



การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ

Life Cycle Assessment of Organic Rankine Cycle Power Plant Combined with Centralized Drying Room from Geothermal Energy

ปาณิสตา อ่อนดอกไม้ และ นัฐพร ไชยญาติ*

Panisa Ondokmai and Nattaporn Chaiyat*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290
 School of Renewable Energy, Maejo University, 63 Moo 4 Nongharn, Sansai, Chiang Mai, 50290

*Corresponding author: benz178tii@hotmail.com, +66(0) 882523088

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้มาตรฐาน ISO14040 และ ISO14044 ในการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมชั้นกลางทั้งหมด 10 ประเภท ซึ่งการพิจารณาระบบผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อนประกอบไปด้วย ระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาดประมาณ 10 kW_e และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ขนาดประมาณ 20 kW ที่ขับเคลื่อนโดยน้ำพุร้อนอุณหภูมิ 105 °C และอัตราการไหลเชิงมวล 3 L/s ที่มีอายุการใช้งาน 20 y หน่วยการทำงานของการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน คือ 1 MJ จากผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อนเท่ากับ 24.97% ในขณะที่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากระบบผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อนประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีค่าเท่ากับ 5.60E-02 kg CO₂ eq/MJ การลดลงของชั้นโอโซนมีค่าเท่ากับ 2.62E-09 kg CFC-11 eq/MJ การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์มีค่าเท่ากับ 5.91E-01 kg 1,4-DB eq/MJ การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันมีค่าเท่ากับ 2.67E-04 kg PM10 eq/MJ การเกิดภาวะฝนกรดมีค่าเท่ากับ 8.51E-04 kg SO₂ eq/MJ การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืดมีค่าเท่ากับ 2.01E-04 kg P eq/MJ การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดินมีค่าเท่ากับ 4.04E-05 kg 1,4-DB eq/MJ การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำมีค่าเท่ากับ 6.79E-03 kg 1,4-DB eq/MJ การลดลงของเหล็กมีค่าเท่ากับ 1.89E-01 kg Fe eq/MJ และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลมีค่าเท่ากับ 1.07E-02 kg oil eq/MJ

คำหลัก: การประเมินวัฏจักรชีวิต, โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์, ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์, พลังงานความร้อนใต้พิภพ

ABSTRACT

This research studies environmental impacts of an organic Rankine cycle (ORC) power plant combined with a centralized drying room from geothermal energy by using a life cycle assessment (LCA) under the ISO14040 and 14044 standards to consider the 10 impact categories of the midpoint environment impact. A combined heat and power (CHP) comprised of a 10 kW_e ORC unit and a 20 kW centralized drying room, which is driven by hot spring temperature and mass flow rate of 105 °C and 3 L/s, respectively, with life span at 20 y and functional unit as 1 MJ. From the study results, the CHP

efficiency is 13.46%, while the environment impacts of the CHP system consist of climate change at $5.60E-02$ kg CO₂ eq/MJ, ozone depletion at $2.62E-09$ kg CFC-11 eq/MJ, human toxicity of $6.91E-01$ kg 1,4-DB eq/MJ, particulate matter formation of $2.67E-04$ kg PM10 eq/MJ, terrestrial acidification at $8.51E-04$ kg SO₂ eq/kWh, freshwater eutrophication as $2.01E-04$ kg P eq/MJ, terrestrial ecotoxicity of $4.04E-05$ kg 1,4-DB eq/MJ, freshwater ecotoxicity as $6.79E-03$ kg 1,4-DB eq/MJ, metal depletion with $1.89E-01$ kg Fe eq/MJ and fossil depletion at $1.07E-02$ kg oil eq/MJ.

Keywords: Life cycle assessment, Organic Rankine cycle power plant, Centralized drying room, Geothermal energy

1. บทนำ

พลังงานความร้อนได้พิภพในปัจจุบันเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจในการนำมาประโยชน์ เนื่องจากเป็นพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น Clark et al. [1] ที่ได้นำเสนอ การนำพลังงานความร้อนได้พิภพมาผลิตพลังงานไฟฟ้า และมีการปล่อยมลพิษน้อยกว่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล แต่อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการสร้างโรงไฟฟ้าต้องใช้เวลา และพลังงาน ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่นกัน ดังนั้นจึงมีการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้พิภพตามมา เช่น Frick et al. [2] และ Florian et al. [3] ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้พิภพแบบระบบสองวงจร (Binary cycle power plant) ในผลกระทบ 3 ด้าน อันประกอบไปด้วย การเกิดภาวะโลกร้อน การเกิดภาวะความเป็นกรด และการเกิดภาวะการเจริญผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด Martínez-Corona et al. [4] ได้ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้พิภพใน 7 ด้าน คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืด การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ การลดลงของเหล็ก การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน และการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดินสำหรับประเทศไทยมีการนำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น การผลิตไฟฟ้า การทำความร้อน การทำความเย็น และในการท่องเที่ยวเชิงนันทนาการต่าง ๆ อาทิเช่น นัฐพร และ ชัชวาล [5] นำพลังงานความร้อนได้พิภพหรือน้ำพุร้อนมาใช้ในการอบแห้งพืชผลทางการเกษตร สุรศักดิ์ [6] ทำการศึกษาและออกแบบเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานความ

ร้อนทั้งจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้พิภพในการอบแห้งพริกและกระเทียม เชิดชัย [7] ทำการศึกษาการอบแห้งต้นหอม โดยใช้พลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้พิภพ Chaiyat et al. [8] นำเสนอแนวทางการใช้ประโยชน์พลังงานความร้อนได้พิภพแบบขั้นบันได ในการผลิตไฟฟ้า ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ตามลำดับ ทั้งนี้ในปัจจุบันประเทศไทยมีโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้พิภพเพียงแห่งเดียว คือ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้พิภพฝาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ [9]

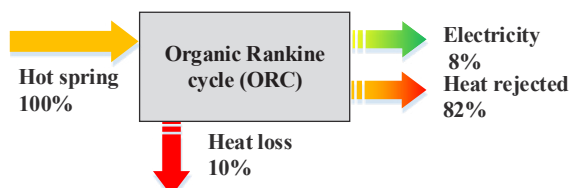
ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวในข้างต้น พบว่าการนำพลังงานความร้อนได้พิภพมาใช้ประโยชน์ ควรมีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมร่วมด้วย และจากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการประเมินกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน (Combined heat and power, CHP) ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ที่ต้องการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน ของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงจลนสารอินทรีย์ที่ทำงานร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนได้พิภพของประเทศไทย โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

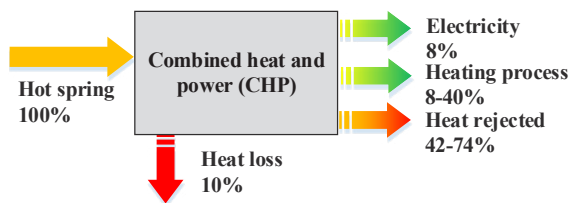
2.1 การผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน (Combined heat and power)

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงจลนสารอินทรีย์เป็นระบบที่สามารถนำความร้อนอุณหภูมิต่ำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

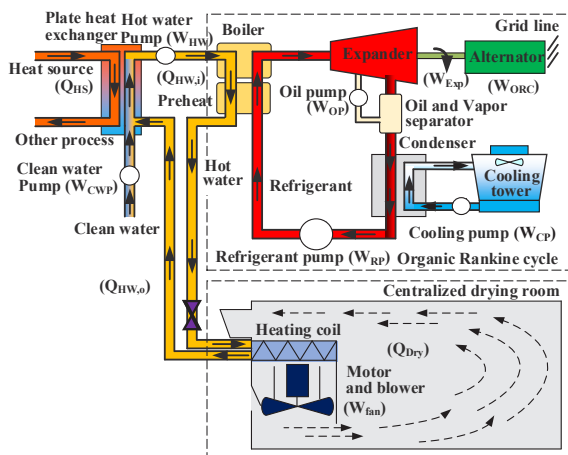
เนื่องจากสารทำงานในระบบมีจุดเดือดต่ำ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้แหล่งความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ (น้ำพุร้อน) สามารถผลิตไฟฟ้าได้ดังแสดงในรูปที่ 1 แต่ทั้งนี้ความร้อนที่ออกจากวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านความร้อนต่อได้ คือ นำความร้อนมาใช้ในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรด้วยห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ [10] โดยสามารถผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อนได้ดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3



รูปที่ 1 การผลิตไฟฟ้าจากน้ำพุร้อน



รูปที่ 2 การผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อนจากน้ำพุร้อน



รูปที่ 3 แผนภาพการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน

จากรูปที่ 3 แสดงแผนภาพการทำงานของการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน คือ แหล่งความร้อน (Heat source) จากน้ำพุร้อนป้อนให้แก่หม้อต้ม (Boiler) ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า

จากนั้นเมื่อออกจากหม้อต้มแล้วจะถูกส่งไปเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Preheat) ก่อนส่งต่อไปยังแผงแลกเปลี่ยนความร้อน (Heating coil) ของระบบอบแห้ง เพื่อผลิตความร้อนสำหรับการอบแห้งต่อไป

ทั้งนี้ในการประเมินประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อนของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ แสดงดังสมการต่อไปนี้

ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

$$\eta_{ORC} = \frac{W_{ORC,G} - W_{RP} - W_{OP}}{Q_{HW,1}} \quad (1)$$

ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

$$\eta_{Dry} = \frac{Q_{Dry}}{Q_{HW,2} + W_{fan}} \quad (2)$$

ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน

$$\eta_{CHP} = \frac{(W_{ORC,G} - W_{RP} - W_{OP} - W_{fan}) + Q_{Dry}}{Q_{HW,total}} \quad (3)$$

2.2 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment, LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นวิธีการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ภายใต้มาตรฐานสากล ISO14040 และ ISO14044 ใช้ในการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต ในเชิงปริมาณการใช้ทรัพยากร มลพิษที่เกิดขึ้น และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากการผลิตของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิต ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งาน รวมถึงการใช้ซ้ำ การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ และการกำจัดทิ้งหลังหมดอายุการใช้งาน ซึ่งแบ่งกระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิตออกเป็น 4 ขั้นตอน [11] ดังนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition) คือ การระบุเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงสาเหตุที่ต้องการศึกษา

2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory analysis) คือ ขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูล โดยการรวบรวมปริมาณสารขาเข้าและขาออกที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ

3. การประเมินผลกระทบ (Impact assessment) คือ การนำผลจากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการมาทำการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปของตัวชี้วัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อบ่งชี้ค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

4. การแปลผล (Interpretation) คือ การแปลผลการศึกษา โดยการวิเคราะห์ผลลัพธ์ อภิปรายผล และสรุปผลที่เกิดขึ้น

3. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ จากพลังงานความร้อนได้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน ตามพระราชดำริจังหวัดเชียงใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) และ (ข) ซึ่งมีอุณหภูมิของน้ำพุร้อนผิวดินประมาณ 105 °C ร่วมกับไอน้ำพุร้อนประมาณ 120 °C ที่อัตราการไหลเชิงมวลประมาณ 3 L/s เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาดประมาณ 10 kW_e และทำความร้อนของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ขนาดประมาณ 20 kW ที่มีอายุการใช้งาน 20 y ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้



(ก) โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

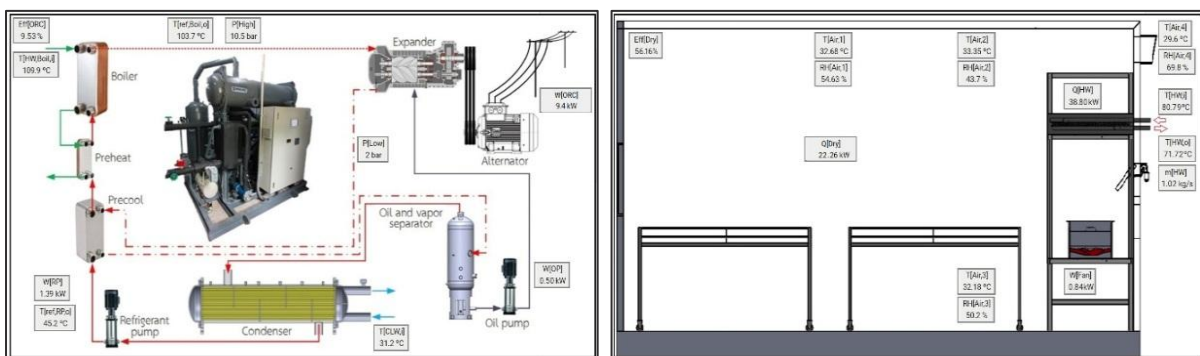
(ข) ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

รูปที่ 4 ภาพรวมของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

3.1 การทดสอบและวิเคราะห์ระบบ

ทำการเก็บข้อมูลที่ระบบตรวจวัดและแสดงผลอัจฉริยะ [12] ดังแสดงในรูปที่ 5 (ก) และ (ข) หลังจาก

นั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าและความร้อน นำไปประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่อหน่วยในหัวข้อ 3.4 ต่อไป



(ก) หน้าจอแสดงผลของการผลิตไฟฟ้า

(ข) หน้าจอแสดงผลของการผลิตความร้อน

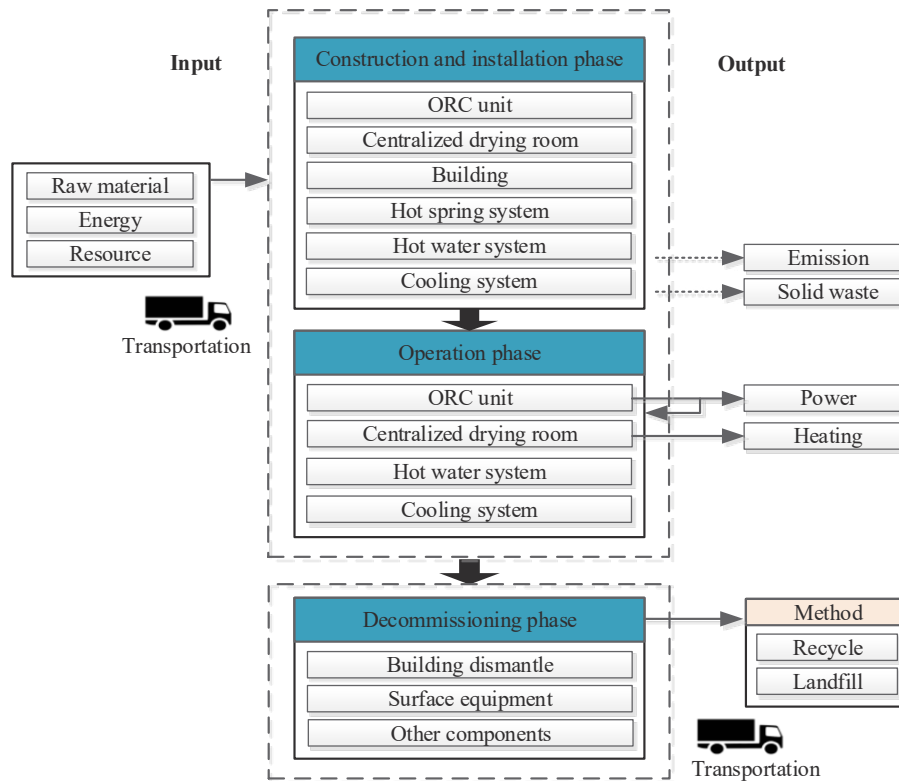
รูปที่ 5 หน้าจอแสดงผลระบบตรวจวัดและแสดงผลอัจฉริยะ (www.tdetlab.com) [12]

3.2 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

- เป้าหมาย คือ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ
- ขอบเขตการศึกษา คือ แบบแครเดิล-ทู-เกรฟ (Cradle-to-grave) ซึ่งพิจารณาตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ

การใช้วัสดุ พลังงาน และทรัพยากร การขนส่ง กระบวนการสร้าง กระบวนการใช้งาน และกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 6

- หน่วยการหน้าที่การทำงาน คือ การผลิตไฟฟ้า 1 kWh การผลิตพลังงานความร้อน 1 kW และการผลิตไฟฟ้ารวมความร้อน 1 MJ



รูปที่ 6 ขอบเขตการศึกษาในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

3.3 การวิเคราะห์บัญชีรายการ

โดยในขั้นตอนนี้จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและจัดทำบัญชีรายการข้อมูลของปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกระบวนการสร้าง กระบวนการใช้งาน และกระบวนการกำจัดซาก ตลอดวัฏจักรชีวิต โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

3.4 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ โดยใช้โปรแกรม SimaPro เวอร์ชัน 8.5.2 วิธี ReCiPe Midpoint (H) V1.13 [13] เพื่อทำการ

วิเคราะห์ผลกระทบชั้นกลางทั้งหมด 10 ประเภท จากทั้งหมด 18 ประเภท โดยคัดเลือกประเภทผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับกับงานวิจัย เนื่องจากผลกระทบบางประเภทไม่ได้เกี่ยวข้องและอยู่ในพื้นที่ที่ติดตั้งระบบ เช่น การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในทะเล และการเกิดภาวะเป็นพิษต่อน้ำทะเล การใช้พื้นที่เกษตรกรรม เขตเมือง และพื้นที่ทรัพยากรธรรมชาติ รวมถึงการลดลงของน้ำ และส่วนการเกิดรังสีไอออนไนซ์ถูกตัดออกเนื่องจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยไม่ได้รวมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานนิวเคลียร์ ซึ่งประเภทผลกระทบมีดังต่อไปนี้

- การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change, CC); kg CO₂ eq
- การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone depletion, OD); kg CFC-11 eq
- การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (Human toxicity, HT); kg 1,4-DB eq
- การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน (Particulate matter formation, PMF); kg PM10 eq
- การเกิดภาวะฝนกรด (Terrestrial acidification, TA); kg SO₂ eq
- การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืด (Freshwater eutrophication, FE); kg P eq
- การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน (Terrestrial ecotoxicity, TET); kg 1,4-DB eq
- การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ (Freshwater ecotoxicity, FET); kg 1,4-DB eq
- การลดลงของเหล็ก (Metal depletion, MD); kg Fe eq
- การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil depletion, FD); kg oil eq

3.5 การแปลผลกระทบ

ในขั้นตอนนี้ทำการแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน สรุปผลที่เกิดขึ้น และทำการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมกับโรงไฟฟ้าอื่น ๆ

4. ผลการศึกษา

จากการศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบของการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน

ผลการทดสอบการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ และการผลิตความร้อนของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ซึ่งค่าที่ปรากฏในผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 1 เป็นค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบที่นำมาใช้ในการคำนวณ จากการวิเคราะห์ พบว่า วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมด 9.40 kW_e ที่ประสิทธิภาพ 9.53% และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์สามารถผลิตความ

ร้อนได้สุทธิ 22.26 kW ที่ประสิทธิภาพ 56.16% ซึ่งห้องอบแห้งสามารถควบคุมอุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าและอุณหภูมิอากาศภายในห้องได้ ด้วยการควบคุมวาล์วไฟฟ้าสำหรับจ่ายน้ำร้อนเข้าสู่ห้องอบแห้ง และเมื่อทั้งสองระบบผลิตพลังงานร่วมกัน พบว่า ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อนตลอดอายุการใช้งานมีค่าเท่ากับ 24.97%

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ของระบบ

Parameter	Data
ORC system	
Hot water entering the boiler (T _{HW,i}) [°C]	109.9
Hot water leaving the boiler (T _{HW,o}) [°C]	99.04
Heat source capacity (Q _{HW,1}) [kW]	76.49
Cooling water entering the condenser (T _{CLW,i}) [°C]	30.00
Cooling water leaving the condenser (T _{CLW,o}) [°C]	36.40
Heat sink capacity (Q _c) [kW]	42.80
Refrigerant pump power (W _{RP}) [kW _e]	1.41
Oil pump power (W _{OP}) [kW _e]	0.49
Gross power output (W _{ORC,G}) [kW _e]	9.40
Net power output ¹ (W _{ORC,N}) [kW _e]	7.57
ORC efficiency ² (η _{ORC}) [%]	9.53
Centralized drying room	
Hot water entering the heating coil (T _{HW,i}) [°C]	80.79
Hot water leaving the heating coil (T _{HW,o}) [°C]	71.72
Heat source capacity (Q _{HW,2}) [kW]	38.80
Fan power (W _{fan}) [kW _e]	0.84
Net energy output (Q _{Dry}) [kW]	22.26
Efficiency system ³ (η _{Dry}) [%]	56.16
CHP system	
Net power output ⁴ (W _{CHP}) [kW _e]	6.73
CHP efficiency ⁵ (η _{CHP}) [%]	24.97

Remark:¹ W_{ORC,N} = W_{ORC,G} - W_{RP} - W_{OP}

$$^2 \eta_{ORC} = (W_{ORC,G} - W_{RP} - W_{OP}) \times 100 / Q_{HW,1}$$

$$^3 \eta_{Dry} = Q_{Dry} \times 100 / (Q_{HW,2} - W_{fan})$$

$$^4 W_{CHP} = W_{ORC} - W_{RP} - W_{OP} - W_{fan}$$

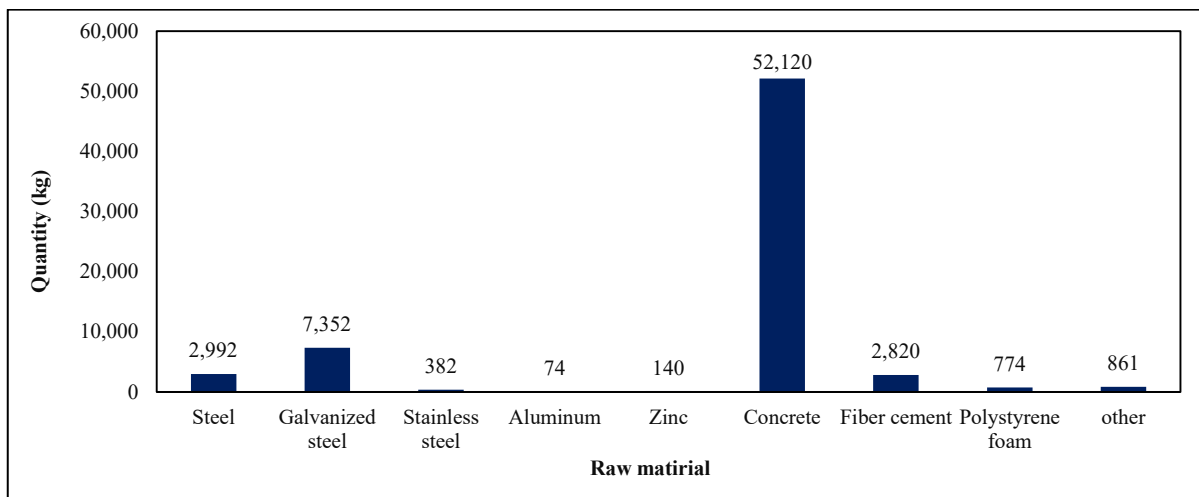
$$^5 \eta_{CHP} = ((W_{ORC} - W_{RP} - W_{OP} - W_{fan}) + Q_{Dry}) \times 100 / Q_{HW,tatal}$$

4.2 ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการ

จากการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ โรงเรือน ระบบน้ำสะอาด และระบบจ่ายน้ำพุร้อน พบว่า ปริมาณการใช้วัตถุดิบในกระบวนการสร้างของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ประกอบไปด้วยผนังห้องที่ทำจากโพลีสไตรีนโฟม ภายในห้องมีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อและครีบ พัดลมแบบหมุนตามแนวแกน ชั้นวางผลิตภัณฑ์ โครงสร้างผนังแฉกกลมที่ทำจากเหล็กและติดทับด้วยสังกะสี ส่วน

โครงสร้างโรงเรือนเป็นวัสดุประเภทเหล็ก พื้น เสา คาน ใช้คอนกรีตผสมเสร็จ กระเบื้องหลังคาเป็นวัสดุประเภทไฟเบอร์ซีเมนต์ ระบบน้ำพุร้อนใช้ท่อเหล็กกล้าวไนซ์สำหรับส่งจ่ายน้ำพุร้อน และระบบน้ำสะอาดประกอบไปด้วยเครื่องกรองน้ำสแตนเลส ถังเก็บน้ำสะอาดและน้ำดิบ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นถอดประกอบได้ และถังเก็บน้ำร้อน เป็นต้น ในกระบวนการสร้างใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 25 kWh รวมถึงการมีการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลในการขนส่งวัสดุต่าง ๆ ปริมาณ 350 L (โดยข้อมูลใช้ในโปรแกรม SimaPro เลือกรูปแบบ Market) ในกระบวนการใช้งาน พบว่า มีการป้อนวัตถุดิบ

ให้แก่ระบบ คือ น้ำพุร้อน 5,500 m³ น้ำสะอาด 50 m³ เรซินสำหรับกรองน้ำสะอาด 350 L และมีการป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แก่ปั๊มต่าง ๆ และมอเตอร์พัดลม 126,000 kWh ทั้งนี้ในกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานพบว่า มีวัสดุบางส่วนสามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่ (Recycle) อาทิเช่น เหล็ก เหล็กกล้าวไนซ์ สแตนเลส และสังกะสี เป็นต้น โดยเฉลี่ยคิดเป็น 45.87% และในส่วนที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่จะถูกนำไปฝังกลบ (Landfill) อย่างถูกหลักสุขาภิบาล อาทิเช่น พลาสติก คอนกรีต ไฟเบอร์ซีเมนต์ เป็นต้น โดยเฉลี่ยคิดเป็น 54.13%



รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการข้อมูลของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

4.3 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

การศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ โดยทำการประเมินจากบัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิตด้วยโปรแกรม SimaPro ทำการพิจารณาที่ผลกระทบชั้นกลาง โดยผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ทำการอ้างอิงจากงานวิจัยที่ผ่านมาของคณะผู้วิจัย [14] ที่ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมด 9.4 kWe ที่ใช้

สารทำงาน R-245fa เป็นเวลา 20 y โดยมีระยะเวลาการทำงาน 24 h/d และ 350 d/y สามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมดสุทธิ 1,271,760 kWh/Lifetime ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งจากผลการศึกษา พบว่า ผลกระทบส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการใช้วัสดุประเภทเหล็ก เหล็กกล้าวไนซ์ และสารทำงาน R-245fa ที่เป็นสารเคมีสังเคราะห์ และจากการแปลผลการศึกษา โดยเฉลี่ยจากผลกระทบทั้ง 10 ด้าน ในแต่ละกระบวนการ พบว่า ในกระบวนการสร้างเกิดผลกระทบ 75% ในกระบวนการใช้งาน 12% และกระบวนการกำจัดซาก 13%

ตารางที่ 2 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าถ่านหินอินทรี [14]

Environmental impact	Construction phase	Operation phase	Decommissioning phase		Total Emission		Unit
			Recycle	Landfill	Lifetime	1 kWh	
CC	3.39E+04	5.90E+04	-6.47E+04	5.02E+03	3.32E+04	1.32E-02	kg CO ₂ eq
OD	3.45E-03	2.94E-05	-1.44E-04	4.48E-04	3.78E-03	1.50E-09	kg CFC-11 eq
HT	2.77E+04	3.12E+02	-3.27E+03	2.79E+03	2.75E+04	1.09E-02	kg 1,4-DB eq
PMF	5.91E+01	1.42E+00	-2.69E+01	1.28E+01	4.65E+01	1.85E-05	kg PM10 eq
TA	1.48E+02	2.58E+00	-9.42E+01	1.73E+01	7.40E+01	2.94E-05	kg SO ₂ eq
FE	1.48E+01	2.13E-01	-1.40E+00	2.26E+00	1.58E+01	6.29E-06	kg PO ₄ eq
TET	2.90E+00	2.11E+01	-1.06E+00	2.15E+01	4.45E+01	1.76E-05	kg 1,4-DB eq
FET	4.35E+02	7.39E+00	-6.45E+01	8.53E+01	4.63E+02	1.84E-04	kg 1,4-DB eq
MD	1.75E+04	3.73E+01	-2.33E+03	4.53E+03	1.97E+04	7.82E-03	kg Fe eq
FD	9.64E+03	1.15E+02	-5.68E+03	1.47E+03	5.54E+03	2.20E-03	kg oil eq

ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ซึ่งสามารถผลิตความร้อนได้ 22.26 kW โดยใช้แหล่งความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ มีอายุการใช้งานตลอดวัฏจักรชีวิตคิดที่ 20 y ระยะเวลาการทำงาน 12 h/d และทำงาน 350 d/y สามารถผลิตพลังงานความร้อนได้ 1,869,840 kW/Lifetime

ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ในกระบวนการสร้าง ผลกระทบส่วนใหญ่ส่งผลให้เกิดด้านการศึกษาภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำและการลดลงของเหล็ก ซึ่งเกิดจากการใช้วัสดุประเภทเหล็กจำนวน 2,992 kg เหล็กกล้าในชี จำนวน 7,352 kg และ

อะลูมิเนียมจำนวน 74 kg ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดกระบวนการใช้งาน ผลกระทบส่วนใหญ่ส่งผลให้เกิดด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลสูง ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้สารกรองเรซินในขั้นตอนการกรองน้ำสะอาดจำนวน 100 L สำหรับแหล่งพลังงานความร้อนที่ป้อนให้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้ารวมความร้อนเป็นพลังงานที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ จึงส่งผลให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้ค่อนข้างต่ำ ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน จากผลการวิเคราะห์บัญชีรายการ มีวัสดุบางส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่

ตารางที่ 3 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

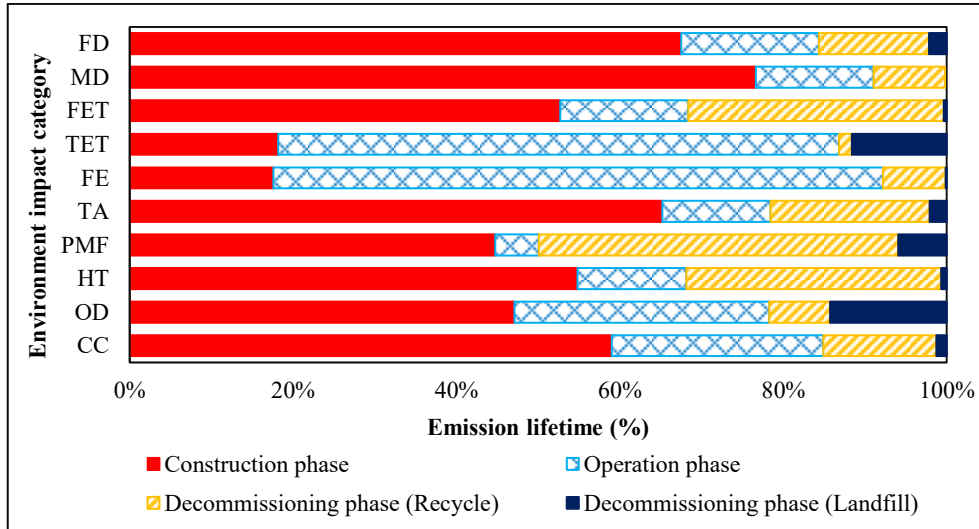
Environmental impact	Construction phase	Operation phase	Decommissioning phase		Total Emission		Unit
			Recycle	Landfill	Lifetime	1 kWh	
CC	3.24E+04	1.42E+04	-7.58E+03	7.03E+02	3.97E+04	8.64E-02	kg CO ₂ eq
OD	1.02E-03	6.78E-04	-1.61E-04	3.11E-04	1.85E-03	4.03E-09	kg CFC-11 eq
HT	9.82E+03	2.39E+03	-5.59E+03	1.19E+02	6.74E+03	1.47E-02	kg 1,4-DB eq
PMF	4.70E+01	5.59E+00	-4.62E+01	6.20E+00	1.26E+01	2.74E-05	kg PM10 eq
TA	1.25E+02	2.54E+01	-3.73E+01	3.99E+00	1.17E+02	2.55E-04	kg SO ₂ eq
FE	5.89E+00	2.50E+01	-2.56E+00	4.64E-02	2.83E+01	6.17E-05	kg PO ₄ eq
TET	4.90E+00	1.85E+01	-4.26E-01	3.13E+00	2.61E+01	5.68E-05	kg 1,4-DB eq
FET	2.24E+02	6.65E+01	-1.33E+02	1.52E+00	1.59E+02	3.46E-04	kg 1,4-DB eq
MD	9.28E+03	1.74E+03	-1.06E+03	2.67E+01	9.94E+03	2.16E-02	kg Fe eq
FD	8.44E+03	2.11E+03	-1.68E+03	2.72E+02	9.14E+03	1.99E-02	kg oil eq

จึงส่งผลให้ค่าผลกระทบลดลง และผลกระทบในกระบวนการนี้เป็นผลมาจากการฝังกลบวัสดุคืบ ส่วนใหญ่

ผลกระทบเกิดจากไฟเบอร์ซีเมนต์ โพลีสไตรีน โฟม เหล็ก รวมถึงพลาสติกต่าง ๆ ที่ย่อยสลายยาก และเมื่อทำการ

พิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 8 เมื่อทำการพิจารณา พบว่า ในกระบวนการสร้าง

เกิดผลกระทบ 50.38% ในกระบวนการใช้งาน 27.92% และกระบวนการกำจัดซาก 21.7



รูปที่ 8 สัดส่วนของกระทบทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

เมื่อทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อนที่ 1 MJ มีการปล่อยผลกระทบดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีค่าเท่ากับ $5.60E-02$ kg CO₂ eq/MJ การลดลงของชั้นโอโซนมีค่าเท่ากับ $2.62E-09$ kg CFC-11 eq/MJ การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์มีค่าเท่ากับ $6.91E-01$ kg 1,4-DB eq/MJ การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันมีค่าเท่ากับ $2.67E-04$ kg PM10 eq/MJ การเกิดภาวะฝนกรดมีค่าเท่ากับ $8.51E-04$ kg SO₂ eq/MJ การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืดมีค่าเท่ากับ $2.01E-04$ kg P eq/MJ การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดินมีค่าเท่ากับ $4.04E-05$ kg 1,4-DB eq/MJ การเกิดภาวะที่พิษต่อแหล่งน้ำมีค่าเท่ากับ $6.79E-03$ kg 1,4-DB eq/MJ การลดลงของเหล็กมีค่าเท่ากับ $1.89E-01$ kg Fe eq/MJ และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลมีค่าเท่ากับ

$1.07E-02$ kg oil eq/MJ และโดยเฉลี่ยจากข้อมูลของผลกระทบทั้ง 10 ด้าน ในกระบวนการ เมื่อทำการพิจารณาผลกระทบในกระบวนการสร้างเกิดขึ้นมากที่สุดประมาณ 83.63% รองลงมา คือ เกิดขึ้นในกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยประมาณ 13.22% แต่ทั้งนี้วัสดุบางส่วนสามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่อีกครั้ง ทำให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นลดลงโดยเฉลี่ยประมาณ 11.06% จึงส่งผลให้เกิดผลกระทบในกระบวนการกำจัดซากประมาณ 2.16% และเกิดผลกระทบในกระบวนการใช้งานน้อยที่สุด คือ โดยเฉลี่ยประมาณ 4.15% และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เพียงอย่างเดียวกับโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์แล้ว พบว่าการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อนสามารถลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมลงได้ โดยเฉลี่ยประมาณ 18.71%

ตารางที่ 4 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

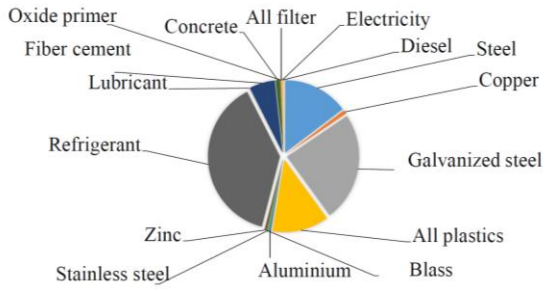
Environmental impact	Construction phase	Operation phase	Decommissioning phase		Total Emission		Unit
			Recycle	Landfill	Lifetime	1 MJ	
CC	1.16E+05	2.88E+04	-5.79E+04	2.43E+03	8.96E+04	5.60E-02	kg CO ₂ eq
OD	3.95E-03	5.30E-05	-2.91E-04	4.75E-04	4.19E-03	2.62E-09	kg CFC-11 eq
HT	1.12E+06	3.02E+02	-1.11E+04	2.34E+02	1.11E+06	6.91E-01	kg 1,4-DB eq
PMF	5.02E+02	1.17E+01	-1.00E+02	1.28E+01	4.26E+02	2.67E-04	kg PM10 eq
TA	1.39E+03	4.60E+01	-8.17E+01	1.02E+01	1.36E+03	8.51E-04	kg SO ₂ eq
FE	5.30E+02	1.12E-01	-2.09E+02	8.84E-02	3.21E+02	2.01E-04	kg PO ₄ eq
TET	5.59E+01	6.42E+00	-9.39E-01	3.30E+00	6.47E+01	4.04E-05	kg 1,4-DB eq
FET	1.11E+04	2.38E+01	-2.72E+02	3.17E+00	1.09E+04	6.79E-03	kg 1,4-DB eq
MD	3.26E+05	1.08E+01	-2.45E+04	1.26E+02	3.02E+05	1.89E-01	kg Fe eq
FD	1.73E+04	2.84E+03	-3.64E+03	6.60E+02	1.72E+04	1.07E-02	kg oil eq

4.4 การแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

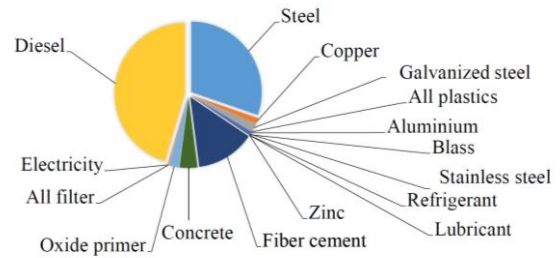
ในการแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์แต่ละผลกระทบ ดังแสดงในรูปที่ 9 (ก) – (ญ) จากผลการศึกษา พบว่า ผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 9 (ก) เป็นผลมาจากการใช้สารทำงาน R-245fa 38% เหล็ก 15% เหล็กกล้าไนซ์ 24% เหล็ก 15% พลาสติก 13% และอื่น ๆ ด้านการลดลงของชั้นโอโซน ดังแสดงในรูปที่ 9 (ข) ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซลในการขนส่ง 45% การใช้เหล็กในการทำโครงสร้าง 30% และอื่น ๆ 5% ผลกระทบด้านการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์และการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 9 (ค) (ช) และ (ฉ) เป็นผลมาจากเหล็กมากกว่า 90% ทองแดง 4% และอื่น ๆ 6% ผลกระทบด้านการเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันและการเกิดภาวะฝนกรด ดังแสดงในรูปที่ 9 (ง) และ (จ) เป็นผลมาจากเหล็กประมาณ 85% เหล็กกล้าไนซ์ 6% ทองแดง 4% และอื่น ๆ 5% ด้านการเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืดและการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน การลดลงของเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 9 (ฉ) และ (ช) เป็นผลมาจากการเหล็ก 75% สารกรองและเหล็กกล้าไนซ์ประมาณ 20% และอื่น ๆ 5% ผลกระทบด้านการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล เป็นผลมาจาก

การใช้เหล็ก 25% เหล็กกล้าไนซ์ 32% พลาสติก 29% และอื่น ๆ 9% ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาวัสดุที่ทำให้เกิดผลกระทบส่วนใหญ่มาจากการใช้เหล็กที่ใช้ในการทำโครงสร้างของอุปกรณ์ในระบบ เนื่องจากการออกแบบระบบเพื่อให้มั่นคงและใช้งานได้ยาวนาน จึงมีการใช้เหล็กในปริมาณที่สูง และโครงสร้างที่ใช้ในการทำโรงเรือน เหล็กกล้าไนซ์ที่ใช้ในระบบส่งจ่ายน้ำพूर้อน โพลีสไตรีนโฟม (พลาสติก) ที่ใช้ทำผนังห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ สารทำงาน R-245fa ในระบบการผลิตไฟฟ้า และเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการขนส่งวัสดุ

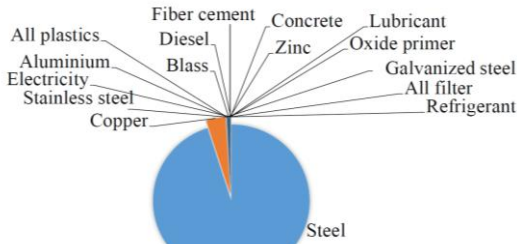
จากผลการศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ นำมาทำการเมื่อเปรียบเทียบกับโรงไฟฟ้าประเภทอื่น ๆ ในประเทศไทย พบว่า การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนได้พิภพมีค่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่ากับ 0.0132 kg CO₂ eq/kWh ซึ่งมีค่าน้อยกว่างานวิจัยของชานนท์ [18] ที่ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้าจากแกลบเท่ากับ 0.8063 kg CO₂ eq/kWh การผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อย 0.4140 kg CO₂ eq/kWh และมีค่าน้อยกว่างานวิจัยของเนตรชนากานต์ และเศรษฐ์ [19] ที่ทำการประเมินผลกระทบจากการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์เท่ากับ 0.9305 kg CO₂ eq/kWh



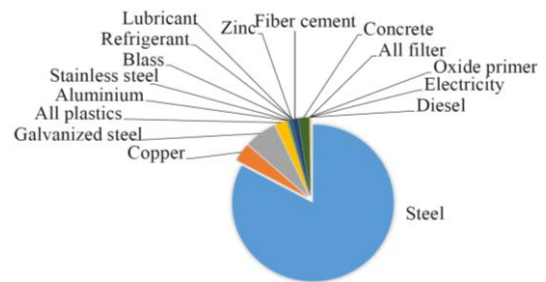
(ก) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ



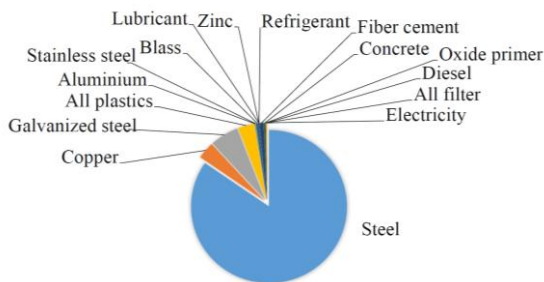
(ข) การลดลงของชั้นโอโซน



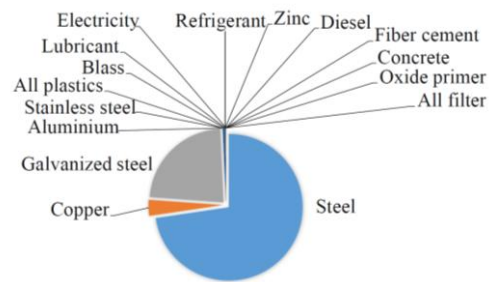
(ค) การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์



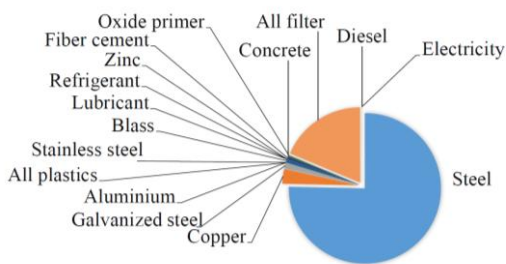
(ง) การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน



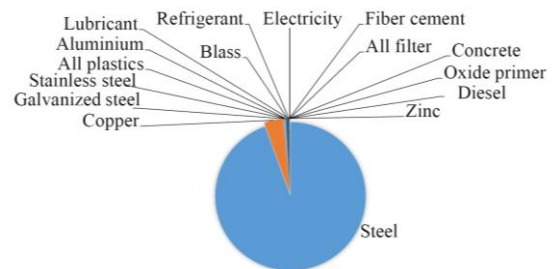
(จ) การเกิดภาวะฝนกรด



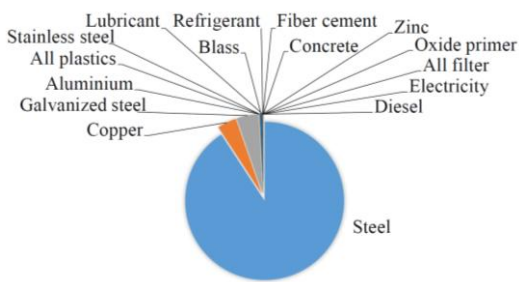
(ฉ) การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืด



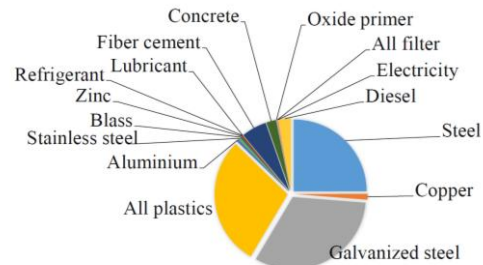
(ช) การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน



(ซ) การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ



(ฅ) การลดลงของเหล็ก



(ฉ) การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล

รูปที่ 11 ผลกระทบที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

อนึ่งเมื่อนำผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่คล้ายคลึงกัน เพื่อทวนสอบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่า การปล่อยผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพของ Frick et al. [2] ที่ใช้ฐานข้อมูล Ecoinvent data 2.0 และอายุการใช้งาน 30 y พบว่า มีการปล่อยผลกระทบในกระบวนการสร้างประมาณ 98.23% การใช้งาน 1.6% และการกำจัดซาก 0.9% Florian et al. [3] ที่ทำการประเมินโดยใช้ฐานข้อมูล Ecoinvent data 2.2 และ PROBAS ซึ่งโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพมีอายุการใช้งานที่ 30 y พบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นผลมาจากกระบวนการใช้งาน โดยส่งผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 13.5% ด้านการเกิดภาวะความเป็นกรด 31% และด้านการผิปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด 25.5% Gambao et al. [15] ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพที่มีอายุการใช้งาน 25 y โดยใช้โปรแกรม SimaPro 7 จากผลการศึกษาพบว่าผลกระทบส่วนใหญ่เป็นผลมาจากกระบวนการขุดเจาะ และการรั่วไหลของสารทำงาน Marchand et al. [16] ทำการประเมินโดยใช้ฐานข้อมูลจาก IPCC, ReCiPe และ CML2 ซึ่งระบบมีอายุการใช้งานที่ 30 y

จากผลการศึกษาพบว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจากกระบวนการสร้างและติดตั้ง รองลงมาคือกระบวนการใช้งาน และการกำจัดซาก ตามลำดับ และ Lacirignola and blanc [17] ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพที่มีอายุการใช้งาน 25 y โดยใช้ฐานข้อมูล Ecoinvent data 2.2 โดยผลการศึกษาที่มีผลที่ใกล้เคียงและไปในแนวทางเดียวกันกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ จากผลการศึกษาของงานวิจัยต่าง ๆ ข้างต้น พบว่า ผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ มีค่าที่ได้จากการประเมินที่ใกล้เคียงและไปในแนวทางเดียวกันกับงานวิจัยอื่น ๆ แต่เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า เนื่องจาก การขุดเจาะน้ำพุร้อนสำหรับประเทศไทยและของงานวิจัยนี้ เป็นการขุดเจาะระดับตื้น (ไม่เกิน 300 m) ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของต่างประเทศที่ทำการขุดเจาะระดับลึก (ในช่วง 2-3 km) จึงทำให้ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ได้ของงานวิจัยนี้ มีค่าน้อยกว่างานวิจัยต่าง ๆ เล็กน้อย แต่ทั้งนี้ ในส่วนของห้องอบแห้งพลังงานความร้อนใต้พิภพ ไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม มีเพียง การสร้างและทดสอบ [5,8] จึงทำให้ในการทวนสอบผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน ไม่มีผลจากงานวิจัยใด ๆ ใช้ในการทวนสอบและเปรียบเทียบ

ตารางที่ 5 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ (หน่วยการทำงาน 1 kWh)

Environment impact	Panisa et al. [14]	Frick et al. [2]	Florian et al. [3]	Gambao et al. [15]	Marchand et al. [16]	Lacirignola and blanc [17]
CC	1.32E-02	5.66E-01	9.72E-02	5.79E+00	4.70E-02	4.98E-02
OD	1.50E-09	-	-	9.39E-05	-	-
HT	1.09E-02	-	-	-	-	-
PMF	5.91E+01	-	-	-	-	-
TA	2.94E-05	1.08E-03	1.79E-04	1.20E-02	1.95E-03	-
FE	6.29E-06	5.99E-05	2.35E-05	4.17E-01	1.68E-06	-
TET	1.76E-05	-	-	-	-	-
FET	1.84E-04	-	-	-	-	-
MD	7.82E-03	-	-	-	-	-
FD	2.20E-03	-	-	-	-	-

5. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม มีแนวทางในการลดผลกระทบที่เกิดขึ้น ดังต่อไปนี้

1. การลดผลกระทบที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าควรมุ่งเน้นไปที่การลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. การลดผลกระทบที่เกิดจากการผลิตความร้อนของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ควรคว้สตุที่ใช้ในการทำผนังห้อง และพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลม เพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

- โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้สุทธิ 6.73 kW_e และสามารถผลิตพลังงานความร้อนได้สุทธิ 22.06 kW ที่ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้ารวมความร้อนเท่ากับ 24.97%

- การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีค่าเท่ากับ 5.60E-02 kg CO₂ eq/MJ

- การลดลงของชั้น โอโซนมีค่าเท่ากับ 2.62E-09 kg CFC-11 eq/MJ

- การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์มีค่าเท่ากับ 6.91E-01 kg 1,4-DB eq/MJ

- การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันมีค่าเท่ากับ 2.67E-04 kg PM10 eq/MJ

- การเกิดภาวะฝนกรดมีค่าเท่ากับ 8.51E-04 kg SO₂ eq/MJ

- การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืดมีค่าเท่ากับ 2.01E-04 kg P eq/MJ

- การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดินมีค่าเท่ากับ 4.04E-05 kg 1,4-DB eq/MJ

- การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำมีค่าเท่ากับ 6.79E-03 kg 1,4-DB eq/MJ

- การลดลงของเหล็กมีค่าเท่ากับ 1.89E-01 kg Fe eq/MJ

- การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลมีค่าเท่ากับ 1.07E-02 kg oil eq/MJ

โดยพิจารณาแต่ละกระบวนการ พบว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นสูงสุด คือ กระบวนการสร้างประมาณ 82.63% รองลงมา คือ กระบวนการกำจัดซากด้วยวิธีการฝังกลบประมาณ 13.22% และต่ำที่สุด คือ กระบวนการใช้งานโดยเฉลี่ยประมาณ 4.15%

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้ โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และ โครงการ การผลิตไฟฟ้า ร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบขั้นบันได จากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและพลังงานปี 2560 กระทรวงพลังงาน ที่มอบทุนการสนับสนุนสำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

8. รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน (kW, kJ)
W	กำลังไฟฟ้า (kW)
ตัวกรีก	ความหมาย
η	ประสิทธิภาพ (%)
ตัวห้อย	ความหมาย
CLW	Clean water pump
CHP	Combined heat and power
CP	Cooling pump
e	Electricity
Exp	Expander
G	Gross power output
HS	Heat source
HW	Hot water
N	Net power output

OP	Oil pump	RP	Refrigerant pump
ORC	Organic Rankine cycle		

เอกสารอ้างอิง

- [1] Clark, C., Sullivan, J., Harto, C., Han, J., and Wang, M. Life Cycle Environmental Impacts of Geothermal Systems, PROCEEDINGS, Thirty-Seventh workshop on geothermal reservoir engineering Stanford University, Stanford, California, 30 January – 1 February 1, 2012.
- [2] Frick, S., Kaltschmitt, M., and Schröder, G. Life Cycle Assessment of Geothermal Binary Power Plants Using Enhanced Low-Temperature Reservoirs, *Energy*, 2010; 35: 2281-2294.
- [3] Florian, H., Christopher, S., and Dieter, B. (2016). Life cycle assessment of Organic Rankine Cycles for geothermal power generation considering low-GWP working fluids, *Geothermics*, vol. 64, November 2016, pp. 392-400.
- [4] Martínez-Corona, J. I., Gibon, T., Hertwich, E., and Parra-Saldívar, R. Hybrid Life Cycle Assessment of a Geothermal Plant: From Physical to Monetary Inventory Accounting, *Journal of Cleaner Production*, 2017; 142: 2509-2523.
- [5] นัฐพร ไชยญาติ และ ชัชวาลย์ ชัยชนะ. ห้องอบแห้งพลังงานความร้อนใต้พิภพ (Drying Room from Geothermal Energy). การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการครั้งที่ 8, 12-13 มีนาคม, ณ โพธิ์วัดลรีศรีธรรม แอนด์ สปา เชียงราย, 2552.
- [6] สุรศักดิ์ เทียบรัตน์. การอบแห้งพริกและกระเทียมโดยใช้พลังงานความร้อนทิ้งจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, จังหวัดกรุงเทพมหานคร, 2540.
- [7] เชิดชัย อุทธากิจ. การอบแห้งดินหอมแบ่งโดยใช้พลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, จังหวัดกรุงเทพมหานคร, 2538.
- [8] Chaiyat, N., Chaichana, C., and Singharajwarapan, F.S. Geothermal Energy Potentials and Technologies in Thailand. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, 2014; 4: 1-9.
- [9] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2557. พลังงานความร้อนใต้พิภพ. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, สารานุกรมพลังงานทดแทน, กรุงเทพมหานคร. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://ienergyguru.com/2015>
- [10] นัฐพร ไชยญาติ. การออกแบบระบบพลังงานทดแทน (Renewable Energy System Design). วิทยาลัยพลังงานทดแทน, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, สำนักพิมพ์: มหาวิทยาลัยแม่โจ้, พิมพ์ครั้งที่ 3, 2560.
- [11] เศรษฐ์ สัมภักดิ์ตะกุล (2555). การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment of Products). [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: https://www.researchgate.net/profile/Sate_Sampattagul/publication/303793131_Life_Cycle_Assessment_of_Products_karprameinwadcacrchiwitkhngphlitphanth/links/5752ba5808ae17e65ec3924d/LifeCycleAssessmentofProductsakarprameinwadcacrchiwitkhngphlitphanth.pdf
- [12] ห้องวิจัยการออกแบบและเทคโนโลยีด้านอุณหภาพ (Thermal Design and Technology Laboratory) (2561). *ระบบตรวจวัดและแสดงผลการทำงานอัจฉริยะ*. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.tdetlab.com>.
- [13] Goedkoop, M. J., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., Van Zelm, R. ReCiPe 2008: a Life Cycle Impact Assessment Method which Comprises Harmonised Category Indicators at the Midpoint and the Endpoint Level. First edition (version 1.08) Report I: Characterisation, 2017.

- [14] ปาณิสสา อ่อนดอกไม้, นัฐพร ไชยญาติ, จุฑาภรณ์ ชนะถาวร, วรรมมล เลิศจตุรานนท์ และสุรัตน์ เศษโพธิ์. การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อน สันกำแพง อำเภอแม่ฮ่องสอน ตามพระราชดำริ. การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3, 24 - 25 พฤษภาคม, ณ โรงแรม ลอฟท์ มาเนีย บูทีก โฮเทล, จังหวัดชุมพร, 2561.
- [15] Gamboa, M., Iribarren, D., and Dufourab, J. On the Environmental Suitability of High- and Low-Enthalpy Geothermal Systems. *Geothermics*, 2017; 53: 27–37.
- [16] Marchand, M., Blanc, I., Marquand, A., Beylot, A., Courtade, S., and Hervé Traineau, H. Life Cycle Assessment of High Temperature Geothermal Energy Systems. *Proceedings World Geothermal Congress 2015, April 19-25, Melbourne, Australia, 2015.*
- [17] Lacirignola, M. and Blanc, I. Environmental Analysis of Practical Design Options for Enhanced Geothermal Systems (EGS) Through Life-Cycle Assessment. *Renewable Energy*, 2013; 50: 901-91.
- [18] ชานนท์ จันทร์วงศ์. การประเมินและการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ระหว่าง โรงไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ กับ โรงไฟฟ้าชีวมวลจากแกลบ, ชานอ้อย. *นเรศวรวิจัย ครั้งที่ 13: วิจัยและนวัตกรรม ขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคม*, 20-11 กรกฎาคม, ณ อาคารเอกาทศรถ, มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก, 2560.
- [19] เนตรชนากานต์ สุนันดา และเศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม*, 2560; 1-14.