



รายงานการวิจัย

เครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 20,000 วัตต์จากก๊าซชีวภาพ
THE ELECTRICAL GENERATOR ENGINE FOR 20000 WATT
FROM BIOGAS



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
กองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากกองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทำให้ผู้วิจัยมีโอกาสรสร้างผลงานจากการวิจัยนี้ได้จนสำเร็จผลเป็นที่น่าพอใจ นอกจากนี้ยังมีทีมงานผู้ช่วยวิจัยที่ได้สละเวลาในการทดลอง และปรับปรุงจนได้สำเร็จลุล่วง

ผลงานวิจัยนี้จะไม่เกิดขึ้น ถ้าปราศจากการสนับสนุนแหล่งทุนและคณะผู้วิจัยดั่งที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องไว้ ณ ที่นี้

รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสวีรุผล

หัวหน้าโครงการวิจัย

สิงหาคม 2558



บทคัดย่อภาษาไทย

ประเทศไทยได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วทั้งภาคเกษตรและอุตสาหกรรม จึงทำให้มีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น พลังงานจากปิโตรเลียมเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป จึงได้มีการศึกษาและวิจัยหาพลังงานรูปแบบอื่นเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน ก๊าซชีวภาพเป็นทางเลือกอย่างหนึ่งที่ได้จากผลผลิตของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน โดยส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพจะมีก๊าซมีเทนเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งสามารถนำมาเผาไหม้จะให้พลังงานความร้อน ปัจจุบันรัฐบาลได้มีการส่งเสริมให้ชุมชนสร้างระบบบำบัดของเสียจากการเลี้ยงสัตว์ เช่น มูลสุกร ไก่ วัว เป็นต้น เพื่อนำไปผลิตก๊าซชีวภาพใช้ในการหุงต้มอาหาร ก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ได้ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการคัดแปลงและออกแบบระบบควบคุมเครื่องยนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์ จากก๊าซชีวภาพเพื่อใช้กับชุมชนขนาดเล็ก โรงเรียน ฟาร์ม เป็นต้น โดยทำการควบคุมแรงบิดและความเร็วรอบให้สอดคล้องกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอและการปรับอัตราส่วนระหว่างก๊าซชีวภาพและอากาศ ให้มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง พร้อมทั้งสร้างระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพให้มีส่วนประกอบและแรงดันที่เหมาะสม สามารถลดการนำเข้าจากต่างประเทศ พัฒนาองค์ความรู้ในการคัดแปลงและออกแบบ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

Thailand has developed quickly both in agricultural and industrial sectors so the energy requirements are increasing. The energy from petroleum is unsustainable and can not be reused thus a study and research for finding the other forms of energy resources in order to be used as renewable energy is needed. Biogas is one of a substance that obtained from anaerobic decomposition process, the main component of the biogas is methane which provides thermal energy through the combustion.

Nowaday, Thai government encourages the communities to set up the waste treatment systems from animals dung such as cattle, swine and poultry in order to produce biogas not only for household usage but also can used as the automotive fuel.

The researchers offer the cognitive development on the modification and design of engine control system to produce the biogas for electricity production of 20 kW for utilizing in small communities, schools and farms etc., and we can reduce the energy importation from abroad. The rotational speed and torque are controlled in accordance with the power generator by using a PI controller and the adjustment of ratio between biogas and air which can maintain the effectiveness of electricity production continuously and generate biogas cleaning-system to have proper composition and voltage as well.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฅ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ปรัชศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ	3
2.1.1 องค์ประกอบและคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ.....	3
2.1.2 การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์	4
2.2 การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ	5
2.3 เครื่องยนต์.....	5
2.3.1 เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง	6
2.3.2 อุปกรณ์ผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพ (Gas mixer)	7
2.3.3 สมรรถนะของเครื่องยนต์.....	7

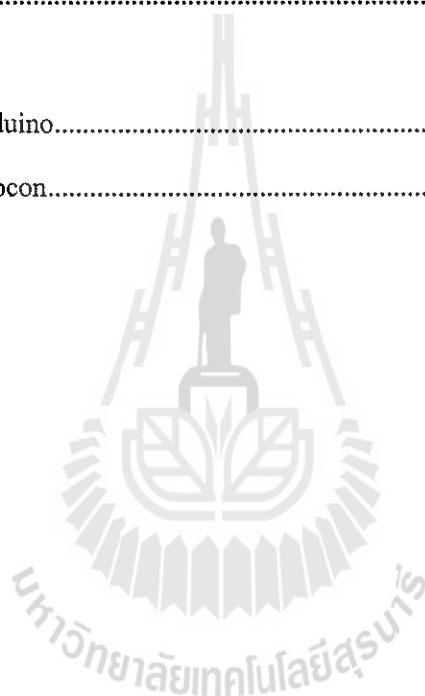
สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Synchronous generator)	10
2.5	หลักการการทำงานของระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ.....	10
2.6	ปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	11
3	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	14
3.1	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องยนต์เบนซิน (Gasoline engine)	15
3.1.1	แบบจำลองอัตราการไหลของมวลอากาศ (Air part model).....	15
3.1.2	แบบจำลองสมการแรงบิดของเครื่องยนต์ (Torque production model).....	18
3.1.3	แบบจำลองสมการการหมุนของเครื่องยนต์ (Rotation dynamic model) ...	19
3.2	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)	19
3.4	สรุป	21
4	ผลการทดลองของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ	22
4.1	ก๊าซชีวภาพ	22
4.2	ระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ.....	24
4.2.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ.....	24
4.2.2	คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพหลังจากผ่านระบบทำความสะอาด	25
4.3	ระบบควบคุมแรงดันก๊าซชีวภาพ.....	26
4.4	ระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ	28
4.5	การออกแบบจำลองอ้างอิงระบบควบคุมความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ	30
4.6	เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ	31
4.7	สรุป	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5 สรุปและข้อเสนอแนะ	36
5.1 สรุป	36
5.2 ข้อเสนอแนะ	37
รายการอ้างอิง	38
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การใช้งาน Arduino.....	40
ภาคผนวก ข. การใช้งาน Rapcon.....	44



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบก๊าซชีวภาพแต่ละชนิด	4
2.2	ปริมาณการทดแทนเปรียบเทียบระหว่างก๊าซชีวภาพกับเชื้อเพลิงต่างๆ	4
4.1	องค์ประกอบก๊าซชีวภาพที่ใช้ในงานวิจัย.....	23
4.2	คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพหลังจากผ่านระบบทำความสะอาด	25
4.3	ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์เมื่อใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง	32
5.1	แสดงคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพก่อนและหลังทำความสะอาด	36



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	หลักการทำงานของไดนาโมมิเตอร์	8
3.1	โครงสร้างระบบควบคุมเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า.....	14
3.2	โครงสร้างของเครื่องยนต์เบนซิน (Gasoline engine).....	15
3.3	ภาพพื้นที่หน้าตัดของลิ้นปีกผีเสื้อที่ให้อากาศไหลผ่าน.....	16
3.4	แผนภาพวงจรอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	20
4.1	การทำงานของระบบผลิตกระแสไฟฟ้า	22
4.2	บ่อหมักก๊าซชีวภาพมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	23
4.3	ระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ	25
4.4	อุปกรณ์ควบคุมแรงดันก๊าซชีวภาพ	26
4.5	เรกกูเลเตอร์ (Regulator) พร้อมชุดกรองไอน้ำ.....	27
4.6	อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ.....	27
4.7	อุปกรณ์ผสมก๊าซชีวภาพกับอากาศ	28
4.8	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดเวอมเกียร์ (Worm gear motor).....	29
4.9	PCI Serial Card และบอร์ด RAPCON.....	29
4.10	เซนเซอร์วัดความเร็วรอบ (Speed sensor) และบอร์ด Arduino	30
4.11	เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ	31
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ 10 องศา.....	33
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ 12.5 องศา.....	33
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ 15 องศา.....	34
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ 17.5 องศา.....	34
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ 20 องศา.....	35
ก.1	การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับ Arduino	41
ก.2	การลง Driver Arduino.....	41
ก.3	การลง Driver Arduino (ต่อ)	42
ก.4	การลง Driver Arduino (ต่อ)	42

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

C_d	=	สัมประสิทธิ์อัตราการใช้
R	=	ค่าคงที่ของแก๊สอุดมคติ (J/mol-K)
A_{th}	=	พื้นที่หน้าตัดของลิ้นปีกผีเสื้อที่ให้อากาศไหลผ่าน (m ²)
P_{amb}	=	ความดันในสถานะนิ่ง (N/m ²)
P_{man}	=	ความดันในท่อร่วม (N/m ²)
T_{amb}	=	อุณหภูมิในสถานะนิ่ง (K)
T_{man}	=	อุณหภูมิในท่อร่วม (K)
γ	=	อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ
d	=	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของลิ้นปีกผีเสื้อ (m)
θ	=	องศาของลิ้นปีกผีเสื้อที่ปรับ (degree)
θ_0	=	องศาของลิ้นปีกผีเสื้อตั้งต้น (degree)
\dot{m}_{man}	=	มวลของอากาศในท่อไอดี (Kg/s)
\dot{m}_{ai}	=	อัตราการไหลของมวลอากาศเข้าท่อร่วมไอดี (Kg)
\dot{m}_{ao}	=	อัตราการไหลของมวลอากาศออกจากท่อร่วมไอดี (Kg/s)
V_d	=	ปริมาตรของกระบอกสูบ (m ³)
V_m	=	ปริมาตรของท่อร่วมไอดี (m ³)
η_v	=	ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร
η_t	=	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน
λ	=	(Air/Fuel)/Stoichiometric
L_{th}	=	Theoretical Air/Fuel Mass Ratio
H_u	=	ค่าความร้อนของพลังงานเชื้อเพลิง (J/Kg)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วทั้งภาคเกษตรและอุตสาหกรรม จึงทำให้มีความต้องการทางด้านพลังงานเพิ่มมากขึ้น โดยพลังงานจากปิโตรเลียมเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ก๊าซชีวภาพเป็นผลผลิตจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน โดยส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพจะมีก๊าซมีเทนเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งสามารถนำมาเผาไหม้จะให้พลังงานความร้อน ปัจจุบันรัฐบาลได้มีการส่งเสริมให้ชุมชนสร้างระบบบำบัดของเสียจากการเลี้ยงสัตว์ เช่น มูลสุกร ไก่ วัว เป็นต้น เพื่อนำไปผลิตก๊าซชีวภาพใช้ในการหุงต้มอาหาร ก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ได้ นอกจากนั้นยังได้คาร์บอนเครดิตจากการช่วยลดปัญหาโลกร้อนจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ

การผลิตก๊าซชีวภาพนอกจากจะช่วยลดปัญหาโลกร้อนแล้วยังสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์เพื่อกำเนิดกระแสไฟฟ้าในการช่วยลดต้นทุนการผลิต เครื่องยนต์กำเนิดกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพมีใช้ในภาคอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ จะมีขนาด 12 - 16 สูบ (ประมาณ 50,000 - 65,000 ซีซี) ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1 - 3 เมกะวัตต์ ซึ่งมีระบบควบคุมที่ซับซ้อนและราคา ส่วนมากเป็นเครื่องยนต์ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการดัดแปลงเครื่องยนต์เบนซินขนาด 6 สูบ ขนาด 3,000 ซีซี พร้อมระบบควบคุมความเร็วรอบให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์ ได้จากก๊าซชีวภาพ ซึ่งเหมาะจะใช้กับชุมชนขนาดเล็ก โรงเรียนตามชนบท ฟาร์ม เป็นต้น โดยทำการควบคุมแรงบิดและความเร็วรอบให้สอดคล้องกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอและการปรับอัตราส่วนระหว่างก๊าซชีวภาพและอากาศ ให้มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง พร้อมทั้งสร้างระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพให้มีส่วนประกอบและแรงดันที่เหมาะสม สามารถลดการนำเข้าจากต่างประเทศ พัฒนาองค์ความรู้ในการดัดแปลงและออกแบบ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

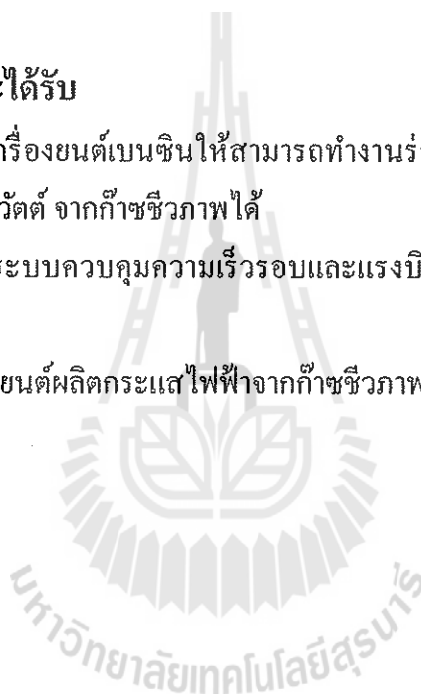
1. ดัดแปลงเครื่องยนต์ให้สามารถใช้ก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. ออกแบบระบบควบคุมเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์ได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ดัดแปลงแต่งเครื่องยนต์เบนซินขนาด 6 สูบ ให้มีแรงบิดและความเร็วรอบที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์ โดยใช้ก๊าซชีวภาพเท่านั้น
2. การควบคุมเครื่องยนต์ด้วยการปรับอัตราส่วนผสมระหว่างปริมาณอากาศกับก๊าซชีวภาพ
3. ก๊าซชีวภาพต้องมีก๊าซมีเทนไม่น้อยกว่า 65%
4. ก๊าซชีวภาพต้องมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์น้อยกว่า 23 ppm

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถดัดแปลงเครื่องยนต์เบนซินให้สามารถทำงานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์ จากก๊าซชีวภาพได้
2. สามารถออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบและแรงบิดของเครื่องยนต์สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพได้
3. ลดการนำเข้าเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ



บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันการนำก๊าซชีวภาพ (Biogas) ใช้เป็นเชื้อเพลิง สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Alternator) สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าไปใช้ในฟาร์มปศุสัตว์ โรงมัน ตำปะหลัง โรงบำบัดน้ำเสียกันอย่างแพร่หลาย โดยการเปลี่ยนระบบเชื้อเพลิงจากเดิมที่ใช้ น้ำมันเบนซิน ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ (SI Engine) หรือใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (CI Engine) มาปรับปรุงใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงทดแทน ดังนั้นจะมีเทคนิคที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการดัดแปลงเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง แต่องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและวิธีในการผลิต

2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน (Anaerobic digestion) ซึ่งโดยทั่วไปจะหมายถึงก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหมักสารอินทรีย์ โดยกระบวนการนี้สามารถเกิดได้ทั้งในหลุมขบะ กองมูลสัตว์ และก้นบ่อแหล่งน้ำนิ่ง กล่าวคือ เมื่อไรก็ตามที่สารอินทรีย์หมักหมมกันเป็นเวลานานก็สามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้

องค์ประกอบส่วนใหญ่ของก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) 50 - 70% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 30 - 40% และส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน (H_2) ออกซิเจน (O_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ กระบวนการนี้เป็นที่นิยมในการเปลี่ยนของเสียประเภทอินทรีย์ไปเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า นอกจากจะเป็นการกำจัดของเสียได้แล้วยังสามารถทำลายเชื้อโรคได้อีกด้วย การใช้ก๊าซชีวภาพทดแทนพลังงานหลักเป็นการบริหารจัดการของเสียที่ควรได้รับการสนับสนุน เนื่องจากไม่เป็นการเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับชั้นบรรยากาศที่เป็นต้นเหตุทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกได้

2.1.1 องค์ประกอบและคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยองค์ประกอบของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ อาจจะมีก๊าซไนโตรเจน ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เจือปนอยู่บ้างเล็กน้อย ซึ่ง

ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมักนี้จะมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก และสถานะของกระบวนการหมัก โดยทั่วไปองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพแต่ละชนิด

องค์ประกอบ	มูลสุกร (%)	มูลวัว (%)	มูลสุกร + มูลวัว (%)
ก๊าซมีเทน	57 - 64	60 - 65	55 - 60
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	36 - 43	35 - 40	40 - 45
ก๊าซออกซิเจน	0.3 - 0.5	0.2 - 0.3	0.2 - 0.3
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	>2000 ppm	>2000 ppm	>2000 ppm

2.1.2 การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

องค์ประกอบและคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพดังกล่าว เราพบว่าก๊าซชีวภาพสามารถใช้ทดแทนเชื้อเพลิงหรือพลังงานได้ ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการทดแทนเปรียบเทียบระหว่างก๊าซชีวภาพกับเชื้อเพลิงต่าง ๆ

รายการทดแทน	อัตราทดแทน	หน่วย
ก๊าซ LPG	0.46	กิโลกรัม
ก๊าซธรรมชาติ	0.60	กิโลกรัม
ไฟฟ้า	1.2	กิโลวัตต์ - ชั่วโมง
น้ำมันเตา	0.55	ลิตร
น้ำมันดีเซล	0.4	กิโลกรัม
น้ำมันเบนซิน	0.6	กิโลกรัม
ถ่านหิน	0.8	กิโลกรัม
ถ่านไม้	1.6	กิโลกรัม

หมายเหตุ : ก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม. ที่มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนร้อนละ 60 มีค่าความร้อนประมาณ 21 เมกะจูล/ลบ.ม. (สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2538)

2.2 การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพถูกนำไปใช้ทดแทนพลังงานในด้านต่าง ๆ เช่น เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงความร้อนโดยตรง เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพพบว่าสัดส่วนของก๊าซมีเทน (CH_4) มีปริมาณใกล้เคียงกับก๊าซมีเทนในก๊าซธรรมชาติ เป็นผลให้ก๊าซชีวภาพสามารถใช้ทดแทนเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ได้ การจะนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ได้นั้นจะต้องมีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อน เนื่องจากก๊าซดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นกรดเมื่อสัมผัสกับความชื้นในอากาศ เมื่อสัมผัสกับโลหะจะทำให้เกิดสนิม เมื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์ซึ่งอุปกรณ์ส่วนใหญ่จะเป็นโลหะ หากไม่ทำการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำให้เครื่องยนต์เสียหายได้ นอกจากนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังเป็นส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพที่มีสัดส่วนค่อนข้างมาก เพื่อต้องการเพิ่มปริมาณสัดส่วนของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพให้มากขึ้น เราจำเป็นต้องมีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ให้มีปริมาณเหลือน้อยที่สุด ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับก๊าซธรรมชาตินั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ ปัจจุบันเทคโนโลยีการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพก๊าซมีเทนพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

2.3 เครื่องยนต์

เครื่องยนต์ (Engine) เป็นคำที่มักใช้เรียกอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นงานและกำลัง โดยทั่วไปพลังงานความร้อนจะ ได้จากการเผาไหม้ของอากาศกับเชื้อเพลิง เครื่องยนต์เผาไหม้ (Combustion engine) หรือเครื่องยนต์ความร้อน (Heat engine) นี้จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

ก. เครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอก (External combustion engine) เป็นเครื่องยนต์ที่นำเอาผลของการเผาไหม้ของอากาศกับเชื้อเพลิงให้ถ่ายเทความร้อนไปยังของไหลชนิดที่สองซึ่งใช้เป็นสารทำงานสำหรับผลิตกำลัง ดังนั้นสารทำงานและสารที่เกิดจากการเผาไหม้จึงเป็นของไหลคนละชนิดและถูกแยกจากกัน โดยผนังความร้อน สารที่เกิดจากการเผาไหม้จึงไม่สัมผัสกับชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอกนี้ ได้แก่ เครื่องจักรไอน้ำ (Steam engine) กังหันไอน้ำ (Steam turbine) และเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Sterling engine)

ข. เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (Internal combustion engine) เป็นเครื่องยนต์ที่นำเอาผลของการเผาไหม้ของอากาศกับเชื้อเพลิงไปใช้เป็นทำงานสำหรับผลิตกำลังโดยตรง เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในนี้ ได้แก่ เครื่องยนต์ลูกสูบ (Piston engine) เครื่องยนต์โรตารี (Rotary engine) กังหันแก๊ส (Gas turbine) และเครื่องยนต์จรวด (Rocket engine)

เครื่องยนต์กลุ่มนี้ถูกใช้เป็นตัวกำลังสำหรับขับเคลื่อนอุปกรณ์และยานพาหนะประเภทต่างๆซึ่งได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องสูบน้ำ รถยนต์ เรือ และเครื่องบิน เครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอกที่ยังใช้กันอยู่ในปัจจุบันก็คือ กังหันไอน้ำที่ใช้ในโรงจักรไฟฟ้าซึ่งโดยทั่วไปจะมีขนาดใหญ่ ส่วนเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในยังคงใช้กันในเกือบทุกประเภท แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดก็คือเครื่องยนต์แบบลูกสูบซึ่งส่วนใหญ่ใช้กับรถยนต์

2.3.1 เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง หรือเครื่องยนต์ดัดแปลง ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งเครื่องยนต์เบนซินและเครื่องยนต์ดีเซล สิ่งจำเป็นที่ต้องดัดแปลง ดังนี้

2.3.1.1 การปรับปรุงเครื่องยนต์เบนซิน เพื่อใช้ก๊าซชีวภาพ มีการปรับปรุงเครื่องยนต์ดังนี้

- ติดตั้งอุปกรณ์ผสมก๊าซชีวภาพ (Gas mixer) ที่บริเวณท่อร่วมไอดีก่อนเข้าคาร์บูเรเตอร์ หรือบริเวณลิ้นปีผีเสื้อ (Throttle valve) เพื่อผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพ แต่ถ้าต้องการให้เครื่องยนต์สามารถใช้ได้กับน้ำมันเบนซิน ได้ด้วยก็ไม่ต้องเอาหัวฉีดหรือคาร์บูเรเตอร์ออก

- ติดตั้งวาล์วควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ เพื่อที่จะคุมปริมาณก๊าซและอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสมในกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์

- ปรับเปลี่ยนองศาการจุดระเบิดให้เร็วขึ้น (Increase spark advance) เนื่องจากเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงที่มีความเร็วในการเผาไหม้ต่ำ (Low flame speed)

2.3.1.2 การปรับปรุงเครื่องยนต์ดีเซล เพื่อใช้ก๊าซชีวภาพ มีดังนี้

- ลดอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์ (Compression ratio) เพื่อให้มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องยนต์เบนซิน เพื่อป้องกันการน็อกของเครื่องยนต์

- ถอดชุดอุปกรณ์ฉีดเชื้อเพลิงดีเซลออก แล้วทำการติดตั้งหัวเทียนและชุดอุปกรณ์จุดระเบิดสำหรับการทำงานของเครื่องยนต์

- ติดตั้งลิ้นปีผีเสื้อ (Throttle valve) เพื่อควบคุมอัตราการไหลของไอดี และอุปกรณ์ผสมก๊าซชีวภาพ (Gas mixer) ที่บริเวณลิ้นปีผีเสื้อ (Throttle valve)

- ติดตั้งวาล์วควบคุมอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพและอากาศ เพื่อให้มีอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง

2.3.2 อุปกรณ์ผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพ (Gas mixer)

อุปกรณ์ผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพ (Mixing device) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.3.2.1 อุปกรณ์ผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพอย่างง่าย (Simple mixing device) คือ

แบบ T - Joint tube mixer ซึ่งจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ปกติจะนำมาใช้ในกรณีที่เครื่องยนต์ทำงานที่สภาวะคงที่ คือ มีภาระกรรมคงที่ (Load constant) หรือนำไปจับปั๊มน้ำที่มีอัตราการไหลคงที่ และจะต้องมีการสอบเทียบ (Calibration) อุปกรณ์ผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพโดยใช้ทั้งอากาศและก๊าซชีวภาพมาสอบเทียบการควบคุมเพื่อให้ได้กำลังตามต้องการ ก็คือการควบคุมปริมาณของอากาศและก๊าซชีวภาพที่เข้ามาผสมกันในอุปกรณ์นี้ ซึ่งจะควบคุมได้โดยการปรับวาล์วด้านอากาศเข้าและ/หรือด้านก๊าซชีวภาพเข้า

2.3.2.2 Venturi mixer เป็นอุปกรณ์ผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพที่สามารถควบคุมค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงได้ดี สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงได้ Venturi mixer มีคุณลักษณะเช่นเดียวกับคาร์บูเรเตอร์ กล่าวคือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอากาศที่ไหลเข้าสู่เครื่องยนต์หรือความเร็วของอากาศที่ไหลเข้า จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความดันที่คอคออดซึ่งจะก่อให้เกิดผลคือ กรณีที่มีปริมาณของอากาศไหลเข้าสู่เครื่องยนต์มากจะทำให้ความเร็วของอากาศที่บริเวณคอคออดมีค่าสูง ความแตกต่างระหว่างความดันระหว่างเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพและอากาศที่คอคออดสูง ปริมาณของก๊าซชีวภาพจะไหลมาผสมกับอากาศที่คอคออดได้มาก กรณีที่ปริมาณอากาศไหลเข้าสู่ห้องเครื่องยนต์น้อย จะทำให้ความเร็วของอากาศบริเวณคอคออดมีค่าต่ำ ความแตกต่างระหว่างความดันระหว่างเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพและอากาศที่คอคออดมีค่าต่ำ ทำให้ก๊าซชีวภาพเพียงเล็กน้อยไหลเข้ามาผสมกับอากาศที่คอคออด ดังนั้นการที่จะต้องให้การกำลังจากเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพเท่าใดขึ้นอยู่กับ การปรับลิ้นปีกผีเสื้อ เพื่อควบคุมปริมาณของเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพที่เข้าไปผสมกับอากาศ นอกจากนี้ที่ท่อส่งก๊าซบริเวณก่อนที่จะเข้าสู่อุปกรณ์ผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพจะต้องติดตั้ง Constant pressure control valve เพื่อควบคุมให้ความดันในท่อส่งก๊าซชีวภาพมีค่าคงที่ไม่ให้เกิดเปลี่ยนแปลงมากไป เพราะถ้าความดันในท่อส่งก๊าซชีวภาพมีการเปลี่ยนแปลงมาก จะส่งผลต่อค่าความร้อนเชิงปริมาณของเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพจะมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย และกำลังของเครื่องยนต์

2.3.3 สมรรถนะของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง เมื่อนำมาดัดแปลงใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงจะผลิตกำลังงานได้น้อยกว่าการใช้น้ำมันเบนซิน ซึ่งกำลังที่

ลดลงจะขึ้นอยู่กับค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ เช่น ก๊าซชีวภาพ 70% มีเทน จะมีค่าความร้อนสูงกว่า ก๊าซชีวภาพ 50% มีเทน ดังนั้นก่อนที่จะนำเครื่องยนต์ไปใช้งานจึงต้องทำการวัดกำลังและแรงบิด

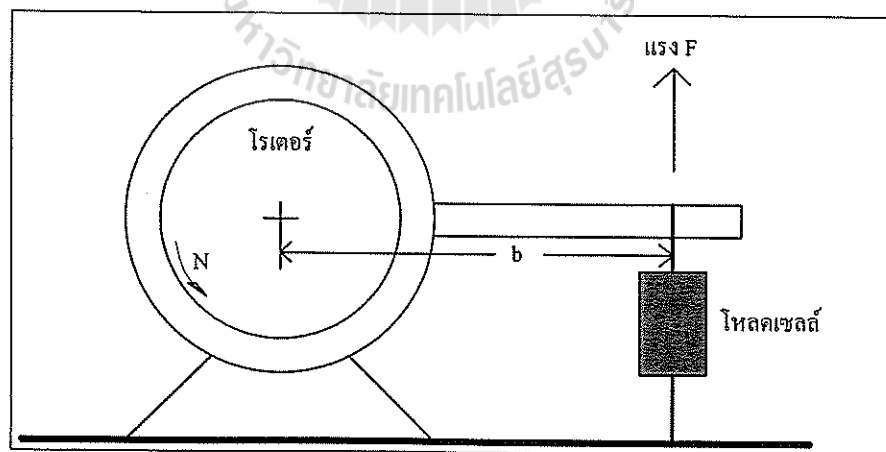
2.3.3.1 กำลังเบรก (Brake power, P_b) เป็นกำลังที่วัดได้จากเพลาคือเหวี่ยงของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังที่นำไปใช้งานได้นั่นเอง การวัดกำลังเบรกจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่าไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งมีอยู่หลายชนิด โดยจะวัดออกมาในรูปของแรงบิด (Torque, T) และรอบการหมุนของเครื่องยนต์ ซึ่งเราจะได้แรงบิด

$$\text{Torque} = F \times b \quad (2.1)$$

และกำลัง (Power)

$$\text{Power} = 2\pi TN \quad (2.2)$$

เมื่อ	T	=	แรงบิดของเครื่องยนต์ (N-m)
	F	=	แรงที่ใช้ในการเบรก (N)
	b	=	ความยาวของแขนโมเมนต์ (m)
	N	=	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)



รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของไดนาโมมิเตอร์

2.3.3.2 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption, sfc) ในการทดสอบเครื่องยนต์ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะถูกวัดเป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง (\dot{m}_f) ซึ่งเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการ

เปรียบเทียบได้จึงกำหนดรูปของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ ซึ่งอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังที่ให้ออกมาและเป็นการวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตงานออกมา

$$\text{Specific Fuel Consumption (sfc)} = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad (2.3)$$

ค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะควรมีค่าน้อยซึ่งจะแสดงว่าเครื่องยนต์ประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง และโดยทั่วไปแล้วจะคำนวณในรูปของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption, bsfc) คือ อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังเบรกที่ให้ออกมา ค่า bsfc ที่ดีที่สุดสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟมีค่าประมาณ 270 g/(kW-h)

2.3.3.3 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ คือ อัตราส่วนระหว่างงานที่ได้ต่อวัฏจักรกับพลังงานเชื้อเพลิงที่ใส่เข้าไปต่อวัฏจักร โดยพลังงานเชื้อเพลิงที่สามารถปล่อยออกมาจากการเผาไหม้จะหาได้จากมวลของเชื้อเพลิงที่ส่งเข้าไปในเครื่องยนต์ต่อวัฏจักรคูณด้วยค่าความร้อนของเชื้อเพลิง อัตราส่วนดังกล่าวนี้เรียกว่า “ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง” (Fuel conversion efficiency, η_f)

$$\text{Fuel Conversion Efficiency}(\eta_f) = \frac{P}{\dot{m}_f Q_{HV}} \quad (2.4)$$

Q_{HV} – ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

2.3.3.4 การปล่อยมลพิษ ในการทำงานของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในจะมีการปล่อยไอเสียหรือผลที่เกิดจากการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศออกมาจากเครื่องยนต์ ซึ่งมีส่วนประกอบที่ถือว่าเป็นมลพิษ คือ ออกไซด์ของไนโตรเจน (ได้แก่ ไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ที่นิยมเรียกกันเป็น NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่ได้เผา (HC) และสารตะออง (Particulate)

ความเข้มข้นของแก๊สที่เป็นมลพิษในไอเสียของเครื่องยนต์มักจะถูกวัดเป็น ส่วนในล้านส่วน (Part per million, ppm) หรือร้อยละ โดยปริมาตร แต่พารามิเตอร์ที่ใช้ใช้ในการเปรียบเทียบจะพิจารณาเป็น 2 ลักษณะ คือ อัตราการไหลของมวลมลพิษต่อหน่วยกำลังที่ให้ออกมาที่เรียกว่า “การปล่อยมลพิษจำเพาะ” (Specific emission, s)

$$s_{NO_x} = \frac{\dot{m}_{NO_x}}{P}, s_{CO} = \frac{\dot{m}_{CO}}{P}, s_{HC} = \frac{\dot{m}_{HC}}{P}, s_{part} = \frac{\dot{m}_{part}}{P} \quad (2.5)$$

หน่วยที่นิยมใช้คือ $\mu g / Jc$ และ $g / (kW - h)$

2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Synchronous generator)

ระบบไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ได้มาจาก โรงต้นกำเนิด (Power plant) ซึ่งเป็นแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าอยู่ในความรับผิดชอบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ทำหน้าที่ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้การไฟฟ้าภูมิภาค และการไฟฟ้านครหลวง เพื่อจำหน่ายให้กับบ้านพักอาศัย สำนักงาน หน่วยงานต่างๆ และโรงงานอุตสาหกรรม โรงต้นกำเนิดที่ผลิตพลังงานไฟฟ้านั้น มีทั้ง โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โรงไฟฟ้าพลังน้ำ โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ และยังรวมถึงการผลิตไฟฟ้าทดแทนจากพลังงานทดแทนอีกด้วย โดยภายในโรงไฟฟ้าแต่ละชนิดจะมีเครื่องจักรที่สำคัญทำหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าส่งออกไปใช้งาน เรียกว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นเครื่องจักรกลที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กตามหลักการของ ไมเคิล ฟาราเดย์ โดยการหมุนตัดกันระหว่างขดลวดตัวนำกับสนามแม่เหล็ก พิกัดกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะบอกเป็น โวลต์ - แอมป์ (VA) หรือกิโลโวลต์ - แอมป์ (KVA) ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent power) ที่เครื่องจ่ายออกมา เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternators) ทำหน้าที่ผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้พลังงานกลจากต้นกำเนิด (Prime mover) มาหมุนขั้วเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับใช้หลักการเดียวกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยอาศัยหลักการตัวนำในอาร์เมเจอร์หมุนตัดสนามแม่เหล็กที่ขั้วแม่เหล็ก หรือสนามแม่เหล็กที่ขั้วแม่เหล็กหมุนตัดตัวนำในอาร์เมเจอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแตกต่างจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นส่วนหมุนและขดลวดสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับนั้นอาจให้ขดลวดอาร์เมเจอร์อยู่กับที่หรือหมุนก็ได้ ขึ้นอยู่กับกำลังเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขนาดใหญ่ส่วนมากจะเป็นแบบสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating field)

2.5 หลักการทำงานของระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่นำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า จะมีระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์เนื่องจากเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้ากระแสสลับจะทำงานด้วยความเร็วรอบคงที่ เพื่อป้องกัน

ทำให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ันกำลังต่ำหรือสูงเกินกว่าการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นเครื่องยนต์ันกำลังจะต้องมีระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ันให้ทำงานโดยอัตโนมัติ

ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Automatic control system) บางครั้งจะเรียกว่าการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบพลศาสตร์ที่ควบคุม โดยระบบควบคุมแบบอัตโนมัตินี้จะทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่วัดค่าตัวแปรสถานะหรือ State variables จริงจากระบบด้วยตัวตรวจรู้ (Sensor) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นและสร้างสัญญาณควบคุมซึ่งสามารถลดการเปลี่ยนแปลงนี้ลง การกระทำของระบบควบคุมอัตโนมัติที่สร้างสัญญาณควบคุม (Control signal) นี้เรียกว่า ภารกิจควบคุม (Control action)

2.6 ปรีทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการทำงานของระบบควบคุมเครื่องยนต์ันผลิตไฟฟ้าที่มีก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงนั้น จะมีอยู่หลายส่วนการทำงานหากนำเข้าจากต่างประเทศจะมีราคาค่อนข้างสูง จึงไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้กับชุมชนที่มีขนาดเล็ก ซึ่งใช้กำลังไฟฟ้าที่ประมาณ 20 กิโลวัตต์ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบระบบควบคุมเครื่องยนต์ันผลิตไฟฟ้าให้มีราคาที่ถูกลง เพื่อลดการนำเข้าระบบควบคุมจากต่างประเทศ โดยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

จันทิมา ชั่งศิริพร และคณะ (2551) ได้ทำการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน งานวิจัยนี้ได้กำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่ได้มีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่แตกต่างกันทำให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนเครื่องจักรที่นำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ จึงได้ศึกษาการใช้สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ร่วมในการเร่งปฏิกิริยาการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์และศึกษาการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ สารออกซิแดนท์ที่ใช้ในการทดลองเป็นชนิดไฮเดียมไฮดรอกไซด์และไฮเดียมไฮโปคลอไรต์ และใช้สารลดการตึงผิวนิวตริล SDS, CTAB และ Triton X-100

ปิยะพงษ์ สิงห์บัว (2554) ศึกษาแบบอัตโนมัติกำจัดก๊าซชีวภาพและตัดแปลงรถจักรยานยนต์เพื่อใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงและได้ทำการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อนำน้ำมันแก๊สโซลีนและก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในรถจักรยานยนต์ โดยทำการพัฒนาระบบอัตโนมัติกำจัดก๊าซชีวภาพเข้าถังขนาด 4 และ 15 กิโลกรัม ที่ความดันเกจ 15 บาร์

ประเทือง พันแก้ว (2554) คัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซล Kubota รุ่น ET 80 ขนาด 8 แรงม้าให้สามารถใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ และทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำมันดีเซลกับก๊าซชีวภาพที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที พบว่าเครื่องยนต์คัดแปลงใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 17.01 ที่อัตราส่วนผสมน้ำมันต่อก๊าซชีวภาพ 30:70 เป็นช่วงที่เหมาะสมและไม่เกิดการน็อกของเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพอยู่ที่ $1.26 \text{ m}^3/\text{h}$ และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลอยู่ที่ $0.00034 \text{ m}^3/\text{h}$

ณัฐวุฒิ พลศรี และรัชพล สันติวารากร (2555) ศึกษาการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลคัดแปลงเมื่อใช้น้ำมันเบนซิน ก๊าซหุงต้ม และก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง งานวิจัยนี้ได้ทำการคัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซล Kubota รุ่น ET 95 ขนาด 9 แรงม้า จากอัตราส่วนการอัด 21.3:1 เป็น 11:1 ติดตั้งระบบจ่ายเชื้อเพลิงและระบบจุดระเบิด โดยองศาการจุดระเบิดอยู่ที่ 5 – 10 องศา ก่อนศูนย์ตายบน จากการศึกษาพบว่ากำลังและแรงบิดที่ได้จากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเบนซินมีค่ามากกว่ากำลังและแรงบิดของการใช้ก๊าซหุงต้มและก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ยประมาณ 59.61% และ 78.01% ตามลำดับ

สุชน ตั้งทวีวัฒน์, งามอาจ ส่องสี และบุญล้อม ชีวะอิสระกุล (2555) ได้ทำการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพ เนื่องจากในก๊าซชีวภาพที่ได้จากมูลสุกรจะมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ประมาณ 1000 ppm ก๊าซดังกล่าวจะกัดกร่อนโลหะเป็นอันตรายต่อเครื่องเครื่องยนต์เมื่อนำไปใช้งาน จึงได้ทำการกำจัดโดยใช้สารดูดซับที่แช่ในสารละลายเพอร์ริกไฮดรอกไซด์และโซดาไฟ โดยใช้ปูนซีเมนต์เทาผสมดินเบาหรือทรายละเอียด เมื่อนำไปใช้งานพบว่า การใช้ทรายผสมปูนซีเมนต์เทาสามารถ H_2S ได้ดีกว่าดินเบาผสมปูนและการใช้ฟอยเหล็ก สามารถลด H_2S จาก 2,400 ppm เหลือ 0 ppm

Shiao, and Moskwa (1996) งานวิจัยนี้เสนอวิธีใหม่สำหรับการควบคุมปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงของแต่ละกระบอกสูบ ซึ่งได้ใช้วิธีการประมาณไม่เป็นเชิงเส้นในการประมาณปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงและอากาศในห้องเผาไหม้ โดยอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงนั้นจะถูกส่งสัญญาณกลับไปยังส่วนควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ และปริมาณเชื้อเพลิงที่ทำการประมาณนั้นจะฉีดเข้าไปในแต่ละพอร์ตน้ำมันเชื้อเพลิง

Luigi Glielmo (2000) ได้นำเสนอการออกแบบโครงสร้างระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องยนต์แบบจุดระเบิด โดยทำการแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ตัวปฏิบัติการ ชุดควบคุมเครื่องยนต์ และชุดควบคุมการสั่งการ และได้นำเสนอโครงสร้างการทำงานของระบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ระบบการจุดระเบิด และรูปแบบสัญญาณของเพลาคิวเวีย่งเพื่อกำหนดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและการจุดระเบิด

Buske, Jones, and Franceschi (2008) ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์การปรับตัวของการควบคุมสำหรับอัตราส่วนอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ ซึ่งตัวควบคุมแบบเชิงเส้นนั้นใช้แบบ PID Control และใช้เป็นแบบควบคุมการวิเคราะห์การเพิ่มประสิทธิภาพแบบออฟไลน์โดยใช้คาถาตามในการกรอง และได้ทำการประมาณส่วนที่ไม่แน่นอนของระบบ

Tien, Mai, Hung and Cong (2010) ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์ และใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากฟาร์มสุกร ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ องศาสิ้นปีกผีเสื้อ การจ่ายไฟฟ้าในแต่ละเฟส อุณหภูมิของท่อไอดีและท่อไอเสีย ผลพิษของไอเสีย และองศาจุดระเบิดของเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า พบว่าเมื่อเครื่องยนต์มีภาระกรรมมากขึ้นจะทำให้ องศาสิ้นปีกผีเสื้อเปิดมากขึ้นเพื่อรักษาความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้ได้ 1500 รอบต่อนาที เช่นเดิม นอกจากนั้นเมื่อภาระกรรมเพิ่มขึ้นยังส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิท่อไอเสียเพิ่มขึ้นด้วย แต่อุณหภูมิท่อร่วมไอดีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เป็นต้น

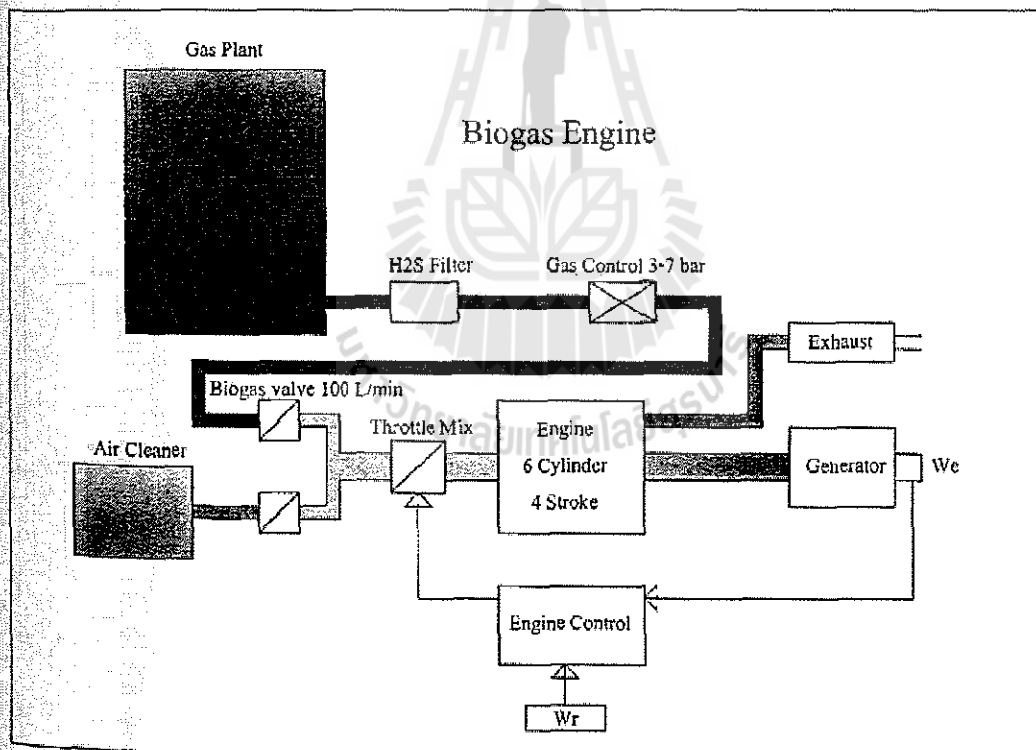
Guo, Qin and Tang (2010) ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ LPG และ Biogas ร่วมกันในแต่ละอัตราส่วนผสม ได้แก่ Biogas 100%, Biogas 95% + LPG 5% และ Biogas 85% + LPG 15% ได้ทำการศึกษาความดันในกระบอกสูบ อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ องศาจุดระเบิด และมลพิษของไอเสีย จากการศึกษาในส่วนของความดันในกระบอกสูบพบว่า เชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วน LPG 15% จะมีความดันสูงสุดที่ 53 บาร์ และอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงสุดที่ 2500 องศาเซลเซียส ในส่วนของมลพิษไอเสียจะมี CO สูงสุด แต่มี CO₂ น้อยที่สุด เป็นต้น



บทที่ 3

การออกแบบระบบควบคุมเครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวภาพ

การออกแบบของระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้านั้น จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ในการควบคุมตำแหน่งดินปีกผีเสื้อ เพื่อให้ได้ความเร็วรอบและแรงบิดของเครื่องยนต์ตามต้องการ ในทางการออกแบบตัวควบคุมนั้น มีความจำเป็นที่ต้องหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ ดังนั้น การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงตามลำดับ เพื่อที่จะนำมาใช้ในการออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์และอธิบายผลการตอบสนองของเครื่องยนต์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาระกรรมในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน จากการวิเคราะห์โดยการวัดตัวแปรต่างๆ ที่สอดคล้องกับแบบจำลองคณิตศาสตร์



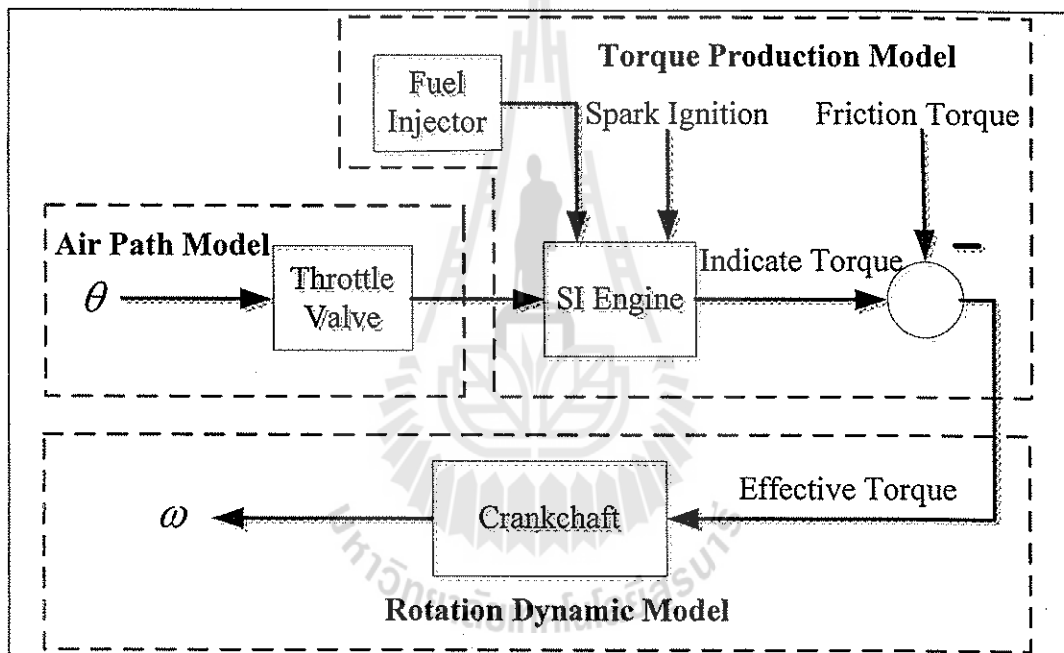
รูปที่ 3.1 โครงสร้างระบบควบคุมเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า

การประมาณค่าพารามิเตอร์ (Parameter Estimation) เป็นเครื่องมือช่วยในการทดสอบหาค่าตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบได้ โดยการวัดค่าอินพุตและเอาต์พุตของระบบ

แล้วนำค่าข้อมูลเหล่านี้ไปวิเคราะห์หาค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่สำคัญ เพื่อใช้ในการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งจะประกอบไปด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า (เครื่องยนต์เบนซิน) และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องยนต์เบนซิน (Gasoline engine)

ในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องยนต์เบนซินในการผลิตไฟฟ้า จึงได้ศึกษาระบบของเครื่องยนต์เบนซินและจำลองโครงสร้างของเครื่องยนต์เบนซินดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของเครื่องยนต์เบนซิน (Gasoline engine)

เราสามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องยนต์จุดระเบิด ได้เป็น 3 ส่วนได้ดังนี้

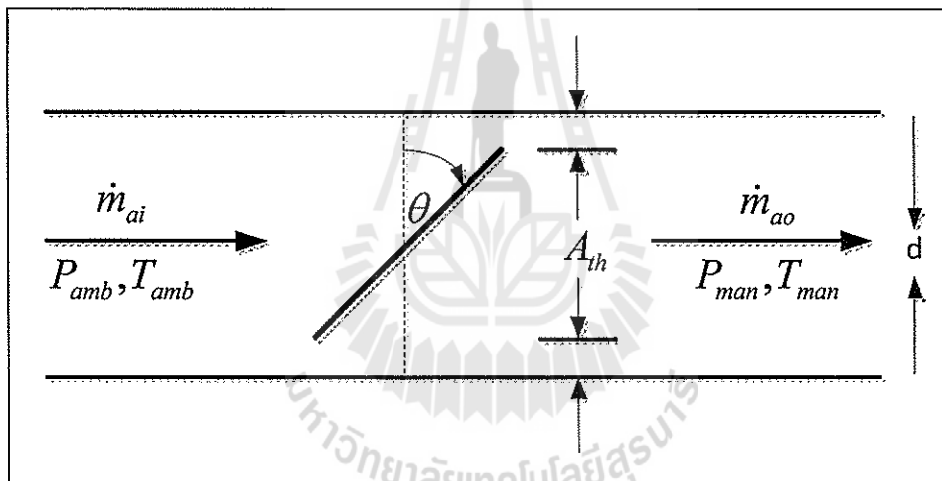
3.1.1 แบบจำลองสมการอัตราไหลของมวลอากาศ (Air part model)

อัตราการไหลของมวลอากาศผ่านลิ้นปีกผีเสื้อโดยปกติจะอธิบายด้วยสมการสำหรับการไหลแบบยวบยัตว์ผ่านคอคอด เมื่ออัตราส่วนความดันผ่านลิ้นเร้นน้อยกว่า

ค่าวิกฤต $\left(\frac{P_{man}}{P_{amb}} = 0.528 \right)$ อัตราการไหลจะเป็น

$$\dot{m}_{ai} = \frac{C_d A_{th} P_{amb}}{(RT_{amb})^{1/2}} \left(\frac{P_{man}}{P_{amb}} \right)^{1/\gamma} \left\{ \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{P_T}{P_o} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right] \right\}^{1/2} \quad (3.1)$$

- เมื่อ C_d = สัมประสิทธิ์อัตราไหล
 R = ค่าคงที่ของแก๊สอุดมคติ (J/mol-K)
 A_{th} = พื้นที่หน้าตัดของล้นปีกผีเสื้อที่ให้อากาศไหลผ่าน (m²)
 P_{amb} = ความดันบรรยากาศ (N/m²)
 T_{amb} = อุณหภูมิบรรยากาศ (K)
 P_{man} = ความดันภายในท่อร่วมไอดี (N/m²)
 γ = อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ $[k = \frac{c_p}{c_v}]$



รูปที่ 3.3 ภาพพื้นที่หน้าตัดของล้นปีกผีเสื้อที่ให้อากาศไหลผ่าน

จากรูปที่ 3.3 สามารถประมาณพื้นที่หน้าตัดของล้นปีกผีเสื้อที่ให้อากาศไหลผ่าน (A_{th}) จากสมการดังนี้

$$A_{th} = \pi \frac{d^2}{4} - \pi \frac{d^2 \cos \theta}{4 \cos \theta_0} \quad (3.2)$$

- เมื่อ d = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของล้นปีกผีเสื้อ (m)
 θ = องศาของล้นปีกผีเสื้อที่เปลี่ยนไป (degree)

$\theta_0 =$ องศาของลิ้นปีกผีเสื้อเริ่มต้น (degree)

เมื่ออัตราการไหลของมวลอากาศผ่านลิ้นปีกผีเสื้อการไหลเกิดการ ไช้ก จะ ได้

$$\frac{P_{man}}{P_{amb}} \leq [2 / (\gamma + 1)]^{\gamma(\gamma-1)} \quad (3.5)$$

เมื่ออัตราส่วนความดันมากกว่าอัตราส่วนวิกฤตการไหลที่ลิ้นแรงก็จะเกิดการ ไช้ก (สถานะที่ของไหล มีความเร็วเท่ากับความเร็วเสียง) และจะได้อัตราการไหลของมวลอากาศเป็น

$$\dot{m}_{ai} = \frac{C_d A_{th} P_{amb}}{(RT_{amb})^{1/2}} \gamma^{1/2} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma+1)/2(\gamma-1)} \quad (3.6)$$

การไหลของอากาศที่เข้าและออกจากท่อไอคืออาจอธิบาย โดยการใช้ตัวแบบ ซึ่งมี อยู่หลายแบบ โดยแบบที่ง่ายแบบหนึ่งก็คือตัวแบบการเติมเข้าและถ่ายออก (Filling and Emptying model) ซึ่งสมมติให้ความดันในท่อไอคือที่เวลาหนึ่ง ๆ สมบูรณ์ และจากสมการความต่อเนื่องของ อากาศที่ไหลเข้าและออกจากท่อไอคือจะได้เป็น

$$\frac{dm_{man}}{dt} = \dot{m}_{ai} - \sum \dot{m}_{ao} \quad (3.7)$$

เมื่อ $m_{man} =$ มวลของอากาศในท่อไอคือ (kg)

$\dot{m}_{ai} =$ อัตราการไหลของมวลอากาศเข้าที่อรร่วมไอคือ (kg/s)

$\dot{m}_{ao} =$ อัตราการไหลของมวลอากาศที่เข้าไปในแต่ละกระบอกสูบ (kg/s)

สมมติให้อุณหภูมิของอากาศคงตัว แล้วใช้กฎของแก๊สอุดมคติสำหรับการไหลแก๊สในท่อ ($P_{man} V_{man} = m_{man} RT_{man}$) สมการที่ (3.8) ก็จะเขียนได้เป็น

$$\frac{dP_{man}}{dt} = \frac{RT_{man}}{V_{man}} (\dot{m}_{ai} - \dot{m}_{ao}) \quad (3.8)$$

สมการข้างต้นนี้จะใช้สำหรับวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความดันในท่อไอคือ

โดย $P_{man} =$ ความดันในท่ออรร่วม (N/m²)

$T_{man} =$ อุณหภูมิในท่ออรร่วม (K)

V_{man} = ปริมาตรของทอร่วมไอดี (m^3)

3.1.2 แบบจำลองสมการแรงบิดของเครื่องยนต์ (Torque production model)

เมื่ออัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง (\dot{m}_f) มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของมวลอากาศออกจากทอร่วมไอดี (\dot{m}_{ao}) ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{m}_{ao}}{\lambda \cdot L_{th}} \quad (3.9)$$

โดย λ = The air/fuel equivalence

L_{th} = The stoichiometric air/fuel

และแรงบิดบ่งชี้ (T_i) ซึ่งเป็นแรงที่ได้จากการสันดาปน้ำมันเชื้อเพลิงจะได้จากสมการ

$$T_i = \frac{H_u \eta_i \dot{m}_f}{\omega} \quad (3.10)$$

โดย H_u = ค่าความร้อนของพลังงานเชื้อเพลิง (J/kg)

η_i = ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ω = ความเร็วเชิงมุม (rad/sec)

จากสมการที่ (3.8), (3.9) และ (3.10) แรงบิดบ่งชี้ของเครื่องยนต์เปลี่ยนเป็นสมการแรงบิดของเครื่องยนต์จะได้แรงบิดจากการสันดาปภายใน (T_i)

$$T_i = \frac{H_u V_d \eta_i \eta_v}{4\pi R \lambda L_{th} T_{man}} P_{man} \quad (3.11)$$

โดย V_d = ปริมาตรกระบอกสูบ (m^3)

η_v = ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

เมื่อเพิ่มฟังก์ชันการจุดระเบิด ($SI(\phi)$) ซึ่งเป็นข้อมูลจากผลการทดลองจากการเปลี่ยนแปลงเวลาในการจุดระเบิดก่อนมุมของการจุดระเบิดจะถึงจุดศูนย์กลางตาย (TDC) จะได้ฟังก์ชัน $SI(\phi)$ เพิ่มเข้ามาในสมการของแรงบิดจากการสันดาปภายใน (T_i)

$$T_i = \frac{H_u V_d \eta_i \eta_v}{4\pi R \lambda T_{man}} SI(\phi) p_{man} \quad (3.12)$$

อย่างไรก็ตามถ้ามีการหมุนของเพลาช้อเหวี่ยงจะเกิดแรงเสียดทาน (T_f) เข้ามาในระบบ ดังนั้นค่าแรงบิดที่มีประสิทธิผลของเครื่องยนต์ (T_e) จะได้

$$T_e = T_i - T_f \quad (3.13)$$

โดย T_e = ค่าแรงบิดที่มีประสิทธิผล (Mean effective torque) (N-m)
เมื่อแทนสมการที่ (3.12) ในสมการที่ (3.13) จะ ได้

$$T_e = \frac{H_u V_d \eta_i \eta_v}{4\pi R \lambda T_{man}} SI(\phi) p_m - T_f \quad (3.14)$$

3.1.3 แบบจำลองสมการการหมุนของเครื่องยนต์ (Rotation dynamic model)

พลศาสตร์การหมุนเครื่องยนต์ได้จากกฎข้อที่ 2 ของ Newton

$$I_e \dot{\omega} = T_e - T_l - b\omega \quad (3.15)$$

โดย T_l = แรงบิดภาระกรรมภายนอก (N-m)
 b = ค่าคงที่ความหนืดของลูกปืนเพลาช้อเหวี่ยง (N-m-sec/rad)
 $\dot{\omega}$ = ความเร่งเชิงมุมของเครื่องยนต์ (rad/sec²)
 I_e = ความเฉื่อยในการหมุนของเครื่องยนต์ (kg-m²)

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

ในงานวิจัยนี้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการควบคุมตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อของเครื่องยนต์เบนซินเพื่อรักษาความเร็วรอบเครื่องยนต์ให้ได้ 1500 รอบต่อนาที สำหรับการผลิตไฟฟ้า

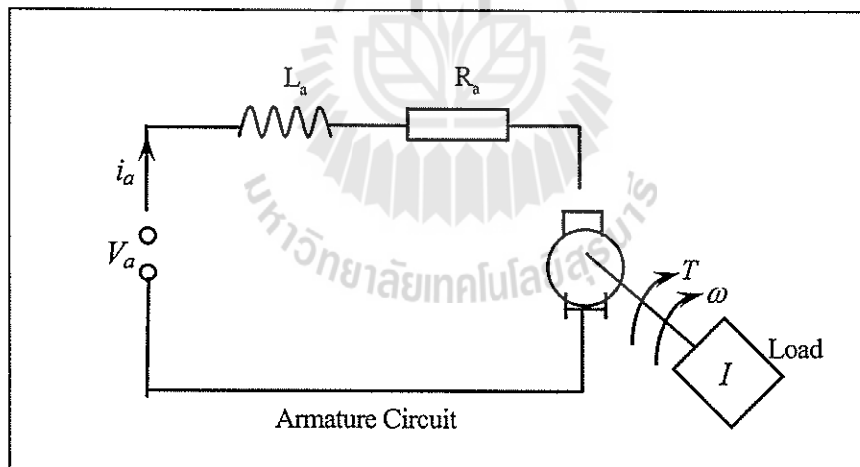
และควบคุมด้วยวิธี Armature Control ใช้การปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับวงจรรอาร์เมเจอร์ (Armature circuit) เพื่อควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ โดยให้ค่ากระแสไฟฟ้ากับมอเตอร์ที่ให้กับวงจรรสนาม (Field circuit) คงที่จึงสามารถพิจารณาเฉพาะวงจรรอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากกระแสที่ให้กับวงจรรสนามมีค่าคงที่ทำให้สนามแม่เหล็กของมอเตอร์มีค่าคงที่ไปด้วย การควบคุมจะทำโดยการปรับเปลี่ยนความต่างศักย์ที่ให้กับวงจรรอาร์เมเจอร์ พิจารณาสมการแรงบิดของมอเตอร์

$$I\dot{\omega} = -c \cdot \omega + K_t \cdot i_a - T_L \quad (3.16)$$

สมการวงจรไฟฟ้า

$$V_a - V_b = L_a \frac{di_a}{dt} + R_a \cdot i_a \quad (3.17)$$

เมื่อ $V_b = K_e \cdot \omega$



รูปที่ 3.4 แผนภาพวงจรรอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อ	I	=	โมเมนต์ความเฉื่อย (kg-m^2)
	K_t	=	ค่าคงที่ของแรงบิด (N-m/A)
	K_e	=	ค่าคงที่ของ Electromotive Force (V-s/rad)
	T_L	=	แรงบิดที่เปลี่ยนแปลง (N-m)

c	=	ความหน่วง (N-m-s/rad)
R_a	=	ความต้านทานของอาร์เมเจอร์ (Ω)
L_a	=	ความเหนี่ยวนำของอาร์เมเจอร์ (H)
i_a	=	กระแสไฟฟ้าของอาร์เมเจอร์ (A)
ω_m	=	ความเร็วรอบ (rad/s)
V_a	=	ความต่างศักย์ของอาร์เมเจอร์ (V)
V_b	=	ความต่างศักย์ Back emf (V)

3.3 สรุป

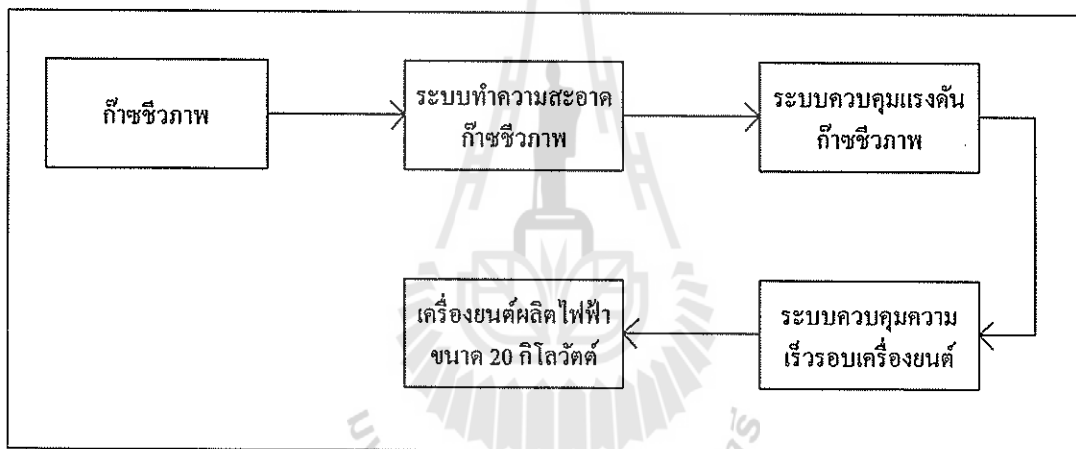
ในบทนี้ได้ทำการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในส่วนของเครื่องยนต์เบนซินและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการหาตัวแปรที่เหมาะสมกับระบบ ในงานวิจัยนี้จะนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปใช้ในการออกแบบระบบควบคุมแบบพีไอ เพื่อใช้ในการควบคุมตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อผ่านมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์เบนซินสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์ ให้มีความเหมาะสมกับการทำงานของเครื่องยนต์ที่ 1500 รอบต่อนาที เมื่อใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งจะมีการทดลองระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในบทที่ 4



บทที่ 4

ผลการทดลองของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

จากบทที่ 3 ได้ทำการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในส่วนของเครื่องยนต์เบนซิน และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อใช้ในการออกแบบตัวควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ดังนั้น ในบทนี้จะเป็นการแสดงระบบการทำงานทั้งหมดของการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งจะต้องมีกระบวนการเตรียมก๊าซชีวภาพให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์เบนซิน ดังจะกล่าวในหัวข้อของบทนี้



รูปที่ 4.1 การทำงานของระบบผลิตกระแสไฟฟ้า

4.1 ก๊าซชีวภาพ

งานวิจัยนี้ได้นำก๊าซชีวภาพที่ได้จากฟาร์มสุกรภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อทำงานทดสอบระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ ระบบควบคุมแรงดันก๊าซชีวภาพและระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ บ่อก๊าซชีวภาพที่ใช้ทำงานวิจัยเป็นบ่อหมักข้าวแบบราง (Plug flow digester) ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งก่อสร้างด้วยคอนกรีต ตัวบ่อมีรูปร่างคล้ายรางหรือคลองส่งน้ำซึ่งมีชื่อเรียกว่า Channel Digester ส่วนบนบ่อหมักมีพลาสติกคลุมเพื่อใช้เก็บก๊าซชีวภาพ ตัวบ่อหมักจะถูกฝังอยู่ใต้ดิน มีท่อเติมมูลและนำมูลออกอยู่ทางหัวและทางท้ายบ่อ เนื่องจากใช้พลาสติกเป็นตัวเก็บก๊าซดังนั้นจึงมีแรงดันก๊าซค่อนข้างต่ำประมาณ 20 - 100 มิลลิบาร์



รูปที่ 4.2 บ่อหมักก๊าซชีวภาพมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก๊าซชีวภาพ หมายถึง ก๊าซที่เกิดจากหมักและย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียรูปแบบต่าง ๆ โดยอาศัยกลุ่มของจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้อากาศทำหน้าที่หมักและย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซชีวภาพ โดยจะมีส่วนผสมของก๊าซมีเทน (CH_4) : ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) : และก๊าซอื่น ๆ ในอัตราส่วนประมาณ 65 : 33 : 2 ตามลำดับ ซึ่งก๊าซชีวภาพที่มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนสูงกว่า 50% จะสามารถจุดติดไฟได้ตั้งนั้น ก๊าซชีวภาพที่ได้นี้จะสามารถนำไปใช้ทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงอื่น ๆ ได้ ก๊าซชีวภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีองค์ประกอบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ใช้ในงานวิจัย

ก๊าซ	องค์ประกอบเริ่มต้น
มีเทน (CH_4)	58.4%
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	39.2%
ออกซิเจน (O_2)	0.2%
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	> 2000 ppm

[ที่มา: ก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี]

จากตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากบ่อหมักนั้นจะประกอบไปด้วยก๊าซที่ไม่พึงประสงค์ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะทำให้ก๊าซชีวภาพมีค่าทางความร้อนลดต่ำลง หากมีสัดส่วนในปริมาณที่สูงและไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) จะมีฤทธิ์ในการกัดกร่อนวัสดุที่เป็นโลหะ ดังนั้นก่อนนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ จึงจำเป็นที่จะต้องผ่านระบบทำความสะอาด

4.2 ระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ

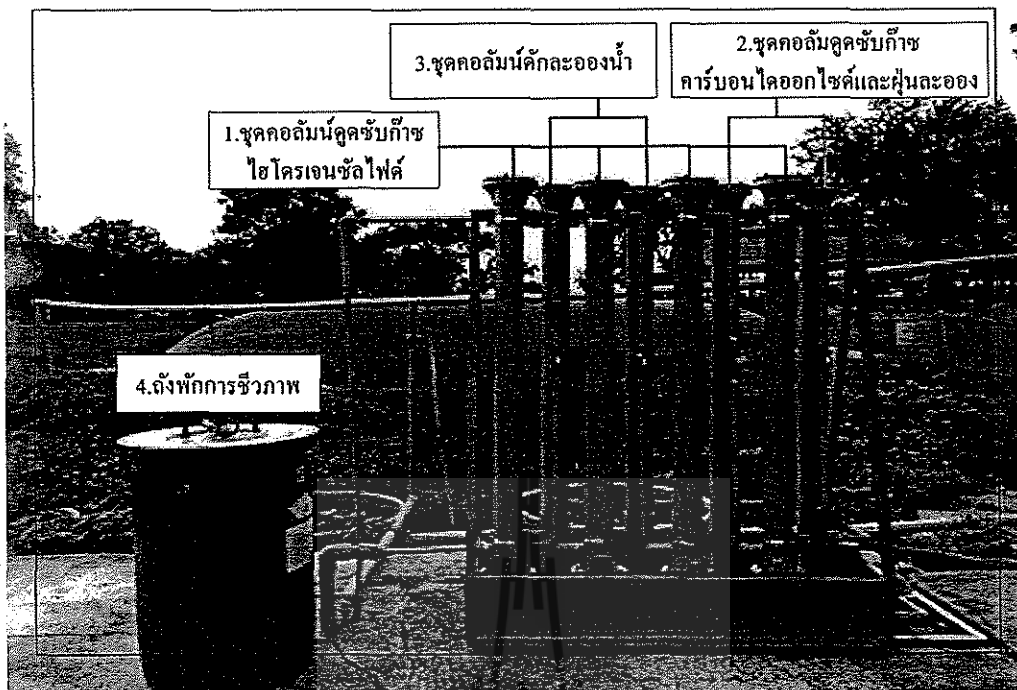
องค์ประกอบที่สำคัญของก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งสามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในได้ แต่ก่อนที่จะนำไปใช้งานนั้นจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพของก๊าซชีวภาพเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เนื่องจากองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพไม่ได้มีก๊าซมีเทนเพียงอย่างเดียวดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น

งานวิจัยนี้ได้จัดทำอุปกรณ์ทำความสะอาดก๊าซชีวภาพเพื่อลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เพื่อให้คุณภาพของก๊าซชีวภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการนำไปใช้งานในเครื่องยนต์สันดาปภายใน มาตรฐานของก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้งานโดยจะต้องมีสัดส่วนของก๊าซมีเทน (CH_4) มากกว่า 65% และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์น้อยกว่า 23 ppm โดยมีอุปกรณ์และขั้นตอนการทำความสะอาดก๊าซชีวภาพดังนี้

4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดสร้างระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่าง ๆ มากมาย ในที่นี้จะอธิบายถึงอุปกรณ์หลัก ๆ ที่ใช้ในการทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ เพื่อให้ได้คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพตามมาตรฐานการนำไปใช้งาน

1. ชุดคอลัมน์ดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) จัดทำขึ้นจากท่อพีวีซีเกรด 8.5 ขนาด 4 นิ้ว ยาว 1.50 เมตร จำนวน 4 คอลัมน์ ภายในจะบรรจุเหล็กฝอยไว้ดังรูปที่ 4.3
2. ชุดคอลัมน์ดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และฝุ่นละออง จัดทำขึ้นจากท่อพีวีซี เกรด 8.5 ขนาด 4 นิ้ว ยาว 1.50 เมตร จำนวน 2 คอลัมน์ ในส่วนนี้จะทำการติดตั้งหัวฉีดเพื่อสเปรย์น้ำปูนขาวจำนวนคอลัมน์ละ 3 หัวฉีด โดยจะมีปั้มน้ำขนาด 0.5 แรงม้า ในการเพิ่มแรงดันน้ำในการทำความสะอาดก๊าซชีวภาพดังรูปที่ 4.3
3. ชุดคอลัมน์ดักละอองน้ำ จัดทำขึ้นจากท่อพีวีซี เกรด 8.5 ขนาด 4 นิ้ว ยาว 1.50 เมตร จำนวน 2 คอลัมน์ ดังรูปที่ 4.3
4. ถังพักก๊าซชีวภาพ เป็นถังพีวีซีขนาด 200 ลิตรดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ

4.2.2 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพหลังจากผ่านระบบทำความสะอาด

หลังจากเสร็จสิ้นระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบและคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพหลังการทำความสะอาด โดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ Geotech รุ่น Biogas 5000 ทำให้ได้คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพหลังจากผ่านระบบทำความสะอาด

ก๊าซ	องค์ประกอบเริ่มต้น
มีเทน (CH_4)	69.2%
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	23.2%
ออกซิเจน (O_2)	0.2%
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	2 ppm

4.3 ระบบควบคุมแรงดันก๊าซชีวภาพ

เนื่องจากแรงดันของก๊าซชีวภาพที่ออกจากบ่อก๊าซนั้นจะมีแรงดันที่ไม่คงที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของบ่อก๊าซในแต่ละวัน และเมื่อก๊าซชีวภาพผ่านระบบทำความสะอาด ความดันของก๊าซชีวภาพจะลดต่ำลงจากเดิม เพื่อให้การทำงานของเครื่องชนิดผลิตกระแสไฟฟ้าทำงานได้อย่างต่อเนื่อง จึงจำเป็นที่จะต้องควบคุมแรงดันของก๊าซชีวภาพให้มีแรงดันอยู่ในช่วงที่เหมาะสมก่อนการนำไปใช้งาน การควบคุมแรงดันของก๊าซชีวภาพจะสามารถควบคุมอัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ส่งต่อไปยังเครื่องชนิดได้

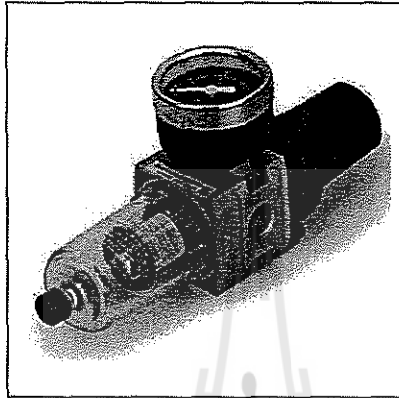
อุปกรณ์ที่ใช้ในการเพิ่มแรงดันและควบคุมแรงดันก๊าซชีวภาพในงานวิจัยนี้ จะมีอุปกรณ์ที่ใช้อยู่หลายอย่าง และแต่ละอย่างจะมีหน้าที่ในการทำงานที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งจะมีรายละเอียดการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ ดังนี้



รูปที่ 4.4 อุปกรณ์ควบคุมแรงดันก๊าซชีวภาพ

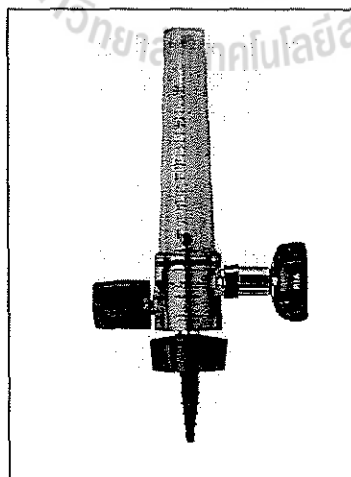
1. บั๊มลม ได้ทำการดัดแปลงบั๊มลมมาเป็นอุปกรณ์ในการเพิ่มแรงดันก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งแต่เดิมจะใช้ในการอัดอากาศ โดยทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้ในการดูดอากาศมาเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการดูดก๊าซชีวภาพในบริเวณทางเข้าของทางดูดอากาศ และทำการจัดแปลงทางออกของก๊าซชีวภาพ เพื่อให้ได้แรงดันก๊าซชีวภาพเหมาะสมกับการส่งถ่ายก๊าซไปยังเครื่องชนิดผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์เพิ่มแรงดันก๊าซชีวภาพ

2. เรกกูเรเตอร์ (Regulator) พร้อมชุดกรองไอน้ำ ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ควบคุมแรงดันของก๊าซชีวภาพที่มาจากอุปกรณ์เพิ่มแรงดันก๊าซ เพื่อให้มีแรงดันในการส่งก๊าซชีวภาพคงที่ตลอดระยะเวลาการทำงาน และในอุปกรณ์ชุดนี้จะทำหน้าที่กรอง ไอน้ำที่มาจากกระบวนการอัดอีกหนึ่งครั้ง เพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพที่มีความบริสุทธิ์มากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.5



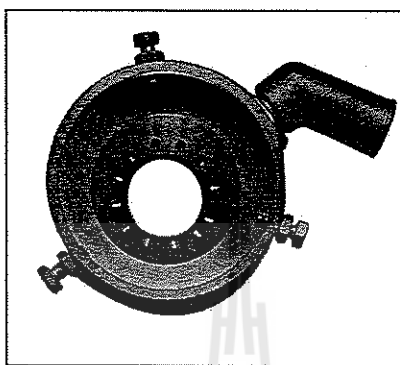
รูปที่ 4.5 เรกกูเรเตอร์ (Regulator) พร้อมชุดกรองไอน้ำ

3. อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล (Flow meter) มีหน้าที่ในการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพก่อนเข้าเครื่องยนต์ เพื่อให้มีอัตราการไหลเหมาะสมกับการทำงานของเครื่องยนต์ขณะทำการผลิตกระแสไฟฟ้าตามที่เครื่องยนต์ต้องการในขณะนั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ

4. อุปกรณ์ผสมก๊าซชีวภาพกับอากาศ จะทำหน้าที่ในการจ่ายก๊าซเข้าสู่เครื่องยนต์ทางด้านหน้าของท่อร่วมไอดี จะช่วยให้ก๊าซชีวภาพผสมกับอากาศได้ดีกว่าการจ่ายก๊าซชีวภาพแบบทั่วไปที่จะจ่ายก๊าซชีวภาพเข้าท่อร่วมไอดีโดยตรง ดังแสดงรูปที่ 4.7

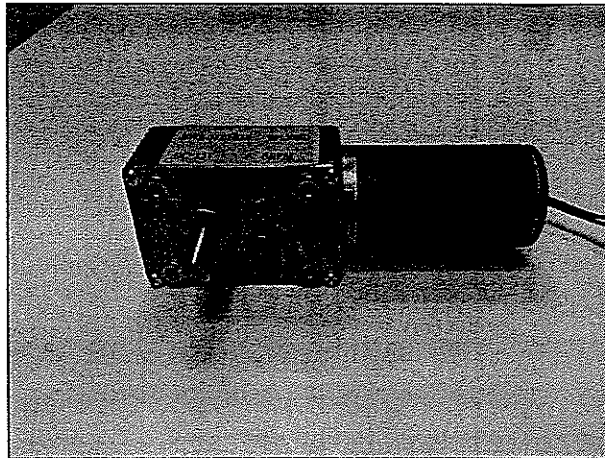


รูปที่ 4.7 อุปกรณ์ผสมก๊าซชีวภาพกับอากาศ

4.4 ระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

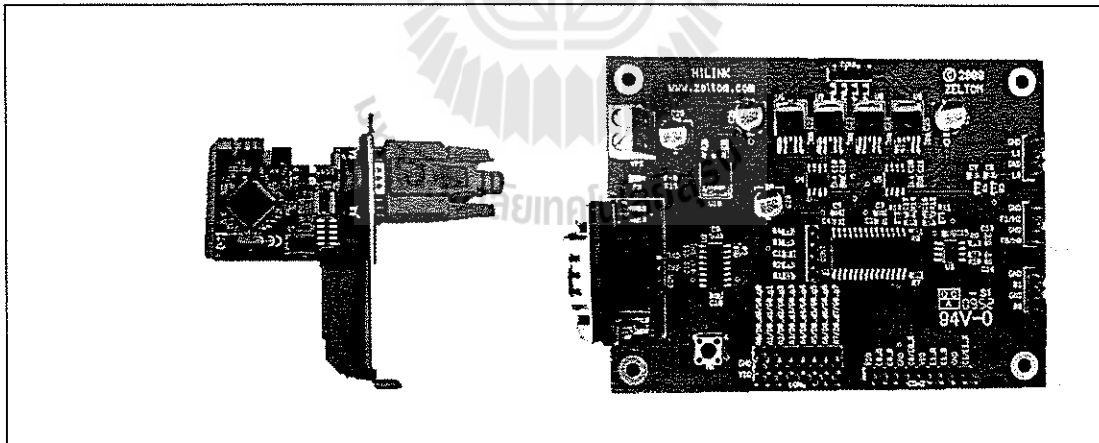
การทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้านั้น จะต้องมีระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เนื่องจากในการผลิตกระแสไฟฟ้า เครื่องยนต์จะใช้ความเร็วรอบคงที่ตลอดการใช้งานถึงแม้ภาระกรรมของเครื่องจะเปลี่ยนแปลงไป ระบบควบคุมจะต้องรักษาความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้ได้ความเร็วรอบที่อัลเทอร์เนเตอร์ (Alternator) ต้องการ และการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์นั้นจะเป็นการปรับตำแหน่งลื่นปีกผีเสื้อในการควบคุมปริมาณอากาศและเชื้อเพลิง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการปรับเปลี่ยนตำแหน่งลื่นปีกผีเสื้อมนุษย์จะเป็นผู้กำหนดเพื่อให้ได้ความเร็วรอบอยู่ในช่วงใช้งาน แต่ในการทำงานแบบอัตโนมัติ ระบบจะต้องทำงานได้ด้วยตนเองเพื่อให้ได้ความเร็วรอบที่อัลเทอร์เนเตอร์ (Alternator) ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ในการควบคุมตำแหน่งลื่นปีกผีเสื้อทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์การเชื่อมต่ออีกหลาย ๆ อย่าง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดworm gear (Worm gear motor) ดังรูปที่ 4.8 จะติดตั้งที่อยู่ลื่นปีกผีเสื้อของเครื่องยนต์ มีหน้าที่ในการปรับตำแหน่งลื่นปีกผีเสื้อตามที่คอมพิวเตอร์สั่งการทำงานผ่านบอร์ด Controller เพื่อให้ได้ความเร็วรอบที่ตั้งค่าเอาไว้



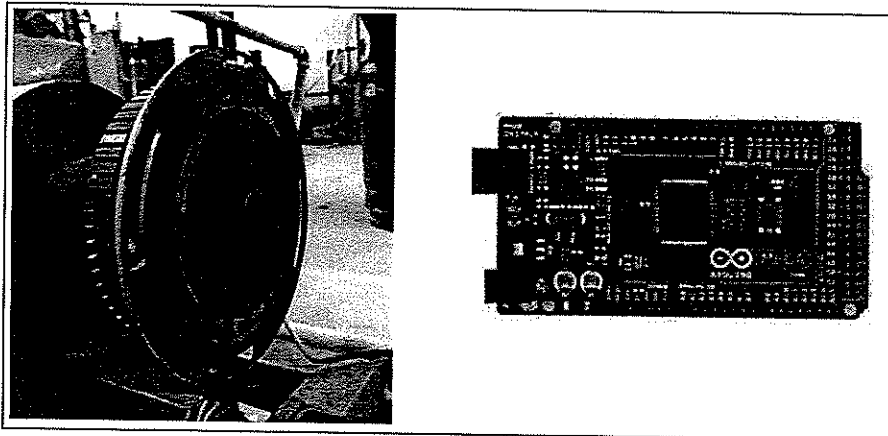
รูปที่ 4.8 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดวอร์มเกียร์ (Worm gear motor)

2. บอร์ด Controller ชุด Power Amplifier และ PCI Aerial Card ดังรูปที่ 4.9 จะติดตั้งที่อยู่เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์จะส่งการทำงานผ่าน PCI Aerial Card ไปยังบอร์ด Controller เพื่อไปสั่งการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ให้ทำตามคำสั่งของผู้ออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องขนต์ และรายละเอียดของบอร์ด Controller แสดงดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.9 PCI Serial Card และบอร์ด RAPCON

3. เซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ (Speed sensor) และบอร์ด Arduino ดังรูปที่ 4.10 เซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบจะติดตั้งอยู่ที่เพลาของเครื่องขนต์และส่งสัญญาณมายังบอร์ด Arduino เพื่อทำการประมวลผลส่งไปยังคอมพิวเตอร์ในการสั่งการปรับองศาคลื่นปีกผีเสื้อเพื่อให้ได้ความเร็วรอบของเครื่องขนต์ตามต้องการ



รูปที่ 4.10 เซนเซอร์วัดความเร็วรอบ (Speed sensor) และบอร์ด Arduino

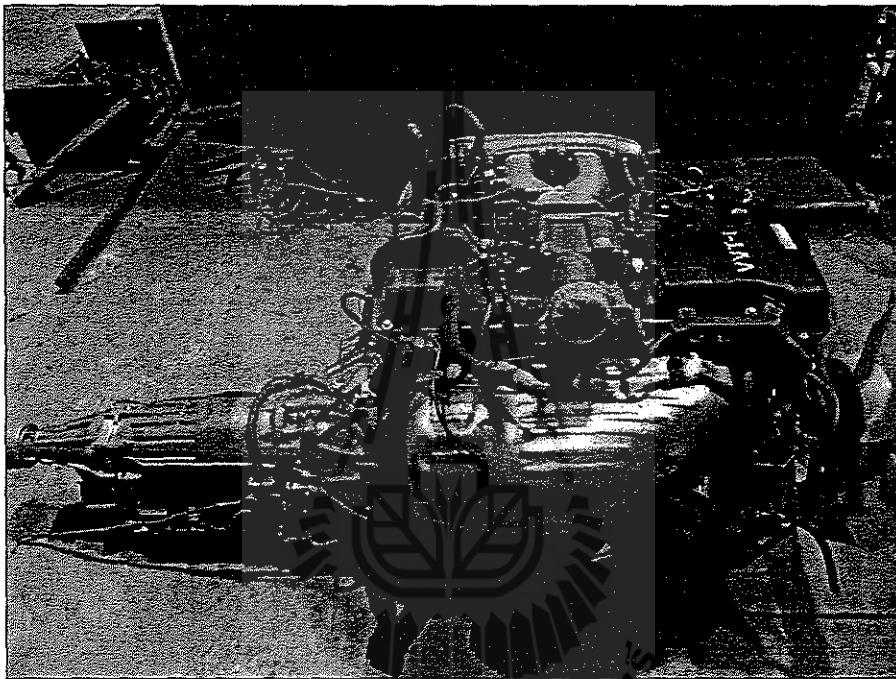
4.5 การออกแบบจำลองอ้างอิงระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

จากการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องยนต์เบนซิน (SI engine) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ที่สร้างไว้ในบทที่ 3 แบบจำลองที่สร้างมีความสำคัญเพราะเป็นตัวกำหนดรูปแบบการตอบสนองของความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้มีการตอบสนองตามที่ต้องการ โดยอัลกอริทึมจะทำหน้าที่ปรับค่าตัวแปรของตัวควบคุมฟีดแบ็คของปลานด์หรือระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยการควบคุมตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ให้มีการตอบสนองตามแบบจำลองอ้างอิง จากปัจจัยความต้องการ และปัญหาในการรักษาความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะถูกใช้พิจารณา เพื่อสร้างแบบจำลองอ้างอิงที่เป็นรูปแบบการตอบสนองความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะต้องคำนึงถึงขีดจำกัดและความสามารถของฮาร์ดแวร์ เพราะจะมีผลโดยตรงกับรูปแบบการตอบสนองของความเร็วรอบเครื่องยนต์และความเป็นไปได้ในการควบคุม

เมื่อนำค่า K_p และ K_i ที่ได้จากแบบจำลองอ้างอิงไปควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า โดยทำการรบกวนระบบด้วยการเพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ จะส่งผลให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดต่ำลง ซึ่งขอบเขตการทำงานของเครื่องยนต์จะอยู่ที่ 1500 ± 50 รอบต่อนาที เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์อยู่ต่ำกว่าขอบเขตการทำงาน ระบบควบคุมจะสั่งการให้ปรับเพิ่มตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ เพื่อให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นอยู่ในขอบเขตที่กำหนด และเมื่อทำการลดภาระกรรมของเครื่องยนต์ จะส่งผลให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงกว่าขอบเขตที่กำหนด ระบบควบคุมจะสั่งการให้ปรับลดตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ เพื่อให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดต่ำลงเช่นกัน ระบบควบคุมจะทำงานเช่นนี้ไปตลอดระยะเวลาการทำงานของเครื่องยนต์ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

4.6 เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครื่องยนต์เบนซินขนาด 3000 ซีซี จำนวน 6 สูบ ดังรูปที่ 4.11 ซึ่งเครื่องยนต์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว ดังนั้นก่อนจะนำมาใช้งานได้ทำการทดสอบกำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกำลังและแรงบิด หลังจากได้ทำการปรับปรุงเป็นเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ รายละเอียดของเครื่องยนต์มีดัง



รูปที่ 4.11 เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

ทำการทดสอบโดยใช้คอมพิวเตอร์ในการวัดกำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์ ซึ่ง โปรแกรมที่ใช้ทดสอบคือ MATLAB/Simulink เชื่อมต่อสัญญาณการควบคุมระหว่างคอมพิวเตอร์กับ ไดนาโมมิเตอร์และเครื่องยนต์ การเชื่อมต่อจะเป็นลักษณะเดียวกันกับระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ การวัดกำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์นั้น ไดนาโมมิเตอร์จะมี Load Cell เป็นตัววัดแรงเบรคของไดนาโมมิเตอร์และส่งสัญญาณออกมาในรูปของความต่างศักย์ (Voltage) ที่เป็น Analog Signal จะถูกส่งต่อไปยังบอร์ด RAPCON เพื่อแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital เพื่อส่งไปประมวลผลในโปรแกรม MATLAB/Simulink ทำการทดสอบดังนี้

การทดสอบ ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง

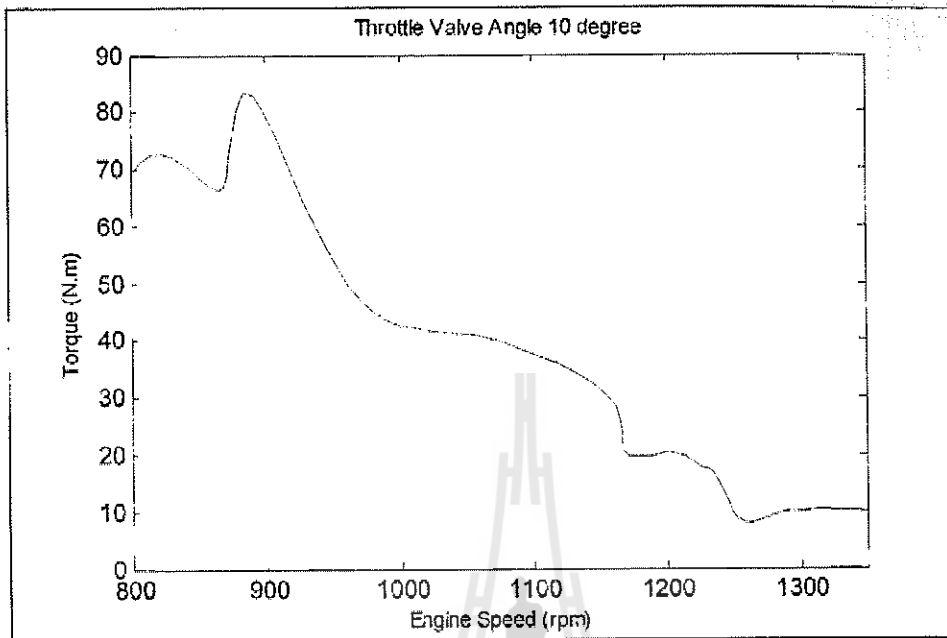
วัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เบนซินเมื่อใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเบนซินและ LPG ซึ่งการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยทั่วไปกับเครื่องยนต์สันดาปภายในเกือบทุกชนิด ทำการทดสอบโดยเปิดวาล์วปีกผีเสื้อสูงสุดโดยใช้น้ำมันเบนซินหรือ LPG แต่สำหรับงานวิจัยนี้จะทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เบนซินเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์ และใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์จะต้องใช้แรงบิดของเครื่องยนต์ ประมาณ 90 N-m ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1500 รอบต่อนาที แรงบิดจะต้องเพียงพอสำหรับการผลิตไฟฟ้า โดยทำการกำหนดขอบเขตของการทดลองเพื่อหาจุดที่เหมาะสมของตำแหน่งปีกผีเสื้อสำหรับอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพที่ 100 ลิตรต่อนาทีที่เครื่องยนต์ยังคงสามารถทำงานได้ ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบแสดงไว้ใน ตารางที่ 4.7 ดังนี้

1. เครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันเบนซินโดยรอบเดินเบาที่ 1,000 รอบต่อนาที หมุน Loading Valve บนไคนาโมมิเตอร์ทวนเข็มนาฬิกาเพื่อปลดภาระกรรม (แรงบิด) ที่อยู่ในไคนาโมมิเตอร์ให้หมด ไปแล้วให้คงสภาพนั้นไว้จนอุณหภูมิเครื่องยนต์ขึ้นไปถึง 70 องศาเซลเซียส
2. ปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ด้วยการปรับตำแหน่งปีกผีเสื้อและเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากน้ำมันเบนซินเป็นก๊าซชีวภาพ โดยความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับความเร็วรอบในขณะที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง
3. เพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์โดยค่อย ๆ หมุน Loading Valve บนไคนาโมมิเตอร์ตามเข็มนาฬิกาจนกระทั่งรอบของเครื่องยนต์ลดลงจากความเร็วรอบสูงสุดในแต่ละตำแหน่งของวาล์วปีกผีเสื้อมาถึงตำแหน่งความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที บันทึกผลแรงบิดบนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

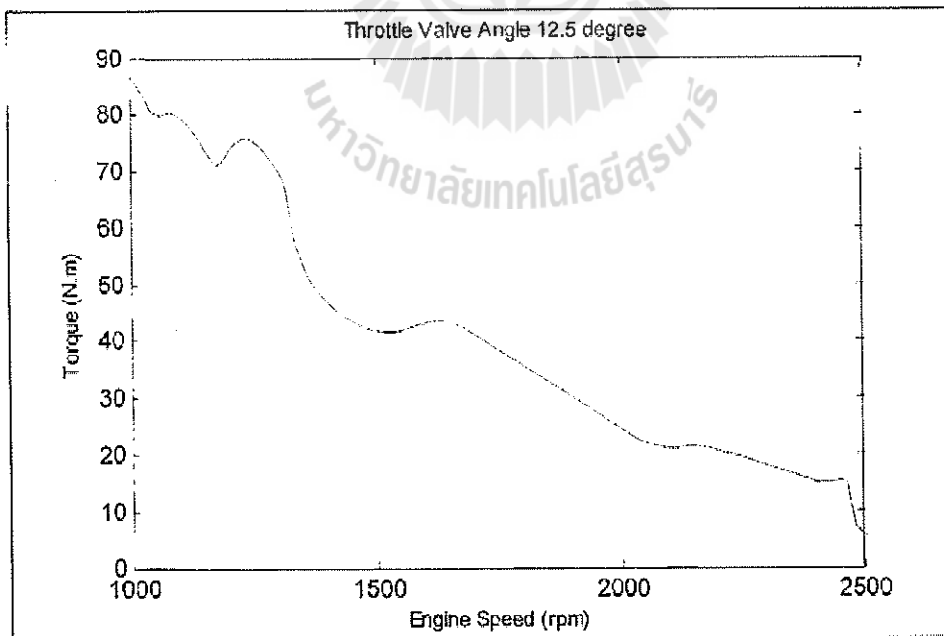
ตารางที่ 4.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์เมื่อใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง

ตัวแปร	เครื่องยนต์เบนซิน
ตัวแปรควบคุม	- อัตราการไหลก๊าซชีวภาพ 100 l/min - ตำแหน่งปีกผีเสื้อ 10, 12.5, 15, 17.5 และ 20 องศา
ตัวแปรอิสระ	- ความเร็วรอบของเครื่องยนต์
ตัวแปรตาม	- แรงบิดของเครื่องยนต์

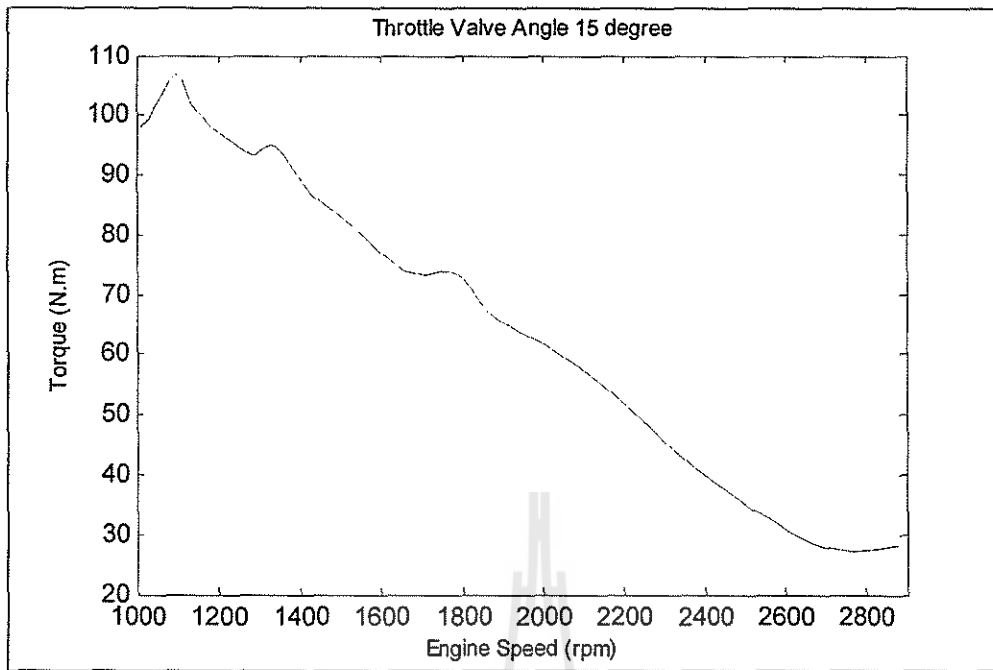
ผลการทดสอบแรงบิดที่ได้กับตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อองศาต่างๆ ด้วยก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 และ 4.16



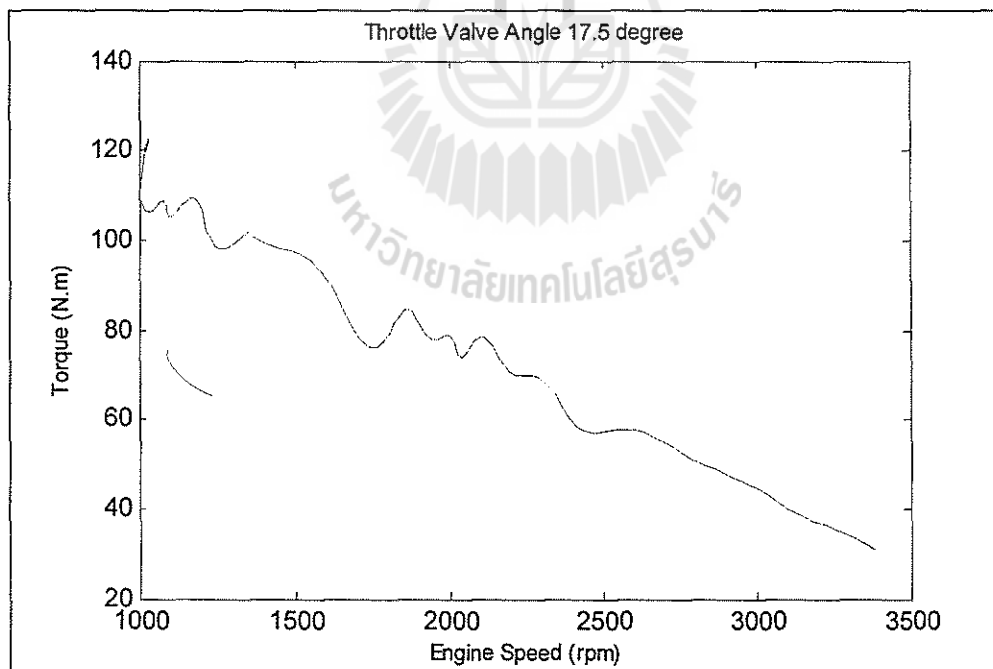
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ 10 องศา



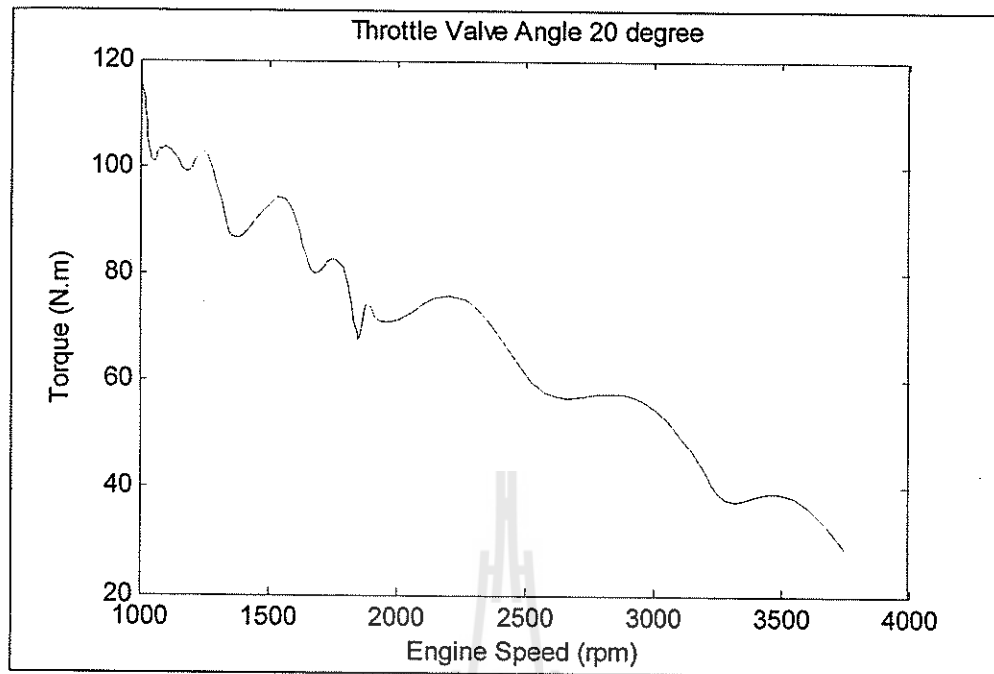
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ 12.5 องศา



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ 15 องศา



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ 17.5 องศา



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ 20 องศา

ผลที่ได้จากการทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงด้วยและกำหนดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ 100 ลิตรต่อนาที พบว่าที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อทำงานในช่วง 17.5 – 20 องศา โดยที่อัตราการไหลของอากาศประมาณ 6.65 m/s เนื่องจากในการผลิตไฟฟ้าต้องใช้แรงบิดประมาณ 90 N-m ในการผลิตกระแสไฟฟ้า 70 % ของโหลดสูงสุด

4.7 สรุป

การทำงานของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ เริ่มต้นด้วยระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพที่สามารถทำให้คุณสมบัติของก๊าซอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการนำใช้งานสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยก๊าซมีเทนมากกว่า 65 เปอร์เซ็นต์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์น้อยกว่า 23 ppm ในส่วนระบบควบคุมแรงดันที่สามารถเพิ่มแรงดันก๊าซชีวภาพให้มีการส่งถ่ายก๊าซที่เพียงพอต่อความต้องการของเครื่องยนต์ที่ 100 ลิตรต่อนาที และระบบควบคุมความเร็วของเครื่องยนต์ที่ 1500 รอบต่อนาที ที่มีการตอบสนองการทำงานที่รวดเร็วต่อการทำงานของระบบ

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ การดัดแปลงเครื่องยนต์เบนซินสำหรับใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง ระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ ระบบควบคุมแรงดันก๊าซชีวภาพและการออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์ ซึ่งได้แบ่งขั้นตอนของการทดลองดังนี้

1. ระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ จะกรองก๊าซที่ไม่พึงประสงค์ออกจากก๊าซชีวภาพ เช่น CO_2 , H_2S เป็นต้น เพื่อให้ก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เบนซินได้ แสดงดังตารางที่ 5.1 แสดงคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพก่อนและหลังผ่านระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 5.1 แสดงคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพก่อนและหลังทำความสะอาด

ก๊าซ	ก่อนทำความสะอาด	หลังทำความสะอาด
มีเทน (CH_4)	58.4%	69.2%
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	39.2%	23.2%
ออกซิเจน (O_2)	0.2%	4.2%
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	>2000 ppm	2 ppm

2. ระบบควบคุมแรงดันก๊าซชีวภาพให้มีความดันอยู่ที่ 3 - 7 บาร์ และสามารถส่งก๊าซชีวภาพ 100 ลิตรต่อนาที เข้าสู่เครื่องยนต์ได้

3. ได้ออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์ ผ่านมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการเปิด - ปิด ings ลื่นปีกผีเสื้อ โดยเลือกความเร็วรอบเฉลี่ย 1500 รอบต่อนาที, แรงบิด 90 N-m ให้เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์

4. การประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องยนต์เบนซินที่มีการควบคุมความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ควบคุมลิ้นปีกผีเสื้อ โดยวิธีการระบุเอกลักษณ์ของระบบ

5. ออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอ เพื่อใช้ควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับการผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์

6. การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์เบนซินขนาด 3,000 ซีซี ที่ภาระกรรม 90 N-m โดยทำการทดสอบที่ 70 เปอร์เซ็นต์ของโหลดสูงสุดที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที

- กำลังเบรกสูงสุด 14.13 กิโลวัตต์
- อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก 488.32 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง
- ประสิทธิภาพทางความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงเบรก 30 เปอร์เซ็นต์
- อัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิง 9.34 : 1

5.2 ข้อเสนอแนะ

การออกแบบระบบควบคุมเครื่องยนต์เบนซินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ เพื่อให้ระบบการทำงานของเครื่องยนต์มีเสถียรภาพมากขึ้น มีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ในกระบวนการทำความสะอาดก๊าซชีวภาพควรทำการตรวจสอบคุณภาพก๊าซชีวภาพอย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเสื่อมสภาพตามระยะเวลาการใช้งาน

2. ในการเพิ่มแรงดันไม่ควรเพิ่มแรงดันก๊าซชีวภาพในถังเก็บสูงเกินความสามารถของถังบรรจุ เพื่อป้องกันอันตราย

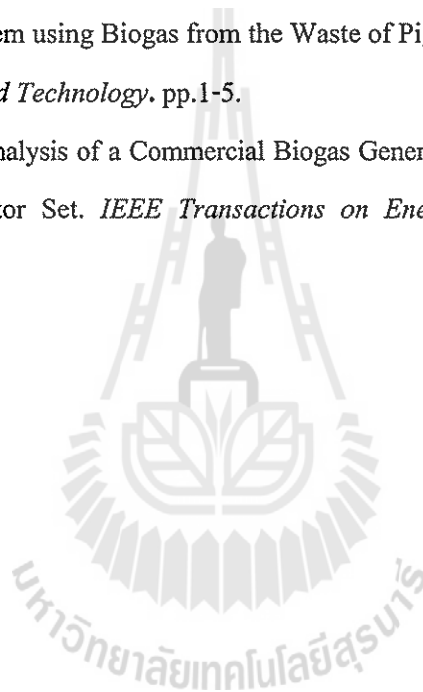
3. ในการอัดก๊าซชีวภาพมาทดสอบคุณภาพของก๊าซชีวภาพ ควรทำการแวกคัมถังบรรจุไม่ให้มีก๊าซอื่น ๆ ตกค้าง เช่น ออกซิเจน (O_2) และไนโตรเจน (N_2) เป็นต้น เพื่อให้ได้ข้อมูลคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่ถูกต้องมากขึ้น

4. ในการเก็บข้อมูลของเครื่องยนต์เพื่อนำมาใช้ในการประมาณค่าตัวแปรของระบบ ควรเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกันกับการทำงานของเครื่องยนต์ เนื่องจากสภาพแวดล้อมต่างๆ มีผลต่อระบบของเครื่องยนต์ ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น อุณหภูมิ น้ำมันเครื่องยนต์ เป็นต้น

รายการอ้างอิง

- จันทิมา ชั่งสิริพร วันใหม่ เลิศตระการสกุล ผกาพรรณ อ่อนขวัญเพชร และนิรติศัย รักรมาก (2551). การกำจัด H_2S ในแก๊สชีวภาพด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7, 8-9 พฤษภาคม; หน้า 84-88.
- ณัฐวุฒิ พลศรี และรัชพล สันติวรกร (2554). การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงเมื่อใช้น้ำมันเบนซิน ก๊าซหุงต้มและก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น: มกราคม-มีนาคม 2554.
- ปิยะพงษ์ สิงห์บัว และรัชพล สันติวรกร (2554). การอัดก๊าซชีวภาพและใช้ประโยชน์ในรถจักรยานยนต์. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น: 39-50
- ประเทือง พันแก้ว (2554). การหาสมรรถนะของเครื่องยนต์เล็กดีเซลโดยใช้เชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวภาพ. การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 4, 7-8 กรกฎาคม; หน้า 156-161.
- วีระศักดิ์ ทรัพย์วิเชียร (2542). เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในและทฤษฎีการคำนวณ.(แปลจากต้นฉบับของ Heywood, J.B., 1998); วิทยพัฒน์, กรุงเทพฯ. 564 หน้า.
- สุชน ตั้งทวีวัฒน์ งามอาจ ส่องสี และบุญล้อม ชีวะอิสระกุล (2555). การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพสำหรับใช้ในชุมชน. แก่นเกษตร 40 ฉบับพิเศษ 2 : 201-204
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2550). สถานการณ์พลังงานปี 2550 และแนวโน้มปี 2551. <http://www.energy.go.th>
- Bindu, R., and Namboothiripad, M. K. (2012). Tuning of PID Controller for DC Servo Motor using Genetic Algorithm. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, March; vol.2(3): pp.310-314.
- Cesario, N., Tagliatalata, F., and Lavorgna, M. (2005). SI Engine Control Applications Based on In-Cylinder Pressure Signal, in *Processing of IEEE Conference on Vehicle Power and Propulsion*, September 7-9; pp.790-800.
- Guo, J., Qin, C., and Schmitz, G. (2010). Numerical Investigation on the Performance of Spark Ignition Engine Used for Electricity Production Fuelled by Natural Gas/Liquefied Petroleum Gas-Biogas Blends with Modelica, in *Processing of The 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology*, April 16-18; vol.6: pp.682-687.

- Guo, J. Qin, C., Dai, W., and Tang, J. (2010). Numerical Investigation on the Effects of LPG-Biogas Blends on Engine Combustion and Emission. *in Processing of International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*, July, 17-18: vol.3, pp.179-182.
- Luo, L., Guo, L., and Fu, H. (2011). The Control and Modeling of Diesel Generator Set in Electric Propulsion Ship, *International Journal on Information Technology and Computer Science*, pp.31-37.
- Tran, M, T., Pham, X, M., Nguyen, D, H., and Huynh, T, C. (2010). A Study on Characteristics of Power Generation System using Biogas from the Waste of Pig Farm, *International Union of Food Science and Technology*. pp.1-5.
- Wang, L., and Lin, P.Y. (2009). Analysis of a Commercial Biogas Generation System Using a Gas Engine-Induction Generator Set. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, March; vol.24(1): pp.230-239.





๓.1 ข้อมูลทางเทคนิค Arduino Board

Arduino is an open-source physical computing platform based on a simple i/o board and a development environment that implements the Processing/Wiring language. Arduino can be used to develop stand-alone interactive objects or can be connected to software on your computer (e.g. Flash, Processing, MaxMSP). The open-source IDE can be downloaded for free (currently for Mac OS X, Windows, and Linux).

The Arduino Mega is a microcontroller board based on the ATmega2560. It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Additional features coming with the R3 version are:

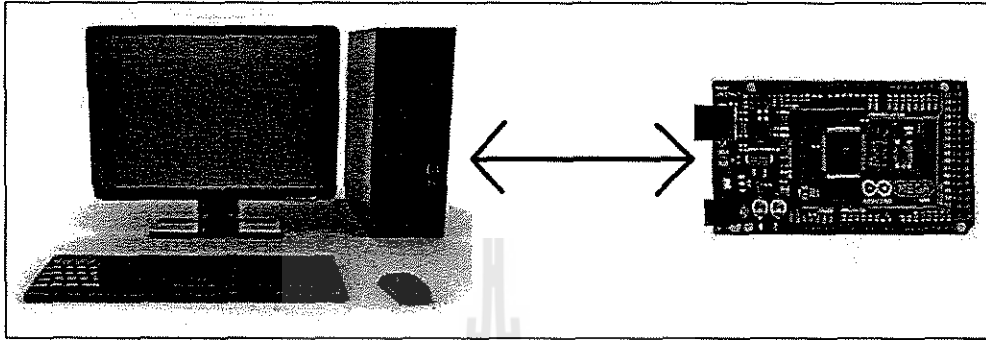
- ATmega16U2 instead 8U2 as USB-to-Serial converter.
- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins for TWI communication placed near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board and the second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- stronger RESET circuit.

Technical Specifications

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output , 4 UART TTL)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

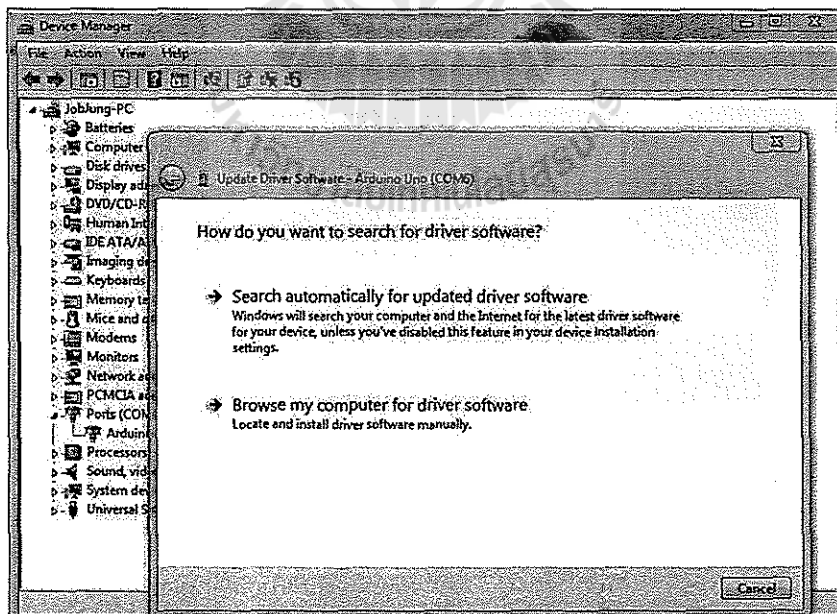
ก.2 การติดตั้ง Hardware กับโปรแกรม

1. ติดตั้ง Driver Arduino IDE ลงบนคอมพิวเตอร์จาก www.arduino.cc/en/Main/Software
2. ต่อบอร์ด Arduino เข้ากับคอมพิวเตอร์



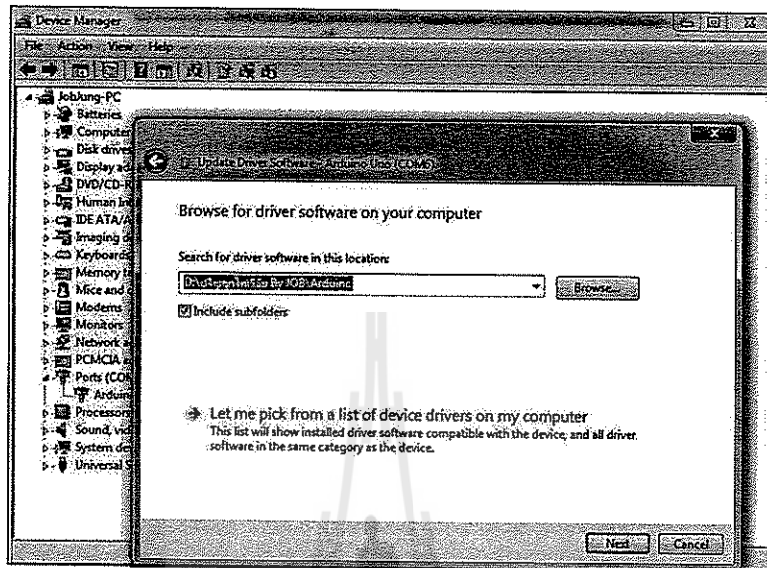
รูปที่ ก.1 การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับ Arduino

3. ให้เข้าไปที่ Device Manager แล้วคลิกขวาที่ Unknown แล้วเลือก Update Driver เลือกเมนู Browse my computer



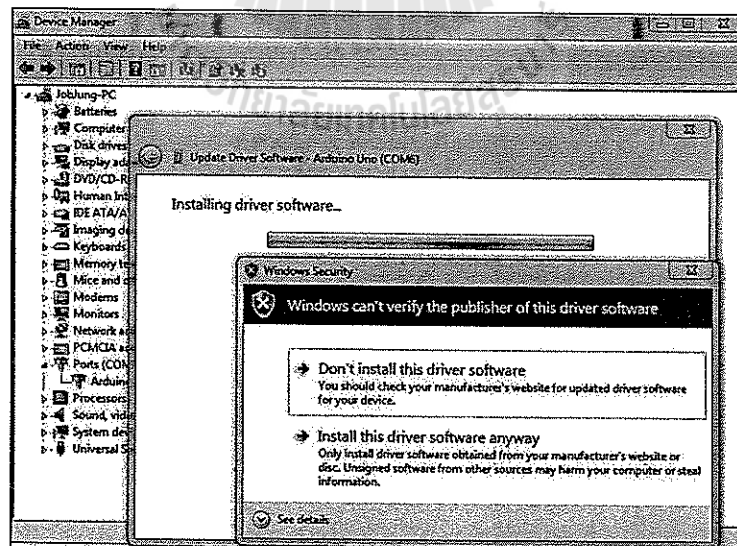
รูปที่ ก.2 การลง Driver Arduino

4. เลือก Brown ไปที่ Driver Arduino โดยจะอยู่ที่ X:xxx\arduino-x.x.x\drivers และเอาเครื่องหมายที่ช่อง Include subfolders ออก



รูปที่ ก.3 การลง Driver Arduino (ต่อ)

5. เลือก Install this driver software any ware เป็นการเสร็จสิ้นการลง Driver



รูปที่ ก.4 การลง Driver Arduino (ต่อ)



ภาคผนวก ข

การใช้งาน Rapcon

ข.1 ข้อมูลทางเทคนิคของ RABCON Board

1. INTRODUCTION

The RAPCON platform offers a seamless interface between physical plants and Matlab/Simulink for implementation of hardware-in-the-loop real-time control systems. It is fully integrated into Matlab/Simulink and has a broad range of inputs and outputs. The platform is a complete and low-cost real-time control system development package for both educational and industrial applications.

The RAPCON platform consists of the real-time control board (hardware) and the associated Matlab interface (software). The hardware of the RAPCON platform has 8×12 bit analog inputs, 2×16 bit capture inputs, 2×16 bit encoder inputs, 1×8 bit digital input, 2×12 bit analog outputs, 2×16 bit frequency outputs, 2×16 bit pulse outputs and 1×8 bit digital output. The board also contains 2 H-bridges with 5 A capability to drive external heavy loads. Some inputs and outputs are multiplexed to simplify the hardware. The board is interfaced to the host computer that runs Matlab through a serial port. The software of the RAPCON platform is fully integrated into Matlab/Simulink/Real-Time Windows Target and comes with Simulink library blocks associated with each hardware input and output. The library contains Analog Input Block, Capture Input Block, Encoder Input Block, Digital Input Block, Analog Output Block, Frequency Output Block, Digital Output Block and Pulse Output Block. The platform achieves real-time operation with sampling rates up to 15.2 kHz.

The RAPCON platform has been developed to extend and optimize the real-time operation of Matlab, Simulink and Real-Time Windows Target. The developed platform is uniquely integrated into Matlab to achieve real-time operation in Matlab under Windows. The salient features of the RAPCON platform make it ideal for implementation of hardware-in-the-loop real-time control systems in both educational and industrial applications.

1.1. Specifications

- Power supply: 6 – 15 V, minimum 0.15 A, regulated
- Interface: 460800 baud, 8 bit data, no parity, 1 stop bit
- Analog inputs: A0–A7, 0 – 5 V analog, 12 bit resolution
- Capture inputs: C0–C1, 0 – 5 V digital, 16 bit resolution
- Digital inputs: D0.d0–D0.d7, 0 – 5 V digital, 8 lines
- Encoder inputs: E0–E1, 0 – 5 V digital, 16 bit resolution
- Frequency outputs: F0–F1, 0 – 5 V digital, 16 bit resolution

- Analog outputs: B0–B1, 0 – 5 V analog, 12 bit resolution
- Digital outputs: G0_g0–G0_g7, 0 – 5 V digital, 8 lines
- Pulse outputs: H0–H1, 0 – 5 V digital, 16 bit resolution
- Filtered pulse outputs: L0–L1, 0 – 5 V analog
- H-bridge outputs: P0–P1, 0–(supply voltage) V digital, 5 A
- Voltage regulator output: VDD, 5 V, 0.25 A, regulated power supply
- Ground: GND, 0 V
- Sampling rate: up to 15.2 kHz

1.2. Requirements

- PC with Windows XP or later and an expansion slot for a serial card
- Serial crossover (null modem) cable
- Matlab R2007b or later with Simulink, Real-Time Workshop and Real-Time Windows Target
- RAPCON hardware (real-time control board) 1.5 or later
- RAPCON software 1.5 or later
- Power supply (regulated, 6 – 15 V and at least 0.15 A without any load)

1.3. Absolute Maximum Ratings

- Power supply voltage: minimum 3 V, maximum 16 V
- Each analog, digital, capture and encoder input: minimum –0.3 V, maximum +5.3 V
- Each analog, digital, frequency and pulse output: minimum –25 mA, maximum +25 mA
- Each filtered pulse output: minimum –25 mA, maximum +25 mA
- Each H-bridge output: minimum –5 A, maximum +5 A
- Total current from/into all inputs and outputs (except power supply, voltage regulator and H-bridges): minimum –200 mA, maximum +200 mA
- Voltage regulator output: maximum 0.5 A (total)
- Operating ambient temperature: minimum 10 °C, maximum 50 °C

2. HARDWARE

The real-time control board is based on a dsPIC30F2012 digital signal controller. It has a total number of 8×16 bit inputs and 8×16 bit outputs capability. The inputs and outputs can be selected among the inputs and outputs listed above. The board is interfaced to the main computer that runs Matlab through a serial port. Two pulse-width modulation driven H-bridges with 5 A drive capability are included on the board to drive external actuators or loads. The functional block diagram of the board is shown in Figure 1, where A0–A7 are the analog inputs, B0–B1 are the analog outputs, C0–C1 are the capture inputs, D0_d0–D0_d7 are the digital inputs, E0–E1 are the encoder inputs, F0–F1 are the frequency outputs, G0_g0–G0_g7 are the digital outputs and H0–H1 are the pulse outputs; ADC represents the analog-to-digital converter, DAC represents the digital-to-analog converter, ICM represents the input-capture module, OCM represents the output-compare module, DIP represents the digital-input port, DOP represents the digital-output port, QEM represents the quadrature-encoder module and PWM represents the pulse-width modulator; FLs are the lowpass filters with outputs L0–L1 and HBs are the H-bridges with outputs P0–P1; and μC is the central microcontroller, UART is the universal-asynchronous-receiver-transmitter unit and PC is the host computer.

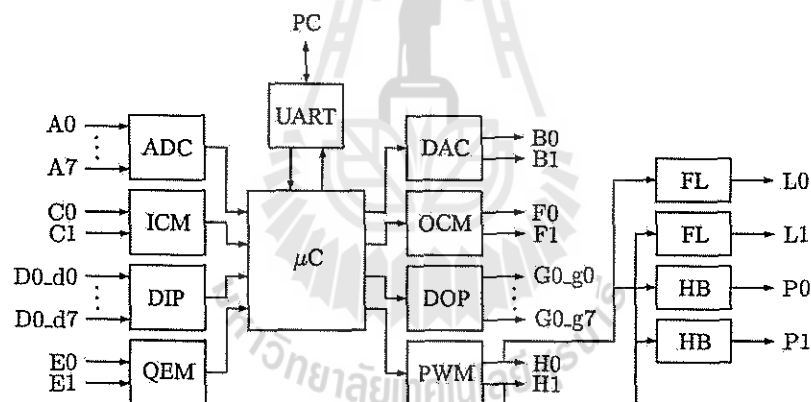


Figure 1. Functional block diagram of the board.

The layout of the board is shown in Figure 2. The inputs and outputs are connected to the board through standard pin header type connectors. The pins of all connectors are clearly indicated on the board for convenience. Access to the on-board 5 V, 0.25 A voltage regulator output is also provided for external light power supply requirements.

ข.2 การติดตั้ง Hardware กับโปรแกรม

1. ติดตั้งโปรแกรม MATLAB 2009a กับ Windows 7 32 Bit
2. ติดตั้ง Driver ของ PCI Serial Card ด้วยการเชื่อมต่อผ่านสาย Serial Crossover Cable
3. ติดตั้ง Real – Time Workshop และ Real – Time Windows Target
4. ติดตั้งโปรแกรมเสริมเพื่อใช้งานอุปกรณ์ Rapcon ด้วยไฟล์ rapcon2009a.exe ซึ่งในที่นี้ใช้ MATLAB เวอร์ชัน 2009a สำหรับ Windows 7 32 Bit และจะมีไฟล์ rtw_2009b_win7_fix.zip สำหรับการแก้ไข BUG สำหรับ Windows 7 มาด้วย ซึ่งการติดตั้ง ต้องทำทีละขั้นตอน ด้วยวิธีการดังนี้

5. เข้าไปหาไฟล์ที่ชื่อว่า rtw_main.c ภายในคอมพิวเตอร์ เช่น

“C:\Program Files\MATLAB\R2009a\toolbox\rtw\targets\rtwin\src” แล้วเปลี่ยนชื่อไฟล์ rtw_main.c เป็น rtw_main.org และ copy ไฟล์ rtw_main.c ในโฟลเดอร์ติดตั้งของ Rapcon มาใส่ไว้ใน Directory นี้

6. เข้าไปที่ Control Panel -> Device Manager เพื่อทำการเปลี่ยน Base Address และตรวจสอบ Comport Number ของ Serial Port หลังจากนั้นดูที่ Base Address ตัวแรกว่ามี I/O Range เท่าไร เช่น I/O Range EC80 - EC87, Base Address คือ EC80 ในเลขฐาน 16 ซึ่งมีค่าเท่ากับเลขฐานสองคือ 60544 แล้วเข้าโปรแกรม MATLAB ไปในโฟลเดอร์ไฟล์ติดตั้งของ Rapcon เปิดไฟล์ชื่อ rtwinpi.tlc และ rtwinpo.tlc แล้วทำการแก้ไขใน m.file ดังนี้

```
if DrvAddress == 5
    assign ::com = 1016
endif
```

สำหรับ DrvAddress คือ Comport Number และ assign ::com คือเลขฐานสองของ I/O Range ที่อ่านมาจาก Device Manager ดังที่กล่าวมาในข้างต้น

7. สำหรับ Windows 7 Real-Time Windows Target จะถูกป้องกันไว้ดังนั้นจะต้อง copy ไฟล์ rtwtkrn.sys ใน rtw_2009b_win7_fix.zip ที่โหลดมา ไปไว้ที่

“C:\Program Files\MATLAB\R2009b\toolbox\rtw\targets\rtwin\kernel\win32”

8. พิมพ์ “rtwintgt -install” ใน Command Window ของโปรแกรม MATLAB เพื่อติดตั้ง RTWT kernel เป็นอันเสร็จสมบูรณ์