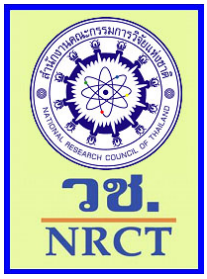


รายงานการวิจัย

การผลิตแก๊สชีวมวลจากเศษชีวมวลทางการเกษตรเพื่อใช้ในเครื่องยนต์ทางการเกษตร : การปรับปรุงเครื่องยนต์เล็กเพื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สชีวมวล

Improvement of the Small Engine Using the Producer: Biomass Gasification of the Residue Agricultural Biomass for Agricultural Engines

โดย

ปรีชา ขันติโกมล
อมรทัศน์ จั่วแจ่มใส
ไมตรี พลสงคราม
การัณย์ หอมชาติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
สิงหาคม 2556

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การผลิตแก๊สชีวมวลจากเศษชีวมวลทางการเกษตรเพื่อใช้ในเครื่องยนต์ทางการเกษตร: การปรับปรุงเครื่องยนต์เล็กเพื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สชีวมวล

(ภาษาอังกฤษ): Improvement of the Small Engine Using the Producer: Biomass Gasification of the Residue Agricultural Biomass for Agricultural Engines

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี 2555 จำนวน 650,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 17 เดือน ตั้งแต่ 22 พฤษภาคม 2555 ถึง 30 กันยายน 2556

ชื่อผู้วิจัย 1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ขันติโกมล
(Doctor of Mechanical and Energy Systems Engineering)
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อมรทัศน์ จั่วแจ่มใส (วศบ.เครื่องกล)
3. ดร.ไมตรี พลสงคราม (Ph.D. Physical and Mathematic Sciences)
4. นายการัณย์ หอมชาติ (วศม.เครื่องกล)

หน่วยงาน สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน 744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทรศัพท์: 0-4427-1312 ต่อ 3410
โทรสาร: 044-233-074

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตแก๊สชีวมวลทางการเกษตรเพื่อใช้ในเครื่องยนต์ทางการเกษตรขนาดเล็ก และทำการปรับปรุงเครื่องยนต์เล็กขนาด 9 แรงม้า เพื่อให้สามารถใช้แก๊สชีวมวลได้ เตาผลิตแก๊สชีวมวลสำหรับการวิจัยนี้เป็นเตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลลง (Downdraft gasifier) ใช้ชีวมวลตัวอย่างศึกษา 3 ชนิด ได้แก่ ไม้ยูคาลิปตัส กะลามะพร้าว และไม้กระถินยักษ์ เพื่อศึกษากลไกการผลิตแก๊สชีวมวล ปริมาณแก๊สชีวมวล และการใช้แก๊สชีวมวลกับเครื่องยนต์เล็กทางการเกษตร อุปกรณ์จะประกอบด้วย ชุดเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงพร้อมระบบกรอง และเครื่องยนต์ขนาด 9 แรงม้า ในการทดลอง จะใช้ชีวมวลไม่เกิน 5 kg จ่ายอากาศในช่วง 5 – 20 m^3/hr ทำการวัดอุณหภูมิของอากาศทางเข้า อุณหภูมิในแต่ละส่วนของแก๊สซิไฟเออร์ เก็บตัวอย่างแก๊สเพื่อทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบ จ่ายแก๊สชีวมวลให้กับเครื่องยนต์เล็ก จากการศึกษาพบว่า กะละมะพร้าวให้ประมาณแก๊สชีวมวลที่เข้มข้นกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น รองลงมาคือยูคาลิปตัสและไม้กระถินยักษ์ ส่วนประกอบของแก๊สชีวมวลจะมี 3 องค์ประกอบหลักๆ คือ คาร์บอนมอนออกไซด์ ไฮโดรเจน และแก๊สส่วนประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงขับเครื่องยนต์เล็กได้เป็นอย่างดี แต่

อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องทำการกรองแก๊สให้สะอาดก่อน ซึ่งพบว่าไอน้ำ น้ำมันดิน น้ำส้มควันไม้ มีการเกาะจับที่ชิ้นส่วนเครื่องยนต์

This research aims to study of improvement of the small engine using the producer gas from biomass gasification of the residue agricultural biomass and to modify the 9 Hp small engine using biomass gas. In the present study, the downdraft gasifier has been developed. The 3 types of biomass e.g. Eucalyptus, Coconut shell and Leucaena leucocepphala (Lam.) de Wit, have been examined. To investigate the biomass gasification, amount of biomass gas, and the use of producer gas for the small engine, the experimental apparatus consists of downdraft gasifier with the filter and 9 Hp engine. In the experiment, 3 kg biomass has been examined. The air in the range of 5-10 m3/hr is supplied into the system. The temperatures at each section of the downdraft gasifier are measured. The producer gas is sampled to analyze the components. Then, the gas is supplied to run the 9 Hp small engine. The study found that the producer gas obtained from the coconut shell is intensive than the other biomass. In biomass gas analysis, the gas components are CO, H_2 and C_xH_x, which the CO is more than another one. In the use of biomass gas as fuel for the small engine, it can be used to run the engine. However, the biomass gas has to percolate the contaminants e.g. water vapor, tar, wood vinegar. After 15 hours engine running, it was found that there are the contaminant attached to the engine parts.

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินโครงงานวิจัยในหัวข้อเรื่องการผลิตแก๊สชีวมวลจากเศษชีวมวลทางการเกษตรเพื่อใช้ในเครื่องยนต์ทางการเกษตร: การปรับปรุงเครื่องยนต์เล็กเพื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สชีวมวลในครั้งนี้นั้น ได้รับทุนสนับสนุน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 โดยอยู่ภายใต้ การดูแลของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ผู้จัดทำโครงงานวิจัยขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องและสนับสนุนโครงงานวิจัยในครั้งนี้ทุกท่าน โดยเฉพาะ นายจิระพงษ์ กวนกระโทก นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล รวมทั้งขอบคุณนายสุวัฒน์ มินไธสง, นายจักรกริช หงส์จันอัด และ นายจักรกฤษ อานุวัน นักศึกษาวิศวกรรมเครื่องกลชั้นปีที่ 4 ที่ได้ให้ความช่วยเหลือใน การเก็บข้อมูลการทดลองบางส่วนของโครงงานวิจัยนี้

คณะผู้จัดทำโครงงานวิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ สำหรับเครื่องมือ อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย และเอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการทดลอง ซึ่งก็คือห้องปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน (Research and Development of Renewable Energy Laboratory, **RDREL**)

ปรีชา ขันติโกมล
อมรทัศน์ จั่วแจ่มใส
ไมตรี พลสงคราม
การัณย์ หอมชาติ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ก
กิตติกรรมประกาศ ค
สารบัญ ง
สารบัญตาราง จ
สารบัญภาพ ฉ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง 2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.4 คำสำคัญของการวิจัย 4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย 4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
บทที่ 2 ทฤษฎี 6
2.1 ทฤษฎีการผลิตแก๊ส 6
2.2 ชนิดของเตาผลิตแก๊ส 9
2.3 เครื่องยนต์สันดาปภายในแบบ 4 จังหวะ 14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 26
3.1 การผลิตแก๊สชีวมวล 26
3.2 วิธีการทดลอง 35
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล 36
4.1 การผลิตแก๊สชีวมวล 36
4.2 ผลการใช้แก๊สชีวมวลกับเครื่องยนต์เล็ก 42
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 45
5.1 สรุปผลการวิจัย 45
5.2 ข้อเสนอแนะ 45
บรรณานุกรม 46
ประวัตินักวิจัย 48

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1.1 แสดงพลังงานชีวมวลที่เกิดขึ้นในแต่ละปีในประเทศไทย 1
2.1 แสดงค่าคงที่ของสมดุลปฏิกิริยาเคมีของน้ำ-แก๊ส 8
2.2 แสดงปริมาณออกซิเจนและไนโตรเจนที่มีอยู่ในอากาศสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ 20
2.3 น้ำหนักอะตอมและน้ำหนักโมเลกุลของสารบางชนิด 21
4.1 ผลการผลิตแก๊สชีวมวล จากชีวมวลปริมาณ 3 กิโลกรัม
อัตราการไหลของอากาศที่ 150 ลิตรต่อนาที 37

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่

2.1 แสดงแผนผังกระบวนการเกิดแก๊ส 6
2.2 (a) เตาผลิตแก๊ส (b) แสดงแผนภาพการทำงานของเตาผลิตแก๊สแบบ Updraft Gasifier 10
2.3 (a) เตาผลิตแก๊สและ (b) แสดงแผนภาพทำงานของเตาผลิตแก๊สแบบ Downdraft Gasifier 11
2.4 แสดงเตาผลิตแก๊สชนิด Crossdraft 12
2.5 แสดงเตาผลิตแก๊สชนิด Fluidized bed 12
2.6 แสดงเตาผลิตแก๊สชนิด Twin-fire 13
2.7 แสดงการผลิตแก๊สชีวมวลป้อนเครื่องยนต์เพื่อผลิตไฟฟ้า 14
2.8 แสดงวัฏจักรการทำงานสี่จังหวะจุดระเบิดด้วยประกาย 15
3.1 แสดงแผนภาพชุดอุปกรณ์การทดลอง 26
3.2 แสดงระบบผลิตแก๊สชีวมวล 27
3.3 แสดงเตาผลิตแก๊ส 28
3.4 แสดงไซโคลน 28
3.5 แสดง Blower 29
3.6 แสดงคอนเดนเซอร์ (Condenser) 29
3.7 แสดงอุปกรณ์ผสมแก๊สกับอากาศ (Gas mixer) 30
3.8 แสดงกรองแก๊ส (Filter) 30
3.9 แสดงถังพักแก๊ส (Gas Tank) 31
3.10 แสดงเครื่องยนต์เล็ก (Small engine) ขนาด 9 แรงม้า 31
3.11 ยูคาลิปตัสแห้ง 32
3.12 กะลามะพร้าว 33
3.13 ไม้กระถินยักษ์ 33
3.14 แสดงเครื่องมือวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ 34
3.15 แสดงเครื่องมือวัดวิเคราะห์แก๊ส Testo t350-XL 34
3.16 แสดง Data Logger 35
4.1 ส่วนประกอบของแก๊สชีวมวล 38
4.2 ค่าความร้อนของแก๊สชีวมวล (HHV) 38

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่

4.3 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล 39
4.4 อุณหภูมิใน Drying zone เมื่อใช้ชีวมวล น้ำหนัก 3 kg อัตราการป้อนอากาศ 150 litre/min 40
4.5 อุณหภูมิใน Pyrolysis zone เมื่อใช้ชีวมวล น้ำหนัก 3 kg อัตราการป้อนอากาศ 150 litre/min 40
4.6 อุณหภูมิใน Combustion zone เมื่อใช้ชีวมวล น้ำหนัก 3 kg อัตราการป้อนอากาศ 150 litre/min 41
4.7 อุณหภูมิใน Reduction zone เมื่อใช้ชีวมวล น้ำหนัก 3 kg อัตราการป้อนอากาศ 150 litre/min 41
4.8 สภาพน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สชีวมวล 42
4.9 สภาพหัวเทียนของเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สชีวมวล 43
4.10 สภาพฝาสูบ 43
4.11 สภาพ (ก) กระบอกสูบ (ข) หัวลูกสูบ 44
4.12 สภาพ วาล์ว ไอดี-ไอเสีย 44

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เกษตรกร ชาวไร่ ชาวสวนในชนบทพื้นที่ห่างไกล มีความจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องยนต์ขนาดเล็กสำหรับขับเครื่องสูบน้ำ ซึ่งในปัจจุบันนี้ เชื้อเพลิงฟอสซิลนั้นมีราคาค่อนข้างสูง และ มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นตาม ดังนั้นการหาแหล่งพลังงานทดแทนจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง และถ้าหากว่าเกษตรกรสามารถผลิตเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเครื่องยนต์เล็กในการขับปั๊มน้ำได้ด้วยตนเอง ด้วยเทคโนโลยีที่ง่ายและใช้วัสดุที่มีอยู่แล้วในท้องถิ่น เช่น ถ่านไม้และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรคือจำพวก เศษไม้ ฟางข้าว แกลบ ซังข้าวโพด ซังดอกทานตะวัน ขี้เลื่อย ฯลฯ ย่อมเพิ่มศักยภาพในการผลิตได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งถ่านไม้และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ได้กล่าวมานี้สามารถนำมาแปลงรูปให้เป็นพลังงานที่ต้องการได้ โดยการเผาไหม้โดยตรง (Direct combustion) หรือ ผลิตเป็นแก๊สชีวมวล (Biomass Gasification) แล้วนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายในได้ ซึ่งเป็นต้นกำลังขับเจนเนอเรเตอร์ผลิตไฟฟ้า ขับเครื่องสูบน้ำ หรือ สามารถนำไปเป็นเครื่องต้นกำลังอื่นๆ ได้

ตารางที่ 1.1 แสดงพลังงานชีวมวลที่เกิดขึ้นในแต่ละปีในประเทศไทย

ชนิดชีวมวล	ผลผลิต (10^6kg)	วัสดุเหลือใช้	ปริมาณวัสดุเหลือใช้ (10^6kg)	ค่าความร้อน (MJ/kg)	พลังงาน (TJ)	เทียบเท่าน้ำมันดิบ (MT)	กำลังไฟฟ้า (MW)
อ้อย	60013.00	ชานอ้อย	3,615.00	14.40	52,056.04	1.23	764.21
		ยอดและใบ	17,870.19	17.39	310,762.62	7.36	4,105.92
ข้าว	26514.00	แกลบ	3,006.42	14.27	42,901.65	1.02	566.83
		ฟางข้าว	8,106.60	10.24	83,011.61	1.97	1,096.78
น้ำมันปาล์ม	4089.00	ทะลายปาล์ม	1,022.05	17.86	18,253.88	0.43	241.18
		เส้นใย	80.55	17.62	1,419.21	0.03	18.75
		กะลา	7.41	18.46	136.85	0.00	1.81
		ก้านทาง	10,647.76	9.83	104,667.44	2.48	1,382.91
		ทะลายตัวผู้	952.74	16.33	15,558.20	0.37	205.56
มะพร้าว	1396.00	เปลือก	300.68	16.23	4,880.11	0.12	64.48
		กะลา	84.43	17.93	1,513.83	0.04	20.00
		ทะลาย	57.66	15.40	888.03	0.02	11.73

		ทาง	254.11	16.00	4,065.71	0.10	53.72
มันสำปะหลัง	16868.00	ต้น	604.14	18.42	11,128.34	0.26	147.03
ข้าวโพด	4466.00	ซัง	816.88	18.04	14,736.44	0.35	194.71
ถั่วลิสง	129.00	เปลือก	41.67	12.66	527.50	0.01	6.97
ฝ้าย	36.00	ลำต้น	116.35	14.49	1,685.94	0.04	22.27
ถั่วเหลือง	292.00	ลำต้นและใบ	590.97	19.44	11,488.51	0.27	151.79
ข้าวฟ่าง	145.00	ใบและต้น	117.64	19.23	2,262.18	0.05	45.14
เศษไม้	10268.00	กิ่งก้าน	2,669.68	14.98	39,991.81	0.95	528.39
รวมวัสดุเหลือใช้			48,293.26				
รวมพลังงานทั้งหมด					721,935.91	17.10	9,630.18

(ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน, 2545)

พลังงานจากแก๊สชีวมวล เป็นพลังงานทดแทน (Renewable energy) ที่มีการหมุนเวียนใช้ในประเทศไทยปริมาณมากของในแต่ละปีเนื่องจากเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับพลังงานชีวมวล เพื่อใช้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเลือกใช้พลังงานทดแทน ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ที่มีการเพาะปลูกพืชหมุนเวียนตลอดทั้งปีมีเศษชีวมวลชนิดต่างๆ ที่เหลือทิ้งจากการเกษตรในปริมาณมาก จึงมีความเพียงพอที่จะนำมาผลิตเป็นพลังงานทดแทนได้ แต่เนื่องจากแก๊สชีวมวลมีคุณสมบัติทางเคมีและค่าความร้อนแตกต่างจากน้ำมันเชื้อเพลิงจึงจำเป็นต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ให้สามารถนำมาใช้กับแก๊สชีวมวลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะปรับปรุงและดัดแปลงเครื่องยนต์สันดาปภายในขนาดเล็กให้สามารถใช้แก๊สชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเครื่องยนต์สามารถขับปั๊มสูบน้ำผิวดินเพื่อการเกษตรได้ด้วย

1.2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง ได้นำพลังงานชีวมวล ซึ่งได้แก่ ไม้ และแก๊สชีวมวล มาใช้ด้านการขนส่งและด้านการเกษตรกรรม (SERI และคณะ, 1979) ก๊าซชีวมวล (Biomass gasification) เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดผลผลิตแก๊ส (Producer gas) ที่สามารถทำการเผาไหม้ได้ ประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H_2) และ มีเทน (CH_4) ผลผลิตแก๊สสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน และใช้เผาไหม้ในเตาเผาโดยตรง เป็นเชื้อเพลิงสะอาดที่ให้พลังงานที่สูงกว่าเชื้อเพลิงไม้ (Eggen และคณะ, 1976) จึงเป็นสิ่งที่น่าดึงดูดสำหรับการผลิตเป็นเชื้อเพลิงทางเลือก ทำให้เป็นที่มาของการเปลี่ยนของแข็งให้เป็นแก๊ส มีนักวิจัยหลายกลุ่มจึงได้

ศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานมากกว่า 30 ปีจนถึงปัจจุบัน มีผลงานวิจัยที่สำคัญและเกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

A.S. Ramadhas และคณะ (2008) ได้วิจัยการผลิตแก๊สชีวมวลจากขุยมะพร้าว (Coir-pith) เพื่อป้อนเข้าเครื่องยนต์ดีเซลร่วมกับน้ำมันเมล็ดยางอินเดียและน้ำมันดีเซลขุยมะพร้าวมีค่าความร้อน 16,750 kJ/kg สูงกว่าฟางข้าว (15,500 kJ/kg) เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว และรองลงมาคือใช้น้ำมันจากเมล็ดยาง ส่วนลำดับถัดไปคือใช้เชื้อเพลิงดีเซลร่วมกับน้ำมันเมล็ดยาง และเชื้อเพลิงร่วมน้ำมันเมล็ดยางกับแก๊สชีวมวลมีประสิทธิภาพต่ำสุด

Kislov และคณะ (2008) ได้ทำการวิจัยผลิตแก๊สชีวมวลในแก๊สซิไฟเออร์ที่สภาวะ Superadiabtic Heating และการเติมไอน้ำเข้าในเตาผลิตแก๊สมีผลทำให้ค่าความร้อนของแก๊สสูงขึ้น 25-30% สูงถึง 4.8 MJ/m^3 ส่วนประกอบต่างๆในแก๊สประกอบด้วย 23.8% CO, 12.6%H_2, 0.2% C_2H_4 และ 0.8% CH_4 ในส่วนของการเติมอากาศเข้าเตาเผาได้แก๊สให้ค่าความร้อนเท่ากับ 3.5 MJ/m^3 ส่วนประกอบของแก๊สประกอบด้วย 19% CO, 4% H_2, 1.9% CH_4, และ 2.0% O_2ในงานวิจัยนี้ยังพบว่าพลังงานหลักๆนั้นสูญเสียไปกับการเผาไหม้น้ำมันดินในแก๊ส

Taveesin LEKPRADIT และคณะ (2008) ได้ทำการศึกษาช่วงจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิงสองระบบ โดยใช้แก๊สชีวมวลที่ได้จากเตาผลิตแก๊สแบบ Downdraft และได้รายงานว่า เมื่อปรับตั้งจังหวะการฉีดเพิ่มขึ้น 5° จากปกติเป็น 17° BTDC จะทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีขึ้น

Singh และคณะ (2007) ศึกษาการผสมแก๊สชีวมวลกับไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับการผสมแก๊สชีวมวลกับน้ำมันฟอสซิลแล้วนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล พบว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างแก๊สชีวมวลกับไบโอดีเซล ให้สมรรถนะสูงกว่า นอกจากนั้น Singh และคณะ [13] ยังได้ศึกษาการผสมแก๊สชีวมวลกับน้ำมันรำข้าวเพื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล และรายงานว่าเมื่อผสมน้ำมันรำข้าว 75% กับแก๊สชีวภาพ สามารถใช้งานได้โดยไม่มีผลกระทบใดๆ การใช้ประยุกต์ใช้เชื้อเพลิงแก๊สชีวมวลในเครื่องยนต์ ยังมีนักวิจัย [14-17] ทำการศึกษาวิธีหลากหลาย โดยใช้น้ำมันพืชหลากหลายชนิดมาผสม

ศุภวิทย์ ลวณะสกล ได้วิจัยเครื่องยนต์แก๊สซิไฟเออร์ที่ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง การทำงานเป็นแบบ Batch (3-4 ชั่วโมง) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1 กิโลวัตต์และสูบน้ำได้ในอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง สามารถชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 40 แอมแปร์ – ชั่วโมง และนอกจากนี้ยังได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องยนต์แก๊สซิไฟเออร์ระบบเชื้อเพลิงร่วมผลิตไฟฟ้า 10 กิโลวัตต์ จากการทดลองระบบผลิตไฟฟ้า 10 กิโลวัตต์ที่เท่ากันจะพบว่า การใช้น้ำมันไบโอดีเซลผลิตไฟฟ้าจะมีความสิ้นเปลือง จำนวน 3.5 ลิตรต่อชั่วโมง ในขณะที่ใช้ระบบเชื้อเพลิงร่วมจะมีความสิ้นเปลืองน้ำมันไบโอดีเซล B5 0.92 ลิตร/ชั่วโมง และมีความสิ้นเปลืองถ่านไม้ 6.3 กิโลกรัม/ชั่วโมง ที่อัตราการไหลแก๊สชีวมวลประมาณ 35 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คิดเป็นราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

3.80 บาทต่อหน่วยไฟฟ้า ระบบสามารถทดแทนการใช้น้ำมันไบโอดีเซลได้ 72 % และลดการปล่อย CO_2 ได้ถึง 60 % ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ 16.7 %

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อสร้างชุดเตาแก๊สซิไฟเออร์

1.3.2 เพื่อศึกษาแก๊สชีวมวลที่ได้จากกระบวนการผลิตแก๊สจากเตาแก๊สซิไฟเออร์

1.3.3 เพื่อปรับปรุงและดัดแปลงเครื่องยนต์สันดาปภายในขนาดเล็กให้สามารถใช้แก๊สชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันเชื้อเพลิง

1.3.4 เพื่อศึกษาผลกระทบของแก๊สชีวมวลที่มีต่อชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์และอายุการใช้งานของเครื่องยนต์

1.4 คำสำคัญของการวิจัย

การไพโรไลซิส(Pyrolysis), การผลิตแก๊สชีวมวล(Gasification), ชีวมวล(Biomass), เครื่องยนต์ทางการเกษตร(Agricultural engine), เครื่องยนต์แก๊สชีวมวล(Biomass gas engine)

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ปรับปรุงและดัดแปลง ระบบจ่ายเชื้อเพลิงหรือคาร์บูเรเตอร์ กำลังอัด และระบบไฟจุดระเบิด เครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ 1 กระบอกสูบขนาดไม่เกิน 9 แรงม้าให้สามารถใช้แก๊สชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันเบนซินได้ และเครื่องยนต์ใช้ขับปั๊มสูบน้ำผิวดินได้

1.5.2 แก๊สชีวมวลที่ป้อนเข้าเครื่องยนต์ต้องผ่านการระบายความร้อน กรองฝุ่น และดักจับน้ำมันดิน (Tar) มาก่อนแล้ว

1.5.3 ตรวจสอบดูความผิดปกติของหัวเทียนและช่องทางเดินแก๊สในคาร์บูเรเตอร์ และตรวจวัดการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ ได้แก่ แหวนลูกสูบ ลูกสูบ กระบอกสูบ ฝาสูบและลิ้นไอดี-ไอเสีย ที่หลังการทดลองเดินเครื่องยนต์ด้วยแก๊สชีวมวลระยะเวลา หนึ่ง

1.5.4 วัดและวิเคราะห์แก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง

1.5.5 วัดหาสมรรถนะของเครื่องยนต์แก๊สชีวมวล

1.5.6 ตัวแปรในการวิจัย

ก) ตัวแปรต้น (Independent variable) มี 2 ตัวแปร คือ

- อัตราการไหลของอากาศที่ป้อนเข้าเตาแก๊สซิไฟเออร์
- อุณหภูมิเตาแก๊สซิไฟเออร์

- ชนิดของเชื้อเพลิงที่นำมาทดลอง

ข) ตัวแปรตาม (Dependent variable) มี 2 ตัวแปร คือ

- ปริมาณแก๊สชีวมวล
- ส่วนประกอบของแก๊สชีวมวล
- ผลกระทบต่อชิ้นส่วนเครื่องยนต์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ชุดเตาแก๊สซิไฟเออร์

1.6.2 ได้ส่วนประกอบของแก๊สชีวมวลจากชีวมวลชนิดต่างๆ

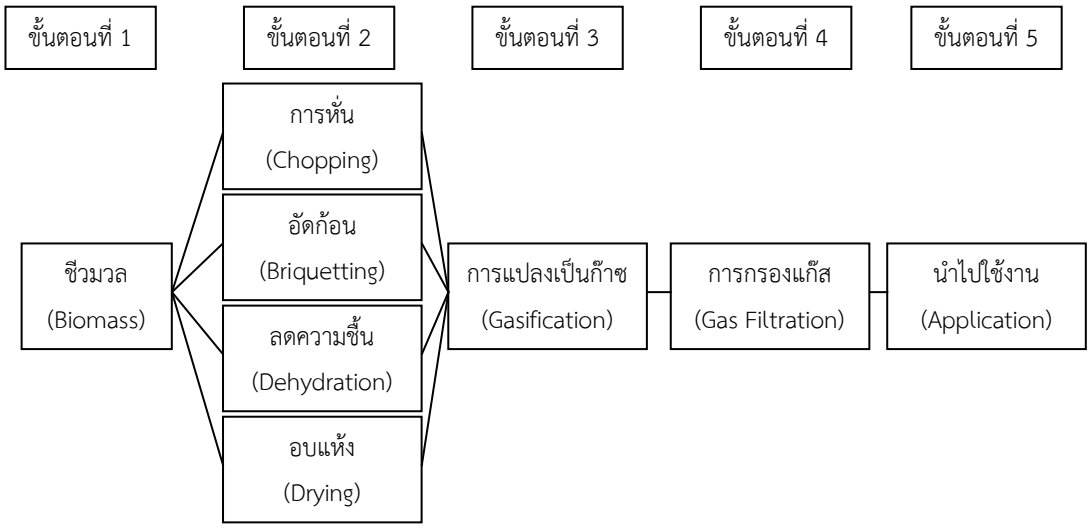
1.6.3 ได้ข้อมูลการใช้แก๊สชีวมวลกับเครื่องยนต์สันดาปภายในขนาดเล็ก

1.6.4 ได้ผลการศึกษาผลกระทบของแก๊สชีวมวลที่มีต่อชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์และอายุการใช้งานของเครื่องยนต์

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีการผลิตแก๊ส (Theory of Gasification)

กระบวนการผลิตแก๊ส (Gasification) คือ กระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงคาร์บอนไปเป็นคาร์บอนมอนออกไซด์โดยกระบวนการเคมีความร้อน สามารถเกิดขึ้นในบริเวณปิดที่มีอากาศน้อย กระบวนการแปลงเป็นแก๊สสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 2.1 แสดงแผนผังกระบวนการเกิดแก๊ส

เชื้อเพลิงแข็งโดยปกติประกอบด้วยคาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H) และ ออกซิเจน (O) นอกจากนั้นยังมีไนโตรเจน (N) และกำมะถัน (S) ผสมอยู่ด้วย แต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยซึ่งจะไม่พิจารณา สำหรับในส่วนของเตาผลิตแก๊ส (Gasifier) เชื้อเพลิงแข็งจะถูกให้ความร้อนโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงบางส่วน ซึ่งได้เกิดเป็นแก๊สในขณะให้ความร้อน ในส่วนของการเผาไหม้สมบูรณ์จะทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งได้จากส่วนประกอบของคาร์บอนและจากน้ำซึ่งมาจากไฮโดรเจนออกซิเจนจากเชื้อเพลิงจะมีส่วนร่วมในการเผาไหม้ด้วย ทำให้สามารถลดปริมาณอากาศได้ การเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) หรือ การเผาไหม้สามารถอธิบายโดยใช้สมการปฏิกิริยาเคมีได้ดังนี้

$$C+O_2 \rightleftharpoons CO_2 - 401.9 \text{ kJ/kmol} \quad (1)$$

$$H+\frac{1}{2}O_2 \rightleftharpoons H_2O - 241.1 \text{ kJ/kmol} \quad (2)$$

สำหรับทุกเตาผลิตแก๊ส (Gasifier) แล้ว คาร์บอนไอออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) จะถูกเปลี่ยนให้เป็นแก๊สคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO), แก๊สไฮโดรเจน (H_2) และ แก๊สมีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นผลผลิตแก๊ส (Producer gas) หลักที่สามารถเผาไหม้ได้

ปฏิกิริยาที่สำคัญที่สุดที่เกิดขึ้นในส่วน Reduction zone ของเตาผลิตแก๊ส ซึ่งมีความแตกต่างของสารตั้งที่ที่เป็นของแข็งและแก๊ส สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$C+CO_2 \rightleftharpoons 2CO + 164.9\ kJ/kmol \quad (3)$$

$$C+H_2O \rightleftharpoons CO + H_2 + 122.6\ kJ/kmol \quad (4)$$

$$CO+H_2 \rightleftharpoons CO + H_2O + 42.3\ kJ/kmol \quad (5)$$

$$C+2H_2 \rightleftharpoons CH_4 + 0\ kJ/kmol \quad (6)$$

$$CO+3H_2 \rightleftharpoons CH_4 + H_2O - 205.9\ kJ/kmol \quad (7)$$

เครื่องหมายลบที่แสดงถึงความร้อนที่เกินขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาและเครื่องหมายบอกคือความร้อนที่ต้องการสำหรับระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมี สมการที่ (3) และ (4) เป็นสมการหลักของปฏิกิริยารีดักชัน (Reaction of reduction) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยานี้ต้องการความร้อน ดังนั้นอุณหภูมิของแก๊สจะลดลงในช่วงที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน

สมการปฏิกิริยาเคมีที่ (5) เป็นสมการปฏิกิริยาสมดุลน้ำ-แก๊ส ซึ่งเป็นที่รู้จักกันแพร่หลาย สำหรับอุณหภูมิในทางทฤษฎีแล้วอัตราส่วนของความเข้มข้นของผลผลิตคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO) และไอน้ำ (Water vapor, H_2O) กับความเข้มข้นของผลผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไฮโดรเจน (H_2) ถูกกำหนดโดยค่าคงที่ของสมดุลปฏิกิริยาเคมีของน้ำ-แก๊ส (Water gas equilibrium constant, K_{WE}) ในทางปฏิบัติส่วนประกอบสมดุลของแก๊สจะเกิดขึ้นได้ในกรณีอัตราการเกิดปฏิกิริยาและเวลาของแต่ละปฏิกิริยามีค่าเพียงพอ

$$K_{WE} = \frac{(CO)(H_2O)}{(CO)(H_2)} \quad (8)$$

อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงตามอุณหภูมิที่ลดลง สำหรับกรณีของอัตราการเกิดปฏิกิริยาสมดุลน้ำ-แก๊ส จะเกิดช้ามากเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 700 °C ซึ่งถูกเรียกว่า แช่แข็ง (Frozen) นั้นคือส่วนประกอบของแก๊สยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลง ค่าคงที่สมดุล K_{WE} สำหรับอุณหภูมิที่แตกต่างแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคงที่ของสมดุลปฏิกิริยาเคมีของน้ำ-แก๊ส

Temperature (°C)	K_{WE}
600	0.38
700	0.62
800	0.92
900	1.27
1000	1.60

การประมาณส่วนประกอบของแก๊ส (Prediction of the gas composition)

บทนำของหลักการสมดุลน้ำ-แก๊ส สร้างโอกาสในการคำนวณหาส่วนประกอบของแก๊สเชิงทฤษฎีจากเตาผลิตแก๊ส (Gasifier) เมื่ออยู่ในภาวะสมดุลที่อุณหภูมิต่างๆ กระบวนการเริ่มต้นหามาจากการสมดุลมวลของสี่องค์ประกอบหลับ (carbon, hydrogen, oxygen และ nitrogen) ทำการสมดุลพลังงานทั้งระบบ และสร้างความสัมพันธ์จากสมดุลน้ำ-แก๊ส สมมุติขั้นต่อไปว่าปริมาณของแก๊สมีเทนที่มีอยู่ในผลผลิตแก๊ส (Producer gas) ต่อหนึ่งกิโลกรัมของเชื้อเพลิงแห้งมีค่าคงที่ (อาจจะมีมากหรือน้อยกว่า ในกรณีที่เตาผลิตแก๊สอยู่ในสภาวะการทำงานปกติ) ชุดของความสัมพันธ์จะสามารถใช้คำนวณองค์ประกอบของแก๊สสำหรับหลากหลายของพารามิเตอร์ (เช่น ความชื้นของเชื้อเพลิง) และคุณลักษณะของระบบ ได้แก่ การสูญเสียความร้อนจากการพา, การแผ่รังสี และ ความร้อนสัมผัส เป็นต้น โดยปกติแล้วจะสอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลการทดลอง

ประสิทธิภาพของเตาผลิตแก๊ส (Gasifier Efficiency)

ปัจจัยสำคัญในการหาการทำงานจริงทางเทคนิค รวมทั้งความเป็นไปได้เชิงเศรษฐกิจของการใช้งานระบบผลิตแก๊ส คือประสิทธิภาพของการผลิตแก๊ส (Gasification efficiency) ซึ่งนิยามที่เป็นที่ยอมรับในการหาประสิทธิภาพ กรณีนำไปใช้กับเครื่องยนต์ คือ

$$\eta_m = \frac{H_g Q_g}{H_s M_g} \times 100\% \qquad (9)$$

เมื่อ

η_m คือ ประสิทธิภาพเชิงกลของการผลิตแก๊ส (%)

H_g คือ ค่าความร้อนขั้นสูงของแก๊ส (kJ/m³),

Q_g คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊ส (m³/s)

H_s คือค่าความร้อนขั้นต่ำของเชื้อเพลิง fuel (kJ/kg)

M_g คอ อัตราการบ้านเชื้อเพลิง (kg/s)

ถ้าใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้โดยตรง บางครั้งใช้สมการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนดังนี้

$$\eta_{th} = \frac{(H_g Q_g) + (Q_g \rho_g C_p \Delta T)}{H_s M_s} \times 100\% \qquad (10)$$

เมื่อ

η_{th} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการผลิตแก๊ส (%)

ρ_g คือ ความหนาแน่นของแก๊ส (kg/m³)

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของแก๊ส (kJ/kg°K)

ΔT คือ อุณหภูมิแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทางเข้าของแก๊สที่หัวเผา (burner) และเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้า

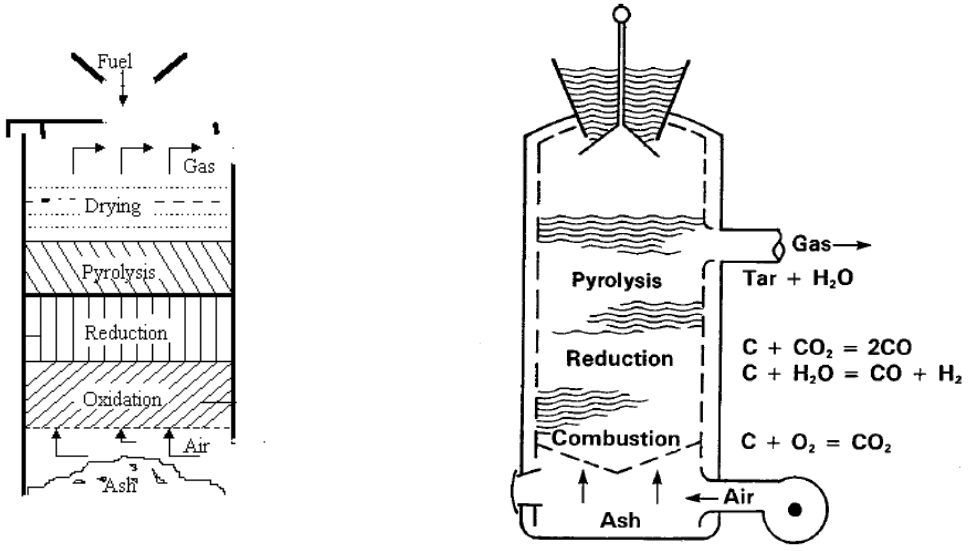
เตาผลิตแก๊ส

ประสิทธิภาพของเตาผลิตแก๊สขึ้นอยู่กับการออกแบบและคุณลักษณะของเชื้อเพลิงซึ่งมีค่าอยู่ระหว่า 60% ถึง 70% ในกรณีของการใช้งานทางความร้อน ค่า η_{th} สามารถทำได้มากกว่า 93%

2.2 ชนิดของเตาผลิตแก๊ส

1) Updraft Gasifier (counter flow)

เป็นเตาผลิตแก๊สที่เริ่มใช้ตั้งแต่แรก เป็นแบบที่ง่ายที่สุด มีลักษณะดังรูปที่ 2 เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าทางด้านบนของเตา และอากาศจะถูกส่งผ่านตะแกรงเข้ามาทางด้านล่าง บริเวณเหนือตะแกรงขึ้นไปจะมีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นซึ่งบริเวณนี้เรียกว่า Combustion zone อากาศเมื่อผ่านเข้าไปใน Combustion zone จะเกิดปฏิกิริยาขึ้น จะได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แก๊สที่ผ่านออกมาจาก Combustion zone จะมีอุณหภูมิสูง และจะเข้าไปสู่ Reduction zone เป็นบริเวณที่มีปริมาณคาร์บอนอยู่มากโดย ณ บริเวณนี้คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนทำให้เกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์ และไฮโดรเจนหลังจากนั้นแก๊สที่ได้จะไหลเข้าสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในชั้นของชีวมวลที่ชื้นนั้น เนื่องจากแก๊สยังคงมีอุณหภูมิสูงอยู่จึงไประเหยน้ำที่อยู่ในชีวมวลเหล่านั้นทำให้แก๊สที่ออกจากเตาผลิตแก๊สที่อุณหภูมิต่ำลง



(a) (b)

รูปที่ 2.2 (a) เตาผลิตแก๊ส (b) แสดงแผนภาพการทำงานของเตาผลิตแก๊สแบบ Updraft Gasifier

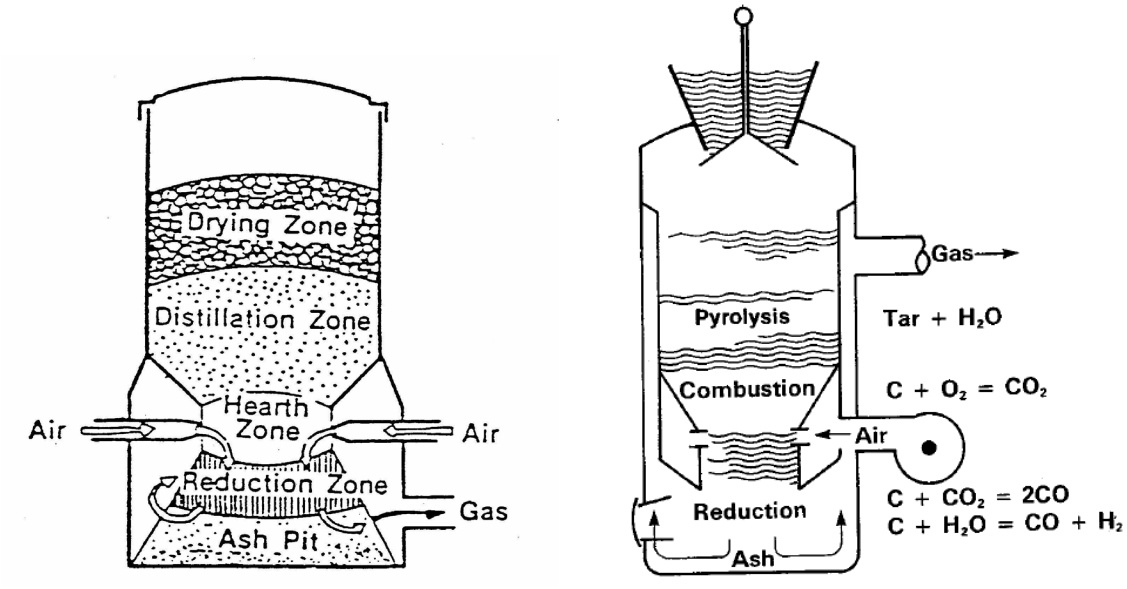
ข้อดี คือ เตาไม่สลับซับซ้อนเชื้อเพลิงเผาไหม้ได้มาก และแก๊สที่ออกมาจากเตาผลิตแก๊สอุณหภูมิไม่สูงมาก

ข้อเสีย คือ แก๊สที่ผลิตได้จะมีสารเคมีน้ำมันและน้ำมันดินปริมาณมากเกิดขึ้นใน Pyrolysis zone และกลั่นตัวเมื่ออยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ด้วยเหตุนี้แก๊สที่ได้เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับหม้อน้ำหรือในการอบแห้ง ซึ่งแก๊สที่ได้จะถูกไปผสมกับอากาศและทำการเผาไหม้โดยตรงในห้องเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนในกระบวนการที่ใช้ความร้อน เพราะน้ำมันดินที่เข้าไปกับแก๊สจะเกิดการเผาไหม้ให้ความร้อนออกมาได้เช่นกัน

2) Downdraft Gasifier (หรือ Co-flow)

Downdraft gasifier ดังแสดงในรูปที่ 4 ออกแบบขึ้นมาเพื่อขจัดน้ำมันดินในแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้ โดยเฉพาะอากาศจะถูกดูดผ่านจากด้านบนลงสู่ด้านล่างโดยผ่านกลุ่มของหัวฉีด (Nozzle) ที่เรียกว่า ”Tuyers” บริเวณหัวฉีดจะเป็นบริเวณ Combustion zone จะถูกลดปริมาณลง ในขณะที่ไหลลงสู่ด้านล่างผ่านชั้นของคาร์บอนที่อยู่เหนือตะแกรงเล็กน้อย ซึ่งในขณะเดียวกันชั้นของชีวมวลที่อยู่ด้านบนของ Combustion zone เนื่องจากการมีปริมาณของออกซิเจนน้อยมากจะเกิดการกลั่นสลาย โดยไอของน้ำมันดินที่เกิดจากการกลั่นสลายไหลผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อน จึงทำให้น้ำมันดินเกิดการแตกตัวเป็นแก๊ส การแตกตัวจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิคงที่ในช่วงระหว่าง 800 °C ถึง 1,000 °C ปฏิกิริยาดูดความร้อนทำให้แก๊สที่ได้มีอุณหภูมิสูงขึ้น แก๊สที่ผ่าน Combustion zone ใน Downdraft gasifier จะมีส่วนประกอบของน้ำมันดินและน้ำมันลดลงจนเหลือน้อยกว่า 10% เมื่อ

เทียบกับกรณีของ Updraft gasifier และแก๊สที่ได้สะอาดกว่า ทำให้ใช้จำนวนผ้ากรองน้อยลงเมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในซึ่งเป็นการนำ Downdraft gasifierไปใช้ที่สำคัญเนื่องจากแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จาก Updraft gasifier และ Downdraft gasifier มีความเร็วต่ำ และเถ้าที่อยู่บริเวณตะแกรง ดังนั้น จึงมีปริมาณเถ้าน้อยมากที่ติดออกมาพร้อมกับแก๊สเชื้อเพลิง



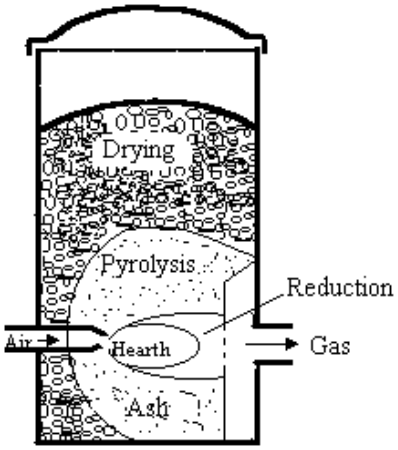
(a) (b)

รูปที่ 2.3 (a) เตาผลิตแก๊สและ (b) แสดงแผนภาพทำงานของเตาผลิตแก๊สแบบ Downdraft Gasifier

3) Crossdraft Gasifier

Crossdraft gasifier มีลักษณะดังรูปที่ 4 อากาศจะถูกดูดผ่านหัวฉีดซึ่งอยู่ในแนวราบไปที่ Combustion zone และถัดไปอีกจะเป็น Reduction zone แก๊สที่ออกจาก Reduction zone แล้วจะออกสู่ภายนอกเตาโดยจะไหลผ่านตะแกรงซึ่งอยู่ในแนวตั้งรอบๆ Combustion zone และ Reduction zone บริเวณ Pyrolysis zone น้ำมันและน้ำมันดินที่ได้จาก Pyrolysis zone จะไหลผ่าน Reduction zone ก่อนที่จะออกสู่ภายนอกทำให้น้ำมันดินและน้ำมันเกิดการแตกตัวเป็นแก๊สก่อนที่จะออกสู่ภายนอก เป็นผลให้แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มีปริมาณน้ำมัน และน้ำมันดินต่ำ

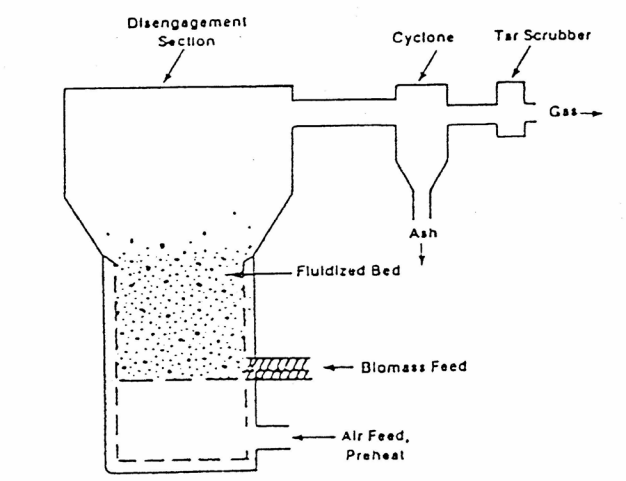
Crossdraft gasifier ได้รับการออกแบบให้ใช้กับยานพาหนะโดยเฉพาะ เนื่องจากว่ามีน้ำหนักเบา และมีผลตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อการเปลี่ยนแปลงต่อภาระ (Load) ที่ใช้อยู่เชื้อเพลิงที่เหมาะกับเตาผลิตแก๊สแบบนี้ ควรเป็นถ่านไม้ที่มีคุณภาพสูง



รูปที่ 2.4 แสดงเตาผลิตแก๊สชนิด Crossdraft

4) Fluidized Bed Gasifier

เตาผลิตแก๊สที่ได้กล่าวมาแล้วทั้ง 3 แบบในข้างต้น การทำงานจะขึ้นอยู่กับคุณภาพทางเคมีและทางฟิสิกส์ของเชื้อเพลิงเป็นอย่างมาก และปัญหาที่พบบ่อยๆ คือเรื่อง Slag ที่เกิดขึ้นมากเกินไป จึงทำให้เกิดการอุดตันในเตาผลิตแก๊ส เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว เตาผลิตแก๊สแบบ Fluidized-bed ดังแสดงในรูปที่ 5 จึงได้รับการพัฒนาขึ้น ในเตาผลิตแก๊สแบบนี้นั้นอากาศไหลผ่านชั้นของเชื้อเพลิงแข็ง เมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศขึ้นถึงค่าหนึ่งชิ้นเชื้อเพลิงที่วางอยู่จะเริ่มลอยตัวขึ้นมีลักษณะคล้ายของไหลในตอนเริ่มติดเตานั้น Bed จะได้รับความร้อนจากภายนอกจนอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดติดไฟของเชื้อเพลิงหลังจากนั้นเชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าไปอย่างสม่ำเสมอโดยการเผาไหม้จะเกิดขึ้นทั่วๆทั้งบริเวณเตา



รูปที่ 2.5 แสดงเตาผลิตแก๊สชนิด Fluidized bed

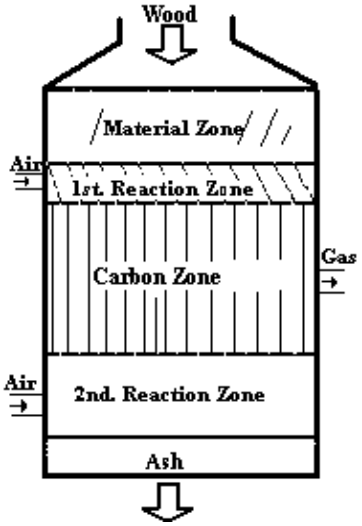
โดยปกติภายในเตาแบบ Fluidized bed จะใส่วัสดุเฉื่อย (Inert material) เช่น ทราย หรือสารทำปฏิกิริยา (Reaction material) เช่น หินปูนบด (Limestone) เพื่อช่วยในการถ่ายเทความ

ร้อน และช่วยในการทำความสะอาดแก๊สใน Fluidized bed ที่แท้จริงนั้นของแข็งถูกผสมกันอย่างรวดเร็ว และเกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างสูงระหว่างทุกส่วนของ Bed ข้อได้เปรียบที่สำคัญของวิธีนี้คือ การควบคุมอุณหภูมิในเตาผลิตแก๊สแบบนี้จะทำได้ง่ายจึงสามารถรักษาอุณหภูมิให้ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของเถ้า ทำให้ไม่เกิดการจับตัวของ Slag ขึ้นได้จึงสามารถใช้เชื้อเพลิงที่มีเถ้ามาก ซึ่งถ้านำไปใช้เตาผลิตแก๊สแบบอื่นจะเกิดปัญหามาก

ข้อเสียของเตาผลิตแก๊ส เชื้อเพลิงที่ออกจากเตาจะมีปริมาณเถ้าและฝุ่นถ่านออกมาเนื่องจากความเร็วของอากาศภายในเตาสูงจึงต้องแยกออกโดยใช้ Cyclone หรือ Baghouses คุณสมบัติของเตาผลิตแก๊สแบบนี้ยังไม่เป็นที่รู้จักดีมีการอ้างกันว่าเตาผลิตแก๊สแบบนี้สามารถให้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีปริมาณน้ำมันดินต่ำ ถ่านที่ออกมาพร้อมกับแก๊สเชื้อเพลิงสามารถนำกลับไปสู่ในเตาได้ใหม่

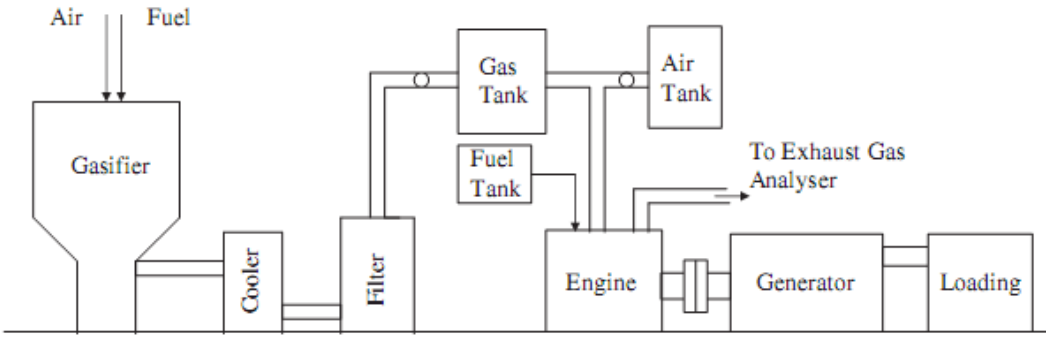
5) Twin-fire gasifier

เตาชนิดนี้จะเกิดปฏิกิริยา Reaction อยู่ 2 โซนดังรูปที่ 6 โดยอุณหภูมิของแก๊สที่ได้จะอยู่ในระหว่าง 460-520 ℃ ในกระบวนของเตานี้จะต้องใช้ความดันสูงโดยประมาณ 30 bar โดยเตาชนิดนี้แก๊สที่ได้ออกมาจะได้แก๊สสะอาด



รูปที่ 2.6 แสดงเตาผลิตแก๊สชนิด Twin-fire

ส่วนประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงใน Producer gas ที่ได้จากเตาผลิตแก๊สประกอบด้วย CO, H_2 และ CH_4 แก๊สที่ได้จากเตาต้องผ่านการระบายความร้อนและกรองดักจับฝุ่นและน้ำมันดินก่อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ ดังแสดงในผังรูปที่ 7



รูปที่ 2.7 แสดงการผลิตแก๊สชีวมวลป้อนเครื่องยนต์เพื่อผลิตไฟฟ้า

2.3 เครื่องยนต์สันดาปภายในแบบ 4 จังหวะ

1) หลักการเบื้องต้นของเครื่องยนต์สันดาปภายในแบบ 4 จังหวะ

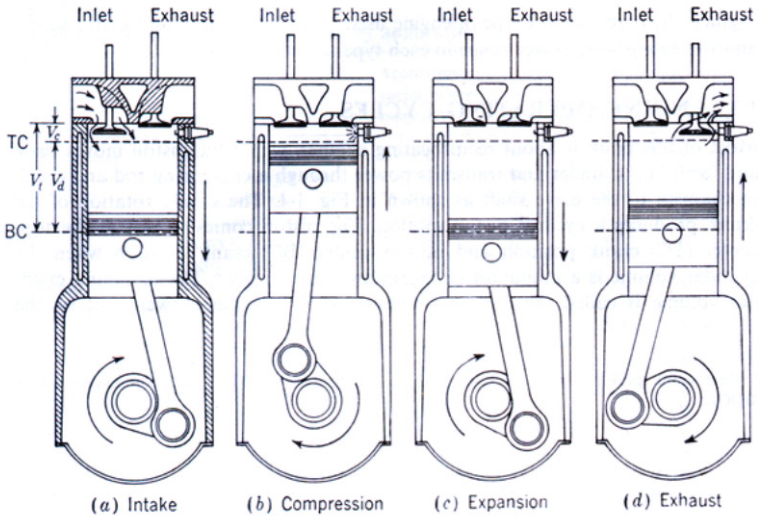
เครื่องยนต์สันดาปภายในแบบ 4 จังหวะเป็นเครื่องยนต์ที่มีลักษณะการทำงานโดยใช้เชื้อเพลิงและออกซิเจนจากอากาศผสมกันและส่งเข้ากระบอกสูบเพื่อให้เกิดการเผาไหม้หรือเรียกว่า “การสันดาป” ได้แก่ เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนและเครื่องยนต์ดีเซล โดยเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนใช้ส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศผสมกันก่อนแล้วจึงจุดระเบิดด้วยประกายไฟจากหัวเทียน ส่วนเครื่องยนต์ดีเซลต้องอัดอากาศให้ร้อนแล้วจึงฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปและเกิดการเผาไหม้ขึ้นในกระบอกสูบ (อุตสาห์ จิภากร และเชื้อชูคำ, 2539)

2) วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายในแบบ 4 จังหวะ

วัฏจักรการทำงานสี่จังหวะในแต่ละกระบอกสูบของเครื่องยนต์จะต้องใช้จังหวะการเคลื่อนที่ของลูกสูบ 4 จังหวะหรือ 2 รอบหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงเพื่อให้ลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นซึ่งได้จังหวะกำลัง 1 จังหวะนั้นสมบูรณ์หรือให้ครบ 1 วัฏจักรการทำงานดังรูปที่ 8

ก. จังหวะดูด (Intake stroke) หรือจังหวะเอาไอดีเข้า เริ่มต้นเมื่อลูกสูบอยู่ที่ศูนย์ตายบน (TDC) และสิ้นสุดเมื่อลูกสูบอยู่ที่ศูนย์ตายล่าง (BDC)

ข. จังหวะอัด (Compression stroke) สารผสมหรือเรียกว่าไอดีในกระบอกสูบถูกอัดให้มีปริมาตรลดลงโดยลูกสูบเคลื่อนที่จาก BC ไปยัง TC ในขณะที่วาล์วทั้งสองปิดอยู่ และเมื่อลูกสูบอยู่ที่ TC จะมีการจุดระเบิดจากประกายไฟจากหัวเทียนเกิดการเผาไหม้สารผสมอากาศกับเชื้อเพลิง ทำให้ความดันในกระบอกสูบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.8 แสดงวัฏจักรการทำงานสี่จังหวะจุดระเบิดด้วยประกายไฟ

(ภาพจาก Heywood, B. J., 1988)

ค. จังหวะกำลังหรือจังหวะขยายตัว (Power stroke or expansion stroke) เริ่มต้นที่ลูกสูบอยู่ที่ TDC และสิ้นสุดเมื่อลูกสูบอยู่ที่ BDC โดยก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้สารผสมอากาศกับเชื้อเพลิงซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงจะดันลูกสูบลงและทำให้เพลาข้อเหวี่ยงหมุน ในระหว่างนี้วาล์ววาล์ไอดีและไอเสียทั้งสองยังปิดอยู่

ง. จังหวะคาย (Exhaust stroke) เริ่มต้นที่ลูกสูบอยู่ที่ BDC และวาล์วไอเสียเปิด ส่วนวาล์วไอดียังปิดอยู่ ก๊าซที่ขยายตัวแล้วถูกดันออกจากกระบอกสูบโดยลูกสูบเคลื่อนที่จาก BDC ไปยัง TDC [2]

3) คุณสมบัติทางคณิตศาสตร์ของเครื่องยนต์สันดาปภายในแบบ 4 จังหวะ

- ความโตกระบอกสูบ (Bore), d คือความโตของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกระบอกสูบ

- ระยะชัก (Stroke), L คือระยะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น-ลงภายในกระบอกสูบ

- จุดสูงสุดที่ลูกสูบเคลื่อนที่ไปถึง (Top dead center), TDC ในกรณีวางลูกสูบในแนวนอนจุดนี้เรียกว่า (inner dead center)

- จุดที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลงมาต่ำสุด (Bottom dead center), BDC ในกรณีวางลูกสูบในแนวนอนจุดนี้เรียกว่า (Outer dead center)

- ปริมาตรอากาศ (Air Volume),V_a คือ ปริมาตรอากาศทั้งหมดที่เครื่องยนต์ต้องการในแต่ละวัฏจักร

- ปริมาตรเชื้อเพลิง (Fuel Volume), V_f คือ ปริมาตรเชื้อเพลิงทั้งหมดที่เครื่องยนต์ต้องการในแต่ละวัฏจักร

- ปริมาตรห้องเผาไหม้ (Clearance volume), V_c คือ ปริมาตรภายในกระบอกสูบในขณะที่ลูกสูบอยู่จุดสูงสุด

- ปริมาตรระยะชัก (Swept volume หรือ Piston displacement), V_{dc} คือ ปริมาตรที่อยู่ระหว่างจุดที่ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น-ลง หาได้จากสมการที่ (11)

$$V_{dc} = \frac{\pi d^2}{4} L \tag{11}$$

- ปริมาตรรวม (Total cylinder volume),V_{tot} หาได้จากสมการที่ (12)

$$V_{tot} = V_d + V_C \tag{12}$$

- อัตราส่วนการอัด (Compression ratio ; ε) คือ อัตราส่วนของปริมาตรรวมต่อปริมาตรเมื่อลูกสูบอยู่ที่จุดสูงสุดหาได้จากสมการที่ (13)

$$\varepsilon = \frac{V_{tot}}{V_C} = \frac{V_d + V_C}{V_C} = 1 + \frac{V_d}{V_C} \tag{13}$$

- อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air-fuel ratio), AFR คือ มวลของอากาศต่อมวลของเชื้อเพลิงหาได้จากสมการที่ (14)

$$AFR = \frac{V_a}{V_f} \tag{14}$$

- อัตราส่วนอากาศส่วนเกิน (Excess air ratio; λ) คือ อัตราส่วนระหว่าง AFR ที่ใช้จริงต่อ AFR ในทางทฤษฎีหาได้จากสมการที่ (15) [3]

$$\lambda = \frac{AFR_{actual}}{AFR_{theory}} \tag{15}$$

โดยที่ $\lambda = 1$ scoichiometric air/fuel ratio

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

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

4) เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ (Biogas Engine)

การใช้ก๊าซชีวภาพมาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้นจะต้องปรับปรุงลักษณะบางประการของเครื่องยนต์เพื่อที่จะทำให้เครื่องยนต์นั้นๆ เหมาะสมแก่การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงและสามารถทำงานได้ดีใกล้เคียงกันกับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน โดยการดัดแปลงเครื่องยนต์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง มีลักษณะการประยุกต์อยู่ 3 ลักษณะดังนี้

1. นำเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซลมาใช้ร่วมกับก๊าซชีวภาพหรือเรียกว่า ใช้เชื้อเพลิงคู่ (Gas-Diesel Engine or Dual fuel) โดยใช้ก๊าซชีวภาพผสมกับอากาศเป็นไอดีเข้าห้องเผาไหม้ ส่วนการจุดระเบิดยังใช้น้ำมันดีเซลฉีดเข้าห้องเผาไหม้ วิธีการแบบนี้เครื่องยนต์ต้องการใช้น้ำมันดีเซลเพื่อใช้ในการจุดระเบิดประมาณ 10-20% ของการใช้เครื่องยนต์ดีเซลปรกติ ดังนั้นจึงประหยัดน้ำมันได้ 80-90% และไม่ต้องดัดแปลงลักษณะการทำงานเครื่องยนต์ดีเซลแต่อย่างใด

2. นำเครื่องยนต์ดีเซลมาดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนแล้วจึงใช้กับก๊าซชีวภาพ (Modification of a Diesel Engine into a Gas Otto Engine) จากการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ดีเซลที่อัดอากาศให้มีความดันและอุณหภูมิสูงจากนั้นฉีดน้ำมันดีเซลเข้าไปให้เกิดการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ เปลี่ยนมาเป็นอัดอากาศผสมก๊าซชีวภาพให้มีความดันและอุณหภูมิสูงจากนั้นจึงจุดระเบิดด้วยประกายไฟจากหัวเทียน วิธีการแบบนี้เครื่องยนต์ต้องได้รับการดัดแปลงโดยการเปลี่ยนอัตราส่วนการอัด (Compression ratio) ให้ได้ 10-12 และเปลี่ยนลักษณะการจุดระเบิดโดยการฉีดน้ำมันดีเซลมาเป็นจุดระเบิดด้วยประกายไฟจากหัวเทียน ตลอดจนเพิ่มอุปกรณ์ผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพ (Carburetor) วิธีการแบบนี้จึงยุ่งยากมาก

3. นำเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงมาใช้ก๊าซชีวภาพแทน (The Gas Otto Engine) วิธีการแบบนี้เครื่องยนต์ต้องได้รับการดัดแปลงโดยการเปลี่ยนอัตราส่วนการอัด (Compression ratio) ให้ได้ 10-12 เช่นกัน และต้องปรับปรุงคาร์บูเรเตอร์จากเดิมที่ผสมน้ำมันเบนซินกับอากาศมาเป็นผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพเป็นไอดีแทน

อย่างไรก็ตามในการดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลหรือก๊าซโซลีนมาเป็นเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพนั้นจะต้องปรับปรุงลักษณะบางประการของเครื่องยนต์นั้นๆ เพื่อให้ทำงานได้ดีกับการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง โดยพิจารณาจากคุณสมบัติต่างๆ ที่ควรจะเป็นจากตารางที่ 3 [3]

โดยปกติเครื่องยนต์สันดาปภายในแบบสี่จังหวะที่ใช้การจุดระเบิดด้วยประกายไฟจะมีอัตราส่วนการอัด (ε) ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 8-12:1 และที่ใช้การจุดระเบิดด้วยการอัดจะมี

อัตราส่วนการอัด (ε) ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 12-24:1 เพื่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์และไม่เกิดการน๊อค [4] ดังนั้นเมื่อต้องปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการอัด สำหรับกรณีที่ต้องเพิ่มอัตราส่วนการอัดมักจะเลือกใช้ประเก็นฝาสูบที่หนาขึ้น และสำหรับกรณีที่ต้องลดอัตราส่วนการอัดมักจะเลือกใช้ประเก็นฝาสูบที่บางลงและบางทีอาจจะต้องทำการเจียรไนฝาสูบให้บางลงแทนการเลือกใช้ประเก็นเนื่องจากไม่สามารถหาประเก็นฝาสูบที่บางเท่าที่ต้องการได้ ทั้งนี้สามารถคำนวณหาระยะการเพิ่มหรือลดอัตราส่วนการอัด (ความหนาของประเก็นฝาสูบ) ได้จากสมการที่ (16) [3]

$$\Delta h = \frac{4\,\Delta V}{\pi d^2} \qquad (16)$$

โดยที่ Δh คือ ระยะการเพิ่มหรือลดอัตราส่วนการอัด (ความหนาของประเก็นฝาสูบ) , (mm)

ΔV คือ ความแตกต่างของปริมาตรห้องเผาไหม้ขณะลูกสูบอยู่ตำแหน่งศูนย์ตายบน (TDC) ก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการอัด (ε), (mm^3)

d คือ ความโตของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกระบอกสูบ , (mm)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption, sfc), กำลังงานจากเครื่องยนต์ (Power) และแรงบิด(Torque) จะเห็นได้ว่าขณะที่เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันเบนซินและ/หรือใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงจะมีลักษณะทั้งสามประการที่คล้ายกันมาก ถ้าพิจารณาที่ความเร็ว 1,500 rpm เครื่องยนต์จะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (sfc) สูง และจะลดลงเมื่อความเร็วสูงขึ้นและจะสูงขึ้นอีกที่ความเร็วมากกว่า 3,000 rpm และจะพบว่าการทำงานที่ความเร็วประมาณ 3,000 rpm จะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (sfc) ที่ต่ำมาก ในขณะที่กำลังที่ได้ (Power) และแรงบิดที่ได้ (Torque) ค่อนข้างสูง

5) การวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพรวมของระบบและเครื่องยนต์

การหาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ ซึ่งใช้วิธีการต่อกำลังเพลาตรงจากเครื่องยนต์เข้ากับเพลามอเตอร์เหนี่ยวนำ เมื่อเครื่องยนต์หมุนชนะความเร็วซิงโคนัสของมอเตอร์มอเตอร์ก็จะทำหน้าที่เป็นไดนาโม สามารถคำนวณเพื่อหาประสิทธิภาพรวมและประสิทธิภาพเครื่องยนต์ ได้ดังนี้

1. คำนวณอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง [3]

$$f_C = \frac{1}{\eta_{eng}} \times P_{match} \times \frac{1}{H_{u,act}} \times 3600 \quad (17)$$

เมื่อ f_c คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง , (m^3/hr)

η_{eng} คือ ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ที่นำมาดัดแปลง , (ก๊าซโซลีน = 0.25)

P_{match} คือ ขนาดกำลังที่ต้องการหรือผลิตได้ , (kW)

$H_{u,act}$ คือ ค่าความร้อนเชื้อเพลิง , (kJ/m^3)

2. คำนวณประสิทธิภาพรวมของระบบ จากสมการที่ (18)

$$\eta_{tot} = \left(\frac{P_{EL} \times 3600}{f_C \times H_{u,act}} \right) \times 100 \quad (18)$$

เมื่อ η_{tot} คือ ประสิทธิภาพรวมของระบบ , (%)

P_{EL} คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ , (kW)

3. คำนวณประสิทธิภาพเครื่องยนต์ จากสมการที่ (19)

$$\eta_{Eng} = \frac{\eta_{tot}}{\eta_{Motor}} = \frac{\text{Overall efficiency}}{\text{Motor efficiency}} \quad (19)$$

เมื่อ η_{Eng} คือ ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ , (%)

η_{Motor} คือ ประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ $\div 100$, (%)

2.4 การสันดาป

เครื่องยนต์สันดาปภายในซึ่งทำงานตามขบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ ได้พลังงานความร้อนจากการสันดาปเชื้อเพลิง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ที่อาจจะอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ เมื่อเกิดการสันดาปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น ในการสันดาปของเครื่องยนต์สันดาปภายใน เชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนซึ่งมีอยู่ในอากาศ และอากาศนอกจากจะมีออกซิเจนแล้วยังมีก๊าซอย่างอื่นอีก เช่น ไนโตรเจน อาร์กอน ฮีเลียม นีออน คริปตอน ซีนอน คาร์บอนไดออกไซด์ และละอองไอน้ำ แต่ส่วนประกอบหลักที่มีจำนวนมากได้แก่ ไนโตรเจน และออกซิเจน ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงถือว่าอากาศประกอบด้วยก๊าซสองชนิดนี้เท่านั้น

ออกซิเจนเป็นก๊าซที่ทำให้การสันดาปเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อย และเป็นตัวทำให้ปฏิกิริยาของการสันดาปของเชื้อเพลิงช้าลง และยังเป็นตัวดูดเอาพลังงานบางส่วนในขณะ

สันดาปออกไป ทำให้อุณหภูมิของการสันดาปต่ำลง ดังนั้นในอากาศที่เข้าไปสันดาปกับเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายในจะต้องวิเคราะห์จากออกซิเจนและไนโตรเจน โดยน้ำหนักของอากาศที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของสารเชื้อเพลิง และปริมาณของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ จะดูจากปริมาณของออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศ ซึ่งปริมาณของออกซิเจนในอากาศโดยปริมาตรและน้ำหนัก แสดงดังตารางที่ 3 [5]

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณออกซิเจนและไนโตรเจนที่มีอยู่ในอากาศสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

ส่วนประกอบ	สัญลักษณ์	น้ำหนักโมเลกุล	ส่วนประกอบ	
			โดยปริมาตร	โดยน้ำหนัก
ออกซิเจน	O_2	32	21	23.2
ไนโตรเจน	N_2	28	79	76.8
อากาศ	-	28.95	100	100

1) สมการการสันดาป

สมการการสันดาป (Combustion Equation) คือ ขบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นจากการสันดาป โดยเขียนออกมาในรูปสมการ และหลังจากเขียนเป็นสมการแล้ว จะต้องพิจารณาว่าจำนวนอะตอมของส่วนประกอบต่าง ๆ ทางซ้ายมือเท่ากับทางขวามือหรือไม่ หากไม่จะต้องทำการสมดุลอะตอมของสมการเสียก่อน และสมการเคมีที่สมดุลนี้เรียกว่า“Complete Combustion Equation” หรือ “Stoichiometric Equation” เช่น การสันดาปของคาร์บอนมอนนอกไซด์และออกซิเจน ซึ่งจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อการสันดาปเป็นไปอย่างสมบูรณ์ จะได้ดังสมการที่ (20) [5]

$$CO + O_2 = CO_2 \quad (20)$$

และเมื่อสมดุลสมการจะได้ดังสมการที่ (21)

$$2CO + O_2 = 2CO_2 \quad (21)$$

หรือการสันดาปสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น ก๊าซมีเทนกับออกซิเจน เมื่อการสันดาปเป็นไปอย่างสมบูรณ์จะได้ดังสมการที่ (22)

$$CH_4 + O_2 = CO_2 + H_2O \quad (22)$$

และเมื่อสมดุลสมการจะได้ดังสมการที่ (23)

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O \qquad (23)$$

2) การวิเคราะห์การสันดาปโดยมวลและปริมาตร

การวิเคราะห์การสันดาปโดยมวลและปริมาตร (Combustion Analysis by Mass and by Volume) นั้น จุดประสงค์เพื่อต้องการทราบจำนวนอากาศที่ต้องการใช้สำหรับการสันดาปกับเชื้อเพลิง ซึ่งบางครั้งอาจวิเคราะห์โดยมวลหรือบางครั้งอาจวิเคราะห์โดยปริมาตร หรือวิเคราะห์ทั้ง 2 อย่าง แต่ในการวิเคราะห์ดังกล่าวจะต้องทราบน้ำหนักอะตอมและน้ำหนักโมเลกุล ดังตัวอย่างสารตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 น้ำหนักอะตอมและน้ำหนักโมเลกุลของสารบางชนิด (สุเทพ ญาณวัฒน์, 2528)

สาร	สัญลักษณ์	น้ำหนักอะตอม	น้ำหนักโมเลกุล
ออกซิเจน	O_2	16	32
ไนโตรเจน	N_2	14	28
ไฮโดรเจน	H_2	1	2
คาร์บอน	C	12	12
ซัลเฟอร์	S	32	32

การวิเคราะห์โดยมวล (Analysis by Mass) จะต้องพิจารณาโดยอาศัยอะตอมหรือโมเลกุลของสารเป็นหลัก ส่วนการวิเคราะห์โดยปริมาตร (Analysis by Volume)นั้น จากทฤษฎีของอาโวกาโด (Avogadro Hypothesis) กล่าวว่า “ก๊าซต่างชนิดกันที่มีปริมาตร, ความดัน และอุณหภูมิเดียวกัน จะมีจำนวนโมเลกุลเท่ากัน” จากทฤษฎีดังกล่าวสัดส่วนของโมเลกุลก็คือสัดส่วนของปริมาตรนั่นเอง หรือจำนวนโมเลกุลก็คือจำนวนปริมาตร ซึ่งยกตัวอย่างการวิเคราะห์โดยมวลหรือโดยน้ำหนักและการวิเคราะห์โดยปริมาตรดังต่อไปนี้ [5]

ก) การสันดาปคาร์บอนมอนอกไซด์อย่างสมบูรณ์ (Complete Combustion of Carbon monoxide)

<u>วิเคราะห์โดยมวล</u>

สมการการสันดาป ; $2CO + O_2 = 2CO_2$

สัดส่วนโดยมวล ; $2(12 + 16) + (2\times16) = 2(12+32)$

$56 + 32 = 88$

56 หารตลอดจะได้ $1 + \frac{4}{7} = 1\frac{4}{7}$

แทนค่าหน่วยมวลด้วย kg ลงในสมการจะได้

$$1\ \text{kg CO} + \frac{4}{7}\text{kg } O_2 = 1\frac{4}{7}\text{kg } CO_2$$

$\frac{4}{7}$ kg O_2 เป็น 23.20% ของอากาศ

$\therefore$ จำนวนอากาศที่ใช้ $= \frac{4}{7} \times \frac{1}{0.232} = 2.46$ kg

$\therefore$ จำนวนไนโตรเจน $= 2.46 - \frac{4}{7} = 1.89$ kg

ดังนั้นอากาศจำนวน 2.46 kg ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 1 kg โดยการสันดาปอย่างสมบูรณ์จะได้

1 kg CO + 2.46 kg Air = 1.57 kg CO_2 + 1.89 kg N_2

<u>วิเคราะห์โดยปริมาตร</u>

จากสมการการสันดาป ; $2CO + O_2 = 2CO_2$

สัดส่วนโดยปริมาตร ; $2 + 1 = 2$

2 หารตลอดจะได้ $1 + 0.5 = 1$

แทนค่าหน่วยปริมาตรด้วย m^3 จะได้

$$1\ m^3CO + 0.5\ m^3O_2 = 1\ m^3CO_2$$

0.5 m^3O_2 เป็น 21% ของอากาศที่ใช้

$\therefore$ จำนวนอากาศที่ใช้ $= \frac{0.5}{0.21} = 2.38\ m^3$

$\therefore$ จำนวนไนโตรเจน $= 2.38 - 0.5 = 1.88\ m^3$

ดังนั้นสมการการสันดาปอย่างสมบูรณ์ที่วิเคราะห์โดยปริมาตรจะได้

1 m^3 CO + 2.38 m^3 Air = 1 m^3 CO2 + 1.88 m^3 N_2

ข) การสันดาปไฮโดรคาร์บอน (Combustion of Hydrocarbon)

การสันดาปมีเทนอย่างสมบูรณ์ (Complete Combustion of Methane)

<u>วิเคราะห์โดยมวล</u>

สมการการสันดาป ; $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$

สัดส่วนโดยมวล ; $(12 + 4) + (2 \times 32) = (12 + 32) + 2(2 + 16)$

$16 + 64 = 44 + 36$

16 หารตลอดจะได้ $1 + 4 = 2.75 + 2.25$

แทนค่าหน่วยมวลด้วย kg ลงในสมการจะได้

$$1\ kg\ CH_4 + 4\ kg\ O_2 = 2.75\ kg\ CO_2 + 2.25\ kg\ H_2O$$

4 kg O_2 เป็นส่วนประกอบ 23.20% ของอากาศ

$\therefore$ จำนวนอากาศ $= \frac{4}{0.232} = 17.24\ kg$

$\therefore$ จำนวนไนโตรเจน $= 17.24 - 4 = 13.24\ kg$

ดังนั้นสมการการสันดาปมีเทนอย่างสมบูรณ์จะได้

$1\ kg\ CH_4 + 4\ kg\ O_2 + 13.24\ kg\ N_2 = 2.75\ kg\ CO_2 + 2.25\ kg\ H_2O + 13.24\ kg\ N_2$
หรือ $1\ kg\ CH_4 + 17.24\ kg\ Air = 2.76\ kg\ CO_2 + 2.25\ kg\ H_2O + 13.24\ kg\ N_2$

สัดส่วนโดยปริมาตร ; $1 + 2 = 1 + 2$

แทนค่าหน่วยปริมาตร m^3 ลงในสมการจะได้

$$1\ m^3\ CH_4 + 2\ O_2 = 1\ m^3\ CO_2 + 2\ m^3\ H_2O$$

($2O_2$ เป็น Stoichiometric Volume of O_2)

พิจารณาจากสมการข้างบนจะเห็นว่า สมการซ้ายมือ = สมการทางขวามือ แสดงว่า H_2O อยู่ในสภาวะไอน้ำ

2 m^3 O_2 เป็นส่วนประกอบ 21% ของอากาศ

$\therefore$ จำนวนอากาศ $= \frac{2}{0.21} = 9.52\ m^3$

= Stoichiometric volume of Air

$\therefore$ จำนวนไนโตรเจน $= 9.52 - 2 = 7.52\ m^3$

ดังนั้นสมการการสันดาปมีเทนอย่างสมบูรณ์โดยวิเคราะห์จากปริมาตรจะได้

$1\ m^3\ CH_4 + 9.52\ m^3\ Air = 1\ m^3\ CO_2 + 2\ m^3\ H_2O + 7.52\ m^3\ N_2$

3) การผสมเชื้อเพลิง

การผสมเชื้อเพลิง หมายถึง การผสมเชื้อเพลิงกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อป้อนเข้ากระบอกสูบของเครื่องยนต์สันดาปภายในอย่างต่อเนื่อง โดยให้จำนวนส่วนผสมดังกล่าวเหมาะสมกับสภาพภาระความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ตลอดจนอุณหภูมิขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ผสมเชื้อเพลิงกับอากาศดังกล่าว เรียกว่า คาร์บูเรเตอร์ (Carburetor) โดยในการป้อนเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์มีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ประการคือ

1. การใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ซึ่งหมายความว่า เชื้อเพลิงที่เข้าไปยังห้องเผาไหม้จะต้องเป็นฝอยละอองละเอียดจนสามารถคลุกเคล้ากับอากาศ และทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นไปอย่างสมบูรณ์

2. เชื้อเพลิงที่ป้อนจะต้องมีคุณภาพที่จะทำให้เครื่องยนต์ได้กำลังสูงสุด

องค์ประกอบที่สำคัญ 2 ประการดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้จะต้องขึ้นอยู่กับสิ่งสำคัญดังต่อไปนี้

ก. อัตราส่วนผสมของอากาศต่อเชื้อเพลิง กล่าวคือจำนวนน้ำหนักของอากาศที่ผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิง 1 หน่วยน้ำหนัก เรียกว่า “อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (AFR)” โดยทางทฤษฎีแล้วอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงนี้ เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับชนิดส่วนประกอบของเชื้อเพลิงนั้นๆ อัตราส่วนนี้หาได้จากส่วนประกอบของเชื้อเพลิงทางเคมี

ข. ส่วนผสมหนาและส่วนผสมบางของอากาศ กล่าวคือในกรณีที่เครื่องยนต์ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงถ้าอากาศกับเชื้อเพลิงผสมกันในอัตรา 12.5-13:1 ถือว่าเป็นอัตราส่วนผสมที่พอดี ถ้าจำนวนอากาศน้อยกว่านั้นจะทำให้ส่วนผสมหนา (Rich mixture) ซึ่งทำให้เปลืองเชื้อเพลิงอย่างไรก็ตามส่วนผสมหนาก็อาจจะยอมให้ได้ ในกรณีที่เครื่องยนต์ต้องการกำลังเพิ่มขึ้น แต่ก็ไม่ควรต่ำกว่า 6 : 1 (อากาศ 6 ส่วน : เชื้อเพลิง 1 ส่วนโดยน้ำหนัก) และในทำนองเดียวกันถ้าจำนวนอากาศมากกว่านั้นจะทำให้ส่วนผสมบาง (lean mixture) ไม่เปลืองเชื้อเพลิง แต่กำลังจะตกซึ่งส่วนผสมบางนี้ก็ไม่ควรเกิน 20:1 (อากาศ 20 ส่วน : เชื้อเพลิง 1 ส่วนโดยน้ำหนัก) เพราะถ้าส่วนผสมเจือจางมากจะทำให้ลุกติดไฟได้ยาก ดังนั้นในการที่จะกำหนดว่าอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงสำหรับเชื้อเพลิงใดจะถูกต้องนั้น จะเป็นไปตามสมการทางเคมีของการสันดาป [6]

ในการทำงานจริงของเครื่องยนต์ จะพบว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์จะเปลี่ยนแปลงไปตามส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิง(AFR) โดยสมรรถนะของเครื่องยนต์ก๊าซและ/หรือเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนจะมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนผสมอากาศกับเชื้อเพลิง, แรงบิด และการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยแรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์ (Max Torque) จะได้รับเมื่ออัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิง(AFR) คงที่แน่นอน ซึ่งปกติอัตราส่วนผสมที่ให้กำลังสูงสุดสำหรับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนจะอยู่ที่ประมาณ 12.5-13:1 เมื่อส่วนผสมของเชื้อเพลิงหนากว่าขณะได้รับกำลังสูงสุด กำลังของเครื่องยนต์ก็จะลดลงอย่างช้าๆ และการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในทางตรงกันข้ามเมื่อส่วนผสมของเชื้อเพลิงบางลงกว่าขณะได้รับกำลังสูงสุด กำลังของเครื่องยนต์ก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว

และในการทำงานจริงของเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้นไม่สามารถที่จะเผาไหม้เชื้อเพลิงได้อย่างสมบูรณ์ 100% ได้ ทั้งนี้เนื่องจากสภาวการณ์ต่างๆ ที่จะทำให้เครื่องยนต์สามารถทำงานอยู่ได้ อาทิเช่น ความต้องการส่วนผสมอากาศกับเชื้อเพลิงที่หนาขึ้นในขณะเริ่มติดเครื่องหรือเดินเบา ขณะสภาพภาระ (Load) ของเครื่องยนต์ที่สูง หรือในขณะทำงานที่ความเร็วรอบสูงสุด อีกประการหนึ่งใน

อากาศซึ่งเป็นส่วนผสมของเชื้อเพลิงในการสันดาปมีก๊าซไนโตรเจนอยู่ซึ่งจะเป็นตัวจำกัดการทำปฏิกิริยาของเชื้อเพลิงและออกซิเจน ถึงแม้ว่าจะมีการออกแบบห้องเผาไหม้ที่ดี ตลอดจนการทำให้อากาศมีการหมุนวนที่ดี หรือแม้กระทั่งการออกแบบให้เชื้อเพลิงมีการผสมกับอากาศในอัตราส่วนที่พอเหมาะแก่การสันดาปที่สมบูรณ์แล้วก็ตาม ดังนั้นในการที่จะออกแบบหรือควบคุมการสันดาปเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายในให้สมบูรณ์ที่สุดจึงจำเป็นที่จะต้องทำการวิเคราะห์ไอเสียควบคู่ไปด้วย [5]

ปัจจัยในการวิเคราะห์ไอเสียนั้นก็ขึ้นอยู่กับอากาศที่ใช้และชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการสันดาป เช่น ถ้าอากาศมากไปก็จะทำให้ส่วนผสมบาง (Weak or lean mixture) ซึ่งหมายความว่าเชื้อเพลิงน้อยไป การสันดาปของไฮโดรเจนกับออกซิเจนจะทำให้เกิดน้ำ และการสันดาปของคาร์บอนกับออกซิเจนก็จะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และจะเหลือออกซิเจนบางส่วนปรากฏในผลิตผลของการสันดาป ในทางตรงกันข้ามถ้าอากาศน้อยเกินไป ส่วนผสมจะหนา (Rich mixture) เมื่อส่วนผสมหนาจะทำให้ไฮโดรเจนส่วนมากจะสันดาปกับออกซิเจนทำให้เกิดน้ำ ส่วนการสันดาปของคาร์บอนกับออกซิเจนเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์เพราะออกซิเจนไม่พอเพียงจึงทำให้เหลือคาร์บอนบางส่วนในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซึ่งเป็นลักษณะของการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้ในการสันดาปเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ยังอาจก่อให้เกิดสารพิษอื่นๆ เช่น NO_X และฝุ่นที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์, สภาพแวดล้อม และชั้นบรรยากาศโลก [6]

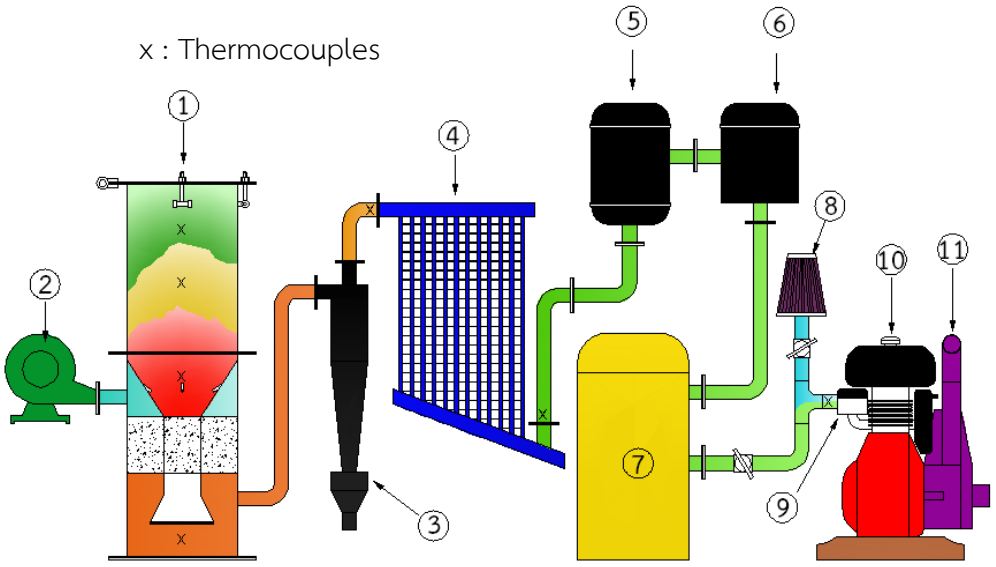
ในการหาประสิทธิภาพของการสันดาปของเชื้อเพลิงโดยทั่วไปจะกำหนดเอาปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) เป็นสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เป็นก๊าซพิษที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ, ระบบประสาทมนุษย์ เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม และชั้นบรรยากาศโลกอย่างร้ายแรง อีกทั้งยังเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ซึ่งทำให้โลกร้อนขึ้น ถ้าปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) จากการวิเคราะห์ไอเสียมีมาก ก็แสดงว่าอากาศน้อยเกินไป และถ้าปริมาณของออกซิเจนปรากฏในผลิตผลของการสันดาปก็แสดงว่าอากาศมากเกินไป และเนื่องจากประสิทธิภาพของการสันดาปกำหนดโดยปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และออกซิเจนในผลิตผลของการสันดาปโดยไม่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงเรียกการสันดาปนี้ว่า “Dry flue exhaust gas” ดังนั้นในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการสันดาปจะเริ่มกระทำจากส่วนผสมที่บางมาก จนถึงส่วนผสมที่หนามาก ซึ่งผลจากการเคราะห์จะนำมาพล็อตลงในกราฟเปอร์เซ็นต์กับอัตราส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาและทดสอบระบบเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สซิไฟเออร์เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งระบบประกอบด้วย ชุดเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง (Downdraft Gasifier) ระบบปรับปรุงคุณภาพแก๊สซิไฟเออร์และชุดเครื่องยนต์สันดาปภายใน ขนาด 9 HP โดยจะศึกษาทางด้านผลกระทบของการนำแก๊สซิไฟเออร์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ เพื่อจะนำมาปรับปรุงแก้ไขและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเครื่องยนต์แก๊สซิไฟเออร์ ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

3.1 การผลิตแก๊สชีวมวล

3.1.1 อุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 3.1 แสดงแผนภาพชุดอุปกรณ์การทดลอง

ส่วนประกอบของเครื่องยนต์แก๊สซิไฟเออร์ มีอุปกรณ์หลัก ๆ ดังนี้

1. เตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier)
2. โบล์เว่อร์ (Blower)
3. ไซโคลน (Cyclone)
4. คอนเดนเซอร์ (Condenser)
5. กรองแก๊สหยาบ (Coarse Filter Gas)
6. กรองแก๊สละเอียด (Filter Profile Gas)
7. ถังพักแก๊ส (Tank Gas)
8. อุปกรณ์ผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ (Mixer)
9. กรองอากาศ (Filter Air
10. เครื่องยนต์เล็ก 9.0 แรงม้า
11. ปั๊มสูบน้ำ 0.5 แรงม้า

3.1.2 ระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

ระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ทำการทดสอบนั้น ประกอบด้วยเตาผลิตแก๊ส Blower และไซโคลน (Cyclone) คอนเดนเซอร์(Condenser) เมื่อติดตั้งระบบแล้วจะมีลักษณะ ดังแสดงในรูป 3.2

รูปที่ 3.2 แสดงระบบผลิตแก๊สชีวมวล

รายละเอียดแต่ละส่วนมีดังนี้

- **เตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลลง (Downdraft Gasifier)**

เตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลลง ดังในรูปที่ 3.2 มีความสามารถในการขจัดน้ำมันดินหรือทาร์ (Tar) ในแก๊สชีวมวลดีที่สุดเมื่อเทียบกับแบบอื่น อากาศจะไหลจากบริเวณด้านข้างผ่านชุดหัวฉีด (nozzles) สู่ด้านล่าง ที่เรียกว่า “Tuyeres” บริเวณหัวฉีดนี้จะเป็น Combustion Zone แก๊ส CO_2 และ H_2O ที่เกิดในโซนนี้ จะไหลสู่ด้านล่างของเตาผ่านชั้นคาร์บอนร้อนที่อยู่เหนือตะแกรงและแตกตัวหรือถูก reduced เกิดเป็นแก๊ส CO, H_2 และ CH_4 ขณะเดียวกันชั้นของชีวมวลที่อยู่เหนือ Combustion Zone ซึ่งมีปริมาณออกซิเจนน้อยมากจะเกิดการกลั่นสลายโดยความร้อน โดยไอของน้ำมันดินที่เกิดจากการกลั่นสลายจะไหลผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อน จึงทำให้น้ำมันดินเกิดแตกตัวเป็นแก๊สด้วยเช่นกัน การแตกตัวนี้เกิดที่อุณหภูมิระหว่าง 800°C ถึง 1,000°C แก๊สที่ได้จาก Combustion Zone ในเตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลลงนี้ จะมีปริมาณน้ำมันดินน้อยกว่าเตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลขึ้น (Updraft Gasifier) และเป็นแก๊สที่สะอาดกว่า เมื่อผ่านชุดปรับปรุงคุณภาพแก๊สให้เหมาะสมแล้ว ก็สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในทั้งชนิดแก๊สโซลีนและดีเซล ลักษณะของเตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง (Downdraft Gasifier) ดังแสดงในรูป 3.3

รูปที่ 3.3 แสดงเตาผลิตแก๊ส

- **ไซโคลน (cyclone)**

ไซโคลนเป็นอุปกรณ์แยกผงออกจากลำอากาศโดยใช้แรงเหวี่ยง มีลักษณะค่อนข้างธรรมดาไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนที่ ไซโคลนนั้นแม้จะไม่สามารถดักฝุ่นได้ 100% เมื่อใช้เป็นอุปกรณ์เดี่ยว แต่จะมีประโยชน์มากถ้านำไปใช้เป็นอุปกรณ์ดักฝุ่นในเบื้องต้น (Primary dust collectors) แก๊สนั้นจะถูกป้อนเข้าสู่ส่วนบนของไซโคลน โดยจะป้อนเข้าในแนวสัมผัสของวงกลม ตัวไซโคลนซึ่งมีลักษณะที่เป็นกรวยที่ตั้งเอายอดแหลมลงที่บริเวณนี้จะมีท่อ เรียกว่าท่อขับติดอยู่ที่ แก๊สผ่านเข้าไปช่วงแรกจะเคลื่อนที่เข้าไปตามกรวย แล้วจึงถูกดูดขึ้นตามท่อออกสู่ภายนอก ไซโคลนเป็นอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรงทนต่อความดันสูง ซึ่งตัวไซโคลนจะติดอยู่กับตัว Gasifier โดยแก๊สร้อนที่ออกจากตัว Gasifier จะผ่านเข้าไซโคลนเพื่อแยกเถ้าออกจากแก๊สโดยไซโคลน

รูปที่ 3.4 แสดงไซโคลน

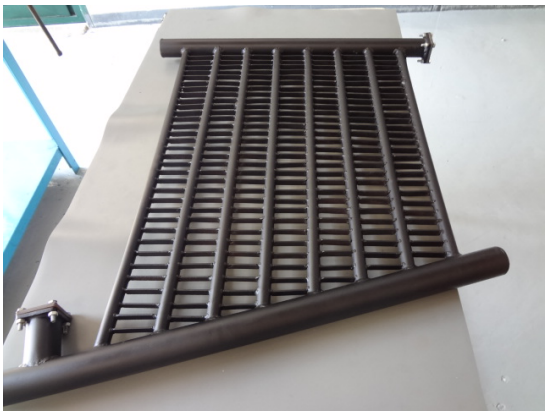
- **เครื่องป่าวลม (Blower)**

การทดลองครั้งนี้ใช้ Blower ยี่ห้อ APP จำนวน 1 ตัวเป็นแบบหอยโข่ง สามารถสร้างแรงดันลมได้สูงสุดถึง 1.3 m^3/ min ใช้ไฟฟ้าขนาด 220-240 V, 2.6A

รูปที่ 3.5 แสดง Blower

- **คอนเดนเซอร์ (Condenser)**

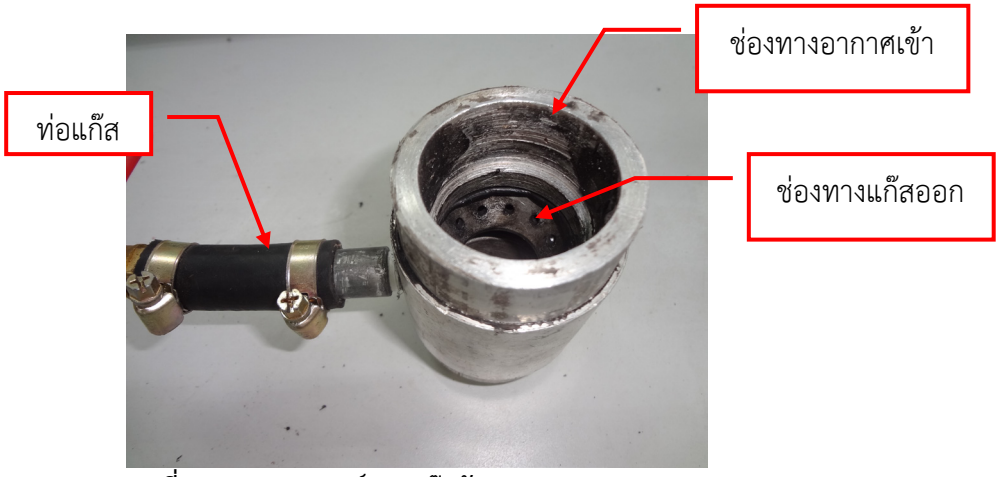
คอนเดนเซอร์ (Condenser) นั้นเป็นอุปกรณ์สำคัญอีกอย่างหนึ่งของระบบเครื่องยนต์แก๊สซิไฟเออร์ เนื่องจากแก๊สที่ออกจากเตาผลิตแก๊สนั้นมีอุณหภูมิค้อนข้างสูงโดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 300-400 องศา ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งาน ดังนั้นจะต้องมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการระบายความร้อน อุปกรณ์ที่กล่าวมานั้นก็คือ คอนเดนเซอร์ (Condenser) ซึ่งคอนเดนเซอร์ที่นำมาระบายความร้อนของแก๊สนั้นจะเป็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air - Cooled) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงคอนเดนเซอร์ (Condenser)

- **อุปกรณ์ผสมแก๊สกับอากาศ (MIXER)**

รูปที่ 3.7 แสดงมิกเซอร์ (MIXER) เป็นอุปกรณ์ผสมแก๊สกับอากาศให้มีอัตราส่วนเหมาะสมกับการเผาไหม้ ก่อนจ่ายแก๊สเข้าเครื่องยนต์ ซึ่งได้ถูกดัดแปลงนำมาใช้ในระบบเครื่องยนต์แก๊สชีวมวล



รูปที่ 3.7 แสดงอุปกรณ์ผสมแก๊สกับอากาศ (Gas mixer)

- **กรองแก๊ส (Filter)**

กรองแก๊สนั้นเป็นส่วนที่สำคัญที่จะละเลยไม่ได้ ทั้งที่ในระบบเครื่องยนต์แก๊สซิไฟเออร์นั้นมีไซโคลนดักฝุ่นอยู่แล้ว แต่ว่าไซโคลนไม่สามารถกรองหรือดัก น้ำส้มควันไม้ น้ำมันดิน หรือแม้กระทั้งฝุ่นละอองได้ร้อยเปอร์เซ็น ดังนั้นระบบเครื่องยนต์แก๊สซิไฟเออร์จึงจำเป็นที่จะต้องมีกรองแก๊สเข้ามาช่วยอีกชั้นหนึ่ง โดยในระบบจะมีกรองแก๊สอยู่ 2 ตัว ตัวแรกจะใช้สำหรับดักจำพวก น้ำส้มควันไม้ น้ำมันมันดิน และฝุ่นละอองที่มีขนาดค้อนข้างใหญ่ ส่วนกรองตัวที่สองจะใช้สำหรับดักฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็ก เพื่อให้ได้แก๊สที่สะอาดก่อนนำไปเข้าเครื่องยนต์

รูปที่ 3.8 แสดงกรองแก๊ส (Filter)

- **ถังพักแก๊ส (Gas Tank)**

ถังพักแก๊ส เป็นส่วนที่ช่วยในการเรียงกระแสแก๊สซิไฟเออร์ให้มีการไหลที่ต่อเนื่องและสม่ำเสมอก่อนเข้าเครื่องยนต์ นอกจากนี้ถังพักแก๊สยังช่วยให้ไอน้ำที่ปะปนมากับแก๊สเกิดการควบแน่นเป็นน้ำแล้วแยกตัวออกจากแก๊ส ทำให้แก๊สมีคุณภาพและประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

รูปที่ 3.9 แสดงถังพักแก๊ส (Gas Tank)

- **เครื่องยนต์เล็ก (Small Engine)**

เครื่องยนต์เล็กที่นำมาทำการทดลองเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง โดยมีการจุดระเบิดด้วยหัวเทียน ส่วนรายละเอียดต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

HONDA รุ่น GX270T QTN 9HP 270 ซีซี

รายละเอียด

รายละเอียดย่อ : เครื่องยนต์อเนกประสงค์ ฮอนด้า จี เอ็กซ์ ซีรี่ส์ รุ่น GX270T QTN ขนาดความจุกระบอกสูบ 270 ซีซี ประหยัดน้ำมันด้วยระบบเครื่องยนต์ 4 จังหวะ วาล์วเหนือลูกสูบ (OHV) ระบายความร้อนด้วยอากาศ

รูปที่ 3.10 แสดงเครื่องยนต์เล็ก (Small engine) ขนาด 9 แรงม้า

รายละเอียดทั้งหมด :

รุ่น GX270T1 QTN

กำลังเครื่องยนต์ 6.0 KW / 3600 รอบต่อนาที

ตามมาตรฐาน SAE J1349 8.2 HP / 3600 รอบต่อนาที

ชนิดเครื่องยนต์ 4 จังหวะ สูบเดียว วางเอียง 25 องศา วาล์วเหนือลูกสูบ

ความจุกระบอกสูบ 270 ซีซี
กระบอกสูบ x ช่วงชัก 77 x 58 ซีซี
ความจุถังน้ำมันเชื้อเพลิง 5.3 ลิตร
ความจุถังน้ำมันเครื่อง 1.1 ลิตร
ระบบกรองอากาศ ระบบฟองน้ำและอ่างน้ำมันเครื่องดักฝุ่น
ระบบสตาร์ท ชุดเชือกดึงสตาร์ทแบบสปริงรั้งกลับ
ระบบจุดระเบิด ทรานซิสเตอร์
ระบบระบายความร้อน พัดลมดูดอากาศ
ระบบควบคุมอัตราเร่ง แบบคันโยก และกลไกแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง
การดับเครื่องยนต์ แบบตัดวงจรไฟฟ้าลงดิน
น้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่ว
ขนาด 430 x 355 x 410 มม.
น้ำหนัก 25 กก.

3.1.3 ชีวมวล

ชีวมวลที่ใช้ในการศึกษาวิจัยมี 3 ชนิด ได้แก่ไม้ยูคาลิปตัส กะลามะพร้าว และกระถินยักษ์ ขนาดเฉลี่ยของเชื้อเพลิงที่ใช้โดยประมาณ 5-10 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 5-10 เซนติเมตร

รูปที่ 3.11 ยูคาลิปตัสแห้ง

รูปที่ 3.12 กะลามะพร้าว

รูปที่ 3.13 ไม้กระถินยักษ์

3.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดวิเคราะห์แก๊สชีวมวล

เครื่องมือวัดความเร็วของอากาศ

ใช้วัดความเร็วการไหลของลมที่เป่าออกจาก Blower เข้าไปในเตาโดยจะวัดที่ทางออกของไซโคลนที่ต่อเข้ากับเตาโดยจะทำการวัดในแต่ละกรณีดังนี้

- วัดขณะที่เตาผลิตแก๊สไม่ได้ใส่เชื้อเพลิง (ไม้แห้ง)
- วัดเมื่อใส่เชื้อเพลิง (ไม้แห้ง) เรียบร้อยแล้ว

รูปที่ 3.14 แสดงเครื่องมือวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ

เครื่องวิเคราะห์แก๊ส Testo t350-XL

ใช้สำหรับวัดวิเคราะห์หาปริมาณแก๊สต่างๆที่ได้จากเตาผลิตแก๊ส

รูปที่ 3.15 แสดงเครื่องมือวัดวิเคราะห์แก๊ส Testo t350-XL

Data Logger

Data Logger คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลที่เป็นสัญญาณต่างๆ โดย Data Logger จะมี Memory สำหรับเก็บค่าที่วัดได้ของสัญญาณ ตามช่วงเวลาการบันทึกที่กำหนอไว้โดยอัตโนมัติ เราสามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการอ่านข้อมูลจาก Memory ของ Data Logger มานำเสนอบนหน้าจอได้ โดยในการทดลองนี้ใช้ Data Logger ยี่ห้อ yokogawa รุ่น MV 1000 การป้อน

ข้อมูลหลายจุด ใส่ 24 Channel หน่วยความจำ หน่วยความจำภายใน 200 MB ใช้ไฟฟ้า 19.5 VDC 50 DA

รูปที่ 3.16 แสดง Data Logger

3.2 วิธีการทดลอง

จุดไฟให้ไม้แห้งติดไฟแล้วเทลงไปในเตาผลิตแก๊สชีวมวลให้สังเกตจนมั่นใจว่าไม้แห้งติดไฟดีแล้วจึงเติมไม้แห้งลงไปตามความต้องการ จากนั้นปิดฝาเตาผลิตแก๊สชีวมวลให้แน่นสนิท เปิด Blower อัดอากาศเข้าไปในบริเวณห้องเผาไหม้ของเตา รอประมาณ 20-30 นาที ก็จะได้แก๊สชีวมวลหรือแก๊สเชื้อเพลิงออกมาและไหลเข้าสู่ไซโคลน คอนเดนเซอร์ หม้อกรองแก๊สและถังพักแก๊สซึ่งจะช่วยให้ได้แก๊สชีวมวลที่สะอาดและมีอุณหภูมิที่เหมาะสม จากนั้นทดลองดูว่าแก๊สมีความหนาแน่นเพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์หรือยังโดยการทดสอบเบื้องต้นคือการจุดเพื่อดูว่าเกิดการลุกไหม้แล้วหรือยัง ถ้าจุดไฟติดแสดงว่าเริ่มมีแก๊สออกแล้วและสังเกตดูเปลวไฟจนกว่าเปลวไฟจะมีสีแดงเข้มแสดงว่าแก๊สมีความหนาแน่นมากพอแล้ว จึงสตาร์ทเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันเบนซินก่อน เมื่อเครื่องยนต์ทำงานแล้วจึงเปลี่ยนมาใช้แก๊สชีวมวลโดยการเปิดวาล์วแก๊สและปิดวาล์วน้ำมันเบนซิน ให้เครื่องยนต์เดินเครื่องด้วยแก๊สชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง เมื่อปรับจูนเครื่องยนต์จนเครื่องยนต์เดินเรียบแล้วให้วัดอัตราการไหลของแก๊สและใช้เครื่องมือวิเคราะห์แก๊ส Testo t350-XL ทดสอบหาค่าปริมาณแก๊สต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของแก๊สชีวมวล

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการทดลองของการผลิตแก๊สชีวมวลจากเศษชีวมวลทางการเกษตรเพื่อใช้ในเครื่องยนต์ทางการเกษตร : การปรับปรุงเครื่องยนต์เล็กเพื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สชีวมวล แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ การผลิตแก๊สชีวมวล และ การปรับปรุงเครื่องยนต์เล็กเพื่อใช้กับเชื้อเพลิงแก๊สชีวมวล การผลิตแก๊สชีวมวล จะใช้ชีวมวล 3 ชนิด ได้แก่ ยูคาลิปตัส กะลามะพร้าว และกระถินยักษ์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การผลิตแก๊สชีวมวล

4.1.1 ปริมาณแก๊สชีวมวล

จากผลการทดลองที่ได้นำไม้แห้ง 3 ชนิด ได้แก่ ยูคาลิปตัส กะลามะพร้าว และกระถินยักษ์ มาทดลองผลิตแก๊สชีวมวล โดยใช้เตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลลง (Downdraft gasifier) เพื่อหาปริมาณการผลิตแก๊สชีวมวลพบว่า เมื่อป้อนอากาศน้อยกว่า 150 liter/min อุณหภูมิใน Combustion zone มีค่าต่ำกว่า 900 $^{\circ}$C ปริมาณแก๊สชีวมวลที่ได้มีความเบาบางและมีการไหลที่ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นอุณหภูมิที่ทำให้ได้แก๊สออกมามีความหนาแน่น อุณหภูมิที่ Combustion zone ไม่ควนต่ำกว่า 1,000 $^{\circ}$C อย่างไรก็ตามจะทำให้เชื้อเพลิงหมดเร็ว ซึ่งอัตราการป้อนอากาศเข้าเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลลงที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาในครั้งนี้คือ 150 liter/min อุณหภูมิใน Combustion zone มีค่าสูงกว่า 1000 $^{\circ}$C ตารางที่ 4.1 แสดงแสดงผลการทดสอบการติดไฟของแก๊สชีวมวล จากชีวมวลตัวอย่าง 3 ชนิด ชนิดละ 3 kg อัตราการไหลของอากาศที่ 150 liter/min ทำการทดสอบหาความเข้มข้นของแก๊สชีวมวลโดยวิธีการจุดติดไฟ และระยะเวลาในการผลิตแก๊สชีวมวล สังเกตจากเปลวไฟพบว่าเปลวไฟของกะลามะพร้าวมีความเข้มหรือมีความรุนแรงกว่า รองลงมาคือไม้ยูคาลิปตัสและกระถินยัก คือ 35, 40 และ 50 นาทีตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการติดไฟของแก๊สชีวมวล จากชีวมวลปริมาณ 3 กิโลกรัม อัตราการไหลของอากาศที่ 150 ลิตรต่อนาที

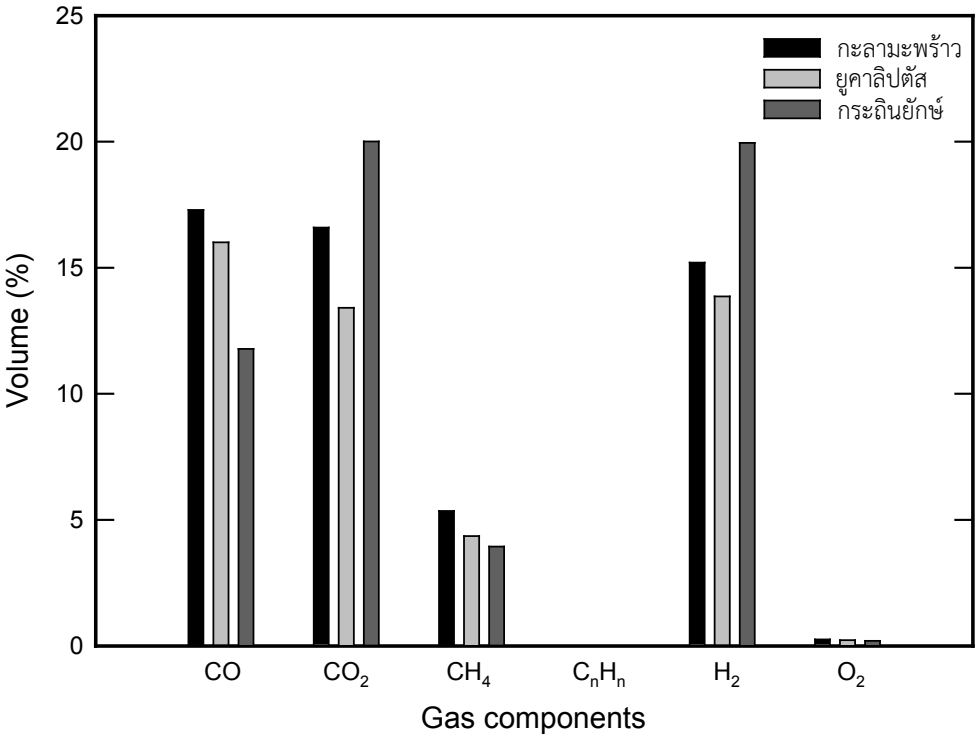
ลำดับ	ชนิดไม้แห้งที่ทดลอง	เชื้อเพลิงที่ผลิตได้นาน (นาที)	รูปเปลวไฟ
1	ไม้ยูคาลิปตัสแห้ง	50	
2	กะลามะพร้าว	45	
3	กระถินยักษ์	35	

4.1.2 องค์ประกอบของแก๊สชีวมวล

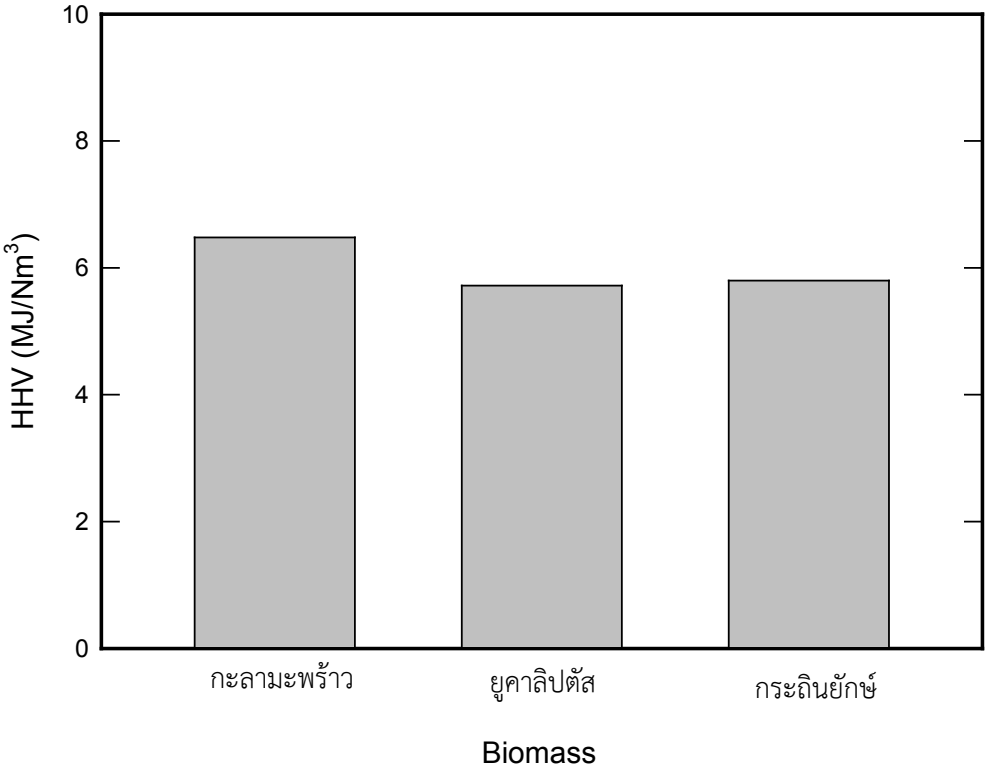
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวมวลที่ได้จากเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบ Downdraft gasifier โดยใช้เครื่อง Online Infrared Syngas Analyzer-Gasboard 3100 พบว่าส่วนประกอบหลักของแก๊สชีมวลได้แก่ CO, CO_2, CH_4 และ H_2 จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าชีวมวลแต่ละชนิดจะให้ส่วนประกอบแก๊สที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งกะละมะพร้าวจะให้แก๊สชีวมวลที่เป็น CO มากที่สุด (17.29% โดยปริมาตร) ในขณะที่ไม้กระถินยักษ์ให้ส่วนประกอบ H_2 มากที่สุด (19.95% โดยปริมาตร) สำหรับไม้ยูคาลิปตัสจะมีส่วนประกอบอยู่ระดับกลางๆ

4.1.3 ค่าความร้อนของแก๊สชีวมวล

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของแก๊สชีวมวลที่ได้จากเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบ Downdraft gasifier โดยใช้เครื่อง Online Infrared Syngas Analyzer-Gasboard 3100 พบว่าค่าความร้อน HHV ของแก๊สชีวมวลที่ได้จากกะลามะพร้าว ไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินยักษ์มีค่า 6.48, 5.72 และ 5.8 MJ/Nm^3 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งแก๊สชีวมวลที่ได้จากกะลามะพร้าวจะให้ค่าความร้อนสูงสุดเนื่องจากมีส่วนประกอบของน้ำมันมะพร้าว



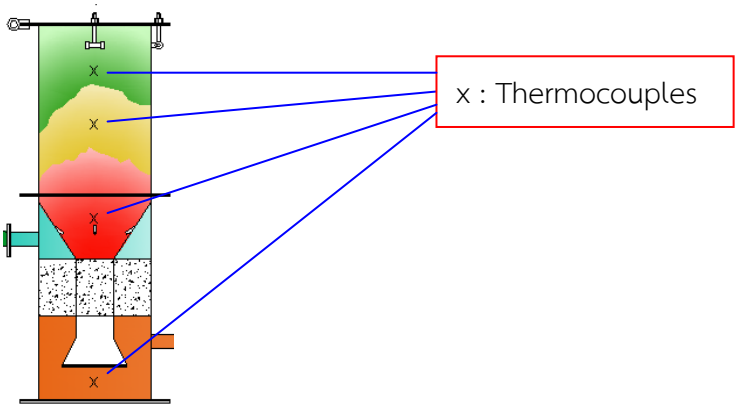
รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของแก๊สชีวมวล



รูปที่ 4.2 ค่าความร้อนของแก๊สชีวมวล (HHV)

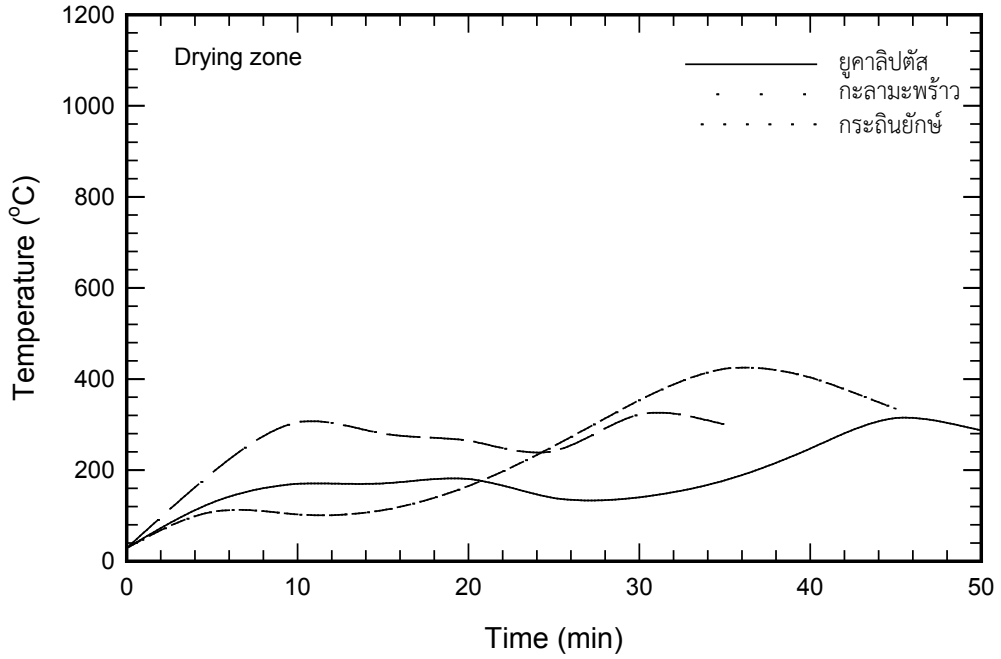
4.2 อุณหภูมิภายในเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลง (Downdraft Gasifier)

การทดสอบอุณหภูมิภายในเตาผลิตแก๊สได้ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเตาผลิตแก๊ส ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล 4 ตัว ใน 4 ส่วนของเตา คือ Drying zone, Pyrolysis zone, Combustion zone และ Reduction zone ดังแสดงในรูปที่ 4.3

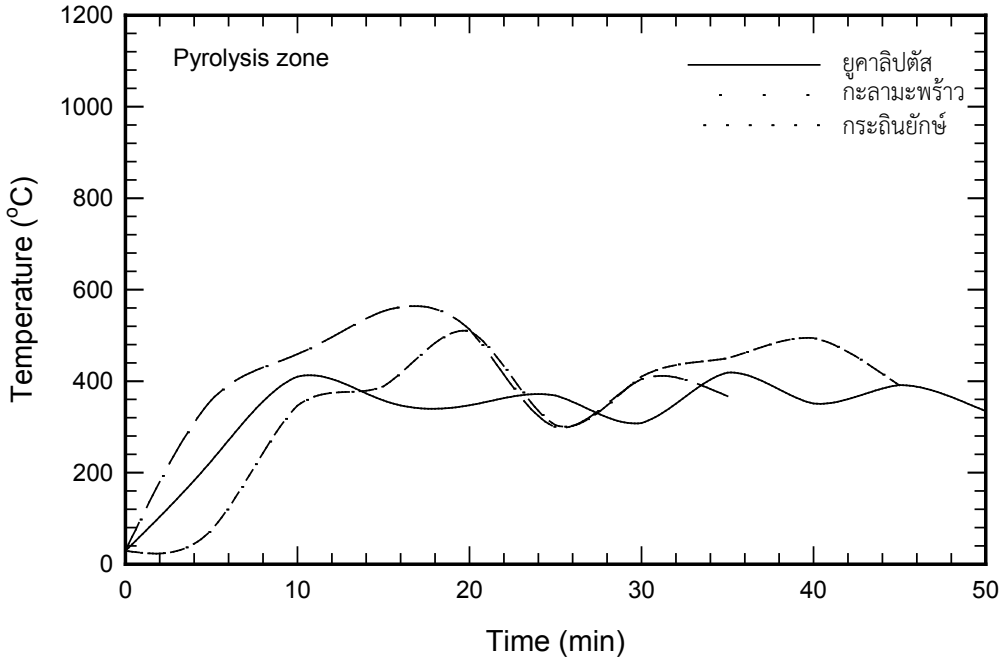


รูปที่ 4.3 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล

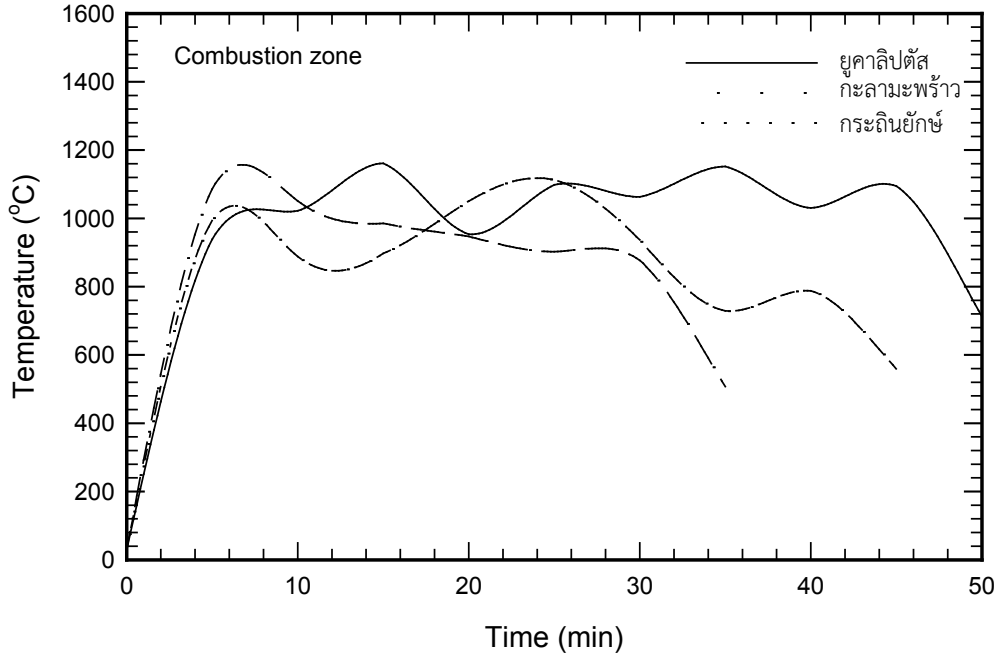
ในการทดสอบอุณหภูมิภายในเตาผลิตแก๊สจะเริ่มจับเวลาตั้งแต่เปิดฝาเตาผลิตแก๊ส จากนั้นบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแต่ละส่วนโดยใช้ Data Logger โดยบันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทุกๆ 5 นาที ซึ่งสามารถแสดงผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดังรูปที่ 4.4-4.7 ซึ่งสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิในส่วนของ Drying zone กรณีใช้ชีวมวลยูคาลิปตัสจะต่ำกว่าวัสดุชีวมวลกะลามะพร้าวและกระถินยักษ์ เนื่องจากเนื้อไม้มีความหนาแน่นและความชื้นมากกว่า ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิในส่วนนี้ต่ำลงและใช้เวลาในการอบแห้งนานขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.4 ในขณะที่กระถินยักษ์มีความพรุนในเนื้อไม้มากกว่าทำให้การอบแห้งใช้เวลาน้อย อย่างไรก็ตามอุณหภูมิในส่วนของ Drying zone มีค่าไม่เกิน 400 $^{\circ}$C เมื่อชีวมวลถูกอบแห้งแล้วจะถูกดำเนินการด้วยกระบวนการไพโรไลซิสใน Pyrolysis zone ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 600 $^{\circ}$C และทำการเผาไหม้ในส่วน Combustion zone ให้ทำให้ชีวมวลส่วนหนึ่งถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานทำสำหรับกระบวนการอบแห้งและไพโรไลซิส ซึ่งจะกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่ออุณหภูมิห้อง Combustion zone มีค่าประมาณ 1000 $^{\circ}$C หลังจากนั้นจะดำเนินการเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นแก๊สชีวมวลในส่วนของ Reduction zone ซึ่งอุณหภูมิ 400 – 600 $^{\circ}$C แก๊สชีวมวลที่ได้จะเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งประกอบด้วย CO, CH_4 และ H_2 เป็นหลักดังรูปที่ 4.1 ในขณะที่ปริมาณ CO_2 จะมีปริมาณใกล้เคียงกับ CO และ H_2 แสดงให้เห็นว่าชีวมวลมีการเผาไหม้สมบูรณ์ส่วนหนึ่งสำหรับเป็นพลังงานในการกระบวนการผลิตแก๊สชีวมวล



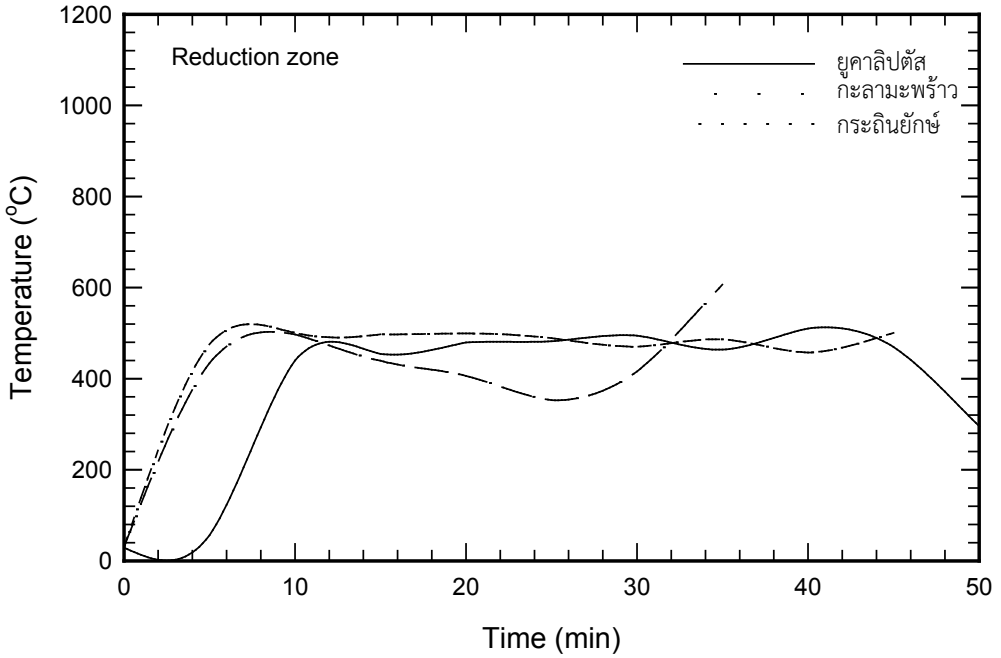
รูปที่ 4.4 อุณหภูมิใน Drying zone เมื่อใช้ชีวมวล น้ำหนัก 3 kg อัตราการป้อนอากาศ 150 litre/min



รูปที่ 4.5 อุณหภูมิใน Pyrolysis zone เมื่อใช้ชีวมวล น้ำหนัก 3 kg อัตราการป้อนอากาศ 150 litre/min



รูปที่ 4.6 อุณหภูมิใน Combustion zone เมื่อใช้ชีวมวล น้ำหนัก 3 kg อัตราการป้อนอากาศ 150 litre/min



รูปที่ 4.7 อุณหภูมิใน Reduction zone เมื่อใช้ชีวมวล น้ำหนัก 3 kg อัตราการป้อนอากาศ 150 litre/min

4.2 ผลการใช้แก๊สชีวมวลกับเครื่องยนต์เล็ก

ผลการผลิตแก๊สชีวมวล นอกจากจะได้แก๊สออกมาแล้วยังมี เถ้า น้ำมันดิน น้ำส้มควันไม้ และไอน้ำออกมาด้วย ถ้านำแก๊สชีวมวลไปเผาไหม้ในเครื่องยนต์โดยตรง โดยไม่มีกระบวนการกรองหรือแยกสิ่งเหล่านี้ ก็อาจจะมีผลกระทบต่อชิ้นส่วนของเครื่องยนต์หรือเกิดความเสียหายได้ ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ที่อาจจะได้รับผลกระทบ คือ หัวเทียน ห้องเผาไหม้ ลูกสูบ วาล์ว ดังนั้นถ้าจะนำแก๊สชีวมวลไปใช้กับเครื่องยนต์จะต้องมีกระบวนการดักหรือแยก เถ้า น้ำมันดิน น้ำส้มควันไม้ และไอน้ำออกจากแก๊สซิไฟเออร์ เพื่อให้เหลือเพียงแก๊สอย่างเดียวที่จะเข้าไปเผาไหม้ในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้สร้างระบบปรับปรุงคุณภาพแก๊สให้สะอาดก่อนเข้าเครื่องยนต์ โดยมีอุปกรณ์ดังนี้

1. ไซโคลนดักฝุ่น
2. แผงระบายความร้อน
3. ถังพักพร้อมกรองแก๊สก่อนเข้าเครื่องยนต์

จากทดลองเดินเครื่องยนต์โดยใช้แก๊สซิไฟเออร์เป็นเชื้อเพลิงเป็นเวลารวม 15 ชั่วโมง แล้วทำการตรวจสอบสภาพชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ ซึ่งได้ผลดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลกระทบต่อน้ำมันเครื่อง

รูปที่ 4.8 แสดงสภาพน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สชีวมวล จะเห็นว่า สีของน้ำมันเครื่องเป็นสีดำออกนวล อันเนื่องมาจากมีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และมีไอน้ำเข้ามาในกระบอกสูบ

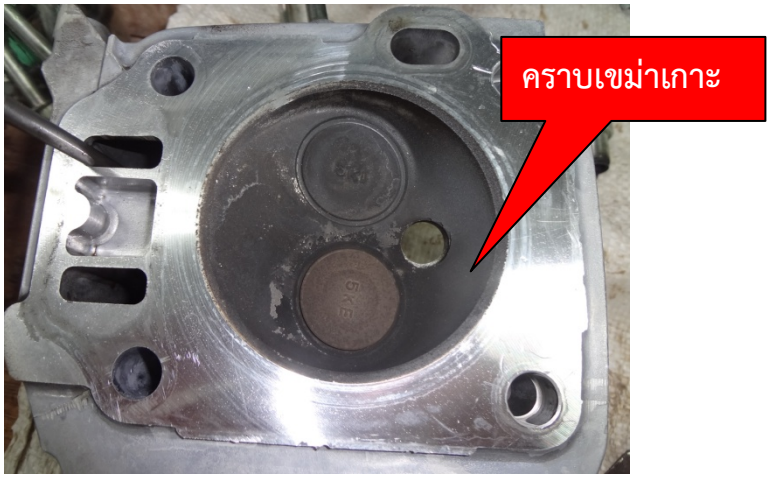
รูปที่ 4.8 สภาพน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สชีวมวล

4.2.2 ผลกระทบต่อหัวเทียน

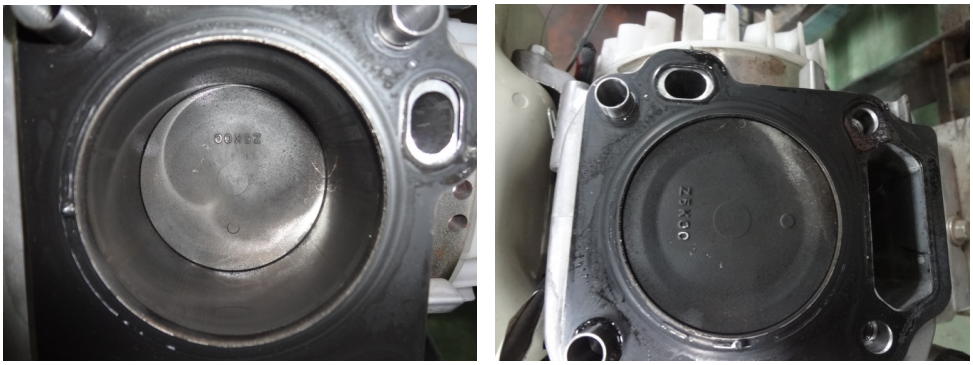
รูปที่ 4.9 แสดงสภาพหัวเทียนของเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สชีวมวล หัวเทียนมีเขม่าสีดำเกาะที่เขี้ยวหัวเทียน แสดงว่าคุณภาพของเชื้อเพลิงสะอาดไม่เพียงพอจึงเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

รูปที่ 4.9 สภาพหัวเทียนของเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สชีวมวล

4.2.3 ฝาสูบ กระบอกสูบ ลูกสูบ และวาล์ว



รูปที่ 4.10 สภาพฝาสูบ



(ก) (ข)

รูปที่ 4.11 สภาพ (ก) กระบอกสูบ (ข) หัวลูกสูบ

(ก) วาล์วไอดี (ข) วาล์วไอเสีย

รูปที่ 4.12 สภาพ วาล์ว ไอดี-ไอเสีย

จากรูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12 พบว่าทั้ง ฝาสูบ กระบอกสูบ หัวลูกสูบ และวาล์ว ไอดี-ไอเสีย มีเขม่าเกาะในปริมาณที่มาก แสดงว่ากระบวนการปรับปรุงสภาพแก๊สชีวมวลยังไม่เพียงพอ จึงทำให้แก๊สที่เข้าไปเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ยังไม่สะอาดเพียงพอ ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จึงมีเขม่าเกาะบริเวณ ฝาสูบ กระบอกสูบ หัวลูกสูบ และวาล์ว ไอดี-ไอเสีย เป็นจำนวนมาก

จากการศึกษาส่วนประกอบของแก๊สชีวมวลจะพบว่าสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ถึงแม้ว่าจะมีส่วนประกอบที่มีผลกระทบต่อชิ้นส่วนเครื่องยนต์ เมื่อทำการกรองและจัดการกับการกักเก็บที่เหมาะสม จะสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกได้เป็นอย่างดี

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาการผลิตแก๊สชีวมวลจากเศษชีวมวลทางการเกษตรเพื่อใช้ในเครื่องยนต์ทางการเกษตร : การปรับปรุงเครื่องยนต์เล็กเพื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สชีวมวล สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 อุณหภูมิที่เหมาะสมในส่วนห้องเผาไหม้ไม่ควรต่ำกว่า 1000 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่จะทำมีแก๊สชีวมวลออกมามากที่สุด ซึ่งสามารถทำได้โดยการควบคุมอัตราการป้อนของอากาศ

5.1.2 ปริมาณแก๊สชีวมวลที่ได้จากชีวมวลกะลามะพร้าวจะมีความเข้มข้นมากกว่าแก๊สชีวมวลที่ได้จากยูคาลิปตัสและไม้กระถินยักษ์ อย่างไรก็ตามอัตราการเผาไหม้กะลามะพร้าวจะเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าชีวมวลชนิดอื่น

5.1.3 ส่วนประกอบของแก๊สชีวมวลจะประกอบด้วยแก๊สหลักๆ 3 ชนิด ดังนี้คือ คาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรเจน และแก๊สไฮโดรคาร์บอน ซึ่งส่วนประกอบของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์และไฮโดรเจนจะมีปริมาณมากที่สุด นอกจากนั้นยังมีส่วนประกอบแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เถ้า น้ำมันดิน น้ำส้มควันไหม้ ไอน้ำ ซึ่งจะต้องทำการกรองก่อนนำไปใช้กับเครื่องยนต์ต่อไป

5.1.4 การใช้แก๊สชีวมวลกับเครื่องยนต์เล็กขนาด 9 แรงม้า พบว่าแก๊สที่ผ่านการกรองแล้วสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในการติดเครื่องยนต์ได้

5.1.5 ผลกระทบต่อชิ้นส่วนเครื่องยนต์เมื่อใช้ติดเครื่องยนต์นาน 15 ชั่วโมง พบว่ามีคราบไอน้ำ เขม่า ติด ซึ่งเกิดจากระบบการกรองที่ไม่สมบูรณ์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการทดลองจุดชีวมวลในเตาแก๊สซิไฟเออร์ช่วงแรก จะมีการเปิดฝาบนออก มีควันเป็นจำนวนมาก ควรมีระบบป้องกันควัน

5.2.2 แก๊สชีวมวลที่ได้มีส่วนประกอบของน้ำส้มควันไม้ เถ้า น้ำมันดิน และไอน้ำ ดังนั้น จำเป็นที่จะต้องทำการออกแบบระบบกรองที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

5.2.3 ควรออกแบบถุงแก๊สเพื่อเก็บแก๊สชีวมวลก่อนนำไปใช้กับเครื่องยนต์

บรรณานุกรม

ศรีณรงค์ ตู้ทองคำ, ธิติ ธาตรีนรานนท์และพงษ์วุฒิ สิทธิพล. (2536). ทฤษฎีแก๊สโซลีน, ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ, 2536.

สุเทพ ญาณวัฒน์. (2528). เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal combustion engine)", ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ

อุตสาห์ จิภากรและเชื้อชูคำ. (2539). เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal combustion engine), คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

Banapurmath N.R., Tewari P.G. and Sanjeev Garg. (2008). Combustion and emission characteristics of a direct injection CI engine when operated on Honge oil, Honge oil methyl ester (HOME) and blends of Honge oil methyl ester (HOME) and diesel, International Journal of Sustainable Energy, Vol.1 (2) :pp. 80–93

Eggen, A. C. W. and Kraatz, R. (1976). Gasification of Solid Waste in Fixed Beds. Mechanical Engineering, 24

Heywood, B. J. (1988). Internal combustion engine fundamentals", McGraw-Hill, Singapore

Kislov V. M., Glazov S. V., Chervonnaya N. A., Patronova L. I., Salganskaya M. V. and Manelis G. B. (2008). Biomass gasification under combustion conditions with superadiabatic heating. Solid Fuel Chemistry, Vol. 42(3) : pp.135-139

MitZalff, Klaus Von.(1988). Engine for biogas, theory, modification, econum, operation,Federal", Republic of Garmany

Md. Nurun Nabi, Md. Shamim Akhter and Mhia Md Zaglul Shahadat. (2006). Improvement of engine emissions with conventional diesel fuel and diesel–biodiesel blends, Bioresource Technology, Vol. 97 (3): pp. 372–378

M.K. Gajendra Babu. (2007). Studies on performance and exhaust emissions of a CI engine operating on diesel and diesel biodiesel blends at different injection pressures and injection timings, Society of Automotive Engineers, [Paper No.: 2007-01-0613]

Ramadhas A. S., Jayaraj S. and Muraleedharan C. (2008). Dual fuel mode operation in diesel engines using renewable fuels : Rubber seed oil and Coir-pith producer gas, Renewable Energy, Vol. 33 (9) : pp. 2077-2083

SERI, Golden, Colorado. (1979).Solar Energy Research Institute (SERI) Generator Gas – The Swedish Experience from 1939-1945, Chap 1

Taveesin LEKPRADIT, Siripol TONGORN, Nimit NIPATTUMMAKULand Somrat KERDSUWAN. (2008). Study on Advanced Injection Timing on a Dual-Fuel Diesel Engine with Producer Gas from a Down-Draft Gasifier for Power Generation, Journal of Metals, Materials and Minerals, Vol.18 (2): pp.169-173

Singh R. N., Singh S. P. and Pathak B S (2007). Performance of renewable fuel based CI engine, Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript EE0014. Vol. IX

Singh R. N., Singh S. P. and Pathak B. S. (2007). Investigations on operation of CI engine using producer gas and rice bran oil in mixed fuel mode, Renewable Energy, vol. 32: pp. 1565–1580

Shailendra Sinha, Avinash Kumar Agarwal and Sanjeev Garg. (2008). Biodiesel development from rice bran oil: transesterification process optimization and fuel characterization, Energy Conversion and Management, Vol. 49 (5): pp. 1248–1257

Yunus A. Cengel, and Michael A. Boles. (1994). Thermodynamics an engineering approach, Second Edition

ประวัตินักวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

1. ชื่อ - นามสกุล

1.1 ภาษาไทย ดร.ปรีชา ขันติโกมล

1.2 ภาษาอังกฤษ Dr. Preecha Khantikomol

2. ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

3. ตำแหน่งทางการบริหาร -

4. สังกัดสาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล **คณะ** วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

วิทยาเขต ศูนย์กลางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

5. ที่อยู่ที่ติดต่อได้

บ้านเลขที่ 744 หมู่ที่ - ตรอก/ซอย - ถนน สุรนารายณ์

ตำบล ในเมือง อำเภอ เมือง

จังหวัด นครราชสีมา รหัสไปรษณีย์ 30000

โทรศัพท์ 044-233-073 โทรสาร 044-233-074

โทรศัพท์มือถือ 080-470-5287 อีเมล์ preecha@rmuti.ac.th

6. วุฒิการศึกษา D.Eng. (Mechanical & Energy System Engineering)

7. สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ

- Transport Phenomena in Porous Media: Fluid Dynamics, Heat-Mass Transfer
- Pyrolysis and Gasification of Biomass
- Radiative Heat Transfer
- Advanced Fluid Dynamics

ประวัตินักวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

1. ชื่อ - นามสกุล

1.1 ภาษาไทย ดร.ไมตรี พลสงคราม

1.2 ภาษาอังกฤษ Dr. Maitree Polsongkram

2. ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์

3. ตำแหน่งทางการบริหาร -

4. สังกัดสาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล **คณะ** วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

วิทยาเขต ศูนย์กลางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

5. ที่อยู่ที่ติดต่อได้

บ้านเลขที่ 744 หมู่ที่ - ตรอก/ซอย - ถนน สุรนารายณ์

ตำบล ในเมือง อำเภอ เมือง

จังหวัด นครราชสีมา รหัสไปรษณีย์ 30000

โทรศัพท์ 044-233-073 โทรสาร 044-233-074

โทรศัพท์มือถือ 083-297-9197 อีเมล์ maitree@rmuti.ac.th

6. วุฒิการศึกษา D.Eng. (Mechanical Engineering)

7. สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ

- Fluid Mechanics
- Thermodynamics
- Heat and Mass Transfer
- Pyrolysis and Gasification of Biomass

ประวัตินักวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

1. ชื่อ - นามสกุล

1.1 ภาษาไทย การัณย์ หอมชาติ

1.2 ภาษาอังกฤษ Karun Homchart

2. ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์

3. ตำแหน่งทางการบริหาร -

4. สังกัดสาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล **คณะ** วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

วิทยาเขต ศูนย์กลางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

5. ที่อยู่ที่ติดต่อได้

บ้านเลขที่ 744 หมู่ที่ - ตรอก/ซอย - ถนน สุรนารายณ์

ตำบล ในเมือง อำเภอ เมือง

จังหวัด นครราชสีมา รหัสไปรษณีย์ 30000

โทรศัพท์ 044-233-073 โทรสาร 044-233-074

โทรศัพท์มือถือ 081-669-4701 อีเมล์ kar_hom@yahoo.com

6. วุฒิการศึกษา M.Eng. (Mechanical Engineering)

7. สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ

- Hydraulic & Pneumatics
- Fluid Machinery
- Pyrolysis of Biomass
- Biomass Gasification and Applications

ประวัตินักวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

1. ชื่อ - นามสกุล

1.1 ภาษาไทย อมรทัศน์ จั่วแจ่มใส

1.2 ภาษาอังกฤษ Amorntut Juajamsai

2. ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

3. ตำแหน่งทางการบริหาร -

4. สังกัดสาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล **คณะ** วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

วิทยาเขต ศูนย์กลางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

5. ที่อยู่ที่ติดต่อได้

บ้านเลขที่ 744 หมู่ที่ - ตรอก/ซอย - ถนน สุรนารายณ์

ตำบล ในเมือง อำเภอ เมือง

จังหวัด นครราชสีมา รหัสไปรษณีย์ 30000

โทรศัพท์ 044-233-073 โทรสาร 044-233-074

โทรศัพท์มือถือ 087-240-7439 อีเมล์ amonthut.ju@rmuti.ac.th

6. วุฒิการศึกษา วศ.บ.เครื่องกล

7. สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ - กลศาสตร์ของแข็ง

- Automotive Technology
- Energy and Environment
- Safety Engineering