

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 20 กิโลวัตต์ โดยชีวมวลในพื้นที่ภาคเหนือ

## Analysis of Electricity Cost from 20 kW<sub>e</sub> Organic Rankine Cycle by Using Biomass in the Northern Thailand

อภิวัฒน์ ยิ้มประเสริฐ<sup>1\*</sup>, นัฐพร ไชยญาติ<sup>2</sup> และจักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

Email: aphiwat.yimprasert@hotmail.com

<sup>2</sup> วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

Email: benz178tii@hotmail.com

<sup>3</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก

Email: chakkraphan\_t@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle, ORC) ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 20 kW<sub>e</sub> โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในการผลิตน้ำร้อนป้อนให้กับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้ น้ำร้อนอุณหภูมิอยู่ในช่วง 90°C-120°C ผลการศึกษาพบว่า ระบบ ORC มีประสิทธิภาพของวัฏจักรประมาณ 8% และเมื่อนำผลจากการทดสอบไปวิเคราะห์หาต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า (Electricity cost; EC) จากเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีศักยภาพในพื้นที่ภาคเหนือ อันประกอบด้วย แกลบ ชังข้าวโพด และเศษไม้ พบว่า ราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของแกลบ ชังข้าวโพดและเศษไม้ มีค่าประมาณ 9.46 Baht/kWh 8.89 Baht/kWh และ 10.33 Baht/kWh ตามลำดับ และต้นทุนราคาชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ที่เหมาะสมสำหรับค่าการรับซื้อไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลของประเทศไทยที่ 5.34 Baht/kWh อยู่ที่ 1,150 Baht/Ton 680 Baht/Ton และ 540 Baht/Ton ตามลำดับ

**คำสำคัญ** วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ชีวมวล ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

### Abstract

This study analyzed an electricity cost (EC) from a 20 kW<sub>e</sub> Organic Rankine Cycle (ORC) by using biomass fuel for generating heat to the ORC system. In this study. From the experiment, the ORC system was supplied hot water temperature in the range between 90-120 °C. It could be found that the average ORC efficiency was around 8%, which this result was used to analyze the EC by using biomass fuel in the northern area. Rice husk, corn cobs and wood chips were selected to evaluate the EC, which that the thermo-economic results of the biomass-ORC system were 9.46, 8.89 Baht/kWh and 10.33 Baht/kWh,

respectively. Moreover, the Feed-in Tariff of biomass energy in Thailand at 5.34 Bath/kWh, the optimal costs of the 3 biomass fuels were 1,150, 680 and 540 Baht/Ton, respectively,

**Keywords:** Organic Rankine Cycle, Biomass, Electricity cost

### 1. บทนำ

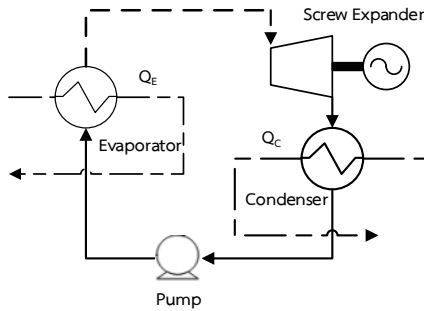
จากปัญหาทางด้านวิกฤติพลังงานและสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจึงทำให้มีการนำพลังงานทดแทนมาใช้ประโยชน์เนื่องจากเป็นพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานชีวมวล เป็นต้น ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการทำเกษตรกรรมจำนวนมากและมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่สามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle; ORC) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ด้วยความร้อนอุณหภูมิต่ำ 90-120 °C และใช้สารทำงานอินทรีย์ที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในการศึกษานี้จึงทำการเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีศักยภาพในพื้นที่ภาคเหนือ [1] อันประกอบไปด้วย แกลบ ชังข้าวโพด และเศษไม้ เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาต้นทุนการผลิตไฟฟ้า (Electricity Cost, EC) โดยใช้ระบบ ORC ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 20 kW<sub>e</sub>

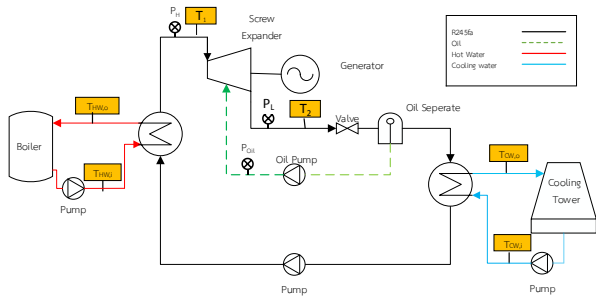
### 2. ทฤษฎี

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เป็นวัฏจักรผลิตไฟฟ้าที่มีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับวัฏจักรแรงคิน (Rankine Cycle) ทั่วไป แต่วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ใช้สารอินทรีย์ซึ่งมีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำ ดังนั้นในการผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สามารถใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำและใช้ความดันไม่สูงเท่ากับโรงไฟฟ้าไอน้ำทำให้การบำรุงรักษาง่ายและมีความปลอดภัยสูง โดยหลักการการทำงานของวัฏจักรเริ่มต้นจากน้ำร้อนเข้าสู่เครื่องระเหย (Evaporator) และถ่ายเทความร้อนให้กับสารทำงานในวัฏจักร ทำ

ให้สารทำงานเดือดกลายเป็นไอและมีความดันสูงผ่านเข้าสู่สกรูเอ็กซ์แพนเดอร์ (Screw expander) ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้า หลังจากนั้นสารทำงานออกจากสกรูเอ็กซ์แพนเดอร์มีความดันต่ำลงและมีสถานะเป็นไอ เข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) เพื่อเปลี่ยนสถานะไปเป็นของเหลวและถูกปั๊ม (Pump) ขึ้นไปปรับความร้อนที่เครื่องระเหย และเริ่มการทำงานใหม่ต่อไป



รูปที่ 1 โดอะแกรมวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์



รูปที่ 2 แสดงจุดตรวจวัดในการทดสอบระบบ ORC ขนาด 20 kW<sub>e</sub>

จากรูปที่ 2 สมการทางคณิตศาสตร์ของระบบ ORC มีดังต่อไปนี้ ประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ( $\eta_{ORC}$ ) แสดงดังสมการที่ 1

$$\eta_{ORC} = \frac{W_{net}}{Q_E} \quad (1)$$

อัตราความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้โดยตรงจากชีวมวลแสดงดังสมการที่ 2

$$Q_{Biomass} = \epsilon_{Boiler} \dot{m}_f LHV \quad (2)$$

เมื่อ  $Q_{Biomass}$  คือ อัตราความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล (kW)

$\epsilon_{Boiler}$  คือ ประสิทธิภาพของเตาเผาชีวมวล

$\dot{m}_f$  คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล (kg/s)

LHV คือ ค่าความร้อนทางต่ำของชีวมวล (kJ/kg)

อัตราการระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่นแสดงดังสมการที่ 3

$$Q_C = \dot{m}_{CW} C_{p,CW} (T_{CW,o} - T_{CW,i}) \quad (3)$$

การคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าโดยใช้สมการที่ 4 และสมการที่ 5

$$EC = \frac{crf \cdot C_{Invest} + C_{OM}}{E_{net}} \quad (4)$$

$$crf = \frac{i_d(1+i_d)^n}{(1+i_d)^n - 1} + k_{insurance} \quad (5)$$

เมื่อ EC คือ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า (Baht/kWh)

$C_{Invest}$  คือ ต้นทุนโครงการ (Baht)

$C_{OM}$  คือ ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา (Baht/year)

$E_{net}$  คือ อัตราการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อปี (kWh)

$i_d$  คือ อัตราดอกเบี้ย

$k_{insurance}$  คือ มูลค่าซากรายปี (Baht/year)

$n$  คือ อายุการใช้งานของระบบ (year)

### 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 20 kW<sub>e</sub>

การทดสอบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 20 kW<sub>e</sub> ที่ใช้สารทำงาน R-245fa ในระบบ โดยการใช้น้ำร้อนอุณหภูมิอยู่ในช่วง 90-120 °C และใช้น้ำหล่อเย็นอุณหภูมิ 28 °C ซึ่งจุดตรวจวัดต่างๆ ประกอบไปด้วย อุณหภูมิ อัตราการไหลของน้ำร้อนและน้ำระบายความร้อน ความดันสารทำงาน ความดันน้ำมันหล่อลื่น กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ ORC กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ ORC โดยที่รูปที่ 4 แสดงภาพถ่ายของระบบ ORC ที่ใช้ในการทดสอบและเก็บข้อมูล

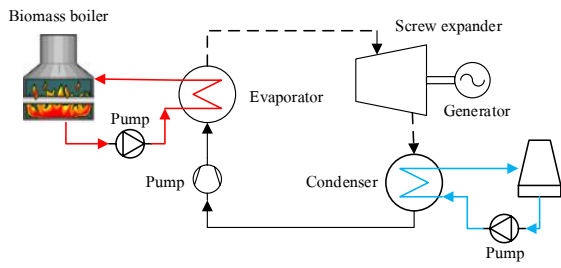


รูปที่ 3 เครื่อง ORC ต้นแบบขนาด 20 kW<sub>e</sub> (Hanbell : model SC2-300)

#### 3.2 วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า อาศัยผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่อง ORC ในหัวข้อที่ผ่านมา มาใช้ในการประเมินศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าโดยเชื้อเพลิงชีวมวล อันประกอบไปด้วย แกลบ ชังข้าวโพดและเศษไม้ โดยมีเงื่อนไขในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- เงินลงทุนเริ่มต้นแสดงดังตารางที่ 1
- ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาต่อปีคิดที่ 3.5% ของเงินลงทุน [3]
- ราคาเชื้อเพลิงชีวมวลแสดงดังตารางที่ 2
- จำนวนชั่วโมงการทำงาน 8,000 h/y [5]
- มูลค่าซาก ( $k_{insurance}$ ) ต่อปีคิดที่ 0.6% ของเงินลงทุน [6]
- อัตราดอกเบี้ย ( $i_d$ ) 6.525% [7]
- อายุการใช้งานของระบบ ( $n$ ) คิดที่ 20 y [2]
- แผนภาพการทำงานแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 แผนภาพการทำงานของระบบ ORC ที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

ตารางที่ 1 รายละเอียดเงินลงทุนเริ่มต้นของระบบ ORC ขนาด 20 kW<sub>e</sub>

ข้อมูล	ราคา (Baht)
เครื่อง ORC <sup>1</sup> 20 kW <sub>e</sub>	1,930,500
ราคาหม้อต้ม (Boiler) สำหรับชีวมวล <sup>2</sup>	500,000
ราคาที่ดิน <sup>3</sup>	500,000
ราคาการก่อสร้างโรงเรือน ระบบท่อน้ำร้อน ระบบระบายความร้อน และระบบไฟฟ้า <sup>4</sup>	1,000,000
เงินลงทุนเริ่มต้น	3,930,500

หมายเหตุ <sup>1</sup> เครื่อง ORC ราคา 2,500 USD/kW<sub>e</sub> รวมคิดขนส่งคิดที่ 50% ของราคา เครื่อง ORC [8] ที่อัตราการแลกเปลี่ยนเงิน [9]

<sup>2</sup> อ้างอิงจาก Qingdao East Power Industry Equipment Co., Ltd. [10]

<sup>3</sup> อ้างอิงราคาจาก สำนักงานที่ดินจังหวัดเชียงใหม่ [11]

<sup>4</sup> อ้างอิงราคาจากต้นแบบโรงไฟฟ้าระบบ Organic Rankine cycle มหาวิทยาลัยแม่โจ้ [8]

ตารางที่ 2 ค่าความร้อนและราคาเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด [2]

ชีวมวล	ค่าความร้อน (MJ/kg)	ราคา (Baht/ton)
แกลบ	14.75	1600
ซังข้าวโพด	11.30	1100
เศษไม้	10.37	1300

## 4. ผลการศึกษา

### 4.1 ผลการทดสอบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 20 kW<sub>e</sub>

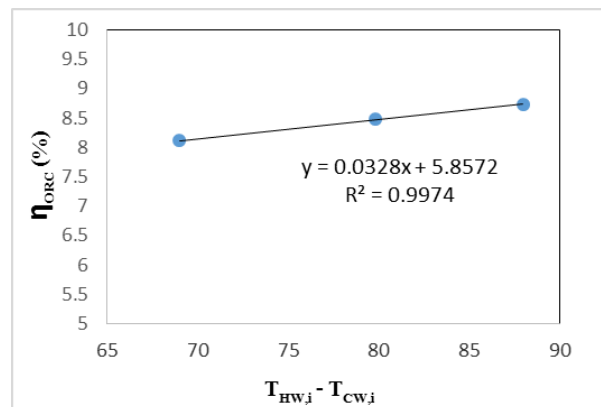
ผลการทดสอบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 20 kW<sub>e</sub> ที่ใช้สารทำงาน R-245fa โดยทำการทดสอบที่น้ำร้อนอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 90-120 °C และน้ำหล่อเย็น 28 °C ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า ประสิทธิภาพของวัฏจักรจะเปลี่ยนแปลงตามผลต่างของอุณหภูมิความร้อน (T<sub>HW,i</sub>) ที่เข้าสู่เครื่องระเหย และอุณหภูมิระบายความร้อน (T<sub>CW,i</sub>) ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยเมื่อนำผลต่างอุณหภูมิดังกล่าวมาพล็อตในแนวแกนนอน และนำประสิทธิภาพของระบบ ORC มาแสดงในแกนตั้ง จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ของผลต่างอุณหภูมิและประสิทธิภาพมีลักษณะเป็นเส้นตรง อนึ่งในงานวิจัยนี้จะเรียกสมการดังกล่าวว่า สมการสมรรถนะของระบบ ORC (The ORC performance curve) ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\eta_{ORC} = 0.0328(T_{HW,i} - T_{CW,i}) + 5.8572 \quad (6)$$

จากความสัมพันธ์ดังกล่าว พบว่า มีความสอดคล้องกับวัฏจักรคาร์โนร์ ที่กล่าวไว้ว่า เมื่อของไหลอุณหภูมิสูง (Heat source) เคลื่อนตัวมายังแหล่งความร้อนต่ำ (Heat sink) จะมีการผลิตงานเกิดขึ้น และเมื่อผลต่างอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดงานเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบระบบ ORC ขนาด 20 kW<sub>e</sub>

รายละเอียด	ข้อมูล			
อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องระเหย (T <sub>HW,i</sub> )	97	107.8	116	°C
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องควบแน่น (T <sub>CW,i</sub> )	28	28	28	°C
ความดันขาเข้าสกรูเอ็กซ์แพนเดอร์ (P <sub>High</sub> )	1,074	1,120	1,097	kPa
ความดันขาออกสกรูเอ็กซ์แพนเดอร์ (P <sub>Low</sub> )	227	227.4	227.4	kPa
กำลังไฟฟ้าของปั๊มสารทำงาน (W <sub>p</sub> )	1.19	1.19	1.78	kW <sub>e</sub>
กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำมัน (W <sub>OP</sub> )	1.4	1.4	1.4	kW <sub>e</sub>
ผลต่างอุณหภูมิความร้อนและน้ำหล่อเย็น (T <sub>HW,i</sub> - T <sub>CW,i</sub> )	69	79.8	88	°C
พลังงานที่ผลิตได้ (W <sub>Tur</sub> )	16.7	21.36	21.5	kW <sub>e</sub>
ประสิทธิภาพของระบบ (η <sub>ORC</sub> )	8.11	8.49	8.73	%



รูปที่ 5 สมการสมรรถนะของระบบ ORC

### 4.2 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าแสดงได้ดังตารางที่ 4 พบว่า ราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของแกลบ ซังข้าวโพดและเศษไม้ มีค่าประมาณ 9.46 Baht/kWh 8.89 Baht/kWh และ 10.33 Baht/kWh ตามลำดับ โดยเชื้อเพลิงที่มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่ำสุด คือ ซังข้าวโพด รองลงมา คือ แกลบ และเศษไม้มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งจากผลดังกล่าวพบว่าการลงทุนสร้างโรงไฟฟ้าระบบ ORC โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ไม่มี

ความคุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องด้วยปัจจุบันรัฐบาลมีการอุดหนุนการรับซื้อไฟฟ้าจากเอกชนแบบ Feed-in Tariff (FIT) อยู่ที่ 5.34 Baht/kWh

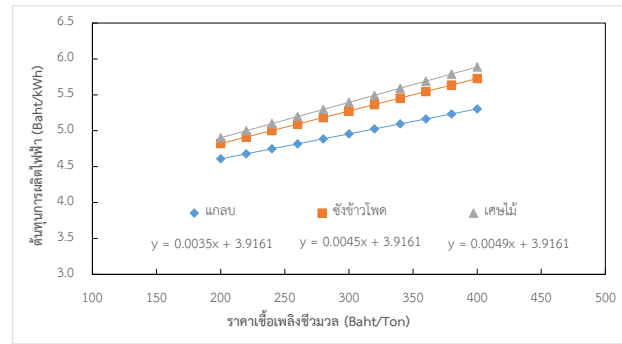
สาเหตุหลักที่ทำให้การผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน ส่วนหนึ่งมาจากราคาของระบบ ORC ขนาดเล็กที่น้อยกว่า 200 kW<sub>e</sub> มีราคาค่อนข้างสูง (ประมาณ 1,800 USD/kW<sub>e</sub> [8]) และเมื่อรวมค่าขนส่งและภาษีการนำเข้า (ประมาณ 50% ของราคาของระบบ ORC [8]) ทำให้ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน แต่หากขยายกำลังการผลิตให้มากขึ้นที่ขนาดมากกว่า 200 kW<sub>e</sub> จะทำให้ราคาของระบบ ORC มีค่าลดลง และมีแนวโน้มที่จะคุ้มค่าต่อการลงทุน ซึ่งงานวิจัยจะไม่นำเสนอผลกระทบของราคาของระบบ ORC ต่อต้นทุนการผลิตไฟฟ้า เนื่องจากปัจจุบันมีบริษัทผู้ผลิตระบบ ORC ค่อนข้างมาก การสืบค้นราคาต่อกำลังการผลิตไฟฟ้า จึงทำได้ยากตามไปด้วย

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

ข้อมูล	แกลบ	ซังข้าวโพด	เศษไม้
ระบบ ORC (kW <sub>e</sub> )	20	20	20
$\eta_{ORC}$ (%)	8	8	8
Q <sub>E</sub> (kW <sub>th</sub> )	250	250	250
$\eta_{Boiler}$ (%)	88	88	88
Q <sub>Biomass</sub> (kW <sub>th</sub> )	284	284	284
ค่าความร้อน (kJ/kg)	14,750	11,300	10,370
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (kg/h)	69.34	90.51	98.62
ชั่วโมงการทำงาน (h/y)	8000	8000	8000
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (ton/y)	555	724	789
ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา (Baht/y)	137,567	137,567	137,567
ค่าแรงงาน (Baht/y)	108,000	108,000	108,000
ค่าเชื้อเพลิงชีวมวล (Baht/y)	887,519	796,460	1,025,686
ปริมาณการผลิตไฟฟ้าต่อปี (kWh/y)	160,000	160,000	160,000
ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า (Baht/kWh)	9.46	8.89	10.33

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4 เมื่อทำการศึกษาราคาต้นทุนของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ที่ทำให้คุ้มค่าต่อการลงทุนของโครงการ โดยการเปลี่ยนแปลงราคาชีวมวล ดังแสดงในรูปที่ 7

จากรูปที่ 7 ราคาต้นทุนเชื้อเพลิงชีวมวลในพื้นที่ภาคเหนือ ที่เหมาะสมต่อการผลิตไฟฟ้าร่วมกับระบบ ORC ขนาด 20 kW<sub>e</sub> พบว่า ราคาที่เหมาะสมของแกลบ ซังข้าวโพด และเศษไม้ มีค่าเท่ากับ 1,150 Baht/Ton 680 Baht/Ton และ 540 Baht/Ton ตามลำดับ



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิตไฟฟ้ากับราคาเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด

## 5. สรุปผล

จากผลการศึกษารววิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากระบบ ORC ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 20 kW<sub>e</sub> โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นแหล่งพลังงาน สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- ประสิทธิภาพของระบบ ORC มีค่าประมาณ 8% ที่อุณหภูมิน้ำร้อนมากกว่า 90 °C และอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนประมาณ 28 °C
- ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลของแกลบ ซังข้าวโพด และเศษไม้ มีค่าประมาณ 9.46 Baht/kWh 8.89 Baht/kWh และ 10.33 Baht/kWh ตามลำดับ
- ต้นทุนราคาชีวมวลของแกลบ ซังข้าวโพด และเศษไม้ ที่เหมาะสมสำหรับค่าการรับซื้อไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลของประเทศไทยที่ 5.34 Baht/kWh อยู่ที่ 1,150 Baht/Ton 680 Baht/Ton และ 540 Baht/Ton ตามลำดับ

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ทุนอุดหนุนการศึกษา “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาาระดับบัณฑิตศึกษา”

## เอกสารอ้างอิง

- [1] พุฒิชชาติ คิดหาทอง, วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์ และอัจฉริยา สุริยะวงค์, “การศึกษาศักยภาพเชิงพื้นที่ของชีวมวลสำหรับผลิตไฟฟ้าของประเทศ ไทย”, วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, 2557.
- [2] กุลยศ อุดมวงศ์เสรี, “แนวทางการกำหนดโครงสร้างราคาซื้อขายไฟฟ้า แบบ Feed-in Tariff สำหรับกลุ่มพลังงานชีวภาพ” [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th/FIT/part2.pdf> (สืบค้นวันที่ 5 สิงหาคม 2558).
- [3] Rentizelas, A., Karellas, S., Kakaras, E. and Tataiopoulos, I., “Comparative techno-economic analysis of ORC and gasification for bioenergy applications,” Energy Conversion and Management, 50, pp. 674-681, 2009.
- [4] นโยบายการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในรูปแบบ Feed-in Tariff ที่มา [http://www.eppo.go.th/power/fit-seminar/Fit\\_2558.pdf](http://www.eppo.go.th/power/fit-seminar/Fit_2558.pdf) (สืบค้นวันที่ 5 สิงหาคม 2558).
- [5] จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, การศึกษาเชิง เศรษฐศาสตร์โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันที่ใช้สารอินทรีย์ที่ใช้กลายเป็นเชื้อเพลิง, การ ประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4, ลำปาง, 28-30 พฤศจิกายน 2554.
- [6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน “การศึกษาศักยภาพการผลิต ไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนในประเทศไทย” รายงานวิจัย กันยายน 2549.
- [7] ธนาคารกรุงไทย “อัตราดอกเบี้ยเงินให้สินเชื่อ” [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.ktb.co.th> (5 สิงหาคม 2558).
- [8] นัฐพร ไชยญาติ “ต้นแบบโรงไฟฟ้าระบบ Organic Rankine Cycle” [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา [http://www.researchgate.net/publication/279977792\\_Organic\\_Rankine\\_Cycle](http://www.researchgate.net/publication/279977792_Organic_Rankine_Cycle) (10 ตุลาคม 2558).
- [9] ธนาคารกรุงเทพ “อัตราแลกเปลี่ยนเงิน” [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.bangkokbank.com> (10 ตุลาคม 2558).
- [10] Qingdao East Power Industry Equipment Co., Ltd. “Class A industrial boilers; -Steam boiler, water boiler, thermal oil boiler” [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา [http://www.alibaba.com/product-detail/Fish-meal-used-Solid-fuel-fired\\_60147276154.html](http://www.alibaba.com/product-detail/Fish-meal-used-Solid-fuel-fired_60147276154.html) (10 ตุลาคม 2558).
- [11] สำนักงานที่ดินจังหวัดเชียงใหม่ “ราคาที่ดินจังหวัดเชียงใหม่” [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://property.treasury.go.th/pvmwebsite/> (10 ตุลาคม 2558).



อภิวัฒน์ ยิ้มประเสริฐ, วิทยาลัยพลังงาน  
ทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้  
สาขางานวิจัย: Organic Rankine Cycle,  
พลังงานทดแทน



ผศ.ดร.นัฐพร ไชยญาติ, วิทยาลัยพลังงาน  
ทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้  
สาขางานวิจัย: Organic Rankine Cycle,  
Thermal design, Combined cooling  
heating and power (CCHP)



อ.ดร.จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล, คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี  
ราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก  
สาขางานวิจัย: Organic Rankine Cycle,  
Thermal design, Solar energy