# การประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลขนาด 130 $kW_e$ กรณีศึกษา อำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย

# Efficiency valuation of 130 $kW_e$ biomass gasification power generation case study at Amphur Viengkan, ChiangRai Province.

ชนกวนัน ไชยศิลา สหัถยา ลาดปาละ*
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร
99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000 โทร 0-5596-3188 โทรสาร 0-5596-3188 E-mail: eve_6139@hotmail.com

Chanokwanun Chaisila* Sahataya Ladpala
School of Renewable Energy Technology, Naresuan University
Phitsanulok 65000 Thailand Tel: 0-5596-3188 Fax: 0-5596-3188 E-mail: eve_6139@hotmail.com

**บทคัดย่อ**

บทความนี้นำเสนอการประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล ขนาด 130 $kW_e$ กรณีศึกษา อำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ เตาผลิตแก๊สชีวมวลชนิดไหลลงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบนี้คือ ซังข้าวโพดที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยเชื้อเพลิงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 - 4 เซนติเมตร ความยาว 5 - 10 เซนติเมตร ความชื้นของเชื้อเพลิงน้อยกว่าร้อยละ 20 ส่วนประกอบของซังข้าวโพดมีค่า C, H, O และ N เท่ากับร้อยละ 48.09, 7.45, 44.07 และ 0.38 และค่าความร้อนต่ำของชีวมวลเท่ากับ 2,297 กิโลจูลต่อกิโลกรัมที่น้ำหนักแห้ง ระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลสามารถผลิตไฟฟ้าได้ที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวลประมาณ 195 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยเชื้อเพลิง 1.5 กิโลกรัม สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง และอัตราการผลิตแก๊สของเตาผลิตแก๊สชีวมวลเท่ากับ 520 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ค่าความร้อนของแก๊สชีวมวลประมาณ 4.70 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งแก๊สชีวมวลประกอบด้วย CO, $CH_4$, $CO_2$, $H_2$ และ $N_2$ เท่ากับ ร้อยละ 20, 2, 8, 20 และ 50 ตามลำดับ จากผลการศึกษาประสิทธิภาพของเตาผลิตแก๊สชีวมวลคิดเป็นร้อยละ 70 และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคิดเป็น ร้อยละ 20 ซึ่งส่งผลให้ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานโดยรวมของระบบคือร้อยละ 14

**Abstract**

This paper presents efficiency evaluation of 130 $kW_e$ Biomass gasification power generation case study at Amphur Viengkan, ChiangRai Province. This system consists of the two main parts namely, downdraft gasifier, and generator set. Corncob residuals were used for technical efficiency evaluation. Both of the diameter's size and length of corncob residuals are about 2 to 4 cm. Moisture content of biomass fuel is less than 20%. Corncob residuals consist of C, H, O and N around 48.09, 7.45, 44.07 and 0.38% dry basis, respectively. Lower heating value of corncob residuals is about 2,297 kJ/kg drybasis. Results of this study showed that biomass gasification power generation system consumed biomass fuel around 195 kg/h or 1.5 kg/kWh. Gasifier can generate gas around 520 $m^3$/h. Heating value of gas is about 4.70 MJ/kg. The compositions of gas consist of CO, $CH_4$, $CO_2$, $H_2$, and $N_2$ around 20, 2, 8, 20 and 50, respectively. Gasifier efficiency is about 70 % and gas engine–generator system is about 20 %, so the entire system efficiency is 14 %.

## 1. บทนำ

ปัจจุบันร้อยละ 90 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในโลกนี้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fuels) [1] ซึ่งจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานความร้อนโดยการเผาไหม้ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลมีข้อเสียที่ก่อให้เกิดมลพิษต่าง ๆมากมายตามมา เช่น ภาวะเรือนกระจก ฝนกรด และการลดลงของชั้นโอโซนที่ห่อหุ้มบรรยากาศของโลก จนส่งผลกระทบต่อสมดุลตามธรรมชาติของสิ่งแวดล้อมและนำไปสู่คุณภาพชีวิตที่ต่ำลงของมนุษย์ ดังนั้นประชาคมโลกจึงได้ตระหนักถึงปัญหาที่กำลังจะเกิดขึ้น การพัฒนาเทคโนโลยีระบบผลิต

ไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว เทคโนโลยีระบบผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวมวลเป็นเทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลโดยจำกัดปริมาณอากาศที่เข้าทำปฏิกิริยา ซึ่งจะทำให้เกิดแก๊สเชื้อเพลิงขึ้น เมื่อแก๊สนี้ไปเผาไหม้เครื่องยนต์ก็จะสามารถผลิตพลังงาน เช่น พลังงานไฟฟ้า

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลผลิตทางการเกษตรหลากหลายชนิด เช่น ข้าว ข้าวโพด น้ำตาล มันสำปะหลัง ยางพารา และน้ำมันปาล์ม เป็นต้น ผลิตผลบางส่วนที่เหลือเพียงพอที่จะส่งออกไปยังต่างประเทศ สร้างรายได้ให้แก่ประเทศปีละหลายหมื่นล้านบาท จึงถือว่าประเทศไทยเป็นครัวเรือนของโลก อย่างไรก็ตามระหว่างการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปผลิตผลการเกษตรเหล่านี้ก่อให้เกิดชีวมวลหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น เศษไม้ยางพารา แกลบ ฟางข้าว ซังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง และกากอ้อย เป็นต้น ชีวมวลบางส่วนถูกนำมาแปรรูปเป็นปุ๋ย ในขณะที่วัตถุดิบและเชื้อเพลิงบางส่วนถูกเผาทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ เช่น ฟางข้าว ซังข้าวโพดใบและลำต้น ใบยอดอ้อย และรากไม้ยางพารา พลังงานชีวมวลที่เกิดขึ้นในแต่ละปีเทียบเท่าถ่านหินลิกไนท์ 54 ล้านตัน [1] ถ้าสามารถนำเศษวัสดุทางการเกษตรมาเปลี่ยนรูปพลังงานไม่ว่าจะเป็นเชิงความร้อนหรือไฟฟ้าก็จะช่วยลดการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานแบบดั้งเดิมได้อย่างมหาศาล

จังหวัดเชียงรายเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกข้าวโพดเป็นจำนวนมาก จึงทำให้มีเศษวัสดุเหลือทิ้งโดยที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ ส่วนใหญ่การกำจัดเศษวัสดุในพื้นที่จะเป็นการกำจัดแบบการเผาทำลาย จึงทำให้บริษัทซูพรีม รีนิวเอเบิล เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด ซึ่งเป็นนิติบุคคลที่จัดตั้งโรงไฟฟ้าชุมชนที่มีวัตถุประสงค์ที่จะเป็นส่วนหนึ่งในการช่วยสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้กับประเทศ โดยมุ่งเน้นในการสร้างโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวล ขนาดกำลังการผลิตตั้งแต่ 50-500 $kW_e$ ปัจจุบันบริษัทดังกล่าวได้จัดสร้างโรงไฟฟ้าต้นแบบขนาด 130 $kW_e$ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะประเมินทางด้านเทคนิคของระบบดังกล่าว

## 2. วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

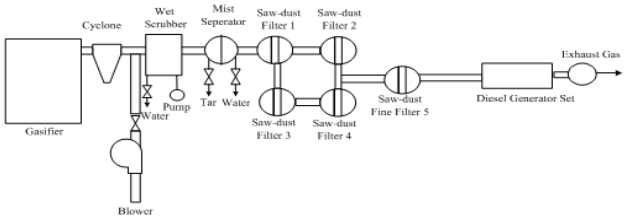
### 2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล

เทคโนโลยีแก๊สชีวมวล เป็นการเปลี่ยนเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งอยู่ในสถานะของแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงแก๊สชีวมวล ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในที่จำกัดอากาศ โดยความร้อนที่เกิดขึ้นจะเร่งปฏิกิริยาแบบต่อเนื่องกลายเป็นแก๊สโปรดิวเซอร์ (producer gas) หรือเชื้อเพลิงแก๊ส (fuel gas) มีองค์ประกอบหลักคือ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สมีเทน ($CH_4$) และแก๊สไฮโดรเจน ($H_2$) แก๊สโปรดิวเซอร์ที่มีค่าความร้อนปานกลางสามารถนำไปใช้เป็นสารสังเคราะห์ เพื่อใช้สำหรับเป็นเชื้อเพลิงเพื่อการขนส่ง ส่วนแก๊สโปรดิวเซอร์ที่มีค่าความร้อนต่ำก็จะนำมาใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้าและความร้อน

การผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีแก๊สชีวมวล โดยใช้เครื่องยนต์แก๊สชีวมวล ณ บริษัทซูพรีม รีนิวเอเบิล เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนต่อไปนี้

- เครื่องผลิตแก๊ส ทำหน้าที่เปลี่ยนเชื้อเพลิงชีวมวลแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงแก๊ส ซึ่งเครื่องผลิตแก๊สที่ศึกษาเป็นชนิดไหลลง ระบบผลิตแก๊สประกอบด้วย เตาปฏิกริยาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง สามารถทนความร้อนสูง 1100 องศาเซนติเกรด เพื่อให้เกิดก๊าซเชื้อเพลิงด้านในทำเป็น 2 ชั้น เพื่อให้ก๊าซสามารถไหลเวียนได้และระบายเถ้าถ่านออกมาภายนอกโดยใช้น้ำเป็นตัวนำพา
- ระบบทำความสะอาดแก๊ส ทำให้แก๊สที่ผลิตได้สะอาดเหมาะสมกับการนำไปเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายใน ประกอบด้วย 1) ไซโคลนซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แยกฝุ่นที่ปนอยู่ในแก๊ส 2) ถังเก็บฝุ่นละอองจากไซโคลน 3) ถังดักจับฝุ่นละอองและน้ำมันดิน 4) ถังกรองฝุ่นและน้ำมันดิน 5) ถังกรองฝุ่นและน้ำมันดิน
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ใช้กำลังที่ได้จากเครื่องยนต์มาเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในการศึกษานี้ดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลมาเป็นเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดโดยใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว และเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 380 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ท ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที

แผนผังระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล และภาพถ่ายของระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลที่ได้พัฒนาขึ้น ณ บริษัทซูพรีม รีนิวเอเบิล เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด พร้อมทั้งซังข้าวโพดที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับระบบที่ศึกษาดังแสดงในรูปที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ




รูปที่ 1 ระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล

รูปที่ 2 ภาพถ่ายระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวลที่พัฒนาขึ้น ณ บริษัทซูพรีม รีนิวเอเบิล เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด

รูปที่ 3 ภาพซังข้าวโพดที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการทดลอง

ข้อมูลทางด้านเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล มีดังนี้
ชนิดของเตาผลิตแก๊ส : ชนิดไหลลง
ชีวมวล : ซังข้าวโพด
ความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวล : <ร้อยละ 20
เครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงแก๊สชีวมวล : ร้อยละ 100
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวล : 195 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
อัตราการผลิตแก๊ส : 520 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
การนำขี้เถ้าออกจากเตาผลิตแก๊ส : ใบพัดกวาดขี้เถ้า
การเติมเชื้อเพลิง : เปิดฝาเติมด้านบนของเตา
ระบบทำความสะอาด : น้ำ

**2.2 เชื้อเพลิงชีวมวล**

เชื้อเพลิงชีวมวลในการศึกษาคือ ซังข้าวโพด ซึ่งมีขนาดดังแสดงในตารางที่ 1 ความชื้นของซังข้าวโพดเริ่มต้นที่เก็บรวบรวมมาจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 35-40 เมื่อนำมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 $^{\circ}$C ความชื้นจะเหลือประมาณร้อยละ 5-10 และมีคุณสมบัติทางด้าน Ultimate analysis ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 Physical characteristics ของซังข้าวโพด

| Diameter of biomass fuel (cm) | Length of biomass fuel (cm) |
|---|---|
| 2 - 4 | 5 - 10 |

ตารางที่ 2 Ultimate analysis ของซังข้าวโพด

| Ultimate analysis % dry basis | |
|---|---|
| Carbon, % | 48.09 |
| Hydrogen, % | 7.45 |
| Oxygen, % | 44.07 |
| Nitrogen, % | 0.38 |

**3.การคำนวณผลการทดลอง**

**3.1 การหาประสิทธิภาพของเตาผลิตแก๊สชีวมวล**

ปัจจัยสำคัญในการหาประสิทธิภาพของระบบส่วนหนึ่ง คือ การหาประสิทธิภาพในการทำงานที่แท้จริงของเตาผลิตแก๊ส สามารถหาได้ด้วยอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ได้จากเตาผลิตแก๊ส หมายถึง พลังงานที่สะสมอยู่ในแก๊สเย็นกับพลังงานที่ให้กับเตาผลิตแก๊ส หมายถึงอัตราการใช้ชีวมวลของเตาผลิตแก๊ส

การหาประสิทธิภาพของเตาผลิตแก๊สชีวมวลในการประยุกต์ใช้กับแก๊สชีวมวลกับเครื่องยนต์สามารถหาได้ดังสมการที่ 1 [2]

$$\eta_{gasifier} = \frac{H_g \times Q_g}{H_s \times M_s} \times 100\% \qquad (1)$$

ซึ่ง

$\eta_{gasifier}$ = ประสิทธิภาพของเตาผลิตแก๊สชีวมวล (ร้อยละ)
$H_g$ = ค่าความร้อนของแก๊สชีวมวล (กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร)
$Q_g$ = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สชีวมวล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
$H_s$ = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงชีวมวล (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
$M_s$ = อัตราการเติมเชื้อเพลิงชีวมวลแข็ง (กิโลกรัมต่อวินาที)

**3.2 การหาประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้า**

เครื่องยนต์ดีเซลที่ถูกดัดแปลงเพื่อใช้กับแก๊สชีวมวลซึ่งเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อที่จะแปลงพลังงานที่ได้ที่เพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า แก๊สที่ถูกป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์จะเป็นเชื้อเพลิงที่ช่วยให้เกิดการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จาก อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ได้กับพลังงานที่ให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังสมการที่ 2 [2]

$$\eta_{generator} = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\%$$

$$= \frac{3V_p I_p \cos\theta}{H_g Q_g} \qquad (2)$$

ซึ่ง

$\eta_{generator}$ = ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
$V_p$ = ความต่างศักย์เฟส (โวลต์)
$I_p$ = กระแสเฟส (แอมแปร์)
$\cos\theta$ = power factor (ร้อยละ)
$H_g$ = ค่าความร้อนของแก๊ส (กิโลจูลต่อลูกบาสก์เมตร)
$Q_g$ = อัตราการไหลเชิงปริมาตร (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

ปริมาณแก๊สที่ถูกนำเข้าเครื่องยนต์สูงสุดสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3 [2]

$$Q_g = \frac{rpm \times D}{2 \times 60 \times 1000} \times \text{stoichiometric air/gas ratio} \qquad (3)$$

ซึ่ง

rpm = ความเร็วของเครื่องยนต์ (รอบต่อนาที)

D = ปริมาตรของกระบอกสูบ (L)

**3.3 การหาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล**

ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล ประกอบด้วยประสิทธิภาพของเตาผลิตแก๊สและประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งการประเมินสมรรถนะของระบบสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4 [2]

$$\eta = \eta_{gasifier} \times \eta_{generator} \quad (4)$$

ซึ่ง

$\eta$ = ประสิทธิภาพของระบบ

$\eta_{gasifier}$ = ประสิทธิภาพของเตาผลิตแก๊ส

$\eta_{generator}$ = ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

**3.4 การหาค่าความร้อนของแก๊สชีวมวล**

โดยทั่วไประบบทำความสะอาดแก๊สชีวมวลจะรวมอยู่ในระบบผลิตแก๊สชีวมวล ค่าความร้อนของแก๊สชีวมวล ($kJ/m^3$) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5 [2]

$$H_{ig} = \frac{12{,}680V_{CO} + 10{,}800V_{H_2} + 35{,}900V_{CH_4}}{1 + 2.38V_{CO} + 2.38V_{H_2} + 9.52V_{CH_4}} \quad (5)$$

ซึ่ง

$H_{ig}$ = ค่าความร้อนของส่วนผสมในการเผาไหม้สมบูรณ์ของแก๊สโปรดิวเซอร์และอากาศ (กิโลจูลต่ออลูกบาศก์เมตร)

$V_{CO}$ = สัดส่วนปริมาตรของคาร์บอนมอนอกไซด์ในแก๊สก่อนผสมกับอากาศ

$V_{H_2}$ = สัดส่วนปริมาตรของไฮโดรเจนในแก๊สก่อนผสมกับอากาศ

$V_{CH_4}$= สัดส่วนปริมาตรของมีเทนในแก๊สก่อนผสมกับอากาศ

**4. ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง**

จากการทดสอบเผาซังข้าวโพดในเตาผลิตแก๊สพบว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 195 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยเชื้อเพลิง 1.5 กิโลกรัม สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าความร้อนต่ำของชีวมวลเท่ากับ 2,297 กิโลจูลต่อกิโลกรัม องค์ประกอบของแก๊สแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของแก๊สโปรดิวเซอร์ที่ผลิตได้จากเตาเผาแก๊สชีวมวล

| องค์ประกอบ | ร้อยละ |
|---|---|
| CO, % | 20 |
| $CH_4$, % | 2 |
| $CO_2$, % | 8 |
| $H_2$, % | 20 |
| $N_2$, % | 50 |

ผลการคำนวณค่าความร้อนของแก๊สชีวมวล อัตราการผลิตแก๊สของเตาผลิตแก๊สชีวมวล ประสิทธิภาพของเตาผลิตแก๊สชีวมวล ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ประสิทธิภาพของระบบในการเปลี่ยนพลังงานชีวมวลเป็นพลังงานไฟฟ้า แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการคำนวณจากเตาผลิตแก๊สชีวมวล

| | ผลการคำนวณ |
|---|---|
| ค่าความร้อนของแก๊สชีวมวล, $H_{ig}$ (MJ/kg) | 4.70 |
| อัตราการผลิตแก๊สของเตาผลิตแก๊สชีวมวล, $Q_g$ ($m^3/h$) | 520 |
| ประสิทธิภาพของเตาผลิตแก๊สชีวมวล, $\eta_{gasifier}$ (%) | 70 |
| ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, $\eta_{generator}$ (%) | 20 |
| ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล, $\eta$ (%) | 14 |

**5. สรุปผลการทดลอง**

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้า พบว่าประสิทธิภาพของระบบในการเปลี่ยนรูปพลังงานชีวมวลเป็นพลังงานไฟฟ้ามีค่าเท่ากับร้อยละ 14 ประสิทธิภาพของเตาผลิตแก๊สชีวมวลมีค่าเท่ากับร้อยละ 70 ซึ่งเครื่องผลิตแก๊สที่ทำงานได้อย่างเหมาะสมจะสามารถผลิตแก๊สชีวมวลที่ประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 70-75 [3-6] ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่ากับร้อยละ 20 โดยจากการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลซึ่งใช้แก๊สชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงควรอยู่ที่ประมาณร้อยละ 20 [4, 6]

**6. กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณบริษัทซูพรีม รีนิวเอเบิล เอ็นเนอร์ยี่ จำจัด ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการเก็บข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย

**เอกสารอ้างอิง**

1. ผศ.ดร.ไกรพัฒน์ จีนขจร,2551,พลังงานหมุนเวียน,สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น),กรุงเทพฯ.
2. สหัถยา ลาดปาละ,นิพนธ์ เกตุจ้อย,วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร การประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร.
3. McKendry, P., “Energy Production from Biomass: Conversion Technologies”, 2001.

4. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, “โครงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อชนบทและการพัฒนาที่ยั่งยืน: ระบบเครื่องยนต์ก๊าซโปรดิวเซอร์จากชีวมวล,” หนังสือชุดพลังงานยั่งยืน เล่ม 1, 2544.
5. FAO Forestry Department. “Wood Gas as Engine Fuel”. Mechanical Wood Products Branch Forest Industries Division. United Nations. 1986.
6. Ministry of non-conventional energy sources, “QUALIFYING, TESTING AND PERFORMANCE EVALUATION OF BIOMASS GASIFIES-ENGINE SYSTEM” (Test procedure No II), New Delhi, India.