การออกแบบและติดตั้งระบบก๊าซชีวภาพให้บริสุทธิ์ของชุดต้นแบบขนาดเล็ก

Design and Construct the Small Scale Prototype of Biogas Purification System

วิจิตร อุดอ้าย[1*] สัมฤทธิ์ โม้พวง[1] ธัญญา อุดอ้าย[2] และ นพดล สินไพศาลสมบูรณ์[3]

Vijitr Udeye[1*], Sumrit Mopung[1], Thanya Udeye[2]and Noppadon Sinpaisansomboon[3]

[1]*ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*

[2]*ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*

[3]*เทศบาลนครพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก*

[1]*Chemistry Department, Faculty of Science, Naresuan University*

[2]*Physics Department, Faculty of Science, Naresuan University*

[3]*Phitsanulok Municipality, Phitsanulok*

Received : 8 June 2016

Accepted : 6 December 2016

Published online : 9 December 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและติดตั้งระบบก๊าซชีวภาพให้บริสุทธิ์โดยนำไปทดลองใช้กับก๊าซชีวภาพจากบ่อก๊าซชีวภาพโรงฆ่าสัตว์เทศบาลนครพิษณุโลกที่ผลิตก๊าซชีวภาพ 200-400 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เริ่มจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของก๊าซชีวภาพเพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบระบบ ผลการวิเคราะห์เบื้องต้นดังนี้มีเทน (CH_4) 64.8% คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 34.9% ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) 0.06 % ไนโตรเจน (N_2) 1.2%และไอน้ำ(H_2O) 1.6%จากนั้นออกแบบและติดตั้งระบบก๊าซให้บริสุทธิ์ในภาคสนามที่โรงฆ่าสัตว์เทศบาลนครพิษณุโลก และวิเคราะห์คุณภาพก๊าซชีวภาพที่ผ่านระบบให้ผลดังนี้อัตราการไหลของก๊าซเข้าสู่ระบบ 9.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง มีเทน 85.1%คาร์บอนไดออกไซด์ 11.0% ไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.004% ไนโตรเจน 0.7% และไอน้ำ 1.0% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สามารถใช้เป็นต้นแบบการผลิตก๊าซชีวภาพที่นำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้มหรือก๊าซธรรมชาติได้

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ ระบบก๊าซชีวภาพบริสุทธิ์

Abstract

This research were designed and constructed the biogas purification system and were used with biogas from the Phitsanulok municipal slaughterhouse which produce raw biogas 200-400 cubic meters per day.Initially, the raw biogas was chemically analyzed and found methane (CH_4) 64.8%carbondioxide (CO_2) 34.9% hydrogensulfide (H_2S) 0.06 % nitrogen (N_2) 1.2% and water vapour(H_2O) 1.7%. Then, the biogas purification system was designed and installed at Phitsanulok municipal slaughterhouse for used to purify the biogas. Finally, the biogas after purified from the system was analyzed as follows: gas flowrate 9.8 cubicmeter perhour, methane (CH_4) 85.1%, carbondioxide (CO_2) 11.0%, hydrogensulfide (H_2S) 0.004 %, nitrogen (N_2) 0.7% and water vapour(H_2O) 1.0%, which is the benchmark that can be used as renewable fuels, LPG or natural gas.

Keywords : biogas, biogas purification system

*Corresponding author. E-mail : vijitru@nu.ac.th

บทนำ

ก๊าซชีวภาพเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic digestion of the organic) เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งมีความหลากหลาย ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ที่นำมาใช้ในการผลิต โรงผลิตก๊าซชีวภาพโดยทั่วไปจะใช้มูลสุกร น้ำเสียจากโรงงานแป้งมันโรงงานปาล์ม โรงหมักเบียร์ โรงกลั่นสุราและโรงงานแปรรูปอาหาร รวมทั้งน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ก๊าซชีวภาพซึ่งประกอบด้วย มีเทน (CH_4)ร้อยละ 50-75 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 25-45 ไฮโดรเจน น้อยกว่าร้อยละ 1 และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) น้อยกว่าร้อยละ 1 โดยปกติแล้วกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศจะสามารถลด ค่าซีโอดี (COD) ได้ประมาณร้อยละ 80 ซีโอดีที่ลดลงแต่ละกิโลกรัมจะสามารถผลิตมีเทนได้ประมาณ 0.3-0.5 ลูกบาศก์เมตร ก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานในรูปแบบต่างๆ โดยก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร เทียบได้กับเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ดังนี้ ก๊าซหุงต้ม 0.46 กิโลกรัม น้ำมันดีเซล 0.601 ลิตร น้ำมันเตา 0.55 ลิตร และไฟฟ้า 1.20 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง (Sohgratok, 2013) ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการผลิตโดยพื้นฐานจะขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของของเสียที่ใช้เป็นวัตถุดิบ หากใช้มูลสัตว์จะได้ก๊าซชีวภาพประมาณ 20-22 ลูกบาศก์เมตรต่อ 1 ตัน (m^3/ton)ของน้ำเสีย และหากใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะได้ก๊าซชีวภาพ 2-200 ลูกบาศก์เมตรต่อ 1 ตันของปริมาณน้ำเสีย (Udeye *et al.,* 2002) ก๊าซชีวภาพที่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ป้อนเข้า ปริมาณก๊าซชีวภาพจะมีค่าสูงก็ต่อเมื่อค่าซีโอดีในน้ำเสียที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีค่าสูง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิในบ่อหมักและการปั่นหรือกวนน้ำเสียในบ่ออย่างต่อเนื่องจะมีผลต่อปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

เนื่องจากการนำก๊าซชีวภาพมาใช้โดยตรงมักเกิดปัญหาโดยเฉพาะการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้ม การนำมาใช้ในเครื่องยนต์ หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งนี้เป็นผลมาจากมีส่วนผสมของก๊าซบางชนิดที่ปนออกมาขณะเกิดผลผลิตก๊าซชีวภาพ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งจะไปขัดขวางการเผาไหม้ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) จะเกิดกรดที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนภาชนะหุงต้ม หรือเครื่องยนต์และเป็นมลพิษในอากาศ รวมถึงความชื้นที่ปนมากับก๊าซชีวภาพจะทำให้กระบวนการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Zhao *et al*., 2010) วิธีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพจะทำให้ก๊าซชีวภาพมีความบริสุทธิ์ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Green House Gases, GHG) เพราะก๊าซชีวภาพที่บริสุทธิ์จะปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำกว่าเชื้อเพลิงเบนซินและดีเซล (Zhao *et al*., 2010) เหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงเช่นเดียวกับก๊าซหุงต้มหรือก๊าซธรรมชาติเป็นต้นแบบการใช้พลังงานทดแทนที่มีประสิทธิภาพในระดับชุมชนซึ่งเป็นส่วนใหญ่ของประชาชนในประเทศ

การทำให้ก๊าซชีวภาพมีความบริสุทธิ์ทำได้หลายวิธีทั้งวิธีทางกายภาพ (Physical Method) ทางเคมี (Chemical Method) และทางชีวภาพ (Biological Method) ทางกายภาพใช้หลักการดูดกลืน (Absorption) อาจใช้น้ำและโพลีเอทิลีนไกลคอลเป็นตัวดักจับ (Water and Polyethylene Glycol Scrubbing) เพราะ CO_2 และ H_2S ละลายได้ดีในน้ำและโพลีเอทิลีนไกลคอลในขณะที่ CH_4ไม่ละลาย (Zhao *et al*., 2010; Horikawa *et al*., 2004) ในทางเคมีนั้นมีสารเคมีหลายตัวที่ดักจับ CO_2 และ H_2S ในก๊าซชีวภาพ โดยจะพิจารณาถึงความเหมาะสมของการลงทุนและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เช่นการการใช้สารละลายสารประกอบเอมีน (โมโน,ได,ไตรเอทาโนลามีน) หรือสารละลายเบส(โปตัสเซียม,โซเดียม,แคลเซียมไฮดรอกไซด์) สารละลายเหล่านี้ที่มีความเข้มข้น 10% โดยปริมาตรจะทำปฏิกิริยากับ CO_2 และ H_2S ในก๊าซชีวภาพทำให้ก๊าซชีวภาพมีความบริสุทธิ์ขึ้น (Zhao *et al*., 2010) ส่วนการใช้วิธีทางชีวภาพนั้นนิยมใช้แบคทีเรียสายพันธุ์ *Thiobacillus* เช่น *Thiobacillusnovellus, Thiothrixnivea* เพื่อดักจับ H_2S นอกจากนี้ยังสามารถใช้ความแตกต่างของความดันที่มีตัวดูดซับ

(Pressure Swing Adsorption, PSA) สามารถแยกก๊าซปนเปื้อนบางตัวออกจากก๊าซชีวภาพได้ เช่นใช้ซีโอไลต์หรือถ่านกัมมันต์ในระบบความดันสูงในการดักจับ N_2 และ H_2S (Bajracharya *et al*., 2013; Kismurtono, 2011)

ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการออกแบบและติดตั้งชุดต้นแบบในการทำให้ก๊าซชีวภาพที่มีความบริสุทธิ์เทียบเท่ากับก๊าซธรรมชาติแรงดันสูง(CNG)เพื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์ก๊าซ การออกแบบของชุดต้นแบบจะอาศัยหลักทางกายภาพและทางเคมีที่คำนึงถึงต้นทุนในการผลิตและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก มีการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของก๊าซชีวภาพจากระบบก๊าซชีวภาพของบ่อหมักทั้งสองระบบของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลนครพิษณุโลกเพื่อนำข้อมูลมาวางแผนออกแบบระบบการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจนและไอน้ำ จากนั้นทำการสร้างระบบและติดตั้งเครื่องต้นแบบในการกำจัดก๊าซเหล่านี้เพื่อให้ก๊าซชีวภาพมีความบริสุทธิ์เหมาะสมกับการใช้งาน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. **เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้ศึกษา** เป็นระบบบ่อหมักแบบราง (Channel Digester)และบ่อหมักแบบ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ทั้งสองระบบจะทำงานต่อเนื่องกัน ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ดำเนินมาก่อนหน้าแล้ว โดยมีของเสียจากการชำแหละสุกรซึ่งของเสียส่วนใหญ่จะเป็นเศษเนื้อ เลือด ไขมัน มูลสุกร ขนาดบ่อหมักแบบราง (บ่อหมักช้า) มีความจุน้ำเสีย 360 ลูกบาศก์เมตร พลาสติกคลุม (PVC หนา 1.2 มิลลิเมตร) สามารถรองรับก๊าซชีวภาพไม่น้อยกว่า 250 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ส่วนบ่อ UASB (บ่อหมักเร็ว) มีความจุ 75 ลูกบาศก์เมตร เมื่อทั้งสองระบบทำงานต่อเนื่อง สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 120-200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ขึ้นกับปริมาณของเสียและสภาพอากาศ ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโรงงานทำการวิเคราะห์คุณภาพอย่างต่อเนื่อง
2. **การออกแบบระบบทำก๊าซชีวภาพให้บริสุทธิ์**
   - 2.1 **หลักการออกแบบ** อาศัยหลักการทำงานของระบบให้ต่อเนื่อง 15-20 ชั่วโมงต่อวัน โดยให้สัมพันธ์กับก๊าซที่เกิดขึ้นในบ่อผลิตก๊าซชีวภาพของโรงฆ่าสัตว์ที่ผลิตได้ 120-200 ลิตรต่อวัน โดยใช้หลักทางกายภาพ(Physical)และทางเคมี (Chemical)ในการทำให้ก๊าซชีวภาพมีความบริสุทธิ์ ตามข้อมูลการออกแบบทางเทคนิค (ภาพที่ 1)
   - 2.2 **โครงสร้างของเครื่องต้นแบบ** ประกอบด้วยท่อพีวีซีแรงดันสูงเป็นชุดบรรจุสารเคมีที่ใช้ดักจับก๊าซ โครงเหล็กไร้สนิม ปั๊มความดันสูง ระบบไซโคลน ระบบควบคุมไฟฟ้า ระบบทำความเย็นและถังเก็บก๊าซแรงดันสูง(ภาพที่ 3)
   - 2.3 **ระบบทำความบริสุทธิ์ของก๊าซชีวภาพ** อาศัยหลักทางกายภาพ (Physical) ในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำที่ปนในก๊าซผสมโดยใช้หลักการลดอุณหภูมิ เพิ่มความดันให้ก๊าซเปลี่ยนเป็นของเหลว และหลักทางเคมี (Chemical) กำจัดก๊าซไนโตรเจนและไฮโดรเจนซัลไฟด์ ให้ก๊าซเหล่านี้ทำปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนเป็นสารที่ละลายน้ำ โดยออกแบบระบบปั๊มความดัน ระบบทำความเย็น อัตราการไหลของก๊าซทั้งเข้าและออกระบบให้สัมพันธ์กับปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ในบ่อหมักก๊าซชีวภาพของโรงงาน ตามรูปกระบวนการทำก๊าซให้บริสุทธิ์แบบ 3D (ภาพที่ 2)
   - 2.4 **การเดินระบบ** ใช้ปั๊มก๊าซแรงดันที่ปรับอัตราการไหลได้อัตราการป้อน (Inlet) 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เป็นระบบ up flow และป้อนเข้าต่อเนื่องโดยสามารถเดินระบบได้ 20 ชั่วโมงต่อวัน (ภาพที่ 2)
3. **การติดตามประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ** ใช้ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพก่อนเข้าระบบว่ามีองค์ประกอบของ มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจนและไอน้ำ และหลังผ่านการบำบัดหรือออกจากระบบแล้วนำผลวิเคราะห์ที่ได้เทียบเกณฑ์มาตรฐานก๊าซชีวภาพที่ใช้ในเครื่องยนต์ โดยใช้เครื่อง Multi Gas Detector ที่วัด

ได้ต่อเนื่อง ในการทดลองเดินระบบของชุดต้นแบบจะให้ก๊าซเข้าต่อเนื่องและมีการวิเคราะห์คุณภาพก๊าซที่ออกจากระบบทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 15 ชั่วโมง ส่วนการประเมินระยะเวลาคืนทุน จะคิดต้นทุนวัสดุ สารเคมี ค่าแรงงานก่อสร้างและติดตั้ง ค่าจ้างเดินระบบ ราคาก๊าซที่ผ่านระบบการบำบัดแล้ว (คิดเท่ากับก๊าซ CNG)

เครื่องมือ อุปกรณ์สารเคมี และรายละเอียดโครงสร้างเครื่องต้นแบบ

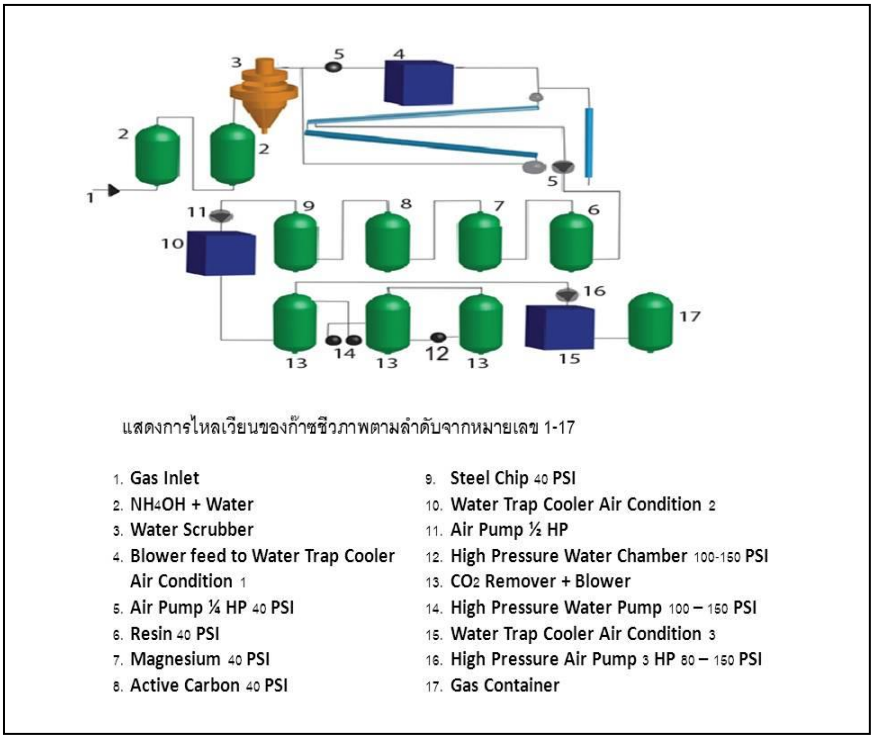
1. เครื่อง Multi Gas Detector: Model: SKZ 1054 No:14061357 บริษัท SKZ Industrial Co.Limited ทำการตรวจวัด มีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ (H_2O)
2. สารเคมีที่ใช้ดักจับได้แก่สารละลาย NH_4OH, Magnesium powder, Active Carbon, Steel Chip และ Resin (Zeolite)
3. โครงสร้างของเครื่องต้นแบบจะประกอบด้วยท่อพีวีซีทนแรงดันสูง โครงเหล็กไร้สนิม ปั๊มความดันสูง ระบบไซโคลน ระบบควบคุมไฟฟ้า ระบบทำความเย็นและถังเก็บก๊าซ

ข้อมูลการออกแบบทางด้านเทคนิค (Specification of Construction) ดังภาพที่ 1

(1) Assumptions at Mass 1,000 kgs ● Capacity of plant 300 m^3/day ● Plant efficiency 80 % ● Generated gas 240 m^3/day ● Purified gas consumption in running dual fuel engine 0.3 m^3/kW ● Calorific value of purified biogas 17 MJ/m^3 ● Gas capacity for 60 L water capacity cylinder 15 m^3 ● Gas flow rate for 24 hours of working in a day 1,000 m^3/hr ● Heat rate of raw gas 20,000 MJ/hr ● Total energy available in one day from biogas plant 482,319 MJ	(2) Energy required for purification ● For pumping and pressurizing water at 175 PSI 3.5 kW ● For pressurizing the gas at 145 PSI Energy required 2.5 kW ● Energy required at 80% efficiency 3.5 kW (3) Energy required for compression ● Energy required 4.5 kW ● Energy required at 80 % efficiency 5.5 kW ● Total energy required per day 12.5 kW (4) Process plant energy met by purified gas driven engine ● Rated power of gas engine 12.5 kW ● Purified gas consumption 4.5 m^3/h ● Gas energy consumed/day 1,225 MJ

ภาพที่ 1 **ข้อมูลการออกแบบทางด้านเทคนิค** (Specification of Construction)

แผนผังกระบวนการทำก๊าซให้บริสุทธิ์แบบ3D (3D Model Process of CLG Purification) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 **แผนผังกระบวนการทำก๊าซให้บริสุทธิ์แบบ3D** (3D Model Process of CLG Purification)

ชุดอุปกรณ์และการติดตั้งระบบ ดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 **ชุดอุปกรณ์การติดตั้งของระบบการทำก๊าซให้บริสุทธิ์**

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การทดลองมีการควบคุมอัตราการไหลเข้าระบบของก๊าซ (Gas Inlet) ที่ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และระยะเวลาในการเดินระบบ 15 ชั่วโมงต่อวัน โดยเดินระบบประมาณ 50 % ของขีดสูงสุดทางเทคนิคของชุดเครื่องมือ (300 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) โดยมีการทดสอบเดินระบบทุกขั้นตอนก่อนบรรจุตัวดูดซับและสารเคมีที่ใช้ในระบบ หลังจากนั้นดำเนินการเดินระบบและทำการตรวจวัดองค์ประกอบก๊าซที่ผ่านการบำบัด (Gas Outlet) ทำการทดลองเก็บข้อมูล 7 วัน นำผลทดลองเฉลี่ยแล้วนำมาเปรียบเทียบคุณภาพก๊าซก่อนเข้าระบบ และผ่านการบำบัด โดยผลแสดงในตาราง 1 และ 2

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพก่อนเข้าระบบการทำก๊าซชีวภาพให้บริสุทธิ์ในชุดต้นแบบภาคสนาม

ก๊าซมีเทน (CH_4) (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (%)	ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) (%)	ไนโตรเจน (N_2) (%)	ไอน้ำ (H_2O) (%)
64.8	34.9	0.06	1.2	1.6

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพหลังออกจากระบบการทำก๊าซชีวภาพให้บริสุทธิ์ของชุดต้นแบบภาคสนาม

ชั่วโมงที่	ผลการตรวจวัดก๊าซชีวภาพหลังผ่านระบบของชุดต้นแบบ					
	อัตราการไหลของก๊าซเข้าสู่ระบบ (ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง)	ก๊าซมีเทน (CH_4) (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (%)	ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) (%)	ไนโตรเจน (N_2) (%)	ไอน้ำ (H_2O) (%)
1	10.0	80.0	10.5	0.003	0.8	1.2
2	9.8	82.5	11.0	0.003	0.8	1.1
3	10.0	83.0	11.8	0.005	0.7	0.9
4	9.7	85.7	11.9	0.004	0.9	1.0
5	9.7	85.0	10.6	0.006	0.8	1.1
6	9.8	84.5	10.6	0.005	0.9	1.0
7	10.0	85.5	10.5	0.005	0.7	0.9
8	10.0	86.5	11.7	0.004	0.8	1.1
9	10.0	86.5	10.7	0.004	0.7	1.0
10	9.8	85.0	10.5	0.004	0.8	1.1
11	9.0	87.6	12.0	0.005	0.7	1.0
12	9.7	86.5	11.7	0.005	0.7	1.1
13	9.7	86.5	10.9	0.004	0.8	1.0
14	9.8	86.0	10.5	0.005	0.8	1.1
15	9.8	85.7	10.6	0.004	0.7	1.1
เฉลี่ย	9.8	85.1	11.0	0.004	0.7	1.0
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.25	1.95	0.60	0.001	0.07	0.08

ผลการวิเคราะห์ในตารางที่1 พบว่าก๊าซที่ออกมาจากบ่อก๊าซชีวภาพก่อนการทำให้บริสุทธิ์จะมีบริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณสูงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในเครื่องยนต์เพราะจะไปขัดขวางการเผาไหม้ ขณะที่มีไฮโดรเจนซัลไฟต์และไนโตรเจนแม้จะมีปริมาณน้อยแต่ก๊าซเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับไอน้ำในห้องเครื่องยนต์เกิดเป็นกรดที่กัดกร่อนในเครื่องยนต์ได้แต่เมื่อผ่านระบบทำให้ก๊าซบริสุทธิ์ (Pure Biogas)ในตารางที่ 2 พบว่า สามารถเพิ่มเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนจาก 64.8% เป็น 85.1% มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความบริสุทธิ์ของก๊าซมีเทนได้ 57.7% ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจาก 34.9% เป็น 11.0% ประสิทธิภาพในการกำจัดได้ 68.5% ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงจากจาก 0.06% เป็น 0.004 % ประสิทธิภาพในการกำจัด 90% ไนโตรเจนลดลงจาก 1.2% เป็น 0.7% ประสิทธิภาพในการกำจัด 41.7% และลดความชื้นหรือไอน้ำจาก 1.6% เป็น 1.0 % ประสิทธิภาพในการกำจัด 37.5% ซึ่งปริมาณก๊าซหลังจากบำบัดแล้วอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของก๊าซชีวภาพสำหรับเชื้อเพลิงรถยนต์ NGV (Cebula, 2009; Energy Research and Development Institute – Nakornping, 2011; Group of Fuel Standards Development, 2011) แสดงว่าระบบสามารถขจัดสารที่ไม่ต้องการ (คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจน ความชื้น) และเพิ่มปริมาณสารที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง (ก๊าซมีเทน) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยคุณภาพเทียบเท่าก๊าซ NGV สามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในรถยนต์ หรือนำมาใช้แทนก๊าซหุงต้มได้เนื่องจากระบบการกำจัดก๊าซ ถูกออกแบบโดยใช้สมบัติทางกายภาพและทางเคมี ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกกำจัดโดยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (ภาพที่ 2 หมายเลข 2)ขณะที่ไอน้ำจะถูกดักจับโดยระบบไซโคลน (ภาพที่ 2 หมายเลข 3) และระบบหล่อเย็น คาร์บอนไดออกไซด์อีกส่วนหนึ่งจะถูกดักจับในระบบหล่อเย็นและถูกกำจัดออก(ภาพที่ 2 หมายเลข 13) ขณะที่ก๊าซไนโตรเจน ไอน้ำ ไฮโดรเจซัลไฟด์และคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนที่ยังกำจัดไม่หมดจะถูกดักจับด้วยเรซิน ผงแมกนีเซียม ผงถ่านกัมมันต์ และผงตะไบเหล็ก(ภาพที่ 2 หมายเลข 6, 7, 8, 9 ตามลำดับ) ส่วนก๊าซหลังการบำบัดแล้วจะถูกปั๊มแรงดันสูงไปยังถังเก็บ (ภาพที่ 2 หมายเลข 17) สำหรับการเดินระบบจะทดสอบเพียง 50% ของชุดต้นแบบ เนื่องจากโครงสร้างของถังเป็นท่อพีวีซี อาจจะทนแรงดันสูงมากไม่ได้และการผลิตก๊าซชีวภาพของบ่อหมักสามารถผลิตก๊าซได้ไม่เกิน 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

ระบบก๊าซชีวภาพให้บริสุทธิ์ของชุดต้นแบบภาคสนามที่ได้ดำเนินการออกแบบ ติดตั้งและทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องชุดนี้ ได้ลงทุนรวมประมาณ 410,000 บาท (การออกแบบ ค่าวัสดุ ค่าติดตั้ง 300,000 บาทต่อชุด สารเคมี 35,000 บาทต่อปี ค่าแรงงานเหมาจ่าย 50,000 ต่อปี ค่าไฟฟ้า 5,000 บาทต่อปี และค่าบำรุงรักษา 20,000 บาทต่อปี) ซึ่งถ้านำมาคำนวณการคืนทุน (คิดจากการเดินระบบ 20 ชั่วโมงต่อวัน) จะพบว่า (1) สามารถผลิตก๊าซชีวภาพที่บริสุทธิ์ได้ประมาณ 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือเทียบกับก๊าซ LPG 92 กิโลกรัม (ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรเทียบเท่า LPG 0.46 กิโลกรัม), (2) จำหน่ายก๊าซชีวภาพได้ 1,866.68 บาทต่อวัน (คิดราคา LPG 20.29 บาทต่อกิโลกรัม), (3) จำหน่ายก๊าซชีวภาพได้ 560,004 บาทต่อปี (คิดการเดินระบบ 300 วัน), (4) สามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาประมาณ 8 เดือน (คิดจากต้นทุนรวม 410,000 บาท) ทั้งนี้ยังไม่ได้คิดต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อม

สรุปผลการวิจัย

ก๊าซที่ออกมาจากบ่อก๊าซชีวภาพก่อนการทำให้บริสุทธิ์ ที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานสำหรับเชื้อเพลิงรถยนต์ แต่เมื่อผ่านระบบการทำให้ก๊าซบริสุทธิ์แล้วพบว่าก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นเป็น 85.1% คาร์บอนไดออกไซด์ลดลงเหลือ 11.0 % ไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงเหลือ 0.004 % ไนโตรเจนลดลงเหลือ 0.7% และความชื้นหรือไอน้ำลดลงเหลือ1.0 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของก๊าซชีวภาพสำหรับเชื้อเพลิงรถยนต์ (Energy Research and Development Institute – Nakornping, 2011)

แสดงว่าระบบสามารถขจัดสารที่ไม่ต้องการ (คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจน ความชื้น) และเพิ่มปริมาณสารที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง (ก๊าซมีเทน) ได้อย่างมีประสิทธิภาพสามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้มหรือก๊าซธรรมชาติได้ เป็นต้นแบบการผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนทดแทนพลังงานฟอสซิลในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนทุนในการดำเนินการวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โรงฆ่าสัตว์เทศบาลนครพิษณุโลกที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในภาคสนาม

เอกสารอ้างอิง

Bajracharya, R., Dhungana, A., Thapaliya, N., &Hamal, G. (2013). Purification and Compression of Biogas: A Research Experience. *Journal of the Institute of Engineering*, *7*(1), 1-9.

Cebula, J. (2009). Biogas Purification by sorption Techniques.*Architecture Civil Engineering Environment*, *2*, 95-103.

Energy Research and Development Institute – Nakornping. (2011). *System production of Compressed Biomethane Gas (CBG)*. Chiang Mai University. Retrived November 26, 2016, from http://www.erdi.cmu.ac.th/index_main.php/services/view?pid=5 (in Thai)

Group of Fuel Standards Development. (2011). *Knowledge of the Compressed Biogas*. Bureau of Fuel Quality. Department of Energy Business, Ministry of Energy. Retrived November 26, 2016, from http://www.doeb.go.th/knowledge/data/2Compressed_Biogas.pdf (in Thai)

Horikawa, M.S., Rossi, F., Gimenes, M.L., Costa, *C.M.M.*,&Silva, M.G.C. (2004). Chemical Absorption of H_2S for Biogas Purification. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, *21*(3), 415–422.

Kismurtono, M. (2011). Upgrade Biogas Purification in Packed Column with Chemical Absorption of CO_2 for Energy Alternative of Small Industry (UKM-Tahu). *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS*, *11*(1), 83-86.

Sohgratok, N. (2013). *Biogas production from decanter cake of palm oil mill with wastewater from frozen seafood industry*. Thesis Requirements for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering, Prince of Songkla University. (pp.11-22). Retrived November 26, 2016, from http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2010/8917 (in Thai)

Udeye, V., Mopung, S., and Sinpaisansomboon, N. (2002). Solid and Liquid Waste Management in the Minicipal Slaughter House at Phitsanulok. Final Report. (pp.10-15). Naresuan University. (in Thai)

Zhao, Q., Leonhardt, E., MacConnell, C., Frear, C., & Chen, S. (2010). Purification Technologies for Biogas Generated by Anaerobic Digestion.*CSANR Research Report 2010–001*, 1-24.