

การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็น  
และความร้อนจากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพ  
ของน้ำพุร้อนสันกำแพง



ปาณิสรา อ่อนดอกไม้

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน  
มหาวิทยาลัยแม่โจ้  
พ.ศ. 2562

การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็น  
และความร้อนจากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพ  
ของน้ำพุร้อนสันกำแพง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้  
พ.ศ. 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็น  
และความร้อนจากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพ  
ของน้ำพุร้อนสันกำแพง

ปาณิสรา อ่อนดอกไม้

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑาภรณ์ ชนะถาวร)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร.สุรัตน์ เศษโพธิ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

<b>ชื่อเรื่อง</b>	การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็น และความร้อนจากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพ ของน้ำพุร้อนสันกำแพง
<b>ชื่อผู้เขียน</b>	นางสาวปาณิสสา อ่อนดอกไม้
<b>ชื่อปริญญา</b>	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
<b>อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก</b>	รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน จากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อนตามพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้น้ำพุร้อนหลุมที่ 1 มีอุณหภูมิที่พื้นผิวดิน 105 °C ผสมกับไอน้ำพุร้อนอุณหภูมิประมาณ 120 °C ที่อัตราการไหลประมาณ 3 L/s ป้อนให้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 9.4 kW<sub>e</sub> มีประสิทธิภาพของระบบเท่ากับ 9.53% ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน มีความสามารถการทำความเย็นได้ประมาณ 11.01 kW มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบเท่ากับ 0.56 ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ มีความสามารถผลิตความร้อนได้ประมาณ 22.26 kW มีประสิทธิภาพของระบบเท่ากับ 56.16% และระบบผลิตพลังงานรวม มีประสิทธิภาพของระบบเท่ากับ 29.83% จากผลการศึกษา พบว่า ระบบผลิตพลังงานร่วมส่งผลกระทบต่อด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่ากับ 7.19E-03 kg CO<sub>2</sub> eq/MJ การลดลงของชั้นโอโซนเท่ากับ 3.46E-10 kg CFC-11 eq/MJ การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์เท่ากับ 7.09E-03 kg 1,4-DB eq/MJ การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันเท่ากับ 8.14E-06 kg PM10 eq/MJ การเกิดภาวะฝนกรดเท่ากับ 4.47E-05 kg SO<sub>2</sub> eq/MJ การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืดเท่ากับ 3.63E-05 kg P eq/MJ การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดินเท่ากับ 6.34E-06 kg 1,4-DB eq/MJ การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำเท่ากับ 1.20E-04 kg 1,4-DB eq/MJ การลดลงของเหล็กเท่ากับ 2.96E-03 kg Fe eq/MJ และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลเท่ากับ 1.37E-03 kg oil eq/MJ ซึ่งผลกระทบต่อส่วนใหญ่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างมากที่สุด คิดเป็น 87.64% มาจากการใช้วัสดุประเภทเหล็ก 17,480 kg อลูมิเนียม 58 kg และทองแดง 408 kg รองลงมา คือ กระบวนการกำจัดซาก คิดเป็น 6.69% จากการฝังกลบวัสดุประเภทพลาสติก 1,170 kg และคอนกรีตผสมเสร็จประมาณ 95 ton และกระบวนการใช้งานน้อยที่สุด คิดเป็น 5.68% จากการใช้สารทำงาน R-245fa ในการขับเคลื่อนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์



คำสำคัญ : การประเมินวัฏจักรชีวิต, วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์, ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน, ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์, พลังงานความร้อนใต้พิภพ



<b>Title</b>	LIFE CYCLE ASSESSMENT OF COMBINED COOLING HEATING AND POWER GENERATION SYSTEM FROM GEOTHERMAL ENERGY TECHNOLOGY OF SAN KAMPHAENG HOT SPRINGS
<b>Author</b>	Miss Panisa Ondokmai
<b>Degree</b>	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
<b>Advisory Committee Chairperson</b>	Associate Professor Dr. Nattaporn Chaiyat

### ABSTRACT

This research aimed to life cycle assessment of a combined cooling heating and power generation system (CCHP) from the geothermal energy technologies of Sankamphaeng hot spring, Mae-on District, under the royal initiative project of His Majesty the King, Chiangmai province, Thailand. The hot spring hole number 1 at the surface had hot spring temperature of 105 °C, mixed vapor fluid temperature of 120 °C, and the mass flow rate as 3 L/s was used to supply the CCHP system. An organic Rankine cycle (ORC) power generation system produced power at approximately 9.4 kW<sub>e</sub>, which the ORC efficiency was 9.53%. For the absorption system, the cooling capacity was at around 11.01 kW and the coefficient of performance (COP) was at 0.56 were found. For the centralized drying room, the heating capacity was at 22.26 kW and the drying efficiency at 56.16% were revealed, while the CCHP efficiency was 29.83%. According to results of the study, the environmental impacts of the CCHP system was considerably driven by the climate change at 7.19E-03 kg CO<sub>2</sub> eq/MJ, ozone depletion at 3.46E-10 kg CFC-11 eq/MJ, human health toxicology at 7.09E-03 kg 1,4-DB eq/MJ, particulate matter formation of 8.14E-06 kg PM10 eq/MJ, terrestrial acidification at 4.47E-05 kg SO<sub>2</sub> eq/MJ, freshwater eutrophication as 3.63E-05 kg P eq/MJ, terrestrial ecotoxicity of 6.34E-06 kg 1,4-DB eq/MJ, freshwater ecotoxicity as 1.20E-04 kg 1,4-DB eq/MJ, metal depletion with

2.96E-03 kg Fe eq/MJ and fossil depletion at 1.37E-03 kg oil eq/MJ. The most LCA impact came from the construction phase at 87.64%, which effected from the steel using (17,480 kg), aluminum using (58 kg) and copper using (408 kg). The decommissioning phase 6.69%, was influenced by the plastic (1,170 kg) and concrete mix (92 ton). The operation phase 5.68% was directly accused from using R-245fa as working fluid to driven the ORC system.

Keyword : Life cycle assessment, Organic Rankine cycle, Absorption chiller, Centralized drying room, Geothermal energy



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างสูงจากรองศาสตราจารย์ ดร. นัฐพร ไชยญาติ ประธานกรรมการที่ปรึกษาหลัก ที่ให้ความรู้ สละเวลาให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่าง ๆ ตลอดจนตรวจแก้ไขตั้งแต่เริ่มต้นดำเนินงานวิจัยจนกระทั่งวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล ประธานสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุฑาภรณ์ ชนะถาวร และอาจารย์ ดร.สุรัตน์ เศษโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำ รวมถึงการแก้ไขข้อบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้ โครงการผลิตและพัฒนา ศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และโครงการ การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบขั้นบันได จากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและพลังงานปี 2560 กระทรวงพลังงาน ที่มีอบทุนการสนับสนุนสำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณครอบครัวซึ่งเป็นที่รักยิ่ง ที่คอยห่วงใย ให้กำลังใจเสมอมา สนับสนุนทุนการศึกษาเพื่อรอความสำเร็จของผู้วิจัย และเป็นแรงใจสำคัญจนทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านทั้งที่กล่าวนามมาข้างต้น และที่ไม่ได้กล่าวนามได้ทั้งหมดในที่นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างสูง จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ปาณิสสา อ่อนดอกไม้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ท
อักษรย่อและสัญลักษณ์.....	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความสำคัญและที่มา.....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
ขอบเขตการศึกษา.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจสอบเอกสาร.....	4
การใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ.....	4
วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine cycle, ORC).....	5
ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน (Absorption chiller).....	7
ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ (Centralized drying room).....	8
ระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน (Combined cooling heating and power system).....	9
การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment, LCA).....	12
ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	12

สมุดลมวลและสมุดพลังงาน .....	16
การปันส่วน (Allocation) .....	17
การตรวจสอบเอกสาร .....	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	22
การสำรวจและจัดเก็บข้อมูลทางกายภาพ .....	24
การทดสอบและวิเคราะห์ของระบบผลิตพลังงาน .....	24
การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงาน .....	26
การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ .....	27
การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน .....	30
การประเมินวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ .....	32
การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานร่วม .....	33
บทที่ 4 ผลและอภิปรายผล .....	36
ผลการสำรวจและจัดเก็บข้อมูลทางกายภาพ .....	36
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ของระบบผลิตพลังงาน .....	45
ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน จากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพ .....	48
ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ .....	48
ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน .....	60
ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ .....	71
ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานร่วม .....	82
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ .....	98
ข้อเสนอแนะ .....	100
บรรณานุกรม .....	101
ภาคผนวก .....	104

ภาคผนวก ก การเผยแพร่บทความวิชาการ ..... 105

ประวัติผู้วิจัย..... 163





## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Environmental impact category).....	29
2 ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ .....	45
3 ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน .....	46
4 ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ .....	47
5 ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ของระบบผลิตพลังงานร่วม .....	47
6 บัญชีรายการข้อมูลการสร้างและติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์	49
7 บัญชีรายการข้อมูลของการขนส่งวัตถุดิบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ...	50
8 บัญชีรายการข้อมูลการใช้งานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ .....	50
9 บัญชีรายการข้อมูลการกำจัดซากของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์.....	51
10 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์.....	52
11 บัญชีรายการข้อมูลการสร้างและติดตั้งของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน .....	61
12 บัญชีรายการข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน.....	62
13 บัญชีรายการข้อมูลการใช้งานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน .....	62
14 บัญชีรายการข้อมูลการกำจัดซากของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน .....	63
15 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน.....	64
16 บัญชีรายการข้อมูลการสร้างและติดตั้งของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ .....	72
17 บัญชีรายการข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์.....	74
18 บัญชีรายการข้อมูลการใช้งานของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ .....	74
19 บัญชีรายการข้อมูลการกำจัดซากของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ .....	74
20 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ .....	75

ตารางที่	หน้า
21 บัญชีรายการข้อมูลการสร้างและติดตั้งของระบบผลิตพลังงานร่วม .....	83
22 บัญชีรายการข้อมูลของการขนส่งวัตถุดิบระบบผลิตพลังงานร่วม .....	87
23 บัญชีรายการข้อมูลการใช้งานของระบบผลิตพลังงานร่วม .....	87
24 บัญชีรายการข้อมูลการกำจัดซากของระบบผลิตพลังงานร่วม.....	88
25 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตพลังงานร่วม .....	89



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แผนภาพอุปกรณ์การทำงานของวัฏจักรแรงคินสาร์อินทรีย์ .....	6
2 แผนภาพการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน .....	8
3 แผนภาพการหมุนเวียนลมภายในห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ .....	9
4 การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน .....	11
5 กรอบการดำเนินการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต .....	12
6 การกำหนดขอบเขตการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต .....	13
7 ขั้นตอนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการประเมินวัฏจักรชีวิต .....	14
8 กิจการนำปุ๋ยร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน ตามพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่ .....	22
9 น้ำปุ๋ยร้อนที่ปล่อยสู่ธรรมชาติ เพื่อแสดงถึงอัตลักษณ์ของกิจการนำปุ๋ยร้อนสันกำแพงฯ .....	22
10 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	23
11 หน้าจอแสดงผลของการผลิตไฟฟ้า .....	24
12 หน้าจอแสดงผลของการผลิตความเย็น .....	25
13 หน้าจอแสดงผลของการผลิตความร้อน .....	25
14 หน้าจอแสดงผลของการผลิตพลังงานร่วม .....	26
15 ขอบเขตการศึกษาของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสาร์อินทรีย์ .....	28
16 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี ReCiPe .....	29
17 ขอบเขตการศึกษาของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน .....	31
18 ขอบเขตการศึกษาของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ .....	32
19 ขอบเขตการศึกษาของระบบผลิตพลังงานร่วม .....	34
20 น้ำปุ๋ยร้อนหลุมเจาะที่ 1 ของกิจการนำปุ๋ยร้อนสันกำแพงฯ .....	36
21 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสาร์อินทรีย์ .....	37
22 ส่วนประกอบของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสาร์อินทรีย์ .....	37

ภาพที่	หน้า
23 สารทำงาน R-245fa .....	38
24 ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน .....	38
25 ส่วนประกอบของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน .....	39
26 ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์.....	39
27 ส่วนประกอบด้านในของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์.....	40
28 ระบบกรองน้ำสะอาดและหอฝักระบายความร้อน.....	40
29 ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบถอดประกอบได้ .....	41
30 ถังเก็บน้ำร้อน ถังเก็บน้ำเย็น และระบบท่อต่าง ๆ .....	41
31 การสร้างฐานรากด้วยเข็มเหล็ก .....	42
32 โครงสร้างฐานของโรงเรือน .....	42
33 โครงสร้างหลังคาของโรงเรือน .....	42
34 โรงเรือนหลังการก่อสร้างเสร็จ.....	43
35 ห้องระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน .....	43
36 ฐานวางระบบระบายความร้อนและระบบน้ำสะอาด.....	44
37 รถบรรทุกในการขนส่งระบบฯ จากโรงงานมายังสถานที่ติดตั้ง.....	44
38 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการก่อสร้างและติดตั้ง .....	45
39 กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ .....	49
40 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตลอดวัฏจักรชีวิตของ การผลิตไฟฟ้า .....	53
41 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการลดลงของชั้นโอโซนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิต ไฟฟ้า .....	53
42 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ตลอดวัฏจักรชีวิตของการ ผลิตไฟฟ้า .....	54

ภาพที่	หน้า
43 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อด้านการเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า.....	54
44 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อด้านการเกิดภาวะฝนกรดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า.....	55
45 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อด้านการเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า.....	55
46 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อด้านการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดินตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า.....	56
47 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อด้านการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า.....	56
48 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อด้านการลดลงของเหล็กตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า.....	57
49 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อด้านการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า.....	57
50 การแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า.....	58
51 ผลการเปรียบเทียบระหว่างการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพและค่ามาตรฐานของประเทศไทย.....	59
52 ผลการเปรียบเทียบระหว่างการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ และค่ามาตรฐานของประเทศไทย.....	59
53 ผลการเปรียบเทียบระหว่างการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ และค่ามาตรฐานของประเทศไทย.....	60
54 กระบวนการผลิตความเย็นด้วยระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน.....	61
55 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็น.....	64
56 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อด้านการลดลงของชั้นโอโซนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็น.....	65

ภาพที่	หน้า
57 ผลกระทบของการใช้วัตถุบิบัติต่อการเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็น .....	65
58 ผลกระทบของการใช้วัตถุบิบัติต่อการเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็น.....	66
59 ผลกระทบของการใช้วัตถุบิบัติต่อการเกิดภาวะฝนกรดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็น .....	66
60 ผลกระทบของการใช้วัตถุบิบัติต่อการเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็น.....	67
61 ผลกระทบของการใช้วัตถุบิบัติต่อการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดินตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็น .....	67
62 ผลกระทบของการใช้วัตถุบิบัติต่อการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็น .....	68
63 ผลกระทบของการใช้วัตถุบิบัติต่อการลดลงของเหล็กตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็น .....	68
64 ผลกระทบของการใช้วัตถุบิบัติต่อการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็น .....	69
65 การแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน... 70	70
66 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบปรับอากาศ.....	71
67 กระบวนการผลิตความร้อนด้วยห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์.....	72
68 ผลกระทบของการใช้วัตถุบิบัติต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความร้อน .....	76
69 ผลกระทบของการใช้วัตถุบิบัติต่อการลดลงของชั้นโอโซนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความร้อน.....	76
70 ผลกระทบของการใช้วัตถุบิบัติต่อการเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความร้อน.....	77



ภาพที่	หน้า
71 ผลกระทบของการใช้วัสดุติดต่อด้านการเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความร้อน.....	77
72 ผลกระทบของการใช้วัสดุติดต่อด้านการเกิดภาวะฝนกรดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความร้อน .....	78
73 ผลกระทบของการใช้วัสดุติดต่อด้านการเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความร้อน.....	78
74 ผลกระทบของการใช้วัสดุติดต่อด้านการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดินตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความร้อน.....	79
75 ผลกระทบของการใช้วัสดุติดต่อด้านการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความร้อน .....	79
76 ผลกระทบของการใช้วัสดุติดต่อด้านการลดลงของเหล็กตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความร้อน .....	80
77 ผลกระทบของการใช้วัสดุติดต่อด้านการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความร้อน.....	80
78 การแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ .....	81
79 กระบวนการผลิตพลังงานร่วมจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ .....	83
80 ผลกระทบของการใช้วัสดุติดต่อด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม.....	90
81 ผลกระทบของการใช้วัสดุติดต่อด้านการลดลงของชั้นโอโซนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม.....	91
82 ผลกระทบของการใช้วัสดุติดต่อด้านการเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม.....	91
83 ผลกระทบของการใช้วัสดุติดต่อด้านการเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม.....	92
84 ผลกระทบของการใช้วัสดุติดต่อด้านการเกิดภาวะฝนกรดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม.....	92



ภาพที่	หน้า
85 ผลกระทบของการใช้วัตถุบิบัติด้านการเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม.....	93
86 ผลกระทบของการใช้วัตถุบิบัติด้านการเกิดภาวะที่พืชต่อดินตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม.....	93
87 ผลกระทบของการใช้วัตถุบิบัติด้านการเกิดภาวะที่เป็นพืชต่อแหล่งน้ำตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม.....	94
88 ผลกระทบของการใช้วัตถุบิบัติด้านการลดลงของเหล็กตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม.....	94
89 ผลกระทบของการใช้วัตถุบิบัติด้านการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม.....	95
90 การแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของของระบบผลิตพลังงานร่วม.....	96
91 ผลการเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงาน.....	97



### อักษรย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	คำนิยาม	ความหมาย	หน่วย
CC	Climate change	การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	kg CO <sub>2</sub> eq
FD	Fossil fuel	การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล	kg oil eq
FE	Freshwater eutrophication	การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด	kg P eq
FET	Freshwater ecotoxicity	การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ	kg 1,4 DB eq
HT	Human health	การเกิดภาวะความเป็นพิษต่อมนุษย์	kg 1,4 DB eq
MD	Metal depletion	การลดลงของเหล็ก	kg FE eq
OD	Ozone depletion	การลดลงของชั้นโอโซน	kg CFC -11 eq
PMF	Particulate matter formation	การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน	kg PM10 eq
TA	Terrestrial acidification	การเกิดภาวะฝนกรด	kg SO <sub>2</sub> eq
TET	Terrestrial ecotoxicity	การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน	kg 1,4 DB eq
สัญลักษณ์	คำนิยาม	ความหมาย	หน่วย
COP	Coefficient of performance	ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงาน ความเย็น	
E	Energy	พลังงาน	
M	Mass	มวล	kg
$\dot{m}$	Mass flow rate	อัตราการไหลเชิงมวล	kg/s
Q	Thermal energy	อัตราการถ่ายเทความร้อน	kW, kJ
T	Temperature	อุณหภูมิ	°C
W	Power	กำลังไฟฟ้า	kW
ตัวกรีก	คำนิยาม	ความหมาย	หน่วย
$\eta$	Efficiency	ประสิทธิภาพ	%
$\Sigma$	Summation	ผลรวม	

ตัวห้อย	ความหมาย
A	Absorber
Ab	Absorption chiller
amb	Ambient
B	Boiler
C	Condenser
CCHP	Combined cooling heating and power
Comp	Compressor
CP	Cooling pump
CW	Chiller water
CLW	Cooling water
CLWP	Cooling water pump
CWP	Cool water pump
e	Electricity
E	Evaporator
Exp	Expander
G	Generator
H	High
HSP	Hot spring
HW	Hot water
HP	Hot water pump
HX	Heat exchanger
i	Inlet
Mb	Motor blower
MCT	Motor cooling tower
o	Outlet
OP	Oil pump
ORC	Organic Rankine cycle

N	Net
P	Pump
ref	Refrigerant
RP	Refrigerant pump
SP	Solution pump
th	Thermal
W	Water



## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความสำคัญและที่มา

วิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของโลกที่เกิดขึ้นนับเป็นปัญหาที่สำคัญ และทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากการผลิตพลังงานส่วนใหญ่ผลิตได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเมื่อเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงให้อยู่ในรูปของพลังงานในการนำไปใช้ประโยชน์ อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลายด้าน อาทิเช่น ภาวะโลกร้อน (Global warming) หรือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) ภาวะความเป็นกรด (Acidification) และการเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicology) เป็นต้น หลายประเทศได้ให้ความสำคัญในการพัฒนาและคิดค้นพลังงานทางเลือกใหม่ เพื่อทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

พลังงานความร้อนใต้พิภพเป็นพลังงานทดแทนทางเลือกประเภทหนึ่งที่มีความสนใจ เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และการนำพลังงานความร้อนใต้พิภพมาผลิตไฟฟ้ามีการปล่อยมลพิษน้อยกว่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งในประเทศไทยมีการนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงการท่องเที่ยวและนันทนาการเป็นส่วนใหญ่ เช่น แหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน ตามพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่ และในปัจจุบันมีการใช้แหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ เพื่อผลิตไฟฟ้าเพียงแห่งเดียว คือ โรงไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพฝาง ตั้งอยู่ที่ตำบลม่อนปิ่น อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ มีกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ 300 kW<sub>e</sub> ซึ่งยังห่างไกลเป้าหมายของประเทศไทยในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนประเภทดังกล่าวอยู่ที่ 3 MW<sub>e</sub> และเพื่อเป็นการตอบสนองต่อเป้าหมายแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ ในการเพิ่มการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 ภายใต้แผน AEDP 2015 เป็น 30% (กระทรวงพลังงาน, 2558) จึงมีการนำพลังงานความร้อนใต้พิภพของแหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพง มาใช้ประโยชน์ ทั้งนี้ยังเป็นแห่งแรกของประเทศไทยที่นำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า ร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบชั้นบันได และเป็นการบูรณาการระหว่างกิจกรรมด้านการท่องเที่ยวและการใช้ประโยชน์ด้านพลังงานอย่างเป็นรูปธรรม อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าพลังงานความร้อนใต้พิภพเป็นพลังงานสะอาด แต่ในขั้นตอนการสร้างโรงไฟฟ้าหรือระบบผลิตพลังงานต่าง ๆ มีการใช้วัสดุ พลังงาน หรือสารเคมีต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางอ้อมได้

ดังนั้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่ต้องการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และระบบผลิต

พลังงานร่วม จากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพของแหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพง ฯ เพื่อศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากระบบผลิตพลังงานดังกล่าว และทำการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมกับการผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงอื่น ๆ ในประเทศไทย

### วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ และเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมกับการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย
2. เพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมกับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ
3. เพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมกับห้องอบแห้งจากแหล่งความร้อนอื่น ๆ ในประเทศไทย
4. เพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน จากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพของน้ำพุร้อนสันกำแพงฯ

### ขอบเขตการศึกษา

1. แหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ คือ แหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพงฯ
2. เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า คือ วัฏจักรแรงดันอินทรีย์ มีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 10 kW<sub>e</sub> โดยใช้สารทำงาน R-245fa
3. เทคโนโลยีการทำความเย็น คือ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน มีขนาดการทำความเย็นไม่น้อยกว่า 1 TR
4. เทคโนโลยีการอบแห้ง คือ ระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ มีขนาดการทำความร้อนไม่น้อยกว่า 20 kW
5. การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment, LCA) มีขอบเขตของการศึกษา คือ แบบ แครดเดิล-ทู-เกรฟ (Cradle-to-grave) โดยทำการพิจารณาตั้งแต่การใช้วัสดุ พลังงาน และทรัพยากร การขนส่ง กระบวนการสร้างและติดตั้งระบบ (โรงเรือน ระบบจ่ายน้ำพุร้อน ระบบจ่ายน้ำสะอาด ระบบระบายความร้อน ระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์) กระบวนการใช้งาน และการกำจัดซากสิ้นสุดอายุการใช้งาน
6. หน่วยการทำงาน (Functional unit, FU) ของงานวิจัยแบ่งออกเป็น 4 หน่วย มีดังนี้ คือ
  - การผลิตพลังงานไฟฟ้า คือ 1 kWh

- การผลิตความเย็น คือ 1 kW
  - การผลิตความร้อน คือ 1 kW
  - การผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน คือ การผลิตพลังงานร่วม (Gross energy output) เท่ากับ 1 MJ
7. อายุการใช้งานของระบบคิดที่ 20 y

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์
2. ได้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน
3. ได้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์
4. ได้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน จากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพของน้ำพุร้อนสันกำแพงฯ





## บทที่ 2

### ทฤษฎีและการตรวจสอบเอกสาร

ในการศึกษางานวิจัยนี้มีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องหลัก ๆ อยู่ 6 ทฤษฎีด้วยกัน อันประกอบไปด้วย การใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ วัฏจักรแรงคินสาร์อินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน และการประเมินวัฏจักรชีวิต และได้มีการตรวจสอบเอกสารเพื่อทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ด้วย โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

#### การใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ

พลังงานความร้อนใต้พิภพเป็นพลังงานที่ผลิตได้จากพลังงานความร้อนในรูปของน้ำใต้ดิน หรือที่เรารู้จักกันดี คือ น้ำพุร้อน ในประเทศไทยพบแหล่งน้ำพุร้อน 112 แหล่ง กระจายอยู่ทั่วไปตั้งแต่ภาคเหนือ ภาคตะวันตก ภาคกลาง และภาคใต้ โดยวัดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินอยู่ในช่วง 40-100 °C ส่วนใหญ่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงการท่องเที่ยวและและนันทนาการ ส่วนของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย (Geothermal electricity) มีเพียง 1 แห่ง คือ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพฝาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ อยู่ติดกับบ่อน้ำพุร้อนฝาง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557)

การใช้ประโยชน์น้ำพุร้อนมีทั้งการใช้ประโยชน์โดยตรง (Direct use) และการใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้า (Electricity generation) ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ อาทิเช่น ลักษณะของแหล่งน้ำพุร้อนว่าประกอบไปด้วยน้ำร้อน หรือไอน้ำเป็นส่วนใหญ่ อุณหภูมิของน้ำพุร้อน อัตราการไหลของน้ำพุร้อน ขนาดของแหล่งกักเก็บ ลักษณะโครงสร้างของชั้นหินที่กักเก็บ และช่องทางการนำน้ำพุร้อนขึ้นมาสู่ผิวโลก ทั้งนี้การนำน้ำพุร้อนมาใช้ประโยชน์อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นจึงต้องศึกษาและป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไว้ด้วย (สำนักงานพัฒนาการท่องเที่ยว, 2549)

การใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพที่เหมาะสมกับประเทศไทย มีรูปแบบการใช้งานน้ำพุร้อนอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ การใช้งานแบบขั้นบันได ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. น้ำพุร้อนอุณหภูมิมากกว่า 90 °C สามารถนำมาผลิตไฟฟ้า (Electrical process) โดยวัฏจักรแรงคินสาร์อินทรีย์ ในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า
2. น้ำพุร้อนอุณหภูมิ 70-90 °C เป็นช่วงอุณหภูมิที่สามารถนำเทคโนโลยีต่าง ๆ มาใช้ได้หลากหลายทั้งการผลิตความเย็น (Cooling process) โดยระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

(Absorption chiller) สำหรับห้องเย็นและระบบปรับอากาศ และใช้ในการอบแห้ง (Drying process) โดยห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มคุณภาพความร้อนให้สูงขึ้น (Heating process) โดยตัวแปลงความร้อน (Absorption heat transformer) เพื่อผลิตไฟฟ้าร่วมกับวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

3. น้ำพุร้อนอุณหภูมิตั้งแต่ 50-70 °C เทคโนโลยีที่เหมาะสม คือ การเพิ่มคุณภาพความร้อนโดยใช้ปั๊มความร้อนแบบอัดไอ (Vapor compression heat pump) สำหรับใช้ในกระบวนการอบแห้ง

4. น้ำพุร้อนอุณหภูมิต่ำกว่า 50 °C เป็นอุณหภูมิที่ใช้ประโยชน์ในทางวิศวกรรมได้ค่อนข้างน้อย แต่เหมาะสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ด้านนันทนาการ เช่น นำไปใช้ในห้องอาบน้ำ และปล่อยกลับสู่แม่น้ำหรือแหล่งน้ำพุร้อนต่อไป (สำนักงานพัฒนาการท่องเที่ยว, 2549)

### วัฏจักรแรงดันอินทรีย์ (Organic Rankine cycle, ORC)

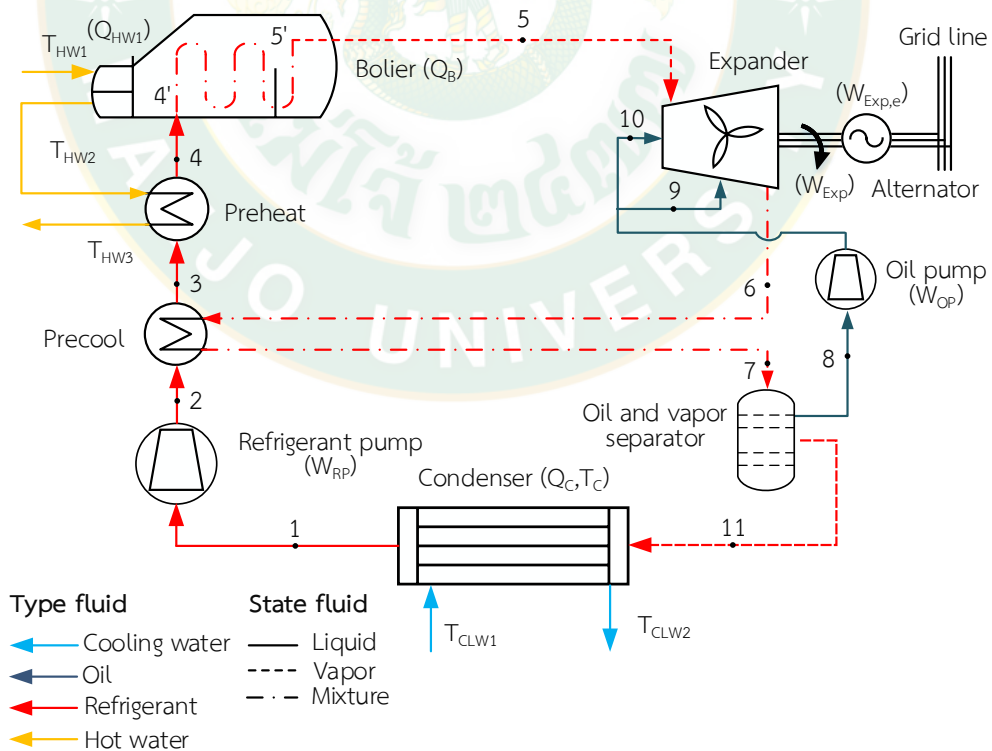
วัฏจักรแรงดันอินทรีย์เป็นระบบการทำงานที่ใช้หลักการของวัฏจักรแรงดัน แต่การใช้สารทำงานในกลุ่มสารอินทรีย์ (Organic) ที่มีมวลโมเลกุลสูง สามารถเปลี่ยนเฟสจากของเหลวเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำหรือมีจุดเดือดต่ำ (Boiling point) เมื่อเปรียบเทียบกับจุดเดือดของน้ำที่ใช้เป็นสารทำงานในระบบแรงดันโดยทั่วไป ทำให้วัฏจักรแรงดันอินทรีย์สามารถทำให้สารทำงานกลายสถานะจากของเหลวเป็นไอ เพื่อใช้ขับเคลื่อนให้สร้างสนามไฟฟ้าตัดกับสนามแม่เหล็กและผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ โดยใช้แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ (น้อยกว่า 100 °C)

หลักการการทำงานของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ดังแสดงในภาพที่ 1 เมื่อของไหลที่ผ่านกระบวนการควบแน่นจนสมบูรณ์ในเครื่องควบแน่น (Condenser) จะกลายเป็นของเหลวอิ่มตัวที่จุด 1 และจะถูกอัดตัวโดยปั๊ม (Refrigerant pump) ภายใต้กระบวนการไอเซนโทรปิก และความดันของสารทำงานจะมีค่าเพิ่มขึ้นในจุดที่ 2 ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่พรีคูล (Precool) ทำให้อุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นในจุดที่ 3 จากนั้นสารทำงานไหลเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนที่พรีฮีต (Preheat) อุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเข้าใกล้จุดเดือดในจุดที่ 4 และไหลเข้าไปยังหม้อต้ม (Boiler) จากนั้นของไหลจะถูกให้ความร้อนภายใต้ความดันคงที่ ( $P_4 = P_4'$ ) จนกระทั่งเข้าสู่สถานะของเหลวอิ่มตัวที่จุด 4' กลายเป็นไออิ่มตัวที่จุด 5' และเป็นไอร้อนยวดยิ่งที่จุด 5 ในที่สุด ไอร้อนยวดยิ่งจะเข้าสู่เครื่องขยายตัว (Expander) ขยายตัวแบบไอเซนโทรปิก ผลิตงานโดยการขับเคลื่อนที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Alternator) และทำให้ความดันและอุณหภูมิของไอของไหลลดลงในจุดที่ 6 บริเวณทางออกของกังหัน ซึ่งสารทำงานอยู่ในสถานะของผสม (ไอและของเหลว) จะไหลเข้าไปยังพรีคูลเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนให้แก่สารทำงานที่ออกจากเครื่องควบแน่น ทำให้อุณหภูมิลดลงในจุดที่ 7 จากนั้นจะไหลเข้า

ไปยังเครื่องแยกน้ำมันหล่อลื่นและไอสารทำงาน (Oil and vapor separator) โดยน้ำมันหล่อลื่นที่ถูกแยกออกในจุดที่ 8 และจะถูกปั๊ม (Oil pump) เข้าไปยังเครื่องขยายตัว เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างการสัมผัสกันของโลหะในจุดที่ 9 และ 10 จากนั้นไอสารทำงานที่ถูกแยกออกจากน้ำมันหล่อลื่นในจุดที่ 11 จะถูกส่งกลับไปควบแน่นยังเครื่องควบแน่นภายใต้ความดันคงที่ ( $P_{11} = P_1$ ) กลายเป็นของเหลวอัมตัวที่จุด 1 เพื่อเริ่มกระบวนการใหม่อีกครั้ง และสำหรับการระบายความร้อนของระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้น้ำสะอาดในการระบายความร้อนออกจากสารทำงานที่เครื่องควบแน่น (นัฐพร, 2560) ซึ่งสามารถหาประสิทธิภาพของระบบได้จากสมการต่อไปนี้

$$\eta_{ORC} = \frac{W_{Exp,e} - W_{RP} - W_{OP}}{Q_B} \quad \text{สมการที่ 1}$$

- เมื่อ  $\eta_{ORC}$  คือ ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ (%)
- $W_{Exp,e}$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด ( $kW_e$ )
- $W_{RP}$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มสารทำงาน ( $kW_e$ )
- $W_{OP}$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มน้ำมันหล่อลื่น ( $kW_e$ )
- $Q_B$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้ม ( $kW$ )



ภาพที่ 1 แผนภาพอุปกรณ์การทำงานของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

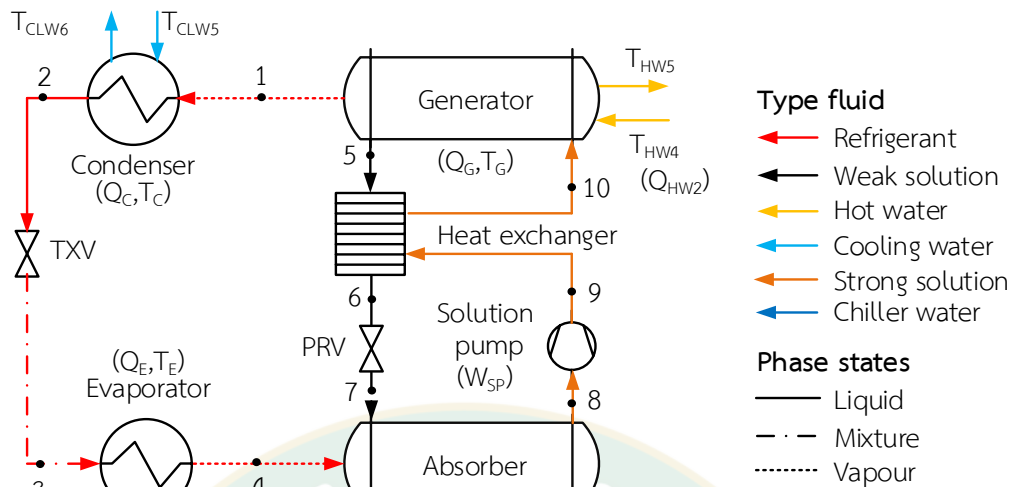
## ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน (Absorption chiller)

กระบวนการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน คือ ความร้อนอุณหภูมิสูงเข้าสู่เงินเนอเรเตอร์ (Generator) เพื่อถ่ายเทความร้อนให้สารละลาย สารทำงานที่มีจุดเดือดต่ำกว่าตัวดูดกลืนจะระเหยกลายเป็นไอ และไหลออกจากเงินเนอเรเตอร์ที่ความดันสูง ซึ่งป้อนความร้อนแบบดูดกลืนต้องการสารทำงานความเข้มข้นสูงผ่านเข้าสู่เครื่องระเหย

หลักการทํางานระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ดังแสดงในภาพที่ 2 คือ ไอสารทำงานที่ออกจากเงินเนอเรเตอร์ในจุดที่ 1 ไหลเข้าไปยังเครื่องควบแน่น แล้วควบแน่นกลายเป็นสารทำงานในสถานะของเหลวจุดที่ 2 ที่ความดันสูง จากนั้นไหลผ่านวาล์วลดความดันเพื่อลดความดันและอุณหภูมิ (Thermostatic expansion valve, TXV) ในจุดที่ 3 ไหลเข้าไปในเครื่องระเหยเพื่อรับความร้อน ทำให้สารทำงานสถานะของเหลวระเหยกลายเป็นไอในจุดที่ 4 ที่ความดันต่ำ แล้วไหลเข้าไปยังแอบซอร์พเบอร์ (Absorber) ซึ่งสารทำงานสถานะไอดังกล่าวจะถูกดูดกลืนร่วมกับสารละลายความเข้มข้นต่ำ (ความเข้มข้นสารทำงาน) ที่กลับมาจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ทำให้กลายเป็นสารละลายความเข้มข้นสูงในจุดที่ 8 ถูกส่งไปยังเงินเนอเรเตอร์ สารทำงานในสารละลายระเหยกลายเป็นไอทำให้เหลือสารละลายความเข้มข้นต่ำ ซึ่งสารละลายดังกล่าวถูกส่งกลับมายังแอบซอร์พเบอร์ในจุดที่ 5 โดยถ่ายเทความร้อนให้กับสารละลายความเข้มข้นสูงในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ในจุดที่ 6 ผ่านวาล์วลดความดัน (Pressure release valve, PRV) ในจุดที่ 7 แล้วไหลเข้าไปยังแอบซอร์พเบอร์เพื่อดูดกลืนไอสารทำงานต่อไป (นัฐพร, 2560) สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{COP}_{\text{Ab}} = \frac{Q_E}{Q_G + W_{\text{SP}}} \quad \text{สมการที่ 2}$$

เมื่อ	$\text{COP}_{\text{Ab}}$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น
	$Q_E$	คือ	ความเย็นที่ผลิตได้ทั้งหมด (kW)
	$Q_G$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เงินเนอเรเตอร์ (kW)
	$W_{\text{SP}}$	คือ	กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ป้อนสารละลาย (kW <sub>e</sub> )



ภาพที่ 2 แผนภาพการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

### ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ (Centralized drying room)

ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์มีหลักการทำงาน คือ ใช้ไอน้ำหรือน้ำร้อนเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน ตัวกลางที่มีอุณหภูมิสูงจะถูกส่งผ่านแผงแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับอากาศภายในห้องอบแห้งให้มีอุณหภูมิสูง จากนั้นพัดลมและมอเตอร์จะทำหน้าที่แยกอากาศที่ส่งลมร้อนให้หมุนเวียนภายในห้องอบแห้ง ผนังแจกลมทำหน้าที่แยกอากาศที่ใช้ในการอบแห้งออกจากอากาศชั้น ที่ต้องผ่านแผงแลกเปลี่ยนความร้อนและอากาศแห้งก่อนเข้าทำการอบแห้ง โดยการอบแห้งแบบรวมศูนย์นั้นมีหลักการสำคัญ คือ การระบายลมเข้าออกภายในห้องอบแห้ง ดังนั้นด้านหลังห้องอบแห้งจึงมีช่องรับลมจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้องอบแห้ง จะอยู่บริเวณใบพัดและช่องระบายอากาศชั้นออกภายนอกห้องอบแห้ง ซึ่งจะอยู่เหนือแผงแลกเปลี่ยนความร้อน ช่องทั้งสองนี้สามารถเปิดและปิดได้ ในกรณีที่อากาศภายในห้องอบแห้ง ผนังแจกลมทำหน้าที่แยกลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้งออกจากอากาศชั้น ลมร้อนจะผ่านแผงแลกเปลี่ยนความร้อนและอากาศแห้งก่อนเข้าพื้นที่อบแห้ง

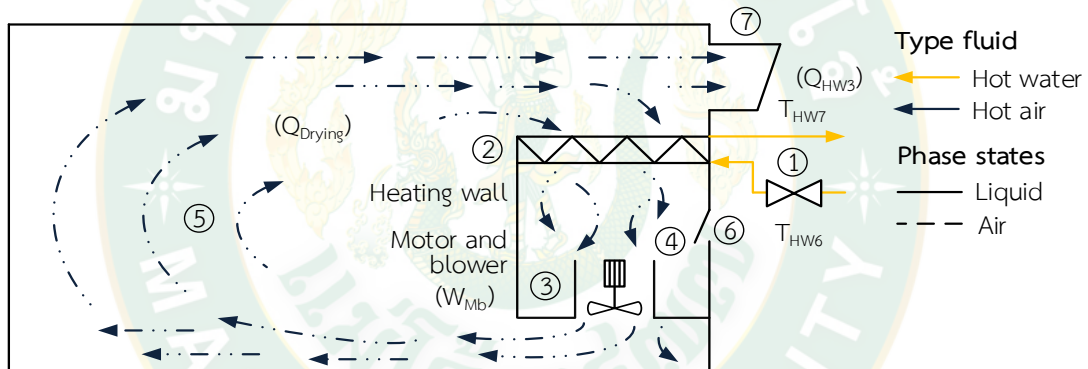
สำหรับการไหลเวียนของลมร้อนภายในห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยการป้อนน้ำร้อนผ่านวาล์วควบคุม (1) เปิดให้น้ำร้อนผ่านเข้าแผงแลกเปลี่ยนความร้อน (2) แล้วไหลกลับออกไป ลมจากพัดลม (3) จะผ่านแผงแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้อากาศร้อนขึ้น (4) จากนั้นจะถูกส่งเข้าสู่พื้นที่อบแห้ง (5) ผ่านพีชผลผลิตทางการเกษตรที่ต้องการอบ การระบายความชื้นในช่วงนี้



มาจากการนำอากาศภายนอกที่มีความชื้นต่ำเข้ามาทางช่องปล่องลม (6) และลมร้อนที่ผ่านแผงแลกเปลี่ยนความร้อน (4) มาแทนที่อากาศภายในห้องที่มีความชื้นสูงซึ่งจะถูกดันออกทางปล่องระบายอากาศชั้น (7) ด้านบน (นัฐพร, 2560) สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\eta_{\text{Drying}} = \frac{Q_{\text{Drying}}}{Q_{\text{HW3}} + W_{\text{Mb}}} \quad \text{สมการที่ 3}$$

- เมื่อ  $\eta_{\text{Drying}}$  คือ ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ (%)  
 $Q_{\text{Drying}}$  คือ พลังงานความร้อนที่ผลิตได้ทั้งหมด (kW)  
 $Q_{\text{HW3}}$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่แผงแลกเปลี่ยนความร้อน (kW)  
 $W_{\text{Mb}}$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลม (kW<sub>e</sub>)



ภาพที่ 3 แผนภาพการหมุนเวียนลมภายในห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

### ระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน (Combined cooling heating and power system)

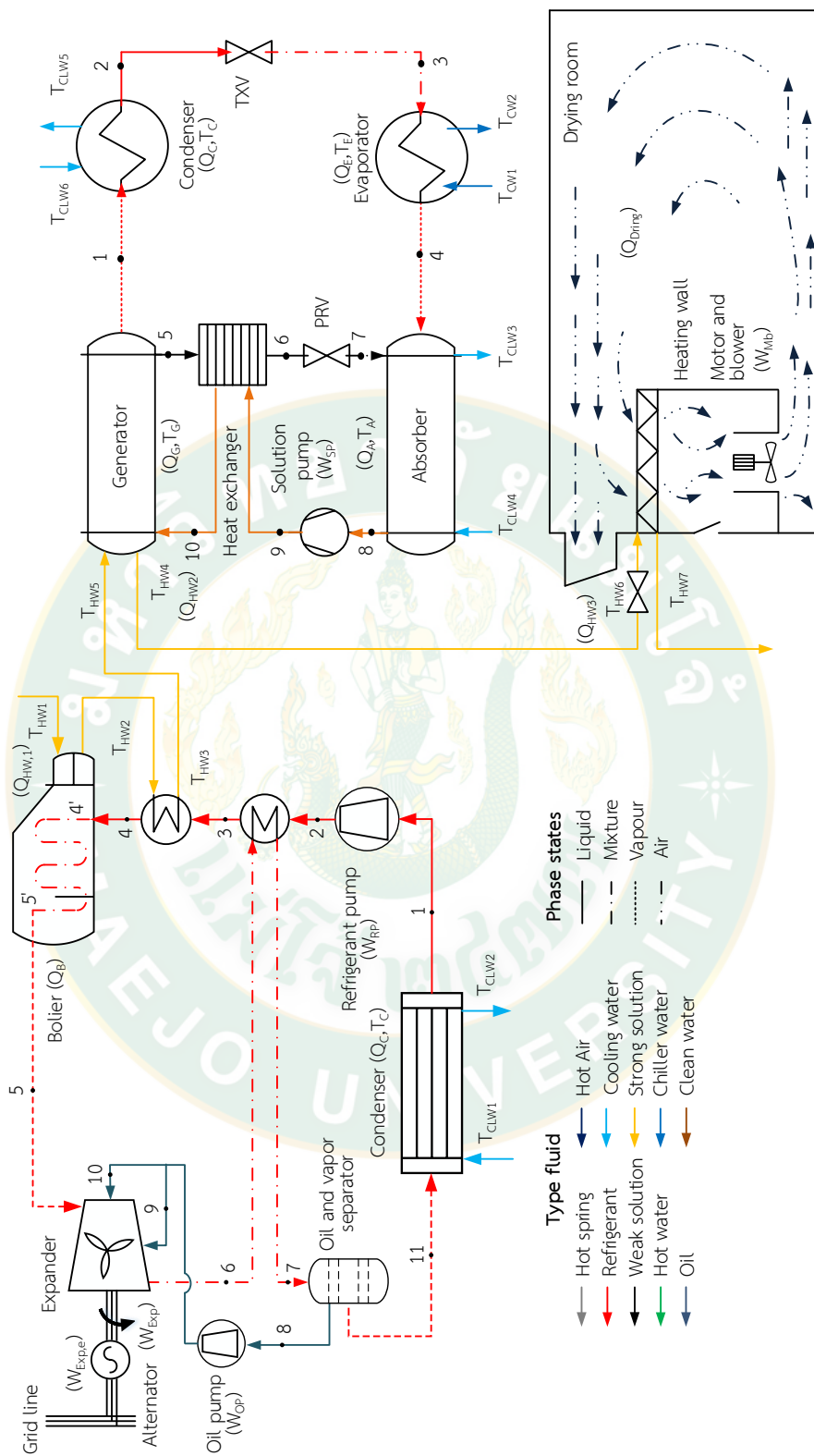
ระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าระบบผลิตพลังงานร่วม อันประกอบไปด้วย ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ มีการใช้งานแบบขั้นบันไดหรือต่อกันแบบอนุกรม ดังแสดงในภาพที่ 4 ในการผลิตพลังงานของทั้งสามระบบนี้ใช้แหล่งความร้อนเดียวกัน มีหลักการทำงานของระบบดังนี้ คือ แหล่งความร้อนเริ่มต้นจะถูกนำไปป้อนให้แก่หม้อต้มของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์เพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตไฟฟ้า จากนั้นเมื่อออกจากหม้อต้มแล้วจะถูกส่งต่อไปป้อนให้แก่เจนเนอเรเตอร์ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน เพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำเย็นหรือความเย็น และเมื่อ

นอกจากเจนเนอเรเตอร์จะนำไปป้อนให้แก่แผงแลกเปลี่ยนความร้อนของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ เพื่อใช้ในกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยงานวิจัยนี้ใช้แหล่งความร้อนเดียวกัน คือ พลังงานความร้อนใต้พิภพ ในการป้อนให้ทั้งสามระบบที่ต่อกันแบบขั้นบันได ดังนั้นในการประเมิน ประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานร่วม สามารถประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานร่วม คือ พลังงานที่ผลิตได้หารด้วยพลังงานที่ป้อนให้แก่ระบบ ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\eta_{\text{CCHP}} = \frac{W_{\text{Exp,e}} + Q_E + Q_{\text{Drying}}}{Q_{\text{Total}} + W_{\text{Total}}} \quad \text{สมการที่ 4}$$

- เมื่อ  $\eta_{\text{CCHP}}$  คือ ประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานร่วม (%)
- $W_{\text{Exp,e}}$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด ( $\text{kW}_e$ )
- $Q_E$  คือ ความเย็นที่ผลิตได้ทั้งหมด ( $\text{kW}$ )
- $Q_{\text{Drying}}$  คือ พลังงานความร้อนที่ผลิตได้ทั้งหมด ( $\text{kW}$ )
- $Q_{\text{Total}}$  คือ พลังงานความร้อนที่ป้อนให้แก่ระบบทั้งหมด ( $\text{kW}$ )
- $W_{\text{Total}}$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ระบบทั้งหมด ( $\text{kW}_e$ )





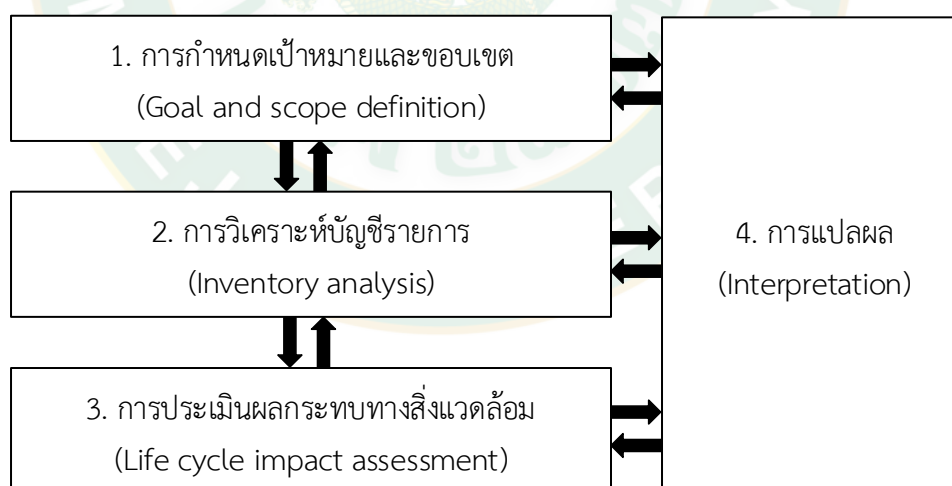
ภาพที่ 4 การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน

## การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment, LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ภายใต้นิยามขององค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International organization for standardization: ISO) ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 และ ISO 14044 ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐานระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000 เป็นการระบุการเก็บรวบรวมและประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก ซึ่งพิจารณาตั้งแต่เริ่มต้นของกระบวนการ อาทิเช่น การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งานผลิตภัณฑ์ และการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยระบุถึงปริมาณวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ ตลอดจนของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม และมีโอกาสที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และระบบนิเวศต่าง ๆ

### ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตของตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 และ ISO 14044 ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 5 กรอบการดำเนินการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต

#### ขั้นตอนที่ 1 : การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition)

การกำหนดเป้าหมาย (Goal) ของการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เพื่อให้ทราบถึงสาเหตุที่ต้องการศึกษา และผลของการศึกษานั้นจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด โดยทำ

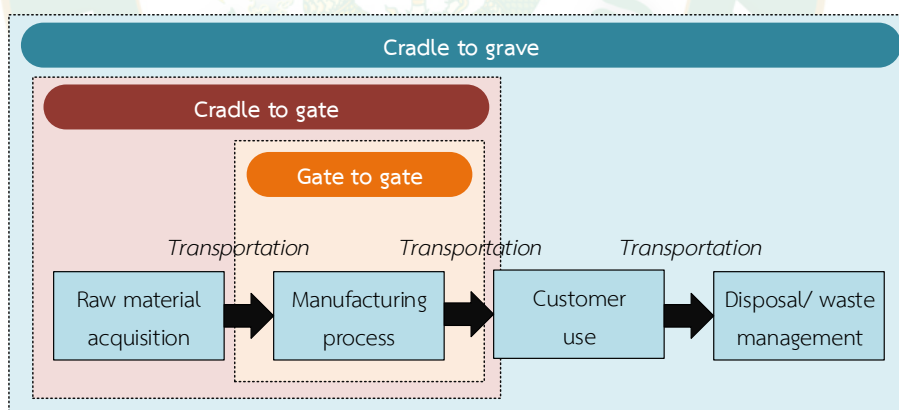
การระบุถึงผลกระทบที่ต้องการศึกษา รวมถึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อไปได้ อาทิเช่น การปรับปรุงกระบวนการต่าง ๆ ของการผลิตผลิตภัณฑ์ การออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่และการกำหนดขอบเขตการศึกษา (Scope) ควรมีความสอดคล้องกับเป้าหมายที่ต้องการศึกษา คือ

1) การกำหนดระบบหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการศึกษา โดยการกำหนดขอบเขตการศึกษาสามารถประเมินได้ในหลายลักษณะโดยส่วนใหญ่นิยมกำหนดขอบเขตเป็น 3 รูปแบบ ดังแสดงในภาพที่ 6 ได้แก่

- การกำหนดขอบเขตแบบเกต-ทูลเกต (Gate-to-gate) จะพิจารณาเฉพาะหน่วยการผลิตสินค้าโดยพิจารณาเฉพาะข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออก โดยไม่คำนึงถึงกระบวนการผลิตแบบต้นน้ำ (Upstream) หรือปลายน้ำ (Downstream) และไม่นับรวมช่วงการใช้งานหรือการกำจัด

- การกำหนดขอบเขตแบบแครเดิล-ทูลเกต (Cradle-to-gate) จะเริ่มต้นตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน ไปจนถึงการผลิตผลิตภัณฑ์ภายในโรงงาน โดยไม่รวมผลกระทบในช่วงการใช้งานและการทำลายซากเมื่อหมดอายุของผลิตภัณฑ์

- การกำหนดขอบเขตแบบแครเดิล-ทูลเกรฟ (Cradle-to-grave) จะเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ (ธรรมชาติ) จนถึงขั้นตอนการทำลายซาก การกำหนดขอบเขตแบบนี้ใช้ได้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่สามารถวิเคราะห์ผลกระทบในช่วงการใช้งานได้อย่างชัดเจน



ภาพที่ 6 การกำหนดขอบเขตการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต

2) การกำหนดหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ (Functional unit, FU) ในการกำหนดหน่วยการทำงาน มีส่วนที่สำคัญมากในการกำหนดขึ้นเพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการวัดหรือเก็บรวบรวมข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออกระบบ และประเมินบนพื้นฐานเดียวกัน ซึ่งประกอบไปด้วย คุณภาพ (Quality) ปริมาณ (Quantity) หรือความคงทน (Durability) เป็นพื้นฐาน

3) การกำหนดขอบเขตของระบบ (System boundary) โดยระบุกระบวนการย่อย (Unit process) ที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการศึกษาในแต่ละกระบวนการย่อย อาทิ เช่น วัสดุ วัตถุดิบ พลังงาน ทรัพยากรธรรมชาติ สารเคมี ขยะของแข็ง การปล่อยมลพิษต่าง ๆ

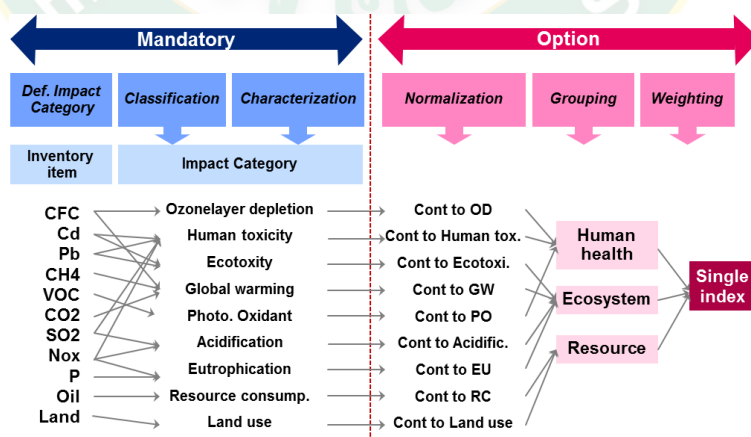
ขั้นตอนที่ 2 : การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory Analysis)

การจัดทำบัญชีรายการข้อมูล (Life cycle inventory, LCI) คือ ขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูล ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเป็นการรวบรวมปริมาณสารขาเข้าและขาออกที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของระบบหรือผลิตภัณฑ์นั้น ๆ จากกระบวนการต่างๆ เช่น วัตถุดิบ วัสดุ พลังงานที่ใช้ สารเคมี ผลิตภัณฑ์ ขยะของแข็ง การปล่อยมลพิษ ผลพลอยได้ รวมถึงการนำกลับมาใช้ใหม่และการขนส่ง เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 3 : การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle impact assessment) เป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขององค์ประกอบต่างๆ ที่ได้จากขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการโดยอาศัยเทคนิคการจัดการข้อมูลทั้งในด้านคุณภาพและด้านปริมาณ และสามารถนำผลที่ได้ไปใช้ในการเปรียบเทียบขั้นตอนการประเมินผลกระทบแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนย่อย ดังแสดงในภาพที่ 7 ดังนี้

1) การจำแนกประเภท (Classification) เป็นการจำแนกมลสารที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมทั้งการใช้ทรัพยากร แต่ละชนิดมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านใด เช่น ภาวะโลกร้อน ภาวะความเป็นกรด และการลดลงของฟอสซิล เป็นต้น



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการประเมินวัฏจักรชีวิต

ที่มา: สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2547)

2) การกำหนดบทบาท (Characterization) หลังจากที่มีมลสารที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ถูกจำแนกแล้ว ขั้นตอนนี้ทำการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างมลสารที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเภทให้อยู่ในหน่วยเดียวกัน เช่น ภาวะโลกร้อน สารต่าง ๆ ที่จัดว่าเป็นสาเหตุของปัญหานี้จะถูกประเมินเป็นหน่วยกิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ (kg CO<sub>2</sub> eq) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$EP_j = \sum(Q_i EF_{ij}) \quad \text{สมการที่ 5}$$

เมื่อ  $EP_j$  คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบ  $j$  (kg, กิโลกรัมเทียบเท่าสารอ้างอิงของผลกระทบ  $j$ )

$Q_i$  คือ ปริมาณมลสาร  $i$  ที่ปล่อยออกมา (กิโลกรัมของสาร  $i$ )

$EF_{ij}$  คือ ค่าเทียบเท่าของมลสาร  $i$  ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม  $j$  (kg, กิโลกรัมเทียบเท่าสารอ้างอิงของผลกระทบ  $j$  ต่อกิโลกรัมของ  $i$ )

3) การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) ขั้นตอนนี้เป็นการแสดงขนาดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ศึกษากับขนาดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ ในระดับประเทศภูมิภาคหรือระดับโลก โดยการเทียบค่าผลกระทบจากขั้นตอนการกำหนดบทบาทมาเทียบกับค่าอ้างอิง (Normalization factor)

$$NP_{j(\text{Product})} = \frac{EP_j}{TER_j} \quad \text{สมการที่ 6}$$

เมื่อ  $NP_j$  คือ ค่าปกติทางศักยภาพผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม  $j$  ของผลิตภัณฑ์ (Person for target year, Pt)

$T$  คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ ( $y$ )

$ER_j$  คือ ค่าการให้ขนาดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม  $j$  จากผลการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg/person·y, กิโลกรัมเทียบเท่าสารอ้างอิงของผลกระทบ  $j$  ต่อคนต่อปี)

4) การให้ค่าน้ำหนัก (Weighting) ในขั้นตอนนี้เป็นการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยจะนำค่าของ  $NP_j$  ที่ได้ มาทำการคูณด้วยค่าการให้น้ำหนักตามระดับความสำคัญของแต่ละผลกระทบที่แตกต่างกัน อาทิเช่น ค่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งอาจจะพิจารณาได้ว่ามีค่าที่สำคัญมากกว่าการเกิดภาวะฝนกรด โดยให้ค่าน้ำหนักที่อัตราส่วน 1:2 ค่าน้ำหนักที่คำนวณได้นี้เป็นค่าสุดท้ายที่ทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

$$WP_j = WF_j NP_j \quad \text{สมการที่ 7}$$



เมื่อ  $WP_j$  คือ ค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม  $j$  หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้วหรือคะแนนเชิงเดียว (Person for target year, Pt)

$WF_j$  คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อม  $j$  ในปีที่ตั้งเป้าหมาย

ในการศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตต้องใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์จำนวนมาก จึงมีความจำเป็นที่ต้องอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูปเข้ามาใช้ในการจัดเก็บข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลรวดเร็ว มีประสิทธิภาพ และเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งโปรแกรมในการประเมินวัฏจักรชีวิตมีหลายโปรแกรม เช่น SimaPro, GaBi, TEAM, LCAit, KCL-Eco, EcoPro, และ JEMAI-LCA เป็นต้น โดย SimaPro เป็นโปรแกรมที่นิยมใช้ในประเทศไทยเนื่องจากมีฐานข้อมูลจำนวนมาก ขั้นตอนการใช้งานไม่ซับซ้อนรวมทั้งสามารถใช้ได้กับกระบวนการผลิตที่มีจำนวนขั้นตอนมากได้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559)

#### ขั้นตอนที่ 4 : การแปลผล (Interpretation)

การแปลผลและการประเมินเพื่อปรับปรุง เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ได้จากการประเมินผลทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือระบบ เพื่อให้ทราบว่าช่วงชีวิตใดของผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด มีความรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงแหล่งที่มาของประเด็นปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ ทำการสรุป แปลผลให้สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559)

#### สมดุลมวลและสมดุลพลังงาน

การรวบรวมเพื่อจัดทำบัญชีรายการข้อมูล มีการเก็บข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออกจำนวนมาก เพื่อให้เกิดความถูกต้องและครบถ้วนของข้อมูลจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบโดยใช้วิธีการสมดุลมวลและสมดุลพลังงาน มีรายละเอียดดังนี้

1. สมดุลมวล (Mass balance) เป็นหลักการพื้นฐานของกฎการอนุรักษ์มวลสารว่ามวลไม่สูญหายหรือถูกทำลายไป คือ การพิจารณาว่ามีมวลสารขาเข้าและสารขาออกเท่าไรและมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของมวลสาร ภายในระบบเป็นอย่างไรแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$M_{\text{Input}} = M_{\text{Output}} + M_{\text{System}} \quad \text{สมการที่ 8}$$

เมื่อ  $M_{\text{Input}}$  คือ มวลสารเข้าระบบ (kg)

$M_{\text{Output}}$  คือ มวลสารที่ออกจากระบบ (kg)

$M_{\text{System}}$  คือ มวลสารที่สะสมอยู่ในระบบ (kg)

2. สมดุลพลังงาน (Energy balance) สมดุลพลังงานเป็นหลักการพื้นฐานของกฎการอนุรักษ์พลังงานว่าพลังงานเป็นสิ่งที่ไม่สามารถสร้างขึ้นมาได้และไม่สามารถที่จะทำให้สูญหายไป ดังนั้นพลังงานรวมทั้งหมดของวัตถุก่อนใดก่อนหนึ่งไม่ว่าอยู่ ตำแหน่งใด ๆ ย่อมมีค่าเท่ากันทุก ๆ ตำแหน่ง ซึ่งสามารถเขียนในรูปของสมการได้ดังสมการดังสมการต่อไปนี้ (เศรษชรั, 2559)

$$E_{\text{Input}} = E_{\text{Output}} + E_{\text{System}} \quad \text{สมการที่ 9}$$

เมื่อ  $E_{\text{Input}}$  คือ พลังงานเข้าระบบ (kW)

$E_{\text{Output}}$  คือ พลังงานที่ออกจากระบบ (kW)

$E_{\text{System}}$  คือ พลังงานที่สะสมอยู่ในระบบ (kW)

### การปันส่วน (Allocation)

การปันส่วนเป็นการแบ่งส่วนปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการ หรือระบบของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาไปยังผลิตภัณฑ์ เป้าหมายและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบของผลิตภัณฑ์ โดยการปันส่วนจะเกิดขึ้นในกรณีที่มีผลิตภัณฑ์หลายชนิดในช่วงเวลาเดียวกัน และมีการใช้ระบบสาธารณูปโภคร่วมกันระหว่างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ลักษณะของการปันส่วนมีอยู่หลายประเภทแต่ที่นิยมใช้กัน คือ การพิจารณาตามสัดส่วนของมวล ปริมาตรพลังงาน และมูลค่าตามทางเศรษฐศาสตร์ (ราคาขายหรือต้นทุนสุทธิ) และการพิจารณาตามจำนวนของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เป็นต้น การเลือกใช้ประเภทของการปันส่วนควรพิจารณาให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงของข้อมูล และตั้งอยู่บนพื้นฐานของความสัมพันธ์ลักษณะของสารขาเข้าและสารขาออก การคำนวณสัดส่วนของการปันส่วนให้แก่ผลิตภัณฑ์ดังแสดงสมการต่อไปนี้ (เศรษชรั, 2559)

$$PP_i = \frac{A_i P_i}{\sum_{i=1}^n A_i P_i} \quad \text{สมการที่ 10}$$

เมื่อ  $PP_i$  คือ สัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่  $i$

$A_i$  คือ ค่าการปันส่วนตามประเภทที่พิจารณาของผลิตภัณฑ์

$P_i$  คือ ปริมาณหรือจำนวนของผลิตภัณฑ์

$n$  คือ จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด



### การตรวจสอบเอกสาร

ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพ มีการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษางานวิจัย โดยมีรายละเอียดงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

Bravi and Basosi (2014) ได้ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพในอิตาลี ทำการวิเคราะห์ขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพอยู่ในพื้นที่ภูเขาอามีอาตา เมืองทัสคานี ประเทศอิตาลี จำนวน 4 แห่ง โดยพิจารณาการปล่อยมลพิษทางอากาศด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต ประเภทของผลกระทบที่พิจารณา คือ ภาวะโลกร้อน การเกิดภาวะเป็นกรด และการเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ หน่วยการทำงานที่ใช้ คือ พลังงานไฟฟ้า 1 MWh ที่ผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพในพื้นที่ดังกล่าว โดยไม่รวมขั้นตอนการขุดเจาะ ก่อสร้าง และการรื้อถอน การประเมินผลกระทบใช้โปรแกรมสำเร็จรูปของ SimaPro และ CML 2002 จากการประเมิน พบว่า การเกิดภาวะโลกร้อนเฉลี่ย 693 kg CO<sub>2</sub> eq/MWh เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ โรงไฟฟ้าถ่านหินและค่าสูงกว่าโรงไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติ คือ 1,093 kg CO<sub>2</sub> eq/MWh และ 640 kg CO<sub>2</sub> eq/MWh ตามลำดับ ภาวะฝนกรดมีค่าเฉลี่ย 12.5 kg SO<sub>2</sub> eq/MWh เมื่อเทียบกับโรงไฟฟ้าถ่านหินถือว่าสูงกว่าประมาณ 2.2 เท่า คือ 5.05 kg SO<sub>2</sub> eq/MWh และสูงกว่าโรงไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติประมาณ 28 เท่า คือ 0.6 kg SO<sub>2</sub> eq/MWh การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์มีค่าเฉลี่ย 5.9 kg 1,4 DB eq/MWh ซึ่งต่ำกว่าโรงไฟฟ้าถ่านหินและโรงไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติ 87.1 และ 69.4 kg 1,4 DB eq/MWh ตามลำดับ

Marchand et al. (2015) ได้ทำการศึกษาแบบจำลองโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ Bouillante ตั้งอยู่ในเกาะกวาเดอลูป ประเทศฝรั่งเศส เป็นระบบพลังงานความร้อนใต้พิภพอุณหภูมิสูง (อุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 250 °C) เพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตในทุกขั้นตอน ได้แก่ การขุดเจาะ การก่อสร้าง การติดตั้งอุปกรณ์ การดำเนินงาน และการรื้อถอน อายุการใช้งาน 30 y หน่วยการทำงานคือ 1 kWh จากผลการศึกษาพบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในขั้นตอนการดำเนินการประมาณ 90% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด และส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนเท่ากับ 38 และ 47 g CO<sub>2</sub> eq/kWh ตามลำดับ การใช้พลังงานหลัก ๆ เป็นผลมาจากขั้นตอนการก่อสร้างและติดตั้งประมาณ 70% ของการใช้พลังงานทั้งหมด การรื้อถอนไม่มีส่วนสำคัญในการส่งผลกระทบต่อ สิ่งเนื่องจากส่วนใหญ่นำกลับมาใช้ได้ใหม่

Gamboa et al. (2015) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพสูง และการสร้างความร้อนในระบบปั๊มความร้อนแบบปิดโดยใช้แหล่ง

พลังงานความร้อนใต้พิภพต่ำ มีหน่วยการทำงาน คือ 1 MWh ทำการพิจารณาตั้งแต่การดำเนินการของหลุมผลิต การดำเนินการของโรงไฟฟ้า และการดำเนินการของหลุมเจาะ ทำการประเมินผลกระทบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7 จากผลการศึกษาพบว่า ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนเท่ากับ 8.04 kg CO<sub>2</sub> eq/MWh ศักยภาพที่ทำให้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดลงเท่ากับ 0.00013 kg CFC-11 eq/MWh การออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสงเคมีเท่ากับ 0.00093 kg C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> eq/MWh ศักยภาพที่ทำให้เกิดฝนกรดเท่ากับ 0.0167 kg SO<sub>2</sub> eq/MWh ศักยภาพการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำเท่ากับ 0.5790 kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> eq/MWh และศักยภาพที่ทำให้แหล่งพลังงานประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ลดลงเท่ากับ 0.0323 kg Sb eq/MWh ซึ่งผลกระทบส่วนใหญ่มาจากการดำเนินการของหลุมเจาะ

Lacirignola and Blanc (2013) ได้ทำการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมของการออกแบบสำหรับระบบเสริมพลังงานความร้อนใต้พิภพด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิต มีเป้าหมายของการศึกษา คือ การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของระบบที่เพิ่มขึ้น มีการเปรียบเทียบค่า 10 กรณี โดยคำนึงถึงข้อจำกัดทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์รวมถึงด้านสิ่งแวดล้อม มีขอบเขตของระบบ ได้แก่ อุปกรณ์ของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับของเหลวของพลังงานความร้อนใต้พิภพ และการไหลของพลังงาน วัสดุที่เชื่อมต่อการติดตั้งและการดำเนินงาน (น้ำมันหล่อลื่น การใช้เชื้อเพลิง การเปลี่ยนอุปกรณ์) และการกำจัดซาก หน่วยการทำงาน คือ 1 kWh ของพลังงานสุทธิที่ผลิตได้ ระยะเวลาการดำเนินงาน 25 y จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบพบว่า ใน 10 กรณี มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 16.9-49.8 g CO<sub>2</sub> eq/kWh ขณะที่ความต้องการใช้ทรัพยากรพลังงานอยู่ระหว่าง 272-785 kJ/kWh ทั้งยังพบว่าการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และระบบนิเวศน้อยมาก

Intaniwet and Chaiyat (2017) ได้ทำการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการประยุกต์ใช้วัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลและพลังงานขยะ ทำการประเมินจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าตลอดวัฏจักรชีวิต 20 y มีขอบเขตการพิจารณาตั้งแต่โครงสร้างของระบบ กระบวนการทำงาน และการรื้อถอน โดยกำหนดหน่วยการทำงาน คือ 1 kWh จากการศึกษา พบว่า มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.6078 kg CO<sub>2</sub> eq/kWh เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่า 0.609 kg CO<sub>2</sub> eq/kWh มาตรฐานการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยมีความใกล้เคียงกัน

เนตรชนากานต์ และ เศรษฐ์ (2560) ได้ทำการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตจากขยะเทศบาล พิจารณาตั้งแต่การเก็บรวบรวมขยะจนถึงการผลิตไฟฟ้า มีหน่วยการทำงาน คือ 1 kWh จากการศึกษา พบว่า มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.9305 kg CO<sub>2</sub> eq โดยมาจากขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าในวัฏจักรแรงดันอินทรีย์มากที่สุดคิดเป็น 55% ผลกระทบส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ RDF-5 ถึง

82% รองลงมาเป็นผลกระทบจากขั้นตอนการผลิต RDF-5 ซึ่งผลกระทบส่วนใหญ่มาจากการใช้ไฟฟ้าในเครื่องจักรที่ใช้สับย่อยและอัดแท่งขยะ ส่วนขั้นตอนการคัดแยกขยะซึ่งผลกระทบมาจากการใช้ไฟฟ้าในการคัดแยกขยะของเครื่องจักรเป็นหลัก และสุดท้ายคือ ขั้นตอนการเก็บรวบรวมขยะ ผลกระทบจะมาจากการเผาไหม้ น้ำมันดีเซลที่ใช้ในการเก็บขนขยะเป็นหลัก เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าของไทยในปัจจุบัน และประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ มีค่าน้อยกว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ (ความร้อน) และน้ำมันเตา

Beccali et al. (2012) ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์ผลกระทบจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของระบบทำความเย็นและความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งร่วมกับระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาดเล็ก มีขอบเขตของการศึกษาตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตรวมถึงการจัดหาวัตถุดิบ การประกอบชิ้นส่วนหลักของโรงงาน การใช้งานรวมถึงวัฏจักรชีวิตของแหล่งพลังงาน (ไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติ) ที่ใช้ในช่วงอายุการใช้งานของโรงงานประมาณ 25 y และเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานรวมทั้งการบำบัดของเสีย ซึ่งไม่ได้พิจารณาขั้นตอนต่อไปนี้ คือ การขนส่งชิ้นส่วนจากสถานที่ผลิตไปยังโรงงาน การขนส่งชิ้นส่วนพีซจากโรงงานไปยังสถานที่กำจัดเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ขั้นตอนการติดตั้งและบำรุงรักษา โดยมีหน่วยหน้าที่การทำงาน คือ 1 kWh ของพลังงานความเย็นและความร้อนที่ผลิตได้ในช่วงอายุการใช้งาน จากผลการศึกษาพบว่า มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต 0.05 kg CO<sub>2</sub> eq/kWh จากการใช้งาน 0.11 kg CO<sub>2</sub> eq/kWh และสิ้นสุดอายุการใช้งาน 0.003 kg CO<sub>2</sub> eq/kWh

Marco et al. (2015) ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการอบผงแอมแปปเปิลจากกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบแบบลูกกลิ้ง ขอบเขตการศึกษาแบบเกท-ทู-เกท ตั้งแต่ขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบอุตสาหกรรมการผลิต และการกำจัดของเสีย ทำการวิเคราะห์โดยใช้ซอฟต์แวร์ SimaPro 8.0.3 และฐานข้อมูล Ecoinvent ตามมาตรฐานอ้างอิงสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต เช่น ISO 14040-14044 มีหน่วยหน้าที่การทำงาน คือ ผงแอมแปปเปิลขนาด 3 kg จากการศึกษาพบว่า ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนสูงในกระบวนการอบแห้งมากกว่า 67% ของกระบวนการทั้งหมด และศักยภาพการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารน้ำมากกว่า 35% ของผลกระทบทั้งหมด

Hirschberg et al. (2015) ที่ได้ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศสวีเดนแลนด์ ซึ่งมีขอบเขตการศึกษาตั้งแต่ การใช้วัสดุ พลังงาน การขนส่ง ในกระบวนการขุดเจาะ การสร้าง การใช้งาน และการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน มีหน่วยการทำงานคือ 1 kWh ทำการประเมินด้วยวิธี ReCiPe Midpoints (H) จากผลการศึกษา พบว่าเกิดผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่ากับ 2.88E-02 kg CO<sub>2</sub> eq/kWh การลดลงของชั้นโอโซนเท่ากับ 2.57E-09 kg CFC-11 eq/kWh การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ 1.74E-02 kg 1,4 DB eq/kWh การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน 5.91E-05 kg PM10 eq/kWh ภาวะ

ความเป็นกรด  $61.04E-04$  kg SO<sub>2</sub> eq/kWh การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด  $1.76E-05$  kg P eq/kWh ภาวะที่เป็นพิษต่อดิน  $3.47E-06$  kg 1,4 DB eq/kWh การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ  $3.36E-04$  kg 1,4 DB eq/kWh การลดลงของเหล็ก  $8.35E-03$  kg Fe eq/kWh และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล  $8.15E-03$  kg oil eq/kWh

Frick et al. (2010) ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบระบบสองวงจร (Binary cycle power plant) มีขอบเขตการศึกษาแบบแกรเดิล-ทู-เกรพ ตั้งแต่กระบวนการติดตั้งระบบ การใช้งาน และการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน โดยมีอายุการใช้งาน 30 y และหน่วยการทำงาน คือ 1 kWh จากผลการศึกษา พบว่า เกิดผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน  $5.66E-01$  kg CO<sub>2</sub> eq/kWh การเกิดภาวะความเป็นกรด  $1.08E-03$  kg SO<sub>2</sub> eq/kWh และการเกิดภาวะการเจริญผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด  $5.99E-05$  kg P eq/kWh จากผลการพิจารณา พบว่า มีการปล่อยผลกระทบในกระบวนการสร้างประมาณ 98.23% การใช้งาน 1.6% และการกำจัดซาก 0.9%

Florian et al. (2016) ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบระบบสองวงจร มีขอบเขตการศึกษาแบบแกรเดิล-ทู-เกรพ พิจารณาตั้งแต่กระบวนการสร้างกระบวนการใช้งาน และกระบวนการกำจัดซาก มีอายุการใช้งาน 30 y และหน่วยการทำงาน คือ 1 kWh จากผลการศึกษาพบว่า เกิดผลกระทบทางด้านการเกิดภาวะโลกร้อน  $9.72E-02$  kg CO<sub>2</sub> eq/kWh การเกิดภาวะความเป็นกรด kg SO<sub>2</sub> eq/kWh และการเกิดภาวะการเจริญผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด  $2.35E-05$  kg P eq/kWh ผลการพิจารณา พบว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นผลมาจากกระบวนการใช้งาน โดยส่งผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 13.5% ด้านการเกิดภาวะความเป็นกรด 31% และด้านการผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด 25.5%

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่ต้องการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการผลิตพลังงานของระบบดังกล่าว และทำการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมกับแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงอื่น ๆ ในประเทศไทย เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลและแนวทางการพัฒนาระบบการผลิตพลังงานจากพลังงานความร้อนใต้พิภพต่อไปในอนาคต



### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน จากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันไดของน้ำพุร้อนสันกำแพง ตั้งอยู่ที่กิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน ตามพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน ตามพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่



ภาพที่ 9 น้ำพุร้อนที่ปล่อยสู่ธรรมชาติ เพื่อแสดงถึงอัตลักษณ์ของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพงฯ

การดำเนินงานวิจัยเพื่อศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน จากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพของน้ำพุร้อนสันกำแพง โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้มาตรฐานสากล ISO 14040 และ ISO 14044 เริ่มตั้งแต่การสำรวจและเก็บข้อมูลทางกายภาพ การทดสอบและวิเคราะห์ของระบบผลิตพลังงาน และการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงาน รวมถึงการเปรียบเทียบกับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมกับระบบอื่น ๆ ด้วย มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังแสดงในภาพที่ 10 และมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังแสดงต่อไปนี้



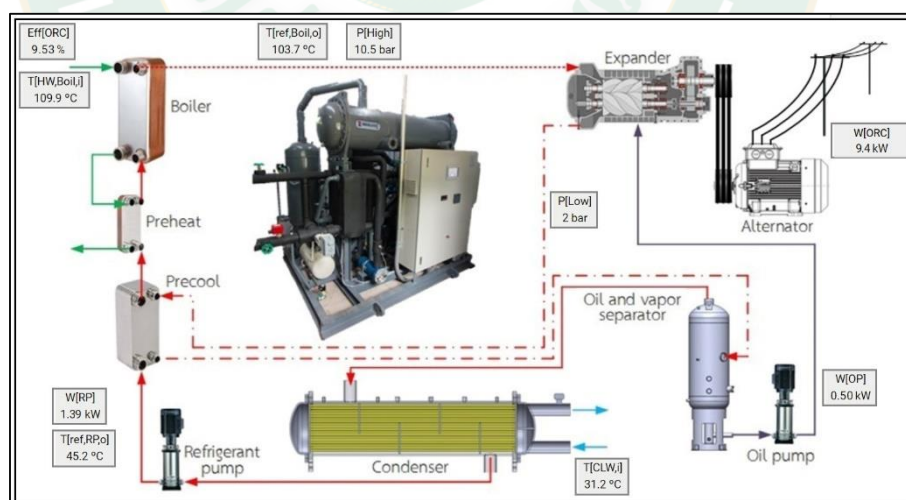
ภาพที่ 10 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

## การสำรวจและจัดเก็บข้อมูลทางกายภาพ

การสำรวจและจัดเก็บข้อมูลทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพ อันประกอบไปด้วย ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ระบบผลิตพลังงานร่วม และระบบย่อยอื่น ๆ ที่มีส่วนร่วมในการขับเคลื่อนระบบเพื่อการผลิตพลังงานต่าง ๆ โดยข้อมูลที่ถูกรวบรวมจะนำไปใช้ในวางแผนการทดสอบและการวิเคราะห์ระบบพลังงาน และการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานต่าง ๆ จากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพ

### การทดสอบและวิเคราะห์ของระบบผลิตพลังงาน

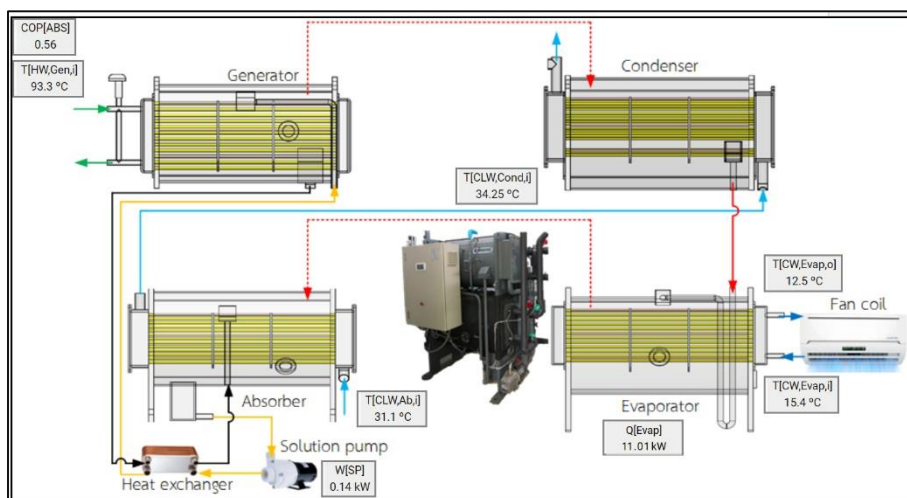
การเก็บข้อมูลที่ระบบตรวจวัดและแสดงผลอัจฉริยะ โดยระบบตรวจวัดและแสดงผลการทำงานแบบอัจฉริยะของเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพ ผ่านระบบออนไลน์ [www.tdetlab.com](http://www.tdetlab.com) ดังแสดงในภาพที่ 11 ถึงภาพที่ 14 และหลังจากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าและความร้อน นำไปประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อหน่วยในหัวข้อการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานต่อไป



ภาพที่ 11 หน้าจอแสดงผลของการผลิตไฟฟ้า

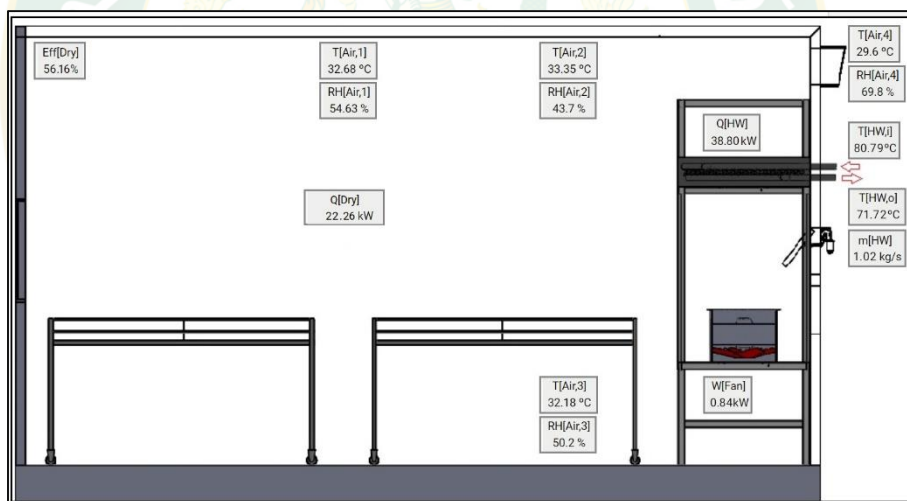
ที่มา: [http://www.tdetlab.com/room/dashboard?room\\_id=5](http://www.tdetlab.com/room/dashboard?room_id=5)





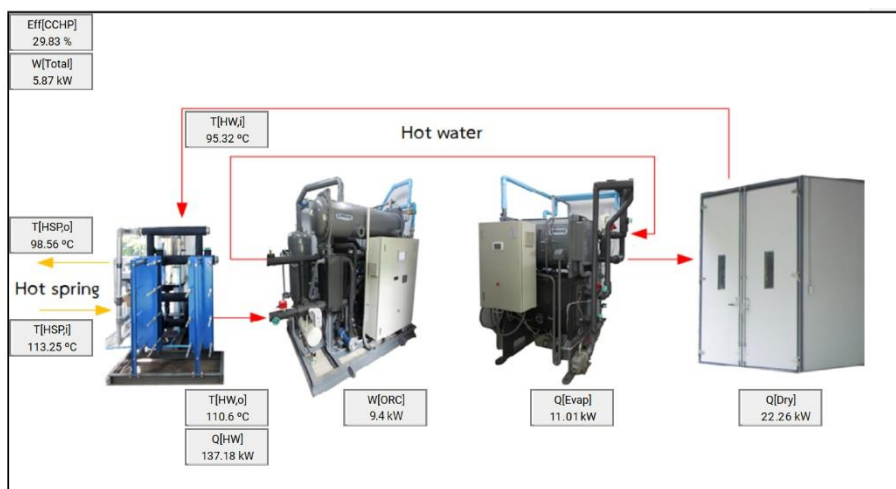
ภาพที่ 12 หน้าจอแสดงผลของการผลิตความเย็น

ที่มา: [http://www.tdetlab.com/room/dashboard?room\\_id=2](http://www.tdetlab.com/room/dashboard?room_id=2)



ภาพที่ 13 หน้าจอแสดงผลของการผลิตความร้อน

ที่มา: [http://www.tdetlab.com/room/dashboard?room\\_id=3](http://www.tdetlab.com/room/dashboard?room_id=3)



ภาพที่ 14 หน้าจอแสดงผลของการผลิตพลังงานร่วม

ที่มา: [http://www.tdetlab.com/room/dashboard?room\\_id=4](http://www.tdetlab.com/room/dashboard?room_id=4)

### การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงาน

ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน จากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพของน้ำพุร้อนสันกำแพงฯ ซึ่งงานวิจัยนี้แบ่งการประเมินออกเป็น 4 ระบบ ได้แก่ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และระบบผลิตพลังงานร่วม โดยใช้หลักการตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 และ ISO 14044 ซึ่งในการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro มีรายละเอียดดังแสดงต่อไปนี้

#### การตั้งสมมติฐานและข้อจำกัดในการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงาน

- กระบวนการกำจัดซาก เมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน มีการกำจัดด้วยกัน 2 วิธีการ คือ วิธีการรีไซเคิล (Recycle) และวิธีการฝังกลบ (Landfill)
- อายุการใช้งานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบผลิตความเย็นด้วยระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ระบบผลิตความร้อนด้วยห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และระบบผลิตพลังงานร่วม คิดที่ 20 y และแต่ละระบบทำงาน 350 d/y (24 h/d)
- การเก็บข้อมูลระยะทางในการขนส่งของงานวิจัยนี้ วัดตามระยะทางจริงตามการขนส่งวัสดุหรือระบบต่าง ๆ จากผู้จำหน่ายมายังสถานที่ติดตั้ง
- แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลปฐมภูมิ ซึ่งหมายถึงแหล่งข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลโดยตรง ณ สถานที่ติดตั้งระบบ และ

ข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลที่ได้จากงานวิจัย ฐานข้อมูลของโปรแกรมสำเร็จรูปการประเมินวัฏจักรชีวิต และวิทยานิพนธ์ เป็นต้น

- การเก็บข้อมูลการปล่อยผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ทำการเก็บข้อมูลการปล่อยผลกระทบทางอากาศ (Air emission) เพียงอย่างเดียว

### การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

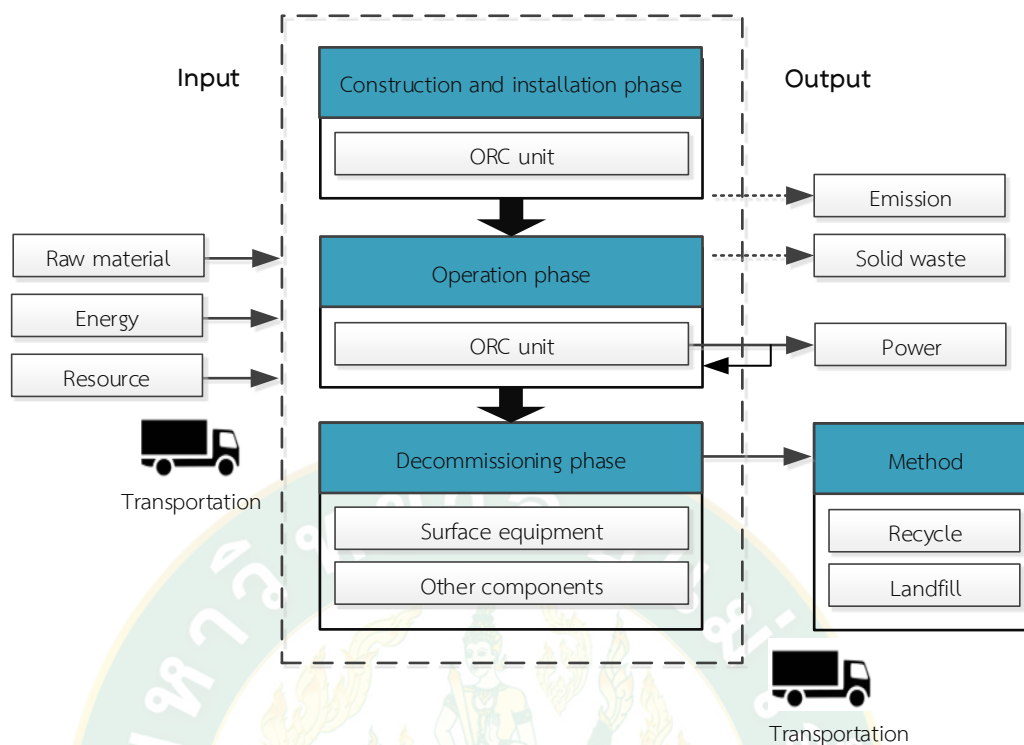
การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ มีรายละเอียดขั้นตอนดังแสดงต่อไปนี้

#### การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

เป้าหมายของการศึกษานี้ คือ การศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ และมีขอบเขตของการศึกษา คือ แบบแอมัล-ทู-เกรฟ โดยพิจารณาตั้งแต่เกิดจนตาย ซึ่งทำการพิจารณาตั้งแต่การใช้วัสดุ (Raw material) พลังงาน (Energy) และทรัพยากร (Resource) การขนส่ง (Transportation) กระบวนการสร้างและติดตั้ง (Construction and installation phase) ภาวการณ์ใช้งาน (Operation phase) และกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน (Decommissioning phase) ดังแสดงในภาพที่ 15 ซึ่งมีอายุการใช้งาน 20 y และมีหน่วยการทำงาน คือ การผลิตไฟฟ้า 1 kWh

#### การวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

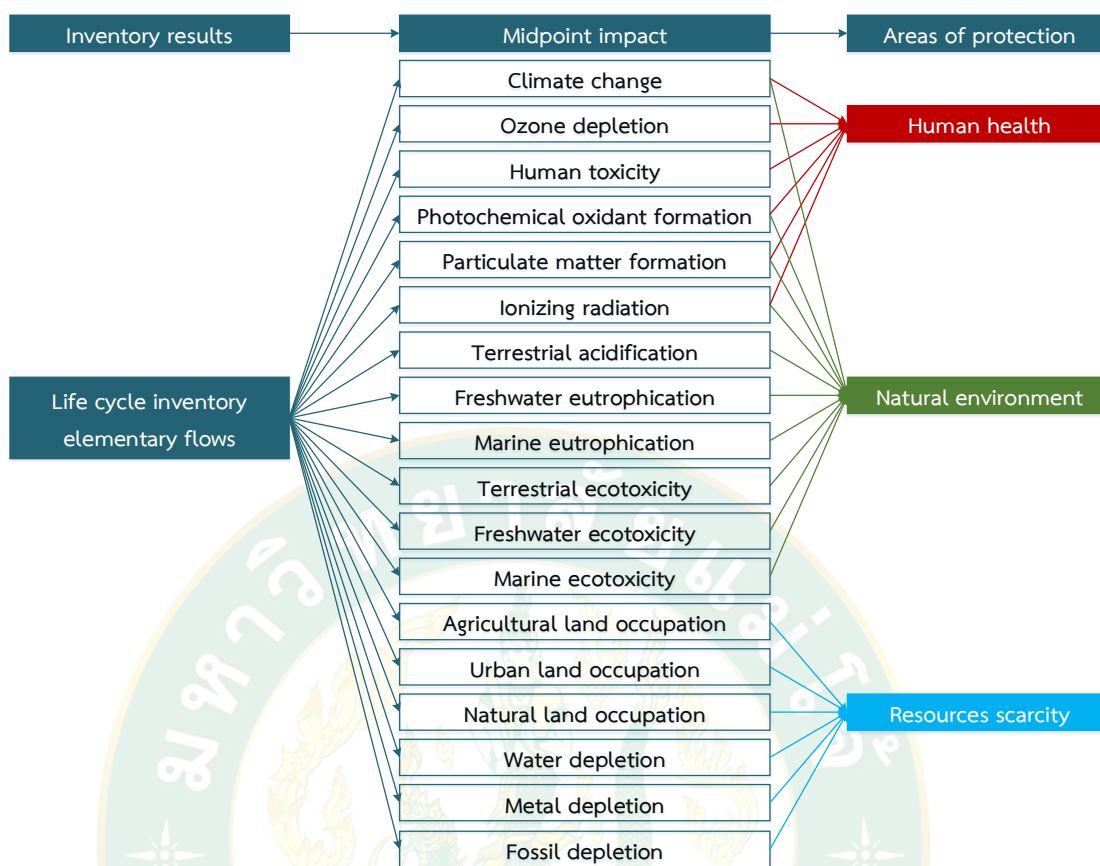
การจัดทำบัญชีรายการข้อมูลและวิเคราะห์บัญชีรายการ โดยในขั้นตอนนี้จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกในกระบวนการต่าง ๆ คือ วัสดุ พลังงานที่ใช้ ทรัพยากร พลังงานที่ผลิตได้ การปล่อยมลพิษและขยะของแข็ง รวมถึงการขนส่งวัสดุมายังสถานที่ติดตั้ง และการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะนำไปทำการคำนวณ เพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบต่อไป



ภาพที่ 15 ขอบเขตการศึกษาของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

### การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ โดยในงานวิจัยนี้ทำการประเมินด้วยโปรแกรม SimaPro เวอร์ชัน 8.5.2 วิธี ReCiPe Midpoint (H) V1.13 (Goedkoop et al. 2016) มีทั้งหมด 18 ผลกระทบ ดังแสดงในภาพที่ 16 แต่ในงานวิจัยนี้จะเลือกศึกษาเฉพาะผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เนื่องจากผลกระทบบางประเภทไม่ได้เกี่ยวเนื่องและอยู่ในพื้นที่ที่ติดตั้งระบบ เช่น การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในทะเล และการเกิดภาวะเป็นพิษต่อน้ำทะเล การใช้พื้นที่เกษตรกรรม เขตเมือง และพื้นที่ทรัพยากรธรรมชาติ รวมถึงการลดลงของน้ำ และส่วนการเกิดรังสีไอออนที่ถูกตัดออกเนื่องจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศ ไทยไม่ได้รับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานนิวเคลียร์ ดังนั้น งานวิจัยนี้จะทำการพิจารณาที่ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมชั้นกลางทั้งหมด 10 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 16 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี ReCiPe

ตารางที่ 1 ประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Environmental impact category)

ประเภทของผลกระทบ	หน่วย
1. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change; CC)	kg CO <sub>2</sub> eq
2. การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone depletion; OD)	kg CFC-11 eq
3. การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity; HT)	kg 1,4 DB eq
4. การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน (Particulate matter formation; PMF)	kg PM10 eq
5. การเกิดภาวะฝนกรด (Terrestrial acidification; TA)	kg SO <sub>2</sub> eq
6. การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด (Freshwater eutrophication; FE)	kg P eq
7. การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน (Terrestrial ecotoxicity; TET)	kg 1,4 DB eq



ประเภทของผลกระทบ	หน่วย
8. การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ (Freshwater ecotoxicity; FET)	kg 1,4 DB eq
9. การลดลงของเหล็ก (Metal depletion; MD)	kg Fe eq
10. การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil depletion; FD)	kg oil eq

### การแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

ซึ่งในขั้นตอนนี้ นำผลข้อมูลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า มาทำการแปลผลกระทบที่เกิดขึ้น วิเคราะห์ผลลัพธ์ อภิปรายผล และสรุปผลที่เกิดขึ้น

### การเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

การนำผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์มาเปรียบเทียบกับค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมาตรฐานการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย

### การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

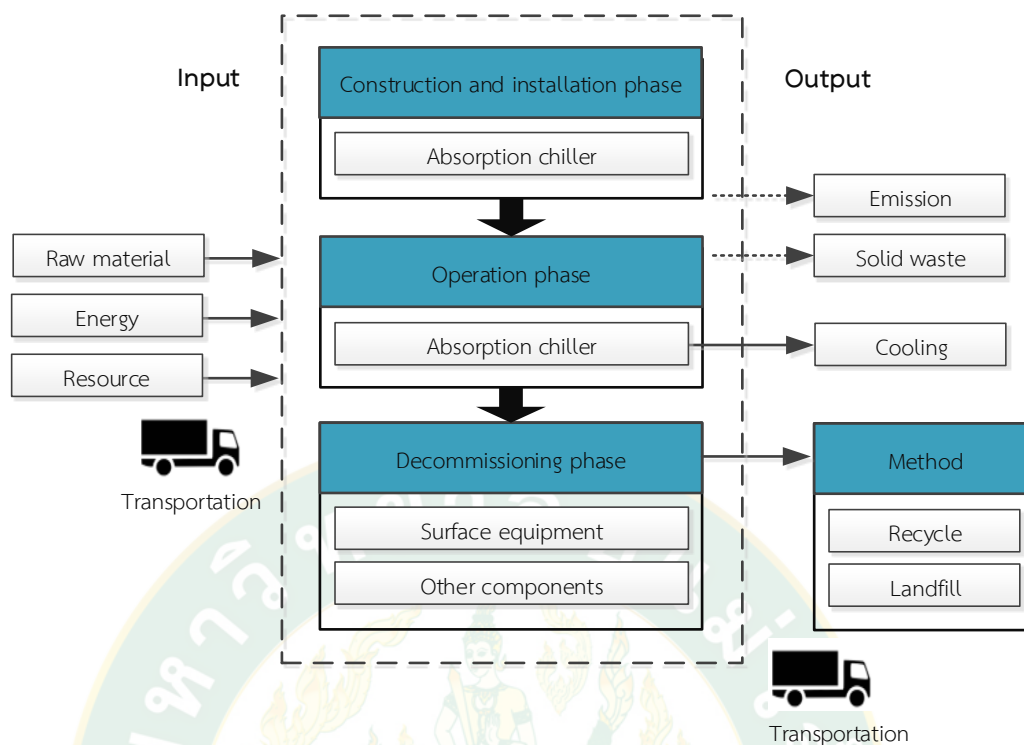
การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ที่ผลิตความเย็นเพื่อป้อนให้แก่ระบบปรับอากาศ มีรายละเอียดขั้นตอนดังแสดงต่อไปนี้

### การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

เป้าหมายของการศึกษานี้ คือ การศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน มีขอบเขตของการศึกษา คือ แบบแกรเดิล-ทุ-เกรฟ โดยพิจารณาตั้งแต่เกิดจนตาย ซึ่งทำการพิจารณาตั้งแต่การใช้วัสดุ พลังงาน และทรัพยากร การขนส่ง กระบวนการสร้างและติดตั้ง กระบวนการใช้งาน และกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 17 ซึ่งมีอายุการใช้งาน 20 y และมีหน่วยการทำงาน คือ การผลิตความเย็น คือ 1 kW

### การวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

การจัดทำบัญชีรายการข้อมูลและวิเคราะห์บัญชีรายการของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน โดยในขั้นตอนนี้ จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกในกระบวนการต่าง ๆ คือ วัสดุ พลังงานที่ใช้ ทรัพยากร พลังงานที่ผลิตได้ การปล่อยมลพิษและขยะของแข็ง รวมถึงการขนส่งวัสดุมายังสถานที่ติดตั้ง และการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะนำไปทำการคำนวณ เพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบต่อไป



ภาพที่ 17 ขอบเขตการศึกษาของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

### การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็น ซึ่งทำการวิเคราะห์และพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมชั้นกลางทั้งหมด 10 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 1

### การแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

ซึ่งในขั้นตอนนี้ นำผลข้อมูลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตความเย็น มาทำการแปลผลกระทบที่เกิดขึ้น วิเคราะห์ผลลัพธ์ อภิปรายผล และสรุปผลที่เกิดขึ้น

### การเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

การนำผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนมาทำการเปรียบเทียบกับค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

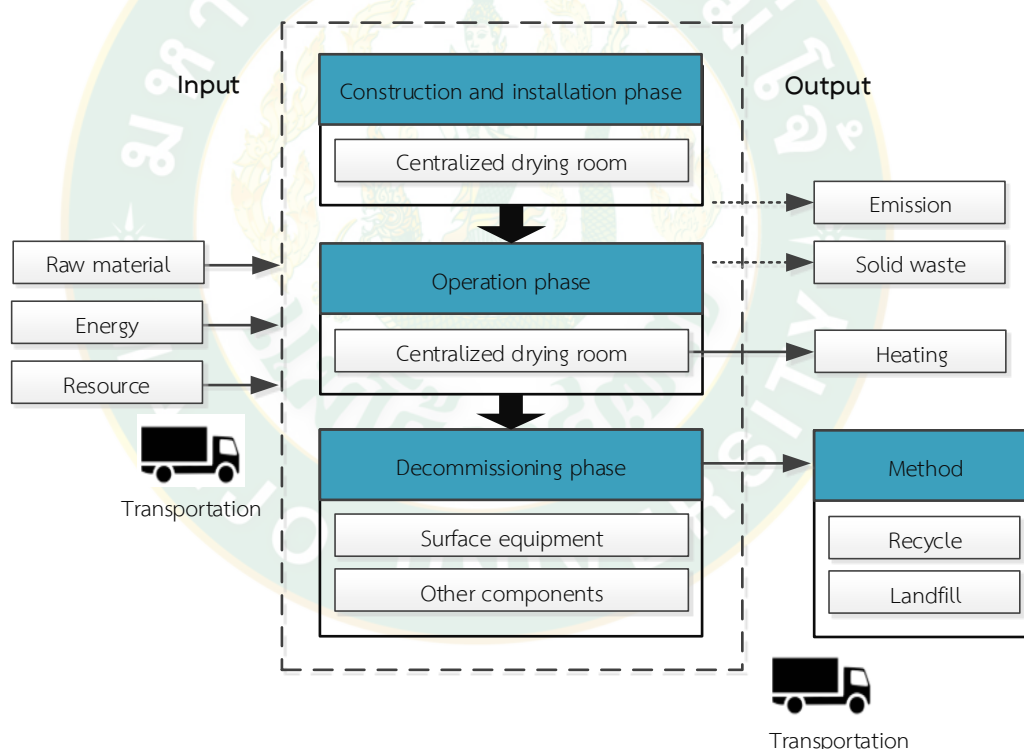


### การประเมินวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

การประเมินวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ที่ผลิตความร้อนภายในห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ สำหรับอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร มีรายละเอียดขั้นตอนดังแสดงต่อไปนี้

#### การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

เป้าหมายของการศึกษานี้ คือ การศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และมีขอบเขตของการศึกษา คือ แบบแกลเดิล-ทู-เกรพ โดยพิจารณาตั้งแต่เกิดจนตาย ซึ่งทำการพิจารณาตั้งแต่การใช้วัสดุ พลังงาน และทรัพยากร การขนส่ง กระบวนการสร้างและติดตั้ง กระบวนการใช้งาน และกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 18 ซึ่งมีอายุการใช้งาน 20 y และมีหน่วยการทำงาน คือ การผลิตความร้อน 1 kW



ภาพที่ 18 ขอบเขตการศึกษาของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

#### การวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

การจัดทำบัญชีรายการข้อมูลและวิเคราะห์บัญชีรายการ โดยในขั้นตอนนี้จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกในกระบวนการต่าง ๆ คือ วัสดุ พลังงานที่ใช้ ทรัพยากร พลังงานที่ผลิตได้ การปล่อยมลพิษและขยะของแข็ง รวมถึงการขนส่งวัสดุ

มายังสถานที่ติดตั้ง และการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะนำไปทำการคำนวณ เพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบต่อไป

#### **การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม**

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ โดยทำการประเมินด้วยโปรแกรมเช่นเดียวกับระบบข้างต้น และประเภทผลกระทบดังแสดงในตารางที่ 1

#### **การแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม**

ในขั้นตอนนี้ นำผลข้อมูลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตความร้อน มาทำการแปลผลกระทบที่เกิดขึ้น วิเคราะห์ผลลัพธ์ อภิปรายผล และสรุปผลที่เกิดขึ้น

#### **การเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม**

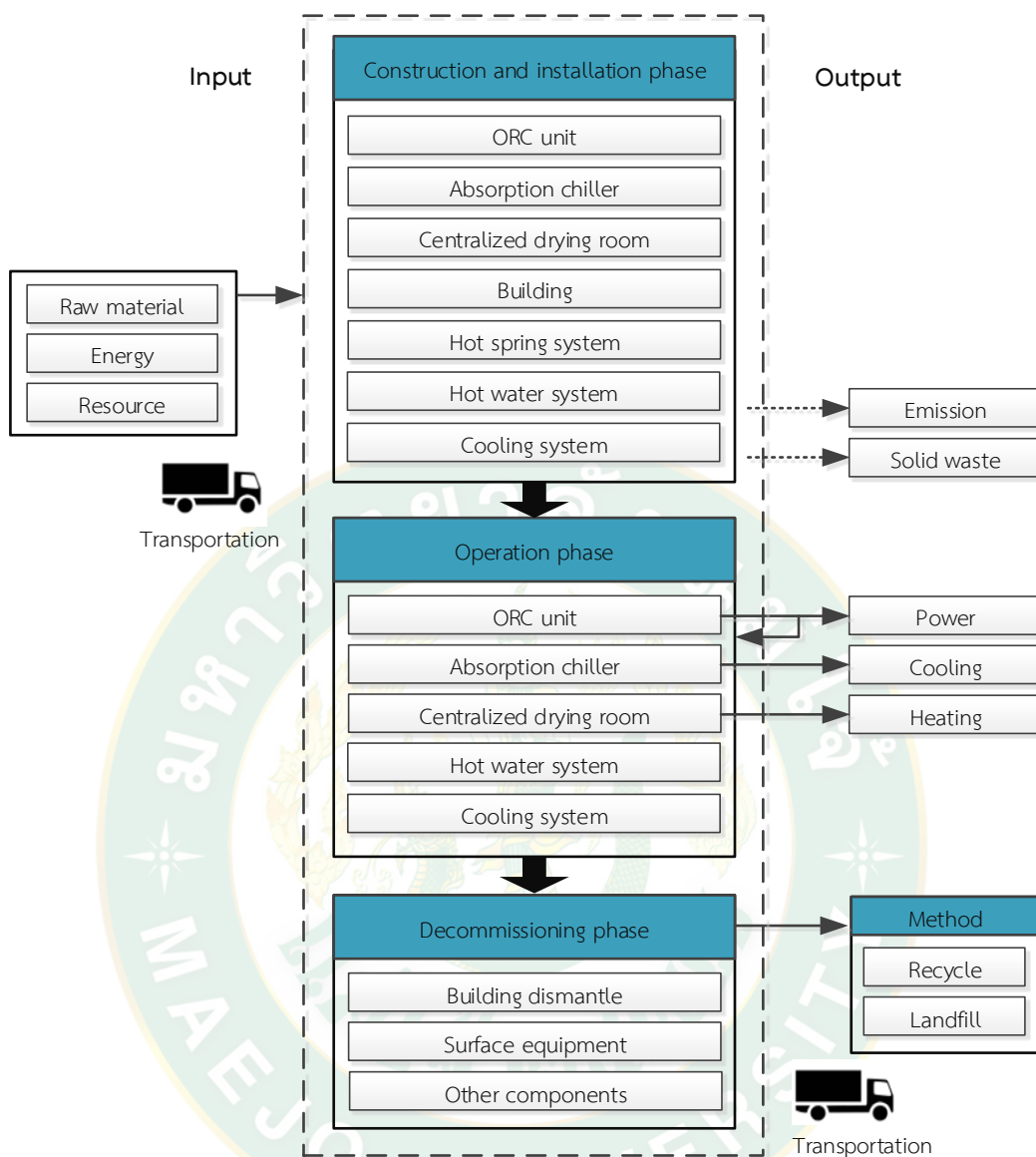
การนำผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์มาทำการเปรียบเทียบกับค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของห้องอบแห้งจากแหล่งความร้อนอื่น ๆ ในประเทศไทย

#### **การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานร่วม**

ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานร่วมจากพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นไค อันประกอบไปด้วยระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และระบบย่อยอื่น ๆ ได้แก่ ระบบน้ำพุร้อน ระบบน้ำร้อน ระบบระบายความร้อน รวมถึงโรงเรือนสำหรับการติดตั้งระบบ ซึ่งมีขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตทั้งหมด 4 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงต่อไปนี้

#### **การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา**

การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมรวมทั้ง 3 ระบบ คือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ มีขอบเขตของการศึกษา คือ แบบแกลเดิล-ทู-เกรฟ โดยพิจารณาตั้งแต่เกิดจนตาย ซึ่งทำการพิจารณาตั้งแต่การใช้วัสดุ พลังงาน และทรัพยากร การขนส่ง กระบวนการสร้างและติดตั้ง กระบวนการใช้งาน และกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 19 ซึ่งมีอายุการใช้งาน 20 y และมีหน่วยการทำงาน คือ การผลิตพลังงานร่วม (Gross energy output) เท่ากับ 1 MJ



ภาพที่ 19 ขอบเขตการศึกษาของระบบผลิตพลังงานร่วม

### การวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

การจัดทำบัญชีรายการข้อมูลและวิเคราะห์บัญชีรายการ โดยในขั้นตอนนี้จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกในกระบวนการต่าง ๆ คือ วัสดุพลังงานที่ใช้ ทรัพยากร พลังงานที่ผลิตได้ การปล่อยมลพิษและขยะของแข็ง รวมถึงการขนส่งวัสดุไปยังสถานที่ติดตั้ง และการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะนำไปทำการคำนวณ เพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบต่อไป

### การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม โดยในการวิเคราะห์จะใช้วิธีเดียวกับทั้ง 3 ระบบที่ผ่านมา และพิจารณาผลกระทบเช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

### การแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

ซึ่งในขั้นตอนนี้นำผลข้อมูลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตพลังงานร่วม จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ ทำการแปลผลกระทบที่เกิดขึ้น วิเคราะห์ผลลัพธ์อภิปรายผล และสรุปผลที่เกิดขึ้น



## บทที่ 4

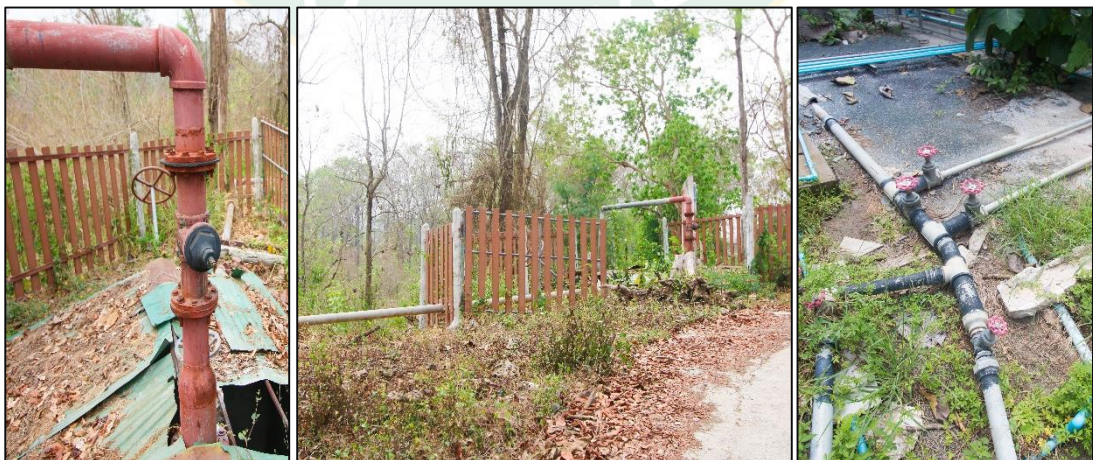
### ผลและอภิปรายผล

ในการศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน จากพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันได ซึ่งมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

#### ผลการสำรวจและจัดเก็บข้อมูลทางกายภาพ

จากการสำรวจและจัดเก็บข้อมูลทางกายภาพ พบว่า มีเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตพลังงานอันประกอบไปด้วย ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และระบบย่อยอื่น ๆ ที่มีส่วนในการขับเคลื่อนระบบให้สามารถผลิตพลังงานได้ โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับเทคโนโลยีดังแสดงต่อไปนี้

พลังงานความร้อนใต้พิภพหรือน้ำพุร้อนของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพงฯ โดยแหล่งที่นำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน คือ น้ำพุร้อนหลุมที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 20 ที่มีอุณหภูมิที่พื้นผิวดิน 105 °C ผสมกับไอน้ำพุร้อนอุณหภูมิประมาณ 120 °C ที่อัตราการไหลประมาณ 20 L/s โดยความลึกของหลุมเจาะ 283 m และน้ำพุร้อนจากหลุมที่ 1 ท่อส่งต่อมายังระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนด้วยท่อเหล็กชนิดกล้าไนซ์ ฝังอยู่ใต้ดินประมาณ 30 cm และยาวประมาณ 240 m น้ำพุร้อนที่ป้อนให้แก่ระบบเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำสะอาดมีอัตราการไหลประมาณ 3 L/s



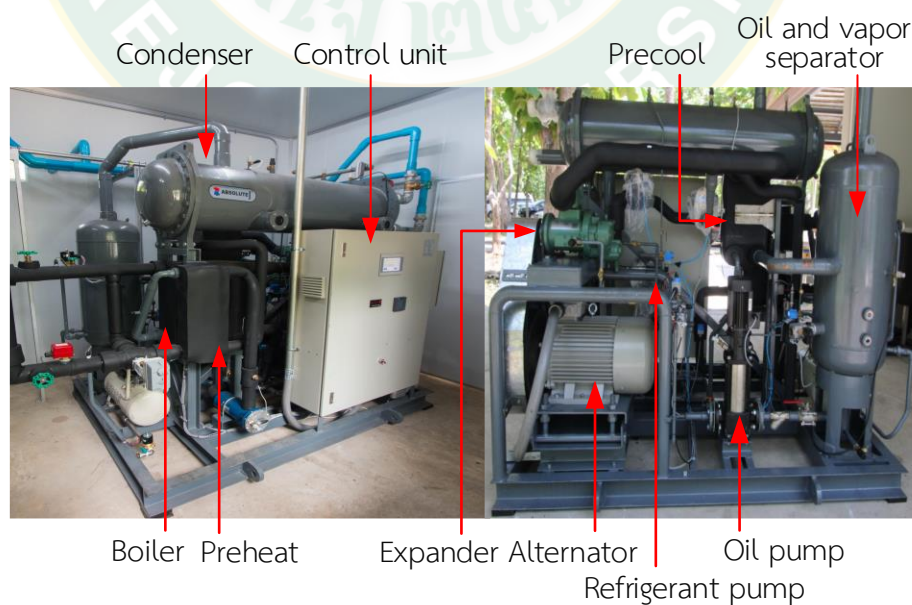
ภาพที่ 20 น้ำพุร้อนหลุมเจาะที่ 1 ของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพงฯ



ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ มีขนาดกำลังการผลิตติดตั้งประมาณ 10 kW<sub>e</sub> มีลักษณะและส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบดังแสดงในภาพที่ 21 และภาพที่ 22 ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ใช้สารทำงาน R-245fa (1,1,1,3,3-Pentafluoropropane) เป็นสารเคมีสังเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 21 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์



ภาพที่ 22 ส่วนประกอบของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์



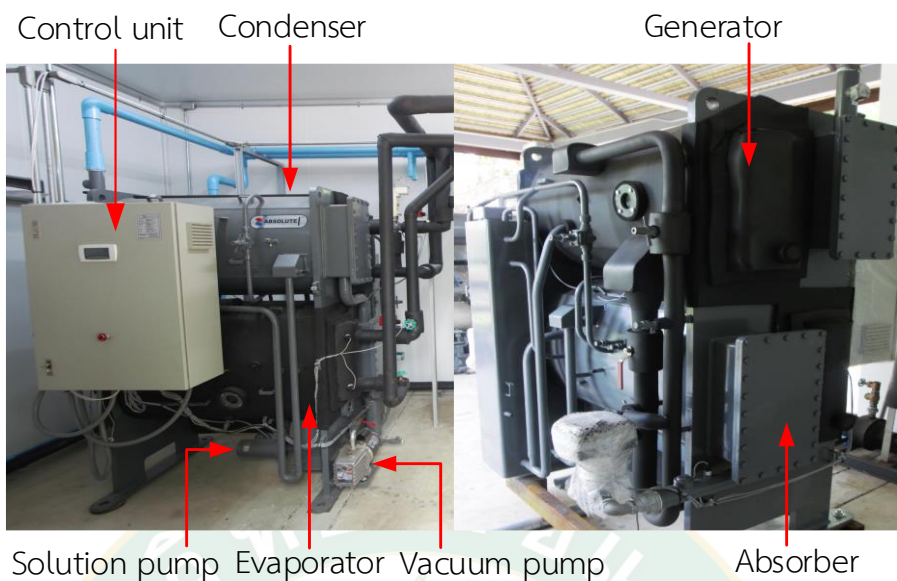


ภาพที่ 23 สารทำงาน R-245fa

การทำความเย็นของระบบปรับอากาศ โดยใช้ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนชั้นเดียว มีขนาดกำลังการผลิตติดตั้งประมาณ 10 kW หรือประมาณ 3 TR มีลักษณะและส่วนประกอบของระบบดังแสดงในภาพที่ 24 และภาพที่ 25 ซึ่งสารทำงานในระบบ คือ สารละลายน้ำ-ลิเทียมโบรไมด์ ( $H_2O-LiBr$ ) ประมาณ 55-60 %LiBr



ภาพที่ 24 ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน



ภาพที่ 25 ส่วนประกอบของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ มีขนาดกำลังการผลิตติดตั้งประมาณ 20 kW มีขนาดห้องกว้าง 3.6 m ยาว 6.0 m และสูง 3.0 m สร้างจากแผ่นฉนวนกันความร้อนชนิดโพลีสไตรีนโฟม มีผิวทั้งสองด้านเป็นแผ่นเหล็กอาบสังกะสีเคลือบขาว (Galvanized steel and white polystyrene coating food grade USDA, Isowall) ทั้งผนังห้องและเพดาน ด้านหน้าเป็นประตูสวิง และด้านในมีชั้นวางผลผลิตทางการเกษตรสำหรับอบแห้งแบบชั้นเดียว จำนวน 4 Pcs ดังแสดงในภาพที่ 26 และมีส่วนประกอบอื่น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 27



ภาพที่ 26 ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์



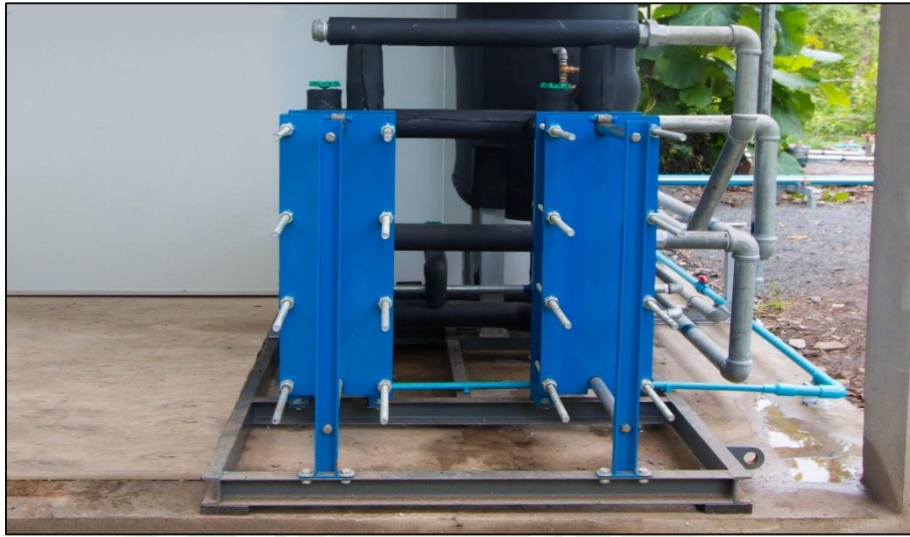


ภาพที่ 27 ส่วนประกอบด้านในของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

โดยเทคโนโลยีการผลิตพลังงานเหล่านี้จะทำงานร่วมกับระบบท่อน้ำพุร้อน ระบบน้ำสะอาด ระบบน้ำร้อน ระบบน้ำเย็น ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบถอดประกอบได้ (Gasket plate heat exchanger) และระบบระบายความร้อน มีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 28 ถึง ภาพที่ 30



ภาพที่ 28 ระบบกรองน้ำสะอาดและหอผึ่งระบายความร้อน



ภาพที่ 29 ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบถอดประกอบได้



ภาพที่ 30 ถังเก็บน้ำร้อน ถังเก็บน้ำเย็น และระบบท่อต่าง ๆ

สำหรับโรงเรือนในการติดตั้งระบบมีลักษณะเป็นรูปตัวแอล มีขนาดกว้าง 11.55 m ยาว 12.20 m สูง 6.20 m และพื้นหนา 30 cm ในส่วนของการสร้างฐานรากโรงเรือนใช้เข็มเหล็ก รุ่น F114 x 2000 x 220 จำนวน 10 Pcs ดังแสดงในภาพที่ 31 โดยโครงสร้างโรงเรือนเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก คานและเสาเสริมด้วยเหล็กข้ออ้อยขนาด 12 mm และเหล็กเส้นกลมขนาด 6 mm ส่วนพื้นโรงเรือนเสริมด้วยเหล็กเส้นกลมขนาด 9 mm ดังแสดงในภาพที่ 32 โครงสร้างหลังคาโรงเรือนใช้เหล็กทั้งหมดและมุงหลังคาด้วยกระเบื้องชนิดไฟเบอร์ซีเมนต์ภาพที่ 33 ซึ่งภายในโรงเรือนติดตั้งห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และห้องระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์และระบบทำความเย็น



แบบคูดกลื่น ซึ่งจะถูกติดตั้งอยู่ภายในห้องเดียวกัน มีขนาดกว้าง 3.6 m ยาว 6.0 m สูง 3.0 m ดังแสดงในภาพที่ 34 และภาพที่ 35 และฐานวางระบบน้ำสะอาดและระบายความร้อนมีขนาดกว้าง 2.0 m ยาว 5.0 m และพื้นหนา 20 cm ดังแสดงในภาพที่ 36



ภาพที่ 31 การสร้างฐานรากด้วยเข็มเหล็ก



ภาพที่ 32 โครงสร้างฐานของโรงเรียน



ภาพที่ 33 โครงสร้างหลังคาของโรงเรียน



ภาพที่ 34 โรงเรือนหลังการก่อสร้างเสร็จ



ภาพที่ 35 ห้องระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน





ภาพที่ 36 ฐานวางระบบระบายความร้อนและระบบน้ำสะอาด

ในช่วงการก่อสร้างระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน มีการขนส่งวัสดุและระบบต่าง ๆ ด้วยรถบรรทุก 6 ล้อ และรถกระบะทั่วไป ดังแสดงในภาพที่ 37 และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการก่อสร้างทั้งหมด 37 kWh ดังแสดงในภาพที่ 38



ภาพที่ 37 รถบรรทุกในการขนส่งระบบฯ จากโรงงานมายังสถานที่ติดตั้ง



ภาพที่ 38 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการก่อสร้างและติดตั้ง

### ผลการทดสอบและวิเคราะห์ของระบบผลิตพลังงาน

จากผลการทดสอบระบบผลิตพลังงานจากระบบตรวจวัดและแสดงผลการทำงานแบบอัจฉริยะของเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพดังแสดงต่อไปนี้

#### ผลการทดสอบและวิเคราะห์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

จากผลการทดสอบและวิเคราะห์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ พบว่าสามารถผลิตไฟฟ้าได้สุทธิเท่ากับ 7.51 kW<sub>e</sub> ที่ประสิทธิภาพการทำงานของระบบเท่ากับ 9.53% ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

รายละเอียด	ข้อมูล
อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าหม้อต้ม ( $T_{HW,i}$ ) [°C]	109.90
อุณหภูมิน้ำร้อนออกหม้อต้ม ( $T_{HW,o}$ ) [°C]	99.04
อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้ม ( $Q_B$ ) [kW]	78.83
น้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องควบแน่น ( $T_{CLW,i}$ ) [°C]	30.00
น้ำระบายความร้อนออกเครื่องควบแน่น ( $T_{CLW,o}$ ) [°C]	36.40
อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น ( $Q_C$ ) [kW]	44.83
กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มสารทำงาน ( $W_{RP}$ ) [kW <sub>e</sub> ]	1.39
กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มน้ำมันหล่อลื่น ( $W_{OP}$ ) [kW <sub>e</sub> ]	0.50

รายละเอียด	ข้อมูล
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด ( $W_{Exp,e}$ ) [kW <sub>e</sub> ]	9.40
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดสุทธิ <sup>1</sup> ( $W_{ORC,N}$ ) [kW <sub>e</sub> ]	7.51
ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ <sup>2</sup> ( $\eta_{ORC}$ ) [%]	9.53

หมายเหตุ: <sup>1</sup>  $W_{ORC,N} = W_{Exp,e} - W_{RP} - W_{OP}$

$$^2 \eta_{ORC} = (W_{Exp,e} - W_{RP} - W_{OP}) / Q_B$$

### ผลการทดสอบและวิเคราะห์ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

จากผลการทดสอบและวิเคราะห์ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน มีการป้อนพลังงานความร้อนให้แก่เจนเนอเรเตอร์เท่ากับ 19.55 kW สามารถผลิตความเย็นได้ทั้งหมด 11.01 kW ที่ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นเท่ากับ 0.56 มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3

### ตารางที่ 3 ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

รายละเอียด	ข้อมูล
อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเจนเนอเรเตอร์ ( $T_{HW,i}$ ) [°C]	95.60
อุณหภูมิน้ำร้อนออกเจนเนอเรเตอร์ ( $T_{HW,o}$ ) [°C]	89.42
อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เจนเนอเรเตอร์ ( $Q_G$ ) [kW]	19.55
น้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องควบแน่น ( $T_{CLW,i}$ ) [°C]	33.94
น้ำระบายความร้อนออกเครื่องควบแน่น ( $T_{CLW,o}$ ) [°C]	38.75
อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น ( $Q_C$ ) [kW]	17.95
กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มสารละลาย ( $W_{SP}$ ) [kW <sub>e</sub> ]	0.15
ความเย็นที่ผลิตได้ทั้งหมด ( $Q_E$ ) [kW]	11.01
ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น <sup>1</sup> ( $COP_{Ab}$ )	0.56

หมายเหตุ: <sup>1</sup>  $COP_{Ab} = Q_E / (Q_G + W_{SP})$

### ผลการทดสอบและวิเคราะห์ของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

จากผลการทดสอบและวิเคราะห์ของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ มีการป้อนพลังงานความร้อนให้แก่แผงแลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 38.80 kW สามารถผลิตความร้อนได้ทั้งหมด 22.26 kW ที่ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์เท่ากับ 56.13% มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4



**ตารางที่ 4** ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

รายละเอียด	ข้อมูล
อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าแผงแลกเปลี่ยนความร้อน ( $T_{HW,i}$ ) [ $^{\circ}\text{C}$ ]	80.79
อุณหภูมิน้ำร้อนออกแผงแลกเปลี่ยนความร้อน ( $T_{HW,o}$ ) [ $^{\circ}\text{C}$ ]	71.72
อัตราการถ่ายเทความร้อนที่แผงแลกเปลี่ยนความร้อน ( $Q_{HW3}$ ) [kW]	38.80
กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลม ( $W_{Mb}$ ) [ $\text{kW}_e$ ]	0.84
พลังงานความร้อนที่ผลิตได้ทั้งหมด ( $Q_{\text{Drying}}$ ) [kW]	22.26
ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ <sup>3</sup> ( $\eta_{\text{Drying}}$ ) [%]	56.16

หมายเหตุ: <sup>1</sup>  $\eta_{\text{Drying}} = Q_{\text{Drying}} / (Q_{HW3} + W_{Mb})$

#### ผลการทดสอบและวิเคราะห์ของระบบผลิตพลังงานร่วม

จากผลการทดสอบและวิเคราะห์ของระบบผลิตพลังงานร่วม มีการป้อนพลังงานความร้อนให้แก่ระบบทั้งหมดเท่ากับ 137.18 kW สามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมด 9.4  $\text{kW}_e$  สามารถผลิตความเย็นได้ทั้งหมด 11.01 kW และสามารถผลิตความร้อนได้ทั้งหมด 22.26 kW ที่ประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมเท่ากับ 29.83% มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 5

**ตารางที่ 5** ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ของระบบผลิตพลังงานร่วม

รายละเอียด	ข้อมูล
อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ( $T_{HW,i}$ ) [ $^{\circ}\text{C}$ ]	110.6
อุณหภูมิน้ำร้อนออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ( $T_{HW,o}$ ) [ $^{\circ}\text{C}$ ]	95.32
อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้ม ( $Q_B$ ) [kW]	78.83
อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เจนเนอเรเตอร์ ( $Q_G$ ) [kW]	19.55
อัตราการถ่ายเทความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ( $Q_{HW}$ ) [kW]	38.80
กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มน้ำร้อน ( $W_{HP}$ ) [ $\text{kW}_e$ ]	1.01
กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มน้ำหล่อเย็น ( $W_{CLWP}$ ) [ $\text{kW}_e$ ]	0.97
กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มสารทำงาน ( $W_{RP}$ ) [ $\text{kW}_e$ ]	1.39
กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มน้ำมันหล่อลื่น ( $W_{OP}$ ) [ $\text{kW}_e$ ]	0.50
กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่มอเตอร์ห่อฝักระบายความร้อน ( $W_{MCT}$ ) [ $\text{kW}_e$ ]	0.80
กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มน้ำเย็น ( $W_{CWP}$ ) [ $\text{kW}_e$ ]	0.21

รายละเอียด	ข้อมูล
กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มสารละลาย ( $W_{SP}$ ) [ $kW_e$ ]	0.15
กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลม ( $W_{Mb}$ ) [ $kW_e$ ]	0.84
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด ( $W_{Exp,e}$ ) [ $kW_e$ ]	9.40
ความเย็นที่ผลิตได้ทั้งหมด ( $Q_E$ ) [ $kW$ ]	11.01
พลังงานความร้อนที่ผลิตได้ทั้งหมด ( $Q_{Drying}$ ) [ $kW$ ]	22.26
ประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานรวม <sup>1</sup> ( $\eta_{CCHP}$ ) [%]	29.83

หมายเหตุ:  $^1 \eta_{CCHP} = ((W_{Exp,e} + Q_E + Q_{Drying}) / (Q_{Total} + W_{Total}))$

### ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน จากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพ

จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพ มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

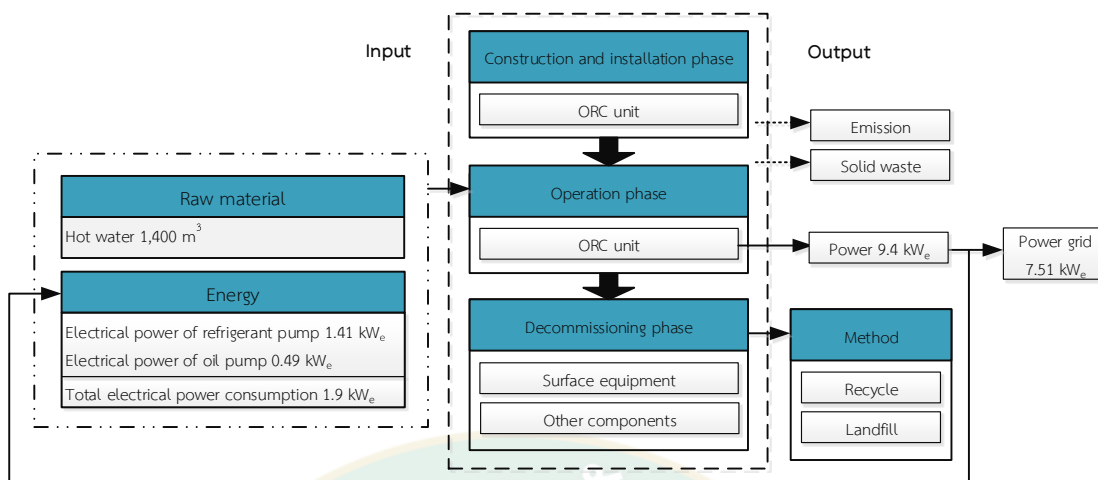
#### ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

จากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ มีผลการวิเคราะห์บัญชีรายการและผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ ดังแสดงต่อไปนี้

#### ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

ในการจัดเก็บรวบรวมปริมาณสารขาเข้า-สารขาออกของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ตลอดวัฏจักรชีวิต โดยมีกระบวนการทำงานดังแสดงในภาพที่ 39 และรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 6 ถึง ตารางที่ 9 ซึ่งระบบดังกล่าวมีระยะเวลาการทำงาน 24 h/d และทำงาน 350 d/y เป็นเวลา 20 y สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทั้งหมด 1,261,680 kWh/Lifetime





ภาพที่ 39 กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

ตารางที่ 6 บัญชีรายการข้อมูลการสร้างและติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

รายการ	ชนิดวัสดุ	ปริมาณ	หน่วย	น้ำหนัก	หน่วย
<b>สารขาเข้า</b>					
โครงสร้างระบบ	เหล็กกล้าผสม	-	-	1,300.00	kg
ท่อ	ทองแดง	-	-	60.00	kg
เครื่องควบแน่น	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	230.00	kg
	ทองแดง	-	-	100.00	kg
	เหล็กกล้าวาไนซ์	-	-	2.00	kg
	กระจก	-	-	0.30	kg
เครื่องแยกไอและน้ำมัน	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	200.00	kg
	ทองแดง	-	-	40.00	kg
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	150.00	kg
	ทองแดง	-	-	60.00	kg
เกจวัด	อลูมิเนียม	1	Pcs	0.50	kg
	เหล็กกล้าวาไนซ์	-	-	5.50	kg
หม้อต้ม	ทองแดง	1	Pcs	36.10	kg
	สแตนเลส	-	-	10.00	kg
เครื่องขยายตัว	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	60.00	kg
สารทำงาน	R-245fa	3	Unit	68.10	kg
น้ำมันหล่อลื่น	น้ำมัน	2	Unit	40.00	L
พรีฮีต	ทองแดง	2	Pcs	72.20	kg

รายการ	ชนิดวัสดุ	ปริมาณ	หน่วย	น้ำหนัก	หน่วย
	สแตนเลส	-	-	20.00	kg
น็อต	ทองเหลือง	-	-	20.00	kg
สายพาน	โพลียูรีเทน	1	Pcs	2.00	kg
วาล์ว	ทองเหลือง	12	Pcs	38.00	kg
	สแตนเลส	-	-	2.00	kg
ฉนวนกันความร้อน	ยาง	-	-	2.00	kg
ปั๊มสารทำงาน	สแตนเลส	1	Pcs	76.00	kg
ปั๊มน้ำมันหล่อลื่น	สแตนเลส	1	Pcs	60.00	kg
ลูกยาง	โพลีสไตรีน	-	-	1.50	kg
ตู้ควบคุม	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	50.00	kg
สายไฟ	ทองแดง	-	-	5.00	kg
	พลาสติก	-	-	2.00	kg
ปั๊มลม	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	17.00	kg
	ทองแดง	-	-	2.00	kg
	พลาสติก	-	-	1.00	kg
สีกันสนิม	สารเคมี	1	Unit	24.00	kg

หมายเหตุ: เก็บข้อมูลจากรายการสั่งซื้อวัสดุและรายละเอียดอุปกรณ์ต่าง ๆ ณ สถานที่ติดตั้งระบบ

#### ตารางที่ 7 บัญชีรายการข้อมูลของการขนส่งวัสดุระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

รายการ	ชนิดเชื้อเพลิง	ระยะทาง	หน่วย	ปริมาณ	หน่วย
รถบรรทุกติดเครน 6 ล้อ	ดีเซล	760	km	190.00	L
รถบรรทุก 6 ล้อ	ดีเซล	760	km	152.00	L

หมายเหตุ: ผลการคำนวณจากระยะทางการขนส่งจากบริษัทมายังสถานที่ติดตั้ง

#### ตารางที่ 8 บัญชีรายการข้อมูลการใช้งานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
<b>สารขาเข้า</b>		
น้ำร้อน <sup>1</sup>	1,400.00	m <sup>3</sup>
สารทำงาน R-245fa <sup>1</sup>	15.60	kg
น้ำมันหล่อลื่น <sup>1</sup>	120.00	L
พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้ระบบ <sup>2</sup>	317,520.00	kWh

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
<b>สารขาออก</b>		
การรั่วไหลของสารทำงาน R-245fa (การรั่วไหล 0.78 kg/y) <sup>3</sup>	15.60	kg
น้ำมันหล่อลื่น (อายุการใช้งาน 5 y) <sup>1</sup>	120.00	L
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด <sup>2</sup>	1,579,200.00	kWh
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สุทธิ <sup>2</sup>	1,261,680.00	kWh

หมายเหตุ: <sup>1</sup> ผลการประเมินจากการใช้งานของระบบ

<sup>2</sup> ผลการคำนวณของการเก็บข้อมูลจากระบบจากระบบออนไลน์ [www.tdetlab.com](http://www.tdetlab.com)

<sup>3</sup> ผลค่าเฉลี่ยจากงานวิจัยของ Ding et al. (2018), Gerber and Marechal (2012), Intaniwat and Chaiyat (2017), Wang et al. (2018), Zhang et al. (2018)

### ตารางที่ 9 บัญชีรายการข้อมูลการกำจัดซากของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
<b>การรีไซเคิล</b>		
เหล็กกล้าผสม	1,948.00	kg
เหล็กกล้าในซี	8.00	kg
สแตนเลส	168.00	kg
ทองเหลือง	38.00	kg
อลูมิเนียม	0.50	kg
สารทำงาน R-245fa	68.10	kg
ทองแดง	376.80	kg
<b>การฝังกลบ</b>		
พลาสติกรวม	10.00	kg
น้ำมันหล่อลื่น	40.00	L
<b>การขนส่ง</b>		
รถบรรทุก 6 ล้อ (น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล)	40.00	L

หมายเหตุ: ข้อมูลจากการประเมินตามปริมาณวัสดุที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานร่วม

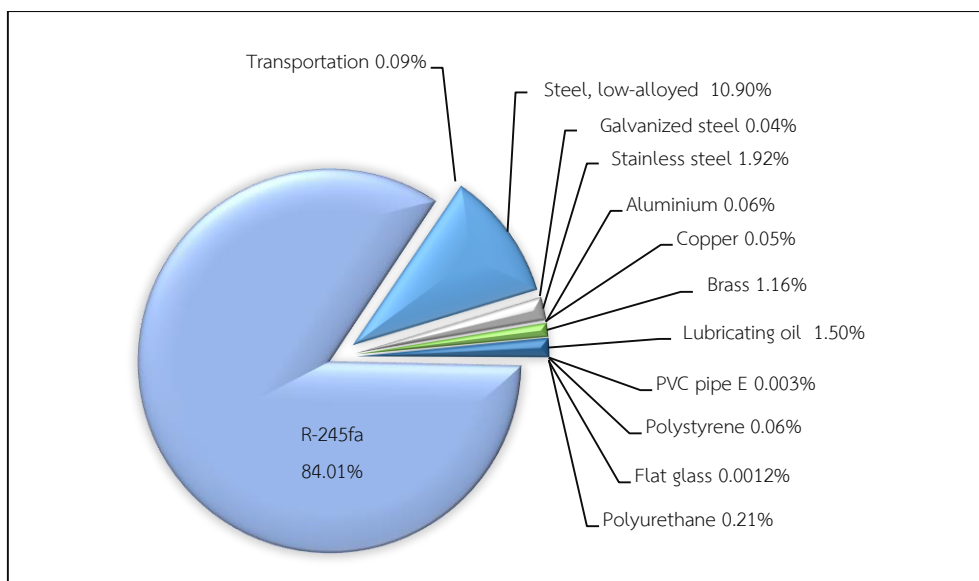
### ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

จากผลการวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ เมื่อนำมาประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมาทำการพิจารณา ดังแสดงในตารางที่ 10

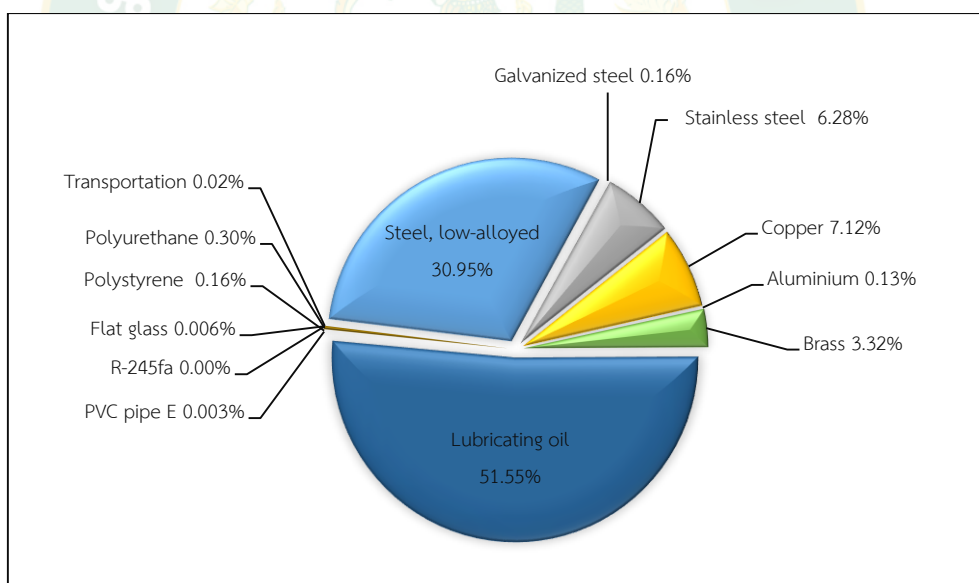
ตารางที่ 10 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

Environmental impact	Construction phase	Operation phase	Decommissioning phase		Total Emission	
			Recycle	Landfill	Lifetime	kWh
CC	6.71E+04	1.77E+04	-4.82E+04	6.07E+02	3.72E+04	4.10E-02
OD	2.25E-03	2.94E-05	-3.60E-04	2.39E-04	2.16E-03	2.38E-09
HT	5.63E+04	3.12E+02	-5.22E+04	3.19E+02	4.75E+03	5.22E-03
PMF	4.26E+01	1.40E+00	-3.34E+01	1.74E+00	1.23E+01	1.36E-05
TA	8.87E+01	2.50E+00	-3.66E+01	2.84E+00	5.74E+01	6.32E-05
FE	2.78E+01	2.13E-01	-2.52E+01	2.14E-01	3.08E+00	3.39E-06
TET	3.29E+00	2.11E+01	-2.58E+00	2.11E+01	4.29E+01	4.72E-05
FET	6.42E+02	7.39E+00	-5.10E+02	7.47E+00	1.47E+02	1.62E-04
MD	2.28E+04	3.68E+01	-1.83E+04	3.58E+01	4.51E+03	4.97E-03
FD	3.11E+03	1.06E+02	-1.12E+03	1.64E+02	2.26E+03	2.49E-03

ผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างและติดตั้ง ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการใช้วัสดุประเภทเหล็ก จำนวน 1,948 kg ทองเหลือง จำนวน 58 kg น้ำมันหล่อลื่น 40 L และสารทำงานจำนวน 68 kg เป็นต้น จึงส่งผลให้เกิดผลกระทบด้านการเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด และการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ ในกระบวนการใช้งาน มีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมรวมที่เกิดขึ้นค่อนข้างต่ำ แต่ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีการใช้สารทำงาน R-245fa ซึ่งเป็นสารเคมีสังเคราะห์ เป็นสารทำงานในการขับเคลื่อนระบบผลิตไฟฟ้า และอาจเกิดการรั่วไหลจากอุปกรณ์ในอัตรา 0.78 kg/y ผลค่าเฉลี่ยจากงานวิจัยของ Ding et al. (2018), Gerber and Marechal (2012), Intaniwat and Chaiyat (2017), Wang et al. (2018), Zhang et al. (2018) จึงเป็นผลทำให้ในกระบวนการใช้งานที่มีค่าผลกระทบในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่สูง และกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ซึ่งกระบวนการนี้เป็นกระบวนการสุดท้ายของระบบผลิตไฟฟ้า จากการวิเคราะห์บัญชีรายการเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานแล้ว สามารถนำวัสดุบางส่วนกลับไปใช้งานได้ใหม่ จึงส่งผลให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการสุดท้ายมีค่าลดลง และอีกส่วนหนึ่งที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้งานได้จะถูกนำไปฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล โดยผลกระทบของการใช้วัตถุดิบแต่ละด้านตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้ามีผลดังแสดงในภาพที่ 40 ถึง ภาพที่ 49

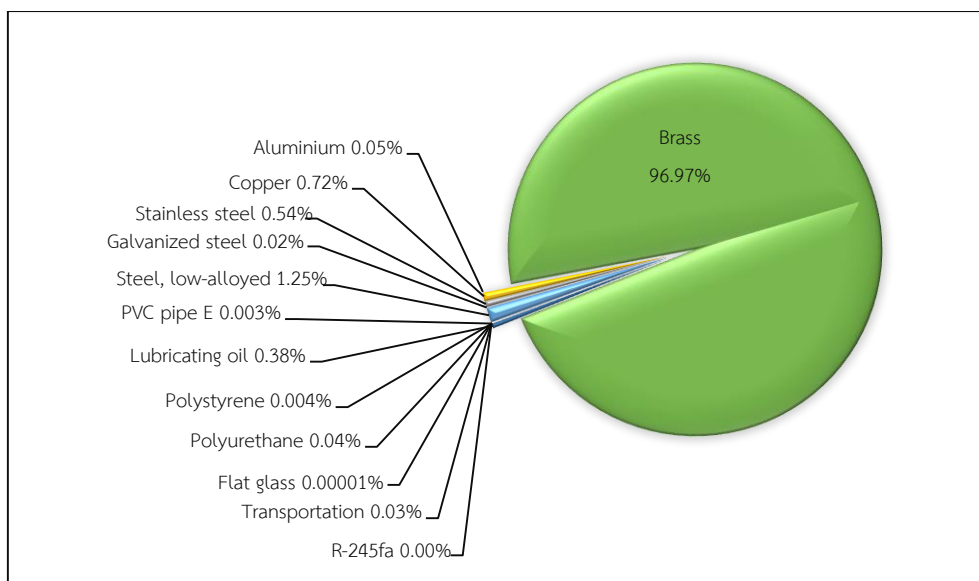


ภาพที่ 40 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า

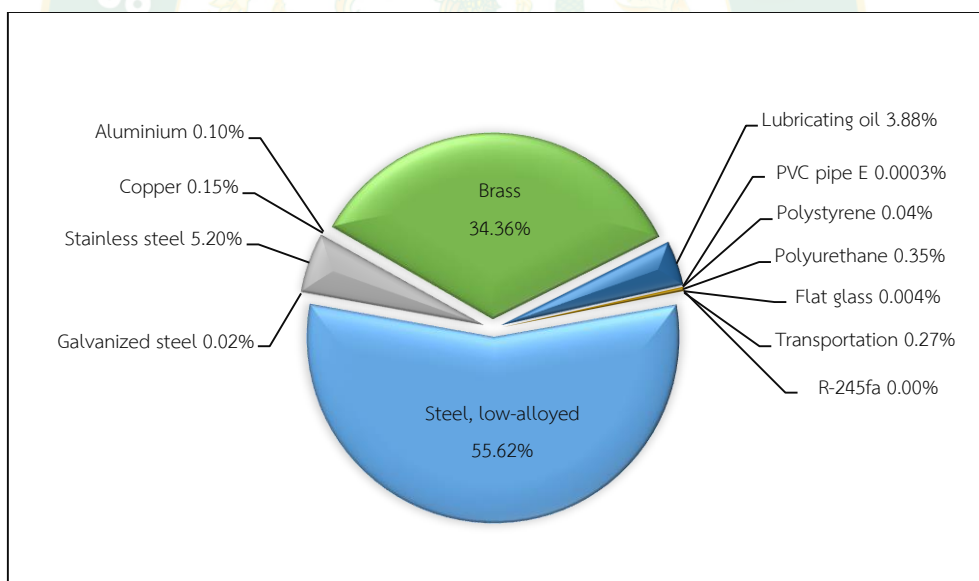


ภาพที่ 41 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการลดลงของชั้นโอโซนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า

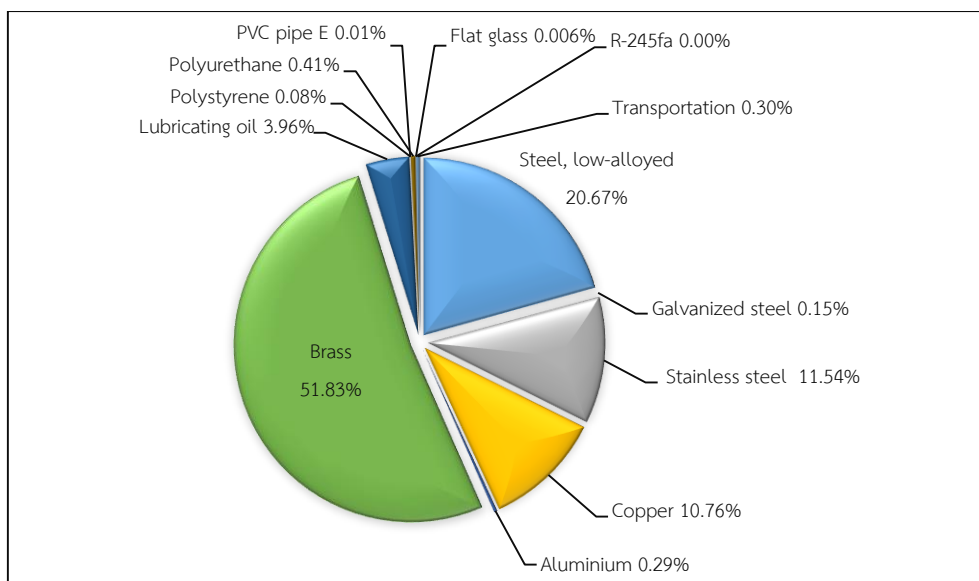




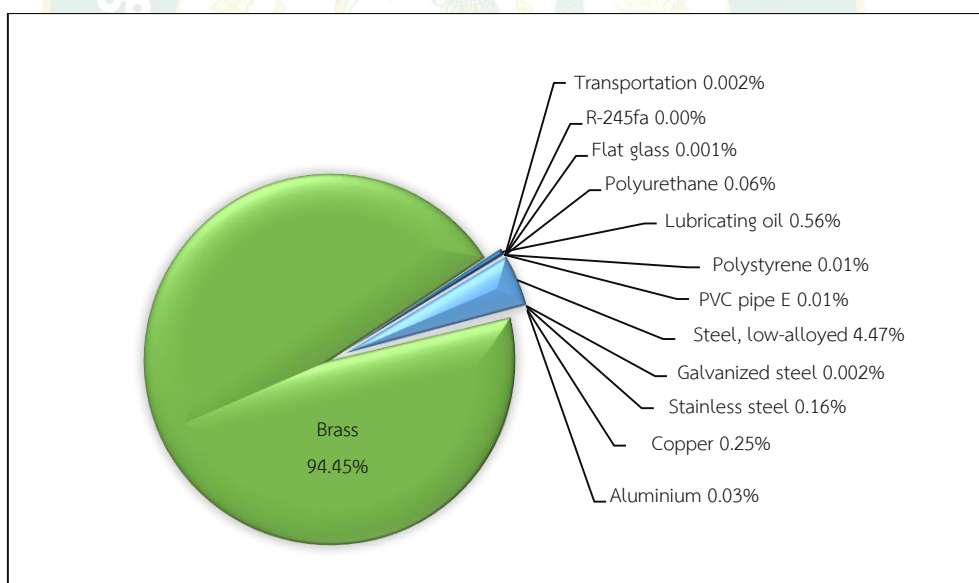
ภาพที่ 42 ผลกระทบของการใช้วัสดุบิดต่อการเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า



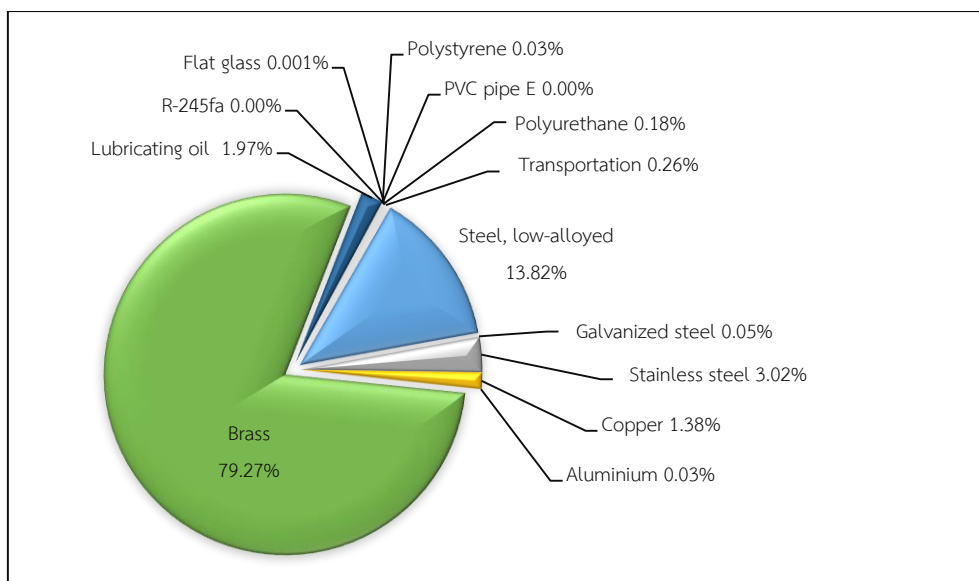
ภาพที่ 43 ผลกระทบของการใช้วัสดุบิดต่อการเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า



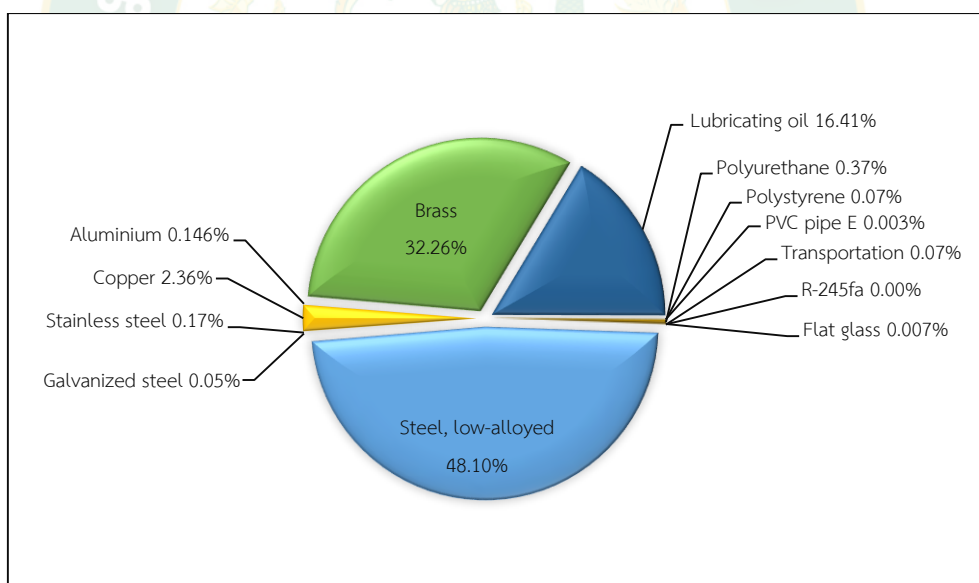
ภาพที่ 44 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการเกิดภาวะฝนกรดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า



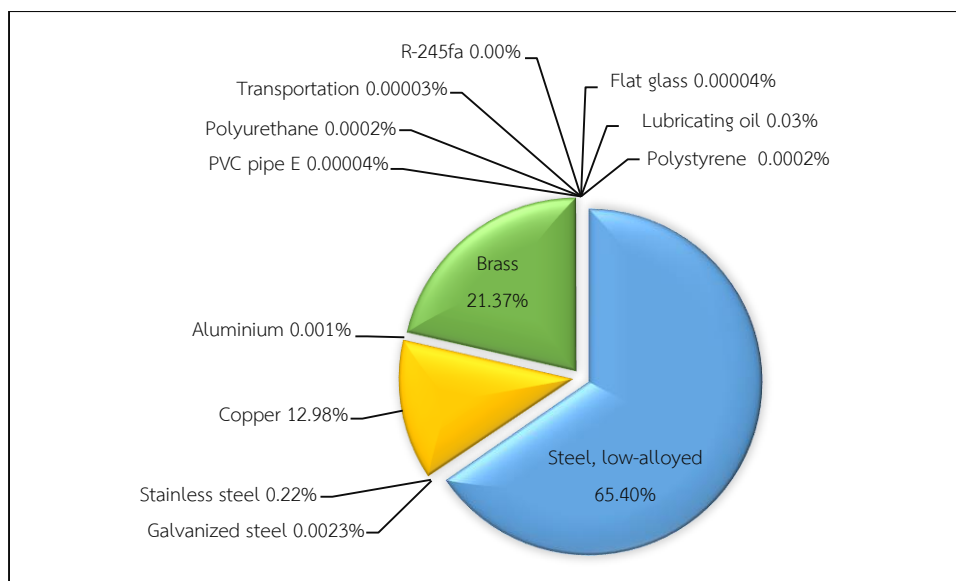
ภาพที่ 45 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า



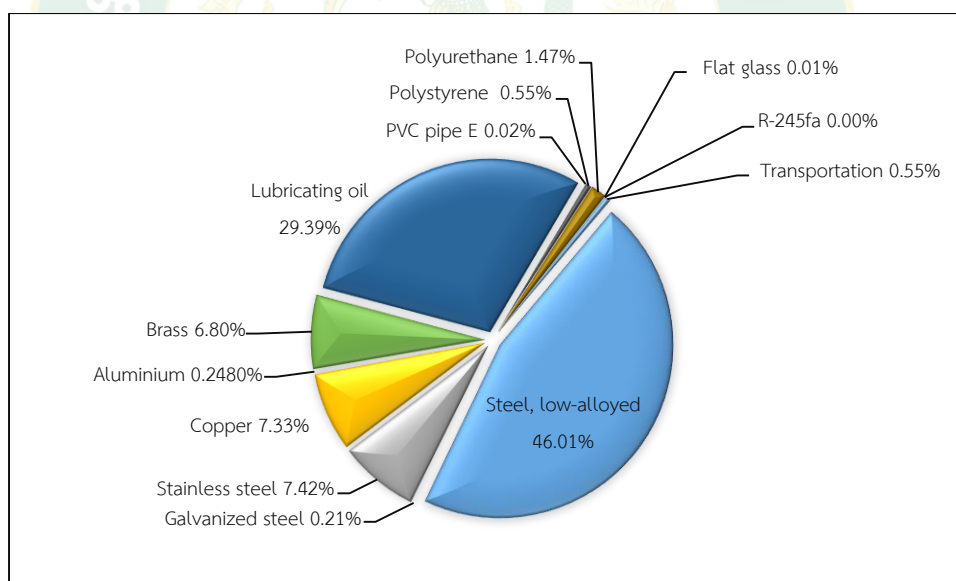
ภาพที่ 46 ผลกระทบของการใช้วัสดุบิดต่อต้านการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดินตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า



ภาพที่ 47 ผลกระทบของการใช้วัสดุบิดต่อต้านการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า



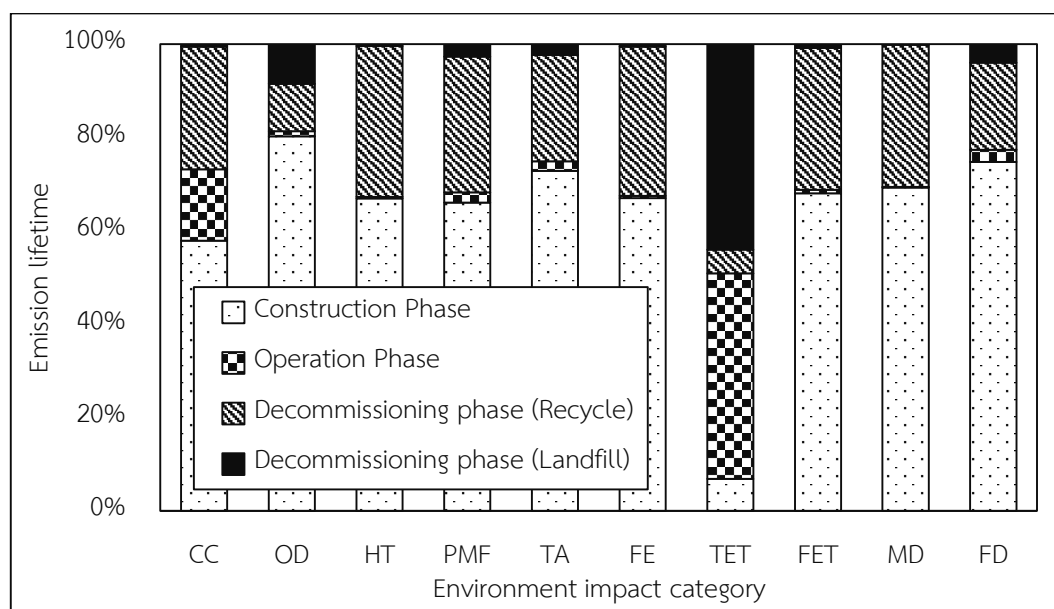
ภาพที่ 48 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการลดลงของเหล็กตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า



ภาพที่ 49 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า

ผลการแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากการแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ดังแสดงในภาพที่ 50 พบว่า ผลกระทบในกระบวนการสร้างเกิดขึ้นมากที่สุด ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ย

จากผลกระทบทั้ง 10 ด้านประมาณ 84.94% รองลงมา คือ เกิดขึ้นในกระบวนการใช้งานโดยเฉลี่ยประมาณ 7.97% และเกิดผลกระทบในกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานน้อยที่สุด คือ โดยเฉลี่ยประมาณ 7.09%



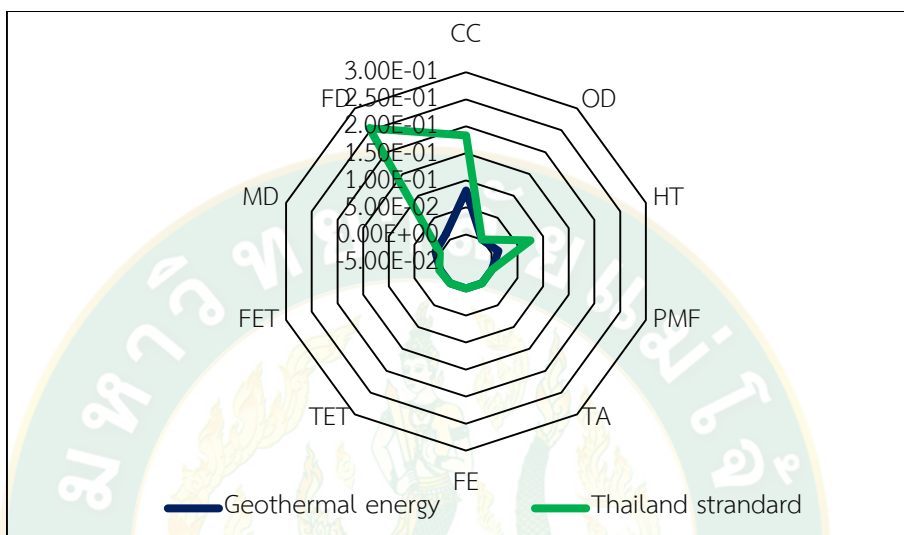
ภาพที่ 50 การแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า

### ผลการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์กับค่ามาตรฐานการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย

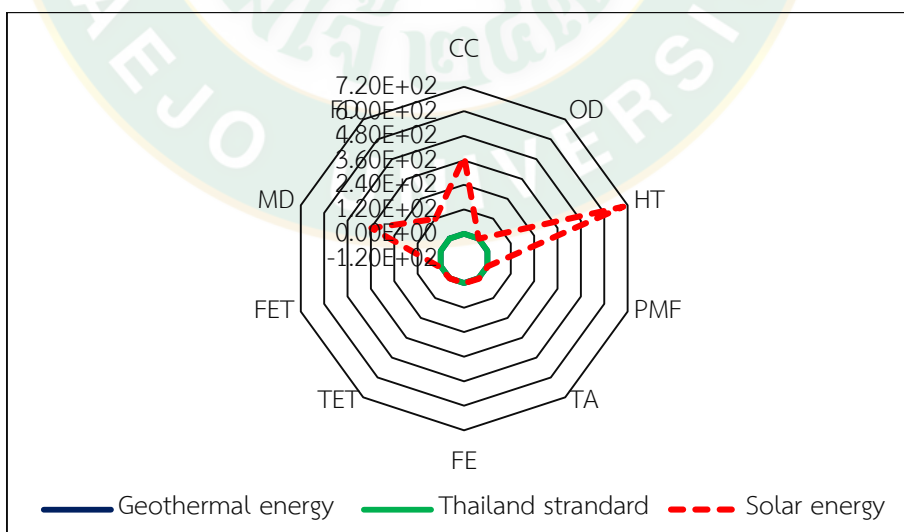
จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์นำมาเปรียบเทียบกับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของค่ามาตรฐานการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย จากฐานข้อมูลในโปรแกรม SimaPro เวอร์ชัน 8.5.2 วิธี ReCiPe Midpoint (H) V1.13 (Goedkoop et al. 2016) ดังแสดงในภาพที่ 51 พบว่า มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของประเทศไทย 0.04 เท่า เนื่องมาจากพลังงานความร้อนใต้พิภพเป็นพลังงานสะอาดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมค่อนข้างต่ำ และการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้พลังงานฟอสซิลสูงจึงทำให้ผลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นสูงตามไปด้วย และเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานน้ำในกรณีภาพรวมของโรงไฟฟ้า พบว่า ผลกระทบที่เกิดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพมีค่าต่ำกว่าพลังงานแสงอาทิตย์ถึง  $1.85 \times 10^4$  เท่า ดังแสดงในภาพที่ 52 และมีค่าต่ำกว่าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำถึง  $3.46 \times 10^7$  เท่า และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ยังมีค่าต่ำกว่าพลังงานน้ำถึง  $2.69 \times 10^3$  เท่า เมื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นของการ



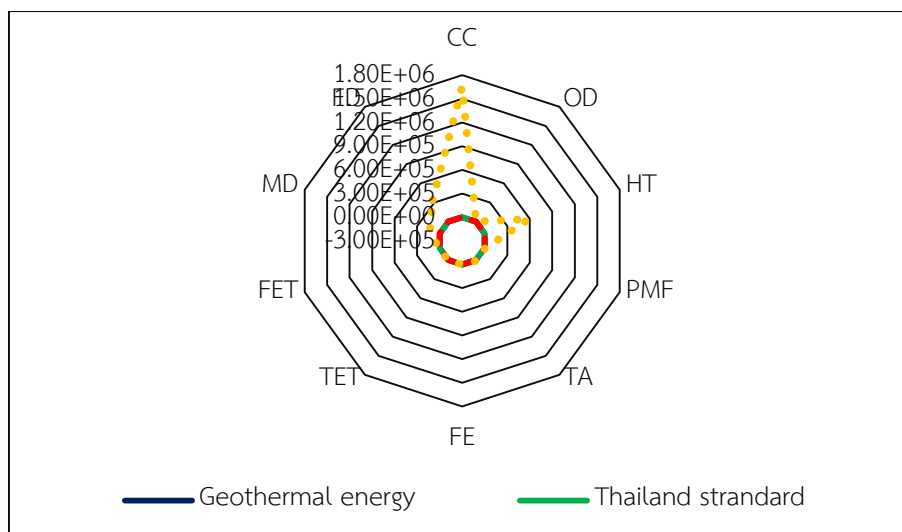
ผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย ดังแสดงในภาพที่ 53 พบว่า ค่าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพและพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัดเจน ถึงแม้ว่าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำที่เป็นพลังงานสะอาด แต่ในกระบวนการก่อสร้างมีการใช้วัสดุ พลังงาน และการทำลายทรัพยากรทางธรรมชาติ สูงกว่าพลังงานอื่น ๆ ที่เห็นได้อย่างเป็นรูปธรรม



ภาพที่ 51 ผลการเปรียบเทียบระหว่างการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพและค่ามาตรฐานของประเทศไทย



ภาพที่ 52 ผลการเปรียบเทียบระหว่างการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ และค่ามาตรฐานของประเทศไทย



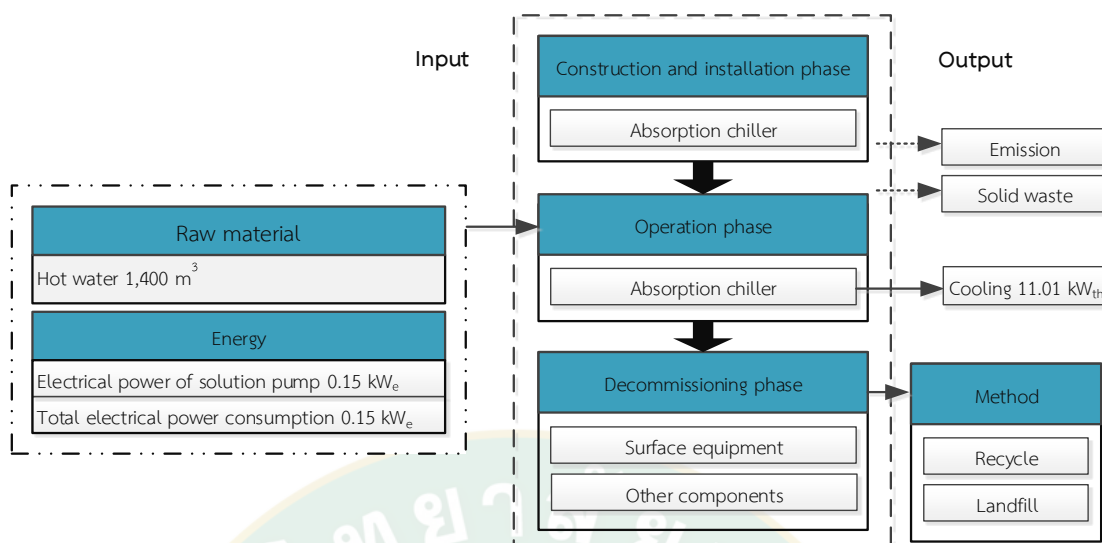
ภาพที่ 53 ผลการเปรียบเทียบระหว่างการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ และค่ามาตรฐานของประเทศไทย

### ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

ในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน มีผลการวิเคราะห์บัญชีรายการและผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ ดังแสดงต่อไปนี้

#### ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

จากการจัดเก็บรวบรวมปริมาณสารขาเข้า-สารขาออกของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนตลอดวัฏจักรชีวิต โดยมีกระบวนการทำงานดังแสดงในภาพที่ 54 และมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 11 ถึง ตารางที่ 14 ซึ่งระบบดังกล่าวมีอายุการใช้งานตลอดวัฏจักรชีวิตคิดที่ 20 y ระยะเวลาการทำงาน 24 h/d และทำงาน 350 d/y สามารถผลิตความเย็นได้ทั้งหมด 1,476,720 kW/Lifetime



ภาพที่ 54 กระบวนการผลิตความเย็นด้วยระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

ตารางที่ 11 บัญชีรายการข้อมูลการก่อสร้างและติดตั้งของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

รายการ	ชนิดวัสดุ	ปริมาณ	หน่วย	น้ำหนัก	หน่วย
<b>สารขาเข้า</b>					
โครงสร้างระบบ	เหล็กกล้าผสม	-	-	400.00	kg
ท่อ	เหล็กกล้าผสม	-	-	60.00	kg
เจนเนอเรเตอร์	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	150.00	kg
	ทองแดง	-	-	90.00	kg
	เหล็กกล้าวไนซ์	-	-	2.00	kg
	กระจก	-	-	0.40	kg
แอบซอร์เบอร์	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	100.00	kg
	ทองแดง	-	-	50.00	kg
เครื่องควบแน่น	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	110.00	kg
	ทองแดง	-	-	70.00	kg
เครื่องระเหย	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	130.00	kg
	ทองแดง	-	-	90.00	kg
คู่อสารละลาย	H <sub>2</sub> O-LiBr	1	Unit	50.00	kg
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	ทองแดง	1	Pcs	36.10	kg
	สแตนเลส	-	-	10.00	kg
วาล์ว	ทองเหลือง	12	Pcs	38.00	kg
ฉนวนกันความร้อน	ยาง	-	-	1.50	kg

รายการ	ชนิดวัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย	น้ำหนัก	หน่วย
น้อด	ทองเหลือง	-	-	15.00	kg
	เหล็กกล้าผสม	-	-	5.00	kg
ปั๊มสารละลาย	สแตนเลส	1	Pcs	12.50	kg
	เหล็กกล้าผสม	-	-	6.00	kg
ปั๊มสุญญากาศ	สแตนเลส	1	Pcs	8.00	kg
	ทองเหลือง	-	-	0.50	kg
	โพลีเอทิลีน	-	-	0.50	kg
ตู้ควบคุม	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	50.00	kg
	ทองแดง	-	-	5.00	kg
ถังลม	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	15.00	kg
	ทองแดง	-	-	2.00	kg
	พลาสติก	-	-	1.00	kg
สีกันสนิม	ออกไซด์ พรามเมอร์	1	Pcs	25.00	kg

หมายเหตุ: เก็บข้อมูลจากรายการสั่งซื้อวัสดุและรายละเอียดอุปกรณ์ต่าง ๆ ณ สถานที่ติดตั้งระบบ

### ตารางที่ 12 บัญชีรายการข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

รายการ	ชนิดเชื้อเพลิง	ระยะทาง	หน่วย	ปริมาณ	หน่วย
รถบรรทุกติดเครน 6 ล้อ	ดีเซล	760	km	190.00	L

หมายเหตุ: ผลการคำนวณจากระยะทางการขนส่งจากบริษัทมายังสถานที่ติดตั้ง

### ตารางที่ 13 บัญชีรายการข้อมูลการใช้งานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
<b>สารขาเข้า</b>		
น้ำร้อน <sup>1</sup>	1,400.00	m <sup>3</sup>
คูสารละลายน้ำ-ลิเทียมโบรไมด์ <sup>1</sup>	20.00	kg
พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้ระบบ <sup>2</sup>	25,200.00	kWh
<b>สารขาออก</b>		
การรั่วไหลของคูสารละลายน้ำ-ลิเทียมโบรไมด์ (1 kg/y) <sup>1</sup>	20.00	kg
ความเย็นที่ผลิตได้ <sup>2</sup>	1,849,680.00	kW

หมายเหตุ: <sup>1</sup> ผลการประเมินจากการใช้งานของระบบ

<sup>2</sup> ผลการคำนวณของการเก็บข้อมูลจากระบบจากระบบออนไลน์ [www.tdetlab.com](http://www.tdetlab.com)

#### ตารางที่ 14 บัญชีรายการข้อมูลการกำจัดซากของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
<b>การรีไซเคิล</b>		
เหล็กกล้าผสม	964.00	kg
เหล็กกล้าวไนซ์	2.00	kg
สแตนเลส	31.00	kg
ทองเหลือง	53.50	kg
อลูมิเนียม	5.00	kg
ทองแดง	343.10	kg
คู่อสารละลายน้ำ-ลิเทียมโบรไมด์	50.00	kg
<b>การฝังกลบ</b>		
พลาสติกกรรม	20.00	kg
<b>การขนส่ง</b>		
รถบรรทุก 6 ล้อ (น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล)	40.00	L

หมายเหตุ: ข้อมูลจากการประเมินตามปริมาณวัสดุที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานร่วม

#### ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

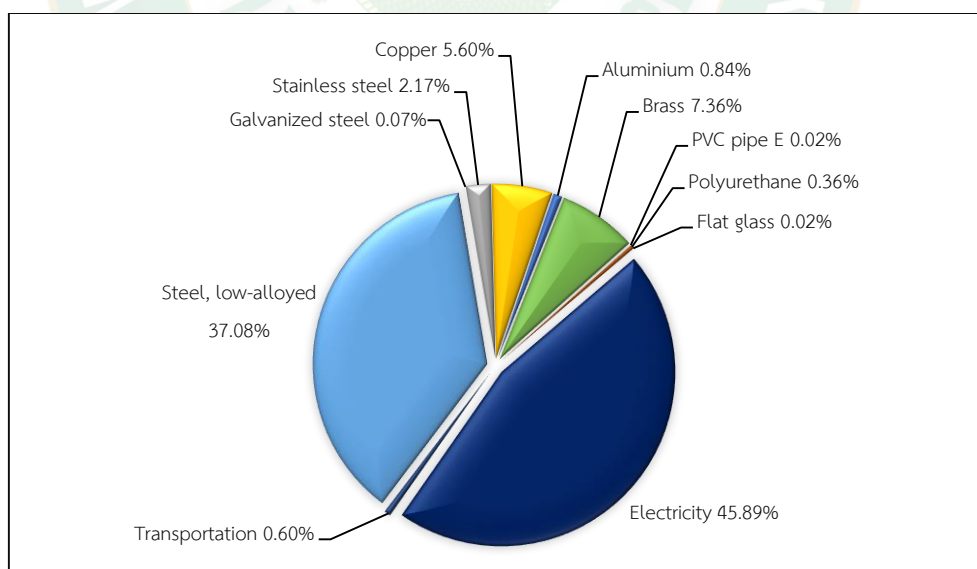
จากผลการวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน เพื่อผลิตความเย็นจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ เมื่อนำมาประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 15 เมื่อทำการพิจารณา พบว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างและติดตั้งส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการใช้วัตถุดิบประเภทเหล็ก จำนวน 964 kg ทองแดง จำนวน 343 kg และทองเหลือง จำนวน 53.5 kg ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงทางด้านการเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด และการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ ในกระบวนการใช้งานเพื่อผลิตความเย็นเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ จึงส่งผลให้ผลกระทบในกระบวนการนี้ค่อนข้างต่ำ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบตามสัดส่วนปริมาณการใช้งานของวัสดุในระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน เป็นผลทำให้ค่าผลกระทบจากการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตความเย็นมีค่าผลกระทบค่อนข้างสูงทางด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การลดลงของชั้นโอโซน การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล และเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ซึ่งเป็นกระบวนการสุดท้ายของวัฏจักรชีวิต พบว่า ในการวิเคราะห์บัญชีรายการมีวัตถุดิบที่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่อีกครั้งส่งผลให้ในกระบวนการนี้มีค่าลดลง และอีกส่วนที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้



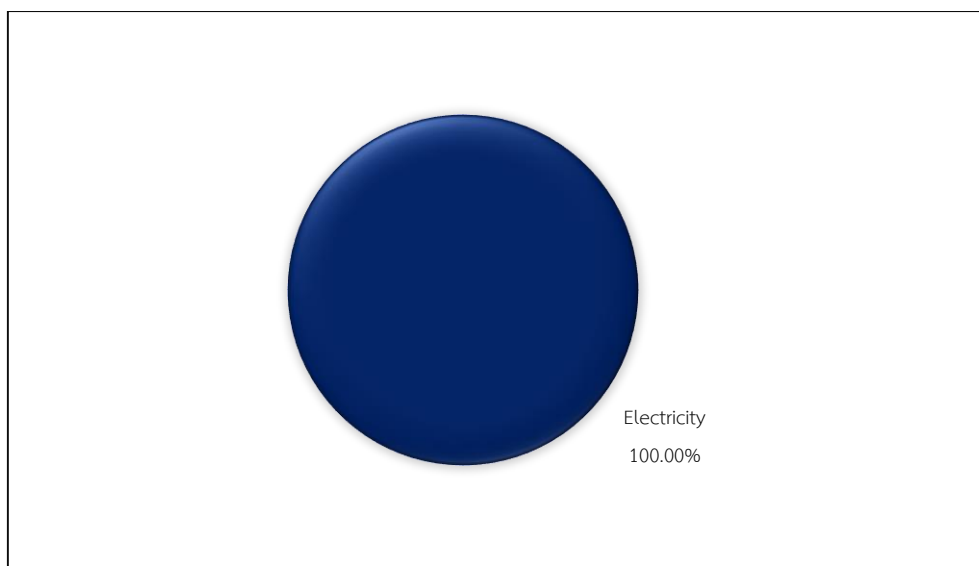
งานได้ จะถูกส่งไปกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล โดยผลกระทบของการใช้วัสดุรีไซเคิล แต่ลดด้านตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็นมีผลดังแสดงในภาพที่ 55 ถึง ภาพที่ 64

**ตารางที่ 15** ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

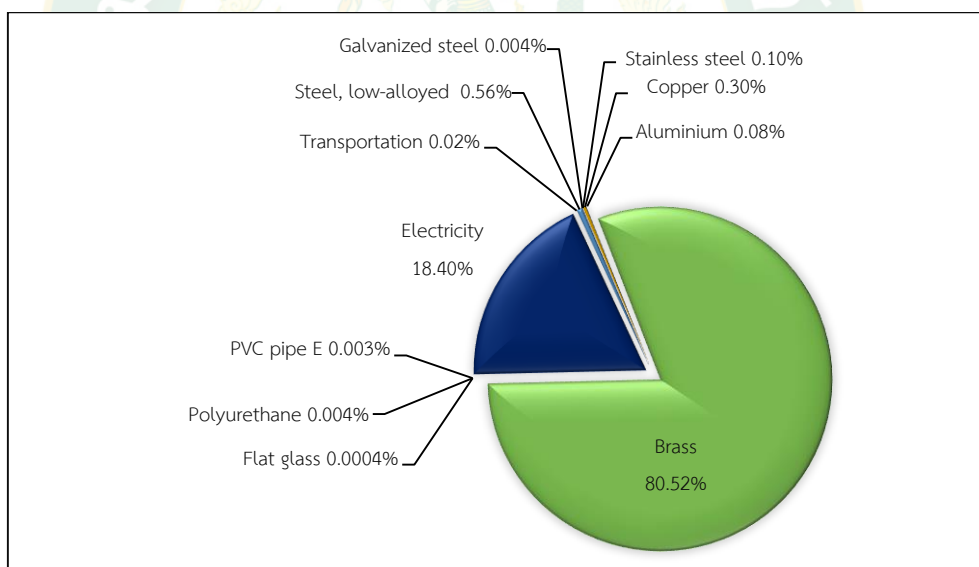
Environmental impact	Construction phase	Operation phase	Decommissioning phase		Total Emission	
			Recycle	Landfill	Lifetime	kW
CC	4.48E+03	1.86E+04	-4.08E+03	5.89E+02	1.96E+04	1.92E-02
OD	1.98E-03	8.91E-04	-2.19E-04	2.39E-04	2.90E-03	2.84E-09
HT	5.06E+04	3.27E+03	-4.48E+04	3.19E+02	9.42E+03	9.24E-03
PMF	3.13E+01	8.07E+00	-2.50E+01	1.73E+00	1.61E+01	1.58E-05
TA	6.91E+01	3.42E+01	-3.84E+01	2.83E+00	6.77E+01	6.64E-05
FE	2.48E+01	3.22E+01	-2.15E+01	2.14E-01	3.58E+01	3.51E-05
TET	2.80E+00	3.71E+01	-2.16E+00	2.11E+01	5.89E+01	5.77E-05
FET	5.48E+02	9.02E+01	-4.40E+02	7.46E+00	2.06E+02	2.02E-04
MD	1.85E+04	2.27E+03	-1.48E+04	3.58E+01	6.00E+03	5.88E-03
FD	1.72E+03	2.78E+03	-6.99E+02	1.64E+02	3.97E+03	3.89E-03



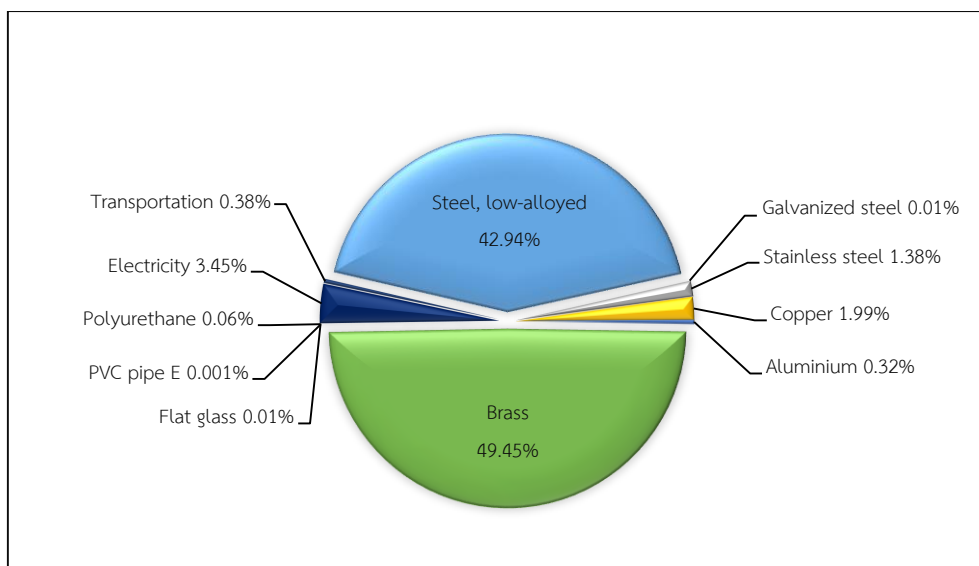
**ภาพที่ 55** ผลกระทบของการใช้วัสดุรีไซเคิลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็น



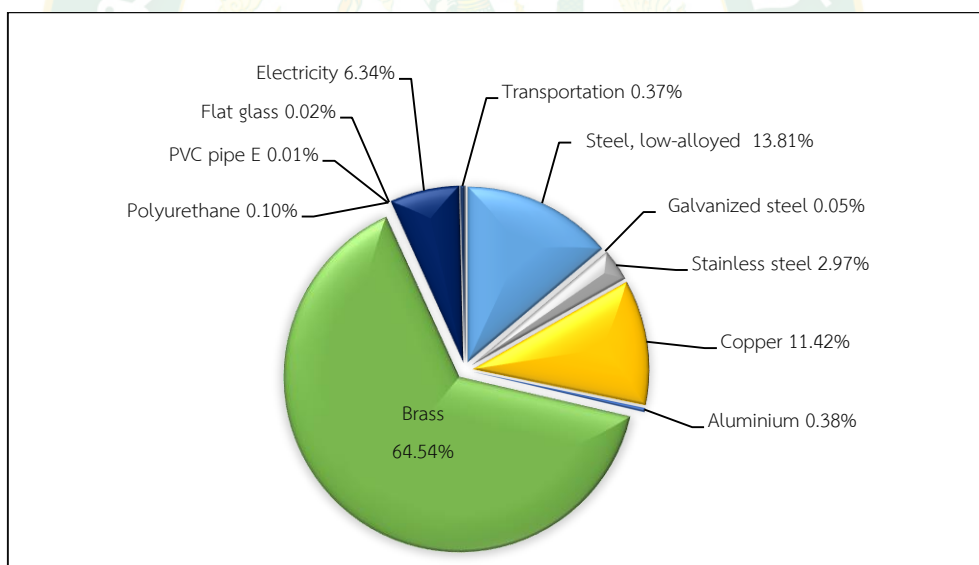
ภาพที่ 56 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการลดลงของชั้นโอโซนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิต  
ความเย็น



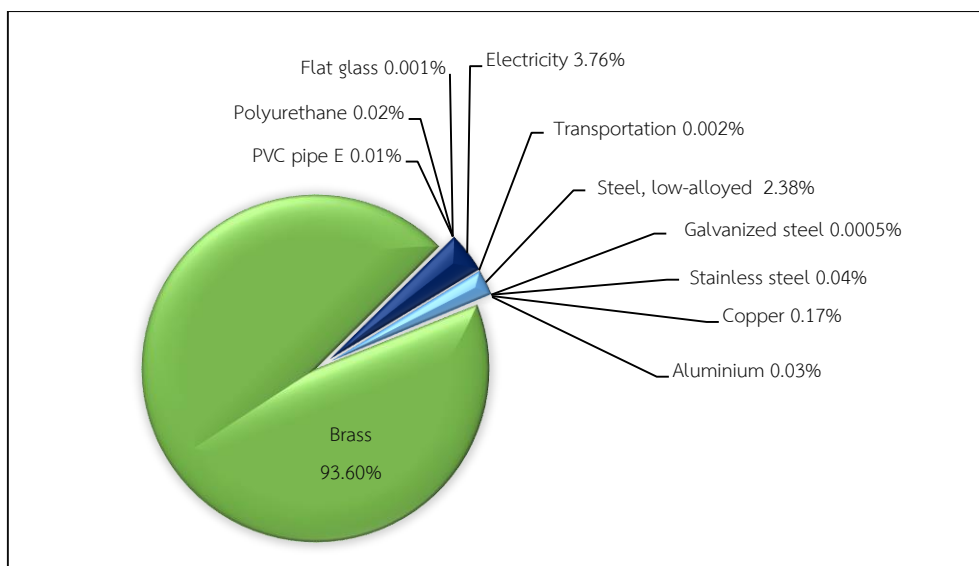
ภาพที่ 57 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ตลอดวัฏจักรชีวิตของ  
การผลิตความเย็น



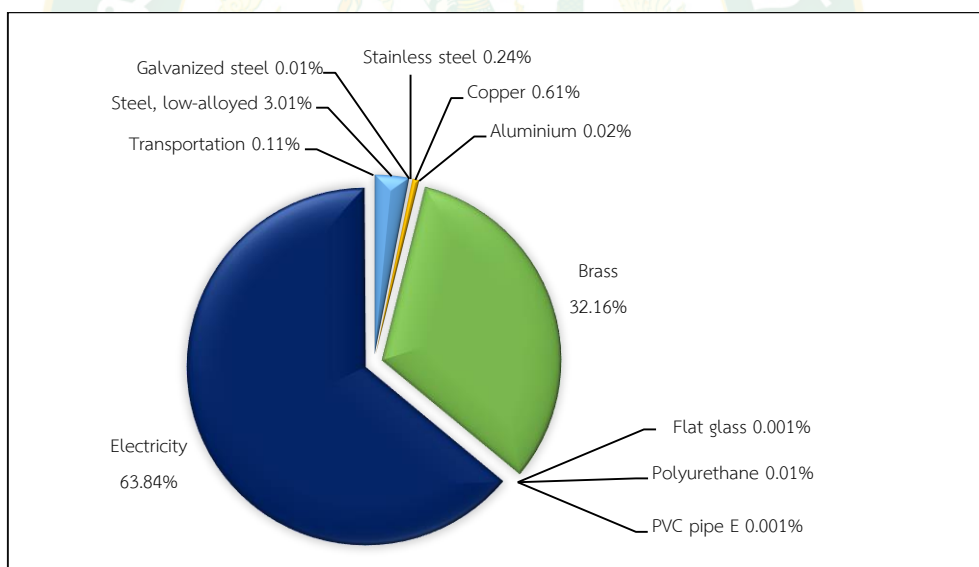
ภาพที่ 58 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็น



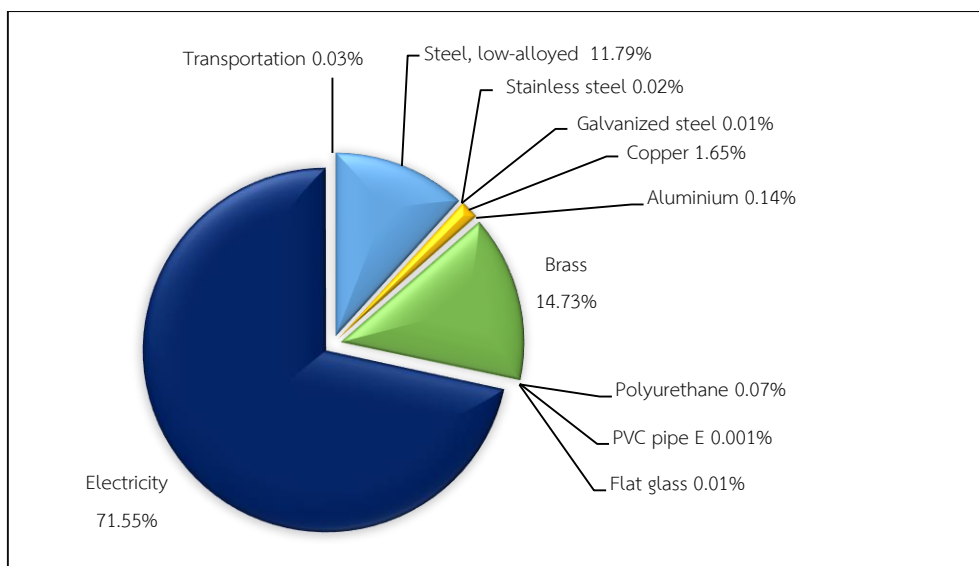
ภาพที่ 59 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการเกิดภาวะฝนกรดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็น



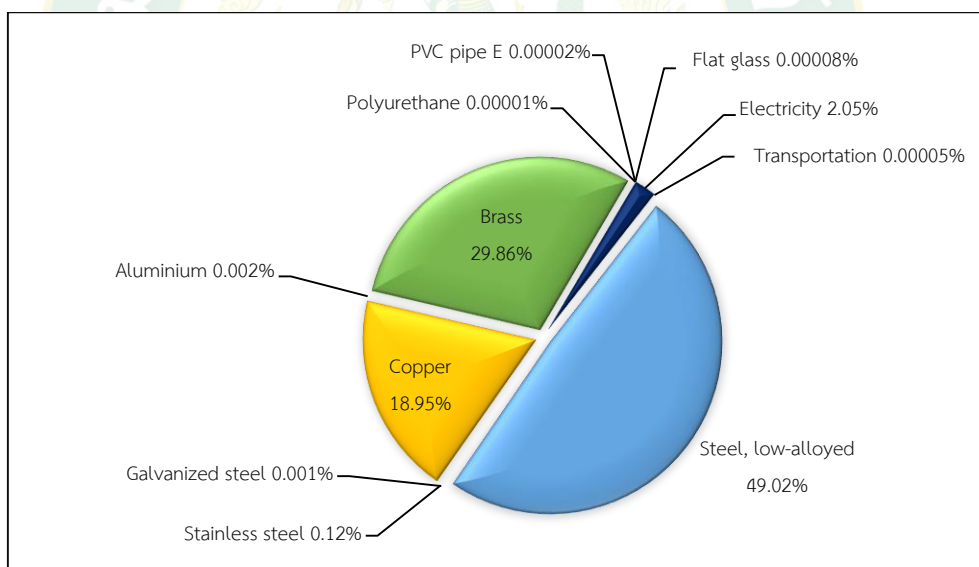
ภาพที่ 60 ผลกระทบของการใช้วัสดุขีปนาวุธต่อการเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็น



ภาพที่ 61 ผลกระทบของการใช้วัสดุขีปนาวุธต่อการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดินตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็น

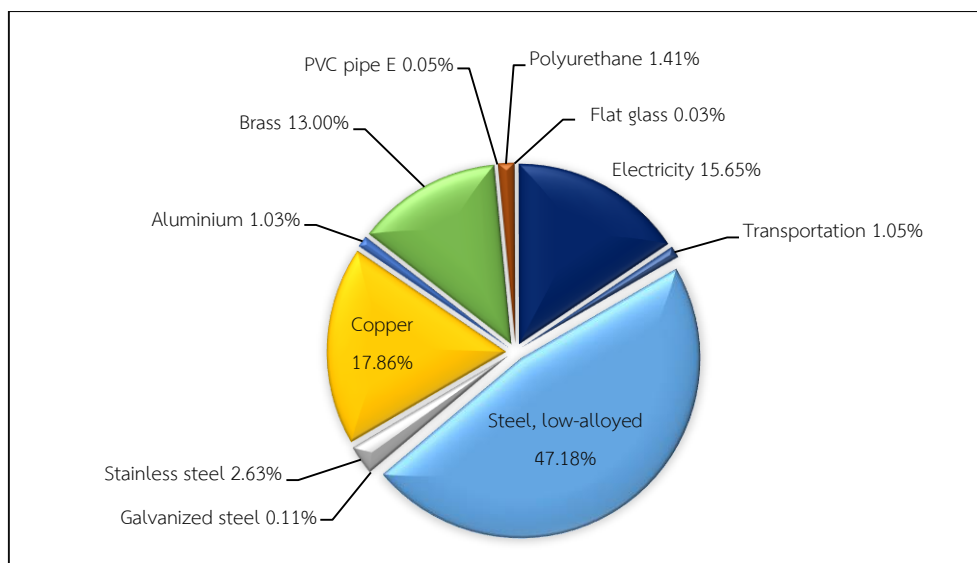


ภาพที่ 62 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็น



ภาพที่ 63 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการลดลงของเหล็กตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความเย็น

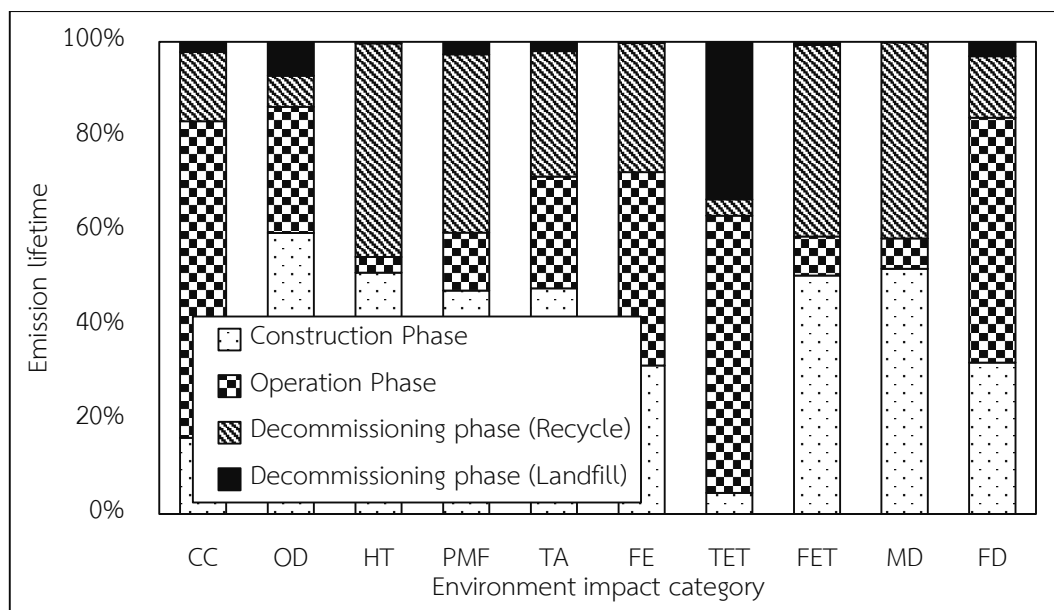




ภาพที่ 64 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลตลอดวัฏจักรชีวิตของ  
การผลิตความเย็น

#### ผลการแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

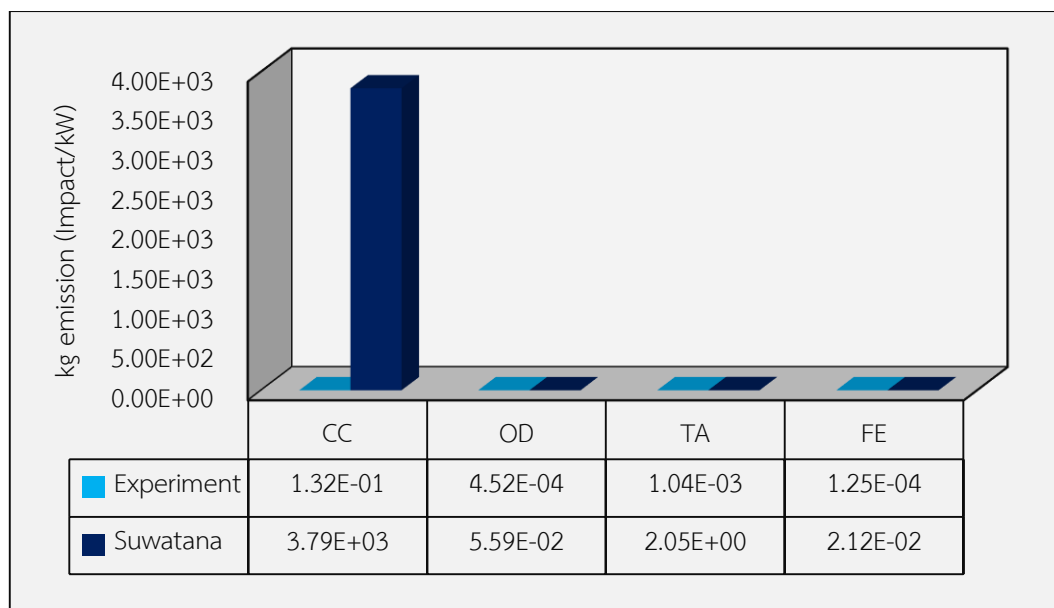
จากการแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนดังแสดงในภาพที่ 65 การแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน พบว่า เกิดผลกระทบในกระบวนการใช้งานมากที่สุด ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยจากผลกระทบทั้ง 10 ด้านประมาณ 63.76% รองลงมา คือ เกิดผลกระทบในกระบวนการสร้าง โดยเฉลี่ยประมาณ 28.26% และเกิดขึ้นในกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยประมาณ 7.97%



ภาพที่ 65 การแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

#### ผลการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการทำความเย็นของระบบปรับอากาศด้วยระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ สุวัฒนา (2554) ที่ได้ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดา โดยทำการพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการผลิต การขนส่งไปยังผู้ใช้ การใช้งานตลอดอายุเครื่องปรับอากาศ และกำจัดทิ้งเมื่อหมดอายุการใช้งาน มีหน่วยการทำงาน คือ 1,800 BTU/h มีอายุการใช้งาน 10 y ได้ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมทั้งหมด 5 ประเภท คือ การเกิดภาวะโลกร้อน การลดลงของชั้นโอโซน การเกิดฝนกรด และการเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Eco-Indicator 99 ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบกัน พบว่า ผลการศึกษามีค่าน้อยกว่าหลายเท่าตัว ดังแสดงในภาพที่ 66



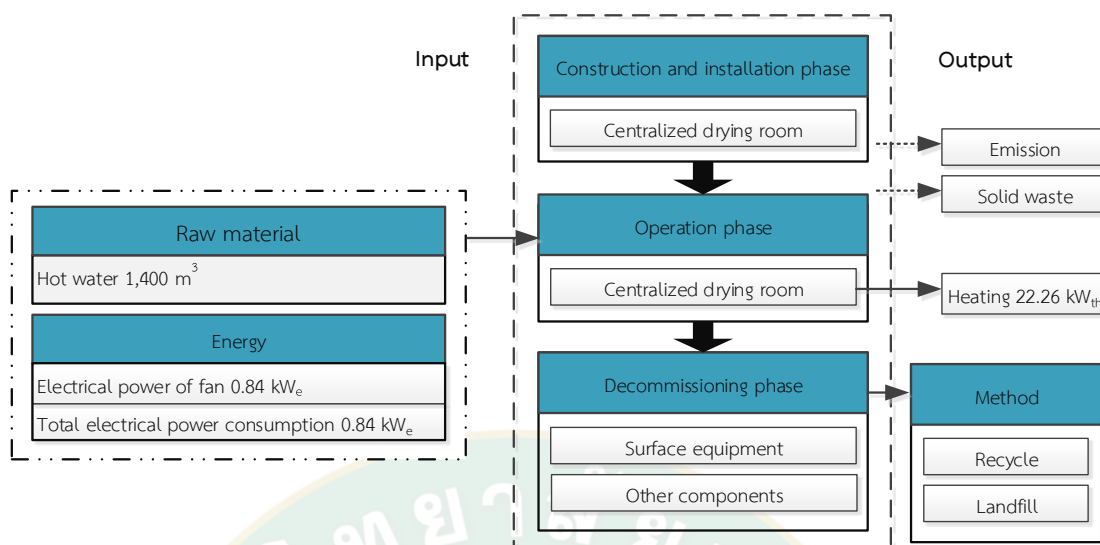
**ภาพที่ 66** ผลการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบปรับอากาศ

### ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

จากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ มีผลการวิเคราะห์ปัญหาชีรัยการและผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการดังแสดงต่อไปนี้

### ผลการวิเคราะห์ปัญหาชีรัยการสิ่งแวดล้อมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

ในการจัดเก็บรวบรวมปริมาณสารขาเข้า-สารขาออกของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ตลอดวัฏจักรชีวิต โดยมีกระบวนการทำงานดังแสดงในภาพที่ 67 และมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 16 ถึง ตารางที่ 19 ซึ่งระบบดังกล่าวมีอายุการใช้งานตลอดวัฏจักรชีวิตคิดที่ 20 y ระยะเวลาการทำงาน 24 h/d และทำงาน 350 d/y สามารถผลิตพลังงานความร้อนได้ทั้งหมด 3,739,680 kW/Lifetime



ภาพที่ 67 กระบวนการผลิตความร้อนด้วยห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

ตารางที่ 16 บัญชีรายการข้อมูลการก่อสร้างและติดตั้งของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

รายการ	ชนิดวัสดุ	ปริมาณ	หน่วย	น้ำหนัก	หน่วย
<b>กระบวนการสร้างและติดตั้ง</b>					
<b>สาขาเข้า</b>					
เหล็กกล่อง 50 x 25 mm <sup>2</sup> หนา 1.4 mm	เหล็กกล้าผสม	7	Pcs	59.50	kg
เหล็กกล่อง 50 x 50 mm <sup>2</sup> หนา 2.3 mm	เหล็กกล้าผสม	4	Pcs	80.16	kg
เหล็กกล่อง 75 x 75 mm <sup>2</sup> หนา 2.3 mm	เหล็กกล้าผสม	3	Pcs	92.52	kg
รางซีอะลูมิเนียม 75 x 50 mm <sup>2</sup> หนา 1.2 mm	อะลูมิเนียม	-	-	4.68	kg
ฉากอะลูมิเนียม 50 x 50 mm <sup>2</sup> หนา 1.2 mm ยาว 3 m	อะลูมิเนียม	10	Pcs	7.50	kg
ฉากอะลูมิเนียม 25 x 50 mm <sup>2</sup> หนา 1 mm ยาว 3 m	อะลูมิเนียม	2	Pcs	2.20	kg
รางซีอะลูมิเนียม 75 x 20 mm <sup>2</sup> หนา 1 mm ยาว 3 m	อะลูมิเนียม	-	-	5.76	kg
รางซีอะลูมิเนียม 25 x 20 mm <sup>2</sup> หนา 1 mm ยาว 3 m	อะลูมิเนียม	-	-	0.17	kg

รายการ	ชนิดวัสดุดิบ	ปริมาณ	หน่วย	น้ำหนัก	หน่วย
รีเวดอะลูมิเนียม	อะลูมิเนียม	-	-	1.00	kg
ท่อประปา	พีวีซี	-	-	0.20	kg
แผ่นยาง	พลาสติก	2	Pcs	5.00	kg
แผ่นกระจก หน้า 10 mm	กระจก	2	Pcs	9.52	kg
ผนังห้องอบแห้ง ขนาด 3 x 1.2 m <sup>2</sup>	เหล็กกล้าไนซ์	72	m <sup>2</sup>	28.80	kg
ฉนวนกันความร้อน ขนาด 3 x 1.2 m <sup>2</sup>	โพลีสไตรีน	72	m <sup>2</sup>	774.00	kg
กาวโพลียูรีเทน	โพลียูรีเทน	2	Pcs	2.00	kg
บานพับเหล็ก	เหล็กกล้าผสม	2	Pcs	1.00	kg
กลอนประตูใหญ่	เหล็กกล้าผสม	2	Pcs	18.00	kg
ด้ามจับประตู	เหล็กกล้าไนซ์	2	Pcs	1.00	kg
บานพับประตูใหญ่	เหล็กกล้าไนซ์	2	Pcs	2.00	kg
ด้ามจับกระจกมอง	สแตนเลส	4	Pcs	1.00	kg
สกรูยึดสังกะสี	เหล็กกล้าผสม	-	-	0.50	kg
บานพับที่ช่องลม	เหล็กกล้าผสม	4	Pcs	0.60	kg
แผ่นเหล็กกลมประกบพัดลม	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	1.00	kg
แผ่นสังกะสี 1.2 x 240 m <sup>2</sup> หนา 1 mm	สังกะสี	6	Pcs	139.80	kg
ครีป ขนาด 6 x 120 cm <sup>2</sup>	อะลูมิเนียม	768	Pcs	31.68	kg
ท่อ	ทองแดง	108	Pcs	21.78	kg
ท่อกล้าไนซ์ ขนาด 63.5 mm	เหล็กกล้าไนซ์	3	Pcs	12.00	kg
ทองเหลือง	ทองเหลือง	-	-	0.30	kg
น็อต	เหล็กกล้าผสม	-	-	0.20	kg
โครงสร้างแผงแลกเปลี่ยนความร้อน	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	7.74	kg
ข้อต่อ 45°	เหล็กกล้าผสม	4	Pcs	0.60	kg
ใบพัดลม	เหล็กกล้าผสม	-	-	5.00	kg
ตัวถังพัดลม	เหล็กกล้าผสม	-	-	7.00	kg
มอเตอร์พัดลม	เหล็กหล่อ	-	-	21.50	kg
ชั้นวางผลิตภัณฑ์	เหล็กกล้าผสม	-	-	120.00	kg
สีกันสนิม	ออกไซด์ พรามเมอร์	-	-	5.00	kg
พลังงาน	ไฟฟ้า	7	kWh	-	-

หมายเหตุ: เก็บข้อมูลจากรายการสั่งซื้อวัสดุและรายละเอียดอุปกรณ์ต่าง ๆ ณ สถานที่ติดตั้งระบบ



**ตารางที่ 17** บัญชีรายการข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

รายการ	ชนิดเชื้อเพลิง	ระยะทาง	หน่วย	ปริมาณ	หน่วย
รถบรรทุก 6 ล้อ	ดีเซล	80	km	20.00	L
รถกระบะทั่วไป	ดีเซล	200	km	20.00	L

หมายเหตุ: ผลการคำนวณจากระยะทางการขนส่งจากบริษัทมายังสถานที่ติดตั้ง

**ตารางที่ 18** บัญชีรายการข้อมูลการใช้งานของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
<b>สารขาเข้า</b>		
น้ำร้อน <sup>1</sup>	1,400.00	m <sup>3</sup>
พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้ระบบ <sup>2</sup>	141,120.00	kWh
<b>สารขาออก</b>		
พลังงานความร้อนที่ผลิตได้ทั้งหมด <sup>2</sup>	3,739,680.00	kW

หมายเหตุ: <sup>1</sup> ผลการประเมินจากการใช้งานของระบบ

<sup>2</sup> ผลการคำนวณของการเก็บข้อมูลจากระบบจากระบบออนไลน์ [www.tdetlab.com](http://www.tdetlab.com)

**ตารางที่ 19** บัญชีรายการข้อมูลการกำจัดซากของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
<b>การรีไซเคิล</b>		
เหล็กกล้าผสม	295.00	kg
เหล็กกล้าวาไนซ์	164.00	kg
สแตนเลส	1.00	kg
อลูมิเนียม	53.00	kg
ทองแดง	21.00	kg
สังกะสี	139.00	kg
<b>การฝังกลบ</b>		
กระจก	9.00	kg
พลาสติกกรรม	781.00	kg
<b>การขนส่ง</b>		
รถบรรทุก 6 ล้อ (น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล)	40.00	L

หมายเหตุ: ข้อมูลจากการประเมินตามปริมาณวัสดุที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

### ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

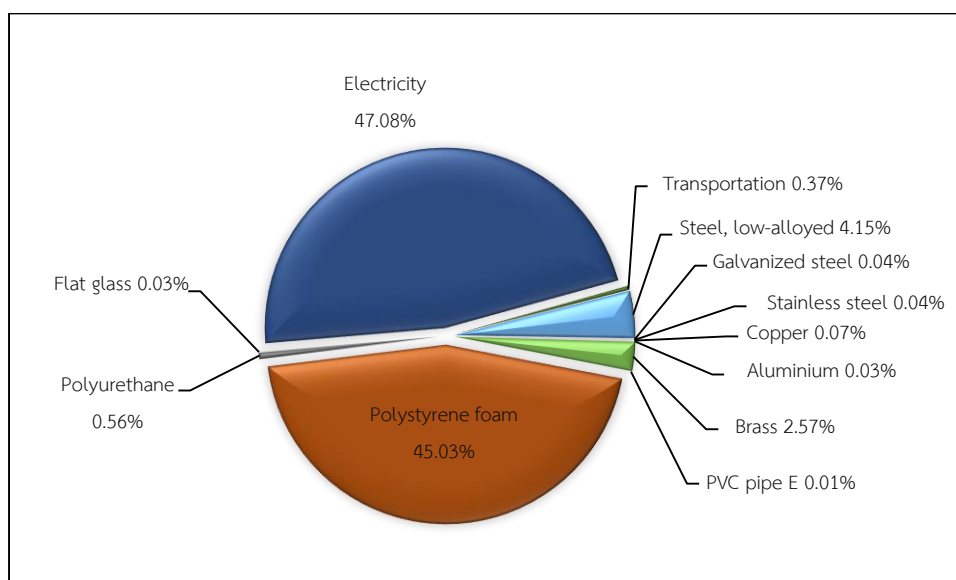
จากผลการวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ เพื่อผลิตพลังงานความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ เมื่อนำมาประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมาทำการพิจารณา ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

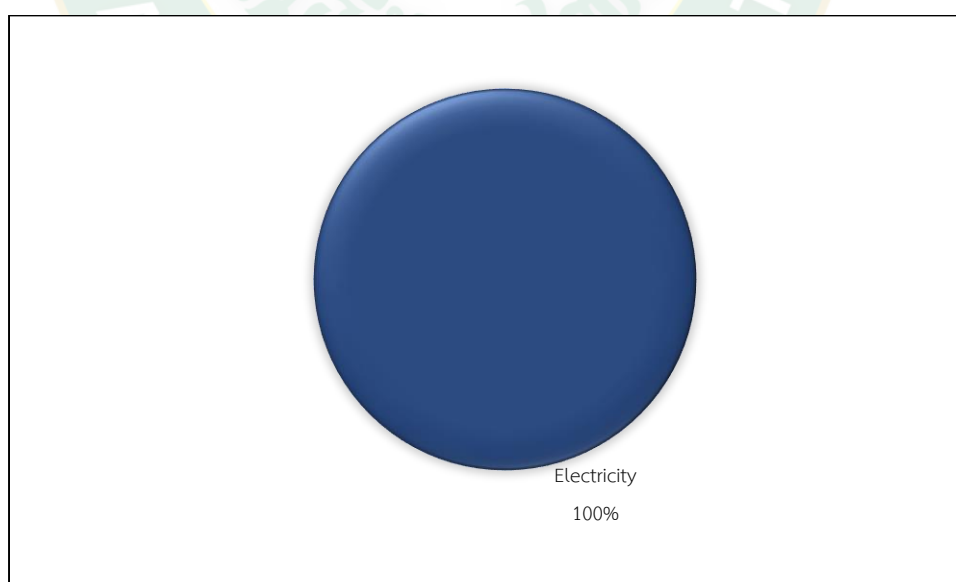
Environmental impact	Construction phase	Operation phase	Decommissioning phase		Total Emission	
			Recycle	Landfill	Lifetime	kW
CC	2.08E+03	1.77E+04	-2.09E+03	5.63E+02	1.82E+04	3.97E-02
OD	1.86E-03	8.46E-04	-1.07E-04	2.35E-04	2.83E-03	6.16E-09
HT	2.97E+03	3.11E+03	-2.73E+03	3.16E+02	3.67E+03	7.98E-03
PMF	4.98E+00	7.73E+00	-5.15E+00	1.46E+00	9.02E+00	1.96E-05
TA	1.02E+01	3.26E+01	-4.12E-01	2.69E+00	4.50E+01	9.80E-05
FE	1.56E+00	3.06E+01	-1.39E+00	2.13E-01	3.10E+01	6.74E-05
TET	2.53E-01	3.63E+01	-1.60E-01	2.11E+01	5.75E+01	1.25E-04
FET	4.04E+01	8.59E+01	-2.82E+01	7.44E+00	1.05E+02	2.30E-04
MD	1.64E+03	2.15E+03	-1.54E+03	3.75E+01	2.29E+03	4.99E-03
FD	1.03E+03	2.64E+03	-3.57E+02	1.56E+02	3.48E+03	7.57E-03

จากการพิจารณา พบว่า ในกระบวนการสร้างและติดตั้งผลกระทบส่วนใหญ่เกิดจากการใช้วัสดุประเภทโพลีเอทิลีนโพรพิลีน จำนวน 740 kg เหล็กกล้าผสม จำนวน 295 kg และการขนส่งวัสดุมายังสถานที่ติดตั้ง ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้ผลิตมาจากมลสารต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพสูงทางด้านการเกิดภาวะฝนกรด การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ การลดลงของเหล็ก และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล ในกระบวนการใช้งาน มีการป้อนพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลมเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ จึงส่งผลให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้ค่อนข้างต่ำ แต่ทั้งนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นกับวัสดุอื่น ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตความร้อน จึงทำให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นสูงทางด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การลดลงของชั้นโอโซน การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำ การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน และแหล่งน้ำ รวมถึงการลดลงของเหล็กด้วย และเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ในกระบวนการกำจัดซากพบว่า มีวัสดุบางส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่ ส่งผลให้ค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในกระบวนการนี้ลดลง และวัสดุอีกส่วนหนึ่งที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ จะถูกนำไปฝังกลบตาม

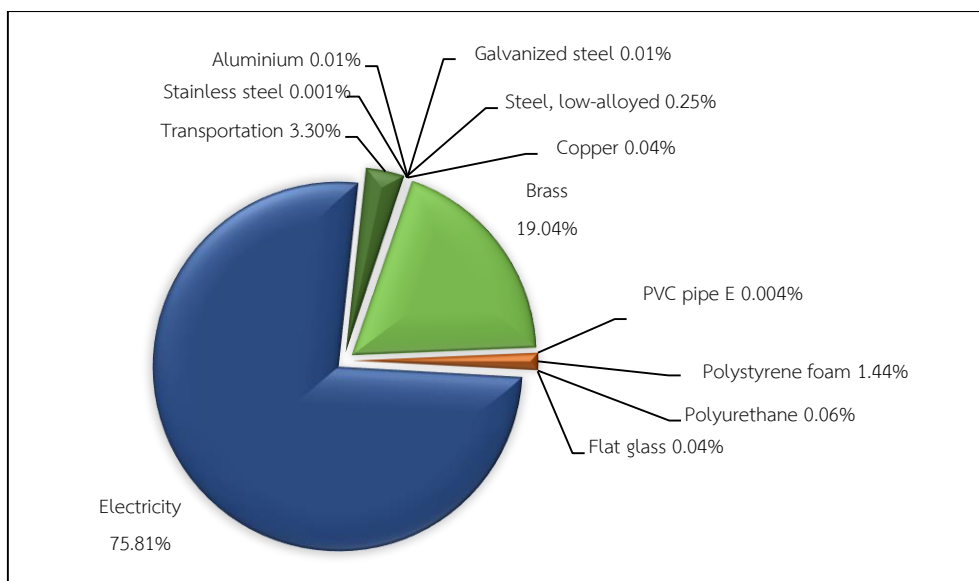
หลักสวัสดิบาล ส่วนใหญ่เป็นวัสดุประเภท ซีเมนต์ เหล็ก และพลาสติกต่าง ๆ ที่ย่อยสลายได้ยาก โดยผลกระทบของการใช้วัตถุดิบแต่ละด้านตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความร้อน มีผลดังแสดงในภาพที่ 68 ถึงภาพที่ 77



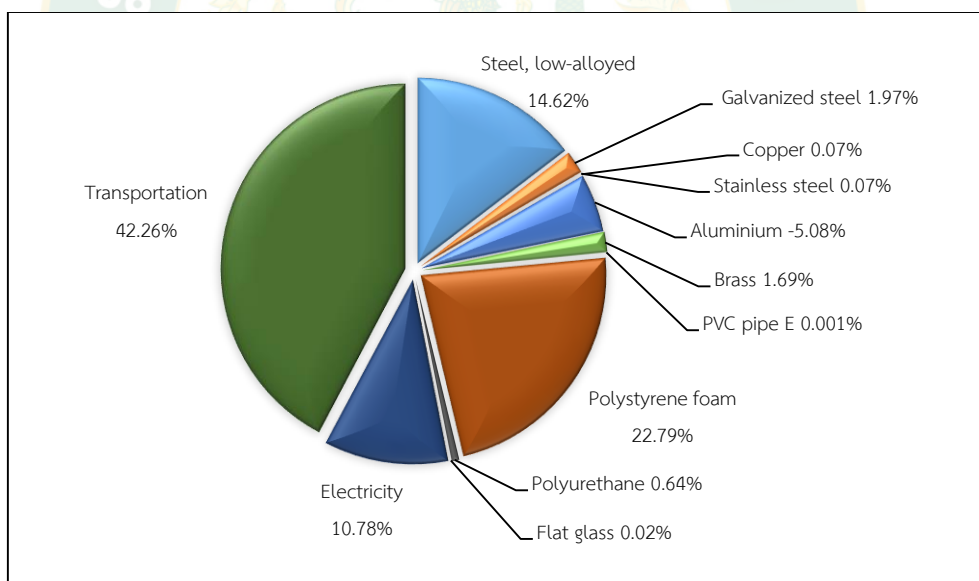
ภาพที่ 68 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความร้อน



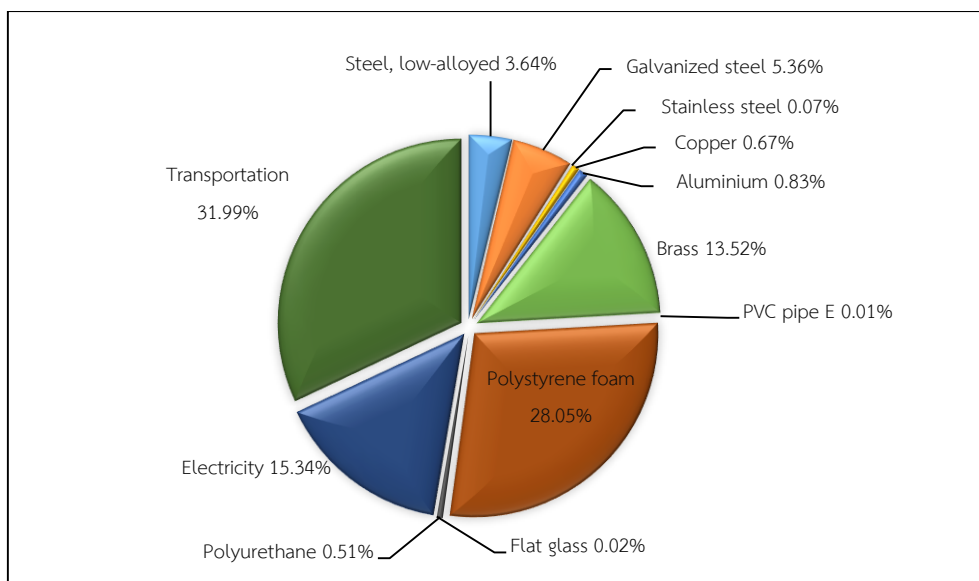
ภาพที่ 69 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อด้านการลดลงของชั้นโอโซนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความร้อน



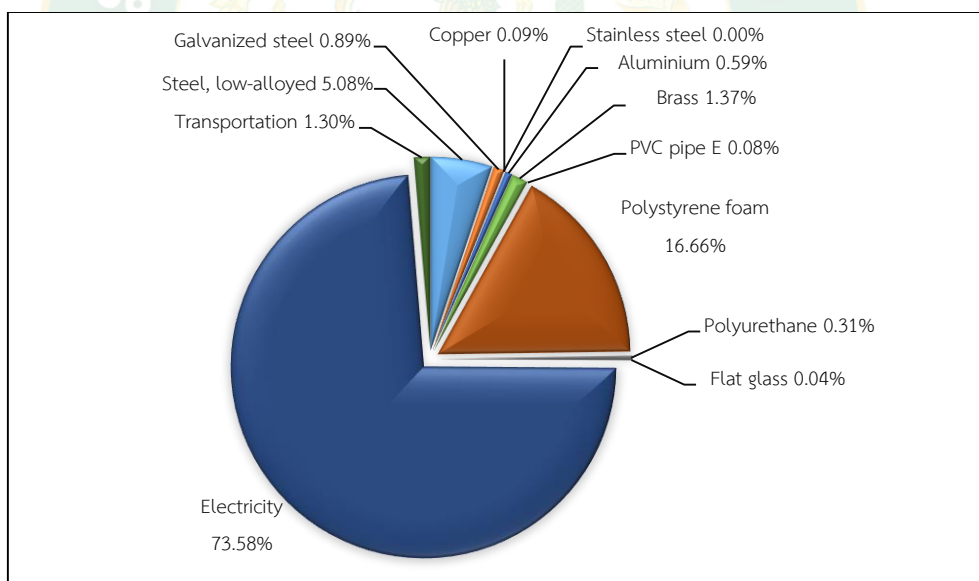
ภาพที่ 70 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ตลอดวัฏจักรชีวิตของ  
การผลิตความร้อน



ภาพที่ 71 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันตลอด  
วัฏจักรชีวิตของการผลิตความร้อน

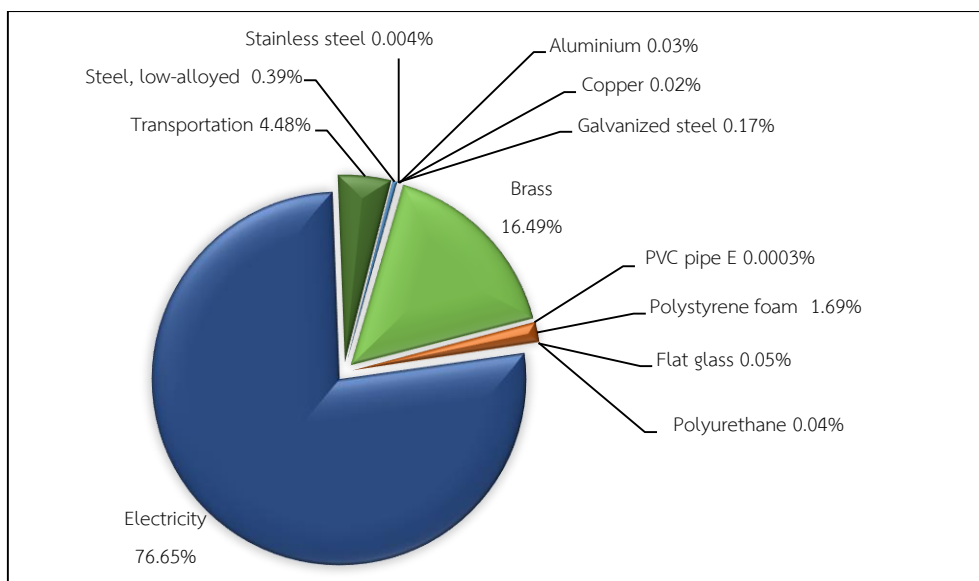


ภาพที่ 72 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการเกิดภาวะฝนกรดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิต  
ความร้อน

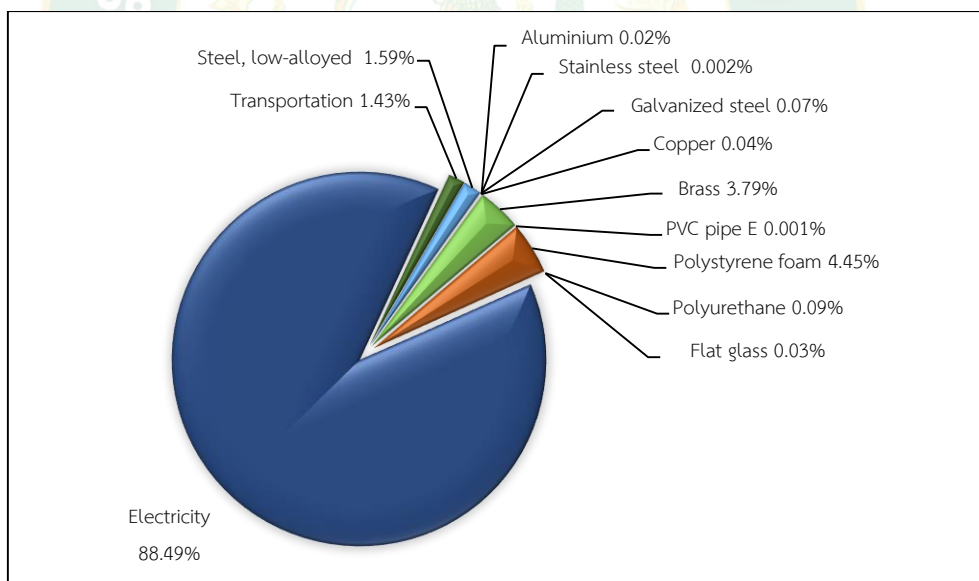


ภาพที่ 73 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด  
ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตความร้อน

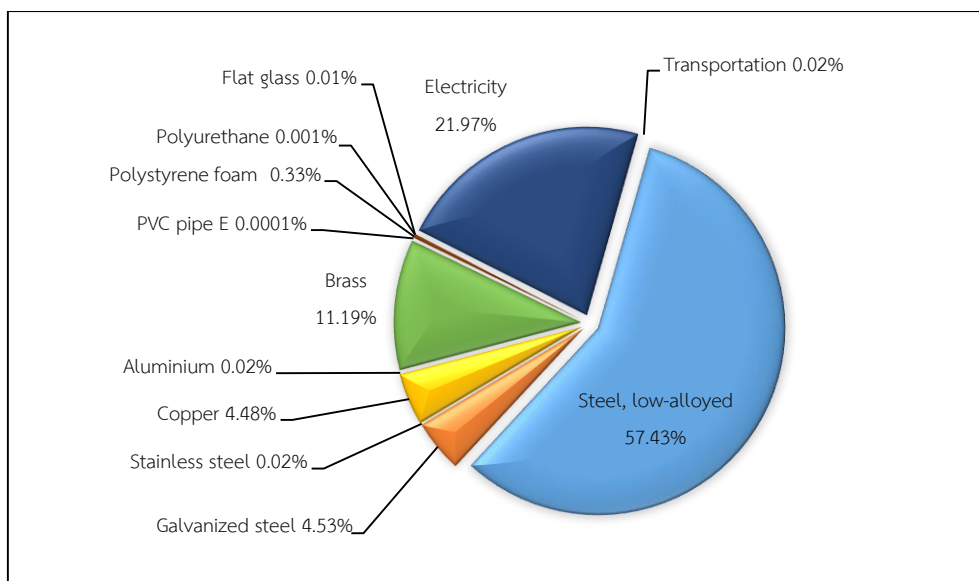




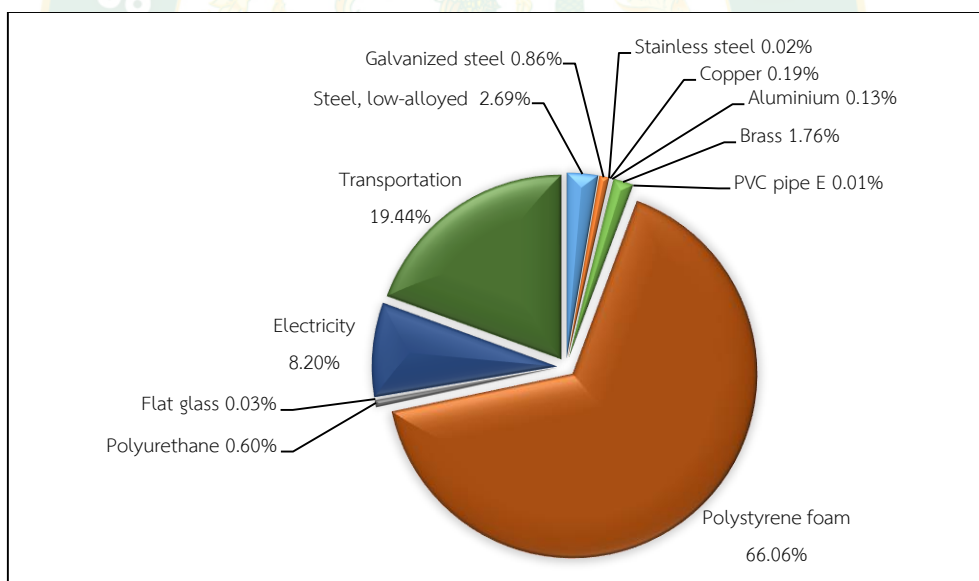
ภาพที่ 74 ผลกระทบของการใช้วัสดุต่อการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดินตลอดวัฏจักรชีวิตของ  
การผลิตความร้อน



ภาพที่ 75 ผลกระทบของการใช้วัสดุต่อการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำตลอดวัฏจักรชีวิต  
ของการผลิตความร้อน



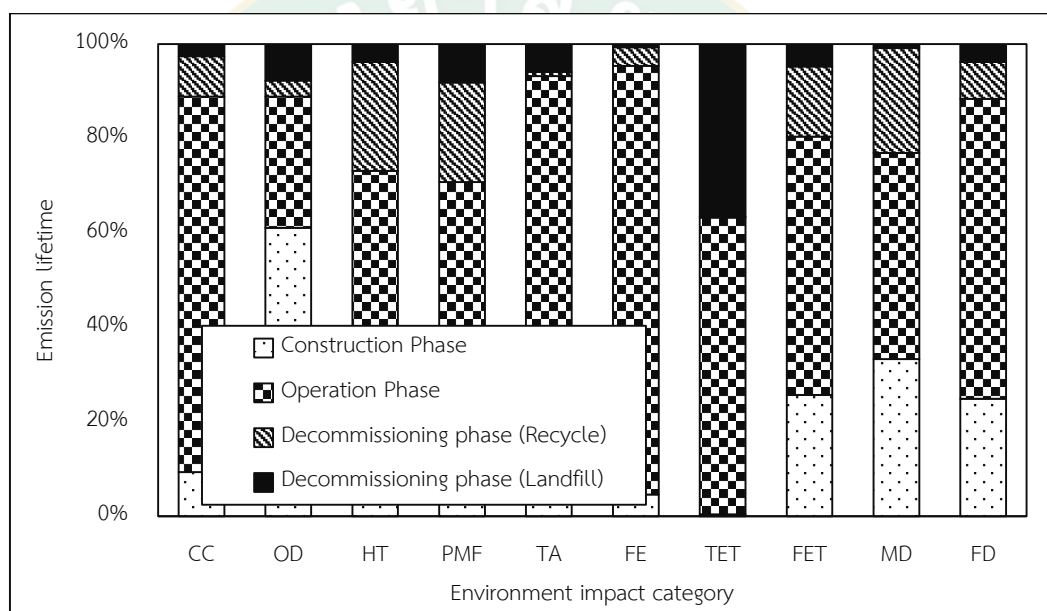
ภาพที่ 76 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการลดลงของเหล็กตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิต  
ความร้อน



ภาพที่ 77 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลตลอดวัฏจักรชีวิตของ  
การผลิตความร้อน

### ผลการแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

จากการแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ เมื่อนำมาวิเคราะห์และแปลผลกระทบที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 78 พบว่า เกิดผลกระทบในกระบวนการสร้างมากที่สุด ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยจากผลกระทบทั้ง 10 ด้านประมาณ 29.93% รองลงมา คือ เกิดขึ้นในกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยประมาณ 48.71% แต่ทั้งนี้วัสดุบางส่วนสามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่อีกครั้ง ทำให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นลดลงโดยเฉลี่ยประมาณ 21.36% จึงส่งผลให้เกิดผลกระทบในกระบวนการกำจัดซากประมาณ 10.17% และเกิดผลกระทบในกระบวนการใช้งานน้อยที่สุด คือ โดยเฉลี่ยประมาณ 5.69%



ภาพที่ 78 การแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

### ผลการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์กับห้องอบแห้งจากแหล่งความร้อนอื่น ๆ ในประเทศไทย

ในส่วนของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ปัจจุบันงานวิจัยภายในประเทศไทยมีเพียงงานวิจัยที่เกี่ยวกับการสร้างและทดสอบเท่านั้น อาทิเช่น งานวิจัยของ นัฐพรและชัชวาล (2552) มีนำพลังงานความร้อนใต้พิภพหรือน้ำพุร้อนมาใช้ในการอบแห้งพืชผลทางการเกษตร สุรศักดิ์ (2540) ได้ทำการศึกษาและออกแบบเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานความร้อนทั้งจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพในการอบแห้งพริกและกระเทียม เชิดชัย (2538) ทำการศึกษารอบแห้งต้นหอม โดยใช้พลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ Chaiyat et al. (2014) นำเสนอ

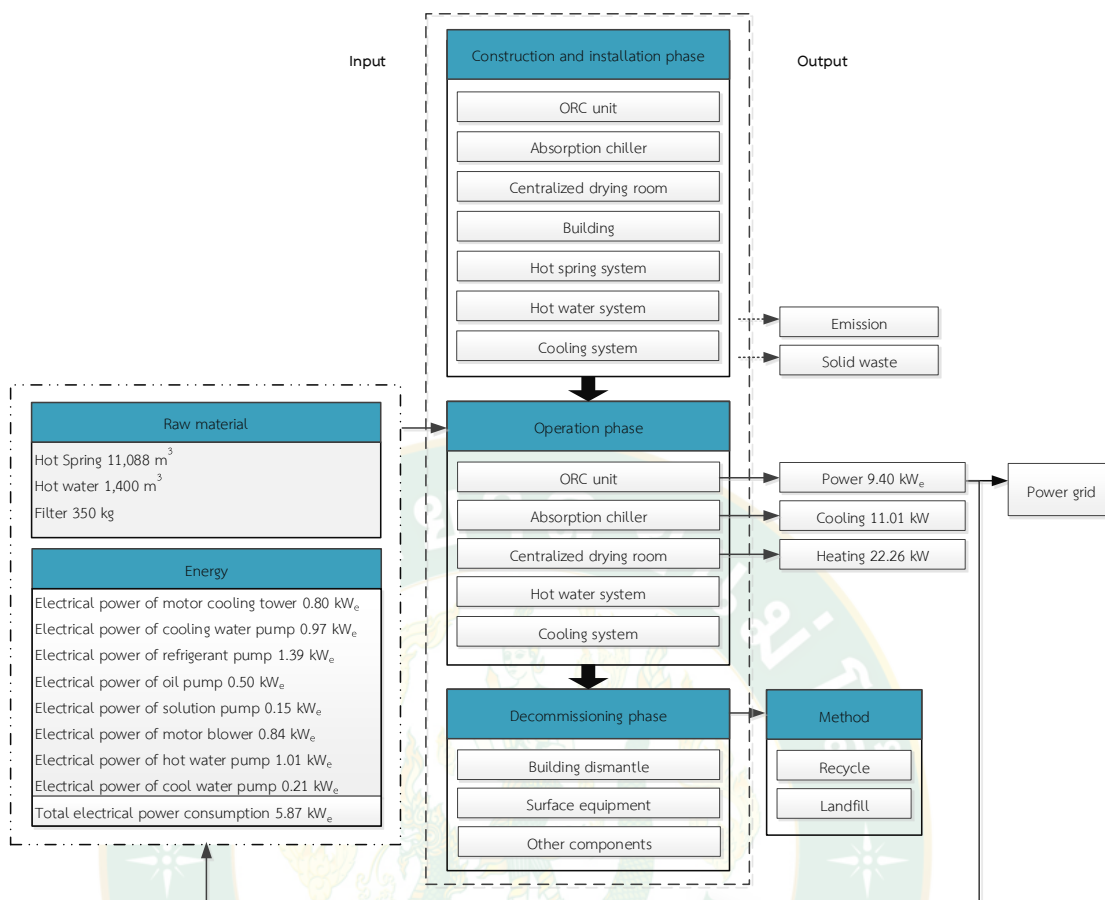
แนวทางการใช้ประโยชน์พลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันได ในการผลิตไฟฟ้า ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ตามลำดับ ทั้งนี้งานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยตรง จึงทำให้ไม่สามารถทำการทวนสอบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเพื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้ได้

### ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานร่วม

จากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานร่วม มีผลการวิเคราะห์บัญชีรายการและผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการดังแสดงต่อไปนี้

#### ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตพลังงานร่วม

จากการจัดเก็บและรวบรวมบัญชีรายการของระบบต่าง ๆ ของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบชั้นบันได ซึ่งในระบบผลิตพลังงานร่วมนี้ ประกอบด้วย ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ระบบระบายความร้อน ระบบน้ำร้อน ระบบน้ำพุร้อน และโรงเรือนสำหรับติดตั้งระบบ มีกระบวนการผลิตพลังงานร่วมดังแสดงในภาพที่ 79 มีอายุการใช้งานตลอดวัฏจักรชีวิตคิดที่ 20 y สามารถผลิตพลังงานได้ทั้งหมด 3,979,920 MJ โดยระบบผลิตพลังงานร่วมจะนำผลการวิเคราะห์บัญชีรายการของทั้ง 3 ระบบ จากตารางที่ 6 ตารางที่ 7 ตารางที่ 8 ตารางที่ 9 ตารางที่ 11 ตารางที่ 12 ตารางที่ 13 ตารางที่ 14 ตารางที่ 16 ตารางที่ 17 ตารางที่ 18 และตารางที่ 19 มาทำการวิเคราะห์ร่วมกันกับระบบย่อยอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 21 มีผลดังแสดงต่อไปนี้



ภาพที่ 79 กระบวนการผลิตพลังงานร่วมจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ

ตารางที่ 21 บัญชีรายการข้อมูลการก่อสร้างและติดตั้งของระบบผลิตพลังงานร่วม

รายการ	ชนิดวัสดุ	ปริมาณ	หน่วย	น้ำหนัก	หน่วย
<b>สารขาเข้า</b>					
<b>ระบบน้ำพุร้อน</b>					
ท่อกล้าไนซ์ ขนาด 150 mm	เหล็กกล้าไนซ์	48	Pcs	3,984.00	kg
ท่อกล้าไนซ์ ขนาด 100 mm	เหล็กกล้าไนซ์	39	Pcs	2,925.00	kg
ท่อกล้าไนซ์ ขนาด 63.5 mm	เหล็กกล้าไนซ์	8	Pcs	32.00	kg
วาล์วทองเหลือง ขนาด 63.5 mm	ทองเหลือง	3	Pcs	5.40	kg
วาล์วทองเหลือง ขนาด 100 mm	ทองเหลือง	3	Pcs	12.60	kg
ข้อต่อสามทางขนาด 100 mm	เหล็กกล้าไนซ์	3	Pcs	7.50	kg
ข้อต่อสามทางขนาด 63.5 mm	เหล็กกล้าไนซ์	8	Pcs	27.20	kg
ข้อต่อตรงเกลียวนอกขนาด 100 mm	เหล็กกล้าไนซ์	6	Pcs	13.80	kg
<b>ระบบน้ำร้อน</b>					



รายการ	ชนิดวัสดุ	ปริมาณ	หน่วย	น้ำหนัก	หน่วย
ท่อกล้าวาไนซ์ ขนาด 63.5 mm	เหล็กกล้าวาไนซ์	4	Pcs	16.00	kg
เครื่องกรองน้ำ	สแตนเลส	2	Pcs	80.00	kg
ถังน้ำสะอาด	สแตนเลส	2	Pcs	20.00	kg
ปั้มน้ำ	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	18.00	kg
	พลาสติก	-	-	3.00	kg
ท่อประปา ขนาด 20 mm	พีวีซี	2	Pcs	1.44	kg
ท่อประปา ขนาด 25 mm	พีวีซี	6	Pcs	6.90	kg
ข้อต่อท่อ 3 ทาง	พีวีซี	13	Pcs	1.00	kg-
ฐานรองรับระบบน้ำร้อน	ปูนซีเมนต์	5	Pcs	250.00	kg
	ทราย	0.87	m <sup>3</sup>	1,174.00	kg
	หิน	0.52	m <sup>3</sup>	785.00	kg
	น้ำ	0.14	m <sup>3</sup>	149.00	kg
ไวร์เมช	เหล็กกล้าผสม	5	m <sup>2</sup>	4.93	kg
ข้องอ	พีวีซี	32	Pcs	60.00	kg
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	สแตนเลส	2	Pcs	140.00	kg
ฐานรองอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	115.00	kg
ถังเก็บน้ำร้อน	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	120.00	kg
ท่อกล้าวาไนซ์ ขนาด 63.5 mm	เหล็กกล้าวาไนซ์	10	Pcs	40.00	kg
วาล์ว	ทองเหลือง	3	Pcs	3.00	kg
	พีวีซี	5	Pcs	1.00	kg
	เหล็กกล้าผสม	14	Pcs	1.40	kg
ปั้มน้ำเย็น	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	8.70	kg
	ทองแดง			1.00	kg
ปั้มน้ำร้อน	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	15.00	kg
	ทองแดง			2.00	kg
สารกรองน้ำสะอาด	เรซิน	50	L	50.00	kg
	หิน, กรวด, ทราย	6	Unit	120.00	kg
	ถ่านคาร์บอน	1	Unit	25.00	kg
	แอนทราไซท์	1	Unit	8.00	kg
<b>ระบบระบายความร้อน</b>					
ท่อฝั่งระบายความร้อน	พลาสติกแข็ง	1	Pcs	220.00	kg
เหล็กโครงสร้าง	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	80.00	kg

รายการ	ชนิดวัสดุ	ปริมาณ	หน่วย	น้ำหนัก	หน่วย
ปั้มน้ำหล่อเย็น	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	30.60	kg
	ทองแดง			5.20	kg
พัดลม	เหล็กกล้าผสม	1	Pcs	199.00	kg
	สแตนเลส	-	-	179.00	kg
	ทองแดง	-	-	20.00	kg
ท่อสามทาง ขนาด 63.5 mm	ทองเหลือง	1	Pcs	35.00	kg
วาล์ว ขนาด 63.5 mm	ทองเหลือง	3	Pcs	5.40	kg
ท่อประปา ขนาด 63.5 mm	พีวีซี	2	Pcs	9.12	kg
ท่อประปา ขนาด 50 mm	พีวีซี	9	Pcs	26.82	kg
ฐานรองระบบระบายความร้อน	ปูนซีเมนต์	5	Pcs	250.00	kg
	ทราย	0.87	m <sup>3</sup>	1,174.00	kg
	หิน	0.52	m <sup>3</sup>	785.00	kg
	น้ำ	0.14	m <sup>3</sup>	149.0	kg
ไวร์เมช	เหล็กกล้าผสม	5	m <sup>2</sup>	4.93	kg
<b>โรงเรียนสำหรับติดตั้งระบบ</b>					
ไม้ยูคาลิปตัส	ไม้	165	Unit	350.00	kg
ลวดดำ	เหล็กกล้าผสม	6.6	Unit	32.40	kg
ตะปู	เหล็กกล้าผสม	2.75	kg	5.00	kg
ลวดเชื่อม	เหล็กกล้าผสม	5.5	Unit	10.00	kg
เหล็ก DB 12 mm	เหล็กกล้าผสม	64.9	Line	1,911.00	kg
เหล็ก RB 9 mm	เหล็กกล้าผสม	363	Line	1,177.38	kg
เหล็ก RB 6 mm	เหล็กกล้าผสม	41	Line	59.00	kg
เสาเข็มเหล็ก	เหล็กกล้า	5.5	Unit	250.00	kg
ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์	101	Unit	9,200.00	kg
ทราย	ทราย	10.2	m <sup>3</sup>	24,921.00	kg
หิน	หิน	17	m <sup>3</sup>	46,636.00	kg
น้ำ	น้ำ	19.5	m <sup>3</sup>	4,175.00	kg
พลาสติกกันความร้อน UV 7%	โพลีเอทิลีน	82.5	m <sup>2</sup>	30.00	kg
กระเบื้องหลังคา	ไฟเบอร์ซีเมนต์	104	Box	4,820.00	kg
แปเหล็ก หนา 0.55 mm ยาว 6 m	เหล็กกล้า	72.6	Unit	316.80	kg
ไม้ปิดสันหลังคา-สันตะเข้ ยาว 3 m	ไฟเบอร์ซีเมนต์	17.6	Unit	158.40	kg
สกรูยึดแปเหล็ก	เหล็กกล้าผสม	16.5	Box	30.00	kg
แผ่นเปิดรอยต่อจัสมิน (หน้าพลาสติก)	โพลีคาร์บอเนต	8.8	Unit	28.80	kg

รายการ	ชนิดวัสดุ	ปริมาณ	หน่วย	น้ำหนัก	หน่วย
ขนาด 20 x 300 cm <sup>2</sup>					
สกรูยึดไม้ฝาโครงเหล็กมีปีก	เหล็กกล้าผสม	2.75	Box	5.00	kg
เหล็กกล่อง 100 x 100 mm <sup>2</sup> หน้า 2.3 mm	เหล็กกล้าผสม	2.75	Line	208.51	kg
เหล็กกล่อง 75 x 38 mm <sup>2</sup> หน้า 2.3 mm	เหล็กกล้าผสม	1.1	Line	45.72	kg
เหล็กกล่อง 25 x 25 mm <sup>2</sup> หน้า 1.6 mm	เหล็กกล้าผสม	1.1	Line	13.46	kg
เหล็กกล่อง 50 x 20 mm <sup>2</sup> หน้า 1.5 mm	เหล็กกล้าผสม	4.95	Line	83.71	kg
เหล็กกล่อง 100 x 200 mm <sup>2</sup> หน้า 3.3 mm	เหล็กกล้าผสม	4.95	Line	785.16	kg
เหล็กกล่อง 100 x 50 mm <sup>2</sup> หน้า 1.5 mm	เหล็กกล้าผสม	1.65	Line	92.52	kg
เหล็กกล่อง 75 x 38 mm <sup>2</sup> หน้า 1.5 mm	เหล็กกล้าผสม	13.75	Line	571.51	kg
เชิงชาย	ไฟเบอร์ซีเมนต์	11	Unit	351.20	kg
ฉนวนกันความร้อน ขนาด 3 x 1.2 m <sup>2</sup>	โพลีสไตรีน โฟม	35.64	m <sup>2</sup>	753.69	kg
ผนังห้องระบบผลิตไฟฟ้า ขนาด 3 x 1.2 m <sup>2</sup>	เหล็กกล้าวไนซ์	35.64	m <sup>3</sup>	26.47	kg
สีกันสนิม	ออกไซด์ พราม เมอร์	57.09	kg	51.66	kg
สายไฟ	ยางพารา	0.55	kg	5.95	kg
	ทองแดง	4.95	kg	5.37	kg
ตู้ไฟ	เหล็กกล้าผสม	0.55	Unit	10.00	kg
แร็คไฟฟ้า	เหล็กกล้าวไนซ์	4.4	Unit	3.06	kg
ลูกแร็ค	เซรามิกส์	0.55	Unit	5.60	kg
ลวดอะลูมิเนียม	อลูมิเนียม	1.1	Unit	1.73	kg
โฟมหนา 0.5 cm	โพลีสไตรีน โฟม	2.2	piece	2.55	kg
เอ็นวัต	โพลียูรีเทน	0.55	piece	1.30	kg
ฟองน้ำ	โพลียูรีเทน	5.5	piece	11.35	kg
สีเก็บงาน	ออกไซด์ พราม เมอร์	1.1	Can	7.27	kg

รายการ	ชนิดวัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย	น้ำหนัก	หน่วย
ท่อโลหะร้อยสายไฟขนาด 25 mm	เหล็กกล้าวไนซ์	6.6	Line	5.14	kg
พลังงาน	ไฟฟ้า	20	kWh	58.00	kg

หมายเหตุ: เก็บข้อมูลจากรายการสั่งซื้อวัสดุและรายละเอียดอุปกรณ์ต่าง ๆ ณ สถานที่ติดตั้งระบบ

### ตารางที่ 22 บัญชีรายการข้อมูลของการขนส่งวัตถุดิบระบบผลิตพลังงานร่วม

รายการ	ชนิดเชื้อเพลิง	ระยะทาง	หน่วย	ปริมาณ	หน่วย
รถบรรทุกติดเครน 6 ล้อ	ดีเซล	760	km	190.00	L
รถบรรทุก 6 ล้อ	ดีเซล	840	km	172.00	L
รถกระบะทั่วไป	ดีเซล	200	km	20.00	L

หมายเหตุ: ผลการคำนวณจากระยะทางการขนส่งจากบริษัทมายังสถานที่ติดตั้ง

### ตารางที่ 23 บัญชีรายการข้อมูลการใช้งานของระบบผลิตพลังงานร่วม

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
<b>สารขาเข้า</b>		
น้ำพุร้อน <sup>1</sup>	11,088.00	m <sup>3</sup>
น้ำร้อน <sup>1</sup>	1,400.00	m <sup>3</sup>
สารกรองน้ำสะอาด (เรซิน) <sup>1</sup>	350.00	kg
สารกรองน้ำสะอาด (ถ่านคาร์บอน) <sup>1</sup>	100.00	kg
สารกรองน้ำสะอาด (แอนทราไซต์) <sup>1</sup>	32.00	kg
สารทำงาน R-245fa <sup>1</sup>	15.60	kg
น้ำมันหล่อลื่น <sup>1</sup>	120.00	L
คู่มือสารละลายน้ำ-ลิเทียมโบรไมด์ <sup>1</sup>	20.00	kg
พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้ระบบ <sup>2</sup>	986,160.00	kWh
<b>สารขาออก</b>		
สารกรองน้ำสะอาด (อายุการใช้งาน 3 y, เรซิน) <sup>1</sup>	350.00	kg
สารกรองน้ำสะอาด (อายุการใช้งาน 5 y, ถ่านคาร์บอน) <sup>1</sup>	100.00	kg
สารกรองน้ำสะอาด (อายุการใช้งาน 5 y, แอนทราไซต์) <sup>1</sup>	32.00	kg
สารทำงาน R-245fa (การรั่วไหล 0.78 kg/y) <sup>3</sup>	15.60	kg
คู่มือสารละลายน้ำ-ลิเทียมโบรไมด์ (การรั่วไหล 1 kg/y) <sup>1</sup>	20.00	kg
น้ำมันหล่อลื่น (อายุการใช้งาน 5 y) <sup>1</sup>	120.00	L
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด <sup>2</sup>	1,579,200.00	kWh

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
ความเย็นที่ผลิตได้ทั้งหมด <sup>2</sup>	1,849,680.00	kW
พลังงานความร้อนที่ผลิตได้ทั้งหมด <sup>2</sup>	3,739,680.00	kW
พลังงานรวมที่ผลิตได้ทั้งหมด (Gross energy output) <sup>2</sup>	25,806,816.00	MJ

หมายเหตุ: <sup>1</sup> ผลการประเมินจากการใช้งานของระบบ

<sup>2</sup> ผลการคำนวณของการเก็บข้อมูลจากระบบจากระบบออนไลน์ [www.tdetlab.com](http://www.tdetlab.com)

<sup>3</sup> ผลค่าเฉลี่ยจากงานวิจัยของ Ding et al. (2018), Gerber and Marechal (2012), Intaniwat and Chaiyat (2017), Wang et al. (2018), Zhang et al. (2018)

#### ตารางที่ 24 บัญชีรายการข้อมูลการกำจัดซากของระบบผลิตพลังงานรวม

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
<b>การรีไซเคิล</b>		
เหล็กกล้าผสม	8,872.00	kg
เหล็กกล้าไนซ์	7,820.00	kg
สแตนเลส	619.00	kg
สังกะสี	139.00	kg
ทองเหลือง	137.00	kg
อลูมิเนียม	58.00	kg
สารทำงาน R-245fa	68.00	kg
คู่อุสรละลายน้ำ-ลิเทียมโบรไมด์	50.00	kg
ทองแดง	775.00	kg
<b>การฝังกลบ</b>		
คอนกรีตผสมเสร็จ	36,000.00	kg
ไฟเบอร์ซีเมนต์	5,329.00	kg
พลาสติกรวม	1,169.92	kg
สารกรองน้ำสะอาด (เรซิน)	50.00	kg
สารกรองน้ำสะอาด (ถ่านคาร์บอน)	25.00	kg
สารกรองน้ำสะอาด (แอนทราไซท์)	8.00	kg
น้ำมันหล่อลื่น (อายุการใช้งาน 5 y)	40.00	L
กระดาษ	10.00	kg
<b>การขนส่ง</b>		
รถบรรทุก 6 ล้อ (น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล)	100.00	L

หมายเหตุ: ข้อมูลจากการประเมินตามปริมาณวัสดุที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานรวม



### ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตพลังงานร่วม

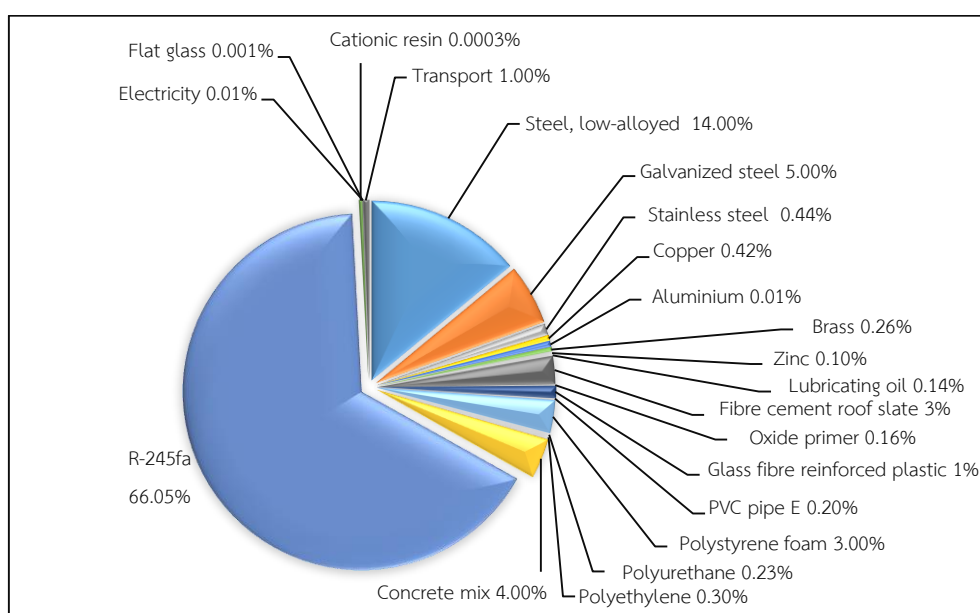
จากผลการวิเคราะห์ปัญหาชี้รายการตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานร่วม จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ เมื่อนำมาประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตพลังงานร่วม

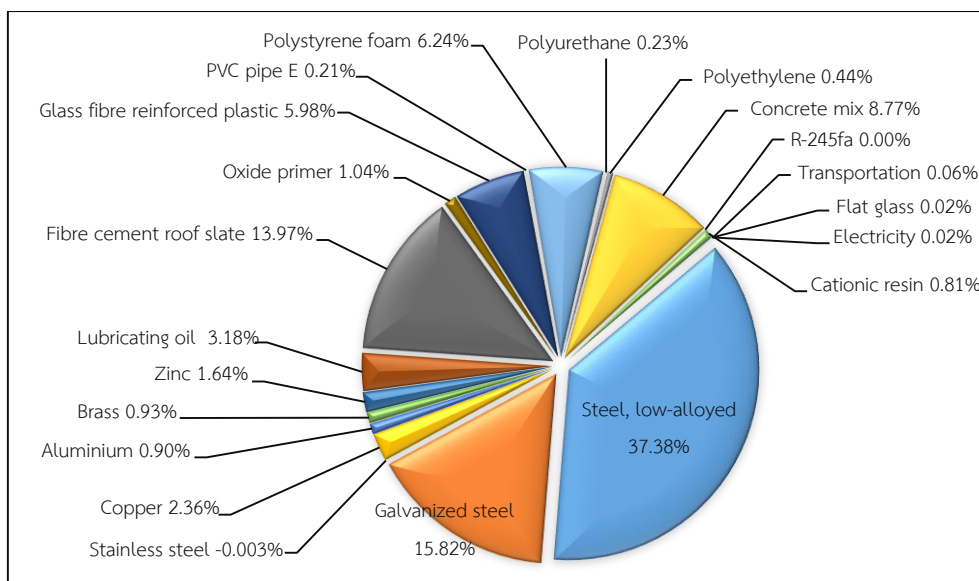
Environmental impact	Construction phase	Operation phase	Decommissioning phase		Total Emission	
			Recycle	Landfill	Lifetime	MJ
CC	1.12E+05	1.77E+04	-7.35E+04	1.66E+03	5.76E+04	7.19E-03
OD	3.90E-03	2.94E-05	-1.58E-03	4.29E-04	2.77E-03	3.46E-10
HT	1.18E+05	3.12E+02	-6.18E+04	4.49E+02	5.68E+04	7.09E-03
PMF	1.38E+02	1.40E+00	-8.68E+01	1.27E+01	6.52E+01	8.14E-06
TA	3.02E+02	2.50E+00	4.43E+01	9.25E+00	3.58E+02	4.47E-05
FE	6.01E+01	2.13E-01	-3.15E+01	2.43E-01	2.91E+01	3.63E-06
TET	1.16E+01	2.11E+01	-3.21E+00	2.13E+01	5.08E+01	6.34E-06
FET	1.53E+03	7.39E+00	-5.78E+02	8.21E+00	9.63E+02	1.20E-04
MD	5.79E+04	3.68E+01	-3.44E+04	1.01E+02	2.37E+04	2.96E-03
FD	1.50E+04	1.06E+02	-4.68E+03	5.55E+02	1.10E+04	1.37E-03

จากผลการวิเคราะห์ปัญหาชี้รายการตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานร่วม พบว่า ในกระบวนการสร้างและติดตั้งผลกระทบที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจากการใช้วัสดุประเภทเหล็กกล้าผสมที่ใช้ในการทำโครงสร้างของระบบต่าง ๆ จำนวน 8,872 kg เหล็กกล้าวาไนซ์ที่ใช้ในระบบน้ำพุร้อนและระบบน้ำร้อน จำนวน 7,820 kg ทองเหลือง 137 kg ไฟเบอร์ซีเมนต์ 5,329 kg และโพลีไสตริโนโฟมที่ใช้ทำผนังห้องระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ จำนวน 1,490 kg จึงทำให้ส่งผลกระทบสูงทางด้านการลดลงของชั้นโอโซน การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน การเกิดภาวะฝนกรด การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด การลดลงของเหล็ก และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล ในกระบวนการใช้งาน พบว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการรั่วไหลของสารทำงานในระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ 0.78 kg/y ผลค่าเฉลี่ยจากงานวิจัยของ Ding et al. (2018), Gerber and Marechal (2012), Intaniwat and Chaiyat (2017), Wang et al. (2018), Zhang et al. (2018) ส่งผลให้เกิดผลกระทบทางด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสูง แต่อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตพลังงานร่วมจากพลังงานความร้อนใต้พิภพเป็นการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นเอง

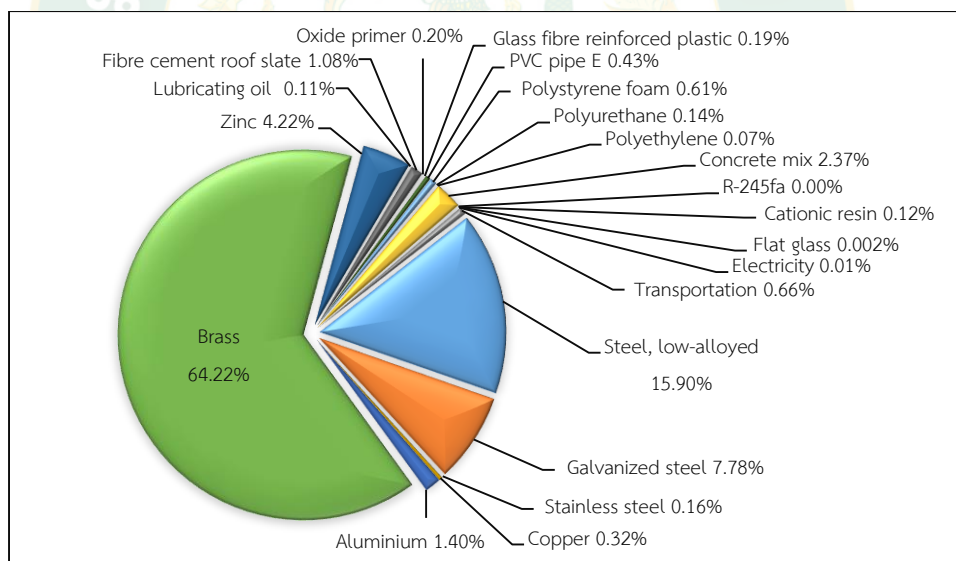
ตามธรรมชาติ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงส่งผลให้ค่าผลกระทบต่อรวมในกระบวนการนี้มีค่าค่อนข้างต่ำ ในกระบวนการสุดท้ายของวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานร่วม เมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานแล้วมีวัสดุ บางส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่ จึงส่งผลให้ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกระบวนการนี้ ลดลง และอีกส่วนหนึ่งที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ จะถูกส่งไปกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบอย่าง ถูกสุขอนามัย โดยผลกระทบของการใช้วัตถุดิบแต่ละด้านตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม มีผลดังแสดงในภาพที่ 80 ถึง ภาพที่ 89



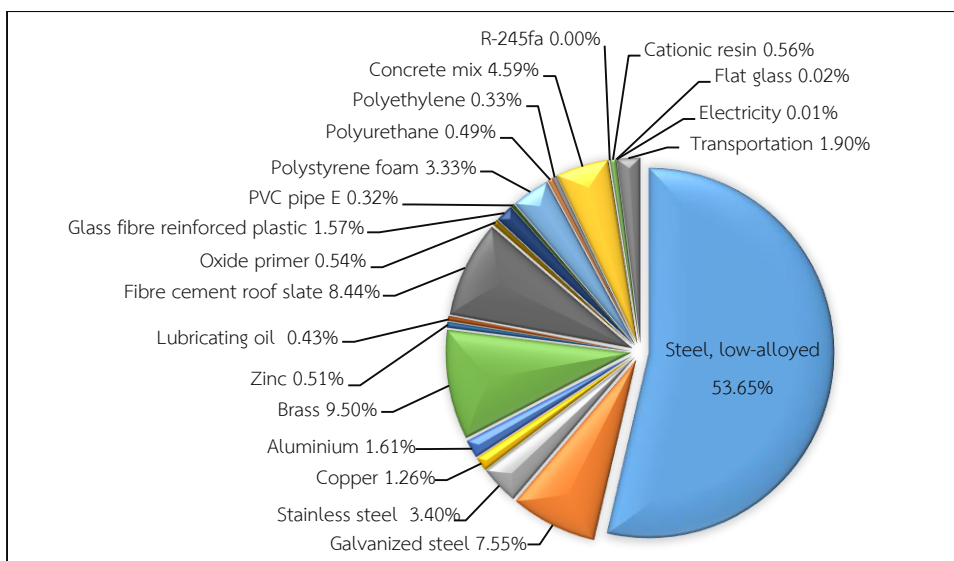
ภาพที่ 80 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม



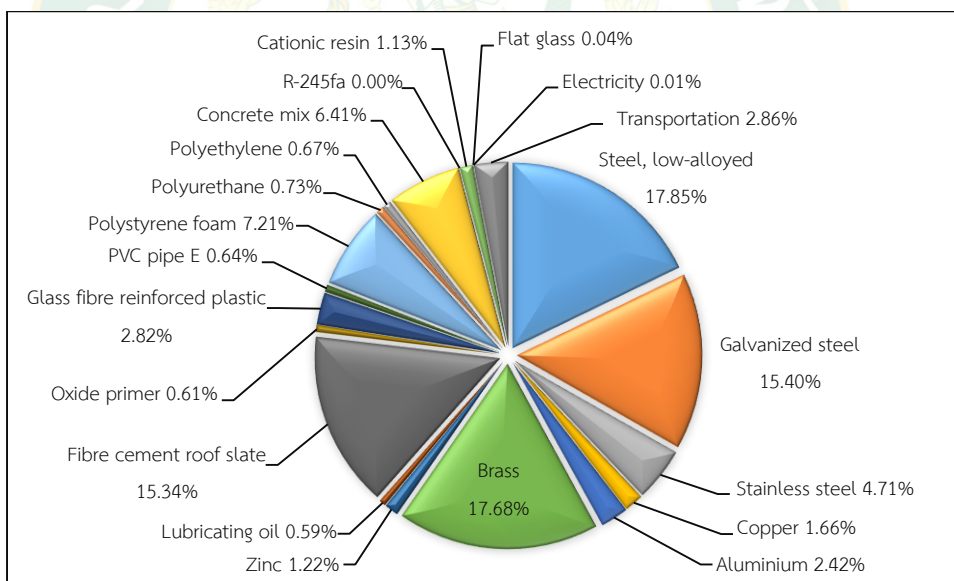
ภาพที่ 81 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการลดลงของชั้นไอโซนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิต  
พลังงานร่วม



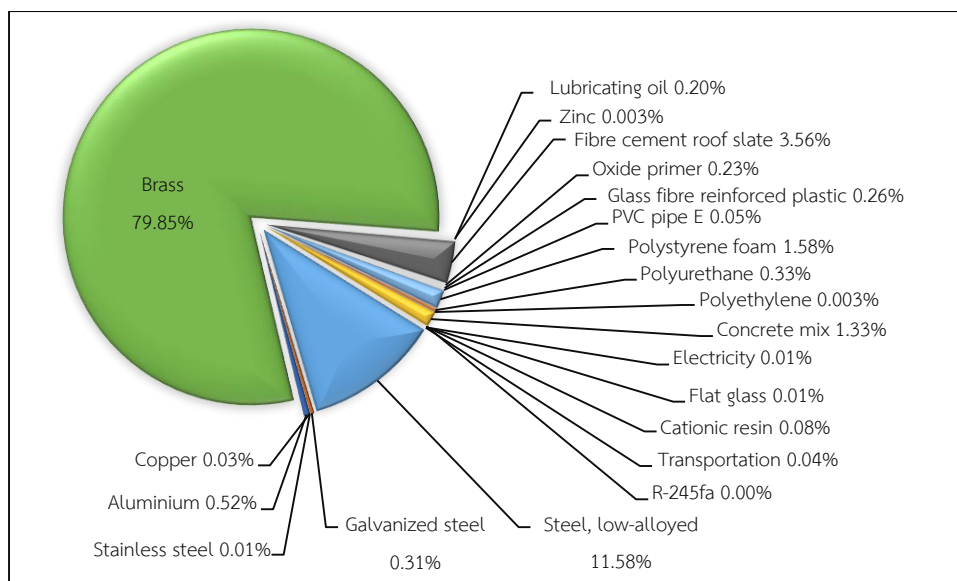
ภาพที่ 82 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ตลอดวัฏจักรชีวิตของ  
การผลิตพลังงานร่วม



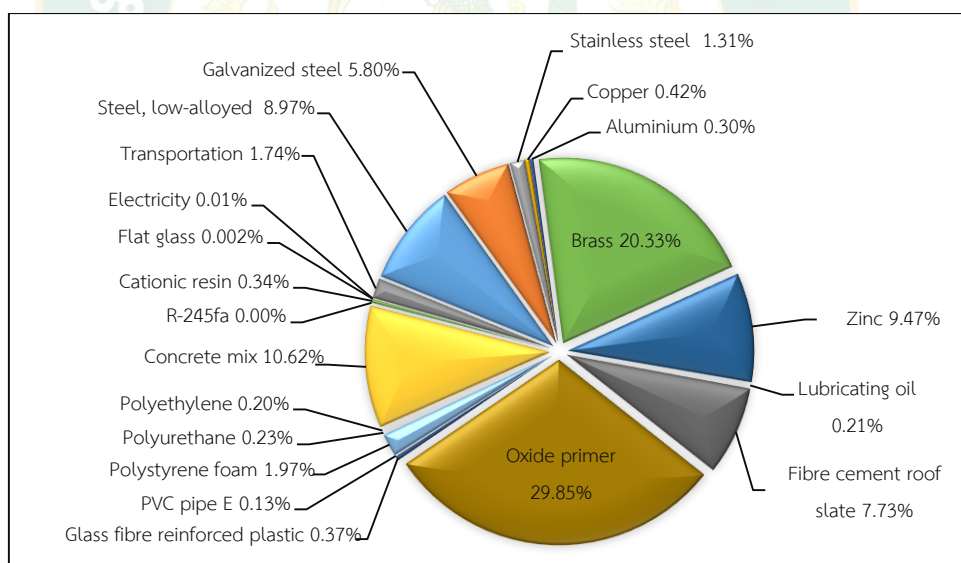
ภาพที่ 83 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม



ภาพที่ 84 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการเกิดภาวะฝนกรดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม

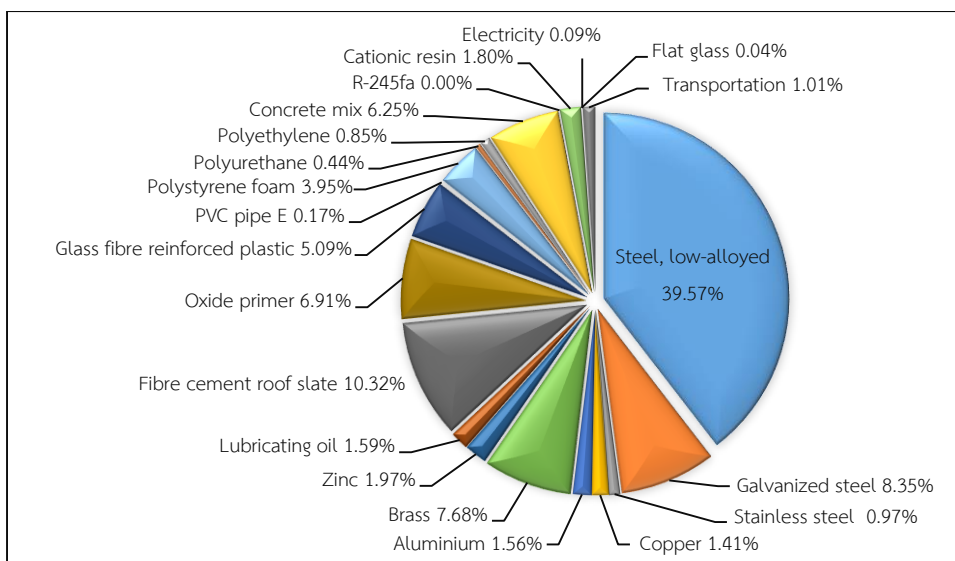


ภาพที่ 85 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม

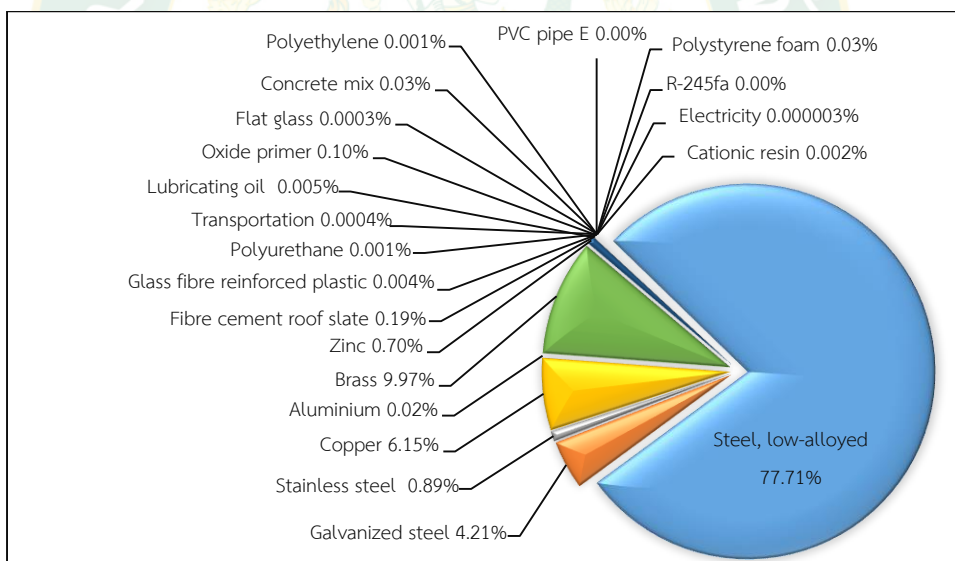


ภาพที่ 86 ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบต่อการเกิดภาวะที่พืชตอดินตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม

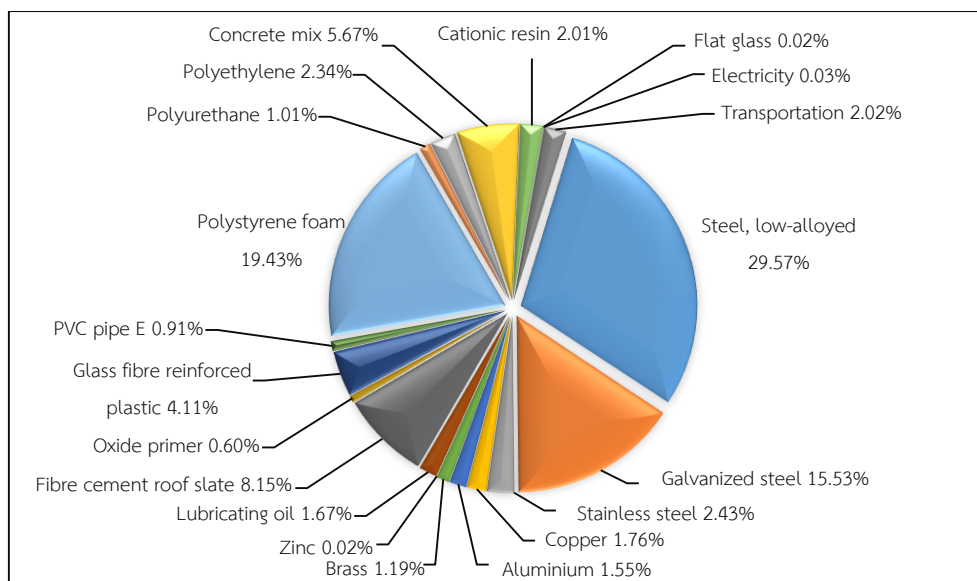




ภาพที่ 87 ผลกระทบของการใช้วัสดุชนิดต่อการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม



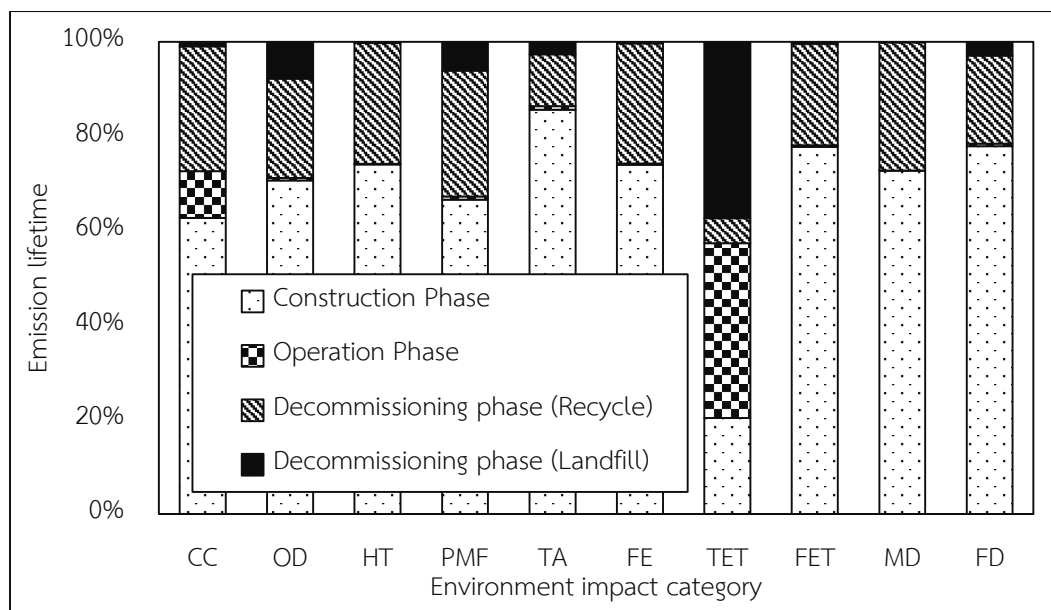
ภาพที่ 88 ผลกระทบของการใช้วัสดุชนิดต่อการลดลงของเหล็กตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานร่วม



ภาพที่ 89 ผลกระทบของการใช้วัสดุติดต่อด้านการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลตลอดวัฏจักรชีวิตของ  
การผลิตพลังงานร่วม

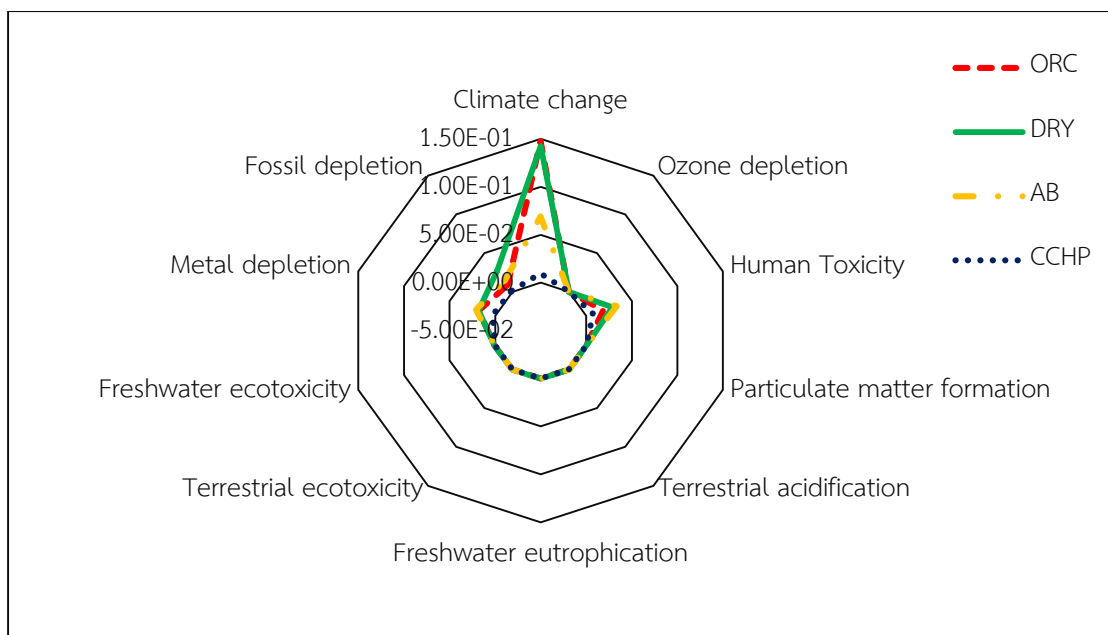
#### ผลการแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตพลังงานร่วม

จากการแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน  
ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า เกิดผลกระทบในกระบวนการสร้างมากที่สุด ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยจากผลกระทบ  
ทั้ง 10 ด้านประมาณ 87.64% รองลงมา คือ เกิดขึ้นในกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้  
งานโดยเฉลี่ยประมาณ 6.69% และเกิดผลกระทบในกระบวนการใช้งานน้อยที่สุด คือ โดยเฉลี่ย  
ประมาณ 5.68%



ภาพที่ 90 การแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของของระบบผลิตพลังงานร่วม

ทั้งนี้ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานร่วมทั้ง 10 ด้าน สาเหตุหลัก คือ เหล็กกล้าผสม ทองเหลือง และโพลีเอสเตอร์ไพม์ โดยวัสดุเหล่านี้เป็นสาเหตุหลัก ก่อให้เกิดผลกระทบ 7 ด้าน คือ 1. การลดลงของชั้นโอโซน 2. การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ 3. การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน 4. การเกิดภาวะฝนกรด 5. การเจริญเติบโตผิดปกติของพืช ในแหล่งน้ำจืด 6. การลดลงของเหล็ก และ 7. การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งสำหรับ R-245fa ในวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ เป็นสารทำงานที่เป็นสาเหตุหลักในการก่อให้เกิดผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จากผลการศึกษาของการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้า ด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ห้างอบแห้งแบบรวมศูนย์ และระบบผลิตพลังงานร่วมแบบขั้นบันได ดังแสดงในภาพที่ 91 เมื่อทำการพิจารณาพบว่า ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบขั้นบันไดมีค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด เนื่องจากสามารถผลิตพลังงานได้สูงสุด ทั้งการผลิตไฟฟ้า พลังงานความร้อน และการทำความเย็น และเมื่อต่อรวมกันในรูปแบบดังกล่าวยังสามารถลดผลกระทบจากการป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แก่ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้างอบแห้งแบบรวมศูนย์ลงได้อีกด้วย



ภาพที่ 91 ผลการเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงาน



## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพของน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน ตามพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่ สามารถสรุปผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1. พลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพงฯ โดยแหล่งที่นำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน คือ น้ำพุร้อนหลุมที่ 1 มีอุณหภูมิที่พื้นผิวดิน  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  ร่วมกับไอน้ำพุร้อนอุณหภูมิประมาณ  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  ที่อัตราการไหลประมาณ  $3\text{ L/s}$

2. การทดสอบและวิเคราะห์ระบบผลิตพลังงาน พบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมด  $9.4\text{ kW}_e$  ที่ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ  $9.53\%$  ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน สามารถผลิตน้ำเย็นได้ทั้งหมด  $11.01\text{ kW}$  มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบเท่ากับ  $0.56$  ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์สามารถผลิตความร้อนได้ทั้งหมด  $22.26\text{ kW}$  มีประสิทธิภาพของระบบเท่ากับ  $56.16\%$  และระบบผลิตพลังงานรวมมีประสิทธิภาพของระบบเท่ากับ  $29.83\%$

3. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์เกิดผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่ากับ  $4.10\text{E-}02\text{ kg CO}_2\text{ eq/kWh}$  การลดลงของชั้นโอโซนเท่ากับ  $2.38\text{E-}09\text{ kg CFC-}11\text{ eq/kWh}$  การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์เท่ากับ  $5.22\text{E-}03\text{ kg 1,4-DB eq/kWh}$  การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันเท่ากับ  $1.36\text{E-}05\text{ kg PM}_{10}\text{ eq/kWh}$  การเกิดภาวะฝนกรดเท่ากับ  $6.32\text{E-}05\text{ kg SO}_2\text{ eq/kWh}$  การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืดเท่ากับ  $3.39\text{E-}06\text{ kg P eq/kWh}$  การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดินเท่ากับ  $4.72\text{E-}05\text{ kg 1,4-DB eq/kWh}$  การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำเท่ากับ  $1.62\text{E-}04\text{ kg 1,4-DB eq/kWh}$  การลดลงของเหล็กเท่ากับ  $4.97\text{E-}03\text{ kg Fe eq/kWh}$  และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลเท่ากับ  $2.49\text{E-}03\text{ kg oil eq/kWh}$  ซึ่งผลกระทบส่วนใหญ่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างมากที่สุด คิดเป็น  $84.94\%$  รองลงมา คือ กระบวนการใช้งานน้อยที่สุด คิดเป็น  $7.91\%$  และกระบวนการกำจัดซาก คิดเป็น  $7.09\%$  ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยพบว่า มีค่าต่ำกว่า  $0.04$  เท่า

4. ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนเกิดผลกระทบเกิดผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่ากับ  $1.92\text{E-}02\text{ kg CO}_2\text{ eq/kW}$  การลดลงของชั้นโอโซนเท่ากับ  $2.84\text{E-}09\text{ kg CFC-}11\text{ eq/kW}$  การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์เท่ากับ  $9.24\text{E-}03\text{ kg 1,4-DB eq/kW}$  การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันเท่ากับ  $1.58\text{E-}05\text{ kg PM}_{10}\text{ eq/kW}$  การเกิดภาวะฝนกรดเท่ากับ  $6.64\text{E-}05\text{ kg}$



SO<sub>2</sub> eq/kW การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืดเท่ากับ 3.51E-05 kg P eq/kW การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดินเท่ากับ 5.57E-05 kg 1,4-DB eq/kW การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำเท่ากับ 2.02E-04 kg 1,4-DB eq/kW การลดลงของเหล็กเท่ากับ 5.88E-03 kg Fe eq/kW และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลเท่ากับ 3.89E-03 kg oil eq/kW ซึ่งผลกระทบส่วนใหญ่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างมากที่สุด คิดเป็น 57.58% รองลงมา คือ กระบวนการใช้น้ำมันน้อยที่สุด คิดเป็น 36.68% และกระบวนการกำจัดซาก คิดเป็น 5.74% ตามลำดับ และได้ทำการเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอ พบว่า มีค่าต่ำกว่าหลายเท่าตัวในทุก ๆ ของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

5. ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์เกิดผลกระทบเกิดผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่ากับ 3.97E-02 kg CO<sub>2</sub> eq/kW การลดลงของชั้นโอโซนเท่ากับ 6.16E-09 kg CFC-11 eq/kW การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์เท่ากับ 7.98E-03 kg 1,4-DB eq/kW การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันเท่ากับ 1.96E-05 kg PM10 eq/kW การเกิดภาวะฝนกรดเท่ากับ 9.80E-05 kg SO<sub>2</sub> eq/kW การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืดเท่ากับ 6.74E-05 kg P eq/kW การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดินเท่ากับ 1.25E-04 kg 1,4-DB eq/kW การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำเท่ากับ 2.30E-04 kg 1,4-DB eq/kW การลดลงของเหล็กเท่ากับ 4.99E-03 kg Fe eq/kW และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลเท่ากับ 7.57E-03 kg oil eq/kW ซึ่งผลกระทบส่วนใหญ่เกิดขึ้นในกระบวนการใช้น้ำมันน้อยที่สุด คิดเป็น 63.76% รองลงมา คือ กระบวนการสร้าง คิดเป็น 28.26% และกระบวนการกำจัดซาก คิดเป็น 7.97% ตามลำดับ และจากผลการศึกษา พบว่า ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบนี้ มีเพียงการสร้างและทดสอบระบบเท่านั้น ดังนั้นระบบนี้จึงไม่ได้ทำการเปรียบเทียบกับระบบอื่น

6. ระบบผลิตพลังงานร่วมเกิดผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่ากับ 7.19E-03 kg CO<sub>2</sub> eq/MJ การลดลงของชั้นโอโซนเท่ากับ 3.46E-10 kg CFC-11 eq/MJ การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์เท่ากับ 7.09E-03 kg 1,4-DB eq/MJ การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันเท่ากับ 8.14E-06 kg PM10 eq/MJ การเกิดภาวะฝนกรดเท่ากับ 4.47E-05 kg SO<sub>2</sub> eq/MJ การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืดเท่ากับ 3.63E-05 kg P eq/MJ การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดินเท่ากับ 6.34E-06 kg 1,4-DB eq/MJ การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำเท่ากับ 1.20E-04 kg 1,4-DB eq/MJ การลดลงของเหล็กเท่ากับ 2.96E-03 kg Fe eq/MJ และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลเท่ากับ 1.37E-03 kg oil eq/MJ ซึ่งผลกระทบส่วนใหญ่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างมากที่สุด คิดเป็น 87.64% รองลงมา คือ กระบวนการกำจัดซาก คิดเป็น 6.69% และกระบวนการใช้น้ำมันน้อยที่สุด คิดเป็น 5.68% ตามลำดับ

### ข้อเสนอแนะ

1. การลดผลกระทบที่เกิดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าควรมุ่งเน้นไปที่การลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
2. การลดผลกระทบที่เกิดจากการผลิตความร้อนของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ควรลดวัสดุที่ใช้ในการทำผนังห้อง ซึ่งถ้าเปลี่ยนฉนวนกันความร้อนจากวัสดุประเภทโพลีสไตรีนโฟมเป็นโพลีเอธิลีน จะสามารถลดผลกระทบลงได้เฉลี่ย 10 เท่า เนื่องจากว่าฉนวนประเภทโพลีเอธิลีนมีส่วนประกอบจากเส้นใยธรรมชาติสูงกว่าฉนวนโพลีสไตรีนโฟม
3. การลดขนาดของพัดลมที่ใช้ในห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ให้ขนาดลดลงเหลือ 1 HP แต่มีปริมาณของลมเท่าเดิม จะสามารถลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ระบบได้ 50%



## บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2558. **แผนพัฒนาพลังงานและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015\\_Final\\_version.pdf](http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf) (20 พฤศจิกายน 2560).
- เชิดชัย อุทธาภิจ. 2538. **การอบแห้งต้นหอมแบ่งโดยใช้พลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นัฐพร ไชยญาติ. 2560. **การออกแบบระบบพลังงานทดแทน (Renewable Energy System Design)**. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- นัฐพร ไชยญาติ. 2561. **เทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพ (Geothermal Energy Technology)**. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- นัฐพร ไชยญาติ และ ชัชวาลย์ ชัยชนะ. 2552. **ห้องอบแห้งพลังงานความร้อนใต้พิภพ**. น. 211-217 ใน **การประชุมวิชาการการถ่ายทอดพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการครั้งที่ 8**. เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เนตรชนากานต์ สุนันตา และ เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. 2560. **การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า จากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์**. **วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม**. 1(1): 1-14.
- พลังงานความร้อนใต้พิภพ. 2557. ใน **สารานุกรมพลังงานทดแทน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://ienergyguru.com/2015> (10 ธันวาคม 2560).
- สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2547. **การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.thaicidatabase.net/index.php/history-life-cycle-assessment-lca> (25 พฤศจิกายน 2560).
- สำนักงานพัฒนาการท่องเที่ยว. 2549. **การใช้ประโยชน์น้ำพุร้อน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://61.19.236.142/hotspring/knowning3.html> (20 ธันวาคม 2560).
- สุวัฒนา แต่งไทย. 2554. **การประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบบอินเวอร์เตอร์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สุรศักดิ์ เทียบรัตน์. 2540. **การอบแห้งพริกและกระเทียมโดยใช้พลังงานความร้อนทิ้งจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. (2555). **การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment of Products)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.researchgate.net/profile>

/Sate\_Sampattagul/publication/303793131\_Life\_Cycle\_Assessment\_of\_Products\_karprameinwadcakrchiwitkhxngphlitphanth/links/5752ba5808ae17e65ec3924d/LifeCycleAssessmentofProductskarprameinwadcakrchiwitkhxngphlitphanth.pdf (25 พฤศจิกายน 2560).

ห้องวิจัยการออกแบบและเทคโนโลยีด้านอุณหภาพ (Thermal Design and Technology Laboratory). 2561. **ระบบตรวจวัดและแสดงผลการทำงานอัจฉริยะ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.tdetlab.com> (30 สิงหาคม 2561).

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, องค์การมหาชน, (Thai Carbon Footprint). 2559. **Emission factor**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts\\_822ebb1ed5.pdf](http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_822ebb1ed5.pdf) (20 กุมภาพันธ์ 2560).

Beccali, M., Cellura, M., Longo, L., Nocke, B., Finocchiaro, P. 2012. LCA of a solar heating and cooling system equipped with a small water-ammonia absorption chiller. **Solar Energy**. 86: 1491-1503.

Bravi, M., and Basosi, R. 2014. Environmental impact of electricity from selected geothermal power plants in Italy. **Journal of Cleaner Production**. 66: 301-308.

Chaiyat, N., Chaichana, C., Singharajwarapan, F. S. 2014. Geothermal Energy Potentials and Technologies in Thailand. **Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications**. 4: 1-9.

Ding, Y., Liu, C., Zhang, C., Xu, X., Li, Q., Mao, L. 2018. Exergoenvironmental model of Organic Rankine Cycle system including the manufacture and leakage of working fluid. **Energy**. 145: 52-64.

Florian, H., Christopher, S., Dieter, B. 2016. Life cycle assessment of Organic Rankine Cycles for geothermal power generation considering low-GWP working fluids, **Geothermics**. 64: 392-400.

Frick, S., Kaltschmitt, M., Schröder, G. 2010. Life cycle assessment of geothermal binary power plants using enhanced low-temperature reservoirs. **Energy**. 35: 2281-2294.

Gamboa, M., Iribarren, D., Dufourab, J. 2017. On the environmental suitability of high- and low-enthalpy geothermal systems. **Geothermics**. 53: 27-37.

Gerber, L. and Maréchal, F. 2012. Environomic optimal configurations of geothermal energy conversion systems: application to the future construction of Enhanced Geothermal Systems in Switzerland. **Energy**. 45: 908-923.

- Goedkoop, M.J., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., Van Zelm, R. 2016. **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.**
- Hirschberg, S., Wiemer, S., & 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. [Online]. Available <http://www.vdf.ethz.ch> (27 January 2018).
- 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.
- 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.
- Marchand, M., Blanc, I., Marquand, A., Beylot, A., Courtade, S., Hervé, T. H. 2015. Life Cycle Assessment of High Temperature Geothermal Energy Systems. In **Proceedings World Geothermal Congress 2015**. 1-11.
- Marco, L., Lannone, R., Miranda, S., Riemma, S. 2015. Life cycle assessment of apple powders produced by a drum drying process. **CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS**. 43: 193-198.
- Martinez-Corona, J. I., Gibon, T., Hertwich, E., Parra-Saldivar, R. 2017. Hybrid life cycle assessment of a geothermal plant: From physical to monetary inventory accounting. **Journal of Cleaner Production**. 142: 2509-2523.
- Wang, S., Chao Liu, C., Zhang, C., Xu, X. 2018. Thermodynamic evaluation of leak phenomenon in liquid receiver of ORC systems. **Applied Thermal Engineering**. 141: 1110-1119.
- Zhang, H., Guan X., Ding, Y., Liu, C. 2018. Emergy analysis of Organic Rankine Cycle (ORC) for waste heat power generation. **Journal of Cleaner Production**. 183: 1207-1215.





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก  
การเผยแพร่บทความวิชาการ

## บทความทางวิชาการที่ 1

- ชื่อผู้แต่ง: ปาณิสดา อ่อนดอกไม้, นัฐพร ไชยญาติ, จุฑาภรณ์ ชนะถาวร, วรชมล เลิศจตุรานนท์ และ สุรัตน์ เศษโพธิ์
- ชื่อบทความ: การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อนตามพระราชดำริ  
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
- ชื่อการประชุมวิชาการ: การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3 (The 3<sup>rd</sup> National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Science and Technology: 3<sup>rd</sup> IAMBEST 2018)
- หน้าที่ตีพิมพ์: 428-442
- วันที่จัดการประชุม: 24-25 พฤษภาคม 2561
- สถานที่จัดการประชุม: โรงแรม Loft Mania Boutique Hotel อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร



การประชุมวิชาการระดับชาติ ประจำปี ๒๕๖๑ (ครั้งที่ ๓)  
ด้านสารสนเทศ การจัดการ บริหารธุรกิจ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี  
Multi National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business administration,  
Engineering, Sciences and Technology (IAMBEST)

เกียรติบัตรฉบับนี้ ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

**ปานิศา อ่อนดอกไม้ นัฐพร ไชยญาติ จุฑาภรณ์ ชนะถาวร วรรมล เลิศจตุรานนท์  
และสุรัตน์ เศษโพธิ์**

ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความวิจัย ภาคบรรยาย  
เรื่อง “การประเมินวิถีชีวิตของโรงไฟฟ้าผู้ให้บริการแรงดันอินทรีย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ  
ของกิจการนำพอร้อนสันกำแพง อำเภอแม่ออน ตามพระราชดำริ”

วันที่ ๒๔ - ๒๕ พฤษภาคม ๒๕๖๑  
ณ ลพท์ มาเน็ย บูทีค โฮเทล อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร

(ศาสตราจารย์ ดร.สุชีวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

อธิการบดี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

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



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

ปานิศา อ่อนตอกไม้<sup>1</sup> นัฐพร ไชยญาติ<sup>1\*</sup> จุฑาภรณ์ ชนะถาวร<sup>1</sup> วรรณมล เลิศจตุรานนท์<sup>1</sup> และ สุรัตน์ เศษโพธิ์<sup>2</sup>  
Panisa Ondokmai<sup>1</sup>, Nattaporn Chaiyat<sup>1\*</sup>, Jutaporn Chanathaworn<sup>1</sup>, Wassamol Lerdjaturanon<sup>1</sup>  
and Surat Sedpho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

<sup>2</sup>วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา

<sup>1</sup>School of Renewable Energy, Maejo University

<sup>2</sup>School of Energy and Environment, University of Phayao

\* Corresponding author: benz178titi@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ โดยใช้แหล่งความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่ออน ตามพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีขนาดการผลิตไฟฟ้า 15 kW<sub>e</sub> สารทำงานที่ใช้ คือ 1,1,1,3,3-Pentafluoropropane (R-245fa) อุณหภูมิของน้ำพุร้อนที่ 105°C และอัตราการไหลเชิงมวล 2.2 L/s เพื่อศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าเป็นเวลา 20 y ทำการพิจารณาที่ผลกระทบชั้นกลางทั้งหมด 10 ประเภท และหน่วยการทำงานคือ 1 kWh จากการศึกษพบว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 1.35E-02 kg CO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> eq/kWh การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืด 6.41E-06 kg PO<sub>4</sub>eq/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 เมื่อพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งาน ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการใช้วัสดุประเภทเหล็กกล้าในจำนวน 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<sub>e</sub>, 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



## บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

### การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

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



พิภพแบบระบบไอน้ำแห้ง (Dry steam power plant) ในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 2.48E-01 kg CO<sub>2</sub> eq/kWh การทำให้เกิดภาวะฝนกรด 5.62E-09 kg SO<sub>2</sub> eq/kWh การทำให้เกิดแร่ธาตุในน้ำมากเกินไป 8.51E-03 kg NO<sub>x</sub> eq/kWh การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ 1.12E-02 kg 1,4-DCB eq/kWh การเกิดภาวะก่อตัวของสารโพลีเคมีคอลออกซิแดนซ์ 1.65E-05 kg ethylene eq/kWh และการลดลงของชั้นโอโซน 5.62E-09 kg CFC-11 eq/kWh เป็นต้น Martinez-Corona et al. (2017) ได้ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 1.35E-03 kg CO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> Eq

จากงานวิจัยที่กล่าวมาในข้างต้นยังไม่มียังงานวิจัยใดที่ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงจลนสารอินทรีย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพงฯ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่ต้องการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ และทำการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมกับการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมภายใต้มาตรฐาน ISO 14040

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### วัฏจักรแรงจลนสารอินทรีย์ (Organic Rankine cycle, ORC)

วัฏจักรแรงจลนสารอินทรีย์เป็นระบบที่ใช้สารทำงานในกลุ่มสารอินทรีย์ (Organic) โดยมีหลักการทำงานสำหรับการผลิตไฟฟ้าดังแสดงใน Figure 1 เริ่มต้นจากการนำน้ำพุร้อนมาถ่ายเทความร้อนให้แก่ น้ำสะอาด ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นถอดได้ (Plate heat exchanger) เพื่อนำน้ำร้อนไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำงานในวัฏจักรแรงจลนสารอินทรีย์ เมื่อของไหลที่ผ่านกระบวนการควบแน่นในเครื่องควบแน่น (Condenser) เป็นของเหลวอิ่มตัว สารทำงานจะถูกอัดตัวโดยปั๊ม (Refrigerant pump) เข้าสู่หม้อต้ม (Boiler) ซึ่งจะทำให้สารทำงานเป็นไออิ่มตัวและเป็นไอร้อนยวดยิ่ง จากนั้นจะเข้าสู่เครื่องขยายตัว (Expander) และผลิตงานโดยการขับเพลลาที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Alternator) ทำให้ความดันและอุณหภูมิของไหลลดลงบริเวณทางออกของกังหัน ซึ่งอยู่ในสถานะของผสม จากนั้นจะไหลไปควบแน่นยังเครื่องควบแน่นเพื่อกลายเป็นของเหลวอิ่มตัวอีกครั้ง (นัฐพร, 2560)

บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

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

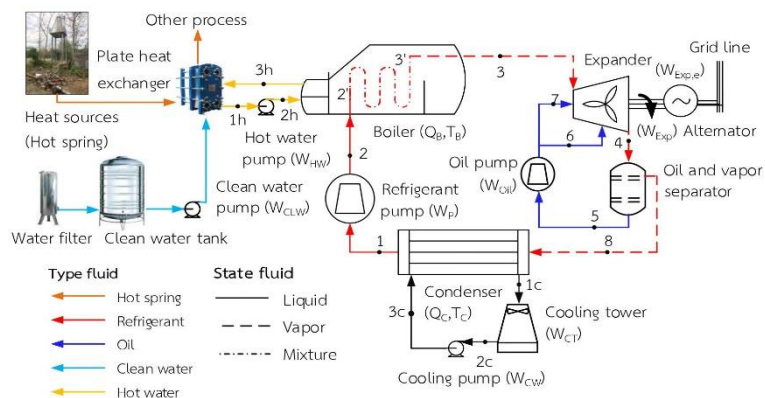


Figure 1 Schematic diagram of ORC system for electricity generation by using hot spring.

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment, LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ภายใต้มาตรฐาน ISO 14040

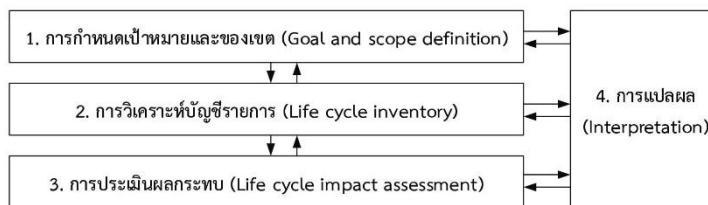


Figure 2 Life cycle assessment framework.

โดยพิจารณาตั้งแต่เริ่มต้นของกระบวนการ อาทิเช่น การได้มาซึ่งวัตถุดิบกระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งานผลิตภัณฑ์ และการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยระบุถึงปริมาณวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ ตลอดจนของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และระบบนิเวศต่าง ๆ ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก (เศรษฐี, 2555) ดังแสดงใน Figure 2

วิธีการศึกษา

โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ ตั้งอยู่ที่กิจการน้ำพุร้อนสันกำแพงฯ ขนาดการผลิตไฟฟ้า 15 kW<sub>e</sub> ใช้สารทำงาน 1,1,1,3,3-Pentafluoropropane (R-245fa) อุณหภูมิของน้ำพุร้อนที่ 105°C อัตรา

## บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

### การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

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



การไหลเชิงมวล 2.2 L/s และอายุการใช้งานของโรงไฟฟ้า 20 y ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้หลักการของ LCA ซึ่งวิธีการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

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

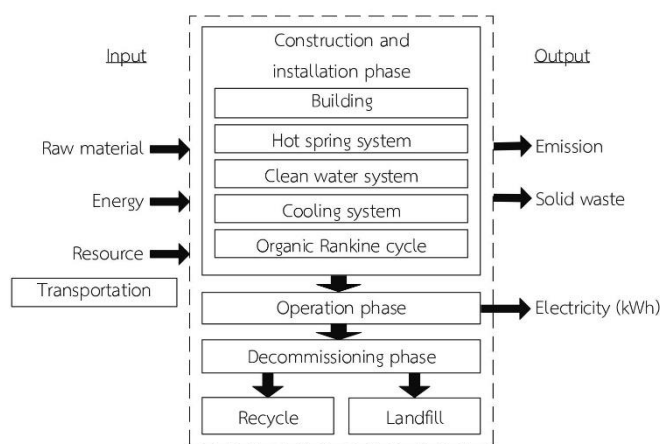


Figure 3 Life cycle assessment boundary.

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

## บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

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

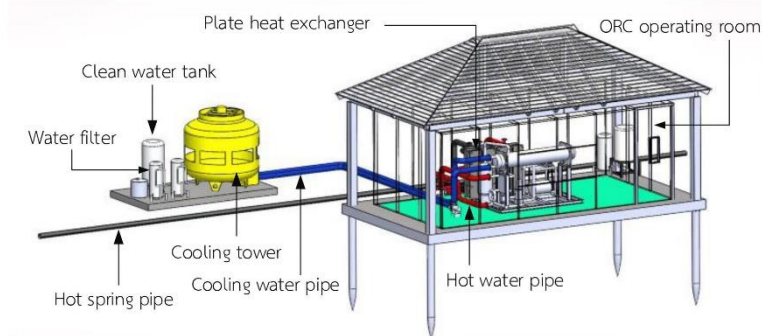


Figure 4 ORC power plant from geothermal energy of Sankamphaeng hot spring.

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 CO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> eq
- การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืด (Freshwater eutrophication, FE) ; kg PO<sub>4</sub>eq
- 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  $i$ )

## บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

### การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

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




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
<b>Construction and installation phase</b>			
<b>Input</b>			
	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 <sup>3</sup>
	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



## บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

### การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

The 3<sup>rd</sup> 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 <sup>3</sup>
	Pipe (PVC)	27.36	kg
ORC  	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
<u>Output</u>	Eucalyptus (Bark, softwood)	-162	kg
	Tile roof (Fiber cement roof state)	-110	kg
	Iron scrap	-20	kg
<u>Operation phase</u>			
	<u>Input</u>		
Raw material	Hot spring (Water hot spring)	11,088	m <sup>3</sup>
	Water (Water, fresh)	50	m <sup>3</sup>
	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 <sub>e</sub>
<u>Decommissioning phase</u>			
	Recycle		
	Steel	-1,416	kg
	Galvanized steel	-7,045	kg
	Stainless steel	-320	kg

## บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

### การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

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



Components	Raw material and energy	Quantity	Unit
	Brass	-31	kg
	Aluminum	-25	kg
	Copper	-142.56	kg
	Zine	-373	kg
Landfill	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

### ผลการศึกษาระเบียบวินัยจักรชีวิต

จากผลการวิเคราะห์ปัญหาการตลอดวัฏจักรชีวิต นำมาประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ โดยวิธี ReCiPe (H)-Midpoint V.1.13 ซึ่งได้ทำการประเมินผลกระทบชั้นกลางทั้งหมด 10 ประเภท ในขอบเขตแบบแกรเดิล-ทู-เกรพ ผลการศึกษาพบว่า ผลกระทบรวมที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างและติดตั้งแสดงใน Figure 5 เมื่อพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการใช้วัสดุประเภทเหล็ก กัลวาไนซ์ (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 เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์มีการใช้สารทำงาน R-245fa ซึ่งเป็นสารเคมีสังเคราะห์จึงเป็นผลทำให้ในกระบวนการใช้งานที่มีค่าผลกระทบในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่สูง และ Figure 7 แสดงผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ซึ่งกระบวนการนี้เป็นกระบวนการสุดท้ายของการผลิตไฟฟ้า จากการวิเคราะห์ปัญหาการเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานแล้วสามารถนำวัสดุบางส่วนกลับไปใช้งานได้ใหม่ โดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 49.27% จึงส่งผลให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการสุดท้ายมีค่าลดลง และส่วนที่เหลือประมาณ 50.73% นำไปฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล

## บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

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

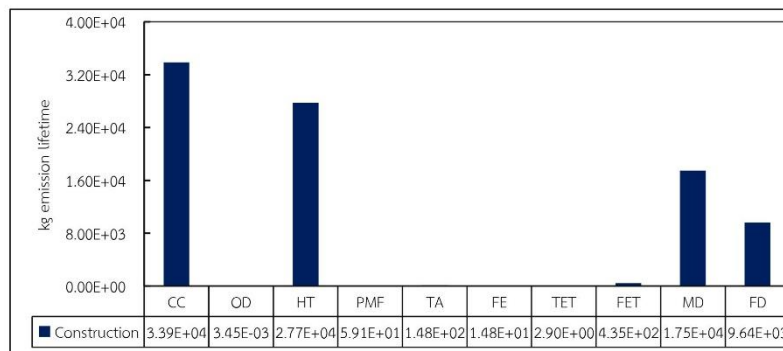


Figure 5 Environmental impact category of construction phase.

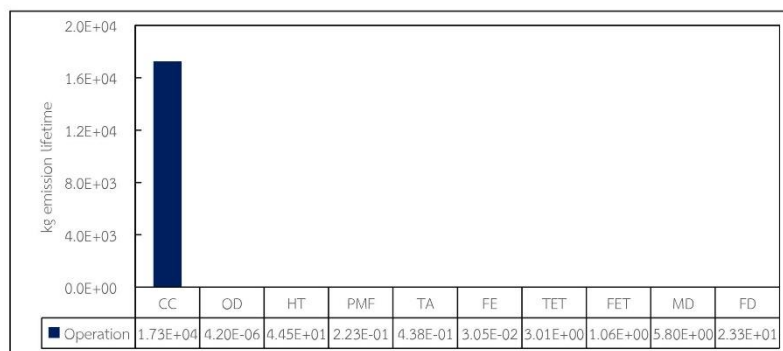


Figure 6 Environmental impact category of operation phase

## บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

### การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

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

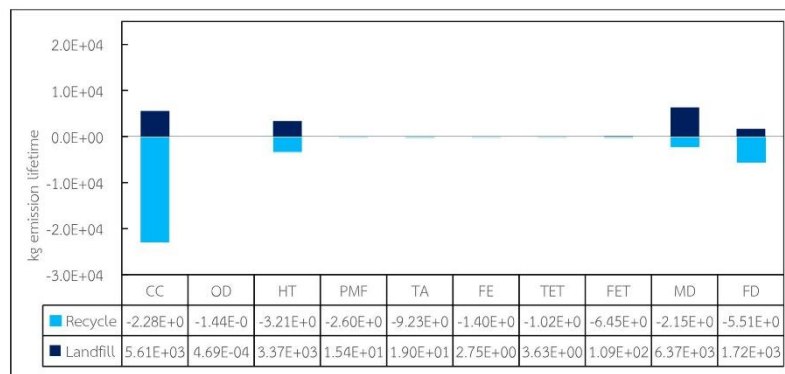


Figure 7 Environmental impact category of decommissioning phase

#### ผลการแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาด 15 kW<sub>e</sub> 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 CO<sub>2</sub> eq /kWh ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยที่มีค่า 6.093E-1 kg CO<sub>2</sub> 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	Unit
	Cons <sup>1</sup>	Oper <sup>1</sup>	Decom <sup>3</sup>			
Climate change (CC)	59.70	30.41	9.89	3.39E+04	1.35E-02	kg CO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> eq
Freshwater eutrophication (FE)	84.19	0.17	15.64	1.61E+01	6.41E-06	kg PO <sub>4</sub> 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: <sup>1</sup>Construction and installation phase, <sup>2</sup>Operation phase, <sup>3</sup>Decommissioning phase

## บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

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

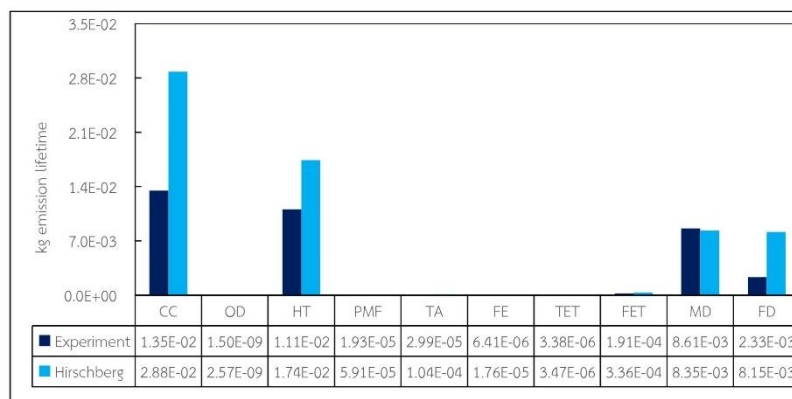


Figure 8 Comparison of life cycle assessments of geothermal power plant

จากผลการศึกษามลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ เมื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Hirschberg et al. (2015) ที่ได้ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศสวีเดน ซึ่งมิชอบเขตการศึกษาตั้งแต่ การใช้วัสดุ พลังงาน การขนส่ง ในกระบวนการขุดเจาะ การสร้าง การใช้งาน และการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน มีหน่วยการทำงานคือ 1 kWh ทำการประเมินด้วยวิธี ReCiPe Midpoints (H) ซึ่งผลการเปรียบเทียบดังแสดงใน Figure 8 และเมื่อทำการพิจารณาพบว่า ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่าทุกด้าน ยกเว้นการลดลงของเหล็ก เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้วัสดุประเภทเหล็กในท่อกว้างของโครงสร้างเพื่อความมั่นคงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการประเมินในกระบวนการขุดเจาะด้วย

### สรุป

จากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพงฯ ขนาด 15 kW<sub>e</sub> ที่ใช้สารทำงาน R-245fa เป็นเวลา 20 ปี พบว่า การผลิตไฟฟ้า 1 kWh มีการปล่อยผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 1.35E-02 kg CO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> eq การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืด 6.41E-06 kg PO<sub>4</sub> 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 ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยพบว่ามีความน้อยกว่า



## บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

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



### คำขอบคุณ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา” และโครงการ การผลิตไฟฟ้า ร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบชั้นบันได จากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำนักงานนโยบายและพลังงานปี 2560 กระทรวงพลังงาน ที่มอบทุนการสนับสนุนสำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2557. พลังงานความร้อนใต้พิภพ. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, สารานุกรมพลังงานทดแทน. กรุงเทพมหานคร. [https://ienergyguru.com/2015/10 ธันวาคม 2560](https://ienergyguru.com/2015/10/ ธันวาคม 2560)
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. แผนพัฒนาพลังงานและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579. [http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015\\_Final\\_version.pdf](http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf) (1 ธันวาคม 2560)
- รัฐพร ไชยญาติ. 2560. การออกแบบระบบพลังงานทดแทน (Renewable Energy System Design), วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, สำนักพิมพ์: มหาวิทยาลัยแม่โจ้, พิมพ์ครั้งที่ 3, มิถุนายน พ.ศ. 2560.
- เนตรชนากานต์ สุนันดา และเศรษฐ์ สัมภัตตะกุล 2560. การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์. วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม, ปีที่ 1 กรกฎาคม-ธันวาคม 2560 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. 1: 1-14.
- เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. 2555. การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment of Products). [https://www.researchgate.net/profile/Sate\\_Sampattagul/publication/303793131\\_Life\\_Cycle\\_Assessment\\_of\\_Products\\_karprameinwadcacrchiwithkxngphlitphanth/links/5752ba5808ae17e65ec3924d/Life-Cycle-Assessment-of-Products-karprameinwadcacrchiwithkxngphlitphanth.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Sate_Sampattagul/publication/303793131_Life_Cycle_Assessment_of_Products_karprameinwadcacrchiwithkxngphlitphanth/links/5752ba5808ae17e65ec3924d/Life-Cycle-Assessment-of-Products-karprameinwadcacrchiwithkxngphlitphanth.pdf) (20 มกราคม 2560)
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, องค์การมหาชน, (Thai Carbon Footprint). 2559. Emission factor. [http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts\\_822ebb1ed5.pdf](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.

## บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

### การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

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



- 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](http://www.vdf.ethz.ch)
- Martínez-Corona, J.I., Gibon, T., Hertwich, E., and Parra-Saldivar, 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

## บทความทางวิชาการที่ 1 (ต่อ)

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3  
The 3<sup>rd</sup> National Conference on Informatics, Agriculture, Management,  
Business Administration, Engineering, Science and Technology



Exp      Expander  
HW      Hot water  
P      Pump

## บทความทางวิชาการที่ 2

- ชื่อผู้แต่ง: ปาณิศา อ่อนดอกไม้ และ นัฐพร ไชยญาติ
- ชื่อบทความ: การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ  
Life Cycle Assessment of Combined Cooling Heating and Power Generation from Geothermal Energy
- ชื่อการประชุมวิชาการ: การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปี ๒๕๖๑
- หน้าที่ตีพิมพ์: 234-243
- วันที่จัดการประชุม: 11-13 ธันวาคม 2561
- สถานที่จัดการประชุม: อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา มหาวิทยาลัยแม่โจ้





## มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY

### เกียรติบัตรประกาศเกียรติคุณนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

นางสาวปานิศ อ่อนตอกไม้

ได้นำเสนอผลงานทางวิชาการ **ภาคบรรยาย**  
เรื่อง

การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน  
จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ

ในการประชุมวิชาการระดับชาติ ประจำปี 2561

วันที่ 11-13 ธันวาคม พ.ศ. 2561

ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

(รองศาสตราจารย์ ดร.มยุภา ขำมลี)  
ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร  
ประธานคณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการระดับชาติ ประจำปี 2561

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จำเริญ ยศราช)  
อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้



## บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)

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

ปานิศา อ่อนดอกไม้ และนัฐพร ไชยญาติ\*

Panisa Ondokmai and Nattaporn Chaiyat\*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

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

\*Corresponding author: benz178ti@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบชั้นบันได โดยใช้แหล่งความร้อน คือ พลังงานความร้อนใต้พิภพ ที่อัตราการไหลประมาณ 3 L/s อุณหภูมิน้ำพุร้อนประมาณ 105°C. โดยระบบผลิตพลังงานร่วมประกอบไปด้วยระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาด 10 kW<sub>e</sub> ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาด 10 kW และระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ขนาด 20 kW ซึ่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมทั้งหมด 10 ด้าน จะถูกพิจารณาที่หน่วยการทำงาน คือ 1 MJ และอายุการใช้งานตลอดวัฏจักรชีวิตเป็นเวลา 20 ปี จากการศึกษาพบว่า ระบบผลิตพลังงานร่วมเกิดผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่ากับ 9.60E-03 kg CO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> eq/MJ การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด -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 ซึ่งผลกระทบส่วนใหญ่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างมากที่สุด คิดเป็น 64.11% รองลงมา คือ กระบวนการกำจัดซาก คิดเป็น 31.74% และกระบวนการใช้น้ำมันน้อยที่สุด 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

## บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)

10 kW<sub>e</sub>, 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 CO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> 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

พลังงานมีความสัมพันธ์กับการดำรงชีวิตของมนุษย์จำนวนมากนับไม่ถ้วน ซึ่งการผลิตพลังงานส่วนใหญ่ยังคงใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และมีความต้องการทางด้านพลังงานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลเชื่อมโยงทางด้านเศรษฐกิจและปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอน เป็นผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมตามมาด้วย นอกจากการประเมินประสิทธิภาพด้านการผลิตพลังงานเพื่อประเมินถึงความยั่งยืนของพลังงานแล้ว บริบททางด้านสิ่งแวดล้อมเป็นตัวชี้วัดสำคัญสำหรับความยั่งยืนของระบบผลิตพลังงานด้วยเช่นกัน ถึงแม้ว่าจะเป็นการผลิตพลังงานจากพลังงานทดแทนหรือพลังงานทางเลือกที่ผลิตได้จากธรรมชาติก็ตาม โดยผลกระทบอาจเกิดขึ้นได้ทั้งทางตรงและทางอ้อมจากการใช้วัสดุหรือพลังงานที่ต้องป้อนให้กับระบบตลอดวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตพลังงาน

ปัจจุบันสถานการณ์การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการผลิตพลังงานจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ (Chamorro *et al.*, 2012) และสำหรับประเทศไทยมีเพียงแห่งเดียวที่นำมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า คือ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ เป็นโรงไฟฟ้าแบบระบบสองวงจร (Binary power plant) ขนาด 300 kW<sub>e</sub> ภายใต้การกำกับดูแลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) และปัจจุบันแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่เมาะตามพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่ มีอุณหภูมิน้ำพุร้อนผิวดินประมาณ 105<sup>o</sup>ซ. ถือว่ามีศักยภาพความร้อนใต้พิภพค่อนข้างสูง แต่มีการใช้ประโยชน์เพียงการท่องเที่ยวเพียงอย่างเดียว มีการพัฒนาใช้ในการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน (Combined Cooling Heating and Power, CCHP) ที่ต่อกับแบบซินันโด (นัฐพร, 2560) (Bayer *et al.*, 2013) และงานวิจัยเกี่ยวกับการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพโดยตรง ยังไม่มีการศึกษาทางด้านนี้ทั้งในและต่างประเทศ มีเพียงการประเมินผลกระทบทางด้านการผลิตไฟฟ้าหรือการผลิตความร้อนเท่านั้น เช่น งานวิจัยของ Sullivan *et al.*, (2010) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบระบบสองวงจร และแบบไอเปือก (Flash steam power plant) Pehnt (2005); Burcin and Adisa (2016) ได้นำเสนอผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม



## บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)

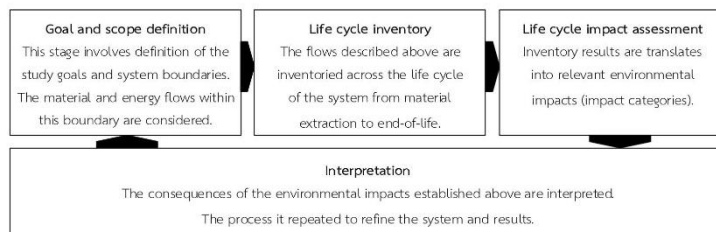


Figure 2 The four steps of a life cycle assessment (Whitehead *et al.*, 2015)

### อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันได โดยใช้แหล่งความร้อน คือ พลังงานความร้อนใต้พิภพ ที่อัตราการไหลประมาณ 3 L/s อุณหภูมิน้ำพุร้อนประมาณ 105°C. ประกอบด้วยระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาด 10 kW<sub>e</sub>. การทำความเย็นของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาด 10 kW และการทำความร้อนของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ขนาด 20 kW มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

#### การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

เป้าหมายของการศึกษา คือ เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันได

ขอบเขตการศึกษา คือ แบบกรเดิล-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) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นต่อไป

#### การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตด้วยวิธี ReCiPe (H)-Midpoint V.1.13 โปรแกรม SimaPro เวอร์ชัน 8.5.2 (Goedkoop *et al.*, 2016) โดยพิจารณาผลกระทบชั้นกลาง (Midpoint level) ที่เกิดขึ้นทั้งหมด 10 ประเภท อันประกอบไปด้วย การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change, CC); kg CO<sub>2</sub> eq การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone depletion, OD); kg CFC-11 eq การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (Human

## บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)

toxicity, HT); kg 1,4 DB eq การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน (Particulate matter formation, PMF); kg PM10 eq การเกิดภาวะฝนกรดและความเป็นกรดในดิน (Terrestrial acidification, TA); kg SO<sub>2</sub> 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

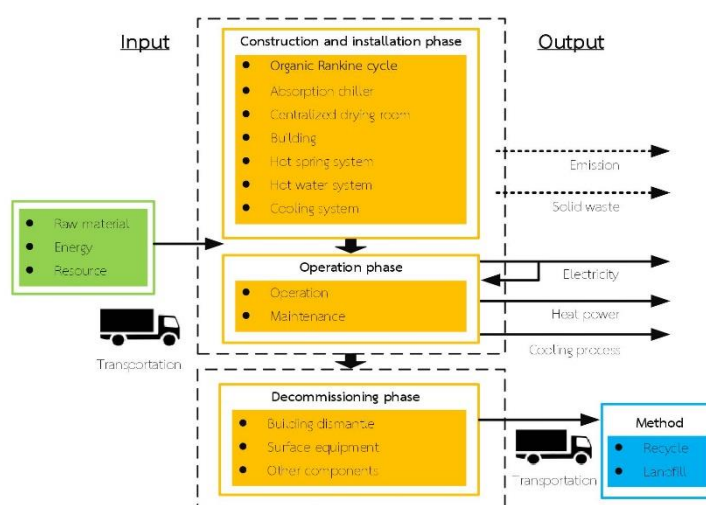


Figure 3 System boundary of life cycle assessment.

### การแปลผล

การนำผลการวิเคราะห์มาแปลผล โดยพิจารณาผลจากการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตหรือจากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม ให้ความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่กำหนด

### ผลการวิจัยและวิจารณ์

จากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบขั้นบันได มีผลการศึกษา ดังแสดงต่อไปนี้



## บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)

### ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการ

จากการเก็บรวบรวมปริมาณสารขาเข้า-สารขาออกในช่วงการก่อสร้างและติดตั้ง รวมถึงการประเมินในช่วงการใช้งาน และการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ของโครงการ การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบขั้นบันได จากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย (นัฐพร และคณะ, 2560) ดังแสดงใน Figure 4 เพื่อวิเคราะห์บัญชีรายการข้อมูลของระบบต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบขั้นบันได 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 ประเภทเหล็กกล้าในซี ซึ่งมากกว่า 90% ของทั้งหมดใช้ในส่วนของท่อส่งจ่ายน้ำพุร้อน พลาสติกประมาณ 83% ของทั้งหมดเป็นพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน ใช้ทำผนังระบบบ่อถังแบบรวมศูนย์ 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 (ระยะเวลาการทำงาน 12 h/d และ 350 d/y)

## บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)

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

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

**Table 1** Life cycle inventory of combined cooling heating and power

Descriptions	Quantity	Unit	Descriptions	Quantity	Unit
<b>Construction and installation phase</b>			Lubricant	20	kg
<b>Input (Raw material and energy)</b>			All filter <sup>4</sup> (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 <sup>5</sup>	4,214	kg
All plastics (PP, PE, PVC, PS)	1,859	kg	Electricity	850,080	kWh
Aluminum	97	kg	<b>Output (Solid waste and energy)</b>		
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 <sup>2</sup>	118	kg	<b>Decommissioning phase</b>		
Lubricant	40	L	<b>Recycle</b>		
Fiber cement	5,330	kg	Steel	5,627	kg
Concrete mix <sup>3</sup>	38	Cubic	Galvanized steel	11,552	kg
Oxide primer	165	kg	Stainless steel	382	kg
All filter <sup>4</sup>	145	kg	Brass	26	kg
Wood	350	kg	Aluminum	42	kg
Electricity	52	kWh	Copper	37	kg
Diesel	402	L	Zinc	140	kg
<b>Output (Solid waste)</b>			Refrigerant	48.1	kg
Wood	350	kg	<b>Landfill</b>		
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
<b>Operation phase</b>			All plastics (PP, PE, PVC, PS)	1,111	kg
<b>Input (Raw material, energy and resource)</b>			Fiber cement	5,330	kg
Hot spring	11,088	m <sup>3</sup>	All filter <sup>4</sup>	145	kg
Water	50	m <sup>3</sup>			

**Remark:** <sup>1</sup> Refrigerant (57.66% R-245fa used in ORC and 42.33% H<sub>2</sub>O-LiBr used in Absorption chiller)

<sup>2</sup> Concrete mixtures per cubic (250 kg of cement, 0.87 m<sup>3</sup> of stone, 0.52 m<sup>3</sup> of sand and 143 L of water)

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

<sup>4</sup> Hot spring piping for maintenance

## บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)

### ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตพลังงานร่วม

จากผลการวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน ดังแสดงใน (Table 2) พบว่า ผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่ากับ  $9.60E-03$  kg CO<sub>2</sub> 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 และน้ำมัน เชื้อเพลิงในการขนส่งวัสดุและระบบต่างๆ ด้านภาวะความเป็นกรด  $2.45E-05$  kg SO<sub>2</sub> 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 ปาณิศา และคณะ (2561) มีค่าเท่ากับ  $0.0132$  kg CO<sub>2</sub> eq/kWh มีการปล่อยผลกระทบน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการผลิต

## บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)

ไฟฟ้าจากถ่านหินเปียร์ของโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน (ประพิธาร์ และคณะ, 2559) พบว่า มีค่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 0.3214 kg CO<sub>2</sub> eq/kWh และโรงไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ แบบ Monocrystalline มีค่า 0.0723 kg CO<sub>2</sub> eq/kWh

### สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันได ตลอดวัฏจักรชีวิตเป็นเวลา 20y พบว่า เกิดผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่ากับ 9.60E-03 kg CO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> 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 “โครงการผลิตและพัฒนาศึกษากายบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา” และโครงการ การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบชั้นบันได 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.
- ประพิธาร์ ธนารักษ์ พิสิษฐ์ มณีโชติ และวิภากรต์ วันสูงเนิน. 2559. การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากถ่านหินเปียร์ของโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 18(2): 22-31.
- ปาณิศา อ่อนดอกไม้ นัฐพร ไชยญาติ จุฑาภรณ์ ชนะถาวร วรชมล เลิศจตุรานนท์ และสุรัตน์ เศษโพธิ์. 2561. การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน ตามพระราชดำริ. น. 428-442. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3 24-25 พฤษภาคม 2561. ชุมพร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร.

## บทความทางวิชาการที่ 2 (ต่อ)

- 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. Martin 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. Pálsson 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.

### เอกสารประกอบการเรียนเรียง

- 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.



### บทความทางวิชาการที่ 3

- ชื่อผู้แต่ง: ปาณิสดา อ่อนดอกไม้ และ นัฐพร ไชยญาติ
- ชื่อบทความ: การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน  
Life Cycle Assessment of Power Generation from Renewable Energy
- ชื่อการประชุมวิชาการ: การประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 5
- หน้าที่ตีพิมพ์: 1200-1209
- วันที่จัดการประชุม: 6-8 ธันวาคม 2561
- สถานที่จัดการประชุม: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก



# การประชุมวิชาการวิจัย และนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 5

## “สู่วิจัยรับใช้สังคม ด้วยนวัตกรรมสร้างสรรค์”

ขออมเกียรติบัตรนี้ไว้เพื่อแสดงว่า

พาศิศา อ่อนดอกไม้ และบัญชาพร ไชยญาติ

ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความในการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 5

เรื่อง การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

ระหว่าง วันที่ 6 - 8 ธันวาคม 2561  
ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตาก

รองศาสตราจารย์ ศิลศิริ สง่าจิตร  
ผู้ปฏิบัติหน้าที่อธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

### บทความทางวิชาการที่ 3 (ต่อ)



## การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน Life Cycle Assessment of Power Generation from Renewable Energy

ปานิศา 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 M.4 Nong Han Sub-district, San Sai District, Chiang Mai Province 50290  
\*E-mail address: benz178tii@hotmail.com, +66(0) 882523088

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานน้ำ และเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้น ที่การผลิตไฟฟ้า 1 kWh โดยการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมทั้งหมด 10 ด้าน จากผลการศึกษา พบว่า การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานน้ำ มีการปล่อยผลกระทบสูงทางด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 8.10E-02, 3.77E+02 และ 1.65E+06 kg CO<sub>2</sub> eq ตามลำดับ การเกิดภาวะเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ 1.29E-02, 6.97E+02 และ 5.89E+05 kg 1,4 DB eq ตามลำดับ การลดลงของเหล็ก 9.25E-03, 3.58E+02 และ 1.28E+05 kg Fe eq ตามลำดับ และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล 1.27E-02, 1.20E+02 และ 3.37E+05 kg oil eq ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้า พบว่า การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำเกิดผลกระทบมากที่สุด รองลงมา คือ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานความร้อนใต้พิภพ จากผลการพิจารณาพบว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการใช้วัสดุที่มีส่วนประกอบของเหล็กและเชื้อเพลิงฟอสซิลสูง จึงเป็นผลทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการลดลงของสุขภาพมนุษย์สูงตามไปด้วย

**คำสำคัญ:** การประเมินวัฏจักรชีวิต การผลิตไฟฟ้า พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ

#### Abstract

This research studies life cycle assessment (LCA) of power generation from geothermal energy, solar energy and hydropower and compares at generate 1 kWh, which the environmental impact was considered as 10 categories. From the study results, it could be found that the power generation from geothermal energy, solar energy and hydropower were revealed the impacts in terms of climate change 8.10E-02, 3.77E+02 and 1.65E+06 kg CO<sub>2</sub> eq, respectively. Human health toxicology were 29E-02, 6.97E+02 and 5.89E+05 kg 1,4 DB eq, respectively. Metal depletion illustrated 9.25E-03, 3.58E+02 and 1.28E+05 kg Fe eq, respectively. In addition the fossil depletion were 1.27E-02, 1.20E+02 and 3.37E+05 kg oil eq, respectively. When comparing the effects of the power generation presented the most LCA impact of the hydropower generation, the minor were solar



## บทความทางวิชาการที่ 3 (ต่อ)

ศูนย์วิจัยสิ่งแวดล้อม  
ศูนย์วิศวกรรมศาสตร์

energy and geothermal energy. The results showed that the impacts driven by the use of materials from the high amount of iron and fossil fuel and effected on the climate change and human health indicators.

**Keywords:** Life cycle assessment, Power generation, Geothermal energy, Solar energy, Hydropower

### 1. บทนำ

เป้าหมายการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย จากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิงตามแผน AEDP2015 มีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนในภาพรวมของทั้งประเทศ ที่ร้อยละ 20 ของปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Energy) รวมสุทธิ ซึ่งสอดคล้องตามกรอบการกำหนดสัดส่วนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 (PDP2015) ที่ระบุว่าให้มีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนอยู่ในช่วงร้อยละ 15-20 ภายในปี 2579 อันประกอบไปด้วย พลังงานความร้อนใต้พิภพ ชยะชุมชน ชยะอุตสาหกรรม พลังงานน้ำขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพจากน้ำของเสีย พลังงานลม ก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน และพลังงานแสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558) และในปัจจุบันการพัฒนาทางด้านพลังงานไม่ได้เป็นตัวแปรสำคัญเพียงอย่างเดียว ยังมีด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้ามามีบทบาทต่อการสร้างโรงไฟฟ้าหรือระบบผลิตพลังงานต่าง ๆ อีกด้วย

จากการศึกษาวิจัยของ Kim et al. (2012) ได้ทำการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง Khaenson et al. (2017) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ Khaenson et al. (2018) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวล Suwanit and Gheewala (2011) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก Uddin and Kumar (2014) ได้วิเคราะห์พลังงาน มลพิษ และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกังหันลม โดยการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต Ozoemena et al. (2017) ได้ทำการเปรียบเทียบการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานลม Glassbrook et al. (2014) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้า

พลังงานลมขนาดเล็กในประเทศไทย เสวภา และปราพิธาร์ (2013) ได้ทำการประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน สำหรับการผลิตไฟฟ้า และ Karlsdóttir et al. (2015) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไอซ์แลนด์

จากการศึกษาวิจัยดังกล่าวมาในช่วงต้น พบว่าโดยส่วนใหญ่ในการสร้างระบบผลิตพลังงาน ต้องมีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วย และวิธีที่นิยมใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม คือ หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่ต้องการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในประเทศไทย

### 2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานน้ำ

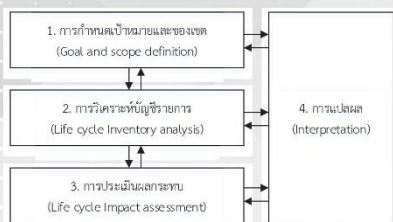
2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพกับพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานน้ำ

### 3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment)

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ภายใต้มาตรฐาน ISO 14040 ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก (เศรษฐ์, 2555) ดังแสดงในรูปที่ 1

### บทความทางวิชาการที่ 3 (ต่อ)



รูปที่ 1 กรอบการประเมินวัฏจักรชีวิต

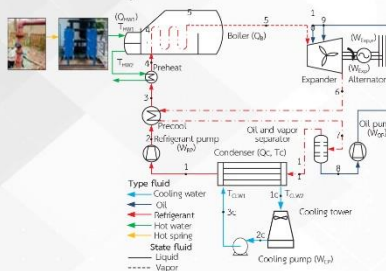
1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition) คือ การระบุเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงสาเหตุที่ต้องการศึกษา
2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life cycle inventory analysis) คือ ขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูล โดยการรวบรวมปริมาณสารเข้าและขาออกที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ
3. การประเมินผลกระทบ (Life cycle Impact assessment) คือ การนำผลจากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการมาทำการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม
4. การแปลผล (Interpretation) คือ การแปลผลการศึกษา โดยการวิเคราะห์ผลลัพธ์ อภิปรายผล และสรุปผลที่เกิดขึ้น

#### 3.2 การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน

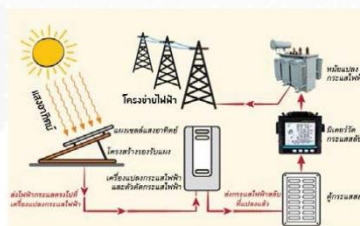
การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ โดยการนำน้ำพุร้อนมาถ่ายเทความร้อนให้แก่ น้ำสะอาดผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อนำน้ำร้อนไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำงานในวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ เพื่อผลิตไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ และหม้อแปลงไฟฟ้า โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำการเปลี่ยนแสงอาทิตย์ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง แล้วผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนกระแสตรงให้เป็นกระแสสลับ จากนั้น

กระแสสลับจะผ่านระบบป้องกันและมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า และผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อเพิ่มแรงดันให้เข้ากับระบบสายส่ง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559) ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ



รูปที่ 3 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559)

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบ Run-of-the-river จะทำงานตลอดเวลาตามปริมาณน้ำที่ไหลในแม่น้ำ เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบนี้ มักสร้างอยู่ในบริเวณพื้นที่ค่อนข้างราบ มีน้ำไหลผ่านตลอดเวลา และมีอาคารสำหรับกักน้ำให้สูงขึ้น ด้วยข้อจำกัดด้านภูมิประเทศ ทำให้ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำที่กักเก็บระดับที่ปล่อยทางด้านท้ายน้ำมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ดังนั้น ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะผันแปรตามปริมาณน้ำเป็นสำคัญ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559) ดังแสดงในรูปที่ 4



### บทความทางวิชาการที่ 3 (ต่อ)

ศูนย์วิจัยสิ่งแวดล้อม  
ศูนย์วิศวกรรมศาสตร์

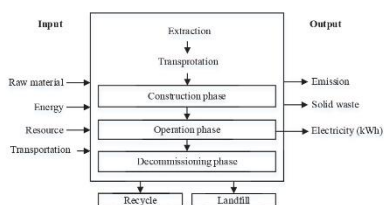


รูปที่ 4 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559)

#### 4. วิธีการวิจัย

4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา เป้าหมายของการศึกษา คือ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนได้ พืช พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานน้ำ

ขอบเขตของการศึกษา คือ แบบกรเดิล-ทู-กรฟ (Cradle-to-grave) ซึ่งพิจารณาตั้งแต่กระบวนการสร้างกระบวนการใช้งาน และกระบวนการกำจัดซาก โดยมีหน่วยการทำงาน คือ การผลิตไฟฟ้า 1 kWh มีรายละเอียดการศึกษาดังแสดงต่อไปนี้



รูปที่ 5 ขอบเขตการศึกษาของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

#### 4.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ

โดยการศึกษาในขั้นตอนนี้ ทำการรวบรวมข้อมูลจากผลการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อนำไปประเมินผลในขั้นต่อไป

#### 4.3 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในงานวิจัยนี้ ทำการประเมินผลโดยใช้โปรแกรม SimaPro เวอร์ชัน 8.5.2 วิธี ReCiPe Midpoint (H) V1.13 (Goedkoop et al. 2016) ซึ่งทำการพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมชั้นกลางทั้งหมด 10 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 1

#### ตารางที่ 1 ประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

##### ประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและความหมาย

1. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change; CC) หมายถึง การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน
2. การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone depletion; OD) หมายถึง ผลกระทบเนื่องจากการลดลงของชั้นโอโซนในชั้นบรรยากาศโลก
3. การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Toxicity; HT) หมายถึง ผลกระทบเนื่องจากการเกิดพิษในอากาศที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์
4. การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน (Particulate matter formation; PMF) หมายถึง การสะสมของควันและฝุ่นละอองในอากาศ
5. การเกิดภาวะฝนกรดและความเป็นกรดในดิน (Terrestrial acidification; TA) หมายถึง การเกิดฝนที่มีสถานะเป็นกรด
6. การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด (Freshwater eutrophication; FE) หมายถึง ผลกระทบต่อระบบนิเวศในน้ำเนื่องจากปริมาณฟอสเฟต
7. การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน (Terrestrial ecotoxicity; TET) หมายถึง การปล่อยมลพิษที่ถูกสะสมอยู่ในดิน
8. การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ (Freshwater ecotoxicity; FET) หมายถึง การปล่อยมลพิษที่ถูกสะสมอยู่ในแหล่งน้ำ
9. การลดลงของเหล็ก (Metal depletion; MD) หมายถึง ศักยภาพที่ทำให้เหล็กลดลง

### บทความทางวิชาการที่ 3 (ต่อ)



10. การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil depletion; FD)  
หมายถึง ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ลดลง

ในการคำนวณผลกระทบที่เกิดขึ้นเป็นการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการกำหนดบทบาทของผลกระทบนั้น ๆ (Characterization factor) ซึ่งเป็นค่าที่ได้มาจากโปรแกรมสำเร็จรูป โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$LCIA_i = \sum(Q_i \cdot CF_j)$$

เมื่อ LCIA<sub>i</sub> คือ ค่าการเกิดของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบ j (kg, กิโลกรัมเทียบเท่าของผลกระทบ j)

Q<sub>i</sub> คือ ปริมาณวัตถุดิบ i ที่ใช้ในกระบวนการ (kg ของวัตถุดิบ i)

CF<sub>j</sub> คือ ค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ตามการกำหนดบทบาทที่ได้จากโปรแกรม (kg, กิโลกรัมเทียบเท่าของผลกระทบ j ต่อกิโลกรัมของวัตถุดิบ i)

4.4 การแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน

4.5 เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

#### 5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานน้ำ มีผลการศึกษาดังแสดงต่อไปนี้

##### 5.1 ผลการศึกษาบัญชีรายการ

ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการข้อมูลจากผู้วิจัยได้ทำการศึกษาของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ ขนาด 10 kW<sub>e</sub> โดยใช้น้ำพุร้อนของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน ตามพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าวัตถุดิบที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุประเภทเหล็ก พลาสติก และซีเมนต์ เป็นต้น โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จากงานวิจัยของ Wambach (2017) และ Sedpho and

Sampattagul (2015) พบว่า ส่วนใหญ่เป็นวัสดุประเภทกระจกที่ใช้ทำแผงเซลล์อาทิตย์ เอสทีลิน ไวนิล อะซิเตท และอะลูมิเนียม เป็นต้น โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3 และผลการวิเคราะห์บัญชีรายการข้อมูลของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่ยะ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ ขนาด 1,150 kW<sub>e</sub> จากงานวิจัยของ Suwanit and Gheewala (2011) พบว่า วัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่ได้แก่ ทราวย กรวด ซีเมนต์ และเหล็กต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพต่อ 1 kWh

Descriptions	Quantity	Descriptions	Quantity
<b>Construction phase</b>		<b>Operation and maintenance</b>	
<b>Input</b>		<b>Input</b>	
Steel (kg)	1.16E-02	Hot spring (kg)	1.22E-02
Copper (kg)	8.88E-04	Water (kg)	5.50E-05
Galvanized steel	8.19E-03	Lubricant (kg)	2.20E-05
All plastics (kg)	2.05E-03	All filter (kg)	4.79E-04
Aluminum (kg)	1.07E-04	Refrigerant (R-245fa leak 1 kg/y)	2.20E-05
Stainless steel (kg)	6.05E-04	Galvanized steel (kg)	2.20E-05
Blass (kg)	1.67E-01	Electricity (kWh)	4.64E-03
Refrigerant (kg)	1.54E-04	<b>Output</b>	
Lubricant (kg)	1.30E-04	Electricity (kWh)	9.09E+05
Fiber cement (kg)	4.40E-05	<b>Recycle</b>	
Concrete mix (m <sup>3</sup> )	5.86E-03	Steel (kg)	1.36E-02
Oxide primer (kg)	4.18E-05	Brass (kg)	1.15E-04
All filter (kg)	1.82E-01	Aluminum (kg)	2.45E-06
Wood (kg)	1.60E-04	Refrigerant (kg)	5.29E-05
Electricity (kg)	3.85E-04	Copper (kg)	4.49E-04
Diescl (kg)	4.42E-01	<b>Landfill</b>	
<b>Output</b>		Steel	3.85E-03
Wood (kg)	3.85E-04	Concrete mix (m <sup>3</sup> )	1.05E-01
Steel (kg)	1.32E-04	Plastics (kg)	1.29E-03
Fiber cement (kg)	1.21E-04	All filter (kg)	3.85E-04
All plastics (kg)	4.40E-05	-	-

### บทความทางวิชาการที่ 3 (ต่อ)

ศูนย์วิจัยสิ่งแวดล้อม  
ศูนย์วิศวกรรมศาสตร์

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต่อ 1 kWh (Wambach 2017) และ (Sedpho and Sampattagul 2015)

Descriptions	Quantity	Descriptions	Quantity
<b>Construction phase</b>			
<b>Solar panel</b>		Battery (kg)	2.30E+03
Glass (kg)	5.99E+01	Tap water (kg)	2.80E+00
EVA (kg)	4.50E+00	Distilled water (kg)	1.17E-03
PET (kg)	3.00E+00	<b>Electric wire</b>	
Aluminum (kg)	6.10E+00	Copper (kg)	4.36E+00
Silicon (kg)	3.70E+00	Insulating (kg)	3.00E+00
Silver (kg)	3.20E-02	<b>Holder</b>	
Copper (kg)	5.80E-01	Aluminum (kg)	1.67E+01
Zinc (kg)	5.60E-02	Steel (kg)	3.00E+00
Lead (kg)	3.30E-02	Battery (kg)	2.30E+03
Silicone (kg)	6.70E-01	<b>Recycle</b>	
<b>Inverter</b>		Glass (kg)	4.43E+01
Aluminum (kg)	5.60E-01	Aluminum (kg)	2.34E+00
Styrene, PVC (kg)	8.00E-03	Silicon (kg)	3.33E+00
Plated circuit (kg)	9.00E-02	Steel (kg)	2.70E+00
Transverter (kg)	1.74E-01	<b>Landfill</b>	
Capacitor (kg)	2.48E-01	Solid waste	5.34E+01

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำต่อ 1 kWh (Suwanit and Gheewala 2011)

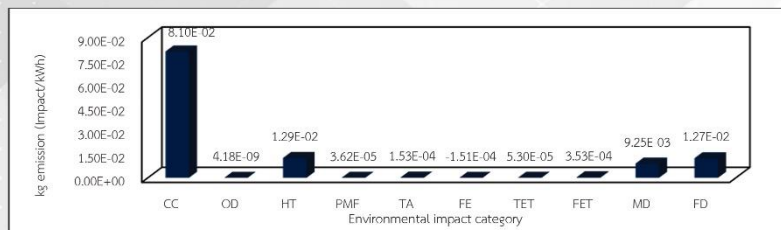
Descriptions	Quantity	Descriptions	Quantity
<b>Construction phase</b>			
Cement (kg)	5.72E+03	Sulphuric acid (l)	1.73E+00
Sand (kg)	1.28E+04	Timber (m <sup>3</sup> )	3.19E+01
Gravel (kg)	1.76E+04	Iron (kg)	1.39E+03
Dynamite (kg)		Bolt (piece)	1.20E+04
All Filter (m <sup>2</sup> )	1.09E+01	Lubricant oil (L)	4.00E+01
Reinforcement (kg)	8.00E+02	Welding rod (kg)	3.50E+02
Steel (kg)	4.20E+02	<b>Equipment</b>	
Stainless steel (kg)	1.47E+01	Steel (kg)	1.48E+02
Copper (kg)	0.00E+01	Stainless (kg)	5.44E+00
Metal paint (m <sup>2</sup> )	1.18E+01	Copper (kg)	3.64E+01
Metal roof (m <sup>2</sup> )	4.60E-01	Iron (kg)	1.47E+00
Brick work (m <sup>2</sup> )	5.31E-01	Aluminum (kg)	1.08E-01
Paint (m <sup>2</sup> )	1.71E+00	<b>Energy used</b>	
		Diesel oil (kg)	5.45E+01

Descriptions	Quantity	Descriptions	Quantity
Battery (cell)	3.68E-01	Electricity (KWh)	1.41E+00
20-t Truck (tkm)	2.97E+03	<b>Recycle</b>	
30-t Truck (tkm)	1.60E+02	Steel (kg)	1.93E+03
Trailer (tkm)	1.72E+03	Stainless (kg)	1.41E+01
<b>Operation and maintenance</b>		Copper (kg)	2.55E+01
Electricity (KWh)	2.39E+03	Aluminum (kg)	7.56E-02
<b>Transportation</b>		<b>Landfill</b>	
Diesel car (tkm)	6.00E+01	Cement (kg)	5.50E+03
10-t Truck (tkm)	5.14E+03	Solid wastes (kg)	1.20E+04

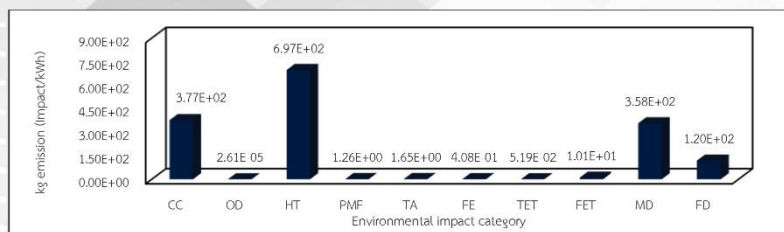
#### 5.2 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

จากการศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน พบว่า ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนได้พิภพ 1 kWh ส่วนใหญ่ส่งผลให้เกิดผลกระทบทางด้าน การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 8.10E-02 kg CO<sub>2</sub> eq การเกิดภาวะเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ 1.29E-02 kg 1,4 DB eq การลดลงของเหล็ก 9.25E-03 kg Fe eq และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล 1.27E-02 kg oil eq และอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 8 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ 1 kWh พบว่า ส่วนใหญ่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 3.77E+02 kg CO<sub>2</sub> eq การเกิดภาวะเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ 6.97E+02 kg 1,4 DB eq การลดลงของเหล็ก 3.58E+02 kg Fe eq และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล 1.20E+02 kg oil eq และอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 9 และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำที่ 1 kWh พบว่า ส่วนส่งผลให้เกิดเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 1.65E+06 kg CO<sub>2</sub> eq การเกิดภาวะเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ 5.89E+05 kg 1,4 DB eq การลดลงของเหล็ก 1.28E+05 kg Fe eq และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล 3.37E+05 kg oil eq ดังแสดงในรูปที่ 10 และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลกับค่ามาตรฐานการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยจากข้อมูลในโปรแกรม (Goedkoop et al. 2016) พบว่า โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้พิภพมีค่าน้อยกว่า และโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานน้ำมีค่าสูงกว่าหลายเท่าตัว ดังแสดงในรูปที่ 11

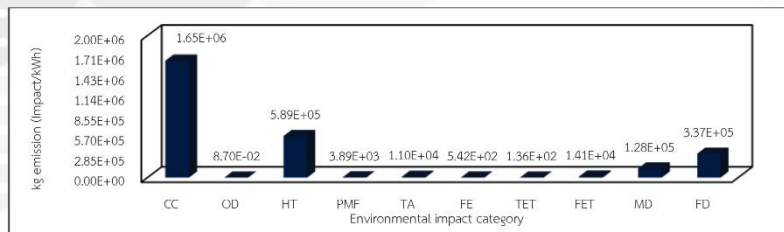
บทความทางวิชาการที่ 3 (ต่อ)



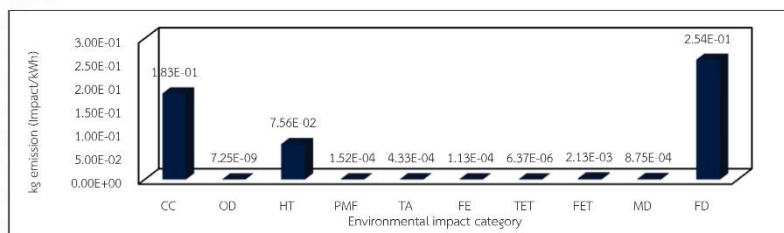
รูปที่ 8 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนได้พิภพ



รูปที่ 9 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 10 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ



รูปที่ 11 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย



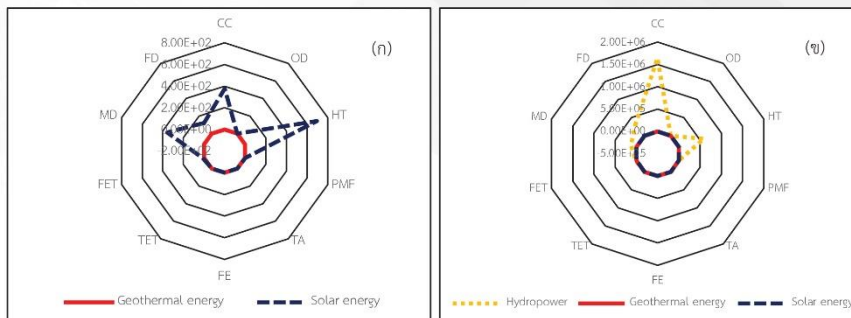
บทความทางวิชาการที่ 3 (ต่อ)

5.3 ผลการแปลผลกระทบ

จากการผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม พบว่าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงาน 3 ประเภทนี้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมไปในแนวทางเดียว แต่ที่มาของผลกระทบต่างกัน คือ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนได้พิภพ เป็นผลมาจากการใช้วัสดุประเภทเหล็ก สารทำงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนระบบ การใช้ทองแดง และการใช้คอนกรีตผสมเสร็จ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เกิดจากการใช้สารเคมีในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการใช้ซิลิคอน ทองแดง และกระจก และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำเป็นผลมาจากการใช้ซีเมนต์ คอนกรีตเสริมเหล็ก เหล็กเส้นกลม น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล และอื่น ๆ

5.4 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

จากการผลการประเมินในหัวข้อ 5.2 นำมาแปลผลการศึกษา พบว่า ผลกระทบที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนได้พิภพมีค่าต่ำกว่าพลังงานแสงอาทิตย์ถึง  $1.85 \times 10^1$  เท่า ดังแสดงในรูปที่ 11(ก) และมีค่าต่ำกว่าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำถึง  $3.46 \times 10^1$  เท่า และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ยังมีค่าต่ำกว่าพลังงานน้ำถึง  $2.69 \times 10^3$  เท่า เมื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นของการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย ดังแสดงในรูปที่ 11(ข) พบว่า ค่าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนได้พิภพและพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่าต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัดเจน ถึงแม้ว่าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำที่เป็นพลังงานสะอาด แต่ในกระบวนการก่อสร้างมีการใช้วัสดุ พลังงาน และการทำลายทรัพยากรทางธรรมชาติ สูงกว่าพลังงานอื่น ๆ ที่เห็นได้อย่างเป็นรูปธรรม



รูปที่ 11 (ก) ผลการเปรียบเทียบระหว่างพลังงานความร้อนได้พิภพกับพลังงานแสงอาทิตย์ และ (ข) ผลการเปรียบเทียบระหว่างพลังงานความร้อนได้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานน้ำ

6. สรุป

จากผลการศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 1 kWh สามารถสรุปได้ดังนี้

6.1 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนได้พิภพ  
ปล่อยผลกระทบสูงทางด้านเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ  $8.10E-02$  kg CO<sub>2</sub> eq การเกิดภาวะเป็นพิษต่อ

สุขภาพมนุษย์  $1.29E-02$  kg 1,4 DB eq การลดลงของเหล็ก  $9.25E-03$  kg Fe eq และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล  $1.27E-02$  kg oil eq

6.2 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ปล่อยผลกระทบสูงทางด้านเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ  $3.77E+02$  kg CO<sub>2</sub> eq การเกิดภาวะเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์  $6.97E+02$  kg 1,4 DB eq การลดลงของเหล็ก



### บทความทางวิชาการที่ 3 (ต่อ)



3.58E+02 kg Fe eq และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล 1.20E+02 kg oil eq

6.3 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ ปถ่ายผลกระทบต่อสูงทางด้านเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 1.65E+06 kg CO<sub>2</sub> eq การเกิดภาวะเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ 5.89E+05 kg 1,4 DB eq การลดลงของเหล็ก 1.28E+05 kg Fe eq และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล 3.37E+05 kg oil eq

6.4 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน พบว่า การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำเกิดผลกระทบมากที่สุด รองลงมา คือ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานความร้อนใต้พิภพ

#### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้ “โครงการผลิตและพัฒนาศึกษากาบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาาระดับบัณฑิตศึกษา” และโครงการ การผลิตไฟฟ้า ร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบขั้นบันได จากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำนักงานนโยบายและพลังงานปี 2560 กระทรวงพลังงาน ที่มีอบทุนการสนับสนุนสำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

#### เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. แผนพัฒนาพลังงานและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579. ระบบออนไลน์: [http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015\\_Final\\_version.pdf](http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf), เข้าถึงเมื่อ: 1 ธันวาคม 2560.

Kim, H., Fthenakis, V., Choi, J., and Turney, D. (2012). Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Thin-film Photovoltaic Electricity Generation. *Journal of Industrial Ecology* 16: 110-121.

Khaenson, W., Maneewan, S., Chindaraksa, S., Punlek, C., Rachapradit, N. (2012). Life cycle assessment of of power generation from solar energy in Thailand. *Environmental science and sustainable development* [On-line]. Available: [www.worldscientific.com](http://www.worldscientific.com)

Khaenson, W., Maneewan, Punlek, C. (2018). Assessment of the environmental impact of biomass electricity generation in Thailand. *Journal of Renewable Energy Research* 8 (1): 302-312.

Suwanit, W., Gheewala, S. (2011). Life cycle assessment of mini-hydropower plant in Thailand. *Journal of Life Cycle Assessment* 16: 849-858.

Uddin Md. and Kumar S. (2013). Energy, emissions and environmental impact analysis of wind turbine using life cycle assessment technique. *Journal of Cleaner Production* (69): 153-164.

Ozoemena, M., Cheung W., Hasan, R. (2017). Comparative LCA of technology improvement opportunities for a 1.5-MW wind turbine in the context of an onshore wind farm. *Clean Technologies and Environmental Policy* 20 (1): 173-190.

Glassbrook, K., Carr A., Drosnes, M., Oakley, T., Kamens, R., Gheewala, S. (2014). *Energy for Sustainable Development* 22: 66-73.

เสาวภา ทินปาน และประพิศร์ ธารักษ์ (2556). การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน สำหรับการผลิตไฟฟ้า. *วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร* 21 (3): 49-58

Karlsdóttir, M., Pálsson, Ó., Pálsson, H., Maya-Drysdale L. (2015). Life cycle inventory of a

### บทความทางวิชาการที่ 3 (ต่อ)

ศูนย์วิจัยใช้สังคม  
คู่มือวิศวกรรมสร้างสรรค์

flash geothermal combined heat and power plant located in Iceland. *Journal of Life Cycle Assessment* 20: 503-519.

ปาณิสสา อ่อนตอกไม้, นัฐพร ไชยญาติ, จุฑากรณ์ ชนະถาวร, วรชมล เลิศจตุรานนท์ และสุรัตน์ เศษโพธิ์ (2561). การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน ตามพระราชดำริ. **การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3.** (หน้า 428-442). ชุมพร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. (2559). การศึกษานวทางการดำเนินการในการบริหารจัดการและกำจัดกากขยะที่เกิดจากโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์. [ออนไลน์] ได้จาก: <http://e-lib.dede.go.th/mm-data/BibA11285.pdf>,

เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล (2555). การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment of Products). [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา [https://www.researchgate.net/profile/Sate\\_Sampattagul/publication/303793131\\_Life\\_Cycle\\_Assessment\\_of\\_Products\\_karprameinwadcakrchiwitkhngphlitphanth/links/5752ba5808ae17e65ec3924d/LifeCycleAssessmentofProductskarprameinwadcakrchiwitkhngphlitphanth.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Sate_Sampattagul/publication/303793131_Life_Cycle_Assessment_of_Products_karprameinwadcakrchiwitkhngphlitphanth/links/5752ba5808ae17e65ec3924d/LifeCycleAssessmentofProductskarprameinwadcakrchiwitkhngphlitphanth.pdf)

Sedpho, S. and Sampattagul S. (2015). Exergetic Evaluation of renewable electricity generation in Thailand. *Journal of Environmental and Natural Resources* 13 (1): 39-46.

Goedkoop M.J., Heijungs R, Huijbregts M., De Schryver A.,Struijs J., Van Zelm R., (2016). 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.

**บทความทางวิชาการที่ 4**

- ชื่อผู้แต่ง: ปาณิศา อ่อนดอกไม้ และ นัฐพร ไชยญาติ
- ชื่อบทความ: การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ  
Life Cycle Assessment of Organic Rankine Cycle Power Plant Combined with Centralized Drying Room from Geothermal Energy
- ชื่อวารสาร: วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (Engineering Journal Chiang Mai University, Thailand) ISSN 0857-2178
- ปีที่พิมพ์: 2562
- ฉบับที่: 26
- เล่มที่: 3 (กันยายน – ธันวาคม 2562)



## บทความทางวิชาการที่ 4 (ต่อ)



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ๕๐๒๐๐  
 โทรศัพท์ (๐๕๓) ๙๔๔๑๗๖-๗ โทรสาร (๐๕๓) ๒๑๗๒๘๗  
 Engineering Journal Chiang Mai University, Thailand.  
 Tel. +66(53) 944176-7 Fax. +66(53) 217287

ที่ ศธ ๖๕๙๓(๑๔).๑(๕)/๒๐๐

๑๓ มีนาคม ๒๕๖๒

เรื่อง ตอบรับบทความ

เรียน คุณปานิศา อ่อนดอกไม้

ตามที่ ท่านได้ส่งบทความ เรื่อง “การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ” เพื่อเผยแพร่ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ นั้น

บรรณาธิการได้พิจารณาและมีความเห็นว่า บทความของท่านมีความเหมาะสมที่จะลงตีพิมพ์เผยแพร่ ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีที่ ๒๖ เล่มที่ ๓ กันยายน – ธันวาคม ๒๕๖๒ ทั้งนี้ หากการพิมพ์วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่เป็นที่เรียบร้อย จะได้นำส่งวารสารดังกล่าวให้ท่านต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.ทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์)

บรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

## บทความทางวิชาการที่ 4 (ต่อ)

Engng.J.CMU.[2018] 25 [1], 1-n 50. รั้ว 5 ก.ก. 61

50. 26(1)2019



วารสารวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Engineering Journal  
Chiang Mai University

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

ปานิศา 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 Nongham, Sansai, Chiang Mai, 50290  
\*Corresponding author: benz178tii@hotmail.com, +66(0) 882523088

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้มาตรฐาน ISO14040 และ ISO14044 ในการวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมชั้นกลางทั้งหมด 10 ประเภท ซึ่งการพิจารณาระบบผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อนประกอบไปด้วย ระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาดประมาณ 10 kW<sub>e</sub> และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ขนาดประมาณ 20 kW ที่ขับเคลื่อนโดยน้ำพุร้อนอุณหภูมิ 105 °C และอัตราการไหลเชิงมวล 3 L/s ที่มีอายุการใช้งาน 20 y หน่วยการทำงานของการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน คือ 1 MJ จากผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อนเท่ากับ 24.97% ในขณะที่ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากระบบผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อนประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีค่าเท่ากับ 5.59E-02 kg CO<sub>2</sub> eq/MJ การลดลงของชั้นโอโซนมีค่าเท่ากับ 1.53E-09 kg CFC-11 eq/MJ การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์มีค่าเท่ากับ 6.91E-01 kg 1,4-DB eq/MJ การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันมีค่าเท่ากับ 2.66E-04 kg PM10 eq/MJ การเกิดภาวะฝนกรดมีค่าเท่ากับ 8.50E-04 kg SO<sub>2</sub> 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 1.05E-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<sub>e</sub> 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



## บทความทางวิชาการที่ 4 (ต่อ)

ป. อ่อนดกไม้ และ น.ไชยญาติ

is 13.46%, while the environment impacts of the CHP system consist of climate change at 5.59E-02 kg CO<sub>2</sub>eq/MJ, ozone depletion at 1.53E-09 kg CFC-11 eq/MJ, human toxicity of 6.91E-01 kg 1,4-DB eq/MJ, particulate matter formation of 2.66E-04 kg PM10 eq/MJ, terrestrial acidification at 8.50E-04 kg SO<sub>2</sub> 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 1.05E-02 kg oil eq/MJ.

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

### 1. บทนำ

พลังงานความร้อนใต้พิภพในปัจจุบันเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจในการนำมาประโยชน์ เนื่องจากเป็นพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น Clark et al. [1] ที่ได้นำเสนอ การนำพลังงานความร้อนใต้พิภพมาผลิตพลังงานไฟฟ้า และการปล่อยมลพิษน้อยกว่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล แต่อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการสร้างโรงไฟฟ้าต้องใช้วัสดุและพลังงาน ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่นกัน ดังนั้นจึงมีการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพตามมา เช่น Frick et al. [2] และ Florian et al. [3] ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบระบบสองวงจร (Binary cycle power plant) ในผลกระทบ 3 ด้าน อันประกอบไปด้วย การเกิดภาวะโลกร้อน การเกิดภาวะความเป็นกรด และการเกิดภาวะการเจริญผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด Martínez-Corona et al. [4] ได้ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพใน 7 ด้าน คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืด การเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ การลดลงของเหล็ก การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน และการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน สำหรับประเทศไทยมีการนำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น การผลิตไฟฟ้า การทำความร้อน การทำความเย็น และในการท่องเที่ยวเชิงนันทนาการต่าง ๆ อาทิเช่น นั้รพร และ ชัชวาล [5] นำพลังงานความร้อนใต้พิภพหรือน้ำพุร้อนมาใช้ในการอบแห้งพืชผลทางการเกษตร สุรศักดิ์ [6] ทำการศึกษาและออกแบบเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานความ

ร้อนที่จกโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพในการอบแห้งพริกและกระเทียม เชิดชัย [7] ทำการศึกษาการอบแห้งต้นหอม โดยใช้พลังงานความร้อนเหลือทิ้งจกโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ Chaivat et al. [8] นำเสนอแนวทางการใช้ประโยชน์พลังงานความร้อนใต้พิภพแบบขั้นบันได ในการผลิตไฟฟ้า ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ตามลำดับ ทั้งนี้ในปัจจุบันประเทศไทยมีโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพเพียงแห่งเดียว คือ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพฝาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ [9]

ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวในข้างต้น พบว่าการนำพลังงานความร้อนใต้พิภพมาใช้ประโยชน์ ควรมีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมร่วมด้วย และจากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ยังไม่มีงานวิจัยที่ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน (Combined heat and power, CHP) ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ที่ต้องการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน ของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ที่ทำงานร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของประเทศไทย โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

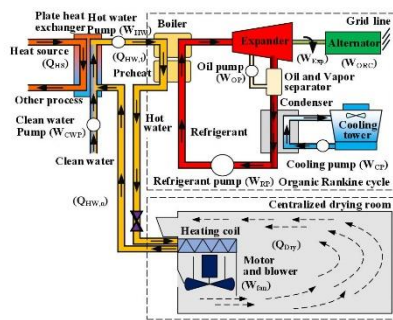
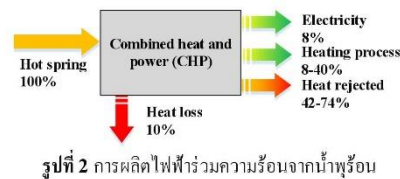
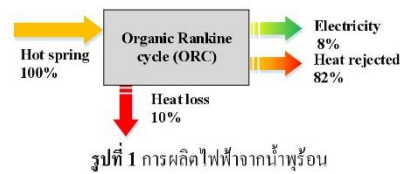
#### 2.1 การผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน (Combined heat and power)

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์เป็นระบบที่สามารถนำความร้อนอุณหภูมิต่ำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทความทางวิชาการที่ 4 (ต่อ)

Engng.J.CMU.[2018] 25 [1]

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



รูปที่ 3 แผนภาพการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน

จากรูปที่ 3 แสดงแผนภาพการทำงานของการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน คือ แหล่งความร้อน (Heat source) จากน้ำพุร้อนป้อนให้แก่หม้อต้ม (Boiler) ของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ เพื่อใช้ในการกระบวนการผลิตไฟฟ้า

จากนั้นเมื่อออกจากหม้อต้มแล้วจะถูกส่งไปเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Preheat) ก่อนส่งต่อไปยังแผงแลกเปลี่ยนความร้อน (Heating coil) ของระบบอบแห้ง เพื่อผลิตความร้อนสำหรับใช้ในการอบแห้งต่อไป

ทั้งนี้ในการประเมินประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อนของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ แสดงดังสมการต่อไปนี้

ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

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

ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

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

ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน

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

2.2 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment, LCA)

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

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition) คือ การระบุเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงสาเหตุที่ต้องการศึกษา

### บทความทางวิชาการที่ 4 (ต่อ)

ป. อ่อนดกไม้ และ น. ไชยญาติ

2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory analysis) คือ ขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูล โดยการรวบรวมปริมาณสารขาเข้าและขาออกที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ

3. การประเมินผลกระทบ (Impact assessment) คือ การนำผลจากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการมาทำการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปของตัวชี้วัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อบ่งชี้ความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

4. การแปลผล (Interpretation) คือ การแปลผลการศึกษา โดยการวิเคราะห์ผลลัพธ์ อภิปรายผล และสรุปผลที่เกิดขึ้น

### 3. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่เอน ตามพระราชดำริจังหวัดเชียงใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) และ (ข) ซึ่งมีอุณหภูมิของน้ำพุร้อนผิวดินประมาณ 105 °C ร่วมกับไอน้ำพุร้อนประมาณ 120 °C ที่อัตราการไหลเชิงมวลประมาณ 3 L/s เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาดประมาณ 10 kW<sub>e</sub> และทำความร้อนของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ขนาดประมาณ 20 kW ที่มีอายุการใช้งาน 20 y ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้



(ก) โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

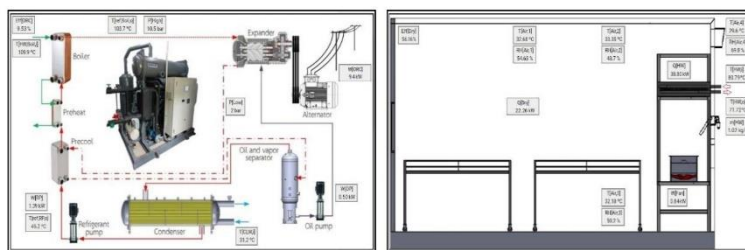
(ข) ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

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.tdctlab.com) [12]

### บทความทางวิชาการที่ 4 (ต่อ)

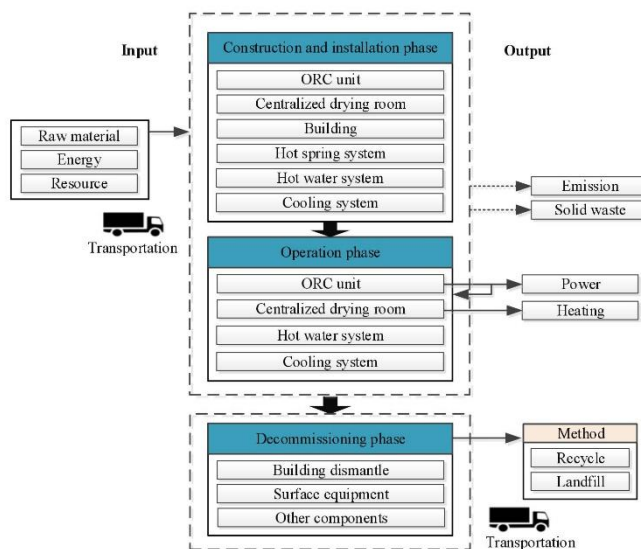
Engg.J.CMU.[2018] 25 [1]

#### 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 และการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อน 1 MJ



รูปที่ 6 ขอบเขตการศึกษาในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

#### 3.3 การวิเคราะห์บัญชีรายการ

โดยในขั้นตอนนี้จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและจัดทำบัญชีรายการข้อมูลของปริมาณสารเข้าและขาออกในกระบวนการสร้าง 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 โดยคัดเลือกประเภทผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เนื่องจากผลกระทบบางประเภทไม่ได้เกี่ยวข้องและอยู่ในพื้นที่ที่ติดตั้งระบบ เช่น การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในทะเล และการเกิดภาวะเป็นพิษต่อน้ำทะเล การใช้พื้นที่เกษตรกรรม เขตเมือง และพื้นที่ทรัพยากรธรรมชาติ รวมถึงการลดลงของน้ำ และส่วนการเกิดรังสีไอออนซึ่งถูกคัดออกเนื่องจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยไม่ได้รวมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานนิวเคลียร์ ซึ่งประเภทผลกระทบมีดังต่อไปนี้

## บทความทางวิชาการที่ 4 (ต่อ)

ป. อ่อนลวกไม้ และ น. ไชยญาติ

- การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change, CC); kg CO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> 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

ในขั้นตอนนี้ทำการแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าที่รวมความร้อน สรุปผลที่เกิดขึ้น และทำการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมกับโรงไฟฟ้าอื่น ๆ

### 4. ผลการศึกษา

จากการศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีรี่ ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ดังต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการทดสอบของการผลิตไฟฟ้าที่รวมความร้อน

ผลการทดสอบการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีรี่ และการผลิตความร้อนของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ซึ่งค่าที่ปรากฏในผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 1 เป็นค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบที่นำมาใช้ในการคำนวณ จากการวิเคราะห์ พบว่า วัฏจักรแรงดันอินทรีรี่ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมด 9.40 kW<sub>e</sub> ที่ประสิทธิภาพ 9.53% และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์สามารถผลิตความ

ร้อนได้สุทธิ 22.26 kW ที่ประสิทธิภาพ 56.16% ซึ่งห้องอบแห้งสามารถควบคุมอุณหภูมิร้อนขาเข้าและอุณหภูมิอากาศภายในห้องได้ ด้วยการควบคุมวาล์วไฟฟ้าสำหรับจ่ายน้ำร้อนเข้าสู่ห้องอบแห้ง และเมื่อทั้งสองระบบผลิตพลังงานร่วมกัน พบว่า ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าที่รวมความร้อนตลอดอายุการใช้งานมีค่าเท่ากับ 24.97%

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ของระบบ

Parameter	Data
<b>ORC system</b>	
Hot water entering the boiler (T <sub>hw,i</sub> ) [°C]	109.9
Hot water leaving the boiler (T <sub>hw,o</sub> ) [°C]	99.04
Heat source capacity (Q <sub>hw,i</sub> ) [kW]	76.49
Cooling water entering the condenser (T <sub>clw,i</sub> ) [°C]	30.00
Cooling water leaving the condenser (T <sub>clw,o</sub> ) [°C]	36.40
Heat sink capacity (Q <sub>c</sub> ) [kW]	42.80
Refrigerant pump power (W <sub>rp</sub> ) [kW <sub>e</sub> ]	1.41
Oil pump power (W <sub>op</sub> ) [kW <sub>e</sub> ]	0.49
Gross power output (W <sub>orc,g</sub> ) [kW <sub>e</sub> ]	9.40
Net power output <sup>1</sup> (W <sub>orc,n</sub> ) [kW <sub>e</sub> ]	7.57
ORC efficiency <sup>2</sup> (η <sub>orc</sub> ) [%]	9.53
<b>Centralized drying room</b>	
Hot water entering the heating coil (T <sub>hw,i</sub> ) [°C]	80.79
Hot water leaving the heating coil (T <sub>hw,o</sub> ) [°C]	71.72
Heat source capacity (Q <sub>hw,i</sub> ) [kW]	38.80
Fan power (W <sub>fm</sub> ) [kW <sub>e</sub> ]	0.84
Net energy output (Q <sub>dry</sub> ) [kW]	22.26
Efficiency system <sup>3</sup> (η <sub>dry</sub> ) [%]	56.16
<b>CHP system</b>	
Net power output <sup>4</sup> (W <sub>chp</sub> ) [kW <sub>e</sub> ]	6.73
CHP efficiency <sup>5</sup> (η <sub>chp</sub> ) [%]	24.97

Remark: <sup>1</sup> W<sub>orc,n</sub> = W<sub>orc,g</sub> - W<sub>rp</sub> - W<sub>op</sub>  
<sup>2</sup> η<sub>orc</sub> = (W<sub>orc,g</sub> - W<sub>rp</sub> - W<sub>op</sub>) × 100 / Q<sub>hw,i</sub>  
<sup>3</sup> η<sub>dry</sub> = Q<sub>dry</sub> × 100 / (Q<sub>hw,i</sub> - W<sub>fm</sub>)  
<sup>4</sup> W<sub>chp</sub> = W<sub>orc,n</sub> - W<sub>rp</sub> - W<sub>op</sub> - W<sub>fm</sub>  
<sup>5</sup> η<sub>chp</sub> = ((W<sub>orc,n</sub> - W<sub>rp</sub> - W<sub>op</sub> - W<sub>fm</sub>) + Q<sub>dry</sub>) × 100 / Q<sub>hw,i</sub>

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์ที่บัญชีรายการ

จากการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ โรงเรือน ระบบน้ำสะอาด และระบบจ่ายน้ำพุร้อน พบว่า ปริมาณการใช้วัตถุดิบในกระบวนการสร้างของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ประกอบไปด้วยผนังห้องที่ทำจากโพลีสไตรีนโฟม ภายในห้องมีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อและครีป พัฒนแบบหมุนตามแนวแกน ชั้นวางผลิตภัณฑ์ โครงสร้างผนังแฉกกลมที่ทำจากเหล็กและคึดทับด้วยสังกะสี ส่วน

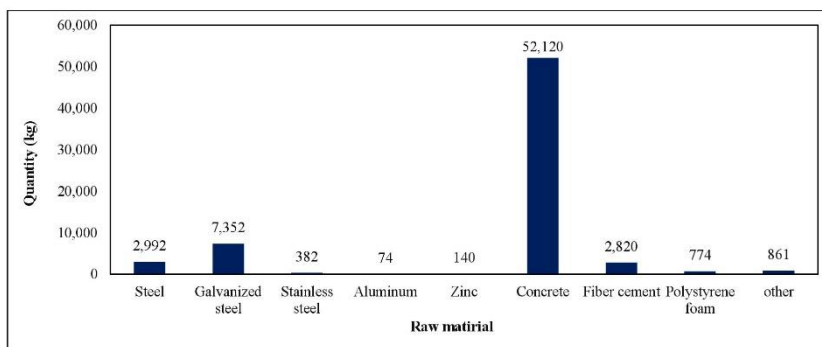


### บทความทางวิชาการที่ 4 (ต่อ)

Engg.J.CMU.[2018] 25 [1]

โครงสร้างโรงเรือนเป็นวัสดุประเภทเหล็ก พื้นเสา คาน ใช้คอนกรีตผสมเสร็จ กระเบื้องหลังคาเป็นวัสดุประเภทไฟเบอร์ซีเมนต์ ระบบน้ำพุร้อนใช้ท่อเหล็กกล้าในซึ่สำหรับส่งจ่ายน้ำพุร้อน และระบบน้ำสะอาดประกอบไปด้วยเครื่องกรองน้ำสแตนเลส ถึงเก็บน้ำสะอาดและน้ำดิบ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นถอดประกอบได้ และถังเก็บน้ำร้อน เป็นต้น ในกระบวนการสร้างใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 25 kWh ในกระบวนการใช้งานพบว่า มีการป้อนวัตถุดิบให้แก่ระบบ คือ น้ำพุร้อน 5,500 m<sup>3</sup> น้ำสะอาด 50 m<sup>3</sup> ารขึ้นสำหรับกรองน้ำสะอาด 350 L

และมีการป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แก่บีมต่าง ๆ และมอเตอร์พัดลม 126,000 kWh ทั้งนี้ในกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน พบว่า มีวัสดุบางส่วนสามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่ (Recycle) อาทิเช่น เหล็ก เหล็กกล้า วานิช 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 kWc ที่ใช้

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

## บทความทางวิชาการที่ 4 (ต่อ)

ป. อ่อนดกไม้ และ น. ไชยญาติ

**ตารางที่ 2** ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าวีถุแรงคินสารอินทรีย์ [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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> eq
FE	1.48E+01	2.13E-01	-1.40E+00	2.26E+00	1.58E+01	6.29E-06	kg PO <sub>4</sub> 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 ผลกระทบส่วนใหญ่ส่งผลให้เกิดด้านการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ และการลดลงของเหล็ก ซึ่งเกิดจากการใช้วัสดุประเภทเหล็กจำนวน 2,992 kg เหล็กกล้าวานิช จำนวน 7,352 kg และ

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

**ตารางที่ 3** ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

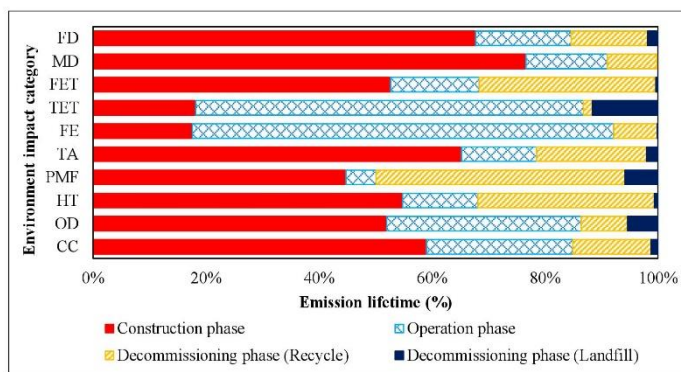
Environmental impact	Construction phase	Operation phase	Decommissioning phase		Total Emission		Unit
			Recycle	Landfill	Lifetime	1 kWh	
CC	3.24E+04	1.42E+04	-7.58E+03	6.78E+02	3.97E+04	8.63E-02	kg CO <sub>2</sub> eq
OD	1.02E-03	6.78E-04	-1.61E-04	1.06E-04	1.65E-03	3.58E-09	kg CFC-11 eq
HT	9.82E+03	2.39E+03	-5.59E+03	1.15E+02	6.73E+03	1.47E-02	kg 1,4-DB eq
PMF	4.70E+01	5.59E+00	-4.62E+01	6.15E+00	1.25E+01	2.73E-05	kg PM10 eq
TA	1.25E+02	2.54E+01	-3.73E+01	3.82E+00	1.17E+02	2.54E-04	kg SO <sub>2</sub> eq
FE	5.89E+00	2.50E+01	-2.56E+00	4.62E-02	2.83E+01	6.17E-05	kg PO <sub>4</sub> 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	1.47E+00	1.59E+02	3.46E-04	kg 1,4-DB eq
MD	9.28E+03	1.74E+03	-1.06E+03	-2.73E+01	9.94E+03	2.16E-02	kg Fe eq
FD	8.44E+03	2.11E+03	-1.68E+03	2.25E+02	9.09E+03	1.98E-02	kg oil eq

## บทความทางวิชาการที่ 4 (ต่อ)

Engg.J.CMU.[2018] 25 [1]

จึงส่งผลให้ค่าผลกระทบลดลง และผลกระทบในกระบวนการนี้เป็นผลมาจากการหึ่งกลบวัตถุดิบ ส่วนใหญ่ผลกระทบเกิดจากไฟเบอร์ซีเมนต์ โพลีไสตริโนโฟม เหล็ก รวมถึงพลาสติกต่าง ๆ ที่ย่อยสลายยาก และเมื่อทำการพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 8 เมื่อทำการพิจารณา พบว่า ในกระบวนการสร้าง

เกิดผลกระทบโดยเฉลี่ยประมาณ 50.91% ในกระบวนการใช้งาน โดยเฉลี่ยโดยประมาณ 28.25% และกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน 20.83% แต่ทั้งนี้วัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่จึงทำให้สามารถลดผลกระทบลงได้ถึง 17.95% จึงทำให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้เพียง 2.88%



รูปที่ 8 สัดส่วนของกระทบทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

เมื่อทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อนที่ 1 MJ มีการปล่อยผลกระทบดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีค่าเท่ากับ  $5.59E-02 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/MJ}$  การลดลงของชั้นโอโซนมีค่าเท่ากับ  $1.53E-09 \text{ kg CFC-11 eq/MJ}$  การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์มีค่าเท่ากับ  $6.91E-01 \text{ kg 1,4-DB eq/MJ}$  การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันมีค่าเท่ากับ  $2.66E-04 \text{ kg PM}_{10} \text{ eq/MJ}$  การเกิดภาวะฝนกรดมีค่าเท่ากับ  $8.50E-04 \text{ kg SO}_2 \text{ eq/MJ}$  การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืดมีค่าเท่ากับ  $2.01E-04 \text{ kg P eq/MJ}$  การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดินมีค่าเท่ากับ  $4.04E-05 \text{ kg 1,4-DB eq/MJ}$  การเกิดภาวะที่พิษต่อแหล่งน้ำมีค่าเท่ากับ  $6.79E-03 \text{ kg 1,4-DB eq/MJ}$  การลดลงของเหล็กมีค่าเท่ากับ  $1.89E-01 \text{ kg Fe}$

eq/MJ และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลมีค่าเท่ากับ  $1.05E-02 \text{ kg oil eq/MJ}$  และโดยเฉลี่ยจากข้อมูลของผลกระทบทั้ง 10 ด้าน ในกระบวนการ พบว่าผลกระทบในกระบวนการสร้างประมาณ 81.58% กระบวนการใช้งานประมาณ 4.24% และกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ประมาณ 14.18% แต่ทั้งนี้วัสดุบางส่วนสามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่อีกครั้ง ทำให้สามารถลดผลกระทบที่เกิดขึ้นได้ โดยเฉลี่ยประมาณ 11.44% จึงทำให้ในกระบวนการนี้เกิดผลกระทบเพียง 2.74% และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์เพียงอย่างเดียวกับโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์แล้ว พบว่า การผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อนสามารถลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมลงได้ โดยเฉลี่ยประมาณ 8.31%

## บทความทางวิชาการที่ 4 (ต่อ)

ป. อ่อนคอกไม้ และ น. ไชยญาติ

**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	8.94E+04	5.59E-02	kg CO <sub>2</sub> eq
OD	2.20E-03	5.30E-05	-2.91E-04	4.75E-04	2.44E-03	1.53E-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	2.66E-04	kg PM10 eq
TA	1.38E+03	4.60E+01	-8.17E+01	1.02E+01	1.36E+03	8.50E-04	kg SO <sub>2</sub> eq
FE	5.30E+02	1.12E-01	-2.09E+02	8.84E-02	3.21E+02	2.01E-04	kg PO <sub>4</sub> eq
TET	5.59E+01	6.42E+00	-9.39E-01	3.30E+00	6.46E+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	1.69E+04	2.84E+03	-3.64E+03	6.60E+02	1.68E+04	1.05E-02	kg oil eq

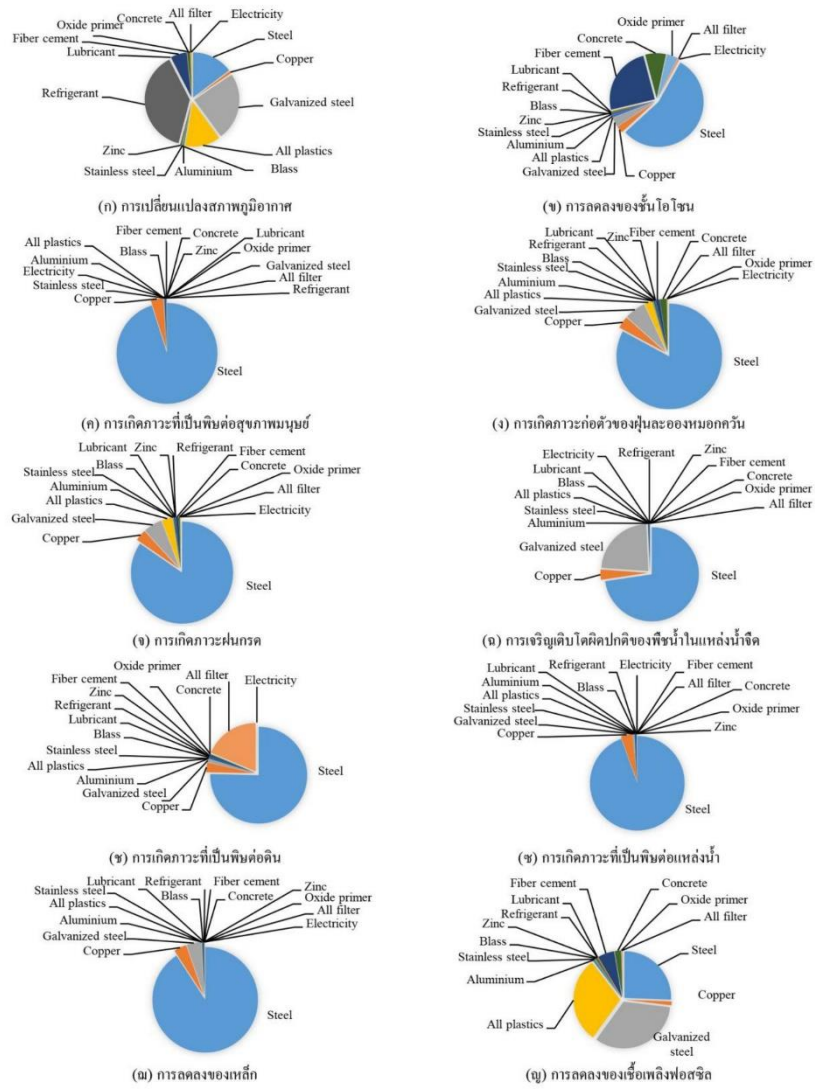
#### 4.4 การแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

ในการแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์แต่ละผลกระทบ ดังแสดงในรูปที่ 9 (ก) – (ญ) จากผลการศึกษา พบว่าผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 9 (ก) เป็นผลมาจากการใช้สารทำงาน R-245fa 38% เหล็ก 15% เหล็กกล้าไร้สนิม 24% เหล็ก 15% พลาสติก 13% และอื่น ๆ ด้านการลดลงของชั้นโอโซน ดังแสดงในรูปที่ 9 (ข) ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการเหล็ก 55% การใช้ฟลูออโรซีเมนต์ 25% และอื่น ๆ 20% ผลกระทบด้านการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์และการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 9 (ค) (ช) และ (ฉ) เป็นผลมาจากเหล็กมากกว่า 90% ทองแดง 4% และอื่น ๆ 6% ผลกระทบด้านการเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันและการเกิดภาวะฝนกรด ดังแสดงในรูปที่ 9 (ง) และ (จ) เป็นผลมาจากเหล็กประมาณ 85% เหล็กกล้าไร้สนิม 6% ทองแดง 4% และอื่น ๆ 5% ด้านการเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืดและการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน การลดลงของเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 9 (ฉ) และ (ช) เป็นผลมาจากการเหล็ก 75% สารกรองและเหล็กกล้าไร้สนิมประมาณ 20% และอื่น ๆ 5% ผลกระทบด้านการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล เป็นผลมาจากการใช้เหล็ก 25% เหล็กกล้าไร้สนิม 32% พลาสติก 29% และอื่น ๆ 9% ซึ่งเมื่อทำการพิจารณา

วัสดุที่ทำให้เกิดผลกระทบส่วนใหญ่มาจากการใช้เหล็กในการทำโครงสร้างของอุปกรณ์ระบบต่าง ๆ และโครงสร้างที่ใช้ทำโรงเรือนด้วย เนื่องจากว่าเป็นการออกแบบระบบเพื่อใช้ที่มีความมั่นคงและใช้งานได้ยาวนาน จึงมีการใช้เหล็กในปริมาณที่สูง และในการศึกษาของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแบบ Cradle-to-grave ดังนั้นทำให้เหล็กที่มีการใช้เป็นปริมาณมาก จึงส่งผลกระทบต่อกลุ่มผลกระทบที่ทำการประเมิน เหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ในระบบส่งจ่ายน้ำพรีออน โพลีไทรอินโพล (พลาสติก) ที่ใช้ทำผนังห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และสารทำงาน R-245fa ในระบบการผลิตไฟฟ้า จากผลการศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ดังกล่าว นำมาทำการเมื่อเปรียบเทียบกับโรงไฟฟ้าประเภทอื่น ๆ ในประเทศไทย พบว่า การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนได้พิถีพิถันค่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่ากับ 0.0132 kg CO<sub>2</sub> eq/kWh ซึ่งมีค่าน้อยกว่างานวิจัยของชานนท์ [18] ที่ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินเท่ากับ 0.8063 kg CO<sub>2</sub> eq/kWh การผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อย 0.4140 kg CO<sub>2</sub> eq/kWh และมีค่าน้อยกว่างานวิจัยของเนตรชนากานต์ และเศรษฐ์ [19] ที่ทำการประเมินผลกระทบจากการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์เท่ากับ 0.9305 kg CO<sub>2</sub> eq/kWh

บทความทางวิชาการที่ 4 (ต่อ)

Engng.J.CMU.[2018] 25 [1]



รูปที่ 9 ผลกระทบที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์



## บทความทางวิชาการที่ 4 (ต่อ)

ป. อ่อนคอกไม้ และ น. ไชยญาติ

อนึ่งเมื่อนำผลการศึกษางานวิจัยนี้ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่คล้ายคลึงกัน เพื่อทวนสอบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่า การปล่อยผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้พิภพของ 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 ซึ่งโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้พิภพมีอายุการใช้งานที่ 30 y พบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นผลมาจากกระบวนการใช้งาน โดยส่งผลกระทบต่อด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 13.5% ด้านการเกิดภาวะความเป็นกรด 31% และด้านการผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด 25.5% Gambao et al. [15] ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้พิภพที่มีอายุการใช้งาน 25 y โดยใช้โปรแกรม SimaPro 7 จากผลการศึกษาพบว่า ผลกระทบส่วนใหญ่เป็นผลมาจากกระบวนการขุดเจาะ และการรั่วไหลของสารทำงาน Marchand et al. [16] ทำการประเมินโดยใช้ฐานข้อมูลจาก IPCC, ReCiPe และ CML2 ซึ่งระบบมีอายุการใช้งานที่ 30 y

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

**ตารางที่ 5** ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้พิภพ (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	-	-	-	-	-

## บทความทางวิชาการที่ 4 (ต่อ)

Engng.J.CMU.[2018] 25 [1]

### 5. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม มีแนวทางในการลดผลกระทบที่เกิดขึ้น ดังต่อไปนี้

1. การลดผลกระทบที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าควร มุ่งเน้นไปที่การลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการพัฒนา และปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
2. การลดผลกระทบที่เกิดจากการผลิตความร้อนของ ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ คาร์ลควัสตุที่ใช้ในการทำผนัง ห้อง และพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลม เพื่อลด ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น

### 6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของ โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้ง แบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ มี ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

- โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้สุทธิ 6.73 kW<sub>e</sub> และสามารถผลิตพลังงานความร้อนได้สุทธิ 22.06 kW ที่ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้ารวมความร้อนเท่ากับ 24.97%
- การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีค่าเท่ากับ 5.59E-02 kg CO<sub>2</sub> eq/MJ
- การลดลงของชั้นโอโซนมีค่าเท่ากับ 1.53E-09 kg CFC-11 eq/MJ
- การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์มีค่าเท่ากับ 6.91E-01 kg 1,4-DB eq/MJ
- การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควันมีค่าเท่ากับ 2.66E-04 kg PM10 eq/MJ
- การเกิดภาวะฝนกรดมีค่าเท่ากับ 8.50E-04 kg SO<sub>2</sub> 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 1.05E-02 kg oil eq/MJ
- โดยพิจารณาแต่ละกระบวนการ พบว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้าง โดยเฉลี่ยประมาณ 81.58% กระบวนการใช้งาน โดยเฉลี่ยประมาณ 4.24% และกระบวนการกำจัดซากโดยเฉลี่ยประมาณ 14.18% แต่ทั้งนี้สามารถนำวัสดุบางส่วนกลับมาใช้ได้ใหม่จึงสามารถลดผลกระทบลงได้ 11.44% จึงทำให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการสุดท้ายเพียง 2.74%

### 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้งานโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และโครงการ 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

## บทความทางวิชาการที่ 4 (ต่อ)

ป. อ่อนดกไม้ และ น. ไชยญาติ

HS	Heat source	OP	Oil pump
HW	Hot water	ORC	Organic Rankine cycle
N	Net power output	RP	Refrigerant pump

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Clark, C., Sullivan, J., Harto, C., Han, J., and Wang, M. (2012). Life Cycle Environmental Impacts Of Geothermal Systems, *PROCEEDINGS, Thirty-Seventh workshop on geothermal reservoir engineering Stanford University, Stanford, California, January 30 - February 1, 2012*.
- [2] Frick, S., Kaltschmitt, M., and Schröder, G. (2010). Life cycle assessment of geothermal binary power plants using enhanced low-temperature reservoirs, *Energy*, vol. 35, March 2010, pp. 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] Martinez-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*, vol. 142, November 2016, pp. 2509-2523.
- [5] นัฐพร ไชยญาติ และ ชัชวาลย์ ชัยชนะ (2552). ห้องอบแห้งพลังงานความร้อนใต้พิภพ (Drying Room from Geothermal Energy). *การประชุมวิชาการการถ่ายทอดพลังงานความร้อนและมวลในอุปรกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการครั้งที่ 8, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่*
- [6] สุรศักดิ์ เทียบรัตน์ (2540). การอบแห้งพริกและกระเทียมโดยใช้พลังงานความร้อนทิ้งจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ. *ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. จังหวัดกรุงเทพมหานคร*
- [7] เชิดชัย อูธรากิจ (2538). การอบแห้งต้นหอมแบ่งโดยใช้พลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ. *วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. จังหวัดกรุงเทพมหานคร*
- [8] Chaiyat, N., Chaichana, C., and Singharajwarapan, F.S. (2014). Geothermal Energy Potentials and Technologies in Thailand. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, vol.4, April 2014, pp. 1-9.
- [9] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2557. พลังงานความร้อนใต้พิภพ. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, สารานุกรมพลังงานทดแทน. กรุงเทพมหานคร. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <https://ienergyguru.com/2015>
- [10] นัฐพร ไชยญาติ (2560). การออกแบบระบบพลังงานทดแทน (Renewable Energy System Design), วิทยานิพนธ์พลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, สำนักพิมพ์: มหาวิทยาลัยแม่โจ้, พิมพ์ครั้งที่ 3, มิถุนายน พ.ศ. 2560
- [11] เศรษฐ์ สัมภักดิ์สกุล (2555). การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment of Products). [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา [https://www.researchgate.net/profile/Sate\\_Sampattagul/publication/303793131\\_Life\\_Cycle\\_Assessment\\_of\\_Products\\_karprameinwadcakrhiwithkxngphlitphanth/links/5752ba5808ac17c65cc3924d/LifeCycleAssessmentofProductskarprameinwadcakrhiwithkxngphlitphanth.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Sate_Sampattagul/publication/303793131_Life_Cycle_Assessment_of_Products_karprameinwadcakrhiwithkxngphlitphanth/links/5752ba5808ac17c65cc3924d/LifeCycleAssessmentofProductskarprameinwadcakrhiwithkxngphlitphanth.pdf)
- [12] ห้องวิจัยการออกแบบและเทคโนโลยีด้านอุณหภาพ (Thermal Design and Technology Laboratory) (2561). *ระบบตรวจวัดและแสดงผลการทำงานอัจฉริยะ*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.tdetlab.com>

## บทความทางวิชาการที่ 4 (ต่อ)

Engg.J.CMU.[2018] 25 [1]

- [13] Goedkoop, M.J., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., 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.
- [14] ปาณิสสา อ่อนดอกไม้, นัฐพร ไชยญาติ, จุฬากรณี ชนะถาวร, วรรมต เลิศจตุรานนท์ และสุรัตน์ เศษโพธิ์ (2561). การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน คามพระราชดำริ. *การประชุมวิชาการระดับชาติ LAMBEST ครั้งที่ 3*, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
- [15] Gamboa, M., Iribarren, D., and Dufourab, J. (2017). On the environmental suitability of high- and low-enthalpy geothermal systems, *Geothermics*, vol.53, January 2015, pp.27–37.
- [16] Marchand M., Blanc I., Marquand A., Beylot A., Courtade S., and Hervé Traineau H. (2015). Life Cycle Assessment of High Temperature Geothermal Energy Systems. *Proceedings World Geothermal Congress 2015*. Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.
- [17] Lacirignola M., Blanc I. (2013). Environmental analysis of practical design options for enhanced geothermal systems (EGS) through life-cycle assessment, *Renewable Energy*, vol.50, 16 September 2012, pp.901-91.
- [18] ขานนท์ จันทรวงศ์ (2560). การประเมินและการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ระหว่าง โรงไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ กับโรงไฟฟ้าชีวมวลจากแกลบ, ขานอ้อย. *นรสารวิจัย ครั้งที่ 13: วิจัยและนวัตกรรม ขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคม*, มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก
- [19] เนตรชนากานต์ สุนันตา และเศรษฐ์ สัมภักตะกุล (2560). การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า จากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม*, 1, กรกฎาคม-ธันวาคม 2560, หน้า 1–14.

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวปาณิสสา อ่อนดอกไม้
เกิดเมื่อ	27 ธันวาคม 2537
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2560 ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พ.ศ. 2556 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนไพศาลีพิทยา
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2560 นักศึกษาฝึกประสบการณ์ ตำแหน่ง เจ้าหน้าที่อนุรักษ์พลังงาน แผนก - บริหาร บริษัท ทิพย์ สุโขทัย ไปโอเอเนนอयी จำกัด และ บริษัท น้ำตาลทิพย์ สุโขทัย จำกัด

