



# การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียปนทินเนอร์ ด้วยการหมักไร้อากาศแบบอัตราสูง

## Biogas Production from Thinner Wastewater by High Rate Anaerobic Digestion

Sarita Saisook Peerakarn Banjerdkij and Suchat Leungprasert\*

สรिता สายสุข พิรภานดี บรรเจดกิจ และ สุชาติ เหลืองประเสริฐ\*

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

\*E-mail : fengscl@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ เพื่อศึกษากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียปนทินเนอร์ด้วยการหมักไร้อากาศแบบอัตราสูง โดยน้ำเสียปนทินเนอร์มีค่าซีโอดี 48,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และของแข็งระเหย 27,160 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ ขนาด 6 ลิตร กำหนดอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบให้มีค่า 2.4, 4.0 และ 5.6 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ของระบบถูกควบคุมด้วยอัตราการไหลที่ 0.3, 0.5 และ 0.7 ลิตรต่อวัน คิดเป็นระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในถังปฏิกรณ์คือ 20, 12 และ 8.6 วัน ตามลำดับ ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง และปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ ตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นในระบบมีค่าประมาณ 18,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการวิจัยครั้งนี้พบว่า ระบบให้ผลผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (88 ลิตรต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด คิดเป็น 162 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด) ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2.4 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน (อัตราการไหลที่ 0.3 ลิตรต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน) ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีและของแข็งระเหยเท่ากับ 54.12 เปอร์เซ็นต์ และ 51.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในถังปฏิกรณ์ 6.88 ในระหว่างทำการทดลอง มีการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ การศึกษาอัตราอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2.4 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จึงเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียปนทินเนอร์

**คำสำคัญ :** ก๊าซชีวภาพ; การหมักไร้อากาศ; มีเทน; น้ำเสียปนทินเนอร์

## Abstract

This research aims to determine the biogas production from thinner wastewater, containing the chemical oxygen demand (COD) 48,000 mg/L and total volatile solids (TVS) of 27,160 mg/L, by using high rate anaerobic digestion. Completely Stirred Tank Reactor (CSTR) with size 6 L was used to run the experiment for the organic loading rate (OLR) at 2.4, 4.0 and 5.6 kgCOD/m<sup>3</sup>.day, which were controlled by the hydraulic retention times (HRT) at 20, 12 and 8.6 days, respectively. Under the experimental conditions operated at room temperature, pH balance of wastewater was adjusted before pushing to the system which the numbers of sludge in the system were 18,000 mg/L at the initial state.

According to the research results, the system could produce the maximum methane yield (88 L at STP/kg of COD degraded that is 162 L at STP/kg of TVS degraded) with the organic loading rate (OLR) at 2.4 kgCOD/m<sup>3</sup>.day (at flow rate 0.3 L/day and hydraulic retention time 20 days). The efficiency of COD removal was 54.12% and 51.29% respectively. In this case, the average pH in the reactor was 6.88. The pH of system must be controlled to be for the proper state of biogas production during the experiment. However, it was found that the organic loading rate 2.4 kgCOD/m<sup>3</sup>.day was for biogas production made by thinner wastewater.

**Keywords :** Biogas; Anaerobic digestion; Methane; Thinner wastewater

## บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาทางด้านมลพิษสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย จัดว่าเป็นปัญหาที่สำคัญและมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะปัญหาของอุตสาหกรรมรีไซเคิลสารเคมี ซึ่งเกิดจากน้ำเสียที่มาจากกระบวนการกลั่นในการรีไซเคิลทินเนอร์ โดยน้ำเสียจากกระบวนการนี้มีปริมาณค่าซีโอดีที่สูงมาก ปัจจุบันทางโรงงานต้องส่งน้ำเสียส่วนนี้ไปกำจัดที่เตาเผา ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาถึงทางเลือกอื่นในการบำบัดน้ำเสีย โดยวิธีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียปนทินเนอร์ด้วยการหมักไร้อากาศแบบอัตราสูง ซึ่งปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย เพราะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศเขตร้อนของประเทศ คือ ในช่วง 25-40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่อยู่ในช่วงเมโซฟิลิก (Mesophilic) [1] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซมีเทน ประกอบด้วย อัตราการระบรทุก

สารอินทรีย์ (Organic loading rate: OLR) และระยะเวลาเก็บกัก (Hydraulic retention time: HRT) ที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซมีเทนเพื่อให้ผลผลิตก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub> yield) สูงสุด

## อุปกรณ์และวิธีการ

สร้างถังปฏิกรณ์แบบไร้อากาศ (Anaerobic reactor) ด้วยถังพลาสติกพร้อมระบบเก็บก๊าซ (Gas collection system) จำนวน 9 ถังปฏิกรณ์ แบ่งเป็น 3 ชุด การทดลอง การทดลองละ 3 ชั่วโมงในแต่ละชุดการทดลอง ประกอบด้วย ถังปฏิกรณ์ปริมาตร 6 ลิตร ภายในถังติดตั้งชุดกวนผสม 2 ใบพัด ทำงานที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที และถังเก็บก๊าซโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ (Water displacement) มีจุดเก็บก๊าซตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) แสดงดังรูปที่ 1 เติมน้ำเสียกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous) คือ ทำการเติมน้ำเสียเข้าระบบทุก 5 วัน โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 1 ถังปฏิกรณ์แบบไม่ใช้ออกซิเจนและระบบเก็บก๊าซ

การเริ่มต้นระบบ (Startup) เติมจุลินทรีย์ (Seed) จากถังย่อยสลายแบบไร้อากาศลงในถังปฏิกรณ์ (Reactor) ปริมาตร 1 ลิตร เท่ากันทั้ง 9 ถังปฏิกรณ์ และใช้เวลาประมาณ 20 วัน ในการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์จนน้ำเสียและจุลินทรีย์ มีปริมาตรรวม 6 ลิตร โดยในระยะเวลา 20 วัน จะไม่มีน้ำออกจากระบบจนกว่าจะเข้าสู่การทดลอง

การเดินระบบ (Operation) เติมน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน 40 องศาเซลเซียส ลงในถังปฏิกรณ์ โดยการเติมน้ำเสียด้วยอัตราการเติมดังตารางที่ 1 เป็นผลให้อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่เติมเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ และระยะเวลาเก็บกักในถังปฏิกรณ์มีค่าดังตารางที่ 1

ในช่วงระหว่างการเดินระบบเมื่อ pH มีแนวโน้มต่ำลง มีการปรับค่า pH ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) ให้มีค่าประมาณ 6.5-7.5 เนื่องจากอยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดสร้าง

มีเทน [2] และมีการควบคุมด้วยชุดควบคุม 2 ไบพัต เพื่อให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างสารอาหารกับจุลินทรีย์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ [3] บันทึกข้อมูลที่สถานะคงที่ (Steady state) คือ เวลาที่มากกว่าระยะเวลาเก็บกักและปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีความสม่ำเสมอ [4] ใช้ระยะเวลาทดลองการทดลองรวม 100 วัน

เมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงที่ (Steady state) ทำการบันทึกปริมาตรก๊าซ (Total gas) ที่เกิดขึ้นทุกวันเป็นเวลา 100 วัน เก็บตัวอย่างก๊าซที่เกิดขึ้นทุกๆ 3 วัน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนด้วยเครื่อง Gas Chromatograph (GC/TCD) รุ่น GC6890 และเก็บน้ำเสียตัวอย่างที่ออกจากระบบนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลือในรูป COD, TS และ TVS ตามวิธีมาตรฐาน Standard Methods [5] คำนวณหาผลผลิตก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$  yield) ที่ได้จากถังปฏิกรณ์แต่ละชุด โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 100 วัน

ตารางที่ 1 อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ อัตราการเติมน้ำเสีย และระยะเวลาเก็บกักในถังปฏิกรณ์แต่ละชุด

อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ (กิโลกรัมซีไอต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน)	อัตราการเติมน้ำเสีย (มิลลิลิตร/5 วัน)	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)
2.4	300	20
4.0	500	12
5.6	700	8.6

## ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาครั้งนี้เป็นการหาอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดในระบบย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ใช้น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการกลั่นในกระบวนการรีไซเคิลทินเนอร์จากโรงงานรีไซเคิลเอ็นจีเนียริง จำกัด โดยมีลักษณะสมบัติน้ำเสียดังตารางที่ 2

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียปนทินเนอร์จากโรงงานรีไซเคิลเอ็นจีเนียริงจำกัด พบว่าค่า pH อยู่ที่ 7.38 ซึ่งอยู่ในช่วง

ค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดสร้างมีเทนคือ ช่วง 6.5-7.5 [1] ค่า COD:N:P ของน้ำเสียในการเริ่มต้นระบบมีค่าเท่ากับ 100:5.3:1.2 ซึ่งพบว่าปริมาณสารอาหารในรูป N และ P สูงกว่าอัตราส่วนของการบำบัดแบบไร้อากาศ คือ 100:1.1:0.2 [6] และค่า BOD:COD ของน้ำเสียเท่ากับ 0.8 ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมในการย่อยสลายทางชีวภาพในสภาวะไร้อากาศ ต้องไม่น้อยกว่า 0.5 [2]

และได้นำตะกอนแบคทีเรียจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน จากโรงงานรีไซเคิลเอ็นจีเนียริงจำกัด โดยมีลักษณะสมบัติของตะกอนแบคทีเรียดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา

พารามิเตอร์	หน่วย	ผลการวิเคราะห์
พีเอช (pH)	-	7.38
ความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP)	mV	-15
อุณหภูมิ (Temp)	°C	30.0
ซีโอดี (COD)	mg/L	48,000
บีโอดี (BOD)	mg/L	38,500
ทีเคเอ็น (TKN)	mg/L	2,565
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	mg/L	576
สภาพด่าง (Alkalinity)	mg/L	1,050
กรดไขมันระเหยง่าย (VFA)	mg/L	450
ของแข็งแขวนลอย (SS)	mg/L	2,760
ของแข็งทั้งหมด (TS)	mg/L	35,090
ของแข็งระเหยทั้งหมด (TVS)	mg/L	27,160

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติตะกอนแบคทีเรียที่ใช้ในการศึกษา

พารามิเตอร์	หน่วย	ผลการวิเคราะห์
พีเอช (pH)	-	5.67
ความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP)	mV	-355
อุณหภูมิ (Temp)	°C	30.0
MLSS	mg/L	18,000
MLVSS/MLSS	-	0.96

น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการกลั่นในกระบวนการรีไซเคิลทินเนอร์ จากโรงงานรีไซเคิลเอ็นจีเนียริง จำกัด โดยน้ำเสียมีค่า COD ก่อนเข้าระบบเฉลี่ยประมาณ 48,000 mg/L การดำเนินระบบจะเป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous Flow)

โดยการเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่จะศึกษาเรื่องการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) ต่างๆ โดยคำนวณหาอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จากสมการ (1)

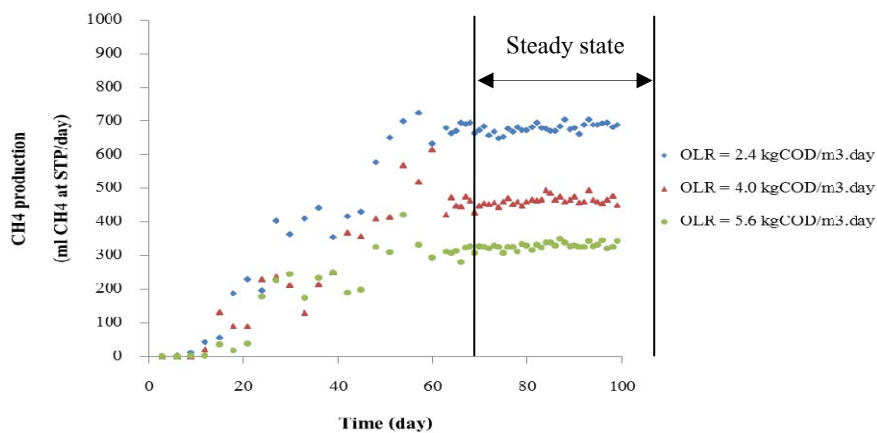
$$\text{อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน)} = \frac{\text{อัตราการผลิตสารตั้งต้นเข้าระบบต่อวัน} \times \text{ซีโอดีเริ่มต้น}}{\text{ปริมาตรใช้งานของถังปฏิกรณ์}} \quad (1)$$

เมื่อเติมน้ำเสียเข้าระบบหมักด้วยอัตรา 300, 500 และ 700 มิลลิลิตรต่อ 5 วัน เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ปริมาตร 6 ลิตร อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่า 2.4, 4.0 และ 5.6 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ส่วนค่าตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นของการเดินระบบมีค่า 18,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ในรูป MLVSS)

ทำการทดลองทั้งสิ้นเป็นระยะเวลา 100 วัน โดยเก็บผลการทดลองที่สภาวะคงที่เป็นระยะเวลา 37 วัน (ตั้งแต่วันที่ 63 ถึง 100) ปริมาตรก๊าซมีเทนที่เก็บทุกๆ 3 วัน ตั้งแต่เริ่มต้นเดินระบบจนถึงระยะสภาวะคงที่ แสดงดังรูปที่ 2 (รายงานที่สภาวะมาตรฐาน) จากรูปที่ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.4, 4.0 และ 5.6 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปริมาตรก๊าซมีเทนเฉลี่ยที่ผลิตได้เท่ากับ 678, 460 และ 325 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ

ผลการทดลองในรูปปริมาตรก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี และของแข็งระเหย และผลผลิตก๊าซมีเทนในรูปแบบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4

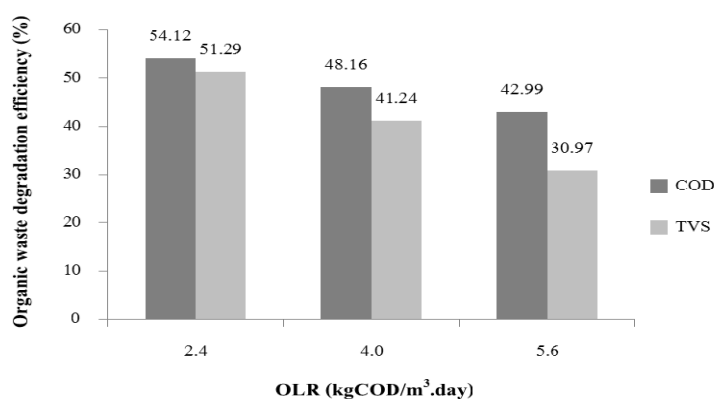
ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.4, 4.0 และ 5.6 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ พบว่าค่าซีโอดีเฉลี่ยที่ออกจากระบบมีค่าเท่ากับ 22023, 24883 และ 27367 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ระบบมีประสิทธิภาพ การกำจัดซีโอดี 54.12, 48.16 และ 42.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อคิดในรูปของค่าของแข็งระเหย พบว่าค่าของแข็งระเหยเฉลี่ยที่ออกจากระบบมีค่าเท่ากับ 13230, 15960 และ 18750 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหย 51.29, 41.24 และ 30.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพของระบบการหมักในการกำจัดสารอินทรีย์มีค่าดังรูปที่ 3 ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดสารอินทรีย์ แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพได้ดี ภายในระบบมีสารอินทรีย์เพียงพอ ไม่เกิดภาวะขาดแคลนสารอินทรีย์



รูปที่ 2 ปริมาตรก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อวัน ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ค่าต่างๆ

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาวิธีการผลิตก๊าซมีเทนจากน้ำเสียปนทินเนอร์

พารามิเตอร์	อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ (กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน)		
	2.4	4.0	5.6
ปริมาตรถังปฏิกรณ์ (L)	6	6	6
อัตราการเติม (L/day)	0.3	0.5	0.7
ระยะเวลาเก็บกัก (day)	20	12	8.6
ตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น (mg/L)	18,000	18,000	18,000
ความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในถังปฏิกรณ์	6.88	6.79	6.86
ปริมาตรก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ (mL at STP/day)	678	460	325
เปอร์เซ็นต์มีเทนเฉลี่ย (%)	50.08	41.94	32.89
ค่าซีโอดีที่เติมเข้าระบบ (mg/L)	48,000	48,000	48,000
ค่าซีโอดีที่ออกจากระบบ (mg/L)	22,023	24,883	27,367
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (%)	54.12	48.16	42.99
ค่าของแข็งระเหยที่เติมเข้าระบบ	27,160	27,160	27,160
ค่าของแข็งระเหยที่ออกจากระบบ	13,230	15,960	18,750
ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหย (%)	51.29	41.24	30.97
ค่าของแข็งทั้งหมดที่เติมเข้าระบบ	35,090	35,090	35,090
ผลผลิตก๊าซมีเทน (L at STP/kgCOD degraded)	88.73	56.02	30.54
ผลผลิตก๊าซมีเทน (L at STP/kgTVS degraded)	162.23	82.16	55.17
ผลผลิตก๊าซมีเทน (L at STP/kgTS added)	64.40	26.22	13.22



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพของระบบหมักในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของ COD และ TVS ที่ OLR ต่างๆ

ผลผลิตก๊าซมีเทน (Methane yield) คือ ปริมาตร ก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด หรือต่อของแข็ง ระเหยที่ถูกกำจัด หรืออาจแสดงในรูปปริมาตรก๊าซมีเทนที่

ผลิตได้ต่อของแข็งทั้งหมดที่เติมเข้าระบบ โดยการคำนวณ ผลผลิตมีเทนในหน่วยลิตรต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด หาได้ดังสมการ (2)

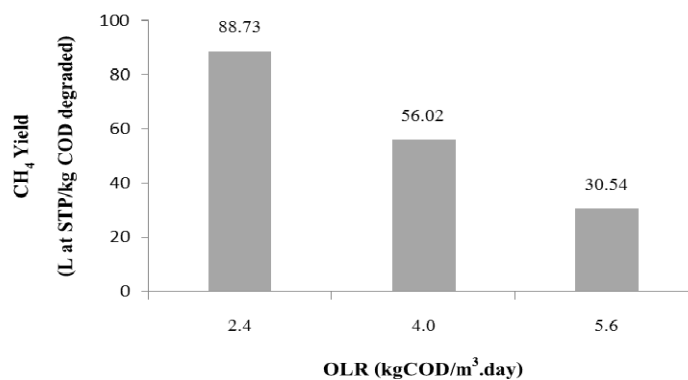
$$\text{ผลผลิตก๊าซมีเทน (ลิตรต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)} = \frac{\text{ปริมาตรก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อวัน}}{\text{อัตราการเติมสารตั้งต้นเข้าระบบต่อวัน} \times (\text{ซีโอดีเข้าระบบ} - \text{ซีโอดีออกจากระบบ})} \quad (2)$$

จากตารางที่ 4 การทดลองพบว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2.4 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน (อัตราการเติมน้ำเสียเข้าระบบ 300 มิลลิลิตรต่อวัน และระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน) ให้ผลผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดมีค่า 88.73 ลิตรต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด หรือ 162.23 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด ผลผลิตก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐานต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด แสดงดังรูปที่ 4 และผลผลิตก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐานต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด แสดงดังรูปที่ 5

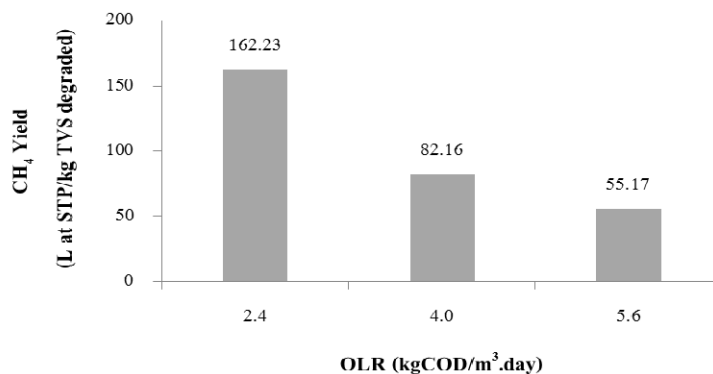
เมื่อเดินระบบด้วยอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.4, 4.0 และ 5.6 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

ระบบหมัก มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยการเติมสารโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) เพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างขณะเดินระบบ เมื่อระบบเข้าสู่ระยะคงที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของน้ำเสียที่ผ่านการหมัก แต่ละอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ มีค่าดังรูปที่ 6

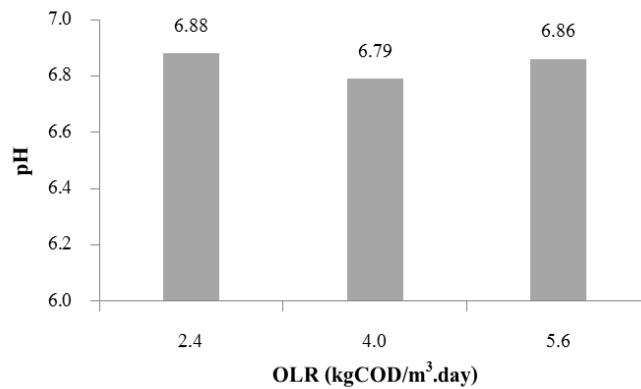
ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.4, 4.0 และ 5.6 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียที่ผ่านการหมักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.88, 6.79 และ 6.86 ตามลำดับ ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการดำรงชีพของแบคทีเรียสร้างมีเทน



รูปที่ 4 ผลผลิตก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐานต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด



รูปที่ 5 ผลผลิตก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐานต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด



รูปที่ 6 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของน้ำเสียที่ผ่านการหมักในถังปฏิกรณ์

### สรุป

ในการทดลองศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศของน้ำเสียปศุสัตว์พบว่า ถึงแม้ว่าน้ำเสียจะมีองค์ประกอบของอินทรีย์ ซึ่งอาจมีสารอินทรีย์อันตรายเจือปน แต่ก็สามารถบำบัดในกระบวนการไร้อากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซมีเทนได้ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ที่ให้ผลผลิตก๊าซมีเทนสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 2.4 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันที่ระยะเวลาเก็บกักในถังปฏิกรณ์ 20 วัน ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในถังปฏิกรณ์มีค่า 6.88 ระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูปชีโอดีได้ 54.12 เปอร์เซ็นต์ และกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของแข็งระเหยได้ 51.29 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตก๊าซมีเทนที่ได้มีค่า 89 ลิตรต่อกิโลกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด หรือคิดเป็น 162 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

### เอกสารอ้างอิง

[1] Tchobanoglous, G., F. L. Burton and H.D. Stensel. 2004. Wastewater Engineering

Treatment and Reuse. 4<sup>th</sup> edition Metcalf & Eddy, McGraw-Hill Inc., New York, USA.

- [2] Department of Industrial Work. 2545. Ministry of Industry and Thailand Environmental Engineering Association. Wastewater System Control Book. Thailand Environmental Engineering Association. (in Thai)
- [3] Punika Kummarel. 2553. The Biogas Production from Sa Paper Wastewater by the Codigestion with Cow Dung and Food Waste Using Sequencing Batch Reactor. Environmental Engineering Master Thesis, Chiangmai University.
- [4] Piyanee Sangsee. 2557. The Biogas Production from Napier Grass Using Co-digestion with Cow Dung. The 13<sup>th</sup> Thai National Environmental Conference.
- [5] APHA, AWWA, and WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20 ed. Washington, D.C., 2005.
- [6] Suthep Vittayapakorn. 2552. Wastewater Technology, 2<sup>nd</sup> printed. Environmental Engineering Department, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok.