ratio 2.00 และ 3.20 day^{-1} มีปริมาณแก๊สชีวภาพเกือบจะเท่ากัน แต่เมื่อค่า F/M ratio เพิ่มขึ้นเป็น 4.90 day^{-1} ปริมาณแก๊สชีวภาพลดลง 14.0% ดังนั้นค่า F/M ratio 2.00 day^{-1} เป็นค่าที่ดีที่สุดที่มีปริมาณแก๊สชีวภาพสูงสุด $0.22 \text{ m}^3/\text{kg.VS}$ อีกทั้งทำการทดลองแบบกะเช่นเดียวกับ Kafil [6] การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมูลสัตว์ และศึกษาศึกษาสภาพทางการผลิตแก๊สมีเทนโดยใช้แบบจำลองทางสถิติที่แตกต่างกัน ศึกษามูลสัตว์ได้แก่ มูลม้า มูลแพะ มูลไก่ และมูลสุกร ทำการทดลองแบบกะ ปริมาตรถังปฏิกรณ์ 0.20 l พบว่ามูลสุกร ที่ F/M ratio 0.50 day^{-1} และ C/N ratio ที่ 12 ตามลำดับ มีปริมาณแก๊สชีวภาพสูงสุด $0.50 \text{ m}^3/\text{kg.VS}$ การกำจัด COD สูงสุด 41.1% และ Nazrul [7] ศึกษาการผลิตแก๊สมีเทนในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนตามอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์สำหรับกรรมกร่วมระหว่างเศษอาหารกับมูลสุกร ทำการทดลองแบบกะ ศึกษาที่ F/M ratio $0.50 \ 0.72 \ 1.14 \ 1.50 \ 2.14$ และ 3.41 day^{-1} ศึกษาที่อัตราส่วน เศษอาหาร : มูลสุกร ที่ $100\% : 0\%$ $60\% : 40\%$ และ $40\% : 60\%$ พบว่าที่ F/M ratio 0.50 day^{-1} อัตราส่วน เศษอาหาร : มูลสุกร ที่ $40\% : 60\%$ มีผลผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุดที่ $1.15 \text{ m}^3/\text{kg.VS}$ ต่อมา Kafil [8] ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยการหมักร่วมกันระหว่างแอปเปิ้ลและมูลสุกร โดยทำการทดลองระบบแบบกะ ทดลอง 2 แบบคือที่ F/M ratio 0.50 day^{-1} ศึกษาอัตราส่วน แอปเปิ้ล : มูลสุกร ที่ $100 : 0$ และ $0 : 100$ (ที่อุณหภูมิ 55°C) และที่ F/M ratio 1.00 day^{-1} ศึกษา แอปเปิ้ล : มูลสุกร ที่ $0 : 100 \ 33 : 67$ และ $33 : 67$ (ที่อุณหภูมิ 55°C) ตามลำดับ ศึกษาที่ C/N ratio 2.70 พบว่าที่ F/M ratio 1.00 day^{-1} อัตราส่วน แอปเปิ้ล : มูลสุกร ที่ $33 : 67$ มีปริมาณแก๊สชีวภาพสูงสุดที่ $0.51 \text{ m}^3/\text{kg.COD}$ และมีประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงสุดที่ 86.0% ซึ่ง F/M ratio เท่ากันกับ Kafil [9] ศึกษาการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมูลสุกรที่อุณหภูมิ Mesophilic ทำการทดลองแบบกะ ปริมาตรถังปฏิกรณ์ 2.00 l ศึกษาที่ F/M ratio 1.00 day^{-1} ที่อุณหภูมิ 36.5°C ศึกษาที่ C/N ratio 4.20 ปริมาณแก๊สชีวภาพสูงสุด $0.75 \text{ m}^3/\text{kg.VS}$ การกำจัด COD สูงสุด 85.0% ในงานวิจัยของ Pantuwongrat [10] ศึกษาผลกระทบของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อสมรรถนะของระบบอีจีเอสบี (Expanded

Granular Sludge Bed, EGSB) ปริมาตรถังปฏิกรณ์ 39.3 l ที่ HRT 85 days ศึกษา F/M ratio ที่ 1.08 1.28 1.53 และ 1.84 day⁻¹ และ OLR 20.3 32.3 40.9 และ 50.0 kg.COD/m³-day ตามลำดับ พบว่า F/M ratio 1.84 day⁻¹ ที่ OLR 20.3 kg.COD/m³-day ค่า C/N ratio 13.1 และ C : N : P คือ 100 : 6.50 : 2.50 มีปริมาณแก๊สชีวภาพสูงสุด 0.10 m³/kg.COD และการกำจัด COD สูงสุด 86.1% อีกทั้งยังศึกษา F/M ratio ในช่วงเดียวกันกับ Siddique [11] ศึกษาอิทธิพลของ F/M ratio ต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและมูลสัตว์ ทำการทดลองแบบ Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) ศึกษา F/M ratio 0.25 0.5 0.75 1.00 1.25 1.75 และ 2.00 day⁻¹ ตามลำดับ ค่า C/N ratio ที่ 10.9 พบว่า F/M ratio 2.00 day⁻¹ มีปริมาณแก๊สชีวภาพสูงสุดที่ 0.86 m³/kg.VS ศึกษา F/M ratio ทำนองเดียวกับ Miao [12] ศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากการหมักร่วมกันของสาหร่ายสีน้ำเงิน จากทะเลสาบไท่หูกับมูลสุกร ทำการทดลองแบบกะ ขนาดถังปฏิกรณ์ 5 l ศึกษา F/M ratio ที่ 0.50 1.00 2.00 และ 3.00 day⁻¹ พบว่า F/M ratio 2.00 day⁻¹ ที่ C/N ratio 8.58 และ C : N : P ที่ 100 : 11.68 : 0.31 มีปริมาณแก๊สชีวภาพสูงสุด 0.21 m³/kg.VS และ งานวิจัย Chaiprasert [13] ศึกษาประสิทธิภาพของสารตั้งต้นแบบไร้ออกซิเจนสำหรับการผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียประเภทต่าง ๆ การทดลองน้ำเสียจากมูลสุกร ทำการทดลองแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi – Continuous) ปริมาตรถังปฏิกรณ์ 1 l ที่ HRT 35 days ศึกษา F/M ratio 0.30 day⁻¹ และ C/N ratio ที่ 24.3 ค่า OLR 2.00 kg.COD/m³-day มีปริมาณแก๊สชีวภาพสูงสุดที่ 0.06 m³/kg.VS และการกำจัด COD สูงสุด 76.0%

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นมีค่า F/M ratio ที่ต่างกันส่งผลให้เกิดปริมาณแก๊สชีวภาพที่แตกต่างกัน และนอกจากนี้ค่า F/M ratio ไม่มีค่าเฉพาะเจาะจงสำหรับการผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียมูลสุกร งานวิจัยนี้จึงศึกษาค่า F/M ratio ที่สามารถผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุดและมีประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงสุด จากน้ำเสียมูลสุกรภายในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนสารอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food per Microorganism) ที่สามารถผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุดและมีประสิทธิภาพกำจัดสารอินทรีย์สูงสุดในรูปของซีโอดี จากน้ำเสียมูลสุกรภายในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิธีการวิจัย

1) ศึกษาลักษณะทางเคมีของน้ำเสียมูลสุกร และแบคทีเรีย

1.1) เก็บตัวอย่างมูลสุกรจากฟาร์มของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยทำการผสมตัวอย่างให้เข้ากันแบบสุ่ม 1 ฟาร์มที่ตรวจวัด ได้แก่ ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) VFAs และ Alkalinity แสดงดังตารางที่ 1 วิเคราะห์ผลตาม Standard method for examination of water and wastewater (APHA) [14]

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของน้ำเสียมูลสุกร

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์
COD (mg/l)	20,267
Alkalinity (mg/l as CaCO ₃)	1,666.7
VFAs (mg/l)	896.00

จาก ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของน้ำเสียมูลสุกร ค่า COD 20,267 ในกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ในรูป COD เป็นก๊าซมีเทนด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไร้ออกซิเจนเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็ก [15] ในรูป VFAs มีค่า 896.00 mg/l มีความสำคัญในการตรวจสอบสมดุลของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ อยู่ในรูปของ Acetic acid Propionic acid และ Lactic acid และอื่น ๆ ผลผลิตเหล่านี้เป็นสารตัวกลางส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศของแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดอีกทั้งยังเป็นสารอาหารให้ Methane-producing bacteria คือ Acetic acid [16] พารามิเตอร์ควบคุมระบบที่สำคัญคือ Alkalinity มีค่า 1,666.7 mg/l CaCO_3 จะเป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบผลิตแก๊สชีวภาพเพราะมีแนวโน้มจะเป็นกรดได้ง่ายมีค่าประมาณ 1,000 – 5,000 mg/l as CaCO_3 และ VFAs ที่ถูกสร้างจาก Acid-forming bacteria ซึ่งจะถูกลำเลียงไปใช้โดย Methane-producing bacteria ถ้าระบบมีค่ามากเกินไปจะทำให้ pH ลดลง ทำให้อันตรายต่อ Methane-producing bacteria โดย pH ในระบบผลิตแก๊สชีวภาพควรมีค่า pH 7 ค่า VFAs/Alkalinity ในระบบผลิตแก๊สชีวภาพควรมีค่าต่ำกว่า 0.4 [17] มูลสุกรจึงมีความเหมาะสมการนำมาผลิตแก๊สชีวภาพและพารามิเตอร์ในระบบต้องอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ

1.2) แบคทีเรียที่ใช้ในระบบผลิตแก๊สชีวภาพมี 2 ประเภท (1) Acid-forming bacteria นำมาแบคทีเรียจากบ่อหมักสภาวะกรด และ (2) Methane-producing bacteria นำมาจากบ่อผลิตแก๊สชีวภาพ โดยทำการศึกษาลักษณะทางเคมีของแบคทีเรียทั้ง 2 ประเภท ซึ่ง Acid-forming bacteria เป็นกลุ่มแบคทีเรียในกลุ่มผลิตกรด แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ Acidogenic bacteria และ Acitogenic Bacteria ซึ่งจะย่อยสลายสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูป VFAs พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ได้แก่ COD มีค่า 10,667 mg/l และ VFAs มีค่า 831.17 mg/l สำหรับ Acid-forming bacteria ส่วน Methane-producing bacteria ซึ่งจะเปลี่ยน Acetate ไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงดัง Figure 2 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ ปริมาณสารอินทรีย์ระเหย (Mixed Liquid Volatile Suspended Solids, MLVSS) มีค่า 54,983 mg/l วิเคราะห์ผลตาม APHA [14]

2) ออกแบบชุดการทดลอง วิธีการทดลองและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.1) ออกแบบชุดการทดลองใช้ถังพลาสติกแข็งแรงรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 5 ลิ มีสายยางซิลิโคนเชื่อมต่อถึงหมักแก๊สชีวภาพกับอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาตรของแก๊สที่ผลิตได้ด้วยหลักการแทนที่น้ำ แสดงดัง ภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การทดลองแบบกะ ที่ effective volume 5 ลิ ระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน และใน 1 เซตประกอบด้วย 3 แกลงลอน : ถังปฏิกรณ์ ถังน้ำ และถังสะสมน้ำ

3) วิธีการทดลองและการวิเคราะห์ตัวอย่าง ผสมน้ำเสียมูลสุกรกับ Acid-forming bacteria ในอัตราส่วน 1 : 5 หมักให้ VFA ประมาณ 2,000 mg/l จากนั้นวิเคราะห์ TCOD, Alkalinity, VFAs จากการทดลองได้ค่า TCOD เท่ากับ 10,133 mg/l ค่า Alkalinity เท่ากับ 1,000 mg/l และ VFA เท่ากับ 1,948.1 mg/l เมื่อได้แล้วนำมาปรับ pH 7.00 จากนั้นนำ Methane-producing bacteria มาหาค่า MLVSS ได้ค่าเท่ากับ 54,983 mg/l นำ Methane-producing bacteria มาผสมให้เข้า

กันแบบสมบูรณ์ โดยทำการทดลองทั้งหมด 4 ค่า ดังต่อไปนี้ F/M Ratio 0.50 1.00 1.50 และ 2.00 day⁻¹ ตามลำดับ ที่ OLR 11.7 14.8 16.3 และ 17.1 kg.COD/m³-day ตามลำดับ แสดงดัง ตารางที่ 2 ค่า C : N : P ที่เหมาะสมในระบบผลิตแก๊สชีวภาพคือ 100 : 1.10 : 0.20 [3] และค่า C/N ratio ที่เหมาะสมคือ 8.00 – 30.0 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตแก๊สชีวภาพคือประมาณ 23.0 ค่า C/N ที่ใช้ตาม F/M ratio ต่าง ๆ คือ 16.3 19.1 20.0 และ 20.8 และ C : N : P ที่ใช้ตาม F/M ratio ต่าง ๆ คือ 100 : 6.10 : 0.63 100 : 5.25 : 0.72 100 : 5.00 : 0.72 และ 100 : 4.81 : 0.70

ตารางที่ 2 F/M ratios กับความสัมพันธ์ที่ OLR ต่าง ๆ

F/M Ratio (day ⁻¹)	OLR (kg.COD/m ³ -day)
0.50	11.7
1.00	14.8
1.50	16.3
2.00	17.1

ผลการวิจัย

1) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ

ประสิทธิภาพในการเดินระบบผลิตแก๊สชีวภาพที่ F/M ratio ต่าง ๆ ทำการวัดพารามิเตอร์ของตัวอย่างน้ำเข้าและออกจากระบบ ซึ่งโอดีทั้งหมด (Total Chemical Oxygen Demand, TCOD) VFAs Alkalinity ของแข็งทั้งหมด (Total solids, TS) ไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus, TP) แสดงดัง ตารางที่ 3 วิเคราะห์ผลตาม APHA [14]

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์น้ำเสียมูลสุกรที่เข้าและออกจากระบบ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน ผลิตแก๊สชีวภาพที่ F/M Ratio 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 day⁻¹

ประสิทธิภาพ (%)	F/M Ratio 0.50 (day ⁻¹)	F/M Ratio 1.00 (day ⁻¹)	F/M Ratio 1.50 (day ⁻¹)	F/M Ratio 2.00 (day ⁻¹)
TCOD	79.2	71.9	73.9	75.0
Alkalinity	64.0	63.6	61.1	63.0
TP	17.9	18.3	22.7	19.0
TS	85.7	88.6	88.4	88.2

จาก ตารางที่ 3 พารามิเตอร์น้ำเสียมูลสุกรที่เข้าและออกจากระบบ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน ผลิตแก๊สชีวภาพที่ F/M Ratio 0.50 1.00 1.50 และ 2.00 day⁻¹ นำประสิทธิภาพไปทดสอบทางสถิติ One-Way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อหาข้อมูลที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (sig > 0.05) ใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics V.16 การกำจัด

TCOD ที่ F/M ratio ต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกันการกำจัด TCOD สูงสุดอยู่ในช่วง 71.9 – 79.2% การกำจัด TP ที่ F/M ratio ต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกันพบว่าสูงสุดอยู่ในช่วง 17.9 – 22.7% การกำจัด TS ที่ F/M ratio ต่าง ๆ ไม่มีค่าแตกต่างกัน การกำจัดสูงสุดอยู่ที่ 85.7 – 88.6% พบว่าที่ F/M ratio 0.50 day⁻¹ มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัด TCOD สูงสุด 79.2% ประสิทธิภาพการกำจัด กำจัดพารามิเตอร์อื่น ๆ มีค่าสูงแต่ไม่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ แสดงดังตารางที่ 4 ผลของการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับงานวิจัยต่าง ๆ ที่ F/M ratio (day⁻¹) ต่าง ๆ จะได้ว่างานวิจัยนี้มีการกำจัด COD ที่น้อยกว่าแต่ก็ยังมีประสิทธิภาพสูงและยังสูงกว่างานวิจัยในระบบเดียวกันที่ F/M ratio เท่ากันอีกด้วย ส่วนการทดลองแบบต่อเนื่องการกำจัด COD ก็จะสูงตามไปด้วย จากการควบคุมสมดุลการหมักจะทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสารอินทรีย์ได้ดีย่อมจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าจากงานวิจัยนี้ที่ F/M ratio 0.50 day⁻¹ มีสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพมากที่สุดอยู่ที่เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ พบว่างานวิจัยนี้มีค่าสัดส่วนที่เหมาะสมมากกว่างานวิจัยอื่น ๆ ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงสุดและมีปริมาณแก๊สชีวภาพที่สูงอีกด้วย Alkalinity ในระบบผลิตแก๊สชีวภาพน้ำเสียจากมูลสุกรมีค่าสูงควรมี Alkalinity สูงอยู่ที่ 1,000 – 5,000 mg/l as CaCO₃ เพื่อระบบมีความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในระบบ [17] เพราะ Acid-forming bacteria จะผลิต VFAs ออกมาทำให้ระบบมีค่า pH ที่ลดลงถ้าหากลดลงต่ำกว่า 5 ก็จะหยุดกระบวนการย่อยและผลิตแก๊สชีวภาพทั้งหมดหรืออีกจะส่งผลต่อ Methane-producing bacteria [4] ในแก๊สชีวภาพจะมี CO₂ ซึ่งเมื่อรวมกับน้ำจะได้กรดคาร์บอนิก (H₂CO₃) ซึ่งจะทำให้ระบบมีค่า pH ที่ต่ำลงอีกด้วย ซึ่ง pH ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแก๊สชีวภาพคือระหว่าง 7.00 – 7.20 [16] แต่ในงานวิจัยนี้ระบบมีค่า Alkalinity ที่เหมาะสมอยู่ที่ 1,478 – 1,522 mg/l as CaCO₃ ทำให้มีประสิทธิภาพในการเดินระบบอีกทั้งยังมีปริมาณแก๊สชีวภาพที่สูงอีกด้วยงานวิจัยนี้ ค่า pH อยู่ในช่วง 7.02 – 7.37 โดยที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมการผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียมูลสุกร

จากตารางที่ 4 งานวิจัยนี้ได้สัดส่วน C/N ratio และ C : N : P ที่ F/M ratio 0.50 1.00 1.50 2.00 day⁻¹ ตามลำดับที่ C/N ratio 16.33 19.05 20.00 20.78 ตามลำดับ และ C : N : P ที่ 100 : 6.10 : 0.63 100 : 5.25 : 0.72 100 : 5.00 : 0.72 100 : 4.81 : 0.70 สำหรับค่า C : N : P ที่เหมาะสมกับระบบผลิตแก๊สชีวภาพคือ 100 : 1.10 : 0.2 [3] และค่า C/N ratio ที่เหมาะสมคือ 8 – 30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตแก๊สชีวภาพคือประมาณ 23.0 [4] พบว่าการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสุกรค่า C/N ratio ที่ลดลงประสิทธิภาพการทำงานของระบบในการกำจัด COD มีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ที่ C/N ratio ลดต่ำลงแต่ประสิทธิภาพการกำจัด COD กลับสูงขึ้น ส่วนในการทดลองแบบต่อเนื่องค่า C : N : P เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ นั้นพบว่า C : N : P ของระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียมูลสุกรเมื่อมีค่าลดลงจะมาประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงขึ้น จะเห็นได้ว่าที่ C/N ratio และ ค่า C : N : P ที่เหมาะสมต่อการผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียมูลสุกรภายในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีคือ 16.33 และ 100 : 6.10 : 0.63 จากผลการวิจัยเมื่อ C/N ratio และ ค่า C : N : P มีค่าลดลงที่เหมาะสมต่อการผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียมูลสุกรจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงตามไปด้วย และที่ F/M ratio ต่างกัน ค่า C/N ratio และ ค่า C : N : P ก็มีค่าแตกต่างกันอีกด้วย



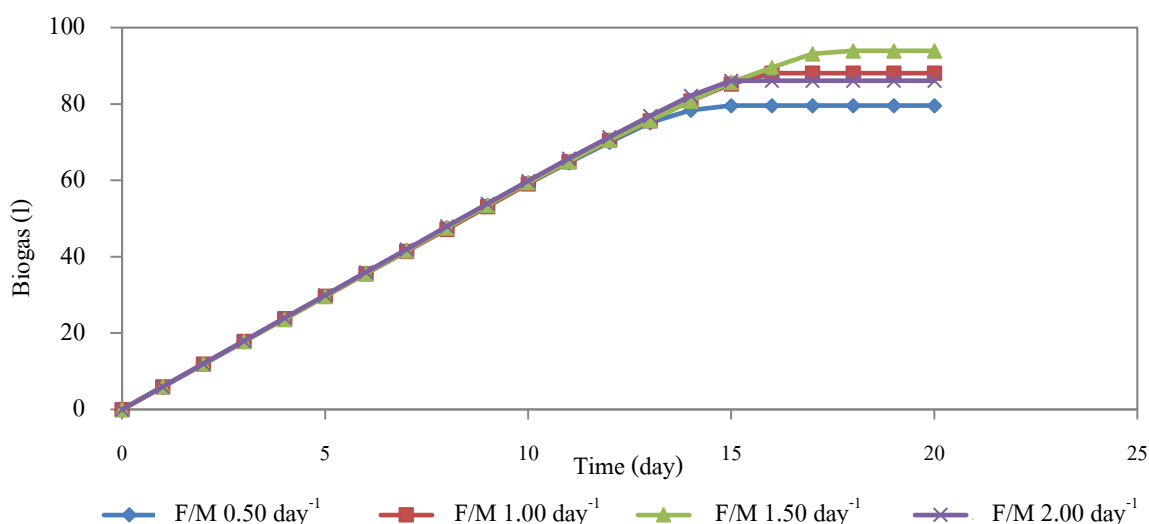
ตารางที่ 4 ผลของการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับงานวิจัยต่าง ๆ ที่ F/M ratio (day^{-1}) ต่าง ๆ

Researcher	System	F/M ratio (day^{-1})	Optimum F/M ratio (day^{-1})	COD removal (%)	C:N:P	C/N ratio	Biogas Volume
This study	Batch	0.50	0.50	79.2	100 : 6.10 : 0.63	16.3	4.33 $\text{m}^3/\text{kg.COD}$
This study	Batch	1.00	-	71.9	100 : 5.25 : 0.72	19.1	5.17 $\text{m}^3/\text{kg.COD}$
This study	Batch	1.50	-	73.9	100 : 5.00 : 0.72	20.0	4.90 $\text{m}^3/\text{kg.COD}$
This study	Batch	2.00	-	75.0	100 : 4.81 : 0.70	20.8	4.22 $\text{m}^3/\text{kg.COD}$
Chaiprasert [13]	Semi -Continuous	0.30	0.30	76.0	-	24.3	0.06 $\text{m}^3/\text{kg VS}$
Siddique [11]	CSTR	0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5, 1.75, 2.0	2.00	-	-	10.9	0.86 $\text{m}^3/\text{kg.VS}$
Kafle [6]	Batch	0.50	0.50	41.1	-	12.0	0.50 $\text{m}^3/\text{kg VS}$
Miao [12]	Batch	0.5, 1.00, 2.00, 3.00	2.00	-	100 : 11.68 : 0.31	8.58	0.21 $\text{m}^3/\text{kg VS}$
Kafle [8]	Batch	0.50, 1.00	1.00	86.0	-	2.70	0.51 $\text{m}^3/\text{kg.COD}$
Kafle [9]	Batch	1.00	1.00	85.0	-	4.20	0.75 $\text{m}^3/\text{kg VS}$
Nazrul [7]	Batch	0.50, 0.72, 1.14, 1.5, 2.14, 3.41	0.50	-	-	-	1.15 $\text{m}^3/\text{kg VS}$
Kafle [5]	Batch	2.00	2.00	-	-	-	0.22 $\text{m}^3/\text{kg VS}$
Pantuwongrat [10]	EGSB	1.08, 1.28, 1.53, 1.84	1.84	86.1	100 : 6.50 : 2.50	13.1	90.1 $\text{m}^3/\text{kg COD}$

3.2) ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม

ในการเดินระบบผลิตแก๊สชีวภาพต้องทำการวัดปริมาตรที่เกิดขึ้น ที่ F/M ratio 0.50 1.00 1.50 และ 2.00 day⁻¹ ทำการวัดปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมจนกว่าค่าคงที่ ทำการเดินระบบสิ้นสุดที่ระยะเวลา 20 วัน แสดงดัง ตารางที่ 5 และแสดงกราฟปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมที่ F/M ratio ต่าง ๆ แสดงดัง รูปที่ 2

จาก ตารางที่ 5 พบว่าปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมที่ HRT 20 วัน ค่า F/M ratio ที่ 0.50 day⁻¹ เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีปริมาณแก๊สชีวภาพอยู่ที่ 4.33 m³/kg.COD เนื่องจากการวิเคราะห์ทางสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.0 % ($\alpha > 0.05$) แสดงว่าปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นไม่แตกต่างจากค่าอื่น ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ พบว่างานวิจัยนี้มีปริมาณแก๊สชีวภาพสูงกว่าการทดลองในระบบแบบกะเหมือนกันและ F/M ratio ใกล้เคียงกัน ในการทดลองแบบต่อเนื่องปริมาณ F/M ratio ที่เหมาะสมจะทำให้ระบบสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ในปริมาณสูงเนื่องจากการเติมสารอินทรีย์ในระบบอย่างต่อเนื่อง ในระบบแบบต่อเนื่องเมื่อ F/M ratio ในระบบมีค่าน้อยทำให้มีปริมาณแก๊สชีวภาพในปริมาณต่ำ จะเห็นได้ว่าที่ F/M ratio จะใกล้เคียงกัน ปริมาณแก๊สชีวภาพที่ได้ย่อมมีผลแตกต่างกัน เนื่องจาก HRT ที่ต่างกัน ความเข้มข้น ปริมาตรถังปฏิกรณ์ และระบบบำบัดที่นำมาใช้ ที่สำคัญคืออัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมกันเพื่อเกิดการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์



ภาพที่ 2 แสดงปริมาณแก๊สสะสมที่เกิดขึ้นแต่ละ F/M Ratio เป็นระยะเวลา 20 วัน

จาก ภาพที่ 2 แสดงปริมาณแก๊สสะสมที่เกิดขึ้นแต่ละ F/M Ratio เป็นระยะเวลา 20 วัน โดยที่ F/M Ratio เท่ากับ 0.50 มีปริมาณแก๊สสะสม เท่ากับ 79.6 l ที่ F/M Ratio เท่ากับ 1.00 มีปริมาณแก๊สสะสม เท่ากับ 88.1 l ที่ F/M Ratio เท่ากับ 1.50 มีปริมาณแก๊สสะสม เท่ากับ 93.9 l และที่ F/M Ratio เท่ากับ 2.00 มีปริมาณแก๊สสะสม เท่ากับ 86.1 l โดยที่ F/M Ratio เท่ากับ 1.50 มีปริมาณแก๊สสะสมสูงสุด ทดสอบด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.0 % ($\alpha > 0.05$) แสดงว่าปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นใน F/M Ratio ต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือก F/M Ratio เท่ากับ 0.50 เนื่องจากใช้ปริมาณน้ำเสียมูลสุกรน้อยกว่า F/M Ratio อื่น ๆ

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษาอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ที่ส่งผลต่อปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุดจากน้ำเสียมูลสุกรภายในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี F/M ratio ที่ศึกษา 0.50 1.00 1.50 และ 2.00 day⁻¹ ทำการทดลองแบบกะ ระยะเวลา 20 วัน จากการทดสอบทางสถิติ One-Way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.0% ข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (sig > 0.05) ใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics V.16 จึงเลือก F/M Ratio 0.50 day⁻¹ ที่ OLR 11.7 kg.COD/m³-day ค่า C/N ratio 16.3 และ C : N : P ที่ 100 : 6.10 : 0.63 เนื่องจากสามารถผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุด 4.33 m³/kg.COD จากน้ำเสียมูลสุกรน้อยที่สุด และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) สูงสุด (79.2%)

เอกสารอ้างอิง

1. Chantamas N. Effect of velocity gradient and organic loading rate on wastewater treatment from palm oil mill using ASBR system. Master of Science in Environmental Science, Chulalongkorn University. 2009. Thai.
2. Srinuch W. Nutrients digestion and changes in the rumen production of dairy cows receiving mixed food containing sweet corn stew, marinated as a rough food source. Maejo University, Chiang Mai. 2009. Thai.
3. Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Biogas production from Waste of livestock and industrial plants, source : http://www2.dede.go.th/km_ber/Attach/Biogaspresent.pdf, August 22th, 2010. Thai.
4. Tangtaveewat S. Biogas production from dung and food waste For household use, source : www.clinictech.most.go.th/online/techlist/attachFile/20111261832311.pdf. 2004.
5. Kafle GK, Kim SK, Shin BS. Anaerobic Digestion Treatment for the Mixture of Chinese Cabbage Waste Juice and Swine Manure. Journal of Biosystems Engineering, 37(1) : 58 - 64. 2011.
6. Kafle GK, Chen L. Comparison on batch anaerobic digestion of five different livestock manures and prediction of biochemical methane potential (BMP) using different statistical models. Waste Management, 48:492-502. 2016.
7. Nazrul IM, Park KJ, Yoon HS. Methane Production Potential of Food Waste and Food Waste Mixture with Swine Manure in Anaerobic Digestion. Journal of Biosystems Engineering, 37(2) : 100 -105. 2012.
8. Kafle GK, Kim SH. Anaerobic treatment of apple waste with swine manure for biogas production: Batch and continuous operation. Applied Energy, 103 : 61 – 72. 2013.
9. Kafle GK, Kim SH. Kinetic Study of the Anaerobic Digestion of Swine Manure at Mesophilic Temperature: A Lab Scale Batch Operation. Journal of Biosystems Engineering, 37(4) : 233 - 244. 2013.
10. Pantuwongrat T. Effects of organic loading rates on performance of EGSB system treating piggery wastewater. Master's thesis of Engineering Environmental Engineering Chiang Mai University. (In Thai). 2005.
11. Siddique NI, Munaim SA, Zularisam AW. Effect of food to microbe ratio variation on anaerobic co-digestion of petrochemical wastewater with manure. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineering, 58 : 451 – 457. 2016.
12. Miao H, Wang S, Zhao M, Huang Z, Ren H, Yan Q, Ruan W. Codigestion of Taihu blue algae with swine manure for biogas production. Energy Conversion and Management, 77 : 643 – 649. 2013.



13. Chaiprasert P, Hudayah N, Auphimai C. Efficacies of Various Anaerobic Starter Seeds for Biogas Production from Different Types of Wastewater. *Biomed. Res. Int*, (1) : 1 – 13. 2016.
14. APHA, AWWA, WPCF, Eaton AD, Franson M, Ann H. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed. Washington DC : USA. 2005.
15. Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Study and demonstrate the production of biogas from biomass, source : <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/197>.
16. Racho P. Study process anaerobic treatment system and biogas production, Environmental Laboratory. School of Environmental, Institute Engineering, Suranaree University of Technology. (In Thai). 2018.
17. Wannakomol A. Biogas production from shrimp farming wastes. Research at Suranaree University of Technology. (In Thai). 2014.