

MJU
ANNUAL
CONFERENCE
2018

การประชุมวิชาการระดับชาติ
ประจำปี 2561

รายงานการประชุม
ภาคบรรยาย

Proceedings of MJU Annual Conference 2018
"Oral Presentation"

11-13 ธันวาคม 2561

ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

ISBN 978-616-8146-14-9

การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน
จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ
Life Cycle Assessment of Combined Cooling Heating and Power Generation
from Geothermal Energy

ปานิสอา อ่อนดอกไม้ และนัฐพร ไชยญาติ*

Panisa Ondokmai and Nattaporn Chaiyat*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: benz178tii@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบขั้นบันได โดยใช้แหล่งความร้อน คือ พลังงานความร้อนใต้พิภพ ที่อัตราการไหลประมาณ 3 L/s อุณหภูมิน้ำพุร้อนประมาณ 105°C โดยระบบผลิตพลังงานรวมประกอบไปด้วยระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาด 10 kW_e ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาด 10 kW และระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ขนาด 20 kW ซึ่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งหมด 10 ด้าน จะถูกพิจารณาที่หน่วยการทำงาน คือ 1 MJ และอายุการใช้งานตลอดวัฏจักรชีวิตเป็นเวลา 20 ปี จากการศึกษาพบว่า ระบบผลิตพลังงานรวมเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอากาศเท่ากับ 9.60E-03 kg CO₂ eq/MJ การลดลงของชั้นโอโซนเท่ากับ 5.08E-10 kg CFC-11 eq/MJ ภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ 7.27E-03 kg 1,4 DB eq/MJ การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน 6.65E-06 kg PM₁₀ eq/MJ ภาวะความเป็นกรด 2.45E-05 kg SO₂ eq/MJ การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืด -1.66E-05 kg P eq/MJ ภาวะที่เป็นพิษต่อดิน 6.33E-06 kg 1,4 DB eq/MJ การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ 1.02E-04 kg 1,4 DB eq/MJ การลดลงของเหล็ก 2.94E-03 kg Fe eq/MJ และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล 1.59E-03 kg oil eq/MJ ซึ่งผลกระทบต่อส่วนใหญ่อุบัติขึ้นในกระบวนการสร้างมากที่สุด คิดเป็น 64.11% รองลงมา คือ กระบวนการกำจัดซาก คิดเป็น 31.74% และกระบวนการใช้งานน้อยที่สุด คิดเป็น 4.15% ตามลำดับ

คำสำคัญ: การประเมินวัฏจักรชีวิต วัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ พลังงานความร้อนใต้พิภพ

Abstract

This paper analyzed a Life Cycle Assessment (LCA) of a Combined Cooling Heating and Power generation (CCHP) by using heat source as geothermal energy, which mass flow rate was 3 L/s and hot spring temperature was 105°C. The CCHP unit comprised of an Organic Rankine Cycle (ORC) was

10 kW_e, absorption chiller was 10 kW and centralized drying room was 20 kW. The LCA impacted at 10 categories were considered at functional unit as 1 MJ and life span of 20 y. From the study results, the CCHP unit revealed the impacts in terms of climate change 9.60E-03 kg CO₂ eq/MJ, ozone depletion 5.08E-10 kg CFC-11 eq/MJ, human toxicology 7.27E-03 kg 1,4 DB eq/MJ, particulate matter formation 6.65E-06 kg PM10 eq/MJ, terrestrial acidification 2.45E-05 kg SO₂ eq/MJ, freshwater eutrophication -1.66E-05 kg P eq/MJ, terrestrial ecotoxicity 6.33E-06 kg 1,4 DB eq/MJ, freshwater ecotoxicity -1.02E-04 kg 1,4 DB eq/MJ, metal depletion 2.94E-03 kg Fe eq/MJ and fossil depletion 1.59E-03 kg oil eq/MJ. The most LCA impact came from the construction phase as 64.11%, the decommissioning phase at 31.74% and the operation phase of 4.15%, respectively.

Keywords: life cycle assessment, Organic Rankine Cycle, absorption chiller, centralized drying room, geothermal energy

คำนำ

พลังงานมีความสัมพันธ์กับการดำรงชีวิตของมนุษย์จำนวนนับไม่ถ้วน ซึ่งการผลิตพลังงานส่วนใหญ่ยังคงใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และมีความต้องการทางด้านพลังงานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลเชื่อมโยงทางด้านเศรษฐกิจและปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอน เป็นผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมตามมาด้วย นอกจากการประเมินประสิทธิภาพด้านการผลิตพลังงานเพื่อประเมินถึงความยั่งยืนของพลังงานแล้ว บริบททางด้านสิ่งแวดล้อมเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญสำหรับความยั่งยืนของระบบผลิตพลังงานด้วยเช่นกัน ถึงแม้ว่าจะเป็นการผลิตพลังงานจากพลังงานทดแทนหรือพลังงานทางเลือกที่ผลิตได้จากธรรมชาติก็ตาม โดยผลกระทบอาจเกิดขึ้นได้ทั้งทางตรงและทางอ้อมจากการใช้วัสดุหรือพลังงานที่ต้องป้อนให้กับระบบตลอดวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตพลังงาน

ปัจจุบันสถานการณ์การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะการผลิตพลังงานจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ (Chamorro *et al.*, 2012) และสำหรับประเทศไทยมีเพียงแห่งเดียวที่นำมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า คือ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ เป็นโรงไฟฟ้าแบบระบบสองวงจร (Binary power plant) ขนาด 300 kW_e ภายใต้การกำกับดูแลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) และปัจจุบันแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน ตามพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่ มีอุณหภูมิน้ำพุร้อนผิวดินประมาณ 105°C. ถือว่ามีศักยภาพความร้อนใต้พิภพค่อนข้างสูง แต่มีการใช้ประโยชน์เพียงการท่องเที่ยวเพียงอย่างเดียว มีการพัฒนามาใช้ในการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน (Combined Cooling Heating and Power, CCHP) ที่ต่อกับแบบซินันโด (นัฐพร, 2560) (Bayer *et al.*, 2013) และงานวิจัยเกี่ยวกับการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพโดยตรง ยังไม่มีการศึกษาทางด้านนี้ทั้งในและต่างประเทศ มีเพียงการประเมินผลกระทบทางด้านการผลิตไฟฟ้าหรือการผลิตความร้อนเท่านั้น เช่น งานวิจัยของ Sullivan *et al.*, (2010) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบระบบสองวงจร และแบบไอน้ำ (Flash steam power plant) Pehnt (2005); Burcin and Adisa (2016) ได้นำเสนอผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

ตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ Karlsdottir *et al.* (2010) และ Matuszewska (2011) ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ

จากงานวิจัยต่างๆ ข้างต้น จะเห็นได้ว่ายังไม่มีการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ โดยใช้หลักการการประเมินวัฏจักรชีวิต จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ที่ต้องการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตพลังงานร่วมดังกล่าว

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันได

การผลิตพลังงานร่วมของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine cycle, ORC) ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน (Absorption chiller) และระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ (Centralized drying room) มีการใช้งานแบบชั้นบันได ซึ่งมีหลักการทำงานของระบบร่วม (Figure 1) คือ การนำน้ำพุร้อนมาถ่ายเทความร้อนให้แก่น้ำสะอาดผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นถอดประกอบได้ (Plate heat exchanger) แหล่งความร้อนเริ่มต้นจะถูกนำไปป้อนให้แก่หม้อต้มของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตไฟฟ้า จากนั้นเมื่อออกจากหม้อต้มแล้วจะถูกส่งต่อไปป้อนให้แก่เจนเนอเรเตอร์ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน เพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำเย็นหรือความเย็น และเมื่อออกจากเจนเนอเรเตอร์จะนำไปป้อนให้กับแผงแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ เพื่อใช้ในกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยงานวิจัยนี้ใช้แหล่งความร้อน คือ พลังงานความร้อนใต้พิภพ

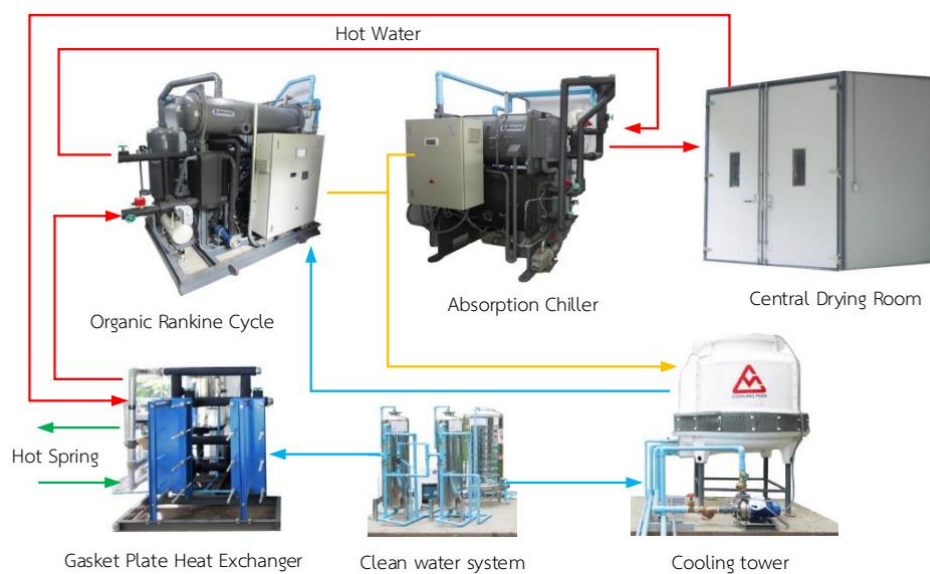


Figure 1 Schematic diagram of CCHP system by using hot spring.

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment, LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นกระบวนการวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม ภายใต้มาตรฐานสากล ISO 14040 โดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก (Figure 2)

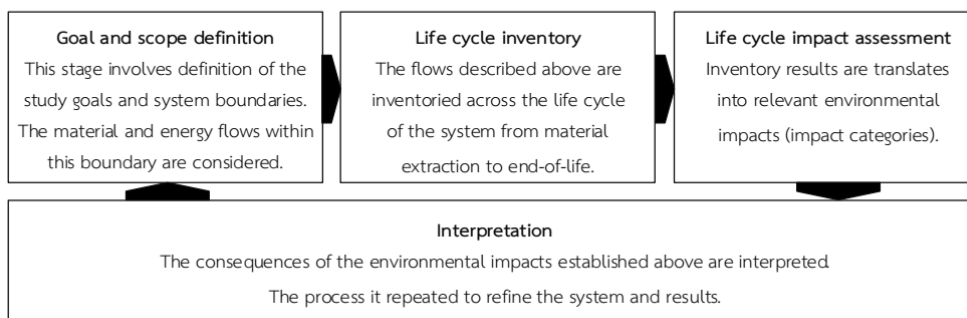


Figure 2 The four steps of a life cycle assessment (Whitehead *et al.*, 2015)

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันได โดยใช้แหล่งความร้อน คือ พลังงานความร้อนใต้พิภพ ที่อัตราการไหลประมาณ 3 L/s อุณหภูมิน้ำร้อนประมาณ 105°C. ประกอบด้วยระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาด 10 kW_e การทำความเย็นของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาด 10 kW และการทำความร้อนของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ขนาด 20 kW มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

เป้าหมายของการศึกษา คือ เพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันได

ขอบเขตการศึกษา คือ แบบแครดเดิล-ทู-เกรฟ (Cradle-to-grave) ซึ่งทำการพิจารณาตั้งแต่การใช้วัสดุพลังงาน และทรัพยากร การขนส่ง ในกระบวนการสร้างและติดตั้ง กระบวนการใช้งาน และกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานด้วยวิธีการรีไซเคิลและการฝังกลบ รวมถึงการปล่อยมลพิษและขยะของแข็ง (Figure 3) โดยมีหน่วยการทำงาน (Functional unit, FU) ของระบบผลิตพลังงานร่วม คือ 1 MJ อ้างอิงจากโครงการ การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบชั้นบันได จากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย (นัฐพร และคณะ, 2560)

การวิเคราะห์บัญชีรายการ

การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในแต่ละกระบวนการเพื่อคำนวณปริมาณสารขาเข้า-สารขาออก ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนเป็นเวลา 20y ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560-2579 โดยแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการสร้างและติดตั้ง (Construction and installation phase) กระบวนการใช้งาน (Operation phase) และกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน (Decommissioning phase) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นต่อไป

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตด้วยวิธี ReCiPe (H)-Midpoint V.1.13 ในโปรแกรม SimaPro เวอร์ชัน 8.5.2 (Goedkoop *et al.*, 2016) โดยพิจารณาผลกระทบชั้นกลาง (Midpoint level) ที่เกิดขึ้นทั้งหมด 10 ประเภท อันประกอบไปด้วย 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 การเกิดภาวะฝนกรดและความเป็นกรดในดิน (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 และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil depletion, FD); kg oil eq

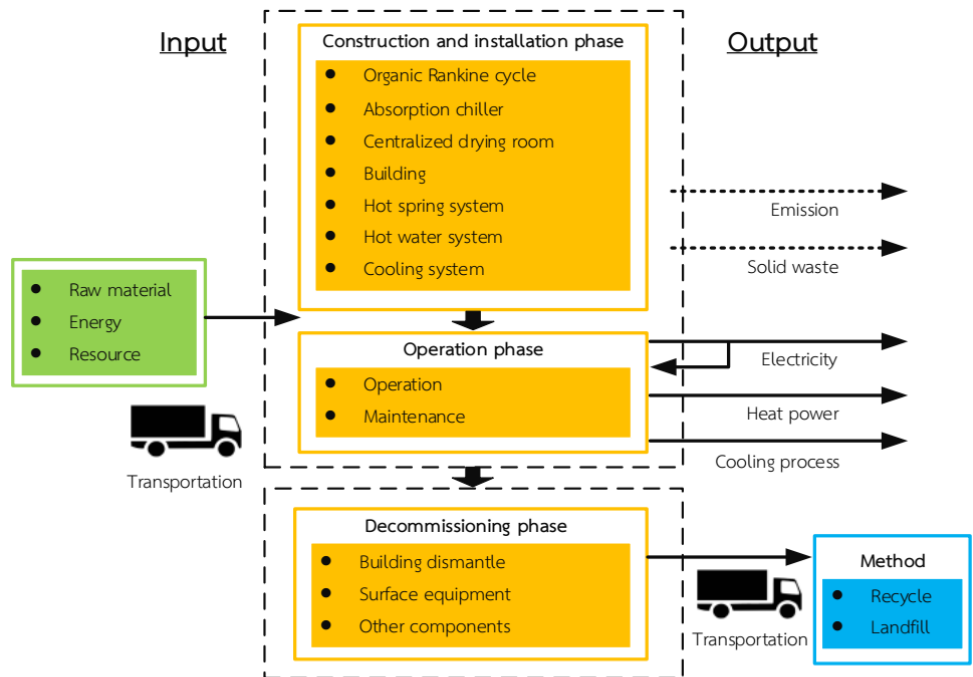


Figure 3 System boundary of life cycle assessment.

การแปลผล

การนำผลการวิเคราะห์มาแปลผล โดยพิจารณาผลจากการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตหรือจากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม ให้มีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่กำหนด

ผลการวิจัยและวิจารณ์

จากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันได มีผลการศึกษา ดังแสดงต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการ

จากการเก็บรวบรวมปริมาณสารขาเข้า-สารขาออกในช่วงการก่อสร้างและติดตั้ง รวมถึงการประเมินในช่วงการใช้งาน และการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ของโครงการ การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบชั้นบันได จากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย (รัฐพร และคณะ, 2560) ดังแสดงใน Figure 4 เพื่อวิเคราะห์บัญชีรายการข้อมูลของระบบต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันได โดยแบ่งออกแยกตามกระบวนการ (Table 1) ดังแสดงต่อไปนี้



Figure 4 Data of life cycle inventory from combined cooling heating and power from cascade geothermal energy technology of Sankampang hot spring project.

ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการในกระบวนการสร้างและติดตั้ง พบว่า วัสดุที่ให้ประเภทเหล็ก ทองแดง สแตนเลส ทองเหลือง ที่ใช้สำหรับทำโครงสร้างของระบบ โครงสร้างของโรงเรือน และส่วนประกอบของระบบต่างๆ ประเภทเหล็กกล้าไนซ์ ซึ่งมากกว่า 90% ของทั้งหมดใช้ในส่วนของท่อส่งจ่ายน้ำพุร้อน พลาสติกประมาณ 83% ของทั้งหมดเป็นพลาสติกชนิดโพลีไทรีน ใช้ทำผนังระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ และผนังห้องของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน 12.43% ซึ่งในกระบวนการสร้างและติดตั้งใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 52 kWh และในการขนส่งใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลทั้งหมดประมาณ 402 L

ในช่วงการใช้งานระบบผลิตพลังงานร่วมตลอดอายุการใช้งานเป็นเวลา 20y สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สุทธิ 1,021,440 kWh (ระยะเวลาการทำงาน 24 h/d และ 350 d/y) การผลิตพลังงานความร้อนได้สุทธิ 1,680,000 kW (ระยะเวลาการทำงาน 12 h/d และ 350 d/y) และการผลิตความเย็นได้สุทธิ 1,477,140 kW (ระยะเวลาการ

งานทำงาน 12 h/d และ 350 d/y) ทั้งนี้จากการผลิตพลังงานรวมทั้งหมด เมื่อคำนวณให้อยู่ในหน่วยเดียวกันคิดเป็น 15,042,888 MJ

เมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานของระบบผลิตพลังงาน จากผลการประเมินจากบัญชีรายการการกำจัดซาก พบว่ามีวัสดุบางส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่ ซึ่งคิดเป็น 15% และอีกส่วนหนึ่งที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ จะถูกส่งไปกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบอย่างถูกสุขาภิบาล คิดเป็น 85% โดยส่วนใหญ่ คือ คอนกรีตประมาณ 75.24%

Table 1 Life cycle inventory of combined cooling heating and power

Descriptions	Quantity	Unit	Descriptions	Quantity	Unit
Construction and installation phase			Lubricant	20	kg
Input (Raw material and energy)			All filter ⁴ (End of life; 5 y)	435	kg
Steel	10,551	kg	Refrigerant (R-245fa leak 1 kg/y)	20	kg
Copper	807	kg	Refrigerant (LiBr leak 1 kg/y)	20	kg
Galvanized steel	7,444	kg	Galvanized steel ⁵	4,214	kg
All plastics (PP, PE, PVC, PS)	1,859	kg	Electricity	850,080	kWh
Aluminum	97	kg	Output (Solid waste and energy)		
Stainless steel	550	kg	Net power output	908,880	kWh
Blass	152	kg	Heat power	459,480	kW
Zinc	140	kg	Cooling process	1,019,760	kW
Refrigerant ²	118	kg	Decommissioning phase		
Lubricant	40	L	Recycle		
Fiber cement	5,330	kg	Steel	5,627	kg
Concrete mix ³	38	Cubic	Galvanized steel	11,552	kg
Oxide primer	165	kg	Stainless steel	382	kg
All filter ⁴	145	kg	Brass	26	kg
Wood	350	kg	Aluminum	42	kg
Electricity	52	kWh	Copper	37	kg
Diesel	402	L	Zinc	140	kg
Output (Solid waste)			Refrigerant	48.1	kg
Wood	350	kg	Landfill		
Steel	120	kg	Steel	4,924	kg
Fiber cement	110	kg	Galvanized steel	115	kg
All plastics (PP, PE, PVC, PS)	40	kg	Concrete	89,576	Kg
Operation phase			All plastics (PP, PE, PVC, PS)	1,111	kg
Input (Raw material, energy and resource)			Fiber cement	5,330	kg
Hot spring	11,088	m ³	All filter ⁴	145	kg
Water	50	m ³			

Remark: ¹ Refrigerant (57.66% R-245fa used in ORC and 42.33% H₂O-LiBr used in Absorption chiller)

² Concrete mixtures per cubic (250 kg of cement, 0.87 m³ of stone, 0.52 m³ of sand and 143 L of water)

³ All filter (13.79% of sand, 27.59% of stone, 17.24% of carbon, 6.90% of atrazine and 34.48% of resin)

⁴ Hot spring piping for maintenance

ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตพลังงานร่วม

จากผลการวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน ดังแสดงใน (Table 2) พบว่า ผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่ากับ $9.60E-03$ kg CO₂ eq/MJ ด้านการลดลงของชั้นโอโซนเท่ากับ $5.08E-10$ kg CFC-11 eq/MJ ภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ $7.27E-03$ kg 1,4 DB eq/MJ การลดลงของเหล็ก $2.94E-03$ kg Fe eq/MJ และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล $1.59E-03$ kg oil eq/MJ ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการใช้วัสดุประเภทเหล็ก ทองแดง และคอนกรีตในกระบวนการสร้างและติดตั้ง การใช้สารทำงาน R-245fa ในระบบผลิตไฟฟ้า สารกรองเรซิน และน้ำมันเชื้อเพลิงในการขนส่งวัสดุและระบบต่างๆ ด้านภาวะความเป็นกรด $2.45E-05$ kg SO₂ eq/MJ การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน $6.65E-06$ kg PM10 eq/MJ การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืด $-1.66E-05$ kg P eq/MJ ภาวะที่เป็นพิษต่อดิน $6.33E-06$ kg 1,4 DB eq/MJ และการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ $1.02E-04$ kg 1,4 DB eq/MJ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการใช้คอนกรีต กระบวนการสร้างและติดตั้ง การใช้โพลีสไตรีน ทองแดง และทองเหลือง เมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานของระบบผลิตพลังงานแล้ว วัสดุบางส่วนที่ใช้ในกระบวนการสร้างและติดตั้งสามารถนำกลับมาใช้งานได้ จึงส่งผลให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นลดลงและเป็นการลดภาระทางสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการกำจัดซากด้วยวิธีฝังกลบอีกด้วย

Table 2 Environmental impact from CCHP by using geothermal energy

Environment impact category	Construction phase	Operation phase	Decommissioning phase		Total emission	
			Recycle	Landfill	Lifetime	MJ
Climate change	1.12E+05	1.77E+04	-5.42E+04	1.66E+03	7.69E+04	9.60E-03
Ozone depletion	3.90E-03	2.94E-05	-2.86E-04	4.29E-04	4.07E-03	5.08E-10
Human Toxicity	1.18E+05	3.12E+02	-6.04E+04	4.49E+02	5.83E+04	7.27E-03
Particulate matter formation	1.38E+02	1.40E+00	-9.87E+01	1.27E+01	5.33E+01	6.65E-06
Terrestrial acidification	3.02E+02	2.50E+00	-1.17E+02	9.25E+00	1.97E+02	2.45E-05
Freshwater eutrophication	6.01E+01	2.13E-01	-1.94E+02	2.43E-01	-1.33E+02	-1.66E-05
Terrestrial ecotoxicity	1.16E+01	2.11E+01	-3.28E+00	2.13E+01	5.07E+01	6.33E-06
Freshwater ecotoxicity	1.53E+03	7.39E+00	-7.26E+02	8.21E+00	8.16E+02	1.02E-04
Metal depletion	5.79E+04	3.68E+01	-3.44E+04	-2.33E+01	2.36E+04	2.94E-03
Fossil depletion	1.50E+04	1.06E+02	-2.93E+03	5.55E+02	1.28E+04	1.59E-03

ผลการแปลผลกระทบของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน

จากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน เมื่อทำการแปลผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยเฉลี่ยจากผลกระทบทั้ง 10 ด้าน ในแต่ละกระบวนการ พบว่าเกิดผลกระทบในกระบวนการสร้างมากที่สุดประมาณ 64.11% รองลงมาคือ เกิดขึ้นในกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยประมาณ 31.74% แต่ทั้งนี้วัสดุบางส่วนสามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่อีกครั้ง ทำให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นลดลงโดยเฉลี่ยประมาณ 24.48% จึงส่งผลให้เกิดผลกระทบในกระบวนการกำจัดซากประมาณ 7.26% และเกิดผลกระทบในกระบวนการใช้งานน้อยที่สุด คือ โดยเฉลี่ยประมาณ 4.15%

อนึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในการผลิตไฟฟ้า โดยอ้างอิงจากผลการวิจัยของ ปาณิสรา และคณะ (2561) มีค่าเท่ากับ 0.0132 kg CO₂ eq/kWh มีการปล่อยผลกระทบน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการผลิต

ไฟฟ้าจากถ่านหินเปียกของโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน (ประสิทธิ์ และคณะ, 2559) พบว่า มีค่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 0.3214 kg CO₂ eq/kWh และโรงไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ แบบ Monocrystalline มีค่า 0.0723 kg Co₂ eq/kWh

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบขั้นบันได ตลอดวัฏจักรชีวิตเป็นเวลา 20y พบว่า เกิดผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่ากับ 9.60E-03 kg CO₂ eq/MJ การลดลงของชั้นโอโซนเท่ากับ 5.08E-10 kg CFC-11 eq/MJ ภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ 7.27E-03 kg 1,4 DB eq/MJ การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน 6.65E-06 kg PM10 eq/MJ ภาวะความเป็นกรด 2.45E-05 kg SO₂ eq/MJ การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืด -1.66E-05 kg P eq/MJ ภาวะที่เป็นพิษต่อดิน 6.33E-06 kg 1,4 DB eq/MJ การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ 1.02E-04 kg 1,4 DB eq/MJ การลดลงของเหล็ก 2.94E-03 kg Fe eq/MJ และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล 1.59E-03 kg oil eq/MJ ซึ่งเมื่อแปลผลกระทบที่เกิดขึ้น พบว่า ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างมากที่สุด คิดเป็น 64.11% รองลงมา คือ กระบวนการกำจัดซาก คิดเป็น 31.74% และกระบวนการใช้งานน้อยที่สุด คือ 4.15%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา” และโครงการ การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบขั้นบันได จากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำนักงานนโยบายและพลังงานปี พ.ศ. 2560 กระทรวงพลังงาน ที่มอบทุนการสนับสนุนสำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- นัฐพร ไชยญาติ. 2560. การออกแบบระบบพลังงานทดแทน (Renewable Energy System Design). พิมพ์ครั้งที่ 3. วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 386 น.
- ประสิทธิ์ ธนารักษ์ พิสิษฐ มณีโชติ และวิการ์ต วันสูงเนิน. 2559. การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากถ่านหินเปียกของโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 18(2): 22-31.
- ปาณิศา อ่อนดอกไม้ นัฐพร ไชยญาติ จุฑาภรณ์ ชนะถาวร วรขมมล เลิศจตุรานนท์ และสุรัตน์ เศษโพธิ์. 2561. การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน ตามพระราชดำริ. น. 428-442. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3 24-25 พฤษภาคม 2561. ชุมพร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร.

- Bayer, P., L. Rybach, P. Blum and R. Brauchiler. 2013. Review on life cycle environmental effects of geothermal power generation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 26: 446-463.
- Burcin, A. and A. Adisa. 2016. Renewable electricity in Turkey: Life cycle environmental impacts. **Renewable Energy** 89: 649-657.
- Chamorro, C.R., M.E. Mondéjar, R. Ramos, J.J. Segovia, M.C. Martín and M.A. Villamañán. 2012. World geothermal power production status: energy, environmental and economic study of high enthalpy technologies. **Energy** 42: 10-18.
- Goedkoop M.J., R. Heijungs, M. Huijbregts, A. De Schryver, J. Struijs and R. Van Zelm. 2016. **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.
- Karlsdottir, M.R., O.P. Palsson and H. Pálsson. 2010. LCA of combined heat and power production at Hellisheidi Geothermal power plant with focus on primary energy efficiency. **In The 12th International Symposium on District Heating and Cooling**. Tallinn.
- Matuszewska, D. 2011. **Environomic Optimal Design of Geothermal Energy Conversion Systems Using Life Cycle Assessment**. Master Thesis. The School for Renewable Energy Science, Iceland.
- Pehnt, M. 2006. Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies. **Renewable Energy** 31: 55-71.
- Sullivan, J.L, C.E. Clark, L. Yuan, J. Han. and M. Wang. 2011. Life Cycle Analysis Results for Geothermal Systems in Comparison to Other Power Systems-Part II. **Energy Systems Division Argonne National Laboratory**.
- Whitehead, B., D. Andrews, A. Shah and G. Maidment. 2015. Assessing the environmental impact of data centres part 2: building environmental assessment methods and life cycle assessment. **Building and Environment** 93: 395-405.

เอกสารประกอบการเรียบเรียง

- ชานนท์ จันทรวงศ์. 2560. การประเมินและการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ระหว่าง โรงไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ กับโรงไฟฟ้าชีวมวลจากแกลบ, ชานอ้อย. น. 239-247. ใน **นเรศวรวิจัย ครั้งที่ 13: วิจัยและนวัตกรรม ขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคม**. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- Chaiyat, N., C. Chaichana and F.S. Singharajwarapan. 2014. Geothermal Energy Potentials and Technologies in Thailand. **J. Fundamentals of Renewable Energy and Applications** 4: 1-9.