

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง Cost Analysis of Electricity Generation from Organic Rankine Cycle with Rice Husk as Fuel

จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล^{1*}, อนุรักษ์ เทเวศ¹, กัญญาพร ไชยวงศ์²,
ธรณิศวรรค์ ดีทายาท³ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตาก
ตำบลไม้งาม อำเภอมะนัง จังหวัดตาก โทร 0-5551-5900 ต่อ 279 โทรสาร 0-5551-5303

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี น่าน
ตำบลฝายแก้ว อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน โทร 0-5471-1601

³ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ตำบลสุเทพ อำเภอมะนัง จังหวัดเชียงใหม่ โทร 0-5394-4146 ต่อ 961, 431 โทรสาร 0-5394-4145

*E-mail: chakkraphan_t@hotmail.com

บทคัดย่อ

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาด้านต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงแกลบผ่านวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ กำลังการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 2.18 MW ชั่วโมงการทำงานและอายุของโรงไฟฟ้าเท่ากับ 8,000 ชั่วโมงต่อปี และ 25 ปี ตามลำดับ พิจารณาราคาแกลบในช่วง 400 ถึง 1,600 บาทต่อตัน อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ในช่วง 3 ถึง 8 เปอร์เซ็นต์ และราคาโรงไฟฟ้าในช่วง 200 ถึง 280 ล้านบาท นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis) ของราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อราคาแกลบ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ และราคาโรงไฟฟ้า และสุดท้ายเป็นการสร้างสมการความสัมพันธ์ของราคาแกลบ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ และราคาโรงไฟฟ้าเพื่อหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้า จากการประมวลผลพบว่า ต้นทุนการผลิตไฟฟ้ามีค่าลดลงเมื่อราคาแกลบ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ และราคาโรงไฟฟ้ามีค่าลดลง โดยที่ราคาแกลบในช่วง 400 ถึง 1,600 บาทต่อตัน ต้นทุนการผลิตไฟฟ้ามีค่า 2 ถึง 3.65 บาท/kWh_e (อ้างอิงที่อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 6.75 เปอร์เซ็นต์ และราคาโรงไฟฟ้า 240.672 ล้านบาท) สำหรับการวิเคราะห์ความไว พบว่า ราคาโรงไฟฟ้ามีความไวต่อต้นทุนการผลิตไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมาเป็นราคาแกลบ และอัตราดอกเบี้ยเงินกู้มีความไวที่น้อยที่สุด สุดท้ายเป็นการสร้างสมการความสัมพันธ์เพื่อหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้า พบว่า สมการดังกล่าวให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการประมวลผล

คำสำคัญ: วัฏจักรแรงดันอินทรีย์, ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า, แกลบ

1. บทนำ

แนวโน้มการใช้ไฟฟ้ารวมของโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จาก $13,290 \times 10^6$ MWh_e ในปี ค.ศ.2001 เป็น $16,358 \times 10^6$ MWh_e ในปี ค.ศ.2010 และยังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยถ้ายินเป็นเชื้อเพลิงหลักที่ใช้สำหรับผลิตไฟฟ้าประมาณ 39 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นก๊าซธรรมชาติประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ [1] ปัญหาที่ตามมาคือปัญหามลภาวะที่เกิดจากการปลดปล่อยก๊าซต่างๆ จากการผลิตไฟฟ้า ซึ่งได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีเทน (CH₄) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_x) โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก แนวทางในการลดการปลดปล่อยก๊าซต่างๆ สามารถกระทำได้โดยการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ แสดงตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ของโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ

| Technology | Capacity/configuration/fuel | Estimate (gCO ₂ /kWh _e) | Reference |
|---------------|--|--|-----------|
| Wind | 1.5 MW, onshore | 10 | [2] |
| Solar thermal | 80 MW, parabolic trough | 13 | [2] |
| Biomass | Forest wood steam turbine | 31 | [2] |
| Solar PV | Polycrystalline silicone | 32 | [3] |
| Natural gas | Various combined cycle turbines | 443 | [4] |
| Heavy oil | Various generator and turbine types | 778 | [4] |
| Coal | Various generator types with scrubbing | 960 | [4] |

ประเทศไทยนับเป็นประเทศเกษตรกรรมที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ประชาชนมากกว่าร้อยละ 50 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลพลอยได้ที่สำคัญนอกเหนือจากผลผลิตการเกษตรก็คือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย กาก ใบ และทะลายปาล์ม เป็นต้น เหตุผลดังกล่าวทำให้ประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานชีวมวลที่ค่อนข้างสูง เบญจมาศ และคณะ [5] ศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล 5 ชนิด ได้แก่ เศษไม้ แกลบ เหว้งมันสำปะหลัง กากอ้อย และกะลาปาล์ม พบว่า ในปี พ.ศ.2547 ปริมาณชีวมวลทั้ง 5 ชนิด เพียงพอที่จะสามารถนำไปใช้ผลิตไฟฟ้าได้ถึง 1,999.42 เมกะวัตต์ และการพยากรณ์ปริมาณชีวมวลในปี พ.ศ.2554 มีปริมาณมากถึง 2,938.47 MW วิชากร และคณะ [6] ศึกษาศักยภาพของการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก ภายใต้สมมติฐานของการจัดตั้งโรงไฟฟ้าขนาดเล็กภายในพื้นที่ของโรงสีเอง พบว่า สามารถตั้ง

โรงไฟฟ้าขนาดเล็ก (1.5 MW ขึ้นไป) ได้ในจังหวัดที่มีศักยภาพปานกลาง จำนวน 10 จังหวัด และสามารถตั้งโรงไฟฟ้าขนาดปานกลาง (3 ถึง 5 MW) ได้ในพื้นที่จังหวัดที่มีศักยภาพสูง จำนวน 16 จังหวัด เกษม เทพหนู [7] ศึกษาการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการนำถ่านจากโรงไฟฟ้าชีวมวลไปใช้ประโยชน์ พบว่า ถ่านสามารถส่งไปขายต่างประเทศราคาตันละ 8,060 บาท ซึ่งเมื่อหักค่าดำเนินการทั้งหมดจะได้กำไรสุทธิตันละ 1,245.57 บาท

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle, ORC) เป็นวัฏจักรที่คล้ายคลึงกับวัฏจักรแรงคิน โดยมีความแตกต่างกันที่ของไหลทำงาน ซึ่งวัฏจักรแรงคินใช้น้ำ แต่สำหรับ ORC จะใช้ของไหลทำงานที่มีจุดเดือดต่ำ เช่น สารอินทรีย์ (Organic) ซึ่งสามารถเปลี่ยนสถานะเป็นไอ อิ่มตัวหรือไอระเหยได้เมื่อได้รับความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนคุณภาพต่ำ เช่น ความร้อนทิ้ง (Waste heat) จากโรงงานอุตสาหกรรม ความร้อนใต้พิภพ ความร้อนจากแสงอาทิตย์ ความร้อนจากชีวมวล เป็นต้น สำหรับ ORC มีข้อดีอยู่หลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับวัฏจักรแรงคิน เช่น วัฏจักรมีความปลอดภัยสูงกว่า เนื่องจากวัฏจักรทำงานที่ความดันและอุณหภูมิต่ำ ไม่เกิดการกัดกร่อนของไบพาสกิ้งตัน ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำกว่า อายุการใช้งานของอุปกรณ์ในวัฏจักรสูงกว่า เป็นต้น

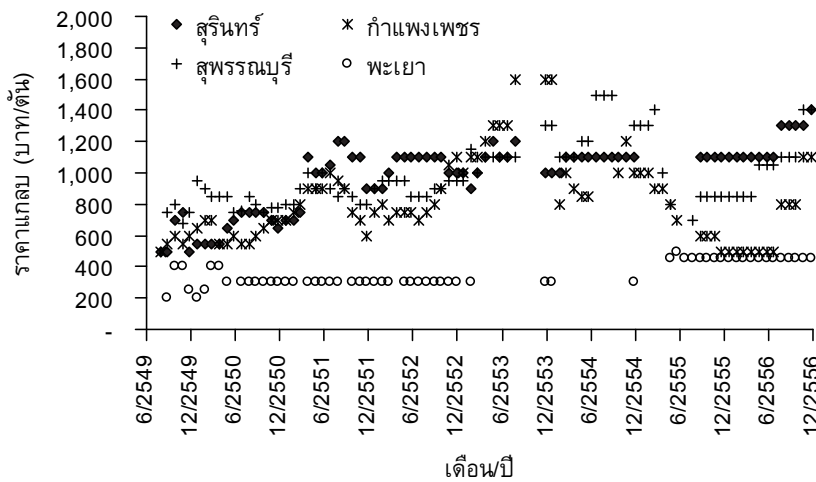
สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าผ่านวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของราคาถ่าน อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ และราคาโรงไฟฟ้า ต่อต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า และการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนผลิตไฟฟ้า

2. ทฤษฎี

2.1 สมบัติและราคาถ่าน ถ่านเป็นเปลือกข้าวที่เหลือจากการสีข้าว มีรูปร่างเล็กยาวไม่เกิน 5 มิลลิเมตร และหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร โดยสมบัติทางเคมีของถ่านแสดงดังตารางที่ 2 ถ่านเป็นเชื้อเพลิงที่ดีเนื่องจากมีความชื้นต่ำและมีขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบของธาตุไนโตรเจนและซัลเฟอร์ต่ำ ส่งผลให้เมื่อเผาไหม้จะเกิดมลพิษจาก NO_x และ SO_x ค่อนข้างต่ำ ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเหมือนกับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล สำหรับราคาถ่านที่จังหวัดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 1 พบว่า แนวโน้มของราคามีค่าค่อนข้างผันผวน

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีของถ่าน [8]

| Moisture (%) | Ash (%) | High heating value, HHV (kJ/kg) | Lower heating value, LHV (kJ/kg) |
|--------------|---------|---------------------------------|----------------------------------|
| 12.00 | 12.65 | 14,755 | 13,517 |



รูปที่ 1 ราคาถ่าน [9]

2.2 วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle, ORC) ในปัจจุบัน ORC ได้ถูกผลิตเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ซึ่งแบ่งแยกตามลักษณะแหล่งพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทให้กับ ORC เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานจากความร้อนใต้พิภพ พลังงานจากชีวมวล เป็นต้น สำหรับ ORC ที่ผลิตมาเพื่อรับพลังงานความร้อนจากชีวมวล แสดงดังรูปที่ 7 สำหรับในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ข้อมูลเทคนิคของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์พลังงานชีวมวล ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 2.18 MW ดังตารางที่ 5

2.3 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า การคำนวณต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าแสดงในรูปของค่า Levelized Electricity Cost (LEC) สามารถคำนวณตามสมการ

$$LEC = \frac{crf \cdot C_{Invest} + \dot{C}_{o\&m} - c_{Ash}}{E_{Net}} \quad (1)$$

เมื่อ

$$crf = \frac{i_d(1+i_d)^n}{(1+i_d)^n - 1} + k_{Insurance} \quad (2)$$

- เมื่อ LEC คือ Levelized Electricity Cost (Baht/kWh_e)
 C_{Invest} คือ Total investment of the plant (Baht)
 $\dot{C}_{o\&m}$ คือ Operating and maintenance cost (Baht/year)
 c_{Ash} คือ Cost of rice husk ash (Baht/kWh_e)
 E_{Net} คือ Annual net electricity (kWh_e)
 i_d คือ Real debt interest rate
 $k_{Insurance}$ คือ Annual insurance rate
 n คือ Depreciation period in years (year)

สำหรับเงื่อนไขและค่าต่างๆ ในการคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เงื่อนไขและค่าต่างๆ สำหรับการคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

| | |
|---|---------------------|
| Investment cost, C_{Invest} (110,400 Baht/kW _e) [10] | 240,672,000 Baht |
| Operating & maintenance (o&m) cost, $\dot{C}_{o\&m}$ (3.5% of investment cost) [10] | 8,423,520 Baht/year |
| Financial parameters | |
| - Annual insurance rate, $k_{Insurance}$ [11] | 0.6 %/year |
| - Real dept interest rate, i_d [12] | 6.75 % |
| - Depreciation period, n | 25 years |

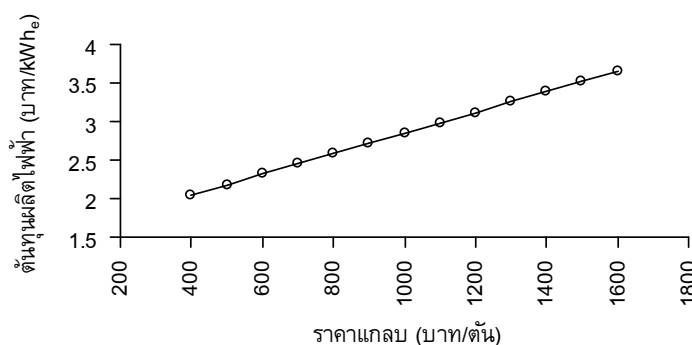
3. ผลการศึกษา

3.1 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

การคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากแกลบโดยใช้วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ กำลังการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 2.18 MW ชั่วโมงการทำงานของโรงไฟฟ้า 8,000 ชั่วโมงต่อปี พิจารณาราคาต้นทุนแกลบระหว่าง 400 ถึง 1,600 บาทต่อตัน ซึ่งจากการคำนวณไฟฟ้าที่ผลิตได้ ปริมาณแกลบที่ใช้ และปริมาณแกลบที่ได้จากการเผาไหม้ แสดงดังตารางที่ 4 สำหรับต้นทุนผลิตไฟฟ้า โดยคำนวณจากสมการที่ 1 แสดงดังรูปที่ 2 พบว่า ต้นทุนผลิตไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่เมื่อราคาแกลบเพิ่มขึ้น โดยต้นทุนไฟฟ้าอยู่ในช่วง 2 ถึง 3.65 บาท/kWh_e

ตารางที่ 4 ไฟฟ้าที่ผลิตได้ ปริมาณแกลบที่ใช้ และปริมาณแกลบที่ได้จากการเผาไหม้

| | |
|--|-----------|
| ไฟฟ้าที่ผลิตได้ (MWh _e /year) | 17,440 |
| ปริมาณแกลบที่ใช้ (ton/year) | 23,327.64 |
| ปริมาณแกลบที่ได้จากการเผาไหม้ (ton/year) | 2,950.95 |

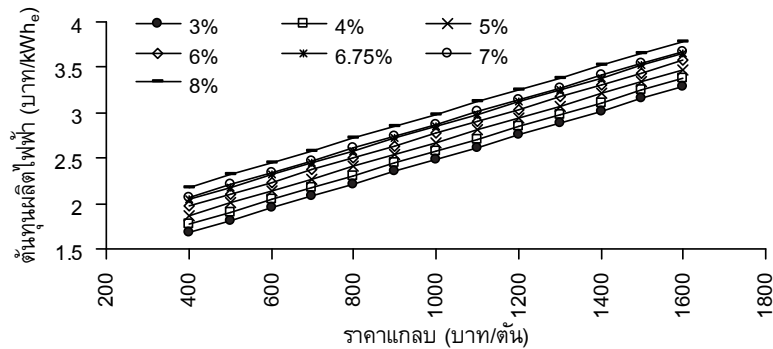


รูปที่ 2 ต้นทุนผลิตไฟฟ้าที่ราคาแกลบต่างๆ ที่อัตราดอกเบี้ยเงินกู้, i_d เท่ากับ 6.75 เปอร์เซ็นต์

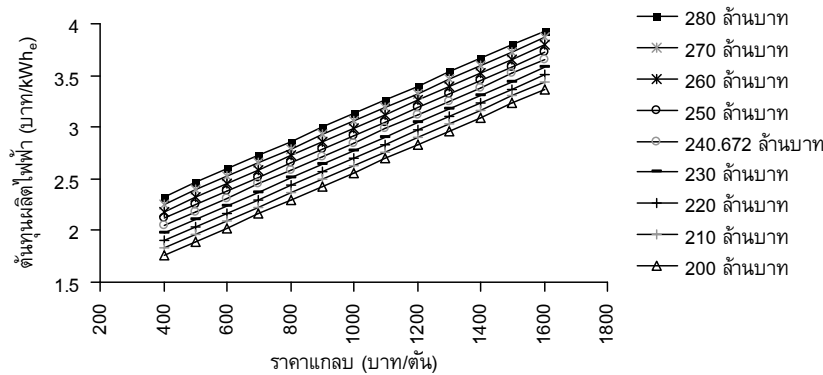
และราคาโรงไฟฟ้า, C_{Invest} เท่ากับ 240.672 ล้านบาท

เมื่อพิจารณาผลของอัตราดอกเบี้ยเงินกู้และผลของราคาโรงไฟฟ้าต่อต้นทุนผลิตไฟฟ้าที่ราคาแกลบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3 และ 4 พบว่า ต้นทุนผลิตไฟฟ้ามีค่าลดลงเมื่ออัตราดอกเบี้ยเงินกู้และราคาโรงไฟฟ้ามีค่าลดลง เมื่อวิเคราะห์ไว (Sensitivity analysis) ของราคาแกลบ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้

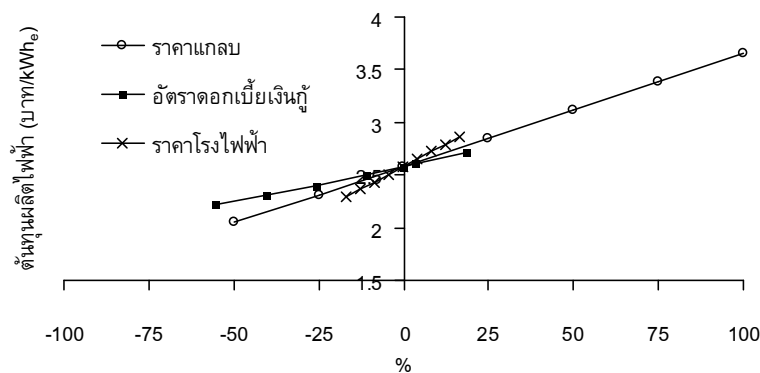
และราคาโรงไฟฟ้าต่อต้นทุนผลิตไฟฟ้า สามารถแสดงดังรูปที่ 5 พบว่า ต้นทุนผลิตไฟฟ้ามีความไวต่อราคาโรงไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมาเป็นราคาแลกเปลี่ยนและสุดท้ายเป็นอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ ดังนั้นถ้ายิ่งราคาโรงไฟฟ้าต่ำลงจะทำให้โครงการมีความน่าสนใจในเชิงเศรษฐศาสตร์มากยิ่งขึ้น



รูปที่ 3 ผลของอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ต่อต้นทุนผลิตไฟฟ้าที่ราคาแลกเปลี่ยนค่าต่างๆ ที่ราคาโรงไฟฟ้าเท่ากับ 240.672 ล้านบาท



รูปที่ 4 ผลของราคาโรงไฟฟ้าต่อต้นทุนผลิตไฟฟ้าที่ราคาแลกเปลี่ยนค่าต่างๆ ที่อัตราดอกเบี้ยเงินกู้เท่ากับ 6.75 เปอร์เซ็นต์



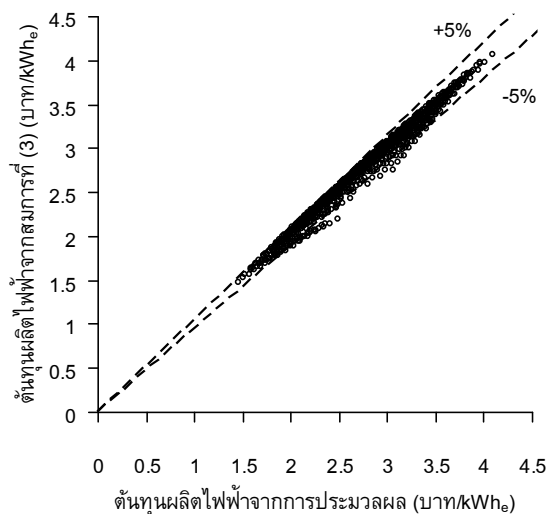
รูปที่ 5 การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis) ของต้นทุนผลิตไฟฟ้า ที่ราคาแลกเปลี่ยน อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ และราคาโรงไฟฟ้าค่าต่างๆ (อ้างอิงที่ราคาแลกเปลี่ยน, $C_{Rice Husk}$ เท่ากับ 800 บาทต่อตัน อัตราดอกเบี้ยเงินกู้, i_d เท่ากับ 6.75 เปอร์เซ็นต์ และราคาโรงไฟฟ้า, C_{Invest} เท่ากับ 240.672 ล้านบาท)

เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดจากรูปที่ 3 และ 4 มาสร้างเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างราคาแลกเปลี่ยน อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ และราคาโรงไฟฟ้าต่อต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า แสดงได้ดังสมการที่ (3)

$$LEC = 0.0033483C_{Rice\ Husk}^{0.44657} i_d^{0.19148} C_{Invest}^{0.60536} \quad (3)$$

เมื่อ $400 \leq C_{Rice\ Husk} \leq 1600$ บาทต่อตัน, $3 \leq i_d \leq 8$ เปอร์เซ็นต์, $200 \leq C_{Invest} \leq 280$ ล้านบาท

เมื่อพล็อตความเท่าเทียมกัน (Parity plot) เปรียบเทียบต้นทุนผลิตไฟฟ้าจากการประมวลผลกับสมการที่ (3) แสดงดังรูปที่ 6 พบว่า 94.26 เปอร์เซ็นต์ของค่าต้นทุนผลิตไฟฟ้าที่คำนวณได้จากสมการที่ (3) อยู่ใน ± 5 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6 พล็อตความเท่าเทียมกัน (Parity plot) เปรียบเทียบต้นทุนผลิตไฟฟ้าที่ได้จากการประมวลผลกับสมการที่ (3)

4. สรุปผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า พบว่า ต้นทุนมีค่าลดลงเมื่อราคาแกลบ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ และราคาโรงไฟฟ้ามีค่าลดลง โดยที่อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 6.75 เปอร์เซ็นต์ ราคาโรงไฟฟ้า 240.672 ล้านบาท และราคาแกลบ 400 ถึง 1,600 บาทต่อตัน จะมีต้นทุนผลิตไฟฟ้า 2 ถึง 3.65 บาท/kWh_e เมื่อพิจารณาความไวต่อต้นทุนการผลิตไฟฟ้า พบว่า ราคาโรงไฟฟ้าและอัตราดอกเบี้ยมีความไวต่อต้นทุนมากที่สุดและน้อยที่สุดตามลำดับ สำหรับการสร้างสมการความสัมพันธ์ของราคาแกลบ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ ราคาโรงไฟฟ้า และต้นทุนการผลิตไฟฟ้า พบว่า สมการดังกล่าวสามารถคำนวณค่าต้นทุนได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการประมวลผล

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ขอขอบคุณหน่วยวิจัยระบบทางอุณหภาพ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับทุนวิจัยและสถานที่วิจัยให้กับงานวิจัยนี้

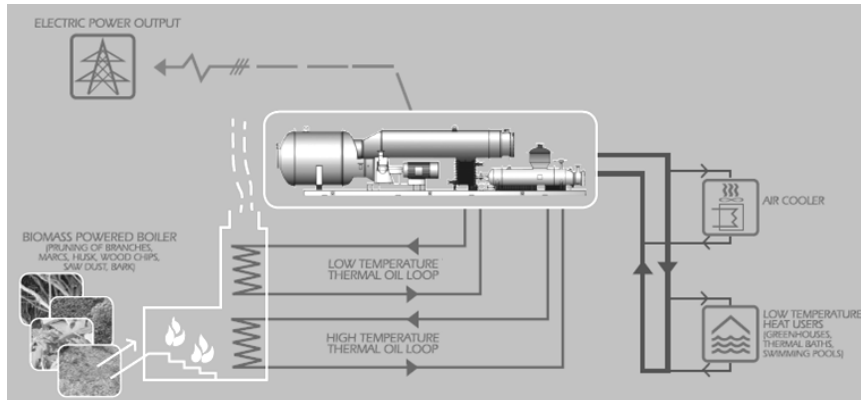
6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Energy Information Administration, "International Energy Outlook 2004," DOE/EIA-0484, 2004.
- [2] Pehtnt, M., "Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies," Renewable Energy, 31, pp. 55-71, 2006.
- [3] Fthenakis, V.M., Kim, H.C. and Alsema, M., "Emissions from photovoltaic life cycles," Environmental Science and Technology, 42, pp. 2168-2174, 2008.
- [4] Gagnon, L., Belanger, C. and Uchiyama, Y., "Life-cycle assessment of electricity generation options: The status of research in year 2001," Energy Policy, 30, pp. 1267-1278, 2002.
- [5] บุญจมาศ ปุยอ้อก วิชากร จารุศิริ และจินตนา อุบลวัฒน์ "การศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร" การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, โรงแรมใบหยกสกาย, กรุงเทพมหานคร, 23-25 พฤษภาคม 2550
- [6] วิชากร จารุศิริ บุญจมาศ ปุยอ้อก และพัชรี ชัมเจริญ "ศักยภาพของการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก" วารสารพลังงาน ปีที่ 3/2546
- [7] เกษม เทพหนู "การศึกษาการใช้ประโยชน์จากแกลบของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก" ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2549
- [8] Energy for Environment Foundation, "Biomass," Bangkok, Q print management, ISBN: 974-94991-0-7, 2008.
- [9] มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม "ราคาชีวมวล" [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.efe.or.th> (30 เมษายน 2557)
- [10] 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.

- [11] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน “การศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนในประเทศไทย” รายงานวิจัย กันยายน 2549
- [12] ธนาคารกรุงเทพ “อัตราดอกเบี้ยเงินให้สินเชื่อ” [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.bangkokbank.com> (30 เมษายน 2557)
- [13] Turboden, “HRS units for electricity generation and cogeneration from biomass” [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา http://www.turboden.eu/en/public/downloads/10Z00650_e.pdf (16 กรกฎาคม 2554)

7. ภาคผนวก



รูปที่ 7 โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ที่ผลิตเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ [13]

ตารางที่ 5 ข้อมูลโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์พลังงานชีวมวล [13]

| Input – thermal oil | |
|---|---------|
| Nominal temperature "HT" loop (in/out) (°C) | 300/214 |
| Thermal power input "HT" loop (kW) | 8850 |
| Nominal temperature "LT" loop (in/put) (°C) | 214/130 |
| Thermal power input "LT" loop (kW) | 784 |
| Output – hot water | |
| Hot water temperature (in/put) (°C) | 24/37 |
| Thermal power to the cooling water (kW) | 7212 |
| Performances | |
| Net active electric power (kW) | 2180 |
| Net electric efficiency (%) | 22.6 |
| Biomass consumption* (kg/h) | 4211 |

*Assuming a lower heating value (LHV) of biomass = 2.6 kWh/kg and boiler efficiency = 0.88