

ENETT12-RE-118

การศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าโดยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์  
กรณีศึกษา กิจการของน้ำพุร้อนสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่  
Study of Potential Electricity Generation by Organic Rankine Cycle  
Case Study of Sankampaeng Hot Springs, Chiangmai Province

อดิศักดิ์ คงคำ<sup>1,\*</sup> และนัฐพร ไชยญาติ<sup>1</sup><sup>1</sup>วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

\*E-mail: toungta@hotmail.com

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ศึกษาการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าโดยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน ตามพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการสำรวจและเก็บข้อมูลทางกายภาพของแหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพง เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้า และผลทางด้านเศรษฐศาสตร์จากค่าต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้า โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลจากการศึกษาพบว่า ภายในกิจการของน้ำพุร้อนสันกำแพง มีหลุมเจ้าน้ำพุร้อนทั้งหมด 4 หลุม แต่มีเพียง 2 หลุม ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าได้ คือ หลุมเจ้าน้ำพุร้อนที่ 1 มีอุณหภูมิน้ำพุร้อนผิวดินประมาณ 105 °C ที่อัตราการไหลประมาณ 20 L/s ในขณะที่หลุมเจ้าน้ำพุร้อนที่ 2 ประมาณ 95 °C และ 0.5 L/s ตามลำดับ และจากผลการคำนวณ พบว่า หลุมเจ้าน้ำพุร้อนที่ 1 และ 2 มีศักยภาพการผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 143 และ 2.55 kW<sub>e</sub> ตามลำดับ และค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของหลุมเจ้าน้ำพุร้อนที่ 1 และ 2 มีค่าประมาณ 1.48 และ 18.30 Baht/kWh ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุหลักที่ทำให้หลุมเจ้าน้ำพุร้อนที่ 1 มีความคุ้มค่ามากกว่าหลุมเจ้าน้ำพุร้อนที่ 2 คือ หลุมเจ้าน้ำพุร้อนที่ 1 ใช้ประโยชน์ในการอาบน้ำแร่ที่อุณหภูมิประมาณ 40 °C ดังนั้นสามารถนำมาผลิตไฟฟ้าได้ตลอด 24 h ในขณะที่หลุมเจ้าน้ำพุร้อนที่ 2 ใช้ประโยชน์ในการท่องเที่ยว คือ ปล่อยทิ้งเพื่อการนันทนาการ ดังนั้นจึงสามารถนำมาผลิตไฟฟ้าได้เพียง 12 h/d รวมทั้งมีศักยภาพทางความร้อนค่อนข้างน้อยอีกด้วย

**คำหลัก:** วัฏจักรแรงดันอินทรีย์, น้ำพุร้อน, ศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า, ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย

**Abstract**

This research studies the potential electricity generating by an Organic Rankine Cycle (ORC) of Sankampaeng hot springs, Mae On District, Chiang Mai Province. The physical properties of each hot springs hole are surveyed for using with a mathematical simulation model of the ORC system. The energy potential and the economic result in term of a levelized electricity cost (LEC) have been considered. From the study results, it could be seen that 4 hot spring holes were found in Sankampaeng hot springs, but only 2 hot spring holes have the energy potential to produce electricity. For the first hole, hot spring temperature and volume flow rate are around 105 °C and 20 L/s, respectively, while the second hole are around 95 °C and 0.5 L/s, respectively. From the simulation results, it could be found that the electrical power from the ORC system at around 143 and 2.55 kW<sub>e</sub> could be installed with the holes number 1 and 2, respectively. In the economic results, the LEC of the holes number 1 and 2 are around 1.48 and 18.30 Baht/kWh, respectively. For the main advantage of the hole number 1, hot spring is used in the bath room at temperature around 40 °C, thus the ORC system could be operated at 24 h/d. While, the hole number 2 is used for tourism and entertainment, thus the ORC system could be generated power only 12 h/d.

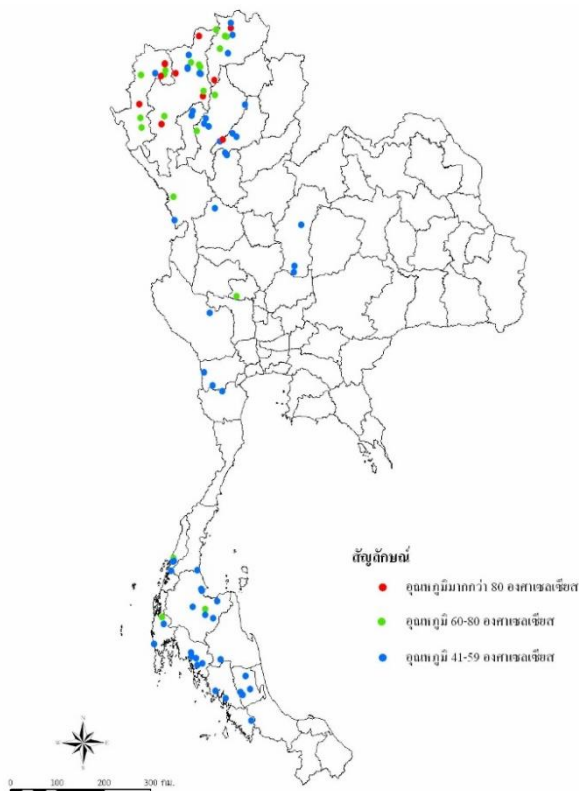
**Keywords:** Organic Rankine Cycle, Hot spring, Potential electricity generating, Levelized electricity cost.



## 1. บทนำ

การบริโภคพลังงานในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากซึ่งเมื่อเทียบกับแต่ละปีที่ผ่านมา ทำให้โลกเกิดวิกฤตการณ์พลังงานต่างๆ และเนื่องจากราคาพลังงานสูงขึ้นทำให้ประเทศไทยต้องเสียเงินตราเป็นจำนวนหลายแสนล้านบาทต่อปีในการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ กระทรวงพลังงานจึงมีแผนการพัฒนาพลังงานทดแทน ที่ส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนเพื่อทดแทนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลในปัจจุบัน ซึ่งได้มีการส่งเสริมในภาคส่วนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนคือ พลังงานชีวมวล พลังงานขยะ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนใต้พิภพ การใช้เทคโนโลยีในการผลิตไฟฟ้าจึงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการผลิตไฟฟ้า [1]

จากรูปที่ 1 พบว่า ประเทศไทยมีแหล่งน้ำพุร้อนทั้งสิ้น 112 แห่ง ซึ่งส่วนใหญ่จะพบในภาคเหนือของประเทศไทย [2] ศักยภาพของน้ำพุร้อนในประเทศไทยถูกจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ศักยภาพสูง ปานกลาง และต่ำ สำหรับน้ำพุร้อนศักยภาพสูง มีอุณหภูมิน้ำผิวดินสูงกว่า 80 °C น้ำพุร้อนศักยภาพปานกลางและต่ำ มีอุณหภูมิน้ำผิวดินระหว่าง 60-80 °C และต่ำกว่า 60 °C ตามลำดับ [3] แหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพงเป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพที่มีศักยภาพสูง โดยมีอุณหภูมิสูงถึง 88.5 °C [4]



รูปที่ 1 แหล่งน้ำพุร้อน 112 แห่งในประเทศไทย [2]

ในปัจจุบันแหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพง ใช้ในการดำเนินกิจการการท่องเที่ยวเป็นหลัก และยังไม่ได้มีการนำแหล่งน้ำพุร้อนดังกล่าว มาใช้ทำการผลิตไฟฟ้าแต่อย่างใด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาศักยภาพในการนำแหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพง มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle; ORC) เพื่อตอบรับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan; AEDP2015) ที่ต้องการส่งเสริมและสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในอนาคต [5] และเพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์จากน้ำพุร้อนอย่างยั่งยืน รวมถึงการลดต้นทุนต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า (Levelized Electricity Cost; LEC) ซึ่งในปัจจุบันการนำพลังงานความร้อนใต้พิภพมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้านั้น มีเพียงแห่งเดียวในประเทศไทย คือที่แหล่งน้ำพุร้อนฝาง แต่เทคโนโลยีดังกล่าวเป็นเทคโนโลยีเก่า ซึ่งใช้กังหันไอน้ำ (Turbine) ในการขับเคลื่อนเพลลาที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ซึ่งเทคโนโลยีในปัจจุบันมีการพัฒนาทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เครื่องอัดไอ (Compressor) ทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จึงทำให้มีขนาดกำลังการผลิตที่เล็กลงตาม และสามารถนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งน้ำพุร้อนที่มีขนาดเล็ก อย่างเช่น แหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพง เป็นต้น

จากงานวิจัยต่างๆ [6,7,8,9,10] พบว่า วัฏจักรแรงดันอินทรีย์นั้นสามารถนำมาผลิตไฟฟ้าได้หลายรูปแบบ แต่ยังไม่ได้มีการศึกษาเชิงลึก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่มุ่งศึกษาการนำแหล่งน้ำพุร้อนของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน ตามพระราชดำริ มาผลิตเป็นไฟฟ้าที่ไม่กระทบต่อการดำเนินกิจการด้านการท่องเที่ยว



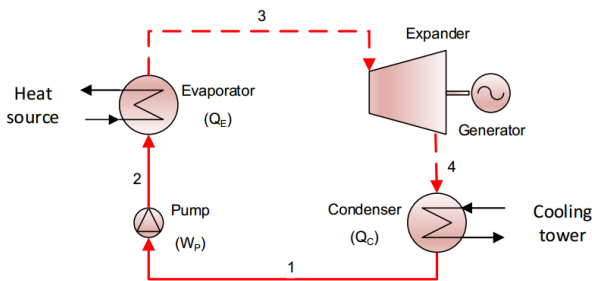
รูปที่ 2 แหล่งน้ำพุร้อนของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน ตามพระราชดำริ

## 2. ทฤษฎี

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยประกอบไปด้วย 4 ทฤษฎี คือ วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ การเลือกสารทำงาน และการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ โดยรายละเอียดของหัวข้อต่างๆ ดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

### 2.1 วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle; ORC) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำและใช้สารทำงานอินทรีย์ที่มีจุดเดือดต่ำ ซึ่งวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ มีหลักการการทำงานของระบบเช่นเดียวกับวัฏจักรแรงคินที่ใช้ไอน้ำ วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 5 อุปกรณ์ คือ เครื่องระเหย (Evaporator) เครื่องควบแน่น (Condenser) เครื่องขยายตัว (Expander) ปั๊ม (Pump) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งพิจารณาเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ภายใต้กระบวนการสภาวะคงตัว-การไหลคงตัว (Steady State Steady Flow; SSSF) หลักการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เริ่มจากสารทำงานสถานะของเหลวอิ่มตัวถูกปั๊มไปปรับความร้อนที่เครื่องระเหย ทำให้สารทำงานเดือดระเหยกลายเป็นไอความดันสูงผ่านเข้าสู่เครื่องขยายตัว ที่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้า หลังจากนั้นสารทำงานที่อยู่ในสถานะไอจะมีความดันต่ำลงและไปควบแน่นที่เครื่องควบแน่น



รูปที่ 3 แสดงวัฏจักรแรงคินและอุปกรณ์หลัก [10]

จากรูปที่ 3 สมการทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ มีดังต่อไปนี้

เครื่องระเหย (กระบวนการ 2-3) ไม่มีงาน  $w = 0$  แสดงดังสมการที่ 1

$$Q_E = \dot{m}_{ref}(h_3 - h_2) \quad (1)$$

สกรูเอ็กซ์แพนเดอร์ (กระบวนการที่ 3-4) ไม่มีความร้อน  $Q = 0$  แสดงดังสมการที่ 2

$$W_{Tur} = \dot{m}_{ref}(h_3 - h_4) \quad (2)$$

เครื่องควบแน่น (กระบวนการ 4-1) ไม่มีงาน  $W = 0$  และคิด  $Q_c$  มีเครื่องหมายบวก แสดงดังสมการที่ 3

$$Q_C = \dot{m}_{ref}(h_4 - h_1) \quad (3)$$

ปั๊ม (กระบวนการ 1-2) ไม่มีความร้อน  $Q = 0$  และคิด  $W_P$  มีเครื่องหมายบวก แสดงดังสมการที่ 4

$$W_P = \dot{m}_{ref}(h_2 - h_1) \quad (4)$$

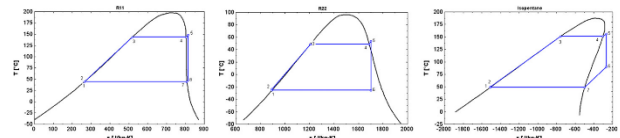
ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ แสดงดังสมการที่ 5

$$\eta_{ORC} = W_{Tur} / (Q_E + W_P) \quad (5)$$

### 2.2. การเลือกสารทำงาน

การเลือกสารทำงานที่ใช้ในการปฏิบัติส่วนมาก ซึ่งได้ทำการตีพิมพ์วารสารทางวิทยาศาสตร์ ในการศึกษาส่วนใหญ่จะนำเสนอการเปรียบเทียบระหว่างชุดของสารทำงาน โดยเลือกสารทำงานที่ให้ในแง่ของประสิทธิภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์ และรูปแบบวัฏจักรทางเทอร์โมไดนามิกส์ โดยเลือกสารทำงานที่เหมาะสมที่สุด ตามหลักเกณฑ์และตัวชี้วัดที่จะนำมาพิจารณา เช่น จุดวิกฤต แฟกเตอร์เยื้องศูนย์ ความร้อนจำเพาะ ความหนาแน่น และอื่นๆ

เส้นไออิมิตของน้ำเป็นแบบ Isentropic ส่วนเส้นไออิมิตตัวลบ (สารทำงาน “Wet”) นำไปสู่การกลั่นตัวในขั้นตอนต่อมาหลังการขยายตัว ดังนั้นไอจึงต้องยิ่งยวด (Superheating) ก่อนที่เข้าสู่กังหันเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายของกังหัน ในกรณีที่มีเส้นโค้งไออิมิตตัวบวก (สารทำงาน “Dry”) ซึ่งเป็นการนำความร้อนกลับ (Recuperator) สามารถนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวัฏจักร ดังแสดงในรูปที่ 4 สำหรับ Isopentane, R11 และ R12



รูปที่ 4 สารทำงาน Isentropic, Wet และ Dry [11]

### 2.3 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ [12]

ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ มีจุดประสงค์เพื่อต้องการหาว่างานวิจัยที่ทำการวิจัยนี้มีความเหมาะสมและคุ้มค่าต่อการลงทุนด้านการเงินมากน้อยเพียงใด โดยทั่วไปเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ คือ ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period; PB) โดยการพิจารณามูลค่าการลงทุนเบื้องต้นทั้งหมด เปรียบเทียบกับมูลค่าผลตอบแทนที่ได้จากการลงทุนต่อปี โดยสมการสำหรับหาระยะเวลาคืนทุนสามารถแสดงดังสมการที่ 6 และสมการที่ 7

$$PB = Z / B \quad (6)$$

$$B = LEC \times W_{ORC,net} \times t_{OP} - PEC \quad (7)$$

เมื่อ  $Z$  ค่าใช้จ่ายการลงทุนของโครงการ ORC (Baht)

$B$  มูลค่าผลตอบแทนต่อปี (Baht/year)

LEC ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/kWh)  
W<sub>ORC,net</sub> ปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าสุทธิของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (kW<sub>e</sub>)  
t<sub>OP</sub> เวลาการทำงานต่อปี (hour/year)  
PEC ค่าใช้จ่ายการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (Production Electricity Cost, Baht/year)

### 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. สำรวจและเก็บข้อมูลทางกายภาพของแหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพง
2. นำผลข้อมูลของน้ำพุร้อนแต่ละหลุม มาวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพพลังงานไฟฟ้าโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกับกิจการทางการท่องเที่ยว
3. ประเมินสมรรถนะทางด้านเศรษฐศาสตร์ ค่าต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้า (LEC) ในการนำน้ำพุร้อนมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า

### 4. ผลและการอภิปรายผล

#### 4.1 ข้อมูลทางกายภาพแหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพง

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลทางกายภาพของแหล่งน้ำพุร้อน ภายในกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน ตามพระราชดำริ พบว่า มีหลุมเจ้าน้ำพุร้อนอยู่ทั้งหมด 4 หลุม ดังแสดงในรูปที่ 5



จากการสำรวจหลุมเจ้าน้ำพุร้อนทั้ง 4 หลุม พบว่า มีการใช้ในกิจการท่องเที่ยวเพียง 2 หลุม คือ หลุมเจ้าน้ำพุร้อนที่ 1 และ 2 โดยหลุมเจ้าน้ำพุร้อนที่ 1 เป็นหลุมเจ้าน้ำพุร้อนหลักที่ใช้

ในกิจการท่องเที่ยว เนื่องจากมีอุณหภูมิสูงและปริมาณน้ำที่มาก ส่วนหลุมเจ้าน้ำพุร้อนที่ 2 จะเปิดใช้สลับกับหลุมเจ้าน้ำพุร้อนที่ 1 ในการเติมน้ำร้อนให้แก่บ่อต้มไข่ และหลุมเจ้าน้ำพุร้อนที่ 3 และ 4 ทำการปิดวาล์วท่อไว้ เนื่องจากหลุมเจ้าน้ำพุร้อนที่ 3 มีปริมาณน้ำน้อย จึงเปิดให้ชาวบ้านทำการต้มหน่อไม้ตามฤดูกาลเท่านั้น และหลุมเจ้าน้ำพุร้อนที่ 4 หากทำการเปิดใช้งานจะทำให้หลุมเจ้าน้ำพุร้อนของกิจการข้างเคียงมีปริมาณน้ำไหลออกน้อย ข้อมูลทางกายภาพและการใช้ประโยชน์ของหลุมเจ้าน้ำพุร้อนทั้ง 4 หลุม ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางกายภาพของแหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพง

หลุมเจ้าน้ำพุร้อน	1	2	3	4
ข้อมูลทางกายภาพ				
ขนาดท่อหลุมเจ้าน้ำพุร้อน (Inch)	6	4	3	6
ความลึกหลุมเจ้าน้ำพุร้อน (m)	283	60	-	-
อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน (°C)	105	95	-	-
อัตราการไหล (L/s)	20	0.5	-	-
การใช้ประโยชน์				
อุณหภูมิน้ำร้อนที่บ่อต้มไข่ (°C)	105	95	-	-
อุณหภูมิน้ำร้อนที่บ่อแช่เท้า (°C)	40	40	-	-
อุณหภูมิน้ำร้อนที่ห้องอาบน้ำ (°C)	40	-	-	-
อุณหภูมิน้ำร้อนที่สระว่ายน้ำ (°C)	40	-	-	-



บ่อต้มไข่

น้ำพุร้อน



บ่อแช่เท้า

สระว่ายน้ำ



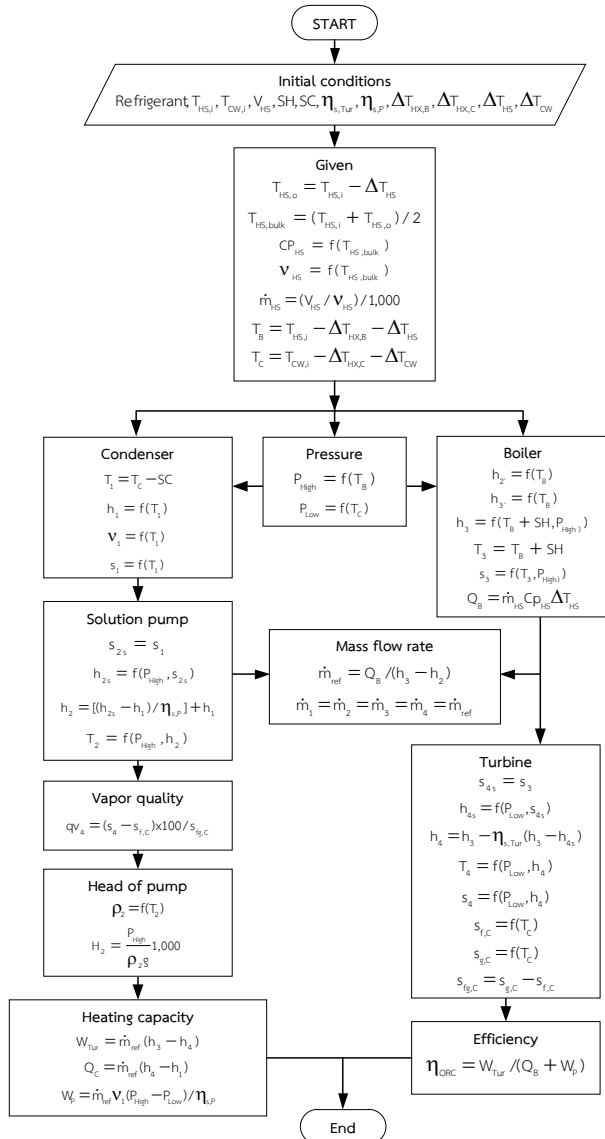
ห้องอาบน้ำแร่

บ้านพัก

รูปที่ 6 ข้อมูลทางกายภาพของหลุมเจ้าน้ำพุร้อนที่ 1



คณิตศาสตร์ ของหลุมเจาะน้ำพุร้อนที่ 1 และ 2 แสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 10 ขั้นตอนการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากรูปที่ 10 มีเงื่อนไขเริ่มต้นการทำงานของกรคำนวณด้านพลังงานของหลุมเจาะน้ำพุร้อนที่ 1 และ 2 ดังนี้

**หลุมเจาะน้ำพุร้อนที่ 1**

- สารทำงานที่ใช้กับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ คือ R-245fa
- ผลต่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ให้ความร้อนกับสารทำงานที่เครื่องระเหย ( $\Delta T_{HX,B}$ ) เท่ากับ  $3^\circ\text{C}$
- ผลต่างอุณหภูมิน้ำพุร้อนที่เข้าและออกเครื่องระเหย ( $\Delta T_{HS}$ ) เท่ากับ  $20^\circ\text{C}$
- อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องควบแน่น ( $T_{CW,i}$ ) เท่ากับ  $32^\circ\text{C}$
- ผลต่างอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าและออกเครื่องควบแน่น ( $\Delta T_{CW}$ ) เท่ากับ  $5^\circ\text{C}$

- ผลต่างอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนกับสารทำงานที่เครื่องควบแน่น ( $\Delta T_{HX,C}$ ) เท่ากับ  $3^\circ\text{C}$
- การผลิตพลังงานไฟฟ้า 24 hr/d ทำงานต่อเนื่อง 350 d/y

**หลุมเจาะน้ำพุร้อนที่ 2**

- สารทำงานที่ใช้กับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ คือ R-134a
- ผลต่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ให้ความร้อนกับสารทำงานที่เครื่องระเหย ( $\Delta T_{HX,B}$ ) เท่ากับ  $3^\circ\text{C}$
- ผลต่างอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าและออกเครื่องระเหย ( $\Delta T_{HS}$ ) เท่ากับ  $15^\circ\text{C}$
- อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องควบแน่น ( $T_{CW,i}$ ) เท่ากับ  $32^\circ\text{C}$
- ผลต่างอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าและออกเครื่องควบแน่น ( $\Delta T_{CW}$ ) เท่ากับ  $5^\circ\text{C}$
- ผลต่างอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนกับสารทำงานที่เครื่องควบแน่น ( $\Delta T_{HX,C}$ ) เท่ากับ  $3^\circ\text{C}$
- การผลิตพลังงานไฟฟ้า 12 hr/d ทำงานต่อเนื่อง 350 d/y

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ของหลุมเจาะน้ำพุร้อนที่ 1 และ 2

หลุมเจาะน้ำพุร้อน	1	2
สารทำงาน	R-245fa	R-134a
อัตราการไหล (L/s)	20	0.5
อุณหภูมิน้ำพุร้อนเข้า ( $^\circ\text{C}$ )	105	95
อัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องระเหย (kW)	1,620	30
อัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องควบแน่น (kW)	1,480	28
งานที่ได้จากกังหัน (kW)	143	2.55
งานที่ต้องป้อนให้แก่ปั๊มสารทำงาน (kW)	3.26	0.21
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	8.81	8.30
ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า (kW <sub>e</sub> )	143	2.55
ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า (MWh/y)	1.2	0.01

จากการประเมินศักยภาพทางด้านพลังงานในการนำน้ำพุร้อนมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ในการผลิตไฟฟ้า และไม่กระทบกับกิจการทางการท่องเที่ยว พบว่าหลุมเจาะน้ำพุร้อนที่ 1 มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าประมาณ 1.2 MWh/y สารทำงานที่เหมาะสมคือสารทำงานชนิด R-245fa ได้ประสิทธิภาพของระบบประมาณ 8.81% และหลุมเจาะน้ำพุร้อนที่ 2 มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าประมาณ 0.01 MWh/y สารทำงานที่เหมาะสมคือสารทำงานชนิด R-134a ได้ประสิทธิภาพของระบบประมาณ 8.30% ซึ่งผลการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของงานวิจัยนี้มีความใกล้เคียงกับผลของงานวิจัยที่เคยศึกษามา ที่มีประสิทธิภาพของระบบประมาณ 8-12% [6,7,8,9,10]

**4.3 ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์**



ในการเปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ โดยการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของงานวิจัยนี้ “ค่า LEC” ถูกเลือกใช้ในการเปรียบเทียบ ทั้งนี้จากผลการประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าในหัวข้อที่ผ่านมา สามารถนำมาประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยมีเงื่อนไขการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- ราคาของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์คิดที่ 1,750 USD/kW<sub>e</sub> [13] (1 USD = 34.94 Baht [14])
- ค่าใช้จ่ายในการขุดเจาะน้ำพุร้อนที่ 1 คิดที่ 856,000 Baht และหลุมเจาะน้ำพุร้อนที่ 2 คิดที่ 181,484 Baht ซึ่งอ้างอิงจากราคาการขุดเจาะจริงของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่เอน ตามพระราชดำริ
- ไม่คิดค่าที่ดิน เนื่องจากอยู่ภายในพื้นที่ของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่เอน ตามพระราชดำริ
- ค่าโรงเรือน เท่ากับ 500,000 Baht [13]
- ค่าท่อน้ำร้อน เท่ากับ 500,000 Baht [13]
- ราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ คิระยะเวลาต้นทุนของโครงการที่ 7 y [15]
- ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษาระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแบบ ORC กำหนดให้เป็น 3% ของเงินลงทุนเริ่มต้น [16]

**ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์**

หลุมเจาะน้ำพุร้อน	1	2
ราคาของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแบบ ORC (Baht)	8,747,747	155,723
ต้นทุนในการขุดเจาะน้ำพุร้อน (Baht)	856,000	181,484
ราคาที่ดิน (Baht)	0	0
ค่าโรงเรือนและค่าท่อน้ำร้อน (Baht)	1,000,000	1,000,000
มูลค่าการลงทุนโครงการรวม (Baht)	10,603,747	1,337,207
ค่า LEC (Baht/kWh)	1.48	18.30

จากการประเมินหาค่าราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยโดยคำนวณระยะคืนทุนของโครงการที่ 7 y แสดงในตารางที่ 3 พบว่า ค่าราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของหลุมเจาะน้ำพุร้อนที่ 1 มีค่าประมาณ 1.48 Baht/kWh และหลุมเจาะน้ำพุร้อนที่ 2 มีค่า ประมาณ 18.30 Baht/kWh ซึ่งจะเห็นได้ว่าหลุมเจาะน้ำพุร้อนที่ 1 นั้นมีค่าราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยที่ถูกกว่า เนื่องจากเป็นหลุมที่มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงควรพัฒนาหลุมเจาะน้ำพุร้อนที่ 1 ของแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ ภายในกิจการน้ำพุร้อน

สันกำแพง อำเภอแม่เอน ตามพระราชดำริ มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ ORC ต่อไป

### 5. สรุปผลการวิจัย

- จากผลการดำเนินงานศึกษา สามารถสรุปได้ดังนี้
- หลุมเจาะน้ำพุร้อนภายในกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่เอน ตามพระราชดำริ มีทั้งหมด 4 หลุม และมีเพียง 2 หลุม ที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้ คือ หลุมเจาะน้ำพุร้อนที่ 1 มีอุณหภูมิและอัตราการไหล 105 °C และ 20 L/s ตามลำดับ และหลุมเจาะน้ำพุร้อนที่ 2 มีอุณหภูมิและอัตราการไหล 95 °C และ 0.5 L/s ตามลำดับ
  - หลุมเจาะน้ำพุร้อนที่ 1 และ 2 มีศักยภาพการผลิตไฟฟ้าประมาณ 143 และ 2.55 kW<sub>e</sub> ตามลำดับ
  - ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของหลุมเจาะน้ำพุร้อนที่ 1 และ 2 มีค่าประมาณ 1.48 และ 18.30 Baht/kWh ตามลำดับ

### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่เอน ตามพระราชดำริ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ทำการวิจัย รวมทั้งกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ปีงบประมาณ 2559 สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย

### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงพลังงาน (2552). แผนยุทธศาสตร์การพัฒนากำลังผลิตทดแทนปี พ.ศ. 2551-2565, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.efe.or.th/pdf/RenewableEnergy-15years.pdf>, เข้าดูเมื่อวันทีวันที่ 05/03/2559.
- [2] Department of Mineral Resources, Geothermal Energy Resources, URL: <http://www.dmr.go.th>, access on 05/03/2015.
- [3] Chiang Mai University (CMU) (2008). “Study for conservation and development of low potential hot springs for multipurpose usage”, Final Report submitted to the Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE).
- [4] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2549). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาเพื่อประเมินศักยภาพแหล่งน้ำพุร้อนในประเทศไทย, เสนอต่อ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก.

[6] Liu Q., Duan Y. and Yang Z. (2013). Performance analyses of geothermal organic Rankine cycles with selected hydrocarbon working fluids, *Energy* 63, pp. 123-132.

[7] Nattaporn Chaiyat (2015). Sustainability of Alternative Energy for Organic Rankine Cycle Power Plant in Thailand, *Naresuan University Journal* 2015, Vol. 23(1), pp. 45-62.

[8] Galloni E., Fontana G. and Staccone S. (2015). Design and experimental analysis of a mini ORC (organic Rankine cycle) power plant based on R245fa working fluid, *Energy* 90, pp. 768-775.

[9] Hettiarachchi HDM., Golubovic M., Worek WM. and Ikegami Y. (2007). Optimum design criteria for an Organic Rankine Cycle using low-temperature geothermal heat sources, *Energy* 32, pp. 1698-1706.

[10] อภิวัฒน์ ยิ้มประเสริฐ และ นัฐพร ไชยญาติ (2558). โรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจากระบบออร์แกนิกแรงดันไอเคิลในประเทศไทย, *การประชุมวิชาการ การถ่ายเทความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 4*, 19-20 มีนาคม 2558, จังหวัดเชียงใหม่, หน้า 1-9.

[11] Quoilin S., Van Den Broek., Declaye S., Dewallef P. and Lemort V. (2013). Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 22, pp. 168-186.

[12] นัฐพร ไชยญาติ (2558). เทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพ (Geothermal Energy Technology), ครั้งที่ 4, เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 354 หน้า.

[13] นัฐพร ไชยญาติ (2558). ต้นแบบโรงไฟฟ้าระบบ Organic Rankine cycle, วิทยาลัยพลังงานทดแทน, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[14] ธนาคารแห่งประเทศไทย (2559). *อัตราการแลกเปลี่ยนเงิน*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.bot.or.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 29/04/2559.

[15] Sopitsuda Tongsovit and Chris Greacen (2012). *Thailand's Renewable Energy Policy: FITs and Opportunities for International Support*, WRI-ADB Workshop on Feed-in Tariffs, Manila, Philippines.

[16] Industrial Technology Research Institute (2012). *ORC Design and Development in Taiwan*, Green

Energy and Environment Lab Natural Resources Technology Division ORC Team, Taiwan.

## 8. รายการสัญลักษณ์ สัญลักษณ์

B	ผลตอบแทนต่อปี (Baht/year)
C <sub>p</sub>	ความจุความร้อน (kJ/kg·K)
h	เอนทัลปี (kJ/kg)
LEC	ราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/kWh)
m <sup>3</sup>	อัตราการไหล (kg/s)
PB	ระยะเวลาคืนทุน (year)
PEC	ค่าใช้จ่ายการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/year)
Q	อัตราความร้อน (kW)
t	เวลาการทำงาน (hr)
T	อุณหภูมิ (°C)
W	กำลังงาน (kW)
Z	ค่าใช้จ่ายการลงทุนติดตั้งระบบ (Baht)

## ตัวกรีก

η	ประสิทธิภาพ (%)
v	ปริมาณจำเพาะ (m <sup>3</sup> /kg)
ρ	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )

## ตัวห้อย

C	เครื่องควบแน่น
CW	น้ำหล่อเย็น
e	ไฟฟ้า
E	เครื่องระเหย
G	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
HS	น้ำพุร้อน
High	สูง
HX	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
i	ทางเข้า
Low	ต่ำ
o	ทางออก
OP	ระยะเวลาการทำงาน
ORC	วัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์
P	ปั๊มสารทำงาน
ref	สารทำงาน
Tur	กังหัน