

การทดสอบระบบผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอยโดยเทคโนโลยีก๊าซซิฟิเคชันแบบต่อเนื่อง 200 ชั่วโมง

Testing of 200 hour Continuous Mode RDF Gasification for Energy Recovery

ปรัชญา กริโส (Prachya Kreeso)* ดร.สมรัฐ เกิดสุวรรณ (Dr.Somrat Kerdsuwan)**

ดร.กรองแก้ว เลหาลิदानนท์ (Dr.Krongkaew Laohalidanond)*** สมโภชน์ เชิดพงษ์ (Somphot Cherdphong)****

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะนำขยะจากหลุมฝังกลบมาใช้ผลิตพลังงานโดยกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน ด้วยเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงในระดับเครื่องต้นแบบขนาด 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยป้อนเชื้อเพลิงครั้งละประมาณ 300 กิโลกรัม เพื่อนำก๊าซเชื้อเพลิงสะอาดจากกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันมาใช้ร่วมกับเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อผลิตไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 200 ชั่วโมง โดยมีพารามิเตอร์ที่ทดสอบได้แก่ อัตราการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง องค์ประกอบก๊าซเชื้อเพลิง ปริมาณฝุ่นของก๊าซเชื้อเพลิงก่อนใช้งานกับเครื่องยนต์ อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลเมื่อใช้ร่วมกับก๊าซ ประสิทธิภาพเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ในการผลิตไฟฟ้า ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตพลังงาน โดยสามารถนำผลการทดสอบไปศึกษาและพัฒนาเพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไปอย่างยั่งยืนและเป็นรูปธรรม

ABSTRACT

The concept of this research is to produce energy from RDF by using a 50 kg/hr prototype downdraft gasification system. A concept that will take RDF for production energy process in downdraft gasifier is 50 kg/hr 300 kg of RDF feedstock is introduced into a batch type gasifier in order to generate clean producer gas which will further be used as substitute fuel to diesel fuel in an engine for 200 hour continuous mode. The parameters to be investigated from gasification process are producer gas production rate, producer gas composition, amount of dust in producer gas. After using producer gas as an substitute fuel in an engine, the rate of diesel replacement, engine efficiency and overall efficiency will be determined. The test results can be used to develop a sustainable and tangible benefits.

คำสำคัญ: ก๊าซซิฟิเคชัน ขยะมูลฝอย ระบบผลิตพลังงาน

Key Words: Gasification, RDF, Renewable energy

* มหบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

*** อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

**** คณบดีบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันนี้ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นภายในประเทศเพิ่มขึ้นสูงมาก ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณประชากรที่เพิ่มขึ้นสูงอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตชุมชนและเมืองใหญ่ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาวิธีการกำจัดขยะมูลฝอยอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นรูปธรรมและเป็นวิธีที่ยั่งยืน ที่สำคัญต้องไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในประเทศไทยส่วนใหญ่จะถูกนำไปกำจัดโดยวิธีการฝังกลบซึ่งจะต้องใช้เนื้อที่ในการฝังกลบอย่างกว้างขวางเพื่อให้พอกับปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งอาจทำให้มีหลุมฝังกลบไม่เพียงพอต่อปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นในอนาคต จึงจำเป็นต้องมีการจัดการขยะมูลฝอยเหล่านี้มาใช้ประโยชน์

เทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้กำจัดขยะมูลฝอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้องมีลักษณะที่สามารถลดมวลและปริมาตรได้จำนวนมากและต้องเป็นเทคโนโลยีที่สะอาด เนื่องจากขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วย พลาสติก, กระดาษและดิน โดยส่วนของพลาสติกจะเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม จึงต้องมีกระบวนการกำจัดอย่างมีประสิทธิภาพ เทคโนโลยีทางด้านความร้อนจึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดขยะมูลฝอย โดยในงานวิจัยนี้จะใช้การศึกษาการผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอยโดยเทคโนโลยีก๊าซซิฟิเคชัน

เทคโนโลยีก๊าซซิฟิเคชัน เป็นเทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการทางความร้อน โดยเทคโนโลยีนี้ประกอบไปด้วยกระบวนการหลักๆคือ กระบวนการอบแห้ง กระบวนการไพโรไลซิส กระบวนการเผาไหม้ และกระบวนการรีดักชัน (Dogru, 2002) ก๊าซที่ได้จากกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันสามารถนำไป ใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น นำไปเป็นเชื้อเพลิงในหม้อต้มไอน้ำ (boiler) ของระบบผลิตพลังงาน หรือนำไปใช้ร่วมกับเครื่องยนต์เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดย

งานวิจัยนี้จะใช้การผลิตไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง 200 ชั่วโมง

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

อุปกรณ์และวิธีการวิจัยในการวิจัยจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนขั้นตอนการเตรียมเชื้อเพลิง และส่วนขั้นตอนการดำเนินการกระบวนการผลิตพลังงาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- วัสดุและอุปกรณ์ในส่วนขั้นตอนการเตรียมเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงขยะ (RDF) จากหลุมฝังกลบ จะถูกขุดขึ้นมาผ่านกระบวนการคัดแยกเอาโลหะหรือสิ่งแปลกปลอมที่ไม่สามารถนำมาใช้ในระบบก๊าซซิฟิเคชัน ได้ออกแล้วนำมาตากเพื่อลดความชื้น โดยขยะจากหลุมฝังจะมีองค์ประกอบทางกายภาพดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางกายภาพของของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยจาก หลุมฝังกลบ	สัดส่วนของขยะ (%-wt.)
ซากพืชผัก	0.85
พลาสติก	39.98
กระดาษ	0.44
เศษผ้า หนังสือ	4.75
โลหะ	0.43
แก้ว	10.05
ดิน	43.50
รวม	100.00

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าในขยะเชื้อเพลิงขยะจะมีพลาสติกและดินเป็นส่วนประกอบหลักอยู่ที่ 43.50% และ 39.98 % ส่วนที่ไม่ใช่และเป็นอุปสรรคต่อการนำมาเข้าขั้นตอนการเตรียมเชื้อเพลิงคือวัสดุประเภทโลหะและแก้วซึ่งผสมอยู่ 0.43% และ 10.05% ตามลำดับ เพราะฉะนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องคัดแยกโลหะและแก้วออกจากขยะเชื้อเพลิงเพื่อให้ขยะเชื้อเพลิงเหมาะที่จะการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตพลังงาน จากนั้นนำขยะมาลดขนาด

ให้ได้ขนาดประมาณ 5-15 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องสับ
ลดขนาดเชื้อเพลิง ขนาด 30 แรงม้า มอเตอร์ 3 เฟส 380
โวลต์โดยมีกำลังการผลิต 40 กก/ชม ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องสับลดขนาดเชื้อเพลิง

ขยะที่ผ่านการลดขนาดแล้วจะนำมาเข้าสู่
กระบวนการอัดแท่งโดยเครื่องอัดแท่งขยะกำลังการผลิต
480 กิโลกรัมต่อวัน (ดังรูปที่ 2) แล้วจึงนำไปตัด
ด้วยเครื่องตัดเพื่อลดขนาดของแท่งเชื้อเพลิงให้ได้
ขนาดที่เหมาะสม ซึ่งขนาดของเชื้อเพลิงที่เหมาะสม
จะต้องไม่เล็กเกินไปเพราะจะส่งผลให้อากาศไหลไม่
สะดวกจนเกิดปัญหาในการเดินระบบได้ (McKendry,
2002) ในการทดลองได้ใช้ขนาดของเชื้อเพลิงประมาณ
5-7 เซนติเมตร (ดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4) ก่อนที่จะนำไป
เข้ากระบวนการผลิตพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 2 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง



รูปที่ 3 เชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดแท่ง



รูปที่ 4 เครื่องตัดแท่งเชื้อเพลิง

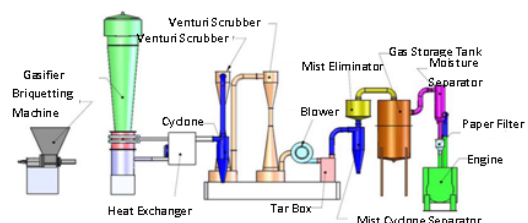


รูปที่ 5 เชื้อเพลิงที่ตัดแล้ว

- วัสดุและอุปกรณ์ในส่วนขั้นตอนการ

ดำเนินกระบวนการผลิตพลังงาน

เชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการเตรียมเชื้อ
เพลิงจะถูกนำมาป้อนใส่ในเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิง
ระบบก๊าซซิฟิเคชันแบบไหลลงขนาด 50 กิโลกรัมต่อ
ชั่วโมง เพื่อเริ่มการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 เครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงระบบก๊าซซิฟิเคชัน
แบบไหลลงขนาด 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 6 กระบวนการทำงานของระบบ
ผลิตพลังงานเริ่มจากการป้อนเชื้อเพลิงลงในเครื่องผลิต
ก๊าซเชื้อเพลิง (Gasifier) แล้วเริ่มจุดไฟและจ่ายอากาศ
เข้าไปในเตา กระบวนการก๊าซซิฟิเคชันจะเริ่มผลิต
ก๊าซเชื้อเพลิงตามกระบวนการ ก๊าซที่ได้จะไหลออก
จากท่อผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat
Exchanger) เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับอากาศที่
ป้อนเข้าสู่เตาให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้นก็เข้าสู่

อุปกรณ์ในการทำความสะอาดก๊าซเชื้อเพลิงดังนี้ Cyclon ทำหน้าที่ดักอนุภาคฝุ่นด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง Venturi scrubber ช่วยดักอนุภาคที่เล็กด้วยการฉีดน้ำมา จากข้างบน ก๊าซที่ผ่าน Venturi Scrubber จะถูกดักไอน้ำด้วยชุด Mist Cyclone Separator และ Mist Eliminator แล้วเข้าถังเก็บก๊าซ (Gas Storage Tank) แล้วส่งก๊าซผ่านไปยังอุปกรณ์ดักจับความชื้น Moisture Separator และ Paper Filter จากนั้นได้มีการตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซด้วยเครื่องมือวัดก๊าซดังรูปที่ 7 ก่อนที่จะนำก๊าซสะอาดไปใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ดีเซลสันดาปภายในขนาด 50 kW ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 7 เครื่องมือวัดองค์ประกอบของก๊าซ
Control Unit (Model Testo-350XL)



รูปที่ 8 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ดีเซลสันดาปภายในขนาด 50 kW

ตารางที่ 2 คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าแบบใช้เชื้อเพลิงร่วม

Type	Direct injection, four cylinder , Vertical, four stroke engine
Engine model	CUMMINS 4BTA 3.9-G2
Engine Speed (rpm)	1500 (Constant)
Cylinder bore (mm)	102
Stroke (mm)	120
Cubic capacity (l)	3.9
Compression ratio	16.5:1
Specific Diesel consumption rated (g/kWh)	220
Generator rating (kW)	50 (base output power)

การนำเครื่องยนต์ดีเซลมาใช้ร่วมกับก๊าซเชื้อเพลิงต้องมีการต่อท่อก๊าซเชื้อเพลิงเข้าทางท่อไอดีเพื่อให้อากาศผสมกับก๊าซเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยไม่จำเป็นต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์แต่อย่างใด (Singh, 2011)

สมการที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

อัตราการเกิดก๊าซเชื้อเพลิง

$$V_1 = AV$$

$$V_2 = \frac{V_1 \times T_2}{T_1}$$

$$V_1 = \text{อัตราการเกิดก๊าซเชื้อเพลิงร้อน (m}^3/\text{hr)}$$

$$V_2 = \text{อัตราการเกิดก๊าซเชื้อเพลิงที่ 25°C (m}^3/\text{hr)}$$

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดท่อ (m}^2\text{)}$$

$$V = \text{ความเร็วก๊าซเชื้อเพลิงร้อน (m/s)}$$

$$T_1 = \text{อุณหภูมิก๊าซร้อนออกจากปลายท่อ}$$

$$T_2 = \text{อุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส}$$

ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง

$$LHV_{\text{gas}} = \sum V_c \times LHV_i$$

$$LHV_{\text{gas}} = \text{ค่าความร้อนต่ำของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้} \\ [\text{MJ/Nm}^3]$$

$$V_c = \text{อัตราการเกิดก๊าซเชื้อเพลิง [Nm}^3/\text{hr]}$$

LHV_i = ค่าความร้อนต่ำของก๊าซที่เผาไหม้ได้แต่ละชนิดที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง
[MJ/Nm³]

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

$$\eta = \frac{LHV_{gas} \times V_c}{LHV_{fuel} \times \dot{m}_f}$$

η = ประสิทธิภาพเชิงความร้อน [%]
 LHV_{fuel} = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงขยะที่นำมาใช้ในการทดลอง [MJ/kg]
 $\dot{m}_f$ = อัตราการใช้เชื้อเพลิงขยะ [kg/hr]

อัตราทดแทนน้ำมันดีเซล

$$DR = \frac{DCR_{diesel} - DCR_{duelfuel}}{DCR_{diesel}}$$

DCR_{diesel} = อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล (kg/hr)
 $DCR_{duelfuel}$ = อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลที่ใช้ร่วมกับแก๊สเชื้อเพลิง (kg/hr)

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การทดสอบหาองค์ประกอบก๊าซเชื้อเพลิงและค่าความร้อนก๊าซเชื้อเพลิง แบบไม่ต่อเนื่อง

การทดสอบการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันจากขยะอัดที่มีความหนาแน่น 602.58 kg/m³ ความชื้น 5-10% โดยใส่ถ่านไม้ไว้ส่วนล่างของเตา 50 kg ใช้การจ่ายอากาศ 3 ค่า คือ 73 Nm³/hr, 85 Nm³/hr และ 101 Nm³/hr เพื่อหาความเหมาะสมของการจ่ายอากาศที่จะทำให้ก๊าซเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพสูงสุดและเหมาะที่จะนำมาใช้ผลิตไฟฟ้า ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบและค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงขยะอัด

อัตราการจ่ายอากาศ (Nm ³ /hr)	องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง (%-Vol.)				ค่าความร้อนต่ำ (MJ/Nm ³)
	CO	CH ₄	H ₂	CO ₂	
73	9.95	0.49	6.88	9.84	2.13
85	14.99	0.47	10.40	7.31	3.12
101	14.44	1.20	6.41	8.51	2.86

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าได้ที่สภาวะการจ่ายอากาศ 73 Nm³/hr ก๊าซที่ได้จะมีค่าความร้อน 2.13 MJ/Nm³ เมื่อเพิ่มอากาศที่ 85 Nm³/hr จะส่งผลให้ปริมาณ CO, CH₄, H₂ เพิ่มขึ้น แต่ CO₂ ลดลง ค่าความร้อนที่ได้เพิ่มขึ้นเป็น 3.12 MJ/Nm³ และเมื่อเพิ่มอากาศเป็น 101 Nm³/hr ปริมาณ CO ลดลงมาเพียงเล็กน้อย CH₄ เพิ่มขึ้น แต่ H₂ ลดลง ส่งผลให้ได้ค่าความร้อนที่ 2.86 MJ/Nm³ ค่าความร้อนที่สูงสุดคือ 3.12 MJ/Nm³ ที่อัตราการจ่ายอากาศ 85 Nm³/hr ทั้งนี้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจะขึ้นอยู่กับค่าความชื้นของเชื้อเพลิง หากเชื้อเพลิงมีความชื้นมากประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซก็จะลดลง (T. H. Jayah, 2003) แต่เนื่องจากการทดลองนี้เกิดปัญหาเชื้อเพลิงไม่ต่อเนื่องประกอบกับค่าความร้อนที่ได้ยังมีค่าไม่สูงพอจึงจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนส่วนผสมและการจ่ายอากาศใหม่เพื่อให้เหมาะสมกับการเดินเครื่องอย่างต่อเนื่อง 200 ชั่วโมง

การทดลองผลิตก๊าซเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง 200 ชั่วโมง

การทดลองผลิตไฟฟ้าต่อเนื่อง 200 ชั่วโมงเป็นการทดสอบเก็บชั่วโมงสะสมในการเดินเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้ครบจำนวน 200 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงขนาด 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมงโดยปรับโหลดเครื่องผลิตไฟฟ้าไว้ 24 kW ตลอดการทำงาน ซึ่งในการทดลองนี้จะมีกร

นำไม้สับมาผสมกับเชื้อขยะอัดเพื่อเพิ่มค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงเนื่องจากไม้มีค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงสูงกว่าขยะอัด (Zainal, 2002)

การทดลองเริ่มจากการใส่ถ่านไม้ไว้ส่วนล่างเตา 60 กิโลกรัม เพื่ออุ่นเตาแล้วจึงนำส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงขยะอัดและไม้สับใส่ลงไป ในระหว่างการเดินเครื่องแต่ละครั้งในช่วง 200 ชั่วโมงได้มีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของเชื้อเพลิงและอัตราการจ่ายอากาศเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเดินเครื่องจนได้อัตราการจ่ายอากาศที่เหมาะสมคือ $73.48 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ และสัดส่วนระหว่างขยะอัดเท่ากับไม้สับคือ 3:1 ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้เชื้อเพลิงลงอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอและได้ค่าความร้อนของก๊าซสูงกว่าการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง

การทดสอบหาองค์ประกอบก๊าซเชื้อเพลิงและค่าความร้อนก๊าซเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่อง 200 ชั่วโมง

ในการทดลองเดินเครื่องแต่ละครั้งจะมีการวัดองค์ประกอบของก๊าซจำนวน 4 ครั้ง แล้วนำค่าทั้ง 4 มาหาค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง หลังจากครบ 200 ชั่วโมงจึงนำค่าแต่ละครั้งมาหาค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 องค์ประกอบและค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงจากการทดสอบแบบต่อเนื่อง 200 ชั่วโมง

ค่า	องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง (%-Vol.)				ค่าความร้อนค่า (MJ/Nm ³)
	CO	CH ₄	H ₂	CO ₂	
Average	14.53	0.89	11.75	8.27	3.38
Max	20.59	1.49	14.49	11.43	3.99
Min	13.40	0.00	7.81	5.86	3.12

จากตารางที่ 4 ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ประกอบด้วย CO ประมาณ 13.40-20.59 %-Vol. CH₄ ประมาณ 0-1.49 %-Vol. H₂ ประมาณ 7.81-14.49 %-Vol. และ CO₂

ประมาณ 5.86-11.43 %-Vol. ส่วนที่เหลือเป็น N₂ ประมาณ 55-63 %-Vol. ก๊าซเชื้อเพลิงมีค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 3.12-3.99 MJ/Nm³ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความร้อนที่ได้จากการทดสอบหาค่าความร้อนเชื้อเพลิงแบบไม่ต่อเนื่องปรากฏว่าก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากการทดลองแบบต่อเนื่อง 200 ชั่วโมงมีค่าความร้อนสูงกว่า

จากการทดลองอย่างต่อเนื่องได้ทราบพารามิเตอร์ที่สำคัญในการนำมาใช้วัดประสิทธิภาพของระบบคือ อัตราการเกิดก๊าซเชื้อเพลิง, อัตราการใช้เชื้อเพลิง, ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, อัตราการทดแทนน้ำมัน ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สรุปผลการทดลองผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงขยะอัด

ค่า	อัตราการเกิดก๊าซเชื้อเพลิง (Nm ³ /hr)	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/hr)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)	อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล (%)
Average	137.16	20.83	80.44	66.39
max	214.60	35.00	91.27	73.33
min	123.99	18.23	66.74	53.21

จากตารางที่ 5 พบว่าอัตราการเกิดก๊าซเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ย คือ $137.16 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ ค่าสูงสุดคือ $214.60 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ อัตราการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย 20 kg/hr ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดคือ 91.27 % อัตราการทดแทนน้ำมันเฉลี่ยคือ 66.39 % และสูงสุดคือ 73.33 % ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่น่าพอใจมาก (Uma, 2004) เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลต้องใช้ระบบหัวฉีดน้ำมันดีเซลเข้าห้องเผาไหม้ จึงไม่สามารถใช้ก๊าซเชื้อเพลิงแทนการใช้น้ำมันดีเซล 100% ได้ นอกจากนี้ยังได้มีการตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่นละอองในก๊าซเชื้อเพลิง ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นฝุ่นละอองในก๊าซเชื้อเพลิง

กระดาด กรองก่อน ใช้งาน (g)	กระดาด กรองหลัง ใช้งาน (g)	ฝุ่น (g)	ปริมาตร ก๊าซ (Nm ³)	ความเข้มข้นฝุ่น (mg/Nm ³)
0.3316	0.3324	0.0008	0.05	16
0.3353	0.3360	0.0007	0.05	14
0.3316	0.3344	0.0028	0.05	56
0.3380	0.3397	0.0017	0.05	34
เฉลี่ย				30

การวิเคราะห์สภาพการทำงานของเครื่องยนต์

จากตรวจสอบหลังจากเดินเครื่องอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 200 ชั่วโมง พบเครื่องยนต์ยังทำงานได้อย่างปกติไม่มีอุปกรณ์ภายนอกเสียหาย ไม่มีการรั่วซึมของน้ำมัน เสียงเครื่องยนต์เดินเรียบไม่มีสะดุด แต่ต้องมีการเปลี่ยนตัวกรองก๊าซทุกครั้ง เนื่องจากในก๊าซมีน้ำมันดินผสมอยู่ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ได้ (Devi, 2002) และนอกจากนี้ยังได้มีการส่งตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นหลังการเดินเครื่องที่ 100 ชั่วโมง และ 200 ชั่วโมงไปตรวจวัดหาค่าความหนืด ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าความหนืดของน้ำมันเครื่อง

ค่าความหนืดน้ำมันเครื่อง 5W40 (mm ² /s)			
การใช้งาน	ก่อนใช้	หลังใช้ 100 hr	หลังใช้ 200 hr
ความหนืดจลน์ที่ 100 °C	13.55	12.46	12.46

จากตารางที่ 7 ที่ความหนืดจลน์อุณหภูมิ 100°C ความหนืดของน้ำมันที่ยังไม่ได้ใช้งานมีค่า 13.55 mm²/s และเมื่อใช้งานหลัง 100 ชั่วโมง ค่าความหนืดลดลงเหลือ 12.46 mm²/s เช่นเดียวกับที่ 200 ชั่วโมง มีค่าความหนืด 12.46 mm²/s ซึ่งแสดงให้เห็นว่า

หลังการเดินเครื่อง 100 ชั่วโมงถึง 200 ชั่วโมง เครื่องมีเกิดการสึกหรอน้อยและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

หลังจากการเดินเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าครบ 100 ชั่วโมงและ 200 ชั่วโมงต้องมีการวัดกำลังอัดของกระบอกสูบ ผลการตรวจวัดพบว่า หลัง 100 ชั่วโมง และ 200 ชั่วโมง กำลังการอัดของกระบอกสูบยังคงที่ที่ 24 บาร์ (ดังรูปที่ 9) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องยนต์ยังสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนบริเวณแอร์คูลเลอร์มีคราบฝุ่นติดอยู่ที่บริเวณระบายความร้อนเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 การวัดกำลังอัดกระบอกสูบ



รูปที่ 10 แอร์คูลเลอร์ของเครื่องยนต์

สรุปผลการวิจัย

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันโดยใช้เชื้อเพลิงขยะจากหลุมฝังกลบโดยภาพสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพหลังผ่าน 200 ชั่วโมง กำลังอัดกระบอกสูบคงที่ สภาพภายนอกปกติสามารถทดแทนแทนการใช้ น้ำมันดีเซลได้สูงสุด 73.33 % ก๊าซที่ได้มีค่าความร้อนสูงสุด 3.99 MJ/Nm³ ซึ่งเหมาะสมที่จะนำมาเป็นระบบผลิตพลังงานทางเลือกในอนาคตและยังเป็นการจัดการขยะจากหลุมฝังกลบได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. น้ำกระบวนการทำความสะอาดก๊าซจะมีลักษณะสีขุ่นดำและมีกลิ่นเหม็นจึงควรมีระบบทำความสะอาดน้ำจากกระบวนการทำความสะอาดก๊าซ
2. เนื่องจากการเดินเครื่องแต่ละครั้งต้องมีการเปลี่ยนแผ่นกรองและวัสดุในการกรองของระบบทำความสะอาดก๊าซเป็นผลมาจากละอองน้ำและน้ำมัน ดินที่อุดตันทำให้ก๊าซไหลไม่ราบรื่นจึงควรพัฒนาระบบทำความสะอาดก๊าซเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่สูงยิ่งขึ้น
3. ควรศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงให้สูงขึ้น
4. หลังการทดลองแต่ละครั้งจะมีขี้เถ้าที่เหลือจากกระบวนการจึงควรศึกษาหาวิธีนำขี้เถ้าที่เหลือจากกระบวนการไปใช้ประโยชน์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, ศูนย์วิจัยการเผาไหม้ของเสีย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ, บริษัท สหพัฒนาอินเตอร์โฮลดิ้ง จำกัด (มหาชน), บริษัท อีสเทิร์นไทยคอนกรีต จำกัด

เอกสารอ้างอิง

- T. H. Jayah, L. Aye, R. J. Fuller and D.F. Stewart.
2003. "Computer Simulation of a Downdraft Wood Gasifier for Tea Drying." Biomass and Bioenergy. 25: 459-469.
- Z. A. Zainal, A. Rifau, G. A. Quadir and K. N.

Seetharamu.2002. "Experimental Investigation of a Downdraft Biomass Gasifier." Biomass and Bioenergy. 23: 283-289.

M. Dogru, A. Midilli and C. R. Howarth. 2002.

"Gasification of Sewage Sludge Using a Throat Downdraft Gasifier and Uncertainty Analysis." Fuel Processing Technology. 75: 55-82.

Z. A. Zainal, A. Rifau, G. A. Quadir and K. N.

Seetharamu. 2002. "Experimental Investigation of a Downdraft Biomass Gasifier." Biomass and Bioenergy. 23: 283-289.

Peter McKendry. 2002. "Energy production from Biomass (part3): gasification technologies" Bioresource Technology. 83: 55-63.

R. P. Singh, et. al. 2011. "Management of biomass residues generated from palm oil mill: Vermicomposting a sustainable option" Conservation and Recycling. 55: 423-434.

Uma, R., Kandpal, T. C. and Kishore, V. N. N. 2004. "Emission Characteristics of an Electricity Generation System in Diesel Alone and Dual Fuel Modes." Biomass and Bioenergy. 27: 195-203.

Devi, L., et al. 2002. "A Review of the Primary Measures for Tar Elimination in Biomass Gasification Processes." Waste Management. 23: 1-15.