

การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพระหว่างมูลไก่และมูลไก่ผสมมูลสุกร โดยใช้บ่อหมักแบบราง

Comparison of Bio-Gas between hen manure and combine hen-pig manure by used plug flow digester

กัมปนาท ไชยเพชร¹, ณัฐดนัย พรณูเจริญวงศ์^{2*}, ฉัตรชัย เบญจปิยะพร³ และ อธิจิต วรแสน³

Kumpanat Chaiphet¹, Nattadon Pannucharoenwong^{2*}, Chatchai Benjapiyaporn³
and Atichit Worasaen³

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความแตกต่างของปริมาณก๊าซชีวภาพและความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในบ่อหมักแบบราง ภายใต้วัตถุดิบที่แตกต่างกัน คือ มูลไก่และมูลไก่ผสมมูลสุกร โดยใช้วัตถุดิบจากฟาร์มไก่ไข่และฟาร์มสุกรขุน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ภายใต้บ่อหมักแบบราง (Channel digester) โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้นี้จะถูกส่งไปยังโรงผลิตก๊าซไบโอมีเทนอัด เพื่อนำไปเพิ่มประสิทธิภาพของก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซไบโอมีเทนอัด (Compressed biomethane gas, CBG) ซึ่งกระบวนการทดลองจะประกอบด้วยการออกแบบบ่อหมักแบบราง, ศึกษาคุณสมบัติของสารตั้งต้นที่นำมาพิจารณา และกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ จากการศึกษาพบว่า การใช้มูลไก่เพียงอย่างเดียวให้ปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ย 52.03% โดยปริมาตรและการใช้มูลไก่ผสมมูลสุกรให้ปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ย 57.83% โดยปริมาตร นั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้มูลผสมระหว่างมูลไก่และมูลสุกรมีคุณภาพก๊าซชีวภาพที่สูงกว่า ส่งผลให้ก๊าซชีวภาพที่ส่งเข้าไปในระบบการผลิตก๊าซไบโอมีเทนอัดมีคุณภาพสูงขึ้นตามไปด้วย

คำสำคัญ: บ่อหมักแบบราง, ก๊าซชีวภาพ, ก๊าซไบโอมีเทนอัด, มูลไก่, มูลสุกร

ABSTRACT: The aim of this study was comparison of Bio-gas between hen manure and combine hen-pig manure by used plug flow digester for improved the Bio-gas efficiency. The material, it is from chicken farm and pig farm in faculty of Agriculture, Khon-Kaen University. The aim of this study was comparison of Bio-gas between hen manure and combine hen-pig manure by used plug flow digester for improved the Bio-gas efficiency. The result shown that, bio-gas from hen manure had the percentage of methane 52.03% by volume and bio-gas from combine hen-pig manure the percentage of methane 57.83% by volume. The quality of bio-gas from combined hen-pig manure was greater than from only hen manure. Thus, the bio-gas that forward to compress bio-methane system could be higher quality.

Keywords: Plug flow digester, Bio-gas, Compressed Biomethane Gas, Manure Source

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
Mechanical Technology Program, Faculty of Agro-Industry Technology, Kalasin University

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University

³ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

* Corresponding author: pnattado@engr.tu.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันความต้องการในการใช้พลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากพลังงานเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการขับเคลื่อนและพัฒนาประเทศเป็นอย่างมาก ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีแหล่งพลังงาน จึงสามารถผลิตพลังงานเชื้อเพลิงได้เองแต่ยังไม่เพียงพอต่อการใช้งาน จึงจำเป็นต้องนำเข้าพลังงานเชื้อเพลิงนั้นส่งผลให้พลังงานเชื้อเพลิงมีราคาที่สูงขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ตามการศึกษาของ Aggarangsri et al., (2013) ส่งผลให้การใช้พลังงานทดแทนจึงมีความสำคัญต่อการลดปริมาณพลังงานและเชื้อเพลิงที่นำเข้าจากประเทศใกล้เคียงได้เป็นอย่างดี พลังงานหมุนเวียนจึงเป็นส่วนหนึ่งในการขับเคลื่อนประเทศควบคู่กับการใช้พลังงานเชื้อเพลิงและถือได้ว่าเป็นแนวทางที่ยั่งยืนที่สามารถรับประกันได้ถึงการผลิตภาวะเรือนกระจกในอนาคต Natthawud et al. (2013)

ประเทศไทยมีอาชีพเกษตรกรรมเป็นอาชีพหลัก จึงทำให้มีของเสียที่เกิดจากการทำเกษตรกรรมเป็นจำนวนมาก เช่น มูลสัตว์ น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และของเหลือใช้จากการเกษตร ดังนั้นประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพก๊าซชีวภาพ จึงได้มีการศึกษาการความเป็นไปได้ของการปรับปรุงโรงงานผลิตก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อให้ได้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด A. Molino et al. (2012) อีกทั้งได้มีการศึกษาการใช้น้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม

และมูลของสัตว์เป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพในปริมาณ 14-27 ตัน ซึ่งที่สามารถผลิตมีเทนได้มากถึง 6100 Nm^3 Seppälä et al. (2013)

มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ได้เล็งเห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้น จึงได้มีการผลิตก๊าซชีวภาพจากกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถรับส่งของมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยใช้น้ำชะล้างมูลไก่ที่ได้จากฟาร์มของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่มีปริมาณน้ำชะล้างในปริมาณ 10 ลบ.ม.ต่อวัน จากนั้นได้พัฒนาระบบการเพิ่มประสิทธิภาพของก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S), แอมโมเนีย (NH_3) และความชื้นหรือเรียกว่าก๊าซไบโอมีเทนอัด (Compressed Bio-Methane Gas) หรือ CBG ซึ่งผลผลิตจากกระบวนการ CBG นี้จะใช้ป้อนหมักแบบราง (Plug Flow Digester) ทำให้ก๊าซชีวภาพมีประสิทธิภาพดีขึ้น แต่ปริมาณของน้ำชะล้างมูลไก่ไม่เพียงพอต่อระบบอัดอากาศ จึงทำให้มีปริมาณไม่เพียงพอต่อการผลิตก๊าซไบโอมีเทนอัด

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาความแตกต่างของปริมาณก๊าซชีวภาพและความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ในการผลิตจริง (Actual scale) ภายใต้วัตถุดิบที่แตกต่างกัน คือ มูลไก่และมูลไก่ผสมมูลสุกร ด้วยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้ป้อนหมักแบบราง



Figure 1 Compressed Bio-Methane Gas plant layout



Figure 2 Plug Flow Digester

การผลิตก๊าซไบโอมีเทนอัด (Compressed Biomethane Gas)

ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะถูกส่งผ่าน Gas Dryer 1 ด้วยเครื่องอัดก๊าซชีวภาพ เพื่อลดความชื้นของก๊าซ หลังจากนั้นก๊าซจะถูกส่งเข้าสู่ H_2S Removal Tank ในกระบวนการนี้ ก๊าซ Hydrogen Sulfide จะถูกกำจัดออก โดยก๊าซที่ได้จะถูกนำไปเก็บไว้ที่ Biogas Tank ก่อนที่เข้าสู่ Gas Dryer 2 และ Heater เพื่อลดความชื้นอีกครั้ง ก๊าซที่

ออกมาจะผ่านชั้น Membrane เพื่อดักจับ CO_2 แล้วจึงส่งก๊าซไปเก็บที่ Biomethane Tank ซึ่งคุณสมบัติของก๊าซที่จะเก็บในถังนี้จะต้องมีค่า CH_4 มากกว่า 83% กระบวนการสุดท้ายคือการอัดความดันก๊าซที่ 200 บาร์ เพื่อให้มีสภาวะเป็นของเหลว จึงจะสามารถนำไปใช้งานได้หรือสามารถนำก๊าซไบโอมีเทนที่อัดความดันเรียบร้อยแล้วลงถังเก็บ CBG Ground Storage ดังแสดงใน Figure 3.

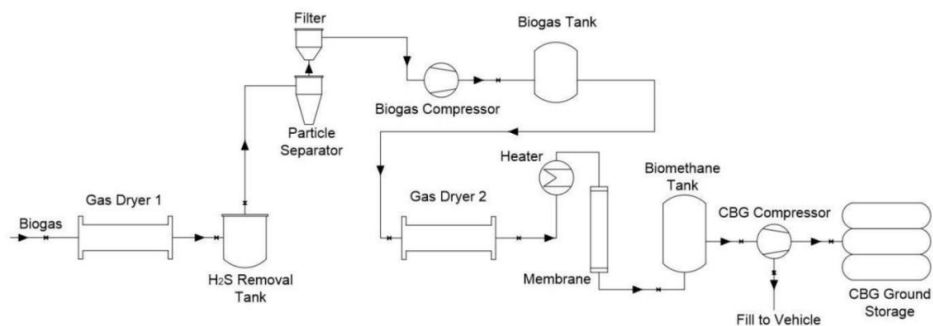


Figure 3 Biogas upgrading to CBG process (Atichit et al. (2017))

วิธีการศึกษา

บทความนี้ได้ทำการศึกษการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับการผลิตจริง (Actual scale) โดยได้ทำการศึกษาที่โรงผลิตก๊าซไบโอมีเทนอัด มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งมีกำลังการผลิตก๊าซไบโอมีเทนอัด 460 กก./วัน ข้อมูลจากรายงานการประชุม (2016) โดยทำการศึกษาเพื่อ

ดูความแตกต่างของปริมาณก๊าซชีวภาพและคุณภาพก๊าซชีวภาพ ภายใต้วัตถุดิบ 2 ชนิด คือ มูลไก่และมูลไก่ผสมมูลสุกรภายใต้การหมักในบ่อหมักแบบบราง (Channel Digester) ซึ่งมีค่าออกแบบตาม Table 1 โดยบทความนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ คุณสมบัติของวัตถุดิบที่นำมาผลิตและแผนการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยมีข้อมูลดังต่อไปนี้

Table 1 Channel Digester

Channel Digester	Quantity	Unit
CH_4 (estimate)	50	%
Reactor Volume	250	m^3
Biogas quantity	200	m^3/day
Efficiency	60	%
Feedstock quantity	8	m^3/day
COD	6,500	mg/l

ส่วนที่ 1 คุณสมบัติของวัตถุดิบ

ในการศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบนั้น ได้ทำการศึกษามูลที่เกิดจากการปศุสัตว์ ในฟาร์มไก่และฟาร์มหมู ของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 เงื่อนไข คือ เงื่อนไขที่ 1 ศึกษามูลไก่จากฟาร์มไก่เพียงอย่างเดียว โดยอยู่ในช่วงระยะเวลาเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือน มีนาคม ซึ่งเป็นช่วงเวลาในการพักเลี้ยงของการเลี้ยงสุกร และเงื่อนไขที่ 2 มูลไก่ผสมมูลสุกร โดยอยู่ในช่วงระยะเวลาเดือน เมษายน ถึงเดือน กรกฎาคม ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ ทั้ง 2

ฟาร์ม ยังมีการเลี้ยงไก่และสุกรอยู่ ทำให้มีวัตถุดิบเป็นวัตถุดิบผสม และเกิดการหมักร่วม (Co-digestion) ในบ่อหมักแบบราง จากการศึกษาของ Nattadon et al. (2017) พบว่ามีคุณสมบัติของวัตถุดิบที่นำมาพิจารณาทั้งหมด 8 ประการ จากตัวอย่าง 3 ชนิด คือ มูลไก่, มูลสุกร และมูลไก่ผสมมูลสุกร ซึ่งคุณสมบัติของมูลสัตว์นั้นประกอบด้วยค่า pH, COD, BOD, TS, VS, Total carbon, Total nitrogen และอัตราส่วน C/N ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Characteristic of the three different substrates

Parameter	Substrate		
	Hen manure	Pig manure	Combine
pH	6.6	6.9	6.6
Chemical Oxygen Demand (COD), mg/L	9,957	12,560	10,118
Biochemical Oxygen Demand (BOD), mg/L	5,866	8,695	6,742
Total Solid (TS), % fresh weight	22.7	26.1	23.1
Volatile Solid (VS), % fresh weight	19.4	21.4	19.6
Total Carbon, %	33.27	28.65	32.39
Total Nitrogen, %	2.99	2.27	2.85
C/N Ratio	11.14	12.62	11.36

ส่วนที่ 2 แผนการผลิตก๊าซชีวภาพ

กรณีที่ 1 มูลไก่เพียงชนิดเดียว (Hen manure, HM) กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นใช้มูลไก่จากฟาร์มไก่ ซึ่งมีปริมาตร 10 ลบ.ม./วัน ไปยังบ่อหมักแบบราง ขนาด 250 ลูกบาศก์เมตร โดยมีระยะเวลากักเก็บ (Hydraulic retention time : HRT) อยู่ที่ 25 วัน (HRT = 25) ซึ่งคิดได้จากดังสมการ (1) โดยได้ทำการศึกษาและเก็บตัวอย่างทุกวันเป็นระยะเวลา 2 เดือน ในระยะการผลิตที่มีการเลี้ยงไก่เพียงอย่างเดียว คือ ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม 2560 โดยในช่วงเวลานี้เป็นช่วงนอกฤดูเลี้ยงสุกร หรือเป็นช่วงพักเลี้ยงหลังจากที่ได้จำหน่ายสุกรไปแล้ว

$$\text{ระยะเวลากักเก็บ (วัน)} = \frac{\text{ปริมาตรบ่อ (ลบ.ม.)}}{\text{ปริมาตรน้ำเข้าระบบ (ลบ.ม./วัน)}} \quad (1)$$

กรณีที่ 2 มูลไก่ผสมมูลสุกร (Hen and pig manure, HPM) กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นมูลผสมจากฟาร์มไก่ที่มีปริมาณ 10 ลบ.ม./วัน และฟาร์มสุกรมีปริมาณ 5 ลบ.ม./วัน รวมทั้งหมด 15 ลบ.ม./วัน โดยมีระยะเวลากักเก็บอยู่ที่ 16 วัน (HRT = 16) โดยได้ทำการศึกษาและเก็บตัวอย่างทุกวันเป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยในช่วงนี้การเลี้ยงไก่และสุกรทั้ง 2 อย่าง คือ ช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนกรกฎาคม 2560

การศึกษาก๊าซชีวภาพและปริมาณของก๊าซมีเทน ทำการเก็บจากระบบ SCADA ที่บันทึกข้อมูลของการผลิตจริงไว้ โดยอุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณก๊าซชีวภาพ คือ Flowmeter และวัดปริมาณก๊าซมีเทนโดย Gas analyzer

ผลการศึกษา

จากการศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักในบ่อหมักแบบบวระระหว่างมูลไก่และมูลไก่ผสมมูลสุกร แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 มูลไก่เพียงชนิดเดียวใช้ระยะเวลาย่อยสลายในบ่อหมัก 25 วัน (HRT 25 วัน) จาก Table 3 ทำให้ทราบว่าปริมาณของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ในตลอดช่วงเดือนกุมภาพันธ์ (HM1) มีนาคม (HM2) 2560 มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 218.06 และ 218.36 ลบ.ม./วัน ตามลำดับ โดยมีความเข้มข้น

ของก๊าซมีเทน (CH_4) เฉลี่ยอยู่ที่ 51.97% และ 52.10% โดยปริมาตร ตามลำดับ ส่วนในกรณีที่ 2 มูลไก่ผสมมูลสุกรใช้ระยะเวลาย่อยสลายในบ่อหมัก 16 วัน (HRT 16 วัน) มีปริมาณของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ตลอดช่วง เดือน เมษายน (HPM1), พฤษภาคม (HPM2), มิถุนายน (HPM3) และกรกฎาคม (HPM4) 2560 เฉลี่ย 197.23, 192.19, 183.93 และ 187.80 ลบ.ม./วัน ตามลำดับ และมีปริมาณของก๊าซมีเทน CH_4 เฉลี่ย 57.42%, 57.58%, 58.15% และ 58.16% โดยปริมาตร ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 4

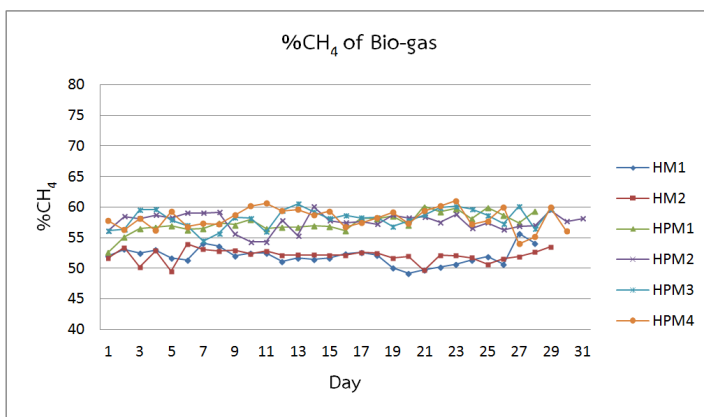


Figure 4 Percentage of CH_4 in Bio-gas from hen manure (HM), and hen and pig manure (HPM)

Table 3 Average (Avg.) value of Bio-gas

Substrate	% CH_4 Avg.	Bio-gas yield Avg. (m^3/day)
Hen manure 1	51.97	218.06
Hen manure 2	52.10	218.36
Hen and Pig manure 1	57.42	197.23
Hen and Pig manure 2	57.58	192.19
Hen and Pig manure 3	58.16	183.93
Hen and Pig manure 4	58.15	187.80

Table 4 pH of manure

Day	HM1	HM2	HPM1	HPM2	HPM3	HPM4
pH						
1	7.1	7.1	7.0	6.9	7.0	7.0
5	7.1	7.2	7.2	7.2	7.1	7.1
10	7.2	7.0	7.1	7.1	7.3	7.2
15	7.2	7.0	7.2	7.0	7.2	7.1
20	7.1	7.3	7.1	6.9	7.3	7.2
25	6.9	7.1	7.0	6.9	7.2	7.1
30	-	7.0	7.1	7.0	7.1	7.1

วิจารณ์

การผลิตก๊าซชีวภาพด้วยบ่อหมักแบบรางโดยใช้สารตั้งต้น 2 ชนิด คือ มูลไก่เพียงชนิดเดียวและมูลไก่ผสมมูลสุกรดังแสดงใน Table 3 นั้นสังเกตได้ว่าปริมาณก๊าซชีวภาพ (Bio-gas yield) โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ทั้งหมดต่อจำนวนวันที่ผลิต (ลบ.ม./วัน) ที่เกิดจากการหมักด้วยมูลไก่เพียงชนิดเดียวมีปริมาณสูงกว่ามูลไก่ผสมมูลสุกร เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการหมักมูลไก่เพียงอย่างเดียวมีระยะเวลาที่นานกว่า คือ HRT 25 วัน ในขณะที่ระยะเวลาที่ใช้หมักมูลไก่ผสมมูลสุกรใช้ HRT 16 วัน และจะเห็นว่า ปริมาณของก๊าซมีเทนเฉลี่ย (% CH₄ Avg.) ที่บ่งชี้ถึงคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากการหมักด้วยมูลไก่ผสมมูลสุกรมีปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยสูงกว่าการใช้มูลไก่เพียงอย่างเดียวจากการทดลอง เนื่องจากมูลไก่ผสมมูลสุกรมีค่า Total Carbon ต่ำกว่ามูลไก่เพียงชนิดเดียวดังแสดงใน Table 2 และค่า pH ที่มีความเหมาะสมจากการศึกษาของ Liu et al. (2008) มีค่าระหว่าง 6.5 - 7.5 ซึ่งจากการเก็บค่า pH ที่ได้จากการทดลองดังแสดงใน Table 4 นั้นมีค่า pH ในช่วง 6.9 - 7.3 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

สรุป

การผลิตก๊าซชีวภาพด้วยบ่อหมักแบบรางที่ใช้มูลไก่เพียงอย่างเดียวจะส่งผลให้มีปริมาณก๊าซที่มากกว่าการใช้มูลไก่ผสมมูลสุกร แต่จะมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ลดลง ส่วนการใช้มูลไก่ผสมมูลสุกรจะส่งผลให้มีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่เพิ่มขึ้น โดยการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะแสดงให้เห็นว่าการใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้ปริมาณของก๊าซชีวภาพและความเข้มข้นของก๊าซมีเทน (CH₄) มีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง และค่า pH ที่ได้จากการทดลองอยู่ในระดับที่เหมาะสม

คำขอบคุณ

การทำงานวิจัยครั้งนี้ให้ประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดีนั้น ทีมวิจัยขอขอบคุณสถานจัดการและอนุรักษ์

พลังงานมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อนุเคราะห์ทุนในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และสาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่ได้สนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Aggarangsri P., Tippayawong N., Moran J.C. Rerkkriangkrai. 2013. Overview of livestock biogas technology development and implementation in Thailand. *Energy for Sustainable Development*. 17: 371 -377.
- Atichit W., N. Pannucharoenwong, C. Benjapiyaporn, J. Jongpluempiti, and P. Vengsungnle. 2017. Suitable Study of CBG Fuel by Considering in Wobbe Index-From Compressed Bio-Methane Gas Plant Khon Kaen University. *Energy Procedia*. 138C: 278-281.
- A. Molino, F. Nanna, Y. Ding, B. Bikson, and G. Braccio. 2013. Biomethane production by anaerobic digestion of organic waste. *Fuel*. 103: 1003-1009.
- Department of Energy Business, Ministry of Energy. Thailand. Available: <http://doeb.go.th2016>. Accessed Apr. 3, 2017.
- รายงานการประชุมเทคโนโลยีการผลิตก๊าซ CBG มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2016. Energy Management and Conservation Office (EMCO), Khon Kaen University, Thailand.
- Liu, C., X. Yuan, G. Zeng, W. Li, and J. Li 2008. Prediction of methane yield at optimum pH for anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. *Bioresour. Technol.* 99: 882-888.
- Nattadon P., A. Worasaen, C. Benjapiyaporn, J. Jongpluempiti and P. Vengsungnle. 2017. Comparison of Bio-Methane Gas Wobbe Index in Different Animal-Manure Substrate. *Energy Procedia*. 138C: 273-277.
- Natthawud D., K. Reansuwan, and R. Ramaraj. 2014. Potential development of compressed bio-methane gas production from pig farms and elephant grass silage for transportation in Thailand. *Bioresource Technology*. 155: 438-441
- Seppälä M., A. Laine, and J. Rintala. 2013. Screening of novel plants for biogas production in northern conditions. *Bioresource Technology*. 139: 355-362.
- Prasertsan S., and B. Sajjakulnukit. 2006. Biomass and biogas energy in Thailand: Potential, opportunity and barriers. *Renewable Energy*. 31: 599-610.