



การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพจากมูลโคด้วยวิธีดักจับด้วยน้ำที่ความดันต่ำ

ชนมน จันทนา*

อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

สุวรรณ หอมหวล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-3435-5310 อีเมล: fengcnm@ku.ac.th

รับเมื่อ 20 มีนาคม 2558 ตอรับเมื่อ 1 กรกฎาคม 2558 เผยแพร่ออนไลน์ 3 ธันวาคม 2558

© 2016 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เป็นการจัดสร้างชุดทดลองการดักจับด้วยน้ำ เพื่อเพิ่มสัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ได้จากมูลโค โดยการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพ เป็นการทำงานที่ความดันก๊าซชีวภาพต่ำขนาด 3 บาร์ เพื่อลดค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ในระบบ ในการทดลองเป็นการศึกษาถึงผลของปริมาณน้ำในถัง Scrubber จำนวนรอบของการไหลผ่านถัง Scrubber ของก๊าซชีวภาพ และการเพิ่มพื้นที่ผิวในถัง ต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของมีเทนในก๊าซชีวภาพ จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำในถัง Scrubber มีผลต่อการเพิ่มสัดส่วนของมีเทนอย่างมาก กล่าวคือที่ปริมาณน้ำร้อยละ 75 ของปริมาณถังสามารถเพิ่มสัดส่วนของมีเทนเมื่อเทียบกับก่อนการทดสอบได้ร้อยละ 18.08 โดยปริมาตร ในขณะที่สัดส่วนของมีเทนเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 4.04 ที่ปริมาณน้ำร้อยละ 25 ของปริมาณถัง และพบว่าผลของการเพิ่มจำนวนรอบให้ก๊าซชีวภาพไหลผ่านถัง Scrubber มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของมีเทนน้อยมาก กล่าวคือไม่ถึงร้อยละ 5 ทั้งจากการทดสอบที่ปริมาณน้ำในถังร้อยละ 25 และ 75 และเมื่อใส่ชิ้นส่วนท่อพีวีซีในถัง Scrubber เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส พบว่าการใส่ชิ้นส่วนท่อพีวีซีที่ปริมาณน้ำในถังร้อยละ 75 ทำให้สัดส่วนของมีเทนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30.51 และ 34.30 ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวพีวีซีทั้งหมดต่อพื้นที่ผิวภายในถังเป็น 1 และ 2 เท่า ตามลำดับ และการใส่ชิ้นส่วนท่อพีวีซีที่ปริมาณน้ำในถังร้อยละ 25 สามารถเพิ่มสัดส่วนของมีเทนเป็นร้อยละ 19.56 และ 25.41 ที่อัตราส่วนเพิ่มพื้นที่ผิว 1 และ 2 เท่าตามลำดับเช่นกัน อย่างไรก็ตามสัดส่วนของก๊าซออกซิเจนในก๊าซชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกการทดสอบ ซึ่งต้องมีการกำจัดต่อไป และจากผลการทดลองที่ได้นี้จะได้นำมาใช้เป็นแนวทางเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมระหว่างปริมาณน้ำ อัตราส่วนการเพิ่มพื้นที่ผิวในถัง Scrubber และรูปร่างที่เหมาะสมของตัวเพิ่มพื้นที่ผิวต่อไป

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ มูลโค การดักจับด้วยน้ำ

การอ้างอิงบทความ: ชนมน จันทนา และ สุวรรณ หอมหวล, “การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพจากมูลโคด้วยวิธีดักจับด้วยน้ำที่ความดันต่ำ,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 26, ฉบับที่ 1, หน้า 51-60, ม.ค.-เม.ย. 2559.

DOI: 10.14416/j.kmutnb.2015.07.004



Removal of Carbon Dioxide from Cow Manure by Water Scrubbing at Low Pressure

Chanamon Chantana*

Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, Thailand

Suwan Homhual

Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0-3435-5310, E-mail: fengcnm@ku.ac.th

Received 20 March 2015; Accepted 1 July 2015; Published online: 3 December 2015

© 2016 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The objective of the research was to set up the water scrubbing experiment to increase the methane fraction in biogas from cow manure by removing carbon dioxide. The experiment was done under 3 bars of biogas pressure in order to reduce the system operating cost. The effects of water volume, a circulation of biogas into a scrubber and an increased surface area in a scrubber on the increased methane fraction in biogas were investigated. The results showed that the water volume in scrubber affected the increase of methane fraction: the methane fraction was increased by 18.08% when the water volume was 75% of the scrubber, but only 4.04% when the water volume was 25%. However, the circulation of biogas into the scrubber had a small effect on the increased methane fraction, less than 5% in 25% and 75% water volume of the scrubber. The increased surface area by adding PVC pipes in the scrubber was also investigated. It was found that when the ratio of total surface area of PVC pipes to the inner surface area of the scrubber was 1: 2, the methane fraction was increased by 30.51% and 34.30% respectively with 75% water volume of the scrubber; and by 19.56% and 25.41% with 25% water volume. However, the fraction of oxygen in biogas was also increased in all tests and needed to be removed. Therefore, the optimum condition of water volume, the ratio of surface area and the quantity or shape of the packed material at low biogas pressure should be further studied.

Keywords: Biogas, Cow Manure, Water Scrubber

1. บทนำ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นพลังงานที่สามารถผลิตได้จากสารอินทรีย์ซึ่งเป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) โดยจุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะปราศจากออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ซึ่งเป็นกระบวนการที่สามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติ หรือบริเวณที่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อม เช่น ถังหมักก๊าซในสภาวะไร้อากาศ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีการเลี้ยงสัตว์เป็นจำนวนมาก สัตว์เศรษฐกิจ ที่สำคัญของประเทศ ได้แก่ สุกร โคเนื้อและโคนม แพะ แกะ ไก่และเป็ด จากข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ระดับประเทศปี 2557 [1] พบว่าจำนวนโคเนื้อและโคนมเท่ากับ 4,312,408 และ 508,548 ตัวตามลำดับ ซึ่งของเสียที่ผลิตจากโคระหว่างเลี้ยงนั้นหมายรวมถึงทั้งมูลแห้งและมูลเปียกรวมทั้งปัสสาวะและน้ำล้างคอก โดยเฉพาะโคนม สามารถผลิตของเสียได้ถึง 57 ลิตรต่อวัน [2] ทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหากมีการจัดการที่ไม่ถูกต้อง ตัวอย่างเช่น มูลแห้งที่กองทิ้งไว้เป็นสาเหตุให้เกิดก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นหนึ่งในก๊าซสำคัญที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) นอกจากนี้ฟาร์มส่วนใหญ่จะมีบ่อพักเพื่อรับมูลเปียก ดังนั้นของเหลวที่ล้นออกมาจะไหลลงระบบระบายน้ำสาธารณะ ทำให้เป็นมลภาวะในดิน น้ำ และอากาศ ซึ่งหนึ่งในวิธีการที่สามารถนำมาใช้จัดการปัญหาจากของเสียเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือการนำมาย่อยสลายให้เป็นก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบหลักในก๊าซชีวภาพคือมีเทน (CH_4) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยมีสัดส่วนโดยประมาณคือ CH_4 (50–70%), CO_2 (25–50%), N_2 (0.3–3%), H_2 (1–5%) และ H_2S อีกเล็กน้อย ซึ่งการเผาไหม้มีเทนจะเป็นการปลดปล่อยพลังงาน ทำให้นำไปใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ได้ โดยประสิทธิภาพและกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ขึ้นกับสัดส่วนของมีเทนในก๊าซชีวภาพ [3] มีการศึกษาการนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ขนาดเล็ก [4] หรือผสมกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น เช่น ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) [5] หรือเป็นเชื้อเพลิง

ร่วมเช่น ดีเซล [6], [7] เพื่อเพิ่มสัดส่วนมีเทนให้สูงขึ้น สัดส่วนของมีเทนในก๊าซชีวภาพขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของสารอินทรีย์ (C/N Ratio) ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention Time) อุณหภูมิในถังหมัก เป็นต้น สำหรับก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักมูลโค จะให้ปริมาณก๊าซและมีเทนในสัดส่วนที่ต่ำเนื่องจากผ่านกระบวนการหมักล่วงหน้า (Pre-fermentation) โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะของโค [8] เพื่อทำให้ได้ก๊าซชีวภาพที่มีสัดส่วนมีเทนสูงขึ้น จึงต้องมีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออก เนื่องจากเป็นก๊าซที่เผาไหม้ไม่ได้และเป็นองค์ประกอบในไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งถึงแม้มีปริมาณไม่มากนักกล่าวคือมีค่าอยู่ระหว่าง 100 ถึง 10,000 ppm แต่ระหว่างการเผาไหม้เมื่อไฮโดรเจนซัลไฟด์รวมตัวกับน้ำจะเปลี่ยนเป็น กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อนสูง จึงต้องมีการกำจัดด้วยเช่นกัน

วิธีหลักในการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพประกอบด้วย การดูดซึมโดยใช้สารเคมี (Chemical Absorption) กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process, PSA) การแยกด้วยเยื่อแผ่น (Membrane Separation) และการดูดซับด้วยน้ำ (Water Scrubbing) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับในระบบข้างต้นแล้ว วิธีการดูดซับด้วยน้ำนั้นเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำ แต่มีความเสถียรสูง และมีความปลอดภัยระหว่างทำงาน [9] โดยหลักการการทำงานของระบบจะอาศัยความสามารถในการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ ซึ่งแปรผันโดยตรงกับความดันและอุณหภูมิ นอกจากนี้ น้ำยังสามารถแยกฝุ่นและไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกมาได้โดยทั่วไปในระหว่างการทำงานก๊าซชีวภาพจะถูกอัดให้มีความดันระหว่าง 10–12 bar และไหลสวนทางกับน้ำที่ถูกพ่นจากทางด้านบนลง ทำให้อัดก๊าซชีวภาพที่มีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 95 โดยปริมาตร [10] แต่การทำงานที่ความดันดังกล่าวทำให้ต้องใช้เครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มแรงดันก๊าซ ร่วมกับวาล์วทนแรงดันสูง ทำให้มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและการดูแลรักษาเพิ่มขึ้น

เพื่อเป็นการส่งเสริมการใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลโคในผู้เลี้ยงขนาดกลาง ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการเพิ่มสัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพด้วยวิธีการดูดซับด้วยน้ำที่ความดันต่ำ กล่าวคือที่ระดับความดัน 3 บาร์ และใช้การรักษาระดับน้ำในถังที่แทนการไหลแบบสัมผัส ศึกษาถึงผลของจำนวนรอบของการไหลผ่านถัง Scrubber ของก๊าซชีวภาพ และการใส่วัสดุในถัง เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส [11], [12] โดยผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะได้ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบการดูดซับด้วยน้ำที่ความดันต่ำสำหรับการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพให้ใช้ในเครื่องยนต์สำหรับฟาร์มโคตั้งแต่ขนาดกลางขึ้นไป

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการจัดสร้างชุดทดลอง เพื่อเป็นการศึกษาถึงผลของปริมาตรน้ำในถัง จำนวนรอบของการไหลผ่านถัง Scrubber ของก๊าซชีวภาพ และการเพิ่มพื้นที่ผิวในถัง ต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพด้วยวิธีดักจับด้วยน้ำ โดยทำการจัดสร้างและทดสอบที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์และวิธีวิจัยดังต่อไปนี้

2.1 วัสดุ และอุปกรณ์

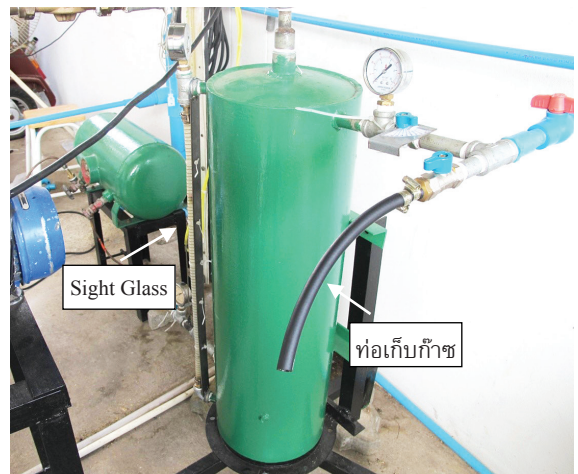
อุปกรณ์หลักในการทดลองประกอบด้วย 3 ระบบใหญ่ ๆ กล่าวคือ ระบบก๊าซ ถัง Scrubber และระบบน้ำ ซึ่งแต่ละระบบประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องดังนี้ (รูปที่ 1 และ 2)

1. ระบบก๊าซประกอบด้วยปั๊มลม (Air Compressor) พร้อมถังอัด และถังพักก๊าซ
2. ระบบน้ำประกอบด้วย ปั๊มน้ำ (Cold Water Pump) พร้อมถังเก็บน้ำ และหัวพ่นน้ำฝอย
3. ถัง Scrubber ประกอบด้วยถังเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 ซม. สูง 80 ซม.

นอกจากนี้ยังประกอบด้วยเครื่องมือวัดที่สำคัญ กล่าวคือ Hot Wire Anemometer สำหรับวัดความเร็วก๊าซ



รูปที่ 1 แสดงรายละเอียดการต่ออุปกรณ์ในระบบ (A) ปั๊มลม (B) ถังพักก๊าซ (C) ปั๊มน้ำ (D) ถัง Scrubber



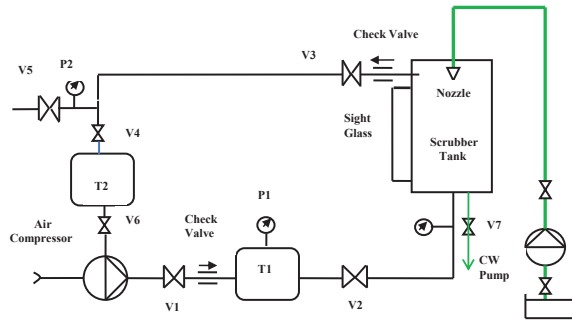
รูปที่ 2 ถัง Scrubber

ที่บริเวณทางออกจากถัง Scrubber มาตรวจวัดความดันซึ่งติดตั้งที่ทางเข้าของถัง Scrubber และท่อเก็บก๊าซ

สำหรับก๊าซชีวภาพที่นำมาทดสอบนั้น ได้จากบ่อหมักก๊าซจากมูลโค ณ สถาบันสุวรรณวจากสิกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซเฉลี่ย โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพผลิตภัณฑ์ของ Geotech ที่มีค่าความแม่นยำ (Accuracy) $\pm 0.5\%$



รูปที่ 3 ชุดปั๊มลมพร้อมถังสำหรับเก็บก๊าซชีวภาพจากบ่อหมัก



รูปที่ 4 แผนผังแสดงอุปกรณ์การทดลอง

2.2 วิธีวิจัย

ในขั้นต้นทำการเก็บก๊าซชีวภาพจากสถาบันสุวรรณจากกลีจิกโดยใช้ชุดปั๊มลมพร้อมถัง ดังในรูปที่ 3 จากนั้นดำเนินการวิจัยตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้ (รูปที่ 4)

1. ผลของปริมาตรน้ำ

1.1 เปิดปั๊มน้ำทำการจ่ายน้ำผ่านหัวฉีด (Nozzle) ที่ติดตั้งในถัง Scrubber ทำการปรับวาล์ว V7 จนกระทั่งระดับน้ำในถังคงที่อยู่ที่ประมาณร้อยละ 25 ของปริมาตรถัง โดยสังเกตจากหลอดแก้ววัดระดับน้ำ (Sight Glass) ที่ติดตั้งอยู่ข้างถัง

1.2 เปิดวาล์ว V1 ปิดวาล์ว V2 และ V6 เปิดปั๊มลมเพื่อทำการอัดก๊าซชีวภาพไปเก็บไว้ในถังความดัน T1

จากชุดถังเก็บ จนกระทั่งความดันในถังมีค่าประมาณ 3 บาร์ โดยอ่านค่าจากมาตรวัดความดัน P1 ที่ติดตั้งที่ถัง

1.3 เปิดวาล์ว V2 และ V3 ปิดวาล์ว V4 และ V5 เพื่อให้ก๊าซไหลผ่านน้ำในถัง Scrubber เริ่มจับเวลาจนมาตรวัดความดัน P2 อ่านค่าได้ประมาณ 3 บาร์ ให้เปิดวาล์ว V5 เพื่อทำการเก็บก๊าซและนำไปวิเคราะห์ห้องค้ประกอบ

1.4 ทำการทดลองซ้ำข้อ 1.1 ถึง 1.3 อีกหนึ่งครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย

1.5 ทำการทดลองซ้ำข้อ 1.1 ถึง 1.4 ที่ระดับน้ำร้อยละ 75 ของปริมาตรถัง

2. ผลของจำนวนรอบ จากผลของการจับเวลาในหัวข้อ 1.3 พบว่าเวลาที่ก๊าซชีวภาพไหลผ่านถัง Scrubber 1 เทียบจะใช้เวลาประมาณ 1.7 นาที จึงกำหนดขั้นตอนการทดลองในวัตถุประสงค์ที่ 2 นี้ โดยให้จำนวนรอบที่มากที่สุดของการไหลผ่านถัง Scrubber คือ 3 รอบ หรือไหลผ่านถังประมาณ 5 นาที

2.1 ทำการทดลองการไหลของก๊าซชีวภาพผ่านถัง Scrubber ที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 25 ของปริมาตรถังจำนวน 2 รอบ โดยใช้ก๊าซชีวภาพจากถังเดียวกันกับการทดลองที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 25 ในหัวข้อ 1

2.2 ทำการเปิดปิดวาล์วตามขั้นตอนดังในตารางที่ 1 และมีการจับเวลาเมื่อก๊าซชีวภาพไหลผ่านในแต่ละรอบเช่นเดียวกับข้อ 1.3

ตารางที่ 1 การเปิดปิดวาล์วสำหรับการทดสอบการไหลของก๊าซชีวภาพจำนวน 2 รอบ

	ประตูน้ำ (Gate Valve)					
	V1	V2	V3	V4	V5	V6
1. อัดก๊าซจากถังเก็บ*	✓	✗	✓	✓	✗	✗
2. รอบที่ 1**	✓	✓	✓	✓	✗	✗
3. อัดก๊าซ*	✓	✗	✓	✓	✗	✓
4. รอบที่ 2**	✓	✓	✓	✗	✗	✗
5. เก็บก๊าซวิเคราะห์	✓	✓	✓	✗	✓	✗

* เปิดปั๊มลม ** จับเวลา ✓ open ✗ close



2.3 ทำการทดลองซ้ำอีก 1 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

2.4 ทำการทดลองการไหลของก๊าซชีวภาพผ่านถัง Scrubber ที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 25 ของปริมาตรถังจำนวน 3 รอบ โดยใช้ก๊าซชีวภาพจากถังเดียวกันกับการทดลองที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 25 ในหัวข้อ 1

2.5 ทำการเปิดปิดวาล์วตามขั้นตอนดังในตารางที่ 2 และมีการจับเวลาเมื่อก๊าซชีวภาพไหลผ่านในแต่ละรอบ เช่นเดียวกับข้อ 1.3

ตารางที่ 2 การเปิดปิดวาล์วสำหรับการทดสอบการไหลของก๊าซชีวภาพจำนวน 3 รอบ

	ประตูน้ำ (Gate Valve)					
	V1	V2	V3	V4	V5	V6
1. อัดก๊าซจากถังเก็บ*	✓	✗	✓	✓	✗	✗
2. รอบที่ 1**	✓	✓	✓	✓	✗	✗
3. อัดก๊าซ*	✓	✗	✓	✓	✗	✓
4. รอบที่ 2**	✓	✓	✓	✓	✗	✗
5. อัดก๊าซ*	✓	✗	✓	✓	✗	✓
6. รอบที่ 3**	✓	✓	✓	✗	✗	✗
7. เก็บก๊าซวิเคราะห์	✓	✓	✓	✗	✓	✗

* เปิดปั๊มลม ** จับเวลา ✓ open ✗ close

2.6 ทำการทดลองซ้ำทั้งหมดอีก 1 ครั้งเพื่อทำการหาค่าเฉลี่ย

2.7 ทำการทดลองซ้ำข้อ 2.1 ถึง 2.7 ที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 75 โดยใช้ก๊าซชีวภาพจากถังเดียวกันกับการทดลองที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 75 ในหัวข้อ 1

สำหรับถัง T2 ที่แสดงอยู่ในรูปที่ 4 นั้นเป็นถังที่มีปริมาตรใกล้เคียงกับถัง T1 มีไว้เพื่อกักเก็บก๊าซก่อนที่จะนำมาทำการไหลวนซ้ำผ่านถัง Scrubber ในกรณีที่เป็น การทดสอบที่เป็นการไหลมากกว่า 1 รอบ

3. ผลของการเพิ่มพื้นที่ผิว

สำหรับการทดลองในวัตถุประสงค์นี้มีการใช้ท่อพีวีซีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว ยาว 3 ซม. ใส่ในถัง Scrubber เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว โดยเป็นการทดสอบการเพิ่มพื้นที่ผิว

1 และ 2 เท่าของพื้นที่ผิวด้านในถัง ซึ่งจะได้จำนวนท่อพีวีซีที่ใส่เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวที่อัตราส่วนดังกล่าว เท่ากับ 1,340 และ 2,670 ชิ้นตามลำดับ

3.1 ทำการทดลองหัวข้อ 1.1 ถึง 1.3 ที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 25 โดยใส่ท่อพีวีซีเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว 1 เท่าก่อนทำการทดลอง และทำการทดลองซ้ำอีก 1 ครั้ง หลังจากนั้นเพิ่มจำนวนท่อพีวีซีเพื่อให้การเพิ่มพื้นที่ผิวเป็น 2 เท่า และทำการทดลองซ้ำอีก 1 ครั้งเช่นกัน

3.2 ทำการทดลองซ้ำหัวข้อ 3.1 แต่ที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 75 ของปริมาตรถัง และเพื่อเป็นการหาความดันลดของก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการใส่ชิ้นส่วนท่อพีวีซีลงในถัง Scrubber จึงทำการใช้ Hot Wire Anemometer วัดความเร็วก๊าซที่บริเวณทางออกจากถังก่อนทำการทดลอง เมื่อไม่มีการใส่ชิ้นส่วนท่อพีวีซี และเมื่อมีการใส่ที่อัตราส่วน 1 และ 2 เท่า ที่ปริมาตรน้ำในถังเท่ากับร้อยละ 25 และ 75

3. การคำนวณผลจากการทดลอง

การคำนวณร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของมีเทนในก๊าซชีวภาพเป็นไปตามสมการ (1)

$$A (\%) = \frac{(B - C)}{C} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ A คือร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของมีเทน

B คือร้อยละของมีเทนหลังการทดลอง

C คือร้อยละของมีเทนก่อนการทดลอง

ถ้าเครื่องหมายของ A เป็นบวกหมายถึงเป็นการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเครื่องหมาย A เป็นลบหมายถึงเป็นการเปลี่ยนแปลงลดลง สำหรับค่าของตัวแปร B ได้มาจากการหาค่าเฉลี่ยจำนวน 2 ครั้ง จากการทดลองแต่ละเงื่อนไข หากมีความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้ 2 ค่ามากกว่า $\pm 0.5\%$ จะทำการทดลองในเงื่อนไขเดิมซ้ำอีกจนกว่าค่าความแตกต่างจะน้อยกว่าหรือเท่ากับ $\pm 0.5\%$ จึงจะนำมาใช้เป็นค่าเฉลี่ยสำหรับเงื่อนไขการทดลองนั้น สำหรับค่าของตัวแปร C ซึ่งเป็นร้อยละของมีเทนก่อน



ทำการทดสอบ ได้จากการอ่านค่าจากเครื่องวัดก่อนทำการทดสอบจำนวน 2 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเช่นเดียวกัน

การวัดร้อยละของมีเทนในก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.5\%$ ทำให้เกิดค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) จากการคำนวณในสมการ (1) ซึ่งค่าความไม่แน่นอนนี้ สามารถคำนวณได้จากสมการ (2) [13]

$$\frac{\delta A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\delta C}{C}\right)^2} \quad (2)$$

เมื่อสัญลักษณ์ $\frac{\delta X}{X}$ หมายถึงค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดของตัวแปร X ใดๆ เมื่อแทนค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปร B และ C ซึ่งเกิดจากการวัดสัดส่วนของมีเทนจากเครื่องวัดซึ่งมีค่าเท่ากับ $\pm 0.5\%$ ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนของการคำนวณร้อยละของการเปลี่ยนแปลงมีเทน $\left(\frac{\delta A}{A}\right)$ ในสมการ (1) จะมีค่าเท่ากับ 0.707%

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ตามวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

4.1 ผลของปริมาตรน้ำในถัง Scrubber

ผลของปริมาตรน้ำในถัง Scrubber ต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนขององค์ประกอบก๊าซชีวภาพที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 25 และ 75 ของปริมาตรถัง แสดงอยู่ในตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 สัดส่วนขององค์ประกอบก๊าซชีวภาพเฉลี่ย (%) โดยปริมาตรก่อนและหลังการไหลผ่านถัง Scrubber ที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 25 ของถัง

	%CH ₄	%CO ₂	%O ₂	อื่น ๆ
ก่อน	55.70	44.20	0.00	0.10
หลัง	57.95	41.80	0.15	0.10

ตารางที่ 4 สัดส่วนขององค์ประกอบก๊าซชีวภาพเฉลี่ย (%) โดยปริมาตรก่อนและหลังการไหลผ่านถัง Scrubber ที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 75 ของถัง

	%CH ₄	%CO ₂	%O ₂	อื่น ๆ
ก่อน	54.70	45.20	0.00	0.10
หลัง	64.70	32.45	2.85	0.00

จากการเปรียบเทียบตารางที่ 3 และ 4 พบว่าการให้ก๊าซชีวภาพที่ความดัน 3 บาร์ไหลผ่านถัง Scrubber ที่มีการรักษาปริมาตรน้ำในถังให้คงที่ที่ร้อยละ 25 และ 75 ของปริมาตรถัง สามารถเพิ่มสัดส่วนของมีเทนในก๊าซชีวภาพได้ร้อยละ 4.04 และ 18.28 ตามลำดับ และเป็นที่น่าสนใจว่าที่ปริมาตรน้ำในถังร้อยละ 75 สามารถละลายก๊าซอื่น ๆ ในก๊าซชีวภาพได้ดีกว่าที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 25 แต่ปริมาณ O₂ กลับเพิ่มสูงขึ้นกว่าที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 25

4.2 ผลของจำนวนรอบของการไหลผ่านถัง Scrubber

ผลของจำนวนรอบต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนขององค์ประกอบก๊าซชีวภาพที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 25 และ 75 ของปริมาตรถัง แสดงอยู่ในตารางที่ 5 และ 6 ตามลำดับ สำหรับเวลาที่ก๊าซชีวภาพไหลผ่านถังจำนวน 3 รอบโดยเฉลี่ยคือ 5.10 และ 5.15 นาที ที่ปริมาตรน้ำในถังร้อยละ 25 และ 75 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 สัดส่วนขององค์ประกอบก๊าซชีวภาพเฉลี่ย (%) โดยปริมาตรก่อนและหลังการไหลผ่านถัง Scrubber ที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 25 ของปริมาตรถัง และที่จำนวนรอบต่าง ๆ

	%CH ₄	%CO ₂	%O ₂	อื่น ๆ
ก่อน	55.70	44.20	0.00	0.10
รอบที่ 1	57.95	41.80	0.15	0.10
รอบที่ 2	59.70	40.10	0.20	0.00
รอบที่ 3	60.82	38.95	0.23	0.00

ตารางที่ 6 สัดส่วนขององค์ประกอบก๊าซชีวภาพเฉลี่ย (%) โดยปริมาตรก่อนและหลังการไหลผ่านถึง Scrubber ที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 75 ของปริมาตรถัง และที่จำนวนรอบต่างๆ

	%CH ₄	%CO ₂	%O ₂	อื่น ๆ
ก่อน	54.70	45.20	0.00	0.10
รอบที่ 1	64.70	32.45	2.85	0.00
รอบที่ 2	66.90	28.45	4.65	0.00
รอบที่ 3	68.05	25.70	6.25	0.00

จากตารางที่ 5 และ 6 พบว่าร้อยละของการเพิ่มขึ้นของมีเทนในก๊าซชีวภาพในรอบที่ 2 เปรียบเทียบกับรอบที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 3.40 และ 3.10 ตามลำดับ และในรอบที่ 3 เปรียบเทียบกับรอบที่ 2 มีค่าใกล้เคียงเช่นเดียวกัน คือร้อยละ 1.72 และ 1.88 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นจึงสรุปได้ว่าการเพิ่มจำนวนรอบหรือเวลาของการไหลผ่านถึง Scrubber มีผลต่อการเพิ่มสัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพน้อยมาก

4.3 ผลของการเพิ่มพื้นที่ผิวในถัง Scrubber

ผลของการเพิ่มพื้นที่ผิวในถัง Scrubber ต่อสัดส่วนขององค์ประกอบก๊าซชีวภาพ โดยการใส่ชิ้นส่วนท่อพีวีซีที่การเพิ่มพื้นที่ผิว 1 และ 2 เท่าของพื้นที่ผิวด้านในถัง Scrubber และที่ปริมาตรน้ำในถังร้อยละ 25 และ 75 ของปริมาตรถัง แสดงอยู่ในตารางที่ 7 และ 8 ตามลำดับ

ตารางที่ 7 สัดส่วนขององค์ประกอบก๊าซชีวภาพเฉลี่ย (%) โดยปริมาตรก่อนและหลังการไหลผ่านถึง Scrubber ที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 25 ของปริมาตรถัง เมื่อมีการใส่ชิ้นส่วนท่อพีวีซี

	%CH ₄	%CO ₂	%O ₂	อื่น ๆ
ก่อน	54.70	45.20	0.00	0.10
พื้นที่ผิว 1 เท่า	65.40	34.40	0.10	0.10
พื้นที่ผิว 2 เท่า	68.60	30.60	0.60	0.20

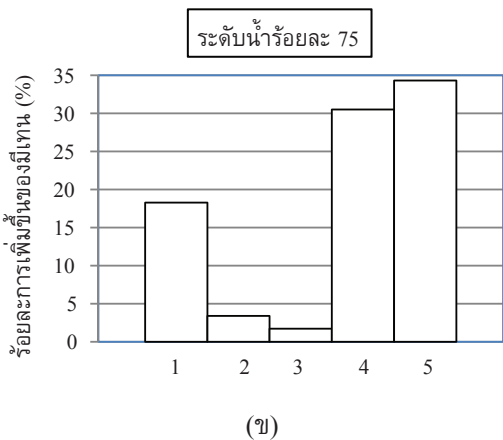
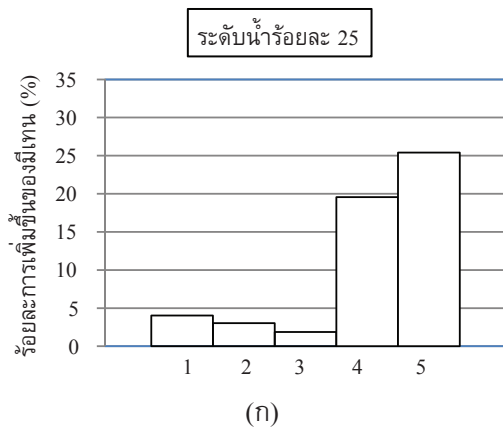
ตารางที่ 8 สัดส่วนขององค์ประกอบก๊าซชีวภาพเฉลี่ย (%) โดยปริมาตรก่อนและหลังการไหลผ่านถึง Scrubber ที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 75 ของถังเมื่อมีการใส่ชิ้นส่วนท่อพีวีซี

	%CH ₄	%CO ₂	%O ₂	อื่น ๆ
ก่อน	55.10	44.80	0.00	0.10
พื้นที่ผิว 1 เท่า	71.91	26.99	1.10	0.00
พื้นที่ผิว 2 เท่า	74.00	24.70	1.30	0.00

จากตารางที่ 7 การใส่ชิ้นส่วนท่อพีวีซีในถัง Scrubber ที่ปริมาตรน้ำในถังร้อยละ 25 สามารถเพิ่มสัดส่วนของมีเทนในก๊าซชีวภาพได้ร้อยละ 19.56 และ 25.41 ที่อัตราส่วนการเพิ่มพื้นที่ผิว 1 และ 2 เท่าตามลำดับ และจากตารางที่ 8 พบว่าการใส่ชิ้นส่วนท่อพีวีซีในถัง Scrubber ที่ปริมาตรน้ำในถังร้อยละ 75 สามารถเพิ่มสัดส่วนของมีเทนในก๊าซชีวภาพได้ร้อยละ 30.51 และ 34.30 ที่อัตราส่วนการเพิ่มพื้นที่ผิว 1 และ 2 เท่าตามลำดับเช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองจากตารางที่ 7 และ 3 พบว่าการเพิ่มพื้นที่ผิว 1 และ 2 เท่า จากพื้นที่ผิวด้านในถัง สามารถเพิ่มสัดส่วนของมีเทนในก๊าซชีวภาพได้ 4-6 เท่า ขณะที่ผลจากการเปรียบเทียบตารางที่ 8 และ 4 พบว่าสัดส่วนของมีเทนในก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นในอัตราที่น้อยกว่ากล่าวคือเฉลี่ยที่ 1.7 เท่า สำหรับผลของการใส่ท่อพีวีซีต่อความดันลดของก๊าซชีวภาพที่ไหลผ่านถึง Scrubber พบว่าทำให้เกิดความดันลดร้อยละ 20 และ 34 ที่อัตราส่วนการเพิ่มพื้นที่ผิว 1 และ 2 เท่าตามลำดับ โดยมีค่าใกล้เคียงกันทั้งที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 25 และ 75

จากผลการทดลองทั้งหมดข้างต้น สามารถนำมาสรุปถึงร้อยละของการเพิ่มขึ้นของมีเทนในก๊าซชีวภาพเทียบกับก่อนการทดสอบ ที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 5 (ก) และ 5 (ข)



รูปที่ 5 ร้อยละของการเพิ่มขึ้นของมีเทนที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 25 และ 75 ของปริมาตรถัง Scrubber ที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

หมายเหตุ 1-การไหล 1 รอบ, 2-การไหล 2 รอบ, 3-การไหล 3 รอบ, 4-การเพิ่มพื้นที่ผิว 1 เท่า, 5-การเพิ่มพื้นที่ผิว 2 เท่า

5. สรุป

ในงานวิจัยนี้เป็นการจัดสร้างชุดทดลองการดักจับด้วยน้ำเพื่อเพิ่มสัดส่วนของมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ได้จากมูลโค ด้วยการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพ ที่ความดันก๊าซชีวภาพขนาด 3 บาร์ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ปริมาตรน้ำในถัง Scrubber มีผลต่อการเพิ่มสัดส่วนของมีเทนอย่างมากโดยที่ปริมาตร

น้ำร้อยละ 75 ของปริมาตรถังสามารถเพิ่มสัดส่วนของมีเทนเทียบกับก่อนการทดสอบได้ร้อยละ 18.28 โดยปริมาตร เมื่อเทียบกับที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 25 ของถังที่สามารถเพิ่มสัดส่วนของมีเทนได้เพียงร้อยละ 4.04 แต่ผลของการเพิ่มจำนวนรอบการไหลผ่านถัง Scrubber ของก๊าซชีวภาพ พบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของมีเทนในก๊าซชีวภาพน้อยมาก กล่าวคือน้อยกว่าร้อยละ 5 ที่การทดสอบปริมาตรน้ำในถังร้อยละ 25 และ 75 และเมื่อใส่ชิ้นส่วนท่อพีวีซีในถัง Scrubber พบว่าการใส่ชิ้นส่วนที่ปริมาตรน้ำในถังร้อยละ 75 สามารถเพิ่มสัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพได้ร้อยละ 30.51 และ 34.30 ที่อัตราส่วนของการเพิ่มพื้นที่ผิว 1 และ 2 เท่าตามลำดับ และที่ปริมาตรน้ำในถังร้อยละ 25 สามารถเพิ่มสัดส่วนของมีเทนได้ร้อยละ 19.56 และ 25.41 ที่อัตราส่วนของการเพิ่มพื้นที่ผิว 1 และ 2 เท่า ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบผลของการใส่และไม่ใส่ชิ้นส่วนท่อพีวีซีที่ปริมาตรน้ำเดียวกันพบว่าการใส่ชิ้นส่วนท่อพีวีซีสามารถเพิ่มสัดส่วนของมีเทนเทียบกับการไม่ใส่ ที่ปริมาตรน้ำร้อยละ 25 ได้ 4-6 เท่า ในขณะที่สามารถเพิ่มสัดส่วนของมีเทนโดยเฉลี่ยได้เพียง 1.7 เท่าที่ปริมาตรน้ำในถังร้อยละ 75 ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้นี้จะได้นำมาใช้เป็นแนวทางเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของปริมาตรน้ำ อัตราส่วนการเพิ่มพื้นที่ผิวในถัง Scrubber และรูปร่างที่เหมาะสมของตัวเพิ่มพื้นที่ผิวต่อไป และผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะคือ การทดสอบที่ปริมาตรน้ำในถังมากขึ้นจะทำให้สัดส่วนของออกซิเจนในก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งควรต้องมีวิธีการกำจัดออก และถัง Scrubber ควรมีช่องที่สามารถมองเห็นได้ภายใน เพื่อให้สังเกตเห็นผลของการใส่วัสดุได้ชัดเจนขึ้นว่าส่วนของวัสดุส่วนที่ลอยและจมน้ำมีผลอย่างไรต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของมีเทน

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ได้มอบทุนประจำปีงบประมาณ 2555 เพื่อดำเนินงานโครงการวิจัยนี้ และสถาบันสุวรรณวจากกลกิสิกที่ได้อุเคราะห์ก๊าซชีวภาพสำหรับการทดสอบ



เอกสารอ้างอิง

- [1] Information Technology Center. (2015, Feb.). Department of Livestock Development [Online]. Available: <http://www.ict.dld.go.th>
- [2] W. Jaruwan and L. Moongwattana, "Clean Technology of Waste Management in Dairy Farm Rajchaburi Province," *Journal of Industrial Technology*, vol. 10, pp. 38–49, 2014.
- [3] E. Porpatham, A. Ramesh, and B. Nagalingam, "Investigation on the effect of concentration of methane in biogas when used as a fuel for a spark ignition engine," *Fuel*, vol. 87, pp. 1651–1659, 2008.
- [4] D. Det and T. Nakorn Tippayawong, "Experimental investigation of an automotive air-conditioning system driven by a small biogas engine," *Applied Thermal Engineering*, vol. 30, pp. 400–405, 2010.
- [5] I. W. Surataa, T. Nindhiab, I. A. Negarad, and W. Putrae, "Simple Conversion Method from Gasoline to Biogas Fueled Small Engine to Powered Electric Generator," *Energy Procedia*, vol. 52, pp. 626–632, 2014.
- [6] B. J. Bora, U. K. Saha, S. Chatterjee, and V. Veer, "Effect of compression ratio on performance, combustion and emission characteristics of a dual fuel diesel engine run on raw biogas," *Energy Conversion and Management*, vol. 87, pp. 1000–1009, 2014.
- [7] T. Nutthapong and W. Tanakorn, "Utilization of biogas–diesel mixture as fuel in a fertilizer pelletising machine for reduction of greenhouse gas emission in small farms," *Energy for Sustainable Development*, vol. 17, pp. 240–244, 2013.
- [8] C. Kavuma, "Variation of Methane and Carbon Dioxide Yield in a Biogas Plant," Master thesis, Royal Institute of Technology, Sweden, 2013.
- [9] Y. Xiao, H. Yuan, Y. Pang, S. Chen, B. Zhu, D. Zou, D. J. Ma, L. Yu, and X. Li, "CO₂ Removal from Biogas by Water Washing System," *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 22, pp. 950–953, 2014.
- [10] D. Deublein and A. Steinhauser, *Biogas from Waste and Renewable Resources*, Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 2008.
- [11] V. K. Vijay, "Biogas Refining for Production of Bio-Methane and its Bottling for Automotive Applications and Holistic Development," in *Proceeding of International Symposium on Eco Topia Science, ISETS07*, 2007.
- [12] N. Tippayawong and P. Thanompongchart, "Biogas quality upgrade by simultaneous removal of CO₂ and H₂S in a packed column reactor," *Energy*, vol. 35, pp. 4531–4535, 2010.
- [13] J. H. Coleman and W. R. Steele, *Experimental and Uncertainty Analysis for Engineers*, New York, USA: Wiley, 1989.