



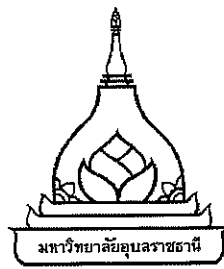
**INVESTIGATION ON COMBUSTION CHARACTERISTIC AND
PERFORMANCE OF SMALL PRODUCER GAS ENGINES**

PISARN SOMBATWONG

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
MAJOR IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY**

YEAR 2012

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้และสมรรถนะของเครื่องยนต์ก๊าซชีววมวลขนาดเล็ก

ผู้วิจัย นายพิศาล สมบัติวงศ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประศาสน์ ไตรยสุทธิ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพ็ชรทอง)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.รัชพล สันติวรกร)

..... คณบดี
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพ แสงเทียน)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2555

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และรองศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง อาจารย์ที่ปรึกษา ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นในการทำวิจัย ตลอดจนให้กำลังใจในการดำเนินงานเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณท่านประธานกรรมการสอบเค้าโครงวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย เบญจปิยะพร และขอขอบพระคุณท่านประธานกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.รัชพล สันติวรากร จากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะ และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ชุมสันติ แสนทวีสุข จากวิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี สำหรับอุปกรณ์วัดองศาจุดระเบิด อาจารย์สุพิน จอดนอก จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ สำหรับถ่วงเก็บก๊าซ นายณัฐพล ศิริสวัสดิ์ นักศึกษาปริญญาโท วิศวกรรมเครื่องกล ที่ได้ช่วยเหลือติดตั้งเครื่องยนต์และงานทดสอบ นายวีระยุทธ นนท์ชนะ จากศูนย์วิจัยและบริการ ด้านพลังงาน มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับคำแนะนำในการออกแบบและสร้างเตาผลิตก๊าซ ชีวมวล ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความกรุณาวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวมวล

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ บุคลากร และเจ้าหน้าที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนในการวิจัยจาก กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เลี้ยงดูอย่างดีและส่งเสริมให้ได้รับการศึกษาที่ดี ขอขอบคุณภรรยา บุตรและเพื่อน ๆ ทุกคน ที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านทั้งหลาย ข้างต้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

วิมล สมบัติวงศ์

(นายพิศาล สมบัติวงศ์)

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้และสมรรถนะของเครื่องยนต์ก๊าซชีวมวลขนาดเล็ก

โดย : พิศาล สมบัติวงศ์

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชาสันติ ไตรยสุทธิ

ศัพท์สำคัญ : คุณลักษณะการเผาไหม้ สมรรถนะเครื่องยนต์ เครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมก๊าซชีวมวล การปล่อยมลพิษ

ก๊าซชีวมวลเป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่งที่มีการใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เป็นเวลานานแล้ว แต่การวิจัยเกี่ยวกับคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ซึ่งมีประโยชน์ต่อการพัฒนาเครื่องยนต์ยังมีอยู่น้อยมาก งานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้และสมรรถนะของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ทั้งในรูปแบบเชื้อเพลิงเดี่ยว (Gas engine) ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน และในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วม (Dual fuel engine) ในเครื่องยนต์ดีเซล

การทดสอบในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วม ใช้ก๊าซชีวมวลร่วมกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ได้ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ที่ได้รับการติดตั้งชุดอุปกรณ์วัดความดันในกระบอกสูบ และใช้เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบก๊าซไหลลงชนิดสองคอกขนาด 50 กิโลวัตต์ ความร้อน ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง ทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,500 รอบต่อนาที ที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรค 0-715.8 kPa โดยปรับสัดส่วนก๊าซชีวมวลให้ทดแทนน้ำมันดีเซลให้ได้สูงสุด ที่แต่ละภาระ การศึกษาพบว่าก๊าซชีวมวลสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้สูงสุดร้อยละ 71.15 ที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรค 501 kPa เมื่อพิจารณาก๊าซไอเสียพบว่า การใช้เชื้อเพลิงร่วม ทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูงขึ้นทุกช่วงภาระ ในขณะที่ออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง 30-350 ส่วนในล้านส่วน การวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ในกระบอกสูบพบว่า เมื่ออัตราทดแทนน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้น จะทำให้ช่วงล่าช้าในการจุดระเบิดมากขึ้น และที่อัตราทดแทนน้ำมันดีเซลสูงสุด มีช่วงล่าช้าในการจุดระเบิดเพิ่มขึ้นประมาณ 2-5 องศาเฟลาข้อเหวี่ยง และความดันสูงสุดในกระบอกสูบลดลง 10-15 บาร์ เมื่อพิจารณาค่า $COV_{P_{max}}$ และ COV_{IMEP} พบว่า มีค่าอยู่ในระดับที่เครื่องยนต์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในการใช้ดีเซลอย่างเดียวและรูปแบบเชื้อเพลิงร่วม

ส่วนการทดสอบในรูปแบบเชื้อเพลิงเดี่ยวในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ แบ่งการทดลองออก 2 ส่วน คือ ส่วนแรก ศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ โดยได้ทดสอบกับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนสูบเดี่ยว ที่ได้รับการติดตั้งชุดอุปกรณ์วัดแรงดันในกระบอกสูบ เชื่อมต่อกับระบบผลิตก๊าซชีววมวล ทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,500 – 4,000 รอบต่อนาที โดยไม่ใส่ภาระ ผลการทดสอบพบว่า การใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง มีการปล่อยความร้อนในช่วงเริ่มต้นเร็วกว่าการใช้น้ำมันแก๊สโซลีน 1-3 องศาเซลเซียสต่อวินาที แต่มีแนวโน้มช้าลงในช่วงกลางและช่วงท้ายของการเผาไหม้ ทำให้ระยะเวลาการเผาไหม้นานกว่าการใช้แก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง 20-40 องศาเซลเซียสต่อวินาที ส่วนที่สองเป็นการศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนการอัด 8.5:1 11:1 และ 15:1 ที่องศาจุดระเบิด 10-30 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ทดสอบที่ภาระต่าง ๆ ที่ตำแหน่งปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ผลการทดสอบพบว่า เครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง โดยไม่ได้ปรับแต่งเครื่องยนต์ ให้กำลังสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 40 ของกำลังสูงสุดที่ได้จากการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง เมื่อปรับอัตราส่วนการอัดเพิ่มจาก 8.5:1 เป็น 15:1 ทำให้กำลังของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น จาก 0.73 kW ไปเป็น 1 kW และทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 20.67 เป็น 26.1 นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อปรับอัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้นจะทำให้ตำแหน่งองศาจุดระเบิดที่เหมาะสมขยับเข้าใกล้ศูนย์ตายบนมากขึ้น โดยค่าองศาจุดระเบิดที่เหมาะสมสำหรับอัตราส่วนการอัด 8.5:1 11:1 และ 15:1 คือ 25 20 และ 15 องศา ก่อนศูนย์ตายบนตามลำดับ ส่วนการศึกษามลพิษนั้น พบว่า ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจนจากการใช้ก๊าซชีววมวลต่ำกว่าการใช้้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิงทุกช่วงภาระ

ABSTRACT

TITLE : INVESTIGATION ON COMBUSTION CHARACTERISTIC AND
PERFORMANCE OF SMALL PRODUCER GAS ENGINES

BY : PISARN SOMBATWONG

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : MACHANICAL ENGINEERING

CHAIR : ASST.PROF.PRACHASANTI THAIYASUIT, Ph.D.

KEYWORDS : COMBUSTION CHARACTERISTICS / ENGINE PERFORMANCE /
DUAL FUEL ENGINE / PRODUCER GAS / EXHAUST GAS EMISSION

Producer gas is one of the potential alternative energy which has long been used as a fuel in engines, however, very few researches about the combustion characteristics have been done. In this study, the combustion characteristic and performances of both gas engine mode and producer gas–diesel dual fuel engine mode are investigated.

In dual fuel mode, the single cylinder, direct injection, diesel engine mounting with in-cylinder pressure transducer is used in the combustion characteristic study. Producer gas, from charcoal, is generated from 50 kW_{th} double throat downdraft gasifier. The combustion and emission characteristics of dual fuel engine are investigated at constant speed 1500 rpm at various brake mean effective pressure (bmep) loads between 0–715.8 kPa and various diesel-gas input ratio for maximum diesel saving ratio of each load. It is shown that the maximum diesel fuel saving is 71.15% at bmep load of 501 kPa. The CO emission is higher in the case of dual fuel mode comparing to that of the diesel mode. NO_x is decreased by 30-350 ppm depending on the bmep. In the dual mode, the ignition delay becomes longer when the diesel saving ratio is increased. At the maximum diesel saving, the ignition delay is increased 2-5 °CA, while the cylinder peak pressure is decreased by 10-15 bar. However, the COV_{Pmax} and COV_{IMEP} are stable in diesel and dual fuel combustion mode.

In gas engine mode, the study is arranged in two parts. The first part investigates the combustion characteristics of gasoline engine using producer gas as a fuel. The single cylinder

gasoline engine mounting with in-cylinder pressure transducer and shaft encoder is used in the combustion characteristics study. The investigation is at various engine speed varying from 1500–4000 rpm at no-load condition. It is found that the cumulative heat release of the engine using producer gas as a fuel is higher than that of gasoline mode around 1-3 degree crank angle at the initial stage. But the heat release tend to be lower than that of gasoline mode at the medium and the last stage. Thus, the combustion duration of producer gas mode is longer than that of gasoline mode 20-40 degree crank angle. The second part investigates the performances and emissions of a gasoline engine at various compression ratio (CR) and ignition timing at full throttle and various load. The CR is varied between 8.5:1 and 15:1. The ignition timing is varied between 10 and 30 °BTDC. It is found that the maximum power of the standard engine using producer gas as a fuel becomes only 40% of the maximum power of gasoline mode. The power of the engine can be improved by increasing CR. The maximum power is 0.73 kW at the CR of 8.5:1 and increases to 1 kW at a CR of 15:1. The maximum thermal efficiency is 20.67 at the CR of 8.5:1 and increases to 26.1 at CR of 15:1. The optimum ignition timing found to be retarded at the higher CR due to the fast combustion rate at high CR. The optimum ignition timing for the CR 8.5:1, 11:1 and 15:1 are 25, 20 and 15 °BTDC respectively. The CO and NO_x emission is lower in the case of producer gas mode comparing to that of the original gasoline mode.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ณ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ปัญหาและที่มาของการทำงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ก๊าซชีวมวล	5
2.2 เครื่องยนต์ก๊าซชีวมวล	23
2.3 การวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องยนต์สันดาปภายใน	27
2.4 คุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์สันดาปภายใน	31
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	43
3 อุปกรณ์และวิธีวิจัย	
3.1 อุปกรณ์การทดลอง	55
3.2 เชื้อเพลิงสำหรับการทดลอง	67
3.3 การวัดค่าตัวแปรในการทดลองและการคำนวณ	68
3.4 วิธีการทดลอง	72
3.5 ข้อจำกัดในการศึกษา	77

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4 ผลการทดสอบและอภิปรายผล

- | | |
|---|----|
| 4.1 การใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์
จุดระเบิดด้วยการอัด | 79 |
| 4.2 การใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์
จุดระเบิดด้วยประกายไฟ | 99 |

5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

- | | |
|--|-----|
| 5.1 สมรรถนะ มลพิษและคุณลักษณะการเผาไหม้
เมื่อใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม | 117 |
| 5.2 สมรรถนะ มลพิษและคุณลักษณะการเผาไหม้เมื่อใช้ก๊าซชีววมวล
เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ | 118 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ | 120 |

เอกสารอ้างอิง	121
---------------	-----

ภาคผนวก	127
---------	-----

ประวัติผู้วิจัย	129
-----------------	-----

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบเตาแบบชั้นเชื้อเพลิงนิ่งกับเตาแบบชั้นของไหล	11
2.2 ตัวอย่างส่วนประกอบก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวล	17
2.3 เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงกับเชื้อเพลิงฟอสซิล	51
2.4 เปรียบเทียบมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงกับเชื้อเพลิงฟอสซิล	51
2.5 เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม	53
2.6 เปรียบเทียบมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม	53
3.1 รายละเอียดของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ	57
3.2 รายละเอียดของเครื่องยนต์ Honda G200 ที่ใช้ทดสอบ	58
3.3 รายละเอียดเครื่องยนต์ Honda GX 160 ที่ใช้ทดสอบ	59
3.4 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องวัดคงศาจุดระเบิด Ferret 88	63
3.5 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย HM5000	64
3.6 รายละเอียดจำเพาะของชุดวัดสมรรถนะเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ	66
3.6 องค์ประกอบก๊าซชีวมวลที่ได้จากการวิเคราะห์	67
4.1 ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการทดสอบและอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ในแต่ละภาระเมื่อใช้ในรูปแบบน้ำมันดีเซลอย่างเดียวและเชื้อเพลิงร่วม และอัตราส่วนการทดแทนน้ำมันดีเซลสูงสุดในแต่ละภาระ	80
4.2 จุดเริ่มต้นการเผาไหม้ (SOC) จุดสิ้นสุดการเผาไหม้ (EOC) และระยะเวลาการเผาไหม้ จากการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนและก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง	105
4.3 สมรรถนะของเครื่องยนต์ทดสอบเมื่อใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง	106
4.4 มลพิษของเครื่องยนต์ทดสอบเมื่อใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง	106
4.5 สรุปค่าการทดสอบสมรรถนะที่ดีที่สุดของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดต่าง ๆ	110
5.1 องศาจุดระเบิดที่เหมาะสมในแต่ละอัตราส่วนการอัดเมื่อใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง	119

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงและการนำไปใช้ประโยชน์	7
2.2 เตาเผาผลิตก๊าซชีววมวลแบบก๊าซไหลขึ้น	12
2.3 เตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลลง	13
2.4 บริเวณการเกิดปฏิกิริยากับอากาศ	14
2.5 คอคอดในเตาผลิตก๊าซแบบไหลลง	15
2.6 เตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลตามขวาง	16
2.7 การบูรณาการสำหรับก๊าซชีววมวลพร้อมอุปกรณ์ชุดเขยแรงดัน	26
2.8 การจำลองการไหลของส่วนผสมอากาศกับเชื้อเพลิง	26
2.9 ตัวอย่างของกราฟระหว่างความดันและปริมาตรกระบอกสูบของ (ก) เครื่องยนต์ สองจังหวะ (ข) เครื่องยนต์สี่จังหวะ	28
2.10 ความดันกระบอกสูบ (P) สัดส่วนที่เผาไหม้แล้ว (X_p) และสัดส่วนปริมาตรที่เปลวไฟ ผ่านไปแล้ว (V_p/V)	33
2.11 อัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงทั่วไป แสดงช่วงต่าง ๆ ของการเผาไหม้	36
2.12 กราฟระหว่างเศษส่วนมวลที่เผาไหม้แล้วกับมุมข้อเหวี่ยง	38
2.13 (a) แผนภาพความดันและปริมาตร (b) แผนภาพลอการิทึมของ $\log p$ กับ \log (V/V_{max})	40
3.1 ระบบผลิตก๊าซชีววมวลที่ใช้ในการทดสอบ (ก) ขนาด 50 kW _{th} (ข) ขนาด 100 kW _{th}	56
3.2 เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ	57
3.3 เครื่องยนต์ Honda รุ่น G200 ที่ใช้ในการทดสอบเบื้องต้นและศึกษาคุณลักษณะการ เผาไหม้	58
3.4 เครื่องยนต์แก๊สโซลีน Honda GX160 ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ	58
3.5 อุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ (Air-gas mixer)	59
3.6 เซนเซอร์วัดองศาเพลวข้อเหวี่ยงและการติดตั้งกับชุดทดลอง	60
3.7 เซนเซอร์วัดความดันในกระบอกสูบและการติดตั้งในเครื่องยนต์ดีเซล	61
3.8 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ	61

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.9 เครื่องรับสัญญาณข้อมูล (DAQ-Box)	62
3.10 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรม Dewesoft 6.6	62
3.11 เครื่องวัดองศาจุกระเปิด Ferret 88	63
3.12 เครื่องวัดไอเสีย HM5000	64
3.13 อุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	65
3.14 ไดนาโมมิเตอร์พร้อมแผงควบคุม	66
3.15 ถ่านไม้ที่ใช้ในการทดลอง	67
3.16 แผ่นออริฟิซและมานอมิเตอร์ที่ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของก๊าซชีวมวล	69
3.17 Air box และ Orifice plate สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศเข้าเครื่องยนต์	70
3.18 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบ	73
3.19 เปรียบเทียบฝาสูบเดิมและฝาสูบที่ปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการอัด	78
4.1 อัตราส่วนการทดแทนน้ำมันดีเซลด้วยก๊าซชีวมวลที่ภาระ BMEP ต่าง ๆ	80
4.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ภาระ BMEP ต่าง ๆ	81
4.3 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ภาระ BMEP ต่าง ๆ	82
4.4 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อน ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงเดี่ยวกับการใช้เชื้อเพลิงร่วม ที่ภาระ BMEP 217.74 kPa ความเร็วรอบคงที่ 1,500 rpm	83
4.5 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อน ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงเดี่ยวกับการใช้เชื้อเพลิงร่วม ที่ภาระ BMEP 501 kPa ความเร็วรอบคงที่ 1,500 rpm	84
4.6 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อนระหว่างการใช้เชื้อเพลิงเดี่ยวกับการใช้เชื้อเพลิงร่วม ที่ภาระ BMEP 644.23 kPa ความเร็วรอบคงที่ 1,500 rpm	84
4.7 ความดันสูงสุดในกระบอกสูบที่ภาระ BMEP ต่าง ๆ	85
4.8 ตำแหน่งการเกิดความดันสูงสุดในกระบอกสูบที่ภาระ BMEP ต่าง ๆ	86
4.9 การล่าช้าของการจุกระเปิดที่ภาระ BMEP ต่าง ๆ	87
4.10 ระยะเวลาการเผาไหม้ที่ภาระ BMEP ต่าง ๆ	87

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.11 ความดันในกระบอกสูบ จากการใช้เชื้อเพลิงร่วมที่อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลต่าง ๆ ที่ภาระ BMEP 501 kPa ความเร็วรอบคงที่ 1,500 rpm	88
4.12 เปรียบเทียบอัตราการปล่อยความร้อนจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมที่อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลต่าง ๆ ที่ภาระ BMEP 501 kPa ความเร็วรอบคงที่ 1,500 rpm	89
4.13 ความดันสูงสุดในกระบอกสูบเมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม	90
4.14 ความดันในกระบอกสูบที่องศาเพลาคือเหวี่ยงต่าง ๆ ในแต่ละภาระ กรณีใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง	90
4.15 ความดันในกระบอกสูบที่องศาเพลาคือเหวี่ยงต่าง ๆ ในแต่ละภาระ กรณีใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซล ที่อัตราการฉีดน้ำมันดีเซลคงที่ 0.276 ลิตรต่อชั่วโมง	91
4.16 อัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลที่องศาเพลาคือเหวี่ยงต่าง ๆ กรณีใช้น้ำมันดีเซล ที่ภาระต่าง ๆ	92
4.17 อัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลที่องศาเพลาคือเหวี่ยงต่าง ๆ กรณีใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวล ที่ภาระต่าง ๆ ที่อัตราการฉีดน้ำมันคงที่ 0.276 ลิตรต่อชั่วโมง	93
4.18 เปรียบเทียบความดันในกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อนระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลและเชื้อเพลิงร่วมที่ภาระ 5 Nm	93
4.19 เปรียบเทียบความดันในกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อนระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลและเชื้อเพลิงร่วมที่ภาระ 10 Nm	94
4.20 เปรียบเทียบความดันในกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อนระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลและเชื้อเพลิงร่วมที่ภาระ 15 Nm	94
4.21 ความดันสูงสุดในกระบอกสูบ 100 วัฏจักรต่อเนื่องกัน เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วม ที่ภาระ 15 Nm ความเร็วรอบ 1500 rpm	95

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.22 ความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ 100 วัฏจักรต่อเนื่องกัน เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วม ที่ภาระ 15 Nm ความเร็วรอบ 1500 rpm	95
4.23 สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันในกระบอกสูบสูงสุดที่ภาระต่าง ๆ จากการ ใช้น้ำมันดีเซลและก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม	96
4.24 สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ ที่ภาระต่าง ๆ จากการใช้ น้ำมันดีเซลและก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม	97
4.25 สัดส่วนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียที่ ภาระ BMEP ต่าง ๆ	98
4.26 สัดส่วนก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียที่ ภาระ BMEP ต่าง ๆ	98
4.27 อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ภาระ BMEP ต่าง ๆ	99
4.28 ความดันในกระบอกสูบระหว่างการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนกับการใช้ก๊าซชีววมวล ที่ความเร็วรอบ 1,500 rpm ไม่มีภาระ	101
4.29 ความดันในกระบอกสูบระหว่างการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนกับการใช้ก๊าซชีววมวล ที่ความเร็วรอบ 2,500 rpm ไม่มีภาระ	101
4.30 ความดันในกระบอกสูบระหว่างการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนกับการใช้ก๊าซชีววมวล ที่ความเร็วรอบ 3,500 rpm ไม่มีภาระ	102
4.31 การปล่อยความร้อนสะสม จากการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนกับการใช้ก๊าซชีววมวล ที่ความเร็วรอบ 1,500 rpm ไม่มีภาระ	103
4.32 การปล่อยความร้อนสะสม จากการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนกับการใช้ก๊าซชีววมวล ที่ความเร็วรอบ 2,500 rpm ไม่มีภาระ	103
4.33 การปล่อยความร้อนสะสม จากการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนกับการใช้ก๊าซชีววมวล ที่ความเร็วรอบ 3,500 rpm ไม่มีภาระ	104
4.34 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ เปิดเต็มที่ ที่ความดันยังผลเฉลี่ยเบรกด่าง ๆ อัตราส่วนการอัด 8.5:1	107
4.35 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ เปิดเต็มที่ ที่ความดันยังผลเฉลี่ยเบรกด่าง ๆ อัตราส่วนการอัด 11:1	108

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.36 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่ความดันยังผลเฉลี่ยเบรกด่าง ๆ อัตราส่วนการอัด 15:1	109
4.37 กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่อัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดต่าง ๆ	112
4.38 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุดของเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่อัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดต่าง ๆ	112
4.39 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุดของเครื่องยนต์ทดสอบ ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่อัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดต่าง ๆ	113
4.40 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ของเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่อัตราส่วนการอัด 8.5:1 และองศาจุดระเบิดต่าง ๆ	114
4.41 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ของเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่อัตราส่วนการอัด 11:1 และองศาจุดระเบิดต่าง ๆ	115
4.42 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ของเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่อัตราส่วนการอัด 15:1 และองศาจุดระเบิดต่าง ๆ	115
4.43 ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ของเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่อัตราส่วนการอัด 8.5:1-15:1 และองศาจุดระเบิดที่ให้กำลังสูงสุด	116

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย

ปัญหาวิกฤตด้านพลังงานเป็นปัญหาที่ทั่วโลกให้ความสนใจ อีกทั้งยังมีความเชื่อมโยงกับปัญหาสภาวะโลกร้อนอย่างแยกไม่ออก ปัจจุบันประเทศไทยต้องประสบกับปัญหาความไม่แน่นอนของราคาน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศ และพลังงานรูปแบบอื่น ๆ ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศด้วย จากข้อมูลทางสถิติของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน รายงานไว้ว่า ในปี 2553 ประเทศไทยมีการนำเข้าพลังงานสูงถึง 65,113 ktoe คิดเป็นมูลค่านำเข้ารวมทั้งสิ้น 957,162 ล้านบาท ในขณะที่มีการส่งออกพลังงานเพียง 12,097 ktoe จากปัญหาดังกล่าว พลังงานทดแทน จึงได้รับความสนใจอย่างมาก ทั้งจากภาครัฐและเอกชน ซึ่งพลังงานทดแทนที่ได้รับความสนใจอย่างสูงคือ “พลังงานจากชีวมวล” เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ทำให้ภายหลังจากการเก็บเกี่ยว พืชเกษตรต่าง ๆ เหล่านี้ มีชีวมวลหรือเศษวัสดุเหลือใช้ เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย เศษไม้จากการตัดแต่งกิ่ง เป็นต้น เกิดขึ้นจำนวนมาก ซึ่งมีศักยภาพสูงในการนำไปใช้เป็นพลังงาน

จากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2012-2021) โดยกระทรวงพลังงาน ของประเทศไทย ได้กำหนดสัดส่วนในการใช้พลังงานทดแทน เป็นร้อยละ 25 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย ในปี พ.ศ. 2564 จากมิติพลังงานด้านต่าง ๆ เช่น ภาคการผลิตไฟฟ้า ภาคการผลิตความร้อน เชื้อเพลิงชีวภาพ และก๊าซธรรมชาติสำหรับยานพาหนะ เป็นต้น โดยที่ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทน ที่ต้องได้รับการพัฒนาตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนดังกล่าว จากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 10 ปี มีเป้าหมายในการผลิตไฟฟ้าและความร้อนจากชีวมวล จำนวน 3,730 MW และ 8,200 ktoe ตามลำดับ ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตกระแสไฟฟ้าและพลังงานความร้อนจากชีวมวล มากกว่า 1,600 MW และ 2,700 ktoe ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลด้านสถิติของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พบว่า ในปี พ.ศ.2552 ประเทศไทยมีศักยภาพด้านชีวมวลเท่ากับ 24,069 ktoe ในขณะที่มีการนำชีวมวลไปใช้งานเพียง 12,714 ktoe (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554) จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ในอนาคตอัน

ใกล้จะมีการนำเอาพลังงานทดแทนมาใช้งานมากขึ้น และการใช้งานพลังงานทดแทนจะทวีความสำคัญมากขึ้นเรื่อย ๆ

ก๊าซชีววมวลเป็นพลังงานทดแทนอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ โดยการแปลงสภาพชีววมวลแข็งให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถใช้งานทั้งในด้านความร้อน เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหั่วเผา เป็นต้น และใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลก็ได้ ซึ่งข้อดีของการใช้ก๊าซชีววมวลในเครื่องยนต์มีหลายประการ เช่น ลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สามารถใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงได้ เป็นต้น

จากการศึกษาพบว่า การนำก๊าซชีววมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ได้มีการดำเนินการมาตั้งแต่ช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง แต่การศึกษาส่วนใหญ่เป็นเพียงการนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องยนต์ ทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ และปรับแต่งเครื่องยนต์ให้ได้สมรรถนะที่พอใช้งานได้เท่านั้น แต่การศึกษาคูณลักษณะการเผาไหม้ที่อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง และการศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดยังมีอยู่น้อยมาก

การศึกษาคูณลักษณะการเผาไหม้ของก๊าซชีววมวลในเครื่องยนต์ จะช่วยให้ทราบถึงลักษณะที่สำคัญที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ เช่น ความดันสูงสุดในกระบอกสูบ รูปแบบการเผาไหม้ อัตราการปล่อยความร้อน ความล่าช้าในการจุดระเบิด ระยะเวลาการเผาไหม้ กำลังบ่งชี้ การแปรผันของการเผาไหม้ระหว่างวัฏจักรต่อวัฏจักร เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ ที่ส่งผลต่อสมรรถนะและมลพิษ และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาปรับปรุงเครื่องยนต์ให้มีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น เป็นแนวทางในการประหยัดพลังงาน และช่วยลดสารมลพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ได้อีกด้วย นอกจากนี้ ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟคือ อัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิด ผู้วิจัยได้ตระหนักถึงความสำคัญในเรื่องนี้ จึงมีแนวคิดที่จะศึกษารายละเอียดของสมรรถนะ คูณลักษณะการเผาไหม้ในเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ทั้งรูปแบบเชื้อเพลิงเดี่ยวในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟเปรียบเทียบกับการใช้ น้ำมันแก๊สโซลีน และรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดเปรียบเทียบกับการใช้ น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาเครื่องยนต์ก๊าซชีววมวลต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบ สมรรถนะ และมลพิษ ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง เมื่อปรับอัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิด เทียบกับการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง

1.2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบ สมรรถนะ มลพิษ และคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซล เทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 เตาผลิตก๊าซชีววมวลที่ใช้ในการทดสอบ เป็นแบบก๊าซไหลลงชนิดมีสองคอคออด (Double throat downdraft gasifier) ขนาด 50 kW_{th} พร้อมระบบทำความสะอาดก๊าซชีววมวล โดยใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง

1.3.2 เครื่องยนต์ก๊าซชีววมวลในที่นี้หมายถึง เครื่องยนต์สันดาปภายใน ทั้งเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ และเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ใน การศึกษานี้ มีเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ ดังนี้

1.3.2.1 เครื่องยนต์แก๊สโซลีน 1 สูบ 4 จังหวะ ที่ดัดแปลงให้สามารถปรับองศาการจุดระเบิดได้ 10-30 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ปรับอัตราส่วนการอัดได้ 8.5:1 – 15:1 และติดตั้งอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ เพื่อให้สามารถใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงได้

1.3.2.2 เครื่องยนต์ดีเซลแบบ 1 สูบ 4 จังหวะ ที่ดัดแปลงทางเข้าอากาศให้สามารถใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมได้

1.3.3 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย ก๊าซชีววมวลจากถ่านไม้ น้ำมันแก๊สโซลีน และน้ำมันดีเซล

1.3.4 การศึกษาสมรรถนะและคุณลักษณะการเผาไหม้ ดำเนินการโดยติดตั้งเครื่องยนต์กับชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ เช่น เซอร์วัดความดันในกระบอกสูบ (Pressure transducer) และ เซอร์วัดองศาเพลาข้อเหวี่ยง (Shaft encoder) โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการบันทึกข้อมูล

1.3.5 ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ สมรรถนะ และมลพิษ ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้ก๊าซชีววมวลเมื่อปรับอัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดเทียบกับการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง และคุณลักษณะการเผาไหม้ สมรรถนะ และมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม

1.3.6 คุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ศึกษา ได้แก่ ความดันในระบบดูด อัตรการปล่อยความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ (COV of IMEP) และค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของความดันระบบดูดสูงสุด (COV of P_{max})

1.3.7 สมรรถนะของเครื่องยนต์ประเมินจาก กำลังเบรก อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน จำเพาะและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเครื่องยนต์

1.3.8 ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ที่ความเร็วรอบคงที่ 1,500 รอบต่อนาที และทดสอบเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ที่ตำแหน่งปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ (Full load) ที่ไม่มีภาระจนถึงภาระสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้

1.3.9 งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบระยะสั้น เพื่อทดสอบ สมรรถนะ มลพิษ และ คุณลักษณะการเผาไหม้เท่านั้น ไม่ได้ศึกษาผลกระทบต่อวัสดุและระบบทางเดินเชื้อเพลิงในระยะ ยาว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้ก๊าซชีวมวล และทราบ ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์และมลพิษ

1.4.2 ทราบถึงคุณลักษณะการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในเครื่องยนต์ เมื่อใช้ก๊าซชีวมวล เป็นเชื้อเพลิง ทั้งในรูปแบบเชื้อเพลิงเดี่ยวและเชื้อเพลิงร่วม

1.4.3 สามารถนำเครื่องยนต์ขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซชีวมวลไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เช่น เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก เครื่องสูบน้ำ เป็นต้น เพื่อลดการ ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

1.4.4 สามารถนำข้อมูลที่ได้ ไปออกแบบเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับการใช้งานกับก๊าซ ชีวมวลและเชื้อเพลิงค่าความร้อนค่าอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้และสมรรถนะของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับ ก๊าซชีววมวล เครื่องยนต์สันดาปภายใน การวิเคราะห์สมรรถนะและคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ เพื่อให้สามารถออกแบบระบบเครื่องยนต์ก๊าซชีววมวลที่มีความเหมาะสมในการทำงาน ดังนั้น ในบทนี้จึงได้รวบรวม ทฤษฎี ผลงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน หลักการทำงานของเตาผลิตก๊าซชีววมวล ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีววมวล เครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง การดัดแปลงเครื่องยนต์สันดาปภายในให้ใช้งานกับก๊าซชีววมวลได้ และ การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสมรรถนะและคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลเป็นอย่างมาก

2.1 ก๊าซชีววมวล

2.1.1 ความเป็นมาของเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีววมวล

ก๊าซเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ผลิตจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ได้รับการค้นพบเป็นครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศสและประเทศอังกฤษพร้อม ๆ กันในปี ค.ศ.1798 (Reed and Das, 1998) และในปี ค.ศ.1850 เทคโนโลยีนี้ได้รับการพัฒนาเพื่อใช้ในการให้แสงสว่างในกรุงลอนดอน ซึ่งเรียกว่า “Town gas” ซึ่งเป็นก๊าซที่ผลิตได้จากถ่านหิน ในปี ค.ศ. 1920 เมืองต่าง ๆ ในสหรัฐอเมริกาได้ผลิตและจ่ายก๊าซสำหรับใช้ในครัวเรือนและแสงสว่าง ซึ่งเรียกว่า “Gasworks” (Reed and Das, 1988) ความพยายามในการใช้ก๊าซชีววมวลในเครื่องยนต์สันดาปภายในเกิดขึ้น ในปี ค.ศ. 1881 (Chopra, 2007) ในช่วงเริ่มต้นของสงครามโลกครั้งที่ 1 ระบบผลิตก๊าซชีววมวลขนาดเล็กได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับยานพาหนะ เช่น เรือ รถไฟ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยใช้ ถ่านไม้และชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 มีการพัฒนาเกี่ยวกับเทคโนโลยีนี้ลดลงเนื่องจากราคาน้ำมันที่ถูกลง จนกระทั่งเริ่มสงครามโลกครั้งที่ 2 ความสนใจในเชื้อเพลิงทางเลือกเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ในปี ค.ศ.1943 ยานพาหนะในประเทศสวีเดนมากกว่าร้อยละ 90 ใช้พลังงานจากก๊าซชีววมวล ในช่วงสิ้นสุดสงครามโลกครั้งที่ 2 คาดว่ามียานพาหนะที่ติดตั้งระบบ

ผลิตก๊าซชีววมวลรวมมากกว่า 7,000,000 คัน ในยุโรป ออสเตรเลีย อเมริกาใต้ และหมู่เกาะแปซิฟิก (Reed and Das, 1988; Sridhar et al., 2001)

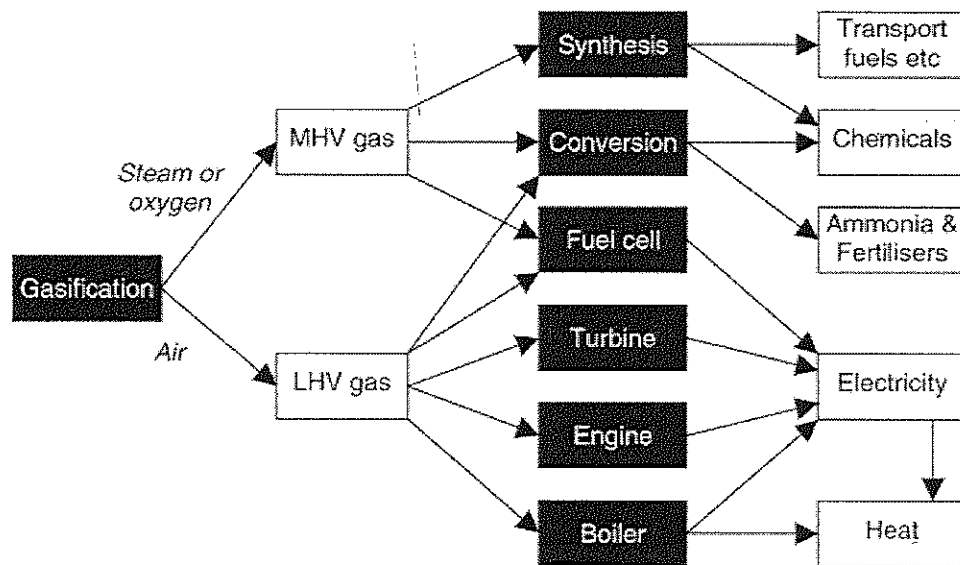
หลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 ราคาเชื้อเพลิงฟอสซิลถูกลงอย่างมาก ทำให้จำนวนผู้ผลิตระบบผลิตก๊าซชีววมวลลดลงด้วย จนกระทั่งถึงวิกฤตพลังงานในปี ค.ศ. 1970 ความสนใจในการพัฒนาระบบผลิตก๊าซชีววมวลกลับมาอีกครั้ง โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนาที่ต้องเผชิญกับราคาปิโตรเลียมที่ขยับตัวสูงขึ้น และเพื่อเตรียมรับมือกับปัญหาการขาดแคลนพลังงานที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต จึงมีการศึกษา วิจัยและพัฒนาระบบผลิตก๊าซชีววมวลรูปแบบต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน (Chopra, 2007)

2.1.2 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gacification process) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิง โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน (Partial oxidation) ที่อุณหภูมิสูงด้วยอากาศ ออกซิเจน หรือไอน้ำ ในช่วงอุณหภูมิ 800 – 1,800 องศาเซลเซียส ความร้อนและก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้จะทำให้เกิดปฏิกิริยาประเภทต่าง ๆ ตามมา คือ ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ไพโรไลซิส (Pyrolysis) และการอบแห้ง (Drying) เกิดการแตกตัวมาเป็นก๊าซเชื้อเพลิง (Producer gas) ที่มีค่าความร้อนต่ำถึงปานกลางประมาณ 3-10 MJ/m³ ขึ้นอยู่กับตัวทำปฏิกิริยาและเชื้อเพลิงที่ใช้ ก๊าซชีววมวลมีองค์ประกอบหลักคือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซมีเทน (CH₄) และก๊าซไฮโดรเจน (H₂) ซึ่งเป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ได้ ในกรณีที่ใช้ชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จะเรียกว่า ก๊าซชีววมวล ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น การนำไปใช้เป็นความร้อนในการหุงต้ม การอบแห้ง ใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ เครื่องจักร กังหันก๊าซ หรือการใช้เป็นสารตั้งต้นในการเพิ่มคุณภาพให้เป็นสารเคมีหรือน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์สำหรับการขนส่ง ภาพที่ 2.1 แสดงแผนภูมิการผลิตและการนำก๊าซเชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์

2.1.3 ปฏิกิริยาเคมีความร้อนของการเกิดก๊าซชีววมวล

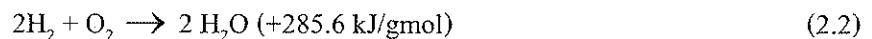
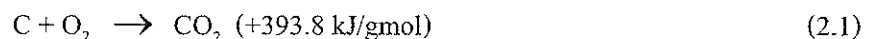
กระบวนการผลิตก๊าซชีววมวล เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้อยู่ในรูปก๊าซเชื้อเพลิง โดยการเผาไหม้ชีววมวลในห้องเผาไหม้ที่มีอากาศ (หรือออกซิเจน) จำกัด ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ แต่จะเกิดความร้อนเพื่อเร่งให้เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส และการอบแห้ง ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยารีดักชัน เพื่อผลิตก๊าซชีววมวล โดยทั่วไปสามารถแบ่งชั้นของปฏิกิริยาสำคัญ ๆ ได้ 4 ชั้น ดังนี้



ภาพที่ 2.1 การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงและการนำไปใช้ประโยชน์ (Bridgwater, 2003)

2.1.3.1 ชั้นการเผาไหม้ (Combustion Zone)

ชั้นการเผาไหม้ บางทีอาจเรียกว่า ชั้นออกซิเดชัน (Oxidation zone) อากาศจะถูกส่งผ่านเข้ามาในบริเวณนี้ และสัมผัสกับเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างก๊าซออกซิเจนในอากาศกับคาร์บอนและไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง ได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังสมการที่ (2.1) และ (2.2)

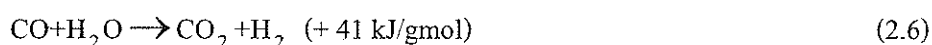
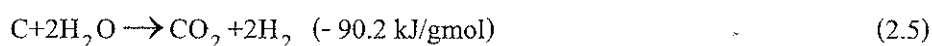
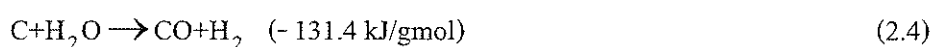


สมการปฏิกิริยา (2.1) และ (2.2) เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ซึ่งความร้อนและก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในขั้นนี้ จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนในขั้นรีดักชันและขั้นการกลั่นสลายต่อไป อุณหภูมิในชั้นการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 1,100-1,500 องศาเซลเซียส

2.1.3.2 ชั้นรีดักชัน (Reduction Zone)

เมื่ออากาศผ่านเข้าสู่ชั้นการเผาไหม้ และทำปฏิกิริยากับคาร์บอนและไฮโดรเจน ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำแล้ว ก็จะไหลผ่านสู่ชั้นรีดักชัน ดังนั้น ปฏิกิริยาหลักในขั้นนี้จะเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน (Reduction reaction) อุณหภูมิในขั้นนี้จะอยู่ระหว่าง 500-

900 องศาเซลเซียส ชั้นรีดักชันนี้ จะเปลี่ยนบางส่วนของก๊าซที่เผาไหม้ไม่ได้ (คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ) ให้เป็นก๊าซที่สามารถเผาไหม้ได้ โดยที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำที่เกิดขึ้น เมื่อ ไหลผ่านคาร์บอนที่กำลังถูกไหม้อยู่ จะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซ มีเทนเล็กน้อย ดังสมการที่ (2.3)–(2.7)



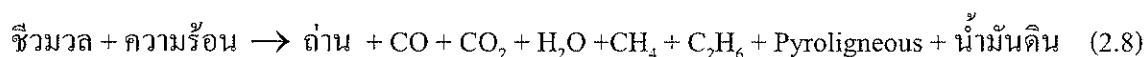
ปฏิกิริยา (2.3) เรียกว่าปฏิกิริยาบูดูอาร์ด (Boudouard reaction) และ ปฏิกิริยา (2.4) เรียกว่า Water gas reaction เป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และก๊าซที่ได้จาก 2 ปฏิกิริยานี้เป็นก๊าซที่สามารถเผาไหม้ได้ ซึ่งเป็น องค์ประกอบหลักในก๊าซผสมที่ได้จากเตาผลิตก๊าซชีวมวล ก๊าซหลักนี้ก็คือ ก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งตามหลักการแล้วควรมีให้มากที่สุด

จากปฏิกิริยา (2.3) ถ้าอุณหภูมิในชั้นรีดักชันสูงกว่า 900 องศาเซลเซียส แล้ว ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะสามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ประมาณ ร้อยละ 90 และถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 1,100 องศาเซลเซียส แล้ว ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเปลี่ยนเป็น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ทั้งหมด ดังนั้น ประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซชีวมวลจะเพิ่มขึ้นตาม อุณหภูมิของชั้นรีดักชัน ในเตาผลิตก๊าซชีวมวลเมื่อค่าอุณหภูมิสูงจากระดับการเผาไหม้ไหลเข้าสู่ชั้น นี้ อุณหภูมิจะลดลงเนื่องจากปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนในปฏิกิริยา (2.3) และ (2.4) ปฏิกิริยาไอน้ำ กับคาร์บอนที่ผลิตก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปฏิกิริยา (2.5) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ ต่ำ คือประมาณ 500-600 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญ เพราะทำให้ส่วนผสมของ ไฮโดรเจน ในก๊าซมีมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ก๊าซชีวมวลมีค่าพลังงานความร้อนสูงขึ้น แต่ถ้ามีไอน้ำ มากเกินไป อาจทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซ

ไฮโดรเจนตามปฏิกิริยา (2.6) ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Water shift reaction ทำให้ค่าความร้อนของก๊าซที่ได้ลดลง ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องระมัดระวังเกี่ยวกับความชื้นของเชื้อเพลิงที่ใช้ ส่วนใหญ่ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในชั้นรีดักชันนี้จะยังคงเป็นรูปไฮโดรเจน แต่อย่างไรก็ตาม บางส่วนของไฮโดรเจนก็จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอน ทำให้เกิดก๊าซมีเทนได้เล็กน้อยดังในปฏิกิริยา (2.7) ที่เรียกว่า การผลิตมีเทน (Methane production)

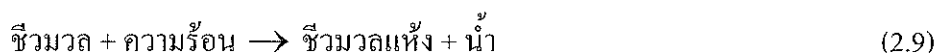
2.1.3.3 ชั้นการกลั่นสลาย (Pyrolysis zone)

ในชั้นนี้บางที่เรียกว่า Distillation zone ชีวมวลจะได้รับความร้อนจากชั้นการเผาไหม้หรือชั้นรีดักชัน ขึ้นอยู่กับชนิดเตาผลิตก๊าซ เพื่อที่จะสลายสารอินทรีย์ในเชื้อเพลิง ทำให้ได้เมทานอล กรดน้ำส้ม และน้ำมันดิน (Tar) อุณหภูมิในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิประมาณ 200-500 องศาเซลเซียส ของแข็งที่เหลืออยู่หลังจากผ่านกระบวนการนี้แล้ว คือ คาร์บอนในรูปของถ่าน ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยาต่อในชั้นรีดักชัน และชั้นการเผาไหม้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในชั้นนี้สามารถเขียนได้ดังนี้



2.1.3.4 ชั้นการอบแห้ง (Drying Zone)

ในบริเวณชั้นนี้อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของสารระเหยในเชื้อเพลิงได้ แต่ความชื้นในเชื้อเพลิงจะได้รับความร้อน ทำให้ระเหยออกมาในรูปของไอน้ำ ชั้นนี้จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 100-200 องศาเซลเซียส ดังสมการที่ (2.9)



2.1.4 ชนิดของเตาผลิตก๊าซชีวมวล

การจำแนกชนิดของเตาผลิตก๊าซชีวมวลสามารถแบ่งได้หลายแบบ เช่น การจำแนกตามชนิดของตัวทำปฏิกิริยา การจำแนกตามลักษณะการไหลของอากาศและเชื้อเพลิง ในที่นี้จะแสดงเฉพาะการจำแนกชนิดเตาผลิตก๊าซชีวมวลตามชนิดของตัวทำปฏิกิริยา และตามลักษณะการไหลของอากาศและเชื้อเพลิง เท่านั้น

2.1.4.1 จำแนกตามชนิดของตัวทำปฏิกิริยา (วิภาวรรณ แสงสง่า, 2544)

1) Air Blown Gasification

Air blown gasification เป็นการใช้อากาศธรรมดาเป็นตัวทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงในชั้นการเผาไหม้ก่อน หลังจากนั้น ความร้อน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ ที่เกิดขึ้นจากชั้นการเผาไหม้จะถูกนำไปใช้เพื่อผลิตก๊าซชีวมวลโดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ก๊าซที่ได้ทั้งหมดจะเป็นก๊าซค่าความร้อนต่ำ โดยมีไนโตรเจน (N_2) ที่มีอยู่ในอากาศเป็นส่วนประกอบหลักอยู่ประมาณร้อยละ 60-70

2) Oxidative Gasification

Oxidative gasification เป็นการใช้ออกซิเจน (O_2) แทนอากาศ ซึ่งจะให้ค่าความร้อนของก๊าซชีวมวลสูงขึ้น เพราะไม่มีก๊าซไนโตรเจนมาปะปน การควบคุมกระบวนการเผาไหม้จะสามารถทำได้ดีกว่า แต่ในทางปฏิบัตินั้น ต้องคำนึงถึงด้านเศรษฐศาสตร์เป็นสำคัญ เพราะราคาของก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์แพงมากเมื่อเทียบกับอากาศธรรมดา และควรใช้เมื่อวัตถุดิบเป็นถ่านหินเท่านั้น

3) Steam Gasification

Steam gasification จะใช้ไอน้ำเข้าไปทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิง ซึ่งจะช่วยเพิ่มค่าความร้อนให้กับก๊าซชีวมวลได้ โดยเฉพาะก๊าซไฮโดรเจน (H_2) แต่อุณหภูมิในเตาต้องสูงพอหรือไม่ควรต่ำกว่า 800 องศาเซลเซียส จึงจะสามารถทำให้ปฏิกิริยาเคมีความร้อนดำเนินไปได้

4) Hydrogen Gasification

Hydrogen gasification เป็นการใช้ออกซิเจนเป็นตัวทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิง ไม่มีการใช้ออกซิเจน หรืออากาศ โดยปกติจะเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียส และต้องใช้ความดันเข้าช่วย ซึ่งความดันในเตาปฏิกรณ์บางชนิดอาจสูงมากถึง 20 Mpa ก๊าซที่ได้ส่วนใหญ่เป็น CH_4 ซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับเชื้อเพลิงสังเคราะห์ต่อไป

2.1.4.2 จำแนกตามลักษณะของการไหลของอากาศและเชื้อเพลิง

การจำแนกชนิดเตาผลิตก๊าซชีวมวลตามลักษณะการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงนั้น นิยมแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ แบบชั้นเชื้อเพลิงนิ่ง (Fix bed) และแบบชั้นเชื้อเพลิงไหล (Fluidized bed) ข้อดีและข้อด้อยของระบบเตาปฏิกรณ์แบบชั้นเชื้อเพลิงนิ่งกับแบบชั้นเชื้อเพลิงไหลในเชิงการปฏิบัติการ ผลภาวะ และการใช้พลังงาน แสดงในตารางที่ 2.1 และในบทนี้จะแสดงรายละเอียดเฉพาะเตาผลิตก๊าซแบบชั้นเชื้อเพลิงนิ่งแบบต่าง ๆ ที่ใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา ซึ่งเหมาะกับการใช้งานกับเครื่องยนต์สันดาปภายในขนาดเล็ก ที่ใช้ในการศึกษานี้เท่านั้น

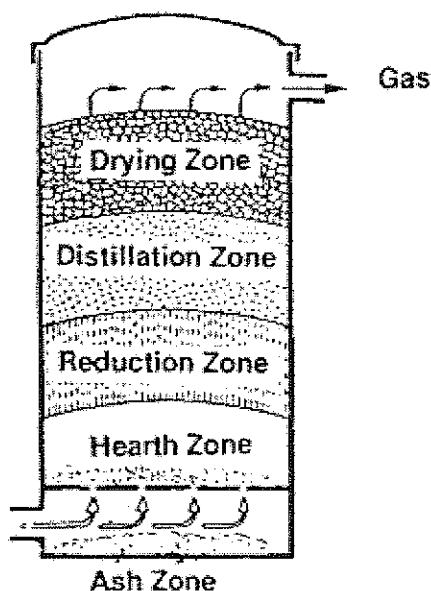
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบเตาแบบชั้นเชื้อเพลิงนิ่งกับเตาแบบชั้นของไหล

แบบชั้นเชื้อเพลิงนิ่ง	แบบชั้นของไหล
<ul style="list-style-type: none"> - มีช่วงการกระจายอุณหภูมิที่กว้าง - วัสดุที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงต้องมีขนาดใกล้เคียงกัน - มีอัตราการเปลี่ยนคาร์บอน และมีประสิทธิภาพทางความร้อนสูง - ปริมาณการใช้ออกซิเจนต่ำ แก๊สมีปริมาณฝุ่นน้อย - แก๊สที่ได้มีปริมาณน้ำมันดิน (Tar) ต่ำสำหรับเตาเผาแบบแก๊สไหลลง - สำหรับระบบที่ต้องการพลังงานสูง ต้องใช้เงินลงทุนสูง 	<ul style="list-style-type: none"> - มีการถ่ายเทความร้อนดี ทำให้ความร้อนสามารถพุ่งขึ้นได้อย่างรวดเร็ว - วัสดุที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงมีขนาดแตกต่างกันได้ - มีอัตราการเปลี่ยนคาร์บอนสูง - แก๊สที่ได้มีฝุ่นปะปนมาด้วยมากกว่าแบบชั้นเชื้อเพลิงนิ่ง - ต้องการพลังงานสูงสำหรับการพ่นอากาศเพื่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของของแข็ง

1) เตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบแก๊สไหลขึ้น (Updraft Gasifier)

เตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบแก๊สไหลขึ้น เป็นเตาผลิตแก๊สชีวมวลที่ใช้ตั้งแต่ยุคเริ่มต้น และเป็นแบบที่ง่ายที่สุด เหมาะกับเชื้อเพลิงที่มีเถ้าสูง (มากถึง 15%) และมีความชื้นสูง (มากถึง 50%) มีลักษณะดังภาพที่ 2.2 เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าทางส่วนบนของเตา อากาศจะถูกส่งผ่านตะแกรงเข้ามาทางด้านล่าง บริเวณเหนือตะแกรงจะมีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดขึ้น บริเวณนี้เรียกว่าชั้นการเผาไหม้ (Combustion zone หรือ Hearth zone) ปฏิกริยาที่เกิดขึ้น จะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เป็นผลิตภัณฑ์ แก๊สร้อนที่ผ่านจากชั้นการเผาไหม้ จะมีอุณหภูมิสูงและจะถูกส่งเข้าไปในชั้นรีดักชัน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีคาร์บอนอยู่มากเพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ได้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน หลังจากนั้น แก๊สที่ได้จะไหลเข้าสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในชั้นของชีวมวล และกลั่นสลายในช่วงอุณหภูมิ 200-500 องศาเซลเซียส ต่อจากนั้น แก๊สที่ยังคงมีอุณหภูมิสูงจะไหลเข้าสู่ชั้นชีวมวลใหม่ที่เพิ่งป้อน แก๊สที่ไหลผ่านยังคงมีอุณหภูมิสูงอยู่จึงระเหยน้ำที่อยู่ในชีวมวลเหล่านั้นออกไป ทำให้แก๊สที่ออกจากเตามีอุณหภูมิต่ำลง ข้อดีของเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้นนี้คือ ส่วนประกอบไม่ซับซ้อน เชื้อเพลิงเผาไหม้ได้มาก และแก๊สที่ออกมาจากเตาผลิตแก๊สจะมีอุณหภูมิไม่สูง ส่วนข้อเสียที่สำคัญของเตาผลิต

ก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นนั้น คือ ก๊าซที่ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำ เนื่องจากมีน้ำมันดิน ผุ่นและ เชม่า ปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก

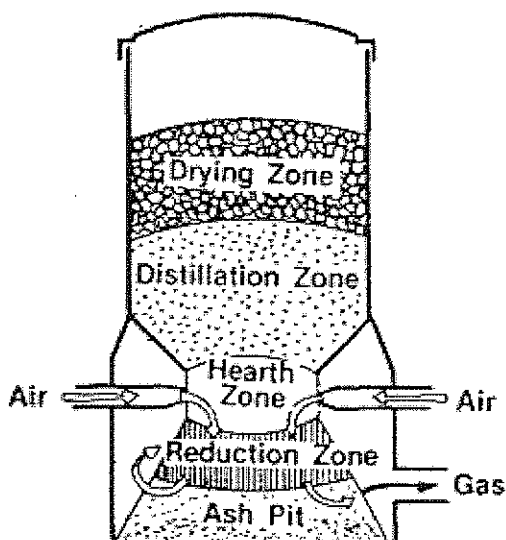


ภาพที่ 2.2 เตาเผาผลิตก๊าซชีววมวลแบบก๊าซไหลขึ้น (Reed and Das, 1988)

2) เตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบก๊าซไหลลง (Downdraft Gasifier)

เตาชนิดนี้ได้รับการออกแบบมาเพื่อขจัดปัญหาน้ำมันดินในก๊าซชีววมวล ซึ่งพบมากในเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบก๊าซไหลขึ้น ลักษณะของเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบก๊าซไหลลงแสดงดังภาพที่ 2.3 อากาศจะถูกดูดผ่านจากด้านบนลงสู่ด้านล่างโดยผ่านกลุ่มของหัวฉีด (Tuyers) บริเวณหัวฉีดจะเป็นบริเวณชั้นการเผาไหม้ ก๊าซที่ได้จากชั้นการเผาไหม้จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ในขณะที่ไหลลงสู่ด้านล่าง ผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อนอยู่เหนือตะแกรง ในขณะเดียวกัน ชั้นของชีววมวลที่อยู่ทางด้านบนของชั้นการเผาไหม้จะมีปริมาณออกซิเจนน้อยมาก ทำให้เกิดการกลั่นสลาย และจะไหลผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อน ทำให้น้ำมันดินเกิดการเผาไหม้และแตกตัวเป็นก๊าซ ซึ่งการแตกตัวนี้ จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิในช่วงระหว่าง 800-1,000 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาคายความร้อนจะทำให้อุณหภูมิลดลง แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงอุณหภูมิดังกล่าว ปฏิกิริยาคายความร้อนจะทำให้ก๊าซที่ได้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ก๊าซที่ผ่านชั้นการเผาไหม้ในเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบก๊าซไหลลง จะมีส่วนประกอบของน้ำมันดินและสารระเหยลดลงจนเหลือน้อยกว่าร้อยละ 10 ของน้ำมันดินที่ได้จากเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบก๊าซไหลขึ้น และก๊าซที่ได้จะมีความสะอาดมากกว่า ทำให้ใช้ระบบทำความสะอาดก๊าซน้อยลง เตาผลิตก๊าซแบบไหลขึ้นและ

ไอลง จะมีความเร็วของอากาศไหลผ่านต่ำ และถ้าจะอยู่บริเวณตะแกรง ดังนั้น ปริมาณไอลงที่ติดออกมากับก๊าซเชื้อเพลิงจะน้อยมาก

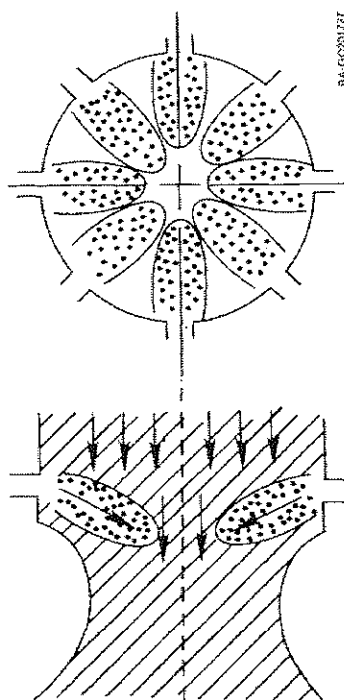


ภาพที่ 2.3 เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไอลง (Reed and Das, 1988)

ในเตาปฏิกรณ์แบบก๊าซไอลง ใช้น้ำมันดินจากชั้นไพโรไลซิส จะต้องผ่านชั้นการเผาไหม้ จึงถูกทำให้เกิดการสลายตัวทางความร้อน เตาประเภทนี้ออกแบบให้มีพื้นที่หน้าตัดลดแคบลง โดยมีการป้อนอากาศเข้าเหนือจุดพื้นที่หน้าตัดที่แคบที่สุด ที่เรียกว่า คอคอด (Throat) เพื่อกำหนดให้เกิดบริเวณถ่านร้อนแดงแคบ ๆ ที่บังคับให้ก๊าซจากชั้นไพโรไลซิสผ่าน ยิ่งบริเวณคอคอดลดลงมาก จะยิ่งทำให้อุณหภูมิบริเวณนี้เพิ่มสูงขึ้นภายในขอบเขตจำกัดระดับหนึ่ง แต่หากคอคอดเล็กเกินไป จะส่งผลให้เกิดความดันตกคร่อมมาก และเกิดการกีดขวางการไหลของก้อนเชื้อเพลิงชีวมวล ดังนั้น การออกแบบจึงต้องพยายามให้มีช่องคอคอดที่ขนาดพอเหมาะ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาของการไหลหรือความดันตกคร่อม โดยอุณหภูมิที่บริเวณเผาไหม้ต้องรักษาระดับให้สูง

ภาพที่ 2.4 แสดงแผนภาพของบริเวณออกซิเดชัน มุมมองด้านบน (Top view) และมุมมองด้านข้าง (Side view) ของท่อป้อนอากาศรอบผนัง บริเวณระหว่างท่อติดกับผนังและบริเวณตรงกลางเตาจะเป็นจุดที่ออกซิเจนไปไม่ถึง ทำให้มีอุณหภูมิต่ำ ดังนั้น ก๊าซผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซิสที่ผ่านบริเวณนี้จะไม่เกิดการเผาไหม้ แต่อาจจะมีการสลายตัวทางความร้อนได้สมบูรณ์ (Complete reforming) ระบบที่ใช้ท่อป้อนอากาศรอบผนังจึงมีโอกาที่จะปล่อยไอน้ำมันดินออกมาได้มากกว่าระบบที่ใช้ท่อป้อนอากาศตรงกลาง ซึ่งมีโซนออกซิเดชันตรงคอคอดดีและครอบคลุมกว่า อย่างไรก็ตาม ระบบที่มีท่อป้อนอากาศตรงกลางจะขวางการไหลของเชื้อเพลิง

ชีวมวลและอาจจะเพิ่มการเกิดปัญหาเกิดขวาง (Bridging) ในคอกคอดได้ ส่งผลให้ชั้นเชื้อเพลิงหลวม มีช่องให้ก๊าซและไอน้ำมันดินเล็ดลอดได้ โดยไม่เกิดปฏิกิริยาแตกตัว

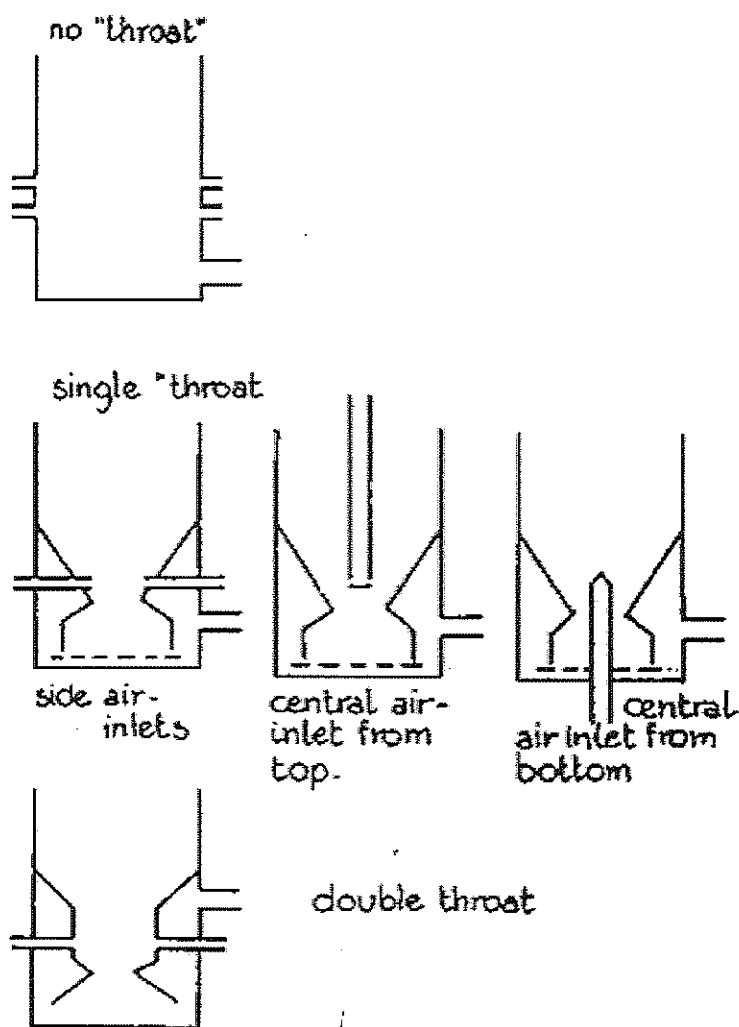


ภาพที่ 2.4 บริเวณการเกิดปฏิกิริยากับอากาศ (Reed and Das, 1988)

การเปลี่ยนแปลงขนาดคอกคอดและตำแหน่งของท่อป้อนอากาศ จะส่งผลอย่างมากต่อองค์ประกอบของก๊าซที่ได้และปริมาณน้ำมันดินที่เกิดขึ้น รูปแบบที่เหมาะสมที่สุดจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลและภาวะ ซึ่งต้องใช้ประสบการณ์ลองผิดลองถูก เตาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกว้างจะต้องการการป้อนอากาศที่ความเร็วสูง หรือวิธีการอื่นที่ช่วยจ่ายอากาศไปให้ลึกถึงกลางชั้นเชื้อเพลิง ซึ่งอาจทำให้เกิดความดันตกคร่อมสูงด้วย จึงเป็นข้อจำกัด ที่ทำให้ไม่สามารถสร้างเตาขนาดใหญ่เกินไปได้

ส่วนของเตาที่เป็นโลหะที่อยู่ใกล้บริเวณคอกคอด จะต้องมีการป้องกันความเค้นเชิงความร้อน (Thermal stress) เพราะอุณหภูมิสูงที่สุดในส่วนนี้อาจมีค่าถึง 1,300 องศาเซลเซียส วัสดุที่ใช้ควรเป็นโลหะผสมของโครเมียมและนิกเกิลสูง หากเกิดการเสียหาย (Defect) กับเตาก็ต้องเปลี่ยนทั้งหมด การออกแบบเตาควรแบ่งออกเป็น ส่วน ๆ ที่สามารถแยกออกเปลี่ยนเฉพาะส่วนได้ ตัวอย่างเช่น เตารูปตัววี (V-hearth) ซึ่งมีลักษณะเป็นตัวเตาที่เชื่อมต่อเป็นรูปทรงกรวยตัดสองอัน ปลายชี้เข้าหากัน โดยบริเวณยอดกรวยเชื่อมกันจะเป็นวงคอกคอด ซึ่งปกติจะมีวงแหวนเหล็ก

สวมไว้ เมื่อผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ชั้นเศษถ่านจะก่อตัวรอบ ๆ พื้นผิววงกตคอดเตา ป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนเกินต่อวัสดุ ในส่วนล่างของเตาเป็นบริเวณรีดักชัน ปกติจะต้องการให้ก๊าซมีเวลาอยู่ในบริเวณนี้ให้นานที่สุด ซึ่งทำได้โดยการลดความเร็วของก๊าซ โดยการค่อย ๆ ขยายพื้นที่หน้าตัดให้ใหญ่ขึ้น การไหลของอากาศผ่านท่อป้อนอากาศจะไม่สม่ำเสมอตลอดหน้าตัด หากต้องการความสม่ำเสมอสามารถทำได้โดยปล่อยอากาศเข้าทางด้านบนเหนือชั้นเชื้อเพลิง ไหลลงเข้ามาสู่บริเวณด้านล่างเพื่อทำปฏิกิริยา แบบเตาลักษณะนี้เรียกว่า เตาแกนเปิด (Open core or no throat) ไม่มีวงกตคอด จึงไม่มีปัญหาเรื่องการไหลของเชื้อเพลิง ภาพที่ 2.5 แสดงลักษณะคอดคอดแบบต่าง ๆ ในเตาผลิตก๊าซแบบไหลลง ชนิดของเตาผลิตก๊าซชีวมวลที่นิยมใช้เพื่อผลิตก๊าซชีวมวลสำหรับเครื่องยนต์สันดาป คือแบบ Double throat หรือเรียกว่าแบบ Imbert ซึ่งผลิตก๊าซที่มีทาร์ต่ำ

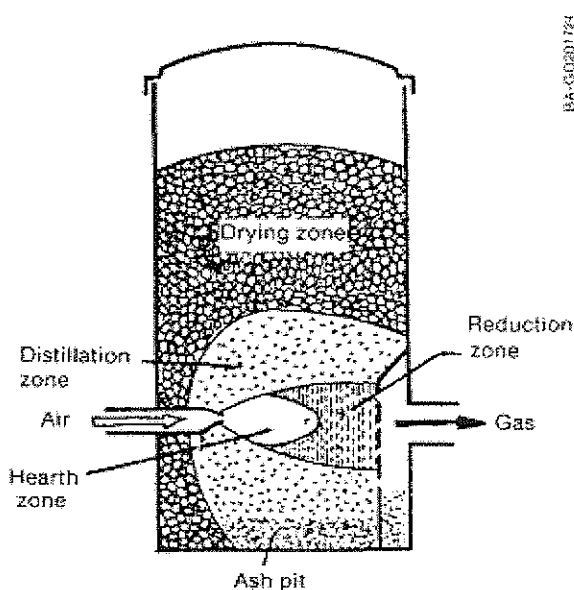


ภาพที่ 2.5 คอดคอดในเตาผลิตก๊าซแบบไหลลง (FAO, 1986)

เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบก๊าซไหลลงจะไม่เหมาะกับเชื้อเพลิงที่มีเศษ
 ถ้ำมาก เพราะสแลกหรือเศษถ้ำหลอมที่เกิดขึ้นจากบริเวณออกซิเดชันจะไหลลงด้านล่าง เย็นตัวลง
 และแข็งตัวเป็นก้อนอย่างรวดเร็ว และจะกีดขวางทางการไหลของก๊าซและเชื้อเพลิง หากจำเป็นต้อง
 ใช้กับเชื้อเพลิงที่มีเศษถ้ำมาก จะต้องทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมตัวของเศษถ้ำและใช้ตะแกรง
 ที่หมุนหรือขยับได้ เตาปฏิกรณ์แบบนี้ไม่จำเป็นต้องมีการฉีดไอน้ำเข้าไป เพราะปริมาณความชื้นใน
 เชื้อเพลิงและอากาศมีเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาอยู่แล้ว

3) เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลตามขวาง (Cross draft gasifier)

เตาผลิตก๊าซชีวมวลชนิดนี้มีลักษณะดังภาพที่ 2.6 อากาศจะถูกดูดผ่าน
 หัวฉีดซึ่งอยู่ในแนวราบ ชั้นการเผาไหม้จะอยู่ถัดจากหัวฉีดออกไป และถัดออกไปอีกจะเป็นชั้น
 รีดักชัน ก๊าซชีวมวลจะออกสู่ภายนอกโดยผ่านตะแกรงซึ่งอยู่ในแนวตั้งรอบ ๆ ชั้นการเผาไหม้ และ
 ชั้นรีดักชัน ไอสารระเหยและน้ำมันดินที่ได้จากชั้นการกลั่นสลายจะผ่านชั้นรีดักชันอุณหภูมิสูง
 ก่อนที่จะออกสู่ภายนอก ทำให้สารระเหยและน้ำมันดินเกิดการแตกตัวเป็นก๊าซก่อนที่จะออกสู่
 ภายนอก ทำให้ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้มีปริมาณน้ำมันดินต่ำ เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบนี้ได้ออกแบบให้
 เหมาะสมกับการใช้กับยานพาหนะ เนื่องจากมีน้ำหนักเบาและมีผลตอบสนองเร็วต่อการ
 เปลี่ยนแปลงของภาระเครื่องยนต์ เชื้อเพลิงที่ควรนำมาใช้กับเตาเผาแบบนี้ควรเป็นถ่านไม้ที่มี
 คุณภาพสูง



ภาพที่ 2.6 เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลตามขวาง (Reed and Das, 1988)

2.1.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (นคร ทิพย์วงศ์, 2553 ; สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2544)

ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน อุณหภูมิและความดันจะเป็นสภาวะที่กำหนดให้เกิดปฏิกิริยาบางปฏิกิริยา และเกิดก๊าซหรือสารประกอบตามสภาวะสมดุลทางเคมี โดยทั่วไป ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยามักไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ ส่วนที่อุณหภูมิมากกว่า 700 องศาเซลเซียส กระบวนการทางกายภาพ เช่น การแพร่ผสมคลุกเคล้าของก๊าซ (Diffusion) ที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับคาร์บอนจะตอบสนองไม่ทันเมื่อเทียบกับกระบวนการทางเคมีที่รวดเร็ว ทำให้ปฏิกิริยาเคมีเป็นตัวกำหนดสมดุลการเกิดปฏิกิริยาที่ขณะนั้นเท่านั้น (Kinetically influenced reactions) ภายในเตาปฏิกรณ์จะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นมากมาย สภาวะอุณหภูมิและความดันต่าง ๆ พื้นที่ที่ถูกจำกัดภายในเตา คุณสมบัติของเชื้อเพลิง ผิวสัมผัสและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ปฏิกิริยาทางเคมีบางปฏิกิริยาเกิดขึ้น โดยทั่วไปแล้ว องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะเป็นดังที่แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างส่วนประกอบก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวล

ส่วนประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง	ร้อยละโดยปริมาตร	
	Wood*	Charcoal**
H ₂	12 – 20	3-12
CO	17 – 22	23-33
CO ₂	9 – 15	3-7
CH ₄	2 – 3	0-0.9
N ₂	50 – 54	54-60

*นคร ทิพย์วงศ์ (2553)

**Kaupp and Goss (1984)

ส่วนปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีดังนี้

2.1.5.1 ความชื้นของเชื้อเพลิง (Moisture content) ช่วยทำให้สัดส่วนของก๊าซไฮโดรเจนในก๊าซเชื้อเพลิงสูงขึ้น แต่ความชื้นจะทำให้ประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซและค่าความร้อนที่ต้องการลดลง ความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง แหล่งที่มา และการเตรียมสภาพก่อนนำไปผลิตก๊าซชีวมวล ความชื้นในชีวมวลสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

- 1) ความชื้นที่มีอยู่ภายในเนื้อชีวมวล เป็นส่วนที่สามารถอยู่ในรูปเปิดของเซลล์ในชีวมวลได้ โดยสมมูลกับบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 96-97
- 2) ความชื้นที่ผิว เป็นส่วนที่สิ้นเปลืองจากความชื้นในรูปเปิดของเซลล์ชีวมวล
- 3) ความชื้นจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 20 – 250 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้ระเหยความชื้นที่ผิวและความชื้นที่อยู่ภายในเนื้อชีวมวล ถ้าต้องการนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงาน ความชื้นทั้งหมดควรมีไม่เกินร้อยละ 50

2.1.5.2 ขนาดของเชื้อเพลิง (Fuel size) จะมีผลกับการเกิดความดันตกคร่อม (Pressure drop) ภายในเตาผลิตก๊าซชีวมวล ถ้าเกิดความดันตกคร่อมภายในเตาผลิตก๊าซชีวมวลมากเกินไป จะทำให้ต้องใช้พลังงานในการนำอากาศเข้าและพาก๊าซที่ได้ออกจากเตาผลิตก๊าซชีวมวลมากขึ้น เครื่องยนต์ก็จะต้องมีแรงดูดมากพอที่จะเอาชนะความดันตกคร่อมของระบบทั้งหมด ในทางทฤษฎี อากาศควรสัมผัสกับพื้นที่ผิวของเชื้อเพลิงให้มากที่สุดเพื่อให้ได้ปริมาณก๊าซเพิ่มขึ้นและเกิดกระบวนการได้เร็วยิ่งขึ้น ในเตาผลิตก๊าซชีวมวลขนาดเล็กติดตั้งกับที่ หากใช้เชื้อเพลิงขนาดใหญ่จะเกิดปัญหาการเผาไหม้ข้ามโซน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดเถ้าหลอมเยิ้มติดผนัง (Slag) เพราะถ้าเชื้อเพลิงมีขนาดใหญ่เกินไปเมื่อเทียบกับขนาดเตาผลิตก๊าซชีวมวล เมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วเชื้อเพลิงจะไหลลงไม่สะดวกและไม่ทันกับการเผาไหม้ที่มีอากาศเข้าเท่าเดิม อัตราการป้อนอากาศต่อเชื้อเพลิงจึงสูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงถึง 2,000 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงพอที่จะเหนียวนำไปเกิดเถ้าหลอมในเชื้อเพลิงทุกชนิดได้ จึงควรที่จะมีการนำเชื้อเพลิงมาคัดเป็นชั้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 1-2 เซนติเมตร จะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น

2.1.5.3 การกระจายขนาด (Size distribution) เชื้อเพลิงที่ไม่สร้างปัญหาให้กับเตาผลิตก๊าซชีวมวลต้องมีขนาดที่สม่ำเสมอ ไม่แตกต่างกันมากนัก เพราะหากขนาดแตกต่างกันมาก อากาศและก๊าซจะไหลผ่านตามช่องว่างที่เกิดจากเชื้อเพลิงขนาดใหญ่และเล็กเกยกัน ทำให้บางบริเวณมีการเผาไหม้รุนแรงแต่บางบริเวณเย็นตัวลง และอาจสลับกันในเวลาต่อมา ทำให้เกิดการหลอมกันเป็นก้อน (Clinker)

2.1.5.4 ความหนาแน่นบัลก์ (Bulk density) เป็นค่าที่แสดงลักษณะการใช้ปริมาตรของเชื้อเพลิงนั้น กล่าวคือ เมื่อเทเชื้อเพลิงที่ผืนเม็ดลงในภาชนะ รูปทรงของแต่ละเม็ดจะทำให้ผิวของเม็ดเชื้อเพลิงแนบกันไม่ได้ นั่นคือ เกิดช่องว่างระหว่างเม็ดเชื้อเพลิงขึ้น ทำให้เปลืองปริมาตรในภาชนะ บรรจุได้น้ำหนักน้อย เนื่องจากมีช่องว่างอากาศ ทำให้ค่าความหนาแน่นโดยรวมต่ำลง โดยทั่วไปเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวมวลจะเปลืองเนื้อที่ประมาณร้อยละ 20 – 75 ของปริมาตรบรรจุ

2.1.5.5 สารระเหยในเชื้อเพลิง สารระเหย (Volatile matter) ที่ปล่อยออกมา ระหว่างปฏิกิริยา สามารถควบแน่นได้ที่อุณหภูมิ 100 – 500 องศาเซลเซียส ซึ่งจะก่อตัวเป็นน้ำมันดิน และสารระเหยที่กลั่นตัวออกมา ถ้าเชื้อเพลิงมีสารระเหยมาก อาจสร้างปัญหาได้ เนื่องจากน้ำมันดินและไอสารระเหยที่มีอุณหภูมิควบแน่น 120 – 150 องศาเซลเซียส จะเกาะฝังตัวบนผนัง จึงต้องแยกออกก่อนนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์

2.1.5.6 ชี้อ้ำมัน เกิดจากสารแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบในเชื้อเพลิง รวมตัวกับ ออกซิเจนขณะเผาไหม้ ในความเป็นจริง อาจจะมีถ่านชาร์คค้างอยู่ด้วย สัดส่วนของชี้อ้ำมันในเชื้อเพลิง จะมีผลต่อการทำงานของเตาผลิตก๊าซชีววมวล ถ้าสัดส่วนชี้อ้ำมันในเชื้อเพลิงมีค่าสูง ก็จะทำให้พลังงานของก๊าซเชื้อเพลิงลดลง และเตาผลิตก๊าซชีววมวลต้องสำรองเนื้อที่เก็บชี้อ้ำมันมากขึ้น และหากชี้อ้ำมันไหลอมตัว (ซึ่งมีโอกาสเกิดมากขึ้นเมื่อสัดส่วนชี้อ้ำมันมากขึ้น ชีววมวลส่วนใหญ่จะมีชี้อ้ำมันประมาณร้อยละ 1 – 3 ยกเว้นแกลบและฟางข้าวจะมีสัดส่วนชี้อ้ำมันประมาณร้อยละ 10 – 20) จะมีปัญหาในการเผาไหม้และการกำจัดพอสุมกร

2.1.5.7 ความหนาของชั้นเชื้อเพลิง (Bed thickness) จะมีผลต่อปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในเตาเผา ในกรณีที่ความหนาของชั้นเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้บริเวณที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันมีช่วงกว้างขึ้น ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน ส่งผลให้อุณหภูมิของเตาลดลง

2.1.6 พารามิเตอร์และการคำนวณที่เกี่ยวข้อง

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ระบบผลิตก๊าซชีววมวลมีหลายค่า เช่น อัตราการไหลของอากาศ อัตราการใช้เชื้อเพลิง ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ค่าความร้อนของก๊าซชีววมวล เป็นต้น ซึ่งค่าต่าง ๆ เหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณและประเมินสมรรถนะของระบบผลิตก๊าซต่อไป

2.1.6.1 Superficial velocity

Superficial velocity เป็นค่าที่มีความสำคัญมากในการออกแบบเตาผลิตก๊าซชีววมวล เนื่องจากเป็นค่าที่ใช้ควบคุมอัตราการผลิตก๊าซ ค่าความร้อนของก๊าซ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง พลังงานที่ได้ และอัตราการผลิตถ่านและน้ำมันดิน

Reed et al. (1999) ได้ให้คำนิยาม Superficial velocity, SV ไว้ว่า

$$SV = \frac{\text{อัตราการผลิตก๊าซชีววมวล}}{\text{พื้นที่หน้าตัดที่น้อยที่สุด}} \quad (\text{m/s}) \quad (2.10)$$

2.1.6.2 Heart load (B_s)

FAO (1986) และ Reed and Das (1988) ได้ให้ความหมายของ Heart load ไว้ว่า B_s คือ ปริมาณของเชื้อเพลิงแห้งที่ใช้หารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่น้อยที่สุด มีหน่วยเป็น $\text{kg}/\text{cm}^2/\text{h}$ และ B_g คือ ปริมาตรก๊าซที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดต่อชั่วโมง มีหน่วยเป็น $\text{m}^3/\text{cm}^2/\text{h}$ เนื่องจาก 1 kg ของเชื้อเพลิงแห้งที่อยู่ด้านล่างของพื้นที่หน้าตัดดังกล่าว สามารถผลิตก๊าซชีวมวลได้ 2.5 m^3 ดังนั้นสามารถเขียนความสัมพันธ์ของค่าทั้ง 2 ได้ดังสมการที่ (2.11) และสมการที่ (2.12)

$$B_g = 2.5 B_s \quad (2.11)$$

$$\text{และ } B_g = 0.36 \text{ SV (Reed, 1999)} \quad (2.12)$$

โดยทั่วไปแล้วค่า Heart load จะใช้ในการออกแบบเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบไหลลงเท่านั้น ซึ่งค่า Heart load นี้เป็นหัวใจหลักของการออกแบบ เพื่อกำหนดค่าอื่น ๆ ต่อไป

2.1.6.3 อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio, $ER \phi$,)

เพื่อลดจำนวนพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะของระบบผลิตก๊าซชีวมวล จึงได้มีการกำหนด อัตราส่วนสมมูลขึ้น โดยให้นิยามว่า อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำหนักของอากาศต่อน้ำหนักเชื้อเพลิงแห้งจริง เทียบกับ อัตราส่วนผสมของน้ำหนักของอากาศต่อน้ำหนักของเชื้อเพลิงแห้งตามทฤษฎี ในการวิเคราะห์ระบบผลิตก๊าซชีวมวลสามารถคำนวณโดยใช้สูตรคำนวณ ดังสมการที่ 2.13

$$\text{Equivalence ratio } \phi = \frac{(\text{Flow rate of air supply}) \times (\text{Duration of the run})}{(\text{Mass in put of wood}) \times \left(\frac{A}{F} \text{ for } \phi = 1 \right)} \quad (2.13)$$

ซึ่ง อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F) สำหรับ $\phi = 1$ คือ $5.22 \text{ m}_{\text{air}}^3/\text{kg}$ ของชีวมวลแห้ง

อัตราส่วนสมมูล สำหรับการผลิตก๊าซชีวมวลในช่วง 0.268-0.43 ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วอยู่ในช่วง 0.19 – 0.43 (Zainal et al., 2002)

กรณี $ER = 0$ เป็นการสลายตัวด้วยความร้อนโดยไม่ใช้อากาศหรือปฏิกิริยาไพโรไลซิส

และกรณี $ER = 1$ แสดงถึงการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ 100% พอดีตามทฤษฎี (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2544)

2.1.6.4 อัตราแก๊สซิฟิเคชันจำเพาะ (Specific gasification rate: SGR)

อัตราแก๊สซิฟิเคชันจำเพาะเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณเชื้อเพลิงแข็งที่ใช้ไปกับการแก๊สซิฟิเคชันให้ได้ก๊าซชีวมวล ต่อ 1 หน่วยพื้นที่ของคอคอดหรือตะแกรง ในเวลา 1 ชั่วโมง หน่วยที่ใช้บอกปริมาณ คือ $\text{kg/m}^2\text{-h}$ โดยคิดจากน้ำหนักเชื้อเพลิงที่ไม่มีความชื้น

2.1.6.5 Turn Down Ratio

ค่าสำคัญที่เป็นตัวบอกความสม่ำเสมอที่จะเดินเครื่องได้ทั้งขณะเบาเครื่องและเร่งเครื่อง คือค่า Turn Down Ratio สำหรับเครื่องผลิตก๊าซ

$$\text{ค่า Turn Down Ratio} = \frac{\text{ค่าสูงสุดของอัตราแก๊สซิฟิเคชันที่เกิดขึ้นได้}}{\text{ค่าต่ำสุดของอัตราแก๊สซิฟิเคชันที่เกิดขึ้นได้}} \quad (2.14)$$

ค่าสูงสุดของอัตราแก๊สซิฟิเคชันของเครื่องผลิตก๊าซแบบไหลลง = $1 \text{ m}^3/\text{cm}^2\text{-h}$ กรณีใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง ค่าต่ำสุดของอัตราแก๊สซิฟิเคชันของเครื่องผลิตก๊าซชนิด Imbert = $0.3 \text{ m}^3/\text{cm}^2\text{-h}$ ค่า Turn Down Ratio ที่เหมาะสมกับรถยนต์ทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 4-6 (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2544)

2.1.6.6 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency) (FAO, 1986)

ค่าที่มีความสำคัญทางด้านเทคนิคในการอธิบายความสามารถของระบบผลิตก๊าซชีวมวล คือ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน โดยนิยามแล้ว คือ ปริมาณพลังงานความร้อนของก๊าซชีวมวลที่ได้ต่อพลังงานของเชื้อเพลิงที่ใช้ สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\eta_m = \frac{H_g \times Q_g}{H_s \times Q_s} \times 100 \quad (2.15)$$

โดย η_m = ประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวมวล (%)

H_g = ค่าความร้อนของก๊าซชีวมวล (kJ/m^3)

Q_g = อัตราการไหลของก๊าซชีวมวล (m^3/s)

H_s = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงชีวมวล (kJ/kg)

M_s = อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/s)

2.1.6.7 ค่าความร้อนของก๊าซชีววมวลที่ผสมกับอากาศแล้ว

ค่าความร้อนของก๊าซชีววมวลที่ผสมกับอากาศที่เหมาะสมทางทฤษฎี เพื่อให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์แล้ว สามารถคำนวณได้จาก องค์ประกอบของก๊าซ (FAO, 1986) ตามสูตรดังนี้

$$H_{ig} = \frac{12680V_{CO} + 10800V_{H_2} + 35900V_{CH_4}}{1 + 2.38V_{CO} + 2.38V_{H_2} + 9.52V_{CH_4}} \quad (2.16)$$

โดย

H_{ig} คือ ค่าความร้อนของก๊าซชีววมวลที่ผสมกับอากาศ (kJ/m^3)

V_{CO} คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของคาร์บอนมอนอกไซด์ในก๊าซ (ก่อนผสมกับอากาศ)

V_{H_2} คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของไฮโดรเจนในก๊าซ (ก่อนผสมกับอากาศ)

V_{CH_4} คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของมีเทนในก๊าซ (ก่อนผสมกับอากาศ)

ค่าความร้อนของก๊าซชีววมวลที่ผสมกับอากาศแล้วจะมีค่าประมาณ $2,500 \text{ kJ/m}^3$

2.1.6.8 ค่าความร้อนของชีววมวล สามารถคำนวณได้จาก

$$Q = -8,419.7 + 479.3 C + 667.6 H + 58.8 O - 1,207.7 S \quad (2.17)$$

โดย Q เป็นค่าความร้อนสูงสุดต่อ 1 กิโลกรัม (MJ/kg) ชีววมวลแห้ง และ C , H , O และ S คือค่าตัวเลขเป็นค่าร้อยละโดยน้ำหนักของคาร์บอน, ไฮโดรเจน, ออกซิเจน และซัลเฟอร์ ตามลำดับ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2544)

2.2 เครื่องยนต์ก๊าซชีวมวล

เครื่องยนต์สันดาปภายใน เป็นเครื่องยนต์ที่ขับเคลื่อนโดยการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงภายในปริมาตรจำกัด จนเกิดการระเบิดให้กำลังงานออกมา เครื่องยนต์ที่ใช้งานแพร่หลาย ได้แก่ เครื่องยนต์ดีเซล ที่ประดิษฐ์โดย Rudolph Diesel และเครื่องยนต์ Otto หรือเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ที่เรียกในประเทศไทยว่า เครื่องยนต์เบนซิน ซึ่งประดิษฐ์โดย Nikolas August Otto

การใช้งานก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงสำหรับขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาปภายใน เพื่อใช้เป็นต้นกำลัง สำหรับงานกลหรือสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นเรื่องที่น่าสนใจมาก แต่ในการใช้งาน มีข้อที่จะต้องพิจารณาคือ เมื่อใช้ก๊าซชีวมวลผสมอากาศ จะมีความหนาแน่นของพลังงาน (Energy density) ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลผสมอากาศ และก๊าซโซลีนผสมอากาศ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2544) จึงให้กำลังออกมาต่ำกว่า ที่เครื่องยนต์เดียวกัน

ก๊าซชีวมวลสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในแบบลูกสูบได้ โดยแบ่งตามลักษณะการใช้เชื้อเพลิงได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.2.1 เครื่องยนต์เชื้อเพลิงเดี่ยว

เครื่องยนต์เชื้อเพลิงเดี่ยว เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวมวลเพียงอย่างเดียว จูกระเบิดด้วยประกายไฟ ดัดแปลงมาจากเครื่องยนต์แก๊สโซลีนหรือเครื่องยนต์ดีเซลก็ได้ มีข้อดีคือ สามารถทำงานได้โดยใช้ก๊าซชีวมวลเพียงอย่างเดียว

เครื่องยนต์จูกระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ดัดแปลงมาจากเครื่องยนต์เบนซินและเครื่องยนต์ดีเซล มีสิ่งที่จำเป็นต้องปรับปรุงดังนี้

2.2.1.1 กรณีดัดแปลงจากเครื่องยนต์จูกระเบิดด้วยประกายไฟ

เครื่องยนต์จูกระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง เมื่อนำมาดัดแปลงให้ใช้งานกับก๊าซชีวมวล จะผลิตกำลังได้น้อยกว่าเดิม เนื่องจากเครื่องยนต์มีประสิทธิภาพในการดูดไอดีลดลง เพราะผลของอุณหภูมิที่มีต่อความหนาแน่นของไอดี และอีกประการหนึ่งที่สำคัญคือ ผลจากความหนาแน่นของพลังงาน (Energy density) ซึ่งเมื่อเทียบกับน้ำมันแก๊สโซลีนที่ผสมกับอากาศจนได้อัตราส่วนที่เหมาะสมแล้ว ส่วนผสมของก๊าซชีวมวลกับอากาศ จะมีความหนาแน่นของพลังงานต่ำกว่าส่วนผสมของน้ำมันแก๊สโซลีนกับอากาศประมาณร้อยละ 30 (Sridhar, 2008) การดัดแปลงจากเครื่องยนต์จูกระเบิดด้วยประกายไฟเพื่อให้มีกำลังสูงขึ้น ต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ดังนี้

1) ติดตั้งอุปกรณ์ผสมก๊าซเชื้อเพลิงกับอากาศ (Air-gas mixer) ที่บริเวณท่อร่วมไอดีก่อนเข้าคาร์บูเรเตอร์ หรือบริเวณหัวลิ้นปีกผีเสื้อเพื่อผสมอากาศและก๊าซเชื้อเพลิง ถ้าเป็นเครื่องหัวฉีดให้อาหัวฉีดออก แต่ถ้าต้องการให้เครื่องยนต์สามารถใช้กับน้ำมันแก๊สโซลีนได้

ด้วย ก็ไม่ต้องเอาหัวฉีดหรือคาร์บูเรเตอร์ออก เพียงแต่ติดตั้ง Air-gas mixer ที่ท่อร่วมไอดีและทำสวิทช์ เลือกว่าจะให้น้ำมันหรือก๊าซไหลเข้าเครื่องยนต์

2) ติดตั้งวาล์วปรับอัตราการไหลของก๊าซชีวมวลและอากาศ เพื่อที่จะควบคุมปริมาณก๊าซและอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสม

3) ปรับองศาจุดระเบิดให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิง และอัตราส่วนการอัด (Compression ratio) โดยเชื้อเพลิงที่มีความเร็วในการเผาไหม้จำเป็นต้องปรับองศาจุดระเบิดให้เร็วขึ้น ในขณะที่อัตราส่วนการอัดสูงต้องปรับองศาจุดระเบิดให้ช้าใกล้ศูนย์ตายบนมากขึ้น

4) เพิ่มค่าอัตราส่วนการอัด ถ้าเป็นไปได้ควรเพิ่มอัตราส่วนการอัดให้สูงขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ แต่มีข้อจำกัดในการเพิ่มอัตราส่วนการอัดต้องไม่สูงจนทำให้เครื่องยนต์เกิดการน็อกขึ้น

2.2.1.2 กรณีดัดแปลงจากเครื่องยนต์ดีเซล ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ดังนี้

1) ติดตั้งอุปกรณ์ผสมก๊าซเชื้อเพลิงกับอากาศ (Air-gas mixer) ที่บริเวณท่อร่วมไอดี บริเวณหน้าลิ้นปีกผีเสื้อเพื่อผสมอากาศกับเชื้อเพลิง

2) ติดตั้งลิ้นปีกผีเสื้อ เพื่อใช้ควบคุมอัตราการไหลของไอดี

3) ติดตั้งวาล์วปรับอัตราการไหลของก๊าซชีวมวลและอากาศ เพื่อควบคุมปริมาณก๊าซชีวมวลและอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสม

4) ถอดหัวฉีดดีเซลออกแล้วติดตั้งหัวเทียนแทน และติดตั้งระบบจุดระเบิดใหม่เข้าไป

2.2.2 เครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม (Dual fuel engine)

เครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง 2 ชนิดร่วมกัน ชนิดหนึ่งเป็นก๊าซ อีกชนิดหนึ่งเป็นน้ำมัน (ของเหลว) การเผาไหม้ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมใช้หลักการของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดร่วมกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ คือ อากาศและก๊าซเชื้อเพลิงได้รับการผสมกันก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และถูกอัดจนความดันและอุณหภูมิสูง หลังจากนั้น น้ำมันดีเซลชนิดนำ (Pilot diesel) บางส่วน จะถูกฉีดเข้าไปก่อนสิ้นสุดกระบวนการอัด เพื่อช่วยในการจุดระเบิด และเกิดการเผาไหม้ของส่วนผสมเชื้อเพลิงก๊าซกับอากาศและน้ำมันที่อยู่ในห้องเผาไหม้ต่อไป ประโยชน์ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมคือ สามารถใช้เชื้อเพลิง 2 ชนิด ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันได้ และเมื่อก๊าซเชื้อเพลิงหมด เครื่องยนต์ยังสามารถทำงานโดยใช้วัฏจักรดีเซลได้ตามปกติ

2.2.3 อุปกรณ์ผสมอากาศกับก๊าซเชื้อเพลิง (Air-gas mixer)

อุปกรณ์ผสมอากาศกับก๊าซเชื้อเพลิง (Mixing device) แบ่งออกได้หลายชนิด เช่น

2.2.3.1 อุปกรณ์ผสมอากาศกับก๊าซอย่างง่าย (Simple mixing device)

อุปกรณ์ผสมอากาศกับก๊าซเชื้อเพลิงอย่างง่ายที่สุดคือ แบบ T-joint tube mixer ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ปกติจะนำมาใช้งานในกรณีที่เครื่องยนต์ทำงานที่สภาวะคงที่ คือ มีภาระคงที่ และความเร็วรอบคงที่ ตัวอย่างเช่น เมื่อนำเครื่องยนต์ไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือนำไปขับเครื่องสูบน้ำที่มีอัตราการไหลและ Head คงที่ การควบคุมอัตราส่วนอากาศกับก๊าซเชื้อเพลิงทำได้โดยการปรับวาล์วอากาศเข้าและวาล์วก๊าซเชื้อเพลิงเข้า

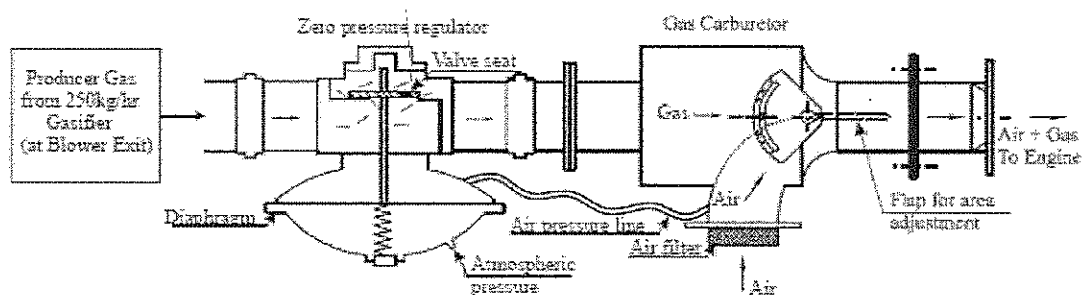
2.2.3.2 Venturi mixer

Venturi mixer เป็นอุปกรณ์ที่ผสมอากาศกับก๊าซที่สามารถควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงได้ดี สามารถเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงได้ตามต้องการ Venturi mixer มีคุณลักษณะเช่นเดียวกับคาร์บูเรเตอร์ คือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอากาศที่ไหลเข้าสู่เครื่องยนต์ จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความดันที่คอคออด ซึ่งผลดีคือ กรณีที่มีปริมาณของอากาศไหลเข้าสู่เครื่องยนต์มากจะทำให้ความเร็วของอากาศที่บริเวณคอคออดมีค่าสูง ความแตกต่างของความดันระหว่างก๊าซเชื้อเพลิงและอากาศที่คอคออดมีค่าสูง ปริมาณก๊าซจะไหลเข้ามาผสมกับอากาศที่คอคออดได้มาก กรณีที่มีปริมาณของอากาศไหลเข้าสู่เครื่องยนต์น้อย จะทำให้ความเร็วของอากาศที่บริเวณคอคออดมีค่าต่ำ ความแตกต่างของความดันระหว่างเชื้อเพลิงก๊าซและอากาศที่คอคออดมีค่าต่ำ ทำให้ก๊าซปริมาณเพียงเล็กน้อยไหลเข้ามาผสมกับอากาศที่คอคออด ดังนั้นปริมาณเชื้อเพลิงจะขึ้นอยู่กับ การปรับลิ้นปีกผีเสื้อ ปรับปริมาณของอากาศที่เข้ามา

การออกแบบ Mixer หรือคาร์บูเรเตอร์สำหรับเครื่องยนต์ก๊าซชีวมวล ซึ่ง เป็นก๊าซที่มีค่าความร้อนต่ำและมีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงประมาณ 1.2-1.4 (Sridhar et al., 2005) มีข้อควรคำนึงถึงดังนี้

- (1) สามารถรักษาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ต้องการ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาระหรือการเปิดลิ้นปีกผีเสื้อ
- (2) ทำงานได้ราบเรียบ (Smooth) มีความดันตกคร่อมน้อย
- (3) คัดการจ่ายก๊าซทันทีที่เครื่องยนต์หยุดหรือดับ
- (4) สามารถทราบอัตราการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงได้ตลอดเวลา (On-line provision) ในขณะทดสอบ

จากข้อกำหนดต่าง ๆ Sridhar et al. (2005) ได้ออกแบบคาร์บูเรเตอร์สำหรับเครื่องยนต์ก๊าซชีวมวลดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 คาร์บูเรเตอร์สำหรับก๊าซชีววมวลพร้อมอุปกรณ์ชุดเซวแรงดัน (Sridhar et al., 2005)

นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาการจำลองการไหลของส่วนผสมอากาศกับเชื้อเพลิง เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการออกแบบคาร์บูเรเตอร์สำหรับเครื่องยนต์ก๊าซชีววมวล โดยใช้ CFD โดย Anil et al. (2006) ดังแสดงในภาพที่ 2.8 และ Vinay et al. (2008)

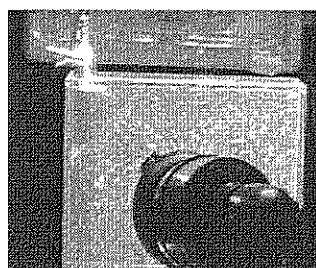


Plate 1

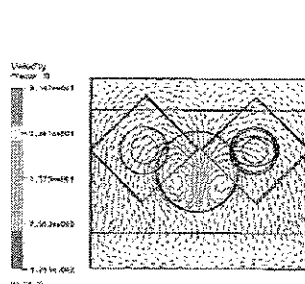
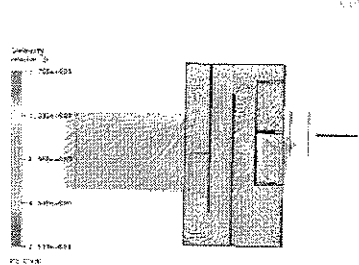
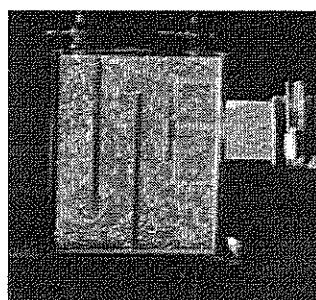


Figure 10



ภาพที่ 2.8 การจำลองการไหลของส่วนผสมอากาศกับเชื้อเพลิง (Anil et al., 2006)

2.3 การวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องยนต์สันดาปภายใน

สมรรถนะของเครื่องยนต์หมายถึง ความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ สำหรับสมรรถนะหรือความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์จะถูกกำหนดโดย กำลังสูงสุดหรือทอร์กสูงสุดที่ให้ออกมาที่อัตราเร็วรอบหนึ่ง ๆ ตลอดช่วงเวลาการใช้งานของเครื่องยนต์ ช่วงของอัตราเร็วเครื่องยนต์ (อัตราเร็วรอบการหมุน) และกำลังที่เครื่องยนต์ทำงานได้ดี

กำลังและอัตราเร็วที่นิยมใช้ในการแสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์จะแบ่งเป็น

- (1) กำลังที่กำหนดสูงสุด (Maximum rated power) เป็นกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ให้ออกมาได้ในช่วงการทำงานสั้น ๆ
- (2) กำลังที่กำหนดปกติ (Normal rated power) เป็นกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ให้ออกมาได้สำหรับการทำงานอย่างต่อเนื่อง
- (3) อัตราเร็วที่กำหนด (Rated speed) เป็นอัตราเร็วรอบการหมุนของเพลาคือเพลาข้อเหวี่ยงซึ่งกำลังที่กำหนดถูกให้ออกมา

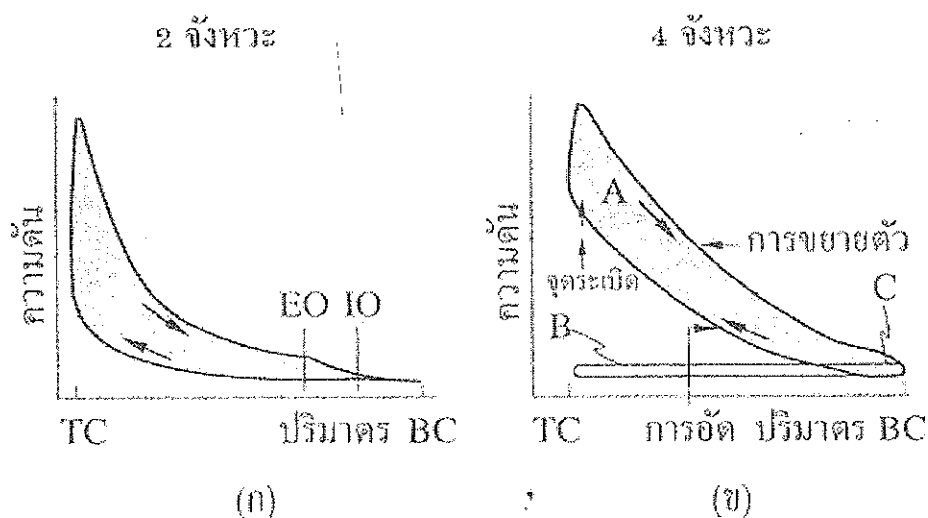
2.3.1 กำลัง

กำลัง (Power) เป็นค่าที่ใช้ในการกำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน และเป็นค่าที่กำหนดความต้องการของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ที่จะใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อน พารามิเตอร์เกี่ยวกับกำลังมีอยู่หลายตัวคือ กำลังบ่งชี้ กำลังเบรก และกำลังความเสียดทาน

2.3.1.1 กำลังบ่งชี้

กำลังบ่งชี้ (Indicated power, P_i) เป็นกำลังที่ถ่ายทอดจากแก๊สภายในกระบอกสูบไปสู่ลูกสูบ กำลังบ่งชี้หาได้จากงานที่แก๊สถ่ายทอดไปสู่ลูกสูบต่อวัฏจักรการทำงาน (Indicated work per cycle, W_{ci}) ที่ได้จากการอินทิเกรตโดยรอบกราฟระหว่างความดันและปริมาตรกระบอกสูบ (P-V diagram) ตลอดวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ ดังสมการที่ (2.18)

$$W_{ci} = \oint p dV \quad (2.18)$$



ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างของกราฟระหว่างความดันและปริมาตรกระบอกสูบของ (ก) เครื่องยนต์สอง จังหวะ (ข) เครื่องยนต์สี่จังหวะ (วีระศักดิ์ กรัยวิเชียร, 2549)

กราฟระหว่างความดันและปริมาตรกระบอกสูบ ดังแสดงในภาพที่ 2.9 จะหาได้โดยตรงจากเครื่องมือที่เรียกว่าอินดิเคเตอร์เครื่องยนต์ (Engine indicator) ซึ่งเดิมใช้เป็นอินดิเคเตอร์เชิงกล แต่ปัจจุบันนิยมใช้อินดิเคเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้อินดิเคเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ที่สามารถวัดข้อมูลได้แม่นยำและนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาค่าอื่น ๆ ต่อได้

ในการหากำลังบ่งชี้ นอกจากจะหางานต่อวัฏจักรแล้ว ยังจะต้องวัด อัตราเร็วรอบการหมุนของเพลาช้อเหวี่ยงด้วย ซึ่งจะได้กำลังบ่งชี้ต่อกระบอกสูบ (P_i) เป็นดังสมการที่ (2.19)

$$P_i = \frac{W_{c,i} N}{n_R} \quad (2.19)$$

โดย N เป็นอัตราเร็วรอบการหมุนของเพลาช้อเหวี่ยง

n_R เป็นจำนวนรอบการหมุนของเพลาช้อเหวี่ยงที่ได้จังหวะกำลัง 1 จังหวะ ต่อสูบ สำหรับเครื่องยนต์สองจังหวะ $n_R = 1$ และสำหรับเครื่องยนต์สี่จังหวะ $n_R = 2$

2.3.1.2 กำลังเบรก

กำลังเบรก (Brake power, P_b) เป็นกำลังที่วัดได้ที่เพลาช้อเหวี่ยงหรือที่ล้อ ตุนกำลังของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังที่นำไปใช้งานได้ การวัดกำลังเบรกจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า

ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) ซึ่งมีอยู่หลายชนิด โดยจะวัดออกมาในรูปของทอร์ก (Torque, T) และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ สามารถคำนวณทอร์กและกำลังเบรคได้ดังสมการที่ 2.20 และสมการที่ 2.21

$$T = Fr \quad (2.20)$$

และกำลังเบรค

$$P_b = 2\pi NT \quad (2.21)$$

โดย N เป็นรอบการหมุนของเพลาคือเหวี่ยงซึ่งในหน่วยเอสไอจะได้

$$P_b \text{ (หน่วยเป็น kW)} = 2\pi N \text{ (หน่วยเป็น rev/s)} T \text{ (หน่วยเป็น Nm)} \times 10^{-3}$$

2.3.1.3 กำลังเสียดทาน

กำลังเสียดทาน (Friction power, P_f) เป็นกำลังที่รวมเอากำลังที่ใช้ในการนำไอดีเข้าและไอเสียออก กำลังที่เอาชนะความเสียดทานของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ และกำลังที่ใช้ในการขับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการทำงานของเครื่องยนต์

2.3.2 ประสิทธิภาพเชิงกล

จากนิยามของกำลังบ่งชี้และกำลังเบรค จะได้ซึ่งอัตราส่วนระหว่างกำลังเบรคกับกำลังบ่งชี้จะเรียกว่า ประสิทธิภาพเชิงกล (Mechanical efficiency, η_m) ซึ่งประสิทธิภาพเชิงกลจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของลิ้นเร่ง การออกแบบเครื่องยนต์และอัตราเร็วของเครื่องยนต์

2.3.3 ความดันยังผลเฉลี่ย

ในขณะที่ทอร์กเป็นการวัดความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ แต่ทอร์กจะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องยนต์ จึงมีการกำหนดการวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบขึ้น โดยได้จากการหางานต่อวัฏจักรด้วยปริมาตรกระจัดต่อวัฏจักร ค่าที่ได้มีหน่วยแรงต่อพื้นที่ จึงเรียกว่าความดันยังผลเฉลี่ย (Mean effective pressure, mep) ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.22)

$$mep = \frac{P(kW) \cdot h_R \times 10^3}{V_d (dm^3) N (rev/s)} \quad (2.22)$$

โดย V_d เป็นปริมาตรกระจัด

ค่าความดันยังผลเฉลี่ย จะขึ้นอยู่กับกำลังที่ใช้ในการหา ถ้าใช้กำลังบ่งชี้ก็จะได้เป็น ความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ (Indicated mean effective pressure, imep) และถ้าใช้เป็นกำลังเบรก ก็จะได้ เป็นความดันยังผลเฉลี่ยเบรก (Brake mean effective pressure, bmep) สำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิด ด้วยประกายไฟแบบนำไอดีเข้าโดยธรรมชาติจะมีค่า bmep อยู่ในช่วง 850 ถึง 1050 kPa ที่อัตราเร็ว เครื่องยนต์ที่ได้ทอร์คสูงสุด

2.3.4 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

ในการทดสอบเครื่องยนต์ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะถูกวัดเป็นอัตราการไหลเชิง มวล (\dot{m}_f) ซึ่งเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก ดังนั้น เพื่อให้สามารถนำไปใช้ ในการเปรียบเทียบได้ จึงกำหนดในรูปของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption, sfc) ซึ่งเป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังที่ให้ออกมาและเป็นการวัด ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานออกมา คำนวณได้ดังสมการที่ (2.23)

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad (2.23)$$

ในหน่วยเอสไอจะได้ sfc (หน่วยเป็น mg/J) = \dot{m}_f (หน่วยเป็น g/s) / P (หน่วยเป็น kW)

ค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะยิ่งต่ำยิ่งดี และโดยทั่วไปแล้วจะคำนวณในรูป ของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption, bsfc) คืออัตราการไหล ของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังเบรกที่ให้ออกมา

2.3.5 อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิง

อัตราการไหลของมวลอากาศ (\dot{m}_a) และอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง (\dot{m}_f) มักจะถูกวัดในการทดสอบเครื่องยนต์ อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิง คำนวณได้สมการที่ (2.24) ค่าที่คำนวณได้จะเป็นประโยชน์ในการกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์

$$\text{อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F)} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \quad (2.24)$$

ในช่วงการทำงานปกติสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟทั่วไปที่ใช้น้ำมันแก๊สโซลีนจะมีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง $12 < A/F < 18$ และสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง $18 < A/F < 70$ (วีระศักดิ์ กรีวิเชียร, 2549)

2.3.6 อัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง

ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง โดยทั่วไปจะมีค่าอัตราส่วนกำลังอัดอยู่ในช่วง 8-12 และสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดจะมีค่า 12-24 แต่เมื่อนำมาใช้กับก๊าซเชื้อเพลิงจะต้องมีการปรับอัตราส่วนการอัดให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและกำลังที่สูงขึ้น การคำนวณอัตราส่วนการอัด (Compression ratio, CR) หาได้จากสมการที่ (2.25)

$$CR = \frac{\text{ปริมาตรกระบอกสูบสูงสุด}}{\text{ปริมาตรกระบอกสูบต่ำสุด}} = \frac{V_d + V_c}{V_c} \quad (2.25)$$

โดย V_d = ปริมาตรกระจัด

V_c = ปริมาตรช่องว่าง

จากการศึกษาพบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงสามารถปรับอัตราส่วนการอัดได้สูงถึง 17:1 โดยไม่มีสัญญาณการน็อกเกิดขึ้น (Sridhar et al., 2001) การเพิ่มอัตราส่วนการอัดสามารถทำได้โดย

- 1) เปลี่ยนลูกสูบเพื่อลดขนาด Clearance Volume
- 2) เปลี่ยนฝาสูบเพื่อลดขนาด Clearance Volume
- 3) ปาดฝาสูบหรือเปลี่ยนปะเก็นฝาสูบให้บางลงเพื่อลดขนาด Clearance Volume

2.4 คุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์สันดาปภายใน

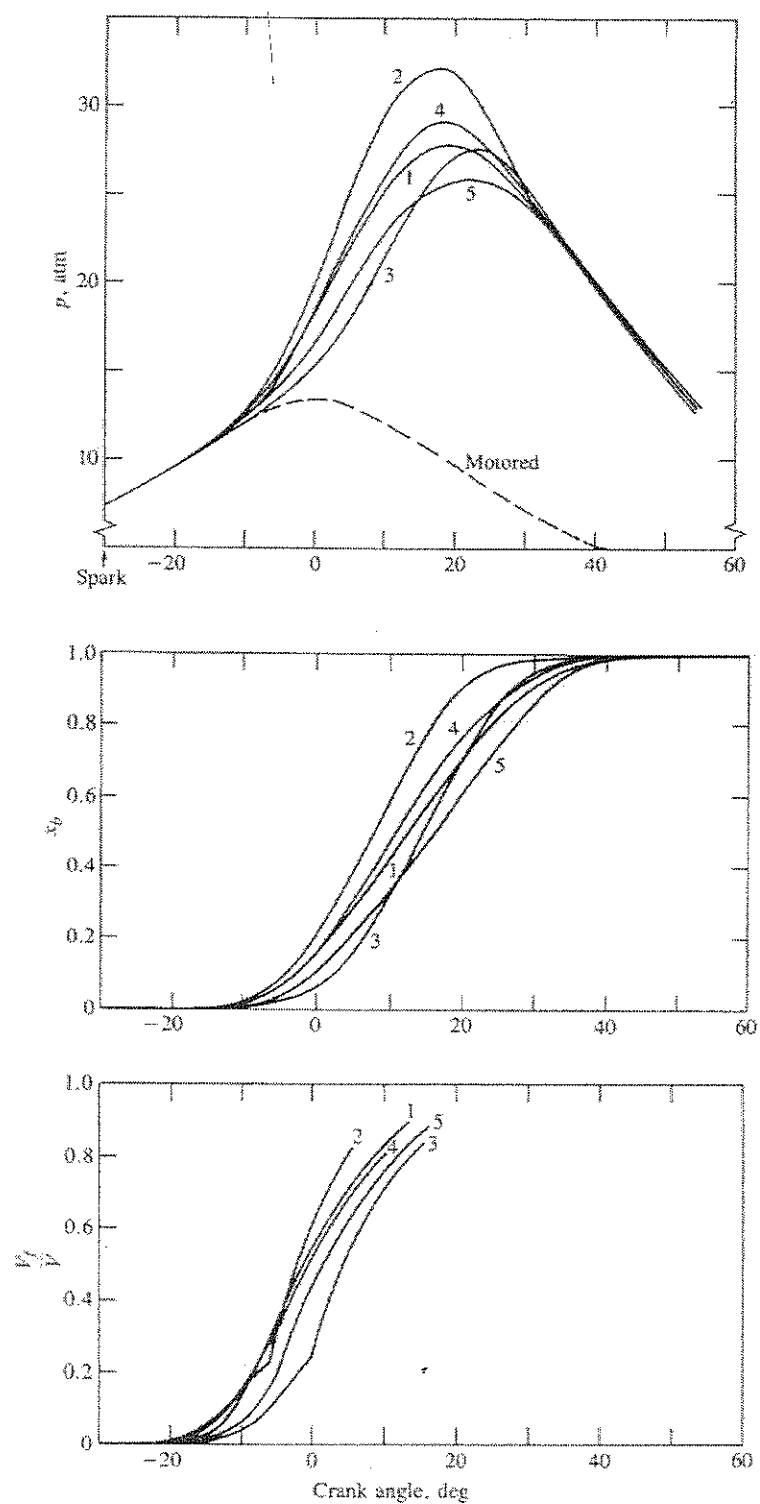
2.4.1 การเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟทั่วไป เชื้อเพลิงและอากาศจะผสมเข้าด้วยกันในระบบไอดี และถูกดูดผ่านวาล์วไอดีเข้ามาในกระบอกสูบ ผสมกับก๊าซไอเสียที่ตกค้างอยู่ในกระบอกสูบ แล้วถูกอัด ภายใต้สภาวะการทำงานปกติการเผาไหม้เริ่มขึ้นที่จุดสิ้นสุดของจังหวะอัด เมื่อหัวเทียนปล่อยประกายไฟ ทำให้เกิดเปลวไฟแบบปั่นป่วน (Turbulent) ขึ้น แล้วเปลวไฟจึงลามต่อไปยังส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศและไอเสียที่เผาไหม้แล้ว จนลามไปถึงผนังกระบอกสูบและดับลงในที่สุด ซึ่งเป็นการสิ้นสุดกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ลักษณะที่สำคัญของกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

สามารถแสดงได้ด้วยข้อมูลที่เก็บจากวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟหลาย ๆ วัฏจักรต่อกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.10 ซึ่งได้มาจากการเก็บข้อมูลจากการทดลองมา 5 วัฏจักรต่อเนื่องกัน ข้อมูลเหล่านี้ได้แก่ ความดันในกระบอกสูบ สัดส่วนมวลที่เผาไหม้ และสัดส่วนของปริมาตรที่เผาไหม้ แสดงเป็นความสัมพันธ์กับมุมข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ เมื่อจุดระเบิดด้วยประกายไฟ ช่วงแรกพลังงานที่ปล่อยออกมาจากการก่อตัวของเปลวไฟมีผลน้อยมากต่อการเพิ่มขึ้นของความดัน เมื่อเปลวไฟขยายตัวและแพร่กระจายไปในห้องเผาไหม้ ความดันจะเพิ่มขึ้นโดยมีค่ามากกว่าความดันในกระบอกสูบที่ไม่มีการเผาไหม้ความดันมีค่าสูงสุดเมื่อลูกสูบอยู่หลังจากศูนย์ตายบน แต่ในขณะนั้นไอดียังเผาไหม้ไม่หมด และความดันมีค่าลดลงขณะที่ปริมาตรภายในกระบอกสูบเพิ่มขึ้นในช่วงจังหวะขยาย

การก่อตัวและการขยายตัวของเปลวไฟจะแปรผันไปในแต่ละวัฏจักร ซึ่งจะเห็นได้จากรูปร่างของเส้นโค้งความดัน สัดส่วนมวลที่เผาไหม้ และสัดส่วนของปริมาตรในกระบอกสูบที่เผาไหม้ ที่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้ เนื่องจากการขยายตัวของเปลวไฟขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่และองค์ประกอบของสารผสมที่ตำแหน่งนั้น ๆ ซึ่งค่าเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวัฏจักร รวมทั้งเปลี่ยนไปในแต่ละสูบของเครื่องยนต์ด้วย การแปรผันระหว่างวัฏจักรต่อวัฏจักร รวมทั้งการแปรผันระหว่างสูบต่อสูบในการเผาไหม้มีความสำคัญมาก เพราะถ้ามีความแปรผันสูงก็จะทำให้การทำงานของเครื่องยนต์ไม่มีเสถียรภาพ พิจารณาจากภาพที่ 2.10 พบว่า ความชันของกราฟสัดส่วนปริมาตรที่เปลวไฟผ่านไปแล้วมีความชันมากกว่าความชันของกราฟสัดส่วนมวลที่เผาไหม้แล้ว เป็นเพราะความหนาแน่นของก๊าซที่ยังไม่เผาไหม้ซึ่งเปลวไฟยังแพร่มาไม่ถึงมีค่าเป็นสี่เท่าของก๊าซส่วนที่ถูกเผาไหม้แล้ว เช่นเดียวกัน ยังมีก๊าซที่ยังไม่เผาไหม้บางส่วนอยู่หลังเปลวไฟแม้ในกรณีที่ห้องเผาไหม้มีเปลวไฟแพร่กระจายไปทั่วแล้วแต่ก็ยังมีส่วนผสมประมาณร้อยละ 25 ของสัดส่วนมวลที่คงเผาไหม้อยู่

การเผาไหม้จะต้องเกิดขึ้นในช่วงที่เหมาะสม เพื่อให้ได้กำลังหรือทอร์คสูงสุด ซึ่งช่วงการขยายตัวและการแพร่ของเปลวไฟโดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 30 ถึง 90 องศาของข้อเหวี่ยง การเผาไหม้จึงเริ่มก่อนจุดสิ้นของจังหวะการอัด และต่อเนื่องไปในช่วงแรกของจังหวะขยายตัวซึ่งจะไปสิ้นสุดหลังจุดที่ความดันในกระบอกสูบสูงสุดเกิดขึ้นในวัฏจักร



ภาพที่ 2.10 ความดันกระบอกสูบ (P) สัดส่วนที่เผาไหม้แล้ว (x_b) และสัดส่วนปริมาตรที่เปลวไฟ
ผ่านไปแล้ว (V_t/V) (Heywood, 1988)

2.4.2 การเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

2.4.2.1 ลักษณะที่สำคัญของกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

ลักษณะที่สำคัญของกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซลนั้น พอสรุปได้ คือ เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบโดยระบบฉีดเชื้อเพลิง ที่ปลายของจังหวะอัดก่อนการเริ่มต้นการเผาไหม้ที่ต้องการเล็กน้อย ตามปกติแล้วเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปด้วยความเร็วสูงโดยผ่านรูหัวฉีดเดี่ยวหรือหลายรู เมื่อเชื้อเพลิงผ่านพื้นปลายของหัวฉีดก็จะแตกเป็นละอองฝอย และพุ่งเข้าไปในห้องเผาไหม้แล้วจะระเหย และผสมกับอากาศที่มีอุณหภูมิและความดันสูงที่อยู่ในกระบอกสูบ เนื่องจากอุณหภูมิและความดันของอากาศสูงกว่าจุดการระเบิดของเชื้อเพลิง การจุดระเบิดเองของส่วนที่เป็นสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศก็จะเกิดขึ้นหลังช่วงล่าช้าไม่กี่องศาเพลาคือเหวี่ยง เมื่อเกิดการเผาไหม้ของสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศเกิดขึ้น ความดันในกระบอกสูบก็จะเพิ่มขึ้น เป็นผลให้เกิดการอัดส่วนที่ยังไม่เผาไหม้ ซึ่งทำให้ช่วงล่าช้าก่อนการจุดระเบิดของสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศที่ได้ผสมกัน โดยมีสัดส่วนอยู่ในขีดจำกัดที่สามารถเผาไหม้ได้นั้นสั้นลง การเผาไหม้ก็จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ เมื่อเกิดการเผาไหม้แล้ว เวลาในการระเหยของเชื้อเพลิงที่เหลือก็จะลดลงด้วย สำหรับการฉีดเชื้อเพลิงก็จะมีต่อเนื่องไปจนกระทั่งปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องการได้เข้าไปในกระบอกสูบแล้ว ส่วนกระบวนการแตกเป็นละอองฝอย การระเหย การผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ และการเผาไหม้ ก็จะมีต่อเนื่องไปจนกระทั่งเชื้อเพลิงทั้งหมดได้ผ่านแต่ละกระบวนการดังกล่าวแล้ว นอกจากนี้ การผสมของอากาศที่เหลือในกระบอกสูบกับก๊าซที่กำลังเผาไหม้และที่เผาไหม้แล้วก็จะเกิดขึ้นต่อไปตลอดกระบวนการเผาไหม้และกระบวนการขยายตัว

จะเห็นได้ว่ากระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดค่อนข้างซับซ้อน โดยรายละเอียดของกระบวนการจะขึ้นอยู่กับสมบัติของเชื้อเพลิง การออกแบบห้องเผาไหม้และระบบฉีดเชื้อเพลิงและสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ สำหรับผลที่สำคัญของกระบวนการเผาไหม้ที่มีต่อการทำงานของเครื่องยนต์มีดังต่อไปนี้

1) เนื่องจากการฉีดเชื้อเพลิงเกิดก่อนการเริ่มต้นการเผาไหม้เล็กน้อย ดังนั้น จึงไม่มีข้อจำกัดของการน็อกเหมือนในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟซึ่งเป็นผลมาจากการจุดระเบิดเองของเชื้อเพลิงและอากาศที่ผสมกันก่อนแล้วในก๊าซส่วนสุดท้าย ดังนั้น เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดจึงสามารถใช้อัตราส่วนการอัดสูงกว่าได้ เป็นผลให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงสูงกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

2) เนื่องจากจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงถูกใช้ในการควบคุมจังหวะการเผาไหม้ ช่วงล่าช้าระหว่างการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงและการเริ่มต้นการเผาไหม้จะต้องสั้น ซึ่งช่วงล่าช้าที่สั้นนี้ยังจำเป็นต่อการรักษาความดันกระบอกสูบสูงสุดไว้ให้ต่ำกว่าค่าสูงสุดที่เครื่องยนต์จะทนได้ ดังนั้นสมบัติในการจุดระเบิดเองของสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศจึงต้องอยู่ภายใต้ช่วงที่กำหนด ซึ่งกระทำได้โดยใช้น้ำมันดีเซลที่มีเลขซีเทนสูงกว่าค่าที่กำหนด

3) เนื่องจากทอร์คของเครื่องยนต์เปลี่ยนแปลงโดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปต่อวัฏจักร โดยที่การไหลของอากาศเข้าเครื่องยนต์เกือบจะไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้เครื่องยนต์ดีเซลสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีลิ้นเร่ง ดังนั้น งานในการบีบจึงต่ำเป็นผลให้ประสิทธิภาพเชิงกลที่ภาระบางส่วนสูงกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

4) เมื่อปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปต่อวัฏจักรเพิ่มขึ้น ปัญหาการใช้อากาศระหว่างการเผาไหม้จะเกิดขึ้น ซึ่งนำไปสู่การเกิดปริมาณของเขม่า (Soot) จำนวนมากที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้หมดก่อนการคายไอเสียออก ดังนั้น เขม่าจำนวนมากหรือควันดำของไอเสียจึงเป็นตัวจำกัดอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศที่กำลังสูงสุดไว้ที่ค่าร้อยละ 20 (หรือมากกว่า) ซึ่งบางกว่าสารผสมพอดี เป็นผลให้ความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ (ของเครื่องยนต์นำอากาศเข้าโดยธรรมชาติ) ต่ำกว่าของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่สมดุลกัน

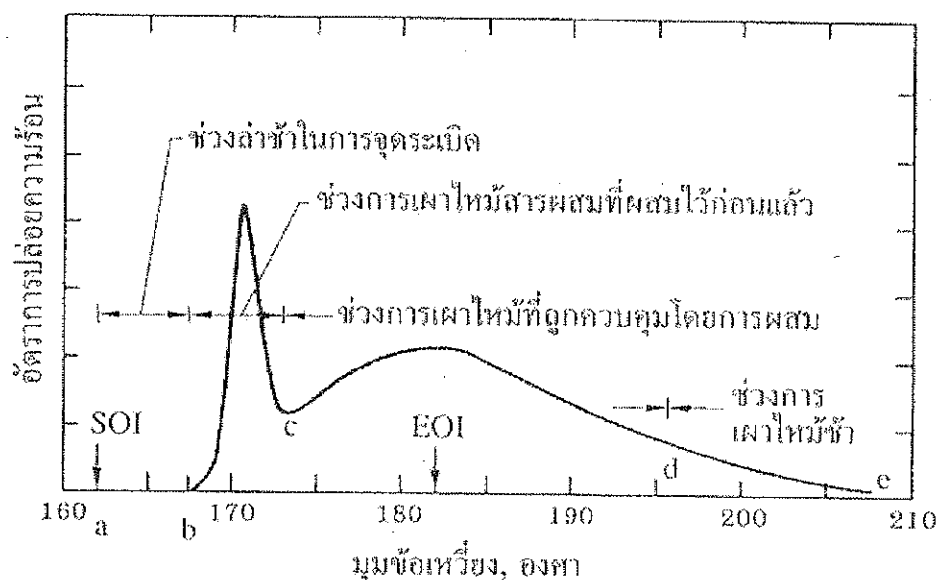
5) เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลทำงานด้วยอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศที่บางเสมอ และที่ภาระบางส่วนจะทำงานที่อัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศที่บางมาก ทำให้ค่ายังผลของ $\gamma (=c_p/c_v)$ ในช่วงกระบวนการขยายตัวสูงกว่าในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ เป็นผลให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงสูงกว่าของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟสำหรับอัตราส่วนการขยายตัวหนึ่ง ๆ

2.4.2.2 รูปแบบของการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล

รูปแบบของกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ดีเซลสามารถกำหนดและอธิบายได้จากการศึกษาภาพถ่ายของกระบวนการเผาไหม้และการวิเคราะห์ข้อมูลความดันในกระบอกสูบในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแล้วจะใช้อัตราการปล่อยความร้อน (Heat release rate) ที่คำนวณมาจากข้อมูลความดันกระบอกสูบที่มุมข้อเหวี่ยงต่าง ๆ เป็นตัวกำหนด

รูปแบบของการเผาไหม้ ซึ่งอัตราการปล่อยความร้อน ก็คืออัตราที่ซึ่งพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงถูกปล่อยออกมาโดยกระบวนการเผาไหม้นั่นเอง

ช่วงต่าง ๆ ของกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดเชื้อเพลิง โดยตรงพอจะสรุปได้จากกราฟอัตราการปล่อยความร้อนในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 อัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงทั่วไป แสดงช่วงต่าง ๆ ของการเผาไหม้ (วีระศักดิ์ กรัยวิเชียร, 2549)

1) ช่วงล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition delay period, ab) เป็นช่วงระหว่างการเริ่มต้นของการฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้และการเริ่มต้นของการเผาไหม้ โดยการเริ่มต้นการเผาไหม้หาได้จากการเปลี่ยนแปลงความชันของกราฟระหว่าง $p-\theta$ ได้จากกราฟอัตราการปล่อยความร้อนที่หาจากข้อมูล $p(\theta)$

2) ช่วงการเผาไหม้สารผสมที่ผสมไว้ก่อนแล้วหรือช่วงการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว (Premixed combustion phase หรือ Rapid combustion phase, bc) ในช่วงนี้เป็นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ได้ผสมกับอากาศ เป็นสารผสมที่อยู่ในขีดจำกัดของการเผาไหม้ในช่วงล่าช้าในการจุดระเบิด ซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้ก็จะเผาไหม้เกือบพร้อมกัน ทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงไม่กี่องศาเพลาคือข้อเหวี่ยงและเป็นผลให้อัตราการปล่อยความร้อนในช่วงนี้สูง

3) ช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม (Mixing-controlled combustion phase, cd) เมื่อเชื้อเพลิงและอากาศซึ่งผสมกันไว้ก่อนแล้วในช่วงล่าช้าในการจุดระเบิด ได้ถูกเผาไหม้หมดไป อัตราการเผาไหม้หรืออัตราการปล่อยความร้อน จะถูกควบคุมโดยอัตราการเกิดสารผสมที่พร้อมเผาไหม้ (อัตราการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ) อัตราการปล่อยความร้อน ในช่วงนี้อาจไปถึงค่าสูงสุดค่าที่สอง (โดยทั่วไปจะต่ำกว่าค่าแรก) หรืออาจไม่ถึงก็ได้ แต่จะลดลงเมื่อกระบวนการเผาไหม้ดำเนินต่อไป

4) ช่วงการเผาไหม้ช้า (Late combustion phase, de) เป็นช่วงที่การปล่อยความร้อนเกิดขึ้นต่อไปที่อัตราต่ำในจังหวะขยายตัว ซึ่งเป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงส่วนที่เหลืออยู่เล็กน้อย และเป็นการเผาไหม้ต่อไปของเขม่าและสารที่เกิดจากการเผาไหม้สารผสมหนา (เช่น CO , H_2 ฯลฯ)

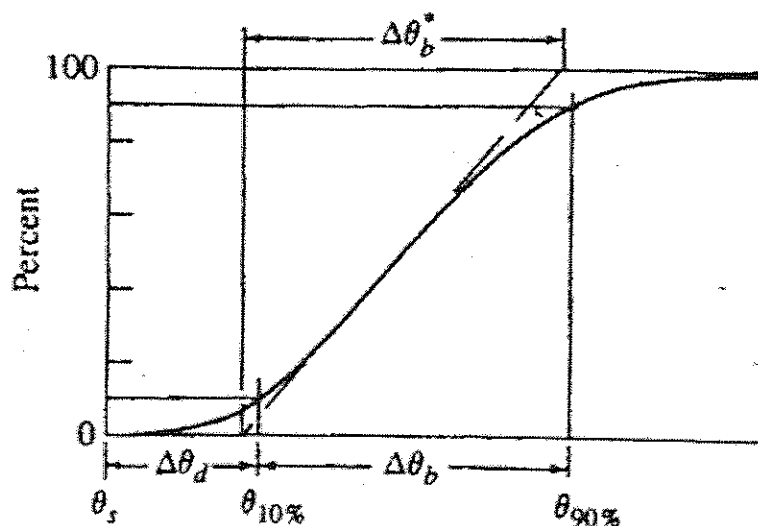
2.4.3 ลักษณะของกระบวนการเผาไหม้

พิจารณากราฟของเศษส่วนมวลที่เผาไหม้แล้วกับมุมข้อเหวี่ยงในภาพที่ 2.12 มีลักษณะเป็นรูปตัว S เพราะว่าการเผาไหม้ในช่วงแรกเป็นไปอย่างช้า ๆ จนถึงค่าหนึ่งจากการเผาไหม้ เป็นไปอย่างรวดเร็ว เผาไหม้ไอดีหมดหรือเกือบหมด การเผาไหม้จึงสิ้นสุดลง จึงนิยมใช้รูปดังกล่าว ในการกำหนดลักษณะของระยะต่าง ๆ ในกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ระยะแรกหรือกระบวนการก่อตัวของเปลวไฟ เริ่มจากหัวเทียนให้ประกายไฟออกมา เป็นการเริ่มต้นของกระบวนการเผาไหม้ จนถึงจุดที่ส่วนของมวลที่ถูกเผาไหม้แล้วมากพอที่จะวัดได้ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้ในระยะแรกนี้ก็คือ สภาพของสารผสม ส่วนประกอบของสารผสม และการเคลื่อนที่ของสารผสมบริเวณหัวเทียน ระยะต่อมาก็คือ ระยะซึ่งสารผสมส่วนใหญ่เผาไหม้เมื่อเปลวไฟแพร่กระจายไปทั่วห้องเผาไหม้ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้ในสถานะที่สองนี้ก็คือ สภาพทั่วทั้งห้องเผาไหม้ และระยะสุดท้ายก็คือ ระยะซึ่งส่วนที่เหลือของสารผสมเผาไหม้จนหมดช่วงมุมข้อเหวี่ยงของระยะการเผาไหม้แต่ละระยะจึงถูกกำหนดดังนี้

1) ช่วงการก่อตัวของเปลวไฟ (Flame development period, $\Delta\theta_d$) เป็นช่วงมุมข้อเหวี่ยงระหว่างหัวเทียนจุดระเบิดกับเวลาเมื่อสัดส่วนของมวลในกระบอกสูบถูกเผาไหม้ไป หรือพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงถูกปล่อยออกมาปริมาณมากพอที่จะวัดได้ โดยทั่วไปจะใช้ค่า 10% ของมวลที่ถูกเผาไหม้แล้วหรือพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยออกมา

2) ช่วงการลามของเปลวไฟ (Flame propagation period, $\Delta\theta_b$) เป็นช่วงมุมข้อเหวี่ยงที่สารผสมส่วนใหญ่ถูกเผาไหม้ ซึ่งก็คือช่วงระหว่างจุดสิ้นสุดของระยะการขยายตัวของเปลวไฟ (ตามปกติคือเมื่อเศษส่วนมวลที่เผาไหม้แล้วหรือส่วนของพลังงานที่ปล่อยออกมาเท่ากับ 10%)

กับจุดสิ้นสุดของกระบวนการแพร่กระจายของเปลวไฟ (ตามปกติคือเมื่อเศษส่วนมวลที่เผาไหม้แล้ว หรือส่วนของพลังงานที่ปล่อยออกมาเท่ากับ 90%)



ภาพที่ 2.12 กราฟระหว่างเศษส่วนมวลที่เผาไหม้แล้วกับมุมข้อเหวี่ยง (Heywood, 1988)

3) ช่วงการเผาไหม้รวมยอด (Overall burning angle, $\Delta\theta_o$) เป็นช่วงของกระบวนการเผาไหม้ทั้งหมด ซึ่งเท่ากับผลบวกของ $\Delta\theta_d$ กับ $\Delta\theta_b$

ภาพที่ 2.12 แสดงนิยามของช่วงการขยายตัวของเปลวไฟ ($\Delta\theta_d$) และช่วงการลามของเปลวไฟบนกราฟระหว่างเศษส่วนมวลที่เผาไหม้แล้วกับมุมข้อเหวี่ยงต่าง ๆ เป็นดังสมการที่ (2.26) ซึ่งเรียกว่า Wiebe Function

$$x_b = 1 - \exp \left[-a \left(\frac{\theta - \theta_0}{\Delta\theta} \right)^{m+1} \right] \quad (2.26)$$

โดย θ เป็นมุมข้อเหวี่ยง (ที่จะหา x_b), $\Delta\theta_o$ เป็นมุมข้อเหวี่ยงที่จุดเริ่มต้นของการเผาไหม้, $\Delta\theta$ เป็นช่วงของการเผาไหม้ทั้งหมด (จาก $x_b = 0$ ถึง $x_b = 1$) a และ m เป็นพารามิเตอร์ที่ปรับได้สำหรับกราฟของเศษส่วนมวลที่เผาไหม้แล้ว มีค่าประมาณ a เท่ากับ 5 และ m เท่ากับ 2

2.4.4 การแปรผันของการเผาไหม้ระหว่างวัฏจักรต่อวัฏจักร

สาเหตุของการแปรผันของการเผาไหม้ระหว่างวัฏจักรต่อวัฏจักรมาจากปัจจัย 3 ข้อ คือ การแปรผันระหว่างวัฏจักรต่อวัฏจักรในการเคลื่อนที่ของสารผสมในกระบอกสูบขณะที่หัวเทียนให้ประกายไฟ การแปรผันของปริมาณและเชื้อเพลิงที่ถูกดูดเข้ามาในกระบอกสูบ การแปรผันเนื่องจากความสามารถในการผสมของอากาศ เชื้อเพลิงและก๊าซที่ค้างอยู่ภายในกระบอกสูบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณใกล้หัวเทียน

พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวบ่งบอกการแปรผันของการเผาไหม้ระหว่างวัฏจักรต่อวัฏจักรที่นิยมใช้กัน ได้แก่ ความดันในกระบอกสูบสูงสุด (P_{max}) มุมข้อเหวี่ยงที่เกิดความดันในกระบอกสูบสูงสุด และความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ (IMEP) โดยการเผาไหม้ที่เร็ว วัฏจักรต่อวัฏจักรที่มีความดันสูงจะเกิดขึ้นใกล้กับศูนย์ตายบนและห่างออกไปในวัฏจักรที่มีความดันต่ำลงมา ส่วนการเผาไหม้ช้าวัฏจักรที่มีความดันสูงจะอยู่ไกลจากตำแหน่งศูนย์ตายบนและขยับเข้าใกล้ศูนย์ตายบนในวัฏจักรที่มีความดันต่ำกว่า สอดคล้องกับค่า IMEP ของแต่ละวัฏจักรก็มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

ตัวแปรที่บ่งบอกการแปรผันระหว่างวัฏจักรต่อวัฏจักร สามารถบอกเป็นค่าคงที่ได้ เป็นสัมประสิทธิ์การแปรผันของ IMEP (Coefficient of variation in Indicated Mean Effective Pressure, COV_{imep}) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$COV \text{ of IMEP} = \frac{\sigma_{imep}}{IMEP_{avg}} \times 100 \quad (2.27)$$

โดยที่ σ_{imep} เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ imep

$IMEP_{avg}$ เป็นค่าเฉลี่ยของ IMEP จากจำนวนวัฏจักรทั้งหมดที่นำมาคำนวณ

รวมถึงสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความดันในกระบอกสูบสูงสุด (Coefficient of Variation in Maximum Pressure) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

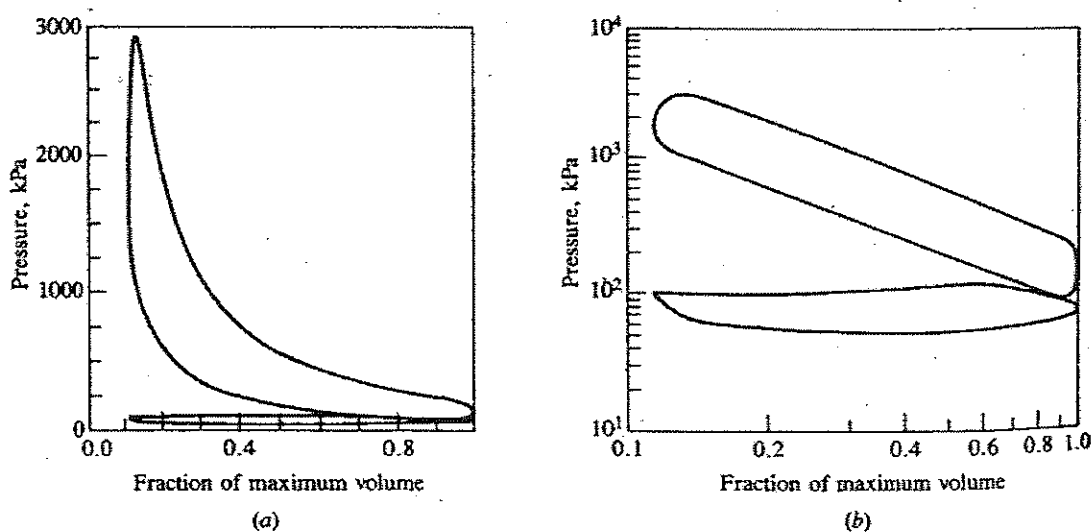
$$COV \text{ of } P_{max} = \frac{\sigma_{P_{max}}}{P_{max_{avg}}} \times 100 \quad (2.28)$$

โดยที่ $\sigma_{P_{max}}$ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ P_{max}

$P_{max_{avg}}$ เป็นค่าเฉลี่ยของ P_{max} จากจำนวนวัฏจักรทั้งหมดที่นำมาคำนวณ

2.4.5 การวิเคราะห์ความดันในกระบอกสูบ

2.4.5.1 วิธีการของ Rassweiler และ Withow อ้างถึงโดย Heywood (1988) การวิเคราะห์ความดันในกระบอกสูบเป็นการวิเคราะห์การเผาไหม้ มีหลักการคือ ไม่แบ่งสารทำงานออกเป็นสารผสมที่เผาไหม้แล้วและยังไม่เผาไหม้ แต่จะพิจารณาจากความดันกระบอกสูบที่แปรผันกับมุมข้อเหวี่ยงในระหว่างการเผาไหม้ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในกระบอกสูบจากการเผาไหม้ การถ่ายเทความร้อนไปสู่ผนังห้องเผาไหม้ การไหลเข้าออกจากชอกและการรั่ว โดยผลจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในกระบอกสูบและการเผาไหม้จะมากที่สุด ดังนั้น เมื่อพิจารณาให้การเปลี่ยนแปลงความดันกระบอกสูบเกิดมาจากผลเพียง 2 ประการดังกล่าว ก็ทำให้อัตราการเผาไหม้ได้โดยนำข้อมูลความดันกระบอกสูบที่มุมข้อเหวี่ยงต่าง ๆ ตลอดวัฏจักรการทำงาน มาเขียนกราฟ p - V และเขียนภาพลอการิทึมของ $\log p$ กับ $\log V$ ดังแสดงในภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 (a) แผนภาพความดันและปริมาตร (b) แผนภาพลอการิทึมของ $\log p$ กับ $\log (V/V_{\max})$
(Heywood, 1988)

ในแผนภาพลอการิทึมของ $\log p$ กับ $\log V$ จะพบว่ากระบวนการอัดเป็นเส้นตรง มีความชันประมาณ 1.3 และสามารถกำหนดจุดเริ่มต้นของการเผาไหม้ได้ ซึ่งก็คือ จุดที่แยกของกราฟจากเส้นตรง ในทำนองเดียวกันจุดสิ้นสุดของการเผาไหม้ก็คือจุดเริ่มต้นของกราฟที่เป็นเส้นตรงในระหว่างกระบวนการขยายตัว โดยกระบวนการขยายตัวที่ต่อจากการเผาไหม้ก็จะเป็นเส้นตรงเดียวกันโดยมีความชันประมาณ 1.3 ซึ่งพอสรุปได้ว่ากระบวนการอัดหรือกระบวนการขยายตัวนี้จะใกล้เคียงกับกระบวนการ Polytropic และจะได้

$$PV_i^{\frac{1}{n}} = \text{ค่าคงที่} \quad (2.29)$$

โดย n ทั้งสองกระบวนการจะมีค่า $1.3 (\pm 0.05)$ เมื่อใช้เชื้อเพลิงต่างๆ ไป
สำหรับการหาอัตราการเผาไหม้จะหาในรูปของมวลที่เผาไหม้แล้วที่มุม
ข้อเหวี่ยงต่าง ๆ ($m_{b(i)}$) โดยกำหนดให้ที่มุมข้อเหวี่ยงหนึ่ง ๆ ($\Delta\theta$) ในระหว่างการเผาไหม้ ความดัน
ที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการเผาไหม้ (ΔP_c) และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (ΔP_v) เท่านั้นซึ่งเขียน
เป็นสมการได้ดังนี้

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_v \quad (2.30)$$

โดยความดันและปริมาตรที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของช่วงมุมข้อเหวี่ยง
เมื่อไม่มีการเผาไหม้เขียนได้เป็น

$$p_i V_i^n = p_j V_j^n \quad (2.31)$$

ดังนั้น

$$\Delta P_v = P_j - P_i = \left[\left(\frac{V_i}{V_j} \right)^n - 1 \right] \quad (2.32)$$

เมื่อสมมติให้มวลของสารที่เผาไหม้แล้วในช่วงมุมข้อเหวี่ยง $\Delta\theta$ เป็น
สัดส่วนกับการเผาไหม้ ดังนั้น เศษส่วนมวลที่เผาไหม้แล้วที่จุดสิ้นสุดของช่วงมุมข้อเหวี่ยง i เขียนได้
เป็น

$$x_b = \frac{m_{b(i)}}{m_{b(\text{total})}} = \frac{\sum_0^i \Delta p_c}{\sum_0^N \Delta p_c} \quad (2.33)$$

โดย N เป็นจำนวนทั้งหมดของช่วงมุมข้อเหวี่ยง ทำให้สามารถหาค่า x_b ได้

2.4.5.2 วิธีการวิเคราะห์ความร้อนที่ปล่อยออกมาแบบ 1 โซน (1 Zone Heat Release Analysis)

จากกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์

$$dQ - dW = dU \quad (2.34)$$

โดย $dQ = \text{heat release}$

$$dW = PdV$$

$$dU = mc_v dT$$

จะได้ว่า

$$dQ - PdV = mc_v dT \quad (2.35)$$

จากกฎของแก๊ส $PV = mRT$

$$mdT = \frac{1}{R}(PdV + VdP) \quad (2.36)$$

และ

$$dU = \frac{c_v}{R}(PdV + VdP) \quad (2.37)$$

ดังนั้นกฎข้อที่ 1 จะเป็น

$$dQ - PdV = \frac{c_v}{R}(PdV + VdP) \quad (2.38)$$

ลดรูปสมการได้เป็น

$$\frac{dQ}{d\theta} - \left(1 + \frac{c_v}{R}\right) P \frac{dV}{d\theta} = \frac{c_v}{R} V \frac{dP}{d\theta} \quad (2.39)$$

$$\text{ใช้ } R = C_p - C_v \text{ และ } k = \frac{C_p}{C_v} \text{ เพื่อกำหนด } \frac{c_v}{R} = \frac{1}{k-1}$$

ดังนั้น สมการพลังงานเรียบเรียงใหม่เป็น

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{d\theta} + \frac{k}{k-1} P \frac{dV}{d\theta} \quad (2.40)$$

เมื่อทราบค่าความดัน P ที่ได้จากการทดลอง และปริมาตร V ดังนั้น สามารถคำนวณหาอัตราการปล่อยความร้อนได้จากสมการข้างต้น

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีววมวล

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีววมวลที่ผ่านมา มีวัตถุประสงค์หลายประการ เช่น การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการผลิตก๊าซชีววมวล การทดลองผลิตก๊าซชีววมวลเพื่อเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน การผลิตก๊าซชีววมวลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน เพื่อเป็นต้นกำลังในการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องสูบน้ำ การทดลองใช้ก๊าซชีววมวลร่วมกับพลังงานอื่น ๆ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ น้ำมันดีเซล เป็นต้น การศึกษาข้อมูลด้านเทคนิคและความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์ การศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ เพื่อออกแบบเตาผลิตก๊าซชีววมวลที่เหมาะสม ซึ่งในที่นี้ได้ทบทวนงานวิจัยต่าง ๆ เกี่ยวกับเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบชั้นเชื้อเพลิงนิ่ง ซึ่งนิยมใช้ในประเทศไทยและประเทศกำลังพัฒนา แยกตามประเด็นได้ดังนี้

2.5.1.1 การทดลองผลิตก๊าซจากเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ

พิชญ มานะบรรจง (2547) ได้ศึกษาการนำเศษถ่านจากไม้พินยางพาราที่ร่วงจากตะกรับเตาของหม้อไอน้ำชีววมวล ซึ่งมีขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1$ cm มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบไหลลง การศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบผลิตก๊าซชีววมวลมีค่าสูงถึงร้อยละ 87.81 และเมื่อนำก๊าซชีววมวลที่ได้ไปผลิตไฟฟ้า พบว่า ประสิทธิภาพรวมของระบบที่วิเคราะห์ได้คือ ร้อยละ 13.5

ทิพย์สุกินทร์ หินซุย (2550) ได้ศึกษาการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมาผลิตพลังงาน โดยใช้กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน การศึกษานี้ได้นำกากตะกอนที่ผ่านการลดความชื้นและอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงแล้ว มาเผาในเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบก๊าซไหลลงที่มีกำลังการผลิตก๊าซ 100 กิโลวัตต์ความร้อน การศึกษาพบว่า ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากการใช้กากตะกอนเป็นเชื้อเพลิงมีค่าความร้อนเฉลี่ย 5.03 MJ/Nm^3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงเท่ากับร้อยละ 67.99 สามารถลดกากตะกอนก่อนการฝังกลบได้สูงถึงร้อยละ 70

กลุ่มนักวิจัยจากสถาบัน Sardar Patel Renewable energy research institute (Bhoi et al., 2006) ได้ศึกษาการใช้เชื้อเพลิงหลายชนิดในเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบไหลลงชนิดไม่มีคอคอด (Open core หรือ Throatless downdraft gasifier) โดยนำเชื้อเพลิงซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 4 ชนิดมาทดสอบ ได้แก่ ไม้กระถิน เปลือกถั่วลิสงอัดแท่ง เปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ เปลือกถั่วลิสงผสมกับไม้กระถิน (อัตราส่วน 1:1) และเปลือกถั่วลิสงผสมกับเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ (อัตราส่วน 1:1) ผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาผลิตก๊าซอยู่ในช่วงร้อยละ 66-72 โดยเปลือกถั่วลิสงอัดแท่งให้ประสิทธิภาพต่ำสุด ในขณะที่ไม้กระถินให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด นอกจากนี้ ยังพบว่าการใช้เปลือกถั่วลิสงเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียวจะมีปัญหาเรื่องการไหลของเชื้อเพลิง จึงต้องมีการผสมกับไม้กระถินเพื่อให้การไหลของเชื้อเพลิงดีขึ้น

Roy et al. (2010) ได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้มูลโคเป็นเชื้อเพลิงในเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบก๊าซไหลลง ผลการวิจัยพบว่า การใช้มูลโคเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียวไม่เหมาะสมในทางเทคนิค เนื่องจากได้ค่าความร้อนของก๊าซที่ต่ำมาก และมีคาร์บอนในรูปของถ่านออกมาจากระบบจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตาม มูลโคสามารถนำไปผสมกับเชื้อเพลิงอื่น เช่น จี้เลื่อย เป็นต้น เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในระบบผลิตก๊าซชีววมวลได้ จากผลการวิจัยเพิ่มเติมพบว่า ที่ส่วนผสมของมูลโคร้อยละ 90 จะทำให้ค่าความร้อนของก๊าซชีววมวลลดลงร้อยละ 46.8 ในขณะที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบผลิตก๊าซเหลือร้อยละ 45 ส่วนผสมที่เหมาะสมในการใช้งานคือ มูลโคร้อยละ 40-50

สุรพงษ์ คล้ายมุข (2545) ศึกษาการผลิตก๊าซชีววมวลจากเตาผลิตก๊าซแบบก๊าซไหลขึ้นและไหลลงโดยใช้ผักตบชวาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง ผลการทดลองพบว่า ค่าความร้อนที่ได้จากเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบไหลขึ้นมีค่า $4,545.9 \text{ kJ/m}^3$ ขณะที่ก๊าซชีววมวลที่ได้จากเตาผลิตก๊าซแบบไหลลงมีค่าความร้อน $2,135.76 \text{ kJ/m}^3$ สำเร็จ สุชานุกูณฑ์ (2545) จึงได้ศึกษาการนำก๊าซชีววมวลจากเตาผลิตก๊าซแบบไหลขึ้น โดยใช้ผักตบชวาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงนี้ ไปใช้กับเครื่องยนต์

แก๊สโซลีนสูบเดียวแบบสี่จังหวะ ขนาด 4.1 kW ผลการทดสอบพบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลจากผักตบชวาอัดแท่งให้ค่าแรงบิด 9.082 Nm และให้ค่ากำลังเบรค 1.663 kW การเดินเครื่องยนต์แก๊สโซลีนโดยใช้ก๊าซชีววมวลสามารถทำได้โดยดัดแปลงเครื่องยนต์เพียงเล็กน้อย

ปัญหาอีกอย่างของผู้ใช้งานระบบผลิตก๊าซชีววมวลที่ใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง นั่น คือ การเตรียมเชื้อเพลิงให้ได้ขนาด เนื่องจากจะต้องใช้แรงงาน เวลา พลังงาน นอกจากนี้ ผู้เตรียมเชื้อเพลิงยังเสี่ยงต่ออันตราย เช่น การบาดเจ็บจากเครื่องมือตัดไม้ เสี่ยงดังจากการตัดไม้ ผ่น ละเอียดต่าง ๆ เป็นต้น ในการเตรียมไม้ให้ได้ขนาดที่เหมาะสมกับเตาผลิตก๊าซชีววมวลทั่วไป และขั้นตอนการเตรียมไม้ให้ได้ขนาดยังสูญเสียเนื้อไม้สูงถึงร้อยละ 15 ทำให้การใช้งานระบบผลิตก๊าซชีววมวลไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร Saravanakumar et al. (2005, 2007) จึงได้เริ่มศึกษาการใช้ไม้พื้นแท่งยาว (Long-stick wood) ในการผลิตก๊าซชีววมวลแบบไหลขึ้น โดยใช้ไม้กระถินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 cm ยาว 68 cm เป็นเชื้อเพลิง ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาผลิตก๊าซแบบก๊าซไหลขึ้นโดยจุดไฟจากด้านล่าง (Bottom lit) และแบบจุดไฟด้านบน (Top lit หรือ Invert downdraft) เท่ากับร้อยละ 73 และร้อยละ 75 ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาการใช้ไม้พื้นแท่งยาวในเตาผลิตก๊าซแบบไหลขวาง (Saravanakumar et al., 2010) โดยใช้ไม้ขนาดเท่ากันพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาผลิตก๊าซชีววมวลเท่ากับร้อยละ 79 ปริมาณน้ำมันดินต่ำกว่าแบบก๊าซไหลขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ไม้แท่งยาวเป็นเชื้อเพลิงยังพบกับปัญหาเรื่องความต่อเนื่องในการเติมเชื้อเพลิง วิธีนี้จึงเหมาะกับผู้ที่ใช้งานเป็นช่วงเวลาเท่านั้น

2.5.1.2 การใช้ก๊าซชีววมวลเป็นพลังงานความร้อน

ในการใช้ก๊าซชีววมวลเป็นพลังงานความร้อน มีการใช้งานที่หลากหลาย เช่น การใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร การใช้เป็นพลังงานความร้อนในอุตสาหกรรมเซรามิก เป็นต้น ซึ่งในการใช้งานนั้น มีทั้งแบบใช้ก๊าซชีววมวลเพียงอย่างเดียวและใช้งานร่วมกับพลังงานอื่น ๆ

1) การใช้ก๊าซชีววมวลในการอบแห้ง

จงจิตร ธีรฤตยาภ และคณะ (2542) ได้ศึกษาการอบแห้งพริกโดยใช้ก๊าซชีววมวลจากเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบไหลขึ้น ที่ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง โดยนำพริกชี้ฟ้าแดงที่มีการผ่านแอลกอฮอล์ออกมาอบในเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซชีววมวล พบว่า สภาพการอบแห้งที่เหมาะสมคือ อัตราการไหลของอากาศ 0.082 kg/s อุณหภูมิในห้องอบแห้งโดยเฉลี่ย 63 องศาเซลเซียส อบแห้งพริกชี้ฟ้าแดงสด ปริมาณ 17.2 kg ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 86 มาตรฐานเปียก จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายลดลงเหลือประมาณร้อยละ 15 มาตรฐานเปียก โดยใช้เวลาอบแห้งต่อเนื่อง 19 ชั่วโมง โดยเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบไหลขึ้นมีประสิทธิภาพร้อยละ 48.9

รัตน์ เลहनิก (2550) ได้ออกแบบและทดสอบเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบก๊าซไหลลงสำหรับกระบวนการอบแห้งปุย โดยใช้ไม้สับเป็นเชื้อเพลิง เพื่อทดแทนการใช้วิธีเผาตรงในเตา ผลการวิจัยพบว่า ระบบผลิตก๊าซชีววมวล สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการอบแห้งปุยได้ร้อยละ 45.7 เมื่อเทียบกับเตาพื้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบผลิตก๊าซคำนวณได้ประมาณร้อยละ 76.24-86.93 ที่อัตราการใช้เชื้อเพลิง 130 kg/h

2) การใช้ก๊าซชีววมวลในอุตสาหกรรมเซรามิก

สุริย์ จรุงศักดิ์ (2543) ได้ศึกษาการใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซชีววมวลในการเผาเซรามิก โดยใช้ไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิง ในเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบก๊าซไหลลงขนาด 0.28 m^3 จากการทดลองพบว่า ก๊าซชีววมวลที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้เผาดิบและเผาแกร่งได้ ผลิตภัณฑ์เซรามิกมีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์จากโรงงานซึ่งเผาด้วยก๊าซ LPG แต่ในการเผาเคลือบยังไม่สามารถทำได้ วิจารณ์ แสงสง่า (2544) จึงได้มีศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้ก๊าซชีววมวลที่ได้จากเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบไหลขึ้น เป็นก๊าซเชื้อเพลิงในการเผาให้ความร้อนแก่เซรามิก และนำผลการทดลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ได้จากเตาผลิตก๊าซแบบไหลลง จากการวิจัยพบว่า ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ได้จากเตาผลิตก๊าซแบบไหลขึ้นนั้น มีลักษณะ รูปร่าง และสีเช่นเดียวกับโรงงานผลิตเซรามิก นอกจากนี้ยังพบว่า ก๊าซชีววมวลที่ได้จากเตาผลิตก๊าซแบบไหลขึ้นมีค่าความร้อนสูงกว่าที่ได้จากเตาผลิตก๊าซแบบไหลลง

3) การใช้ก๊าซชีววมวลในอุตสาหกรรมอาหาร

Panwar et al. (2009) ได้ศึกษาการใช้เตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบ Open core downdraft gasifier ในอุตสาหกรรมอาหาร (โรงงานผลิตขนมปัง) โดยใช้ไม้กระถินเป็นเชื้อเพลิง ผลการศึกษาพบว่า ตลอดการใช้งาน 3,000 ชั่วโมงสามารถทดแทน ก๊าซ LPG ได้ 1.9 ตัน หรือประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 13,850 US\$ โดยก๊าซ LPG 6.5 kg ถูกแทนที่ด้วยเชื้อเพลิงไม้ 38 kg นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ระบบผลิตก๊าซชีววมวลลดการปลดปล่อย CO_2 ได้ 33 ตัน

2.5.1.3 การใช้ก๊าซชีววมวลร่วมกับพลังงานอื่น ๆ

มีงานวิจัยหลายงานที่นำเอาก๊าซชีววมวลไปใช้ร่วมกับพลังงานอื่น ๆ เพื่อใช้เป็นพลังงานความร้อน และเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์

ชญานนท์ แสงมณี และคณะ (2552) ได้ศึกษาสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้ก๊าซชีววมวลที่ผลิตจากไม้อบแห้งและถ่านไม้ ร่วมกับน้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ขนาด 3.9 ลิตร ผลการวิจัยพบว่า ก๊าซชีววมวลสามารถทดแทนน้ำมันไบโอดีเซลได้ร้อยละ 70

ในงานอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรนั้น ได้มีการนำเอาก๊าซชีววมวลในการให้ความร้อนร่วมกับแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มอัตราการผลิตและควบคุมคุณภาพให้คงที่ โสธร ศิริเลิศ (2538) ได้ศึกษาการอบแห้งกระเทียม โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับก๊าซชีววมวล ผลการทดสอบพบว่า การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมจะลดการใช้พลังงานได้ร้อยละ 49 เมื่อเทียบกับการใช้ก๊าซชีววมวลเพียงอย่างเดียว บงกช ประสิทธิ์ และ สุขฤดี นาถกรณกุล (2550) ได้ศึกษาการอบแห้งใบหม่อน โดยใช้ก๊าซชีววมวลร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่ากำลังการผลิตเพิ่มขึ้น 4 เท่าเมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบดั้งเดิม

2.5.1.4 การกักเก็บก๊าซชีววมวล

นักวิจัยจากมาเลเซีย Hassan et al. (2010) ได้ศึกษาการอัดเชื้อเพลิงชีววมวลที่ได้จากเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบไหลลง โดยใช้เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบธรรมดา ดูก๊าซชีววมวลในอัตรา 670 ลิตรต่อนาที เริ่มจากความดัน 0 บาร์ จนความดันสูงสุด 7.6 บาร์เกจ และส่งก๊าซชีววมวลไปใช้งานที่ความดัน 130, 150 และ 170 ลิตรต่อนาที ที่ความดันคงที่ 2.0, 2.5 และ 3 บาร์ ผลการวิจัยพบว่า เปลวไฟจากก๊าซชีววมวลที่อัดยังคงเป็นเปลวสีฟ้าเช่นเดียวกับก่อนอัด องค์ประกอบของก๊าซชีววมวลที่วัดได้หลังจากการอัดคือ CO 17.5%, CH₄ 2.3%, H₂ 10.25%, CO₂ 16.2% และ N₂ 54% แต่งานวิจัยนี้ไม่ได้บอกถึงความหนาแน่นของก๊าซชีววมวลหลังการอัด และไม่ได้รายงานปริมาณก๊าซชีววมวลที่กักเก็บได้

2.5.1.5 การศึกษาความเป็นไปได้ในทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์

Tripathi et al. (1999) ได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำก๊าซชีววมวลมาใช้ในการสูบน้ำ โดยวิเคราะห์ข้อมูลจากระบบสูบน้ำ 2 ขนาดคือ 5 hp และ 10 hp และใช้ราคาชีววมวล น้ำมันดีเซล และราคาไฟฟ้าในประเทศอินเดียในปี ค.ศ.1999 โดยเปรียบเทียบต้นทุนการสูบน้ำ (Unit cost) พบว่า ในระบบสูบน้ำ 5 hp มีต้นทุนการสูบน้ำสูงกว่า ดีเซลและไฟฟ้า 0.03 รูปี/m³ และ 0.047 รูปี/m³ ในขณะที่ ระบบสูบน้ำ 10 hp มีต้นทุนการสูบน้ำต่ำกว่าดีเซล 0.013 รูปี/m³ แต่สูงกว่าใช้ไฟฟ้า 0.007 รูปี/m³ นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ระบบสูบน้ำขนาด 10 hp มีต้นทุนการสูบน้ำต่ำกว่าระบบสูบน้ำ 5 hp 0.076 รูปี/m³

Roy et al. (2010) ได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้มูลโคเป็นเชื้อเพลิงในเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบก๊าซไหลลง ผลการวิจัยพบว่า การใช้มูลโคเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียวไม่มีความเป็นไปได้ในทางเทคนิค เนื่องจากได้ค่าความร้อนก๊าซที่ต่ำมาก และมีคาร์บอนในรูปของถ่านออกมาจากระบบจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตาม มูลโคสามารถนำไปผสมกับเชื้อเพลิงอื่น เช่น ขี้เลื่อย เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในระบบผลิตก๊าซชีววมวลได้ จากผลการวิจัยเพิ่มเติมพบว่า ที่ส่วนผสมของมูลโคร้อยละ 90 จะทำให้ค่าความร้อนของก๊าซชีววมวลลดลงร้อยละ 46.8 ในขณะที่

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบผลิตก๊าซเชื้อเพลิง 45 ส่วนผสมที่เหมาะสมในการใช้งาน คือ มูลโครี้อยละ 40-50

ชนาภา วรรณศรี (2551) ได้ทำการศึกษาความเหมาะสมในการนำเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันมาผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้กระถินยักษ์เป็นเชื้อเพลิง เพื่อประเมินปริมาณการใช้พลังงาน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้า ผลการวิจัยพบว่า พลังงานที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า 1 kWh มีค่าเท่ากับ 24.03 MJ ขั้นตอนที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคือ ขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า รองลงมาคือ ขั้นตอนการแปรรูป การขนส่ง และการเพาะปลูก และเมื่อวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้าพบว่า ราคาต้นทุนในการผลิตมีค่าเท่ากับ 5.17 บาท/kWh และค่าดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเป็น 5.38 บาท/kWh เมื่อพิจารณาด้านต้นทุนสิ่งแวดล้อมเข้าไปด้วย

รัตนะ เลหวนิช (2550) ได้ศึกษาการอบแห้งปุ๋ยด้วยก๊าซชีววมวลพบว่า ลดการใช้เชื้อเพลิงได้ร้อยละ 45.7 และมีระยะเวลาในการคืนทุนประมาณ 120 วันทำการ เมื่อเทียบกับการใช้เตาฟืนแบบเดิม

2.5.1.6 การประเมินสมรรถนะของระบบผลิตก๊าซชีววมวล

Sheth et al. (2009) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีววมวลจากเศษไม้จากโรงงานเฟอร์นิเจอร์ เพื่อประเมินสมรรถนะของระบบผลิตก๊าซชีววมวลแบบ Imbert downdraft biomass gasifier โดยประเมินจาก ค่าอัตราส่วนสมมูล องค์ประกอบก๊าซ ค่าความร้อนของก๊าซชีววมวล อัตราการผลิตก๊าซ อุณหภูมิและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ ผลการวิจัยสรุปได้ว่า เมื่อความชื้นของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลง และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศจะทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตาม สัดส่วนของ N_2 และ CO_2 ลดลง เมื่ออัตราส่วนสมมูล (ϕ) เพิ่มขึ้นจนถึง $\phi = 0.205$ และเมื่อ ϕ เพิ่มขึ้นมากกว่านี้ สัดส่วนของ N_2 และ CO_2 จะเพิ่มขึ้นตาม โดยสัดส่วนของ CO และ H_2 จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงตรงกันข้ามกับ สัดส่วนของ N_2 และ CO_2 ค่าความร้อนของก๊าซชีววมวล อุณหภูมิในชั้นไพโรไลซิส และอุณหภูมิในชั้นการเผาไหม้ จะสูงที่สุดที่ $\phi = 0.205$ แต่อย่างไรก็ตาม ค่าความร้อนของก๊าซจะลดลงเมื่ออัตราส่วนสมมูลเพิ่มขึ้นจาก 0.205 – 0.35 เมื่ออัตราส่วนสมมูลเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการผลิตก๊าซเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องด้วย อัตราส่วนสมมูลที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบไหลลงคือ 0.205

Pathak et al. (2008) ได้ทดสอบเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบไหลลงขนาด 1.39 MW_{th} ที่พัฒนาขึ้นโดย Sardar Patel Renewable Energy Research Institute (SPRERI) โดยคอกคอกของเตาออกแบบให้มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดที่เกิดขึ้นใน

คอกอดแบบวงกลม เรื่องความแตกต่างของอุณหภูมิที่ขอบและกลางเตา เนื่องจากอากาศไหลเข้าไม่ถึง เป็นผลให้ทาร์เพิ่มขึ้น เมื่อเตามีขนาดใหญ่มากกว่า 1 MW ในการศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบที่ได้กับเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบไหลลงแบบคอกอดสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 500 kW_{th} ผลการศึกษาพบว่าระบบผลิตก๊าซชีววมวลขนาด 500 kW_{th} มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนร้อยละ 63 ในขณะที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบผลิตก๊าซชีววมวลขนาด 1.39 MW_{th} อยู่ในช่วงร้อยละ 70-73 นอกจากนี้ ระบบยังสามารถเดินได้อย่างต่อเนื่องมากกว่า 10 ชั่วโมง โดยไม่พบปัญหาใด ๆ

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์ก๊าซชีววมวล

ในการใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์นั้น มีการใช้ในหลายรูปแบบ เช่น ใช้ก๊าซชีววมวลในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ใช้ก๊าซชีววมวลในเครื่องยนต์ดีเซลที่ดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ใช้ก๊าซชีววมวลร่วมกับน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล เป็นต้น

เครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยปกติจะใช้ร่วมกับเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบก๊าซไหลลง เนื่องจากมีค่า Turn down ratio ค่อนข้างกว้างและมีน้ำมันดินต่ำ มีการศึกษาวิจัย ถึงสมรรถนะและมลพิษ ของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลทั้งรูปแบบเชื้อเพลิงเดี่ยวและเชื้อเพลิงร่วม โดยนักวิจัยหลายกลุ่ม ส่วนการวิจัยเกี่ยวกับคุณลักษณะการเผาไหม้ยังมีอยู่น้อย ผลงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานก๊าซชีววมวลในเครื่องยนต์สันดาปภายในมีดังนี้

2.5.2.1 การใช้งานก๊าซชีววมวลในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

Munoz et al. (2000) ได้ทำการศึกษาการใช้งานเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟกับเชื้อเพลิงค่าความร้อนต่ำซึ่งได้แก่ก๊าซชีววมวล โดยติดตั้งเครื่องยนต์กับไดนาโมมิเตอร์แล้ววัดค่าทอร์ค กำลัง มลพิษ และอุณหภูมิก๊าซไอเสีย ทั้งของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันแก๊สโซลีนและก๊าซชีววมวล โดยไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์ใด ๆ เพื่อเป็นการหาข้อจำกัดของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลซึ่งสามารถนำไปประเมินความเป็นไปได้ในการใช้งานก๊าซชีววมวลในเครื่องยนต์เดิมที่อยู่ในพื้นที่ห่างไกล ผลการทดสอบพบว่า กำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลจะมีค่าประมาณร้อยละ 40-50 ของกำลังที่ได้จากการใช้แก๊สโซลีนทุกช่วงการทดสอบ อุณหภูมิของก๊าซไอเสียเมื่อใช้ก๊าซชีววมวลต่ำกว่าประมาณ 100 องศาเซลเซียส ค่า HC และ CO ในไอเสียลดลงในขณะที่ CO₂ มากกว่าอย่างเห็นได้ชัด

Sridhar et al. (2001) นำก๊าซชีววมวลที่ได้จากเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบ Open-top downdraft gasifier ไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 3.3 ลิตร ที่ดัดแปลงให้ใช้กับก๊าซชีววมวลได้ โดยทำการศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวล ที่อัตราส่วนการอัด (Compression ratio) 11.5:1 ถึง 17:1 ผลการศึกษาพบว่า ที่อัตราส่วนการอัด 17:1 ให้กำลังเบรคสูงที่สุด คือ 17.5 kW_e ประสิทธิภาพโดยรวมคิดเป็นร้อยละ 21 เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซลเดิม กำลัง

ของเครื่องยนต์ลดลงร้อยละ 16 ส่วนการศึกษาพฤติกรรมการณ์อีก พบว่า เครื่องยนต์สามารถทำงานที่อัตราส่วนการอัด 17:1 ได้โดยไม่มีการณ์อื่นเกิดขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่ออัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้นจะต้องปรับองศาจุดระเบิดให้เข้าใกล้ศูนย์ตายบนมากขึ้นตามไปด้วย เพื่อให้ได้กำลังสูงสุด

สหัตยา ลาตปาละ และคณะ (2550) ได้ศึกษาประสิทธิภาพทางด้านเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีววมวล โดยใช้เตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบก๊าซไหลลง ใช้เศษไม้ยูคาลิปตัสที่มีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 10 เป็นเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ที่ใช้ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดัดแปลงจากเครื่องยนต์ดีเซลให้เป็นเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียวได้ ผลการศึกษาพบว่า อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงประมาณ 50 kg/h ที่อัตราการไหลของก๊าซชีววมวล 135 m³/h ประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีววมวลคำนวณได้ร้อยละ 73 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานโดยรวมเท่ากับร้อยละ 10 โดยเชื้อเพลิงชีววมวล 2 kg สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1 kWh

ทิพย์สุกินทร์ หินชูช (2550) ได้ศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม โดยใช้เตาผลิตก๊าซแบบไหลลง ก๊าซที่ผลิตได้ถูกนำไปใช้ในเครื่องยนต์ก๊าซ ขนาด 150 hp โดยต่อเข้ากับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไดนาโมขนาดกำลังการผลิต 115 KVA หรือ 85 kW มีระบบควบคุมความเร็วรอบในการทำงานคงที่ เท่ากับ 1500 rpm และความถี่ไฟฟ้า 50 Hz สภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบที่อัตราการไหลของก๊าซ 180 m³/h ให้สภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ที่กำลังการผลิตไฟฟ้า 47 kW อัตราการใช้เชื้อเพลิงกากตะกอนเท่ากับ 2.09 kg/kWh ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานโดยรวมเท่ากับร้อยละ 12.27

Shah et al. (2010) ได้ทำการศึกษาสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 5.5 kW ซึ่งดัดแปลงให้สามารถใช้งานกับก๊าซชีววมวลเพียงอย่างเดียวได้ โดยทดสอบที่อัตราการไหลของก๊าซ 50, 60, 80 และ 90 ลิตรต่อนาที และเปรียบเทียบผลที่ได้กับการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนที่กำลังไฟฟ้าเท่ากัน พบว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้จากการใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงคือ 1,392 W ในขณะที่แก๊สโซลีนให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 2,451 W แต่อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเชื้อเพลิงทั้งสองมีค่าเท่ากัน ปริมาณของ CO และ NO_x ในไอเสียเมื่อใช้ก๊าซชีววมวลต่ำกว่าคิดเป็นร้อยละ 30-96 และ 54-84 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แก๊สโซลีน แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของ CO₂ เมื่อใช้ก๊าซชีววมวลสูงกว่าคิดเป็นร้อยละ 33-167

จากการทบทวนวรรณกรรมสามารถนำผลการวิจัยต่าง ๆ มาเปรียบเทียบสมรรถนะและมลพิษ จากการใช้ก๊าซชีววมวลเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ดังตารางที่ 2.3 และ 2.4

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงกับเชื้อเพลิงฟอสซิล

ผู้วิจัย	เงื่อนไขการทดลอง	ผลการศึกษา		
		กำลัง	ประสิทธิภาพ	เทียบกับ
Munoz et al.(2000)	ไม่ดัดแปลงเครื่องยนต์	ลดลง50-60%	ใกล้เคียงกัน	แก๊สโซลีน
Shah et al.(2010)	ไม่ดัดแปลงเครื่องยนต์	ลดลง45%	ใกล้เคียงกัน	แก๊สโซลีน
Sridhar et al.(2001)	ปรับ CR 11.5:1 – 17:1	ลดลง16%	ลดลง 32.50%	ดีเซล

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงกับเชื้อเพลิงฟอสซิล

ผู้วิจัย	เงื่อนไขการทดลอง	ผลการศึกษา				
		CO	CO ₂	NO _x	HC	เทียบกับ
Munoz et al. (2000)	ไม่ดัดแปลงเครื่องยนต์	ลด 70%	เพิ่ม 70%	-	ลดลง 99%	แก๊สโซลีน
Shah et al. (2010)	ไม่ดัดแปลงเครื่องยนต์	ลด 63%	เพิ่ม 80%	ลด 69%	-	แก๊สโซลีน
Sridhar et al. (2001)	ปรับ CR 11.5:1 – 17:1	ลดลง	-	ใกล้เคียง	-	PG ที่ CR ต่ำ

2.5.2.2 การใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

การวิจัยเกี่ยวกับการใช้งานก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซลพบว่า การใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม สามารถทดแทนการใช้น้ำมันได้สูงสุดประมาณร้อยละ 60-70 (ชยานนท์ แสงมณี และคณะ, 2552; Hassan et al., 2011; Banapurmath et al., 2009; Ramadas et al., 2008; Singh et al., 2007) ช่วยลดสารมลพิษพวกออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และปัญหาควันดำในไอเสียได้ ในขณะที่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และอุณหภูมิไอเสียเพิ่มขึ้น (Banapurmath et al., 2009; Hassan et al., 2011; Singh et al., 2007) มีการวิจัยเกี่ยวกับการใช้งานก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เช่น Honge oil, Neem oil, น้ำมันรำข้าวและน้ำมันจากเมล็ดยางพารา (Ramadas et al., 2008; Banapurmath et al., 2009; Singh et al., 2007) เป็นต้นพบว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดังกล่าวต่ำลง ในขณะที่ปริมาณมลพิษในไอเสียเพิ่มขึ้น

เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงจุดนำ (Pilot fuel) การใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันต่าง ๆ ดังกล่าวเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวมวล ช่วยปรับปรุงสมรรถนะให้ดีขึ้นได้ แต่ยังต่ำกว่าการใช้ร่วมกับน้ำมันดีเซล

ชญานนท์ แสงมณี และคณะ (2552) ได้ศึกษาสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้ก๊าซชีวมวลที่ผลิตจากไม้ออบแห้งและถ่านไม้ ร่วมกับน้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ขนาด 3.9 ลิตร เพื่อเปรียบเทียบกับ การใช้ก๊าซชีวมวลร่วมกับน้ำมันดีเซล โดยทดสอบที่ภาระทางไฟฟ้า 10, 20 และ 30 kW ผลการวิจัยพบว่า การใช้ก๊าซชีวมวลร่วมกับน้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่าการใช้ น้ำมันไบโอดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวล อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าน้อยที่สุดเมื่อใช้อัตราการไหลของก๊าซชีวมวล 462 ลิตรต่ออนาที ซึ่งก๊าซชีวมวลสามารถทดแทนน้ำมันไบโอดีเซลได้ประมาณร้อยละ 70

Banapurmath et al. (2009) ได้ศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์สี่จังหวะจุดระเบิดด้วยการอัดที่ใช้เชื้อเพลิง Honge oil น้ำมันสะเดา และน้ำมันรำข้าวเมื่อใช้งานโดยตรงและใช้ร่วมกับก๊าซชีวมวล โดยทำการเชื่อมต่อระบบผลิตก๊าซชีวมวลแบบไหลลง อัตราการผลิตก๊าซชีวมวล $15 \text{ Nm}^3/\text{h}$ เข้ากับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว สี่จังหวะ แบบหัวฉีดตรง หล่อเย็นด้วยน้ำ ขนาด 7 HP แล้วแบ่งการทดสอบเป็น 2 รูปแบบ คือ ทดสอบเครื่องยนต์กับน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ และอีกรูปแบบคือการใช้ น้ำมันพืชต่าง ๆ ร่วมกับก๊าซชีวมวล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ในรูปขององศาการฉีดน้ำมันและความดันของการฉีดน้ำมันในแต่ละส่วนผสมของเชื้อเพลิง ผลการทดสอบพบว่า การใช้งานในรูปของเชื้อเพลิงร่วมให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ต่ำกว่าทุกภาระและทุกองศาการฉีดน้ำมันเมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้งานในรูปของเชื้อเพลิงเดี่ยว แต่อย่างไรก็ตาม การใช้งานในรูปของเชื้อเพลิงร่วมสามารถลดควันดำและ NO_x ได้ ในขณะที่ CO เพิ่มขึ้น และในปีเดียวกัน Banapurmath et al. (2009) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงร่วมก๊าซชีวมวลกับดีเซล Honge oil และ Honge oil methyl ester โดยใช้และไม่ใช้คาร์บูเรเตอร์ ผลการทดสอบพบว่า การใช้คาร์บูเรเตอร์ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น ควันดำและ CO ลดลง และมีสัดส่วนการทดแทนดีเซลสูงถึงร้อยละ 70 โดยมีลักษณะการปล่อยความร้อนที่ราบเรียบ (Smooth) ขึ้น การศึกษาการปรับองศาการฉีดน้ำมันที่เหมาะสมพบว่า เมื่อใช้เชื้อก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมควรปรับองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่มขึ้นประมาณ 4 องศาเพลวข้อเหวี่ยง เพื่อให้ได้สมรรถนะที่ดีขึ้น

นอกจากการศึกษากการใช้เชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์ที่ดึงอากาศเข้าโดยธรรมชาติแล้ว ยังมีการศึกษากับการใช้ในเครื่องยนต์ที่ติดตั้งซูเปอร์ชาร์จโดย Hassan et al. (2011) ได้ศึกษาสมรรถนะและมลพิษ จากการใช้ซูเปอร์ชาร์จในเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับ

ก๊าซชีววมวลเปรียบเทียบกับกำรใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว โดยใช้ก๊าซชีววมวลที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบก๊าซไหลลง ผสมกับอากาศที่ทอร่วมไอดี ทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 1,600 รอบต่อนาที ที่ทอร์ค 3, 5, 7 และ 9 Nm การศึกษาพบว่า การอัดประจุ (Super charge) เชื้อเพลิงร่วมทำให้ปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลลดลงที่กำล้งเท่ากัน ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกเพิ่มขึ้น ปริมาณ CO ในไอเสียลดลงความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะลดลงเมื่อเทียบกับกำรใช้เชื้อเพลิงร่วมที่ไม่ใช้การอัดประจุ เหตุผลหลักเนื่องจากอากาศที่เพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น ดังนั้นผลการศึกษานี้บอกว่าระบบซูเปอร์ชาร์จมีประสิทธิผลในการปรับปรุงคุณลักษณะการเผาไหม้ ในขณะที่เดียวกันยังช่วยลดมลพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงร่วม

สรุปภาพรวมการเปรียบเทียบสมรรถนะและมลพิษจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมแสดงในตารางที่ 2.5 และ 2.6

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม

ผู้วิจัย	เงื่อนไขการทดลอง	ผลการศึกษา		
		กำล้ง	ประสิทธิภาพ	เทียบกับ
Ramadhas et al. (2006)	ดีเซล+ก๊าซชีววมวล	เท่ากัน	ลดลง 20%	ดีเซล
Banapurmath et al. (2009)	ดีเซล+ก๊าซชีววมวล	เท่ากัน	ลดลง 20%	ดีเซล
Hassan et al.(2011)	ดีเซล+ก๊าซชีววมวล	เท่ากัน	ลดลง 23%	ดีเซล

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม

ผู้วิจัย	เงื่อนไขการทดลอง	ผลการศึกษา				
		CO	NO _x	HC	Smoke	เทียบกับ
Banapurmath (2009)	ดีเซล+ก๊าซชีววมวล	เพิ่ม 50%	ลดลง มาก	เพิ่ม เล็กน้อย	ลดลง 70%	ดีเซล
Uma et al.(2004)	ดีเซล+ก๊าซชีววมวล	เพิ่ม 50%	ลดลง 40%	เพิ่ม 10%	-	ดีเซล
Singh et al.(2007)	ดีเซล+ก๊าซชีววมวล	เพิ่ม 40%	ลดลง 50%	เพิ่ม เล็กน้อย	-	ดีเซล

จากการทบทวนเอกสารพบว่า มีนักวิจัยส่วนหนึ่งได้ศึกษาสมรรถนะของ
เครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการใช้งาน และศึกษาความ
เป็นไปได้ในการใช้เชื้อเพลิงรูปแบบต่าง ๆ ที่สามารถทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ แต่การศึกษาเชิง
ลึกถึงคุณลักษณะการเผาไหม้ ยังมีการศึกษาอยู่น้อยมาก งานวิจัยนี้จึงเน้นศึกษาคุณลักษณะการเผา
ไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงทั้งในรูปแบบเชื้อเพลิงเดี่ยวในเครื่องยนต์จุดระเบิด
ด้วยประกายไฟ และเชื้อเพลิงรวมในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด นอกจากนี้ผู้วิจัยยังจะศึกษาผล
ของอัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดที่มีต่อสมรรถนะและมลพิษของการใช้ก๊าซชีววมวลเป็น
เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟด้วย เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาเครื่องยนต์ก๊าซ
ชีววมวลที่มีประสิทธิภาพสูงต่อไป

บทที่ 3

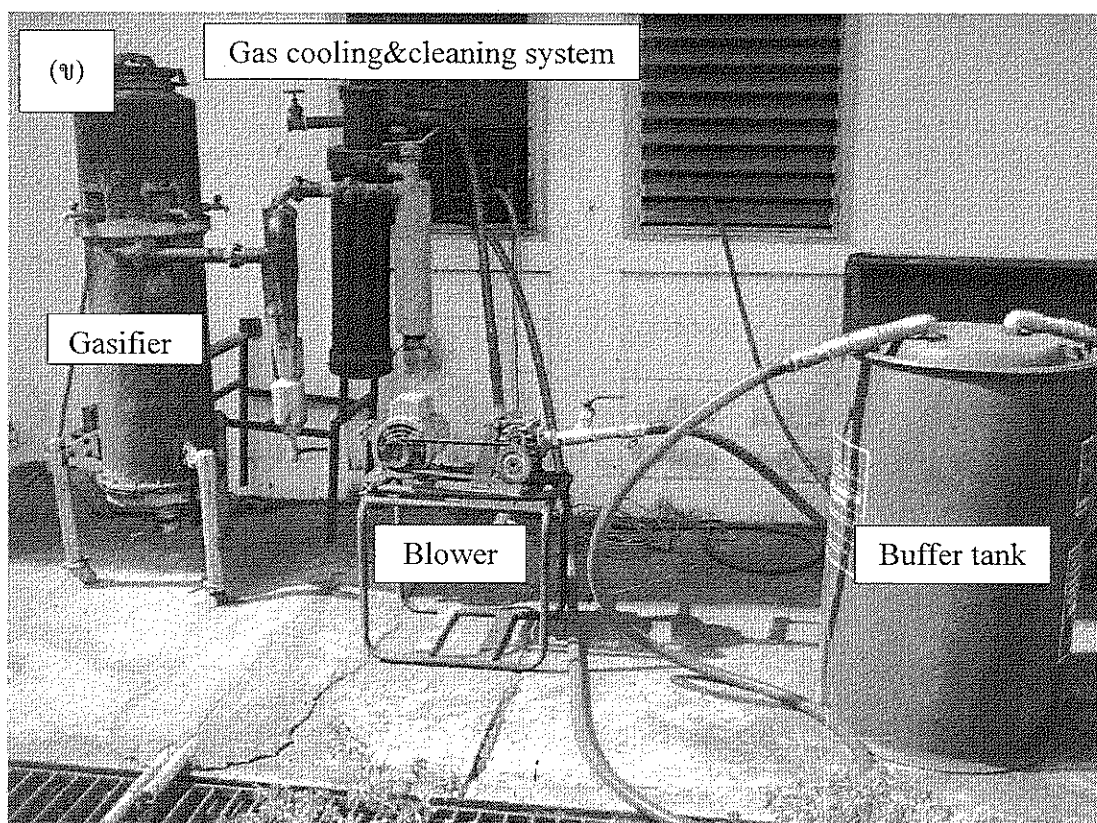
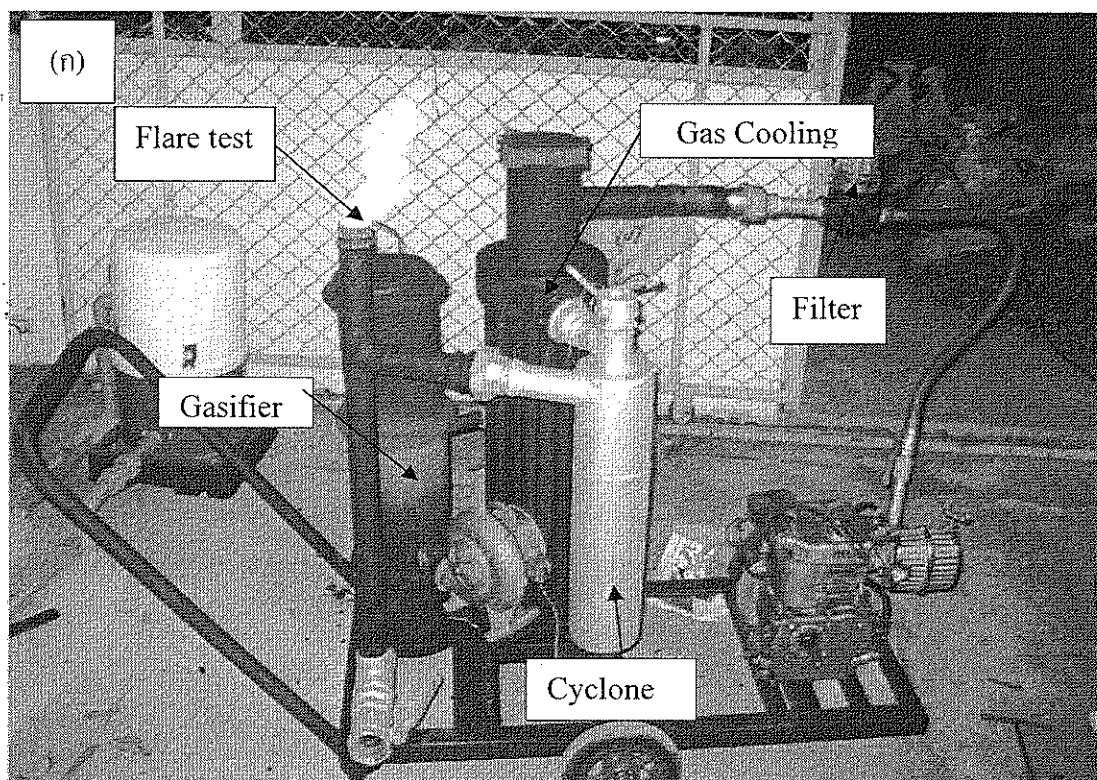
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในวิทยานิพนธ์นี้ มุ่งเน้นในการศึกษาสมรรถนะ มลพิษและคุณลักษณะการเผาไหม้ ของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ทั้งในรูปแบบของเชื้อเพลิงเดี่ยวในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ และในรูปแบบของเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด โดยการดัดแปลงเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับการใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการยานยนต์ อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุปกรณ์และวิธีการที่ใช้ทดสอบ มีรายละเอียดดังนี้

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 เตาผลิตก๊าซชีววมวล

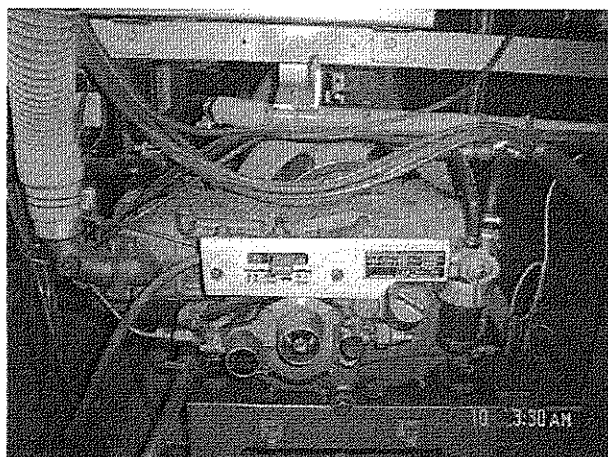
เตาผลิตก๊าซชีววมวลที่ใช้ในการทดสอบ เป็นเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบก๊าซไหลลงชนิด 2 คอคอด ซึ่งออกแบบตามหลักการของ Imbert ขนาดกำลังการผลิตก๊าซสูงสุด 50 kW_h เชื่อมต่อกับไซโคลนดักฝุ่น แฉงหล่อเย็น และกรองละเอียด ติดตั้งอยู่บนแท่นที่สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ดังแสดงในภาพที่ 3.1 (ก) ซึ่งระบบทั้งหมด ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้นให้เหมาะกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟขนาด 5-5.5 แรงม้า และเหมาะสมสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 8 แรงม้า ในกรณีใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วม ระบบผลิตก๊าซชีววมวลขนาดเล็กนี้ สามารถผลิตก๊าซได้ที่กำลังการผลิตก๊าซ 10 kW_h ถึง 50 kW_h ซึ่งจากการทดสอบกับเครื่องยนต์ทั้งรูปแบบเชื้อเพลิงเดี่ยวและเชื้อเพลิงร่วม พบว่า สามารถใช้งานได้ดี แต่มีข้อจำกัดคือ มีขนาดห้องใส่เชื้อเพลิง (Hoper) เล็ก ทำให้ต้องเติมเชื้อเพลิงทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง ดังนั้น ในการทดสอบอย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้เตาผลิตก๊าซชีววมวลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ข) ซึ่งเป็นเตาผลิตก๊าซชีววมวลชนิดเดียวกัน ขนาดกำลังการผลิตก๊าซสูงสุด 100 kW_h ซึ่งออกแบบตามหลักการของ Imbert ให้คุณสมบัติก๊าซที่ทดสอบได้ใกล้เคียงกันกับเตาขนาดเล็ก แต่สามารถทดสอบได้ต่อเนื่องกว่า พร้อมมีถังพักก๊าซชีววมวล (Buffer tank) เพื่อสำรองก๊าซและเพิ่มความดันขาเข้าไอดี เพื่อลดความดันตกคร่อม



ภาพที่ 3.1 ระบบผลิตก๊าซชีวมวลที่ใช้ในการทดสอบ (ก) ขนาด 50 kW_{th} (ข) ขนาด 100 kW_{th}

3.1.2 เครื่องยนต์

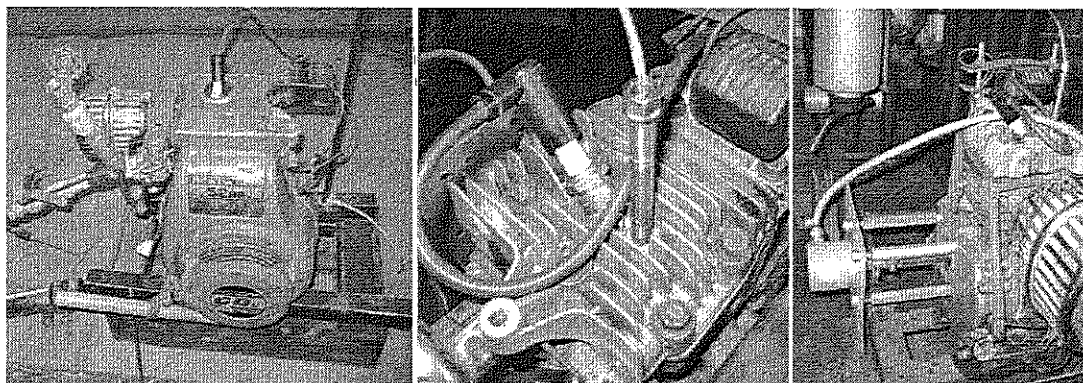
เครื่องยนต์ที่ใช้ในงานทดลองนี้มี 3 เครื่อง ได้แก่ เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ สูบเดี่ยวแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น D-800 ดังภาพที่ 3.2 รายละเอียดของเครื่องยนต์ดีเซล Mitsubishi D800 แสดงในตารางที่ 3.1 เครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้ในการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ เป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนสี่จังหวะ ยี่ห้อ Honda รุ่น G200 ดังภาพที่ 3.3 รายละเอียดของเครื่องยนต์ Honda G200 แสดงในตารางที่ 3.2 และเครื่องยนต์ที่ใช้สำหรับศึกษาสมรรถนะและมลพิษ เป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีน สี่จังหวะ ยี่ห้อ Honda รุ่น GX 160 ดังแสดงในภาพที่ 3.4 รายละเอียดของเครื่องยนต์ Honda GX160 แสดงในตารางที่ 3.3 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบแต่ละเครื่อง ได้รับการติดตั้งอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ สามารถสลับการใช้งานระหว่างน้ำมันแก๊สโซลีนและก๊าซเป็นเชื้อเพลิงได้



ภาพที่ 3.2 เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ

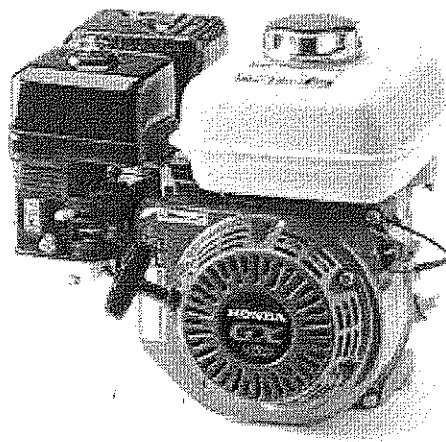
รายการ	รายละเอียด
Model	Mitsubishi D-800
Bore x Stroke	82 x 78
No. of cylinder	1
Piston displacement	411 cc.
Maximum output	5.884 kW / 2400 rpm
Maximum torque	25.5 N-m / 1900 rpm
Compression ratio	18:1



ภาพที่ 3.3 เครื่องยนต์ Honda รุ่น G200 ที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของเครื่องยนต์ Honda G200 ที่ใช้ทดสอบ

รายการ	รายละเอียด
Model	G200
Type	4-stroke, side valve, Single-cylinder, horizontal shaft
Bore&Stroke	67x56 mm
Displacement	197 cm ³
Compression Ratio	6.5:1
Net Power	3.4 kW (4.5HP) at 3,600 rpm
Continuous Rated Power	2.7 kW (3.6HP) at 3600 rpm
Maximum Net Torque	8.2 Nm at 2,500 rpm



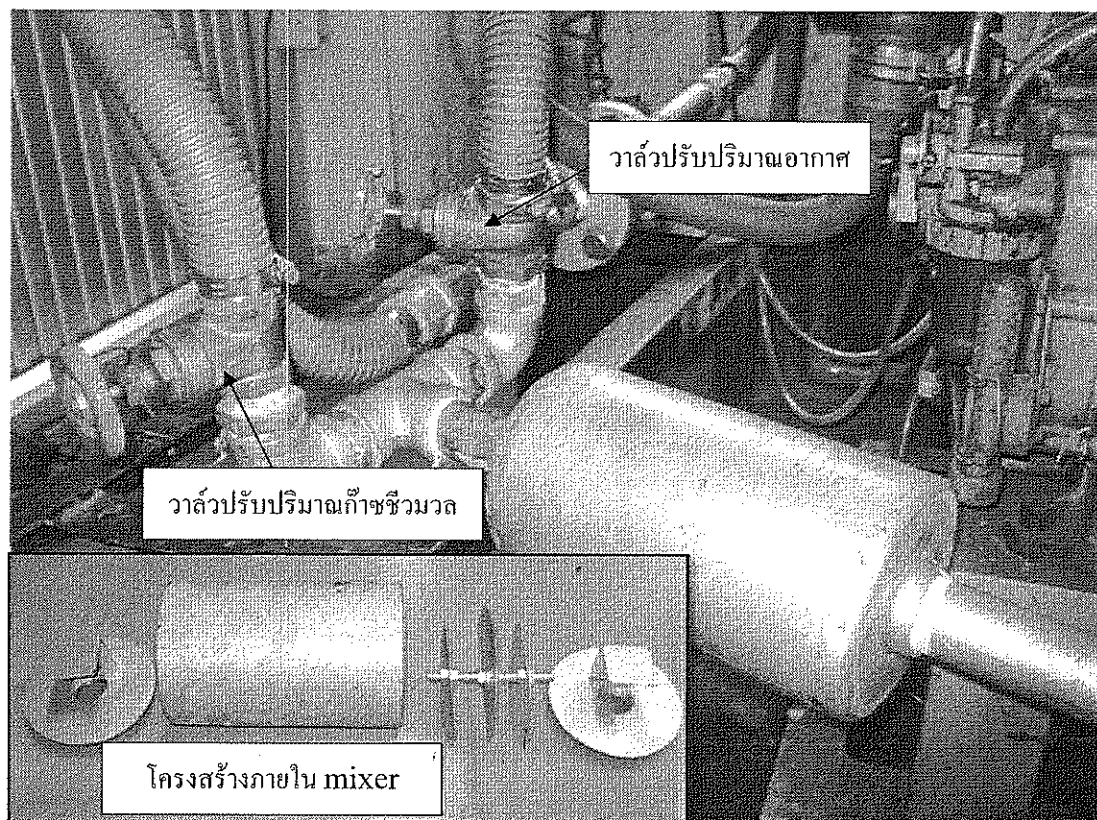
ภาพที่ 3.4 เครื่องยนต์แก๊สโซลีน Honda GX160 ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของเครื่องยนต์ Honda GX 160 ที่ใช้ทดสอบ

รายการ	รายละเอียด
Model	Honda GX160
Bore x Stroke	68 x 45
No. of cylinder	1
Piston displacement	163 cc.
Maximum output	4.1 kW / 3600 rpm
Maximum torque	11 Nm / 2500 rpm
Compression ratio	8.5:1

3.1.2 อุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ (Air-gas mixer)

อุปกรณ์ผสมอากาศและเชื้อเพลิง (Air-gas mixer) ที่ใช้ในการทดลองนี้ ออกแบบโดยอ้างอิงการศึกษาของ Anil et al. (2006) ดังแสดงในรูปที่ 3.5



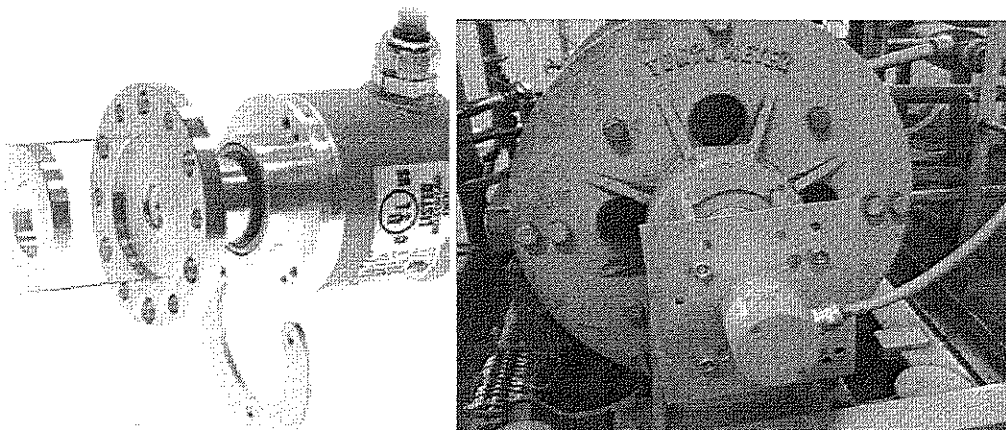
ภาพที่ 3.5 อุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ (Air-gas mixer)

3.1.3 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.3.1 ชุดวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์

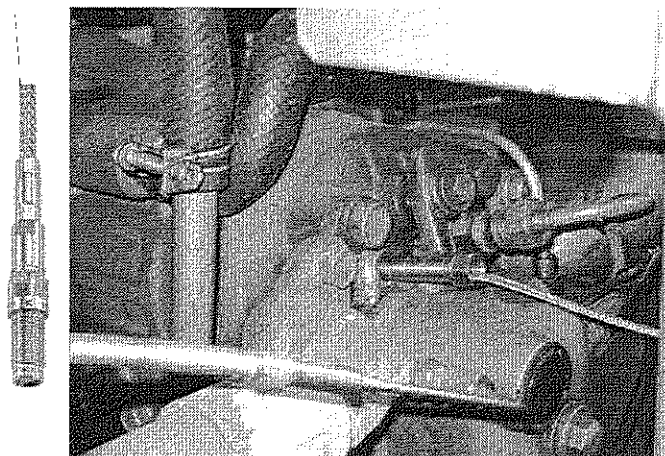
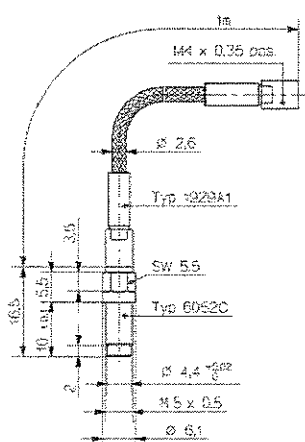
เครื่องวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์มีอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง 2 ส่วน คือ เซ็นเซอร์ต่าง ๆ และชุดเก็บข้อมูลจากเครื่องยนต์ ซึ่งรายละเอียดของแต่ละอุปกรณ์ มีดังนี้

1) อุปกรณ์วัดองศาเพลาคือ (Shaft encoder) ในภาพที่ 3.6 เป็นอุปกรณ์วัดองศาของเพลาคือ (Shaft encoder) ยี่ห้อ Wachendorff Drehgeber รุ่น DWG 58D ที่ได้รับการติดตั้งกับเพลาส่งกำลังของเครื่องยนต์และไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งมีความละเอียดในการวัด 0.2 องศาเพลาคือ โดยสัญญาณจากเซนเซอร์จะถูกส่งไปที่ เครื่องรับสัญญาณต่อไป



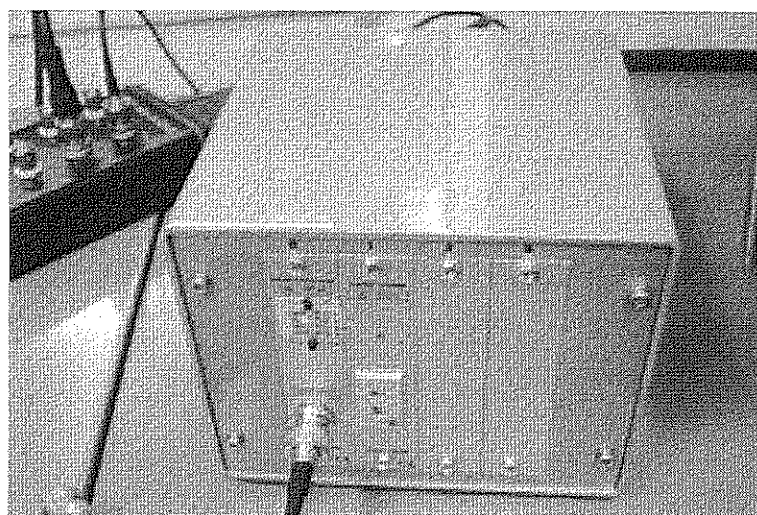
ภาพที่ 3.6 เซ็นเซอร์วัดองศาเพลาคือและการติดตั้งกับชุดทดลอง

2) อุปกรณ์วัดความดันในกระบอกสูบ (Pressure transducer) ดังแสดงในภาพที่ 3.7 เป็นเซนเซอร์วัดความดันในกระบอกสูบ ชนิด Piezoelectric ยี่ห้อ KISTLER รุ่น 6052C ผลิตจากผลึกควอตซ์ ที่มีประสิทธิภาพสูง ได้รับการผลิตมาเพื่อใช้สำหรับวัดความดันในกระบอกสูบเครื่องยนต์สันดาปภายในโดยเฉพาะ ช่วงความดันที่วัดได้คือ 0-250 บาร์ Sensitivity -20 pC/Bar ช่วงอุณหภูมิในการวัด -20-350 องศาเซลเซียส เกลียวติดตั้งขนาด M5x0.5



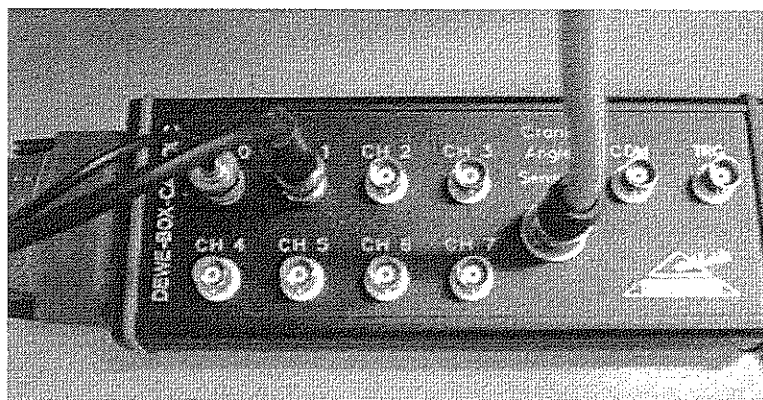
ภาพที่ 3.7 เซนเซอร์วัดความดันในกระบอบสูบและการติดตั้งในเครื่องยนต์ดีเซล

3) อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Charge amplifier) ยี่ห้อ Dewetron รุ่น DEWE-30-4 ในภาพที่ 3.8 ใช้ขยายสัญญาณจากเซนเซอร์วัดความดันกระบอบสูบ



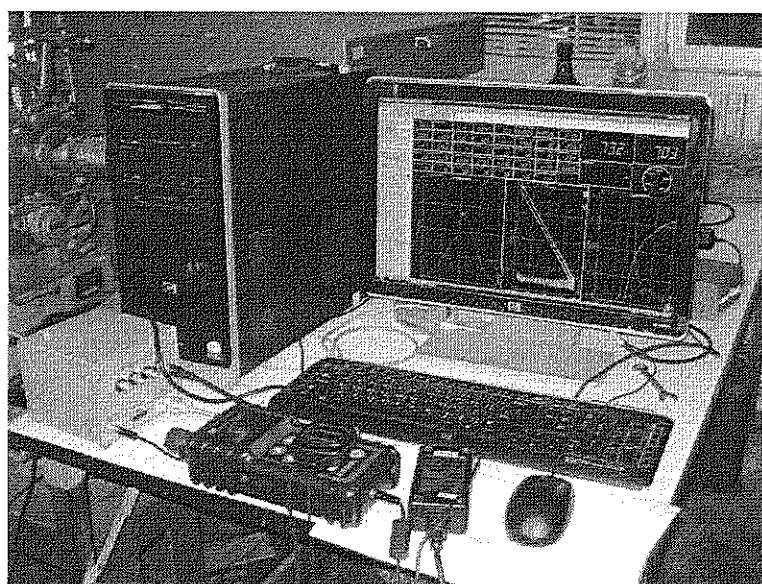
ภาพที่ 3.8 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ

4) เครื่องรับสัญญาณข้อมูล (DAQ-Box) ยี่ห้อ Dewetron ในภาพที่ 3.9 เป็นเครื่องรับสัญญาณจากเซนเซอร์วัดความดันในกระบอบสูบที่ผ่านการขยายสัญญาณแล้ว และข้อมูลลงสาเฟลาข้อเหวี่ยงจาก Shaft encoder เพื่อส่งข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์ต่อไป



ภาพที่ 3.9 เครื่องรับสัญญาณข้อมูล (DAQ-Box)

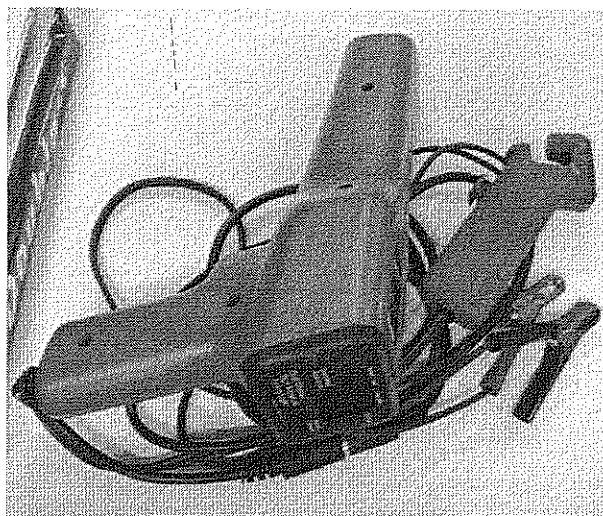
5) เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกข้อมูล ภาพที่ 3.10 เป็นคอมพิวเตอร์ที่ได้รับการติดตั้งโปรแกรม Dewesoft 6.6 ซึ่งใช้สำหรับการบันทึกข้อมูลความดันในกระบอกสูบที่องศาเพลลาข้อเหวี่ยงต่าง ๆ



ภาพที่ 3.10 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรม Dewesoft 6.6

3.1.3.2 อุปกรณ์วัดองศาจุดระเบิด

อุปกรณ์วัดองศาจุดระเบิด ดังแสดงในภาพที่ 3.11 เป็นเครื่องวัดองศาจุดระเบิด ยี่ห้อ Ferret รุ่น 88 มีหน้าจอ 2 บรรทัด ซึ่งสามารถอ่านค่าความเร็วรอบและองศาจุดระเบิดในเวลาเดียวกันได้ รายละเอียดข้อมูลจำเพาะของเครื่องวัดองศาจุดระเบิดแสดงในตารางที่ 3.4



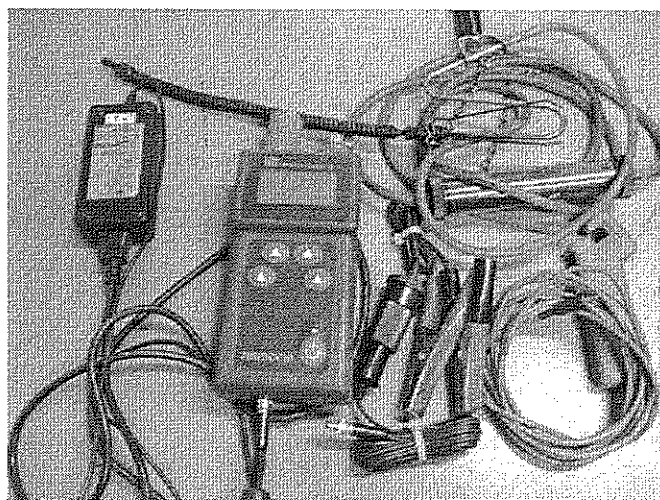
ภาพที่ 3.11 เครื่องวัดตวงเสาจุดระเบิด Ferret 88

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องวัดตวงเสาจุดระเบิด Ferret 88

Scale	Range	Resolution/Accuracy
Advance (400-500 rpm)	To 90 degrees	0.5 degree \pm 1 degree
Tachometer	400-9990 rpm	10 rpm \pm 1%
Strobe RPM	400-5000 rpm	10 rpm \pm 1%
Power Req.	10-16 Volts DC, 1.5 Amp	12 Volt battery
Weights & Dimenions		
Leads	1.5 meter	
Weight	770 gram	
Size	30x7 cm.	

3.1.3.3 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซจากไอเสียเครื่องยนต์

เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียเครื่องยนต์ รุ่น HM5000 ผลิตโดยบริษัท Infrared industries ดังแสดงในภาพที่ 3.12 สามารถวัดก๊าซไอเสียได้ 5 ชนิดคือ Hydrocarbons (HC) Carbon Monoxide (CO) Carbon Dioxide(CO₂) Oxygen (O₂) และ Nitic Oxide (NOx) โดยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียมีข้อมูลจำเพาะดังแสดงในตารางที่ 3.5



ภาพที่ 3.12 เครื่องวัดไอเสีย HM5000

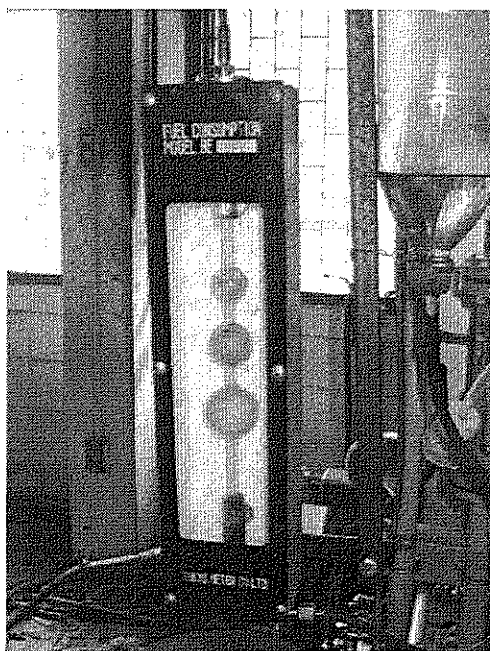
ตารางที่ 3.5 รายละเอียดด้านเทคนิคของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย HM5000

รายการ	รายละเอียด
Display	Backlit LCD, Graphic 128x64 mm
External Power	10-16 VDC, less than 1A
Internal Power	Rechargeable Lithium-Ion Battery Pack
Gases-NDIR	HC, CO and CO ₂
Gases-ElectroChemical cell	O ₂ and NOx
Operating Temperature	35° to 110°F
Size	7.5" x 3.5" x 2"
Weight	Less than 2 ponds
Outputs	RS232, Eight Analog Outputs 0-5 VDC
Probe	
Meterial	Pistol grip with stainless Steel
Hose Length	10"
Requirements	BAR 90/97
Insertion Length	Up to 27"

ตารางที่ 3.5 รายละเอียดด้านเทคนิคของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย HM5000 (ต่อ)

Gas	Range	Resolution	Accuracy
Hydrocarbons (HC)	0-10,000 ppm	10 ppm	±2%
Carbon Monoxide (CO)	0-10%	0.01%	±2%
Carbon Dioxide (CO ₂)	0-20%	0.01%	±2%
Oxygen (O ₂)	0-25%	0.01%	±1%
Nitric Oxide (NOx)	0-5000 ppm	1 ppm	±2%

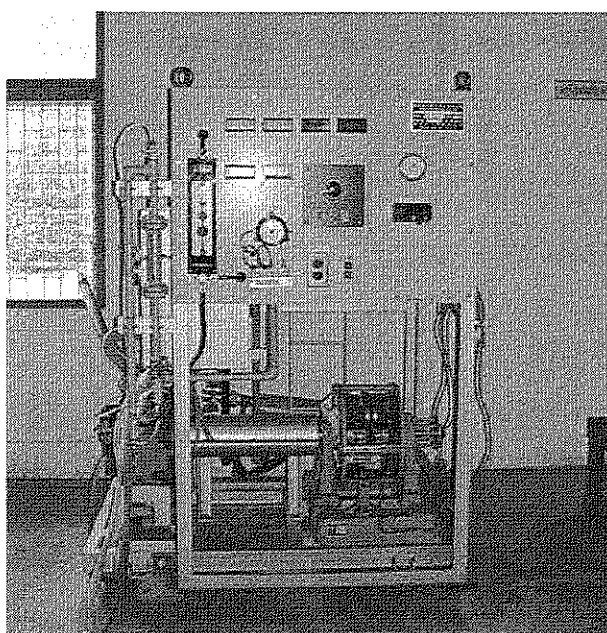
3.1.3.4 อุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงทั้งน้ำมันแก๊สโซลีน และน้ำมันดีเซล ในการทดลองนี้ใช้อุปกรณ์วัดแบบ 3 กระเปาะ ดังแสดงในภาพที่ 3.13 ซึ่งสามารถวัดปริมาณการใช้น้ำมันได้ 3 ช่วง คือ 5 ml, 10 ml และ 15 ml



ภาพที่ 3.13 อุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

3.1.3.5 ไคนาโมมิเตอร์

ไคนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ ติดตั้งอยู่ที่อาคารปฏิบัติการยานยนต์ (EN4) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เป็นไคนาโมมิเตอร์แบบกระแสหมุนวน (Eddy current dynamometer) พร้อมแผงควบคุม รุ่น EA-10 ผลิตโดยบริษัท Tokyo Meter ดังแสดงในภาพที่ 3.14 โดยมีรายละเอียดจำเพาะดังแสดงในตารางที่ 3.6 (Tokyo Meter, 1994)



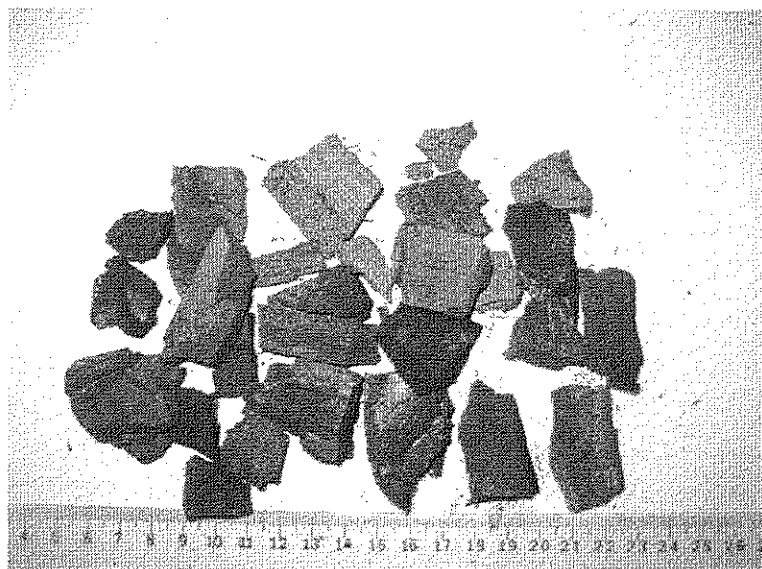
ภาพที่ 3.14 ไคนาโมมิเตอร์พร้อมแผงควบคุม

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดจำเพาะของชุดวัดสมรรถนะเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

รายการ	รายละเอียด
Model	EA-10
Max. absorbing horse power	10 PS
Max shaft rotational speed	5000 rpm
Arm length	238.9 mm
Rotational speed indicator	Model AC-951-21, ASAHI KEIKI CO., LTD
Torque indicator	Model TDW 8, Tokyo Meter Co., Ltd.
Load cell rated capacity	20 kgf

3.2 เชื้อเพลิงสำหรับการทดลอง

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองนี้ ประกอบด้วย น้ำมันดีเซล น้ำมันแก๊สโซลีน และก๊าซชีว-
มวล โดยน้ำมันดีเซลและน้ำมันแก๊สโซลีนที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นน้ำมันที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์
ทั่วไป ส่วนก๊าซชีวมวลที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้จากเตาผลิตก๊าซชีวมวลขนาด 50 kW_{th} ที่ใช้ถ่านไม้
ขนาด 2x2x2 เซนติเมตร ถึง 3x3x3 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.15 เป็นเชื้อเพลิง ในการทดลองนี้
เลือกใช้ถ่านไม้เพื่อป้องกันปัญหาน้ำมันดินและการควบคุมความชื้น ที่จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของ
ก๊าซที่ใช้ในการทดลอง ค่าองค์ประกอบก๊าซและค่าความร้อนที่ได้จากการส่งตรวจสอบใน
ห้องปฏิบัติการ ที่ศูนย์เชี่ยวชาญด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี แสดงในตารางที่ 3.7



ภาพที่ 3.15 ถ่านไม้ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.7 องค์ประกอบก๊าซชีวมวลที่ได้จากการวิเคราะห์

Gas	Percent by volume
CO	27 - 32.3 %
H ₂	3.2 - 4.2%
CH ₄	0%
O ₂	0.04%
Calorific value	4.2 – 4.6 MJ/Nm ³
A/F _{Stoich}	0.85

3.3 การวัดค่าตัวแปรในการทดลองและการคำนวณ

ตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองนี้ ได้แก่ ภาระเครื่องยนต์ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ อัตราการไหลของอากาศ อัตราการไหลของก๊าซ ปริมาณไอเสีย และอุณหภูมิจุดต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดในการวัดและคำนวณดังนี้

3.3.1 การวัดค่าภาระ ความเร็วรอบและกำลังของเครื่องยนต์

ในการทดลองนี้ได้วัดค่าภาระของเครื่องยนต์โดยใช้โหลดเซลล์ ซึ่งติดตั้งอยู่ในชุดวัดสมรรถนะเครื่องยนต์ ซึ่งมีพิสัยสูงสุดรับได้ 20 kgf และมีความละเอียดในการปรับค่า 0.1 kgf โดยแขนของไดนาโมมิเตอร์มีความยาว 238.9 mm ดังนั้น สามารถคำนวณทอร์กที่ได้จากการวัด ดังสมการที่ (3.1)

$$T = 0.2389 \times W \times 9.81 (\text{Nm}) \quad (3.1)$$

โดย W คือน้ำหนักที่กดลงบนโหลดเซลล์

การวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ วัดโดยใช้เซนเซอร์วัดความเร็วรอบที่ติดตั้งกับเพลลาของไดนาโมมิเตอร์ และอ่านค่าจากหน้าจอแสดงผลดิจิทัล โดยแสดงผลเป็นรอบต่อวินาทีที่มีความละเอียดในการแสดงผล 1 รอบต่อวินาที

หลังจากวัดค่าความเร็วรอบและทอร์กของเครื่องยนต์แล้ว สามารถนำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาลำกำลังของเครื่องยนต์ได้ดังสมการที่ (3.2) แล้วคำนวณหาค่า BMEP ตามสมการที่ (2.22)

$$P = \frac{2\pi n T}{60} (\text{kW}) \quad (3.2)$$

โดย P คือ กำลังของเครื่องยนต์ (kW)

n คือ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)

T คือ ทอร์กของเครื่องยนต์ (Nm)

3.3.2 การวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ทั้งน้ำมันดีเซลและน้ำมันแก๊สโซลีน วัดได้โดยการใช้อุปกรณ์วัดการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงชนิด 3 กระเปาะ โดยใช้นาฬิกาจับเวลาที่ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง 15 cc และนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ดังสมการที่ (3.3)

$$\text{Fuel consumption} = \frac{m_f}{t} (\text{l/s}) \quad (3.3)$$

โดย Fuel consumption คือ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (litre/s)

m_f คือ ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ (litre)

t คือ เวลาที่วัดได้

การวัดอัตราการไหลของก๊าซชีววมวล ใช้อุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบแผ่นออริฟิซ (Orifice plate) และมานอมิเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 3.16 โดยวัดค่าออกมาเป็นปริมาณความสูงแตกต่างของน้ำ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรของน้ำ นำค่าที่อ่านได้ไปคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ โดยใช้สมการที่ 3.4

$$m = CA \sqrt{2\rho(P_1 - P_2)} \quad (3.4)$$

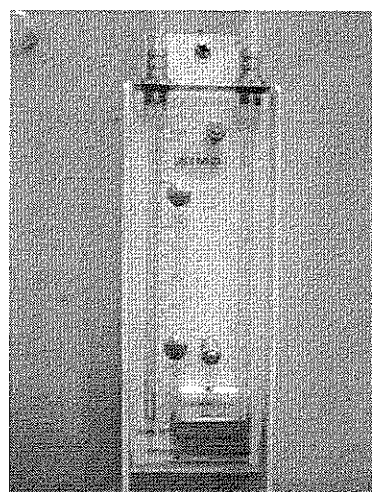
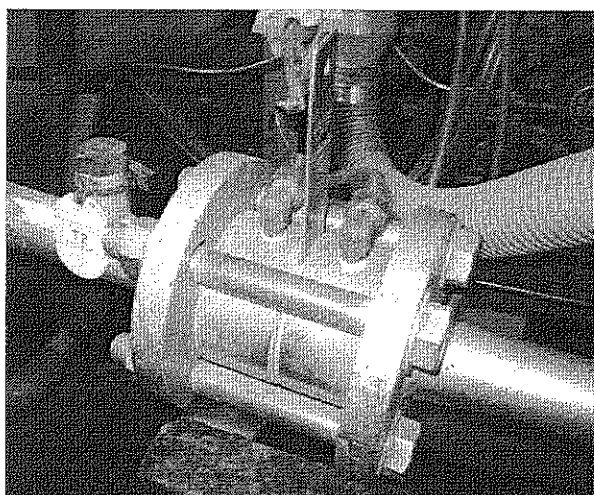
โดย m คือ อัตราการไหลของก๊าซชีววมวล (kg/s)

C คือ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของออริฟิซ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของรูออริฟิซ

ρ คือ ความหนาแน่นของก๊าซชีววมวล (kg/m³)

$(p_1 - p_2)$ คือ ค่าความดันตกคร่อมแผ่นออริฟิซ (kg/m²)

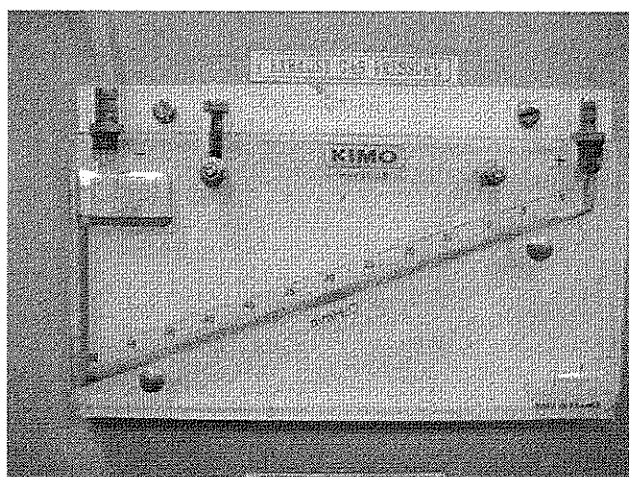
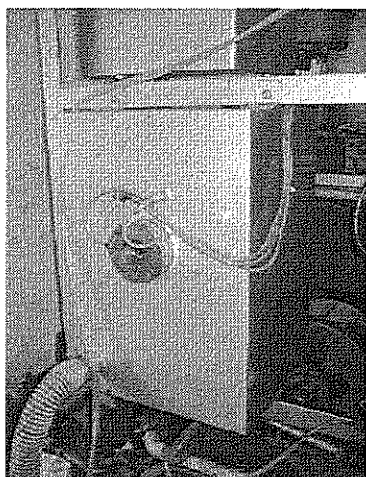


ภาพที่ 3.16 แผ่นออริฟิซและมานอมิเตอร์ที่ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของก๊าซชีววมวล

การวัดอัตราการไหลของอากาศเข้าเครื่องยนต์ ใช้อุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบแผ่นออริฟิซ (Orifice plate) ที่ติดตั้งกับกล่องลม (Air box) ขนาด 95 ลิตร ดังแสดงในภาพที่ 3.17 โดยวัดค่าออกมาเป็นปริมาณความสูงแตกต่างของน้ำ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรของน้ำ นำค่าที่อ่านได้ไปคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศโดยใช้สมการที่ (3.5) (Tokyo Meter, 1994)

$$G_s = \alpha \times \epsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2g\gamma_a (p_1 - p_2)} \quad (3.5)$$

- โดย G_s คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)
 α คือ สัมประสิทธิ์การไหล สำหรับ Round nozzle มีค่า 0.822
 ϵ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับของไหลที่อัดตัวได้
 d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของแผ่นออริฟิซ (m)
 g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่า 9.81 m/s^2
 γ_a คือ ค่าน้ำหนักจำเพาะของอากาศชื้น (kg/m^3)
 $(p_1 - p_2)$ คือ ค่าความดันตกคร่อมแผ่นออริฟิซ (kg/m^2)



ภาพที่ 3.17 Air box และ Orifice plate สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศเข้าเครื่องยนต์

อัตราทดแทนน้ำมันดีเซล (Diesel saving ratio) คือ ปริมาณร้อยละที่ก๊าซชีววมวลสามารถทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลได้ที่ภาระและความเร็วรอบเท่ากัน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.6)

$$\text{Diesel saving ratio} = \frac{m_d - m_p}{m_d} \times 100 \quad (3.6)$$

โดย m_d และ m_p เป็นปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลเมื่อใช้ในรูปแบบน้ำมันดีเซลอย่างเดี่ยวและเชื้อเพลิงร่วม ตามลำดับ

3.3.3 การวัดความดันในกระบอกสูบและการวิเคราะห์ผล

ข้อมูลความดันและปริมาตรในกระบอกสูบในการทดลองนี้ ได้มาจากการติดตั้งอุปกรณ์วัดความดันในกระบอกสูบ และอุปกรณ์วัดองศาเพลาคือเข็ม โดยค่าความดันในกระบอกสูบที่วัดได้ มีหน่วยเป็นบาร์ (Bar) ข้อมูลความดันในกระบอกสูบจะถูกบันทึกไว้ในคอมพิวเตอร์ ทุก ๆ 0.2 องศาเพลาคือเข็ม ดังนั้น ในการหมุนของเครื่องยนต์ 1 รอบจะมีข้อมูลความดันในกระบอกสูบ 3,600 ข้อมูล และข้อมูลความดันในกระบอกสูบที่วัดได้จะถูกนำไปคำนวณหาค่าอัตราการปล่อยความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันระหว่างวัฏจักรต่อวัฏจักร ดังสมการต่าง ๆ ที่แสดงไว้ในบทที่ 2

ข้อมูลความดันในกระบอกสูบที่องศาเพลาคือเข็มต่าง ๆ ตลอดช่วงจังหวะอัด และจังหวะขยายตัวสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ในการหาอัตราการปล่อยความร้อน โดยใช้กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์สำหรับระบบเปิด ซึ่งอัตราการปล่อยความร้อน สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 3.7 ดังนี้

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{1}{\gamma - 1} V \frac{dP}{d\theta} + \frac{\gamma}{\gamma - 1} P \frac{dV}{d\theta} \quad (3.7)$$

โดย

Q_u = การปล่อยความร้อนสุทธิ (J)

γ = อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ (c_p/c_v) และในการวิเคราะห์อัตรา
การปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซล ช่วงของค่า γ ที่เหมาะสม
จะเป็น 1.3-1.35 (Heywood, 1988)

p = ความดันในกระบอกสูบ (Pa)

V = ปริมาตรกระบอกสูบ (m^3)

3.3.4 การวัดปริมาณไอเสีย

ปริมาณไอเสียที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์ จะถูกวัดโดยใช้เครื่องวัดไอเสีย รุ่น HM 5000 โดยการติดตั้งหัววัดไอเสียที่ปลายท่อเสีย และบันทึกค่าไอเสีย เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว (Steady state)

3.3.5 การวัดอุณหภูมิจุดต่าง ๆ

อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิไอเสีย อุณหภูมิ น้ำมันเครื่อง อุณหภูมิ น้ำเข้าและออกจากเครื่องยนต์จะถูกวัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลที่ติดตั้งไว้กับเครื่องยนต์ในจุดต่าง ๆ และบันทึกค่าไอเสีย เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว

3.4 วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้แบ่งการศึกษออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีแรก ศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ สมรรถนะ และมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม และกรณีที่สอง เป็นการศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงเดี่ยว โดยในแต่ละกรณีมีวิธีการทดสอบ ดังนี้

3.4.1 การทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์ดีเซล

ในการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซล ทั้งในรูปแบบเชื้อเพลิงเดี่ยว และการใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม จะติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดดังแสดงในภาพที่ 3.18 โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วนดังนี้

3.4.1.1 การทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว

การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ การปล่อยมลพิษและการวัดความดัน ในกระบอกสูบ ทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 1,500 รอบต่อนาที เมื่อไม่ใส่ภาระ (No load) และที่ภาระต่าง ๆ โดยเพิ่มภาระขึ้นเป็นช่วง จนถึงภาระสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้

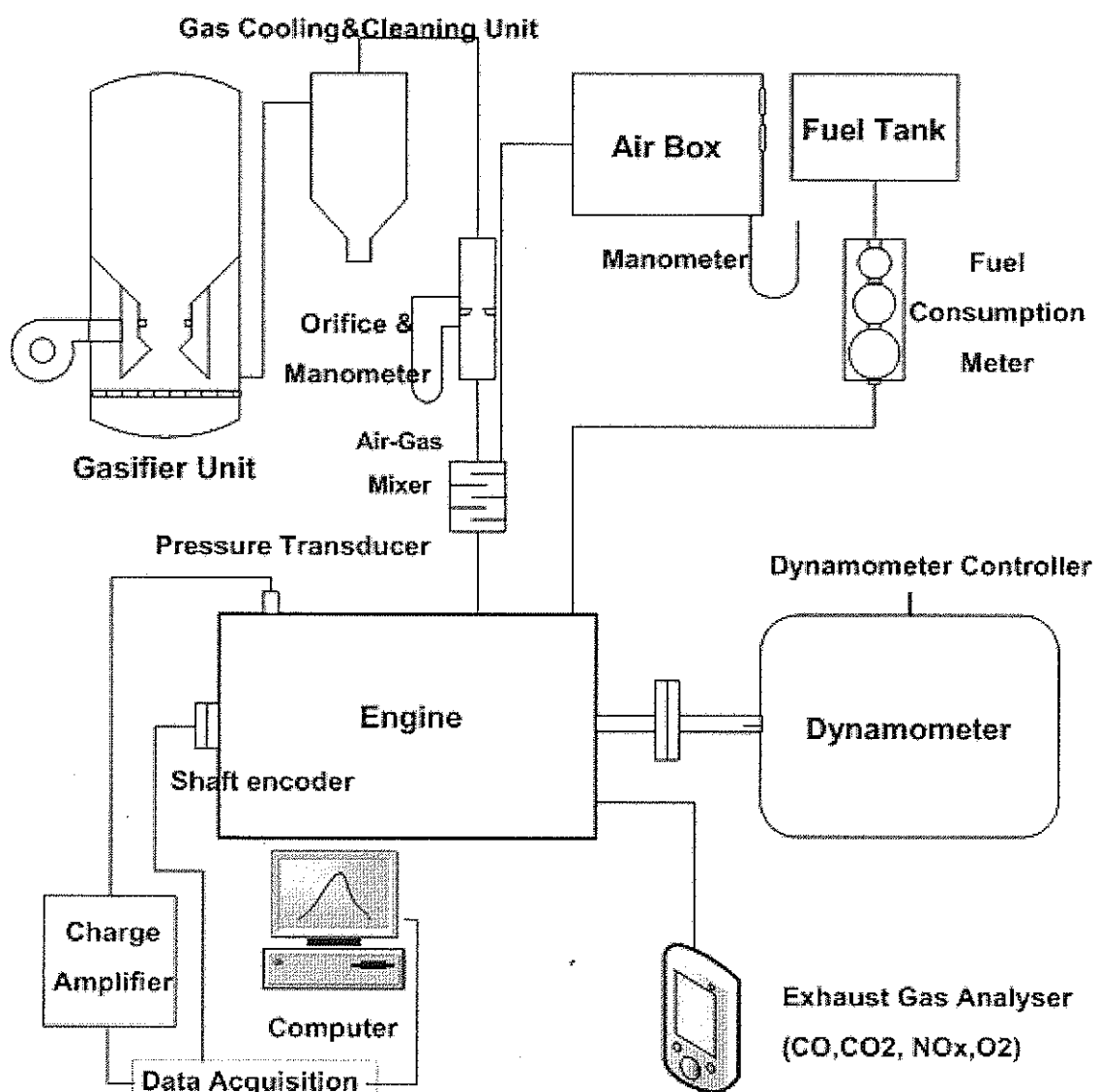
1) เริ่มการทดสอบ โดยการอุ่นเครื่องยนต์และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่รอบเดินเบา โดยไม่ใส่ภาระ จนกระทั่งอุณหภูมิทุกจุดคงที่ และเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว ซึ่งใช้เวลาประมาณ 15 นาที

2) ปรับปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลโดยใช้คันเร่ง จนความเร็วรอบเครื่องยนต์ถึง 1,500 รอบต่อนาที โดยไม่ใส่ภาระ ปรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นเพื่อให้น้ำหล่อเย็นที่ไหลออกจากเครื่องยนต์มีอุณหภูมิ 80 ± 5 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัวประมาณ 10 นาที

แล้วบันทึกค่า ความเร็วรอบ ภาระ อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ อุณหภูมิจุดต่าง ๆ ค่ามลพิษ และค่าความดันในระบบทดสอบ

3) หลังจากนั้นทดสอบในลักษณะเดียวกันตามข้อ 2) แต่เพิ่มภาระขึ้นเป็นช่วง โดยเพิ่มภาระครั้งละ 1 kgf (9.81 N) และบันทึกค่าต่าง ๆ เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว

4) เมื่อทดสอบจนถึงภาระสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้แล้ว ปรับเครื่องยนต์ให้อยู่ในรอบเดินเบา โดยไม่ใส่ภาระประมาณ 5 นาทีก่อนดับเครื่องยนต์



ภาพที่ 3.18 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบ

3.4.1.2 การทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีววมวล

แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ส่วน คือ การทดสอบโดยปรับภาระเพื่อหาอัตราการผลิตสูงสุด การทดสอบที่อัตราการผลิตต่าง ๆ ที่ภาระคงที่ และการทดสอบที่อัตราการผลิตต่าง ๆ เมื่ออัตราการผลิตน้ำมันดีเซลคงที่

1) การทดสอบโดยปรับภาระเพื่อหาอัตราการผลิตสูงสุด

- ขั้นตอนที่ 1 เริ่มทดสอบหลังจากเริ่มจุดเตาผลิตก๊าซชีววมวลได้ 30 นาที เพื่อให้แน่ใจว่า เตาผลิตก๊าซชีววมวลทำงานในสภาวะคงตัว

- ขั้นตอนที่ 2 ปรับปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลให้ได้ 1,500 รอบต่อ นาที โดยไม่ใส่ภาระ

- ขั้นตอนที่ 3 ปรับปริมาณก๊าซชีววมวลเข้าสู่เครื่องยนต์ จนเครื่องยนต์ มีความเร็วเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดค่าหนึ่ง ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อัตราการผลิตดีเซลสูงสุด แล้วค่อย ๆ ปรับปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลลง จนความเร็วรอบเหลือ 1,500 รอบต่อ นาที แล้วปรับอัตราการผลิตของก๊าซและน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างละเอียดอีกครั้ง ให้แน่ใจว่าได้ตำแหน่งที่อัตราการผลิตสูงสุดที่ 1,500 รอบต่อ นาที

- ขั้นตอนที่ 4 ปรับอัตราการผลิตของน้ำหล่อเย็น เพื่อให้ น้ำหล่อเย็นที่ไหลออกจากเครื่องยนต์มีอุณหภูมิ 80 ± 5 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของข้อมูล เนื่องจากความต่างของอุณหภูมิ รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัวประมาณ 10 นาที แล้วบันทึกค่าความเร็วรอบ ภาระ อัตราการผลิตของเชื้อเพลิง อากาศ อุณหภูมิจุดต่าง ๆ มลพิษ และค่าความดันในกระบอกสูบ

- ขั้นตอนที่ 5 หลังจากนั้น ทดสอบในลักษณะเดียวกันกับขั้นตอนที่ 2-4 แต่เพิ่มภาระขึ้นเป็นช่วง โดยใส่ภาระครั้งละ 1 kgf และบันทึกค่าต่าง ๆ ตามขั้นตอนที่ 4 เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว

- ขั้นตอนที่ 6 เมื่อทดสอบจนถึงภาระสูงสุดแล้ว ปรับเครื่องยนต์ให้อยู่ในรอบเดินเบาโดยไม่ใส่ภาระประมาณ 5 นาที ก่อนดับเครื่อง

2) การทดสอบที่อัตราการผลิตต่าง ๆ ที่ภาระคงที่

นอกจากการปรับสัดส่วนก๊าซชีววมวลให้ทดแทนได้สูงสุดแล้ว งานวิจัยนี้จะศึกษาผลของสัดส่วนการทดแทนน้ำมันดีเซล ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ด้วย ซึ่งจะเลือกทดสอบที่ตำแหน่งภาระที่มีอัตราการผลิตสูงสุด โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 เริ่มทดสอบหลังจากเริ่มจุดเตาผลิตก๊าซชีววมวลได้ 30 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าเตาผลิตก๊าซชีววมวลทำงานในสภาวะคงตัว

- ขั้นตอนที่ 2 ปรับปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ได้ 1,500 รอบต่อนาที โดยไม่ใส่ภาระ

- ขั้นตอนที่ 3 ปรับภาระของเครื่องยนต์ไปที่ตำแหน่งที่มีอัตราการทดแทนสูงสุด โดยใช้ข้อมูลจากผลการทดลองที่ผ่านมา แล้วปรับเครื่องยนต์ให้ได้ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที

- ขั้นตอนที่ 4 ปรับอัตราการไหลของก๊าซชีววมวลเป็นช่วง แบ่งเป็น 5 ช่วง โดยใช้ข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากการทดลองหาอัตราการทดแทนสูงสุด ปรับปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลลง จนความเร็วรอบเหลือ 1,500 รอบต่อนาที

- ขั้นตอนที่ 5 ปรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น เพื่อให้ให้น้ำหล่อเย็นที่ไหลออกจากเครื่องยนต์มีอุณหภูมิ 80 ± 5 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัวประมาณ 10 นาที แล้วจึงบันทึกค่า อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ อุณหภูมิจุดต่าง ๆ ค่ามลพิษ และค่าความดันในกระบอกสูบ

- ขั้นตอนที่ 6 เมื่อทดสอบจนถึงภาระสูงสุดแล้ว ปรับเครื่องยนต์ให้อยู่ในรอบเดินเบาโดยไม่ใส่ภาระประมาณ 5 นาที ก่อนดับเครื่อง

3) การทดสอบที่อัตราการทดแทนต่าง ๆ ที่อัตราการฉีดน้ำมันดีเซลคงที่

นอกจากการปรับสัดส่วนก๊าซชีววมวลให้ทดแทน ที่ภาระคงที่แล้ว งานวิจัยนี้ยังศึกษาผลของสัดส่วนการทดแทนน้ำมันดีเซล ที่อัตราการฉีดน้ำมันดีเซลคงที่ด้วย โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 เริ่มทดสอบหลังจากเริ่มจุดเตาผลิตก๊าซชีววมวลได้ 30 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าเตาผลิตก๊าซชีววมวลทำงานในสภาวะคงตัว

- ขั้นตอนที่ 2 ปรับปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลให้ได้ 1,500 รอบต่อนาที โดยไม่ใส่ภาระ

- ขั้นตอนที่ 3 ปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ไปที่ 1,500 รอบต่อนาที แล้วบันทึกค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลที่สภาวะไม่มีภาระ การทดสอบนี้จะตั้งอัตราการฉีดน้ำมันคงที่ไว้ที่ค่านี้

- ขั้นตอนที่ 4 ปรับภาระเครื่องยนต์ขึ้นครั้งละ 2.5 Nm แล้วปรับอัตราการไหลของก๊าซชีววมวลเพิ่มขึ้น จนความเร็วรอบเครื่องยนต์ได้ 1,500 รอบต่อนาที

- ขั้นตอนที่ 5 ปรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น เพื่อให้ให้น้ำหล่อเย็นที่ไหลออกจากเครื่องยนต์มีอุณหภูมิ 80 ± 5 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัวประมาณ 10 นาทีแล้วบันทึกค่า อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ อุณหภูมิจุดต่าง ๆ ค่ามลพิษ และค่าความดันในกระบอกสูบ

- ขั้นตอนที่ 6 เมื่อทดสอบจนถึงภาระสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้แล้ว ปรับเครื่องยนต์ให้อยู่ในรอบเดินเบาโดยไม่ใส่ภาระประมาณ 5 นาที ก่อนดับเครื่อง

3.4.2 ทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

กรณีทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ มีการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัด คล้ายกับการทดสอบในเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม แต่ต่างที่เครื่องยนต์และเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ โดยเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบจะดัดแปลงให้สามารถปรับอัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดได้ เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนอัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

3.4.2.1 การทดสอบเครื่องยนต์แก๊สโซลีนโดยใช้น้ำมันแก๊สโซลีน

การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ และการปลดปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิงเพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบ ทดสอบที่ภาระสูงสุด (Full load) ลินปีกผีเสื้อเต็มที่ เมื่อไม่ใส่ภาระ และที่ภาระต่าง ๆ โดยเพิ่มภาระขึ้นเป็นช่วงจนถึงภาระสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้

1) เริ่มการทดสอบโดยอุ่นเครื่องยนต์และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่รอบเดินเบา โดยไม่มีภาระ จนกระทั่งเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว ซึ่งใช้เวลาประมาณ 15 นาที

2) ปรับคันเร่งไปที่ตำแหน่งปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ จนความเร็วรอบเครื่องยนต์ถึงจุดสูงสุด แล้วใส่ภาระเพื่อให้ความเร็วรอบลดลงเหลือ 3500 rpm รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัวประมาณ 10 นาทีแล้วบันทึกค่า ความเร็วรอบ ภาระ อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ อุณหภูมิจุดต่าง ๆ มลพิษ และค่าความดันในกระบอกสูบ

3) หลังจากนั้นทดสอบในลักษณะเดียวกันแต่เพิ่มภาระขึ้นเพื่อให้ความรอบของเครื่องยนต์คงที่ 3000 rpm 2500 rpm 2000 rpm และ 1500 rpm โดยการใส่ภาระ และบันทึกค่าต่าง ๆ ตามข้อ 2) เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว

4) เมื่อทดสอบจนถึงความเร็วรอบต่ำสุดแล้ว ปรับเครื่องยนต์ให้อยู่ในรอบเดินเบาโดยไม่ใส่ภาระประมาณ 5 นาที ก่อนดับเครื่อง

3.5.1.2 การทดสอบเครื่องยนต์แก๊สโซลีนโดยใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง

แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบที่องศาจุดระเบิดต่าง ๆ และการทดสอบที่อัตราส่วนการอัดต่าง ๆ ที่ภาระเต็มที่ (ลินปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่)

1) การทดสอบที่ห้องสาจรระเบิดต่าง ๆ

- ขั้นตอนที่ 1 เริ่มทดสอบหลังจากเริ่มจุดเตาผลิตก๊าซชีววมวลได้ 30 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าเตาผลิตก๊าซชีววมวลทำงานในสภาวะคงตัว
- ขั้นตอนที่ 2 ปรับองศาจรระเบิดไปที่ตำแหน่งที่ต้องการทดสอบ โดยการปรับตำแหน่งล้อแม่เหล็กของเครื่องยนต์ไปครั้งละ 5 องศาเพื่อหาข้อเหวี่ยง
- ขั้นตอนที่ 3 สตาร์ทเครื่องยนต์แล้วปรับอัตราการไหลของก๊าซชีววมวลและอากาศเข้าสู่เครื่องยนต์ให้ได้ A/F ratio ประมาณ 0.8-0.9 (ค่าที่เหมาะสมทางทฤษฎีสำหรับองค์ประกอบก๊าซที่วัดได้ จากการส่งวิเคราะห์) แล้วปรับคันเร่งของเครื่องยนต์ไปที่ ตำแหน่งปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ โดยไม่ใส่ภาระ รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว 10 นาที แล้วบันทึกผลความเร็วรอบ ภาระ อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ มลพิษ
- ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 3 โดยปรับภาระของเครื่องยนต์ขึ้นเป็นช่วง ช่วงละ 0.2 kgf จนถึงตำแหน่งภาระสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้
- ขั้นตอนที่ 5 เมื่อทดสอบจนถึงภาระสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้แล้ว ปรับเครื่องยนต์ให้อยู่ในรอบเดินเบาโดยไม่ใส่ภาระประมาณ 5 นาที ก่อนดับเครื่อง

2) การทดสอบที่อัตราส่วนการอัดต่าง ๆ

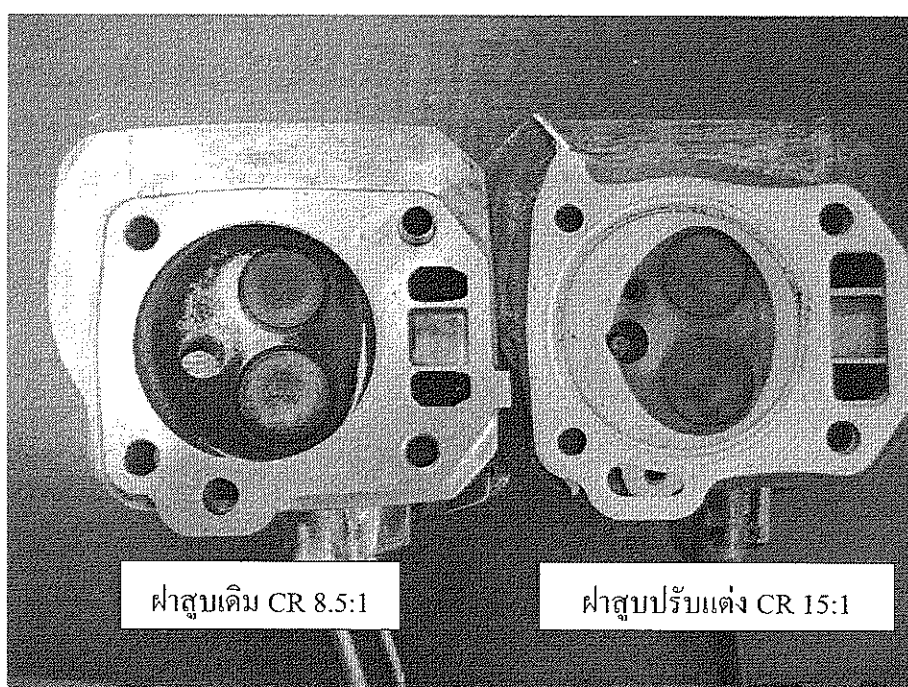
นอกจากการปรับหาตำแหน่งองศาจรระเบิดที่เหมาะสมแล้ว งานวิจัยนี้จะศึกษาผลของอัตราส่วนการอัดที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ด้วย ซึ่งจะเลือกทดสอบที่อัตราส่วนการอัด 3 ค่า คือ 8.5:1 11:1 และ 15:1 การปรับอัตราส่วนการอัดนั้น ผู้วิจัยได้ลดปริมาตรห้องเผาไหม้ โดยการกลึงฝาสูบให้เหลือปริมาตรน้อยลง จนได้อัตราส่วนการอัดเท่ากับ 15:1 ตามที่คำนวณไว้ ดังแสดงในภาพที่ 3.19 และสามารถปรับอัตราส่วนการอัดที่ 11:1 ได้โดยการเพิ่มแผ่นปะเก็นฝาสูบ ส่วนวิธีการทดสอบนั้น ดำเนินการเช่นเดียวกันกับการทดสอบที่ห้องสาจรระเบิดต่าง ๆ ตามขั้นตอนในข้อ 1) เพียงแต่ปรับการทดสอบไปที่อัตราส่วนการอัดต่าง ๆ

3.5 ข้อจำกัดในการศึกษา

ในการศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะการเผาไหม้และสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม สามารถดำเนินการได้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้เป็นอย่างดี แต่ในการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้และสมรรถนะของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงนั้น มีปัญหา อุปสรรคและข้อจำกัด ดังนี้

(1) อุปกรณ์วัดแรงดันในกระบอกสูบที่ใช้สำหรับศึกษาพฤติกรรมของการเผาไหม้ในกระบอกสูบ มีการใช้งานร่วมกันหลายงานวิจัย ทำให้มีความเสียหายอย่างถาวรในระหว่างการ

ทดสอบในโครงการวิจัยอื่น จึงทำให้งานวิจัยนี้ไม่สามารถวัดความดันในกระบอกสูบที่เงื่อนไขการปรับอัตราส่วนการอัด และองศาจุดระเบิดได้ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้ข้อมูลการวัดแรงดันในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ Honda G200 ที่เคยทดสอบไว้ในช่วงการทดสอบเบื้องต้น ที่อัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดมาตรฐาน เทียบกันระหว่างการใช้ น้ำมันแก๊สโซลีนและก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ส่วนข้อมูลลักษณะความดันในกระบอกสูบที่เงื่อนไข การปรับอัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดใช้วิธีอ้างอิงจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่เคยมีการศึกษามาก่อนหน้านี้



ภาพที่ 3.19 เปรียบเทียบฝาสูบเดิมและฝาสูบที่ปรับเพิ่มอัตราส่วนการอัด

(2) ไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ ที่ใช้สำหรับการทดลองเป็นขนาดที่ออกแบบมาสำหรับวัดเครื่องยนต์ที่มีขนาด 10 PS (แรงม้าในระบบเมตริก) และมีจานเบรกขนาดใหญ่ที่ทำหน้าที่เป็นทั้งชุดรับแรงต้าน (ทอร์ค) และเป็นล้อตุ่นกำลัง (Fly wheel) ทำให้เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ติดตั้งสำหรับการทดลอง สูญเสียกำลังให้กับชุดทดสอบค่อนข้างมาก ซึ่งหลัก ๆ มีผลมาจากโมเมนต์ความเฉื่อยของล้อตุ่นกำลัง ทำให้ทอร์คและความเร็วที่วัดได้จากชุดวัดสมรรถนะต่ำกว่าที่ระบุไว้ในค่ามาตรฐานของเครื่องยนต์ แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ค่าที่วัดได้เมื่อนำมาวิเคราะห์แล้ว พบว่า มีแนวโน้มใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่เคยศึกษามาในอดีต

บทที่ 4

ผลการทดสอบและอภิปรายผล

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง ผลการทดสอบการใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด และในรูปแบบเชื้อเพลิงเดี่ยวในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ต่อสมรรถนะ คุณลักษณะการเผาไหม้และมลพิษที่เกิดขึ้น และการอภิปรายผล เทียบกับศึกษาของงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผลการทดสอบมีดังต่อไปนี้

4.1 การใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

4.1.1 อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลและสมรรถนะของเครื่องยนต์

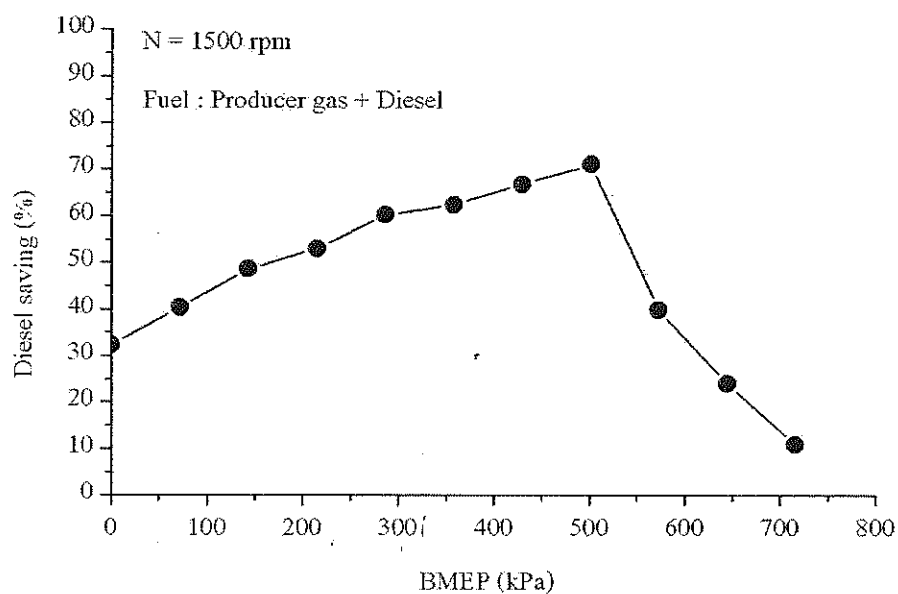
4.1.1.1 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและอัตราทดแทนน้ำมันดีเซล

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณการฉีดน้ำมันในแต่ละภาระ ทั้งการทดสอบในรูปแบบเชื้อเพลิงเดี่ยวและเชื้อเพลิงร่วม โดย m_{diesel} คือ ปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลเมื่อทำงานโดยใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว และ m_{dual} คือ ปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลเมื่อใช้ในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วม โดย λ_{diesel} และ λ_{dual} คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ เมื่อใช้ในรูปแบบน้ำมันดีเซลอย่างเดียวและเชื้อเพลิงร่วม ตามลำดับ ซึ่งการทดสอบในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมในที่นี้ ได้ปรับอัตราการฉีดน้ำมันดีเซลและอัตราการไหลของก๊าซชีววมวล ให้ได้อัตราส่วนการทดแทนสูงสุดในแต่ละภาระ

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 พบว่า การใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์ดีเซล สามารถลดปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลได้ทุกช่วงภาระเครื่องยนต์ โดยสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้สูงสุดร้อยละ 71.15 ที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 501 kPa และที่ภาระเครื่องยนต์สูงขึ้นกว่าจุดนี้ อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากถูกจำกัดด้วยอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F ratio) ที่เหมาะสม และด้วยปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลที่เพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มกำลังให้กับเครื่องยนต์ ทำให้ปริมาณอากาศในกระบอกสูบที่เหลือลดลง ส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีววมวลทดแทนได้น้อยลงตามไปด้วย นอกจากนี้ จากการสังเกตยังพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณก๊าซชีววมวลมากขึ้นเกินกว่าจุดที่เหมาะสม จะทำให้บางวัฏจักรไม่เกิดการเผาไหม้ (Misfire) ทำให้เครื่องยนต์เดินไม่เรียบและมีควันขาวเกิดขึ้น เนื่องจากอากาศไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้

ตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการทดสอบและอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพันธ์ในแต่ละภาระ เมื่อใช้ในรูปแบบน้ำมันดีเซลอย่างเดียวและรูปแบบเชื้อเพลิงรวม และอัตราส่วนการทดแทนน้ำมันดีเซลสูงสุดในแต่ละภาระ

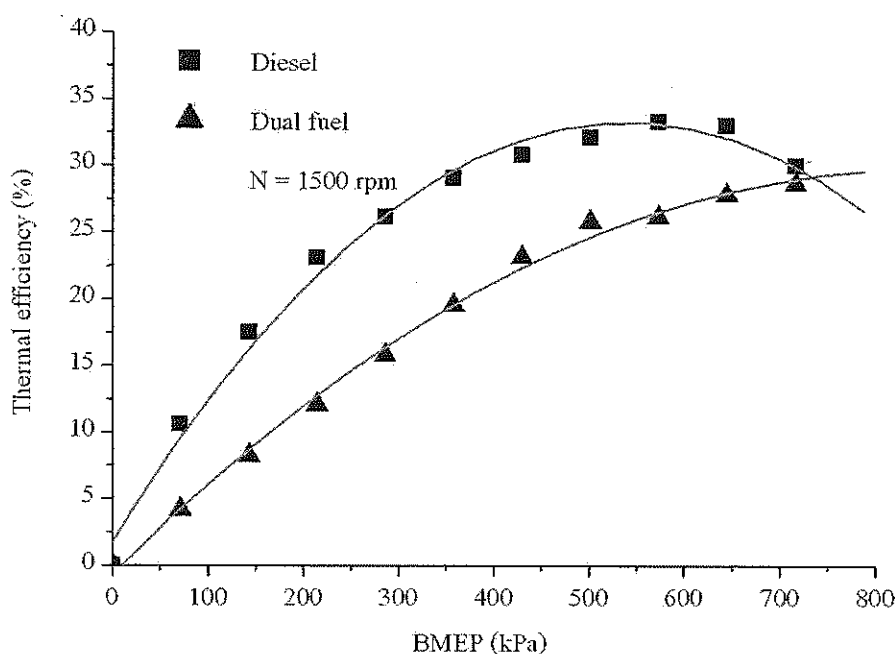
BMEP (kPa)	m_{diesel} (kg/h)	λ_{diesel}	m_{dual} (kg/h)	λ_{dual}	Diesel saving (%)
0.00	0.23	5.94	0.15	1.47	32.33
71.62	0.27	5.02	0.16	1.31	40.34
143.24	0.32	4.15	0.17	1.29	48.56
214.86	0.36	3.63	0.17	1.25	52.99
286.48	0.43	3.08	0.17	1.22	60.22
358.10	0.48	2.71	0.18	1.20	62.45
429.72	0.55	2.40	0.18	1.18	66.80
501.34	0.61	2.14	0.18	1.11	71.15
572.96	0.68	1.92	0.41	1.07	39.82
644.58	0.77	1.70	0.58	1.10	24.05
716.20	0.94	1.37	0.83	1.17	10.91



ภาพที่ 4.1 อัตราส่วนการทดแทนน้ำมันดีเซลด้วยก๊าซชีววมวลที่ภาระ BMEP ต่าง ๆ

4.1.1.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงร่วมกับการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวดังแสดงในภาพที่ 4.2 พบว่า การใช้เชื้อเพลิงร่วมให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวนานทุกช่วงภาระ ซึ่งอาจเกิดจาก ที่อัตราการทดแทนสูงสุด ส่วนผสมอากาศกับเชื้อเพลิงมีลักษณะเป็นสารผสมหนา ทำให้อากาศในห้องเผาไหม้ลดลง ทำให้เกิดความล่าช้าในการจุดระเบิดและเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

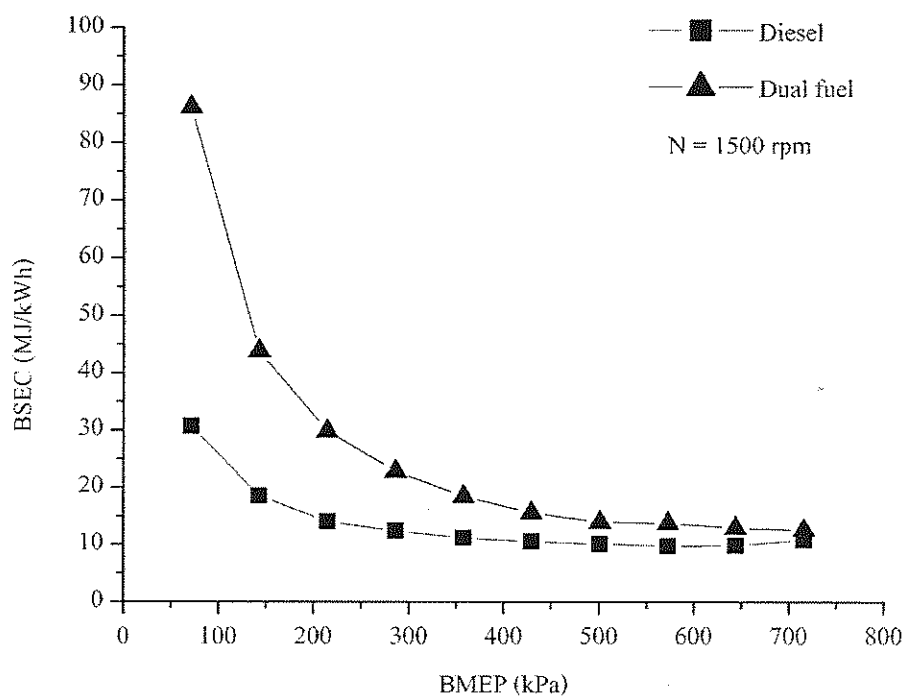


ภาพที่ 4.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ภาระ BMEP ต่าง ๆ

4.1.1.3 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

เนื่องจากการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมนั้น ต้องใช้เชื้อเพลิงสองชนิดที่มีค่าความร้อนต่างกันร่วมกัน ดังนั้น การเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง นิยมใช้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ซึ่งคำนวณจากอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ จากภาพที่ 4.3 พบว่า การใช้งานในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วม มีค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวนานทุกช่วงภาระ สาเหตุที่ทำให้การใช้งานในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงกว่า อาจเกิดจากปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลที่น้อยกว่า ทำให้การแตกเป็นละอองฝอย (Atomization) ไม่ดีเท่าการฉีดเชื้อเพลิงในปริมาณ

มาก ทำให้มีอัตราการเผาไหม้ในช่วงเริ่มต้นต่ำ และเกิดความล่าช้าในการจุดระเบิด จึงต้องใช้เชื้อเพลิงรวมมากกว่าเพื่อให้ได้กำลังเท่ากัน



ภาพที่ 4.3 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ภาระ BMEP ต่าง ๆ

4.1.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม

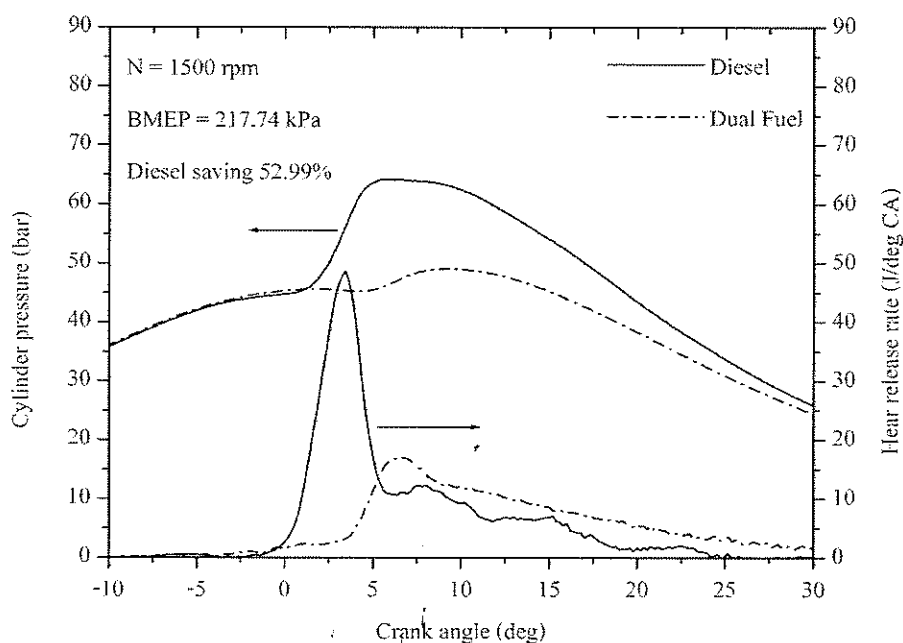
การวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ในที่นี้ ได้นำข้อมูลความดันภายในกระบอกสูบที่บันทึกได้ ไปคำนวณหาอัตราการปล่อยความร้อน โดยใช้ค่าเฉลี่ยจาก 50 วัฏจักร โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่เพิ่มภาระโดยปรับอัตราการทดแทนให้ได้สูงสุดในแต่ละภาระ กรณีปรับสัดส่วนก๊าซชีววมวลกับน้ำมันดีเซลที่เข้าเครื่องยนต์ที่ภาระและความเร็วรอบคงที่ และกรณีปรับสัดส่วนก๊าซชีววมวลที่เข้าเครื่องยนต์ที่ภาระต่าง ๆ เมื่ออัตราการฉีดน้ำมันดีเซลและความเร็วรอบคงที่ เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการเผาไหม้ ที่มีผลต่อสมรรถนะ และการเกิดมลพิษ ซึ่งมีผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.1.2.1 คุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมที่ภาระต่าง ๆ

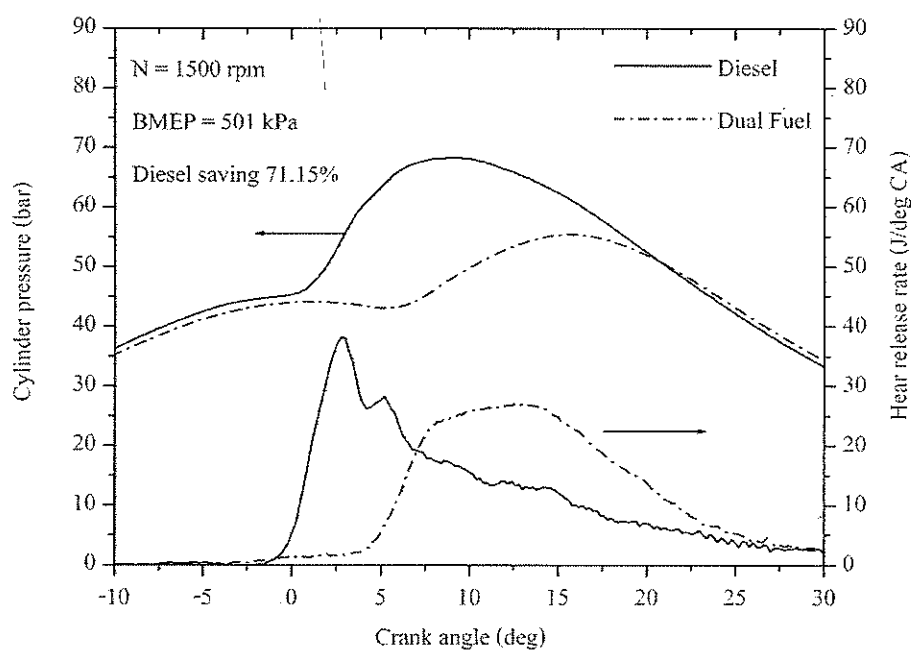
จากภาพ 4.4-4.6 พบว่า การทำงานในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรค 214.74 kPa และ 501 kPa ทำให้ความดันสูงสุดในกระบอกสูบลดลง 15 บาร์ และ 10.28 บาร์ ตามลำดับ และที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรค 644.23 kPa ความดันสูงสุดในกระบอกสูบเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพียง 0.75 บาร์ เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการปล่อยความร้อนในช่วง Premixed combustion ที่สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว ที่ภาระความดันยังผล

เฉลี่ยเบรก 214.74 kPa และ 501 kPa พบว่า อัตราการปล่อยความร้อนสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล 31.5 และ 17.33 จุดต่อองศาเพลวข้อเหวี่ยง ตามลำดับ และที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 644.23 kPa อัตราการปล่อยความร้อนสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วม สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล 12.3 จุดต่อองศาเพลวข้อเหวี่ยง เนื่องจากในช่วงนี้มีการฉีดน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่สูงกว่าก๊าซชีววมวลมาก ทำให้เกิดความร้อนสูงและเผาไหม้ส่วนผสมของอากาศกับก๊าซชีววมวลอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความดันในกระบอกสูบสูงขึ้นด้วย

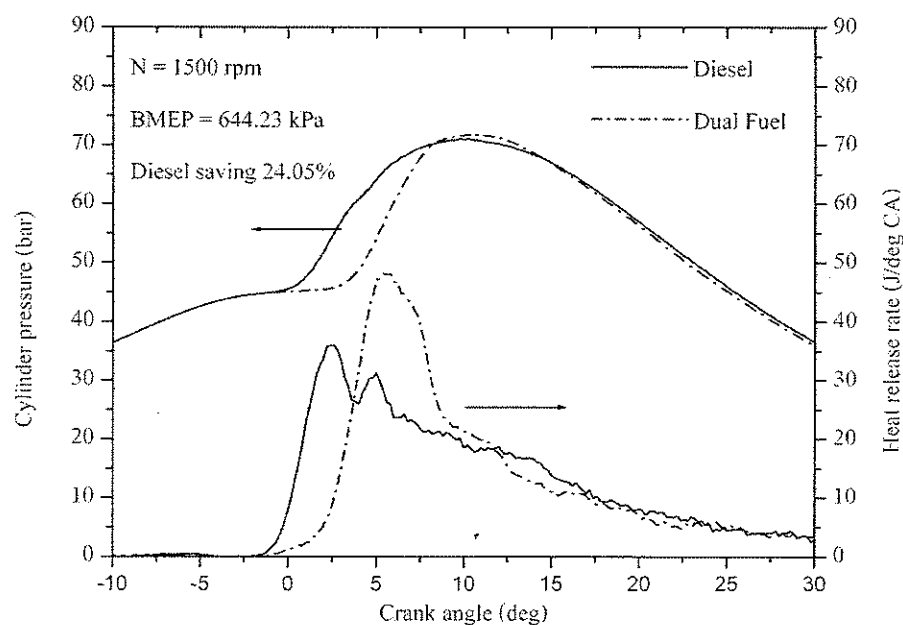
เมื่อวิเคราะห์รูปแบบการเผาไหม้จากลักษณะการปล่อยความร้อน จากภาพที่ 4.4-4.6 พบว่า การใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว เมื่อภาระเพิ่มขึ้น จะทำให้ช่วง Premixed combustion ตื้นลง และช่วง Mixing-control combustion กว้างขึ้น ในขณะที่จุดเริ่มต้นการเผาไหม้ใกล้เคียงกันทุกภาระ ซึ่งต่างจากการใช้เชื้อเพลิงร่วม ที่มีอัตราการปล่อยความร้อนต่ำในช่วงภาระต่ำ และอัตราการปล่อยความร้อนสูงขึ้นเมื่อเพิ่มภาระขึ้น โดยมีรูปแบบการเผาไหม้เป็นแบบ Premixed combustion ร่วมกับ Mixing-control combustion ซึ่งเกิดจากส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงได้รับการผสมกันเป็นอย่างดีก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ คล้ายกับรูปแบบการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ซึ่งเห็นได้ชัดเจนในภาพที่ 4.5 ซึ่งมีอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลสูงสุดร้อยละ 71.15 มีช่วงอัตราการปล่อยความร้อนสูงสุดค่อนข้างกว้าง ซึ่งเกิดจากการปล่อยความร้อนของส่วนผสมก๊าซชีววมวลกับอากาศเป็นหลัก ส่วนความล่าช้าในการจุดระเบิดเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มสัดส่วนก๊าซชีววมวล



ภาพที่ 4.4 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อน ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงเดี่ยวกับการใช้เชื้อเพลิงร่วม ที่ภาระ BMEP 217.74 kPa ความเร็วรอบคงที่ 1,500 rpm

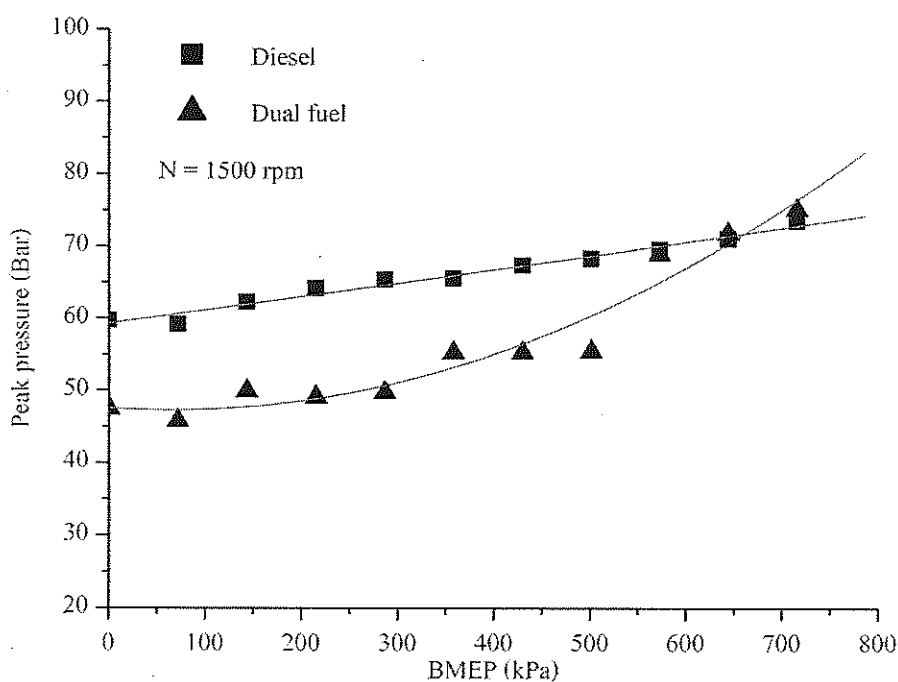


ภาพที่ 4.5 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อน ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงเดี่ยวกับการใช้เชื้อเพลิงร่วม ที่ภาระ BMEP 501 kPa ความเร็วรอบคงที่ 1,500 rpm



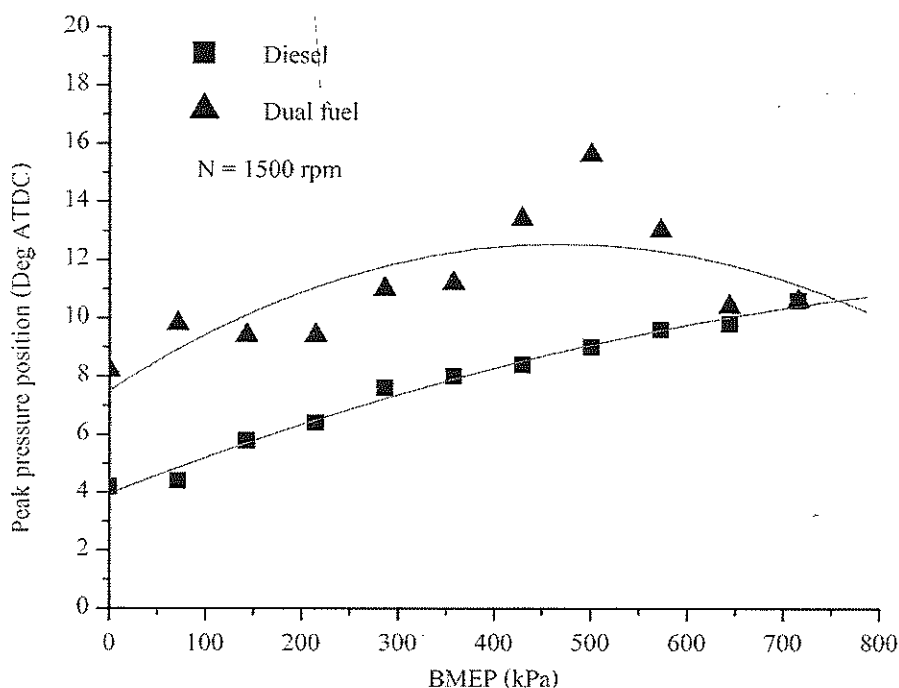
ภาพที่ 4.6 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อนระหว่างการใช้เชื้อเพลิงเดี่ยวกับการใช้เชื้อเพลิงร่วม ที่ภาระ BMEP 644.23 kPa ความเร็วรอบคงที่ 1,500 rpm

การเปรียบเทียบความดันสูงสุดในกระบอกสูบ จากภาพที่ 4.7 พบว่า ในช่วงภาระ 0-501 kPa พบว่า ความดันสูงสุดในกระบอกสูบของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม ต่ำกว่า การใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว 10-15 บาร์ เมื่อพิจารณาจากค่าความดันในกระบอกสูบในช่วงการอัด ก่อนการเผาไหม้ในภาพที่ 4.4-4.6 แล้ว พบว่ามีค่าความดันแตกต่างกันน้อยมาก จึงไม่ใช่สาเหตุหลัก ของความแตกต่างของความดันสูงสุดในกระบอกสูบ แต่เมื่อพิจารณาจากความล่าช้าในการจุดระเบิด ของการใช้เชื้อเพลิงร่วมแล้ว พบว่า ความล่าช้าในการจุดระเบิด น่าจะเป็นสาเหตุโดยตรงที่ทำให้ ความดันสูงสุดและตำแหน่งความดันสูงสุดในกระบอกสูบเปลี่ยนไป เนื่องจากการเผาไหม้หลัง ศูนย์ตายบนมากและมีอัตราการปล่อยความร้อนต่ำ ส่วนที่ภาระ 572.6-715.8 kPa พบว่า ความดัน สูงสุดในกระบอกสูบใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลมากขึ้น ทำให้เกิดการเผา ใหม้อย่างรวดเร็วในช่วง Premixed combustion ซึ่งส่งผลต่อความดันสูงสุดในกระบอกสูบโดยตรง



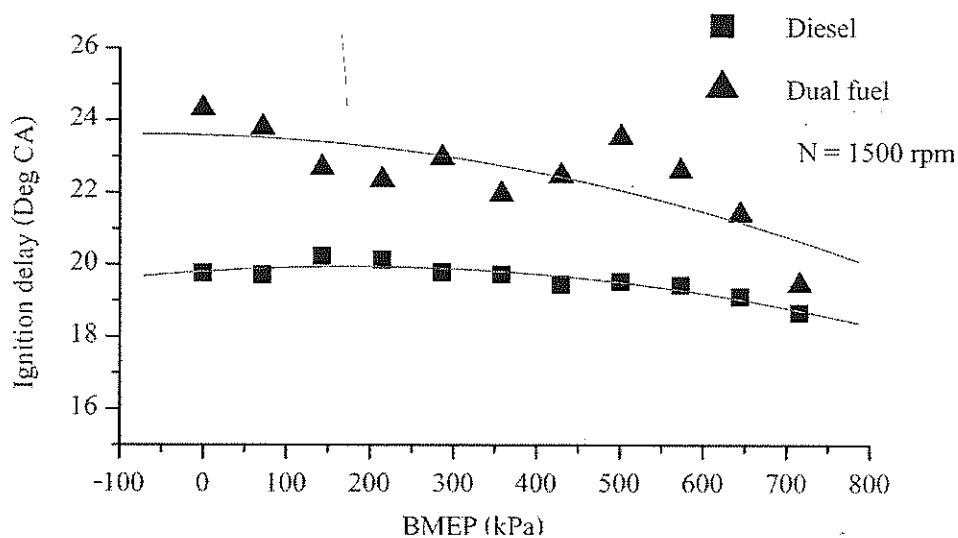
ภาพที่ 4.7 ความดันสูงสุดในกระบอกสูบที่ภาระ BMEP ต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.8 พบว่า ตำแหน่งที่เกิดความดันสูงสุดในกระบอกสูบของ การใช้เชื้อเพลิงร่วมอยู่หลังการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว 3-7 องศาเพลวข้อเหวี่ยง ซึ่งเป็นผลโดยตรง จากความล่าช้าในการจุดระเบิดด้วย



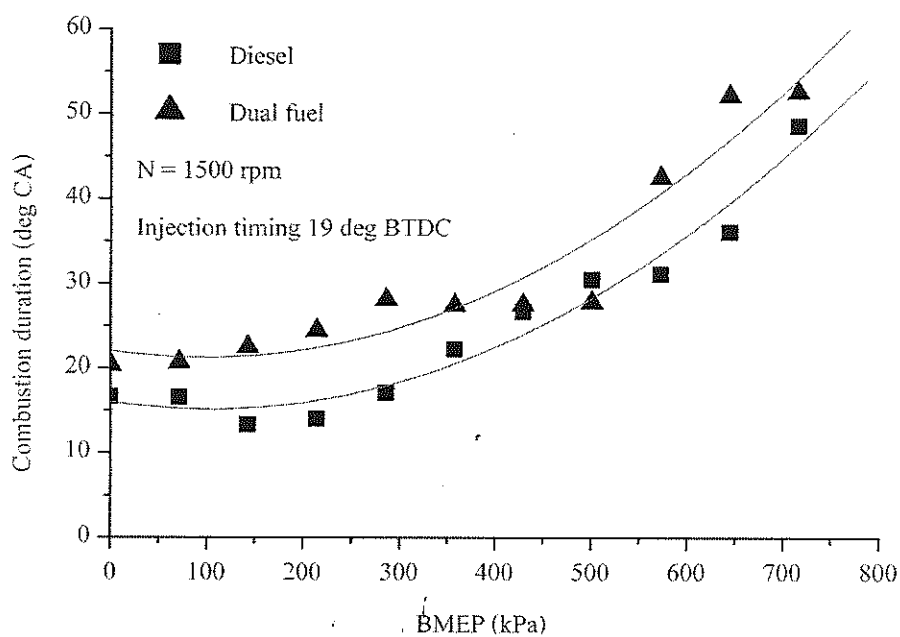
ภาพที่ 4.8 ตำแหน่งการเกิดความดันสูงสุดในกระบอกสูบที่ภาระ BMEP ต่าง ๆ

ในการทดลองนี้ได้กำหนดให้ค่าล่าช้าในการจุดระเบิด คือ ช่วงมุมองศาเพลาคือช่วงระหว่างการเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงจนถึงการเริ่มต้นการเผาไหม้ โดยพิจารณาว่าเชื้อเพลิงฉีดที่ตำแหน่งองศาที่ 19 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ตามข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ และจุดเริ่มต้นการเผาไหม้พิจารณาจากตำแหน่งที่การปล่อยความร้อนสะสม (Cumulative heat release) มีค่ามากกว่าศูนย์ จากการเปรียบเทียบความล่าช้าของการจุดระเบิด ดังแสดงในภาพที่ 4.9 พบว่า การใช้เชื้อเพลิงร่วมทำให้ช่วงล่าช้าของการจุดระเบิดเพิ่มขึ้นกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว 1-5 องศาเพลาคือช่วง เนื่องจากการใช้งานในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมที่อัตราทดแทนสูงสุด ทำให้ปริมาณออกซิเจนในห้องเผาไหม้ลดลง ดังจะเห็นได้จากค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้งานในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมทำให้สารผสมที่เข้าห้องเผาไหม้เป็นสารผสมหนา ส่งผลต่อการล่าช้าของการเผาไหม้ที่ยาวนานขึ้น (Heywood, 1988) ซึ่งจากการศึกษาของ Banapurmath et al. (2008-2009) พบว่า การปรับองศาการฉีดน้ำมันดีเซลล่วงหน้ากว่าเดิม 4 องศาเพลาคือช่วง จะทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมดีเซลกับก๊าซชีวพลูตีขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับองศาการฉีดน้ำมันช่วยให้อุณหภูมิเริ่มต้นการจุดระเบิดใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว ซึ่งจะส่งผลต่อความดันในกระบอกสูบและตำแหน่งของความดันสูงสุดในกระบอกสูบด้วย



ภาพที่ 4.9 การล่าช้าของการจุดระเบิดที่ภาระ BMEP ต่าง ๆ

การเปรียบเทียบระยะเวลาการเผาไหม้ (Combustion duration) ที่ภาระต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.10 พบว่า เมื่อภาระเพิ่มขึ้นทำให้ระยะเวลาการเผาไหม้เพิ่มขึ้น ทั้งในรูปแบบของเชื้อเพลิงเดี่ยวและเชื้อเพลิงร่วม ซึ่งเกิดจากการใส่เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น จากการเปรียบเทียบยังพบว่า การใช้เชื้อเพลิงร่วมทำให้ระยะเวลาการเผาไหม้เพิ่มขึ้นด้วย

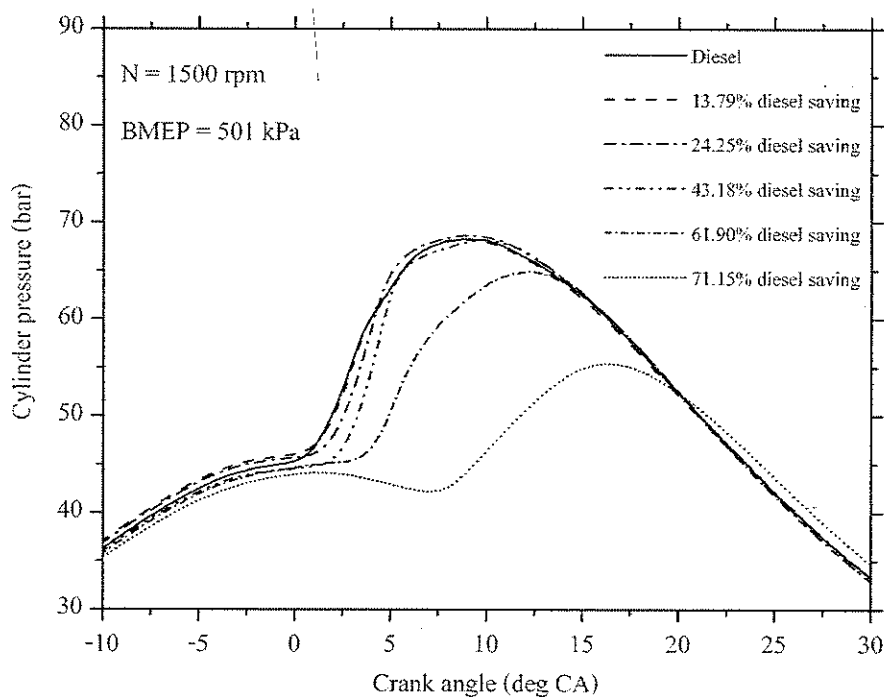


ภาพที่ 4.10 ระยะเวลาการเผาไหม้ที่ภาระ BMEP ต่าง ๆ

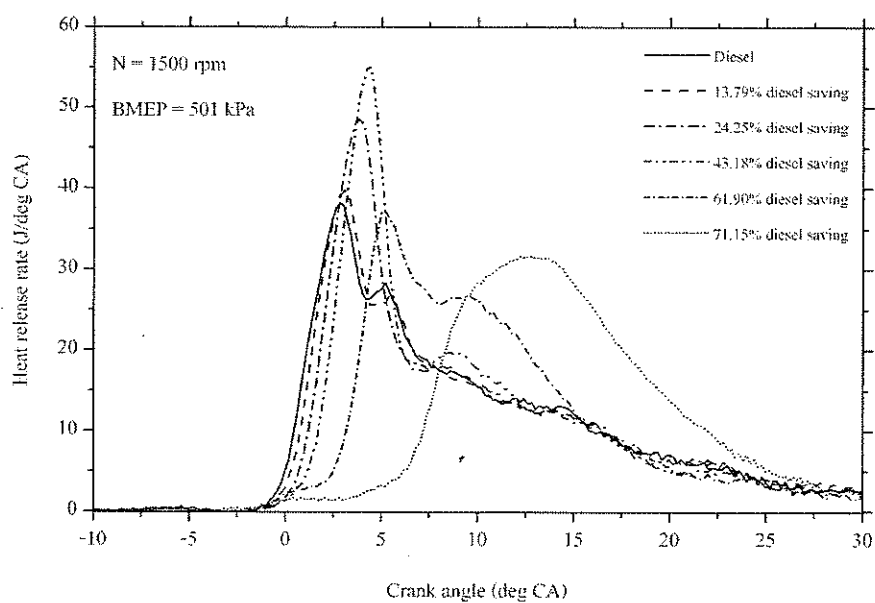
4.1.2.2 คุณสมบัติการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงร่วมที่อัตราการทดแทนต่าง ๆ ที่ภาระและความเร็วรอบคงที่

การศึกษาในหัวข้อที่ผ่านมา เป็นศึกษาคุณสมบัติการเผาไหม้ที่ภาระและอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลแตกต่างกัน ดังนั้น ในหัวข้อนี้จึงได้ศึกษาเพิ่มเติมโดยศึกษาที่ภาระและความเร็วรอบเครื่องยนต์เดียวกัน โดยปรับเพียงปริมาณการฉีดน้ำมันและอัตราการไหลของก๊าซชีวมวล เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมที่อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลต่าง ๆ ที่ภาระคงที่ ทดสอบโดยการค่อย ๆ เพิ่มปริมาณก๊าซชีวมวลเข้าสู่เครื่องยนต์ ซึ่งการทดลองนี้เปรียบเทียบกับภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 501 kPa ซึ่งเป็นช่วงที่มีอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลสูงสุด โดยวิเคราะห์ที่อัตราส่วนการทดแทนน้ำมันดีเซลร้อยละ 13.79, 24.25, 43.18, 61.9 และ 71.15 เทียบกับรูปแบบการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล

จากภาพที่ 4.11 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบความดันในกระบอกสูบและภาพที่ 4.12 เปรียบเทียบอัตราการปล่อยความร้อนจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมที่อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลต่าง ๆ พบว่า เมื่ออัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลร้อยละ 13.79, 24.25 และ 43.18 ทำให้อัตราการปล่อยความร้อนสูงสุดเพิ่มขึ้น 1.59 จูลต่อองศาเซลเซียสต่อชั่วโมง, 10.37 จูลต่อองศาเซลเซียสต่อชั่วโมง และ 16.81 จูลต่อองศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ตามลำดับ และที่อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลร้อยละ 61.9 และร้อยละ 71.15 อัตราการปล่อยความร้อนสูงสุดลดลง 1.1 จูลต่อองศาเซลเซียสต่อชั่วโมง และ 6.62 จูลต่อองศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว ในขณะที่ช่วงล่าช้าของการเผาไหม้เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณก๊าซชีวมวล โดยที่อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลร้อยละ 71.15 มีช่วงล่าช้าในการจุดระเบิดเพิ่มขึ้นมากที่สุดประมาณ 5 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง และความดันสูงสุดในกระบอกสูบลดลง 12.9 บาร์ นอกจากนี้ยังพบว่ารูปแบบการเผาไหม้มีการเปลี่ยนแปลง โดยมีช่วง Premixed combustion กว้างขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณก๊าซชีวมวลเข้าไปในกระบอกสูบ



ภาพที่ 4.11 ความดันในกระบอกสูบ จากการใช้เชื้อเพลิงร่วมที่อัตราทดแทนน้ำมันดีเซลต่าง ๆ ที่ภาระ BMEP 501 kPa ความเร็วรอบคงที่ 1,500 rpm

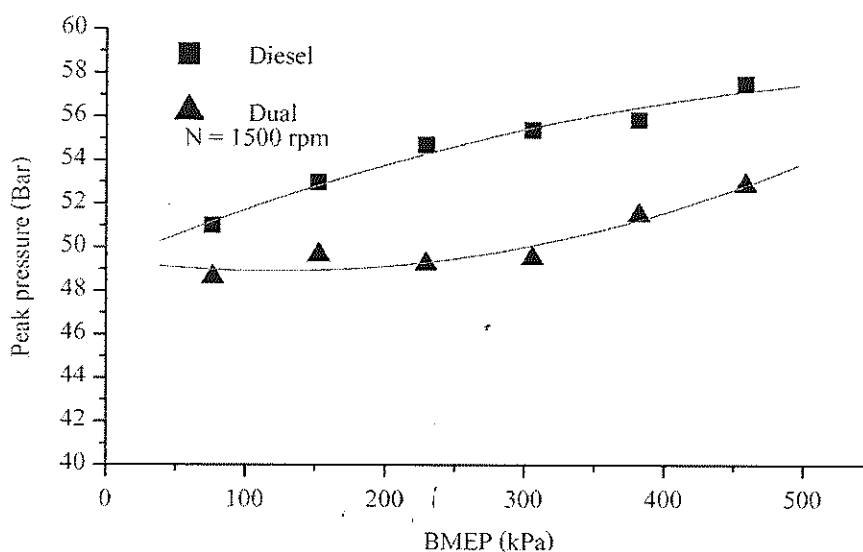


ภาพที่ 4.12 เปรียบเทียบอัตราการปล่อยความร้อนจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมที่อัตราทดแทนน้ำมันดีเซลต่าง ๆ ที่ภาระ BMEP 501 kPa ความเร็วรอบคงที่ 1,500 rpm

4.1.2.2 คุณสมบัติการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงร่วมที่ภาระและอัตราการทดแทนต่าง ๆ ที่ปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลคงที่ และความเร็วรอบคงที่

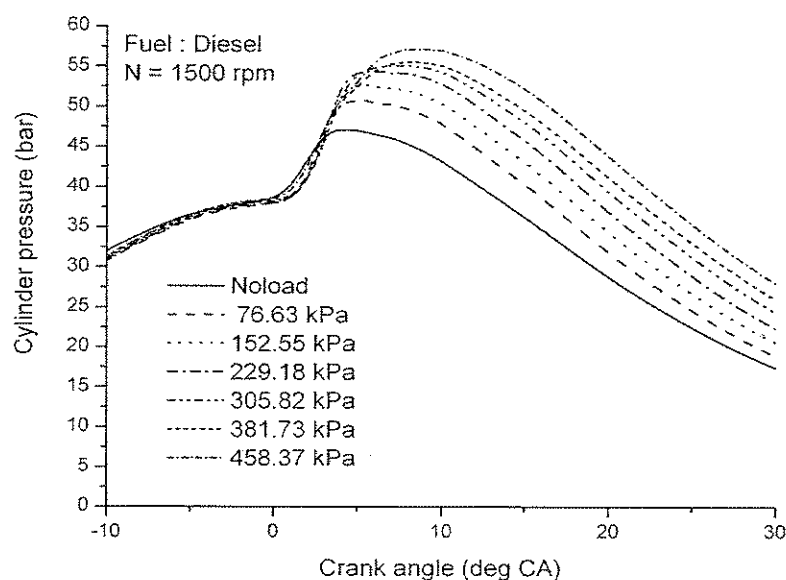
การศึกษาคู่ลักษณะการเผาไหม้ในหัวข้อที่ผ่านมานั้น การปรับปริมาณเชื้อเพลิงเพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานที่อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลต่าง ๆ ทำโดยการปรับทั้งปริมาณการฉีดน้ำมันและอัตราการไหลของก๊าซชีวมวล เพื่อให้เครื่องยนต์สามารถทำงานที่รอบและภาระที่ตั้งไว้ ทำให้ไม่สามารถอธิบายผลที่เกิดจากอิทธิพลของปริมาณก๊าซชีวมวล ที่มีต่อคุณสมบัติการเผาไหม้ได้ชัดเจนเท่าที่ควร เนื่องจากปริมาณการฉีดน้ำมันที่แตกต่างกัน มีผลต่อการแตกเป็นละอองฝอย (Atomization) ของน้ำมันดีเซล ซึ่งส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยตรง ดังนั้น การทดลองเพิ่มเติมนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณก๊าซชีวมวลต่อคุณสมบัติการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม โดยใช้อัตราการฉีดน้ำมันคงที่ 0.276 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการเดินเครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็ว 1,500 rpm และปรับเพียงปริมาณการจ่ายก๊าซชีวมวล ซึ่งวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

จากภาพที่ 4.13 พบว่า ความดันสูงสุดในกระบอกสูบทั้งกรณีใช้ดีเซลอย่างเดียว และกรณีใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มภาระ ซึ่งมีผลมาจากการเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิง ทำให้การอัดร่าปล่อยพลังงานเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่าการใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมทำให้ความดันในกระบอกสูบลดลง เนื่องมาจากความล่าช้าในการจุดระเบิดและระยะเวลาการเผาไหม้ที่นานขึ้น แต่ความดันในกระบอกสูบในการทดลองนี้จะต่ำกว่าการทดลองก่อนหน้านี้ เนื่องจากผู้วิจัยได้ติดตั้งกรองละเอียดเพิ่มเติมเพื่อป้องกันฝุ่นเข้าเครื่องยนต์

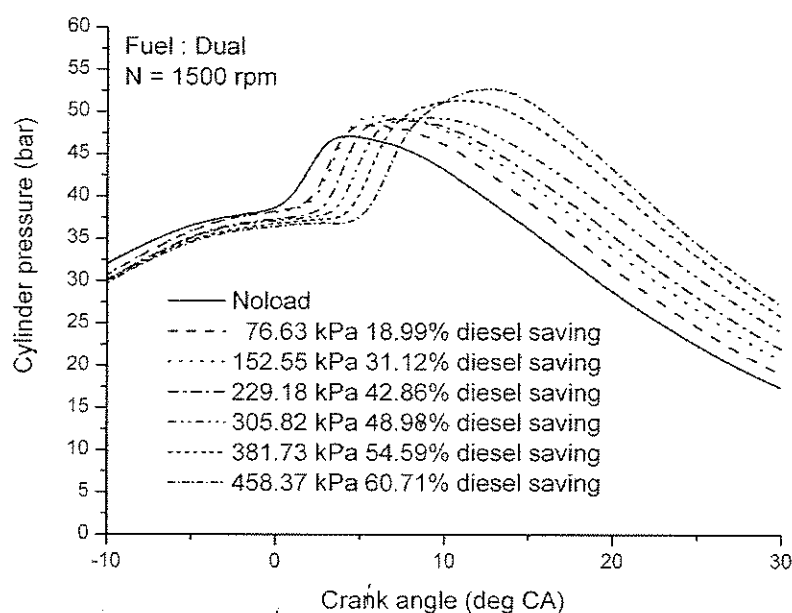


ภาพที่ 4.13 ความดันสูงสุดในกระบอกสูบเมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม

จากการพิจารณาภาพที่ 4.14 และ 4.15 พบว่า สาเหตุที่ทำให้ความดันในกระบอกสูบในการเชื้อเพลิงร่วมต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว น่าจะเกิดจากความล่าช้าในการจุดระเบิด ที่ทำให้จุดเริ่มต้นการจุดระเบิดเกิดหลังศูนย์คายบน



ภาพที่ 4.14 ความดันในกระบอกสูบที่ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ต่าง ๆ ในแต่ละภาระ กรณีใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

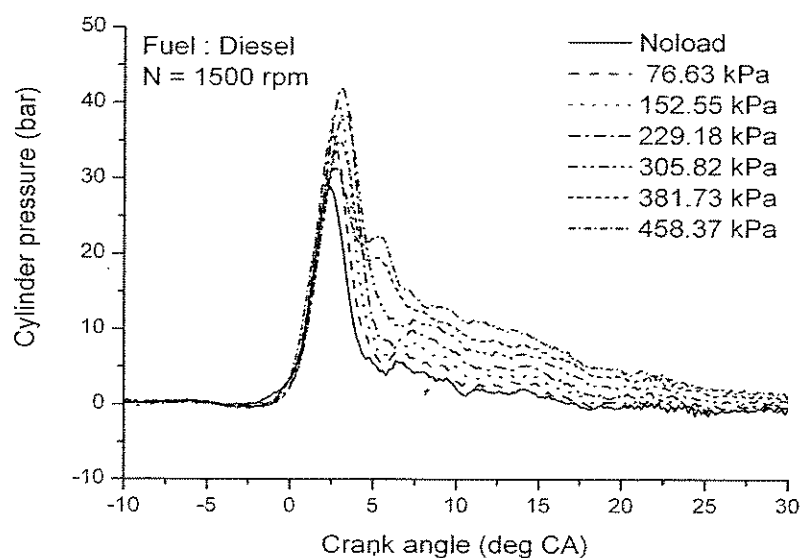


ภาพที่ 4.15 ความดันในกระบอกสูบที่ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ต่าง ๆ ในแต่ละภาระ กรณีใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซล ที่อัตราการฉีดน้ำมันดีเซลคงที่ 0.276 ลิตรต่อชั่วโมง

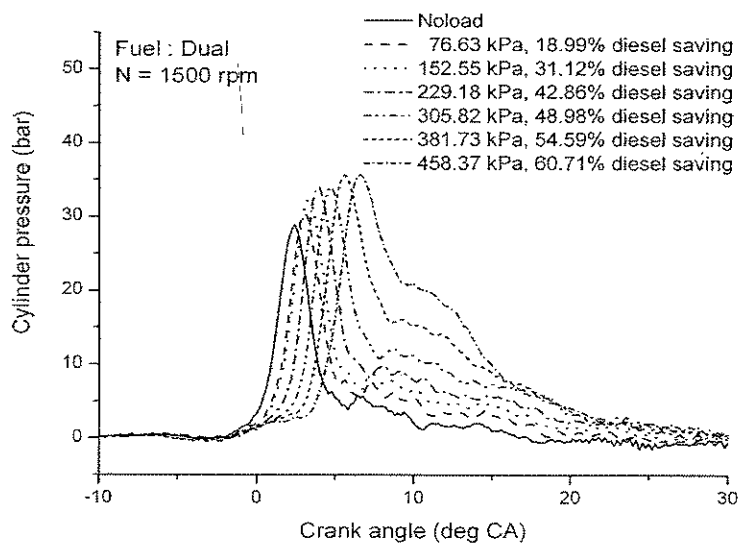
ภาพที่ 4.16 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบ อัตราการปล่อยความร้อนของ เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ที่องศาเพลาช้อเหวี่ยงต่าง ๆ กรณีมีภาระต่างกัน พบว่า จุดเริ่มต้นการจุดระเบิดใกล้เคียงกันทุกภาระแต่ช่วงการเผาไหม้สารผสมที่ผสมไว้ก่อนแล้ว (Premixed combustion phase) เพิ่มขึ้นจาก 6 องศาเพลาช้อเหวี่ยงเป็น 6.5 องศาเพลาช้อเหวี่ยง เมื่อ ภาระเพิ่มจาก 0-305.82 kPa และสั้นลงเหลือ 4.5 องศาเพลาช้อเหวี่ยง ที่ภาระ 381.73 kPa-458.37 kPa ในขณะที่การเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม (Mixing-controlled combustion phase) เพิ่มขึ้น ตามปริมาณการฉีดน้ำมันที่เพิ่มขึ้น

ภาพที่ 4.17 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบ อัตราการปล่อยความร้อนของ เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม โดยใช้อัตราการฉีดน้ำมันคงที่ พบว่า เมื่อภาระ และอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลสูงขึ้น ทำให้ตำแหน่งการเริ่มต้นจุดระเบิดเปลี่ยนไป โดยมีช่วง ล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition delay period) เพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาในช่วงการเผาไหม้แบบ Premixed combustion phase พบว่า มีช่วงเวลาใกล้เคียงกันทุกภาระ คือ ประมาณ 6.5 องศาเพลาช้อเหวี่ยง แสดงให้เห็นว่าปริมาณก๊าซชีววมวลที่เพิ่มเข้าไปมีผลทำให้ช่วงการเผาไหม้แบบ Premixed combustion phase ยาวขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว ซึ่งอาจเกิดจากการผสมกันของ ส่วนผสมก๊าซชีววมวลกับอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้

เมื่อพิจารณาการเผาไหม้แบบ Mixing-controlled combustion พบว่า มี ช่วงการเกิดสันลงแต่มีอัตราการปล่อยความร้อนสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้ดีเซล

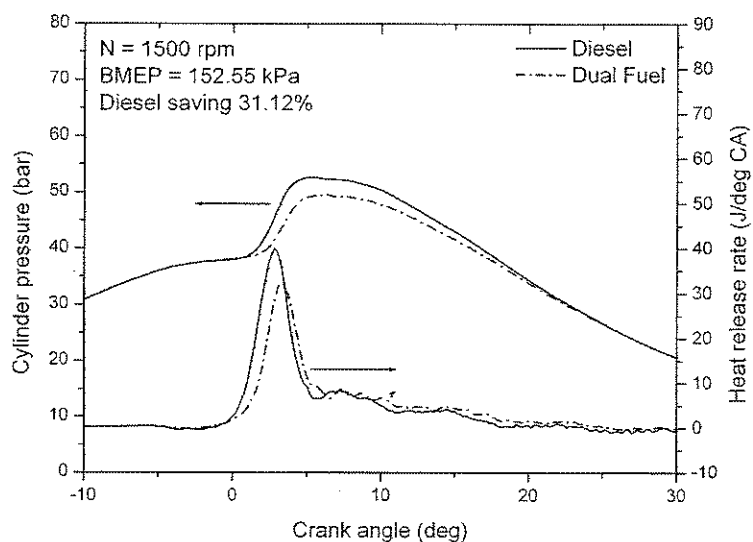


ภาพที่ 4.16 อัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลที่องศาเพลาช้อเหวี่ยงต่าง ๆ กรณีใช้น้ำมันดีเซล ที่ภาระต่าง ๆ

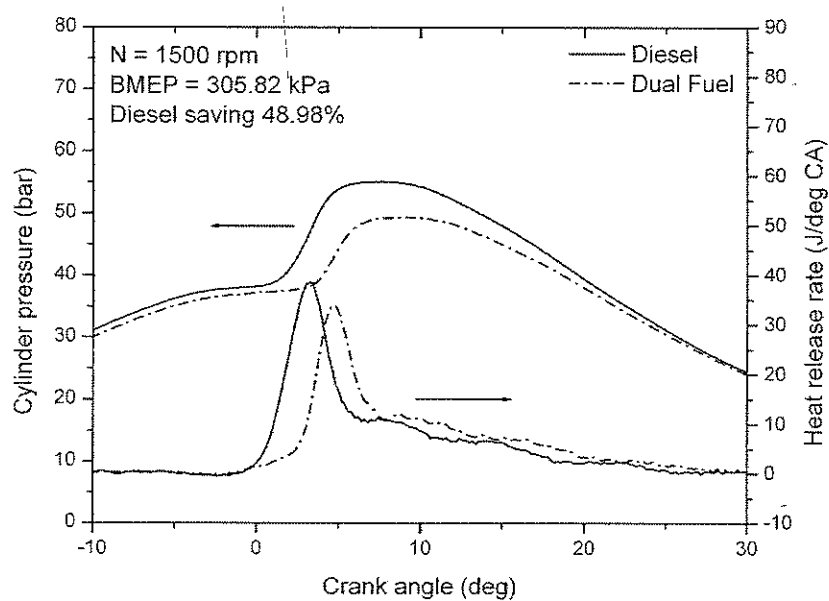


ภาพที่ 4.17 อัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลที่องศาเพลาคือเหวี่ยงต่าง ๆ กรณีใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวพล ที่ภาระต่าง ๆ ที่อัตราการฉีดน้ำมันคงที่ 0.276 ลิตรต่อชั่วโมง

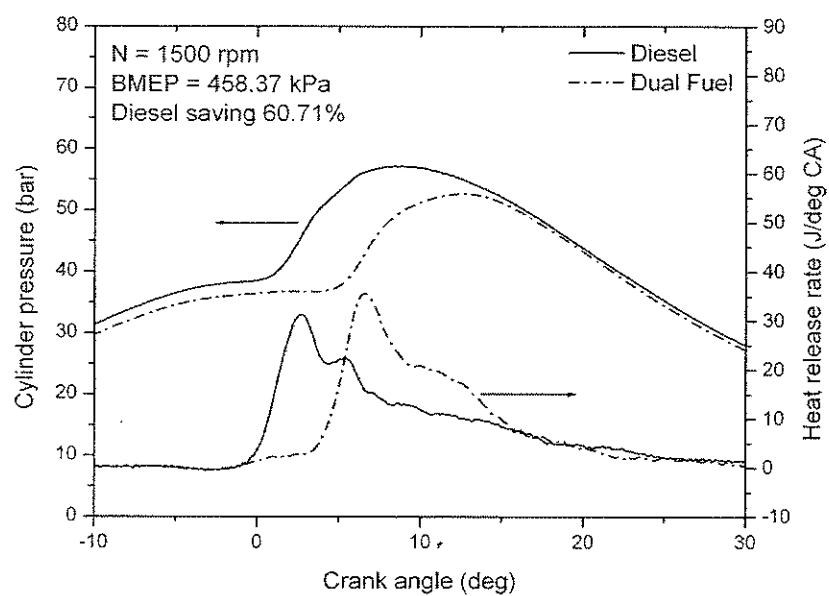
จากภาพที่ 4.18 – 4.20 จะเห็นได้ว่าเมื่อภาระและอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นจะทำให้ความดันในกระบอกสูบต่ำกว่าการใช้ดีเซลอย่างเดียว ในขณะที่ช่วงล่าช้าในการจุดระเบิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงรวมต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว



ภาพที่ 4.18 เปรียบเทียบความดันในกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อนระหว่างการใช้ น้ำมันดีเซลและเชื้อเพลิงรวมที่ภาระ 152.55 kPa

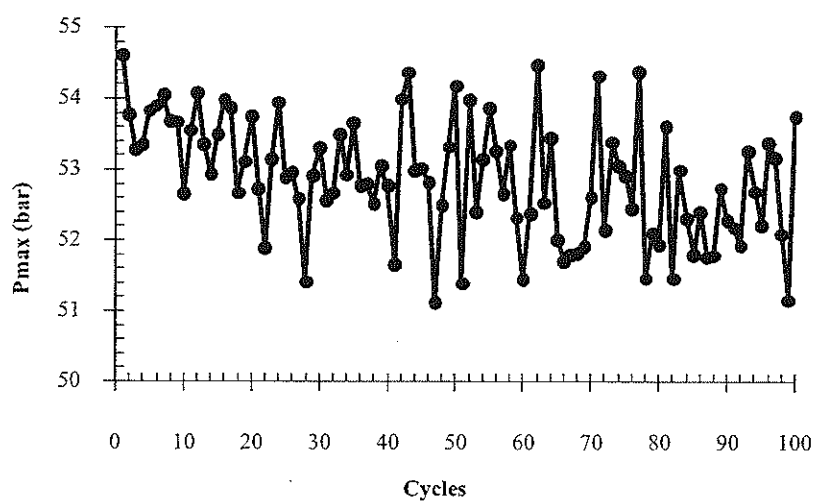


ภาพที่ 4.19 เปรียบเทียบความดันในกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อนระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลและเชื้อเพลิงร่วมที่ภาระ 305.82 kPa

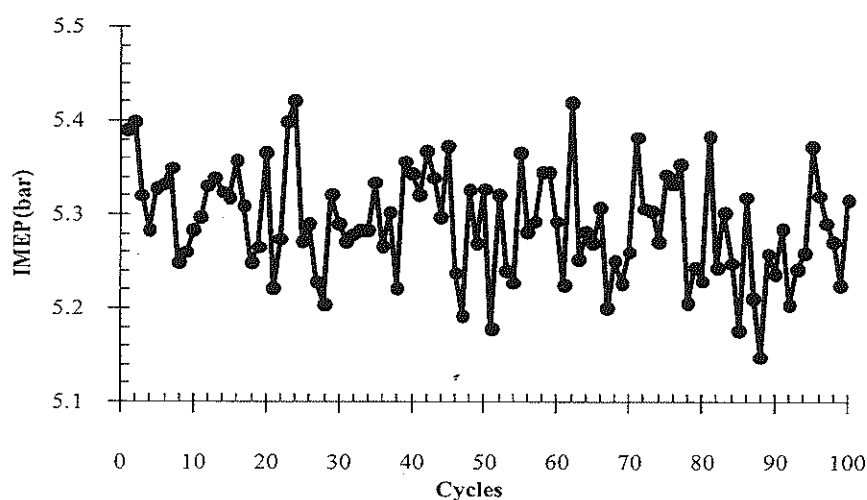


ภาพที่ 4.20 เปรียบเทียบความดันในกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อนระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลและเชื้อเพลิงร่วมที่ภาระ 458.37 kPa

นอกจากการศึกษารูปแบบการเผาไหม้แล้ว การศึกษานี้ยังได้ศึกษาถึงความแปรผันระหว่างวัฏจักรต่อวัฏจักร ที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานในรูปแบบเชื้อเพลิงเดี่ยวและเชื้อเพลิงร่วมด้วย จากแผนภาพความดันสูงสุดในกระบอกสูบและความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ จำนวน 100 วัฏจักรต่อเนื่องกัน ดังภาพที่ 4.21 และ 4.22 แสดงให้เห็นว่า กระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจริงมีความแปรผันระหว่างวัฏจักรต่อวัฏจักรตลอดช่วงการทำงาน



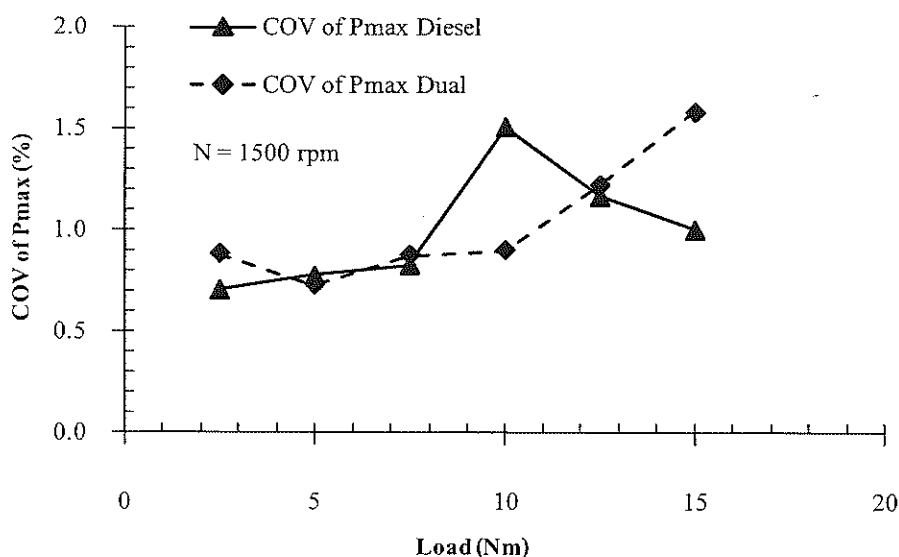
ภาพที่ 4.21 ความดันสูงสุดในกระบอกสูบ 100 วัฏจักรต่อเนื่องกัน เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วม ที่ภาระ 15 Nm ความเร็วรอบ 1500 rpm



ภาพที่ 4.22 ความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ 100 วัฏจักรต่อเนื่องกัน เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วม ที่ภาระ 15 Nm ความเร็วรอบ 1500 rpm

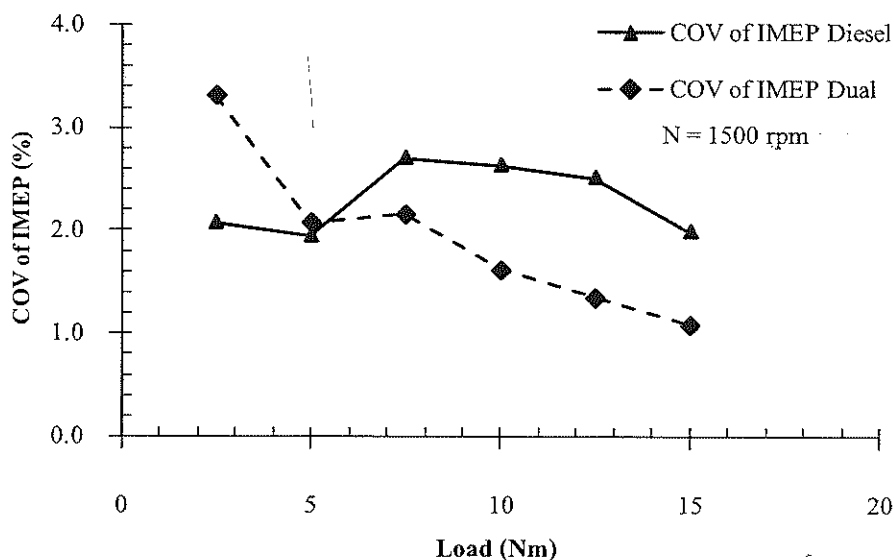
การวัดการแปรผันของการเผาไหม้ระหว่างวัฏจักรต่อวัฏจักรที่นิยมใช้ ได้แก่ การหาสัมประสิทธิ์การแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบังชี้ (COV_{IMEP}) และสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความดันสูงสุด ($COV_{P_{max}}$) ในกระบอกสูบ ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 2.27 และสมการที่ 2.28

จากภาพที่ 4.23 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันระหว่างวัฏจักรของความดันสูงสุดในกระบอกสูบ ที่ภาระและอัตราทดแทนต่าง ๆ จากการใช้น้ำมันดีเซลและก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อภาระเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.7 – 1.5



ภาพที่ 4.23 สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันในกระบอกสูบสูงสุดที่ภาระต่าง ๆ จากการใช้น้ำมันดีเซลและก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม

จากภาพที่ 4.24 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันระหว่างวัฏจักรของความดันยังผลเฉลี่ยบังชี้ ที่ภาระต่าง ๆ จากการใช้น้ำมันดีเซลและก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมมีแนวโน้มลดลงเมื่อภาระเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 1.1 – 3.3 จากการศึกษาของ Azimov et al. (2011) พบว่า ช่วงการเผาไหม้ที่ไม่เสถียรเกิดขึ้นเมื่อ COV_{IMEP} มีค่ามากกว่าร้อยละ 5 ขึ้นไป ซึ่งการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้เชื้อเพลิงร่วมในช่วงภาระและอัตราทดแทนดังกล่าวไม่ส่งผลเสียต่อเสถียรภาพการทำงานของเครื่องยนต์



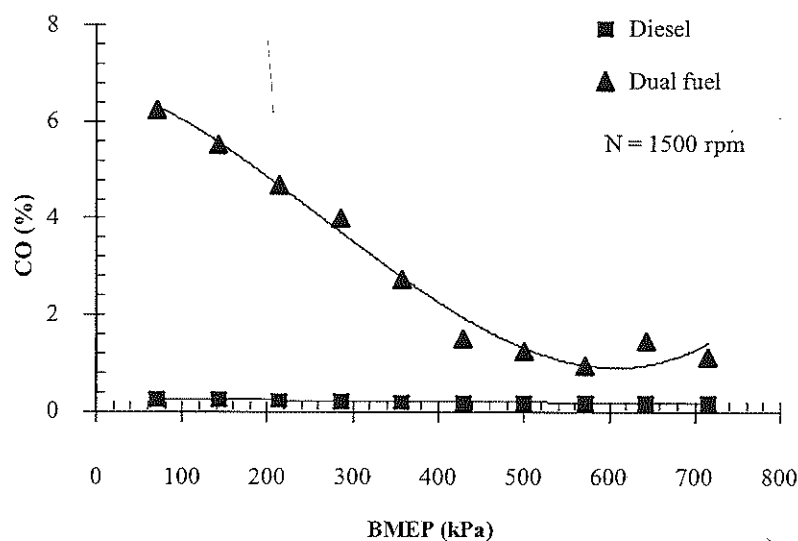
ภาพที่ 4.24 สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ ที่ภาระต่าง ๆ จากการใช้น้ำมันดีเซลและก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม

4.1.3 การเกิดมลพิษ

การวิเคราะห์การเกิดมลพิษจากไอเสีย ในที่นี้จะนำเสนอเฉพาะกรณีที่ตำแหน่งอัตราการทำงานน้ำมันดีเซลสูงสุดในแต่ละภาระ ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้เห็นลักษณะความแตกต่างระหว่างการใช้งานเครื่องยนต์ดีเซลในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วม กับแบบที่น้ำมันดีเซลตามปกติได้

4.1.3.1 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสีย

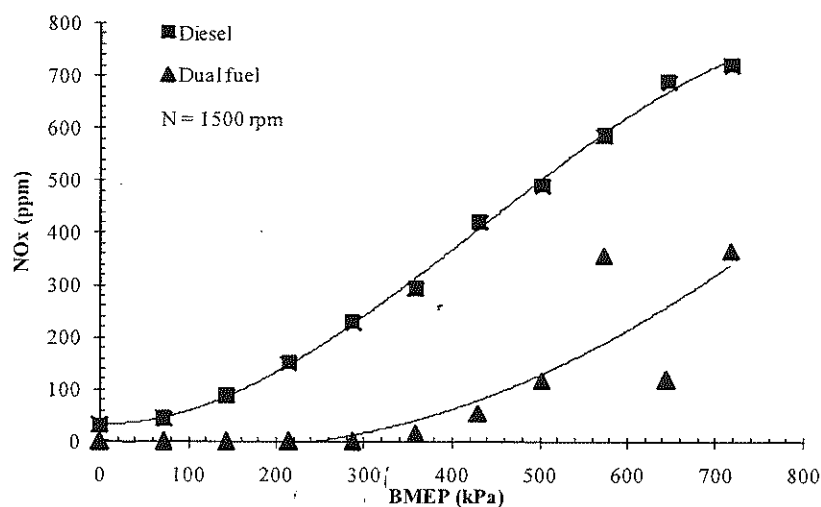
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จากภาพที่ 4.25 พบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวกวทุกช่วงภาระเครื่องยนต์ เนื่องจากการใช้งานเชื้อเพลิงร่วมที่อัตราการทำงานน้ำมันดีเซลสูงสุด ทำให้ปริมาณอากาศที่เหลือในกระบอกสูบลดลง เกิดเป็นสารผสมหนาและทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากการใช้เชื้อเพลิงร่วมจะลดลงเมื่อภาระเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น โดยลดลงจากร้อยละ 6.25 ที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 71.75 kPa เป็นร้อยละ 0.94 ที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 572.75 kPa ซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่สูงขึ้น ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้นมากกว่าการใช้งานในช่วงภาระต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อทดสอบโดยการปรับเพิ่มปริมาณก๊าซชีววมวลเข้าเครื่องยนต์ที่ภาระและความเร็วคงที่ พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณก๊าซชีววมวลในเชื้อเพลิงร่วมส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์



ภาพที่ 4.25 สัดส่วนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียที่ ภาวะ BMEP ต่าง ๆ

4.1.3.2 ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสีย

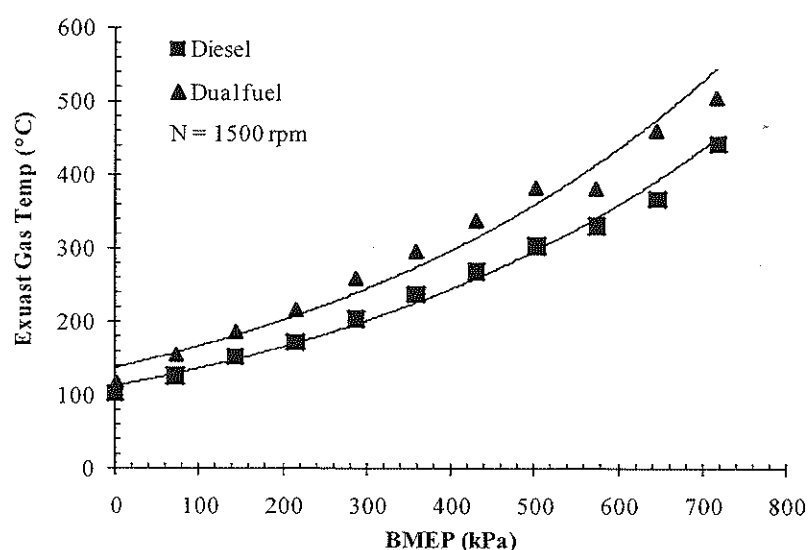
จากภาพที่ 4.26 พบว่า ปริมาณการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในห้องเผาไหม้และภาระของเครื่องยนต์ ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดจากการใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมน้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวกว่า 30 – 350 ส่วนในล้านส่วน เนื่องจากการใช้งานในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมนมีส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศมากกว่าการใช้ น้ำมันดีเซลอย่างเดียวก ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ก่อให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง



ภาพที่ 4.26 สัดส่วนก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียที่ ภาวะ BMEP ต่าง ๆ

4.1.3.3 อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย

จากภาพที่ 4.27 พบว่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียจะเพิ่มขึ้นตามภาระเครื่องยนต์ อุณหภูมิไอเสียจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมสูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงเดี่ยวประมาณ 15 – 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากพลังงานที่ใส่เข้าไปในเครื่องยนต์มากกว่า และจากภาพที่ 4.4 และภาพที่ 4.9 สามารถอธิบายได้ว่าระยะเวลาการเผาไหม้ช่วง Mixing control combustion ที่ยาวนานขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากความล่าช้าในการเผาไหม้ของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อุณหภูมิก๊าซไอเสียเพิ่มขึ้นได้



ภาพที่ 4.27 อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ภาระ BMEP ต่าง ๆ

4.2 การใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

การทดลองใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟขนาดเล็ก แบ่งได้เป็น 3 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ

(1) การศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ที่ความเร็วรอบ 1,500 rpm – 4,000 rpm โดยไม่มีการใช้เครื่องยนต์ Honda G200 ที่มีอัตราส่วนการอัดมาตรฐาน 6.5:1 และตั้งองศาจุดระเบิดไว้ 25 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ซึ่งได้รับการติดตั้งอุปกรณ์วัดความดันในกระบอกสูบและอุปกรณ์วัดองศาจุดระเบิด สำหรับการทดสอบ โดยใช้เชื้อเพลิง 2 ชนิด คือ น้ำมันแก๊สโซลีน 91 และก๊าซชีวมวล

(2) ศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ที่ใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับอัตราส่วนการอัด 8.5:1 องศาจุดระเบิด 25 องศา

ก่อนศูนย์ตายบน ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของเครื่องยนต์ Honda GX160 ที่ตำแหน่งภาระเต็มที่ (Full load) โดยการเปิดลิ้นปีกผีเสื้อเต็มที่

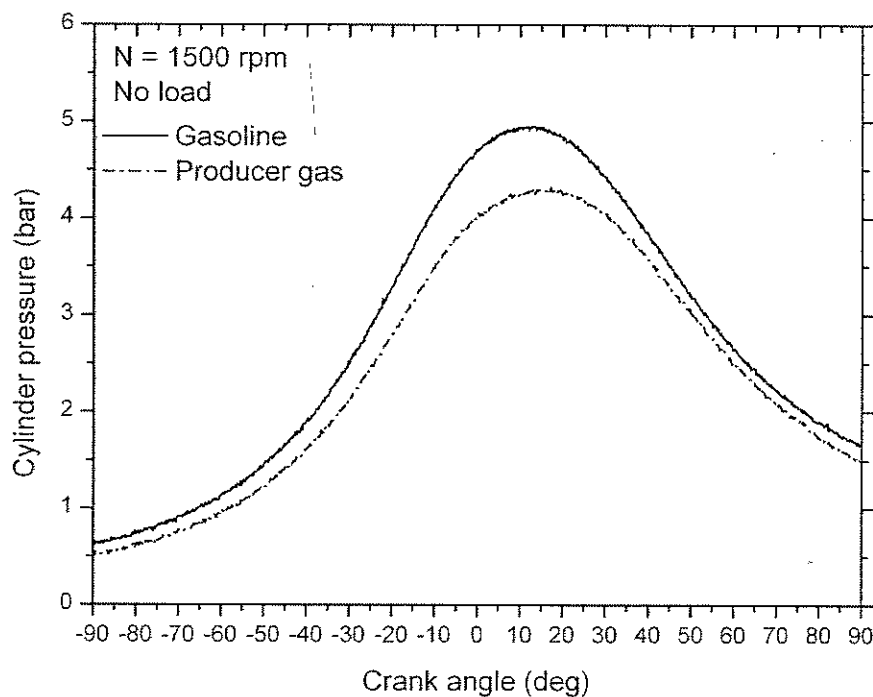
(3) ศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้เครื่องยนต์ Honda GX160 ที่อัตราส่วนการอัด 8.5:1, 11:1 และ 15:1 ที่องศาจุดระเบิด 10, 15, 20, 25 และ 30 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ที่ตำแหน่งภาระสูงสุด (Full load) โดยการเปิดลิ้นปีกผีเสื้อเต็มที่ เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดที่มีผลต่อสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง และหาดำเนินการใช้งานที่ให้สมรรถนะที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งผลการทดลองต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

4.2.1 คุณลักษณะการเผาไหม้จากการใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิง

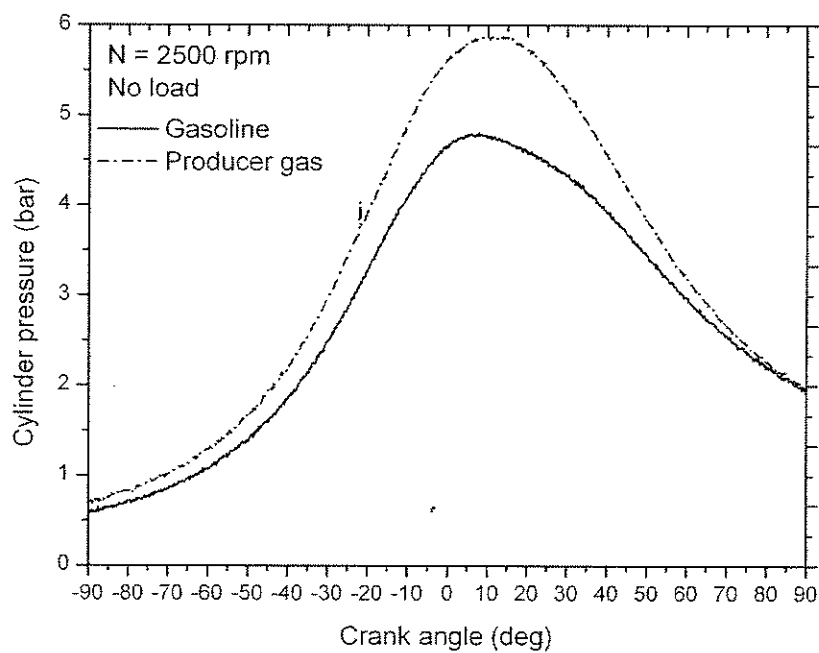
การศึกษาคูณลักษณะการเผาไหม้ในที่นี้ ได้ศึกษากับเครื่องยนต์ Honda G200 ที่มีอัตราส่วนการอัดมาตรฐาน 6.5:1 และตั้งองศาจุดระเบิดไว้ 25 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ซึ่งติดตั้งอุปกรณ์วัดองศาจุดระเบิดและอุปกรณ์วัดองศาเพลาล้อหัว โดยทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,500 rpm – 4,000 rpm โดยไม่ใส่ภาระ เพื่อเปรียบเทียบค่าความดันในกระบอกสูบ ลักษณะการปล่อยความร้อน จุดเริ่มต้นการเผาไหม้ จุดสิ้นสุดการเผาไหม้และระยะเวลาการเผาไหม้ ซึ่งผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

4.2.1.1 ความดันในกระบอกสูบ

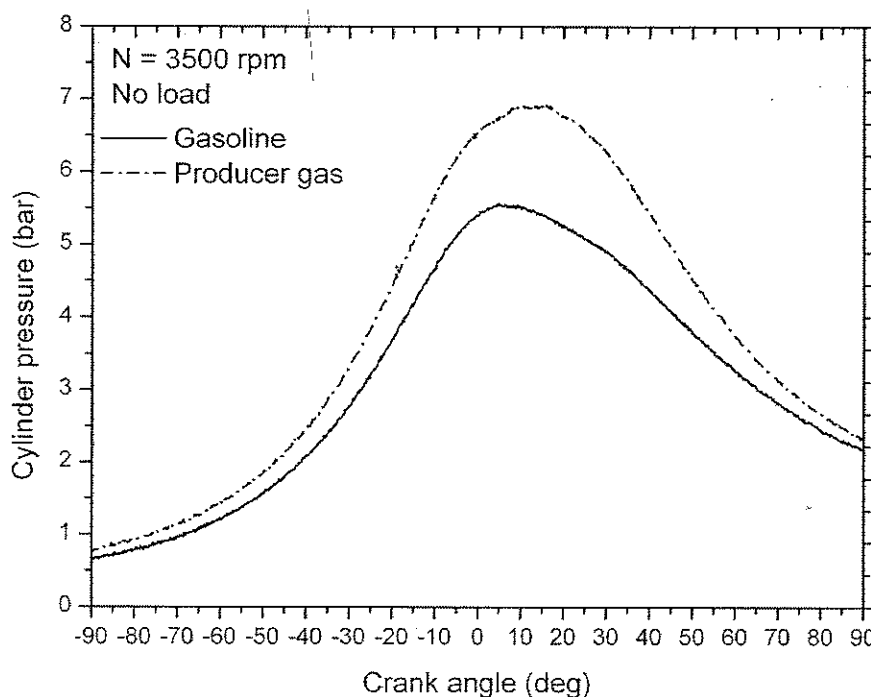
การเปรียบเทียบความดันในกระบอกสูบระหว่างการใช้แก๊สโซลีนและก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ดังแสดงในภาพที่ 4.28 – 4.30 พบว่า ที่ความเร็วรอบเดียวกัน การใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงจะเกิดความดันในกระบอกสูบสูงกว่า เนื่องจากก๊าซชีววมวลมีความหนาแน่นของพลังงาน (Energy density) ต่ำกว่า ดังนั้น จึงต้องใช้ปริมาตรของเชื้อเพลิงมากกว่า ทำให้ต้องเปิดลิ้นปีกผีเสื้อกว้างกว่าการใช้แก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง ทำให้ได้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (Volumetric efficiency) สูงกว่าที่ภาระและความเร็วรอบเดียวกัน



ภาพที่ 4.28 ความดันในกระบอกสูบระหว่างการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนกับการใช้ก๊าซชีวมวล
ที่ความเร็วรอบ 1,500 rpm ไม่มีภาระ



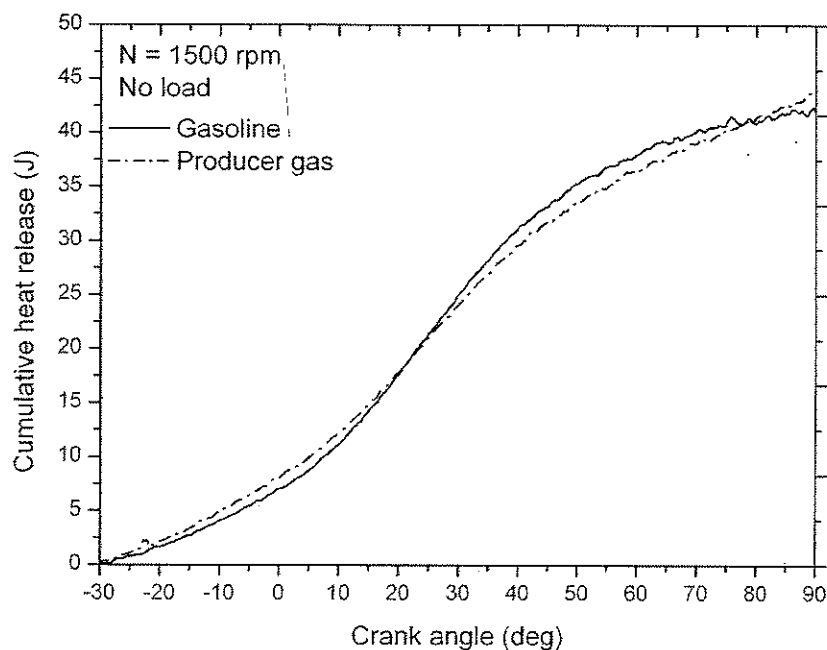
ภาพที่ 4.29 ความดันในกระบอกสูบระหว่างการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนกับการใช้ก๊าซชีวมวล
ที่ความเร็วรอบ 2,500 rpm ไม่มีภาระ



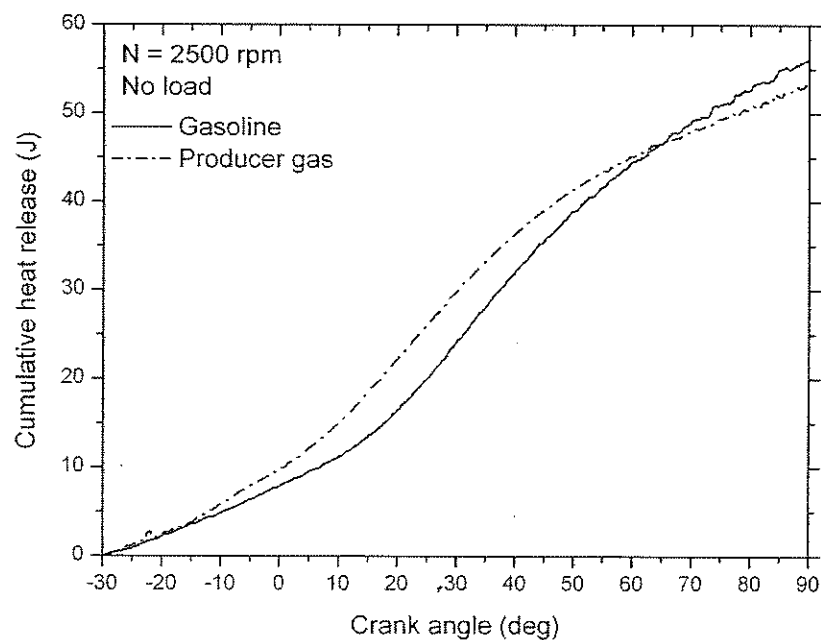
ภาพที่ 4.30 ความดันในกระบอกสูบระหว่างการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนกับการใช้ก๊าซชีวมวล
ที่ความเร็วรอบ 3,500 rpm ไม่มีภาระ

4.2.1.2 ลักษณะการปล่อยความร้อน

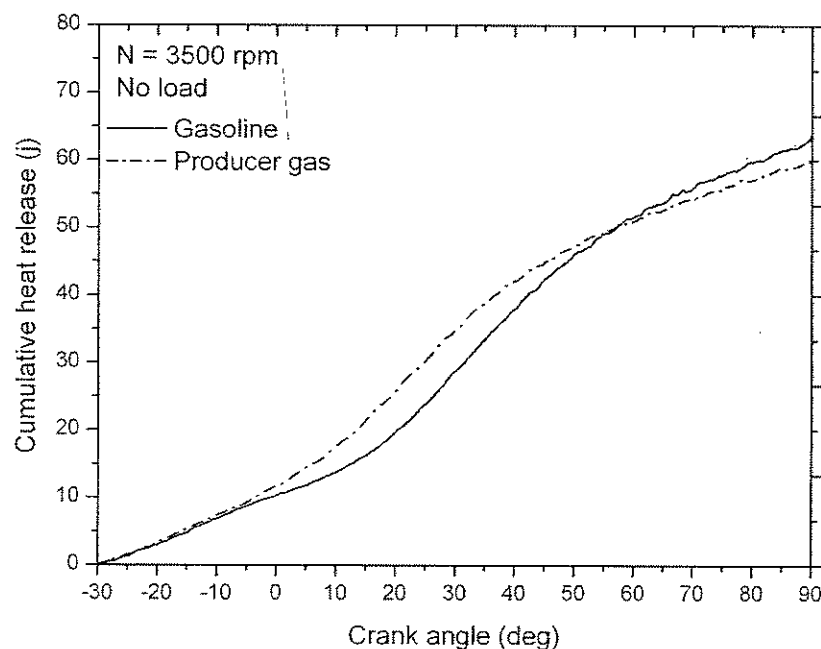
การเปรียบเทียบการปล่อยความร้อนสะสม (Cumulative heat release) ระหว่างการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนและก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ดังแสดงในภาพที่ 4.31 – 4.33 พบว่า ที่ความเร็วรอบเดียวกัน การใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงจะเกิดการปล่อยความร้อนในช่วงต้นออกมา มากกว่า และเมื่อพิจารณาแนวโน้มเส้นความชันของการปล่อยความร้อนพบว่า ถึงแม้ก๊าซชีวมวลจะมีการปล่อยความร้อนออกมาในช่วงต้นเร็วกว่าแต่ก็มีแนวโน้มการปล่อยความร้อนช้ากว่า น้ำมันแก๊สโซลีนในช่วงกลางและช่วงท้ายของการเผาไหม้ ทำให้มีระยะเวลาในการเผาไหม้นานกว่า การปล่อยความร้อนอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของการเผาไหม้ กรณีใช้ก๊าซชีวมวลนั้น อาจเกิดจากการผสมระหว่างอากาศและก๊าซชีวมวลได้ดีกว่าการผสมระหว่างอากาศกับละอองน้ำมันแก๊สโซลีน ซึ่งต่างสถานะกัน และส่วนหนึ่งละอองน้ำมันแก๊สโซลีนมีการดูดความร้อนเข้าไปในช่วงต้นของการเผาไหม้ทำให้การเผาไหม้ล่าช้ากว่า ส่วนการเผาไหม้ในช่วงกลางและช่วงท้ายนั้น สาเหตุที่ทำให้การใช้ก๊าซชีวมวลมีระยะเวลาการเผาไหม้นานกว่า น่าจะเกิดจากคุณสมบัติของก๊าซชีวมวลที่มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมีความเร็วเปลวไฟต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซลีน ทำให้การลามของเปลวไฟช้ากว่า



ภาพที่ 4.31 การปล่อยความร้อนสะสม จากการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนกับการใช้ก๊าซชีวมวล ที่ความเร็วรอบ 1,500 rpm ไม่มีภาระ



ภาพที่ 4.32 การปล่อยความร้อนสะสม จากการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนกับการใช้ก๊าซชีวมวล ที่ความเร็วรอบ 2,500 rpm ไม่มีภาระ



ภาพที่ 4.33 การปล่อยความร้อนสะสม จากการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนกับการใช้ก๊าซชีววมวล ที่ความเร็วรอบ 3,500 rpm ไม่มีภาระ

4.2.1.3 ตำแหน่งต่าง ๆ ของการเผาไหม้และระยะเวลาการเผาไหม้

จากตารางที่ 4.2 ซึ่งเป็นตารางที่แสดงข้อมูล จุดเริ่มต้นการเผาไหม้ (SOC) จุดสิ้นสุดการเผาไหม้ (EOC) และระยะเวลาการเผาไหม้ จากการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนและก๊าซชีววมวล เป็นเชื้อเพลิง จากการเปรียบเทียบ พบว่า การใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงมีตำแหน่งจุดเริ่มต้นการเผาไหม้อยู่ล่วงหน้าการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนประมาณ 1-3 องศาเพลลาข้อเหวี่ยง แต่เมื่อพิจารณาที่จุดสิ้นสุดการเผาไหม้พบว่าการใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงมีตำแหน่งสิ้นสุดการเผาไหม้อยู่หลังการใช้น้ำมันแก๊สโซลีน ทำให้ระยะเวลาการเผาไหม้นานกว่าประมาณ 20-40 องศาเพลลาข้อเหวี่ยง เมื่อพิจารณาในแต่ละเชื้อเพลิง พบว่า จุดเริ่มต้นการเผาไหม้ จุดสิ้นสุดการเผาไหม้และระยะเวลาในการเผาไหม้ในแต่ละความเร็วรอบแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตารางที่ 4.2 จุดเริ่มต้นการเผาไหม้ (SOC) จุดสิ้นสุดการเผาไหม้ (EOC) และระยะเวลาการเผาไหม้จากการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนและก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง

ความเร็วรอบ เครื่องยนต์	Gasoline			Producer gas		
	SOC (deg CA)	EOC (deg CA)	Combustion duration	SOC (deg CA)	EOC (deg CA)	Combustion duration
1,500	-17	45.9	62.9	-20.7	79.3	100
2,000	-17.4	56.2	73.6	-21.3	76.1	97.4
2,500	-18.5	57.8	76.3	-20.8	80.9	101.7
3,000	-18.6	58.1	76.7	-21.5	79.9	101.4
3,500	-19.3	59	78.3	-22.4	79	101.4
4,000	-18.3	66	84.3	-21	83.1	104.1

4.2.2 สมรรถนะและมลพิษ ของเครื่องยนต์ทดสอบจากการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4.3 และ 4.4 แสดงสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน Honda GX160 ที่อัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดมาตรฐาน เมื่อใช้น้ำมันแก๊สโซลีน 91 เป็นเชื้อเพลิง ที่ภาระสูงสุด (ลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่) จากการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ทดสอบ ให้กำลังสูงสุด 1.84 kW ที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm และ 2,500 rpm โดยให้ค่าทอร์กสูงสุด 7.97 Nm ที่ความเร็วรอบ 2,000 rpm โดยมีประสิทธิภาพเชิงปริมาตรร้อยละ 79.51 – 93.93 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดร้อยละ 22.96 ที่ความเร็วรอบ 2,000 rpm และอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่ำสุด 15.68 MJ/kWh ที่ความเร็วรอบ 2,000 rpm ส่วนการวัดมลพิษนั้น พบว่า ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์วัดได้ร้อยละ 1.88 – 3.61 โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อภาระเพิ่มขึ้นและความเร็วลดลง ค่าออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) วัดได้ 762 – 1,947 ส่วนในล้านส่วน

ตารางที่ 4.3 สมรรถนะของเครื่องยนต์ทดสอบเมื่อน้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง

Speed (rpm)	Load (kgf)	η_v (%)	λ	Torque (Nm)	Power (kW)	Brake Thermal Efficiency (%)	BSEC (MJ/kWh)
3000	2.5	79.51	1.17	5.86	1.84	19.35	18.60
2500	3	86.08	1.23	7.03	1.84	22.60	15.93
2000	3.4	91.85	1.18	7.97	1.67	22.96	15.68
1500	3	93.93	1.25	7.03	1.10	21.04	17.11

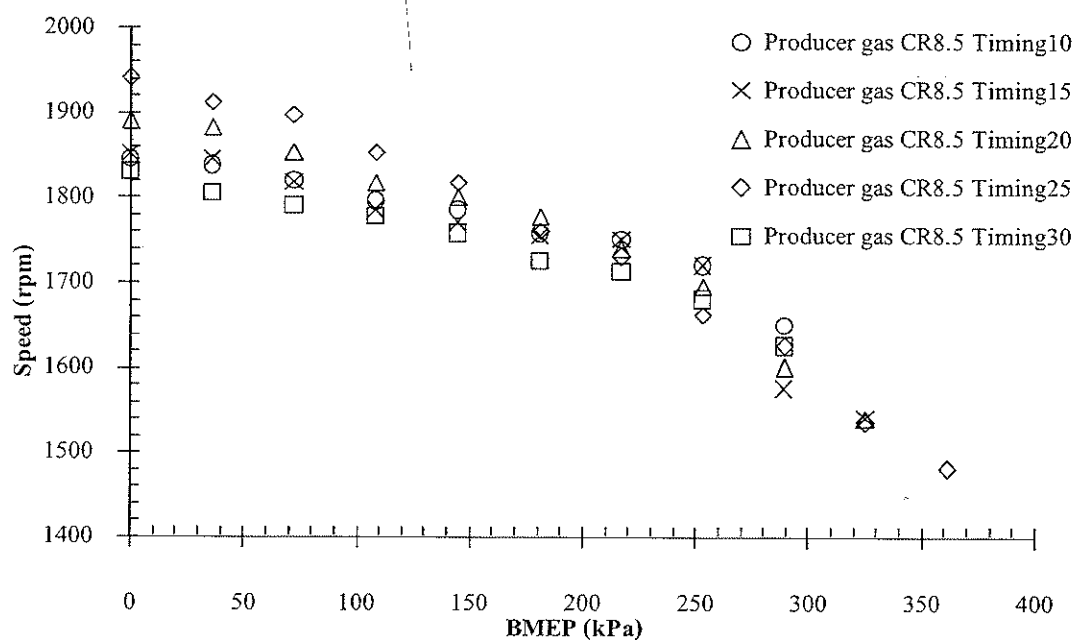
ตารางที่ 4.4 มลพิษของเครื่องยนต์ทดสอบเมื่อน้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง

Speed (rpm)	Load (kgf)	CO (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	NO _x (ppm)
3000	2.5	1.94	12.19	5.81	762
2500	3	1.88	12.56	5.76	1035
2000	3.4	2.86	12.78	4.63	1292
1500	3	3.61	12.98	4.71	1947

4.2.2 สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงที่สภาวะต่าง ๆ

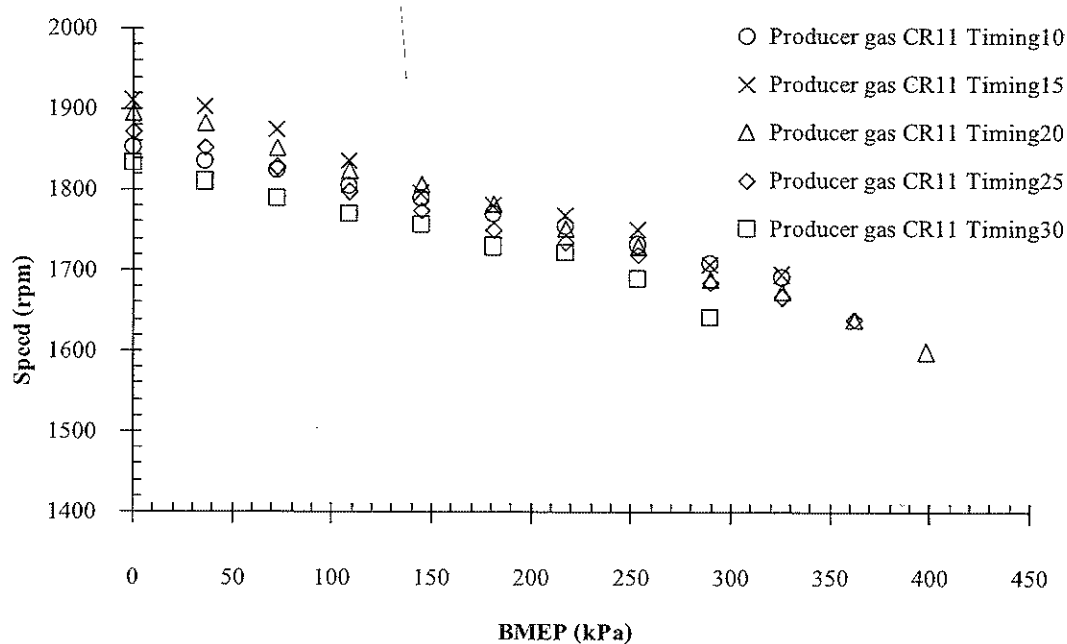
จากภาพที่ 4.34 – 4.36 เป็นแผนภูมิแสดงอัตราเร็วของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ เมื่อน้ำมันแก๊สชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ห้องสาคูระเบิดต่าง ๆ ในแต่ละอัตราส่วนการอัด เมื่อปรับเพิ่มภาระขึ้นครั้งละ 0.2 kgf จากไม่มีการะจนถึงภาระสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้

ที่อัตราส่วนการอัด 8.5:1 ดังแสดงในภาพที่ 4.34 พบว่า ที่ห้องสาคูระเบิด 25 องศา ก่อนศูนย์ตายบน มีแนวโน้มให้ความเร็วรอบที่ภาระต่าง ๆ สูงกว่าห้องสาคูระเบิดอื่น ๆ ซึ่งเมื่อนำไปคำนวณหาค่ากำลังเบรคและประสิทธิภาพเชิงความร้อนแล้ว พบว่า ที่ห้องสาคูระเบิด 25 องศา ก่อนศูนย์ตายบนให้ทอร์กสูงสุด 4.68 Nm คิดเป็นความดันยังผลเฉลี่ยเบรค 361 kPa ที่ความเร็วรอบ 1,480 rpm และให้กำลังเบรค 0.726 kW คิดเป็นร้อยละ 39.5 ของกำลังสูงสุดที่ทดสอบได้จากการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง



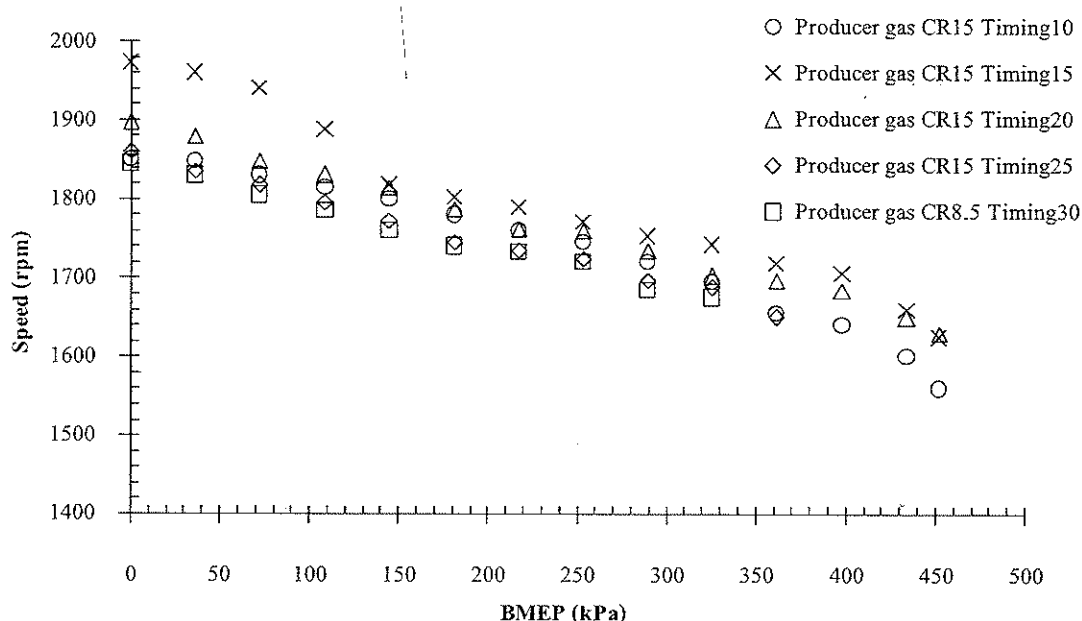
ภาพที่ 4.34 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่ความดันยังผลเฉลี่ยเบรกด่าง ๆ อัตราส่วนการอัด 8.5:1

ที่อัตราส่วนการอัด 11:1 ดังแสดงในภาพที่ 4.35 พบว่า ที่องศาจุดระเบิด 15-20 องศา ก่อนศูนย์ตายบน มีแนวโน้มให้ความเร็วรอบที่ภาระต่าง ๆ สูงกว่าองศาจุดระเบิดอื่น ๆ ซึ่งเมื่อนำไปคำนวณหาค่ากำลังเบรคและประสิทธิภาพเชิงความร้อนแล้ว พบว่า ที่องศาจุดระเบิด 20 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ให้ทอร์กสูงสุด 5.16 Nm คิดเป็นความดันยังผลเฉลี่ยเบรค 397 kPa ที่ความเร็วรอบ 1,600 rpm และให้กำลังเบรค 0.863 kW คิดเป็นร้อยละ 47 ของกำลังสูงสุดที่ทดสอบได้จากการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง ที่อัตราส่วนการอัด 11:1 ให้กำลังเพิ่มขึ้นจากอัตราส่วนการอัด 8.5:1 ร้อยละ 18.9



ภาพที่ 4.35 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่ความดันยังผลเฉลี่ยเบรคต่าง ๆ อัตราส่วนการอัด 11:1

ที่อัตราส่วนการอัด 15:1 ดังแสดงในภาพที่ 4.36 พบว่า ที่องศาจุดระเบิด 15 องศา ก่อนศูนย์ตายบน มีแนวโน้มให้ความเร็วรอบที่ภาระต่าง ๆ สูงกว่าองศาจุดระเบิดอื่น ๆ ซึ่งเมื่อนำไปคำนวณหาค่ากำลังเบรคและประสิทธิภาพเชิงความร้อนแล้ว พบว่า ที่องศาจุดระเบิด 15 องศา ก่อนศูนย์ตายบนให้ทอร์กสูงสุด 5.86 Nm คิดเป็นความดันยังผลเฉลี่ยเบรค 451.47 kPa ที่ความเร็วรอบ 1,625 rpm และให้กำลังเบรค 1 kW คิดเป็นร้อยละ 54.35 ของกำลังสูงสุดที่ทดสอบได้จากการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง ที่อัตราส่วนการอัด 15:1 ให้กำลังเพิ่มขึ้นจากอัตราส่วนการอัด 8.5:1 ร้อยละ 37.7



ภาพที่ 4.36 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่ความดันยังผลเฉลี่ยเบรกด่าง ๆ อัตราส่วนการอัด 15:1

นอกจากการเปรียบเทียบกำลังสูงสุดที่ได้จากที่อัตราส่วนการอัดต่าง ๆ แล้ว ยังพบว่า การปรับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า (Advance) หรือหลัง (Retard) จากจุดที่เหมาะสมยังทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลง โดยเฉพาะการปรับองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเกินไป ดังจะเห็นได้จากการปรับองศาจุดระเบิดไปที่ 30 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ทำให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ภาระเท่ากันลดลงอย่างมาก ซึ่งส่งผลให้กำลังของเครื่องยนต์ลดลงด้วย ซึ่งน่าจะเกิดจากสูญเสียงานบางส่วนไปกับการต้านการเคลื่อนที่ของลูกสูบที่กำลังเคลื่อนที่ขึ้นก่อนถึงศูนย์ตายบน เนื่องจากการจุดระเบิดเร็วเกินไป ส่วนการตั้งตำแหน่งจุดระเบิดหลังเกินไปจะทำให้ความดันในกระบอกสูบที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่ำลง ส่งผลให้กำลังที่ได้ต่ำลงด้วย

จากผลการวัดความเร็วรอบและภาระที่ได้จากภาพที่ 4.34 – 4.36 และข้อมูลที่ได้จากการวัดอัตราการใช้ของเชื้อเพลิงและอากาศสามารถสรุปค่าสมรรถนะต่าง ๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ (λ) ค่ากำลังเบรคสูงสุด ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุด ค่าทอร์กสูงสุด ค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตร และค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคต่ำสุด (BSEC) ที่องศาจุดระเบิดต่าง ๆ ในแต่ละอัตราส่วนการอัด

ตารางที่ 4.5 สรุปค่าการทดสอบสมรรถนะที่ดีที่สุดของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้
ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดต่าง ๆ

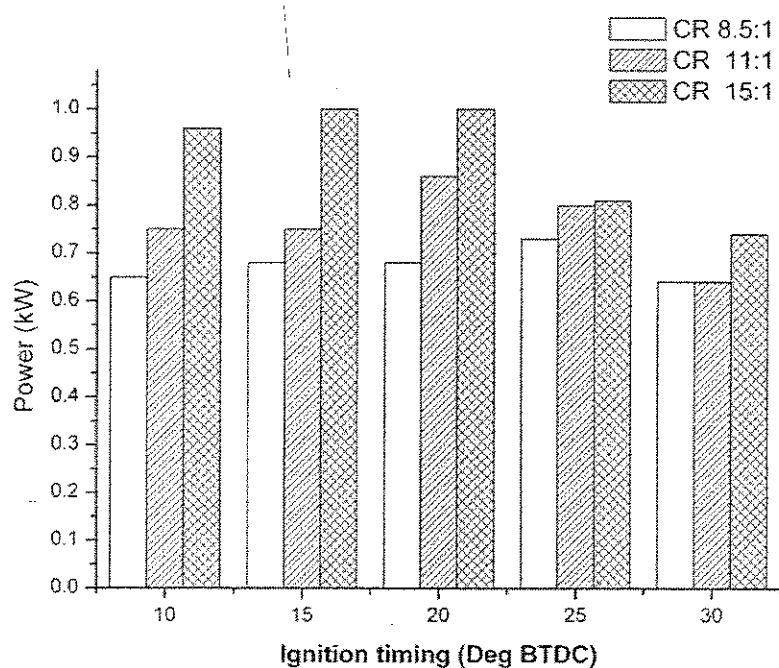
IGN, (°BTDC)	λ	Max. Brake Power (kW)	Max Efficiency (%)	Max Torque (Nm)	Volumetric efficiency (%)	BSEC (kJ/kW h)
CR 8.5:1						
10	0.93	0.65	15.71	3.750	73.03	24.35
15	0.93	0.68	16.76	4.218	77.21	21.47
20	1.00	0.68	19.36	4.218	69.10	19.60
25	1.00	0.73	20.67	4.687	71.90	17.89
30	1.05	0.64	17.23	3.750	70.52	21.92
CR 11:1						
10	0.96	0.75	19.07	4.218	68.92	19.04
15	0.97	0.75	19.45	4.218	67.85	19.59
20	0.95	0.86	23.80	5.156	67.02	15.20
25	0.95	0.80	21.73	4.687	66.79	16.57
30	0.84	0.64	15.45	3.750	71.37	23.58
CR 15:1						
10	1.02	0.96	26.10	5.859	71.80	13.93
15	1.05	1.00	26.02	5.859	74.53	14.28
20	0.94	1.00	25.74	5.859	70.04	13.99
25	0.95	0.81	21.86	4.687	66.38	16.47
30	0.79	0.74	16.88	4.218	71.37	21.33

ตารางที่ 4.5 แสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์ Honda GX160 ที่อัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดต่าง ๆ เมื่อใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ภาระสูงสุด และลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ จากการทดสอบพบว่า เครื่องยนต์ทดสอบ ที่อัตราส่วนการอัด 8.5:1 ให้กำลังสูงสุด 0.73 kW ที่องศาจุดระเบิด 25 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ที่อัตราส่วนการอัด 11:1 ให้กำลังสูงสุด 0.86 kW ที่องศาจุดระเบิด 20 องศา ก่อนศูนย์ตายบน และที่อัตราส่วนการอัด 15:1 ให้กำลังสูงสุด 1 kW ที่องศาจุดระเบิด

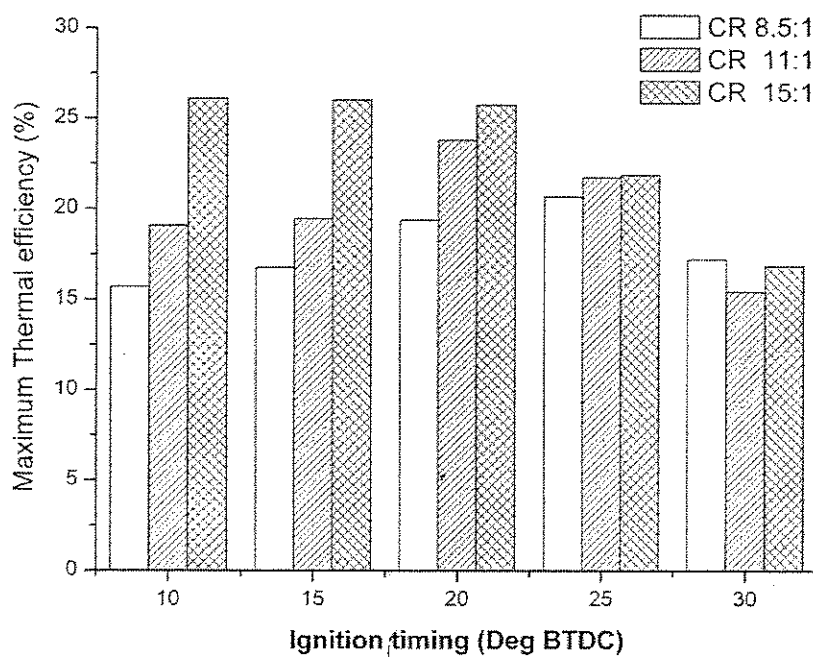
15-20 องศาเซลเซียสตามน เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด พบว่า ที่อัตราส่วนการอัด 8.5:1 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 20.67 ที่องศาจุดระเบิด 25 องศาเซลเซียสตามน ที่อัตราส่วนการอัด 11:1 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 23.8 ที่องศาจุดระเบิด 20 องศาเซลเซียสตามน และที่อัตราส่วนการอัด 15:1 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 26.1 ที่องศาจุดระเบิด 10 องศาเซลเซียสตามน เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิงแล้วพบว่า ที่อัตราส่วนการอัดมาตรฐาน 8.5:1 การใช้ก๊าซชีววมวลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกลดลงร้อยละ 9.97 และเมื่อปรับอัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้นเป็น 15:1 ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคเพิ่มขึ้นร้อยละ 13.6 เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอัตราส่วนการอัดในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sridhar et al.(2001) นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่ออัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้นจะต้องปรับองศาจุดระเบิดให้เข้าใกล้ศูนย์ตามนมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิและความดันเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเร็วขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น หากใช้องศาจุดระเบิดล่วงหน้าเกินไป เครื่องยนต์จะสูญเสียงานส่วนหนึ่งให้กับการต้านลูกสูบขณะเคลื่อนที่ขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคพบว่า ที่อัตราส่วนการอัด 8.5:1 ให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคต่ำสุด 19.60 MJ/kWh ที่องศาจุดระเบิด 25 องศาเซลเซียสตามน ที่อัตราส่วนการอัด 11:1 ให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคต่ำสุด 15.20 MJ/kWh ที่องศาจุดระเบิด 20 องศาเซลเซียสตามน และที่อัตราส่วนการอัด 15:1 ให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคต่ำสุด 13.93 MJ/kWh ที่องศาจุดระเบิด 10 องศาเซลเซียสตามน

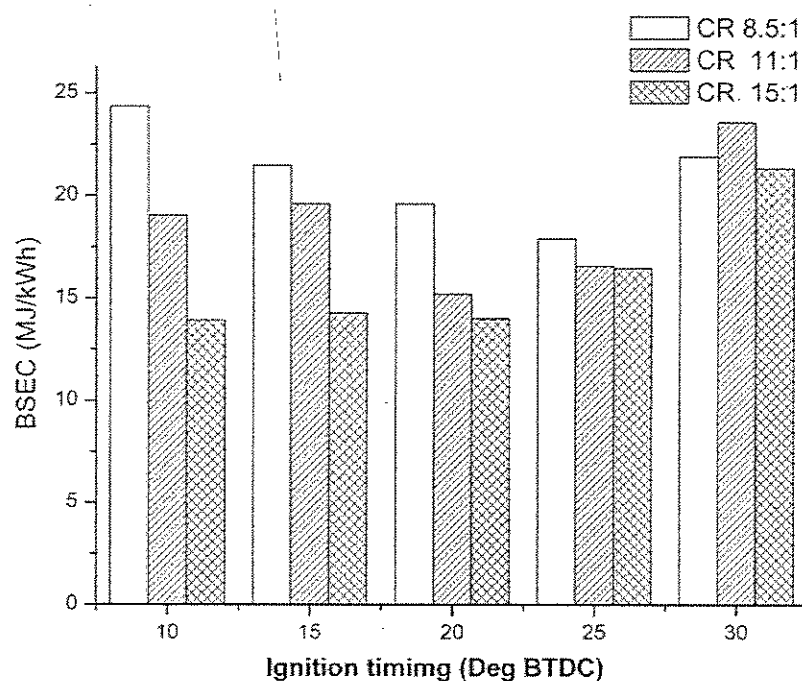
เพื่อให้เห็นภาพรวมได้ชัดเจนขึ้น ภาพที่ 4.37 ได้แสดงกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่อัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดต่าง ๆ ซึ่งเห็นได้ชัดว่าการเพิ่มอัตราส่วนการอัดทำให้กำลังเบรคสูงสุดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ภาพที่ 4.38 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุดของเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่อัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดต่าง ๆ ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับกำลังของเครื่องยนต์ คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้นและปรับองศาจุดระเบิดได้อย่างเหมาะสม ภาพที่ 4.39 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุดของเครื่องยนต์ทดสอบ ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่อัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดต่าง ๆ ซึ่งพบว่า อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้นและปรับองศาจุดระเบิดได้อย่างเหมาะสม



ภาพที่ 4.37 กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่อัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดต่าง ๆ



ภาพที่ 4.38 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงสุดของเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่อัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดต่าง ๆ



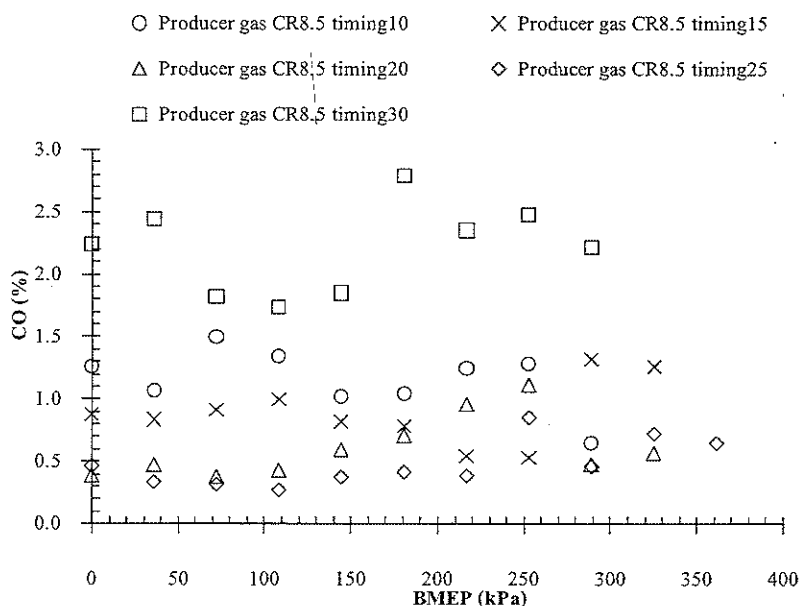
ภาพที่ 4.39 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุดของเครื่องยนต์ทดสอบ ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่อัตราส่วนการอัดและองศาจุดระเบิดต่าง ๆ

4.2.3 ผลพินิจจากการใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงที่สภาวะต่าง ๆ

4.2.3.1 ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์

จากภาพที่ 4.40–4.42 เป็นแผนภูมิแสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่วัดได้จากไอเสียของเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่องศาจุดระเบิดต่าง ๆ ในแต่ละอัตราส่วนการอัด เมื่อปรับเพิ่มภาระขึ้นครั้งละ 0.2 kgf จากไม่มีภาระจนถึงภาระสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้

ที่อัตราส่วนการอัด 8.5:1 ดังแสดงในภาพที่ 4.40 พบว่า ที่องศาจุดระเบิด 25 องศา ก่อนศูนย์ตายบน มีแนวโน้มปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำสุด โดยที่องศาจุดระเบิด 30 องศา ก่อนศูนย์ตายบนมีแนวโน้มการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงสุด

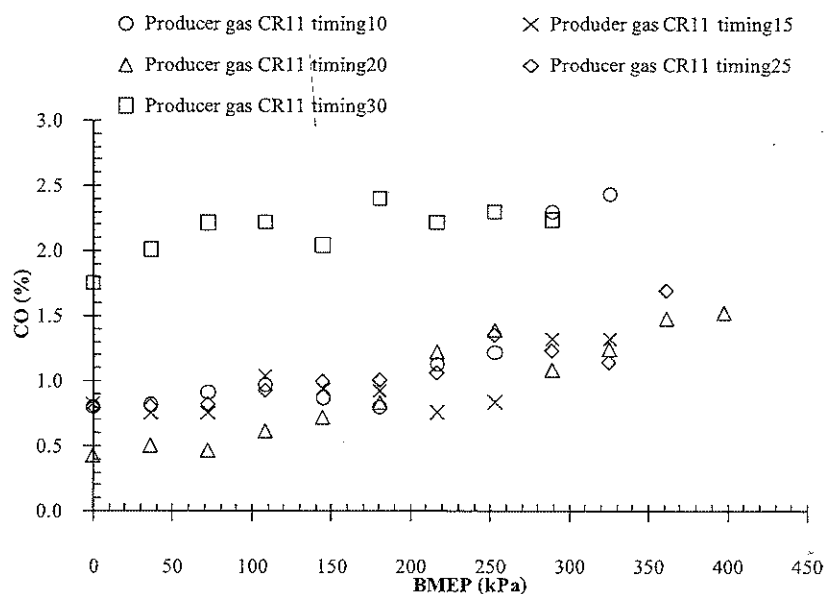


ภาพที่ 4.40 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ของเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่อัตราส่วนการอัด 8.5:1 และองศาจุดระเบิดต่าง ๆ

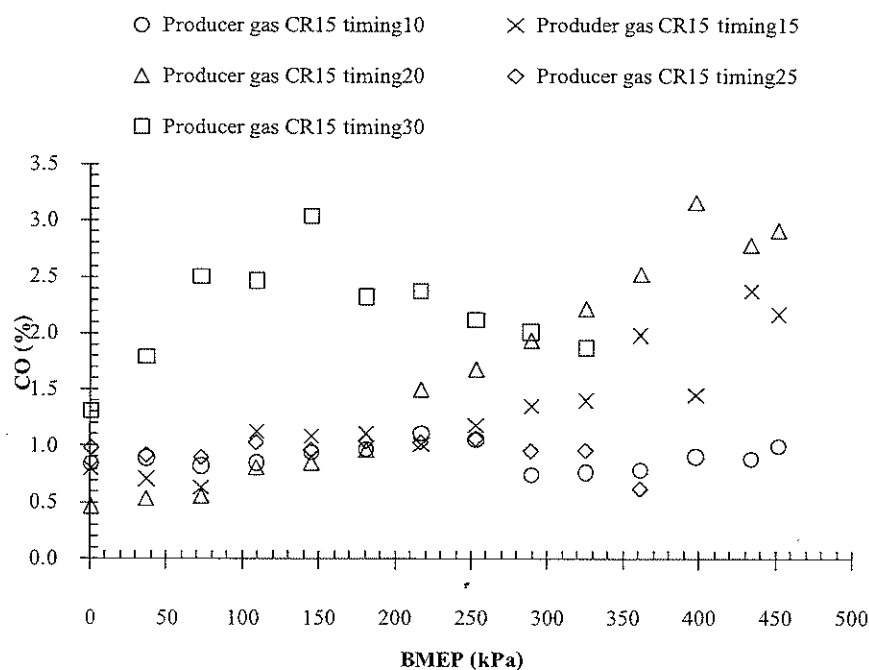
ที่อัตราส่วนการอัด 11:1 ดังแสดงในภาพที่ 4.41 พบว่า ที่องศาจุดระเบิด 15-20 องศา ก่อนศูนย์ตายบน มีแนวโน้มปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำสุด โดยที่องศาจุดระเบิด 30 องศา ก่อนศูนย์ตายบนมีแนวโน้มการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูงสุด

ที่อัตราส่วนการอัด 15:1 ดังแสดงในภาพที่ 4.42 พบว่า ที่องศาจุดระเบิด 10-25 องศา ก่อนศูนย์ตายบน มีแนวโน้มปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำประมาณร้อยละ 0.5-1.5 ในช่วงภาระต่ำถึงปานกลาง ส่วนที่ภาระสูงขึ้นมีแนวโน้มการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มากขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการปรับส่วนผสมระหว่างอากาศกับก๊าซชีววมวลเป็นสารผสมหนาเพื่อให้ได้กำลังมากขึ้น และเผาไหม้ไม่หมดในรอบวัฏจักรการเผาไหม้ และที่องศาจุดระเบิด 30 องศา ก่อนศูนย์ตายบนมีแนวโน้มการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูงสุด

แต่อย่างไรก็ดี การปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงที่ตำแหน่งองศาจุดระเบิดที่เหมาะสมยังต่ำกว่าการใช้น้ำมัน แก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิงมาก



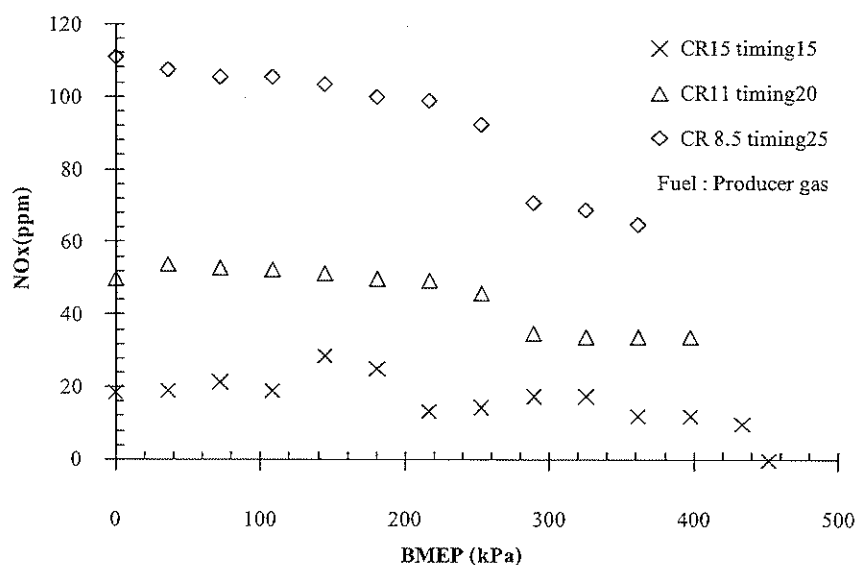
ภาพที่ 4.41 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ของเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง
ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่อัตราส่วนการอัด 11:1 และองศาจุดระเบิดต่าง ๆ



ภาพที่ 4.42 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ของเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง
ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่อัตราส่วนการอัด 15:1 และองศาจุดระเบิดต่าง ๆ

4.2.3.2 ออกไซด์ของไนโตรเจน

จากภาพที่ 4.43 เป็นแผนภูมิแสดงปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่วัดได้จากไอเสียของเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง อัตราส่วนการอัด 8.5:1-15:1 ที่องศาจุดระเบิดที่ให้กำลังสูงสุด เมื่อปรับเพิ่มภาระขึ้นครั้งละ 0.2 kgf จากไม่มีการะจนถึงการะสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ พบว่า ออกไซด์ของไนโตรเจนที่วัดได้มีค่าอยู่ระหว่าง 10-110 ส่วนในล้านส่วน และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้นและปรับองศาจุดระเบิดเข้าใกล้ศูนย์ตายบนมากขึ้น และนอกจากนี้ยังพบว่า ออกไซด์ของไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงเมื่อภาระเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากที่ตำแหน่งภาระเพิ่มขึ้นเครื่องยนต์จะทำงานที่สภาวะสมหนาขึ้นทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ก่อให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิงซึ่งมีการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน 762-1,947 ส่วนในล้านส่วนแล้วถือว่าน้อยมาก



ภาพที่ 4.43 ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ของเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่ ที่อัตราส่วนการอัด 8.5:1-15:1 และองศาจุดระเบิดที่ให้กำลังสูงสุด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการใช้ก๊าซชีววมวลที่ผลิตจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สันดาปภายในทั้งในรูปแบบของเชื้อเพลิงเดี่ยวในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ และเป็นเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์ดีเซล จากการศึกษาพบว่า การใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงจะให้สมรรถนะ มลพิษ และคุณลักษณะการเผาไหม้ที่แตกต่างจากการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนและน้ำมันดีเซล ทั้งการใช้งานในรูปแบบเชื้อเพลิงเดี่ยว (Gas engine) และเชื้อเพลิงร่วม (Dual fuel engine) เนื่องจากก๊าซชีววมวลมีค่าความร้อนต่ำกว่า ความหนาแน่นของพลังงานหลังจากผสมกับออกซิเจนน้อยกว่า ดังนั้น จากการศึกษาและการวิเคราะห์ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะ มลพิษ และคุณลักษณะการเผาไหม้ ของเครื่องยนต์ในบทที่ผ่านมา สามารถสรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 สมรรถนะ มลพิษและคุณลักษณะการเผาไหม้เมื่อใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ สมรรถนะและมลพิษ ของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม

การใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมสามารถทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลได้สูงสุดร้อยละ 71.15 ที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 501 kPa ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ ชญานนท์ แสงมณีและคณะ (2552), Banapurmath et al. (2009), Hassan et al.(2010, 2011) ที่พบว่าการใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมสามารถทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลได้ประมาณร้อยละ 60-70 ในขณะที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าการใช้ดีเซลอย่างเดียวประมาณร้อยละ 25 โดยเฉลี่ย และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวทุกช่วงภาระ

5.1.2 มลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม

การวัดมลพิษจากไอเสียพบว่า การใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เพิ่มขึ้นในช่วงภาระเครื่องยนต์ต่ำและลดลงเมื่อภาระเพิ่มขึ้น แต่ยังสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว ในขณะที่ออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง 30-350 ส่วนในล้านส่วน โดย

อุณหภูมิในไอเสียจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวทุกช่วงภาระ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Banapurmath et al. (2009) Hassan et al. (2011) และ Singh et al (2007)

5.1.3 คุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม

คุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงร่วมมีรูปแบบการปล่อยความร้อนแตกต่างจากการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว โดยมีช่วง Premixed combustion และ Mixing control combustion กว้างกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว ความดันในกระบอกสูบลดลง 10-15 บาร์ เมื่อปรับอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความล่าช้าในการจุดระเบิดและระยะเวลาในการเผาไหม้เพิ่มขึ้น 2-5 องศาเฟลาข้อเหวี่ยง จากผลการศึกษาดังกล่าว พบว่า สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม อาจปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยการปรับองศาการฉีดน้ำมันดีเซลล่วงหน้า 2-5 องศาเฟลาข้อเหวี่ยง (Banapurmath et al., 2009) และเพิ่มปริมาณการฉีดน้ำมัน

นอกจากนี้ การศึกษาเปรียบค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันระหว่างวัฏจักร (COV) ยังพบว่า การใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมมีค่า COV_{IMEP} และ $COV_{P_{max}}$ ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว และมีค่าอยู่ในช่วงที่เครื่องยนต์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 5

5.2 สมรรถนะ มลพิษและคุณลักษณะการเผาไหม้เมื่อใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ สมรรถนะและมลพิษ ของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง

ผลการวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง พบว่า ทอร์คและกำลังของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นเมื่อปรับอัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้น โดยการปรับอัตราส่วนการอัดเพิ่มจาก 8.5:1 เป็น 15:1 ทำให้กำลังของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 0.73 kW ไปเป็น 1 kW และทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงสุดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 20.67 เป็นร้อยละ 26.1

เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์เดียวกันที่ใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง พบว่า การใช้ก๊าซชีววมวลที่อัตราส่วนการอัด และองศาจุดระเบิดมาตรฐาน ให้กำลังสูงสุดเพียงร้อยละ 40 ของการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Munoz et al. (2000) ที่พบว่า การใช้ก๊าซชีววมวลในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟให้กำลังสูงสุดเพียงร้อยละ 40-50 ของการใช้น้ำมันแก๊สโซลีน

ในการศึกษานี้ยังพบว่า นอกจากการปรับอัตราส่วนการอัดช่วยให้สมรรถนะของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นแล้ว การปรับองศาจุดระเบิดที่เหมาะสมยังทำให้กำลังของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นด้วย โดยเมื่อปรับอัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้น จะทำให้ตำแหน่งองศาจุดระเบิดที่เหมาะสมขยับเข้าใกล้ศูนย์ตายบนมากขึ้น เนื่องจากที่อัตราส่วนการอัดสูงขึ้น ทำให้ความดันและอุณหภูมิเริ่มต้นสูงขึ้น อัตราการเผาไหม้เริ่มต้นจึงรวดเร็วขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sridhar et al. (2001) หากปรับตำแหน่งองศาจุดระเบิดไว้ล่วงหน้าเกินไป เครื่องยนต์จะเสียหายให้กับการด้านการเคลื่อนที่ของลูกสูบขณะเคลื่อนที่ขึ้น ซึ่งถือว่าเป็นการสูญเสียกำลังอย่างหนึ่ง โดยองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองนี้แสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 องศาจุดระเบิดที่เหมาะสมในแต่ละอัตราส่วนการอัดเมื่อใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง

CR	Optimum ignition timing (°BTDC)	Max brake thermal efficiency (%)
8.5:1	25	20.67
11:1	20	23.80
15:1	15	26.02

5.1.2 ผลพิษของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง

ผลการวัดมลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง พบว่า ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ตำแหน่งองศาจุดระเบิดที่เหมาะสม มีค่าต่ำกว่าการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง และยังพบว่า ปริมาณของออกไซด์ของไนโตรเจนลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Munoz et al. (2000) และ Shah et al. (2010)

5.1.3 คุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง

จากการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ตั้งแต่ 1,500–4,000 rpm โดยไม่ใส่ภาระ เปรียบเทียบกันระหว่างการใช้้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิงกับการใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง พบว่า ความดันในกระบอกสูบจากการใช้ก๊าซชีวมวลสูงกว่าการใช้การใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากการใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ต้องการปริมาตรของเชื้อเพลิงที่มากกว่าเพื่อให้ได้พลังงานเท่ากัน ดังนั้น จึงทำให้ต้องเปิดลิ้นปีกผีเสื้อกว้างกว่าทำให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสูงกว่าการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิงที่ภาระและความเร็วรอบเท่ากัน

เมื่อเทียบลักษณะการปล่อยความร้อนสะสม (Cumulative heat release) พบว่า การใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงปล่อยความร้อนออกมาเร็วกว่าการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนประมาณ 1-3 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจเกิดจากก๊าซชีววมวลมีสถานะเป็นก๊าซจึงผสมกับอากาศได้ดีกว่าเมื่อเทียบ น้ำมันแก๊สโซลีนซึ่งมีสถานะเป็นละอองของเหลว และหลังจากเริ่มต้นปล่อยความร้อนแล้ว พบว่า ส่วนผสมระหว่างแก๊สโซลีนกับอากาศมีแนวโน้มอัตราการปล่อยความร้อนรวดเร็วกว่าการใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิง ทำให้ระยะเวลาการเผาไหม้เมื่อใช้น้ำมันแก๊สโซลีนสั้นกว่าการใช้ก๊าซชีววมวลประมาณ 20-40 องศาเซลเซียส

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้งานในรูปแบบเครื่องยนต์ เชื้อเพลิงร่วมคือ อนุภาคน้ำมัน ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาผลของอนุภาคน้ำมันดีเซลฉีดนำ (Pilot diesel injection timing) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่า การปรับองศาฉีดน้ำมันล่วงหน้า 2-5 องศาเซลเซียสจากเดิม จะช่วยปรับปรุงสมรรถนะและมลพิษ ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมได้

5.3.2 เนื่องจากเชื้อเพลิงฉีดนำที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำมันดีเซล ดังนั้น เพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลดังกล่าว ควรมีการศึกษาลักษณะการเผาไหม้โดยใช้เชื้อเพลิงฉีดนำชนิดอื่น ๆ เช่น น้ำมันไบโอดีเซลจากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ น้ำมันพืช หรือน้ำมันไบโอดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เป็นต้น เพื่อให้เกิดการพึ่งพาตนเองด้านพลังงานอย่างยั่งยืน

5.3.3 การศึกษาการใช้ก๊าซชีววมวลในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ในการทดลองนี้ใช้เครื่องยนต์ขนาดเล็กกว่าขนาดพิกัดของไดนาโมมิเตอร์ ทำให้มีการสูญเสียกำลังส่วนหนึ่งให้กับไดนาโมมิเตอร์ ดังนั้น เพื่อให้การวัดค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ได้ใกล้เคียงกับ ค่ามาตรฐานการทดสอบของผู้ผลิต ควรเลือกใช้เครื่องยนต์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น หรือเลือกใช้ไดนาโมมิเตอร์ที่มีขนาดเหมาะสมกับเครื่องยนต์

5.3.4 ในการศึกษาทั้งหมดในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้ก๊าซชีววมวลที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบไหลลง คุณสมบัติของก๊าซชีววมวลอาจจะไม่คงที่ ถึงแม้จะพยายามควบคุมขนาดของเชื้อเพลิง อัตราการจ่ายอากาศให้เท่ากันทุกการทดลอง รวมถึงการติดตั้งถังพักก๊าซชีววมวล (Buffer tank) แล้วก็ตาม ดังนั้น หากต้องการผลการทดลองที่ถูกต้องแม่นยำมากขึ้นควรติดตั้งเครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีววมวลแบบออนไลน์ (On-line gas analyzer) หรือใช้ก๊าซจำลอง (Simulated gas) ที่ได้จากการผสมก๊าซต่าง ๆ ตามสัดส่วน แต่ถึงอย่างไรก็ตามการทดสอบที่ใช้ก๊าซชีววมวลที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซชีววมวล ก็ได้สะท้อนให้เห็นสภาพการใช้งานที่เกิดขึ้นได้จริง เมื่อประยุกต์ใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. “แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564)”, <http://www.dede.go.th/dede/images/stories/aedp25.pdf>. 27 December, 2011.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. “รายงานพลังงานแห่งประเทศไทย 2553”, http://www.dede.go.th/dede/images/stories/6may54_circular/energy_53_2.pdf. 27 December, 2011.
- จงจิตร หิรัญธาดา และคณะ. “การอบแห้งพริกโดยใช้โปรคิวเซอร์แก๊สจากเตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้น”, วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. 10(1) : 68-77 ; มกราคม-มีนาคม, 2542.
- ชญานนท์ แสงมณี และคณะ. “สมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซชีววมวลและน้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง”, วารสารวิชาการ ม.อบ. 11(2) : 1-9 ; เมษายน-มิถุนายน, 2552.
- ชนากา วรรณศรี. การประเมินวัฏจักรชีวิตและต้นทุนของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแก๊สซิฟิเคชันของไม้ไผ่เร็ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551.
- ทิพย์สุภินทร์ หินชุย. การศึกษาการกำจัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อผลิตพลังงานโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน : กรณีศึกษาจากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2550.
- นคร ทิพย์วงศ์. เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ สสท., 2553.
- บงกช ประสิทธิ์ และสุขฤดี นาถกรกุล. “การใช้พลังงานความร้อนจากเตาผลิตแก๊สซิฟิเคชันร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการอบแห้งใบหม่อน”, วารสารวิจัยพลังงาน. 4 : 1-11, 2550.
- พิชาญ มานะบรรยง. การศึกษาเตาผลิตก๊าซแบบไหลลงและต่อเนื่องโดยใช้เศษถ่านเป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2547.
- รัตนะ เลหวนิช. การออกแบบและทดสอบเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบไหลลงสำหรับกระบวนการอบแห้งปุย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- วิภาวรรณ แสงสง่า. การเปรียบเทียบการผลิตเซรามิกโดยใช้พลังงานความร้อนที่ได้จากเตาแก๊สซีไฟเออร์แบบ Updraft และ Downdraft. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.
- วีระศักดิ์ กรัยวิเชียร. เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในทฤษฎีและการคำนวณ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์วิทย์พัฒน์, 2549.
- สหัตถยา ลาตปาละ นิพนธ์ เกตุจ้อย และวัฒนพงษ์ รัถวิเชียร. “การประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล”, ใน การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : โรงแรมใบหยกสกาย, 2550.
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. ระบบเครื่องยนต์แก๊สโปรคิวเซอร์จากชีวมวล (Gas Producer Engine System from Biomass). กรุงเทพมหานคร : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2544.
- สำเริง สุขานุกูร. การศึกษาการเดินเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดยใช้โปรคิวเซอร์แก๊สจากผักตบชวาอัดแท่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.
- สุรพงษ์ คล้ายมูข. การศึกษาเปรียบเทียบการผลิตโปรคิวเซอร์แก๊สจากเตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้นและไหลลงโดยใช้ผักตบชวาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.
- สุริย์ จรูญศักดิ์. การศึกษาการใช้พลังงานความร้อนจากเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงเพื่อใช้ในการผลิตเซรามิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.
- โสธร ศรีเลิศ. การออกแบบกังหันโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานจากแก๊สชีวมวล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมชนบุรี, 2538.
- Anil, T.R. et al. “CFD Analysis of a Mixture Flow in a Producer Gas Carburetor”, International Conference on Computational Fluid Dynamics Heat Transfer and Electromagnetics CFEMATCON-06. Visakhapatnam INDIA: Andhra University, 2006

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Azimov, U., and et al. "Effect of syngas composition on combustion and exhaust emission characteristics in a pilot-ignited dual-fuel engine operated in PREMIER combustion mode", International journal of Hydrogen Energy. 36(18): 11985-11996, 2011.
- Banapurmath, N.R. and et al. "Combustion characteristics of a 4-stroke CI engine operated on Honge oil, Neem and Rice Bran oils when directly injected and dual fuelled with producer gas induction", Renewable Energy. 34(7): 1877-1884, 2009.
- Banapurmath, N.R. and Tewari, P.G. "Comparative performance studies of a 4-stroke CI engine operated on dual fuel mode with producer gas and Honge oil and its methyl ester (HOME) with and without carburetor", Renewable Energy. 34(4): 1009-1015, 2009.
- Bhoi, P.R. and et al. "Performance evaluation of open core gasifier on multi-fuel", Biomass and Bioenergy. 30(6): 575-579, 2006.
- Bridgwater, A.V. "Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass", Chemical Engineering Journal. 91(2-3): 87-102, 2003.
- Chopra, S. and Jain, A. "A Review of Fixed Bed Gasification Systems for Biomass", Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Invited Overview. 9(5): 1-23, 2007.
- FAO. Wood gas as engine fuel. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1986.
- Hassan, S. and et al. "Performance and Emission Characteristics of Supercharged Biomass Producer Gas-diesel Dual Fuel Engine", Journal of Applied sciences. 11(9): 1606-1611, 2011.
- Hassan, S., Zainal, Z.A. and Miskam, M.A. "A Preliminary Investigation of Compressed Producer Gas from Downdraft Biomass Gasifier", Journal of Applied Sciences. 10(5): 406-412, 2010.
- Heywood, J.B. Internal combustion engine Fundamentals. New York: McGraw Hill, 1988.
- Kaupp, A. and Goss J.R. Small scale producer gas – engine systems. Germany: Friedr Vieweg&Sonh, 1984.
- Munoz, M. F. and et al. "Low heating value gas on spark ignition engines", Biomass and Bioenergy. 18(5): 431-439, 2000.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Panwar, N.L., Rathore, N.S. and Kurchania, A.K. "Experimental investigation of open core downdraft biomass gasifier for food processing industry", Mitigation Adaptation Strategies Global Change. 14(6): 547-556, 2009.
- Pathak, B.S. et al. "Performance evaluation of an agricultural residue-based modular throat-type down-draft gasifier for thermal application", Biomass and Bioenergy. 32(1): 72-77, 2008.
- Ramadas, A.S., Jayaraj, S. and Muraleedharan, C. "Dual fuel mode operation in diesel engines using renewable fuels: Rubber seed oil and coir-pith producer gas", Renewable Energy. 33(9): 2077-2083, 2008.
- Reed, T.B. and Das, A. Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems. Corolado: Biomass Energy Foundation Press, 1988.
- Reed, T.B. and et al. "Superficial velocity – The key to downdraft gasification", 4th Biomass Conference of the Americas. Oakland, 1999.
- Roy, P.C., Datta, A., Chakraborty, N. "Assessment of cow dung as a supplementary fuel in a downdraft biomass gasifier", Renewable Energy. 35(2): 379-386, 2010.
- Saravanakumar, A., and Haridasan, T.M. "Operation and modeling of an updraft long-stick wood gasifier", Energy for Sustainable Development. 9(4): 25-39, 2005.
- Saravanakumar, A. and et al. "Experimental investigation and modeling study of long stick wood gasification in a top lit updraft fixed bed gasifier", Fuel. 86(17-18): 2846-2856, 2007.
- Saravanakumar, A. and et al "Experimental investigations of long stick wood gasification in a bottom lit updraft fixed bed gasifier", Fuel Processing Technology. 88(6): 617 – 622, 2007.
- Saravanakumar, A., Haridasan, T.M. and Reed, T.B. "Flaming pyrolysis model of the fixed bed cross draft long stick wood gasifier", Fuel Processing Technology. 91(6): 669 – 675, 2010.
- Shah, A. and et al. "Performance and emissions of a spark-ignited engine driven generator on biomass based syngas", Bioresource Technology. 101(12): 4656-4661, 2010.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Sheth, P.N., Babu, B.V. "Experimental studies on producer gas generation from wood waste in a downdraft biomass gasifier", Bioresource Technology. 100(12): 3127-3133, 2009.
- Singh, R.N., Singh, S.P. and Pathak, B.S. "Investigation on operation of CI engine using producer gas and rice bran oil in mixed fuel mode", Renewable Energy. 32(9): 1565-1580, 2007.
- Sridhar, G. "Experimental and Modeling Aspects of Producer Gas Engine", In proceeding of International Conference on Sustainable Energy Technologies ICSET 2008. Singapore, 2008.
- Sridhar, G., Paul, P.J. and Mukunda, H.S. "Biomass derived producer gas as and a reciprocating engine fuel-an experimental analysis", Biomass & Bioenergy. 21(1): 61-72, 2001.
- Sridhar, G H. and et al. "Development of producer gas engines", In Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part D: Journal of Automobile Engineering, 219 (3) pp. 423-438., 2005.
- Tokyo Meter Co., Ltd. Diesel Engine Research and Test Bed model : DWE-8/10-M Operation Manual. Tokyo: Tokyo Meter CO., Ltd., 1994.
- Tripathi, A.K., Iyer, P.V.R. and Tara, C.K. "Financial analysis of biomass gasifier based water pumping in India", Energy. 24(6): 511-517, 1999.
- Uma, R., Kandpal, T.C., and Kishore, V.V.N. "Emission characteristics of an electricity generation system in diesel alone and dual fuel modes", Biomass & Bioenergy. 27(2): 195-203, 2004.
- Vinay, S.S. and et al. "Numerical and Experimental Modeling of Producer gas Carburetor", In Proc. Of the International Conference on 'Advances in Mecchanical Engineering. S.V. National Institute of Technology Gujarát India, 2008.
- Zainal, Z.A. and et al. "Experimental investigation of a downdraft biomass gasifier", Biomass and Bioenergy. 23(4): 283-289, 2002.

ภาคผนวก

ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์นี้

บทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติ

- [1] พิศาล สมบัติวงศ์, ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์ และกุลเชษฐ์ เพียรทอง. “สมรรถนะ มลพิษและคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซลและก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม,” วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อุบล, ปีที่ 5, ฉบับที่ 2, กรกฎาคม – ธันวาคม 2555.

บทความที่นำเสนอในที่ประชุมทางวิชาการระดับชาติ

- [2] พิศาล สมบัติวงศ์, ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์ และกุลเชษฐ์ เพียรทอง “คุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมน้ำมันดีเซล-ก๊าซชีววมวล,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25, 19-21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่ Paper no. AEC43.
- [3] พิศาล สมบัติวงศ์, ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์ และกุลเชษฐ์ เพียรทอง “คุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมก๊าซชีววมวล-น้ำมันดีเซลที่อัตราทดแทนน้ำมันดีเซลต่าง ๆ” การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8, 2-4 พฤษภาคม 2555 จังหวัดมหาสารคาม Paper no. ENETT8-AP53.

บทความที่นำเสนอในที่ประชุมทางวิชาการระดับนานาชาติ

- [4] Pisarn Sombatwong, Prachasanti Thaiyasuit and Kulachate Pianthong "Combustion Characteristics of a Dual Fuel Compression Ignition Engine Operation with Pilot Diesel Fuel and Producer Gas," The 6th GMSARN International Conference on Social-Energy-Environmental Development: SEED towards Sustainability, paper no.ME-01, Grand Paradise Nong Khai, Nongkhai City, Thailand, 28-30 March 2012.
- [5] Pisarn Sombatwong, Prachasanti Thaiyasuit and Kulachate Pianthong "Effect of Pilot Fuel Quantity on the Performance and Emission of a Dual Producer Gas-Diesel Engine," 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering 2012, paper no.ET-22, Sunee grand hotel Ubon-ratchathani, Thailand, 5-8 December 2012.

ชื่อ

ภูมิลำเนา

ประวัติการศึกษา

ประวัติการทำงาน

ประวัติผู้วิจัย

นายพิศาล สมบัติวงศ์

อยู่บ้านเลขที่ 71 หมู่ที่ 2 บ้านควนใหญ่

ตำบลควนใหญ่ อำเภอวังหิน จังหวัดศรีสะเกษ

พ.ศ. 2537-2543

มัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย

โรงเรียนคำป้าหลายสรรพวิทย์

อำเภอเมือง จังหวัดมุกดาหาร

พ.ศ. 2544-2548

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ 1)

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

พ.ศ. 2553-2555

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

พ.ศ. 2549-2550

วิศวกร แผนกซ่อมบำรุง

บริษัท สหวิริยาสตีลอินดัสตรี จำกัด (มหาชน)

พ.ศ. 2550-ปัจจุบัน

วิศวกร โครงการ

ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี