

การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ
ของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่ออน ตามพระราชดำริ

Life Cycle Assessment of Organic Rankine Cycle Power Plant from Geothermal Energy of
Sankamphaeng Hot Spring, Mae-On District, under the Royal Initiative of His Majesty the King

ปานิสดา อ่อนดอกไม้¹ นัฐพร ไชยญาติ^{1*} จุฑาภรณ์ ชนะถาวร¹ วรรณมล เลิศจตุรานนท์¹ และ สุรัตน์ เศษโพธิ์²
Panisa Ondokmai¹, Nattaporn Chaiyat^{1*}, Jutaporn Chanathaworn¹, Wassamol Lerdjaturanon¹
and Surat Sedpho²

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

²วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา

¹School of Renewable Energy, Maejo University

²School of Energy and Environment, University of Phayao

* Corresponding author: benz178tii@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ โดยใช้แหล่งความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่ออน ตามพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีขนาดการผลิตไฟฟ้า 15 kW_e สารทำงานที่ใช้ คือ 1,1,1,3,3-Pentafluoropropane (R-245fa) อุณหภูมิของน้ำพุร้อนที่ 105°C และอัตราการไหลเชิงมวล 2.2 L/s เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าเป็นเวลา 20 y ทำการพิจารณาที่ผลกระทบชั้นกลางทั้งหมด 10 ประเภท และหน่วยการทำงานคือ 1 kWh จากการศึกษพบว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 1.35E-02 kg CO₂ eq/kWh การลดลงของชั้นโอโซน 1.50E-09 kg CFC-11 eq/kWh ภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ 1.11E-02 kg 1,4 DB eq/kWh การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน 1.89E-05 kg PM10 eq/kWh ภาวะความเป็นกรด 2.99E-05 kg SO₂ eq/kWh การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืด 6.41E-06 kg PO₄eq/kWh ภาวะที่เป็นพิษต่อดิน 3.38E-06 kg 1,4 DB eq/kWh การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ 1.91E-04 kg 1,4 DB eq/kWh การลดลงของเหล็ก 8.61E-03 kg Fe eq/kWh และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล 2.33E-03 kg oil eq/kWh เมื่อพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งาน ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการใช้วัสดุประเภทเหล็กกล้าจำนวน 7,103 kg ทองแดง (Copper) จำนวน 358 kg และเหล็ก (Steel) จำนวน 3,327 kg ในกระบวนการสร้างและติดตั้งโรงเรือน ระบบผลิตไฟฟ้า และระบบจ่ายน้ำพุร้อน

คำสำคัญ: การประเมินวัฏจักรชีวิต โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ พลังงานความร้อนใต้พิภพ

Abstract

This research was to study life cycle assessment of organic Rankine cycle (ORC) power plant from geothermal energy of Sankamphaeng hot spring, Mae-on District, under the royal initiative of His Majesty the King, Chiang Mai province, Thailand. The capacity of the ORC was 15 kW_e, 1,1,1,3,3-pentafluoropropane (R-245fa) was selected as working fluid of the ORC system, hot spring temperature was 105°C and mass flow rate was 2.2 L/s, for considering the environmental impact of the electrical generation at 20 y. The midpoint impact was considered as 10 categories and the

functional unit was 1 kWh. From the study results, climate change was 1.35E-02 kg CO₂ eq/kWh, ozone depletion was 1.50E-09 kg CFC-11 eq/kWh, human toxicity was 1.11E-02 kg 1,4 DB eq/kWh, particulate matter formation was 1.93E-05 kg PM10 eq/kWh, terrestrial acidification was 2.99E-05 kg SO₂ eq/kWh, freshwater eutrophication was 6.41E-06 kg PO₄eq/kWh, terrestrial ecotoxicity was 3.38E-06 kg 1,4 DB eq/kWh, freshwater ecotoxicity was 1.91E-04 kg 1,4 DB eq/kWh, metal depletion was 8.61E-03 kg Fe eq/kWh and fossil depletion was 2.33E-03 kg oil eq/kWh. The most LCA effect came from the galvanized steel was 7,103 kg, copper was 358 kg and steel was 3,327 kg for construction and installation phase of building, power generation system and hot spring system.

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

บทนำ

พลังงานความร้อนใต้พิภพเป็นพลังงานที่ผลิตได้จากพลังงานความร้อนในรูปของน้ำใต้ดิน หรือน้ำพุร้อนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากการสำรวจในประเทศไทยพบว่า มีจำนวนทั้งหมด 97 แหล่งทั่วประเทศ และพบมากในเขตภาคเหนือ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557) ซึ่งส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงการท่องเที่ยวและนันทนาการ เช่น กิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน ตามพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่ มีอุณหภูมิน้ำพุร้อนผิวดินประมาณ 105°C ถือว่ามีศักยภาพความร้อนใต้พิภพค่อนข้างสูง แต่ในทางกลับกันมีการนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงการท่องเที่ยวเพียงอย่างเดียว ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดในการนำพลังงานความร้อนใต้พิภพมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด และตอบสนองต่อเป้าหมายของแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ ในการเพิ่มการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกภายใต้แผน AEDP2015 เป็น 30% ในปีพ.ศ. 2579 (กระทรวงพลังงาน, 2558) และเป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เนื่องจากพลังงานความร้อนใต้พิภพเป็นพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตามในการสร้างโรงไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้ามีการใช้วัสดุ พลังงาน หรือสารเคมีต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในการสร้างโรงไฟฟ้าจึงมีความจำเป็นที่ต้องทำการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีการนำหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA) มาประยุกต์ใช้ในการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้า เช่น Bravi and Basosi (2014) ได้ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพในอิตาลี โดยพิจารณาการปล่อยมลพิษทางอากาศ จากการศึกษาพบว่า การเกิดภาวะโลกร้อนเฉลี่ย 693 kg CO₂ eq/MWh ภาวะเป็นกรดมีค่าเฉลี่ย 12.5 kg SO₂ eq /MWh และการเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์มีค่าเฉลี่ย 5.9 kg 1,4 DB eq/MWh Intaniwet and Chaiyat (2017) ได้ทำการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการประยุกต์ใช้วัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลและพลังงานขยะ พบว่า มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.6078 kg CO₂ eq/kWh เนตรชนกานต์ และ เศรษฐ์ (2560) ได้ทำการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ พบว่า มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.9305 kg CO₂ eq/kWh Lacirignola and Blanc (2013) ได้ทำการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมของการออกแบบระบบเสริมพลังงานความร้อนใต้พิภพด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิต มีการเปรียบเทียบค่า 10 กรณี พบว่า ใน 10 กรณี มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 16.9-49.8 g CO₂ eq/kWh ขณะที่ความต้องการใช้ทรัพยากรพลังงานอยู่ระหว่าง 272-785 kJ/kWh ทั้งนี้ยังพบว่าการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และระบบนิเวศน้อยมาก Buonocore et al. (2015) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้

พิกขแบบระบบไอน้ำแห้ง (Dry steam power plant) ในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 2.48E-01 kg CO₂ eq/kWh การทำให้เกิดภาวะฝนกรด 5.62E-09 kg SO₂ eq/kWh การทำให้เกิดแร่ธาตุในน้ำมากเกินไป 8.51E-03 kg NO_x eq/kWh การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ 1.12E-02 kg 1,4-DCB eq/kWh การเกิดภาวะก่อตัวของสารโฟโตเคมีคอลออกซิแดนซ์ 1.65E-05 kg ethylene eq/kWh และการลดลงของชั้นโอโซน 5.62E-09 kg CFC-11 eq/kWh เป็นต้น Martínez-Corona et al. (2017) ได้ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 1.35E-03 kg CO₂ eq/kWh การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล 4.41E-04 kg oil eq/kWh การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืด 1.62E-05 kg 1,4-DCB eq/kWh การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ 2.94E-04 kg 1,4-DCB Eq/kWh การลดลงของเหล็ก 4.17E-04 kg Fe-Eq/kWh การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน 2.15E-06 kg PM10 Eq/kWh และการเกิดภาวะความเป็นกรดในดิน 5.96E-06 kg SO₂ Eq

จากงานวิจัยที่กล่าวมาในข้างต้นยังไม่ม้งานวิจัยใดที่ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพงฯ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่ต้องการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ และทำการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมกับการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมภายใต้มาตรฐาน ISO 14040

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine cycle, ORC)

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เป็นระบบที่ใช้สารทำงานในกลุ่มสารอินทรีย์ (Organic) โดยมีหลักการทำงานสำหรับการผลิตไฟฟ้าดังแสดงใน Figure 1 เริ่มต้นจากการนำน้ำพุร้อนมาถ่ายเทความร้อนให้แก่น้ำสะอาดผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นถอดได้ (Plate heat exchanger) เพื่อนำน้ำร้อนไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เมื่อของไหลที่ผ่านกระบวนการควบแน่นในเครื่องควบแน่น (Condenser) เป็นของเหลวอิ่มตัว สารทำงานจะถูกอัดตัวโดยปั๊ม (Refrigerant pump) เข้าสู่หม้อต้ม (Boiler) ซึ่งจะทำให้สารทำงานเป็นไออิ่มตัวและเป็นไอร้อนยวดยิ่ง จากนั้นจะเข้าสู่เครื่องขยายตัว (Expander) และผลิตงานโดยการขับเพลลาที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Alternator) ทำให้ความดันและอุณหภูมิของไหลลดลงบริเวณทางออกของกังหันซึ่งอยู่ในสถานะของผสม จากนั้นจะไหลไปควบแน่นยังเครื่องควบแน่นเพื่อกลายเป็นของเหลวอิ่มตัวอีกครั้ง (รัฐพร, 2560)

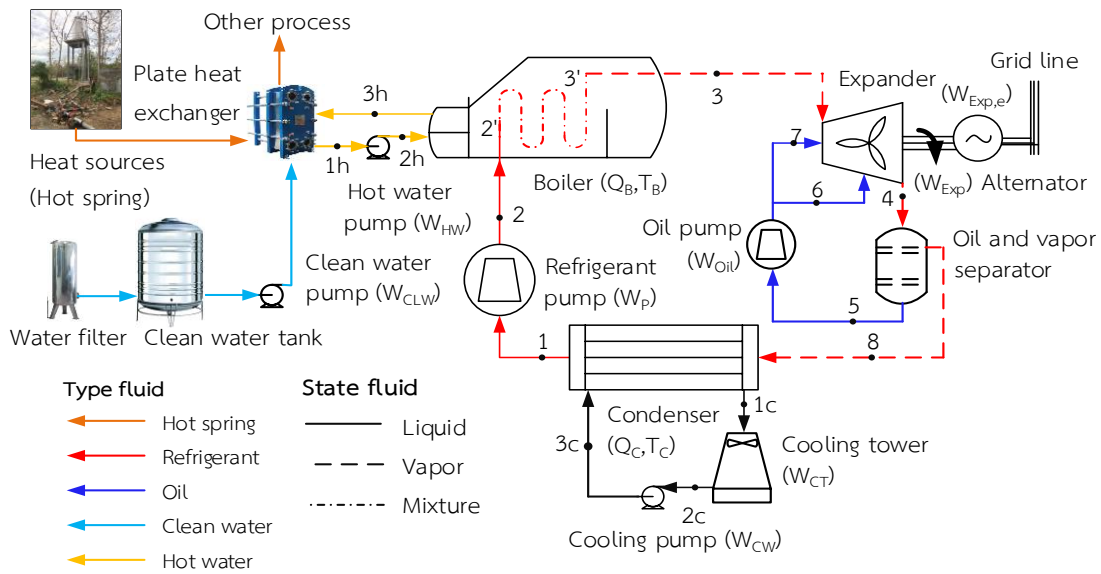


Figure 1 Schematic diagram of ORC system for electricity generation by using hot spring.

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment, LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ภายใต้มาตรฐาน ISO 14040

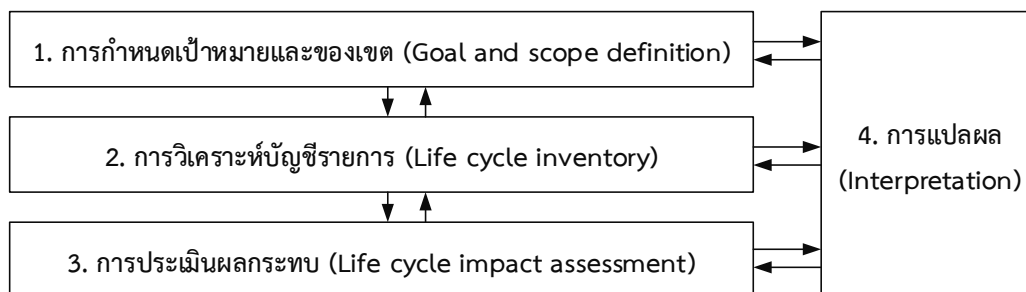


Figure 2 Life cycle assessment framework.

โดยพิจารณาตั้งแต่เริ่มต้นของกระบวนการ อาทิเช่น การได้มาซึ่งวัตถุดิบกระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งาน ผลิตภัณฑ์ และการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยระบุถึงปริมาณวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ ตลอดจนของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และระบบนิเวศต่าง ๆ ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก (เศรษฐ์, 2555) ดังแสดงใน Figure 2

วิธีการศึกษา

โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ ตั้งอยู่ที่กิจการน้ำพุร้อนสันกำแพงฯ ขนาดการผลิตไฟฟ้า 15 kW_e ใช้สารทำงาน 1,1,1,3,3-Pentafluoropropane (R-245fa) อุณหภูมิของน้ำพุร้อนที่ 105 °C อัตรา

การไหลเชิงมวล 2.2 L/s และอายุการใช้งานของโรงไฟฟ้า 20 y ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้หลักการของ LCA ซึ่งวิธีการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

- เป้าหมายของการศึกษา คือ เพื่อศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ที่ใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพเป็นแหล่งความร้อน
- ขอบเขตการศึกษาแบบ คือ แบบแครเดิล-ทู-เกรฟ (Cradle-to-Grave) ซึ่งพิจารณาตั้งแต่การใช้วัสดุพลังงาน และทรัพยากร ในกระบวนการขนส่ง กระบวนการสร้างและติดตั้ง กระบวนการใช้งาน และกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน แต่ทั้งนี้ไม่พิจารณาการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ดังแสดงใน Figure 3 โดยหน่วยการทำงาน (Functional unit, FU) คือ การผลิตไฟฟ้า 1 kWh

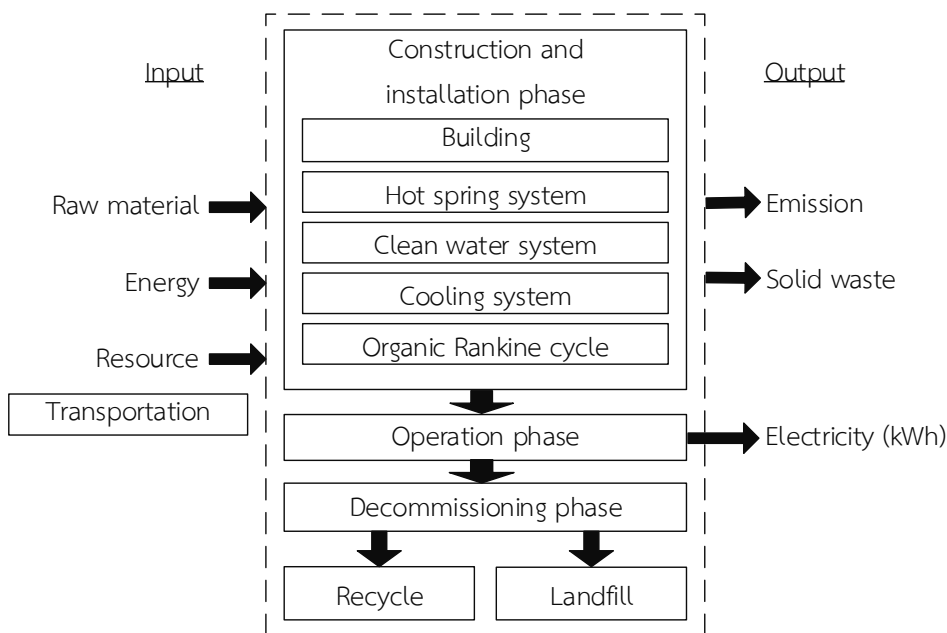


Figure 3 Life cycle assessment boundary.

การวิเคราะห์บัญชีรายการ โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณสารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ โดยเก็บรวบรวมตั้งแต่ปริมาณการใช้วัสดุ (Raw material) พลังงาน (Energy) ทรัพยากร (Resource) การขนส่ง (Transportation) และของเสียที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะแบ่งตามช่วงของกระบวนการออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ กระบวนการสร้างและติดตั้ง กระบวนการใช้งาน และกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ซึ่งภาพรวมโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพงฯ ดังแสดงใน Figure 4

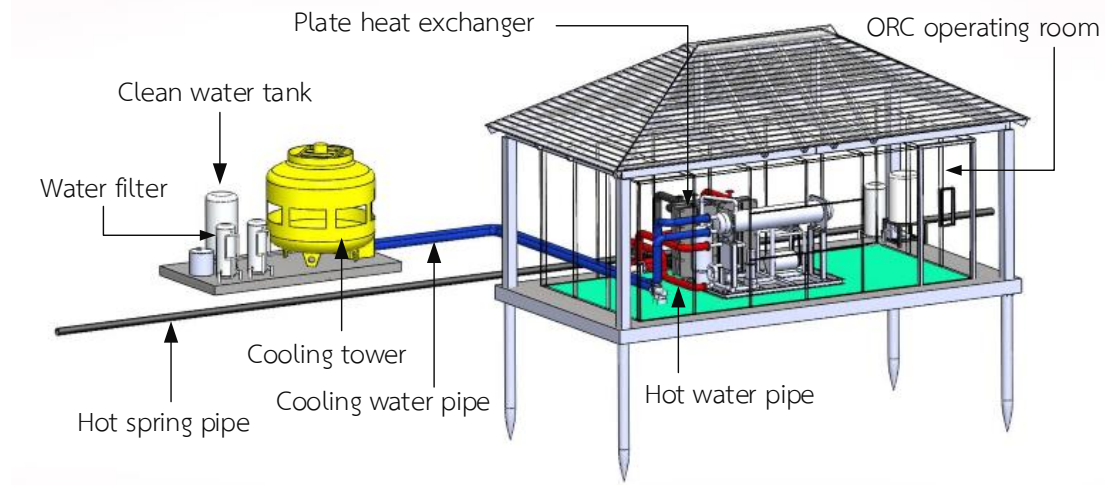


Figure 4 ORC power plant from geothermal energy of Sankamphaeng hot spring.

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ โดยใช้โปรแกรม SimaPro เวอร์ชัน 8.5.0 ด้วยวิธี ReCiPe (H)-Midpoint V.1.13 (Goedkoop et al. 2017) ซึ่งทำการพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมทั้งหมด 10 ประเภท ดังต่อไปนี้

- การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change, CC) ; kg CO₂ eq
- การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone depletion, OD) ; kg CFC-11 eq
- ภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (Human toxicology, HT) ; kg 1,4 DB eq
- การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน (Particulate matter formation, PMF) ; kg PM10 eq
- ภาวะความเป็นกรด (Terrestrial acidification, TA) ; kg SO₂ eq
- การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืด (Freshwater eutrophication, FE) ; kg PO₄eq
- ภาวะที่เป็นพิษต่อดิน (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

การคำนวณผลกระทบด้วยค่าการกำหนดบทบาท (Characterization factor) ซึ่งเป็นค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ได้จากโปรแกรม โดยสามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$LCIA_j = \sum(Q_i CF_j)$$

- เมื่อ $LCIA_j$ คือ ค่าการเกิดของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบ j (kg, กิโลกรัมเทียบเท่าของผลกระทบ j)
- Q_i คือ ปริมาณวัตถุดิบ i ที่ใช้ในกระบวนการ (kg ของวัตถุดิบ i)
- CF_j คือ ค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ตามการกำหนดบทบาทที่ได้จากโปรแกรม (kg, กิโลกรัมเทียบเท่าของผลกระทบ j ต่อกิโลกรัมของวัตถุดิบ i)


การแปลผล (Interpretation) ซึ่งนำผลข้อมูลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมารวบรวมสรุปผล ผลกระทบที่เกิดขึ้น และเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมกับการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยและงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ผลและการอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการ

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลและคำนวณปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ มีรายละเอียดดังแสดงใน Table 1




Table 1 Life cycle inventory of geothermal power plant.

Components	Raw material and energy	Quantity	Unit	
Construction and installation phase				
<u>Input</u>				
Structural of Building 	Eucalyptus (Bark, softwood)	162	kg	
	Structural Steel (Steel, low-alloyed, hot rolled)	2,161.32	kg	
	Floor, column, beam (Cement mortar)	4,140	kg	
	Floor, column, beam (Sand, gravel and stone)	25,736	kg	
	Floor, column, beam (Water, fresh)	2.28	m ³	
	Column (Galvanized steel)	100	kg	
	Flashing tape (Polycarbonate)	12.96	kg	
	Plastic cover plate (Polyethylene)	13.5	kg	
	Glass (Flat glass, uncoated)	10	kg	
	Tile roof (Fiber cement roof state)	2,193	kg	
	Eaves (Fiber cement)	158.04	kg	
	Oxide primer (Paint and coating)	46.71	kg	
	Brush (Broom, brush, and mop)	2	kg	
	Insulation board (Polystyrene foam)	696.6	kg	
	Insulation panels (Galvanized steel)	25.92	kg	
	Screws (Steel, low-alloyed, hot rolled)	15.75	kg	
	Purlin (Zinc, sheet)	142.56	kg	
	Hip rafter (Fiber cement)	71.28	kg	
	Control system (Steel, low-alloyed, hot rolled)	41.42	kg	
	Control system (Galvanized steel)	3.6	Kg	
	Control system (Copper)	15	Kg	
	Control system (Aluminium)	10	kg	
	Floor (Epoxy)	8	kg	
	Other material	5.4	kg	
	Electricity	20	kWh	
	Hot spring systems	Pipe (Galvanized steel)	6,933.70	kg
		Valve (Brass)	18	kg
Clean water system	Plate heat exchanger (Stainless steel)	114	kg	
	Water tank, Water filter (Stainless steel)	80	kg	

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management,
Business Administration, Engineering, Science and Technology



Components	Raw material and energy	Quantity	Unit	
	Pipe (Galvanized steel)	40	kg	
	Valve (Brass)	3	kg	
	Pipe (PVC)	22.8	kg	
	Cooling tower (Glass fiber reinforced plastic)	220	kg	
	Reinforcing steel	40	kg	
	Pump (Brass)	5	kg	
	Fan motor (Stainless steel hot rolled coil)	40	kg	
	Fan blade (Aluminium alloy)	9.5	kg	
	Floor (Cement mortar)	480	kg	
	Floor (Sand, gravel and stone)	4,031	kg	
	Floor (Water, fresh)	0.4	m ³	
	Pipe (PVC)	27.36	kg	
	<p>ORC</p>  	Equipment structural, Plate heat exchanger (Steel, low-alloyed, hot rolled)	1,150	kg
Alternator, Boiler (Copper)		114.1	kg	
Condenser, Vapor and oil separator, (Copper tube, technology mix)		213.4	kg	
Condenser (Galvanized steel sheet)		7.5	kg	
Glass (Flat glass, uncoated)		0.3	kg	
Gauge (Aluminum, production mix)		0.5	kg	
Pump, boiler, Valve (Stainless steel hot rolled coil)		126	kg	
Valve (Brass)		23	kg	
Glass fiber		3	kg	
Oxide primer (Paint and coating)		23.5	kg	
Other		4.5	kg	
Transportation		Fuel (Diesel, fuel/oil)	500	L
<u>Output</u>		Eucalyptus (Bark, softwood)	-162	kg
	Tile roof (Fiber cement roof state)	-110	kg	
	Iron scrap	-20	kg	
Operation phase				
	<u>Input</u>			
Raw material	Hot spring (Water hot spring)	11,088	m ³	
	Water (Water, fresh)	50	m ³	
	Resin	50	kg	
	Refrigerant leak at 1 kg/y (R-245fa)	20	kg	
	Oil	80	L	
<u>Output</u>	Power generation (Gross power output)	15	kW _e	
Decommissioning phase				
Recycle	Steel	-1,416	kg	
	Galvanized steel	-7,045	kg	
	Stainless steel	-320	kg	

Components	Raw material and energy	Quantity	Unit
Landfill	Brass	-31	kg
	Aluminum	-25	kg
	Copper	-142.56	kg
	Zine	-373	kg
	Steel	2,026	kg
	All other material floor (Concrete)	40,860	kg
	Plastic	306	kg
	All other material roof (Fiber cement)	2,312	kg
	Galvanized steel	26	kg
	Glass (Flat glass, uncoated)	10	kg
	Resin	50	kg

ผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต

จากผลการวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิต นำมาประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ โดยวิธี ReCiPe (H)-Midpoint V.1.13 ซึ่งได้ทำการประเมินผลกระทบชั้นกลางทั้งหมด 10 ประเภท ในขอบเขตแบบแกรเดิล-ทู-เกรฟ ผลการศึกษาพบว่า ผลกระทบรวมที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างและติดตั้งดังแสดงใน Figure 5 เมื่อพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการใช้วัสดุประเภทเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized steel) จำนวน 7,103 kg ทองแดง (Copper) จำนวน 358 kg และเหล็ก (Steel) จำนวน 3,327 kg เป็นต้น จึงส่งผลให้เกิดผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ การลดลงของเหล็ก และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลสูง Figure 6 แสดงผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการใช้งาน ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเป็นการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์มีการใช้สารทำงาน R-245fa ซึ่งเป็นสารเคมีสังเคราะห์จึงเป็นผลทำให้ในกระบวนการใช้งานที่มีค่าผลกระทบในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่สูง และ Figure 7 แสดงผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ซึ่งกระบวนการนี้เป็นกระบวนการสุดท้ายของการผลิตไฟฟ้า จากการวิเคราะห์บัญชีรายการเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานแล้วสามารถนำวัสดุบางส่วนกลับไปใช้งานได้ใหม่ โดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 49.27% จึงส่งผลให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการสุดท้ายมีค่าลดลง และส่วนที่เหลือประมาณ 50.73% นำไปฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล

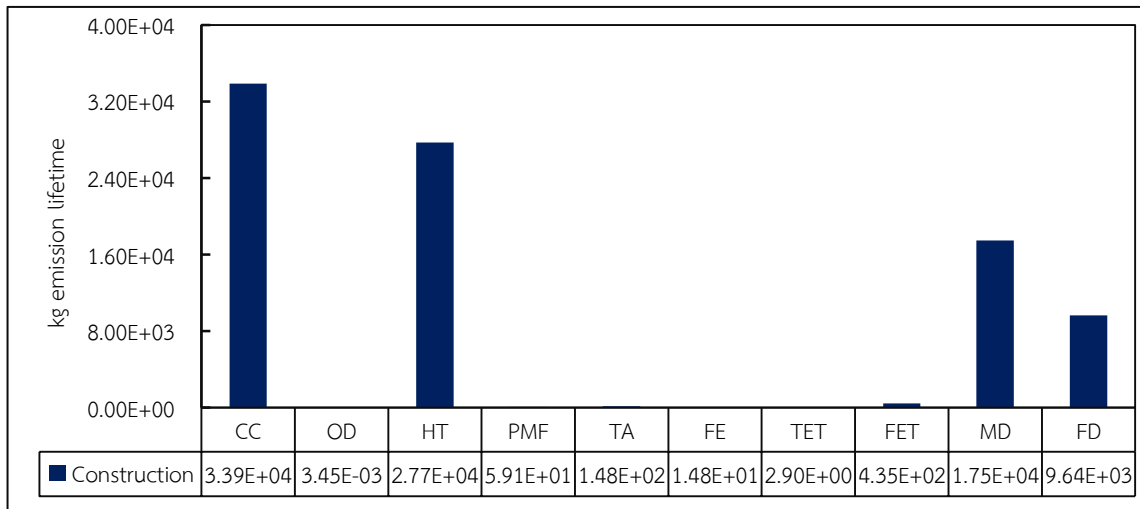


Figure 5 Environmental impact category of construction phase.

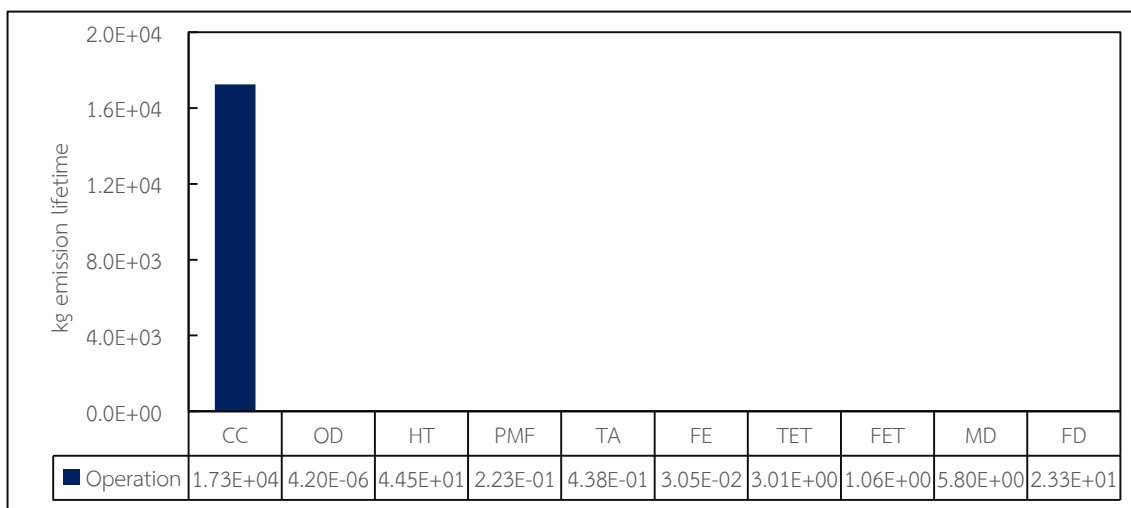


Figure 6 Environmental impact category of operation phase

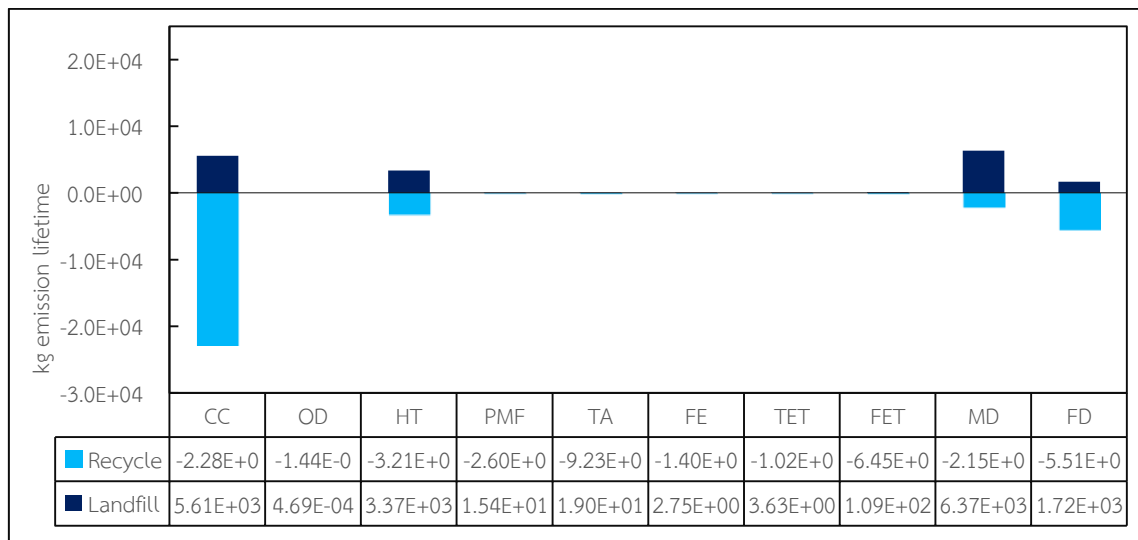


Figure 7 Environmental impact category of decommissioning phase

ผลการแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาด 15 kW_e เป็นเวลา 20 y โดยมีระยะเวลาการทำงาน 24 h/d และ 350 d/y สามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมดสุทธิ 2,520,000 kWh/lifetime จากการผลการแปลผลกระทบดังแสดงใน Table 2 พบว่า ผลกระทบส่วนใหญ่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างและติดตั้ง (Construction and installation phase) โดยเฉลี่ยประมาณ 75.65% รองลงมาคือกระบวนการใช้งาน (Operation phase) โดยเฉลี่ยประมาณ 6.34% และกระบวนการกำจัดซาก (Decommissioning phase) โดยเฉลี่ยประมาณ 18.01% ทั้งนี้เมื่อนำค่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือเรียกอีกอย่างว่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนที่มีค่า 1.35E-02 kg CO₂ eq /kWh ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยที่มีค่า 6.093E-1 kg CO₂ eq /kWh (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2559) ซึ่งพบว่ามีค่าน้อยกว่ามาก

Table 2 Characterized impacts of electricity generation at 1 kWh from ORC power plant.

Impact category	Contribution (%)			Total emission	Total emission 1 kWh	Unit
	Cons ¹	Oper ¹	Decom ³			
Climate change (CC)	59.70	30.41	9.89	3.39E+04	1.35E-02	kg CO ₂ eq
Ozone depletion (OD)	87.93	0.11	11.97	3.77E-03	1.50E-09	kg CFC-11 eq
Human toxicology (HT)	89.04	0.14	10.82	2.79E+04	1.11E-02	kg 1,4 DB eq
Particulate matter formation (PMF)	79.10	0.30	20.60	4.88E+01	1.93E-05	kg PM10 eq
Terrestrial acidification (TA)	88.42	0.26	11.32	7.54E+01	2.99E-05	kg SO ₂ eq
Freshwater eutrophication (FE)	84.19	0.17	15.64	1.61E+01	6.41E-06	kg PO ₄ eq
Terrestrial ecotoxicity (TET)	30.37	31.57	38.05	8.51E+00	3.38E-06	kg 1,4 DB eq
Freshwater ecotoxicity (FET)	79.81	0.19	20.00	4.81E+02	1.91E-04	kg 1,4 DB eq
Metal depletion (MD)	73.27	0.02	26.70	2.17E+04	8.61E-03	kg Fe eq
Fossil depletion (FD)	84.69	0.20	15.10	5.87E+03	2.33E-03	kg oil eq

Remark: ¹Construction and installation phase, ²Operation phase, ³Decommissioning phase

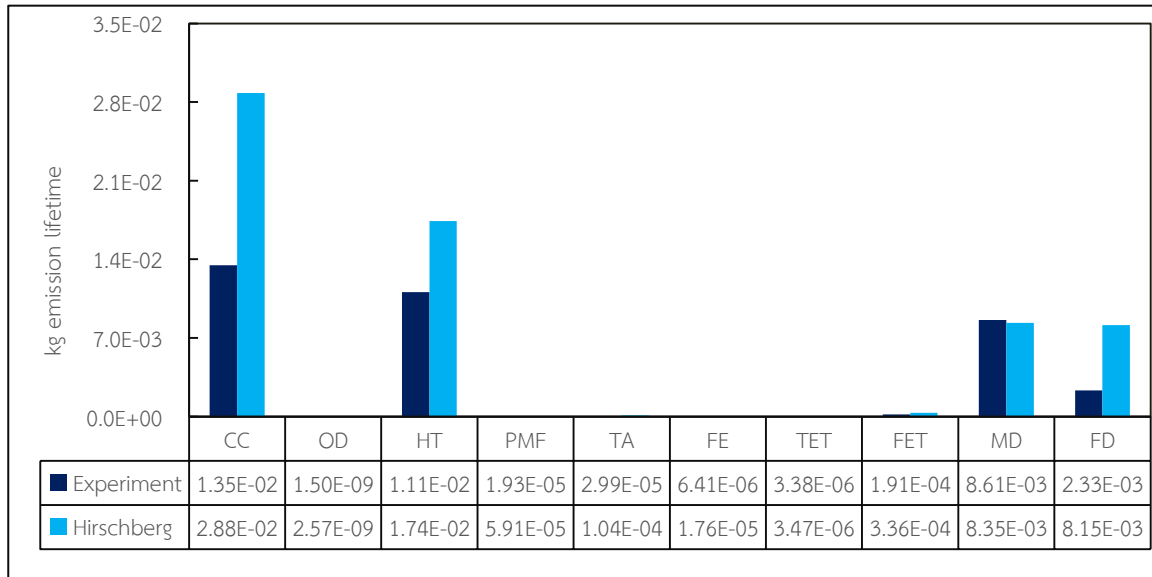


Figure 8 Comparison of life cycle assessments of geothermal power plant

จากผลการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ เมื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Hirschberg et al. (2015) ที่ได้ทำการศึกษาค่าประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศสวีเดน ซึ่งมีการศึกษาตั้งแต่ การใช้วัสดุ พลังงาน การขนส่ง ในกระบวนการขุดเจาะ การสร้าง การใช้งาน และการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน มีหน่วยการทำงานคือ 1 kWh ทำการประเมินด้วยวิธี ReCiPe Midpoints (H) ซึ่งผลการเปรียบเทียบดังแสดงใน Figure 8 และเมื่อทำการพิจารณาพบว่า ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่าทุกด้าน ยกเว้นการลดลงของเหล็ก เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้วัสดุประเภทเหล็กในทุกส่วนของโครงสร้างเพื่อความมั่นคงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการประเมินในกระบวนการขุดเจาะด้วย

สรุป

จากการศึกษาค่าประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพจากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพงฯ ขนาด 15 kW_e ที่ใช้สารทำงาน R-245fa เป็นเวลา 20 y พบว่า การผลิตไฟฟ้า 1 kWh มีการปล่อยผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 1.35E-02 kg CO₂ eq การลดลงของชั้นโอโซน 1.50E-09 kg CFC-11 eq ภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ 1.11E-02 kg 1,4 DB eq การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน 1.93E-05 kg PM10 eq ภาวะความเป็นกรด 2.99E-05 kg SO₂ eq การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืด 6.41E-06 kg PO₄ eq ภาวะที่เป็นพิษต่อดิน 3.83E-06 kg 1,4 DB eq การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ 1.91E-04 kg 1,4 DB eq การลดลงของเหล็ก 8.61E-03 kg Fe eq การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล 2.33E-03 kg oil eq ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการสร้างและติดตั้งมากที่สุดโดยเฉลี่ยประมาณ 75.65% รองลงมาคือกระบวนการใช้งานโดยเฉลี่ยประมาณ 6.34% และกระบวนการกำจัดซากโดยเฉลี่ยประมาณ 18.01% และเมื่อนำค่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยพบว่า มีค่าน้อยกว่า

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา” และโครงการ การผลิตไฟฟ้า ร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบขั้นบันได จากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำนักงานนโยบายและพลังงานปี 2560 กระทรวงพลังงาน ที่มีอบทุนการสนับสนุนสำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2557. พลังงานความร้อนใต้พิภพ. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, สารานุกรมพลังงานทดแทน. กรุงเทพมหานคร. [https://ienergyguru.com/2015/10 ธันวาคม 2560](https://ienergyguru.com/2015/10/10 ธันวาคม 2560)
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. แผนพัฒนาพลังงานและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579. http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf (1 ธันวาคม 2560)
- นัฐพร ไชยญาติ. 2560. การออกแบบระบบพลังงานทดแทน (Renewable Energy System Design), วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, สำนักพิมพ์: มหาวิทยาลัยแม่โจ้, พิมพ์ครั้งที่ 3, มิถุนายน พ.ศ. 2560.
- เนตรชนากานต์ สุนันตา และเศรษฐี สัมภัตตะกุล 2560. การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์. วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม, ปีที่ 1 กรกฎาคม-ธันวาคม 2560 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. 1: 1-14.
- เศรษฐี สัมภัตตะกุล. 2555. การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment of Products). https://www.researchgate.net/profile/Sate_Sampattagul/publication/303793131_Life_Cycle_Assessment_of_Products_karprameinwadcacrchiwitkhngphlitphanth/links/5752ba5808ae17e65ec3924d/Life-Cycle-Assessment-of-Products-karprameinwadcacrchiwitkhngphlitphanth.pdf (20 มกราคม 2560)
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, องค์การมหาชน, (Thai Carbon Footprint). 2559. Emission factor. http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_822ebb1ed5.pdf (20 กุมภาพันธ์ 2560)
- Bravi, M. and Basosi, R. 2014. Environmental impact of electricity from selected geothermal power plants in Italy. Journal of Cleaner Production. 66: 301-308.
- Buonocore, E., Vanoli, L., Carotenuto, A., and Ulgiati, S. 2015. Integrating life cycle assessment and energy synthesis for the evaluation of a dry steam geothermal power plant in Italy, Energy. 86: 476-487.
- Goedkoop, M.J., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., and Van Zelm, R., 2017. ReCiPe 2008: a Life Cycle Impact Assessment Method Which Comprises Harmonised Category Indicators at the Midpoint and the Endpoint Level, firsted. Report I. n.p.

- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., and Van Zelm, R., 2017. ReCiPe 2008: a life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, First edition (version 1.13), Report I: Characterisation. PRé Consultants, Amersfoort, CML University of Leiden, RUN Radboud University Nijmegen, RIVM Bilthoven, Netherlands.
- Lacirignola, M. and Blanc, I. 2013. Environmental analysis of practical design options for enhanced geothermal systems (EGS) through life-cycle assessment. *Renewable Energy*. 50: 901-914.
- Intaniwet, A. and Chaiyat, N. 2017. Levelized electricity costing per carbon dioxide intensity of an organic Rankine cycle by using a water hyacinth-municipal solid waste fuel. *Energy*. 139: 76-88.
- Hirschberg, S., Wiemer, S., and Burgherr, P. 2015. *Energy from the Earth: Deep Geothermal as a Resource for the Future?* 2015 vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, ISBN 978-3-7281-3654-1. Available online: www.vdf.ethz.ch
- Martínez-Corona, J.I., Gibon, T., Hertwich, E., and Parra-Saldívar, R. (2017). Hybrid life cycle assessment of a geothermal plant: From physical to monetary inventory accounting, *Journal of Cleaner Production*. 142: 2509-2523.

รายการสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
CC	Climate change (การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ)
FD	Fossil depletion (การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล)
FE	Freshwater eutrophication (การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืด)
FET	Freshwater ecotoxicity (การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ)
HT	Human toxicology (การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์)
MD	Metal depletion (การลดลงของเหล็ก)
OD	Ozone depletion (การลดลงของชั้นโอโซน)
PMF	Particulate matter formation (การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน)
TA	Terrestrial acidification (การเกิดภาวะฝนกรดและความเป็นกรดในดิน)
TET	Terrestrial ecotoxicity (การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน)

ตัวห้อย	ความหมาย
B	Boiler
C	Condenser
CLW	Clean water pump
CT	Cooling tower
CW	Cooling pump
e	Electricity

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management,
Business Administration, Engineering, Science and Technology



Exp	Expander
HW	Hot water
P	Pump