การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงเมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมก๊าซชีวภาพและเฉพาะก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง

A Comparative Study on Engine Performance of Modified Diesel Engine with Dual Biogas and Pure Biogas Fuel

ประเทือง ฝั้นแก้ว* คณิน พงศ์พุฒิ บดีศร พึ่งสุข และพุฒิพงศ์ ณ ลำปาง
สาขาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
200 หมู่ที่ 17 ถนนพหลโยธิน ต.พิชัย อ. เมือง จ. ลำปาง 52000
Pratuang Funkeaw* Kaninb Pongput, Bodeesorn Puengsuk, and Puttipong Na Lampang
Department of Mechanical Technology, Faculty of Engineering, University Rajamangala University of Technology Lanna Lampang
200 moo 17, Phahonyothin Road, Mueang District, Lampang, Thailand 52000.
*ผู้รับผิดชอบบทความ: K_Pratuang@yahoo.com เบอร์โทรศัพท์ 054-342547-8 โทรสาร 054-342549

บทคัดย่อ
โครงการนี้เป็นศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงเมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมก๊าซชีวภาพ และดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เชื้อเพลิงเฉพาะก๊าซชีวภาพอย่างเดียว เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบคือเครื่องยนต์ดีเซลเล็กยี่ห้อมิตซูบิชิ รุ่น DI-700 ขนาด 353 cc. 7 HP ห้องเผาไหม้เป็นแบบเผาไหม้ตรง ขับเยนเนอเรเตอร์ขนาด 3 HP ให้ภาระงานโดยใช้หลอดไฟฟ้า ก่อนการดัดแปลงเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวภาพ เครื่องยนต์มีอัตราส่วนกำลังอัด 18:1 ผลการทดสอบที่อัตราส่วนของน้ำมันดีเซลต่อก๊าซชีวภาพที่ 30:70 เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเครื่องยนต์ไม่มีอาการน๊อคเกิดขึ้น ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงสุดที่ 18.49% โหลดทางไฟฟ้า 3,000 Watt อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล 10 cc/min และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ 24 liter/min เมื่อดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเครื่องยนต์มีอัตราส่วนกำลังอัดลดลงเหลือ 10:1 ใช้เชื้อเพลิงเฉพาะก๊าซชีวภาพเพียงอย่างเดียว ผลการทดสอบ ได้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงสุดที่ 6.95% โหลดทางไฟฟ้า 500 Watt มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ 17 liter/min เมื่อนำผลที่ได้มาคำนวณต้นทุนต่อการให้กำลังพบว่า เครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมก๊าซชีวภาพ ได้ที่ 4.02 บาท/kW.hr ส่วนเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เชื้อเพลิงเฉพาะก๊าซชีวภาพอย่างเดียว ได้ที่ 3.44 บาท/kW.hr
คำสำคัญ การดัดแปลง ก๊าซชีวภาพ เครื่องยนต์

Abstract
This paper presents a comparative study of engine performance on a modified engine to use Biogas dual fuel. The engine used in this study was a small 353 cc, 7 HP Mitsubishi diesel, model DI-700. This engine powered a 3KW generator which illuminated an electric light bulb. Before adapting the engine to use Biogas Dual fuel, the compression ratio was 18:1. The experiment indicated that the most efficient ratio of diesel fuel to Biogas is 30:70. At this ratio there is no sign of engine failure at peak engine load. The highest electrical load achieved was 3000 Watts. The ratio of Biogas consumption was 24 liter/min and the ratio of diesel consumption was 10cc/min. After modifying the Diesel engine to be a gasoline engine, the engine power was decreased to 9.88:1 while using only Biogas. According to the results of using only Biogas, it appears the highest efficiency of the engine is 6.95% with the highest electrical load of 500 Watts, biogas consumption was 1.7 liter/min. When the results are calculated the unit cost of using the diesel engine with Biogas is 4.02 baht per kilowatt-hour. For the modified diesel engine using only Biogas the unit cost is 3.44 baht per kilowatt-hour.
Keyword: modified, biogas, engine.

1. บทนำ

ก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายของมูลสัตว์ รวมไปถึงผลผลิตที่เหลือทิ้งทางการเกษตรอีกด้วย ในปัจจุบันฟาร์มปศุสัตว์ได้นำเอาก๊าซชีวภาพนี้ไปใช้เป็นพลังงานทดแทนภายในฟาร์ม และส่วนใหญ่จะนำมาใช้เครื่องยนต์เล็กดีเซล เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า หรือแม้กระทั่งระบบการหมุนเวียนอากาศภายในฟาร์ม ทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นข้อแตกต่างระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ และเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ ว่าเครื่องยนต์ทั้งสองชนิดชนิดไหนที่ได้สมรรถนะการทำงานและความคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด จึงได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบหาสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงเมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมก๊าซชีวภาพและเฉพาะก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง และประเมินผลการทดสอบ เพื่อมาใช้ในการตัดสินใจในการลงทุน

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ก๊าซชีวภาพ (biogas, digester gas)

ก๊าซชีวภาพหรือ ไบโอก๊าซ คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน(anaerobic digestion) โดยทั่วไปจะหมายถึง ก๊าซ มีเทน ที่เกิดจากการหมัก (fermentation) ของ สารอินทรีย์ โดยกระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในหลุมขยะ กองมูลสัตว์ และก้นบ่อแหล่งน้ำนิ่ง กล่าวคือเมื่อไหร่ก็ตามที่มีสารอินทรีย์หมักหมมกันเป็นเวลานานก็อาจเกิดก๊าซชีวภาพ แต่นี่เป็นเพียงแค่หลักการทางทฤษฎีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแก๊สมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-40% ส่วนที่เหลือเป็นแก๊สชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดเจน (H_2) ออกซิเจน (O_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ [1]

2.2 เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ (biogas engine)

การนำก๊าซชีวภาพมาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้นต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ก่อนเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงมีอยู่ 3 แบบ [2]

2.2.1 เครื่องยนต์ก๊าซดีเซล (gas diesel engine) คือนำเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเปลี่ยนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงคู่คือน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพโดยให้ก๊าซชีวภาพผสมกับอากาศเข้าห้องเผาไหม้ ส่วนการจุดระเบิดยังใช้น้ำมันดีเซลฉีดเข้าไปยังก๊าซชีวภาพกับอากาศที่อัดให้มีความดันและอุณหภูมิสูงในกระบอกสูบ เครื่องยนต์ต้องการน้ำมันดีเซลเพื่อไปจุดระเบิดประมาณ 10–20 % ของการใช้เครื่องยนต์ดีเซลปกติ ทำให้สามารถประหยัดน้ำมันประมาณ 80-90 %

2.2.2 เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ (modification of a diesel engine into a gas otto engine) โดยนำเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปมาดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนจากการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ดีเซลที่อัดอากาศให้มีความดันและอุณหภูมิสูงแล้วฉีดน้ำมันดีเซลเข้าไปเกิดการเผาไหม้ เปลี่ยนมาเป็นอัดอากาศผสมก๊าซชีวภาพให้มีความดันและอุณหภูมิสูงแล้วจุดระเบิดด้วยหัวเทียน ซึ่งในการดัดแปลงเครื่องยนต์จะต้องกระทำดังนี้

1) เปลี่ยนอัตราส่วนการอัด (compression ratio) ของเครื่องยนต์ให้ได้ประมาณ 10 - 12

2) เปลี่ยนการจุดระเบิดโดยการฉีดน้ำมันดีเซลมาเป็นจุดระเบิดด้วยหัวเทียน

3) เพิ่มอุปกรณ์ venturi mixer gas ผสมก๊าซชีวภาพกับอากาศเข้าห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์

2.2.3 เครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ (gas otto engine) โดยการนำเครื่องยนต์แก๊สโซลีนทั่วไปที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงมาเป็นก๊าซชีวภาพแทนโดยเปลี่ยนจากคาร์บูเรเตอร์ที่มีหน้าที่ผสมน้ำมันกับอากาศเป็นไอดีมาเป็น venturi mixer gas ผสมก๊าซชีวภาพกับอากาศแทน เมื่อดัดแปลงแล้วมีผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลงประมาณ 20 %

ตารางที่ 1 Features of Biogas Engines

Design data	Gas diesel	Gas Otto
Compression ratio (ε)	15....18	10....12
Excess air ratio (λ)	1.3....40	0.9....1.3
Specific fuel consumption	0.55....0.75 m^3/kW.h (+pilot fuel)	0.65....1.0 m^3/kW.h
Exhaust gas temperature	500....700 ^{0}C	500....900 ^{0}C
Ignition type	Self-ignition of pilot injected into a hot compressed mixture of and gas which is ignited by the pilot fuel subsequently	As in other Otto engines

ที่มา: Mitzlaff (1988)

2.3 การคำนวณหาค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ

การนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์สันดาปภายในจะต้องคำนึงถึงค่าความร้อน (H_0) ซึ่งจะขึ้นกับสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ความดันรวมและอุณหภูมิในถังหมัก [2] สัดส่วนปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ

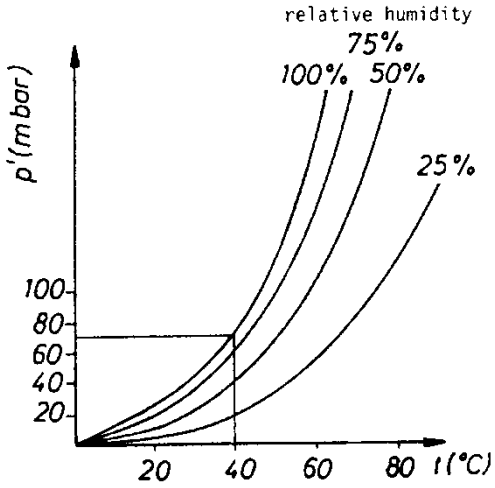
$$\%CH_4 = 100\% - \%CO_2 \quad (1)$$

ความดันของก๊าซชีวภาพ (P_{act})

$$P_{act} = P_a + P_d - P' \quad (2)$$

โดย p_{act} คือ ความดันของก๊าซชีวภาพ, mbar
P_a คือ ความดันบรรยากาศ, mbar
P_d คือ ความดันในบ่อหมัก, mbar
P' คือ ค่าความดันของไอน้ำหาได้จากรูปที่ 1
ความหนาแน่นของก๊าซมีเทน ($\rho_{CH_4,act}$) ในก๊าซชีวภาพ

$$\rho_{CH_4,act} = \frac{\rho_{CH_4,std} \times P_{act} \times T_{std}}{P_{std} \times T_{act}} \quad (3)$$



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของความดันของไอน้ำกับความชื้นสัมพันธ์และอุณหภูมิในก๊าซชีวภาพ [2]

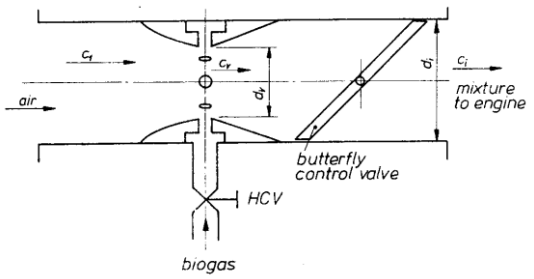
$\rho_{CH_4,act}$ คือ ความหนาแน่นของก๊าซมีเทน, kg/m^3
$\rho_{CH_4,std}$ คือ ความหนาแน่นของก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐาน = 0.72 kg/m^3
P_{act} คือ ความดันของก๊าซชีวภาพ, mbar
T_{std} คือ อุณหภูมิของก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐาน (273 K)
P_{std} คือ ความดันของก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐาน = 1013 mbar
T_{act} คือ อุณหภูมิของก๊าซชีวภาพ, K

โดยค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพที่ใช้งาน($H_{u,act}$)จะสัมพันธ์กับสัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ (V_{CH4}/V_{total}) ความหนาแน่นของก๊าซมีเทนที่ใช้งาน($\rho_{CH_4,act}$) และค่าความร้อนต่ำของก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐาน ($H_{u,act}$ = 50,000 kJ/kg)

$$H_{u,act} = \frac{V_{CH_4}}{V_{total}} \times \rho_{CH_4,act} \times H_{u,std} \quad (4)$$

3.4 การหาขนาดของคาร์บูเรเตอร์ก๊าซ

คาร์บูเรเตอร์ทั่วไป มีหน้าที่จ่ายส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศให้เครื่องยนต์ คาร์บูเรเตอร์ก๊าซ ดังรูปที่ 2 มีหน้าที่เช่นเดียวกันกับคาร์บูเรเตอร์ทั่วไป เพียงแต่เปลี่ยนจากน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นก๊าซชีวภาพแทน การหาขนาดของคาร์บูเรเตอร์ก๊าซ คำนวณได้จากสมการดังนี้



รูปที่ 2 คาร์บูเรเตอร์ก๊าซ [2]

2.4.1 ปริมาณของอากาศเข้ากระบอกสูบเครื่องยนต์

$$\dot{V}_i = \frac{V_s \times N}{2000 \times 60} . \eta_v \quad (5)$$

โดย $\dot{V}_i$ คือ ปริมาณอากาศที่เข้ากระบอกสูบเครื่องยนต์, m^3/s
V_S คือ ปริมาตรกระบอกสูบเครื่องยนต์, liter
N คือ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์, rpm
η_v คือ ประสิทธิภาพเชิงดูดของเครื่องยนต์สันดาปภายในมีค่าอยู่ระหว่าง 80–90%

2.4.2 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอคอด

$$\dot{V}_i = A_v \times C_v \quad (6)$$

โดย d_V คือ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอคอด
C_V คือ ความเร็วของอากาศที่ผ่านคอคอด ควรมีค่าระหว่าง 100-150 m/s
A_V คือ พื้นที่หน้าตัดของคอคอด, m^2

$$d_V = \sqrt{\frac{A_v \times 4}{\pi}} \times 1000 \text{, mm} \quad (7)$$

2.4.3 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ คาร์บูเรเตอร์ก๊าซ

อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของคาร์บูเรเตอร์ก๊าซ(d_i)กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอคอด (d_V) ควรมีค่าประมาณ 1.5-1.7

$$d_i = 1.6 d_V \text{ , mm} \quad (8)$$

2.4.4 การหาขนาดของพื้นที่หน้าตัดของท่อเชื้อเพลิง

$$\frac{A}{F}=\frac{A_v C_{d,a}\sqrt{(2g)(\rho_a)(\Delta P_a)}}{A_f C_{d,f}\sqrt{(2g)(\rho_f)(\Delta P_f)}} \quad (9)$$

โดย A_V คือ พื้นที่หน้าตัดคอคอด, m^2

A_f คือ พื้นที่หน้าตัดท่อเชื้อเพลิง, m^2

$C_{d,a}$ คือ สัมประสิทธิ์การไหลของอากาศผ่านคอคอด อัตราไหลความเร็วสูง= 0.99

$C_{d,f}$ คือ สัมประสิทธิ์การไหลของเชื้อเพลิง = 0.75 สำหรับคาร์บูเรเตอร์ทั่วไป

ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m^3

ρ_f คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง, kg/m^3

g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 m/s^2

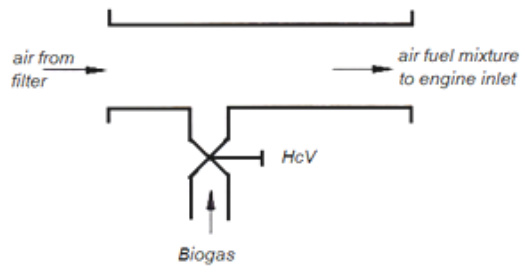
ΔP_a คือ ความแตกต่างของความดันของอากาศที่บรรยากาศกับคอคอด, mbar

ΔP_f คือ ความแตกต่างของความดันของก๊าซชีวภาพที่บ่อหมักกับคอคอด, mbar

A/F คือ อัตราส่วนผสมอากาศกับเชื้อเพลิงทางทฤษฎี

2.5 การหาขนาดท่อก๊าซแบบ T-Type

โดยเครื่องยนต์ดีเซลเปลี่ยนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงคู่คือน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพจำเป็นต้องมีการดัดแปลงท่อร่วมไอดีให้สามารถใช้เชื้อเพลิงร่วมได้ โดยต่อท่อก๊าซเข้ากับท่อร่วมไอดีเป็นลักษณะคล้ายรูปตัว T เรียกว่าแบบ T-Type โดยมีวิธีการออกแบบในการหาขนาดของท่อก๊าซดังนี้



รูปที่ 3 ท่อก๊าซแบบ T-Type [2]

การหาปริมาณของอากาศเข้ากระบอกสูบเครื่องยนต์คำนวณเช่นเดียวสมการ(5)

2.5.1 ความเร็วของอากาศในท่อไอดี

$$v_i=\frac{\dot{V}_{air}}{A_i} \quad (10)$$

เมื่อ v_i คือ ความเร็วของอากาศในท่อไอดี, m/s

A_i คือ พื้นที่หน้าตัดท่อไอดี, m^2

2.5.2 ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิง

$$fc=sfc\times power \quad (11)$$

เมื่อ fc คือ ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิง, m^3/s

Sfc คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ, $m^3/s.kW$

Power คือ กำลังงานของเครื่องยนต์, kW

2.5.3 ความต้องการก๊าซชีวภาพ

$$\dot{fc}_{bio}=\%bio\times fc \quad (12)$$

เมื่อ %bio คือ เปอร์เซ็นต์ของก๊าซชีวภาพโดยปริมาตรที่เครื่องยนต์ต้องการ

fc_{bio} คือ ความต้องการก๊าซชีวภาพ, m^3/s

2.5.4 ขนาดพื้นที่ของท่อก๊าซชีวภาพ

$$A_{bio}=\frac{fc_{bio}}{v_{bio}} \quad (13)$$

เมื่อ A_{bio} คือ ขนาดพื้นที่ของท่อก๊าซชีวภาพ, m^2

v_{bio} คือ ความเร็วก๊าซชีวภาพ, m/s

2.5.5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อก๊าซชีวภาพ

$$d_{bio}=\sqrt{\frac{4}{\pi}A_{bio}} \quad (14)$$

2.6 ประสิทธิภาพทางความร้อน (η_{th})

$$\eta_{th}=\frac{power}{\dot{m}_f H_{u,diesel}+\dot{m}_b H_{u,bio}} \quad (15)$$

เมื่อ Power = IV

$\dot{m}_f$ คือ ความสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล, kg/s

$\dot{m}_b$ คือ ความสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพ, kg/s

$H_{u,diesel}$ คือ ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล, kJ/kg

$H_{u,bio}$ คือ ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ, kJ/kg

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ใช้,Amp

V คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้,Volt

2.7 การเผาไหม้ (Combustion)

การเผาไหม้ คือ การทำปฏิกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ และได้ความร้อนออกมา โดยทั่วไป เชื้อเพลิง

ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและคาร์บอน (HC) ธาตุเหล่านี้เมื่อรวมกับออกซิเจนแล้วได้น้ำ (H_2O) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) [3]

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงส่วนมากเอาออกซิเจนจากอากาศ

$$C + O_2 + 3.764N_2 \rightarrow CO_2 + 3.764N_2 \quad (16)$$

$$2H_2 + O_2 + 3.764N_2 \rightarrow 2H_2O + 3.764N_2 \quad (17)$$

การเผาไหม้ที่พอดีๆ คือมีอัตราส่วนของอากาศกับเชื้อเพลิงที่ถูกต้องเรียกว่า Stoichiometric chemically correct หาได้จากสมการ 18

$$C_aH_b + \left(a + \frac{b}{4}\right)(O_2 + 3.773N_2)$$

$$\rightarrow aCO_2 + \frac{b}{2}H_2O + 3.773\left(a + \frac{b}{4}\right)N_2 \quad (18)$$

a = จำนวนโมลของ Carbon ในเชื้อเพลิง

b = จำนวนโมลของ Hydrogen ในเชื้อเพลิง

อัตราการส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงโดยน้ำหนักหาได้สมการ 19

$$\frac{A}{F} = \frac{34.56(4+y)}{12.011+1.008y} \quad (19)$$

อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงในทางทฤษฎี เทียบกับอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงในการเผาไหม้จริง เรียกว่าอัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio, ϕ) โดยหาได้จากสมการ 20

$$\phi = \frac{A/F,\text{stoich}}{A/F,\text{actual}} \quad (20)$$

ϕ = 1 stoichiometric air/fuel ratio

$\phi > 1$ air excess (mixture lean)

$\phi < 1$ air shortage (mixture rich)

2.8 เครื่องมือและอุปกรณ์ในวิจัย

1) เครื่องยนต์เล็กดีเซล 4 จังหวะ 1 สูบ ยี่ห้อมิตซูบิชิ รุ่น DI-700 ขนาด 353 cc. 7 HP ดัดแปลงสามารถใช้เชื้อเพลิงร่วมก๊าซชีวภาพ และดัดแปลงสามารถใช้เฉพาะเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ [4]

2) เยนเนอเรเตอร์ ขนาด 3 kW ทำงาน 1500 rpm

3) Gas Meter ยี่ห้อ AMPY Email Metering รุ่น HP 750

4) มานอมิเตอร์วัดแรงดัน

5) เครื่องมือวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 78

6) เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย ยี่ห้อ EMS รุ่น 5002

2.9 วิธีการวิจัย

2.9.1 ข้อมูลก๊าซชีวภาพ

เก็บข้อมูลก๊าซชีวภาพก่อนการออกแบบท่อไอดีแบบ T-Type โดยค่าต่างๆของก๊าซชีวภาพได้ค่าเฉลี่ยดังนี้ ก๊าซชีวภาพมี CH_4=67% โดยปริมาตรความดันของก๊าซชีวภาพในบ่อหมักเท่ากับ 2 mH_2O หรือ 967.613 mbar ความชื้นสัมพัทธ์ 84% และอุณหภูมิ 31.6°C ตามลำดับ คำนวณได้ค่าความร้อนก๊าซชีวภาพมี (H_U) 33,500 kJ/kg

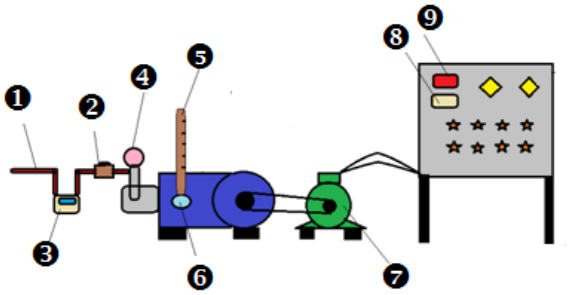
2.9.2 การดัดแปลงท่อไอดี

นำเครื่องยนต์มาดัดแปลงท่อไอดีให้สามารถใช้เชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวภาพได้ ซึ่งออกแบบให้มีลักษณะเป็นแบบ T-Type โดยได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อก๊าซชีวภาพประมาณ 10 mm. ดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 การติดตั้งท่อไอดีแบบ T-Type

2.9.3 ทดสอบเครื่องยนต์เล็กดีเซลใช้เชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวภาพ

ทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องที่ดัดแปลงให้สามารถใช้เชื้อเพลิงร่วมได้ เครื่องยนต์ที่นำมาดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์เล็กดีเซล 4 จังหวะ 1 สูบ ยี่ห้อมิตซูบิชิ รุ่น DI-700ขนาด 353 cc. 7 HP โดยดัดแปลงท่อไอดีให้เป็นแบบ T-Type เพื่อทำหน้าที่ผสมก๊าซชีวภาพกับอากาศก่อนไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทดสอบที่ความเร็วรอบ 500,1 rpm 3 kW ทดสอบที่กำลังไฟฟ้าต่างๆ กันเพิ่มภาระขึ้นครั้งละ 40 Watt โดยปรับให้ใช้ก๊าซชีวภาพมากที่สุดที่เครื่องยนต์ไม่เกิดการน็อก[5] วัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล และก๊าซชีวภาพ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและปริมาณก๊าซไอเสีย ทดสอบดังรูปที่ 5



1.ทางเดินก๊าซ 2.อุปกรณ์ปรับก๊าซ 3.gas meter
4.ท่อไอดี 5.บิวเลตต์ 6.เครื่องยนต์
7.เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 8.โวลต์มิเตอร์ 9.แอมป์มิเตอร์
รูปที่ 5 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวภาพ

2.9.4 การออกแบบคาร์บูเรเตอร์ก๊าซ

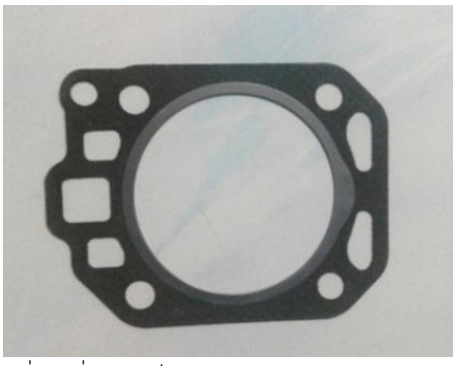
ข้อมูลก๊าซชีวภาพที่ได้ก๊าซชีวภาพมี CH_4=67%โดยปริมาตร ความดันของก๊าซชีวภาพในบ่อหมักเท่ากับ 2.18 mH_2O หรือ 1191.7mbar คำนวณหา A/F= 5.43 โดยน้ำหนัก ได้ขนาดคาร์บูเรเตอร์ก๊าซตามแบบดังรูปที่ 6 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของคอคอด (d_v)10 mm, เส้นผ่าศูนย์กลางของคาร์บูเรเตอร์ก๊าซ (d_i) 17 mm เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อก๊าซชีวภาพ (d_f) 2 mm จำนวน 4 รู รอบคอคอด ตั้งองศาจุดระเบิดที่ 35 องศาก่อนศูนย์ตายบน ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1500 rpm.

รูป 6 แสดงชิ้นส่วนต่างๆ ของคาร์บูเรเตอร์ก๊าซ

2.9.5 การดัดแปลงเครื่องยนต์โดยดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ

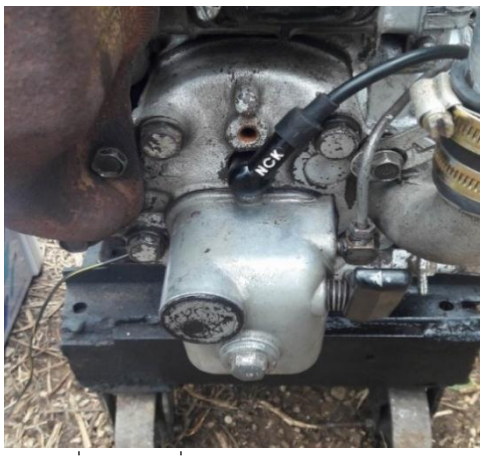
ซึ่งมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ดังนี้

1) เปลี่ยนอัตราส่วนการอัด (Compression ratio) ของเครื่องยนต์ โดยการเพิ่มประเก็นฝาสูบอีก 1 แผ่น มีความหนา 4 mm ทำให้อัตราส่วนการอัดลดเหลือเป็น 9.88: 1



รูปที่ 7 เพิ่มประเก็นฝาสูบอีก 1 แผ่น หนา 4 mm

2) เปลี่ยนการจุดระเบิดโดยการฉีดน้ำมันดีเซลมาเป็นจุดระเบิดด้วยหัวเทียนถอดอุปกรณ์ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงออกและติดตั้งอุปกรณ์ระบบจุดระเบิดแบบ DC CDI มีหัวเทียนเป็นอุปกรณ์จุดระเบิดเชื้อเพลิงในกระบอกสูบ



รูปที่ 8 ฝาสูบที่ทำการใส่หัวเทียนเรียบร้อย

3) เพิ่มอุปกรณ์ Venturi mixer gas ผสมก๊าซชีวภาพกับอากาศเข้าห้องผาไหม้ของเครื่องยนต์ หรือคาร์บูเรเตอร์ก๊าซ ดังรูปที่ 6

2.9.6 ทดสอบเครื่องยนต์เล็กดีเซลดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ

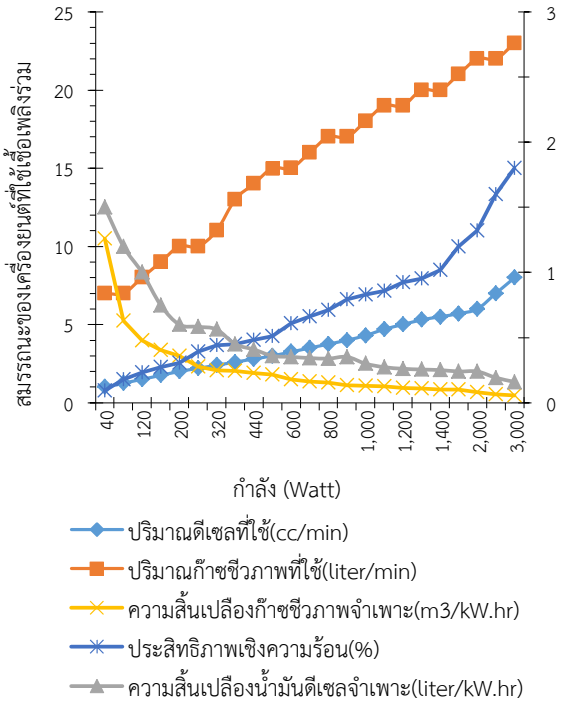
ทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ ที่ดัดแปลงจากเครื่องยนต์เล็กดีเซล 4 จังหวะ 1สูบ ยี่ห้อมิตซูบิชิ รุ่น DI-700 ขนาด 353 cc. 7 HP เป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่จุดระเบิดด้วยประกายไฟ สามารถใช้เชื้อเพลิงเฉพาะก๊าซชีวภาพได้ ทำการทดสอบสมรรถนะเช่นเดียวกับ แบบใช้เชื้อเพลิงร่วม ความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 1,500 rpm 3 kW ทดสอบที่กำลังไฟฟ้าต่างๆ กันเพิ่มภาระขึ้นครั้งละ 40 Watt โดยปรับอัตราส่วนผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพตั้งองศาการจุดระเบิด ให้เครื่องยนต์ทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุด วัดอัตราการสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและปริมาณก๊าซไอเสีย แต่ไม่มีการวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1500 rpm เท่ากับความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่อัตราทดของพูลเล่ย์ 1:1

3.1 ผลการวิจัย

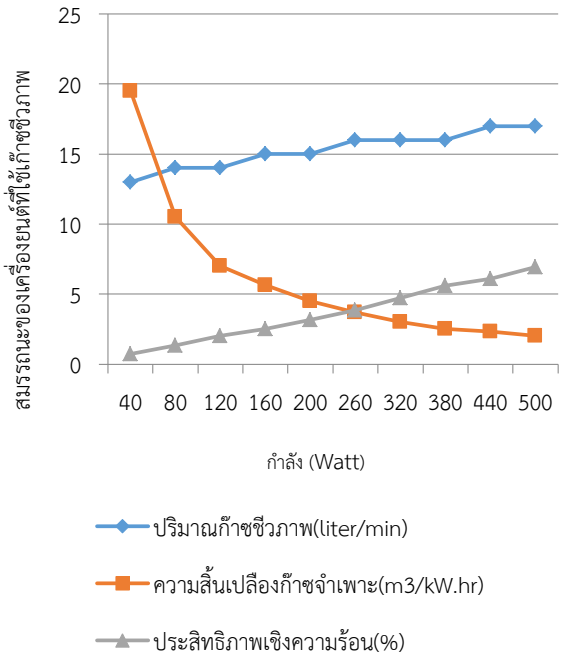
1) ผลการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลเล็กใช้เชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวภาพใช้เครื่องยนต์เล็กดีเซล 4 จังหวะ1 สูบ ยี่ห้อมิตซูบิชิ รุ่น DI-700 ขนาด 353 cc. 7 HP โดยดัดแปลงท่อไอดีให้เป็นแบบ T-Type ให้ภาระโดยใช้หลอดไฟฟ้า เพิ่มที่ละ 40 Watt ปรับให้ใช้ก๊าซชีวภาพมากที่สุดที่ เครื่องยนต์ไม่เกิดการน๊อก ได้ผลการทดสอบดังกราฟรูปที่ 9



รูปที่ 9 สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วม

อัตราส่วนระหว่างน้ำมันดีเซลกับก๊าซชีวภาพที่ปรับให้มากสุดเครื่องยนต์ไม่เกิดการน๊อกที่ 30:70 และได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน 18.49% ที่กำลังเครื่องยนต์ 3,000 Watt อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล 10 cc/min อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ 24 liter/min ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลจำเพาะ 0.20 liter/kW.hr และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพจำเพาะต่ำสุด 0.48 m^3/kW.hr

2) ผลกการทดสอบเครื่องยนต์เล็กดีเซลดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพดัดแปลงเครื่องยนต์เล็กดีเซลเครื่องเดิมยี่ห้อมิตซูบิชิ รุ่น DI-700 ขนาด 353 cc. 7 HP เป็นเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ได้ผลการทดสอบดังกราฟรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลการทดสอบเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

ผลการทดสอบเครื่องยนต์ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 6.95% ที่กำลัง 500 Watt อัตราความสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพเชื้อเพลิง 17 liter/min และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ 2.04 m^3/kW.hr น้อยกว่าการใช้เชื้อเพลิงร่วม

3) เมื่อนำผลการทดสอบเครื่องยนต์ทั้งสองแบบนำมาเปรียบเทียบดังกราฟรูปที่ 11 เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมกับเครื่องยนต์ที่ใช้เฉพาะก๊าซชีวภาพ ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนใกล้เคียงกันที่ภาระงานเท่ากัน โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนเครื่องยนต์ที่ใช้เฉพาะก๊าซชีวภาพสูงเพียงเล็กน้อย แต่เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมสามารถทำงานที่ภาระงานมากกว่า ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้เฉพาะก๊าซชีวภาพทำงานที่ภาระงานได้สูงสุดไม่เกิน 500 Watt

4) การคำนวณหาต้นทุนต่อการใช้พลังงานโดยกำหนดเงื่อนไขดังนี้

ก) ก๊าซชีวภาพที่ได้มีอยู่แล้วไม่คิดราคาต้นทุน

ข) เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ มีการทำงาน 1 ปี โดยทำงาน 12 ชั่วโมงต่อ 1 วัน คิดเป็น 4,380 ชั่วโมงต่อปี

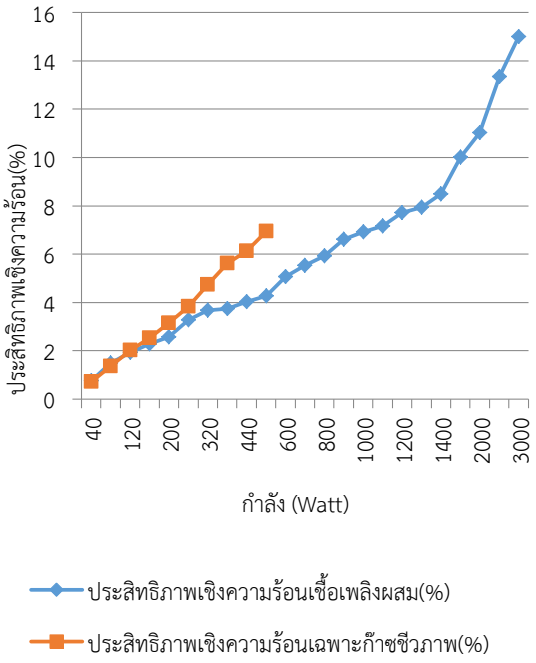
ค) ราคาน้ำมันดีเซลลิตรละ 25.14 บาท ณ วันที่ 31 พฤษภาคม 2559

ง) การบำรุงรักษาและซ่อมแซมเครื่องยนต์ ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วม กับเครื่องยนต์ที่ใช้เฉพาะก๊าซชีวภาพ ถ่ายน้ำมันเครื่องทุก 1 เดือน หรือ 240 ชั่วโมงทำงาน ตรวจเช็คหัวฉีดเชื้อเพลิงและเปลี่ยนหัวเทียน ทุก 1,000 ชั่วโมงทำงาน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายเท่ากัน

จ) ราคาดัดแปลง เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงเฉพาะก๊าซชีวภาพ 7,550 บาท

เครื่องยนต์ดีเซลใช้เชื้อเพลิงร่วมก๊าซชีวภาพมีต้นทุนต่อการให้กำลัง 4.02 บาท/kW.hr

เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพดัดแปลง ต้นทุนต่อการให้กำลัง 3.44 บาท/kW.hr



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมกับใช้เฉพาะก๊าซชีวภาพ

3.2 อภิปรายผลการวิจัย

1) ก๊าซชีวภาพมีค่าความร้อนแปลผันตามปริมาณก๊าซมีเทนและอุณหภูมิของก๊าซชีวภาพ แต่จะผกผันกับปริมาณไอน้ำที่ปนอยู่กับก๊าซชีวภาพ

2) เครื่องยนต์ดีเซลใช้เชื้อเพลิงร่วมมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนมากกว่าเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงใช้เฉพาะก๊าซชีวภาพเนื่องจากค่าความร้อนของน้ำมันมากกว่าก๊าซชีวภาพ

3) เครื่องยนต์ดีเซลใช้เชื้อเพลิงร่วมสตาร์ทติดง่ายกว่าเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงใช้เฉพาะก๊าซชีวภาพ และมีปัญหาการใช้งานน้อยกว่าเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงใช้เฉพาะก๊าซชีวภาพ เนื่องจากมีระบบการจ่ายเชื้อเพลิงที่ไม่ยุ่งยาก และหากก๊าซชีวภาพหมดยังสามารถใช้เฉพาะน้ำมันเชื้อเพลิงได้

4. สรุปผลการวิจัย

1) อัตราส่วนระหว่างน้ำมันดีเซลกับก๊าซชีวภาพที่ปรับให้มากสุดเครื่องยนต์ไม่เกิดการน็อกที่ 30:70 และได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน 18.49% ที่กำลังเครื่องยนต์ 3,000 Watt อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล 10 cc/min อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ 24 liter/min ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลจำเพาะ 0.20 liter/kW.hr และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพจำเพาะต่ำสุด 0.48 m^3/kW.hr

2) เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงใช้เฉพาะก๊าซชีวภาพทดสอบได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 6.95% ที่กำลัง 500 Watt อัตราความสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพเชื้อเพลิง 17 liter/min และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ 2.04 m^3/kW.hr

3) ต้นทุนต่อการให้กำลังของเครื่องยนต์ดีเซลใช้เชื้อเพลิงร่วมก๊าซชีวภาพ 4.02 บาท/kW.hr มากกว่าเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพดัดแปลงที่มีต้นทุนต่อการให้กำลัง 3.44 บาท/kW.hr

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงเมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมก๊าซชีวภาพ และเฉพาะก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงเป็นโครงการที่ได้รับทุนอุดหนุนวิจัย โครงการยกระดับปริญญานิพนธ์เป็นงานวิจัยตีพิมพ์ งานสร้างสรรค์ และงานบริการวิชาการสู่ชุมชน ประเภททุน HRM: Hands-on Researcher (Medium) 30,000 บาท/ทุน งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2558 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Wikipedia. *Biogas*: Available from: http://th.wikipedia.org/wiki/Biogas[Accessed 10th April 2016].Thai.

[2] Mitzlaf, KV. (1988). *Engine for Biogas*. Federal Republic of Germany:Lengericher Handelsdruckerei

[3] Pirunkaset, M. (2001). *Internal Combustion Engines*. SE-Educatio, Bangkok

[4] Suetrong, A. (2011). *Auto Data 2. 3th ed*: Peang22-jatujak, Bongkok.

[5] Funkeaw, P. (2011). Testing Performance of Small Diesel Engine by Using Duel Fuel with Biogas. *The 4th National Conference on Technical Education. King Mongkut's University of Technology North Bongkok,* Bongkok, Thailand, pp. 156-161.