

การลดคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สชีวภาพ โดยใช้ Sodalime แบบหนึ่งขั้นตอน และ 2 ขั้นตอน The Reduction of CO₂ from Biogas Using Sodalime by One-step and Two-step

วารุณี ลิ้มมัน¹ รัตน์ชัย ไพรินทร์²
Limmun W.¹ and Pairintra R.²

Abstract

Biogas can be used as a fuel in an internal combustion engine if CH₄ yield > 85%. The objective of this research was to increase CH₄ yield in cow dung fermented biogas using sodalime to absorb CO₂. The main parameters were the weight of sodalime (2 or 4 g) and CO₂ reduction conditions (one or two steps). The results showed that the composition of CH₄ from cow dung was 65%. A glass tube containing 2 gram of sodalime increased CH₄ up to 86.3% and 80.9% while at 4 gram of sodalime increased CH₄ up to 90.9% and 80.1% for one step and two steps respectively. CO₂ in the biogas reacted with sodalime resulting in Calcium Carbonate, water and heat. The more content of sodalime was better reduced in CO₂. The pressure gradient in the two-step system was higher than one step, therefore the reduction of CO₂ was lower. Consequently, it can conclude that CH₄ yield from one-step reduction is high enough as a fuel for internal combustion engine.

Keywords: Cow Dung, Methane Yield, Sodalime, Internal Combustion Engine

บทคัดย่อ

ปริมาณ CH₄ ในแก๊สชีวภาพหากมี > 85% จะสามารถนำไปใช้สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในได้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการเพิ่ม CH₄ ในแก๊สชีวภาพจากมูลโคหมักโดยใช้โซดาไลม์ดูดซับ CO₂ Parameter ที่สำคัญคือ น้ำหนักโซดาไลม์ ซึ่งใช้ที่ 2, 4 กรัมบรรจุในหลอดแก้วเพื่อลด CO₂ แบบขั้นตอนเดียว และสองขั้นตอน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามูลโคสามารถผลิต Biogas ที่มี CH₄ 65% เมื่อใช้ โซดาไลม์ ที่น้ำหนัก 2 กรัม แบบหนึ่งและสองขั้นตอนได้ CH₄ ที่ 86.3% และ 80.9% ส่วน โซดาไลม์ ที่น้ำหนัก 4 กรัมแบบหนึ่งและสองขั้นตอนได้ CH₄ ที่ 90.9% และ 80.1% CO₂ ใน Biogas ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดจะทำปฏิกิริยากับโซดาไลม์ ซึ่งเป็นต่างได้ Calcium Carbonate น้ำ และความร้อน การเพิ่มปริมาณโซดาไลม์สามารถลด CO₂ ได้มากขึ้น แต่ความแตกต่างระหว่างความดันตกคร่อมต่อความยาวแบบสองขั้นตอนมีมากกว่าหนึ่งขั้นตอน จึงทำให้การลด CO₂ ได้น้อยกว่า อย่างไรก็ตาม ปริมาณ CH₄ ที่ได้จากการลดแบบขั้นตอนเดียวก็ที่สูงพอที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ได้

คำสำคัญ: มูลโค ปริมาณมีเทน โซดาไลม์ เครื่องยนต์สันดาปภายใน

บทนำ

ชีวมวลเช่นเศษมันสำปะหลัง หรือขานอ้อยสามารถนำไปเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานได้โดยใช้กระบวนการทาง Thermal Conversion เช่นการเผาไหม้โดยตรง การนำไปเป็นเปลี่ยนเป็น Producer Gas โดยใช้กระบวนการ Gasification (Partial Combustion) หรือเปลี่ยนเป็นถ่านโดยใช้กระบวนการ Pyrolysis หรือการเปลี่ยนแปลงแบบ Biological Conversion สามารถนำไปเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในหมักเพื่อผลิตเอทานอล หรือนำไปหมักแบบไร้อากาศเพื่อให้เกิดเป็น Biogas เชื้อเพลิงที่อยู่ในรูปของแก๊สจะเป็น เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ดีที่สุด เกิดมลพิษจากการเผาไหม้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลว (เช่นไปโอดีเซล) และของแข็ง (เช่นการเผาเศษขานอ้อย) Biogas เกิดจากการหมักแบบไร้

¹ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ 17/1 หมู่ 6 ต.ชุมโค อ.ปะทิว จ. ชุมพร 86160

¹ Department of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, 17/1 Moo6 Chumko Amphor Pathio Chumporn 86160

² คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (บางขุนเทียน) 49 ซ. เทียนทะเล 25 ถ. บางขุนเทียน-ชายทะเล แขวงท่าข้าม เขต บางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150

² School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 49 Soi Thian Thale 25, Bang Khun Thian Chai Thale Road, Tha Kham, Bang Khun Thian Bangkok 10150

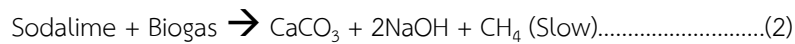
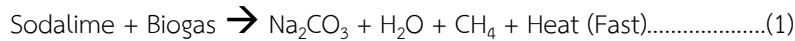
อากาศ (Anaerobic digestion) จุลินทรีย์และสารอินทรีย์ที่หมักร่วมกันที่อุณหภูมิบรรยากาศปกติจะทำให้เกิด CH_4 , CO_2 และตะกอน โดยทั่วไป Biogas จะประกอบไปด้วย CH_4 60% และ CO_2 40% หาก $\text{CH}_4 < 55\%$ Biogas จะมีค่าความร้อน (Heating Value) ต่ำ ไม่สามารถจุดติดไฟได้อย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มค่าความร้อนของ Biogas ให้สูงขึ้นจึงจำเป็นต้องขจัด CO_2 ที่มีอยู่ใน Biogas ออก ซึ่งมีวิธีการอยู่หลายอย่างเช่นการใช้ Membrane การลดอุณหภูมิของ Biogas ลงเพื่อให้ CO_2 มีความหนาแน่นสูงขึ้นและแยกออกจาก CH_4 หรือการใช้ต่างที่อยู่ในรูปของสารละลายเช่น $\text{KOH}(\text{aq})$, $\text{NaOH}(\text{aq})$ เพื่อดูดซับ CO_2 โซดาโลมเป็นสารเคมีที่ประกอบไปด้วย CaO (ประมาณ 75%), H_2O (ประมาณ 20%), NaOH (ประมาณ 3%) KOH (ประมาณ 1%) ถูกใช้เป็นสารเคมีที่มีลักษณะเป็นเมลต์สีขาวใช้ในการดูดซับ CO_2 และความชื้นที่มีอยู่ในลมหายใจของผู้ที่เข้ารับการผ่าตัด และยังใช้ในการดูดซับ CO_2 จากลมหายใจของลูกเรือดำน้ำ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการเพิ่มความเข้มข้นของ CH_4 ให้สูงขึ้น โดยใช้โซดาโลมดูดซับ CO_2 หลังจากนั้นจะเปรียบเทียบกับวิธีการดูดซับ CO_2 กับกระบวนการอื่นๆ

วิธีการทดลอง

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองคือมูลโค เพราะเป็นวัตถุดิบที่มีค่า C/N Ratio อยู่ที่ 24 เป็นวัตถุดิบที่ดีที่สุดในการหมัก โดย C/N Ratio ที่เหมาะสมคือช่วง 20-30 เพราะเกิด Biogas ได้เร็วและง่ายกว่าวัตถุดิบชนิดอื่นๆ เช่นมูลสุกร (18) มูลช้าง (41) หรือฟางข้าว (70) การหมักเป็นแบบ Batch ในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยจะผสมมูลโคและน้ำในอัตรา 1:1 กล่าวคือมูลโค 2 กก. น้ำ 2 กก. ปริมาตรในถังหมักประมาณ 4.5 ลิตร หมักในสภาวะไร้อากาศ ที่อุณหภูมิห้องปกติ ก่อนทำการทดลอง Check การไหลของแก๊สที่ระบบก่อนเพื่อป้องกันการอุดตันของเศษมูลโคในถังหมักที่อาจเข้าไปในสายส่งแก๊ส ทำให้ถังหมักเกิดการระเบิดเพราะแรงดันภายในถังหมักที่สูงเกินไป ถังหมักจะมีการปรับ pH เริ่มต้นให้เป็น 10 โดยใช้ต่าง NaOH หรือ KOH หรือใช้ CaO ก็ได้ แต่ในการทดลองนี้จะใช้ NaOH เปรียบเทียบกับถังที่ไม่มีมีการปรับ pH การปรับ pH ทำเพื่อเป็นการป้องกันการหมักล้มเหลวเพราะหากค่า pH ของถังหมักตกลงต่ำกว่า 6 ภายในถังหมักจะเกิด CO_2 เป็นแก๊สหลัก ไม่สามารถนำแก๊สที่ได้ไปเป็นเชื้อเพลิงได้ (จุดไฟไม่ติด) การเก็บ Biogas โดยใช้หลักการแทนที่น้ำในถังเก็บ Biogas ขนาด 0.75 ลิตร ทำการหมักเป็นระยะเวลา 90 วัน เมื่อปริมาณ $\text{CH}_4 > 60\%$ หรือ Biogas สามารถจุดติดไฟแล้วจะทำการลด CO_2 โดยใช้โซดาโลม จำนวน 2 และ 4 กรัม บรรจุลงในหลอดแก้วให้ Biogas ไหลผ่านเพื่อดูดซับ CO_2 แบบหนึ่งขั้นตอน และสองขั้นตอน ทำการตรวจวัดค่า pH ของถังหมักตลอดการหมัก, ปริมาณ CH_4 และ CO_2 ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) และวัดปริมาณของ Biogas ที่เกิดขึ้นโดยวิธีการแทนที่น้ำ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับผลการลด CO_2 ด้วยวิธีการแบบอื่นๆ เช่นการลดโดยการใช้ $\text{KOH}(\text{aq})$, การใช้ CaO , และ Activated Carbon

ผลและการวิเคราะห์ผล

ถังหมักที่ไม่มีมีการปรับ pH มีค่า pH เริ่มต้นที่ 7.45 ภายหลังจากนั้น 15 วัน ค่า pH ของทั้งสองถังหมักจะเข้าสู่ภาวะคงที่ ประมาณ 7.55 สำหรับที่มีการปรับ pH เริ่มต้นเป็น 10 และ 7.8 สำหรับถังที่ไม่มีมีการปรับ ถังหมักที่มีการปรับ pH เริ่มต้นจะให้ปริมาณ Biogas ได้เร็วกว่าและมากกว่าในช่วงแรกเพราะระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้ดีกว่า การปรับ pH ช่วยเพิ่มการเข้าถึงของพื้นผิวของจุลินทรีย์ อีกทั้งสารละลายต่างจะทำให้ปริมาณของเซลล์รูโรสเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณเอมิเซลลูโลสและลิกนิน ลดน้อยลง ทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายและผลิต Biogas ได้ดียิ่งขึ้น Biogas ในถังที่มีการปรับ pH สามารถจุดติดไฟแบบไม่ต่อเนื่องได้ตั้งแต่วันที่ 10 เป็นต้นไป โดยในช่วงแรกเปลวไฟจะมีสีส้ม ปริมาณ CH_4 จะค่อยๆเพิ่มขึ้น ภายหลังจากการหมักผ่านไป 40 วัน ปริมาณ CH_4 จะสูงสุดอยู่ที่ 72.14% Biogas สามารถจุดติดไฟได้ต่อเนื่องเป็นอย่างดี เปลวไฟมีสีน้ำเงิน แสดงให้เห็นว่ามีค่าความร้อนสูง (ที่ $\text{CH}_4=60\%$ ค่า Heating Value ของ Biogas จะมีค่าประมาณ 21 MJ/m^3) ค่า pH ต่ำสุดคือ 6.87 (ค่า pH ไม่ควรต่ำกว่า 6) โดยมีปริมาณ Biogas สูงสุดอยู่ที่ $500 \text{ cm}^3/\text{วัน}$ ปริมาตรต่ำสุดอยู่ที่ $381 \text{ cm}^3/\text{วัน}$ และในถังที่ไม่มีมีการปรับค่า pH ช่วงแรกการจุดติดไฟจะไม่เป็นไปอย่างต่อเนื่องเปลวไฟมีสีส้ม ปริมาณ biogas สูงสุดอยู่ที่ $496 \text{ cm}^3/\text{วัน}$ ต่ำสุดอยู่ที่ $429 \text{ cm}^3/\text{วัน}$ แต่ค่าเฉลี่ยของปริมาณ Biogas ที่เกิดขึ้นจากถังที่มีการปรับค่า pH จะน้อยกว่าถังที่ไม่มีมีการปรับ โดยถังที่ไม่มีมีการปรับ pH มีค่า pH ต่ำสุดที่ 6.67 ได้ปริมาณ CH_4 สูงสุดที่ 65.72 % แต่สามารถผลิต Biogas ได้นานกว่า เพราะจุลินทรีย์สามารถค่อยๆย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างช้าๆ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยในการทดลองทั้งหมดอยู่ที่ 33.5 C จากนั้นจึงนำ biogas จากทั้งหมักที่มีการปรับค่า pH ไปทำการลด CO_2 ในขั้นตอนต่อไป ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการลด CO_2 แบบขั้นตอนเดียวโดยใช้โซดาโลมที่ 2, 4 กรัม สามารถทำให้สัดส่วนของ CH_4 เพิ่มขึ้น 86.28%, 90.68 % หรือเพิ่มขึ้นรวม 14, 18% ตามลำดับ CO_2 ซึ่งเป็นกรดคาร์บอนิก (Carbonic Acid) จะทำปฏิกิริยากับโซดาโลมซึ่งเป็นต่าง เกิดเป็น Calcium Carbonate และน้ำดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2)



การลด CO₂ แบบสองขั้นตอนทำโดยนำหลอดแก้วที่บรรจุโซดาไลม์มาต่อแบบอนุกรมเข้ากันเหมือนกันทั้ง 2 และ 4 กรัม แต่ผลการทดลองกลับทำให้ลดปริมาณ CO₂ ได้น้อยลง กล่าวคือได้ปริมาณ CH₄ ที่ 80.88% ปริมาณ CH₄ เพิ่มขึ้นราว 8% เมื่อใช้โซดาไลม์ 2 กรัม และได้ CH₄ ที่ 79.42% CH₄ เพิ่มขึ้นราว 7% สีของโซดาไลม์จะเป็นสีขาว ภายหลังจากดูดซับ CO₂ แล้วจะเปลี่ยนเป็นสีม่วง Table 1 แสดงการลดปริมาณ CO₂ โดยโซดาไลม์ ซึ่งเป็นกระบวนการแบบ Heterogeneous ระหว่าง Biogas ซึ่งอยู่ในสถานะ Gas Phase และโซดาไลม์ซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็น Solid Phase ส่วนสาเหตุหลักที่ทำให้ลด CO₂ ได้น้อยลงเนื่องมาจาก ความดันในถังหมักคกที่ เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดแก้วที่ใช้คงที่ แต่ความยาวของหลอดแก้วในการลด CO₂ แบบ 2 ขั้นตอนสูงกว่า จึงทำให้การสูญเสียความดันตกคร่อมต่อความยาว (Pressure Gradient) ของการลดแบบ 2 ขั้นตอนมีมากกว่าแบบขั้นตอนเดียว ดังนั้นหากต้องการการลดปริมาณ CO₂ ให้ได้ดียิ่งขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มความดันในถังหมักให้สูงขึ้นอย่างน้อยควรเป็น 2 เท่าของถังที่ใช้หมักและดูดซับ CO₂ แบบขั้นตอนเดียว หรือเปลี่ยนขนาดหลอดแก้วที่บรรจุโซดาไลม์ให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่ขึ้นเมื่อใช้ปริมาณโซดาไลม์ในการดูดซับที่มากขึ้น แต่หากพิจารณาทางด้านพลังงานแล้ว ปริมาณ CH₄ จากการลดแบบขั้นตอนเดียวก็สูงพอที่จะนำไปใช้เป็นมีเทนอัด Compressed bio-methane เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ได้

Table 1 The Composition of CH₄ after CO₂ reducing using sodalime by one and two step

Sodalime (gram)	CH ₄ (%)	
	CO ₂ Reducing 1 step	CO ₂ Reducing 2 steps
2	86.28 (14% up)	79.45 (7% up)
4	90.86 (18% up)	80.88 (8% up)

ธนัพร ธาณี (2559), และศิริรินทร์ จีวรรณ (2561) ได้ใช้ CaO และ Activated Carbon ละลายในน้ำ และได้ใช้ KOH (aq) ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลายลด CO₂ กระบวนการลด CO₂ เป็นแบบ Heterogeneous เช่นกันแต่สารที่อยู่ใน Gas Phase (Biogas) และ Liquid Phase (KOH) วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการหมักเป็นมูลวัว มีระยะเวลาในการหมักเท่าๆกัน การเปรียบเทียบการลด CO₂ แสดงเปรียบเทียบดังใน Table 2

Table 2 Comparison of CH₄ content after CO₂ reduction

CO ₂ Reduction Method	CH ₄ Before Reduction	CH ₄ After	Increase (%)
	CO ₂ (%)	Reduction CO ₂ (%)	
Sodalime (Gas + Solid Phase)	72	90	18
KOH (Gas + Liquid Phase)	64	93	29
CaO (Gas + Solid Phase)	64	86	22
Activated Carbon (Gas + Solid Phase)	64	85	21

ในการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับเกษตรกรนั้น สามารถใช้ซีเถ้าจากฟางข้าว, แกลบ หรือซีเถ้าจากการเผาชีวมวลทั่วไปแทนโซดาไลม์ในการลด CO₂ ได้ การนำไปประยุกต์ใช้งานทั้งระบบผลิต Biogas แบบนี้คือใช้การหมักเป็นแบบ Batch ซึ่งสามารถขยาย Scale ไปเป็นถังหมัก Biogas 200 ลิตร หรือปรับเป็นแบบ Semi-batch โดยเพิ่มจำนวนถังหมักให้มากขึ้น ใช้มูลโคที่ถ่ายออกจากคอกเป็นวัตถุดิบ เติมน้ำ Biogas ได้ดินเพื่อให้ดินลดอุณหภูมิของ Biogas ให้ต่ำลงโดยเฉพาะเวลากลางคืน ซึ่งช่วยเพิ่มความหนาแน่นของ Biogas ให้มากขึ้น ปลอ่ยให้ Biogas ไหลผ่านซีเถ้าที่ได้จากการเผาชีวมวล ซึ่งจะช่วยดูดซับ CO₂ และความชื้นที่มีอยู่ใน Biogas และเมื่อเดินท่อตรงในแนวตั้งจากใต้ดินขึ้นมา CH₄ ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลที่ 16 และ CO₂ ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลที่ 44 จะแยกกันเนื่องจาก CH₄ ที่อยู่ด้านบนของท่อเบากว่า CO₂ ประมาณ 2.75 เท่า CH₄ สามารถใช้แบบ Direct use คือใช้ในการหุงต้ม ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการกกลูกเปิด, ไร่ หรือลูกหมูที่เกิดใหม่ ใช้ในการอบแห้งแผ่น

ยางพารา และใช้แบบ In-direct use คือใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขับ Generator เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า CO₂ อาจจะถูกนำไปใช้ในโรงเรือนปลูกพืชในช่วงเวลากลางวันเพราะพืชต้องการ CO₂ ในการสังเคราะห์แสง เมื่อไม่มี Biogas เกิดขึ้นอีกต่อไปแล้วเศษที่เหลือจากการหมักสามารถนำไปใช้เป็นหัวเชื้อสำหรับกระบวนการหมักในครั้งต่อไปได้ หรือนำไปผสมน้ำในอัตราส่วน 1:10 ใช้เป็น Bio-fertilizer ลดต้นไม้อายุสั้น โดยไม่มีข้อดีคือไม่มีกลิ่น มีค่า pH เป็นกลางๆ เหมาะสมสำหรับพืช ไม่มีเศษวัชพืชหลงเหลืออยู่ ทำให้เป็นระบบผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หรือ Zero Waste ดังแสดงแนวคิดใน Figure 1

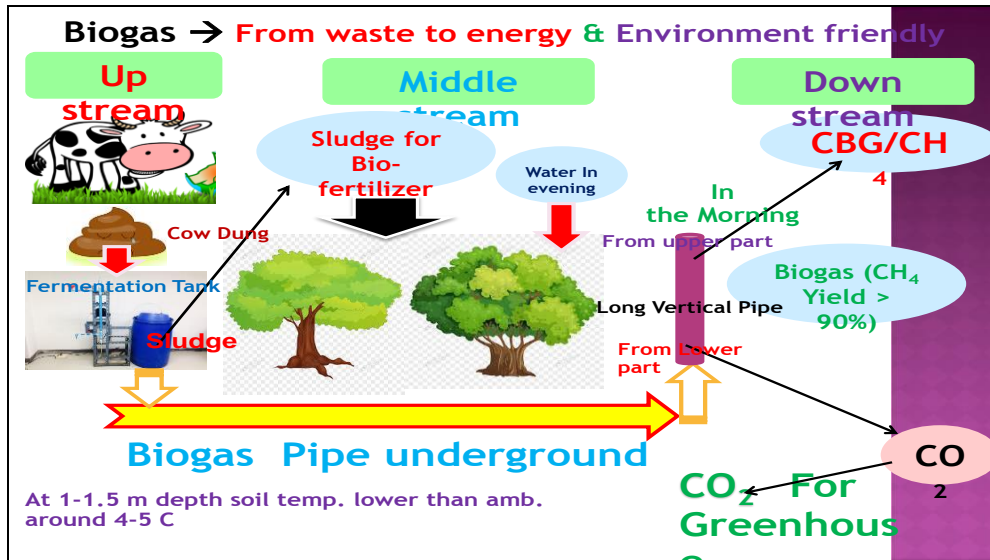


Figure 1 The concept of biogas production as a fuel, zero waste

สรุปผลการทดลอง

การใช้โซดาไลม์ลด CO₂ แบบขั้นตอนเดียว สามารถเพิ่มปริมาณสัดส่วนของ CH₄ ใน Biogas จาก 72.14% ให้เป็น 91.20% หรือเพิ่มขึ้นราว 18% สำหรับเกษตรกรโดยทั่วไปสามารถใช้ซื้อได้จากชีวมวล เช่น แกลบ ฟางข้าวคูดซบ CO₂ แทนโซดาไลม์ได้ Biogas ที่มี CH₄ > 90% สามารถนำไปใช้อัดเป็น Compressed Bio-methane เพื่อใช้ในยานพาหนะต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ วิทยาเขตบางขุนเทียนที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่อง GC ในการตรวจวัด Biogas และคุณศิริมาศ ชันธวงศ์

เอกสารอ้างอิง

ธนัชร ธานี รัตนชัย ไพรินทร์, 2559, การลด CO₂ ใน Biogas ที่ได้จากการหมักมูลนกกกระทา โดยใช้ KOH (aq) และ NaOH (aq), การประชุมวิชาการและเสนอผลงาน CRDC 10.
 ชัยยุทธ ไชยงาม รัตนชัย ไพรินทร์ และณัฐ กาศยพนันท์, 2561, การศึกษาผลการผลิตแก๊สชีวภาพจากการหมักผสมระหว่างมูลโคหมักร่วมกับเปลือกหัวหอม โดยใช้ถังหมักลิ่งในแนวตั้ง, การประชุมสัมมนาวิชาการ รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 11 มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ, หน้าที่ 200-207
 ศิวรินทร์ อีวรรณ, รัตนชัย ไพรินทร์ และณัฐ กาศยพนันท์, 2561, การปรับปรุงคุณภาพแก๊สชีวภาพจากมูลโคโดยการลดแก๊ส CO₂” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14 หน้าที่ 676-682.
 ธวัชรัตน์ ผลิตยสิทธิ์, 2562, การแก๊สชีวภาพจากมูลแพะในสภาวะเมโซฟิลิก, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.