

## การเพิ่มความเข้มข้นก๊าซมีเทนที่แหล่งกำเนิดของน้ำเสียโรงงานเอทานอล ด้วยคอลัมน์ถักคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบเป่าอากาศ

จินตตามณี ป็อกสอน<sup>1</sup> และ พงษ์ อักกะรังสี<sup>2</sup>

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

### บทคัดย่อ

การเพิ่มความเข้มข้นก๊าซมีเทนที่แหล่งกำเนิดเป็นวิธีการเพิ่มสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพให้มีค่าสูงขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการเวียนน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มความเข้มข้นก๊าซมีเทนจากน้ำเสียโรงงานเอทานอล โดยใช้ชุดปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการแบบบ่อหมักทรง CMU-CD ขนาด 1,100 ลิตร ร่วมกับคอลัมน์ถักคายก๊าซ ปริมาตรใช้งาน 11 ลิตร ศึกษาอัตราการเวียนน้ำเสียที่ร้อยละ 130, 230 และ 330 ของปริมาตรถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพต่อวัน และควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่คอลัมน์ถักคายก๊าซและอัตราการเป่าอากาศ (L/G Ratio) เท่ากับ 2.92 เทียบกับระบบควบคุมที่ไม่ติดตั้งคอลัมน์ถักคายก๊าซ จากการศึกษาพบว่า การเวียนน้ำเสียผ่านคอลัมน์ถักคายก๊าซด้วยอัตราที่สูงขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพมีค่าสูงขึ้น อีกทั้งไม่ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมการย่อยสลายของแบคทีเรียในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยที่สภาวะการเวียนน้ำเสียร้อยละ 330 ของปริมาตรถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพต่อวัน หรือเทียบเท่ากับอัตราการเวียนน้ำเสีย 3,630 ลิตรต่อวัน และอัตราการเป่าอากาศ 1,252 ลิตรต่อวัน ให้ประสิทธิภาพการเพิ่มความเข้มข้นก๊าซมีเทน สูงที่สุด โดยสามารถเพิ่มความเข้มข้นก๊าซมีเทนได้ร้อยละ 32 โดยปริมาตร จากเดิมที่ผลิตได้ร้อยละ  $56.6 \pm 4.8$  โดยปริมาตร เป็นร้อยละ  $74.5 \pm 2.5$  โดยปริมาตร ซึ่งคิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ  $0.124 \pm 0.036$  ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อ กิโลกรัมของแข็งระเหยที่ป้อนเข้าระบบ และการสูญเสียก๊าซมีเทนเท่ากับร้อยละ 13.2 โดยปริมาตร เมื่อประเมินความคุ้มค่าในการก่อสร้างระบบคายก๊าซเพื่อทำงานร่วมกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 1,000 ลูกบาศก์เมตร พบว่าการก่อสร้างระบบคายก๊าซทำให้เงินลงทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนร้อยละ 74.5 โดยปริมาตร หากควบคุมค่า L/G Ratio เท่ากับ 2.92 และอัตราการเวียนน้ำเสียเท่ากับร้อยละ 330 ของปริมาตรถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพต่อวัน ให้คงที่ตลอดระยะเวลาเดินระบบ

**คำสำคัญ :** การเพิ่มความเข้มข้นก๊าซมีเทน / อัตราการเวียนน้ำเสีย / น้ำเสียโรงงานเอทานอล / ก๊าซมีเทน / คอลัมน์ถักคายก๊าซ

\* Corresponding Author : pokson.chindamane@gmail.com

<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์

<sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

## In-situ Methane Enrichment for Biogas from Ethanol Plant Wastewater by External Aerated Carbon Dioxide Stripping Column

Chindamane Pokson<sup>1\*</sup> and Pruk Aggarangsi<sup>2</sup>

Chiang Mai University, Su Thep, Mueang, Chiang Mai 50200

### Abstract

In-situ methane enrichment is a method to increase the methane content in biogas without the need for any additional upgrading unit. The objective of this study was to determine the optimal ratio of effluent recirculation to increase the methane content of biogas produced from ethanol plant wastewater. The experiment was based on a laboratory-scale CMU-CD (Chiang Mai University-Channel Digester) with 1,100-liter digester volume, coupled with 11-liter aerated carbon dioxide stripping column. Daily recirculation rate was varied between 130-330% of the digester volume, while the ratio of the liquid to gas flow rate (L/G Ratio) was controlled at 2.92. Compared with a regular reactor, the results suggested that a higher recirculation flow rate could increase the methane content without disturbing the anaerobic bacteria activity. At 330% daily recirculation rate, methane concentration could be increased by 32% by volume from  $56.6 \pm 4.8\%$  to  $74.5 \pm 2.5\%$  by volume. The total specific methane yield of  $0.124 \pm 0.036 \text{ Nm}^3/\text{kgVS}_{\text{added}}$  remained unchanged. However, it was also found that the desorption led to methane loss of 13.2% by volume. Economic analysis of a  $1,000\text{-m}^3$  biogas reactor with a stripping system was made and the results compared with those of a normal reactor at a similar size. It was found that the methane enrichment system would involve an additional 10% capital investment. The methane content of 74.5% by volume could be obtained if the daily recirculation flow rate of 330% of the digester volume and the L/G ratio of 2.92 were maintained throughout the run.

**Keywords** : In-situ Methane Enrichment / Effluent Recirculation Rate / Ethanol Plant Wastewater / Methane / Stripping Column

---

\* Corresponding Author : pokson.chindamane@gmail.com

<sup>1</sup> Master's Student, Faculty of Engineering.

<sup>2</sup> Assistant Professor, Faculty of Engineering.

## 1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีผลผลิตทางการเกษตรที่หลากหลาย และด้วยความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ จึงเกิดการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร เพื่อเพิ่มมูลค่าของสินค้า ยกตัวอย่างเช่น การปลูกอ้อย เพื่อผลิตน้ำตาลทราย ซึ่งในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายจะเกิดของเสียที่มีนัยสำคัญ 2 ชนิด คือ กากอ้อยและกากน้ำตาล โดยกากอ้อยจะถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษไม้อัด หรือผลิตเยื่อกระดาษ ส่วนกากน้ำตาลจะถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตสุราหรือเอทานอล เป็นต้น ซึ่งในกระบวนการผลิตจะเกิดน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง โดยสามารถวัดในรูปค่าบีโอดี (BOD) เท่ากับ 32,000 - 75,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าซีโอดี (COD) เท่ากับ 120,000 - 200,000 มิลลิกรัมต่อลิตร [1] ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงสามารถนำมาหมักย่อยในสภาวะไร้ออกซิเจนเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพที่มีศักยภาพเชิงพลังงานสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานจากฟอสซิลได้ [2]

ผลสำรวจพบว่าประเทศไทยมีโรงงานเอทานอล จำนวน 45 โรงงาน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 33,310,066 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐาน (หน่วยปริมาตรของก๊าซ ณ สภาวะมาตรฐานความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส) หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 3.99 เมกะวัตต์ [3] แต่ยังมีปัญหาทางด้านประสิทธิภาพการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ด้านความร้อนเนื่องจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักน้ำเสียดังกล่าวมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนค่อนข้างต่ำ โดยจะมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 46 - 55 โดยปริมาตร [4, 5] ส่งผลให้ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพมีค่าต่ำ ดังนั้นเทคโนโลยีที่สามารถเพิ่มสัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพจึงมีความสำคัญ สำหรับผู้ประกอบการหรือผู้ใช้งานที่ต้องการก๊าซชีวภาพที่มีค่าความร้อนสูง

ในปี 2556 สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้ศึกษาการเพิ่มศักยภาพก๊าซชีวภาพ โดยการสร้างต้นแบบระบบผลิตก๊าซไบโอมีเทนอัด (Compressed Biomethane Gas, CBG) สำหรับยานยนต์ ด้วยวิธีดูดซึมด้วยน้ำแบบเคลื่อนที่ ขนาดกำลังผลิตก๊าซไบโอมีเทน 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พบว่าระบบสามารถ

ผลิตก๊าซไบโอมีเทนที่มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นร้อยละ 18 - 25 โดยปริมาตร จากเดิมที่ผลิตได้ร้อยละ 65 โดยปริมาตร เป็นค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 83 - 90 โดยปริมาตร และเชื้อเพลิงที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ในยานยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพโดยไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อเครื่องยนต์ แต่เทคโนโลยีนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของค่าใช้จ่าย เนื่องจากต้องใช้เงินลงทุนติดตั้งระบบสูง [6]

เพื่อแก้ปัญหาเรื่องข้อจำกัดของเทคโนโลยี จึงได้ศึกษาค้นคว้างานวิจัยทั้งภายในและต่างประเทศ พบว่าปัจจุบันมีการศึกษาระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพที่แหล่งกำเนิด (In-Situ Methane Enrichment) โดยการหมุนเวียนน้ำเสียหรือสลัดจ์จากถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพมายังถังคายก๊าซที่มีการเป่าอากาศเพื่อดึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากน้ำเสียหรือสลัดจ์ ทำให้สัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้น เป็นเทคนิคที่อาศัยหลักการเคมีที่ว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายน้ำได้ดี ดังนั้นในถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพย่อมมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนหนึ่งละลายอยู่ และการเป่าอากาศจะช่วยแยกโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากน้ำเสียหรือสลัดจ์ได้ โดยเทคโนโลยีนี้สามารถคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 0.07 - 0.25 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำเสียต่อวัน และมีการสูญเสียก๊าซมีเทนเพียงร้อยละ 2 ของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ [7]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานเอทานอลจากเดิมที่มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 46 - 55 โดยปริมาตร [4, 5] ด้วยวิธีการหมุนเวียนน้ำเสียจากถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพผ่านคอลัมน์ถึงคายก๊าซ เพื่อให้ก๊าซชีวภาพที่ได้มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนสูงขึ้น และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายขึ้น เช่น การนำไปใช้ประโยชน์เชิงความร้อน เป็นต้น ซึ่งทำการทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพแบบบ่อหมักวาง CMU-CD (Chiang Mai University-Channel Digester) ขนาด 1,100 ลิตร ร่วมกับคอลัมน์ถึงคายก๊าซ ปริมาตรใช้งาน 11 ลิตร ศึกษาอัตราการเวียนน้ำเสียเท่ากับร้อยละ 130, 230 และ 330 ของปริมาตรถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพ และควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่คอลัมน์ถึงคายก๊าซและอัตราการเป่าอากาศ (L/G Ratio) เท่ากับ 2.92 [8] เนื่องจากเป็นค่าที่ได้ทดสอบด้วยถังปฏิกรณ์ก๊าซ

ชีวภาพและถังคายก๊าซเดียวกันกับที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งค่า L/G Ratio ดังกล่าวให้ผลในการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีและมีการสูญเสียก๊าซมีเทนในกระบวนการคายก๊าซต่ำ

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

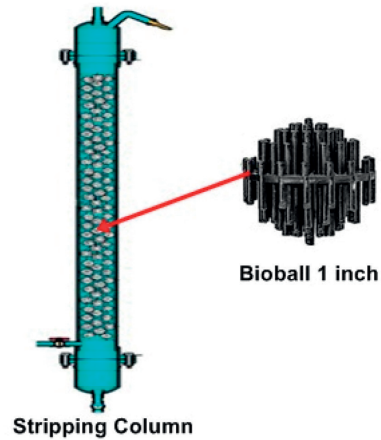
#### 2.1.1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพและคอลัมน์ถังคายก๊าซ

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพประกอบด้วยถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพแบบบ่อหมักทรง CMU-CD ขนาด 1,100 ลิตร ตัวถังปฏิกรณ์ทำจากวัสดุสแตนเลส ด้านบนติดตั้งพลาสติกสำหรับกักเก็บก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ ดังแสดงในรูปที่ 1



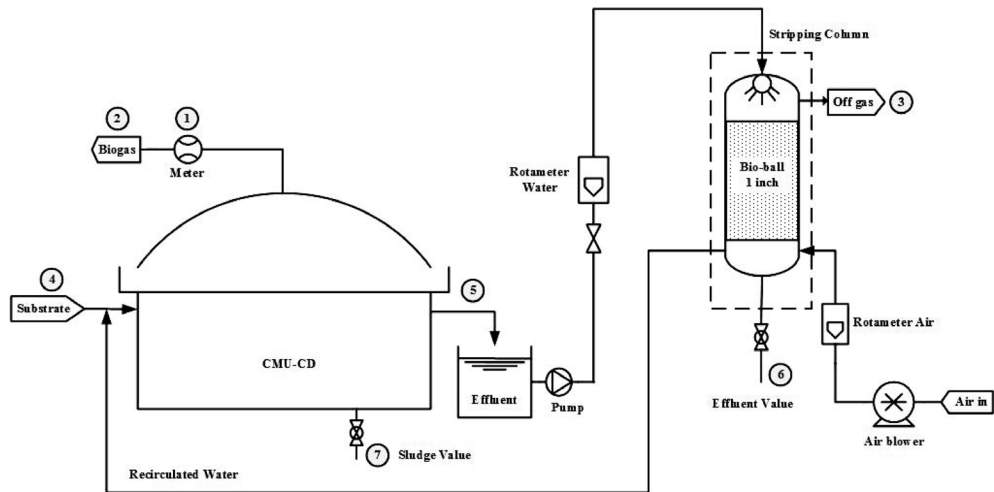
รูปที่ 1 ถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพแบบบ่อหมักทรง CMU-CD ขนาด 1,100 ลิตร [8]

ถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพในรูปที่ 1 จะถูกติดตั้งร่วมกับคอลัมน์ถังคายก๊าซขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 150 เซนติเมตร ภายในบรรจุตัวกลางไบโอบอลขนาด 1 นิ้ว มีปริมาตรใช้งาน 11 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยด้านล่างของคอลัมน์ถังคายก๊าซติดตั้งท่อกระจายอากาศที่มีการเชื่อมต่อกับปั๊มลมสำหรับใช้เป่าอากาศ ส่วนด้านบนมีท่อระบายอากาศ และท่อจ่ายน้ำเสียเข้าแบบหัวสเปรย์



รูปที่ 2 คอลัมน์ถังคายก๊าซและไบโอบอล [8]

น้ำเสียที่เข้าคอลัมน์ถังคายก๊าซจะไหลผ่านตัวกลางลงสู่ด้านล่างของคอลัมน์ถังคายก๊าซ และถูกเวียนกลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพอีกครั้งโดยท่อพีวีซีที่เชื่อมต่อระหว่างน้ำออกคอลัมน์ถังคายก๊าซและถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพ โดยแผงผังการเชื่อมต่อระหว่างระบบผลิตก๊าซชีวภาพและคอลัมน์ถังคายก๊าซแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งระบบผลิตก๊าซชีวภาพและคอลัมน์ถังคายก๊าซที่ใช้ทดลองนี้ออกแบบและพัฒนาโดยสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ [8]



รูปที่ 3 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพและคอลัมน์ล้างคายก๊าซ [8]

### 2.1.2 น้ำเสียจากโรงงานเอทานอล

น้ำเสียโรงงานเอทานอลที่ใช้ในการศึกษานำมาจากบริษัท ธนภักดี จำกัด อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ เป็นน้ำเสียที่เกิดจากการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ซึ่งตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเตรียมได้จากการเจือจางด้วยน้ำ ที่อัตราส่วนน้ำเสียโรงงานเอทานอล: น้ำ เท่ากับ 1:4 (ปริมาตรต่อปริมาตร) และปรับเพิ่มความเข้มข้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 70 กรัมต่อน้ำเสียที่เตรียมไว้ 70 ลิตร สำหรับป้อนเข้าระบบที่ควบคุมระยะเวลาการกักเก็บน้ำเท่ากับ 16 วัน โดยน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอย (VS) เท่ากับ  $30,000 \pm 5,000$  มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าพีเอช (pH) เท่ากับ  $4.8 \pm 0.1$

### 2.2 วิธีการทดลอง

ทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานเอทานอลที่ไม่มีการเวียนน้ำเสียสำหรับใช้เป็นระบบควบคุม แล้วจึงทำการทดลองระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีอัตราการเวียนน้ำเสียจากถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพมายังคอลัมน์ล้างคายก๊าซเท่ากับร้อยละ 130, 230 และ 330 ของปริมาตรถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพต่อวัน โดยกำหนดอัตราการไหลของน้ำเสีย

เข้าสู่คอลัมน์ล้างคายก๊าซต่ออัตราการเป่าอากาศ (L/G Ratio) เท่ากับ 2.92 [8] และทำการทดลอง 1 ชั่วโมง 1 ชุดการทดลองของการศึกษาในแต่ละอัตราการหมุนเวียนน้ำเสียเนื่องจากการศึกษาการเดินระบบในระยะยาว และระยะเวลาในการเดินระบบต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 1 เท่าของระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (HRT = 16 วัน) โดยทำการเดินระบบอย่างต่อเนื่องจนระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ซึ่งสภาวะคงที่คือสภาวะของการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยมีค่าอยู่ในช่วงเวลาน้อย 3 – 5 วัน และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) ของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยของระบบผลิตก๊าซชีวภาพไม่เกินร้อยละ 15

### 2.3 การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ผล

ทำการเก็บข้อมูลและตรวจวัดปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพด้วยมิเตอร์วัดปริมาณการเกิดก๊าซ พร้อมวัดค่าองค์ประกอบก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพและก๊าซที่ออกจากคอลัมน์ล้างคายก๊าซ ได้แก่ ก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และก๊าซออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) ด้วยเครื่องตรวจวัดองค์ประกอบก๊าซ (GA2000, Geotechnical Instruments)

ความถี่เป็นประจำทุกวันก่อนดำเนินการเติมน้ำเสียเข้าระบบ รวมไปถึงการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อวิเคราะห์ลักษณะสมบัติ ได้แก่ พีเอช (pH), สภาพด่างทั้งหมด (Alkalinity), ปริมาณกรดไขมันระเหย (VFA) และปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS) อ้างอิงวิธีการวิเคราะห์ตาม Standard Methods [9] โดยทำการวิเคราะห์น้ำเสีย 3 ตำแหน่ง ได้แก่ น้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพ, น้ำเสียออกถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพ และน้ำเสียที่ออกจากถังคายก๊าซ ด้วยความถี่

สัปดาห์ละ 2 ครั้ง เพื่อตรวจสอบผลของการเวียนน้ำเสียต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีในน้ำเสีย และมีการตั้งกากตะกอนออกทิ้งร้อยละ 10 ของปริมาตรน้ำเสียเข้าระบบ ด้วยความถี่สัปดาห์ละ 2 ครั้ง จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ซึ่งตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างข้อมูล พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด การวิเคราะห์ และความถี่ในการเก็บข้อมูลวิธีดังแสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 1 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ตำแหน่ง ความถี่ และพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์

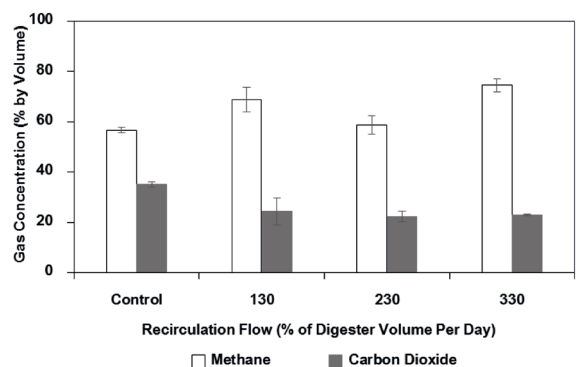
ลำดับ	ตำแหน่ง	พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	ความถี่ในการเก็บข้อมูล
1	ถังปฏิกรณ์	ปริมาณก๊าซชีวภาพ	Gas Meter	ทุกวัน
2	ท่อนำก๊าซที่ถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพ	องค์ประกอบก๊าซ (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> )	Digital Gas Check	ทุกวัน
3	ท่อนำก๊าซออกที่คอลัมน์ถังคายก๊าซ	องค์ประกอบก๊าซ (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> )	Digital Gas Check	ทุกวัน
4	น้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพ	pH, Alk, VFA, VS	Standard Methods*	2 ครั้งต่อสัปดาห์
5	น้ำเสียออกถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพ	pH, Alk, VFA, VS	Standard Methods*	2 ครั้งต่อสัปดาห์
6	น้ำเสียออกคอลัมน์ถังคายก๊าซ	pH, Alk, VFA, VS	Standard Methods*	2 ครั้งต่อสัปดาห์

หมายเหตุ : \*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [9]

### 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 3.1 ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพ

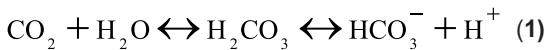
ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในการทดลองที่มีการเวียนน้ำเสียผ่านคอลัมน์ถังคายก๊าซเทียบกับระบบควบคุมที่ไม่มีการเวียนน้ำเสียหรือไม่ติดตั้งคอลัมน์ถังคายก๊าซ พบว่าการทดลองที่มีการเวียนน้ำเสียผ่านคอลัมน์ถังคายก๊าซทำให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nordberg และคณะ [10] และ Boontawe และ Koonaphapdeelert [11]



รูปที่ 4 ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของการทดลอง



จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่สถานะคงที่ในถังควบคุม (Control) เท่ากับร้อยละ 56.6±1.0 โดยปริมาตร ส่วนในระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีการเวียนน้ำเสียเท่ากับร้อยละ 130, 230 และ 330 โดยปริมาตรถึงปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพต่อวัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 68.8±4.8, 58.7±3.6 และ 74.5±2.5 โดยปริมาตร ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สถานะคงที่ในถังควบคุมมีค่าเท่ากับร้อยละ 35.0±1.2 โดยปริมาตร ส่วนในระบบที่มีการเวียนน้ำเสียเท่ากับร้อยละ 130, 230 และ 330 โดยปริมาตรถึงปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพต่อวัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 24.3±5.3, 22.3±2.0 และ 23.0±0.3 โดยปริมาตรตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นไปตามสมดุลคาร์บอนิก [12] โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำเสียออกจากถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพก่อนเข้าสู่คอลัมน์ถึงคายก๊าซอยู่ในรูปกรดคาร์บอนิก และไบคาร์บอเนต ดังแสดงในสมการที่ 1

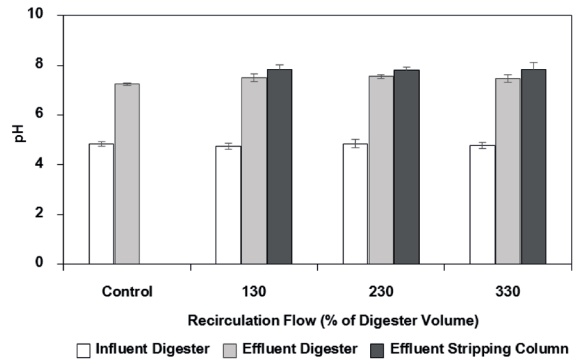


เมื่อน้ำเสียผ่านคอลัมน์ถึงคายก๊าซที่มีการเป่าอากาศทำให้น้ำเสียสัมผัสกับอากาศ เกิดการเปลี่ยนรูปของกรดคาร์บอนิกและไบคาร์บอเนตเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หลุดออกไปด้านบนของคอลัมน์ถึงคายก๊าซ และน้ำเสียที่ออกจากคอลัมน์ถึงคายก๊าซจะถูกเวียนกลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพ เพื่อปรับสมดุลคาร์บอนิกและไบคาร์บอเนตให้อิ่มตัว เนื่องจากสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเป่าอากาศ โดยการละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพ ซึ่งระบบจะเวียนน้ำเสียอย่างต่อเนื่องจนเข้าสู่สถานะสมดุล ทำให้องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพมีการเปลี่ยนแปลง คือก๊าซมีเทนมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นลดลง

### 3.2 ค่าพีเอช (pH) และอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด (VFA/Aik)

เนื่องจากน้ำเสียที่ผ่านคอลัมน์ถึงคายก๊าซสัมผัสกับอากาศเกิดการเปลี่ยนรูปของกรดคาร์บอนิกและไบคาร์บอเนตหลุดออกเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้คุณสมบัติทางเคมีของน้ำเสีย ได้แก่ ค่าพีเอช (pH), สภาพต่างทั้งหมด (Alkalinity), ปริมาณกรดไขมันระเหย

และอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด (VFA/Aik) เกิดการเปลี่ยนแปลง ผลการทดลองพบว่า น้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพก่อนเข้าสู่คอลัมน์ถึงคายก๊าซมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.2 – 7.6 ส่วนค่าพีเอชของน้ำเสียออกคอลัมน์ถึงคายก๊าซมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.8 ดังแสดงในรูปที่ 5

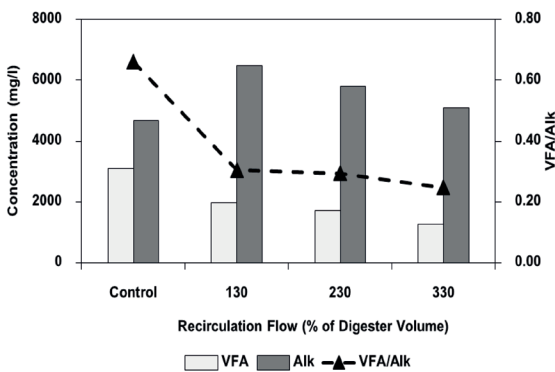


รูปที่ 5 ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ตำแหน่งต่างๆ

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าค่าพีเอชของน้ำออกจากคอลัมน์ถึงคายก๊าซมีค่าสูงกว่าน้ำเข้าสู่คอลัมน์ถึงคายก๊าซ เนื่องจากกรดคาร์บอนิก และไบคาร์บอเนตในน้ำเสียเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกด้านบนของคอลัมน์ถึงคายก๊าซทำให้ค่าพีเอชของน้ำออกคอลัมน์ถึงคายก๊าซเพิ่มขึ้น และจากผลงานวิจัยของ Richards [13] ที่ได้กล่าวไว้ว่า น้ำเสียออกจากถังคายก๊าซก่อนเวียนเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพควรมีค่าพีเอชไม่เกิน 8.1 เพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบหมักย่อยแบบไร้ออกซิเจน เนื่องจากค่าพีเอชที่สูงเกินไปจะส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนได้ ซึ่งจากผลการทดลองนี้พบว่าระบบมีค่าพีเอชน้ำออกจากคอลัมน์ถึงคายก๊าซไม่เกิน 8.1

เมื่อพิจารณาปริมาณกรดไขมันระเหยและสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียออกถึงถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพ พบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพมีค่าเท่ากับ 1,974±207, 1,704±128 และ 1,255±25 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพมีค่าเท่ากับ 6,481±271, 5,793±132 และ 5,087±277 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วน

ระหว่างกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดเท่ากับ  $0.30 \pm 0.03$ ,  $0.29 \pm 0.03$  และ  $0.25 \pm 0.02$  ที่อัตราการเวียนน้ำเสียร้อยละ 130, 230 และ 330 ของปริมาณถึงปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพ ส่วนในระบบควบคุมที่ไม่มีการเวียนน้ำเสียหรือไม่ติดตั้งคอลัมน์ถังคายก๊าซจะมีค่ากรดไขมันระเหยเท่ากับ  $3,088 \pm 656$  มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าสภาพต่างทั้งหมดเท่ากับ  $4,674 \pm 447$  มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดเท่ากับ  $0.62 \pm 0.17$  ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 เปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันระเหย สภาพความเป็นต่างทั้งหมด และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

จากรูปที่ 6 จะเห็นว่าอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของระบบควบคุมมีค่าสูงเมื่อเทียบกับระบบที่มีการเวียนน้ำเสีย เนื่องจากระบบหมักย่อยแบบไร้ออกซิเจนสามารถสร้างกรดไขมันระเหยมาก และอาจมีสภาพบัพเฟออร์ที่ไม่เพียงพอต่อการรักษาค่าพีเอช โดยค่าอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดที่ดีควรมีค่าน้อยกว่า 0.4 และไม่ควรมากกว่า 0.8 [14] ซึ่งในระบบควบคุมให้ค่าอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดเท่ากับ  $0.62 \pm 0.17$  แต่เมื่อเทียบกับระบบที่มีการเวียนน้ำเสียพบว่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณกรด

ไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 0.4 [14] โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการเวียนน้ำเสีย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเวียนน้ำเสียช่วยให้ระบบหมักย่อยแบบไร้ออกซิเจนมีสภาพบัพเฟออร์ที่เพียงพอต่อการรักษาค่าพีเอชของระบบให้เหมาะสม ดังนั้นการเวียนน้ำเสียร้อยละ 130, 230 และ 330 ของปริมาณถึงปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพต่อวันพร้อมการควบคุมค่า L/G Ratio เท่ากับ 2.92 ไม่ส่งผลต่อเสถียรภาพของระบบหมักย่อยแบบไร้ออกซิเจนแต่อย่างใด

### 3.3 อัตราการคายก๊าซ

ในการประเมินความสามารถในการคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากน้ำเสีย ได้พิจารณาอัตราการคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบกับอัตราการเป่าอากาศ โดยที่อัตราการเวียนน้ำเสียร้อยละ 130, 230 และ 330 ของปริมาณถึงปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพต่อวัน มีค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่หลุดออกด้านบนของคอลัมน์ถังคายก๊าซเท่ากับร้อยละ  $7.8 \pm 1.2$ ,  $8.4 \pm 0.9$  และ  $7.6 \pm 0.1$  โดยปริมาตร ซึ่งคิดเป็นอัตราการคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ  $81.0 \pm 10.2$ ,  $86.1 \pm 10.0$  และ  $84.1 \pm 2.4$  มิลลิตรก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อลิตรอากาศที่เป่า ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นว่าอัตราการคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเฉลี่ยค่อนข้างคงที่ แม้ว่าอัตราการเวียนน้ำเสียจะมีค่าสูงขึ้น ซึ่งอาจสรุปได้ว่าการเวียนน้ำเสียผ่านคอลัมน์ถังคายก๊าซ โดยควบคุม L/G Ratio ให้คงที่เท่ากับ 2.92 สำหรับการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานเอทานอลด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบบ่อหมักราง CMU-CD ขนาด 1,100 ลิตร ร่วมกับคอลัมน์ถังคายก๊าซแบบบรรจุตัวกลางปริมาตรใช้งานร่วม 11 ลิตร มีการอัตราการคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 81 – 84 มิลลิตรก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อลิตรอากาศที่เป่า ดังนั้นการเพิ่มอัตราการเวียนน้ำเสียอาจทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกกำจัดมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอัตราการเวียนน้ำเสียมีความสัมพันธ์กับการเป่าอากาศ



**ตารางที่ 2** การเวียนน้ำเสีย, การเป่าอากาศ, ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ออกจากคอลัมน์ถังคายก๊าซ และ อัตราการคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ของแต่ละการทดลอง

	Recirculation Flow (% of Digester Volume Per Day)		
	130	230	330
Liquid Flow Rate (m <sup>3</sup> /day)	1.43	2.53	3.63
Air Flow Rate (m <sup>3</sup> /day)	0.49	0.86	1.24
CO <sub>2</sub> in Off Gas (% by Volume)	7.8±1.2	8.4±0.9	7.6±0.1
CO <sub>2</sub> Desorbed (mlCO <sub>2</sub> /lAir)	81.0±10.2	86.1±10.0	84.1±2.4
CH <sub>4</sub> in Off Gas (% by Volume)	1.76±0.7	3.1±0.6	3.5±0.6
CH <sub>4</sub> Loss (% by Volume)	3.7	13.1	13.2

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าความแปรปรวน

### 3.4 การสูญเสียมีเทนที่คอลัมน์ถังคายก๊าซ

เนื่องจากการเป่าอากาศผ่านน้ำเสียเพื่อคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงได้พิจารณาตรวจสอบก๊าซมีเทนที่สูญเสียจากการเป่าอากาศ ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยพบว่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ออกจากคอลัมน์ถังคายก๊าซมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับร้อยละ 1.8±0.7, 3.1±0.6 และ 3.5±0.6 โดยปริมาตร ซึ่งคิดเป็นการสูญเสียก๊าซมีเทนจากคอลัมน์ถังคายก๊าซเท่ากับร้อยละ 3.7, 13.1 และ 13.2 โดยปริมาตร ที่อัตราการเวียนน้ำเสียร้อยละ 130, 230 และ 330 ของปริมาตรถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งหากเกิดการสูญเสียก๊าซมีเทนมาก จะทำให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าลดลง [15]

### 3.5 อัตราการผลิตก๊าซมีเทน

ผลการทดลองของระบบที่มีการติดตั้งคอลัมน์ถังคายก๊าซและมีการเวียนน้ำเสียเทียบกับระบบควบคุมที่ไม่มีการติดตั้งคอลัมน์ถังคายก๊าซ พบว่าระบบควบคุมให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.148±0.043 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยป้อนเข้าระบบ ซึ่งมีค่าสูงกว่าระบบที่มีการเวียนน้ำเสีย ทั้งนี้เป็นผลมาจากการสูญเสียก๊าซมีเทนที่คอลัมน์ถังคายก๊าซ จึงทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนในระบบผลิตก๊าซชีวภาพลดลง แต่เมื่อพิจารณาที่อัตราการเวียนน้ำเสียแตกต่างกัน พบว่าการเวียนน้ำเสีย

สูงขึ้นทำให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อปริมาณของแข็งระเหยป้อนเข้าระบบมีค่าสูงขึ้นตาม โดยมีค่าอัตราการการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.102±0.013, 0.116±0.029 และ 0.124±0.036 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยป้อนเข้าระบบ ที่อัตราการเวียนน้ำเสียร้อยละ 130, 230 และ 330 ของปริมาตรถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพต่อวัน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** อัตราการผลิตก๊าซมีเทนในแต่ละการทดลอง

Recirculation Flow (% of Digester Volume)	Total Specific Methane Yield (Nm <sup>3</sup> /kgVS <sub>added</sub> )
Control (n = 5)	0.148 <sup>A</sup> ±0.043
130 (n = 5)	0.102 <sup>A</sup> ±0.013
230 (n = 6)	0.116 <sup>A</sup> ±0.029
330 (n = 3)	0.124 <sup>A</sup> ±0.036

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ย±ค่าความแปรปรวน, n คือจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ทางสถิติ, A คือผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากตารางที่ 3 เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี One-Way ANOVA แบบ Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับร้อยละ 95 พบว่าการหมุนเวียนน้ำเสียผ่านคอลัมน์ถึงค้ายก๊าซไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ O'Keefe และคณะ [16] ที่ได้กล่าวไว้ว่าการเป่าอากาศผ่านน้ำเสียไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อความสามารถในการหมักย่อยของจุลินทรีย์ในระบบแต่อย่างใด โดยที่อัตราการเวียนน้ำเสียร้อยละ 330 ของปริมาตรถึงปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อปริมาณของแข็งระเหยป้อนเข้าระบบสูงสุด

### 3.6 ความคุ้มค่าในการสร้างคอลัมน์ถึงค้ายก๊าซ

ผลการประเมินความคุ้มค่าในการสร้างคอลัมน์ถึงค้ายก๊าซแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งเป็นการยกตัวอย่างการนำคอลัมน์ถึงค้ายก๊าซมาใช้ร่วมกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ CMU-CD ขนาด 1,000 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 4 การประเมินความคุ้มค่าในการสร้างถึงค้ายก๊าซ

	CMU-CD	CMU-CD with Stripping Column
Capax (THB)	4,280,000	4,730,000
Operating Cost (THB/Y)	725,000	1,593,000

หมายเหตุ : เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างอ้างอิงราคากลางของสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

จากตารางที่ 4 พบว่าระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ CMU-CD มีเงินลงทุนในการก่อสร้าง 4,280,000 บาท ส่วนคอลัมน์ถึงค้ายก๊าซมีเงินลงทุนก่อสร้าง 450,000 บาท โดยหากติดตั้งคอลัมน์ถึงค้ายก๊าซจะทำให้เงินลงทุนในการก่อสร้างเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 จากระบบที่ไม่มีการติดตั้งคอลัมน์

ถึงค้ายก๊าซ สำหรับค่าใช้จ่ายรายปีของระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าเท่ากับ 725,000 บาทต่อปี ส่วนคอลัมน์ถึงค้ายก๊าซมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 1,593,000 บาทต่อปี ซึ่งหากติดตั้งคอลัมน์ถึงค้ายก๊าซจะทำให้ค่าใช้จ่ายต่อปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 46 จากระบบที่ไม่มีการติดตั้งคอลัมน์ถึงค้ายก๊าซ ซึ่งการเพิ่มเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายรายปีในก่อสร้างคอลัมน์ถึงค้ายก๊าซเท่ากับร้อยละ 10 และร้อยละ 46 ตามลำดับ จะทำให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 32 เมื่อเทียบกับระบบที่ไม่มีการติดตั้งคอลัมน์ถึงค้ายก๊าซ โดยสามารถเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซมีเทนได้สูงสุดร้อยละ 74.5 โดยปริมาตร เมื่อเทียบกับระบบที่ไม่มีการติดตั้งคอลัมน์ถึงค้ายก๊าซจะมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเพียงร้อยละ 56.6 โดยปริมาตร หากควบคุมค่า L/G Ratio เท่ากับ 2.92 และอัตราการเวียนน้ำเสียเท่ากับร้อยละ 330 ของปริมาตรถึงปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพต่อวัน ให้คงที่ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง

### 4. สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาอัตราการเวียนน้ำเสียที่มีต่อการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพและประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานเอทานอล พบว่าการเพิ่มอัตราการเวียนน้ำเสียผ่านคอลัมน์ถึงค้ายก๊าซทำให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยที่การเวียนน้ำเสียร้อยละ 330 ของปริมาตรถึงปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพต่อวัน สามารถเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 32 โดยปริมาตร จากเดิมร้อยละ 56.6±1.0 โดยปริมาตรของระบบควบคุมที่ไม่มีการติดตั้งคอลัมน์ถึงค้ายก๊าซ เป็นความเข้มข้นของก๊าซมีเทนได้ร้อยละ 74.5±2.5 โดยปริมาตร และมีการสูญเสียก๊าซมีเทนที่คอลัมน์ถึงค้ายก๊าซเท่ากับร้อยละ 13.2 โดยปริมาตร และการเวียนน้ำเสียผ่านคอลัมน์ถึงค้ายก๊าซเพื่อกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบหมักย่อยแบบไร้ออกซิเจนแต่อย่างใด

ผลการประเมินความคุ้มค่าในการสร้างคอลัมน์ถึงค้ายก๊าซสำหรับใช้ร่วมกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบบ่อหมักวาง CMU-CD ขนาด 1,000 ลูกบาศก์เมตร พบว่าการเพิ่มคอลัมน์ถึงค้ายก๊าซทำให้เงินลงทุนก่อสร้างเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 และค่าใช้จ่ายรายปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 46 โดยก๊าซชีวภาพ

ที่ได้จะมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนร้อยละ 74.5 โดยปริมาตร หากควบคุมอัตราการเวียนน้ำเสียเท่ากับร้อยละ 330 ของ ปริมาตรถึงปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพต่อวัน และควบคุมค่า L/G Ratio เท่ากับ 2.92 ให้คงที่ตลอดระยะเวลาเดินระบบ

## 5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้สำเร็จและบรรลุตามวัตถุประสงค์ ด้วยความร่วมมือและความอนุเคราะห์จากหลายฝ่าย ดังนี้

- ขอขอบพระคุณ กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้ ทุนอุดหนุนอุดหนุนโครงการวิจัย

- ขอขอบพระคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ทุนและสนับสนุนด้านต่างๆ ในการทำวิจัย

## 6. เอกสารอ้างอิง

1. Chula Unisearch, Chulalongkorn University, 2006, "Procedures and Conditions for Allow Distillery Factory," Report of Department of Industrial Works, pp. 3–22. (In Thai)

2. Kullavanijaya, P., Paepatung, N., Laopitinin, O., Nopparatana A. and Chairasert, P., 2007, "An Overview of Status and Potential of Biomethanation Technology in Thailand," *KMUTT Research and Development Journal*, 30 (4), pp. 693–700. (In Thai)

3. Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, 2017, Information Systems and Databases for Tracking and Evaluate Biogas Production in Thailand [Online], Available : [http://www.biogas.dede.go.th/biogas/web\\_biogas/](http://www.biogas.dede.go.th/biogas/web_biogas/) [8 March 2017]. (In Thai)

4. Tuitemwong, P., 1985, Methane Fermentation of the Slop Waste from an Alcohol Distillery, Master of Science Thesis, Microbiology Program, Kasetsart University. (In Thai)

5. Nakaparkorn, U., 2008, Effect of Internal Recycle in Anaerobic Digester on Biogas Production from Slop Wastewater, Master of Engineering Program in

Environmental Engineering Thesis, Chulalongkorn University. (In Thai)

6. Energy Research and Development Institute – Nakornping Chiang Mai University, 2016, "Development of Pilot Plant for Production of CBG for Vehicles," Report, Energy Policy and Planning Office : Ministry of Energy. (In Thai)

7. Lindberg, A. and Rasmuson, A., 2006, "Selective Desorption of Carbon Dioxide from Sewage Sludge for In Situ Methane Enrichment– Part I: Pilot – Plant Experiments," *Wiley InterScience, Sweden*, 95, pp. 794–830.

8. Energy Research and Development Institute – Nakornping Chiang Mai University, 2016, "In-situ Methane Enrichment," Report Energy Policy and Planning Office: Ministry of Energy. (In Thai)

9. APHA-AWWA-WPCF, 1992, Stand Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18<sup>th</sup> ed., American Public Health Association, Washing D.C., USA.

10. Nordberg, Å., Edström, M., Uusi-Pentillä, M. and Rasmuson, Å., 2012, "Selective Desorption of Carbon Dioxide from Sewage Sludge for In-situ Methane Enrichment : Enrichments in Pilot Scale," *Biomass and Bioenergy*, 37, pp.196–204.

11. Boontawee, S. and Koonaphapdeelert, S., 2016, "In-situ Biomethane Enrichment by Recirculation of Biogas Channel Digester Effluent Using Gas Stripping Column," *Energy Procedia*, 89, pp. 78–84.

12. Hansson, M., Laurell, J., Nordberg, Å., Rasmuson, Å., Liu, J., Nistor, M., Strömborg, S. and Costa, J., 2013, "In-Situ Methane Enrichment of Raw Biogas in the Anaerobic Digestion Process," SGC Rapport 2012:280 Svenskt Gastekniskt CenterAB.

13. Richards, B.K., Herndon, H.G., Jewell, W.J., Cummings, R.J. and White, T.E., 1994, "In Situ Methane Enrichment in Methanogenic Energy Crop Digesters," *Biomass and Bioenergy*, 13 (2), pp. 275 – 282.

14. Capareda, S., 2014, Introduction to Biomass Energy Conversions, CRC Press, New York, p. 274.
15. Bubpapung, J., 2015, In-situ Biomethane Enrichment by Effluent Recirculation from Stripping Column, Master of Engineering Thesis, Environmental Engineering Program, Chiang Mai University. (In Thai)
16. O'Keefe, D., Brigmon, R. and Chynoweth, D., 2000, "Influence of Methane Enrichment by Aeration of Recirculated Supernatant on Microbial Activities during Anaerobic Digestion," *Biogasresource Technology*, 71, pp. 217–224.