

การศึกษาสมรรถนะของ ระบบผลิต ก๊าซชีวมวล
เพื่อใช้กับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

พฤษภาคม 2552

การศึกษาสมรรถนะของ ระบบผลิต ก๊าซชีวมวล
เพื่อใช้กับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
พฤษภาคม 2552

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การศึกษาสมรรถนะของ ระบบผลิต ก๊าซชีวมวล
เพื่อใช้กับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
พฤษภาคม 2552

สุวิทย์ ม่วงคุณ (2552). การศึกษาสมรรถนะของ ระบบผลิต ก๊าซชีววมวลเพื่อใช้กับระบบผลิต

กระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก. ปรินูญานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ :

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ . คณะกรรมการควบคุม :

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชัย อัญมมงคล , รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล นาผล

งานวิจัยฉบับนี้ กล่าวถึง การศึกษาสมรรถนะและการออกแบบของ ระบบผลิตก๊าซชีววมวลแบบ ไหลลง(Down Draft) เพื่อใช้กับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก จากการใช้ เศษไม้ , ถ่านไม้ เป็น เชื้อเพลิง ขอบเขตของการวิจัยครอบคลุมถึง การ ศึกษาลักษณะการทำงาน , ออกแบบ ระบบผลิตก๊าซชีววมวล ชนิด Down Draft ทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตก๊าซชีววมวล ชนิด Down Draft ที่สร้างขึ้น จากการใช้ เศษไม้ และ ถ่านไม้ เป็นเชื้อเพลิง และใช้ก๊าซที่ผลิตได้ กับระบบผลิตกระแสไฟฟ้า ตรวจวัดองค์ประกอบ คุณสมบัติของก๊าซชีววมวลที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซในการผลิตไฟฟ้า และการ วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ในการศึกษาสมรรถนะและออกแบบระบบผลิตก๊าซชีววมวล ใช้ก๊าซที่ผลิตได้ สำหรับ ระบบผลิต กระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก เพื่อใช้งานสำหรับอาคารที่พักอาศัย หรืออุตสาหกรรมขนาดเล็ก เตาผลิตก๊าซที่ ออกแบบ แบ่งเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วยส่วนเดิมเชื้อเพลิง ส่วนกลางเป็นส่วนการเผาไหม้ และการ ถ่ายเทความร้อน ส่วนล่างสำหรับเก็บถ้ำ เศษไม้ที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงได้จากวัสดุที่เหลือใช้จาก การเกษตร ส่วนประกอบทางเคมีของเศษไม้ มีค่า C , H , N , O , S และความชื้น W เท่ากับ 41.75 % , 5.17 % , 0.14 % , 42.93% , 0.0 % และ 9.01 % ตามลำดับ จากการออกแบบ พบว่า ในการผลิตพลังงาน ไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีววมวลสำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก ค่าพลังงานทางกลที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ปริมาณ เท่ากับ 5.86 kW และ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าเท่ากับ 4.69 kW ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเศษไม้ ในอัตรา 3.5 kg/ hr และผลิตก๊าซชีววมวลได้ 10.72 Nm³/hr ซึ่งก๊าซเชื้อเพลิงประกอบด้วย CO , CH₄ , CO₂ , O₂ , N₂ , H₂ , C_nH_m เท่ากับ 15.23% , 0.83% , 6.99% , 2.79% , 54.44% , 12.91% , 2.11% ตามลำดับ ค่าความร้อนของก๊าซชีววมวล 5.0 MJ/Nm³ ประสิทธิภาพการทำงานของระบบการผลิตก๊าซชีววมวล 70 % และสามารถใช้อุณหภูมิรวมกับน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ เครื่องยนต์ก๊าซดีเซลขนาดเล็ก ขนาดกำลังสูงสุด 8.21 kW ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด (Generator) 5.0 kW สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในอัตรา 3.37 กิโลวัตต์ ซึ่งในระบบดังกล่าว ต้นทุน เครื่องจักรกลและการดำเนินงาน วัตถุประสงค์ คิดเป็นต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 15.3 บาทต่อหน่วย ผลิตไฟฟ้า ได้ 8,897 kWh/ปี เป็นรายได้จากการขายไฟฟ้าเข้าระบบของการไฟฟ้า หรือ จากการผลิตไฟฟ้าใช้เอง 36,212 บาท/ปี โดยเป็นรายได้สุทธิ 8,932 บาท /ปี ระยะเวลาการคืนทุน 12.3 ปี ซึ่งเหมาะสำหรับ พื้นที่ที่อยู่ห่างไกล และระบบการไฟฟ้าเข้าไม่ถึง เช่น พื้นที่บนที่สูง ตามภูเขา รีสอร์ท บนเกาะ สามารถ ใช้เป็นระบบไฟฟ้าสำรองได้ และสามารถปรับปรุงการผลิตพลังงานในด้านต่างๆ ได้อีกมากตาม

กระบวนการใช้งาน และการออกแบบระบบสามารถเปลี่ยนใช้วัสดุชีวมวลประเภทต่างๆ เช่น เศษไม้ วัสดุเหลือใช้อื่นๆ ที่ได้จากการเกษตร เป็นพลังงานทดแทนสำหรับการใช้งานด้านต่างๆ ในระบบ พานิชย์ และ ระบบ อุตสาหกรรม



:

PERFORMANCE STUDY OF BIOMASS GASIFICATION
FOR SMALL ELECTRICAL GENERATION



AN ABSTRACT
BY
SUWIT MUANGKHUN

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Engineering Degree in Mechanical Engineering
at Srinakharinwirot University

May 2009

Suwit Muangkhun. (2009) . *Performance Study of Biomass Gasification for Small Electrical Generation*. Master Degree Thesis M.Eng. (Mechanical Engineering) .

Bangkok : Graduate School , Srinakharinwirot University. Advisor Committee :

Asst. Prof. Dr. Pichai Assasamongkon , Prof. Dr. Paisarn Naphun

The purpose of this research was to study the performance of a biomass gasifier for small electrical generation. The gasifier was a cylindrical downdraft type. Experiments were carried out to determine parameters such as thermal characteristics of the gasification process, thermal properties of the resulting gas and electrical power generation. Economical analysis was also carried out to determine the payback period to operate this system.

The chemical composition of woodchip as a raw material are C41.75 % , H 5.17%, N 0.14%, O 42.93%, S 0.0% and Moisture content of W 9.01 %. The experimental results show that the maximum mechanical output of this engine was 5.86 kW and the maximum electrical output (generator efficiency = 0.8) was 4.69 kW respectively with the fuel consumption of 3.5 kg/hr and composition of the product gas were 15.23% CO , 0.83% CH₄ , 6.99% CO₂, 2.79%, O₂ , 54.44%, N₂ , 12.91%, H₂ and 2.11% C_nH_m. Heating value of the product gas was 5.0 MJ/Nm³ and the thermal efficiency of the gasifier was 70 %. The diesel engines operated on dual –fuel mode with maximum capacity of 8.21 kW and electrical generator had capacity of 5.0 kW. The electrical power produce from the system was 3.37 kW. The electrical power production cost was 15.3 Baht/unit and payback period of the system was 12.3 year. It can be conclude that this system can be use in the remote area for electrical power generation.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การศึกษามรรณนะของระบบผลิตก๊าซชีวมวล
เพื่อใช้กับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก

ของ
สุวิทย์ ม่วงคุณ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวិชากรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย สันติวัฒนกุล)

วันที่ เดือน พ.ศ. 2552

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชัย อัมมมงคล) (พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง)

.....กรรมการ

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล นาผล)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชัย อัมมมงคล)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล นาผล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุฑารัตน์ คุรุเจริญ)

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือแนะนำและสนับสนุนของอาจารย์ที่ปรึกษา และนักวิชาการ ซึ่งทำให้ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และ ขอบขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาและนักวิชาการ คือ ผศ.ดร.พิชัย อัญมมงคล, รศ.ดร.ไพศาล นาคผล, อาจารย์ สมมาตร แก้วล้วน และดร. พิทักษ์ สุวรรณภูมิ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ให้แนวคิดในการวิเคราะห์ และช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น และชี้ แนวทางที่เป็นประโยชน์อย่างสูงต่อการวิจัย ตลอดจนช่วยกรุณาตรวจแก้ปริญญานิพนธ์จนสมบูรณ์

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมชั้น โครงการความร่วมมือหลักสูตรปริญญาโท มศว. และ รร. จปร.สาขา วิศวกรรมเครื่องกล รุ่น 3 ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ

ท้ายนี้ ผู้จัดทำขอน้อมรำลึกถึงคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาท วิชาความรู้ ขอ ขอบพระคุณบิดา – มารดา และขอขอบคุณท่านอาจารย์ นักวิชาการ และเพื่อนร่วมชั้น ดังกล่าวมา ณ. โอกาสนี้ด้วย

สุวิทย์ ม่วงคุณ

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือแนะนำและสนับสนุนของอาจารย์ที่ปรึกษา และนักวิชาการ ซึ่งทำให้ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และ ขอบขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาและนักวิชาการ คือ ผศ.ดร.พิชัย อภัยมงคล,รศ.ดร.ไพศาล นาผล ,อาจารย์ สมมาตร แก้วล้วน และดร. พิทักษ์ สุวรรณบุญ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ให้แนวคิดในการวิเคราะห์ และช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น และชี้แนวทางที่เป็นประโยชน์อย่างสูงต่อการวิจัย ตลอดจนช่วยกรุณาตรวจแก้ปริญญานิพนธ์จนสมบูรณ์

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมชั้น โครงการความร่วมมือหลักสูตรปริญญาโท มศว. และ รร. จปร.สาขา วิศวกรรมเครื่องกล รุ่น 3 ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ

ท้ายนี้ ผู้จัดทำขอน้อมรำลึกถึงคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาท วิชาความรู้ ขอขอบพระคุณบิดา- มารดา และขอขอบคุณท่านอาจารย์ นักวิชาการ และเพื่อนร่วมชั้น ดังกล่าวมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สุวิทย์ ม่วงคุณ

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
การใช้พลังงานจากชีวมวล	1
สรุปเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย	8
ขอบเขตการศึกษาวิจัย	9
การดำเนินงานการศึกษาวิจัย	9
แผนงานการดำเนินงานการศึกษาวิจัย	10
ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎีและเชิงประยุกต์	11
สถานที่ที่ใช้ในการดำเนินการและรวบรวมข้อมูล	11
2 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานระบบการผลิตก๊าซชีวมวล	12
กระบวนการผลิตก๊าซชีวมวล	12
เคมีพื้นฐานของกระบวนการผลิตก๊าซ	14
บริเวณการเกิดปฏิกิริยาในเตาผลิตก๊าซ	24
ชนิดของกระบวนการผลิตก๊าซ	27
ชนิดของเตาผลิตก๊าซชีวมวล	29
ค่าพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวล	34
การวิเคราะห์พลังงานความร้อนของระบบผลิตก๊าซชีวมวล	38
การหาค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ต่อกิโกรัมของวัสดุเชื้อเพลิง	41
การหาประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซชีวมวล	42
เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก	43
3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานทดลอง	47
4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง	58
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	75

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม.....	80
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	82
ภาคผนวก ข	87
ภาคผนวก ค	91
ประวัติย่อผู้วิจัย	112



บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงอุณหภูมิการจุดไฟของเชื้อเพลิงบางชนิดผสมกับ อากาศที่ความดัน 1 บรรยากาศ	20
2 แสดงขีดจำกัดของการเกิดเปลวไฟของเชื้อเพลิงบางชนิด ผสมกับอากาศที่ความดัน 1 บรรยากาศ	21
3 แสดงค่าความร้อนที่ได้จากไม้ที่มีค่าความชื้นต่างๆ กัน	35
4 แสดงการคำนวณเกี่ยวกับการเผาไหม้	36
5 แสดงรายละเอียดของการออกแบบเตาผลิตก๊าซแบบไหลลง.....	59
6 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวล	59
7 แสดงรายละเอียดค่าพลังงานที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ ขนาดเล็ก 4 จังหวะ	60
8 แสดงข้อมูลของกระบวนการผลิตก๊าซชีวมวล	60
9 แสดงองค์ประกอบต่างๆในกระบวนการผลิตก๊าซชีวมวล	63
10 แสดงผลการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซล จากการใช้เชื้อเพลิง น้ำมันดีเซลเป็น เชื้อเพลิงหลัก	65
11 แสดงผลการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซล จากการใช้เชื้อเพลิง ก๊าซชีวมวล ร่วมกับ น้ำมันดีเซล ในการ ผลิตกระแสไฟฟ้า	67
12 แสดงข้อมูลเบื้องต้น สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก	73
13 แสดงรายละเอียดการคำนวณรายได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้า	72
14 แสดงรายละเอียดการคำนวณผลตอบแทนการลงทุน	73
15 แสดงรายละเอียดของการออกแบบเตาผลิตก๊าซแบบไหลลง	75
16 แสดงรายละเอียดข้อมูลค่าพลังงานจากการออกแบบที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ ขนาดเล็ก 4 จังหวะ	76
17 รายละเอียดระบบผลิตก๊าซชีวมวล ใช้ก๊าซที่ผลิตได้ สำหรับ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก	77
18 แสดงสมการปฏิกิริยาเกี่ยวกับการเผาไหม้	87
19 แสดงคุณสมบัติ ของวัสดุชีวมวลชนิดต่างๆ	87
20 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิง ประเภท เศษไม้	88

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
21 แสดงคุณสมบัติของก๊าซ ชีวมวลที่ผลิตได้จากเชื้อเพลิง ประเภท เศษไม้	88
22 แสดงองค์ประกอบของค่าพลังงานของก๊าซที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซชีวมวล ...	89
23 แสดงคุณสมบัติของค่าความชื้นของเชื้อเพลิงประเภทเศษไม้	90
24 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวล ประเภทเศษไม้	102
25 แสดงองค์ประกอบของก๊าซที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซชีวมวล	103
26 แสดงองค์ประกอบของค่าพลังงานของก๊าซที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซชีวมวล ...	103



บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตก๊าซชีวมวล	13
2 ภาพแสดงค่าพลังงานของกระบวนการผลิตก๊าซ	13
3 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ในเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	16
4 แสดงความสัมพันธ์ค่าความร้อนที่ถูกต้องเพื่อนำไปใช้งาน เป็น ค่าความร้อนข้างต่ำ ระหว่างอากาศแห้ง หรืออากาศ / ออกซิเจนในส่วน Biomass Reaction ในเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	17
5 แสดงการสูญเสียน้ำหนักของชีวมวลโดยการย่อยสลายด้วยความร้อน	19
6 แสดงแปลวไฟการเผาไหม้เชื้อเพลิง	20
7 แสดงอุณหภูมิของการเผาไหม้ชีวมวลชนิดต่างๆที่อัตราส่วน สมมูล ตั้งแต่ 0 ถึง 1.2	23
8 แสดงองค์ประกอบของก๊าซที่อัตราส่วนสมมูลตั้งแต่ 0 ถึง 1.2	23
9 แสดงพลังงานของก๊าซที่อัตราส่วนสมมูลต่างๆ	24
10 แสดงบริเวณ การเกิดปฏิกิริยาในเตาผลิตก๊าซแบบไหลลง (Downdraft)	25
11 แสดงเตาผลิตก๊าซชีวมวลชนิด Updraft	30
12 แสดงเตาผลิตก๊าซชีวมวลชนิด Downdraft	31
13 แสดงเตาผลิตก๊าซชีวมวลชนิด Cross draft	32
14 แสดงเตาผลิตก๊าซชีวมวลชนิด Fluidized Bed	33
15 แสดงเตาผลิตก๊าซชีวมวลชนิด Suspended	34
16 แสดงแบบจำลองเตาผลิตก๊าซแบบไหลลง (Downdraft)	48
17 แสดงส่วนประกอบต่างๆของเตาผลิตก๊าซส่วนของ ของ Drying zone และ Pyrolysis zone , Support	48
18 แสดงส่วนประกอบต่างๆของเตาผลิตก๊าซส่วนของ ของ Combustion zone และ Reduction Zone	48
19 ชุดพัดลมเติมอากาศเข้าระบบเตาผลิตก๊าซชีวมวล	49
20 แสดงส่วนประกอบต่างๆของเตาผลิตก๊าซส่วนของ Gas Cyclone	49
21 ชุดลดความชื้นของก๊าซ	50

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
22 แสดงส่วนประกอบชุดหล่อเย็น ก๊าซ	50
23 เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก (Small Diesel Engine)	51
24 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternative Generator)	52
25 ชุดอุปกรณ์ทดสอบระบบไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ตรวจวัด	53
26 ชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ผล	53
27 ชุดอุปกรณ์การทดลองและอุปกรณ์ทดสอบไฟฟ้าแสงสว่าง	53
28 ชุดอุปกรณ์การทดลองและผลการทดสอบไฟฟ้าแสงสว่าง	54
29 แสดงเชื้อเพลิงชีวมวล ประเภท เศษไม้	54
30 แสดงเครื่องยนต์ขนาดเล็กพร้อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	54
31 แสดงแผนภูมิอุปกรณ์การทดลอง	56
32 การทดสอบก๊าซชีวมวลที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซชีวมวล	58
33 การทดสอบของระบบชุดเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบไหลลง และชุดเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก พร้อมเครื่องกำเนิด ไฟฟ้า	58
34 แสดงการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่ง ต่างๆ ของชุดผลิตก๊าซชีวมวล	61
35 พัฒนาการของอุณหภูมิ ตามตำแหน่งต่างๆ ของชุดผลิตก๊าซชีวมวล ใช้เชื้อเพลิง ชนิดเศษไม้	61
36 พัฒนาการของอุณหภูมิ ตามตำแหน่งต่างๆ ของชุดผลิตก๊าซชีวมวล ใช้เชื้อเพลิง ชนิดเศษไม้ ร่วมกับ ถ่านไม้	62
37 กราฟแสดงพัฒนาการของอุณหภูมิ ตามตำแหน่งต่างๆ ของชุดผลิตก๊าซชีวมวล ใช้เชื้อเพลิง ชนิด เศษไม้	62
38 ชุดเครื่องยนต์ดีเซล ขนาดเล็ก พร้อม ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	64
39 ชุดทดสอบระบบไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	64
40 กราฟแสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว เมื่อโหลดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1500 rpm.....	66
41 กราฟแสดงสมรรถนะโดยรวมของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ร่วมกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล เมื่อภาระโหลดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นที่ความเร็ว รอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm	68

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
42 กราฟแสดงปริมาณเปรียบเทียบอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิง ที่ความเร็วรอบ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ คงที่ ที่ 1,500 rpm	68
43 กราฟแสดงปริมาณเปรียบเทียบอัตราการผลิตเชื้อเพลิง ที่ความเร็วรอบ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ คงที่ ที่ 1,500 rpm	69
44 กราฟแสดงปริมาณเปรียบเทียบอัตราการผลิตเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ คงที่ ที่ 1,500 rpm.	70
45 กราฟแสดงปริมาณเปรียบเทียบพลังงานสิ้นเปลืองจำเพาะเบรก ที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ คงที่ ที่ 1,500 rpm	71
46 กราฟแสดงปริมาณเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก ที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ คงที่ ที่ 1,500 rpm	71
47 แผนภูมิของระบบการผลิตก๊าซชีวมวล ระบบผลิตกระแสไฟฟ้า พร้อมอุปกรณ์	82
48 ชุดอุปกรณ์ประกอบต่างๆของเตาผลิตก๊าซชีวมวล i.....	83
49 แสดงชุดอุปกรณ์ประกอบการตรวจวัด อุณหภูมิของเตาผลิตก๊าซชีวมวล	84
50 ภาพแสดงชุดเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	84
51 ภาพแสดงเชื้อเพลิงชีวมวล ประเภทเศษไม้ , ถ่านไม้	84
52 ภาพแสดงการทดสอบ ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ จากเตาผลิตก๊าซ ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล ประเภทเศษไม้ พร้อมอุปกรณ์	85
53 ภาพของระบบการผลิตก๊าซชีวมวล เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก พร้อมเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า พร้อมอุปกรณ์	85
54 ภาพการทดสอบระบบแสงสว่าง จากระบบผลิตกระแสไฟฟ้า พร้อมอุปกรณ์	86
55 ภาพอุปกรณ์ชุดตรวจวัดปริมาณน้ำมัน และอุปกรณ์ คววม ปริมาณก๊าซ จ่ายเข้าเครื่องยนต์	86
56 ภาพเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบไหลลง	101



บทที่ 1

บทนำ

กล่าวนำ

การใช้พลังงานมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ และแหล่งพลังงานต่างๆของโลกที่กำลังจะหมดลงในอนาคตอันใกล้นี้ ทำให้ราคาของพลังงานต่างๆ มีมูลค่าสูงขึ้นจึงจำต้องค้นหาวิธีการใช้พลังงานอย่างประหยัดและใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์มากที่สุด อีกทั้งยังต้องหาแหล่งพลังงานอื่นๆมาทดแทนได้ในปัจจุบันระบบเตาผลิตก๊าซที่ใช้ในสถานที่และอุตสาหกรรมต่างๆ จะใช้แหล่งพลังงานดังต่อไปนี้ น้ำมัน แก๊สปิโตรเลียมเหลว แก๊สหุงต้ม แก๊สอื่นๆ ถ่านหิน เป็นต้น ในการใช้แหล่งพลังงานดังกล่าว ทำให้ราคาของพลังงานมีมูลค่าสูง และแหล่งพลังงานบางอย่างมีปริมาณน้อยลง พร้อมกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่างๆ

ในระบบเตาผลิตก๊าซ ชีวมวล สำหรับงานอาคารสถานที่ และอุตสาหกรรมต่างๆ สามารถ นำพลังงานชีวมวล มาจากแหล่ง ต่างๆ เช่น เศษไม้ เศษขี้เลื่อย ชานอ้อย แกลบ เป็นต้น โดยออกแบบเตาผลิตก๊าซชีวมวล การศึกษาประสิทธิภาพ วิเคราะห์สมรรถนะ และค่าตัวแปรต่างๆ พร้อมทั้งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ประโยชน์ของระบบเตาผลิตก๊าซชีวมวล ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานแทนก๊าซธรรมชาติ ก๊าซโซลีน หรือน้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ และสามารถนำพลังงานดังกล่าวไปใช้ สำหรับเครื่องยนต์แก๊สซิฟิเคชันเพื่อผลิตพลังงานต่างๆ สามารถนำไปใช้ภายในอาคารและอุตสาหกรรม เช่น ระบบผลิตไฟฟ้า , เป็นต้น กำลังขับเคลื่อนเครื่องจักรกลในทางเกษตร ,ระบบการทำน้ำร้อน ,ระบบการฆ่าเชื้อโรค , ประกอบอาหาร และกิจกรรมอื่นตามความต้องการและเหมาะสมกับชนบทที่อยู่ห่างไกล สามารถผลิตไฟฟ้า ใช้เองได้ ดังนั้นการใช้จึงมีประโยชน์ต่อสุขภาพพลานามัยและกิจกรรมต่างๆที่ใช้ในชีวิตประจำวันได้ดี และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ และการลงทุนของระบบการผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานต่างๆ ที่เหมาะสมกับการใช้งานในอาคารหรืออุตสาหกรรม

1.1 การใช้พลังงานจากชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ และสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม การเกษตร ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่หาได้ในประเทศ อาทิ เศษไม้ แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย ชังข้าวโพด กากและกะลาปาล์ม เหง้ามันสำปะหลัง เป็นต้น รวมถึงมูลสัตว์ ของเสียจากการแปรรูปสินค้าเกษตร น้ำเสียจากชุมชน และขยะ ซึ่งชีวมวลเหล่านี้สามารถนำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า กระบวนการทางเคมี กระบวนการทำความร้อนต่างๆ

การแบ่งชีวมวลตามแหล่งที่มา

1. **พืชผลการเกษตร (Agricultural Crops)** เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่างหวาน ที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต แป้ง และน้ำตาล รวมถึงพืชน้ำมันต่างๆ ที่สามารถนำน้ำมันมาใช้เป็นพลังงานได้
2. **เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural Residues)** เช่น ฟางข้าว เศษลำต้นข้าวโพด ชังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง
3. **ไม้และเศษไม้ (Wood and Wood Residues)** เช่น ไม้โตเร็ว ยูคาลิปตัส ไม้ยางพารา กระถิน ผนังเศษไม้จากโรงงานผลิตเครื่องเรือนและโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ เป็นต้น
4. **ของเหลือจากอุตสาหกรรมและชุมชน (Waste Streams)** เช่น กากน้ำตาลและขานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลกลั่นจากโรงสีข้าว จี๊เหลืจากโรงงานแปรรูปไม้ เส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม นอกจากนั้นยังรวมถึงขยะอินทรีย์ชุมชน น้ำมันบริโภคใช้แล้วจากพืชและสัตว์ และน้ำเสียจากชุมชนหรืออุตสาหกรรมเกษตรที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ด้วย

ประโยชน์ของพลังงานชีวมวล

- ช่วยทำให้เศรษฐกิจของชุมชนมีความเจริญเติบโตมากขึ้นเนื่องจากโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจาก เชื้อเพลิงชีวมวลและก๊าซชีวมวลสามารถช่วยพัฒนาอุตสาหกรรมต่อเนื่องในท้องถิ่น การพัฒนาชุมชน
- ทำให้มีรายได้เพิ่มขึ้นเนื่องจากสามารถขายได้ทั้งผลผลิตการเกษตรและเศษวัสดุการเกษตรที่เคยทิ้งโดยเปล่าประโยชน์จะกลับมามีราคาขายได้ ซึ่งช่วยเพิ่มรายได้ อีกทางหนึ่ง
- ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานความร้อน และการผลิตกระแสไฟฟ้า ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล เนื่องจากพืชปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) (ซึ่งเป็นตัวก่อฝนกรดและโอโซน (O_3) ในระดับพื้นดิน) น้อยมาก และไม่เพิ่มระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากพืชต้องดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ เพื่อการเจริญเติบโตหรือการเพิ่มมวลสาร (หรือชีวมวล) ของตนเอง ผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์แสง เป็นการลดปัญหาการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีผลต่ออุณหภูมิของโลกที่กำลังเพิ่มสูงขึ้น

- การผลิตกระแสไฟฟ้าของประเทศจะเพิ่มขึ้น และมีความมั่นคง โดยการมีโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลขนาดเล็กกระจายอยู่ตามภูมิภาคต่างๆ ทั่วประเทศ ทำให้ปัญหาไฟดับในพื้นที่ห่างไกลจะลดลงหากมีโรงไฟฟ้าขนาดเล็กไปอยู่ใกล้

กระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปต่างๆ มีดังนี้คือ

1. **การเผาไหม้โดยตรง (Combustion)** เมื่อนำชีวมวลมาเผา จะได้รับความร้อนออกมาตามค่าความร้อนของชีวมวลนั้นๆ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สามารถนำไปใช้ในการผลิตความร้อน และไอน้ำมีอุณหภูมิและความดันสูง การนำความร้อนใช้ในการกระบวนการทางผลิตต่างๆ เช่น ผลิตไอน้ำ น้ำร้อน ไอน้ำนี้จะถูกนำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป เชื้อเพลิงชีวมวลดังกล่าวได้แก่ เศษวัสดุทางการเกษตรและเศษไม้
2. **การผลิตแก๊ส (Gasification)** การผลิตแก๊สเป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้นี้เรียกว่าแก๊สชีวภาพ (Biogas) มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทน แก๊สไฮโดรเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สชีวภาพนี้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการทำความร้อน กังหันแก๊ส (Gas Turbine) เครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า รถยนต์ การหุงต้มอาหาร
3. **การหมัก (Fermentation)** เมื่อนำชีวมวลมาหมักด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ ชีวมวลจะถูกย่อยสลายและแตกตัว เกิดเป็นแก๊สชีวภาพ (Biogas) ที่มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทนใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้ยังสามารถใช้ขยยะอินทรีย์ชุมชน มูลสัตว์ น้ำเสียจากชุมชนหรืออุตสาหกรรมเกษตรเป็นแหล่งวัตถุดิบชีวมวลก็ได้
4. **การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช กระบวนการที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช มีดังนี้**
 - o **กระบวนการทางชีวภาพ :** ทำการย่อยสลายแป้ง น้ำตาล และเซลลูโลสจากพืชผลทางการเกษตร เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่างหวาน ถากน้ำตาล และเศษลำต้นอ้อย ให้เป็นเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวในเครื่องยนต์เบนซิน
 - o **กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมี :** โดยสกัดน้ำมันออกจากพืชน้ำมัน จากนั้นจึงนำน้ำมันที่ได้ไปผ่านกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification) เพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล

- o กระบวนการใช้ความร้อนสูง : เช่น กระบวนการไพโรไลซิส เมื่อวัสดุทางการเกษตรได้รับความร้อนสูงในสภาพไร้ออกซิเจน จะเกิดการสลายตัว เกิดเป็นเชื้อเพลิงในรูปของเหลวและแก๊สผสมกัน

เทคโนโลยีที่ใช้ในการแปรรูปชีวมวลที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันเพื่อปรับปรุงคุณภาพให้มีคุณค่ามากขึ้นกว่าเดิมนั้นสามารถจำแนกได้ 2 เทคโนโลยีหลักๆ คือ กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีชีวเคมี (Biochemical Conversion Process) และ กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้พลังงานความร้อน (Thermochemical Conversion Process) โดยที่กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้พลังงานความร้อนนี้ยังสามารถจำแนกออกเป็นกระบวนการย่อยๆ ได้อีก 3 กระบวนการ คือ

- กระบวนการเผาไหม้
- กระบวนการไพโรไลซิส
- และกระบวนการแกลิฟิเคชัน

ทั้งนี้ลักษณะความแตกต่างของแต่ละกระบวนการนั้นขึ้นอยู่กับสถานะที่ใช้ในการดำเนินการและวัตถุประสงค์หรือผลิตภัณฑ์หลักที่ต้องการ

กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีชีวเคมีจะเป็นกระบวนการที่ใช้สถานะในการดำเนินงานที่รุนแรงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้พลังงานความร้อน แต่วิธีการนี้ค่อนข้างที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่แน่นอนซึ่งจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลค่อนข้างมาก จึงทำให้กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้พลังงานความร้อนมีความน่าสนใจมากกว่าทั้งในแง่ของปริมาณและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่หลากหลายกว่ากระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีชีวเคมี โดยที่กระบวนการไพโรไลซิสและกระบวนการแกลิฟิเคชันนั้นมีความน่าสนใจมากกว่ากระบวนการเผาไหม้ ทั้งนี้เนื่องจากมีข้อได้เปรียบมากกว่ากระบวนการเผาไหม้อยู่หลายประการ อาทิเช่น กระบวนการเผาไหม้นั้นจำเป็นต้องติดตั้งระบบปรับปรุงคุณภาพแก๊สจากกระบวนการเผาไหม้ก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ เพราะอาจจะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ในบางส่วนซึ่งก่อให้เกิดแก๊สมลภาวะ รวมทั้งกระบวนการไพโรไลซิสและกระบวนการแกลิฟิเคชันนั้นให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่ามากกว่ากระบวนการเผาไหม้ที่ได้พลังงานความร้อนเพียงอย่างเดียว

กระบวนการไพโรไลซิสและกระบวนการแกลิฟิเคชันนั้นมีความคล้ายคลึงกันมาก เมื่อพิจารณาแล้วกระบวนการไพโรไลซิสนั้นนับว่าเป็นกระบวนการเริ่มต้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วกระบวนการไพโรไลซิสจะเกิดได้เร็วกว่ากระบวนการแกลิฟิเคชัน ขึ้นตอนโดยรวมนั้นเริ่มจาก การทำให้ชีวมวลซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ประกอบไปด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 20 – 30 โดยน้ำหนักนั้นปราศจากน้ำโดยอาศัยกระบวนการทำแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 120 – 150 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นชีวมวลจะถูกให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิประมาณ 500 – 600 องศาเซลเซียส เพื่อทำลายพันธะทางเคมีของ

โมเลกุลซึ่งเป็นขั้นตอนของกระบวนการไพโรไลซิสได้เป็นผลิตภัณฑ์จำพวกแก๊สต่างๆ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจน ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่สามารถกลั่นตัวได้ เช่น น้ำ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก อะซิโตน เมธานอล เมทิลอะซิเตท ฟีนอล เป็นต้น รวมทั้งพวกทาร์และชาร์ หลังจากนั้นเมื่อมีการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นไปอีกจนมีอุณหภูมิประมาณ 900 – 1,100 องศาเซลเซียส ประกอบกับการเติมตัวออกซิไดส์ให้แก่ระบบจะทำให้ทาร์และถ่านชาร์เกิดการแตกตัวได้เป็นผลิตภัณฑ์แก๊สต่อไป ซึ่งขั้นตอนนี้นั้นเป็นขั้นตอนของกระบวนการแกลิฟิเคชันนั่นเอง

การนำก๊าซชีววมวลมาใช้งาน

การนำเชื้อเพลิงแข็ง (Solid Fuel) เปลี่ยนไปเป็นก๊าซเชื้อเพลิง ในที่จำกัดปริมาณออกซิเจน ทำให้เกิดความร้อนและความร้อนบางส่วน จะไปเร่งปฏิกิริยาต่อเนื่องอื่นๆ ทำให้เกิดก๊าซเชื้อเพลิง ซึ่งก๊าซที่ได้เรียกว่า ก๊าซชีววมวล เชื้อเพลิงแข็ง ต่างๆ เช่น ไม้ ถ่าน แกลบ เป็นต้น สามารถนำมาเผาไหม้ให้ความร้อนโดยตรงได้ โดยที่ก๊าซที่ได้นั้นสามารถทำให้เกิดการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ และประสิทธิภาพสูงสามารถควบคุมได้ ทำให้เป็นระบบอัตโนมัติได้ มีเขมาน้อย สามารถที่จะขนส่งก๊าซไปยังที่ต่างๆได้ สามารถนำมาใช้กับระบบผลิตพลังงานกล หรือพลังงานไฟฟ้าได้

ประโยชน์ของก๊าซชีววมวล

การนำก๊าซ ชีววมวลไปใช้งานต่าง ๆ เช่น ใช้แทน ก๊าซโซลีน น้ำมัน หรือก๊าซธรรมชาติ มีลักษณะต่างๆ ดังนี้

1. ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สันดาปภายใน เพื่อใช้ในการผลิตพลังงานกล และพลังงานไฟฟ้า
2. ใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อน
3. ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับงานอุตสาหกรรมเคมี

1.2 สรุปเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เดโซ จันทร่หอม (2536) ได้สร้างและทดลองศึกษาการผลิตก๊าซ เชื้อเพลิง จากแกลบโดยใช้เตาผลิตก๊าซ ชีวภาพแบบ คาวน์ คราฟท์ แบบมีใบกววน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 cm ความสูง 80 cm โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงผลิตก๊าซ ใช้เตาชนิดมีใบกววนแกลบ และได้ศึกษาถึงผลกระทบของการใช้ใบกววนต่อประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซโดยการวัดการกระจายอุณหภูมิในเตา และองค์ประกอบของก๊าซ ซึ่งเตาที่ได้ทดลองมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (แกลบ) 18.5 kg / hr อัตราการผลิตก๊าซประมาณ 1.03 / kg fuel ในสภาวะที่ไม่มีการกววน ค่า ϕ วัดได้ 3 ค่า คือ 0.19, 0.247 และ 0.563 ค่าที่ $\phi = 0.247$ จะให้ก๊าซที่มีคุณภาพที่สุด กล่าวคือ อุณหภูมิก๊าซ เท่ากับ 285 °C พลังงานภายในเท่ากับ 2.973 KJ / m³ และจากการทดลองความเร็วการกววน ที่ 1 ,2,4,8 รอบ/นาที พบว่าที่ความเร็วของการกววน 1 รอบ / นาที

อุณหภูมิของก๊าซ จะสูง 195 C และได้ก๊าซคุณภาพดี มีค่าพลังงาน 3.215 MJ/Nm³ ซึ่งสูงกว่าเมื่อไม่มีการกวน 8.14 % แต่เมื่อความเร็วรอบการกวนสูงกว่านี้คุณภาพก๊าซจะต่ำลง ซึ่งผลของการกวนมีผลต่อกลไกปฏิกิริยาเคมีภายในเตา คือ ถ้ากวนด้วยความเร็วรอบ 1 รอบ/นาที่ จะทำให้ Oxidation zone ครอบคลุมบริเวณกว้างขึ้น แต่ถ้ากวนด้วยความเร็วที่สูงขึ้นไป จะทำให้อุณหภูมิภายในลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิ Oxidation จะเห็นได้ว่าการกวนเชื้อเพลิงในเตา Down Draft ส่งผลให้ประสิทธิภาพก๊าซดีขึ้นแต่มีเงื่อนไขคือต้องกวนด้วยความเร็วรอบต่ำเท่านั้น

2.M.Barrio , M. Fossum , J.E Hustad (2002) ได้ทำการศึกษาเตาผลิตก๊าซขนาดเล็ก ชนิด Down Draft สำหรับเครื่องยนต์ ที่ใช้แก๊ส เพื่อผลิตความร้อนและพลังงาน โดยการออกแบบเตาผลิตก๊าซ ชนิด Down Draft ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สูง 500 มม. และใช้เครื่องดีเซล ที่ปรับปรุงมาจากการใช้แก๊ส และแก๊สธรรมชาติ ใช้เชื้อเพลิงประเภทไม้ ป้อนใน อัตรา 5 กก./ ชม. ใช้พลังงานป้อน 30 kW ในการออกแบบอากาศป้อนเข้าห้องเผาไหม้ โดยการเพิ่มหลายๆตำแหน่ง ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ 12.5 Nm³/ h และให้ค่าพลังงานความร้อน 4.9 MJ /Nm³ สำหรับค่าพลังงาน ที่ผลิตได้จากการใช้เครื่องยนต์ และใช้แก๊ส ชนิดนี้ ประมาณ 5 kWe สำหรับเครื่องยนต์แก๊สนี้ได้มีการสลับการใช้เชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ เช่น แก๊ส และ ก๊าซธรรมชาติ และดำเนินการวัดประสิทธิภาพต่างๆ ในส่วนของ Cylinder pressure , Compression ratio , Heat release by Engine วัด CO ที่ไม่ได้เผาไหม้ ก๊าซมีเทน NO₄

3. เกียรติกร อายุวัฒน์ , บุญรอด สัจกุลนุกิจ , ธันวา ใจเที่ยง และจรัญญา เผ่าเหล็กแหลม (2549) ศึกษาการพัฒนาระบบผลิตพลังงานจากชีวมวลในระดับชุมชนโดยการออกแบบผลิตก๊าซ ชีวมวลของระบบการเผาไหม้ 2 ขั้นตอน (Two Stage Gasification) โดยใช้เกลบเป็นวัสดุดิบ เพื่อผลิตก๊าซที่มีส่วนผสมของน้ำมันดิน (Tar) น้อยที่สุด และได้้นำก๊าซดังกล่าว มาแทนน้ำมันดีเซล ป้อนเข้าเครื่องยนต์ เพื่อผลิตไฟฟ้า 20 kW ในการออกแบบคำนึงถึงอุณหภูมิภายในเตาเป็นหลัก และจากการทดสอบพบว่า ปริมาณการใช้เกลบ 25 kg / hr อัตราการไหล ของ ก๊าซ 60 m³/ hr มีปริมาณน้ำมันดิน 25 mg / m³ ค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ย 5,000 KJ/ m³ สามารถนำมาแทนน้ำมันดีเซล ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ประมาณ 70 % ประสิทธิภาพโดยประมาณ 83 % ในระบบผลิตพลังงานจากชีวมวลนี้ต้องควบคุมอุณหภูมิภายในเตาให้เหมาะสม เพื่อเป็นการควบคุมปริมาณน้ำมันทาร์ (Tar) ในก๊าซที่ผลิตได้จาก ระบบให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด (น้อยกว่า 25 mg / m³) เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานในเครื่องยนต์ เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าต่อไป

4.สุธรรม ปทุมสวัสดิ์ , สมรัฐ เกิดสุวรรณ (2549) ได้ ศึกษาและพัฒนาระบบผลิตก๊าซชีวมวล เพื่อผลิตไฟฟ้าในเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยการพัฒนา เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากชีวมวล โดยอาศัยการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงประเภทชีวมวลในที่จำกัดปริมาณอากาศ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion) หรือเรียกว่า Gasification โดยในการผลิตก๊าซแบบ downdraft Gasifier จากนั้นนำแก๊สเป็นเชื้อเพลิงป้อนโดยตรงเข้าเครื่องยนต์ สันดาปภายใน เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

แทนการใช้เชื้อเพลิงจาก ฟอสซิล โดยระบบได้รับการพัฒนาให้มีขนาดตั้งแต่ 5 Kw ถึง 1.2 Mw มีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซสูงถึง 80 % และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงประเภทชีวมวลอยู่ระหว่าง 0.7 – 1.2 kg/kw-hr และจากการวิเคราะห์ และศึกษาได้ใช้ระบบ Fixed bed ผลการทดสอบพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 58.5 kg /hr อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยรวม 1.4 lite / hr อัตราทดแทนน้ำมัน 84. 6% ประสิทธิภาพของระบบเฉลี่ย 26.7 % และใช้งานร่วมกับเครื่องยนต์ดีเซล

5. สุภวิทย์ สวณสกล (2549) ได้ศึกษาและออกแบบการใช้เครื่องยนต์แก๊สซิฟิเคเตอร์ ที่ใช้ถ่านไม้ผลิตกำลังงาน ซึ่งได้ออกแบบเตา Gasifier แบบ Down Draft พัฒลมปรับปรุงคุณภาพแก๊สที่ใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ขนาด 6.5 HP และ Generator 2.2 kVA การทำงานเป็นแบบ Batch (3-4 hr) สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1 kW และสูบน้ำได้ในอัตรา 10 m³/h ที่ความสิ้นเปลืองถ่าน 3 kg / hr สามารถชาร์จ แบตเตอรี่ ขนาด 40 แอมแปร์ – ชั่วโมง แก๊สไอเสียที่ออกมาจากเครื่องยนต์มีปริมาณ CO₂ ค่า ประมาณ 2.83 % ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ 10 %

6.M.D Dogru , C.R Howarth , G. Akay , B.Kester ,A.A Malik (2002) ได้ศึกษาการเผาไหม้ที่จำกัดอากาศ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ในเตาผลิตก๊าซชีวมวล แบบ downdraft ที่พิกัดเปลือกที่เหมาะสมกับเตาผลิตก๊าซ โดยการใช้เชื้อเพลิงประเภทไม้ที่ป้อนให้กับเตา และได้ออกแบบเตาผลิตก๊าซแบบ Pilot Scale Downdraft Gasifier ที่ได้อาศัยพลังงานของเปลือกเตาและได้ทำสมดุลมวล สมดุลย์ทางความร้อน อัตราการไหลของก๊าซ ผลกระทบต่ออัตราการไหลของก๊าซ และได้ศึกษาข้อดี ข้อเสียของระบบว่าเป็นอย่างไร และจะต้องปรับปรุงตรงส่วนไหนบ้าง พร้อมทั้งได้ทำการวัดค่าอุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหลในส่วนต่างๆ และอัตราการไหลของแก๊สอยู่ที่ 1.44 ถึง 1.47 Nm³/ kg และ 4.06 และ 4.48 kg/ hr ของการป้อนเชื้อเพลิง ค่าพลังงานของก๊าซประมาณ 5 MJ / m³ ที่อัตราการไหลของก๊าซ 8-9 Nm³/hr ซึ่งค่าคุณสมบัติของเตาผลิตก๊าซชีวมวลดังกล่าว ก๊าซที่ผลิตได้จะมีมลพิษต่อสภาวะแวดล้อมน้อย สำหรับการทำเตาผลิต ก๊าซขนาดเล็กสามารถนำไปใช้งานเพื่อผลิตพลังงานแทนการใช้เชื้อเพลิงจากน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ได้

7. สมรัฐ เกิดสุวรรณ , สุธรรม ปทุมสวัสดิ์ , มณฑิลา นรสิงห์ และ สุนิรัตน์ พิพัฒน์มโนมัย (2549) ศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบก่อกำเนิดก๊าซเชื้อเพลิง จากขยะมูลฝอย เพื่อผลิตพลังงานขนาดเล็ก ได้มีการวิจัยในห้องปฏิบัติการ โดยการก่อสร้างเครื่องกำเนิดก๊าซเชื้อเพลิง แบบดูดลง(Downdraft Gasifier) มีความสามารถในการก่อกำเนิดก๊าซเชื้อเพลิง จากขยะมูลฝอย ครั้งละ 30 กิโลกรัม และในการทดสอบครั้งแรกได้ใช้เศษไม้เพื่อประเมินสมรรถนะของปฏิกรณ์ที่สร้างขึ้นและตรวจวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ตามความสูงของเตาปฏิกรณ์เมื่อจ่ายอากาศเข้าปฏิกรณ์ เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ ร้อยละ 40 - 47 % ของปริมาณที่ต้องการตามทฤษฎีเพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ แม้ว่าจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ตามความสูงของปฏิกรณ์อย่างมาก แต่ก็ยังสามารถจำแนกโซนของการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ออกได้ นอกจากนี้พบว่าไม่เกิดการเผาไหม้ขึ้น ณ ตำแหน่งที่จ่ายอากาศผ่านหัวฉีดเข้าปฏิกรณ์ แต่จะเลื้อยลงมาสู่

ตำแหน่งที่ต่ำกว่า อุณหภูมิในโซนนี้จะสูงมาก และจะส่งผลให้อุณหภูมิในโซนที่อยู่ติดกันมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นด้วย รวมทั้งอุณหภูมิในโซน รีดักชันด้วย เมื่อจ่ายอากาศเข้าเตาปฏิกรณ์ในอัตราต่ำ (ประมาณ 20 %) จะเกิดโซนเผาไหม้ขึ้น ณ ตำแหน่งที่คาดหมายไว้ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิโดยรวมมีค่าต่ำกว่าสถานะการทดลองอื่นๆ โดยมีอุณหภูมิโซนเผาไหม้นี้ประมาณ 800 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าต่ำเกินไปสำหรับเผาไหม้สารระเหยและทำให้เกิดน้ำมันทาร์ในก๊าซเชื้อเพลิงได้ในปริมาณสูง จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงพบว่า มีคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 12- 14 ออกซิเจนร้อยละ 1-3 ไนโตรเจน ร้อยละ 47 -53 มีเทนร้อยละ 2-3 คาร์บอนมอนอกไซด์ ร้อยละ 17- 20 และ ไฮโดรเจนร้อยละ 12 -16 ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงอยู่ระหว่างร้อยละ 51- 57 นอกจากนี้ยังมีการศึกษาองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง ณ ตำแหน่งต่างๆ ตามความสูงของปฏิกรณ์ แต่ยังไม่ได้นำมาดำเนินการศึกษาองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงในแต่ละโซน และวัดปริมาณน้ำมันทาร์

8. Eric D. Larson (1998) ศึกษาทางทฤษฎีและหลักการ การเผาไหม้ที่จำกัดอากาศ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ในเตาผลิตก๊าซชีวมวล ขนาดเล็กสำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยการศึกษาถึงเทคโนโลยี และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ของระบบเตาผลิตก๊าซชีวมวล โดยก๊าซดังกล่าวเป็นพลังงานให้กับเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน และการนำพลังงานประยุกต์ใช้ ในส่วนต่างๆ เช่น เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน แกสเทอร์โบ เครื่องทำน้ำร้อน เป็นต้น

9. H.E.M Stassen , H.A.M Knoef (1994) ศึกษากระบวนการผลิตแก๊สขนาดเล็กที่ใช้ระบบการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่จำกัดปริมาณอากาศ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Small Scale Gasification System) โดยได้กล่าวถึงทฤษฎีการผลิตก๊าซ ที่ใช้ระบบการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จากเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ เช่น เศษไม้ ถ่าน จากการใช้ เทคโนโลยีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่จำกัดปริมาณอากาศ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งได้แยกประเภทของการเผาไหม้ได้ดังต่อไปนี้ แบบ Updraft or Counter Current Gasifier , Downdraft or Co- Current Gasifier , Open core Gasifier ,Cross Draft Gasifier ,Comparison of Updraft and Downdraft Gasifier และวิเคราะห์หลักการทางเศรษฐศาสตร์ การลงทุน ผลกระทบทางสังคมและสิ่งแวดล้อม ของระบบดังกล่าว

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

1. ศึกษาสมรรถนะ ของระบบผลิตก๊าซชีวมวล จากการใช้ เศษไม้, ถ่านไม้ เป็นเชื้อเพลิง และใช้ก๊าซที่ผลิตได้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ขนาดเล็ก สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก
2. ตรวจสอบองค์ประกอบคุณสมบัติของ ก๊าซชีวมวล อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวล ในการผลิตกระแสไฟฟ้า
3. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สำหรับผลิตไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้งานสำหรับอาคารที่พักอาศัย หรือ อุตสาหกรรมขนาดเล็ก (SME)

1.4 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

1. ศึกษาลักษณะการทำงาน , ออกแบบ ระบบผลิตก๊าซชีววมวล ชนิด Down Draft ที่ความเหมาะสมจากการใช้เศษไม้ , ถ่านไม้ เป็นเชื้อเพลิง
2. ทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตก๊าซชีววมวล ชนิด Down Draft ที่สร้างขึ้น จากการใช้ เศษไม้ , ถ่านไม้ เป็นเชื้อเพลิง และใช้ก๊าซที่ผลิตได้ เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ขนาดเล็ก เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า
3. ตรวจสอบองค์ประกอบ คุณสมบัติของก๊าซชีววมวล อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีววมวล ในการผลิตไฟฟ้า
4. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้งานสำหรับอาคารที่พักอาศัย หรืออุตสาหกรรมขนาดเล็ก (SME)

1.5 แนวทางการดำเนินการศึกษาวิจัย

- 1.ศึกษาวิธีการ ออกแบบรายละเอียด ระบบผลิตก๊าซชีววมวล แบบ Downdraft โดยใช้ เศษไม้ , ถ่านไม้ เป็นเชื้อเพลิง และใช้ ก๊าซที่ผลิตได้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ขนาดเล็กเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า
- 2.ทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตก๊าซชีววมวล ที่สร้างขึ้น จากการใช้ เศษไม้ เป็นเชื้อเพลิง และใช้ ก๊าซที่ผลิตได้ เป็นแหล่งพลังงานของเครื่องยนต์ขนาดเล็ก ขับเคลื่อนเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า
- 3.สรุปผลการดำเนินงาน ตรวจสอบ คุณสมบัติของ ก๊าซชีววมวลและ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีววมวล ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก
- 4.ประเมินค่าความเหมาะสมด้านเศรษฐกิจของการลงทุนและการประหยัดพลังงาน วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อนำไปใช้งานสำหรับอาคารที่พักอาศัย หรือ อุตสาหกรรมขนาดเล็ก (SME)

[illegible]

1.7 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎีและเชิงประยุกต์

1. สามารถที่จะนำก๊าซชีววมวลไปประยุกต์ใช้แทนก๊าซธรรมชาติ ก๊าซโซลีน หรือน้ำมันเชื้อเพลิง ในลักษณะการใช้งาน ต่างๆดังต่อไปนี้

- ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สันดาปภายใน
- ใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อน
- ใช้เป็น วัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเคมี

2. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบต้นแบบของระบบผลิตก๊าซชีววมวล เพื่อการใช้สำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนอื่นๆ เพื่อนำไปใช้งานสำหรับอาคารที่พักอาศัย หรือ อุตสาหกรรมขนาดเล็ก

1.8 สถานที่ที่ใช้ในการดำเนินการและรวบรวมข้อมูล

- ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์
- บ้านเลขที่ 99/396 ม.1 ต.บึงน้ำรักษ์ อ. ธัญบุรี จ. ปทุมธานี



บทที่ 2

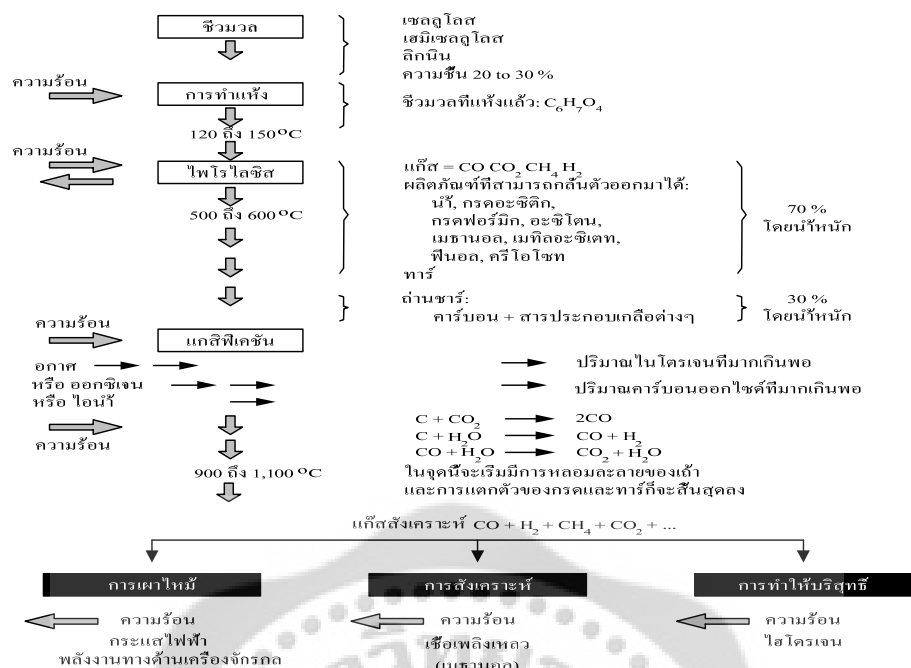
หลักการและทฤษฎีพื้นฐานระบบการผลิตก๊าซชีววมวล

2.1 กระบวนการผลิตก๊าซชีววมวล

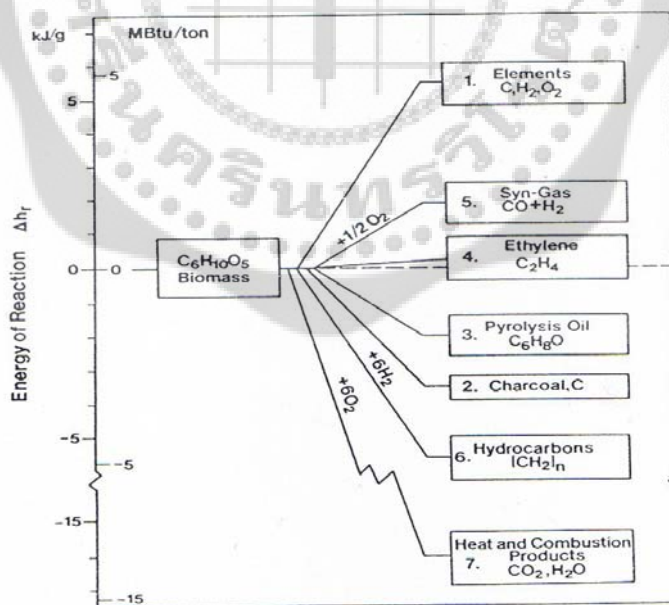
การศึกษาเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงชีววมวล กระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงส่วนใหญ่เป็นแบบสมบูรณ์ (Complete Combustion) เพื่อนำพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นใช้ในการต้มน้ำ ให้มีความดันและอุณหภูมิสูง และสามารถใช้เป็นพลังงานในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกล เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า หรือ ผลิตพลังงานความร้อนในรูปแบบต่างๆ

ปัญหาที่มักพบในการเผาชีววมวลในห้องเผาไหม้โดยตรง คือการที่มีเถ้าชีววมวลปนไปกับก๊าซร้อนมากซึ่งจะเป็นอันตรายกับหม้อไอน้ำได้ และการนำพลังงานความร้อนจากชีววมวลมาใช้งานต้องผ่านการแปลงรูปพลังงานหลายขั้นตอน เช่นหากต้องการพลังงานจะต้องใช้หม้อไอน้ำรับพลังงานความร้อนจากชีววมวล เพื่อทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำแล้วจึงให้ไอน้ำผ่านอุปกรณ์ทางกล การเปลี่ยนรูปพลังงานแต่ละขั้นตอนนั้นย่อมมีการสูญเสียพลังงานไปบางส่วนไป

ในปัจจุบัน ที่ผ่านมานั้นได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่สามารถใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากชีววมวลขึ้นมากมาย รวมไปถึงมีการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานจากชีววมวลเพิ่มขึ้นด้วยโดยเฉพาะประเทศในแถบทวีปยุโรป ออสเตรเลีย และสหรัฐอเมริกา สำหรับประเทศไทยนั้นนับได้ว่าเป็นประเทศหนึ่งที่มีทรัพยากรชีววมวลจำนวนมาก แต่มีการนำมาใช้ประโยชน์เป็นส่วนน้อย แหล่งชีววมวลที่สำคัญของประเทศไทย คือ เศษไม้ ฟางข้าว แกลบ และขานอ้อยซึ่งถูกทิ้งไว้ในไร่หรือถูกเผาทิ้ง รวมไปถึงของเสียจากภาคอุตสาหกรรมต่างๆ จากการประมาณการศักยภาพทางเทคนิคนั้นพบว่าประเทศไทยจะมีศักยภาพในด้านของชีววมวลมากกว่า 20 ล้านตันน้ำมันดิบ ซึ่งมากกว่าครึ่งหนึ่งของการใช้น้ำมันในปัจจุบัน ดังนั้นการนำชีววมวลมาแปรรูปเพื่อให้มีคุณค่าเพิ่มมากขึ้นหรือการใช้พลังงานจากชีววมวลนั้นนับว่ามีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก



ภาพประกอบ 1 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ



ภาพประกอบ 2 แผนภาพแสดงค่าพลังงานของกระบวนการผลิตก๊าซ [11]

2.2 เคมีพื้นฐานของกระบวนการผลิตก๊าซ

1. บทบาททางเคมีในกระบวนการผลิตก๊าซ

การผลิตก๊าซจากชีวมวลเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางเคมีของการเผาไหม้ ที่มีความซับซ้อนซึ่งสมัยก่อนกระบวนการผลิตก๊าซนี้สามารถกระทำได้เฉพาะผู้ที่มีความชำนาญเท่านั้นและได้ค้นพบวิธีการทำให้เชื้อเพลิงแข็งกลายเป็นก๊าซได้ จากวิธีการลองผิดลองถูก ซึ่งในปัจจุบันได้อาศัยกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตมาประกอบการพิจารณากระบวนการต่างๆ

2 เคมีชีวมวล

องค์ประกอบของชีวมวล มีส่วนประกอบตามธรรมชาติคือ Polymers ,Cellulose ,Hemicellulose และ Lignin ซึ่งเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของชีวมวล ในกระบวนการเผาไหม้ และกระบวนการผลิตก๊าซ นักวิทยาศาสตร์ได้ใช้สมการเบื้องต้นในสูตรขององค์ประกอบเหล่านั้นแทนสูตรชีวมวลได้ดังสมการที่ (1)



การคำนวณทางเคมีจะใช้เกณฑ์อัตราส่วนของคาร์บอนในรูปของ CH_xO_y โดยให้

$H/C = a$ เท่ากับอัตราส่วนอะตอมไฮโดรเจนต่อคาร์บอน

$O/C = b$ เท่ากับอัตราส่วนอะตอมออกซิเจนต่อคาร์บอน

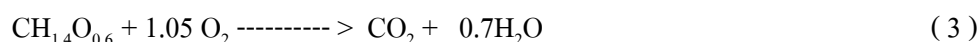
ซึ่งทำให้ได้กฎสัดส่วนของชีวมวลดังสมการที่ (2)



จะเห็นว่ามีความแตกต่างกันในส่วนประกอบของชีวมวลแต่ละชนิดทำให้อัตราส่วน H/C มีค่าระหว่าง 1.32 ถึง 1.78 และอัตราส่วน O/C มีค่าระหว่าง 0.52 ถึง 0.78

3. การเผาไหม้ชีวมวล

การผลิตพลังงานจากชีวมวลส่วนใหญ่เป็นการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ โดยการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแบบสมบูรณ์ของชีวมวลสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ ในสมการที่ (3)



โดย 2.7 อะตอมของออกซิเจนที่ปรากฏอยู่ทางด้านขวาของสมการมี 0.6 อะตอมมาจากตัวของชีวมวลเองที่เหลือ 2.1 อะตอม หรือ 1.05 โมเลกุล จะเป็นจำนวนที่ได้จากการเผาไหม้ออกซิเจน

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating Valve)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเป็นค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเมื่อเทียบกับ 1 หน่วยน้ำหนัก หรือ ปริมาตรของเชื้อเพลิง โดยมีหน่วยเป็น kJ/kg , Kcal/kg , Btu /lb หรือ Kcal / litre เป็นต้น และมีคำจำกัดความ คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท หรือคายออกจากปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาการเผาไหม้ เย็นตัวลงจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิเริ่มต้นที่สถานะของเชื้อเพลิง และอากาศที่เผาไหม้ ซึ่งค่ามาตรฐานในที่นี้คือ ความดันสมบูรณ์ 1 บรรยากาศ (Atm) และ อุณหภูมิ 25 °C

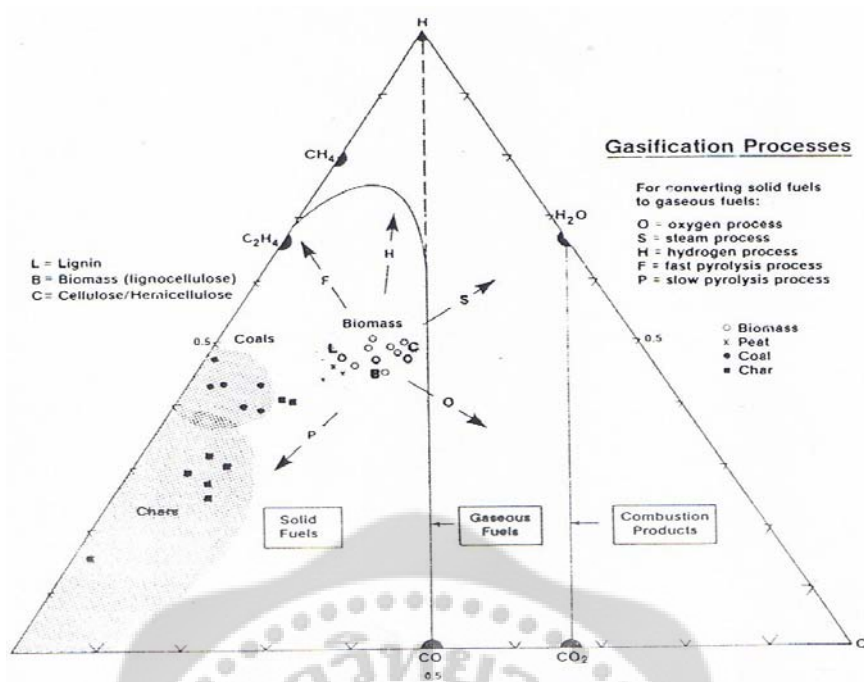
โดยปกติ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะถูกกำหนดขึ้นจากการทดลองเผาเชื้อเพลิงใน อุปกรณ์ที่เรียกว่าบอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ตามมาตรฐาน ASTM D 2015 ซึ่งจะกำหนดค่าความร้อนไว้ 2 ค่าคือ

- 1) ค่าความร้อนสูง High Heating Valve หรือ Gross Heating Valve , HHV
- 2) ค่าความร้อนต่ำ Low Heating Valve หรือ Net Heating Valve , LHV

ทั้งค่าความร้อนสูง เป็นค่าที่เอาความร้อนแฝง ของไอน้ำที่ปะปนอยู่ในก๊าซไอเสียรวมด้วย ในขณะที่ค่าความร้อนต่ำ จะไม่นำค่าดังกล่าวมารวม เพราะสมมติฐานที่ว่าในกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจริงนั้น ปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้นในก๊าซไอเสียจะไม่เกิดการควบแน่นและไม่คายพลังงานความร้อนแฝงออกมาให้ระบบ แต่จะถูกทิ้งไปสู่บรรยากาศทางปล่องไอเสียแทน ดังนั้นปริมาณความร้อนในส่วนนี้จะเป็นความร้อนที่ไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์เลยในกระบวนการเผาไหม้ ดังนั้นจึงนิยมนำค่าความร้อนต่ำ มาเป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณสมดุลความร้อนและประสิทธิภาพของเครื่องจักรอุปกรณ์มากกว่าค่าความร้อนสูง เนื่องจากให้ผลการคำนวณที่ถูกต้องและสะท้อนความเป็นจริงมากกว่าในแง่ของประสิทธิภาพเชิงความร้อน

4, แผนภาพของเชื้อเพลิง (A Fuel Phase Diagram)

จากแผนภาพประกอบ 4 มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมแสดงให้เห็นตำแหน่งของเชื้อเพลิงที่ปรากฏด้วยธาตุทั้ง สาม คือ C , H ,O เช่นเชื้อเพลิง ชีวมวล ($\text{CH}_{1.4} \text{O}_{0.6}$) ก๊าซไฮโดรคาร์บอน โดยเชื้อเพลิงจะอยู่บนเส้น C – H เกือบจะถึงจุดสูงสุดของไฮโดเจน ในส่วนที่มีไฮโดเจนน้อยลงก็จะเป็น ถ่านหิน และเมื่อไฮโดเจนน้อยลงไปอีกก็จะเป็นถ่าน (Charcoal) ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงคาร์บอน บริสุทธิ์ ชีวมวลและถ่านหินจะอยู่เกือบตรงกลางของเส้น C-H ของแผนภาพ เชื้อเพลิงที่ผลิตได้ จากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของชีวมวล สามารถมองเห็นได้จากแผนภาพการเปลี่ยนแปลงของแข็งที่เป็นส่วนประกอบของชีวมวลไปยังบริเวณส่วนที่เป็นออกซิเจนทางขวาดังตัวอย่างในภาพประกอบ 3 การผลิตเชื้อเพลิงเหลว

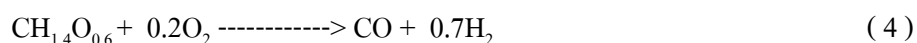


ภาพประกอบ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอน, ไฮโดรเจน, ออกซิเจน ในเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ [11]

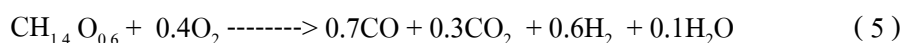
จากแผนภาพ กระบวนการดังกล่าว สามารถทำได้โดยกระบวนการเพิ่มไฮโดรเจน ซึ่งต้องเพิ่มความดันและอุณหภูมิสูงมากและเป็นการสิ้นเปลืองไฮโดรเจน ส่วนกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจะใช้กระบวนการเพิ่มออกซิเจนเข้าไป เพื่อเปลี่ยนส่วนประกอบต่างๆของเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นก๊าซ CO และ H₂ เป็นหลักเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการทำก๊าซเชื้อเพลิงจากของแข็ง อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตก๊าซยังให้ผลผลิตแก๊สที่เป็นอย่างอื่น เช่น CO₂, C_nH_m รวมเชื้อเพลิงแข็ง

5. หลักการผลิตก๊าซชีววมวลทางเคมี

องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็งนั้นจะมีปริมาณธาตุคาร์บอนในปริมาณที่มากที่สุดโดยที่ธาตุคาร์บอนจะเปลี่ยนไปเป็นก๊าซ จะต้องการไฮโดรเจน และ ออกซิเจน เพื่อใช้ในการทำปฏิกิริยา ซึ่งก๊าซออกซิเจนนั้นหาได้ง่ายจากอากาศ ส่วนของก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงที่หายากและมีราคาสูงดังนั้นในการผลิตก๊าซโดยทั่วไปจะใช้ ออกซิเจนเป็นตัวทำปฏิกิริยาโดยใช้ปริมาณออกซิเจนเท่าที่จำเป็นเพื่อบรรลุดังก๊าซที่ต้องการ เช่น ใช้ก๊าซออกซิเจนที่ต้องการเพื่อเปลี่ยนแปลงธาตุคาร์บอนให้เป็นก๊าซ CO เป็นไปตามสมการดังนี้



ในการศึกษาค่าพลังงานจะพบว่าพลังงานจากก๊าซทางขวาของสมการข้างบน มีมากกว่าชีวมวลทางซ้าย และในทางปฏิบัติจะมีก๊าซอื่นๆเกิดขึ้นด้วย เช่น CO_2 และ H_2O ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นที่จะใช้ปริมาณของออกซิเจนมากกว่าในสมการที่ (4) และจะเขียนได้เป็นสมการที่ (5)

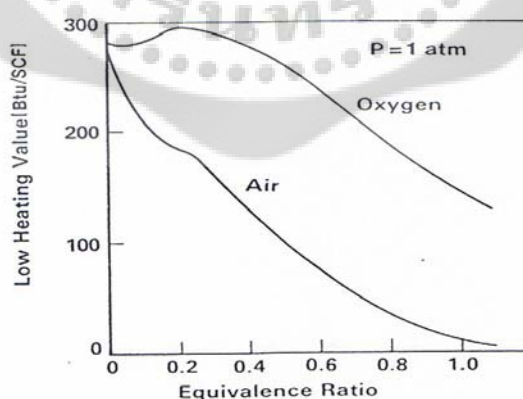


6. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของก๊าซ

ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของ ก๊าซชีวมวล โดยทั่วไปจะใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ก๊าซที่ชื่อว่า ออแซทิปาเรทส์ (Orsat Apparatus) หรือแบบก๊าซโครมาโตกราฟ (Gas Chromatograph) เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบและหาค่าพลังงานที่อยู่ภายในก๊าซต่างๆ

7. การคำนวณพลังงานของก๊าซ

พลังงานที่มีอยู่ในก๊าซคือพลังงานความร้อนของการเผาไหม้ก๊าซ ส่วนพลังงานที่มีอยู่ในชีวมวลที่นำมาผลิตก๊าซจะวัดได้โดยเครื่องวัดความร้อนจากการเผาไหม้ (Bomb Calorimeter) ซึ่งเชื้อเพลิงแข็งจะถูกเผาอย่างสมบูรณ์ จะได้ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ ค่าที่หาได้จะเรียกว่า ค่าความร้อนข้างสูง (High Heating Value, HHV) เพราะว่ารวมค่าความร้อนแฝงที่ต้องทำให้น้ำต้องกลายเป็นไอน้ำด้วย ส่วนค่าความร้อนที่ถูกต้องเพื่อนำไปใช้งานเป็นค่าความร้อนข้างต่ำ (Low Heating Value, LHV) ค่าความร้อนต่ำสามารถคำนวณได้จาก ค่าความร้อนสูงโดยลบด้วยค่าความร้อนแฝงที่ทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำ คือ 2283 J/g ส่วนหน่วยของพลังงานจะมีหน่วยเป็น kJ /Nm³ ดังแผนภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 แสดงความสัมพันธ์ค่าความร้อนที่ถูกต้องเพื่อนำไปใช้งานเป็นค่าความร้อนข้างต่ำ (Low Heating Value, LHV) ระหว่างอากาศแห้ง หรือ อากาศ / ออกซิเจน ในส่วน Biomass Reaction ใน เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ [11]

8. เคมีของการย่อยสลายด้วยความร้อน (Chemical of Pyrolysis)

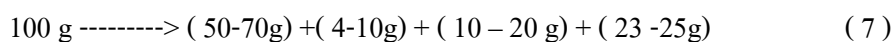
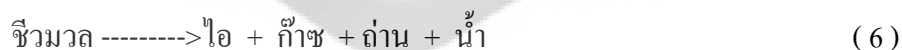
การย่อยสลายด้วยความร้อนของชีวมวล โดยจะใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ ประมาณ 150 °C สำหรับ ก๊าซแตกแยกออกจากชีวมวล อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่จะทำให้ CO₂ กลายเป็น CO เป็นปริมาณมาก จะต้องมีไปอุณหภูมิสูงกว่า 700 °C โดยเฉลี่ย ซึ่งเป็นระดับของการย่อยสลายด้วยความร้อนอย่างรวดเร็ว (Fast Pyrolysis) ดังในการเปลี่ยน ชีวมวลไปเป็นก๊าซจะต้องผ่านขั้นตอนนี้ ซึ่งการย่อยสลายชีวมวลด้วยความร้อนจะสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

8.1 การย่อยสลายด้วยความร้อนอย่างช้าๆ ขั้นต้น

การสลายตัวด้วยความร้อนอย่างช้าๆ ขั้นต้นเป็นเทคโนโลยีอย่างหนึ่ง ที่มนุษย์ได้ทำมาอย่างน้อย ที่สุดประมาณ 10,000 ปีมาแล้ว กระบวนการนี้จะเกิดที่อุณหภูมิระหว่าง 150° C ถึง 300 °C ปฏิกิริยาเคมีของชีวมวลใช้เวลานานมาก อาจจะหลายวันหรือหลายสัปดาห์ และผลผลิตเป็นพวกไอน้ำ CO₂ , CO และถ่าน ซึ่งถ่านจะมีน้ำหนัก ประมาณ 30% ของชีวมวลเริ่มแรก และมีพลังงานเหลืออยู่ไม่น้อยกว่า 50 %ของพลังงานชีวมวลดั้งเดิมในกระบวนการผลิตก๊าซ ขั้นการย่อยสลายด้วยความร้อนขั้นต้นอย่างช้าๆ จะมีความสำคัญหากใช้เวลามากกว่า 1 นาที แต่กระบวนการนี้จะไม่เกิดขึ้นในกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็ง(ชีวมวล) ไปเป็นก๊าซ เพราะอัตราการให้ความร้อนและอุณหภูมิต้องอยู่ในระดับที่เรียกว่า Fast Pyrolysis

8.2 การย่อยสลายด้วยความร้อนอย่างรวดเร็วขั้นต้น (Fast Primary Pyrolysis)

ปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยความร้อนอย่างรวดเร็วขั้นต้น จะเกิดที่อุณหภูมิสูงกว่า 300 ° C ที่อุณหภูมิประมาณ 450 °C จะเกิดปฏิกิริยาเร็ว (Fast reaction) การย่อยสลายในขั้นนี้จะผลิตก๊าซ ถ่าน ไอน้ำ และน้ำ ดังสมการที่ (6) และ (7)

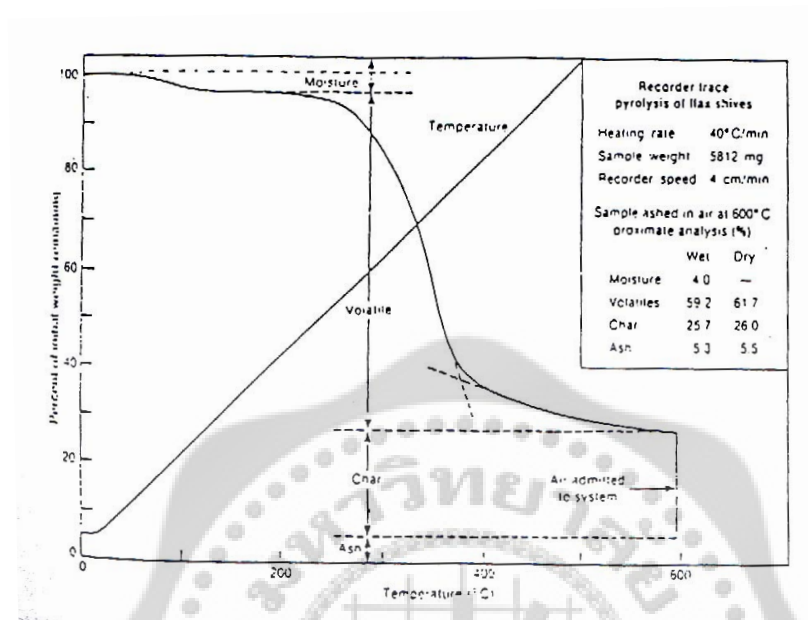


ไอน้ำในที่นี้หมายถึงสิ่งที่จะกลายเป็นของเหลว ที่อุณหภูมิห้อง จะประกอบไปด้วยสารประกอบของ Monomers , Oilgemers , Hemicellulose และ Lignin ซึ่งเป็นสารประกอบดั้งเดิมของชีวมวล การย่อยสลายด้วยความร้อนขั้นต้นอย่างรวดเร็วของชีวมวลได้แสดงให้เห็นในภาพประกอบ 5 ซึ่งแสดง น้ำหนักที่สูญเสียไปของชีวมวลจะมีปริมาณมากที่ระหว่างที่อุณหภูมิ 250 °C ถึง 450 °C

8.3 การย่อยสลายด้วยความร้อนอย่างรวดเร็วขั้นที่สอง (Fast Secondary Pyrolysis)

การย่อยสลายด้วยความร้อนอย่างรวดเร็วขั้นต้นจะสิ้นสุด ที่อุณหภูมิประมาณ 600 °C และที่อุณหภูมิสูงกว่านี้เป็นการย่อยสลายด้วยความร้อนอย่างรวดเร็ว (Rapidly Pyrolyzed) ซึ่งจะก่อให้เกิดก๊าซ

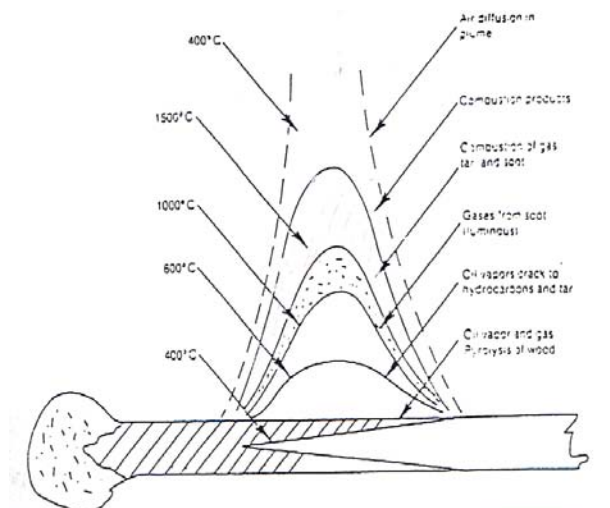
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H_2) และไฮโดรคาร์บอน (C_nH_m) ก๊าซที่ได้มีพลังงานระดับปานกลาง และที่อุณหภูมิสูงกว่า $650^\circ C$ น้ำมันดิน (Tar) จะเริ่มทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่เหลืออยู่เล็กน้อย กลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิง



ภาพประกอบ 5 แสดงการสูญเสียน้ำหนักของชีวมวลโดยการย่อยสลายด้วยความร้อน[11]

9. เปลวของการสันดาป (Flaming Combustion)

รายละเอียดเบื้องต้นของการย่อยสลายด้วยความร้อนอย่างรวดเร็วเริ่มต้น และการย่อยสลายด้วยความร้อนขั้นที่สอง สามารถแสดงออกในรูปของเปลวของการสันดาปดังแสดงในภาพประกอบ 6 บริเวณนี้ผิวของการเผาไหม้จะเป็นผลผลิตของการย่อยสลายอย่างรวดเร็วขั้นแรกที่อุณหภูมิ $400^\circ C$ ซึ่งจะก่อให้เกิดไอน้ำมัน ก๊าซและไอน้ำและที่บริเวณถัดออกมาที่อุณหภูมิประมาณ $600^\circ C$ จะเกิดการย่อยสลายด้วยความร้อนอย่างรวดเร็วขั้นที่สอง ใดต่างๆ จะเกิดการแตกตัว (Cracking) เป็นไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันดิน ที่อุณหภูมิสูงกว่า $1,000^\circ C$ จะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H_2) และเขม่า (Soot) ซึ่งเรืองแสง การสันดาปที่อุณหภูมิที่สูงมากๆ (ประมาณ $1500^\circ C$) ของก๊าซไฮโดรคาร์บอน (ก๊าซ น้ำมันดิน และเขม่า) จะทำให้เกิดการเปล่งแสงของเปลวไฟและบริเวณนอกสุดจะมีก๊าซจากการสันดาปกับอากาศลอยตัวสูงขึ้นเป็น plume ที่อุณหภูมิประมาณ $400^\circ C$



ภาพประกอบ 6 แสดงเปลวการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง [11]

9.1) พลังงานการจุดไฟ และอุณหภูมิการจุดไฟ

พลังงานการจุดไฟ (Ignition Energy) คือ พลังงานส่วนแรกที่ต้องใช้เพื่อเริ่มต้นปฏิกิริยาลุกไหม้ ซึ่งอาจไม่ใช่วิธีวัดโดยตรง แต่มีการวัดอุณหภูมิการจุดไฟ (Ignition Temperature) ซึ่งเป็นอุณหภูมิของส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศที่ต่ำสุด ที่จะจุดไฟได้เอง อุณหภูมิจุดไฟจึงเป็นเครื่องบ่งชี้ระดับพลังงานที่ต้องให้แก่ส่วนผสมของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดซึ่งมีค่าแตกต่างกัน

ตาราง 1 อุณหภูมิการจุดไฟของเชื้อเพลิงบางชนิดผสมกับอากาศ ที่ความดัน 1 บรรยากาศ

C o m b u s t i b l e	F o r m u l a	T e m p e r a t u r e	
		° F	° C
S u l f u r	S	470	245
C h a r c o a l	C	650	345
F i x e d c a r b o n (B i t u m i n o u s c o a l)	C	765	405
F i x e d c a r b o n (S e m i b i t u m i n o u s c o a l)	C	870	465
F i x e d c a r b o n (A n t h r a c i t e)	C	840-1115	450-600
A c e t y l e n e	C ₂ H ₂	580-825	305-440
E t h a n e	C ₂ H ₆	880-1165	470-630
E t h y l e n e	C ₂ H ₄	900-1020	480-550
H y d r o g e n	H ₂	1065-1095	575-590
M e t h a n e	C H ₄	1170-1380	630-765
C a r b o n m o n o x i d e	C O	1130-1215	610-665
K e r o s e n e	-	490-560	255-295
G a s o l i n e	-	500-800	260-425

9.2) ขีดจำกัดของการเกิดเปลวไฟ (Flamability limits , Limit of Flammability)

ปฏิกิริยาเผาไหม้ที่เป็นเนื้อเดียวกัน สามารถเกิดได้ในช่วงความดันและอุณหภูมิกว้าง ถ้าส่วนผสมระหว่างก๊าซเชื้อเพลิงและอากาศเกิดปฏิกิริยาภายใต้ความดันสูง จะเกิดปฏิกิริยาที่มีความเร็วเหนือเสียง (Supersonic reaction) เรียกว่าการระเบิด (Detonation) และถ้าส่วนผสมระหว่างก๊าซเชื้อเพลิงและอากาศเกิดปฏิกิริยาที่ความดันบรรยากาศ หรือภายใต้ความดันต่ำ จะเป็นปฏิกิริยาที่มีความเร็วต่ำกว่าเสียง (Subsonic Reaction) เรียกว่า การเผาด้วยความร้อน (Deflation) หรือ เรียกการเกิดเปลวไฟ (Flames)

ตาราง 2 ขีดจำกัดของการเกิดเปลวไฟของเชื้อเพลิงบางชนิดผสมกับอากาศ
ที่ความดัน 1 บรรยากาศ

Full	Fom ula	Lean est %	Richest %
A cetone	C ₃ H ₆ O	3.10	11.15
Acetylene	C ₂ H ₂	2.50	80.00
Am monia	N H ₃	16.10	26.60
B enzene	C ₆ H ₆	1.41	7.10
B utane	C ₄ H ₁₀	1.86	8.41
B utyl	C ₄ H ₁₀ O	1.45	11.25
B utylene	C ₄ H ₈	1.98	9.65
Carbon monoxide	C O	12.50	74.20
E thane	C ₂ H ₆	3.22	12.45
E thyl	C ₂ H ₆ O	4.25	18.95
E thylene	C ₂ H ₄	3.05	28.60
H eptane	C ₇ H ₁₆	1.00	6.70
H exane	C ₆ H ₁₄	1.27	6.90
H ydrogen	H ₂	4.00	74.20
M ethane	C H ₄	5.00	14.00
M ethyl	C H ₄ O	7.10	36.50
O ctane	C ₈ H ₁₈	0.95	-
P entane	C ₅ H ₁₂	1.42	7.80
P ropane	C ₃ H ₈	2.37	9.50
P ropyl	C ₃ H ₈ O	2.15	13.50
P ropylene	C ₃ H ₆	2.40	10.30
Propylene oxide	C ₃ H ₆ O	2.10	21.50
T oluene	C ₇ H ₈	1.45	6.75

9.3) เปลวไฟ (Flames)

เป็น ปฏิกิริยาการเผาไหม้ (Combustion zone) ที่เคลื่อนที่ (Propagate) เข้าหาส่วนผสมระหว่าง ก๊าซเชื้อเพลิง และ อากาศ เชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีขีดจำกัดของการเกิด เปลวไฟแตกต่างกัน ทั้งช่วงกว้าง และค่าของขีดจำกัดทั้งขั้นต่ำและขั้นสูง ดังแสดงในตารางแสดง

10 . เปลวของการย่อยสลายตัวด้วยความร้อนอย่างรวดเร็ว (Flaming Pyrolysis)

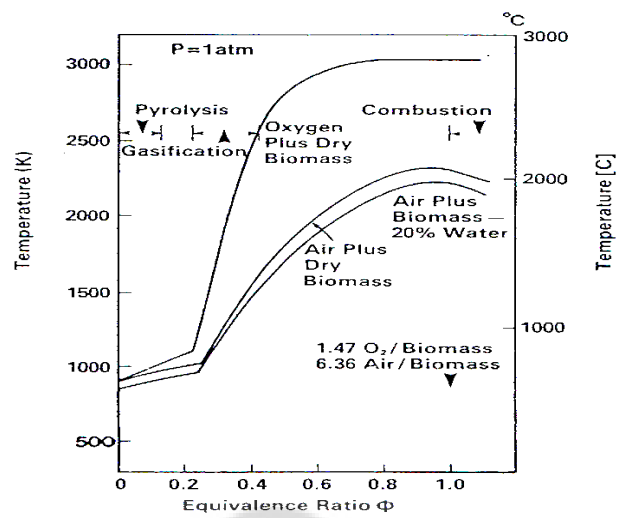
เปลวของการย่อยสลายตัวด้วยความร้อนอย่างรวดเร็ว ก็เช่นเดียวกับเปลวไฟของการสันดาป ในการ ทำชีวมวลให้กลายเป็นก๊าซ ที่ซึ่งอากาศเป็นออกซิเจนมาสัมผัสกันเป็นครั้งแรกกับชีวมวล ชีวมวลจะเริ่ม สันดาปกับอากาศ ทำให้เกิดไอน้ำมัน และเกิดความร้อนเพื่อใช้ในการย่อยสลายด้วยความร้อนอย่าง รวดเร็วขึ้นต่อไป อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติที่เหมาะสม เพื่อการเปลี่ยนชีวมวลที่เหมาะสม เพื่อการ เปลี่ยนชีวมวลให้เป็นก๊าซนั้น จะใช้ปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการที่จะเผาไหม้ไอน้ำมันให้หมดไป ได้ เนื่องจากอัตราส่วนออกซิเจนต่อเชื้อเพลิงน้อยเกินไป สำหรับชีวมวลระดับ (Degree) การเผาไหม้ ของไอน้ำมันจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของออกซิเจนต่อเชื้อเพลิง การเปลี่ยนแปลงนี้จะขึ้นอยู่กับความสูงของ ชั้นชีวมวล (Bed)ในเตาผลิตก๊าซที่ควบคุมพื้นที่ผิวที่จะทำปฏิกิริยา และระดับชั้นของการเผาไหม้ ในการ ทำให้เป็นก๊าซโดยสมบูรณ์ที่ใช้ ออกซิเจนไม่พอนั้น ถ้าออกซิเจนถูกใช้หมดไปโดยการเผา จนแทบจะไม่มีออกซิเจนเคลื่อนย้ายไปสู่ชั้นย่อยสลายด้วยความร้อน และไอน้ำมันที่เหลือจำนวนเล็กน้อยจะไม่ได้ทำ ปฏิกิริยารวมตัวกับออกซิเจน ดังนั้นก๊าซที่ผลิตได้จะประกอบไปด้วยน้ำมันดินจึงต้องเพิ่มอากาศให้มากขึ้นเพื่อที่จะขจัดไอน้ำมันออกไป

11. อัตราส่วนสมมูลในการเปลี่ยนให้เป็นก๊าซ

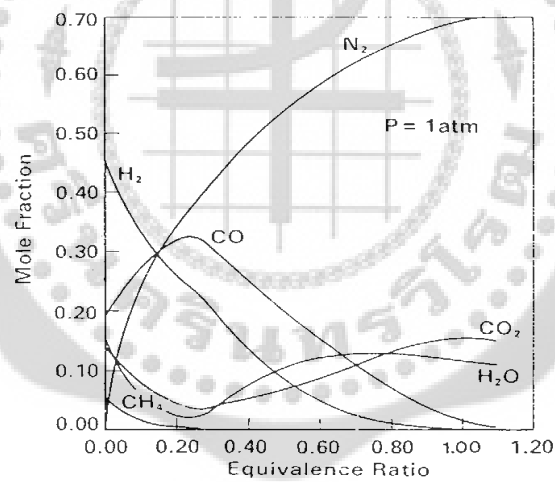
สิ่งหนึ่งที่สำคัญที่สุด ในการทำความเข้าใจของการเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นก๊าซ คือ อัตราส่วนสมมูล (Equivalence Ratio) ซึ่งจะหาได้จากสมการที่ 8

$$\text{Equivalence Ratio} = \frac{\text{Actual Air / Fuel Ratio}}{\text{Stoichiometric Air /Fuel Ratio}} \quad (8)$$

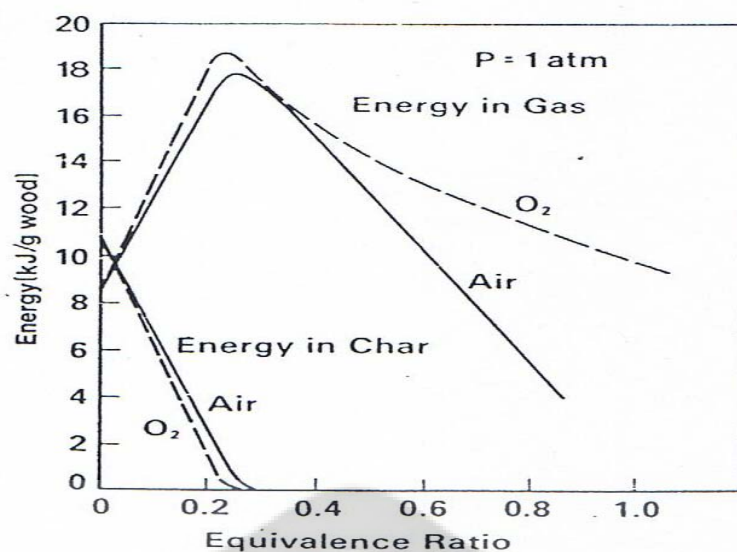
ค่าโดยประมาณสำหรับความต้องการอากาศในการเผาไหม้ชีวมวล 1 kg[5] คือ 1.6 kg ที่สภาวะ Stoichiometric ภาพประกอบ 7 แสดงผลการคำนวณอุณหภูมิอะเดียติก (Adiabatic) องค์ประกอบของ ก๊าซและพลังงานในก๊าซที่อัตราส่วนสมมูลต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าก๊าซที่ได้จะมีพลังงานสูงสุดที่อัตราส่วน สมมูลประมาณ 0.25



ภาพประกอบ 7 แสดงอุณหภูมิของการเผาไหม้ชีวมวลชนิดต่างๆ ที่อัตราส่วนสมมูลตั้งแต่ 0 ถึง 1.2 [11]



ภาพประกอบ 8 แสดงองค์ประกอบของก๊าซที่อัตราส่วนสมมูลตั้งแต่ 0 ถึง 1.2 [11]



ภาพประกอบ 9 แสดงพลังงานของก๊าซที่อัตราส่วนสมมูลต่างๆ [11]

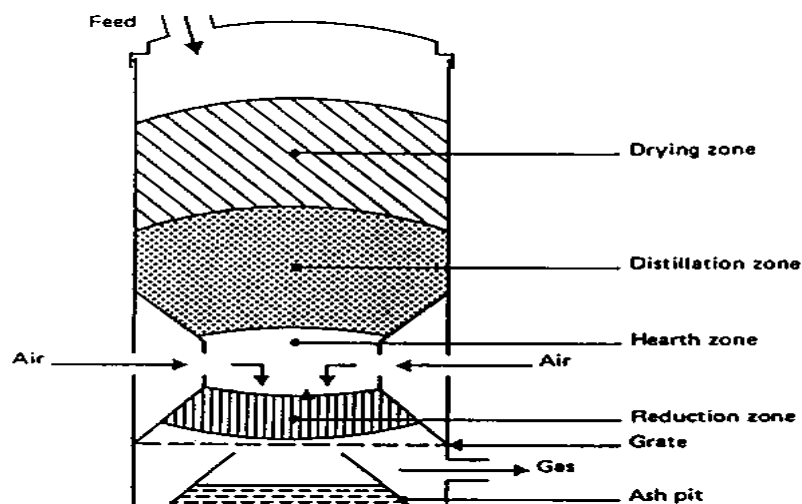
2.3 บริเวณการเกิดปฏิกิริยาในเตาผลิตก๊าซ

ผลิตก๊าซชีวมวลของเตาผลิตก๊าซแบบไหลลง (Downdraft) สามารถแบ่งออกได้เป็นโซน ๆ ได้ 4 โซน และ เตาผลิตก๊าซแบบอื่นๆ สามารถแบ่งโซนได้เช่นเดียวกัน ดังภาพประกอบ 10 และในแต่ละโซนประกอบด้วย

1. ส่วนทำให้เชื้อเพลิงแห้ง (Drying Zone)

ในบริเวณโซนนี้ อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของสารพวกสารระเหยแต่ความชื้นในเชื้อเพลิงจะถูกความร้อนทำให้ระเหยออกมาในรูปของไอน้ำโซนนี้ จะเกิดที่อุณหภูมิประมาณ 100 - 200 ° C และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในโซนนี้สามารถเขียนได้ดังนี้





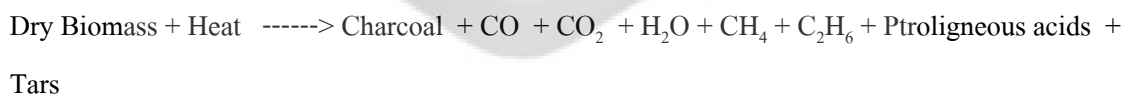
ภาพประกอบ 10 แสดงบริเวณการเกิดปฏิกิริยาในเตาผลิตก๊าซ

แบบ Downdraft ชนิดอากาศไหลลง [11]

2. การย่อยสลายด้วยความร้อนของก๊าซ

(Pyrolysis or Distillation zone – A process in which tar and other are driven off)

ในพื้นที่ส่วนนี้จะได้รับความร้อนจาก Oxidation Zone เพื่อที่จะย่อยสลายด้วยความร้อนสารพวก Organic ในเชื้อเพลิงให้ได้ เมทานอล กรดน้ำส้ม และน้ำมันดิน อุณหภูมิในโซนนี้จะเกิดขึ้นประมาณ 200 – 500 °C ของแข็งที่เหลืออยู่หลังจากผ่านกระบวนการนี้แล้วคือ คาร์บอนในรูปของถ่านซึ่งจะไปทำปฏิกิริยาต่อใน Reduction Zone และ Combustion Zone ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในโซนนี้สามารถเขียนได้ดังนี้



3. ส่วนเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (Combustion or Hearth zone)

หรือเรียกส่วนนี้ว่า Oxidation Zone หรือ Hearth Zone โดยอากาศ จะถูกส่งผ่านเข้ามาในบริเวณนี้เป็นตำแหน่งที่เชื้อเพลิงกับอากาศสัมผัสกันเป็นจุดแรกทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่าง ออกซิเจนในอากาศกับคาร์บอนและไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ดังสมการ (14) และ (15)

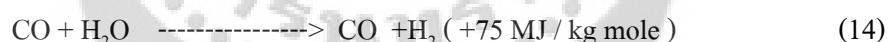
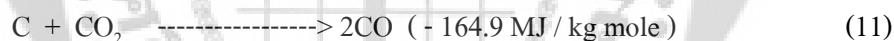




ปฏิกิริยาที่ (9) เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ปริมาณพลังงานความร้อน 242 MJ / kg mole และความร้อนที่เกิดขึ้นในโซนนี้จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่ (10) เป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน ปริมาณพลังงานความร้อน 293 MJ / kg mole ใน Reduction และ Pyrolysis Zone อุณหภูมิใน Combustion Zone จะอยู่ระหว่าง 1,100 -1,500 °C

4. ส่วนดูดซับความร้อนของเชื้อเพลิง (Reduction zone)

อากาศที่ประกอบด้วย ออกซิเจน และ น้ำ (CO_2 , H_2O) ผ่านเข้าสู่ Combustion Zone และทำปฏิกิริยากับ คาร์บอน และ ไฮโดรเจน ได้ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ แล้วก็จะไหลเข้าสู่ Reduction Zone ดังนั้นปฏิกิริยาหลักในโซนนี้จะปฏิกิริยาแบบ Reduction Reaction อุณหภูมิโซนนี้จะอยู่ระหว่าง 500 -900 °C โซนนี้จะเปลี่ยนบางส่วนของก๊าซที่เผาไหม้ไม่ได้ (CO_2 , H_2O) ที่เกิดใน Combustion Zone ให้มาเป็นก๊าซที่สามารถเผาไหม้ได้โดยที่คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำที่เกิดขึ้นไหลผ่านคาร์บอนที่กำลังถูกไหม้อยู่แล้วกลายเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจน ดังสมการ



ปฏิกิริยา (11) เป็นปฏิกิริยาคายพลังงานความร้อน เท่ากับ 164.9 MJ / kg mole เรียกว่าปฏิกิริยา Bououard Reaction และ ปฏิกิริยา (12) เป็น ปฏิกิริยาคายพลังงานความร้อน เท่ากับ 122.6 MJ / kg mole เรียกว่าปฏิกิริยา Water Gas Reaction เป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 900 °C และก๊าซที่ได้จาก 2 สมการนี้เป็นก๊าซที่สามารถเผาไหม้ได้ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในก๊าซที่ได้จากเตาผลิตก๊าซ ในหลักการแล้วควรทำให้มี CO มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์ในก๊าซชีววมวลขึ้นอยู่กับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ได้มากแค่ไหน ใน Reduction Zone [จากปฏิกิริยา (12) ถ้าอุณหภูมิ ใน Reduction Zone เป็น 900 °C แล้วคาร์บอนไดออกไซด์ 90 % จะเปลี่ยนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 1,100 °C แล้ว

คาร์บอนไดออกไซด์จะเปลี่ยนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์หมด ดังนั้นประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ของ Reduction zone ในเตาผลิตก๊าซ

เมื่อก๊าซอุณหภูมิสูงจาก Combustion Zone ไหลเข้าสู่ในโซนนี้ อุณหภูมิจะลดลงเนื่องจากปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนในปฏิกิริยา (11) และ (12) ปฏิกิริยาไอน้ำกับคาร์บอนเพื่อที่ผลิตก๊าซไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น ในปฏิกิริยา (13) ที่อุณหภูมิต่ำคือประมาณ 500 – 600 °C ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญเพราะทำให้ส่วนผสมของไฮโดรเจนในก๊าซมีมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ก๊าซมีค่าพลังงานความร้อนสูงขึ้น แต่ถ้ามีไอน้ำต่ำเกินไป ไอน้ำอาจทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนตามปฏิกิริยา (14) (ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Water gas shift reaction) ทำให้ค่าความร้อนของก๊าซที่ได้ลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระดับที่เกี่ยวกับ ความชื้นของเชื้อเพลิงที่เข้าสู่เตาผลิตก๊าซ ส่วนใหญ่ไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นใน Reduction zone นี้จะยังคงเป็นรูปไฮโดรเจน แต่อย่างไรก็ตามบางส่วนของไฮโดรเจนก็สามารถที่จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนทำให้เกิดก๊าซได้เล็กน้อยดังในปฏิกิริยาที่ (15) เรียกว่า Methane Production เป็นปฏิกิริยาคายพลังงานความร้อนเท่ากับ 42.3 MJ / kg mole

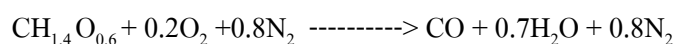
โซนต่างๆของแต่ละโซนจะติดกัน ยังสามารถแยกโซนต่างๆ ออกจากกันตามปฏิกิริยาเคมี และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

2.4 ชนิดของกระบวนการการผลิตก๊าซ

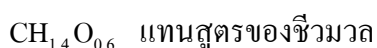
ในการผลิตแบบหรือสร้างเตาผลิตก๊าซจะต้องคำนึงถึง การเปลี่ยนแปลงทางเคมีซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของ Oxidant อุณหภูมิและอัตราความเร็วของการเผาไหม้กระบวนการผลิตก๊าซแบ่งออกได้เป็น 5 แบบดังต่อไปนี้

1. Air Gasification

วิธีที่ง่ายที่สุดในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง คือกระบวนการ Air Gasification สมการอย่างง่ายของปฏิกิริยานี้ ได้แก่



โดยให้



กระบวนการนี้เป็นกระบวนการดูดความร้อนและปริมาณอากาศที่ใช้มีปริมาณน้อยกว่าที่ใช้ ในการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ ดังนั้นก๊าซที่ผลิตได้ควรมีแต่ CO และ H₂ แต่ในทางปฏิบัติสำหรับขบวนการ gasification อากาศมีมากเกินไปความต้องการ ดังนั้นจึงอาจจะมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และน้ำออกมา

พร้อมกับก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ นอกจากนี้ในโตรเจนที่เป็นก๊าซเฉื่อยจะทำให้ก๊าซที่ได้เป็นก๊าซที่มีพลังงานต่ำ คือมีพลังงานประมาณ $4.47 - 7.47 \text{ MJ} / \text{m}^3$ กระบวนการนี้ต้องการอากาศ 1.6 กรัม ต่อชีวมวล 1 กรัม หรือมีค่าอัตราส่วนสมมูลประมาณ 0.25 (อัตราส่วนสมมูล คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ของปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ต่อปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้พอดี ตามทฤษฎี)

2.Oxygen Gasification

ถ้าใช้ออกซิเจนในการสันดาป เพื่อผลิตก๊าซชีวมวลโดยตรงก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีพลังงานปานกลาง ในช่วง $7.45 - 14.9 \text{ MJ} / \text{m}^3$ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการส่งก๊าซไปตามท่อหรือใช้ในการสังเคราะห์ทางเคมี เพื่อที่จะผลิตเมทานอลแอมโมเนีย Gasoline หรือมีเทน อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสูงกว่าและความเร็วของก๊าซที่ผลิตได้ต่ำกว่าการใช้อากาศ ดังนั้นปริมาณฝุ่นที่ปะปนมากับก๊าซเชื้อเพลิงจึงมีน้อยทำให้ง่ายต่อการทำความสะอาดก๊าซเชื้อเพลิงในการผลิตก๊าซจากชีวมวล 1 ตันจะต้องใช้ปริมาณออกซิเจน 1/3 ถ้าราคาของออกซิเจนอยู่ระหว่าง 540 - 1,620 บาทต่อตัน แล้วเราจะต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายของการผลิตก๊าซขึ้นอีก 10 ถึง 30 บาทต่อ 1,000 MJ ของชีวมวล

ในปัจจุบันยังไม่มีเตาผลิตก๊าซขนาดเล็กชนิดนี้ เพื่อใช้กับชีวมวลโดยเฉพาะเนื่องจากก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์มีราคาแพง แต่ในระดับอุตสาหกรรมได้มีการนำมาใช้แล้วเช่นกระบวนการ Union Carbide Purox ที่ทำการกำจัดขยะ (Solid Municipal Waste) 300 ตัน / วัน ใน Updraft Slagging Gasifier ในระบบนี้ น้ำมันและน้ำมันดินที่ออกมาพร้อมกับ ก๊าซจะถูกดักไว้และฉีดกลับเข้าไปใหม่ในบริเวณที่ร้อนเพื่อที่จะเปลี่ยนเป็นก๊าซเชื้อเพลิง

3.Pyrolysis Gasification

Air gasification มีข้อเสียตรงที่เชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีพลังงานต่ำ ส่วน Oxygen Gasification ให้ออกซิเจนซึ่งมีราคาแพง ในการผลิตก๊าซที่มีพลังงานปานกลาง

ชีวมวลมีองค์ประกอบที่เป็นสารระเหยสูงเมื่อเทียบกับ ถ่านหิน และสามารถกลั่นละลายไปเป็นก๊าซที่มีพลังงานปานกลาง ซึ่งประกอบด้วยมีเทน และ Light Hydrocarbon ในขณะเดียวกันก็ยังได้ถ่านและน้ำมัน เป็นผลพลอยได้ซึ่งสามารถนำไปแปรรูปต่อด้วยวิธีการ Pyrolysis Gasification วิธีการนี้อาจแบ่งได้เป็น สองโซน คือ

3.1) Slow Pyrolysis Gasification

Pyrolysis Gasification เป็นกระบวนการที่แปรรูปพลังงานที่สะสมอยู่ในถ่านและน้ำมันดิน ให้อยู่ในรูปของก๊าซเชื้อเพลิงการแปรรูปพลังงานนี้ประกอบด้วยกระบวนการที่สลับซับซ้อนก๊าซที่ได้จากระบวนการนี้ มีพลังงานปานกลาง

พลังงานในด้านสามารถเปลี่ยนเป็นรูปพลังงานในรูปก๊าซเชื้อเพลิง ได้หลายวิธี เช่นนำ ถ่านไปเผา ใน Fluidized Bed ของทราย ทำให้ทรายร้อนส่งทรายนี้ไปยังเบด (Bed) ที่สองซึ่งทำให้เกิดการกลั่น สลายของถ่านในเบดนี้อีกทางหนึ่งถ่านส่วนหนึ่งในเบด ที่สองจะถูกเผาเพื่อให้ความร้อนกับ Pyrolysis Gas เพื่อที่จะนำไปให้ความร้อนใน Fluidized Bed แรกหรือให้ความร้อนภายนอก โดยการป้อนเข้าไป พร้อมกับชีวมวลเปียกที่ความดันสูง

3.2) Fast Pyrolysis Gasification

มีการทดลองอยู่หลายการทดลองที่แสดงให้เห็นการเกิดถ่านและน้ำมันในระหว่างการกลั่นสลายจะ ขึ้นอยู่กับขนาดของเชื้อเพลิง เวลาในการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณลิกนิน ในปัจจุบันได้มีการค้นพบว่า ไอ ของโมเลกุลที่เกิดขึ้นระหว่างการกลั่นสลายนั้นสามารถที่จะแตกตัวที่อุณหภูมิสูงให้เป็น โอลิฟิน (Olefins) (โดยเฉพาะอย่างยิ่งเอธิลีน) และผลิตภัณฑ์เหล่านี้สามารถที่จะคงอยู่ได้ถ้าได้รับความร้อน พร้อมก่อนที่จะปฏิกิริยาต่อไป จะเกิดขึ้นสารพวกโอลิฟินเป็นสารที่เราสามารถนำไปสังเคราะห์เป็น สารเคมีอื่น ตัวอย่างเช่นแปรสภาพอย่างง่ายให้เป็นก๊าซ โซลีน สารพวกไฮโดรคาร์บอนหรือแอลกอฮอล์ ซึ่งในระยะหลังนี้ได้มีผู้สนใจด้าน Fast Pyrolysis มาก

1. Hydrogen Gasification

เราสามารถที่จะนำไฮโดรเจนไปใช้ที่ความดันสูง เพื่อที่จะเปลี่ยนองค์ประกอบภายในของชีวมวลจน ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวหรือก๊าซ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะในการเกิดปฏิกิริยาวิธีการนี้เป็นที่น่าสนใจ อย่างยิ่ง สำหรับที่ที่มีไฮโดรเจนอย่างพร้อมมูล

1. Chemical and Electrochemical Gasification

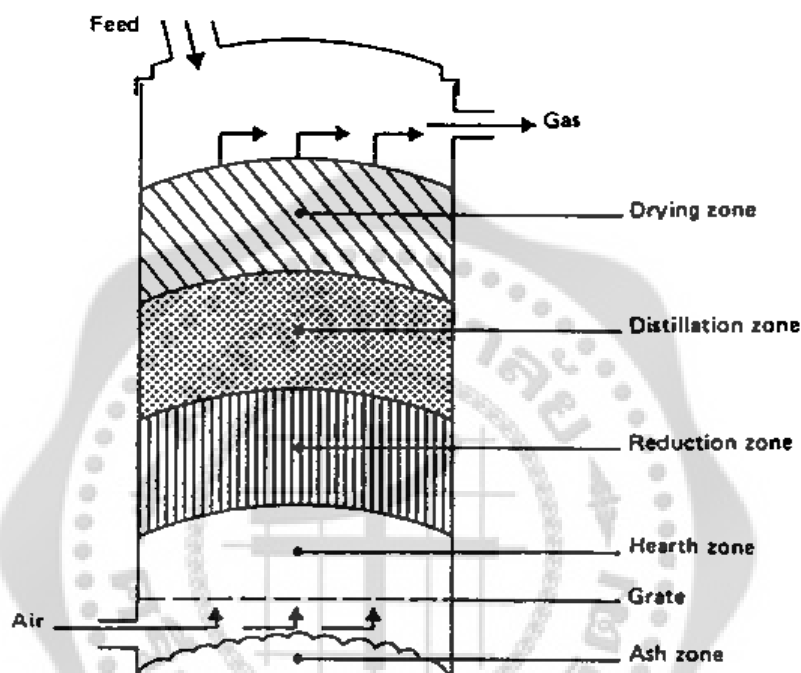
มีการเปลี่ยนแปลงใหม่ๆ ของกระบวนการ Gasification ที่จะนำไปสู่การสำรวจปฏิกิริยาเคมีเฉพาะที่ จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เฉพาะขึ้นอย่างเช่นปฏิกิริยารวมตัวของชีวมวลกับโบรมาย (Br₂) เพื่อที่จะให้ได้ ไฮโดรเจนโบรมาย (HBr) และ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แล้วนำ HBr ไป Electrolyzed เพื่อที่จะให้ ได้ไฮโดรเจน

2.5 ชนิดของเตาผลิตก๊าซชีวมวล

1. Updraft Gasifier (Counter Flow Current Gasifier)

มีลักษณะการทำงานซึ่งเชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าทางด้านบนของเตา และอากาศจะถูกส่งผ่านตะแกรง เข้าทางด้านล่าง บริเวณเหนือตะแกรงขึ้นไปจะมีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดขึ้น บริเวณนี้เรียกว่า Combustion Zone อากาศเมื่อผ่านเข้าไปใน Combustion Zone จะเกิดปฏิกิริยาขึ้น ได้ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ก๊าซที่ผ่านออกมาจาก Combustion Zone จะมีอุณหภูมิและจะเข้าไปสู่ยัง Reduction Zone

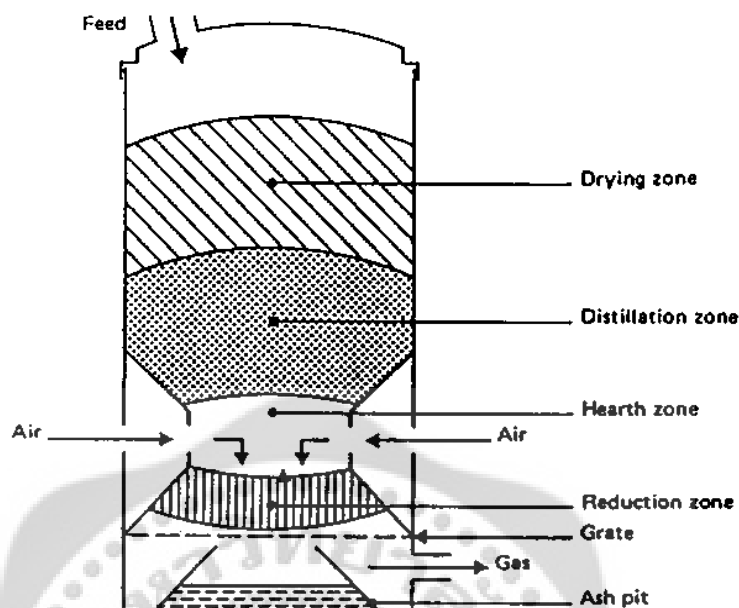
เป็นส่วนที่มีปริมาณคาร์บอนอย่างเหลือเฟือ ณ บริเวณนี้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนทำให้เกิด คาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดเจนหลังจากนั้นก๊าซที่ได้จะไหลเข้าสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในชั้นของชีวมวลที่ขึ้นเนื่องจากก๊าซที่ยังมีอุณหภูมิสูงอยู่ จึงไประเหยน้ำที่อยู่ในชีวมวลเหล่านั้นทำให้ก๊าซที่ออกจากเตาผลิตก๊าซที่อุณหภูมิต่ำลง มีลักษณะดังในภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 แสดงเตาผลิตก๊าซชนิด Updraft [11]

ข้อดีของ Updraft Gasifier ก็คือเตาไม่สลับซับซ้อนเชื้อเพลิงเผาไหม้ได้มากและก๊าซที่ออกจากเตาไม่สูงนัก ข้อเสียที่สำคัญคือก๊าซที่ผลิตได้จะมีสารเคมีน้ำมันดินปริมาณมากเกิดขึ้นใน Pyrolysis zone และจะกลั่นตัวเมื่ออยู่ในบริเวณที่อุณหภูมิต่ำกว่าด้วยเหตุนี้ก๊าซที่ได้ เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อน้ำหรือในการอบแห้งซึ่งก๊าซที่ได้จะถูกนำไปผสมกับอากาศและทำการเผาไหม้โดยตรงในห้องเผาไหม้ เพื่อให้ความร้อนในขบวนการที่ใช้ความร้อน เพราะน้ำมันดินที่เข้าไปกับก๊าซจะเกิดการเผาไหม้ให้ความร้อนออกมาเช่นกัน เตาแบบ Updraft Gasifier เป็นเตาผลิตก๊าซที่เริ่มใช้ตั้งแต่แรก และเป็นแบบที่ง่ายที่สุด

2. Downdraft Gasifier (CO- Flow Current Gasifier)

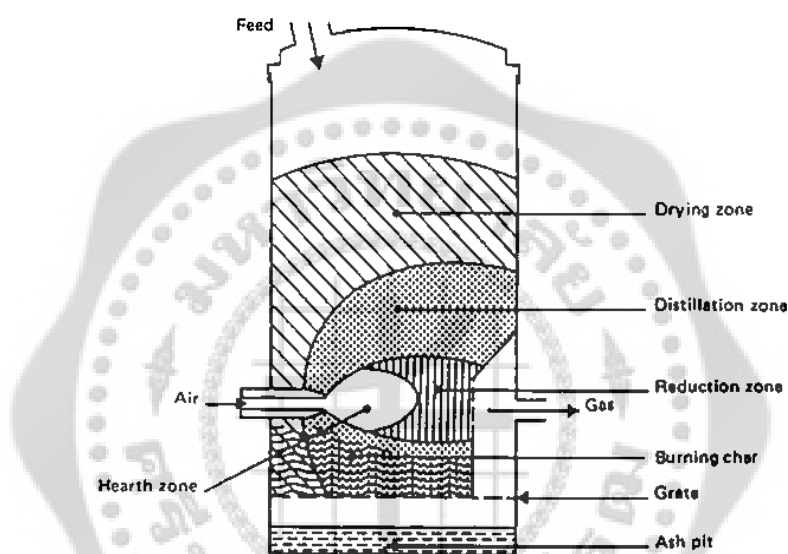


ภาพประกอบ 12 แสดงเตาผลิตก๊าซชนิด Downdraft [11]

Downdraft Gasifier ดังแสดงในภาพประกอบ 12 ออกแบบขึ้นมาเพื่อที่จะขจัดน้ำมันดินในก๊าซเชื้อเพลิงได้ โดยเฉพาะอากาศจะถูกดูดผ่านจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง โดยผ่านกลุ่มของหัวฉีด (Nozzle) ที่เรียกว่า “ Tyers “ บริเวณหัวฉีดจะเป็นบริเวณ Combustion Zone ก๊าซที่ได้จาก Combustion Zone จะถูก Reduce ในขณะที่ไหลลงสู่ด้านล่างผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อนที่อยู่เหนือตะแกรงเล็กน้อย ในขณะเดียวกันชั้นของชีวมวลที่อยู่ทางด้านบนของ Combustion Zone เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนน้อยมากจะเกิดการกลั่นสลาย แต่ไอของน้ำมันดินที่เกิดจากการกลั่นสลายจะไหลผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อน จึงทำให้น้ำมันดินเกิดการแตกตัวเป็นก๊าซ สิ่งที่ต้องสังเกตคือ การแตกตัวจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิคงที่ในช่วงระหว่าง $800 - 1,000^{\circ}\text{C}$ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า $1,000^{\circ}\text{C}$ ปฏิกิริยาดูดความร้อนจะทำให้ก๊าซที่ได้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ก๊าซที่ผ่าน Combustion Zone ใน Downdraft Gasifier จะมีส่วนประกอบของน้ำมันดินและน้ำมันดินลดลงเหลือน้อยกว่า 10% เมื่อเทียบกับกรณีของ Updraft Gasifier และก๊าซที่ได้สะอาดกว่า ทำให้ใช้จำนวนฝักรองน้อยลงเมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในซึ่งเป็นการนำ Downdraft Gasifier ไปใช้ที่สำคัญเนื่องจากก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ทั้ง Updraft Gasifier และ Downdraft Gasifier มีความเร็วต่ำ และถ้าอยู่บริเวณตะแกรงดังนั้นจึงมีปริมาณเถ้าที่ติดออกมาพร้อมกับก๊าซเชื้อเพลิง

3. Crossdraft Gasifier

Crossdraft Gasifier มีลักษณะดังภาพประกอบ 13 อากาศจะถูกดูดผ่านหัวฉีดซึ่งอยู่ในแนวราบไปกับ Combustion Zone และถัดไปอีกจะเป็น Reduction zone ก๊าซที่ออกจาก Reduction zone แล้วจะออกสู่ภายนอกเตา โดยผ่านตะแกรงซึ่งอยู่แนวตั้ง รอบๆ Combustion และ Reduction zone จะเป็นบริเวณ Pyrolysis zone น้ำมันและน้ำมันดินที่ได้จาก Pyrolysis zone นี้จะผ่าน Reduction zone ก่อนที่จะออกสู่ภายนอก ทำให้น้ำมันและน้ำมันดินเกิดการแตกตัวเป็นก๊าซก่อนที่จะออกสู่ภายนอก เป็นผลให้ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้มีปริมาณน้ำมันและน้ำมันดินต่ำ



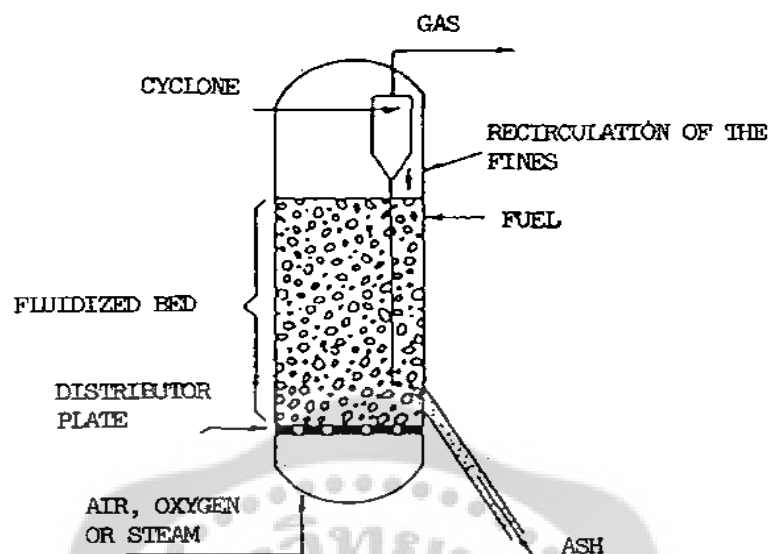
ภาพประกอบ 13 แสดงเตาผลิตก๊าซชนิด Crossdraft [11]

Crossdraft Gasifier ได้รับการออกแบบให้ใช้กับยานพาหนะ โดยเฉพาะเนื่องจากน้ำหนักเบาและมีผลตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อการเปลี่ยนแปลงต่อภาวะ(load) ที่ใช้อยู่ เชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเตาผลิตก๊าซแบบนี้ควรเป็นถ่านไม้ที่มีคุณภาพสูง

4. Fluidized Bed Gasifier

เตาผลิตก๊าซที่ได้กล่าวมาแล้วทั้ง 3 แบบ ข้างต้น การทำงานจะขึ้นอยู่กับคุณภาพทางเคมีและฟิสิกส์ของเชื้อเพลิงเป็นอย่างมาก และปัญหาที่พบบ่อยๆ คือ เรื่อง Slag ที่เกิดขึ้นมากเกินไป จึงทำให้เกิดการอุดตันในเตาผลิตก๊าซเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวเตาผลิตก๊าซแบบ Fluidized Bed ดังแสดงในภาพประกอบ 14 จึงได้รับการพัฒนาขึ้น ในเตาผลิตก๊าซแบบนี้อากาศจะไหลผ่านชั้นของเชื้อเพลิงแข็งเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศถึงค่าหนึ่งชั้นเชื้อเพลิงที่วางอยู่จะเริ่มลอยตัวขึ้นมีลักษณะคล้ายของไหล ในตอนเริ่มคิดเตา

นั้น Bed จะได้รับความร้อนจากภายนอกจนอุณหภูมิสูงขึ้นถึงจุดติดไฟของเชื้อเพลิง หลังจากนั้นเชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าไปอย่างสม่ำเสมอ การเผาไหม้จะเกิดขึ้นทั่วๆบริเวณเตา



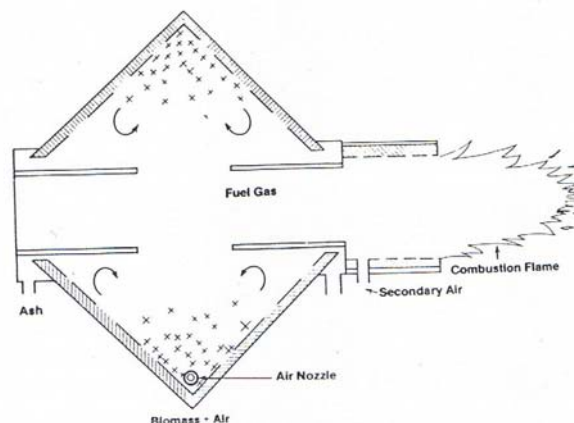
ภาพประกอบ 14 แสดงเตาผลิตก๊าซชนิด Fluidized Bed [11]

โดยปกติภายใน Fluidized Bed จะใส่ Inert Material อย่างเช่น ทราย หรือ Reduction Material อย่างเช่น Limestone หรือ Catalysis จึงช่วยในการถ่ายเทความร้อนหรือช่วยทำความสะอาดก๊าซ ใน Fluidized Bed ที่แท้จริงนั้นของแข็งถูกผสมกันอย่างรวดเร็วและเกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างสูงระหว่างทุกส่วนของ Bed ข้อได้เปรียบที่สำคัญของวิธีนี้คือการควบคุมอุณหภูมิในเตาผลิตก๊าซแบบนี้จะทำได้ง่าย จึงสามารถรักษาอุณหภูมิให้ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของเถ้าทำให้ไม่เกิดการจับตัวของ Slag ขึ้นได้จึงสามารถใช้เชื้อเพลิงที่มีเถ้ามาก ซึ่งถ้านำไปใช้เตาผลิตก๊าซแบบอื่นจะเกิดปัญหามาก

ข้อเสียของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่ออกจากเตา จะมีปริมาณเถ้าและฝุ่นเถ้าออกมาเนื่องจากความเร็วของอากาศภายในเตาสูง จึงต้องแยกออกโดยใช้ Cyclone หรือ Baghouses คุณสมบัติของเตาผลิตก๊าซแบบนี้ ยังไม่เป็นที่รู้จักดีมีการอ้างกันว่าเตาผลิตก๊าซแบบนี้ สามารถให้ก๊าซเชื้อเพลิงที่มีปริมาณน้ำมันดินต่ำ ถ่านที่ออกมาพร้อมกับก๊าซเชื้อเพลิง สามารถนำกลับไปสู่เตาได้ใหม่

5. Suspended Gasification

การเผาไหม้แบบ Suspended ปกติจะใช้ถ่านหินและชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง การผลิตก๊าซภายในใช้หลักการหมุนวนของอากาศเพื่อที่จะให้ก๊าซและของแข็งเกิดการสัมผัสกันอย่างแน่นหนาเพื่อการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กอย่างเช่น ขี้เลื่อยสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงใน Suspended Gasifier ในปัจจุบัน มี Suspended Gasifier เพียงชนิดเดียวที่ได้ทำการทดลองดังแสดงในภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 แสดงเตาผลิตก๊าซชนิด Suspended [11]

ในกาศึกษาทำวิจัยได้เลือกใช้เตาผลิตก๊าซชีวมวล แบบชนิด Downdraft เนื่องจากเตาผลิตก๊าซชนิดนี้มีข้อดีหลายอย่าง คือ ราคาไม่สูง สร้างง่าย ซึ่งเช่นเดียวกับแบบ Updraft และ Crossdraft แต่ที่สำคัญคือสามารถผลิตก๊าซที่สะอาดมีปริมาณ Tar น้อยกว่า เตาผลิตก๊าซชีวมวลชนิดอื่นๆ คือประมาณ 0.1 % ในขณะที่เตาแบบ Updraft จะผลิตก๊าซที่ให้ปริมาณ Tar สูงถึง 20 % แบบ Crossdraft จะเหมาะสำหรับเชื้อเพลิงประเภท ถ่าน ส่วนแบบ Fluidized Bed จะมีจีเถ้าปนมากับก๊าซมากและมีปริมาณ Tar ถึง 20 % เช่นกันและก็มีความยุ่งยากในทางปฏิบัติ ส่วนเตาแบบ Suspended ยังไม่มีรายละเอียดเพียงพอ

2.6 ค่าพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวล

2.6.1 พลังงานจากเชื้อเพลิงประเภทเศษไม้

ไม้เป็นวัสดุที่มีความสำคัญแก่มนุษย์มากที่สุด ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันและต่อไปในอนาคตซึ่งมีทั้งนำไปสร้างที่อยู่อาศัย ทำเฟอร์นิเจอร์ และเครื่องใช้ ทำกระดาษและใช้เป็น ไม้ฟืนเป็นต้น ไม้ที่ตัดได้ในแต่ละปีทั่วโลกจะถูกใช้ป็นไม้ฟืนเสียประมาณ 50 %

องค์ประกอบของไม้

เนื้อไม้ประกอบด้วยสารประกอบต่างๆ มากมาย ซึ่งจะแบ่งเป็นกลุ่มย่อยที่สำคัญได้ดังนี้

1. เซลลูโลส (Cellulose) เป็นสารประกอบที่มีมากที่สุดของเนื้อไม้คือประมาณ 50 % โดยมวล เซลลูโลสจะไม่ละลายในน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์สะเทิน (Neutral Organic Solvent) เช่น เบนซีน แอลกอฮอล์ , ก๊าซโซลีนและอีเธอร์ เป็นต้นแต่จะละลายได้ดีในกรดเกลือและกรดกำมะถันเข้มข้น

2. ลิกนิน (Lignin) เป็นสารประกอบที่มีมากรองจากเซลลูโลส คือจะมี 23 – 33 % โดยมวลในไม้เนื้ออ่อนและจะมี 16 – 25 % โดยในไม้เนื้อแข็ง

3. สารพิเศษ (Extrative) เป็นสารประกอบที่เป็นคุณสมบัติของพันธุ์ไม้แต่ละชนิด ได้แก่พวก น้ำหอม ไขมัน ยาง แป้ง เป็นต้น สารประกอบพวกนี้จะทำให้พืชแต่ละชนิดมีสี กลิ่น รส และความแข็งที่แตกต่างกันออกไป สารพวกนี้มีประมาณ 5 – 30 % โดยมวล

4. สารส่วนน้อย (Minor consittent) เป็นสารประกอบที่ก่อให้เกิดกลิ่น ได้แก่สารประกอบพวก แอลเคียม โปแตสเซียม ฟอสเฟต และซิลิกา เป็นต้น

ขบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis)

เนื่องจากในเนื้อไม้มีน้ำสารระเหยและน้ำมันยางอยู่เป็นจำนวนมากดังนั้นในการนำไม้สดไปใช้เป็นไม้พินโดยตรงจึงได้รับความร้อนออกมาน้อย คือมีค่าความร้อนต่ำและยิ่งกว่านั้นยังทำให้เกิดปัญหาทางมลภาวะอากาศอย่างมากอีกด้วย

ตาราง 3 ค่าความร้อนที่ได้จากไม้ที่มีค่าความชื้นต่างๆ

ค่าความชื้น (%)	0	20	40	50	60	70	80	90
ค่าความร้อน (x 104 kJ / kg)	2.03	1.63	1.22	1.02	0.82	0.61	0.41	0.18

ในการแก้ปัญหาหมลภาวะดังกล่าวสามารถทำได้โดยการนำไม้สดไปเผาที่อุณหภูมิ 160 – 430 °C ในที่ปราศจากอากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ที่เป็นของแข็งก็คือถ่านไม้ และที่เป็นของเหลวและก๊าซคือ กรดน้ำส้ม (Acetic acid) เมทานอล (Methanol) อะซิโตน (Acetone) และเอสเตอร์ (Ester) เป็นต้น

ในหลาย ๆ การคำนวณเกี่ยวกับการเผาไหม้ ต้องการเพียงค่าโดยประมาณของอากาศที่ต้องการโดยใช้อัตราจากตารางดังนี้

ตาราง 4 แสดงการคำนวณเกี่ยวกับการเผาไหม้

ชนิด	มวลอากาศแห้งเพื่อการ	ปริมาตรอากาศแห้งเพื่อการเผาไหม้เชื้อเพลิง		ข้อยกเว้น
เชื้อเพลิง	เผาไหม้เชื้อเพลิง	(m ³ /MJ/kg กรณีเชื้อเพลิงแข็งหรือ	Precision	
	(kg/kg เชื้อเพลิง)	หรือเหลว และ kJ/L กรณีเชื้อเพลิงแก๊ส)	%	
แข็ง	(MJ/kg) x 0.314	(MJ/kg) x 0.26	3	มีน้ำในเชื้อเพลิงมากกว่า 30 %
	(MJ/kg) x 0.305	(MJ/kg) x 0.35	3	ให้ค่าต่ำในกรณีของแก๊สโซลีน
เหลว				และเคโรซีน
แก๊ส	(MJ/kg) x 0.288	(MJ/kg) x 0.24	3	11.2 kJ/L หรือน้อยกว่า

ที่มา : Database on Shnidman 1954

2.7 การวิเคราะห์พลังงานความร้อนของระบบการผลิตก๊าซชีววมวล

2.7.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงแข็ง

เชื้อเพลิงแข็ง

เชื้อเพลิงแข็งมีการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลายแบบโดยมีการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1.การวิเคราะห์แบบประมาณ

เป็นการวิเคราะห์กลุ่มองค์ประกอบในเชื้อเพลิงออกเป็น ความชื้น เถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงตัว ความชื้น (M, Moisture) เป็นน้ำหนักที่สูญเสียไปหลังจากการให้ความร้อนเชื้อเพลิง ภายใต้สภาวะที่กำหนดที่อุณหภูมิ 104 - 110 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง น้ำส่วนที่เป็นความชื้นจะระเหยออกมา เถ้า (ash ,A) เป็นน้ำหนักที่คงอยู่หลังจากการเผาเชื้อเพลิง ภายใต้สภาวะออกซิไดส์ที่กำหนดอุณหภูมิ 700 – 750 °C เถ้า คือ ส่วนประกอบ อนินทรีย์ที่มีอยู่เดิมในเชื้อเพลิงแข็งที่ออกซิไดส์จนสมบูรณ์ ดังนั้น น้ำหนักของเถ้าจึงน้อยกว่าน้ำหนักของส่วนประกอบอนินทรีย์ ที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงแข็งเดิม ความสัมพันธ์ของร้อยละของเถ้าโดยประมาณ คือ

$$\% \text{ mineral matter} = 1.08 (\% \text{ ash}) + 0.55 (\% \text{ S})$$

สารระเหย (Volatile matter , VM) เป็นน้ำหนักที่สูญเสียไป (หักความชื้นออกแล้ว) หลังจากการอุ่นเชื้อเพลิงภายใต้สภาวะที่กำหนดที่อุณหภูมิ 950 ± 20 °C เป็นเวลา 7 นาที โดยไม่ให้สัมผัสอากาศ เพื่อกลั่นสลายเชื้อเพลิงส่วนที่ระเหยออกมามาร์บอนคงตัว (Fixed carbon ,FC) เป็นส่วนที่เหลือของโครงสร้างโมเลกุลของเชื้อเพลิงแข็ง ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่แต่ไม่ทั้งหมด ได้จากการคำนวณผลต่าง คือ

$$\% \text{ FC} = 100 - (\% \text{ M} + \% \text{ A} + \% \text{ VM})$$

2.การวิเคราะห์ แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis)

เป็นการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ที่สำคัญที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน และ ไนโตรเจน บางครั้งวิเคราะห์ฟอสฟอรัส และคลอรีนด้วย ส่วนออกซิเจนเป็นผลต่างระหว่าง 100 กับ ผลรวมของร้อยละธาตุองค์ประกอบทั้งหมด กับร้อยละความชื้น และเถ้า ปัจจุบันใช้เครื่องมือที่วิเคราะห์ ธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน และ ไนโตรเจน ได้พร้อมกัน คือ เครื่อง CHNS elemental analysis การรายงานผลแบบแยกธาตุแสดงเป็นร้อยละโดยมวล และรายงานร้อยละความชื้น และร้อยละเถ้ารวม ด้วย

3.ค่าพลังงานความร้อน

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็งแสดงในหน่วยความร้อนต่อมวล เช่น ระบบหน่วย เอส ไอ เป็น กิโล จูล หรือ เมกะจูล ต่อ กิโลกรัม และอนุโลมให้ใช้หน่วย กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นระบบหน่วย อเมริกัน เอนจินีเยริง

2.7.3 การคำนวณสำหรับการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของเชื้อเพลิง(Combustion)

1) การคำนวณสำหรับเชื้อเพลิงแข็ง

1.1 ปริมาณอากาศโดยทางทฤษฎีสำหรับการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ (A_0)

ในกรณีที่ธาตุองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็งหรือเชื้อเพลิงเหลวรู้อย่างแน่ชัด เราสามารถคำนวณ ปริมาณของอากาศที่จำเป็นต้องใช้ในการเผาไหม้ได้อย่างถูกต้องแน่นอน ให้ c, h, o, s, n, w เป็นปริมาณ (หน่วย kg) ของธาตุ C,H,O,S,N และความชื้นตามลำดับที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง 1 kg และให้ A_0 เป็นปริมาตร อากาศโดยทางทฤษฎีที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิง 1 kg ค่าของ A_0 คำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$A_0 = 8.89 c + 26.7 (h - o/8) + 3.33 s \quad [Nm^3 / kg]$$

1.2 ปริมาณก๊าซเสียขึ้นโดยทฤษฎีในการเผาไหม้เชื้อเพลิง (G_0)

ในกรณีที่สมมติว่า เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในปริมาณอากาศโดยทฤษฎี เราเรียก ปริมาณก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งรวมทั้งความชื้น (H_2O) ว่าปริมาณก๊าซเสียขึ้นโดยทฤษฎี และ ใช้แทนด้วยสัญลักษณ์ G_0 คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$G_0 = (1 - 0.21) A_0 + 1.867c + 11.2h + 0.7s + 1.244w + 0.8n \quad [Nm^3 / kg]$$

1.3 ปริมาณก๊าซเสียแห้ง ที่เกิดจากการเผาไหม้โดยทฤษฎี (G'_0)

ในกรณีที่สมมติว่าเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในปริมาณอากาศโดยทฤษฎี ปริมาณของก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ แต่ไม่รวมความชื้น เรียกว่า ปริมาณก๊าซเสียแห้งโดยทางทฤษฎี และใช้แทนด้วย G'_0 คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$G' = G'_0 + (11.2h + 1.244 w) \quad [\text{Nm}^3/\text{kg}]$$

1.4 อัตราส่วนอากาศ ,m

อัตราส่วนของอากาศ m คือ อัตราส่วนปริมาณอากาศที่ใช้จริงๆ ในการเผาไหม้ A กับปริมาณอากาศโดยทางทฤษฎี A_0 อัตราส่วนของอากาศ เป็นเครื่องชี้สำหรับการเกิดการเผาไหม้ที่ดี โดยทั่วไปแล้วการวัดปริมาณโดยตรงของอากาศที่ใช้จริงๆ ในการเผาไหม้ A ทำกันน้อยมาก ส่วนใหญ่จะคำนวณค่าอัตราส่วนของอากาศ m จากค่าวิเคราะห์ปริมาณธาตุ ในเชื้อเพลิง และผลการวิเคราะห์ก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ ค่าของ A คำนวณจากการคูณค่า m นี้กับ ปริมาณอากาศ โดยทฤษฎี A_0 ค่าของอัตราส่วนอากาศ m คำนวณได้ดังต่อไปนี้

- (i) จากสมการสมดุลของธาตุคาร์บอนและออกซิเจน

$$m = 1 + \frac{(O_2) - 0.5(CO)}{\{1.867c + 5.6(h-o/8) + 0.7s\} \times ((CO_2) + (CO)) / (1.867c + 0.7s)}$$

- (ii) จากสมการ สมดุลของธาตุไนโตรเจน

$$m = \frac{1}{1 - 3.76 \left\{ \frac{(O_2) - 0.5(CO)}{(N_2) - 0.8n \left(((CO_2) + (CO)) / (1.867 c + 0.7s) \right)} \right\}}$$

ถ้าไม่คำนึงถึงค่า n ในเชื้อเพลิง สูตรข้างบนจะกลายเป็น

$$m = \frac{21(N_2)}{21(N_2) - 79 \{ (O_2) - 0.5(CO) \}}$$

- (iii) ในกรณีที่รู้ค่า $(CO_2)_{\max}$ ของเชื้อเพลิง สามารถคำนวณค่าอัตราส่วนของอากาศ m จากสูตรต่อไปนี้

$$m = \frac{1 - (CO_2) - 1.5(CO)}{((1 - (CO_2)_{\max})/0.79) \times ((CO_2) + (CO)) / (CO_2)_{\max}} + 0.21$$

อนึ่ง ในกรณีที่เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ และปริมาณของธาตุไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงมีน้อยมาก $(CO_2)_{\max}$ จะมีค่าประมาณ 0.21 ดังนั้น สูตรข้างบนแปลงรูปให้ง่ายขึ้นได้เป็น

$$m = (CO_2)_{\max} / CO_2$$

และถ้าอากาศที่ใช้เผาไหม้ มี N_2 เท่ากับ 79 % จะกลายเป็นสูตรดังนี้

$$m = \frac{0.21}{0.21 - (O_2)}$$

1.5 ความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ $(CO_2)_{\max}$

เราเรียกความเข้มข้น (%) สูงสุดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซเสียแห้งโดยทฤษฎีว่า $(CO_2)_{\max}$ โดย $(CO_2)_{\max}$ คำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$(CO_2)_{\max} = \frac{1.867c \times 100 \%}{G'_o}$$

1.6 ปริมาณอากาศที่ใช้จริงๆ ในการเผาไหม้เชื้อเพลิง (A)

ถ้าให้ A เป็นปริมาณอากาศที่ใช้จริงๆ ในการเผาไหม้เชื้อเพลิง 1 kg คำนวณ A ได้จากสูตรต่อไปนี้

$$A = mA_o$$

ในภาคปฏิบัติ $(CO_2)_{\max}$ สำหรับถ่านหิน คือ 18.5% และ สำหรับน้ำมันเตา (Heavy Oil) คือ 15.7%

$$A = 1.05 m Nm^3 / 1000 \text{ kcal}$$

$$G = 1.1 m + 0.06 Nm^3 / 1000 \text{ kcal}$$

1.7 ปริมาณก๊าซเสียขึ้นที่ได้จริง การเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของเชื้อเพลิง (G)

ถ้าให้ G เป็นปริมาณของก๊าซเสียขึ้นที่ได้จริงต่อเชื้อเพลิง 1 kg คำนวณ G ได้จากสูตรต่อไปนี้

$$G = G_o + (m-1)A_o$$

1.8 ปริมาณก๊าซแห้งที่ได้จริงจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (G')

ถ้าให้ G' เป็นปริมาณก๊าซเสียแห้งที่ได้จริงต่อเชื้อเพลิง 1 kg คำนวณ G' ได้จากสูตรต่อไปนี้

$$G' = G'_0 + (m-1)A_0$$

1.9 ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิงแข็ง H_h (Higher Heating valve)

ค่าความร้อนสูงที่ได้ (H_h) ต่อเชื้อเพลิง 1 kg คำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$H_h = 8100 c + 34000 (h - o/8) + 2500s \quad [\text{kcal/ kg}]$$

1.10 ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงแข็ง H_l (Lower Heating valve)

ค่าความร้อนที่ได้ (H_l) ต่อเชื้อเพลิง 1 kg คำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$H_l = 8100 c + 28600h - 4250o + 2500s - 600w \quad [\text{kcal/ kg}]$$

หรือ

$$H_l = H_h - 600 (9h + w) \quad [\text{kcal/ kg}]$$

2.7.4 การหาค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากเตาผลิตก๊าซที่หุ้มฉนวน

สามารถหาความร้อนสูญเสียจากเตาที่หุ้มฉนวน จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q = \frac{A_{av} (t_i - t_o) \times 0.0036}{R_{th}}$$

Q = ความร้อนสูญเสีย (MJ / m.hr)

t_i = อุณหภูมิของไหลในท่อ (C)

t_o = อุณหภูมิภายนอกท่อ (C)

R_{th} = ค่าความต้านทานความร้อน

$$R_{th} = 1/h_o + (r_o + r_i)/k + 1/h_i$$

h_o = ส.ป.ส ความร้อนระหว่างผิวด้านนอกที่หุ้มฉนวนกับอากาศรอบๆท่อ

(โดยทั่วไป h_o ~ 30 watt /m2.k)

h_i = ส.ป.ส ความร้อนระหว่างผิวด้านในกับของไหลในท่อ ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิในท่อ
(โดยทั่วไป $h_i \sim 4,000 \text{ watt/m}^2\text{.k}$)

r_i = รัศมีของท่อที่ไม่ได้หุ้มฉนวน (m.)

$r_o = r_i + \text{ความหนาของฉนวน (m.)}$

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน (W /m.k)

เนื่องจาก $(r_o - r_i) / k$ มากกว่า $1/h_o$, $1/h_i$ มาก , $R_{th} = (r_o - r_i) / k$

$$A_{av} = (A_o - A_i) / \ln(A_o/A_i) \quad , \quad A_o = 2\pi r_o \quad , \quad A_i = 2\pi r_i$$

การหาความร้อนสูญเสียจากท่อ/ เตาที่ไม่ได้หุ้มฉนวน

$$R_{th} = 1 / h_o \quad , \quad A_{av} = A_i$$

$$Q = A_i(t_i - t_o)h_o \times 0.0036 \quad , \quad \text{MJ/m.h}$$

2.8 การหาค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ต่อกิโลกรัมของวัสดุเชื้อเพลิง ที่ต้องการเผาไหม้ในเตาผลิตก๊าซ

สามารถหาได้จากสมการพลังงานความร้อน

ดังต่อไปนี้

$$E_{sp} = \frac{m_k 1.2 (T_f - T_s) / 2 + m_f 1.2 (T_f - T_a) + ((160(T_s + T_a) - 12,995) A)}{(1-f) m_p} + \frac{1.1 (T_f - T_a)}{(1-f)}$$

E_{sp} = พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมของวัสดุเชื้อเพลิงที่ต้องการเผา KJ/kg

m_k = น้ำหนักของเตาผลิตก๊าซ (kg)

m_f = น้ำหนักของภาชนะที่ใส่วัสดุเชื้อเพลิงที่ต้องการ (kg)

m_p = น้ำหนักของวัสดุเชื้อเพลิงที่ต้องการเผาไหม้ (kg)

T_f = อุณหภูมิในการเผาไหม้เชื้อเพลิง (°C)

T_s = อุณหภูมิออกเตาผลิตก๊าซ (°C)

T_a = อุณหภูมิรอบๆ เตาผลิตก๊าซ (°C)

f = สัดส่วนการสูญเสียในการเผาไหม้เชื้อเพลิง

$f = 0$ ----> เตาผลิตก๊าซชนิดใช้ไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิง

$f = 0.2 - 0.35$ ----> ใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้เชื้อเพลิง

A = พื้นที่ผิวด้านนอกเตาผลิตก๊าซ (m^2)

2.9 การหาประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซชีวมวล (Gasifier Efficiency)

การหาประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซชีวมวลสามารถหาได้ โดยใช้ข้อมูลทางเทคนิค และใช้สมการดังต่อไปนี้

- 1) การหาประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวมวล สำหรับงานทางเครื่องจักรกล จากสมการดังนี้
ประสิทธิภาพทางกล ($\eta_m, \%$)

$$\eta_m = \frac{H_g \times Q_g}{H_s \times M} \times 100 \%$$

โดยค่า: η_m = ประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวมวล (%) (mechanical)

H_g = ปริมาณความร้อนของก๊าซ (kJ/m^3)

Q_g = อัตราการไหลของก๊าซ (m^3/s)

H_s = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงสำหรับเตาผลิตก๊าซชีวมวล (kJ/kg)

M_s = อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแห้งสำหรับเตาผลิตก๊าซชีวมวล (kg/s)

- 2) การหาประสิทธิภาพก๊าซชีวมวล สำหรับงานทางความร้อน จากสมการดังนี้

ประสิทธิภาพทางความร้อน ($\eta_{th}, \%$)

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

โดยค่า: η_{th} = ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตก๊าซชีวมวล (%) (Thermal)

ρ_g = ความหนาแน่นของก๊าซ (kg/m^3)

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของก๊าซ ($kJ/kg^\circ K$)

ΔT = อุณหภูมิแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของก๊าซที่ห้องเผาไหม้และ

อุณหภูมิของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าเตา ($^\circ K$).

3) การหาประสิทธิภาพโดยรวมของระบบก๊าซชีววมวล สำหรับก๊าซเย็น จากสมการดังนี้

ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตก๊าซชีววมวล ($\eta_g, \%$)

$$\eta_g = \frac{q_{vg} \times H_{ig}}{q_{mf} \times H_{if}}$$

โดยที่: η_g = ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตก๊าซชีววมวล (Overall cold gas efficiency)

q_{vg} = อัตราการไหลของก๊าซ (Gas volume flow)

q_{mf} = อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (Fuel mass flow)

H_{ig} = ค่าความร้อนต่ำของก๊าซชีววมวล (Lower gas heating value)

H_{if} = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (Lower fuel heating value)

4) การหาประสิทธิภาพของระบบเครื่องยนต์ ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้เชื้อเพลิง น้ำมันดีเซล ผสมกับก๊าซชีววมวล จากสมการดังนี้

ประสิทธิภาพโดยของระบบ ($\eta_g, \%$)

$$\eta_g = \frac{\text{Energy equivalent of the electrical power output}}{\text{Energy supply to engine}}$$

$$\eta_g = 3.6 \times P_e / (V_g \times CV_g + m_d \times CV_d)$$

m_d = Diesel consumption (kg/hr)

CV_d = Net heating value of diesel (MJ/kg)

5) การหาประสิทธิภาพโดยรวมของระบบเครื่องยนต์ ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้เชื้อเพลิง น้ำมันดีเซล ผสมกับก๊าซชีววมวล จากสมการดังนี้

ประสิทธิภาพโดยของระบบ ($\eta_{total}, \%$)

$$\eta_{total} = P_e / (m_f h_f) = 3.6 \times P_e / (m_b \times CV_b + V_d \times CV_d)$$

2.10 เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก

ข้อมูลของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ (4 Cycle Engine)

เครื่องยนต์ดีเซลแบ่งออกเป็นแบบใหญ่ๆ ได้ 2 แบบ คือ

a. เครื่องยนต์ 4 จังหวะ (The 4-Cycle Engine)

b. เครื่องยนต์ 2 จังหวะ (The 2-Cycle Engine)

เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก โดยทั่วไปเป็นเครื่องยนต์ 4 จังหวะ สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ มักใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่

ลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ มีดังนี้

1. จังหวะดูด (Intake Stroke) เมื่อลูกสูบเลื่อนลงจากศูนย์ตายบน ถึงจุดศูนย์ตายล่าง (TDC-BDC) ลิ้นไอดีจะเปิด อากาศจะถูกดูดเข้ามาประจุในห้องเผาไหม้ แต่ในขณะนี้ลิ้นไอดียังคงปิดอยู่
2. จังหวะอัด (Compression Stroke) เมื่อลูกสูบเริ่มเคลื่อนจากศูนย์ตายล่าง (BDC) ลิ้นทั้งสองจะปิด ดังนั้นอากาศในกระบอกสูบจึงถูกอัดโดยกระบอกสูบแรงดันและความร้อนของอากาศจึงสูงขึ้นอย่างรวดเร็วอากาศในขณะนี้เป็อากาศที่ร้อนแดง Red hot air ถ้าอัตราส่วนอากาศอัดเท่ากับ 20 : 1 อากาศจะมีแรงดัน 40 -50 กก./ ตารางเซนติเมตร แลมีอุณหภูมิ 500 -600 องศาเซลเซียส
3. จังหวะระเบิด (Power Stroke) เมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้นเกือบจุดศูนย์ตายบนในปลายจังหวะอัด ละอองน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้ทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างทันทีทันใดแรงดันจากการเผาไหม้จะผลักดันให้ลูกสูบเลื่อนลงอุณหภูมิจะสูงขึ้นประมาณ 2,000 องศาเซลเซียส และแรงดันสูงขึ้นเป็น 55 – 80 กก./ ตารางเซนติเมตร ในจังหวะระเบิดนี้พลังงานความร้อนจะ ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานกล
4. จังหวะคาย (Exhaust Stroke) ปลายจังหวะระเบิด ลิ้นไอดี จะเปิดก๊าซไอดี จึงขับไล่ออกจากกระบอกสูบด้วยการเลื่อนขึ้นของลูกสูบ

อัตราส่วนความอัด (Compression Ratio) อัตราส่วนระหว่างปริมาตรภายในกระบอกสูบเมื่อลูกสูบอยู่ที่จุดศูนย์ตายล่างกับปริมาตรภายในกระบอกสูบ เมื่อลูกสูบอยู่ที่ศูนย์ตายบน อัตราส่วนความอัดของเครื่องยนต์มีความสำคัญมากเพราะมีความสัมพันธ์กับชนิดและคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่จะนำไปใช้ เครื่องยนต์เบนซินจะมีอัตราส่วนความอัดอยู่ระหว่าง 5.5 : 1 ถึง 8 : 1 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลนั้น น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบหลังจากที่อากาศถูกอัดแล้ว อัตราส่วนความอัดอยู่ระหว่าง 14 : 1 ถึง 21 : 1

การคำนวณสมรรถนะของเครื่องยนต์

อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific fuel consumption : bsfc) คือ ปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้ไปต่อหนึ่งหน่วยเวลาต่อกำลังงานเบรกของเครื่องยนต์ หาได้จากสมการ

$$\text{จากสมการ} \quad \text{Bsfc} = \frac{m_f \times 3600}{\text{BP}}$$

เมื่อ Bsfc คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (kg/kW.hr)

m_f คือ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง kg/s

สามารถหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้โดย

$$m_f = \frac{w_f \times 3600}{t}$$

เมื่อ w_f คือ มวลของเชื้อเพลิง (kg)

t คือ เวลาที่เชื้อเพลิงถูกใช้ไป (sec.)

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (Brake Specific Energy Consumption) คือจำนวนของพลังงาน ที่ได้จากเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยเวลาต่อกำลังงานเบรกของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเป็นกำลังงานเบรกของเชื้อเพลิง หาได้จากสมการ

$$B_{sec} = Q_{HV} \times B_{sfc}$$

เมื่อ B_{sec} คือ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (kJ/kW.hr)

Q_{HV} คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

กำลังงานเชื้อเพลิง (Fuel Power) เป็นการคิดค่ากำลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิง จากอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ ซึ่งหาได้จาก

$$FP = m_f \times Q_{HV}$$

เมื่อ FP คือ กำลังงานเชื้อเพลิง (kW)

Q_{HV} คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (Brake Thermal Efficiency) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่เครื่องยนต์ส่งออก (Power Output) กับพลังงาน (Energy) ที่เกิดจากการสันดาปน้ำมันเชื้อเพลิง ความร้อนที่ได้จากการสันดาปเชื้อเพลิง ไม่สามารถนำไปใช้ได้ทั้งหมด เพราะความร้อนบางส่วนต้องสูญเสียให้กับระบบหล่อเย็น หรือ ไอเสีย ซึ่งถือว่าปริมาณการสูญเสียมากที่สุดในเครื่องยนต์การสูญเสียความร้อน ดังกล่าวเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพความร้อยลดลง

ประสิทธิภาพความร้อนสามารถหาได้จากหลายกรณีบางครั้งอาจหาได้จากกำลังม้าอินดิเคต เรียกว่า ประสิทธิภาพทางความร้อนบ่งชี้ หรือฐานอินดิเคต (Indicated Thermal Efficiency : η_{it}) หรือ อาจหา

จากกำลังม้าเบรก ซึ่งเรียกว่าประสิทธิภาพทางความร้อนเบรก หรือ บณฐานเบรก (Brake Thermal Efficiency : η_{BTH})

$$\eta_{BTH} = \frac{BP \times 100}{FP}$$

- เมื่อ η_{BTH} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (%)
 BP คือ กำลังงานเบรกของเครื่องยนต์ที่ได้จากการทดสอบ (kW)
 FP คือ กำลังงานของเชื้อเพลิง (kW)

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air- Fuel ratio)

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในกระบอกสูบของเครื่องยนต์จะสมบูรณ์เพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ระยะเวลาการเผาไหม้ การคลุกเคล้าระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงในกระบอกสูบ และปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่ง คือปริมาณอากาศที่ประจะเข้ากระบอกสูบน้อยเพียงใด

$$\frac{A}{F} = \frac{(F/A)_{actual}}{(F/A)_s}$$

- เมื่อ A/F คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง
 m_a คือ ปริมาณอากาศเข้ากระบอกสูบ (kg/hr)
 m_f คือ อัตราส่วนสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/hr)

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี(Stoichiometric Air Fuel Ratio)ของเครื่องยนต์ที่ต้องการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ทราบได้จากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงสำหรับน้ำมันดีเซล A/F ratio เท่ากับ 14.327



บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

กล่าวนำ

การดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกจะเป็นการศึกษาลักษณะและคุณสมบัติพลังงานของเชื้อเพลิง เช่น เศษไม้ ขั้นตอนที่สอง จะศึกษาและออกแบบระบบการผลิตก๊าซจากเชื้อเพลิงชีวมวล โดยออกแบบและใช้ระบบผลิตก๊าซชีวมวล แบบ Down draft พร้อมระบบบำบัดคุณสมบัติของก๊าซที่ผลิตได้ ขั้นตอนที่ สาม ศึกษาการนำก๊าซที่ผลิตได้จากเตาชีวมวลมาใช้ประโยชน์โดยใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ขนาดเล็ก สำหรับผลิตพลังงานทางกลและผลิตกระแสไฟฟ้า พร้อมกับการตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า คุณสมบัติของก๊าซชีวมวล

ในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการทดลองพร้อมทั้งขั้นตอนการทดลอง

อุปกรณ์ในการทดลอง

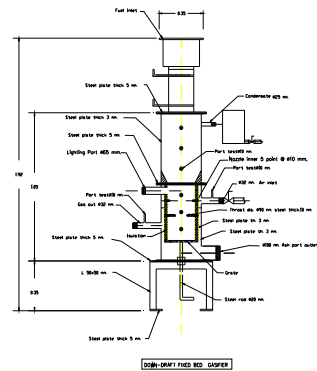
1.ระบบผลิตก๊าซ ชีวมวล แบบ **Downdraft** ใช้เศษไม้ และถ่านไม้ เป็นเชื้อเพลิง ทำจากแผ่นเหล็กเหนียว ดังภาพประกอบ 16 จะแสดงอุปกรณ์ประกอบและการติดตั้งเครื่องมือวัด และภาพประกอบ 17 ถึง 27 แสดงรายละเอียดของเตาผลิตก๊าซ ชีวมวล มีรายละเอียดดังนี้

1.1 เตาผลิตก๊าซชีวมวล แบบชนิด Downdraft

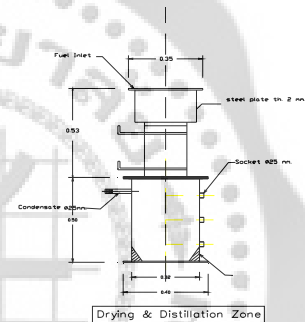
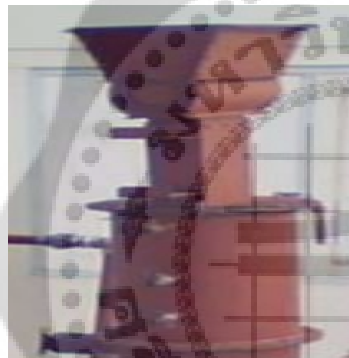
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	320	mm.
ความสูงทั้งหมด	1920	mm.
ขนาดส่วนของชุดเดิมเชื้อเพลิงมีความสูง	530	mm.
ขนาดส่วนของ Drying zone , Pyrolysis zone		
มีความสูง	500	mm.
ส่วนของ Combustion zone และ Reduction Zone		
มีความสูง	550	mm.
ส่วนฐานแท่นเหล็กรองรับ	มีความสูง	350 mm.
ปริมาตรของเตาผลิตก๊าซที่บรรจุเชื้อเพลิง	82	Lite.
ปริมาตรของเชื้อเพลิงที่บรรจุ	60	Lite.

1.2 เชื้อเพลิง

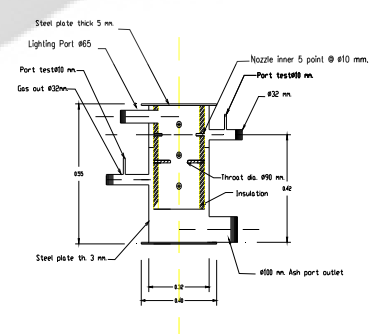
- ใช้เศษไม้ ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 - 5 cm. ความยาว 2 - 5 cm
- ใช้ถ่านไม้ ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 - 5 cm. ความยาว 2 - 5 cm.



ภาพประกอบ 16 แสดงแบบจำลองเตาผลิตก๊าซแบบ Down draft



ภาพประกอบ 17 แสดงส่วนประกอบต่างของเตาผลิตก๊าซ ส่วน
ของ Inlet Fuel , Drying Zone , Pyrolysis Zone



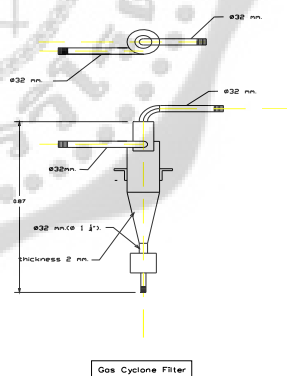
ภาพประกอบ 18 แสดงส่วนประกอบต่างของเตาผลิตก๊าซ ส่วน
ของ Combustion และ Reduction Zone

2. ชุดป้อนอากาศ เป็นอุปกรณ์ควบคุมการใช้อากาศของระบบประกอบด้วยพัดลม พร้อมชุดควบคุม การจ่ายอากาศ และ คำนวณอัตราการไหลของอากาศ และ ใช้ Gate Valve เป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของอากาศ



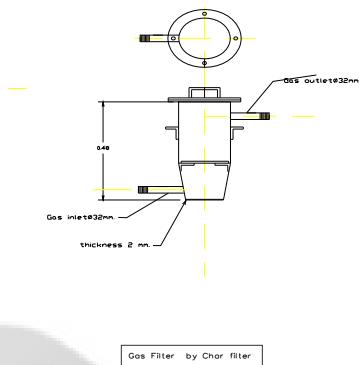
ภาพประกอบ 19 แสดงส่วนประกอบของพัดลมเติมอากาศเข้าเตาผลิตก๊าซชีวมวล

3. ชุดกรองฝุ่น (Gas Cyclone) ของก๊าซที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซ เพื่อดักจับฝุ่นให้เหลือน้อยที่สุด ก่อนที่ทำการหล่อเย็น การกรอง และ การลดความชื้น ก่อนจ่ายเข้าเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ เพื่อป้องกัน ความเสียหายที่จะเกิดกับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก



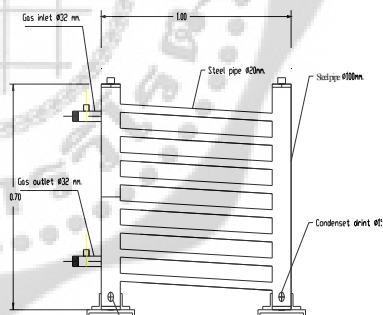
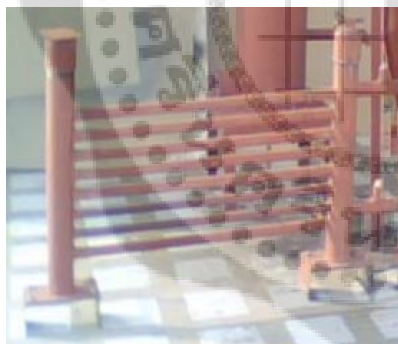
ภาพประกอบ 20 ชุดกรองฝุ่นละอองจากก๊าซ (Gas Cyclone)

4. ชุดอุปกรณ์ระบบลดความชื้น และชุดกรอง ของก๊าซที่ผลิตได้ ใช้แท่งถ่าน เพื่อที่จะดูดความชื้นออกจากก๊าซชีววมวล



ภาพประกอบ 21 ชุดอุปกรณ์ระบบลดความชื้น

5. ชุดลดอุณหภูมิของก๊าซที่ผลิตได้ โดยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้อากาศ ประกอบด้วยชุดแผงคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อน พร้อมอุปกรณ์ประกอบ



ภาพประกอบ 22 ชุดลดอุณหภูมิของก๊าซที่ผลิตได้

6. เครื่องยนต์ดีเซล ขนาดเล็ก (Small Diesel Engine)



ภาพประกอบ 23 เครื่องยนต์ดีเซล ขนาดเล็ก (Small Diesel Engine)

มีข้อมูลทางเทคนิคดังต่อไปนี้

- เครื่องยนต์ / รุ่น : TGD 1100
- แบบเครื่องยนต์ : เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ลูกสูบเดี่ยว
- ขนาดกระบอกสูบ x ช่วง ชัก : 92 x 90 mm.
- ปริมาตรช่วงชัก : 598 cm³
- ความจุน้ำมันหล่อลื่น : 2.3 Litre
- อัตราส่วนการอัด : 21 : 1
- กำลังงานสูงสุด : 8.21 kW , at 2,400 rpm.
- กำลังที่กำหนดต่อเนื่อง : 7.09 kW , at 2,400 rpm
- แรงบิดสูงสุด : 3.5 kg –m at 1,800 rpm.
- ระบบฉีดน้ำมันและปั๊ม : Bosch
- ลักษณะห้องเผาไหม้และหัวฉีด : ห้องเผาไหม้ช่วยแบบ Swirl chamber
- แบบของระบบระบายความร้อน : หม้อน้ำรังผึ้ง
- ชนิดของระบบเริ่มการเดินเครื่อง : มือหมุนสตาร์ท
- น้ำหนักเครื่องยนต์ : 117 kg.

7. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternative Generator)



ภาพประกอบ 24 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternative Generator)

มีข้อมูลทางเทคนิคดังต่อไปนี้

- ยี่ห้อ : Super Folk
- ชนิด : AC Alternative
- ความเร็วรอบสูงสุด : 1,500 rpm.
- กำลังสูงสุด : 5 kW.
- แรงดัน : 220 VAC
- กระแสไฟฟ้า : 22.5 Amp.
- ความถี่กระแส : 50 Cycle
- จำนวนเฟส : 1 Phase

8. ชุดอุปกรณ์ทดสอบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง พร้อม ชุดควบคุมการทดสอบ

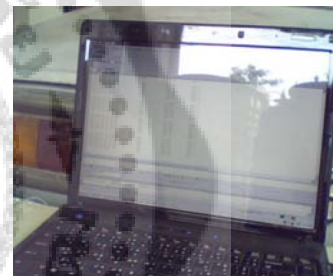
ประกอบด้วยอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า พร้อม ชุดทดสอบการทำงานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Lamp Electrical Power Measurement Circuit Unit and unit control) โดยทำหน้าที่ประมวลผลระบบกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และระบบไฟฟ้าแสงสว่างซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

- โวลท์มิเตอร์ใช้วัดแรงดันกระแสไฟฟ้า
- แอมมิเตอร์ใช้วัดกระแสไฟฟ้า
- ชุดเบรกเกอร์ ขนาด 30 Amp ,220 V ,1Ph ,50 Hz และปุ่ม สวิท เปิด- ปิด ระบบแสงสว่าง
- หลอดไฟฟ้าชนิดไส้ ขนาด 150 Watts จำนวน 25 หลอด
- หลอดไฟฟ้าชนิดไส้ ขนาด 100 Watts จำนวน 5 หลอด
- รวมกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่สามารถวัดได้ 4,250 Watts



ภาพประกอบ 25 ชุดอุปกรณ์ทดสอบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์ตรวจวัด

9. ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ อุปกรณ์เก็บข้อมูลและโปรแกรมแสดงผลการตรวจวัด ดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 26 ชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูลและโปรแกรมแสดงผลการตรวจวัด



ภาพประกอบ 27 ชุดเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบไหลลง พร้อมอุปกรณ์ประกอบ
 ปริมาตรของเตาผลิตก๊าซ เท่ากับ 82 ลิตร
 เชื้อเพลิงน้ำหนัก 12 kg



ภาพประกอบ 28 ชุดอุปกรณ์การทดลองและอุปกรณ์ทดสอบไฟฟ้าแสงสว่าง



ภาพประกอบ 29 เชื้อเพลิงชีวมวล ประเภทเศษไม้และ ถ่านไม้



ภาพประกอบ 30 ชุดเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก พร้อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การวัดและวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ

1. อุณหภูมิภายในเตาผลิตก๊าซชีวมวล

- อุปกรณ์วัดอุณหภูมิภายในเตาผลิตก๊าซ ที่ช่องทางออกจากเตา และที่ Orifice Plate จะใช้เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple type K) วัดอุณหภูมิได้ ตามแนวระยะความสูงเตา จากผนัง ถึงศูนย์กลางห้องเผาไหม้

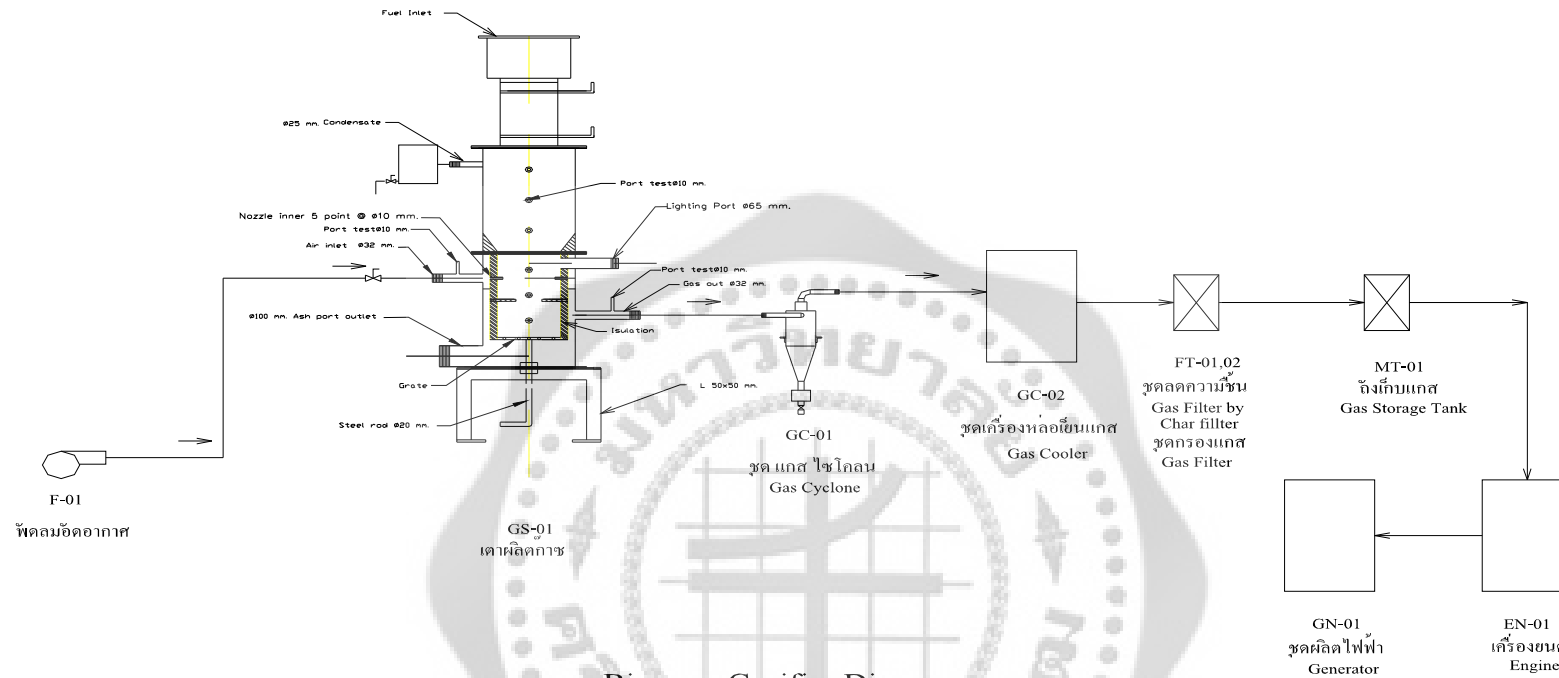
2.ปริมาณพลังงานไฟฟ้า

- จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- อุปกรณ์ทดสอบการใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

3.ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและคุณสมบัติของเชื้อเพลิง

การประมวลผลและบันทึกข้อมูล

1. อัตราการใช้เชื้อเพลิงประเภทชีวมวล ชนิด เศษไม้ , ถ่านไม้ ตรวจวัดน้ำหนักอัตราการใช้เชื้อเพลิง
2. อัตราการใช้อากาศป้อนเข้าสู่ชุดส่วนการเผาไหม้
3. อุณหภูมิภายในเตาผลิตก๊าซ วัดโดยใช้ Thermocouple
4. อัตราการเกิดก๊าซชีวมวลที่ผลิตได้
5. คุณสมบัติและองค์ประกอบก๊าซที่ผลิตได้ โดยใช้ Syring ดูดก๊าซ จาก Orifice Plate ปริมาณอย่างน้อย 5 cc. ฉีดเข้าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ เครื่องวิเคราะห์ก๊าซจะส่งผลเข้าเครื่องคำนวณและบันทึก
6. ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้



ตารางรายการอุปกรณ์

รหัส	รายการ	ชนิด	ชนิดตัวควบคุม (ACTUATOR)	ขนาด (AA.)	จำนวน	หมายเหตุ
GS-01	เตาผลิตก๊าซ	Biomass Gasifier	—		1	—
F-01	พัดลมอัดอากาศ	Pressure Fan	—		1	—
GC-01	ชุด แกลสไซโคลน	Gas Cyclone	—		1	—
GC-02	ชุดหล่อเย็นแกส	Gas Cooler	—		1	—
MT-01	ถังเก็บแกส	Gas Storage Tank	—		1	—
FT-01,02	ชุดลดความชื้น ชุดกรองแกส	Char Filter , Gas Filter	—		2	—
EN-01	เครื่องยนต์	Engine	—		1	—
GN-01	ชุดผลิตไฟฟ้า	Generator	—		1	—

ภาพประกอบ 31 แสดงแผนภูมิอุปกรณ์การทดลอง

วิธีการทดลอง

1. การทดลองลักษณะคุณสมบัติ และการเคลื่อนไหวนของเชื้อเพลิง

โดยใช้เชื้อเพลิง ประเภท เศษไม้ , ถ่านไม้ โดยการเติมเชื้อเพลิง ที่ Hopper ป้อนเศษไม้ , ถ่านไม้ เป็นเชื้อเพลิง เมื่อเชื้อเพลิงเต็ม เตา จุดไฟที่ช่องจุดไฟ และเปิดพัดลม (Blower) อัดอากาศ เพื่อที่จะเตรียมอากาศ จ่ายในส่วนเผาไหม้เชื้อเพลิง เพื่อให้อากาศเข้าทางท่อลมเดิม และผ่านทางช่อง Nozzle เข้าส่วนห้องเผาไหม้ และให้ก๊าซชีวมวลที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซ ผ่านชุดหล่อเย็นก๊าซชีวมวล ชุดกรองก๊าซ ชุดลดความชื้นของ ก๊าซชีวมวล

ทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1.1 อุณหภูมิภายในเตาผลิตก๊าซ โดยเทอร์โมคัปเปิล แล้วบันทึกผล
- 1.2 อัตราการไหลของอากาศที่ป้อนเข้าเตา
- 1.3 อัตราการไหลของก๊าซที่ผลิตได้
- 1.4 คุณสมบัติของก๊าซชีวมวลที่ผลิตได้
- 1.5 ปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (เศษไม้)

2 . การทดลองการทำงานของระบบเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

การทดลองโดยการนำก๊าซชีวมวลที่ผลิตได้ จากเตาผลิตก๊าซ และก๊าซที่ได้ นำผ่านชุดกรอง ชุดหล่อเย็น และกรองก๊าซชีวมวลเพื่อป้อนเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ ขนาดเล็ก ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และทำการบันทึกข้อมูลต่อไปนี้

- 2.1 ตรวจวัดอุณหภูมิของก๊าซชีวมวล
- 2.2 ตรวจวัดอัตราการไหลของก๊าซที่ผลิตได้
- 2.3 วัดอุณหภูมิของก๊าซ ที่ผ่านชุดหล่อเย็นก๊าซชีวมวล
- 2.4 ตรวจวัดคุณสมบัติของก๊าซ ชีวมวลที่ผลิตได้
- 2.5 ตรวจวัดปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้

3. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ระบบ

สำหรับการผลิตไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้สำหรับอาคารที่พักอาศัย หรืออุตสาหกรรม ขนาดเล็ก (SME) โดยใช้ชุดผลิตก๊าซชีวมวล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ขนาดเล็กสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองงานวิจัย

กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองต่างๆ ที่ได้ดำเนินการตามขั้นตอนที่ได้วางไว้ คือ การทดลองแบบจำลองเพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตก๊าซชีววมวล เพื่อใช้กับระบบผลิตกระแสไฟฟ้า และการออกแบบระบบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ และศึกษาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องพร้อมกับการตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆ ของระบบ

ผลการทดสอบเตาผลิตก๊าซชีววมวล และระบบผลิตไฟฟ้า



ภาพประกอบ 32 แสดงการทดสอบก๊าซชีววมวลที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซชีววมวล



ภาพประกอบ 33 การทดสอบของระบบชุดเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบไหลลง และชุดเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก พร้อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ผลการออกแบบเตาผลิตก๊าซชีววมวล

ตาราง 5 รายละเอียดการออกแบบของเตาผลิตก๊าซแบบไหลลง

อัตราการใช้เชื้อเพลิงเศษไม้	3.10	kg/hr
ปริมาณอากาศที่ใช้	8.94	kg/hr
ปริมาณก๊าซที่ได้	10.72	Nm ³ /kg
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนเผาไหม้	22	cm.
ขนาดคอคอด	9	cm.
ความสูงของหัวจ่ายอากาศที่ผนังด้านข้างบริเวณส่วนเผาไหม้	10	cm.
ขนาดหัวจ่ายอากาศ	10	mm.
Air / Fuel Ratio	5.1	
เศษไม้ 1 kg ให้ ก๊าซ	9.8	Nm ³

องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีววมวล ชนิดเศษไม้

ตาราง 6 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงชีววมวล [10]

Proximate Analysis	Rubber woodchips	Rubber wood (Charcoal)
Volatile matter , wt% ,dry basis	88.90	25.64
Ash , wt% ,dry basis	1.01	2.11
Moisture , wt% , dry basis	9.01	4.37
Fixed carbon , wt% , dry basis	14.75	67.88
Higher heating value(MJ /kg dry biomass)	16.20	20.32
Ultimate analysis (wt% dry ash free)		
C	41.75	66.42
H	5.17	0.91
O	42.93	13.81
N	0.14	0.28
S	0.00	0.00
Theoretical air -fuel ratio (dry basis)	5.19	5.1
Source:	Sommas ,Suneerat , (2007)	Pichan,Chukiat, Panyarak ,(2003)

ผลการออกแบบแสดงปริมาณพลังงานและองค์ประกอบที่ผลิตได้

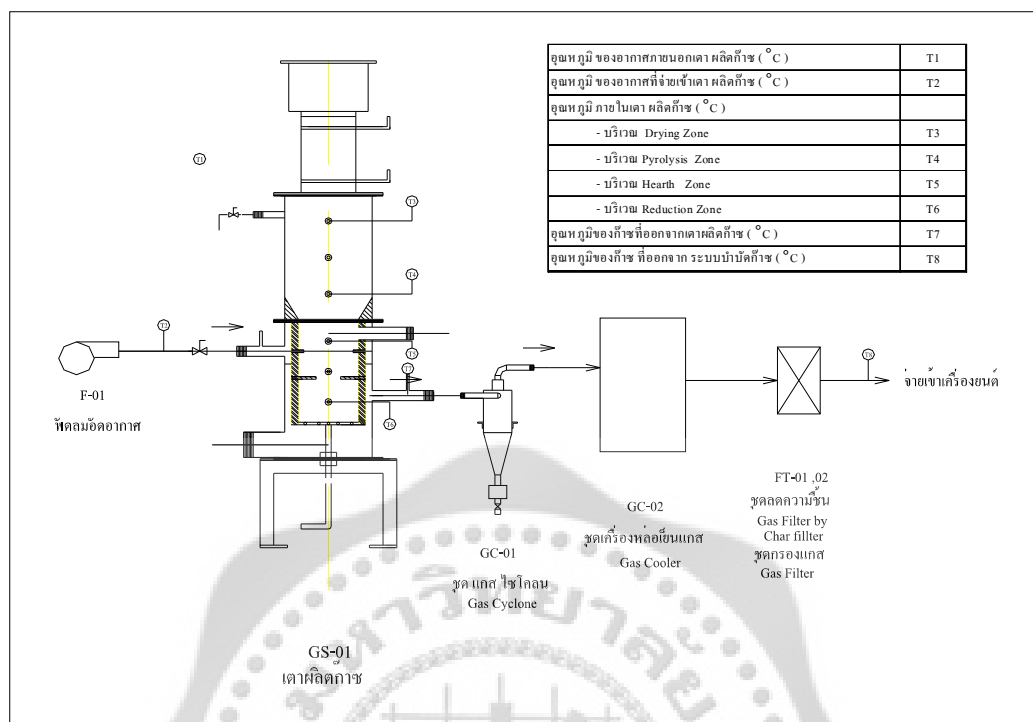
ตาราง 7 รายละเอียดค่าพลังงานที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ดีเซล ขนาดเล็ก 4 จังหวะ

อัตราการใช้เชื้อเพลิงเศษไม้	3.10	kg/hr
ปริมาณอากาศที่ใช้	8.94	kg/hr
ปริมาณก๊าซที่ได้	10.72	Nm ³ /kg
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนเผาไหม้	22	cm.
ขนาดคอกอด	9	cm.
ความสูงของหัวจ่ายอากาศที่ผนังด้านข้างบริเวณส่วนเผาไหม้	10	cm.
ขนาดหัวจ่ายอากาศ	10	mm.
Air / Fuel Ratio	5.1	
เศษไม้ 1 kg ให้ ก๊าซ	9.8	Nm ³

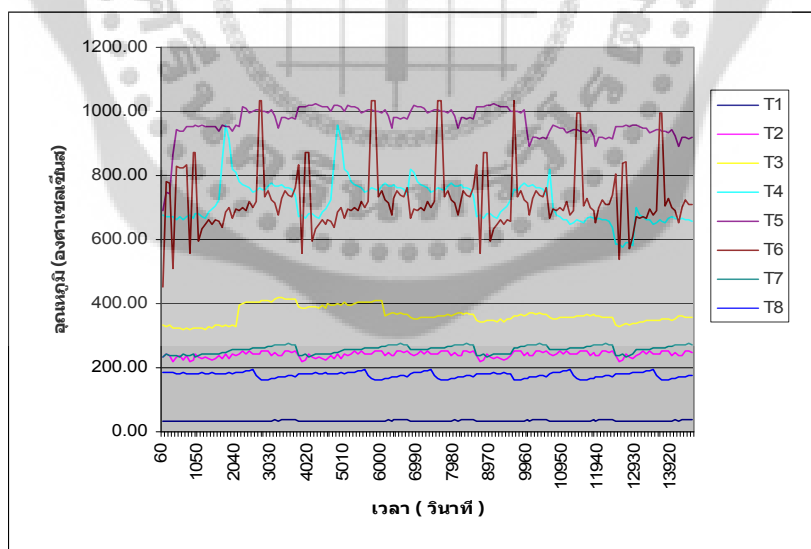
รายละเอียดผลการทดลองทางกระบวนการเตาผลิตก๊าซชีวมวล

ตาราง 8 ข้อมูลผลการทดลองของกระบวนการผลิตก๊าซชีวมวล

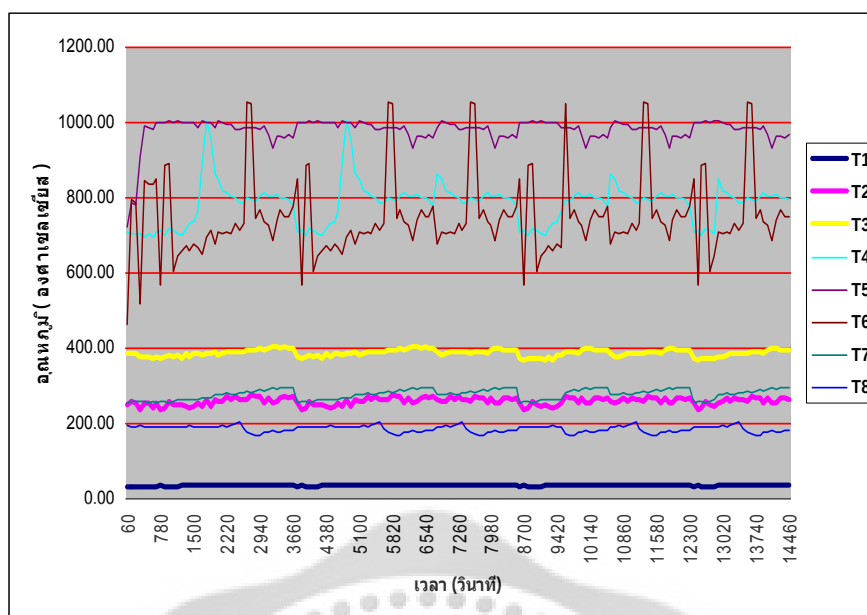
Proximate Analysis	Rubber woodchips	Rubber wood (Charcoal)
Volatile matter , wt% ,dry basis	88.90	25.64
Ash , wt% ,dry basis	1.01	2.11
Moisture , wt% , dry basis	9.01	4.37
Fixed carbon , wt% , dry basis	14.75	67.88
Higher heating value(MJ /kg dry biomass)	16.20	20.32
Ultimate analysis (wt% dry ash free)		
C	41.75	66.42
H	5.17	0.91
O	42.93	13.81
N	0.14	0.28
S	0.00	0.00
Theoretical air -fuel ratio (dry basis)	5.19	5.1
Source:	Sommas ,Suneerat , (2007)	Pichan,Chukiat, Panyarak ,(2003)



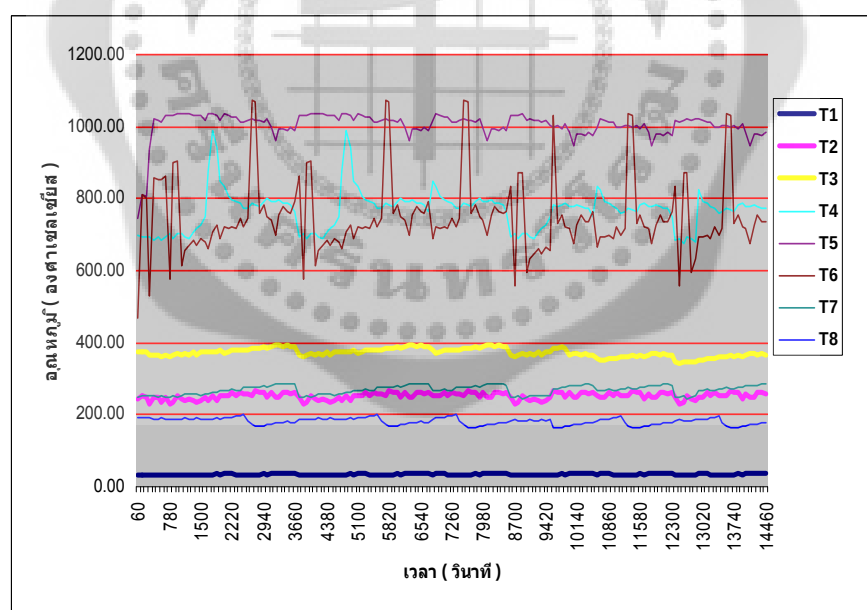
ภาพประกอบ 34 การวัดอุณหภูมิ ตามตำแหน่งต่างๆ ของชุดผลิตก๊าซชีวมวล



ภาพประกอบ 35 พัฒนาการของอุณหภูมิ ตามตำแหน่งต่างๆ ของชุดผลิตก๊าซชีวมวล
ใช้เชื้อเพลิง ชนิด เศษไม้



ภาพประกอบ 36 พัฒนาการของอุณหภูมิ ตามตำแหน่งต่างๆ ของชุดผลิตก๊าซชีววมวล
ใช้เชื้อเพลิง ชนิด เศษไม้ ร่วมกับ ถ่านไม้



ภาพประกอบ 37 พัฒนาการของอุณหภูมิ ตามตำแหน่งต่างๆ ของชุดผลิตก๊าซชีววมวล
ใช้เชื้อเพลิง ชนิด ถ่านไม้

ปริมาณพลังงานและองค์ประกอบต่างๆจากผลการทดลองในระบบผลิตก๊าซชีววมวล

ตาราง 9 รายละเอียดข้อมูลขององค์ประกอบต่างๆในกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวล

ระบบกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวล	เชื้อเพลิง		
	เศษไม้	ถ่านไม้ 50%wt	ถ่านไม้
	100%wt	เศษไม้ 50%wt	100%wt
1. ข้อกำหนด เตาผลิตก๊าซ			
- อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (kg /hr)	3.5	2.8	3.8
- อัตราการป้อนอากาศ (20 °C , 1 bar) , (Nm ³ /min)	2.8	2.8	2.8
2. ปริมาณผลผลิตที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซ			
- ก๊าซชีววมวล (Nm ³ /min)	2.10	1.95	1.98
- เถ้า / ถ่าน (kg /hr)	0.30	0.25	0.60
- น้ำมันดิน (mg / Nm ³)	0.34	0.26	0.15
3. ส่วนประกอบของ ก๊าซที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซ			
- CO (% Vol)	15.2	20.2	21.5
- H ₂ (% Vol)	12.9	11.2	12.0
- CO ₂ (% Vol)	7.0	9.3	10.0
- CH ₄ (% Vol)	0.8	0.6	0.3
- O ₂ (% Vol)	2.8	1.5	0.0
- N ₂ (% Vol)	54.4	52.7	51.0
- ค่าพลังงาน HHV (MJ / Nm ³)	5.0	4.7	4.3
4.ประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีววมวล (%)			
- ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตก๊าซ	70.4	78.3	80.3



ภาพประกอบ 38 ชุดเครื่องยนต์ดีเซล ขนาดเล็ก พร้อม ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

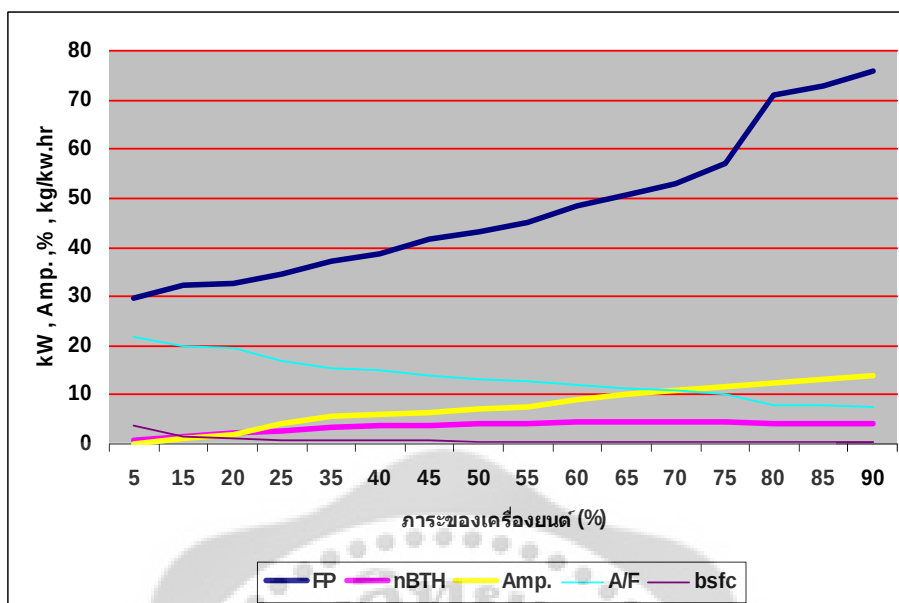


ภาพประกอบ 39 ชุดทดสอบระบบไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
โดยระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

แสดงการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลัก (Density Diesel oil - 0.863 kg/m³)

ตาราง 10 แสดงผลการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลัก

ภาระของ เครื่องยนต์	จำนวนการ เปิด โหลดไฟ	ความเร็ว รอบของ เครื่องกำเนิด ไฟฟ้า	ความเร็ว รอบของ เครื่องยนต์	อัตราการไหลของ น้ำมันเชื้อเพลิง	อัตราการ ไหลของ อากาศ	อัตราการจ่ายไฟฟ้า	อุณหภูมิ ทางเข้า ไอดี	อุณหภูมิ ทางเข้า ไอเสีย	อุณหภูมิ น้ำหล่อ เย็น	bsfc	bsec	FP	ηBTH	T		
(%)	(W)	RPM	RPM	ml/min	kg/hr	kg/hr	Volt	Amp.	°C	°C	°C	kg/kw.hr	kg/kw.hr	kw	(%)	N.m
5	175	1,500	1,843	12.4	0.642	14.04	220	0	26.5	92.4	60	3.669	168655.8	29.515	0.593	0.907
15	525	1,500	1,843	13.5	0.699	14.04	220	1	26.8	98.1	65	1.331	61205.735	32.133	1.634	2.722
20	700	1,500	1,843	13.8	0.715	14.04	220	2	26.9	105.9	67	1.021	46924.397	32.847	2.131	3.629
25	875	1,500	1,843	14.5	0.751	12.6	220	4	27.1	106.3	67	0.858	39443.696	34.513	2.535	4.536
35	1,225	1,500	1,843	15.7	0.813	12.6	220	5.5	27.2	114.6	70	0.664	30505.716	37.37	3.278	6.350
40	1,400	1,500	1,843	16.3	0.844	12.6	220	6	27.3	121.1	71	0.603	27712.597	38.798	3.608	7.258
45	1,575	1,500	1,843	17.5	0.906	12.6	220	6.5	27.4	126.8	72	0.575	26446.923	41.654	3.781	8.165
50	1,750	1,500	1,843	18.2	0.942	12.53	220	7	27.4	140	73	0.539	24754.32	43.32	4.04	9.072
55	1,925	1,500	1,843	19.0	0.984	12.53	220	7.5	27.5	174.4	75	0.511	23493.111	45.224	4.257	9.979
60	2,100	1,500	1,843	20.3	1.051	12.53	220	9	27.6	157.6	76	0.501	23008.823	48.319	4.346	10.886
65	2,275	1,500	1,843	21.3	1.103	12.53	220	10	27.7	165.3	79	0.485	22285.165	50.699	4.487	11.794
70	2,450	1,500	1,843	22.3	1.155	12.53	220	11	28.3	172.8	79	0.471	21664.887	53.079	4.616	12.701
75	2,625	1,500	1,843	24.0	1.243	12.42	220	11.5	28.7	179	81	0.473	21762.039	57.125	4.595	13.608
80	2,800	1,500	1,843	29.8	1.543	12.42	220	12.5	28.8	190.5	83	0.551	25332.374	70.931	3.948	14.515
85	2,975	1,500	1,843	30.9	1.583	12.42	220	13	29	195	81	0.532	24455.625	72.755	4.089	15.422
90	3,150	1,500	1,843	31.9	1.652	12.42	220	14	31	224	86	0.524	24104.481	75.929	4.149	16.330
92	3,500	1,500	1,843	33.1	1.752	12.45	220	17	32	228	87	0.521	24056.272	76.612	4.186	18.144



FP คือ กำลังงานเชื้อเพลิง (Kw) η_{BTH} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค(%)

Amp. คือ ค่ากระแสไฟฟ้า A/F คือ อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง

bsfc คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (kg/kW.hr)

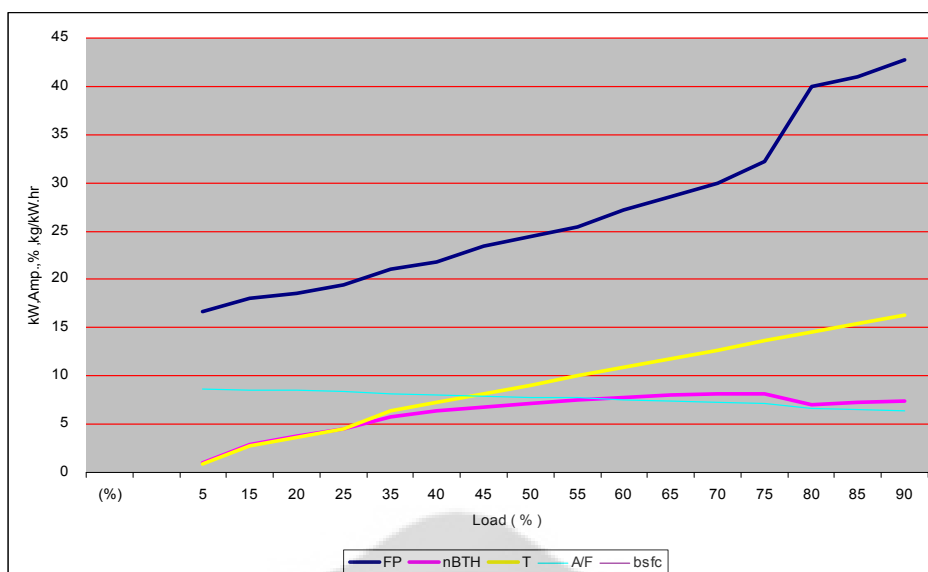
ภาพประกอบ 40 แสดงสมรรถนะโดยรวมของเครื่องยนต์ที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวเมื่อภาระโหลด ของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm.

แสดงการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ร่วมกับ ก๊าซชีววมวล

อัตราการใช้ น้ำมันดีเซล 60 % และ ก๊าซ ชีวมวล 40 % (Density for gas - 0.493 kg/m³ , oil – 0.863 kg/m³)

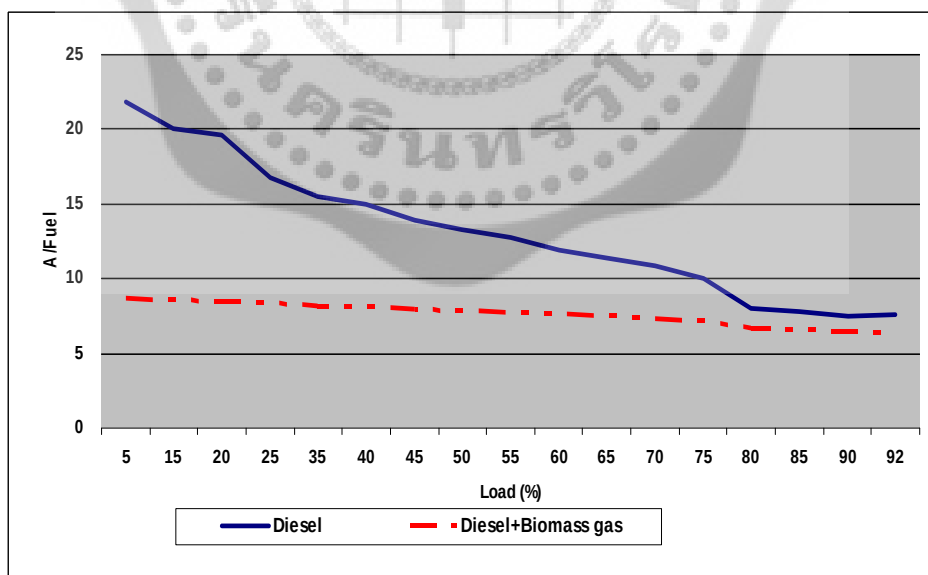
ตาราง 11 แสดงผลการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล 60% ร่วมกับก๊าซชีววมวล 40% เป็นเชื้อเพลิง

ภาระของเครื่องยนต์	จำนวนการเปิดโหลดไฟ	ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์	อัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง		อัตราการไหลของแก๊สชีวมวล			อัตราการไหลของอากาศ		อัตราการใช้ไฟฟ้า 100%	อัตราการจ่ายไฟฟ้า		อุณหภูมิทางเข้าไอดี	อุณหภูมิทางเข้าไอเสีย	อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น	bsfc	bsec	FP
(%)	(W)	RPM	RPM	ml/min	kg/hr	(%)	ml/min	kg/hr	(%)	kg/hr	(%)	Volt	Amp.	°C	°C	°C	kg/kw.hr	kg/kw.hr	kw
5	175	1,500	1,843	7.44	0.39	11.31	4.96	0.15	88.87	15.20	1.56	220	0	32.2	115.5	69	7.92	342052.32	16.63
15	525	1,500	1,843	8.10	0.42	12.77	5.4	0.16	87.24	15.37	1.58	220	1	32.2	168.1	73	2.88	124140.48	18.10
20	700	1,500	1,843	8.28	0.43	13.33	5.52	0.16	86.67	15.34	1.59	220	2	32.4	171.1	74	2.21	95236.53	18.52
25	875	1,500	1,843	8.70	0.45	13.61	5.8	0.17	86.39	15.30	1.60	220	4	33.4	178.1	76	1.85	80025.32	19.45
35	1,225	1,500	1,843	9.42	0.49	16.24	6.28	0.19	83.76	15.26	1.65	220	5.5	32.7	186.7	78	1.43	61879.96	21.06
40	1,400	1,500	1,843	9.78	0.51	16.59	6.52	0.19	83.41	15.23	1.65	220	6	34.4	194	79	1.30	56209.53	21.86
45	1,575	1,500	1,843	10.50	0.54	16.85	7	0.21	83.15	15.19	1.66	220	6.5	35.0	201	80	1.24	53634.37	23.47
50	1,750	1,500	1,843	10.92	0.57	17.11	7.28	0.22	83.14	15.19	1.67	220	7	35.1	201	80	1.16	50188.98	24.40
55	1,925	1,500	1,843	11.40	0.59	17.38	7.6	0.22	83.12	15.23	1.67	220	7.5	35.3	203	81	1.10	47660.65	25.49
60	2,100	1,500	1,843	12.18	0.63	17.65	8.12	0.24	83.10	15.23	1.68	220	9	35.6	204	82	1.08	46663.68	27.22
65	2,275	1,500	1,843	12.78	0.66	17.93	8.52	0.25	83.09	15.20	1.68	220	10	35.8	204	84	1.05	45205.33	28.57
70	2,450	1,500	1,843	13.38	0.69	18.21	8.92	0.26	83.07	15.19	1.69	220	11	35.9	205	85	1.02	43955.32	29.91
75	2,625	1,500	1,843	14.40	0.75	18.50	9.6	0.28	83.05	15.20	1.70	220	11.5	36.0	205	85	1.02	44150.68	32.19
80	2,800	1,500	1,843	17.88	0.93	18.79	11.92	0.35	83.04	15.31	1.70	220	12.5	36.2	205	86	1.19	51381.11	39.96
85	2,975	1,500	1,843	18.54	0.95	19.08	12.36	0.37	83.02	15.25	1.71	220	13	36.5	206	87	1.15	49612.32	41.00
90	3,150	1,500	1,843	19.14	0.99	19.38	12.76	0.38	83.00	15.20	1.72	220	14	36.6	207	89	1.13	48898.44	42.79
92	3,500	1,500	1,843	19.86	1.05	19.68	13.24	0.39	82.99	15.19	1.72	220	17	36.9	209	90	1.08	46672.56	45.38



FP คือ กำลังงานเชื้อเพลิง (Kw) η_{BTH} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค(%)
 Amp . คือ ค่ากระแสไฟฟ้า A/F คือ อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง
 bsfc คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (kg/kW.hr)

ภาพประกอบ 41 แสดงสมรรถนะโดยรวมของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล เมื่อภาระโหลดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm.

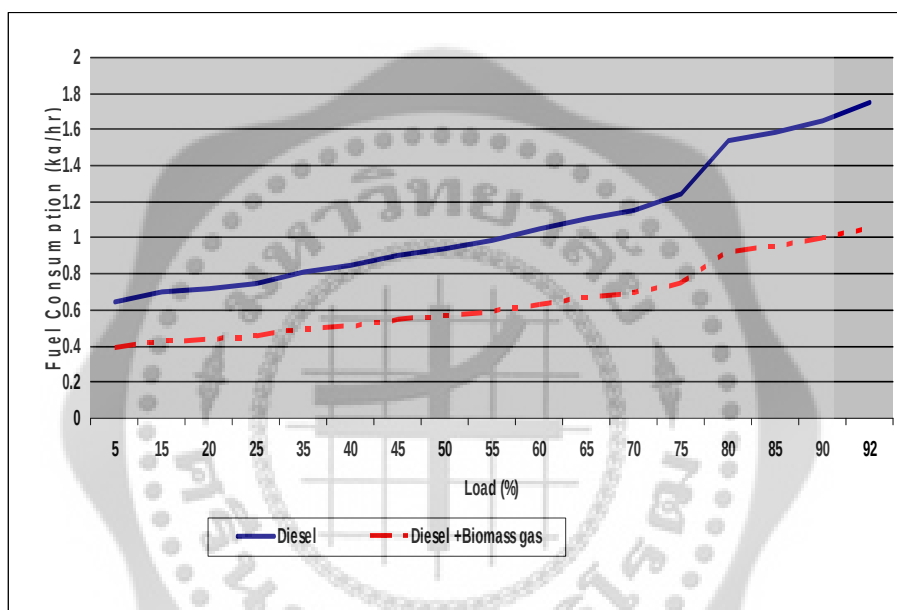


Diesel คือ ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล

Diesel+ Biomass gas คือ ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีววมวล

ภาพประกอบ 42 กราฟแสดงปริมาณเปรียบเทียบอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิง ที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ คงที่ ที่ 1,500 rpm.

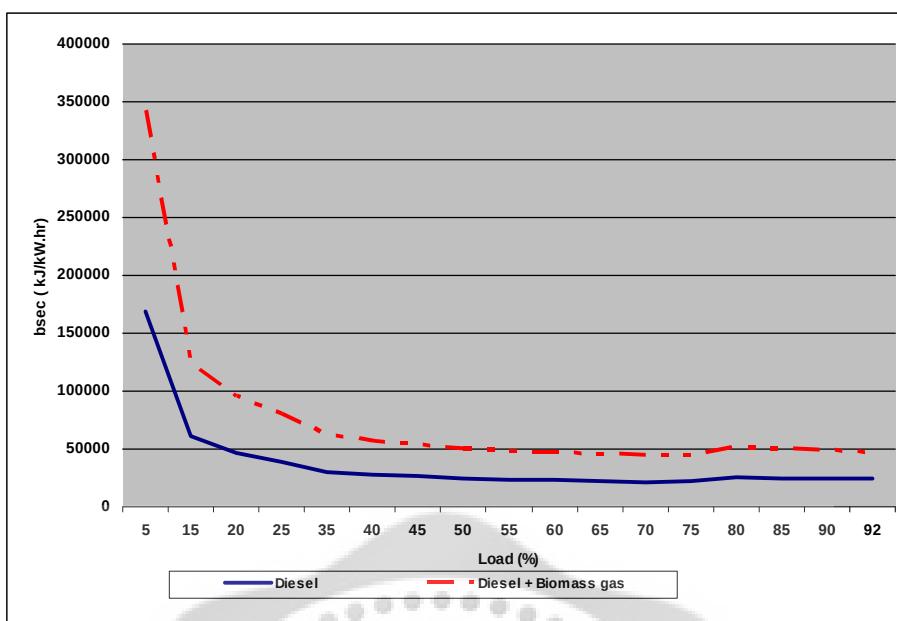
เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทั้งสอง ชนิดพบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นพบว่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวล ต่ำกว่าของน้ำมันดีเซล ทั้งนี้จากข้อมูลภาพที่ 43 พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงโดยมวลของน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวล ต่ำกว่า น้ำมันดีเซล เนื่องจากในการติดเครื่องยนต์ จะดำเนินการเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันดีเซลก่อน ทำให้ค่าความเสียดทานในช่วงแรกก็ถูกทำให้น้อยลงไปด้วย เพราะค่าความร้อนที่ได้จากเครื่องยนต์และน้ำมันเครื่องที่เคลือบที่ผิวกระบอกสูบและแหวนลูกสูบก็มีส่วนทำให้ค่าความเสียดทานลดลง



Diesel คือ ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล

Diesel+ Biomass gas คือ ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวล

ภาพประกอบ 43 กราฟแสดงปริมาณเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ คงที่ ที่ 1,500 rpm.

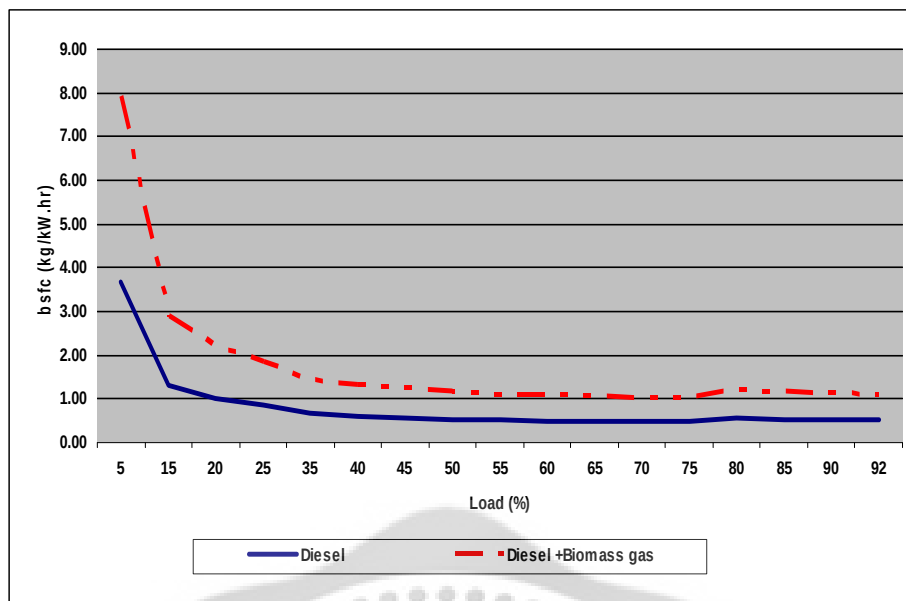


Diesel คือ ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล

Diesel+ Biomass gas คือ ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวล

ภาพประกอบ 44 กราฟแสดงปริมาณเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ คงที่ ที่ 1,500 rpm.

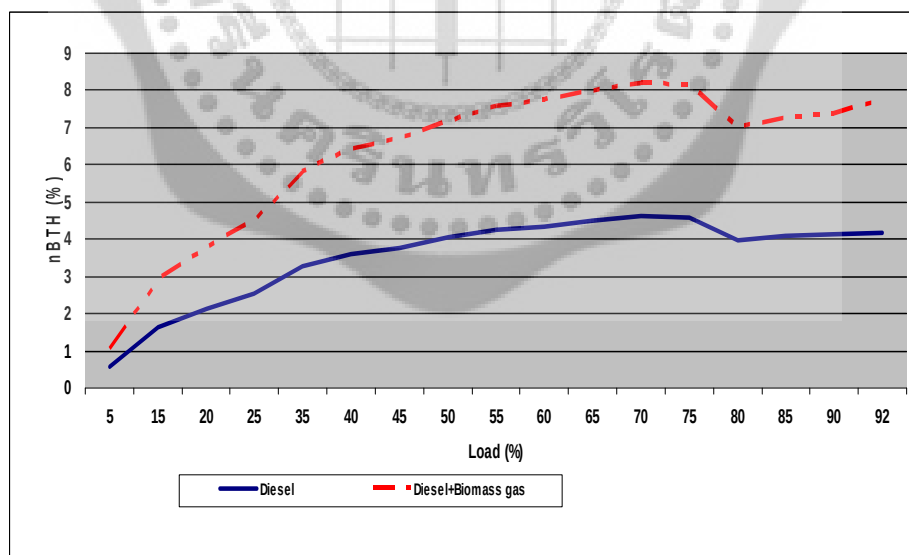
เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงทั้งสอง ชนิด พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นพบว่าอัตราส่วนอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงทั้งสองมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเพิ่มขึ้น เนื่องจากในช่วงแรกอุณหภูมิยังต่ำทำให้มีค่าความเสียดทานสูง และการอัดตัวของอากาศภายในกระบอกสูบก็ส่งผลต่อแรงเสียดทาน พบว่าเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวลมีค่าความร้อนในการเผาไหม้สูงกว่าน้ำมันดีเซลอย่างเดียว จากการทดสอบพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวล มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลอย่างเดียว แสดงว่าการเผาไหม้ต้องใช้จำนวนเชื้อเพลิงในปริมาณที่มากพอเพื่อให้ได้ค่าพลังงานที่ออกมาเท่ากัน



Diesel คือ ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล

Diesel+ Biomass gas คือ ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวล

ภาพประกอบ 45 กราฟแสดงปริมาณเปรียบเทียบพลังงานสิ้นเปลืองจำเพาะเบรก
ที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ คงที่ ที่ 1,500 rpm.



Diesel คือ ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล η_{BTH} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก(%)

Diesel+ Biomass gas คือ ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวล

ภาพประกอบ 46 กราฟแสดงปริมาณเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก
ที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ คงที่ ที่ 1,500 rpm.

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงและการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวล พบว่าเมื่อค่าเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของทั้งสองเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวลจะสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล

อัตราการสิ้นเปลืองเศษไม้, ถ่านไม้

การสิ้นเปลืองเศษไม้เนื่องจากการบังคับให้เศษไม้ไหลลง และในทางปฏิบัติ ในการทดลองแต่ละครั้งการสิ้นเปลืองเศษไม้ต่างกันเล็กน้อย และพบว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงประเภทเศษไม้ อัตราประมาณ 3.5 kg/hr , ประเภทถ่านไม้ อัตราประมาณ 3.8 kg/hr , ประเภทเศษไม้ (50%wt) ร่วมกับถ่านไม้ (50%wt) อัตราประมาณ 2.8 kg/hr

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ทางการเงินเบื้องต้น

ระบบ ชุดผลิตก๊าซชีวมวล กับ ชุดผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ขนาดกำลังสูงสุด 8.21 kW ขนาดกำลังต่อเนื่อง 7.09 kW สามารถขับ เคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด (Generator) 5.0 kW ซึ่งสามารถเก็บข้อมูล จากกระบวนการผลิตดังต่อไปนี้

1. การประเมินความเป็นไปได้ทางการเงินเบื้องต้นสำหรับระบบผลิตก๊าซชีวมวล

สำหรับระบบผลิตกระแสไฟฟ้า ขนาดเล็ก

ตาราง 12 ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน
1	กำลังการผลิตรวม	กิโลวัตต์	3.37
2	เงินลงทุน (ไม่รวมค่าที่ดิน)	บาท	110,000
3	ราคาน้ำมันดีเซล (เฉลี่ย)	บาท/ลิตร	22.79
3	ราคาก๊าซชีวมวล(เฉลี่ย)	บาท/ตัน	600
4	ค่าพลังงานความร้อนของน้ำมันดีเซล	เมกะจูล/กก.	46.80
5	ค่าพลังงานความร้อนของชีวมวล(ตามสภาพที่ซื้อ)	เมกะจูล/กก.	13.98
6	การใช้ไฟฟ้าช่วง วันจันทร์- อาทิตย์ เวลา 9.00-22.00 น.	ชั่วโมง/ปี	3,000
7	ค่าซ่อมบำรุงและเงินเดือนพนักงาน (มีค่าตั้งแต่ 0.20 - 0.25 บาท/หน่วย)	บาท/หน่วย	0.25

2. อัตราค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้ระบบผลิตก๊าซชีวมวล

สำหรับระบบผลิตกระแสไฟฟ้า ขนาดเล็ก

ตาราง 13 รายละเอียดการคำนวณค่ารายได้จากการผลิตไฟฟ้า

รายการ	ช่วงเวลา จันทร-อาทิตย์ (เวลา 9.00-22.00)	Total
จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตใช้	หน่วย/ปี	8,897
อัตราราคาไฟฟ้าการผลิตใช้	บาท/หน่วย	4.07
รวมอัตราค่า พลังงาน ไฟฟ้าที่ผลิตใช้	บาท/ปี	36,212

3. การคำนวณผลตอบแทนต่อเงินลงทุน ของระบบผลิตก๊าซชีวมวล สำหรับระบบผลิตกระแสไฟฟ้า ขนาดเล็ก

ตาราง 14 รายละเอียดการคำนวณผลตอบแทนการลงทุน

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน
1	ค่า สิ่งการผลิต	กิโลวัตต์	3.37
2	เทคโนโลยี - เตาผลิตก๊าซชีวมวล ชุดเครื่องยนต์ พร้อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า		
3	อุณหภูมิก๊าซชีวมวล	Celsius	180
4	เงินลงทุนชุดผลิตก๊าซชีวมวล ชุดเครื่องยนต์ พร้อมชุดผลิตไฟฟ้า	บาท	110,000
5	สัดส่วนความต้องการไฟฟ้าใช้ภายในการผลิตไฟฟ้า		0.12
6	ชั่วโมงทำงานต่อปี	ชั่วโมง	3,000
7	พลังงาน ไฟฟ้าที่ผลิตได้	kW h	8,897
8	ประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้า		0.20
9	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง		
	- น้ำมันดีเซล	เมกะจูล/กก.	46.80
	- แกลสชีวมวล	เมกะจูล/กก.	13.98
10	อัตราการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล ร่วมกับ แกลสชีวมวล		
	- เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล	ลิตร / ปี	1,020
		ลิตร./ชม.	0.34
	- แกลสชีวมวล	กก./ปี	540
		กก./ชม.	0.18
11	ต้นทุนรวมของเชื้อเพลิง		
	- น้ำมันดีเซล	บาท/ลิตร	22.79
	- แกลสชีวมวล	บาท/กก.	5.00
12	รวมค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง		
	- น้ำมันดีเซล	บาท/ปี	23,246
	- ชีวมวล	บาท/ปี	2,700
	- รวมค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง	บาท/ปี	25,946
13	รวมค่าใช้จ่ายค่าซ่อมบำรุงและพนักงาน	บาท/ปี	1,335
14	รายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้า หรือ จากการผลิตไฟฟ้าใช้เอง	บาท/ปี	36,212
15	รายได้สุทธิ	บาท/ปี	8,932
16	ระยะเวลาคืนทุน	ปี	12.3

การประเมินความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ทางการเงินเบื้องต้น

ในระบบ ชุดผลิตก๊าซชีววมวล กับ ชุดผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ขนาด กำลังสูงสุด 8.21 kW ขนาดกำลังต่อเนื่อง 7.09 kW สามารถขับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด (Generator) 5.0 kW ผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดในอัตรา 3.37 กิโลวัตต์ โดยมีอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงประเภท เศษไม้ประมาณ 3.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งในระบบดังกล่าว ต้นทุนเครื่องจักรกลและการดำเนินงาน วัตถุดิบ คิดเป็นต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 15.3 บาทต่อหน่วย สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในอัตรา 8,897 kWh คิดเป็นรายได้จากการผลิตไฟฟ้าใช้เอง โดยอิงราคาการขายจากการไฟฟ้าเท่ากับ 36,212 บาท/ปี โดยเป็นรายได้สุทธิ 8,932 บาท/ปี ระยะเวลาการคืนทุน 12.3 ปี ซึ่งเหมาะสำหรับพื้นที่ที่อยู่ห่างไกล และระบบการไฟฟ้าเข้าไม่ถึง เช่น พื้นที่บนที่สูง ตามภูเขารีสอร์ท บนเกาะ โดยสามารถใช้เป็น ระบบไฟฟ้าสำรองได้ และเป็นทางเลือกอย่างหนึ่งสำหรับการแก้ปัญหาทางด้านพลังงาน และใช้ ทรัพยากรที่มีตามพื้นที่ต่างๆในประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุด



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

กล่าวนำ

บทนี้จะกล่าวถึง ผลสรุปของการวิจัยจากการทดลองศึกษาสมรรถนะ และการออกแบบระบบผลิตก๊าซชีววมวล ในเตาแบบไหลลง สำหรับระบบผลิตไฟฟ้า ขนาดเล็ก ที่ได้ดำเนินการมาแล้วทั้งหมด รวมถึงข้ออุปสรรค ข้อเสนอแนะ และข้อผิดพลาดต่างๆ พอสรุปรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

สรุปผลการออกแบบและศึกษาสมรรถนะของระบบ

การออกแบบระบบผลก๊าซชีววมวล เพื่อใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงของชุดเครื่องยนต์ดีเซล พร้อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการ ออกแบบขนาดของเตาผลิตก๊าซชีววมวล ชนิดแบบไหลลง (Downdraft) ซึ่งต้องคำนวณ หาขนาด ของส่วนประกอบต่างๆ เช่น ส่วน Combustion zone ,Reduction zone , Pyrolysis zone , Drying zone ให้ เหมาะสมกับ ขนาดพลังงานที่ต้องการ

ตาราง 15 รายละเอียดการออกแบบของเตาผลิตก๊าซแบบไหลลง

อัตราการใช้เชื้อเพลิงเศษไม้	3.10	kg/hr
ปริมาณอากาศที่ใช้	8.94	kg/hr
ปริมาณก๊าซที่ได้	10.72	Nm ³ /kg
ขนาดสันผ่านศูนย์กลางส่วนเผาไหม้	22	cm.
ขนาดคอกคอด	9	cm.
ความสูงของหัวจ่ายอากาศที่ผนังด้านข้างบริเวณส่วนเผาไหม้	10	cm.
ขนาดหัวจ่ายอากาศ	10	mm.
Air / Fuel Ratio	5.1	
เศษไม้ 1 kg ให้ ก๊าซ	9.8	Nm ³

ตาราง 16 รายละเอียดข้อมูลค่าพลังงานจากการออกแบบที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ดีเซล
ขนาดเล็ก 1 ลูกสูบ , 4 จังหวะ

อัตราการใช้เชื้อเพลิงเศษไม้	3.10	kg/hr
ปริมาณอากาศที่ใช้	8.94	kg/hr
ปริมาณก๊าซที่ได้	10.72	Nm ³ /kg
ขนาดสันผ่านศูนย์กลางส่วนเผาไหม้	22	cm.
ขนาดคอคอด	9	cm.
ความสูงของหัวจ่ายอากาศที่ผนังด้านข้างบริเวณส่วนเผาไหม้	10	cm.
ขนาดหัวจ่ายอากาศ	10	mm.
Air / Fuel Ratio	5.1	
เศษไม้ 1 kg ให้ ก๊าซ	9.8	Nm ³

สรุปผลการทดลอง

ตาราง 17 รายละเอียดระบบผลิตก๊าซชีววมวล ใช้ก๊าซที่ผลิตได้ สำหรับ
ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก

ลำดับ	ระบบกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวล พร้อมเครื่องยนต์และชุดผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก	ปริมาณ	หน่วย
1	อัตราการป้อนอากาศ (20 °C , 1 bar)	2.8	Nm ³ /min
2	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง	3.5	kg /hr
3	อัตราการไหลของเชื้อเพลิงก๊าซชีววมวล	1.26	Nm ³ /min
4	ส่วนประกอบของ ก๊าซที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซ		
	- CO	15.23	% Vol
	- H ₂	12.91	% Vol
	- CO ₂	6.99	% Vol
	- CH ₄	0.83	% Vol
	- O ₂	2.79	% Vol
	- N ₂	54.44	% Vol
5	อัตราค่าพลังงานความร้อนของผลิตภัณฑ์ก๊าซชีววมวล	5.01	MJ / Nm ³
6	อัตราการจ่ายอากาศเข้าเครื่องยนต์	15.19	kg /hr
7	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล	0.30	kg /hr
8	อัตราความเร็วรอบของเครื่องยนต์	1843	rpm.
9	อัตราความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	1500	rpm.
10	ค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์	5.86	Kw
11	อัตราการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	3.37	kWe
12	ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีววมวล	15.52	MJ / kg
13	ปริมาณพลังงานของเชื้อเพลิงที่จ่ายร่วมเข้าเครื่องยนต์ดีเซล		
	น้ำมันดีเซล	7.77	MJ / hr
	ก๊าซชีววมวล	3.04	MJ / hr
14	ประสิทธิภาพของชุดผลิตก๊าซชีววมวล	70	%
15	ประสิทธิภาพของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	80	%
16	ประสิทธิภาพของชุดเครื่องยนต์ พร้อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	76.6	%
17	ประสิทธิภาพโดยรวมของชุดผลิตก๊าซพร้อมเครื่องยนต์ ชุดผลิตกระแสไฟฟ้า	27.8	%

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาสมรรถนะและออกแบบระบบผลิตก๊าซชีววมวล ใช้ก๊าซที่ผลิตได้ สำหรับ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก เพื่อใช้งานสำหรับอาคารที่พักอาศัย หรืออุตสาหกรรมขนาดเล็ก เตาผลิตก๊าซชีววมวลที่ออกแบบ แบ่งเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วยส่วนบนสำหรับเติมเชื้อเพลิง ส่วนกลางเป็นส่วนการเผาไหม้ และการถ่ายเทความร้อน ส่วนล่างสำหรับเก็บแก๊ส เศษไม้ที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงได้จากการตัดไม้ที่เหลือจากการเกษตร ส่วนประกอบทางเคมีของเศษไม้ มีค่า C , H , N , O , S และความชื้น W เท่ากับ 41.75 % , 5.17 % , 0.14 % , 42.93% , 0.0 % และ 9.01 % ตามลำดับ จากการออกแบบและทดสอบการทำงานของระบบดังกล่าว พบว่า ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีววมวลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ค่าพลังงานทางกลที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ปริมาณเท่ากับ 5.86 kW และ ค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้มีค่าเท่ากับ 4.69 kW อัตราการใช้เชื้อเพลิง 3.1 kg/hr และผลิตก๊าซได้ 10.72 Nm³/hr ซึ่งก๊าซเชื้อเพลิงประกอบด้วย CO , CH₄ , CO₂ , O₂ , N₂ , H₂ , C_nH_m เท่ากับ 15.23% , 0.83% , 6.99% , 2.79% , 54.44% , 12.91% , 2.11% ตามลำดับ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเศษไม้ ถ่านไม้ อัตราการไหลของก๊าซอยู่ที่ประมาณ 1.26 m³/min ค่าความร้อนของก๊าซชีววมวล 5.0 MJ/Nm³ ประสิทธิภาพการทำงานของระบบการผลิตก๊าซโดยประมาณอยู่ที่ 70 % และสามารถนำก๊าซชีววมวลร่วมกับน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ขนาดกำลังสูงสุด 8.21 กิโลวัตต์ ขนาดกำลังต่อเนื่อง 7.09 กิโลวัตต์ สามารถขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด (Generator) 5.0 kW สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดในอัตรา 3.37 กิโลวัตต์ โดยสามารถใช้เป็นระบบไฟฟ้าสำรองได้ โดยมีอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงประเภทเศษไม้ 3.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งในระบบดังกล่าว ต้นทุนเครื่องจักรกลและค่าดำเนินงาน วัสดุคิดเป็นต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 15.3 บาทต่อหน่วย สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในอัตรา 8,897 kWh คิดเป็นรายได้จากการผลิตไฟฟ้าใช้เอง โดยอิงราคาการขายจากการไฟฟ้า เท่ากับ 36,212 บาท/ปี โดยเป็นรายได้สุทธิ 8,932 บาท/ปี ระยะเวลาการคืนทุน 12.3 ปี และสามารถนำก๊าซชีววมวลส่วนที่เหลือในการใช้งานในด้านอื่นๆ ได้อีกมาก ซึ่งเหมาะสำหรับพื้นที่ที่อยู่ห่างไกล และไฟฟ้าเข้าไม่ถึง เช่น พื้นที่บนที่สูง ตามภูเขา รีสอร์ท บนเกาะ และระบบดังกล่าวสามารถปรับปรุงให้มีกำลังการผลิตไฟฟ้าให้มากขึ้นตามกระบวนการใช้งาน และสามารถปรับปรุงระบบการใช้พลังงานในด้านต่างๆ ได้อีกมาก และหากมีการพัฒนาออกแบบระบบที่เหมาะสม ก็จะสามารถเปลี่ยนวัสดุชีววมวลประเภทต่างๆ เช่น เศษไม้ วัสดุเหลือใช้อื่นๆ ที่ได้จากการเกษตร เป็นพลังงานทดแทนสำหรับการใช้งานด้านต่างๆ ในระบบพาณิชย์ และ ระบบ อุตสาหกรรม

อุปสรรคและข้อผิดพลาด

ในการทดลองและการวิจัยครั้งนี้ มีอุปสรรคที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาด ของข้อมูลที่มีจากหลายสาเหตุ ดังต่อไปนี้

1. ในการทดลองของระบบผลิตก๊าซมีขั้นตอนที่ยู่ยากซับซ้อน ทำให้การควบคุมอุปกรณ์ อาจผิดพลาดได้และมีตัวแปรมาก เช่น เชื้อเพลิง ที่ต้องนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบ หลายรายการ (มีค่า C, H, N, O, S และความชื้น W) และ การเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดก๊าซ ที่ต้องนำมาวิเคราะห์ หลายรายการ ด้วยกัน (CO , CO_2 , CH_4 , O_2 , H_2 และ N_2) การใช้ปริมาณอากาศ การป้อนเชื้อเพลิง ประเภท เศษไม้ หรือ เชื้อเพลิงอื่นๆ และการจุดไฟให้สมดุล ทั้ง 2 ส่วน
2. ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิง แต่ละชุดที่ไม่คงที่
3. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซที่ใช้ที่ไม่สามารถวัดก๊าซบางชนิดได้ เช่น CO , H_2

ข้อเสนอแนะ

จากอุปสรรคและข้อผิดพลาดจากการดำเนินการทดลอง ที่ผ่านมา สามารถนำข้อมูลเหล่านี้ มาเป็นพื้นฐาน เพื่อหาแนวทางแก้ไขและพัฒนาระบบการทำงาน ของการดำเนินงานวิจัยให้มีประสิทธิภาพให้มากขึ้น

1. การออกแบบ สร้างห้องเผาไหม้ ควรศึกษาให้มีค่าที่เหมาะสมกับพลังงานที่ต้องการผลิตออกมาใช้และ ให้มีค่าตัวเลขการหมุนเวียน ของอากาศที่ดี เพื่อให้การเผาไหม้ดีขึ้น
2. การเตรียมเชื้อเพลิง ควร มี ขนาด และค่าความชื้นที่เหมาะสม
3. ศึกษา ระยะเวลาที่เหมาะสม ที่ใช้ในขั้น Pyrolysis ของเตาผลิตก๊าซจากเศษไม้ ซึ่งจะช่วยให้ทราบความเร็วของอากาศที่เหมาะสม
4. ศึกษาวิธีการเติมเชื้อเพลิงเข้าสู่ เตาผลิตก๊าซชีวมวลที่สัมพันธ์กับการทำงานอย่างต่อเนื่องของระบบ
5. การวิเคราะห์ก๊าซและวิธีการบำบัดก๊าซเชื้อเพลิงที่ออกจาก เตาผลิตก๊าซชีวมวล ควรศึกษาวิธีการและรายละเอียดต่างๆ เพื่อป้องกันผลกระทบจากอากาศภายนอก
6. การลดน้ำมันดิน Tar ควรศึกษาการใช้ก๊าซที่ได้จากเตา ผ่านชั้นถ่านที่เผาจนร้อนแดง และอาจจะใช้ออกซิเจน ที่เหลือจากการ Gasification ซึ่งอาจมีปริมาณเพียงพอ กับถ่านที่จะเผาไหม้น้ำมันดิน (Tar) ได้ หรือ ศึกษาปริมาณอากาศส่วนนี้ที่เหมาะสม
7. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซควรที่จะวัดก๊าซดังกล่าว ข้างต้นให้ครบ ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาในเตาผลิตก๊าซได้ละเอียดมากขึ้น
8. เตาผลิตก๊าซสมควรมีการหุ้มฉนวน เพราะ จากข้อมูลของอุณหภูมิพบว่ามี การสูญเสียความร้อนสูงมาก

บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

1. เกียรติไกร อายุวัฒน์, บุญรอด สัจกุลนุกิจ, ธันว ใจเที่ยง, จริญญา เผ่าเหล็กแหลม “โครงการพัฒนาระบบผลิตพลังงานจากชีวมวลระดับชุมชน” มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,2549
2. สุธรรม ปทุมสวัสดิ์, สมรัฐ เกิดสุวรรณ “ โครงการศึกษาและพัฒนาระบบผลิตก๊าซชีวมวลในเครื่องยนต์สันดาปภายใน“ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ ,2549
3. เดโช จันทร์หอม “ การศึกษาการผลิตก๊าซจากแกลบโดยใช้เตาแบบดาวน์ดราฟท์แบบมีใบกวน” คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ ,2536
4. สมรัฐ เกิดสุวรรณ, สุธรรม ปทุมสวัสดิ์, มณไพโล นรสิงห์, สุนิรัตน์ พิพัฒน์มโนทัย “ โครงการวิจัยและพัฒนาระบบกำเนิดก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงานขนาดเล็ก “ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ ,2549
5. ศุภวิทย์ สวณะสกุล “ เครื่องยนต์แก๊สซิไฟเออร์ใช้ถ่านไม้ผลิตกำลังงาน “คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี ,2549
6. วัชร มั่งวิทิกุล “กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม”บริษัท เรียล ยู พาวเวอร์ จำกัด , 2548
7. กฤษณ์รัช ศรีพันธุ์,เสกสรร โตสินธุ์ “การศึกษาเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กให้สามารถใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงร่วม” คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ , 2549
8. สุรัช สนิทใจ “คู่มือการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม”บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , 2548
9. อุดสาห์ จิรากร , เชื้อ ชูขำ “เครื่องยนต์สันดาปภายในInternal Combustion Engine”สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล,กรุงเทพมหานคร , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด ,2535
10. จอนห์ บี. ฮ์วล (เจียน) วีระศักดิ์ กรีวิเชียร(แปล) “เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ทฤษฎีและการคำนวณ”กรุงเทพมหานคร , 2543
11. Reed T.B and A. Das “ Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine System” Solar Energy Research Institute , 1617 Cole Boulevard, Golden ,Colorado 80401-3393 , U.S.A , 1988
12. Reed T.B . “ Biomass Gasification and Technology” Noyes Data Corporation. New Jersey, U.S.A 1981
13. Anil K. Rajvanshi ,” Biomass Gasification “ , alternative energy in Agriculture Vol II Ed .D, Yogi Goshami CRC Press , Maharashtra ,India , 1986

บรรณานุกรม (ต่อ)

14. Sommas Kaewluan, Sureerat Pipatmanmai ” Preliminary Study of Rubber wood chip Gasification in a bubbling Fluidised bed Reactor: Effect of air to fuel ratio,” The Joint Graduate School of Energy and Environment , King Mongkut ‘s University of Technology Thonburi , Bangkok Thailand ,2007
15. Eric D. Larson “ Small Scale Gasification Based Biomass Power Generation “ Center for energy and environmental studies , Princeton University Princeton ,New Jersey USA
16. H.E.M Stassen ,H.A.M Knoef “ Small Scale Gasification System “ Biomass Technology Group BV P.O Box 217 ,7500 AE Enschede ,Netherland
17. Aupp Albrecht ., Kjallstrom Bjorn , Laerosse Ludovio , Reed Tom , Stassem Hubert and Van Der Weide Jouke “ The Producer Gas Manual “ Stookholm Sweden , The Beijer Press , 1985
18. Wickramasinghe , T.A “ A Multi Stage Gasifier Engine System “ Asian Institute of Technology ,School of Enviroment ,Resources and Development ,Thailand , 2001



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

- แผนภูมิของระบบการผลิตก๊าซชีววมวล ระบบผลิตกระแสไฟฟ้า พร้อมอุปกรณ์
- ภาพของระบบการผลิตก๊าซชีววมวล ระบบผลิตกระแสไฟฟ้า พร้อมอุปกรณ์ประกอบ



ชุด ผลิตก๊าซชีววมวล พร้อมอุปกรณ์



ชุด Drying zone & Pyrolysis

ชุด Combustion & Reduction



ชุด Gas Cyclone และชุดลดความชื้นของก๊าซ

ชุด Gas Cooler

ภาพประกอบ 48 ชุดอุปกรณ์ประกอบต่างๆของเตาผลิตก๊าซชีววมวล



ชุด บันทึกข้อมูล

ชุด บันทึกข้อมูล อุณหภูมิ และ การประมวลข้อมูล

ภาพประกอบ 49 ชุดอุปกรณ์ประกอบการตรวจวัดอุณหภูมิของเตาผลิตก๊าซชีววมวล



ภาพประกอบ 50 ชุดเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



ภาพประกอบ 51 ภาพแสดงเชื้อเพลิงชีวมวล ประเภทเศษไม้ , ถ่านไม้



ภาพประกอบ 52 ภาพแสดงการทดสอบ ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ จากเตาผลิตก๊าซ
ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล ประเภทเศษไม้ พร้อมอุปกรณ์



ภาพประกอบ 53 ภาพของระบบการผลิตก๊าซชีวมวล เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก
พร้อมเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า พร้อมอุปกรณ์



ภาพประกอบ 54 ภาพการทดสอบระบบแสงสว่างจากระบบผลิตกระแสไฟฟ้า
พร้อมอุปกรณ์



ภาพประกอบ 55 ภาพอุปกรณ์ชุดตรวจวัดปริมาณน้ำมัน และอุปกรณ์ควบคุม
ปริมาณก๊าซจ่ายเข้าเครื่องยนต์

ภาคผนวก ข

- ตัวอย่างสมการปฏิกิริยาเกี่ยวกับการเผาไหม้
- คุณสมบัติของวัสดุชีวมวลชนิดต่างๆ
- ตารางคุณสมบัติของเชื้อเพลิง ประเภทเศษไม้
- ตารางคุณสมบัติของก๊าซชีวมวลจากเชื้อเพลิง ประเภทเศษไม้

ตาราง 18 สมการปฏิกิริยาเกี่ยวกับการเผาไหม้

สารที่เผาไหม้	ปฏิกิริยาการเผาไหม้	ค่าความร้อนสูง	ค่าความร้อนต่ำ	อากาศ		ก๊าซเผาไหม้		
		H _u	H _i	O ₂	A ₀	G ₀	G' ₀	
เชื้อเพลิงแข็ง	C (คาร์บอน)	C+O ₂ = CO ₂	8100 kcal/kg	8100 kcal/kg	1.87 Nm ³ /kg	8.89 Nm ³ /kg	8.89 Nm ³ /kg	8.89 Nm ³ /kg
	H (ไฮโดรเจน)	H ₂ +1/2 O ₂ = H ₂ O	34000 kcal/kg	28560 kcal/kg	5.60 Nm ³ /kg	26.67 Nm ³ /kg	32.27 Nm ³ /kg	26.67 Nm ³ /kg
	S (กำมะถัน)	S+O ₂ = SO ₂	2500 kcal/kg	2500 kcal/kg	0.70 Nm ³ /kg	3.33 Nm ³ /kg	3.33 Nm ³ /kg	3.33 Nm ³ /kg
ก๊าซเชื้อเพลิง	H ₂ (ไฮโดรเจน)	H ₂ +1/2 O ₂ = H ₂ O	3050 kcal/Nm ³	2570 kcal/Nm ³	0.50 Nm ³ /Nm ³	2.38 Nm ³ /Nm ³	2.88 Nm ³ /Nm ³	2.38 Nm ³ /Nm ³
	CO (คาร์บอนมอนอกไซด์)	CO+1/2 O ₂ = CO ₂	3020 kcal/Nm ³	3020 kcal/Nm ³	0.50 Nm ³ /Nm ³	2.38 Nm ³ /Nm ³	2.88 Nm ³ /Nm ³	2.38 Nm ³ /Nm ³
	CH ₄ (methane)	CH ₄ +2O ₂ = CO ₂ +2H ₂ O	9520 kcal/Nm ³	8550 kcal/Nm ³	2.00 Nm ³ /Nm ³	9.53 Nm ³ /Nm ³	10.52 Nm ³ /Nm ³	9.53 Nm ³ /Nm ³
	C ₂ H ₂ (acetylene)	2C ₂ H ₂ +5O ₂ = 4CO ₂ +2H ₂ O	14090 kcal/Nm ³	13600 kcal/Nm ³	2.50 Nm ³ /Nm ³	11.91 Nm ³ /Nm ³	12.40 Nm ³ /Nm ³	11.91 Nm ³ /Nm ³
	C ₂ H ₄ (ethylene)	C ₂ H ₄ +3O ₂ = 2CO ₂ +2H ₂ O	15290 kcal/Nm ³	14320 kcal/Nm ³	3.00 Nm ³ /Nm ³	14.30 Nm ³ /Nm ³	15.28 Nm ³ /Nm ³	14.30 Nm ³ /Nm ³
	C ₂ H ₆ (ethane)	2C ₂ H ₆ +7O ₂ = 4CO ₂ +6H ₂ O	16820 kcal/Nm ³	15380 kcal/Nm ³	3.50 Nm ³ /Nm ³	16.67 Nm ³ /Nm ³	18.15 Nm ³ /Nm ³	16.15 Nm ³ /Nm ³
	C ₃ H ₈ (propylene)	2C ₃ H ₈ +9O ₂ = 6CO ₂ +6H ₂ O	22540 kcal/Nm ³	21070 kcal/Nm ³	4.50 Nm ³ /Nm ³	21.45 Nm ³ /Nm ³	22.91 Nm ³ /Nm ³	19.91 Nm ³ /Nm ³
	C ₃ H ₈ (propane)	C ₃ H ₈ +5O ₂ = 3CO ₂ +4H ₂ O	24370 kcal/Nm ³	22350 kcal/Nm ³	5.00 Nm ³ /Nm ³	23.80 Nm ³ /Nm ³	25.80 Nm ³ /Nm ³	21.30 Nm ³ /Nm ³
	C ₄ H ₈ (butylene)	C ₄ H ₈ +6O ₂ = 4CO ₂ +4H ₂ O	29110 kcal/Nm ³	27190 kcal/Nm ³	6.00 Nm ³ /Nm ³	28.60 Nm ³ /Nm ³	30.55 Nm ³ /Nm ³	26.55 Nm ³ /Nm ³
	C ₄ H ₁₀ (butane)	2C ₄ H ₁₀ +13O ₂ = 8CO ₂ +10H ₂ O	32010 kcal/Nm ³	29610 kcal/Nm ³	6.50 Nm ³ /Nm ³	30.96 Nm ³ /Nm ³	33.42 Nm ³ /Nm ³	28.42 Nm ³ /Nm ³
	C ₆ H ₆ (benzene)	2C ₆ H ₆ +15O ₂ = 12CO ₂ +6H ₂ O	35310 kcal/Nm ³	33870 kcal/Nm ³	7.50 Nm ³ /Nm ³	35.72 Nm ³ /Nm ³	37.20 Nm ³ /Nm ³	34.20 Nm ³ /Nm ³
	C _n H _n (heavy hydrocarbons)	C _n H _n + (n+1/2) O ₂ = nCO ₂ + 1/2 nH ₂ O (เผาไหม้สมบูรณ์)			(n+1/2) Nm ³ /Nm ³	4.76 (n+1/2) Nm ³ /Nm ³	(17.9+CO ₂) Nm ³ /Nm ³	(17.9+CO ₂) Nm ³ /Nm ³

H_u : ค่าความร้อนสูง kcal/kg, kcal/Nm³G₂ : ปริมาณก๊าซไอเสียโดยทฤษฎี Nm³/kg, Nm³/Nm³O₂ : ปริมาณออกซิเจนโดยทฤษฎี Nm³/kg, Nm³/Nm³H_i : ค่าความร้อนต่ำ kcal/kg, kcal/Nm³G₂' : ปริมาณก๊าซไอเสียโดยทฤษฎี Nm³/kg, Nm³/Nm³A₂ : ปริมาณอากาศโดยทฤษฎี Nm³/kg, Nm³/Nm³

ตาราง 19 คุณสมบัติของวัสดุชีวมวลชนิดต่างๆ

Item	Biomass	HHV	Moisture	Ash
		MJ/kg	wt%	wt%
1	Charcoal	25-32	1-10	0.5-6
2	Wood	10-20	10-60	0.25-1.7
3	Coconut shell	18-19	8-10	1-4
4	Sraw	14-16	10	4-5
5	Ground nut shells	17	2-3	10
6	Coffee husks	16	10	0.6
7	Cotton residues (stalks)	16	10-20	0.1
8	Cocoa husks	13-16	7-9	7-14
9	Palm oil residues (shells)	15	15	
10	Rice husk	13-14	9-15	15-20
11	soya straw	15-16	8-9	5-6
12	Cotton residues (gin trash)	14	9	12
13	Maize (stalk)	13-15	10-20	2(3-7)
14	Palm oil residues (fiber)	11	40	
15	Sawdust	11.3	35	2
16	Bagasse	8-10	40-60	1-4
17	Palm oil residues (fruit stems)	5	63	5

ที่มา : Derived from Arbon 2002 , Quaak , Kneef ,and Stassen 1999

ตาราง 20 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิง ประเภท เศษไม้

Proximate Analysis	Rubber woodchips	Rubber wood (Charcoal)
Volatile matter , wt% ,dry basis	88.90	25.64
Ash , wt% ,dry basis	1.01	2.11
Moisture , wt% , dry basis	9.01	4.37
Fixed carbon , wt% , dry basis	14.75	67.88
Higher heating value(MJ /kg dry biomass)	16.20	20.32
Ultimate analysis (wt% dry ash free)		
C	41.75	66.42
H	5.17	0.91
O	42.93	13.81
N	0.14	0.28
S	0.00	0.00
Theoretical air -fuel ratio (dry basis)	5.19	5.1
Source:	Sommas ,Suneerat , (2007)	Pichan,Chukiat, Panyarak ,(2003)

ตาราง 21 แสดงคุณสมบัติของก๊าซ ชีวมวลที่ผลิตได้จากเชื้อเพลิง ประเภท เศษไม้

Biomass	Comparison of product gas (%)					
	CO ₂	CO	O ₂	N ₂	H ₂	CH ₄ C _n H _m
Wood	6.99	15.23	2.79	54.44	12.91	0.83 2.11

Note : Analysis from Laboratory of AIT

Composition of Hydrocarbon เชื้อเพลิงชีวมวล ประเภท เศษไม้

ตาราง 22 องค์ประกอบของค่าพลังงานของก๊าซที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซชีวมวล [7]

Biomass	Calculation								
	Hu		Qg	Qt		Gt	Hf		η
	(kcal/m ³)	(kJ/m ³)	(m ³ /hr)	(kcal/hr)	(kJ/hr)	(kg/hr)	(kcal/hr)	(kJ/hr)	(%)
Wood	1,197.6	5,014.6	108.6	128,677.4	538,782.5	0.20	9,239.9	38,688.0	70.4

Note : Calculate data experimental data

(Agricultural residues as an energy source,1991)

1. Hu : ค่าความร้อนของ producer gas

$$Hu = 30.2CO + 25.8H_2 + 85.7CH_4 + 152C_nH_m \quad (\text{Kcal / m}^3)$$
2. Qg : อัตราการไหลของก๊าซ (flow rate)

$$Qg = (0.79) Qb / N_2 \quad (Qb = \text{อัตราการไหลของอากาศ } m^3 / hr)$$
3. Qt : ค่าความร้อนของก๊าซที่ได้มา (kcal / hr)

$$Qt = Qg \times Hu$$
4. Gt : เชื้อเพลิงที่ใช้ต่อชั่วโมง (kg / hr)

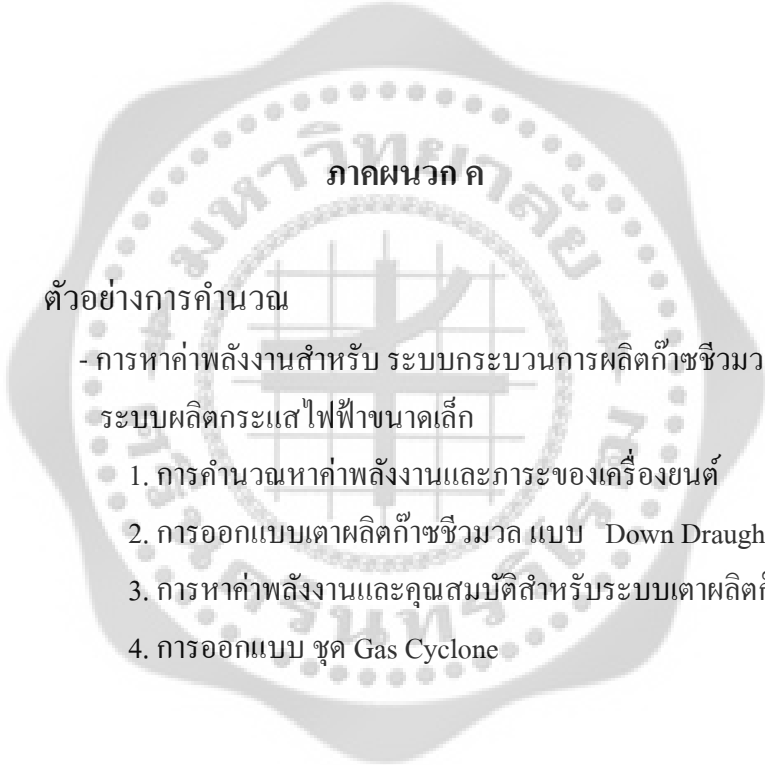
$$Gt = G / t \quad (G = \text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้เชื้อเพลิง})$$
5. η = ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตก๊าซ (Gasification)

$$\eta = (Qg \times Hu) / (Gt \times Hf) \quad (\%)$$
6. Hf = ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิง (kcal / hr)

ตาราง 23 แสดงคุณสมบัติของค่าความชื้นของเชื้อเพลิงประเภทเศษไม้
เชื้อเพลิงชีวมวล ประเภท เศษไม้ แบบเป็นแท่ง ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง
กลาง 25 mm. ยาว 2- 5 cm.

ลำดับ	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ 24 ชม.	ความชื้นต่อกรัมของน้ำหนักไม้	อัตราค่าความชื้นของเศษไม้ (%)
1	25.3897	23.0659	2.3238	9.15
2	32.3066	29.3181	2.9885	9.25
3	24.8028	22.5823	2.2205	8.95
4	30.7525	27.9942	2.7583	8.97
5	27.9727	25.4808	2.4919	8.91
6	32.188	29.3106	2.8774	8.94
7	32.4921	29.6054	2.8867	8.88
8	33.7016	30.6766	3.025	8.98
9	32.4188	29.5217	2.8971	8.94
10	30.0486	27.2977	2.7509	9.15
รวม	302.07	274.85	27.22	90.12
ค่าเฉลี่ย	30.21	27.49	2.72	9.01

ที่มา : Analysis from Chemical Engineering Laboratory of SWU



ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณ

- การหาค่าพลังงานสำหรับ ระบบกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลเพื่อใช้กับ
ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก

1. การคำนวณหาพลังงานและภาระของเครื่องยนต์
2. การออกแบบเตาผลิตก๊าซชีววมวล แบบ Down Draught
3. การหาค่าพลังงานและคุณสมบัติสำหรับระบบเตาผลิตก๊าซชีววมวล
4. การออกแบบ ชุด Gas Cyclone

ตัวอย่างการคำนวณ

การหาค่าพลังงานสำหรับระบบผลิตก๊าซชีววมวลเพื่อใช้กับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก

ประกอบด้วยค่าพลังงานและส่วนประกอบดังต่อไปนี้

1. การคำนวณหาค่าพลังงานและภาระของเครื่องยนต์

1.) เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก 4 จังหวะ

เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก 4 จังหวะ ขนาด 1 ลูกสูบ โดยมีข้อมูลดังต่อไปนี้

1.1 ขนาดความจุของเครื่องยนต์ขนาดเล็ก

ขนาดกำลัง สูงสุด 8.21 kW , 598 cm³ , 2,400 rpm.

ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ประมาณ 70 %

ปริมาตรกระบอก 598 cm³

หรือ ปริมาตรเท่ากับ $598 / 1,000 = 0.598 \text{ m}^3$

1.2 การคำนวณหาค่าพลังงานที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ดีเซล ที่ใช้เชื้อเพลิง น้ำมันดีเซล ร่วมกับ ก๊าซชีววมวล

เครื่องยนต์ดีเซล ขนาดเล็ก ที่ใช้เชื้อเพลิง น้ำมันดีเซล ร่วมกับ ก๊าซชีววมวล ที่มีรายละเอียดดังนี้

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ เท่ากับ 92 mm.
- ระยะชัก (Stroke) 90 mm.
- ปริมาตรกระบอกสูบ (Displacement ,D) 0.598 m³

ปริมาณของอากาศ ต่อเชื้อเพลิงที่จ่ายเข้าเครื่องยนต์ดีเซล ที่รอบของเครื่องยนต์ เหมาะกับเครื่อง
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Max. air/gas intake) :

$$= \frac{1}{2} \times (1,600 \text{ rpm}) \times (0.598 \text{ m}^3) / (60 \times 1000)$$

$$= 0.00797 \text{ m}^3/\text{s}$$

อัตราส่วน อากาศ ต่อ น้ำมันร่วมกับก๊าซชีววมวล (Stoichiometric) : 0.943

ปริมาณ ของอากาศ ต่อเชื้อเพลิงที่จ่ายเข้าเครื่องยนต์มากที่สุด

เท่ากับ $0.943 \times 0.00797 = 0.00752 \text{ m}^3/\text{s}$

ปริมาณก๊าซที่ป้อนเข้า เท่ากับ $0.00752 \times f$ โดยที่

f = ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (%) ของเครื่องยนต์ ที่อ้างอิงค่าต่อไปนี้

- ความเร็วรอบต่อนาที (rpm) ของเครื่องยนต์
- การออกแบบส่วนอากาศป้อนเข้าหลายต่อของเครื่องยนต์
- ส่วนปนเปลี่ยนของอากาศที่ป้อนเข้าเครื่องยนต์

ใช้ความเร็วรอบที่ 1600 rpm . เป็นค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่สอดคล้องกับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และปริมาณอากาศที่สะอาด ที่จ่ายเข้าเครื่องยนต์ ประสิทธิภาพทางปริมาตร

ใช้ที่ 39.5 %

ดังนั้นปริมาณของอากาศ ต่อเชื้อเพลิงที่จ่ายเข้าเครื่องยนต์เท่ากับ

$$= 0.00752 \times 0.395$$

$$= 0.00297 \text{ m}^3/\text{s} \text{ หรือ } 0.178 \text{ m}^3/\text{min}$$

ค่าความร้อนของก๊าซทางปริมาตรประมาณ $5,000 \text{ kJ/m}^3$

ดังนั้นค่าความร้อนของก๊าซมีค่าเท่ากับ

$$P_g = 0.00297 \times 5,000$$

$$= 14.85 \text{ kJ/s} = 14.85 \text{ kW}$$

ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ตามอัตราการอัดอากาศของเครื่องยนต์ดีเซล เท่ากับ 0.943 และประสิทธิภาพทางปริมาตร สามารถประมาณได้เท่ากับ 39.5 %

ดังนั้น ค่าพลังงานทางเครื่องกลที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์เท่ากับ

$$PM_{\max} = 14.85 \times 0.395 = 5.86 \text{ kW}$$

ค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ ($\cos \phi_{\text{generator}} = 0.8$) มีค่าเท่ากับ

$$PE_{\max} (\text{kVA}) = \text{kW} \times \cos \phi$$

$$PE_{\max} = 5.86 \times 0.8$$

$$= 4.69 \text{ kW}$$

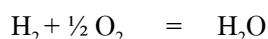
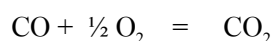
1.3 การคำนวณปริมาณอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเข้าเครื่องยนต์ดีเซล [15]

เมื่อเครื่องยนต์ดีเซล ทำงานโดยการจ่ายเชื้อเพลิงแบบรวม ของน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวล

ถ้าใช้ V_{air} = อัตราการไหลของอากาศ

V_{gas} = อัตราการไหลของก๊าซชีวมวล

สำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ของ ก๊าซชีวมวล ในเครื่องยนต์



- ความต้องการ $\text{O}_2 / \text{gas ratio}$, สำหรับการเผาไหม้ CO

$$= \frac{16(1/2 \text{ O}_2 \text{ moles}) \times 25(\text{CO}\%) \times 100(\text{O}_2\%)}{28(1 \text{ CO moles})}$$

$$= 0.143$$

- ความต้องการ O_2 / gas ratio , สำหรับการเผาไหม้ H_2

$$= \frac{16(1/2 O_2 \text{ moles}) \times 10(H_2\%) \times 100(O_2\%)}{2(1 H_2 \text{ moles})}$$

$$= 0.8$$

$$\text{ค่าอัตราความต้องการโดยรวม} = 0.143 + 0.8 = 0.943$$

- ค่าความต้องการโดยรวมของอากาศในการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ของก๊าซ (m_{gas}) พร้อม 10 % ของอากาศโดยรวม ($m_{air,g}$)

$$\frac{m_{air,g}}{m_{gas}} = \frac{0.943 \times 100 \times 1.1}{23.2} = 4.471$$

$$m_{air,g} = 37.69 \times 4.471 = 168.51 \text{ kg/hr}$$

$$V_{air,g} = 168.51 / 1.17 = 144.02 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$$

- ความต้องการปริมาตรโดยรวม V_t (Diesel + Producer gas)

$$V_t = 144.02 + 12.97 = 156.99 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$$

$$V_t = 156.99 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$$

- ถ้าเครื่องยนต์ดีเซล ทำงานในอัตรา 76.6 % ในการเดินรอบสูงสุด
อัตราการจ่ายอากาศเข้าเครื่องยนต์

$$= \frac{0.598 (1) \times 2,400 \text{ rpm} \times 60 (\text{min} / \text{hr}) \times 0.766}{(2 \times 1000 \text{ l/m}^3)}$$

$$= 32.98 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$$

1.4 การหาค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ (Brake Power , kW) [9]

เมื่อเครื่องยนต์ดีเซล ทำงานโดยการจ่ายเชื้อเพลิงแบบรวม ของน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวล

ค่ากำลังสูงสุดที่ได้ คำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$P_{brake} = P_e / \eta_{gen} \quad [\text{kW}]$$

$$P_e \text{ (ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า)} = 3.37 \text{ (kWe)}$$

$$\eta_{gen} \text{ (ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์พร้อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า)} = 76.6 \%$$

แทนค่า ในสมการ

$$P_{brake} = 3.37 \text{ kW} / 0.766$$

$$P_{brake} = 4.40 \text{ kW}$$

$$\text{Brake Power (ค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์)} = 4.40 \text{ kW}$$

1.5 ประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีววมวล (%)

สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการจากสูตรต่อไปนี้

$$\eta_{\text{gen}} = \frac{V_g \times CV_g \times 100}{m_b \times CV_b} \quad (\%)$$

$$V_g \text{ (อัตราการไหลทางปริมาตรของก๊าซ)} = 6.1 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$$

$$CV_g \text{ (ค่าความร้อนต่ำสุดของผลผลิตก๊าซชีววมวล)} = 5.01 \text{ MJ/Nm}^3$$

$$m_b \text{ (อัตราการป้อนเชื้อเพลิงชีววมวล)} = 3.5 \text{ kg / hr}$$

$$CV_b \text{ (ค่าพลังงานความร้อนต่ำสุดของเชื้อเพลิง)} = 12.48 \text{ MJ/kg}$$

แทนค่าปริมาณ ในสมการ

$$\eta_{\text{gen}} = \frac{6.1 \times 5.01 \times 100}{3.5 \times 12.48} \quad (\%)$$

$$\eta_{\text{gen}} = 70 \%$$

1.6 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซล พร้อมเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า (Engine –Generator

system , %)

เมื่อเครื่องยนต์ดีเซล ทำงานโดยการจ่ายเชื้อเพลิงแบบร่วม ของน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีววมวล

สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการจากสูตรต่อไปนี้

$$\eta_g = \frac{3.6 \times P_e \times 100}{(V_g \times CV_g) + (m_d \times CV_d)} \quad (\%)$$

$$V_g \text{ (อัตราการไหลทางปริมาตรของก๊าซ)} = 0.36 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$$

$$CV_g \text{ (ค่าความร้อนต่ำสุดของผลผลิตก๊าซชีววมวล)} = 5.01 \text{ MJ/Nm}^3$$

$$m_d \text{ (อัตราการป้อนเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล)} = 0.30 \text{ kg / hr}$$

$$CV_d \text{ (ค่าพลังงานความร้อนต่ำสุดของเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล)} = 46.8 \text{ MJ/kg}$$

(Source : spalding & Cole ,1979)

แทนค่าปริมาณ ในสมการ

$$\eta_g = \frac{3.6 \times 3.37 \times 100}{(0.36 \times 5.01) + (0.30 \times 46.8)} \quad (\%)$$

$$\eta_g = 76.6 \%$$

ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์พร้อมเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า = 76.6 %

1.7 ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตก๊าซ ชีวมวล ร่วมกับเครื่องยนต์ ผลิตกระแสไฟฟ้า

(Overall efficiency of Gasifier –Engine for Generation system , %)

การหาค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตก๊าซ ชีวมวล ร่วมกับเครื่องยนต์ ผลิตกระแสไฟฟ้า เมื่อเครื่องยนต์ดีเซล ทำงานโดยการจ่ายเชื้อเพลิง น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวล สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการจากสูตรต่อไปนี้

$$\eta_{\text{total}} = \frac{3.6 \times P_e \times 100}{(V_d \times CV_d) + (m_b \times CV_b)} \quad (\%)$$

P_e (ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) = 3.37 kWe

V_d (อัตราการไหลทางปริมาตรของน้ำมันดีเซล) = 7.93×10^{-4} Nm³ / hr

CV_d (ค่าพลังงานความร้อนต่ำสุดของเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล) = 46.8 MJ/kg

m_b (อัตราการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล) = 3.5 kg / hr

CV_b (ค่าพลังงานความร้อนต่ำสุดของเชื้อเพลิงชีวมวล) = 12.48 MJ/kg

แทนค่าปริมาณ ในสมการ

$$\eta_{\text{total}} = \frac{3.6 \times 3.37 \times 100}{(7.93 \times 10^{-4} \times 46.8) + (3.5 \times 12.48)} \quad (\%)$$

$$\eta_{\text{total}} = 27.8 \quad \%$$

ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตก๊าซ ชีวมวล ร่วมกับเครื่องยนต์ พร้อม
ผลิตกระแสไฟฟ้า = 27.8 %

1.8 การคำนวณหาภาระของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง น้ำมันดีเซล 60%

ร่วมกับ ก๊าซชีวมวล 40 % ที่ ค่าพลังงานที่ผลิตได้ 1,750 Watt

1.8.1 การแปลงหน่วยอัตราการไหลของเชื้อเพลิง

จากสมการการแปลงหน่วย lite / hr เป็น kg /hr

- เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล อัตราการไหล 0.655 lite/ hr

$$= 0.655 \text{ lite/hr} \times 0.863 \text{ kg/lite}$$

$$= 0.565 \text{ kg /hr}$$

-เชื้อเพลิงก๊าซชีวมวล อัตราการไหล 0.437 lite /hr

$$= 0.437 \text{ lite/hr} \times 0.493 \text{ kg/lite}$$

$$= 0.215 \text{ kg /hr}$$

- ค่าความหนาแน่นของน้ำมันดีเซล 0.863 kg / lite

- ค่าความหนาแน่นของก๊าซชีวมวล 0.493 kg / lite

(Source : Reed , 1988)

1.8.2 การคำนวณค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ (Torque)

การคำนวณหาค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ โดยตรวจสอบที่ ค่าภาระของเครื่องยนต์ 50 % ที่ค่าพลังงานกำลังการผลิต 1,750 Watt , ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,843 rpm.

$$\text{จากสมการ } T = \frac{P}{2\pi f}$$

เมื่อ f คือ ความถี่ของการหมุน (Frequency of Rotation) มีหน่วยเป็น HZ

$$\begin{aligned} \text{ตัวอย่าง } f &= 1,843 \text{ rpm} \times 1 \text{ HZ} / 60 \text{ rpm} \\ &= 30.716 \text{ HZ} = 30.716 \text{ S}^{-1} \end{aligned}$$

เมื่อ P เป็น ค่า กำลัง power มีหน่วยเป็น N.m/s หรือ W

$$\text{แทนค่าในสมการ } T = \frac{P}{2\pi f}$$

$$\begin{aligned} T &= \frac{1,750 \text{ (W)}}{2 \times \pi \times 30.716 \text{ (S}^{-1}\text{)}} \\ &= 9.07 \text{ N.m} \end{aligned}$$

1.8.3 การคำนวณแรงม้าเบรค (HP.)

การคำนวณหาค่าแรงม้าเบรคของเครื่องยนต์ โดยการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล ร่วมกับ ก๊าซชีววมวล สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{จากสมการ } BTH = \frac{2\pi TN}{60 \times 746}$$

เมื่อ BTH คือ แรงม้าเบรค มีหน่วยเป็น Hp

T คือ แรงบิด (Torque) ของเครื่องยนต์ = 9.07 N.m.

N คือ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ = 1,843 RPM

$$1 \text{ HP.} = 745.8 \text{ J/S} = 745.8 \text{ N.m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } BTH &= \frac{2\pi \times 9.07 \times 1,843}{60 \times 746} \\ &= 2.35 \text{ Hp (1.76 Kw)} \end{aligned}$$

1.8.4 การคำนวณความดันยังผลเฉลี่ยเบรก (Brake Mean Efficiency Pressure , bmep)

การคำนวณหาความดันเฉลี่ยเบรกเครื่องยนต์ โดยใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล ร่วมกับ ก๊าซชีววมวล สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{จากสมการ } bmep = \frac{P\eta_R}{VdN}$$

เมื่อ

$$\eta_R = \text{Number of revolution per cycle}$$

$$Vd = \text{ปริมาตรการจัด} = 0.000598 \text{ m}^3$$

$$\text{แทนค่าใน } bmep = \frac{P\eta_R}{VdN}$$

$$\begin{aligned} bmep &= \frac{1,750 (W) \times 2}{0.000598 \times 30.716 \times 1,000} \\ &= 190.58 \text{ kPa} \end{aligned}$$

1.8.5 การคำนวณความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific fuel consumption : bsfc)

การคำนวณหาความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ โดยใช้เชื้อเพลิง น้ำมันดีเซล ร่วมกับ ก๊าซชีววมวล สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{จากสมการ } bsfc = \frac{m_f}{P}$$

เมื่อ m_f คือ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง kg/s

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าใน } bsfc &= \frac{0.000239}{1,750} \\ &= 0.49 \text{ kg / kw.hr} \end{aligned}$$

1.8.6 การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Brake Thermal Efficiency : η_{bth})

$$\text{จากสมการ } \eta_{bth} = \frac{[P_b] \times 100 \%}{(m_f \times HHV)}$$

เมื่อ HHV คือ ค่าความร้อนสูงสุดของเชื้อเพลิง kJ/kg

m_f คือ อัตราการไหลเชิงมวลเชื้อเพลิงที่ใช้ kg/s

$$\text{แทนค่าในสมการ } \eta_{bth} = \frac{[1,750] \times 100 \%}{0.0000158 \times 46800 \times 1000}$$

$$\eta_{bth} = 23.26 \%$$

1.8.7 การคำนวณประสิทธิภาพทางปริมาตร (Volumetric efficiency , η_{vol})

$$\text{จากสมการ } \eta_{vol} = \frac{2m_d}{\rho_{a,i} \times V_d \times N}$$

เมื่อ $\rho_{a,i}$ คือ ความหนาแน่นของอากาศที่เข้า

m_d คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ kg/s

$$\text{แทนค่าในสมการ } \eta_{vol} = \frac{2 \times 0.00424}{1.169 \times 0.000598 \times 30.716}$$

$$\eta_{vol} = 0.395$$

1.8.9 การคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

$$\text{จากสมการ } A/F_{ratio} = \frac{m_a}{m_f}$$

เมื่อ m_a คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ , kg /hr

m_f คือ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ , kg/hr

$$\text{แทนค่าในสมการ } A/F_{ratio} = \frac{m_a}{m_f + m_g}$$

$$A/F_{ratio} = \frac{(15.19 \text{ kg/hr})}{(0.57 \text{ kg/hr} + 0.22 \text{ kg/hr})}$$

$$A/F_{ratio} = 19.23$$

1.8.10 การคำนวณอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ

$$\begin{aligned}\text{จากสมการ } F/A_{\text{ratio}} &= \frac{m_f + m_g}{m_a} \\ &= \frac{(0.570 \text{ kg/hr} + 0.22 \text{ kg/hr})}{(15.19 \text{ kg/hr})}\end{aligned}$$

$$F/A_{\text{ratio}} = 0.052$$

2. การออกแบบเตาผลิตก๊าซชีววมวล แบบ Down Draught

เตาผลิตก๊าซชีววมวลจะต้องมีการออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ สำหรับการทำงานของเตาผลิตก๊าซ ที่สัมพันธ์กับขนาดของเครื่องยนต์และพลังงานที่เกี่ยวข้องต่างๆ โดยการหาค่าที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

2.1 คุณลักษณะของวัสดุชีววมวล สำหรับเตาผลิตก๊าซชีววมวล มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซชีววมวล 70 %

พลังงานความร้อนที่ประมาณการ (Full load)

$$P_g / 0.7 = 14.84 \text{ kW} / 0.7 = 21.20 \text{ kW}$$

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีววมวลที่ความชื้นประมาณ 9.01 % = 12,480 kJ/kg

ปริมาณของเชื้อเพลิงชีววมวลสำหรับเตาผลิตก๊าซ

$$= (21.20 \text{ kW}) / (12,480 \text{ kJ/kg})$$

$$= 0.001699 \text{ kg/s}$$

$$= 6.11 \text{ kg/hr}$$

สำหรับการติดตั้งภายใต้เงื่อนไข ใช้ที่ 6.11 kg/hr

2.2 รายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบของเตาผลิตก๊าซชีววมวล

สำหรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณส่วนเผาไหม้หรือ คอคอด (throat) และ ค่า B_g สำหรับการผลิตก๊าซชีววมวลมีค่าระหว่าง 0.15 - 0.18 โดยใช้ค่า $B_g = 0.17 \text{ m}^3/\text{cm}^2 \text{ h}$ และสามารถหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณส่วนเผาไหม้หรือ คอคอด (throat) ได้จาก

$$B_g = 0.17 \text{ m}^3/\text{cm}^2 \text{ h} = \frac{\text{Gas Intake Engine}}{\text{Surface area " throat "}}$$

$$\text{แทนค่า } B_g = 0.17 \text{ m}^3/\text{cm}^2 \text{ h} = (0.00297 \text{ m}^3/\text{s}) \times (3600 \text{ s})$$

$$\text{SA}$$

$$\text{Surface area "throat" , SA} = \frac{(0.00297 \text{ m}^3/\text{s}) \times (3600 \text{ s})}{0.17}$$

$$0.17$$

$$\text{Surface area "throat" , SA} = 62.87 \text{ cm}^2 = 1/4 \times \pi \times d_{\text{throat}}^2$$

$$d_{\text{throat}} = 8.95 \text{ cm}$$

ค่าพลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมของวัสดุเชื้อเพลิงที่ต้องการเผาไหม้ในเตาผลิตก๊าซ

ประมาณค่าได้เท่ากับ 15.52 MJ/kg

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณส่วนเผาไหม้หรือ คอคอด ($d_{\text{throat}} = d_t$) = 9.0 cm .

ดังนั้น ค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 4.69 kW , ปริมาณน้ำมันดินของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงสามารถคาดหมายได้

2.3 ขนาดของส่วนประกอบบริเวณส่วนเผาไหม้ของเตาผลิตก๊าซชีวมวล

สำหรับขนาดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนบริเวณเผาไหม้เชื้อเพลิง เป็นแบบคงที่สามารถหาได้จาก

1.) ความสูงของหัวจ่ายอากาศ (h) ที่ผนังด้านข้าง บริเวณส่วนเผาไหม้

หรือ คอคอด ($d_{\text{throat}} = d_t$)

$$h_{nt} / d_t = 1.10$$

$$h_{nt} = 1.10 \times 9.05 = 9.96 \text{ cm.} \sim 10 \text{ cm.}$$

2.) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนเผาไหม้ (d_t)

$$d_r / d_t = 2.5$$

$$d_r = 2.5 \times 9 = 22.5 \text{ cm.}$$

3.) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณที่ช่องจ่ายอากาศ (d_{nt})

$$d_{nt} / d_t = 2.0$$

$$d_{nt} = 2.0 \times 9 = 18.0 \text{ cm.}$$

4.) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อจ่ายอากาศ (d_n)

สมมติฐานว่า เตาผลิตก๊าซชีวมวล มีจำนวนหัวจ่ายอากาศเท่ากับ 5 จุด

$$\text{ดังนั้น ปริมาณพื้นที่ทั้งหมด } (A_n) = 5 \times 1/4 \times \pi \times d_n^2$$

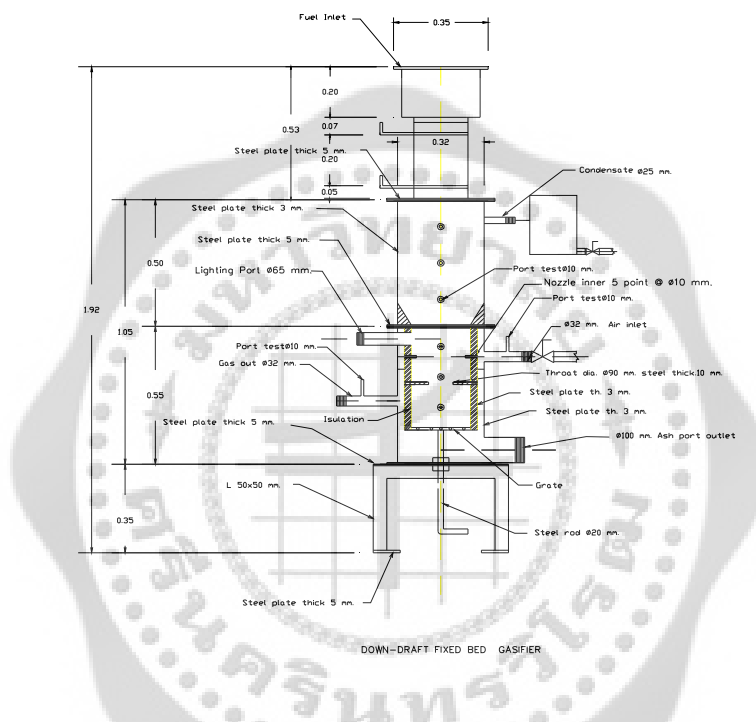
$$(100 \times A_n) / A_t = (100 \times 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_n^2) / (\frac{1}{4} \times \pi \times d_n^2) = 6.2$$

$$d_n = 10 \text{ mm.}$$

3. การหาค่าพลังงานและคุณสมบัติสำหรับระบบเตาผลิตก๊าซชีววมวล

ประกอบด้วยค่าพลังงานและส่วนประกอบดังต่อไปนี้

3.1. ปริมาตรของเตาผลิตก๊าซชีววมวล



ภาพประกอบ 56 เตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบไหลลง

ปริมาตรส่วนของเตาผลิตก๊าซ เท่ากับ 82 ลิตร

ปริมาตรส่วนที่บรรจุเชื้อเพลิง เท่ากับ 60 ลิตร

น้ำหนักของเชื้อเพลิงชีววมวลที่ปริมาตรเท่ากับ 60 ลิตร เท่ากับ 12 kg

3.2 การหาค่าพลังงานที่ใช้ต่อกิโกรัมของวัสดุเชื้อเพลิงที่ต้องการเผาไหม้ในเตาผลิตก๊าซ [6]

โดยที่ข้อมูลสำหรับระบบผลิตก๊าซ ดังต่อไปนี้

น้ำหนักของเตาผลิตก๊าซ $m_k = 95 \text{ kg.}$

น้ำหนักของภาชนะที่ใส่วัสดุเชื้อเพลิงที่ต้องการ $m_f = 40 \text{ kg}$

น้ำหนักของวัสดุเชื้อเพลิงชีววมวลที่ต้องการเผาไหม้ $m_p = 12 \text{ kg.}$

อุณหภูมิในส่วนของการเผาไหม้ $T_f = 953 \text{ }^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิผิวนอกเตาเผาไหม้ $T_s = 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิรอบๆ เตาผลิตก๊าซ $T_a = 34 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$f = 0.30$ ---> ใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้

$A =$ พื้นที่ผิวด้านนอกเตาผลิตก๊าซ , $A = 1.05 \text{ m}^2$

ค่าพลังงานที่ใช้ต่อกิโกรัมของวัสดุเชื้อเพลิงที่ต้องการเผาไหม้ หาได้จาก สมการต่อไปนี้

$$E_{sp} = [m_k 1.2 (T_r - T_s)/2 + m_r 1.2 (T_r - T_a) + ((160(T_s + T_a) - 12,995) A) / [(1 - f) m_p] + [1.1 (T_r - T_a) / (1 - f)] \quad (\text{kJ/kg})$$

แทนค่าในสมการ

$$E_{sp} = 15,521.85 \text{ kJ/kg}$$

ดังนั้น หาค่าพลังงานที่ใช้ต่อกิโกรัมของวัสดุเชื้อเพลิงที่ต้องการเผาไหม้ในเตาผลิตก๊าซ

เท่ากับ 15.52 MJ/kg

ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ จำนวน 12 kg

$$\text{ค่าพลังงานที่ใช้ในการเผาไหม้ } 12 \times 15.52 = 186.24 \text{ MJ}$$

3.3 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงประเภท เศษไม้

เชื้อเพลิงประเภทเศษไม้ คุณสมบัติทางเคมีประกอบด้วย C, H, O, N, S ตามลำดับ

ตาราง 24 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวล ประเภทเศษไม้ [10]

Proximate Analysis		Rubber woodchips
Volatile matter , wt% ,dry basis		88.90
Ash , wt% ,dry basis		1.01
Moisture , wt% , dry basis		9.01
Fixed carbon , wt% , dry basis		14.75
Higher heating value(MJ /kg dry biomass)		16.20
Ultimate analysis (wt% dry ash free)		
	C	41.75
	H	5.17
	O	42.93
	N	0.14
	S	0.00
Theoretical air -fuel ratio (dry basis)		5.19
Source:		Sommas ,Suneerat , (2007)

3.4 องค์ประกอบของก๊าซที่ผลิตได้จากเตาผลิต ก๊าซชีวมวล

ก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซประกอบด้วย CO , CH_4 , CO_2 , O_2 , N_2 , H_2 , C_nH_m ตามลำดับ และปริมาณพลังงาน ของก๊าซชีวมวล และประสิทธิภาพของ เตาผลิตก๊าซชีวมวล (ตาราง 25)

ตาราง 25 องค์ประกอบทางเคมีของก๊าซที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซชีวมวล

Biomass	Comparison of product gas (%)						
	CO ₂	CO	O ₂	N ₂	H ₂	CH ₄	C _n H _m
Wood	6.99	15.23	2.79	54.44	12.91	0.83	2.11

ที่มา : : Analysis from Laboratory of AIT

Composition of Hydrocarbon เชื้อเพลิง ชีวมวล ประเภทเศษไม้ ปริมาณ น้ำหนัก 1 kg.

ตาราง 26 องค์ประกอบของค่าพลังงานของ ก๊าซที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซชีวมวล

Biomass	Calculation								
	Hu	Qg	Qt	Gt	Hf	η			
	(kcal/m ³)	(kJ/m ³)	(m ³ /hr)	(kcal/hr)	(kJ/hr)	(kg/hr)	(kcal/hr)	(kJ/hr)	(%)
Wood	1,197.6	5,014.6	108.6	128,677.4	538,782.5	0.20	9,239.9	38,688.0	70.4

ที่มา : Calculate data experimental data

(Agricultural residues as an energy source,1991)

1 Hu : ค่าความร้อนของ Producer Gas

$$\text{Hu} = 30.2\text{CO} + 25.8\text{H}_2 + 85.7\text{CH}_4 + 152\text{C}_n\text{H}_m \text{ (Kcal /m}^3\text{)}$$

2 Qg : อัตราการไหลของก๊าซ (Flow rate)

$$\text{Qg} = (0.79) \text{Qb} / \text{N}_2 \text{ (Qb = อัตราการไหลของอากาศ m}^3\text{/hr)}$$

3 Qt : ค่าความร้อนของก๊าซที่ได้มา (kcal /hr)

$$\text{Qt} = \text{Qg} \times \text{Hu}$$

4 Gt : เชื้อเพลิงที่ใช้ต่อชั่วโมง (kg / hr)

$$\text{Gt} = \text{G} / \text{t} \text{ (G = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้เหลือ)}$$

5 η = ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตก๊าซ (Gasification)

$$\eta = (\text{Qg} \times \text{Hu}) / (\text{Gt} \times \text{Hf}) \text{ (%)}$$

6 Hf = ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิง (kcal / hr)

3.5 ปริมาณอากาศโดยทางทฤษฎีที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิง (A_o) [8]

สามารถคำนวณปริมาณของอากาศที่จำเป็นต้องใช้ในการเผาไหม้ได้อย่างถูกต้องแน่นอน ให้ c, h, o, s, n, w เป็นปริมาณร้อยละ (หน่วย kg) ของธาตุ C, H, O, S, N และ w ความชื้น ตามลำดับที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง 1 kg และ ให้ A_o เป็นปริมาณอากาศโดยทางทฤษฎีที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิง 1 kg ค่าของ A_o คำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$A_o = 8.89 c + 26.7 (h - o/8) + 3.33 s \quad [Nm^3/kg]$$

แทนค่าในสมการ

$$A_o = (8.89 \times 0.4175) + 26.7 (0.0517 - 0.4293/8) + (3.33 \times 0.00) \quad [Nm^3/kg]$$

$$A_o = 3.66 \quad [Nm^3/kg]$$

ปริมาณของอากาศที่จำเป็นต้องใช้ในการเผาไหม้เท่ากับ $3.66 \text{ Nm}^3/\text{kg}$

3.6 อัตราส่วนอากาศ, m [8]

อัตราส่วนของอากาศ m คือ อัตราส่วนปริมาณอากาศที่ใช้จริงๆ ในการเผาไหม้ A กับปริมาณอากาศโดยทางทฤษฎี A_o อัตราส่วนของอากาศ เป็นเครื่องชี้สำหรับการเกิดการเผาไหม้ที่ดี คำนวณได้ดังต่อไปนี้

จากสมการ สมดุลย์ของธาตุคาร์บอนและออกซิเจน

$$m = 1 + \frac{((O_2) - 0.5(CO))}{\{1.867c + 5.6(h - o/8) + 0.7s\} \times ((CO_2) + (CO)) / (1.867c + 0.7s)}$$

แทนค่าน้ำหนักของธาตุ $O_2 = 32$, $CO = 28$, $CO_2 = 44$, $o = 16$, $c = 12$, $h = 1$, $s =$

32

$$m = 1 + \frac{((32) - 0.5(28))}{\{ (1.867 \times 12) + 5.6(1 - 16/8) + (0.7 \times 32) \} \times ((44) + (28)) / ((1.867 \times 12) + (0.7 \times 32))}$$

$$m = 1.73$$

อัตราส่วนของอากาศ เท่ากับ 1.73

3.7 ความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)_{max} [8]

ความเข้มข้น (%) สูงสุดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซเสียแห้งโดยทฤษฎีว่า (CO_2)_{max} โดย (CO_2)_{max} สามารถคำนวณค่าได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$(\text{CO}_2)_{\text{max}} = \frac{1.867c \times 100 \%}{G'_{\text{o}}}$$

แทนค่าปริมาณร้อยละ (หน่วย kg) ของธาตุ C,H,O,S,N และ w ความชื้น ตามลำดับที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง 1 kg

$$(\text{CO}_2)_{\text{max}} = \frac{(1.867 \times 0.4175) \times 100 \%}{6.95}$$

$$(\text{CO}_2)_{\text{max}} = 11.22 \%$$

3.8 ปริมาณอากาศที่ใช้จริงๆ ในการเผาไหม้เชื้อเพลิง (A) [8]

ถ้าให้ A เป็นปริมาณอากาศที่ใช้จริงๆ ในการเผาไหม้เชื้อเพลิง 1 kg จำนวน A ได้จากสูตรต่อไปนี้

$$A = mA_{\text{o}}$$

แทนค่า $m = 1.73$, $A_{\text{o}} = 3.66$

$$A = 1.73 \times 3.66$$

$$A = 6.33 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

ปริมาณอากาศที่ใช้จริงๆ ในการเผาไหม้เชื้อเพลิง = 6.33 Nm³/kg

3.9 อัตราการเกิด ก๊าซชีวมวล (Specific gasification rate (SGR) , m/s [9]

โดยที่ค่าอัตราการเกิด ก๊าซชีวมวล เกิดจากอัตราการไหลของก๊าซต่อพื้นที่หน้าตัดคอคอด(throat) ดังต่อไปนี้

$$\text{SGR} = \frac{\text{อัตราการผลิตก๊าซ, m}^3/\text{sec}}{\text{พื้นที่หน้าตัดคอคอด (throat) , m}^2}$$

โดยที่ค่าอัตราการเกิด ก๊าซชีวมวล อยู่ในอัตราระหว่าง 0.3 ถึง 1.0

$$\text{พื้นที่หน้าตัดคอคอด (throat) = } 64.4 \text{ cm}^2$$

$$\text{ใช้ค่าอัตราการเกิดก๊าซ SGR} = 0.95$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราการผลิต ก๊าซชีวมวล} &= \text{SGR} \times \text{พื้นที่หน้าตัดคอคอด (throat) , m}^3/\text{sec} \\ &= 0.95 \times 64.4 / 10000 \quad \text{m}^3/\text{sec} \\ &= 0.95 \times 64.4 \times 60 / 10000 \quad \text{m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

$$= 0.95 \times 64.4 \times 60 / 10000 \quad \text{m}^3/\text{min}$$

$$= 0.37 \quad \text{m}^3/\text{min}$$

อัตราการผลิต ก๊าซชีวมวล (Volumetric flow rate of gas unit) = $0.37 \text{ m}^3/\text{min}$

3.10 ค่าความเร็วเฉพาะของอากาศ (Superficial velocity (Vs) , $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ s}$) [9]

ใช้ค่าความเร็วเฉพาะของอากาศ (Superficial velocity (Vs)) = 3.248 m/s สำหรับคอคอด (throat) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.0 cm . (0.0895 m .) พื้นที่หน้าตัด 62.87 cm^2

แทนค่าต่างๆในสมการต่อไปนี้

$$Vs = \frac{\text{อัตราการไหลของอากาศ , m}^3/\text{sec}}{\text{พื้นที่หน้าตัดคอคอด (throat) , m}^2}$$

$$\text{หรือ อัตราการไหลของอากาศ} = Vs \times \text{พื้นที่หน้าตัดคอคอด (throat) , m}^3/\text{sec}$$

$$= 3.248 \times 64.4 / 10000 \quad \text{m}^3/\text{sec}$$

$$= 0.021 \quad \text{m}^3/\text{sec}$$

$$= 0.021 \times 60 \quad \text{m}^3/\text{min}$$

$$\text{อัตราการไหลของอากาศ} = 1.26 \quad \text{m}^3/\text{min}$$

3.11 ค่าความร้อนสูง H_h (Higher Heating valve) [8]

ค่าความร้อนสูงที่ได้ (H_h) ต่อเชื้อเพลิง 1 kg คำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

High Heating Valve , HHV (Dulong, Perry and Chilton 1973)

$$\text{HHV} = 33.86 \times C + 144.2 \times (\text{H}-\text{O}/8) + 9.428 \times S \quad \text{MJ/kg}$$

แทนค่าปริมาณร้อยละ (หน่วย kg) ของธาตุ C,H,O,S,N และ w ความชื้น ตามลำดับที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง 1 kg

$$H_h = (33.86 \times 0.4175) + 144.2 (0.0517 - 0.4293/8) + (9.42 \times 0.00)$$

$$H_h = 13.85 \quad \text{MJ/ kg}$$

3.12 ค่าความร้อนต่ำ H_l (Lower Heating valve) [8]

ค่าความร้อนที่ได้ (H_l)ต่อเชื้อเพลิง 1 kg ที่ความชื้น 9.01% คำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$H_l = 8100 c + 28600h - 4250o + 2500s - 600w \quad [\text{kcal/ kg}]$$

แทนค่าปริมาณร้อยละ (หน่วย kg) ของธาตุ C,H,O,S,N และ w ความชื้น ตามลำดับที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง 1 kg

$$H_l = (8100 \times 0.4175) + (28600 \times 0.0517) - (4250 \times 0.4293) + (2500 \times 0.00) - (600 \times 0.0901)$$

$$H_l = 2,981.79 \quad \text{kcal/ kg , (1 kcal = 4.187 kJ)}$$

$$H_l = (2,981.79 \times 4.187) / 1,000$$

$$H_l = 12.48 \quad \text{MJ/ kg}$$

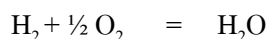
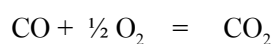
3.13 การคำนวณปริมาณอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเข้าเครื่องยนต์ดีเซล [10]

เมื่อเครื่องยนต์ทำงานโดยการจ่ายเชื้อเพลิงแบบรวม ของน้ำมันดีเซลและก๊าซชีวมวล

ถ้าใช้ V_{air} = อัตราการไหลของอากาศ

V_{gas} = อัตราการไหลของก๊าซชีวมวล

สำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ของ ก๊าซชีวมวล ในเครื่องยนต์



- ความต้องการ O_2 / gas ratio , สำหรับการเผาไหม้ CO_2

$$= \frac{16(1/2 O_2 \text{ moles}) \times 25(CO\%) \times 100(O_2\%)}{28(1 CO \text{ moles})}$$

$$= 0.143$$

- ความต้องการ O_2 / gas ratio , สำหรับการเผาไหม้ H_2

$$= \frac{16(1/2 O_2 \text{ moles}) \times 10(H_2\%) \times 100(O_2\%)}{2(1 H_2 \text{ moles})}$$

$$= 0.8$$

$$\text{ค่าอัตราความต้องการโดยรวม} = 0.143 + 0.8 = 0.943$$

- ค่าความต้องการโดยรวมของอากาศในการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ของก๊าซ (m_{gas}) พร้อม 10 % ของอากาศโดยรวม ($m_{air,g}$)

$$m_{air,g} / m_{gas} = \frac{0.943 \times 100 \times 1.1}{23.2} = 4.471$$

$$m_{air,g} = 37.69 \times 4.471 = 168.51 \text{ kg/hr}$$

$$V_{air,g} = 168.51 / 1.17 = 144.02 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$$

- ความต้องการปริมาตรโดยรวม V_t (Diesel + Producer gas)

$$V_t = 144.02 + 12.97 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$$

$$V_t = 156.99 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$$

- ถ้าเครื่องยนต์ทำงานโดยการจ่ายเชื้อเพลิงแบบรวม ของน้ำมันดีเซลและก๊าซชีวมวลในอัตรา 76.6% ในการเดินรอบสูงสุด

อัตราการจ่ายอากาศเข้าเครื่องยนต์

$$= \frac{0.598 (1) \times 2,400 \text{ rpm} \times 60 (\text{min} / \text{hr}) \times 0.766}{(2 \times 1000 \text{ l/m}^3)}$$

$$= 32.98 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$$

3.14 การหาค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ (Brake Power , kW) [10]

เมื่อเครื่องยนต์ทำงานโดยการจ่ายเชื้อเพลิงแบบรวม ของน้ำมันดีเซลและก๊าซชีวมวล

ค่ากำลังสูงสุดที่ได้ คำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$P_{\text{brake}} = P_e / \eta_{\text{gen}} \quad [\text{kW}]$$

$$P_e \text{ (ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า)} = 3.37 \text{ (kWe)}$$

$$\eta_{\text{gen}} \text{ (ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์พร้อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า)} = 76.6 \%$$

แทนค่า ในสมการ

$$P_{\text{brake}} = 3.37 \text{ kW} / 0.766$$

$$P_{\text{brake}} = 4.40 \text{ kW}$$

$$\text{Brake Power (ค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์)} = 4.40 \text{ kW}$$

3.15 ประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวมวล (%) [11]

เมื่อเครื่องยนต์ทำงานโดยการจ่ายเชื้อเพลิงแบบรวม ของน้ำมันดีเซลและก๊าซชีวมวล

สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการจากสูตรต่อไปนี้

$$\eta_{\text{gen}} = \frac{V_g \times CV_g \times 100}{m_b \times CV_b} \quad (\%)$$

$$V_g \text{ (อัตราการไหลทางปริมาตรของก๊าซ)} = 6.1 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$$

$$CV_g \text{ (ค่าความร้อนต่ำสุดของผลผลิตก๊าซชีวมวล)} = 5.01 \text{ MJ/Nm}^3$$

$$m_b \text{ (อัตราการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล)} = 3.5 \text{ kg / hr}$$

$$CV_b \text{ (ค่าพลังงานความร้อนต่ำสุดของเชื้อเพลิง)} = 12.48 \text{ MJ/kg}$$

แทนค่าปริมาณ ในสมการ

$$\eta_{\text{gen}} = \frac{6.1 \times 5.01 \times 100}{3.5 \times 12.48} \quad (\%)$$

$$\eta_{\text{gen}} = 70 \%$$

3.16 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ พร้อมเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า (Engine –Generator system , %) [11]

เมื่อเครื่องยนต์ทำงานโดยการจ่ายเชื้อเพลิงแบบรวม ของน้ำมันดีเซลและก๊าซชีวมวล

สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการจากสูตรต่อไปนี้

$$\eta_g = \frac{3.6 \times P_e \times 100}{(V_g \times CV_g) + (m_d \times CV_d)} \quad (\%)$$

$$V_g \text{ (อัตราการไหลทางปริมาตรของก๊าซ)} = 0.36 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$$

$$CV_g \text{ (ค่าความร้อนต่ำสุดของผลผลิตก๊าซชีวมวล)} = 5.01 \text{ MJ/Nm}^3$$

$$m_d \text{ (อัตราการป้อนเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล)} = 0.30 \text{ kg/hr}$$

$$CV_d \text{ (ค่าพลังงานความร้อนต่ำสุดของเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล)} = 46.8 \text{ MJ/kg}$$

(Source : spalding & Cole ,1979)

แทนค่าปริมาณ ในสมการ

$$\eta_g = \frac{3.6 \times 3.37 \times 100}{(0.36 \times 5.01) + (0.30 \times 46.8)} \quad (\%)$$

$$\eta_g = 76.6 \%$$

ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์พร้อมเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า = 76.6 %

3.19 ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตก๊าซ ชีวมวล ร่วมกับเครื่องยนต์ ผลิตกระแสไฟฟ้า

(Overall efficiency of Gasifier –Engine for Generation system , %) [11]

เมื่อเครื่องยนต์ทำงานโดยการจ่ายเชื้อเพลิงแบบร่วม ของน้ำมันดีเซลและก๊าซชีวมวล

สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการจากสูตรต่อไปนี้

$$\eta_{total} = \frac{3.6 \times P_e \times 100}{(V_d \times CV_d) + (m_b \times CV_b)} \quad (\%)$$

$$P_e \text{ (ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า)} = 3.37 \text{ kWe}$$

$$V_d \text{ (อัตราการไหลทางปริมาตรของน้ำมันดีเซล)} = 7.93 \times 10^{-4} \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

$$CV_d \text{ (ค่าพลังงานความร้อนต่ำสุดของเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล)} = 46.8 \text{ MJ/kg}$$

$$m_b \text{ (อัตราการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล)} = 3.5 \text{ kg/hr}$$

$$CV_b \text{ (ค่าพลังงานความร้อนต่ำสุดของเชื้อเพลิงชีวมวล)} = 12.48 \text{ MJ/kg}$$

แทนค่าปริมาณ ในสมการ

$$\eta_{total} = \frac{3.6 \times 3.37 \times 100}{(7.93 \times 10^{-4} \times 46.8) + (3.5 \times 12.48)} \quad (\%)$$

$$\eta_{total} = 27.8 \%$$

ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตก๊าซ ชีวมวล ร่วมกับเครื่องยนต์

ผลิตกระแสไฟฟ้า = 27.8 %

4.การออกแบบชุด Gas Cyclone [18]

ค่ามาตรฐานความเร็วของก๊าซเท่ากับ 10-15 m/s , (Reed , 1988)

ในการออกแบบชุด Gas cyclone ใช้ค่าความเร็วของก๊าซที่จ่ายเข้าสู่ชุด Gas cyclone ในระหว่าง 10-15 m/s

สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการการหาแรงดันที่สูญเสียจากสูตรต่อไปนี้

$$\Delta P = \frac{(6.5) \times (\rho_g) \times (V_i^2) \times (Ad)}{De^2}$$

$$\rho_g \text{ (ความหนาแน่นของก๊าซ)} = 0.493 \text{ kg / m}^3$$

$$V_i \text{ (ค่าความเร็วของก๊าซด้านเข้า)} = 15 \text{ m/s}$$

$$De \text{ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชุด Cyclone , 0.13 m.)}$$

- ค่าอัตราการไหลสูงสุดของก๊าซที่จ่ายเข้าเครื่องยนต์ซีเซล

$$= \frac{(370 \text{ l / min}) \times (79 \%) \times 60}{54.44 \times 1000} \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

$$= 32.22 \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

- ค่าอุณหภูมิของก๊าซเข้าสู่ชุด Gas cyclone 311 C (584 K) สำหรับการคำนวณปริมาณของก๊าซที่จ่ายของยนต์ซีเซล

$$= \frac{32.22 \times 584}{273} \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

$$= 68.92 \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

- ถ้าใช้ท่อนำก๊าซชุดเข้าสู่ชุด Gas cyclone ขนาด 1 1/4" (0.032 m.) ปริมาณค่าความเร็วของก๊าซในท่อ

$$V_{\text{pipe}} = \frac{68.92}{(60 \times 60 \text{ s/hr}) \times \frac{\pi}{4} \times (0.032/2)^2} \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

$$= 23.8 \text{ m/s}$$

ซึ่งค่าความเร็วดังกล่าวสูงมากจึงต้องขยายท่อนก่อนเข้าสู่ชุดcyclone ให้ใหญ่ขึ้น
ถ้าใช้ท่อขนาด dia. 1 1/2 " (0.04 m.) แทนค่าในสมการ

$$V_{\text{pipe}} = \frac{68.92}{(60 \times 60 \text{ s/hr}) \times \frac{\pi}{4} \times (0.04/2)^2} \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

$$= 15 \text{ m/s}$$

ซึ่งค่าความเร็วดังกล่าวอยู่ในช่วงที่กำหนด คือ 10 – 15 m/s

แทนค่าในสมการการหาแรงดันที่สูญเสียจากสูตรต่อไปนี้

$$\Delta P = \frac{(6.5) \times (0.493) \times (15^2) \times (\eta \times 0.042/4)}{0.13^2}$$

$$= 53.62 \text{ N/m}^2 = 53.62 \text{ Pa}$$

สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการหาแรงดันที่สูญเสีย

จากสูตรสมการได้ $53.62 \text{ N/m}^2 = 53.62 \text{ Pa}$



ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายสุวิทย์ ม่วงคุณ.
วันเดือนปีเกิด	9 ธันวาคม 2515
สถานที่เกิด	อ. เมือง จ. แพร่
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	99/396 ม.1 หมู่บ้านจิตถาวรณ ต.บึงน้ำรักษ์ อ.ชัยบุรี จ. ปทุมธานี 12110
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2527	ประถมศึกษาปีที่ 6 จาก โรงเรียนบ้านศรีภูมิ ต. แม่คำมี อ. เมือง จ. แพร่
พ.ศ. 2530	มัธยมศึกษาตอนต้น จาก โรงเรียนร้องกวางอนุสรณ์ อ. ร้องกวาง จ. แพร่
พ.ศ. 2533	มัธยมศึกษาตอนปลาย จาก โรงเรียน พริยาลัย อ. เมือง จ. แพร่
พ.ศ. 2539	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเครื่องกล จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
พ.ศ. 2552	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ