การประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก ของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

วรพันธ์ กันธิยะ

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2562

การประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก ของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

วรพันธ์ กันธิยะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก
ของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

วรพันธ์ กันธิยะ

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. .....

ชื่อเรื่อง การประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก ของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

ชื่อผู้เขียน นายวรพันธ์ กันธิยะ

ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของกระบวนการผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต บริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยใช้ขยะในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ ในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้งหมด 6 ด้าน และผลด้านเศรษฐศาสตร์ ผลการศึกษา พบว่า ผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 2.58E+08 kg 1,4 DB-eq ภาวะโลกร้อน -1.29E+07 kg CO_2-eq ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด 6.54E+06 kg 1,4 DB-eq ภาวะฝนกรด 2.79E+05 kg SO_2-eq การลดลงของชั้นโอนโซน 1.57E+03 kg CFC-11-eq พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก 2.81E+04 kg 1,4 DB-eq และความต้องการพลังงานสะสมรวม 1.49E+06 MJ การนำเชื้อเพลิงขยะมาผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในกระบวนการสร้างผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต มีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 2.56E+12 kg 1,4 DB-eq ภาวะโลกร้อน 6.05E+12 kg CO_2-eq ภาวะฝนกรด 2.05E+09 kg SO_2-eq ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด 9.18E+10 kg 1,4 DB-eq พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก 4.54E+08 kg 1,4 DB-eq และการลดลงของชั้นโอนโซน 4.91E+05 kg CFC-11-eq ตามลำดับ การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก พบว่า ระบบหลังการปรับปรุงสามารถลดความต้องการพลังงานสะสมรวมได้ 3.71E+05 MJ โดยมีค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยจากเชื้อเพลิงขยะ 1.50 Baht/kWh และสามารถลดค่าต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ได้เท่ากับ 1.46 Baht/Piece เปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงที่ 1.47 Baht/Piece

คำสำคัญ : การประเมินวัฏจักรชีวิต, การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก, ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต, ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย, ค่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วย

Title CONVENTIONAL AND EXERGETIC LIFE CYCLE ASSESSMENTS OF QUARTZ CRYSTAL UNIT PRODUCT

Author Mr. Woraphan Kantiya

Degree Master of Engineering in Renewable Energy Engineering

Advisory Committee Chairperson Associate Professor Dr. Nattaporn Chaiyat

ABSTRACT

This research studied the conventional and exergetic life cycle assessments of Quartz Crystal Unit production processes of Kyocera Crystal Device (Thailand) Company Limited combined with an organic Rankine cycle using municipal solid waste in the Northern Region Industrial Estate. From the 6 environmental impacts and economic results, it can be seen that the Quartz Crystal Unit has environmental impact of human toxicity 2.58E+08 kg 1,4 DB-eq, climate change -1.29E+07 kg CO_2-eq, freshwater ecotoxicit 6.54E+06 kg 1,4 DB-eq, terrestrial acidification 2.79E+05 kg SO_2-eq, ozone depletion 1.57E+03 kg CFC-11-eq, terrestrial ecotoxicity 2.81E+04 kg 1,4 DB-eq, and cumulative energy demand 1.49E+06 MJ. The environmental effects of the electrical process from a refuse derived fuel for used in the Quartz Crystal Unit production processes are human toxicity at 2.56E+12 kg 1,4 DB-eq, climate change of 6.05E+12 kg CO_2-eq, terrestrial acidification of 2.05E+09 kg SO_2-e, freshwater eco toxicity 9.18E+10 kg 1,4 DB-eq, terrestrial eco toxicity at 4.54E+08 kg 1,4 DB-eq, and ozone depletion as 4.91E+05 kg CFC-11-eq, respectively. The exergetic life cycle assessment shows that a cumulative energy demand of the modified system can be decreased by 3.71E+05 MJ. Levelized electricity cost from the refuse derived fuel is 1.50 Baht/kWh. Levelized cost of the Quartz Crystal Unit production processes can be decreased to 1.46 Baht/Piece compared with the normal process of 1.47 Baht/Piece.

Keywords : Life Cycle Assessment, Exergetic Life Cycle Assessment, Quartz Crystal Unit, Levelized Electricity Cost, Levelized Cost

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณามอบความรู้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือในทุกด้าน รวมทั้งการแก้ปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนตรวจสอบวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.จุฑาภรณ์ ชนะถาวร ที่กรุณารับเป็นกรรมการตรวจโครงร่างวิทยานิพนธ์ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์มา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สุรัตน์ เศษโพธิ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าร่วมเป็นกรรมการตรวจโครงร่างวิทยานิพนธ์ภายนอก และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์มา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ในการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้

วรพันธ์ กันธิยะ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

รายการสัญลักษณ์ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความสำคัญและที่มา 1

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 4

ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับขยะมูลฝอย 4

ทฤษฎีการผลิตเชื้อเพลิงขยะมูลฝอย (Refuse Derived Fuel, RDF) 6

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle, ORC) 10

การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ 13

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment, LCA) 14

การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก (Exergetic Life Cycle Assessment, ELCA) 17

การตรวจสอบเอกสาร 17

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 24

การศึกษาปริมาณขยะมูลฝอยของบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด 25
การศึกษาปริมาณขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือร่วมกับขยะในบริษัท 26
การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ 28
การวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 30
การวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตต่อหน่อย 30
การศึกษาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ก่อนการปรับปรุง 30
การศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเตาเผาขยะชนิดเผาตรง 33
การศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ 34
การศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุง 36
การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ก่อนและหลังการปรับปรุง 39
บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผล 40
ผลสำรวจปริมาณขยะมูลฝอยในบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวน์ (ประเทศไทย) จำกัด 40
ผลการจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ 41
ผลสำรวจปริมาณขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ 41
ผลการจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ 42
ผลการวิเคราะห์ค่าต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต 43
ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต 44
ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต 45
ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของเตาเผาขยะแบบเผาตรง 51
ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ 55
ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์หลังปรับปรุง 59

ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ 63
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 68
สรุปผล 68
ข้อเสนอแนะ 69
บรรณานุกรม 70
ภาคผนวก 73
ภาคผนวก ก การเผยแพร่งานวิจัย 74
ประวัติผู้วิจัย 123

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 ชนิดของขยะที่แบ่งตามองค์กร APWA ในสหรัฐอเมริกา (ANSI, 1992)..... 4

2 องค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชนทั่วประเทศไทย โดยแบ่งออกเป็น 10 ประเภท..... 6

3 แสดงคุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบการเผาไหม้ 7

4 ค่ามาตรฐานองค์ประกอบธาตุของขยะประเภทต่าง ๆ..... 9

5 คุณสมบัติทางกายภาพของสารทำงาน R-245fa (นัฐพร, 2560)..... 11

6 ค่าต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยหลังติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ 44

7 แสดงผลค่าต้นทุนผลิตต่อหน่วยหลังจากติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ .. 44

8 ผลรวมการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์..... 50

9 ข้อมูลวัสดุอุปกรณ์ และองค์ประกอบเตาเผาขยะมูลฝอย..... 51

10 ผลรวมการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเตาเผาขยะ..... 54

11 ข้อมูลวัสดุอุปกรณ์และองค์ประกอบระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ 55

12 รวมผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคิน สารอินทรีย์ 59

13 ผลรวมการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หลังการ ปรับปรุง..... 62

14 การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของเตาเผาขยะชนิดเผาตรง..... 65

15 การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ 66

16 ผลการประเมินของวัฏจักรเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ควอต คริสตัลยูนิต 67

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1 แผนภาพแสดงอุปกรณ์การทำงานวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ 11

2 แผนภาพแสดงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Cradle to Grave) 15

3 กรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตตามอนุกรมมาตรฐาน 14040 17

4 การประเมินวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วบรรจุน้ำดื่มขนาด 500 ml 18

5 แผนผังของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ในการใช้เทคโนโลยีเชื้อเพลิงขยะ 19

6 แผนผังของสถานการณ์ต่างๆของการจัดการของเสียแม่ฮ่องสอน 20

7 ตัวอย่างกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง 22

8 แผนภาพการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล 23

9 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 24

10 บริเวณที่จัดเก็บขยะมูลฝอยของบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด 25

11 พื้นที่โดยรวมของนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือจังหวัดลำพูน 27

12 แผนผังแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ 29

13 แผนผังของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิตก่อนปรับปรุง 31

14 วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ก่อนปรับปรุง 32

15 การประเมินวัฏจักรชีวิตของเตาเผาขยะชนิดเผาตรง 34

16 วัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ 35

17 แผนผังของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุง 37

18 วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุง 38

19 ปริมาณขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือในปี พ.ศ. 2560 40

20 ปริมาณขยะมูลฝอยและขนาดระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ 41

21 ปริมาณขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือในปี พ.ศ. 2560 42

22 ปริมาณขยะมูลฝอยและขนาดระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์..... 43
23 วัสดุอุปกรณ์ของการดำเนินงานบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด..... 45
24 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ส่วนวัสดุอุปกรณ์การดำเนินงานก่อนปรับปรุง..... 48
25 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการดำเนินงานด้านวัตถุดิบก่อนปรับปรุง..... 49
26 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการรื้อถอนก่อนการปรับปรุง..... 50
27 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของโครงสร้างเตาเผาขยะ..... 52
28 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการดำเนินงานส่วนสารขาเข้าขยะมูลฝอย..... 53
29 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการรื้อถอนเตาเผาขยะชนิดเผาตรง..... 54
30 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของโครงสร้างระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ 56
31 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการดำเนินงานระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์..... 57
32 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการรื้อถอนระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์..... 58
33 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการดำเนินงานหลังปรับปรุง..... 60
34 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการรื้อถอนหลังการปรับปรุง..... 61
35 การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกด้านวัสดุอุปกรณ์โครงสร้าง..... 64
36 การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกด้านการดำเนินงาน..... 64
37 การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกด้านการรื้อถอน..... 65

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	Activity	(Unit)
CC	Climate	Change (kg CO_2-eq)
EF	Emission Factor	(kg CO_2-eq/unit)
FE	Freshwater Ecotixicity	(kg 1,4 DB-eq)
HT	Human Toxicology	(kg 1,4 DB-eq)
IC	Impact Category	(Unit)
LHF	Low Heating Value	(MJ/kg)
M	Munnicipal Solid Waste	(kg)
OD	Ozone Level Depletion	(kg CFC-11-eq)
SH	Super Heat	(^oC)
SC	Sub Cool	(^oC)
TA	Terrestrial Acidification	(kg SO_2-eq)
TE	Terrestrial Eco toxicity	(kg 1,4 DB-eq)

อักษรย่อ	ความหมาย
B	Boiler
C	Cooling
H	High
L	Low
I	Item
P	Pump
RDF	Refuse Derived Fual
SMD	Surface Mounting Device
th	Thernal
Tur	Turbine

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันปัญหาเรื่องขยะมูลฝอยถือเป็นวาระแห่งชาติ จากข้อมูลสถานการณ์ขยะมูลฝอยที่ผ่านมา พบว่า แนวโน้มของปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกปี ทั้งนี้ในปี พ.ศ. 2559 พบว่ามีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นของประเทศไทยเท่ากับ 27.06 Million Ton ซึ่งคิดเป็นอัตราการเกิดขยะมูลฝอยที่ 1.14 kg/person·day (กรมควบคุมมลพิษ, ปี พ.ศ. 2559) สำหรับประเทศไทยปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปีรวมทั้ง ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปกำจัดอย่างไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ และปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ก็มีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นแต่ก็ยังไม่เพียงพอสำหรับนำไปใช้เป็นพลังงาน ทั้งนี้วิกฤตปัญหาขยะมูลฝอยจึงถือเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมที่ต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน เนื่องจากปัญหาทวีความรุนแรงมากขึ้นทั้งด้านปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มมากขึ้นรวมทั้งสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยลดลง และจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นทำให้การพัฒนาด้านเศรษฐกิจ สังคม รวมทั้งเทคโนโลยีก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ส่งผลให้เกิดการบริโภคเพิ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณขยะมูลฝอยในเขตอุตสาหกรรมทั่วประเทศเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเพื่อลดภาวะเรือนกระจก (Green House Effect) ลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลให้อุณหภูมิโลกเพิ่มสูงขึ้นเรียกว่า ภาวะโลกร้อน (Global Warming) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญเกี่ยวกับการจัดการด้านขยะมูลฝอยในโรงงานอุตสาหกรรม (ผลสำรวจข้อมูลจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นทั่วประเทศ) ซึ่งปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมถือเป็นสิ่งสำคัญในทุกภาคส่วนยิ่งเกี่ยวกับผลกระทบต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบนิเวศ เช่น ภาวะโลกร้อน (Global Warming) การลดลงของชั้นโอนโซน (Ozone Level Depletion) ภาวะฝนกรด (Acidification) ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicology) พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก (Terrestrial Eco toxicity) และ ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด (Freshwater Eco toxicity) เป็นต้น ถือเป็นวิกฤตปัญหาของทั่วโลก ซึ่งประเทศไทยได้ดำเนินการแก้ไขและป้องกันผลกระทบดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาที่มีต้นเหตุจากขยะมูลฝอย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ เพื่อลดปัญหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

บริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด จึงให้ความสำคัญในการแก้ไขปัญหาเรื่องผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเป็นการเร่งด่วน และต้องดำเนินการแก้ไขปัญหาให้ครบถ้วนตั้งแต่ต้นทางจนกระทั่งถึงปลายทางทั้งนี้บริษัทในเขตอุตสาหกรรมซึ่งเป็นหน่วยงานองค์กรหนึ่งที่จะต้องตระหนัก

ร่วมถึงความรับผิดชอบและให้ความร่วมมือในการแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษจากขยะมูลฝอยในเขตอุตสาหกรรมซึ่งจากข้อมูลสถานการณ์ขยะมูลฝอยภายในบริษัทตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558-2560 พบว่า แนวโน้มของปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในบริษัทมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเป็น 257.49 Ton 297.03 Ton และ 365.26 Ton ตามลำดับ คิดเป็นอัตราการเกิดที่ 40% โดยใช้ฐานปี พ.ศ. 2558 เป็นตัวอ้างอิง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมโดยการประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินวัฏจักรเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อพลิงขยะ ที่ต้องการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ร่วมกับความเป็นไปได้ด้านพลังงานและด้านเศรษฐศาสตร์ ของกระบวนการผลิตควอตซ์ คริสตัล ยูนิต โดยใช้ขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในเขตนิคมอุตสาหกรรมลำพูน มาผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เพื่อลดการซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ของกระบวนการผลิตควอตซ์ คริสตัล ยูนิต บริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA) และวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก (Exergetic Life Cycle Assessment, ELCA) ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิตในด้านสิ่งแวดล้อม ด้านพลังงาน และด้านเศรษฐศาสตร์
2. เพื่อศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต และวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิตร่วมกับการจัดการขยะมูลฝอยของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ ร่วมกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ในด้านสิ่งแวดล้อม ด้านพลังงาน และด้านเศรษฐศาสตร์
3. เพื่อศึกษาเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel, RDF) สำหรับเป็นแหล่งความร้อนร่วมกับเทคโนโลยีวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle, ORC)

ขอบเขตของการวิจัย

1. การประเมินวัฏจักรชีวิต และวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกก่อนและหลังการปรับปรุง คือ วิธี (Cradle to Gate) โดยพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ การรับวัตถุดิบ กระบวนการผลิต วัสดุ

อุปกรณ์ และผลิตภัณฑ์ทั้งนี้ไม่พิจารณาการส่งออก ของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต บริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด

2. หน่วยการทำงาน (Functional Unit) คือ เอสเอ็มดี ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต (SMD Quartz Crystal Unit) โดยการประกอบขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ (Product Model Assembly) จำนวน 1 Unit

3. เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ คือ การผลิตเชื้อเพลิงขยะโดยการคัดแยกขยะส่วนที่เผาไหม้ได้ออกมาด้วยมือ รวมทั้งขยะที่มีขนาดใหญ่เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง

4. ใช้ข้อมูลกระบวนการผลิตภัณฑ์ในปี พ.ศ. 2560 ของบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด

5. เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าร่วมกับพลังงานทดแทน คือ วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ใช้สารทำงาน R-245fa

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบผลการประเมินวัฏจักรชีวิต และวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิตในด้านสิ่งแวดล้อม ด้านพลังงาน และด้านเศรษฐศาสตร์

2. ได้ทราบผลการประเมินวัฏจักรชีวิต และวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิตร่วมกับการขยะมูลฝอยของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ร่วมกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ในด้านสิ่งแวดล้อม ด้านพลังงาน และด้านเศรษฐศาสตร์

3. ได้ทราบผลเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ สำหรับเป็นแหล่งความร้อนร่วมกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

ในการศึกษางานวิจัยนี้มีทฤษฎีที่เกียวข้อง อันประกอบไปด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ข้อมูลทั่วไปของขยะมูลฝอยทฤษฎีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ และการประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ ทั้งนี้ยังได้มีการตรวจสอบเอกสารเพื่อทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ต่อไปนี้

ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับขยะมูลฝอย

ขยะมูลฝอยโดยทั่วไปจะหมายถึงเศษสิ่งของหรือวัสดุที่ไม่ต้องการทั้งที่เป็นขยะที่เผาไหม้ได้ (Combustible Material) เช่น เศษอาหารสิ่งของเครื่องใช้ที่ชำรุด เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมซากพืชซากสัตว์ต่าง ๆ เสื้อผ้าเก่า พลาสติกเก่า และเศษขยะผสมปนไปกับขยะที่เผาไหม้ไม่ได้ (Non-Combustible Material) ซึ่งได้แก่ขยะเศษแก้วรวมทั้งโลหะต่าง ๆ ดังนั้น เพื่อเป็นการลดปัญหามลภาวะด้านต่าง ๆ การเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียจึงเป็นวิธีการจัดการขยะมูลฝอยที่ดีประหยัดและง่ายที่สุด โดยทั่วไปสามารถจำแนกขยะออกเป็น 3 ประเภท ใหญ่ ๆ ตามแหล่งที่จัดเก็บขยะ (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2552) คือ

1.1 ขยะชุมชน (Municipal Solid Waste, MSW)

1.2 ขยะจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Waste)

1.3 ขยะจากเกษตรกรรม (Agricultural Waste)

ในการจำแนกประเภทของขยะในต่างประเทศ (The American Public Work Association) พบว่า ขยะมูลฝอยสามารถแบ่งออกเป็น 7 ชนิด ตามชนิดของขยะ ค่าความชื้น องค์ประกอบของวัสดุที่เผาไหม้ไม่ได้และค่าความร้อนที่ให้ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชนิดของขยะที่แบ่งตามองค์กร APWA ในสหรัฐอเมริกา (ANSI, 1992)

ชนิดของขยะ	องค์ประกอบหลัก
Type 0	เป็นส่วนผสมของวัสดุที่สามารถเผาไหม้ได้ดีมาก เช่นกระดาษ กล่องกระดาษ กล่องไม้จาก การค้าและอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนผสมนั้นประกอบด้วยถุงพลาสติก 10% กระดาษเคลือบ กระดาษกล่อง เศษผ้า เศษพลาสติกและเศษยาง

ชนิดของขยะ	องค์ประกอบหลัก
Type 1	เป็นส่วนผสมของวัสดุที่สามารถเผาไหม้ได้ดีเช่น กระดาษ กล่องกระดาษ เศษไม้ไม้กวาด จากบ้านเรือนและการค้า ซึ่งส่วนผสมนั้นประกอบด้วยเศษอาหารจากภัตตาคารถึง 20% หากแต่มีองค์ประกอบของกระดาษขาว เศษพลาสติกและเศษยางเพียงเล็กน้อย
Type 2	เป็นส่วนผสมของขยะแห้งและขยะเปียกโดยประมาณ ส่วนมากเป็นขยะที่ มาจากอพาร์ตเม้นต์ และที่อยู่อาศัย ขยะประเภทนี้ มีความชื้นเป็นองค์ประกอบถึง 50% มีวัสดุที่เผาไหม้ไม่ได้ 7% และให้ค่าความร้อนถึง 43,000 BTU
Type 3	เป็นขยะประเภทขยะเปียก เช่น วัสดุที่ มาจากเศษอาหารสัตว์และผักผลไม้จากโรงแรม โรงพยาบาล และสถานที่ อื่น ๆ ขยะประเภทนี้ มีความชื้นเป็นองค์ประกอบถึง 70% เป็นวัสดุที่ เผาไหม้ไม่ได้ 5% และมีค่าความร้อนประมาณ 25,000 BTU
Type 4	เป็นขยะที่ได้มาจากของเสียจากมนุษย์และสัตว์เช่น ซากศพและอวัยวะต่าง ๆ ซึ่งมีความชื้น เป็นองค์ประกอบถึง 85% มีวัสดุที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ 5% และมีค่าความร้อนประมาณ 10,000 BTU
Type 5	เป็นขยะประเภทแก๊ส และของเหลวหรือกึ่งของเหลวเช่น สีน้ำมันดิน สารทำละลาย สลัดจ์ ควันจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งค่าความร้อนขึ้นอยู่กับชนิดสารประกอบในขยะ
Type 6	เป็นขยะที่เป็นของเหลือใช้ประเภทของแข็ง เช่น เศษยาง พลาสติก เศษไม้จากอุตสาหกรรม ต่าง ๆ ซึ่งค่าความร้อนขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่เป็นองค์ประกอบในขยะนั้น ๆ

องค์ประกอบของขยะมูลฝอย ขยะมูลฝอยชุมชนที่เป็นสิ่งเหลือใช้จากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์เป็นของเสียต้องมีวิธีการกำจัดอย่างเหมาะสม เพื่อไม่ให้ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมรอบด้าน รวมทั้งสุขภาพของมนุษย์การที่จะหาวิธีการหรือเทคโนโลยีมาใช้ในการกำจัดขยะได้อย่างเหมาะสม ต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบ และคุณสมบัติของขยะเป็นสำคัญดังแสดงในตารางที่ 2 (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชนทั่วประเทศไทย โดยแบ่งออกเป็น 10 ประเภท

Combustible Waste	Non - Combustible Waste
1. ผัก ผลไม้เศษอาหาร	7. แก้ว
2. กระดาษ	8. โลหะ
3. พลาสติก	9. หิน กระเบื้อง
4. ผ้า	10. อื่นๆ
5. ไม้	
6. ยางและหนัง	

เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะ ในอดีตการกำจัดขยะจะใช้วิธีการฝังกลบ (Landfill) เป็นส่วนใหญ่เพราะเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวก แต่เนื่องจากในปัจจุบันแหล่งฝังกลบมีปริมาณจำกัด รวมทั้งยังทำให้เกิดปัญหาการสะสมของ มลพิษ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการนำขยะเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และเกิดมลพิษน้อย ที่สุด โดยทั่วไปแล้วเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะในปัจจุบันมีดังนี้

- เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ
- เทคโนโลยีทางความร้อน อาทิเช่นเทคโนโลยีเตาเผา (Incineration) เทคโนโลยีการผลิตแก๊ส เชื้อเพลิงจากขยะ (Gasification) เทคโนโลยีการเปลี่ยนขยะให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว (Pyrolysis Oil) เทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากขยะเตาปฏิกรณ์พลาสมา (Plasma Gasification)
- เทคโนโลยีทางชีวภาพเทคโนโยลีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) เทคโนโลยีการผลิตแก๊สชีวภาพจากระบบฝังกลบ (Landfill Gas to Energy) ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีก็จะมีความเหมาะสม มีข้อดี-ข้อเสียแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบของขยะ และสภาพพื้นที่นั้น ๆ ในงานวิจัยเล่มนี้จะนำเสนอเฉพาะข้อมูลในส่วนของเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง และ เทคโนโลยีทางความร้อน

ทฤษฎีการผลิตเชื้อเพลิงขยะมูลฝอย (Refuse Derived Fuel, RDF)

เชื้อเพลิงขยะเป็นรูปแบบของการจัดการขยะเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงวิธีหนึ่ง โดยการปรับปรุงและแปลงสภาพของขยะมูลฝอยให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณสมบัติในด้านค่าความร้อน (Heating

Value) ความชื้น ขนาด และความหนาแน่น เหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าหรือความร้อน และมีองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอ ทั้งนี้ขั้นตอนและรูปแบบเพื่อเปลี่ยนสภาพจากขยะมาเป็นเชื้อเพลิงนั้นก็มีอยู่หลากหลายขึ้นอยู่กับสภาพของขยะ และสภาพของเชื้อเพลิงขยะที่ต้องการ แต่ขั้นตอนโดยทั่วไปจะประกอบด้วยการคัดแยก การลดขนาด การลดความชื้นเป็นต้น ซึ่งในแต่ละขั้นตอนนั้นก็จะมีรายละเอียดของเทคโนโลยีแตกต่างกันออกไป หลักการทำงานของเทคโนโลยีเชื้อเพลิงขยะเริ่มจากการคัดแยกขยะที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ (โลหะ แก้ว เศษหิน) ขยะอันตรายและขยะรีไซเคิลออกจากขยะรวม โดยคัดแยกมูลฝอยที่มีเหล็กและอลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบออกจากมูลฝอย จากนั้นจึงป้อนขยะมูลฝอยไปเข้าเครื่องสับ-ย่อยเพื่อลดขนาด และป้อนเข้าเตาอบ เพื่อลดความชื้นของมูลฝอย โดยการใช้ความร้อนจากไอน้ำหรือลมร้อนเพื่ออบขยะให้แห้ง ซึ่งจะทำให้น้ำหนัก ลดลงเกือบ 50% (ความชื้นเหลือไม่เกิน 15%) และสุดท้ายจะส่งไปเข้าเครื่องอัดเม็ด (Pellet) เพื่อทำให้ได้ เชื้อเพลิงขยะอัดเม็ดที่มีขนาดและความหนาแน่นเหมาะสมต่อการขนส่งไปจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งในบางกรณีจะมีการเติมหินปูน (CaO) เข้าไปกับมูลฝอยระหว่างการอัดเป็นเม็ดเพื่อควบคุมและลดปริมาณก๊าซพิษที่เกิดขึ้น จากการเผาไหม้ เชื้อเพลิงขยะสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิด ตามมาตรฐาน ASTM E-75 ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการจัดการที่ใช้ประกอบด้วย ดังแสดงในตารางที่ 3 (นัฐพร, 2560)

ตารางที่ 3 แสดงคุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบการเผาไหม้

ชนิด	กระบวนการจัดการ	ระบบการเผาไหม้
RDF-1: Municipal Solid Waste (MSW)	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ได้ออกมาด้วยมือ รวมทั้งขยะที่มีขนาดใหญ่	- เตาเผาแบบตะกรับ (Stoker Incinerator)
RDF-2: Coarse RDF	บดหรือตัดขยะมูลฝอยอย่างหยาบ ๆ	- เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Combustor) - เตาเผาแบบเชื้อเพลิงผสม (Multi-fuel Combustor)
RDF-3: Fluff RDF	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ออก เช่น โลหะแก้วและอื่น ๆ มีการบดหรือตัดจนทำให้ 95% ของขยะมูลฝอยที่คัดแยกแล้วมีขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว	- เตาเผาแบบตะกรับ (Stoker Incinerator)

ชนิด	กระบวนการจัดการ	ระบบการเผาไหม้
RDF-4: Dust RDF	นำขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการทำให้อยู่ในรูปของผงฝุ่น	เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Combustor) - Pulverized Fuel Combustor
RDF-5: Densified RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่งโดยให้มีความหนาแน่นมากกว่า 600 kg/m^3	- เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Combustor) - เตาเผาแบบเชื้อเพลิงผสม (Multi-fuel Combustor)
RDF-6: RDF Slurry	นำขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการแปรรูปให้มีลักษณะเป็นสารละลายข้นหรือสารเหลวข้น (Slurry)	- หัวเผาแบบหมุนวน (Swirl Burner)
RDF-7: RDF Syngas	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้มาผ่านกระบวนการกระบวนการแปรสภาพเป็นแก๊สหรือแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) เพื่อผลิตแก๊สสังเคราะห์ (Synthesis Gas or Syngas) ที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซได้	หัวเผา (Burner) - Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC)

การประเมินค่าความร้อน ขนาดเตาเผาขยะ และพื้นที่ฝังกลบขี้เถ้าจากการเผากำจัดขยะ จากการสำรวจและเก็บข้อมูลปริมาณขยะ ความหนาแน่นของขยะ และองค์ประกอบของขยะ ทำให้ทราบถึงปริมาณขยะที่สามารถกำจัดได้โดยการเผากำจัด ซึ่งขนาดของเตาเผาขยะจะแปรผันตรงกับปริมาณขยะดังกล่าว รวมถึงเป็นตัวแปรต้นของการประเมินขนาดระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์อีกด้วย การประเมินค่าความร้อนของขยะที่ได้จากการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลสามารถหาได้จากการวิเคราะห์แบบละเอียด (Ultimate Analysis) หรือการวิเคราะห์หาสัดส่วนขององค์ประกอบธาตุ อันประกอบไปด้วย คาร์บอน (Carbon, C) ไฮโดรเจน (Hydrogen, H) ออกซิเจน (Oxygen, O) ซัลเฟอร์ (Sulfur, S) ขี้เถ้า (Ash Content, Ash) และค่าความชื้น (Moisture Content, Mc) คล้ายกับวิธีการหาค่าความร้อนของชีวมวล แต่จะแตกต่างกันที่สมการที่ใช้ในการประเมินโดยการหาค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV) และค่าความร้อนต่ำ (Low

Heating Value, LHV) ของเชื้อเพลิงขยะ ซึ่งนิยมใช้สมการ Dulong Formula ดังแสดงในสมการดังต่อไปนี้

$$HHV = 33.801C + 144.158 [H - (0.125O)] + 9.413S$$ สมการที่ 2

$$LHV = HHV - 22.604\ H - 2.581\ Mc$$ สมการที่ 3

โดยที่ HHV ค่าความร้อนสูง (MJ/kg)

LHV ค่าความร้อนต่ำ (MJ/kg)

C สัดส่วนโดยน้ำหนักแห้งของคาร์บอน (%wt dry basis)

H สัดส่วนโดยน้ำหนักแห้งของไฮโดรเจน (%wt dry basis)

O สัดส่วนโดยน้ำหนักแห้งของออกซิเจน (%wt dry basis)

S สัดส่วนโดยน้ำหนักแห้งของซัลเฟอร์ (%wt dry basis)

จากสมการข้างต้น พบว่าหากต้องการทราบค่าความร้อนของขยะที่ทำการสำรวจนั้น จะต้องหาค่าความร้อน ขององค์ประกอบย่อยของขยะทั้ง 14 ประเภท ที่มีค่ามาตรฐานสัดส่วนโดยน้ำหนักแห้งของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4 จากนั้นทำการประเมินค่าความร้อนเฉลี่ยของขยะ จากสมการที่ต่อไปนี้ (นัฐพร, 2560)

$$HHV_{RDF} = \frac{\sum_{i=1}^{N} HHV_i M_i}{M_{Total}}$$ สมการที่ 4

$$LHV_{RDF} = \frac{\sum_{i=1}^{N} LHV_i M_i}{M_{Total}}$$ สมการที่ 5

โดยที่ HHV_{RDF} / LHV_{RDF} ค่าความร้อนของขยะรวม (MJ/kg)

HHV_i / LHV_i ค่าความร้อนของขยะที่เผาไหม้ได้แต่ละชนิด (MJ/kg)

M_i น้ำหนักของขยะแต่ละชนิด (kg)

M_{Total} น้ำหนักของขยะทั้งหมด (kg)

ตารางที่ 4 ค่ามาตรฐานองค์ประกอบธาตุของขยะประเภทต่าง ๆ

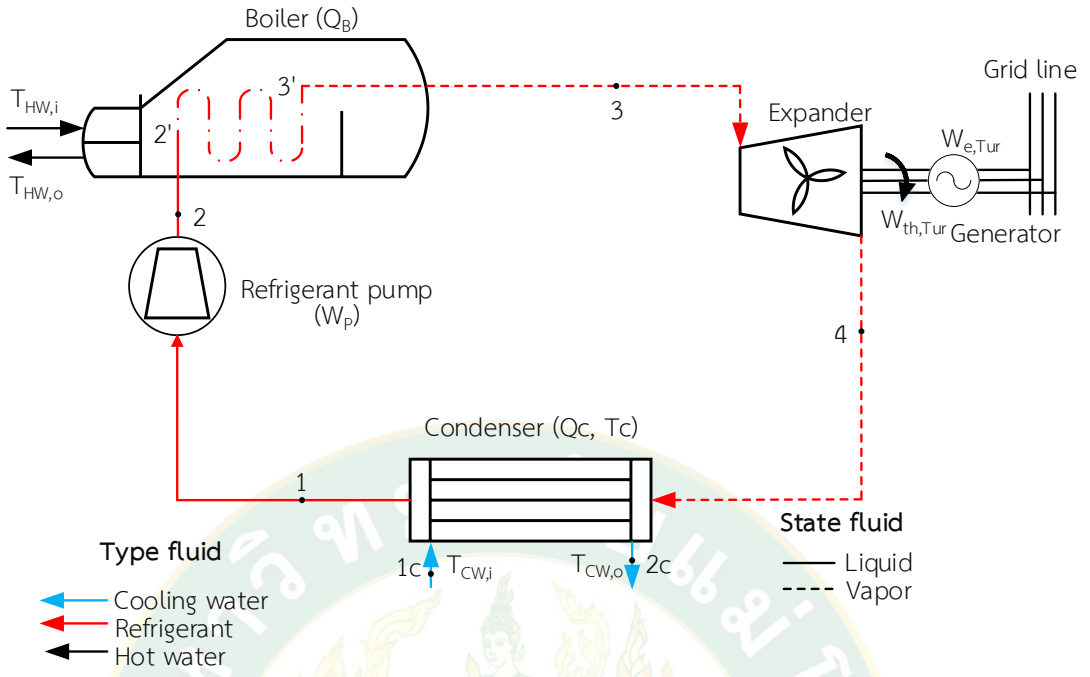
องค์ประกอบขยะ	สัดส่วนโดยน้ำหนักแห้ง (%wt dry basis)					
	C	H	O	N	S	Ash
เศษอาหาร ขยะอินทรีย์	48.0	6.4	32.6	2.6	0.4	10.0

องค์ประกอบขยะ	สัดส่วนโดยน้ำหนักแห้ง (%wt dry basis)					
	C	H	O	N	S	Ash
กระดาษ	43.5	6.0	44.0	0.3	0.2	6.0
กระดาษลัง กล่องกระดาษ	44.0	5.9	44.6	0.3	0.2	5.0
พลาสติกประเภทต่าง ๆ	66.0	7.2	22.8	-	-	10.0
ผ้า เศษผ้า	55.0	6.6	31.2	4.6	0.1	2.5
ยาง	78.0	10.0	-	2.0	-	10.0
หนัง	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0
เศษหญ้า ใบไม้	47.8	6.0	38.0	3.4	0.3	4.5
เศษไม้	49.5	6.0	42.7	0.2	0.1	1.5
แก้ว	0.5	0.1	0.4	0.1	-	98.9
อลูมิเนียม	4.8	0.6	4.5	0.1	-	90.0
โลหะ	4.8	0.6	4.5	0.1	-	90.0
ขยะอันตราย	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0
อื่น ๆ	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle, ORC)

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีหลักการทำงาน คือ การเปลี่ยนพลังงานความร้อนอุณหภูมิต่ำในช่วง 90-110 °C มาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เป็นระบบการทำงานที่ใช้หลักการของวัฏจักรแรงคินแต่ใช้สารทำงานในกลุ่มสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูง สามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำ หรือมีจุดเดือดต่ำ (Boiling Point) เมื่อเปรียบเทียบกับจุดเดือดของน้ำที่ใช้เป็นสารทำงานในระบบแรงคิน ทำให้ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ สามารถทำให้สารทำงานกลายสถานะจากของเหลวเป็นไอ เพื่อใช้ขับกังหันและผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้โดยใช้แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ (นัฐพร, 2560)

หลักการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เป็นวัฏจักรพื้นฐานทางอุดมคติซึ่งมีอุปกรณ์หลักและลักษณะการทำงานดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงอุปกรณ์การทำงานวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มี R-245fa เป็นสารทำงานในระบบ (แสดงคุณสมบัติของสารทำงานในตารางที่ 5) โดยสารทำงานในสถานะของเหลว (จุดที่ 1) จะถูกส่งมารับความร้อนที่หม้อต้ม (Boiler) (จุดที่ 2) โดยปั๊มสารทำงาน (Refrigerant Pump) จากนั้นสารทำงานจะรับความร้อนจากน้ำร้อน ภายใต้ความดันคงที่ ($P_2 = P_2'$) จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะของเหลวอิ่มตัวที่สภาวะ (จุดที่ 2′) กลายเป็นไออิ่มตัวที่ สภาวะ (จุดที่ 3′) และเป็นไอร้อนยวดยิ่งที่สภาวะ (จุดที่ 3) ในที่สุด ไอร้อนยวดยิ่งจะเข้าสู่กังหัน (Turbine) ขยายตัวและขับเพลาที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า จากนั้นความดันและอุณหภูมิของไอของสารทำงานที่ทางออกของกังหันจะลดลง (จุดที่ 4) ไหลเข้าไปยังเครื่องควบแน่นทำการถ่ายเทความร้อนกำน้ำหล่อเย็นมำให้สารทำงานควบแน่นกลายเป็นของเหลวและเริ่มต้นกระบวนการใหม่อีกครั้ง (นัฐพร, 2560)

ตารางที่ 5 คุณสมบัติทางกายภาพของสารทำงาน R-245fa (นัฐพร, 2560)

คุณสมบัติ	R-245fa
ชื่อทางเคมี	$CF_3CH_2CHF_2$
มวลโมเลกุล (kg/kmol)	134.05
อุณหภูมิจุดวิกฤต (°C)	154.01

คุณสมบัติ	R-245fa
ความดันจุดวิกฤต (MPa)	3.651
ความหนาแน่นจุดวิกฤต (kg/m^3)	516.08
จุดเดือด (^oC)	15.14
ความร้อนแฝงการกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 90 ^oC (kJ/kg)	143.92
การติดไฟ	No
เป็นพิษ	Yes
ALT (Year, Atmosphere Life Time)	7.6
ODP (R-11 related, Ozone Depletion Potential)	0
GWP (100 Years, Global Warming Potential)	1,030

สมการทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินประกอบด้วยอุปกรณ์หลักทั้งหมด 4 ตัว คือ หม้อต้ม กังหัน เครื่องควบแน่น และปั๊ม ซึ่งพิจารณาอุปกรณ์ที่อยู่ใต้กระบวนการสภาวะคงตัวและการไหลคงตัว (Steady State Steady Flow, SSSF) ทั้งสิ้น ให้การแปลงเปลี่ยนพลังงานศักดิ์และพลังงานจลน์มีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของงานและความร้อนจึงตัดทิ้งได้ ($q - w = \Delta h$) พิจารณาสมดุลน์พลังงานและสมดุลย์มวล ของอุปกรณ์แต่ละตัวในภาพที่ 3 ได้ดังนี้

- สมดุลพลังงาน (Energy balance)

  $\Sigma Q_i + \Sigma \dot{m}_i = \Sigma Q_o + \Sigma_o h_o$ สมการที่ 6

- สมดุลมวล (Mass balance)

  $\Sigma \dot{m}_i - \Sigma \dot{m}_o = 0$ สมการที่ 7

  สมการทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคิน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ปั๊ม (Pump)

  $W_P = \dot{m}_{ref}(h_2 - h_1)$ สมการที่ 8

  $W_P = \dot{m}_{ref} W_P = \dot{m}_{ref} (P_H - P_L) / \rho_1$ สมการที่ 9

  โดยที่ P ความดัน (kPa)

  ν_1 ปริมาตรจำเพาะของของไหลในสภาพของเหลวอิ่มตัวก่อนเข้าปั๊ม (m^3/kg)

  ρ_1 ความหนาแน่นของของไหลในสภาพของเหลวอิ่มตัวก่อนเข้าปั๊ม (kg/m^3)

- หม้อต้ม (Boiler)

  $Q_B = \dot{m}_{ref}(h_3 - h_2)$ สมการที่ 10

- กังหัน (Turbine)

  $W_{Tur} = \dot{m}_{ref}(h_3 - h_4)$ สมการที่ 11

  $W_{Tur,e} = \eta_{Machine}\ \eta_{Generator}\ W_{Tur}$ สมการที่ 12

  โดยที่ $\eta_{Machine}$ ประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลต่าง ๆ เช่นระบบเกียร์ทดรอบเป็นต้น

  $\eta_{Generator}$ ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- เครื่องควบแน่น (Condenser)

  $Q_C = \dot{m}_{ref}(h_4 - h_1)$ สมการที่ 13

- ประสิทธิภาพ (Efficiency)

  ประภาพสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

  $\eta_{th,R} = (W_{Tur} - W_P) / Q_B$ สมการที่ 14

  อัตราส่วนงานย้อนกลับ (Back Work Ratio, BWR)

  $BWR = W_P / W_{Tur}$ สมการที่ 15

การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วย (Levelized Cost, LC) สามารถประเมินได้จากปัจจัยต่างๆ เช่น ค่าอัตราส่วนลด (Discount Rate, r) ค่าดอกเบี้ยธนาคาร ค่าเงินเฟ้อ และค่าเสียโอกาส เป็นต้น ดังนั้นต้องใช้สมการต่อไปนี้ในการวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วย (นัฐพร, 2560)

$$LC = \frac{Inv + \sum_{t=1}^{n} \frac{PC}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} M_{SMD}\, t_{OP}}$$ สมการที่ 16

เมื่อ LC ค่าต้นทุนต่อหน่วย (Baht/kg_{SMD})

Inv มูลค่าการลงทุน (Baht)

PC ค่าใช้จ่ายรายปี (Baht/y)

M_{SMD} มวลของผลิตภัณฑ์ (kg_{SMD})

n อายุของบริษัท (y)

r ค่าอัตราส่วนลด (%)

t_{OP} เวลาการทำงานต่อปี (h/y)

อนึ่งการวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Levelized Electricity Cost, LEC) สามารถประเมินได้จากปัจจัยต่างๆ เช่น ค่าอัตราส่วนลด (Discount Rate, r) ค่าดอกเบี้ยธนาคาร ค่าเงินเฟ้อ และค่าเสียโอกาส เป็นต้น ซึ่งค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยจะมีค่าไม่เท่ากันกับอัตรารับซื้อไฟฟ้าเสมอ เนื่องจากการประเมินค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย ไม่พิจารณาระยะเวลาการรับซื้อไฟฟ้าหรือระยะเวลาการคืนทุน ดังนั้นต้องใช้สมการต่อไปนี้ในการวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (นัฐพร, 2560)

$$LEC = \frac{Inv + \sum_{t=1}^{n} \frac{PEC}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{W_{ORC}\, t_{OP}}{(1+r)^t}} \qquad \text{สมการที่ 17}$$

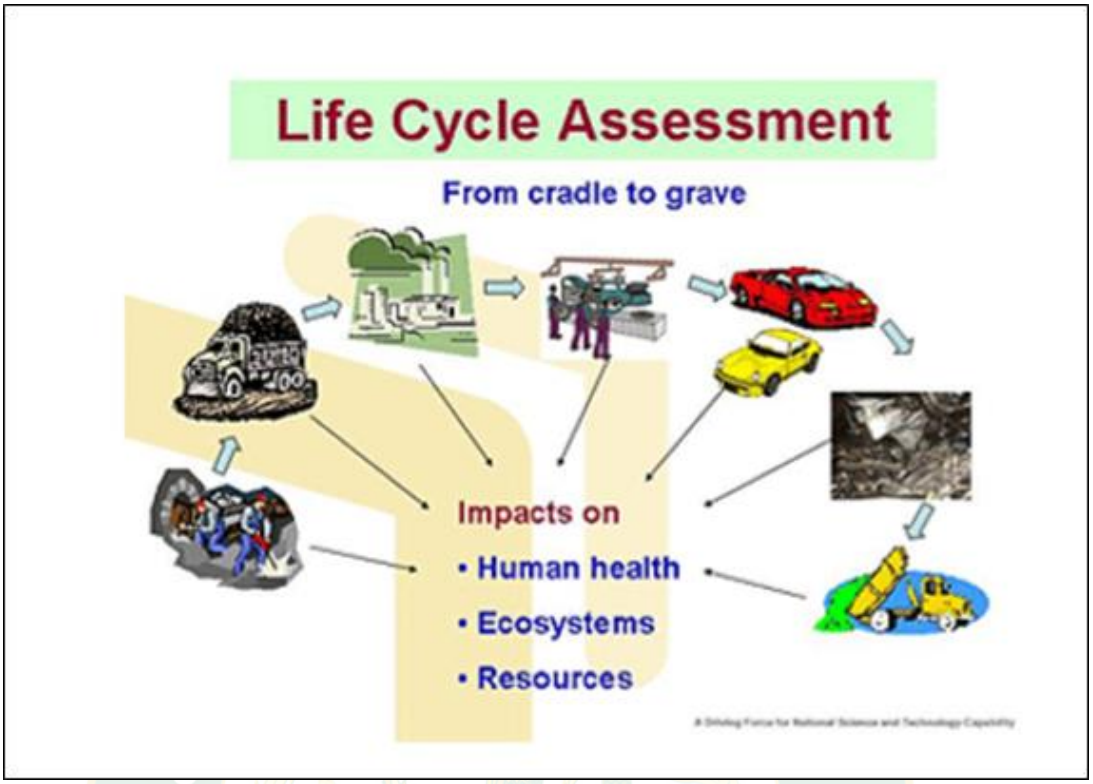
เมื่อ LEC ค่าต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/kg)

PEC ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าต่อปี (Baht/y)

W_{ORC} ปริมาณการผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (kW_e)

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment, LCA)

ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการประเมินและวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณ ที่เกี่ยวเนื่องกับผลิตภัณฑ์ทั้งวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ การจัดหาวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งการใช้งานผลิตภัณฑ์ การนำมาใช้ใหม่หรือการใช้ซ้ำ (Reuse) รวมถึงการกำจัดผลิตภัณฑ์ทิ้งหลังจากการใช้งาน ซึ่งเป็นการพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย โดยศึกษาปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ ของเสียจากกระบวนการต่าง ๆ ที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศสุขอนามัยของชุมชนและระบบสิ่งแวดล้อมโลก เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Cradle to Grave)

ที่มา: คู่มือการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ สสท.

มีผู้ให้นิยามของการประเมินวัฏจักรชีวิตไว้มากมาย ยกตัวอย่างดังนี้ “เป็นกระบวนการที่ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตและกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องกันในรูปของวัตถุดิบและพลังงาน ซึ่งการประเมินนี้จะทำตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัฑ์อย่างละเอียด เช่น กระบวนการผลิต การบรรจุ การคัดแยก การบำรุงรักษา และการแปรรูปใช้ใหม่ รวมถึงกิจกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยยึดหลักของระบบนิเวศ สุขอนามัย และการนำทรัพยากรมาใช้เป็นหลัก” ซึ่งถูกนิยามโดย สมาคมพิษวิทยาด้านสิ่งแวดล้อม และสารเคมี (Society of Environment Toxicology and Chemical, SETAC) (คู่มือการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ สสท) เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต” ซึ่งถูกนิยามไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO14040 โดยองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization, ISO) การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ มีความซับซ้อนกว่าเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เนื่องจากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตไม่ได้มองเฉพาะการปล่อยสารพิษ

ออกมาเพียงอย่างเดียว แต่ยังศึกษาถึงผลกระทบต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมของโลก เช่น การเกิดภาวะเรือนกระจกที่ส่งผลให้โลกร้อนขึ้น โดยการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตจะเน้นผลเชิงปริมาณของผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ และใช้ข้อมูลผลกระทบนั้นมาพิจารณาเพื่อกำหนดแนวทางในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ของภาคอุตสาหกรรม และแนวทางการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมของภาครัฐและภาคเอกชน รวมถึงใช้เป็นข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคการประเมินวัฏจักรชีวิตประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. การบ่งชี้และระบุปริมาณของภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดช่วงชีวิตของ ผลิตภัณฑ์ในทุกกิจกรรม (Environmental Loads)

2. การประเมินและหาค่าของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้น (Environmental Impacts)

3. การประเมินหาโอกาสในการปรับปรุงสิ่งแวดล้อม

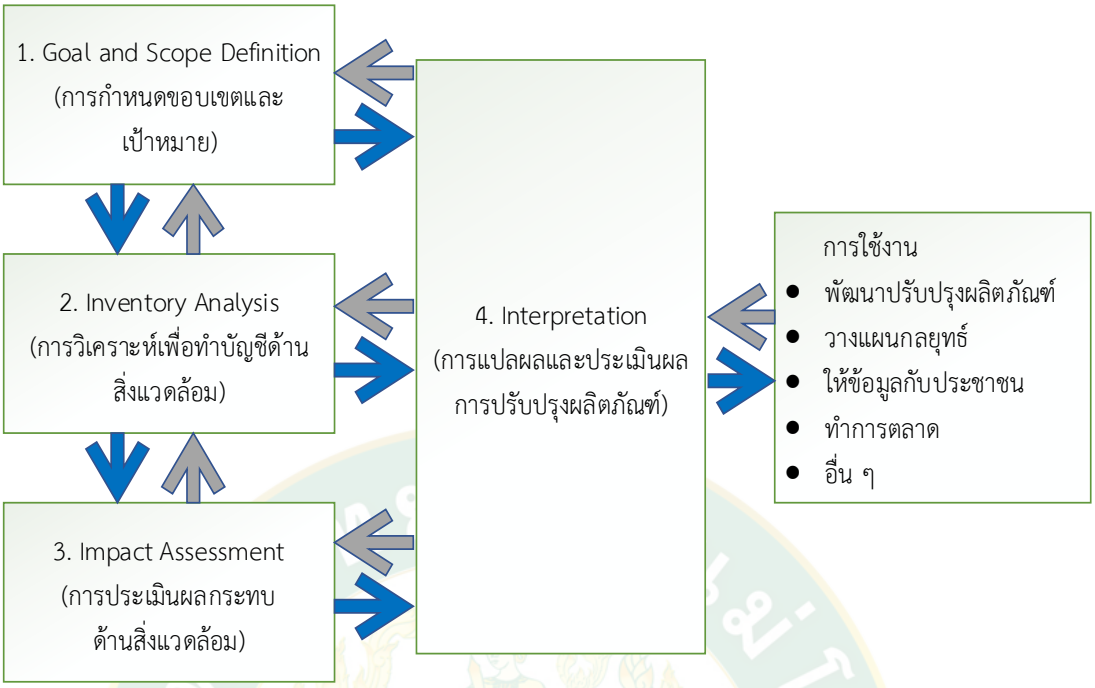
วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ISO 14040-14043 ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็น 4 ขั้นตอน อันประกอบไปด้วย หลักดังแสดงในภาพที่ 2 ตามหน่วยการทำงาน (Functional Unit, FU) โดยสามารถคำนวณออกมาในรูปผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (Impact Category) ดังสมการต่อไปนี้

$$IC = \sum_i (A_i \times EF_i) \qquad \text{สมการที่ 18}$$

เมื่อ IC ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (kg CO_2-eq, kg CFC-11-eq, kg SO_2-eq, kg 1,4 DB-eq)

A_i กิจกรรมต่าง ๆ (Unit)

EF_i ค่าเฟคเตอร์ของผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภท (kg CO_2-eq/Unit, kg CFC-11-eq/Unit, kg SO_2-eq/Unit, kg 1,4 DB-eq/Unit)



ภาพที่ 3 กรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตตามอนุกรมมาตรฐาน 14040

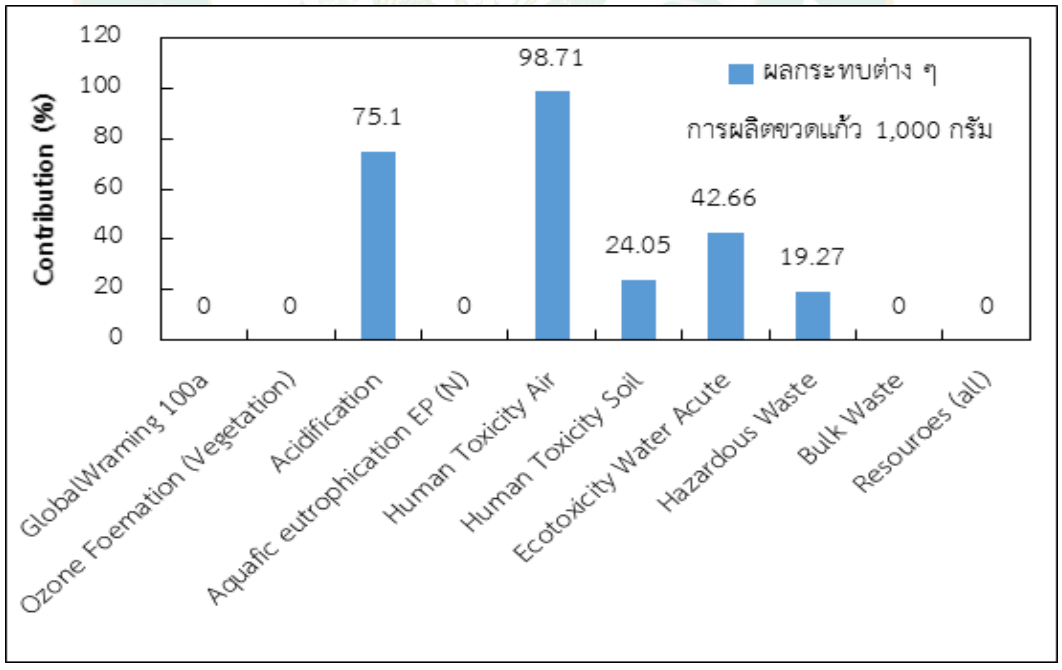
การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก (Exergetic Life Cycle Assessment, ELCA)

ระบบด้านความร้อนมีการประเมินคุณค่าของพลังงาน โดยวัดจากปริมาณอัตราการถ่ายเทความร้อนของพลังงานนั้น ๆ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หรือบางครั้งเรียกว่า “พลังงานที่สามารถนำมาใช้งานได้ (Avaiable Energy)” อย่างไรก็ตามพลังงานที่ถูกใช้ประโยชน์ไปแล้ว และมีคุณภาพต่ำลงนั้น ยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่อได้ โดยมีหลักการการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปแบบ พลังงานความร้อนสะสม ที่ต้องการประเมินทำตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัฑ์อย่างละเอียด เช่น กระบวนการผลิต การบรรจุ การคัดแยก การบำรุงรักษา และการแปรรูปใช้ใหม่ รวมถึงกิจกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ซึ่งวิธีการประเมินเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชั่น 8.5.0 โดยวิธีซิงเกิล อิสชู่ (Single Issue) และคำนวณออกมาในรูปแบบความต้องการพลังงานสะสม (Cumulative Exergy Demand) มีหน่วยเป็น เมกะจูล (MJ)

การตรวจสอบเอกสาร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก เพื่อการจัดการขยะมูลฝอยร่วมกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

เลิศชัย (2553) ได้ศึกษางานวิจัยการประเมินวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วบรรจุน้ำดื่มขนาด 500 ml ขอบเขตการศึกษาครอบคลุมในช่วงชีวิตตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบเพื่อการผลิต กระบวนการผลิต และการกำจัดหลังหมดอายุใช้งาน ในการประเมินใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิตสำเร็จรูป Simapro 7.1 โดยใช้หลักการคำนวณของ การออกแบบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์โรงงานอุตสาหกรรม (Environmental Design of Industrial Products, EDIP) ซึ่งเป็นวิธีการประเมินโดยแบ่งกลุ่ม ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและจำแนกกลุ่มของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในขั้นตอนการแปลผลโดยไม่ได้วิเคราะห์เพื่อหาค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในการวิเคราะห์สามารถแบ่งกลุ่มผลกระทบได้เป็นสามด้าน คือ กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศ และกลุ่มผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากรผล การศึกษาพบว่า กลุ่มผลกระทบที่ทำให้เกิดความเป็นพิษในอากาศต่อมนุษย์ มาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตขวดแก้ว (Raw Material) 98.71% กลุ่มผลกระทบความเป็นกรดมาจากกระบวนการผลิต (Production Process) 75.10% ส่วนกลุ่มผลกระทบที่เกิดความเป็นพิษทางน้ำเรื้อรังมาจากกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle Cullet) 42.66% ตามลำดับ ผลการวิจัยนี้สามารถระบุถึงสาเหตุหลักของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของแต่ละช่วงชีวิตของขวดแก้วบรรจุน้ำดื่ม เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 4

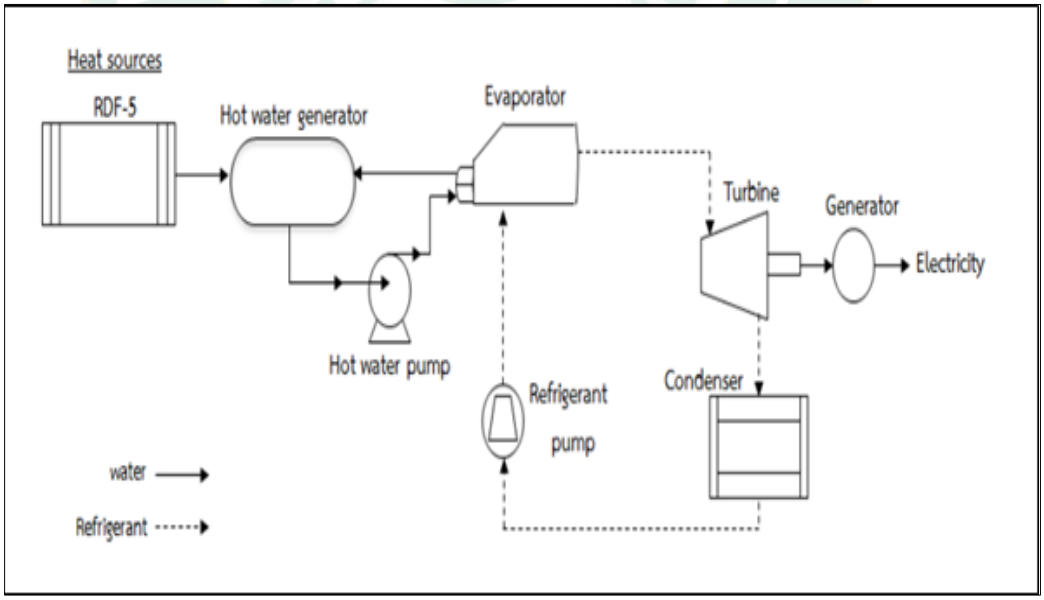


ภาพที่ 4 การประเมินวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วบรรจุน้ำดื่มขนาด 500 ml

ที่มา: เลิศชัย (2553)

เนตรชนากานต์ และ เศรษฐ์ (2560) ได้ศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า จากขยะเทศบาลด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการเติบโตของเศรษฐกิจส่งผลให้ปริมาณขยะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนเกิดเป็นวิกฤตปัญหาขยะทำให้ประเทศไทยไม่สามารถจัดการขยะได้ทัน ด้วยพื้นที่ฝังกลบมีจำกัดทำให้เกิดผลกระทบต่างๆ ตามมา อีกทั้งยังส่งผลให้ก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดภาวะโลกร้อน ที่กำลังสร้างความเสียหายและเป็นภัยต่อมนุษย์มากที่สุดในปัจจุบันเพิ่มขึ้นอีกด้วย ดังนั้นเพื่อให้เกิดการจัดการขยะอย่างยั่งยืน การนำขยะมาใช้ประโยชน์โดยการนำมาผลิตไฟฟ้าจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่นอกจากจะแก้ไขปัญหาขยะล้นเมืองแล้ว ยังสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก และลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศได้อีกด้วย งานวิจัยนี้จึงได้นำหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต มาใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

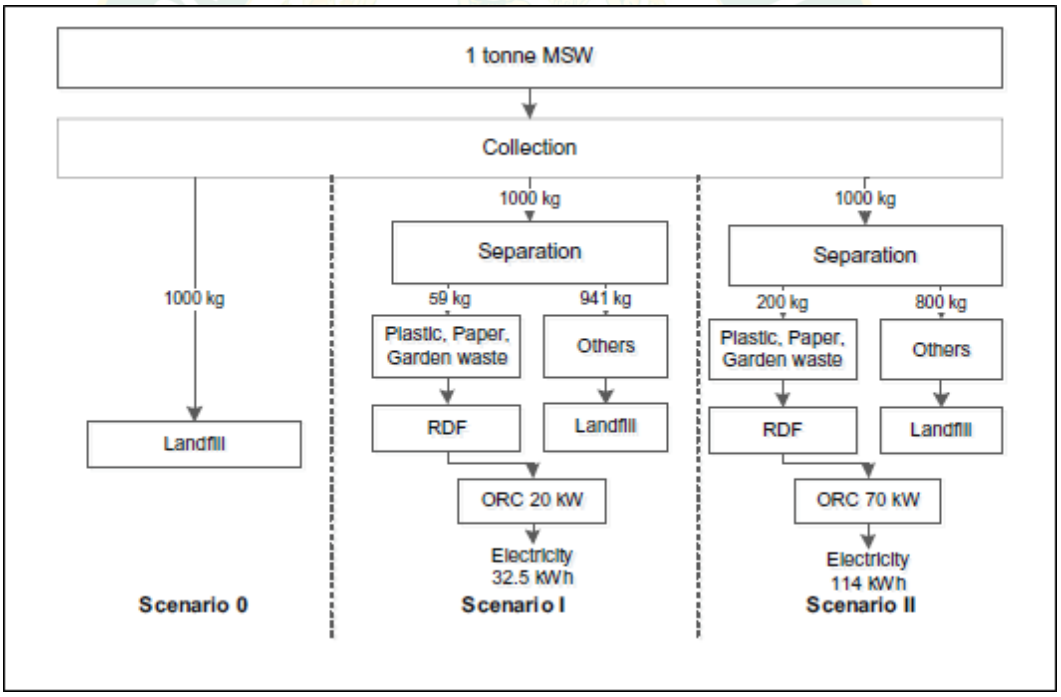
จากการศึกษาพบว่าการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 1 kWh ตลอดวัฏจักรชีวิต มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.93 kg CO_2-eq เทียบเท่าสามารถช่วยลดปริมาณ ขยะที่นำไปฝังกลบได้ถึง 30% และลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ถึง 51.47% เมื่อเทียบกับการจัดการขยะด้วยวิธีการเทกอง 34.31% เมื่อเทียบกับการจัดการขยะด้วยวิธีการฝังกลบ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผนผังของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ในการใช้เทคโนโลยีเชื้อเพลิงขยะ

ที่มา: เนตรชนากานต์ และ เศรษฐ์ (2560)

สุรัตน์ และคณะ (2559) ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก โดยการดำเนินการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนร่วมกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน พบว่าผลการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก โดยการใช้วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เพื่อการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน แสดงให้เห็นว่าการนำขยะมูลฝอยชุมชนมาเป็นเชื้อเพลิงขยะแบบเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะร่วมกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เป็นประโยชน์ในทุก ๆ ด้าน ทั้งพลังงาน สิ่งแวดล้อม และทรัพยากรการยึดครองดินก็สามารถลดลงได้ สำหรับการลดลงของขยะมูลฝอยที่จะนำไปฝังกลบลดการบริโภคทรัพยากรได้ถึง 79% ความพยายามที่จะใช้ประโยชน์จากขยะมูลฝอยชุมชน สามารถลดผลกระทบได้มากกว่า ถ้ามีการติดตั้งระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่มีความจุเพิ่มขึ้น 70 kW_e เพื่อสนับสนุนศักยภาพของการผลิตเชื้อเพลิงขยะให้มากขึ้น มีประโยชน์ทั้งด้านการใช้พลังงานและด้านทรัพยากรมากกว่าความจุที่เล็ก เป็นสัญญาณว่าระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เป็นแนวทางที่สะอาดและยั่งยืนในการจัดการขยะ ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผนผังของสถานการณ์ต่างๆของการจัดการของเสียแม่ฮ่องสอน

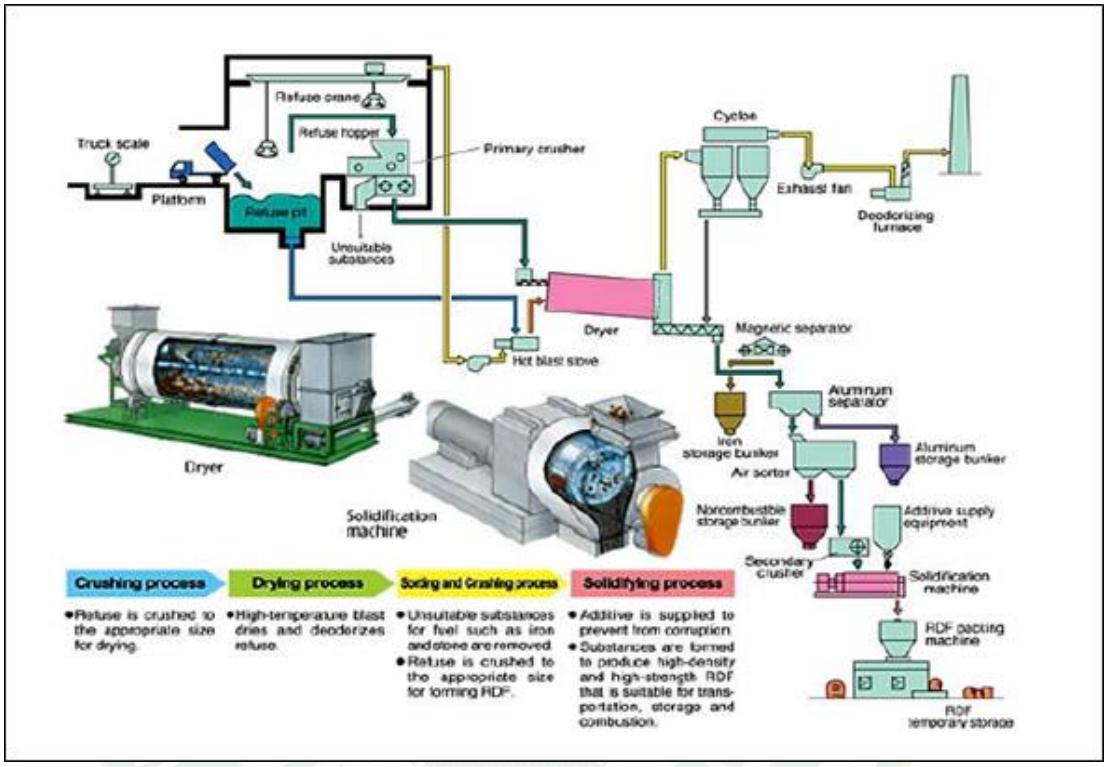
ที่มา: สุรัตน์ และคณะ (2559)

ทนงเกียรติ และคณะ (2543) ได้ศึกษาปัญหาขยะที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยอย่างต่อเนื่อง โดยมีวิธีการจัดการขยะในปัจจุบัน คือ การจ้างเหมาบริษัทเอกชนขนขยะไปทิ้งในหลุมฝังกลบที่อยู่ใน

พื้นที่อื่น ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องดำเนินการจัดการขยะในมหาวิทยาลัยดังกล่าว แผนงานวิจัยโครงการสาธิตการเปลี่ยนขยะในมหาวิทยาลัยเป็นพลังงานในรูปความร้อน เป็นการสำรวจข้อมูล ปริมาณและประเภทของขยะในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เพื่อหาศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงขยะ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตเชื้อเพลิง โดยมี 2 โครงการย่อยที่เชื่อมโยงกัน กล่าวคือ โครงการย่อยที่ 1 โดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่เป็นการศึกษาและดำเนินการนำขยะชุมชนมาแปลงเป็นเชื้อเพลิงแข็งในรูปแบบเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ และโครงการย่อยที่ 2 โดยมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เป็นการนำขยะเชื้อเพลิงมาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป และยังมีการศึกษาข้อกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ผลการศึกษาศักยภาพด้านปริมาณขยะ พบว่าปริมาณขยะเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีค่าอยู่ที่ 4.28 Ton/d และมหาวิทยาลัยแม่โจ้มีปริมาณขยะ 1.55 Ton/d สำหรับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่า ประเภทของขยะที่สามารถนำมาผลิตเชื้อเพลิงจะเป็นพลาสติกตามด้วยกระดาษ และเศษไม้ ซึ่งมีปริมาณรวม 2.09 Ton/d มีความเพียงพอในการผลิตเชื้อเพลิงจากเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ ในระดับสาธิตซึ่งกำหนดกำลังการผลิตที่ 200 kg/d โครงการย่อยที่ 1 โครงการสาธิตการผลิตเชื้อเพลิงขยะจากขยะชุมชน: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่เป็นการศึกษาและดำเนินการนำขยะชุมชนมาแปลงเป็นเชื้อเพลิงแข็งในรูป เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ และมีการศึกษาด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และต้นทุนของขยะเชื้อเพลิงแบบเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ

ผลการพัฒนากระบวนการผลิต พบว่าสามารถผลิตขยะเชื้อเพลิงขยะได้ และมีคุณสมบัติต่าง ๆ ของเชื้อเพลิงเป็นไปตามค่ามาตรฐาน ผลการคำนวณค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ด้วยวิธี Eco-indicator 95 พบว่าผลกระทบด้านสุขภาพของมนุษย์ที่มากที่สุด คือ ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิงขยะ ในเบื้องต้น พบว่ามีต้นทุนเท่ากับ 3.58 Baht/kg หรือ 3,581 Baht/Ton ของขยะเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ โครงการย่อยที่ 2 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้เป็นการนำขยะเชื้อเพลิง ที่ผลิตจากโครงการย่อยที่ 1 มาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน ผลศึกษาพบว่าขยะเชื้อเพลิงสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้ 45% ที่ภาระทางไฟฟ้า 63% (18 kW) ผลการวิเคราะห์ไอเสีย พบว่ามีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของเครื่องยนต์ดีเซล นอกจากนี้อุณหภูมิที่บริเวณการเผาไหม้จะมีค่าประมาณ 1,100-1,200 °C ซึ่งสูงมากพอในการกำจัดไดออกซินที่เกิดจากพลาสติกในขยะเชื้อเพลิง ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า โครงการจะมีความคุ้มทุนเมื่อราคาน้ำมันดีเซลต้องไม่ต่ำกว่า 34 Baht/Liter และราคาขยะเชื้อเพลิงไม่เกิน 4.0 Baht/kg โดยจะมีจุดคุ้มทุนประมาณ 6 y ในกรณีที่ใช้ขยะเชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิง 100% มีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 2.82-4.73

Baht/kWh และค่าไฟฟ้า ส่วนเพิ่มจากการผลิตไฟฟ้าจากขยะเชื้อเพลิงที่สอดคล้องกับต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง ควรอยู่ที่ 3.5-4.5 Baht/kWh ดังแสดงในภาพที่ 7

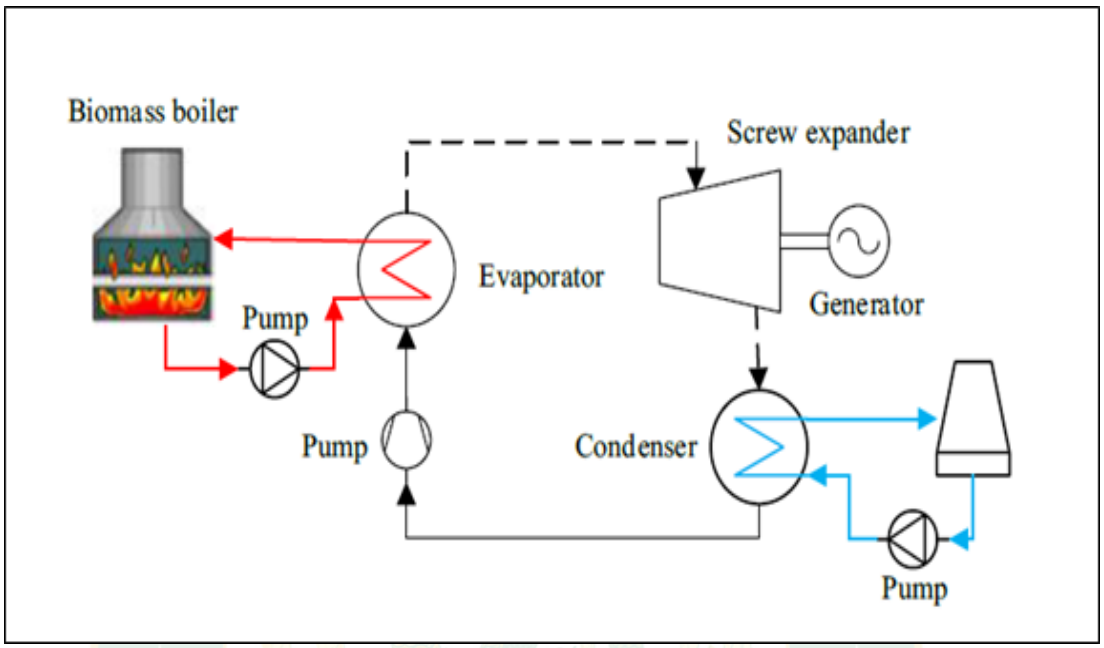


ภาพที่ 7 ตัวอย่างกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง

ที่มา: ทนงเกียรติ และคณะ (2543)

อภิวัฒน์ นัฐพร และจักรพันธ์ (2558) ได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 20 kW_e โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในการผลิตน้ำร้อนป้อนให้กับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้น้ำร้อนอุณหภูมิอยู่ในช่วง 90 °C-120 °C ผลการศึกษาพบว่า วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีประสิทธิภาพประมาณ 8% และเมื่อนำผลจากการทดสอบไปวิเคราะห์หาต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า (Electricity Cost, EC) จากเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีศักยภาพในพื้นที่ภาคเหนือ อันประกอบด้วยแกลบ ซังข้าวโพด และเศษไม้ผลจากงานวิจัยพบว่าราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของแกลบ ซังข้าวโพด และเศษไม้ มีค่าประมาณ 9.46 Baht/kWh 8.89 Baht/kWh และ 10.33 Baht/kWh ตามลำดับ และต้นทุนราคาชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ที่เหมาะสมสำหรับค่าการรับซื้อไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลของประเทศไทยที่ 5.34

Baht/kWh อยู่ที่ 1,150 Baht/Ton 680 Baht/Ton และ 540 Baht/Ton ตามลำดับดังแสดงในภาพที่ 8



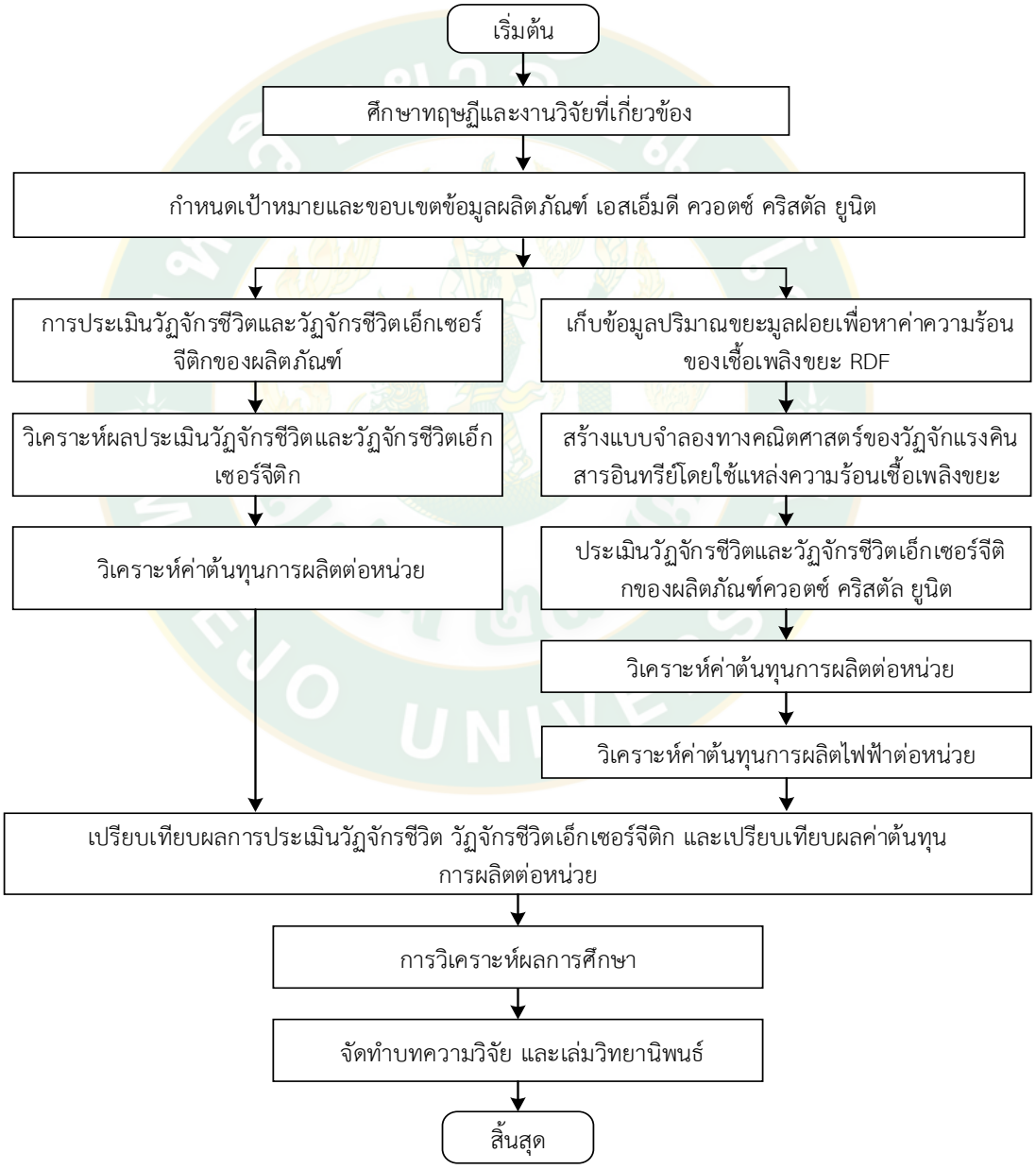
ภาพที่ 8 แผนภาพการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

ที่มา: อภิวัฒน์ นัฐพร และจักรพันธ์ (2558)

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น พบว่า ยังไม่มีงานวิจัยใดทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกโดยการจัดการขยะมูลฝอย ร่วมกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยในครั้งนี้ที่ต้องการศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ด้านพลังงาน และด้านเศรษฐศาสตร์

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังแสดงในภาพที่ 9 และมีรายละเอียดแสดงดังต่อไปนี้



ภาพที่ 9 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาปริมาณขยะมูลฝอยของบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด

จากการศึกษาข้อมูลขยะมูลฝอยในบริษัท พบว่า ปริมาณขยะมูลฝอยในบริษัท ในช่วงปี พ.ศ. 2560 มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามลำดับ และได้นำข้อมูลดังกล่าวไปประเมินหาค่าความร้อนของขยะที่ได้จากการสำรวจ โดยสามารถหาได้จากการวิเคราะห์แบบละเอียด หรือการวิเคราะห์หาสัดส่วนขององค์ประกอบธาตุ อันประกอบไปด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ ขี้เถ้า และค่าความชื้น คล้ายกับวิธีการหาค่าความร้อนของชีวมวล แต่จะแตกต่างกันที่สมการที่ใช้ในการประเมินโดยการหาค่าความร้อนสูง และค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงขยะ เพื่อหาปริมาณเชื้อเพลิงความร้อนที่ป้อนให้กับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยมีรายละเอียดแสดงในภาพที่ 10 ปริมาณขยะทั้งหมดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ เป็นข้อมูลสำคัญที่ต้องการทำการสำรวจ โดยสามารถดำเนินการได้หลายวิธี เช่น สอบถามข้อมูลจากผู้รับผิดชอบ หรือทำการประสานงานกับเจ้าหน้าที่ เพื่อทำการรวบรวมขยะทั้งหมดในพื้นที่บริษัท และทำการชั่งน้ำหนักขยะสามารถทำการประเมินปริมาณขยะได้อย่างถูกต้อง โดยการหาปริมาณขยะเฉลี่ยต่อหัวประชากร ดังแสดงในสมการที่ 19 (มีระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.20) ซึ่งเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่นิยมทำการประเมินร่วมกับข้อมูลทางสถิติของจำนวนประชากรในพื้นที่ย้อนหลัง เพื่อประเมินหาแนวโน้มจำนวนประชากรที่จะเพิ่มขึ้นในปีต่อไป รวมถึงจำนวนขยะที่จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (นัฐพร, 2560)

$$n = [N / (1 + Ne^2)]$$ สมการที่ 19

โดย n คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

N คือ ขนาดของประชากร

e คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่าง

ภาพที่ 10 บริเวณที่จัดเก็บขยะมูลฝอยของบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด

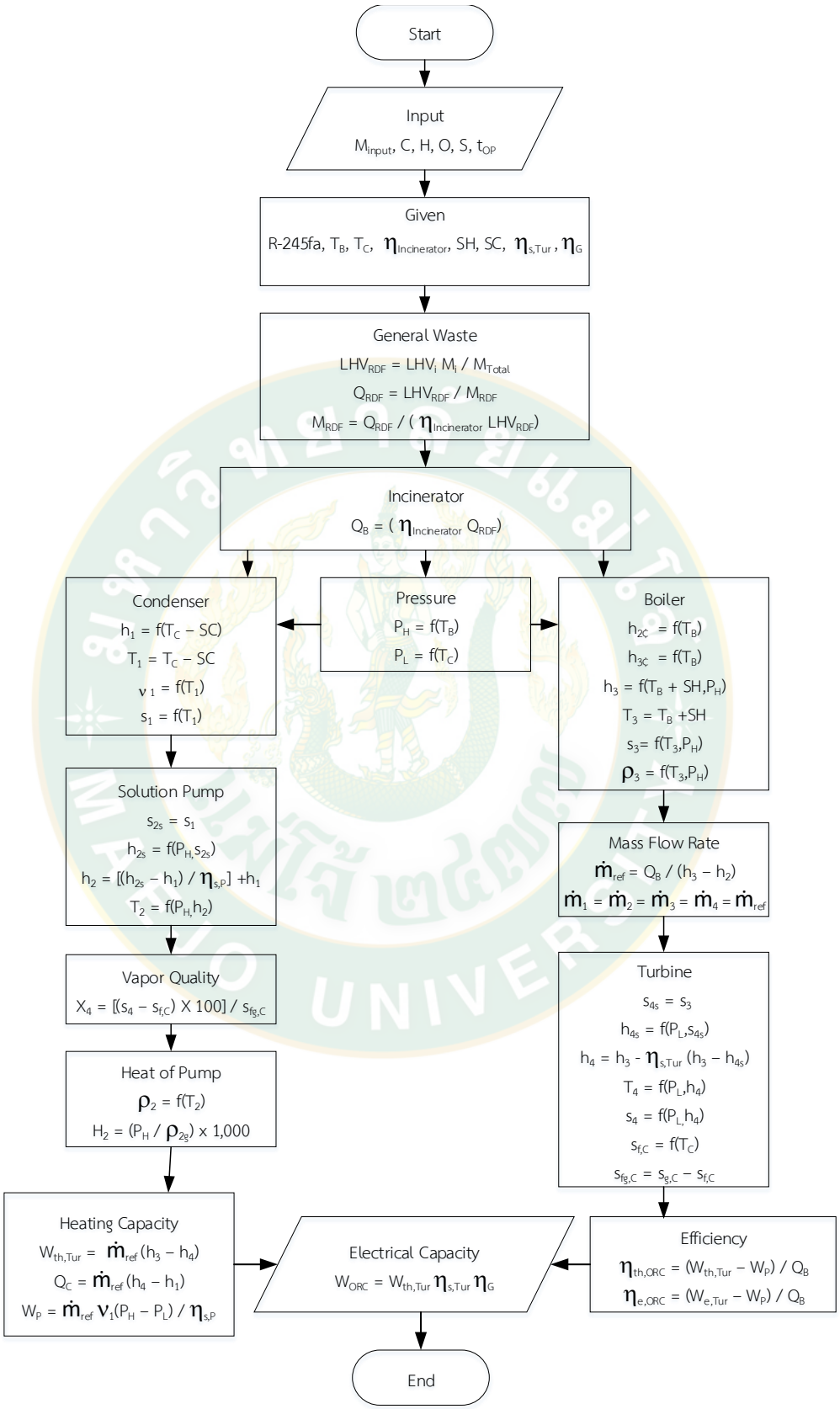
การศึกษาปริมาณขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือร่วมกับขยะในบริษัท

จากการศึกษาข้อมูลขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ พบว่า ปริมาณขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือจังหวัดลำพูนในช่วงปี พ.ศ. 2560 มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามลำดับ และได้นำข้อมูลดังกล่าวไปประเมินหาค่าความร้อนของขยะที่ได้จากการสำรวจ และเก็บรวบรวมข้อมูลสามารถหาได้จากการวิเคราะห์แบบละเอียด หรือการวิเคราะห์หาสัดส่วนขององค์ประกอบธาตุ อันประกอบไปด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ ขี้เถ้า และค่าความชื้น คล้ายกับวิธีการหาค่าความร้อนของชีวมวล แต่จะแตกต่างกันที่สมการที่ใช้ในการประเมินโดยการหาค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงขยะ เพื่อหาปริมาณเชื้อเพลิงความร้อนที่ป้อนให้กับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยปริมาณขยะทั้งหมดที่เกิดขึ้นในพื้นที่เขตนิคมอุตสาหกรรม เป็นข้อมูลสำคัญที่ต้องการทำการสำรวจสามารถดำเนินการได้หลายวิธี เช่น สอบถามข้อมูลจากผู้รับผิดชอบ หรือทำการประสานงานกับเจ้าหน้าที่ เพื่อทำการรวบรวมขยะทั้งหมดในพื้นที่ในเขตนิคมอุตสาหกรรม ในที่นี้ได้ทำการสุ่มตัวอย่างขยะดังกล่าวโดยใช้สมมุติฐานแบบเดียว กับการวิเคราะห์ปริมาณขยะในบริษัทเคียวเซร่า คริสตัล ดีไวน์ (ประเทศไทย) จำกัด และทำการชั่งน้ำหนักขยะสามารถทำการประเมินปริมาณขยะได้อย่างถูกต้อง โดยการหาปริมาณชยะเฉลี่ยต่อหัวประชากร ดังแสดงในสมการที่ 19 (มีระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.20) เพื่อประเมินหาแนวโน้มจำนวนประชากรที่จะเพิ่มขึ้นในปีต่อไป รวมถึงจำนวนขยะที่จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (นัฐพร, 2560) รายละเอียดแสดงในภาพที่ 11

ภาพที่ 11 พื้นที่โดยรวมของนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือจังหวัดลำพูน

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยมีแหล่งความร้อนเป็นเชื้อเพลิงขยะมูลฝอยในบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวน์ (ประเทศไทย) จำกัด และในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ เพื่อนำไปคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการคำนวณแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แผนผังแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

การวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย

โดยการวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย ของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิตร่วมกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อเพลิงขยะ โดยรายละเอียดดังแสดงในสมการที่ 16

การวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตต่อหน่อย

โดยการวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วย ของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิตร่วมกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อเพลิงขยะจำนวน 1 Piece โดยรายละเอียดดังแสดงในสมการที่ 17

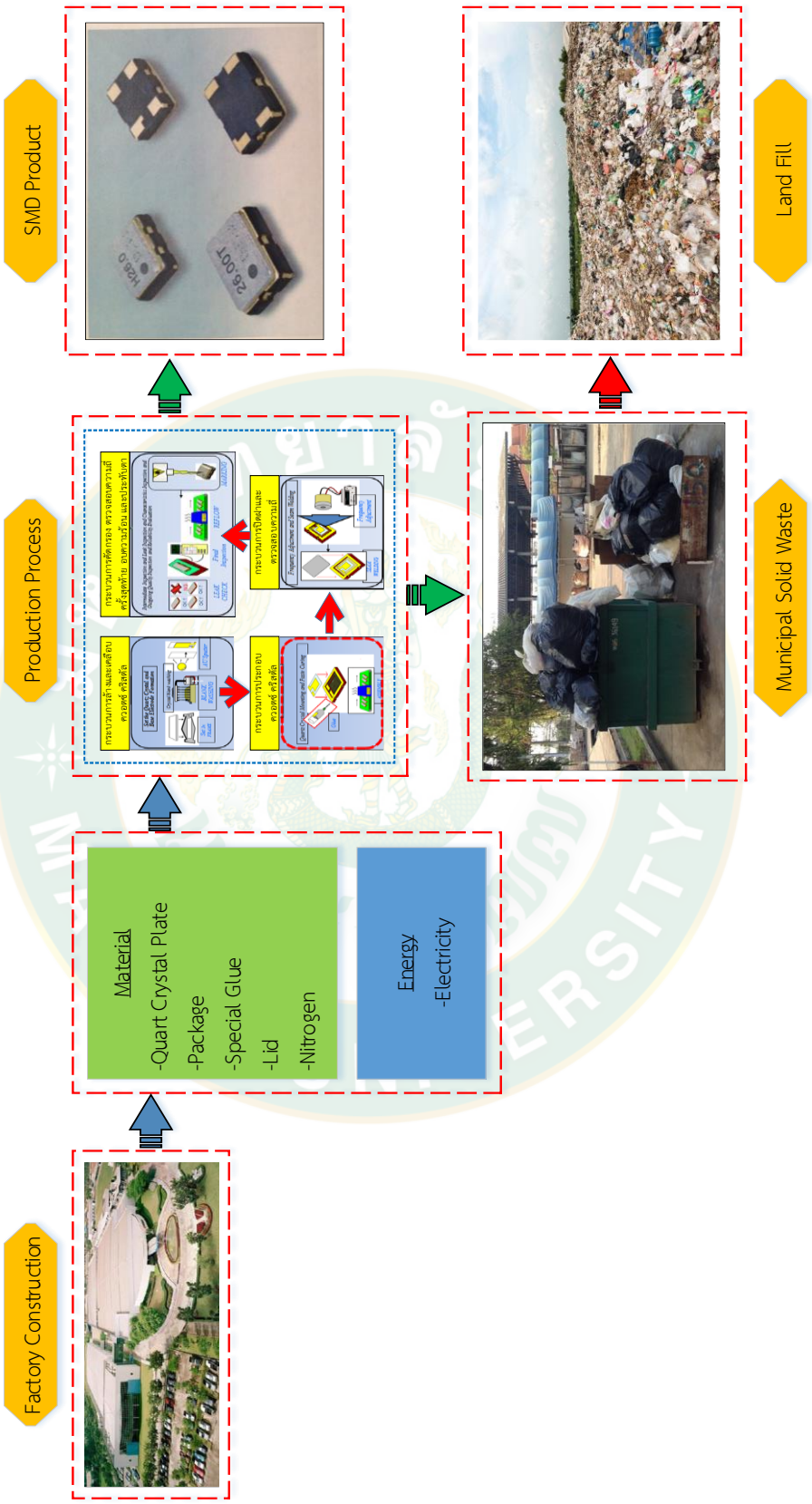
การศึกษาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ก่อนการปรับปรุง

ศึกษาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ก่อนการปรับปรุงโดยมีรายละเอียดในการศึกษาจำแนกออกมาเป็นหัวข้อย่อยดังต่อไปนี้

กำหนดเป้าหมายการศึกษา คือ ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิตตลอดวัฏจักรชีวิตก่อนการปรับปรุง ตลอดอายุการใช้งาน 30 y

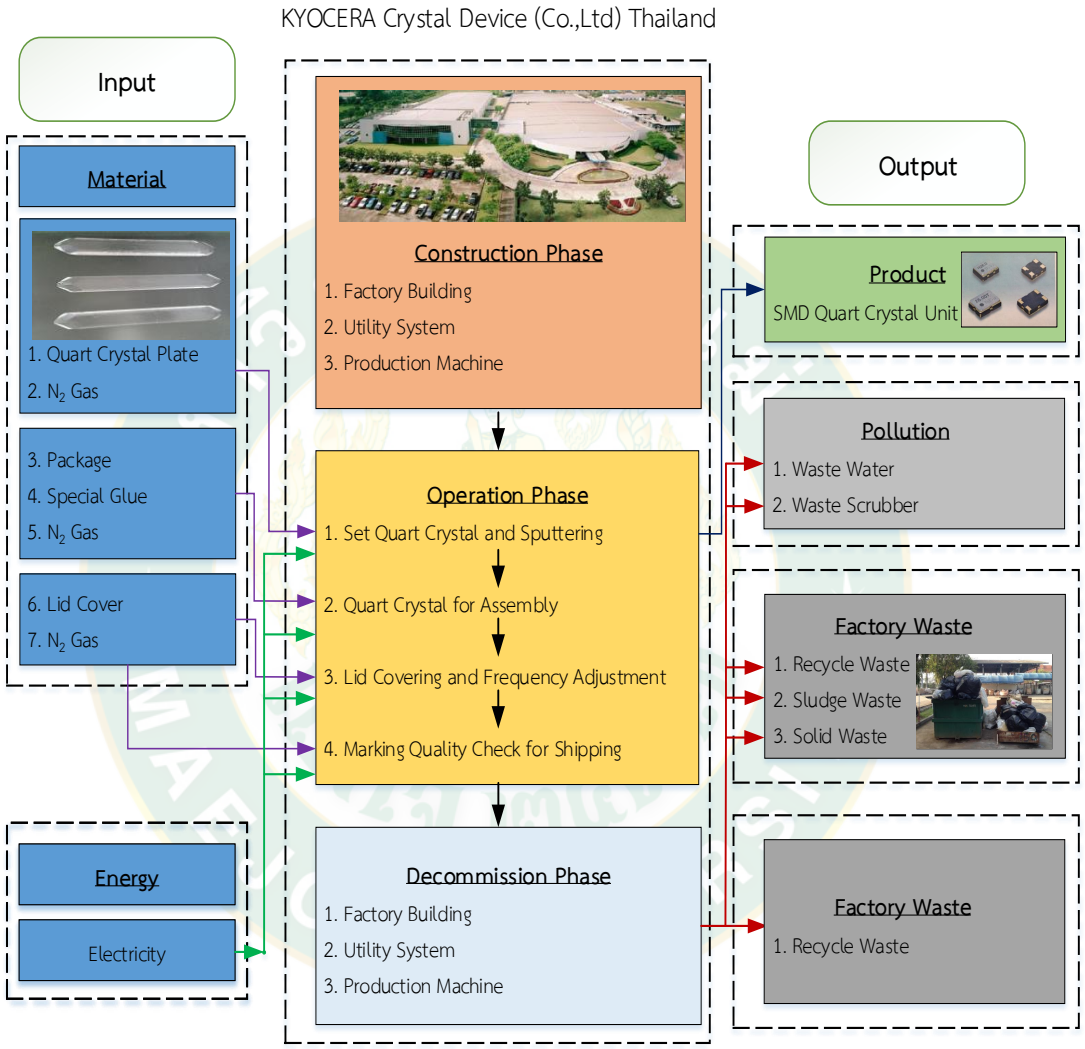
ขอบเขตการศึกษา คือ ศึกษาตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แบบ เครเดิล ทู เกท (Cradle to Gate) โดยพิจารณาตั้งแต่โครงสร้าง การรับวัตถุดิบ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ วัสดุอุปกรณ์ และการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ไม่พิจารณาในส่วนการส่งออก โดยมีรายละเอียดแสดงในภาพที่ 13

หน่วยการทำงาน คือ ผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิตจำนวน 1 Piece



ภาพที่ 13 แผนผังของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิตก่อนปรับปรุง

จัดทำบัญชีรายการข้อมูลของบริษัท เพื่อประเมินผลกระทบในส่วนโครงสร้างอาคารโรงงาน ส่วนการดำเนินงาน และส่วนการรื้อถอน ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต โดยมีรายละเอียดแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ก่อนปรับปรุง

การประเมินผลกระทบทั้ง 6 ด้าน คือ 1 ภาวะโลกร้อน (Climate Change Human Health, CC) kg CO_2-eq 2 การลดลงของชั้นโอนโซน (Ozone Depletion, OD) kg CFC-11-eq 3 ภาวะฝนกรด (Terrestrial Acidification, TA) kg SO_2-eq 4 ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity, HT) kg 1,4 DB-eq 5 พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก (Terrestrial Eco toxicity, TE) kg 1,4 DB-eq และความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด (Freshwater Eco toxicity, FE) kg 1,4 DB-eq โดยใช้โปรแกรม

SimaPro เวอร์ชั่น 8.5.0 โดยวิธี ReCiPi Midpoint (H) หรือการวิเคราะห์ผลกระทบขั้นกลางแบบลำดับชั้น เพื่อหาปริมาณการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้ง 6 ด้าน เนื่องจากผลกระทบดังกล่าวมีการควบคุม ให้เป็นไปตามมาตรฐานของระบบการดำเนินกิจการของบริษัทและในเขตนิคมอุตสาหกรรม

ทำการแปรผลและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต จำนวน 1 Piece ว่าเกิดผลกระทบทั้ง 6 ด้าน ๆ ใดเกิดผลกระทบมากที่สุดเพื่อนำไปปรับปรุงและพิจารณาการแก้ไขปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมต่อไป

การศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเตาเผาขยะชนิดเผาตรง

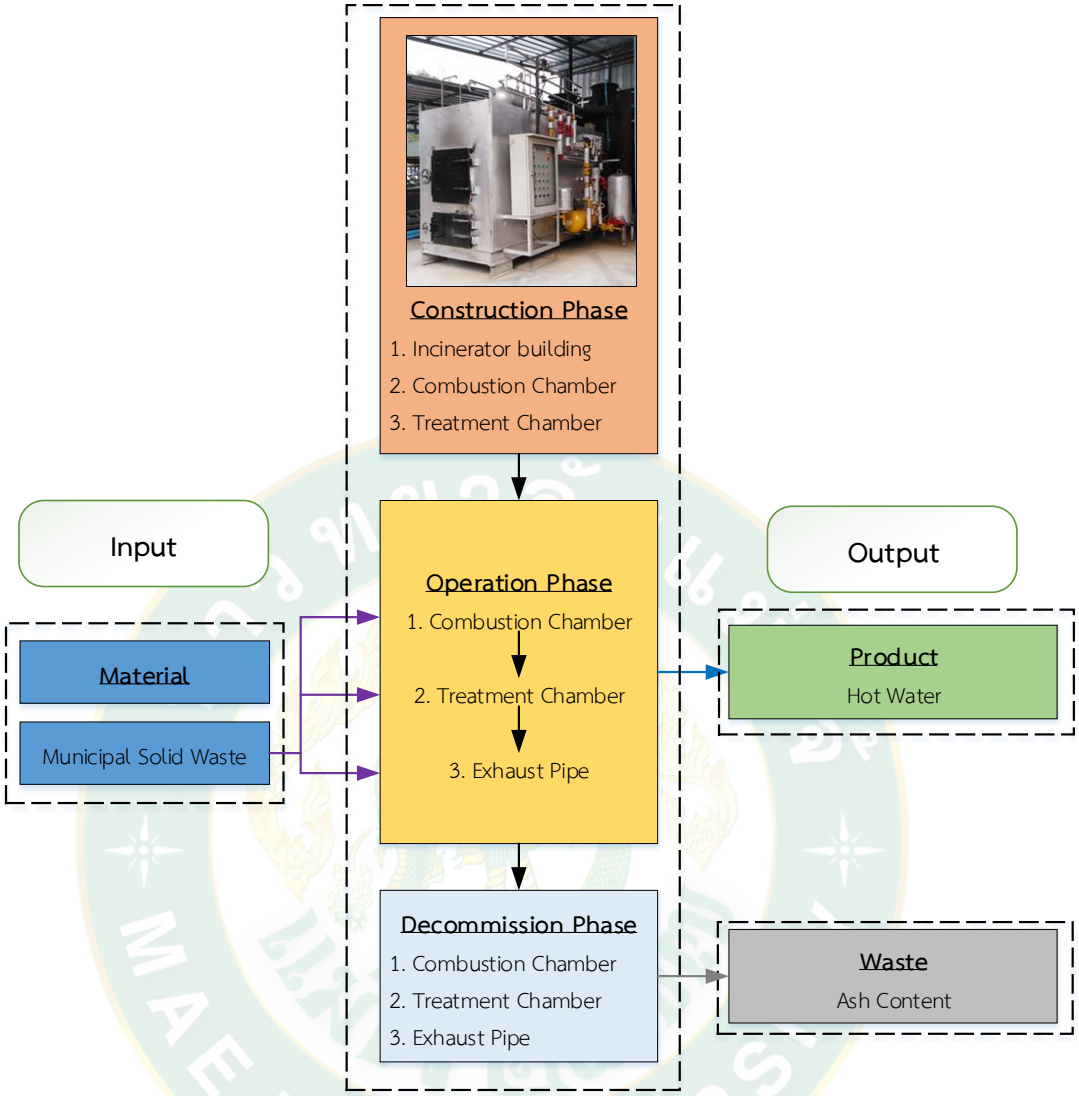
ศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเตาเผาขยะชนิดเผาตรง เพื่อนำผลที่ได้ไปประเมินกระบวนการผลิตของควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังทำการปรับปรุง เมื่อมีการติดตั้งเตาเผาขยะร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

เป้าหมายการศึกษา คือ ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตเตาเผาขยะชนิดเผาตรงตลอดอายุใช้งาน 30 y

ขอบเขตการศึกษา คือ ศึกษาวัฏจักรชีวิตของเตาเผาขยะชนิดเผาตรง แบบ เครเดิล ทู เกท โดยพิจารณาตั้งแต่โครงสร้าง การรับวัตถุดิบ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ วัสดุอุปกรณ์ และการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์

หน่วยการทำงาน คือ ขยะมูลฝอยจำนวน 1 kg

จัดทำบัญชีรายการข้อมูลของเตาเผาขยะชนิดเผาตรง เพื่อประเมินผลกระทบในส่วนโครงสร้าง ส่วนการดำเนินงาน และส่วนการรื้อถอน โดยมีรายละเอียดแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 การประเมินวัฏจักรชีวิตของเตาเผาขยะชนิดเผาตรง

ทำการแปรผลและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ของเตาเผาขยะชนิดเผาตรงจำนวน 1 kg ว่าเกิดผลกระทบทั้ง 6 ด้าน ๆ ใดเกิดผลกระทบมากที่สุดเพื่อนำไปปรับปรุงและพิจารณาการแก้ไขปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมต่อไป

การศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

ศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เพื่อนำผลที่ได้ไปประเมินผลกระทบของกระบวนการผลิตของควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลัง

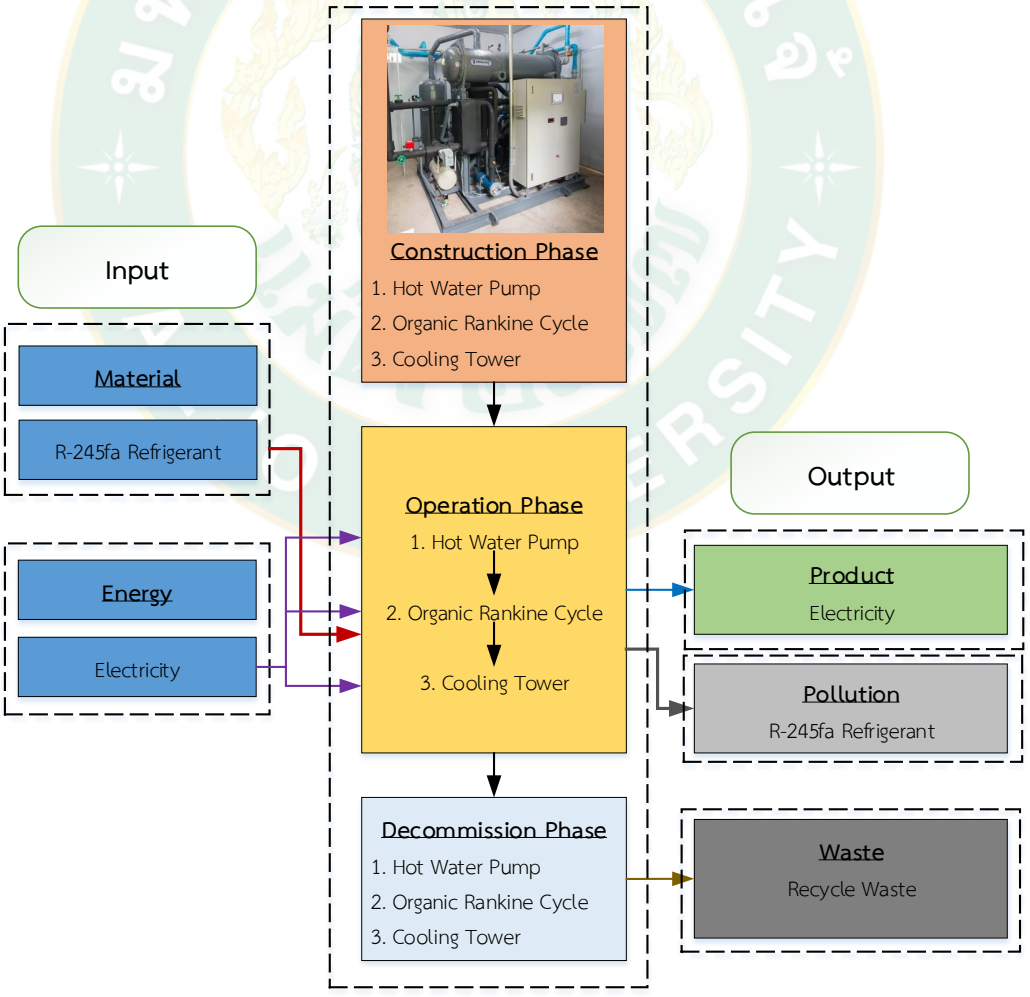
ทำการปรับปรุง เมื่อมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เพื่อใช้ในการผลิตของโรงงาน

เป้าหมายการศึกษา คือ วัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ตลอดอายุใช้งาน 30 y

ขอบเขตการศึกษา คือ วัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ แบบ เครเดิล ทู เกท โดยพิจารณาตั้งแต่โครงสร้าง การรับวัตถุดิบ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ วัสดุอุปกรณ์ และการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์

หน่วยการทำงาน คือ พลังงานไฟฟ้า 1 kWh

จัดทำบัญชีรายการข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เพื่อประเมินผลกระทบในส่วนโครงสร้าง ส่วนการดำเนินงาน และส่วนการรื้อถอน โดยมีรายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 วัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

การประเมินผลกระทบทั้ง 6 ด้าน โดยใช้โปรแกรม SimaPro เวอร์ชั่น 8.5.0 โดยวิธี ReCiPi Midpoint (H)

ทำการแปรผลและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จำนวน 1 kWh ว่าเกิดผลกระทบทั้ง 6 ด้าน ๆ ใดเกิดผลกระทบมากที่สุดเพื่อนำไปปรับปรุงและพิจารณาการแก้ไขปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมต่อไป

การศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุง

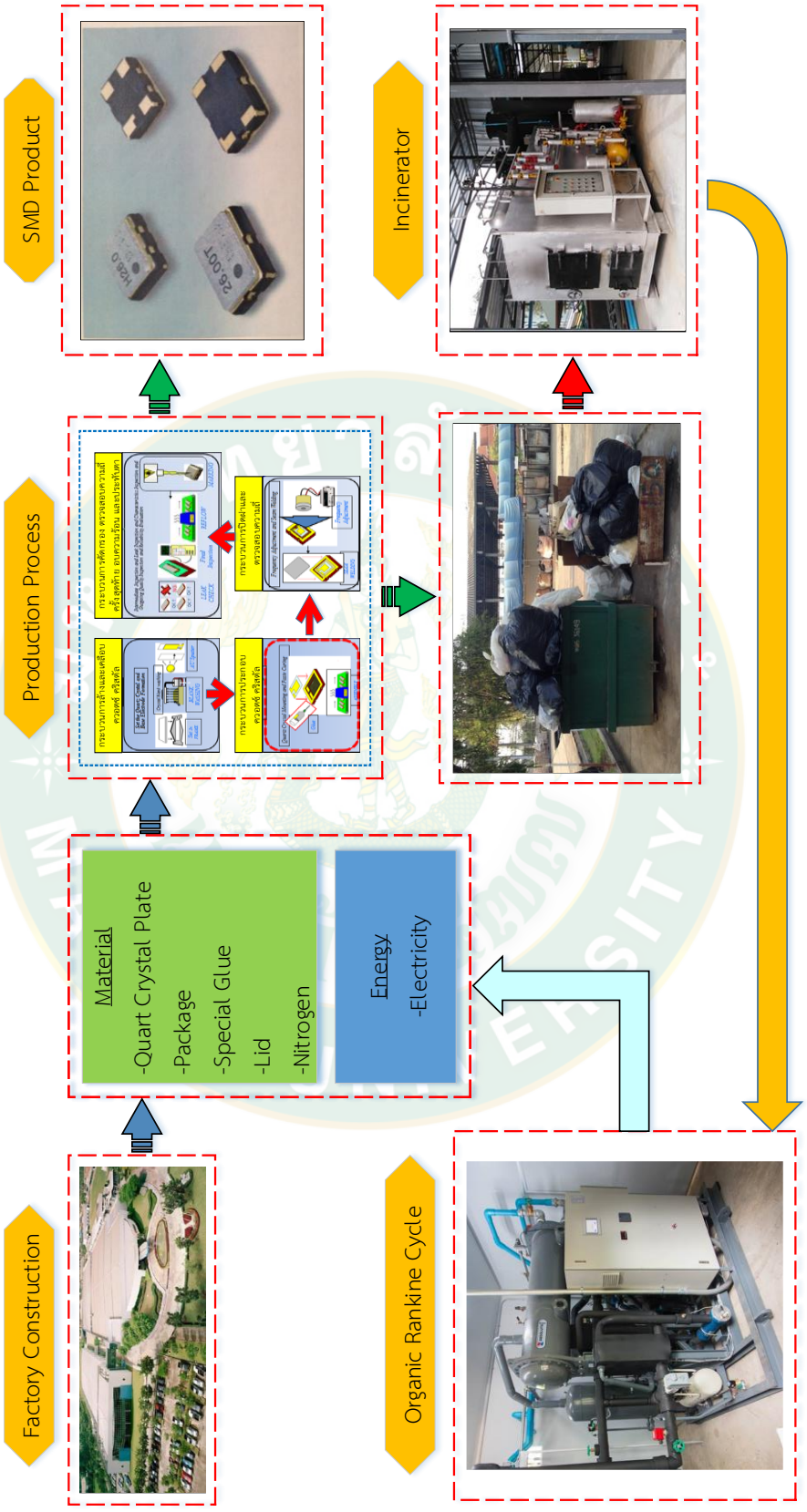
ศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุงที่ทำงานร่วมกับเตาเผาขยะและระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

เป้าหมายการศึกษา คือ ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุง ตลอดอายุการใช้งาน 30 y

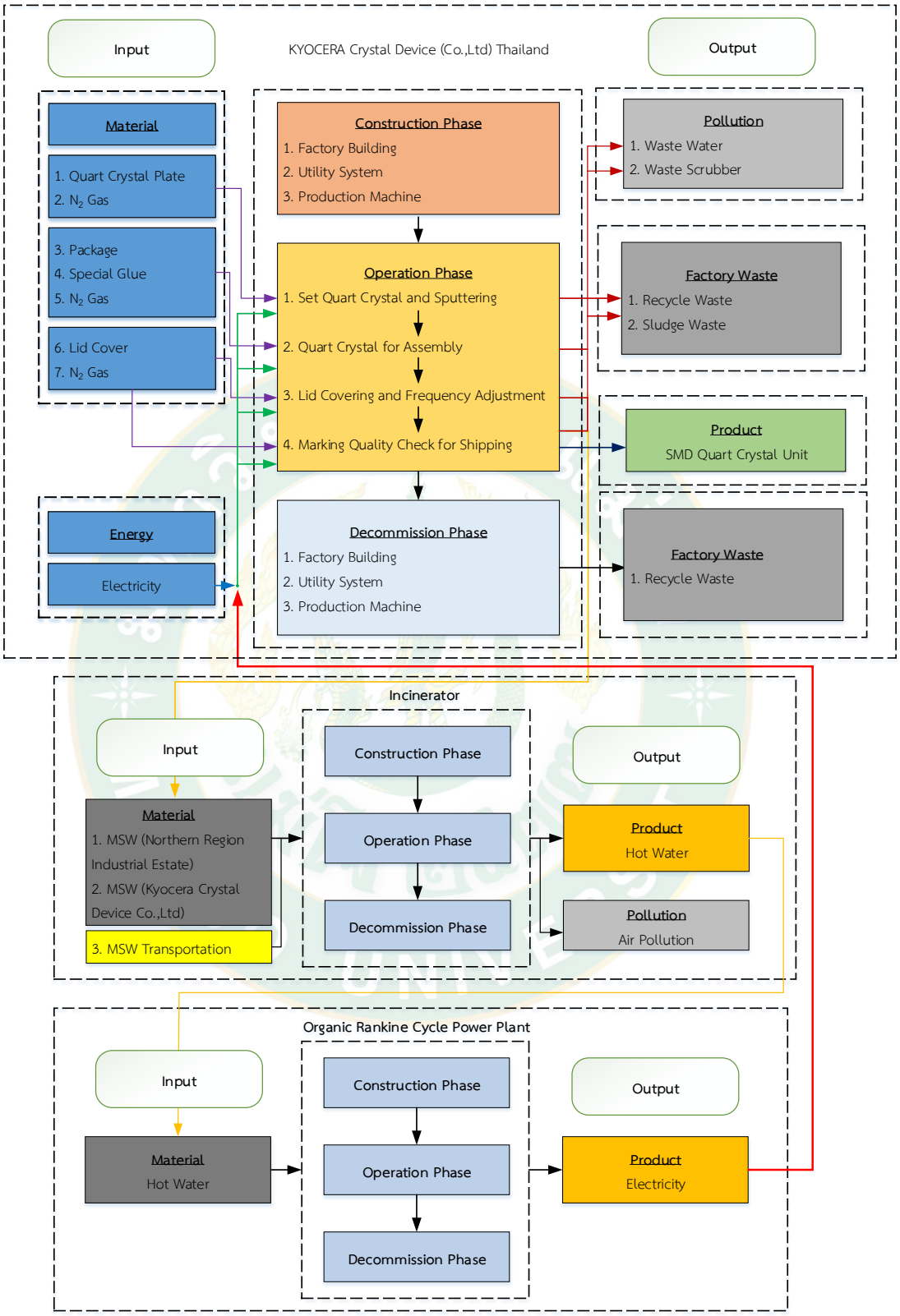
ขอบเขตการศึกษา คือ ทำการศึกษาตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แบบ เครเดิล ทู เกท โดยพิจารณาตั้งแต่โครงสร้าง การรับวัตถุดิบ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ วัสดุอุปกรณ์ และการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ไม่พิจารณาในส่วนการส่งออก

หน่วยการทำงาน คือ ผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต จำนวน 1 Piece

จัดทำบัญชีรายการข้อมูลของกระบวนการผลิต เพื่อประเมินผลกระทบในส่วนโครงสร้างอาคารโรงงาน ส่วนการดำเนินงาน และส่วนการรื้อถอน ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุงโดยการประเมินผลกระทบทั้ง 6 ด้าน โดยใช้โปรแกรม SimaPro เวอร์ชั่น 8.5.0 โดยวิธี ReCiPi Midpoint (H) โดยมีรายละเอียดแสดงในภาพที่ 17 และ 18



ภาพที่ 17 แผนผังของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุง



ภาพที่ 18 วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุง

ทำการแปรผลและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุงของกระบวนการผลิต โดยการทำงานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จำนวน 1 Piece ว่าเกิดผลกระทบทั้ง 6 ด้าน ๆ ใดเกิดผลกระทบมากที่สุดเพื่อนำไปปรับปรุงและพิจารณาการแก้ไขปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมต่อไป

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ก่อนและหลังการปรับปรุง

ศึกษาวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอรจีติกของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ก่อนและหลังการปรับปรุง พร้อมทั้งศึกษาวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอรจีติกของเตาเผาขยะชนิดเผาตรง และศึกษาวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอรจีติกของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยมีรายละเอียดในการศึกษา คือ การประเมินปริมาณและคุณภาพด้านพลังงานความร้อนหน่วยเป็น เมกะจูล (MJ) จำแนกออกมาเป็นหัวข้อย่อยดังต่อไปนี้

กำหนดเป้าหมายการศึกษา คือ ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอรจีติกของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต เตาเผาขยะ และวัฏแรงคินสารอินทรีย์ตลอดอายุการใช้งาน 30 y

ขอบเขตการศึกษา คือ ศึกษาตลอดวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอรจีติกของผลิตภัณฑ์แบบ เครเดิล ทู เกท โดยพิจารณาตั้งแต่โครง การรับวัตถุดิบ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ วัสดุอุปกรณ์ และการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ไม่พิจารณาในส่วนการส่งออก โดยมีรายละเอียดแสดงในภาพที่ 13-18

จัดทำบัญชีรายการข้อมูลก่อนการปรับปรุง เพื่อหาความต้องการพลังงานสะสมด้านโครงสร้างอาคารโรงงาน ด้านการดำเนินงาน และด้านการรื้อถอน ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต จัดทำบัญชีรายการข้อมูลของเตาเผาขยะชนิดเผาตรง เพื่อหาความต้องการพลังงานสะสมด้านโครงสร้าง ด้านการดำเนินงาน และด้านการรื้อถอน พร้อมทั้งจัดทำบัญชีรายการข้อมูลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เช่นกันทั้งนี้ในการจัดทำบัญชีข้อมูลให้แยกทำทีละระบบเพื่อไม่ให้สับสน เนื่องจากปริมาณข้อมูลมีจำนวนมาก

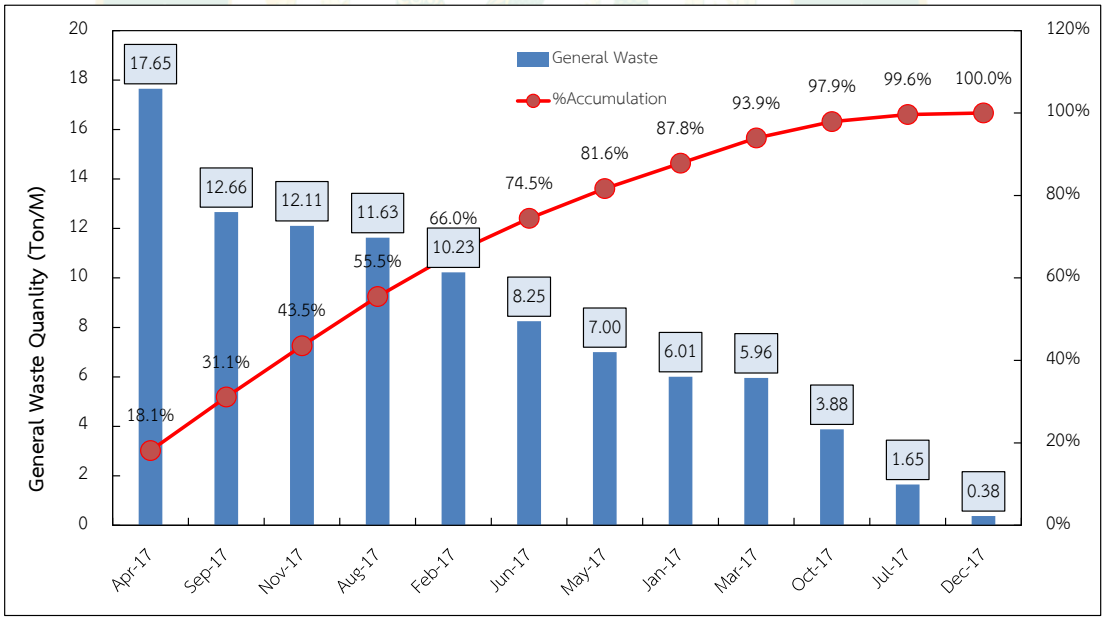
ทำการแปรผลและประเมินผลด้านความต้องการพลังงานสะสม ของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ก่อนและหลังการปรับปรุงร่วมกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อเพลิงขยะ

บทที่ 4
ผลและการอภิปรายผล

จากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ซึ่งมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

ผลสำรวจปริมาณขยะมูลฝอยในบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวน์ (ประเทศไทย) จำกัด

จากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ จากผู้ที่รับผิดชอบด้านสิ่งแวดล้อมของบริษัท พบว่า ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในบริษัทปี พ.ศ. 2560 มีปริมาณขยะมูลฝอยรวมทั้งหมด 97.41 Ton/y โดยมีปริมาณขยะมูลฝอยมากที่สุดในเดือนเมษายน จำนวน 17.65 Ton รองลงมา คือ เดือนกันยายน จำนวน 12.66 Ton เดือนพฤษจิกายน 12.11 Ton เดือนสิงหาคม 11.63 Ton และอันดับสุดท้าย คือ เดือนธันวาคม 0.38 Ton ตามลำดับ รายละเอียดแสดงในภาพที่ 19



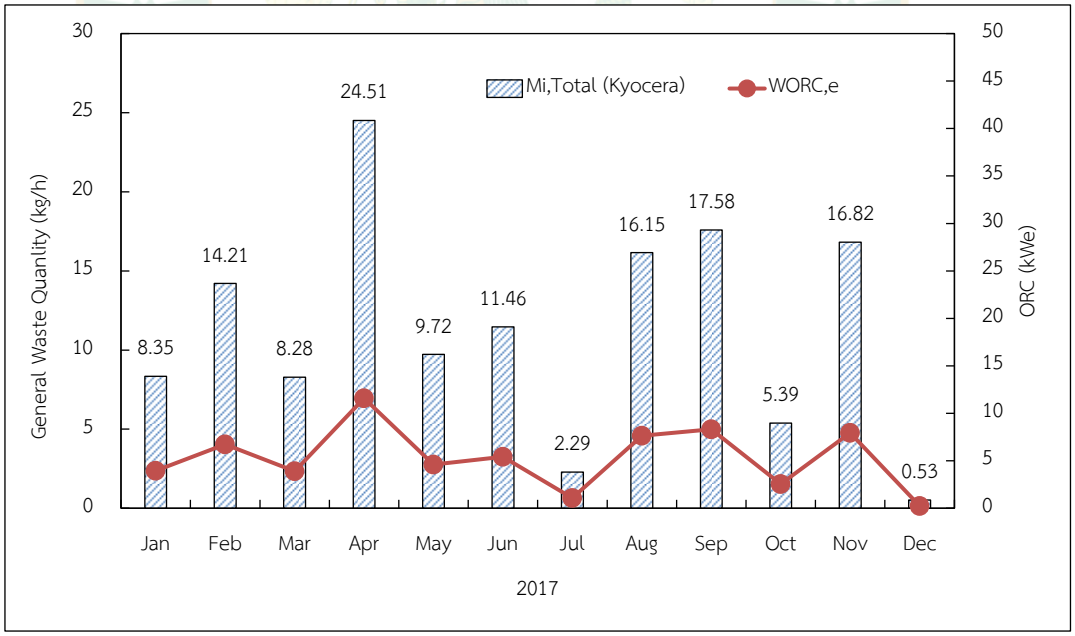
ภาพที่ 19 ปริมาณขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือในปี พ.ศ. 2560

จากนั้นทำการสำรวจและคัดแยกองค์ประกอบของขยะมูลฝอยในบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด พบว่า มีพลาสติก (ถุงชนิดทนร้อน ถุงหิ้วพลาสติก) มากที่สุดในปริมาณ 73.86 kg ในสัดส่วน 48.64% รองลงมา คือ เศษอาหาร 29.23 kg ในสัดส่วน 19.25% ที่เหลือ

ประกอบไปด้วย เศษไม้ 10.56% ผ้าปิดจมูก 8.85% พลาสติก (แก้วน้ำ ขวดเครื่องดื่ม) 5.76% กระดาษ และกล่องกระดาษ 4.76% และอื่น ๆ 2.35% ซึ่งจากการคำนวณ พบว่า ขยะดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงขยะ ที่มีค่าความร้อนต่ำ (LHV_{RDF}) เท่ากับ 20.48 MJ/kg

ผลการจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

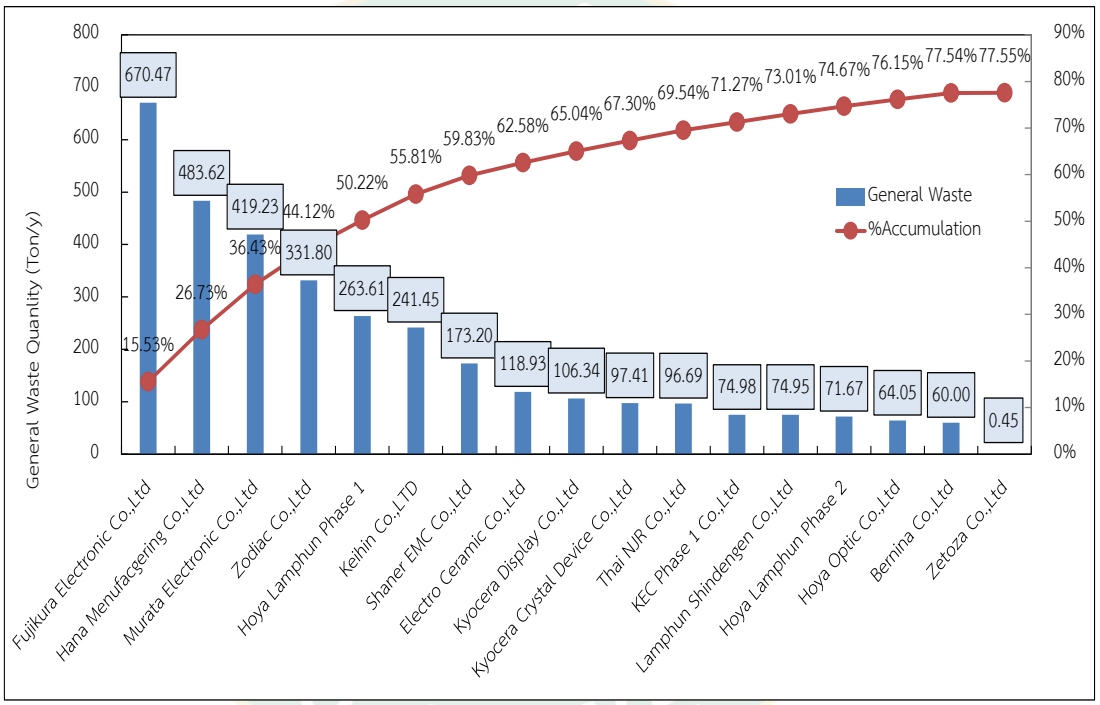
ภาพที่ 20 แสดงผลการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า ปริมาณขยะมูลฝอยที่ต้องกำจัดในแต่ละชั่วโมงอยู่ในช่วงระหว่าง 0.53-17.58 kg/h (อ้างอิงตามปริมาณขยะของแต่ละเดือน) และเมื่อนำขยะดังกล่าวไปเข้าเตาเผากำจัดขยะเพื่อผลิตน้ำร้อน และจ่ายให้กับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในช่วง 0.25-24.51 kW_e ดังนั้นขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่เหมาะสม คือ 10 kW_e จำนวน 1 เครื่อง ที่มีประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ประมาณ 11.02 % ซึ่งพบว่าข้อมูลที่ศึกษาดังกล่าวยังไม่เพียงพอสำหรับการนำพลังงานไปใช้ทดแทนพลังงานที่รับซื้อจาก กฟภ. จึงได้ศึกษาโดยใช้ข้อมูลขยะในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือต่อไป ตามลำดับ



ภาพที่ 20 ปริมาณขยะมูลฝอยและขนาดระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

ผลสำรวจปริมาณขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ

จากข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือในปี พ.ศ. 2560 พบว่า ผลจากการสำรวจข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยจากสำนักงานนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ จำนวน 68 บริษัท มีปริมาณขยะมูลฝอยรวมทั้งหมด 4,318 Ton/y โดยปริมาณขยะมูลฝอยของบริษัท ฟูจิคูระ อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด มีมากที่สุดจำนวน 670.47 Ton/y รองลงมา คือ บริษัท ฮานา แมนูแฟคเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด 485.62 Ton/y บริษัท มูราตะ อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด 419.23 Ton/y ตามลำดับ และอันดับสุดท้าย คือ บริษัท ซาโตเซน (ประเทศไทย) จำกัด 0.45 Ton/y ดังรายละเอียดแสดงในภาพที่ 21

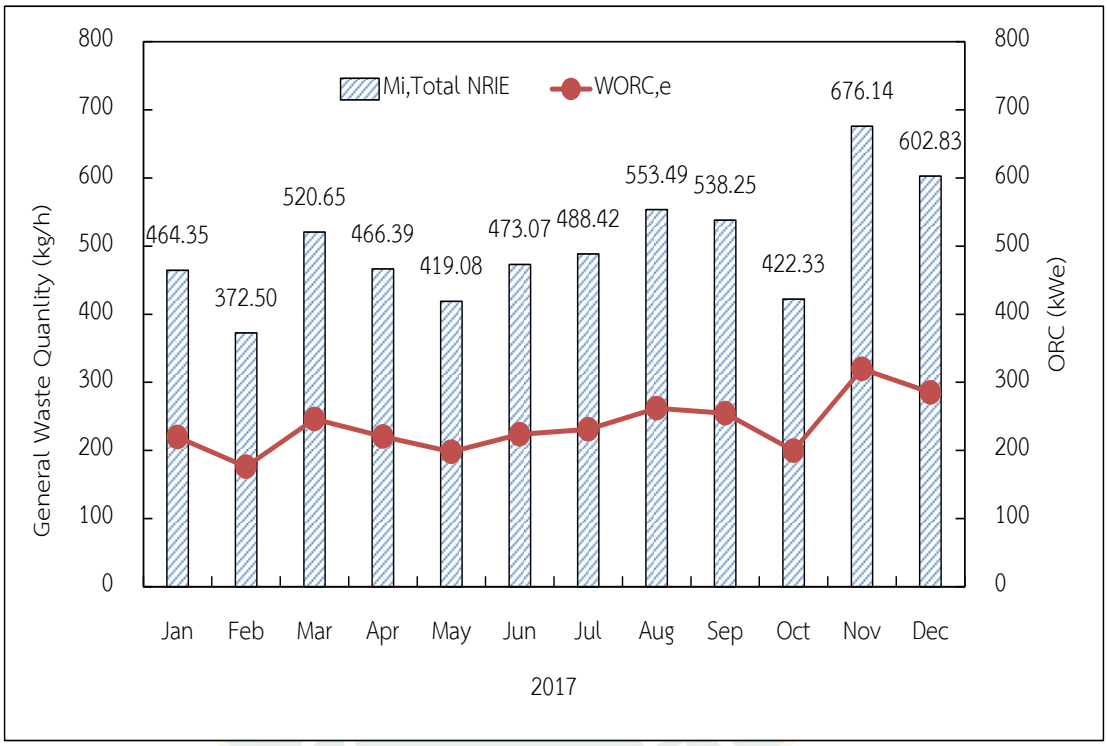


ภาพที่ 21 ปริมาณขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือในปี พ.ศ. 2560

จากนั้นทำการสำรวจและคัดแยกองค์ประกอบของขยะในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ พบว่า มีพลาสติก (ถุงชนิดทนร้อน ถุงหิ้วพลาสติก) มากที่สุดในสัดส่วน 48.64% รองลงมา คือ เศษอาหาร 19.25% ที่เหลือประกอบไปด้วย เศษไม้ 10.56% ผ้าปิดจมูก 8.85% พลาสติก (แก้วน้ำ ขวดเครื่องดื่ม) 5.76% กระดาษ และกล่องกระดาษ 4.76% และอื่น ๆ 2.35% ซึ่งจากการคำนวณ พบว่าขยะดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงขยะ ที่มีค่าความร้อนต่ำ (LHV_{RDF}) เท่ากับ 20.62 MJ/kg

ผลการจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

ภาพที่ 22 แสดงผลการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า ปริมาณขยะมูลฝอยที่ต้องกำจัดในแต่ละชั่วโมงอยู่ในช่วงระหว่าง 372.50-676.14 kg/h (อ้างอิงตามปริมาณขยะของแต่ละเดือน) และเมื่อนำขยะดังกล่าวไปเข้าเตาเผากำจัดขยะเพื่อผลิตน้ำร้อน และจ่ายให้กับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในช่วง 176.19-319.81 kW_e ดังนั้นขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่เหมาะสม คือ 150 kW_e จำนวน 2 เครื่อง ที่มีประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ประมาณ 11.02 %



ภาพที่ 22 ปริมาณขยะมูลฝอยและขนาดระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

ผลการวิเคราะห์ค่าต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

ผลการวิเคราะห์ค่าต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย ของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยใช้เชื้อเพลิงขยะ พบว่า มีค่าเท่ากับ 1.50 Baht/kWh ซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้ดังกล่าวไปเทียบกับค่าไฟฟ้าสุทธิของบริษัทบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด ในปี พ.ศ. 2560 ซึ่งมีเฉลี่ยค่าเท่ากับ 3.22 Baht/kWh จะสามารถลดค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 1.72 Baht/kWh รายละเอียดแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยหลังติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

รายละเอียด	ข้อมูล
อายุการใช้งานของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (N, y)	30
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดทั้งปี ($Pw_{ORC} = W_{ORC}\ t_{OP}$, kWh/y)	2,747,798
มูลค่าในการลงทุนโครงการรวม ($Inv = Z_{ORC} + Z_{Land} + Z_{Buildind} + Z_{Piping} + Z_{Cooling\ tower} + Z_{Incinerator}$, Baht)	25,935,250
ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าต่อปีของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ($PEC_2 = PEC_{RDF\text{-}1} + PEC_e + \dot{Z}_{OM,1} + \dot{Z}_{OM,2}$, Baht/y)	2,830,110
ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าต่อปีของบริษัทเคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (PEC_1, Baht/y)	5,250,432
อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของปั๊มน้ำร้อน ปั๊มน้ำร้อนระบายความร้อน และพัดลมของหอผึ่งระบายความร้อน ($Pw_e = [W_{HW} + W_{CW} + W_{CT}]\ t_{OP}$, kWh/y)	610,032
อัตราการใช้เชื้อเพลิง RDF-1 ($\dot{m}_{RDF\text{-}1} = [3600\ Q_B] / \eta_{incinerator}\ [LHV_{RDF\text{-}1} / 1000]$), kg/h	612.19
ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบเชื้อเพลิงขยะร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (LEC, Baht/kWh)	1.50

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

การวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อเพลิงขยะ พบว่า มีค่าต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตเท่ากับ 1.46 Baht/Piece ซึ่งมีค่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วยลดลง 0.01 Baht/Piece ซึ่งกระบวนการผลิตเดิมมีค่าอยู่ที่ 1.47 Baht/Piece รายละเอียดแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงผลค่าต้นทุนผลิตต่อหน่วยหลังจากติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

รายละเอียด	ข้อมูลก่อนปรับปรุง	ข้อมูลหลังปรับปรุง
มูลค่าการลงทุนรวมของบริษัท ($Inv = Inv_{Production} + Inv_{Utility} + Inv_{Buidding} + Inv_{Compony}$, Baht)	1,552,000,000	1,574,685,250

รายละเอียด	ข้อมูลก่อนปรับปรุง	ข้อมูลหลังปรับปรุง
ราคาค่าไฟฟ้าต่อปี ($PC_{Electricity,}$ Baht/y)	5,673,317	2,420,322
ราคาค่าน้ำดิบต่อปี (PC_{Water}, Baht/y)	165,000	165,000
ราคาค่าก๊าซไนโตรเจน ($PC_{Nitrogen}$, Baht/y)	823,000	823,000
มวลผลิตภัณฑ์ชิ้นต่อปี (M_{SMD}, Piece/y)	63,062,000	63,062,000
ระยะเวลาในการทำงาน (t_{OP}, h/y)	8,592	8,592
อายุการใช้งาน (N, y)	30	30
ค่าต้นทุนต่อหน่วย (LC, Baht/Piece)	1.47	1.46

ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

ผลการจัดทำบัญชีรายการข้อมูล ด้านวัสดุอุปกรณ์ส่วนการดำเนินงานของบริษัท พบว่า เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานมีจำนวน 380 เครื่อง แยกเป็นเครื่องจักรที่มีส่วนผสมเป็นวัสดุอลูมิเนียม 22.25% สกูรและน๊อต 20.68% วัสดุสแตนเลส 17.57% วัสดุพลาสติก 7.03% วัสดุทองแดง 6.44% วัสดุเหล็กหล่อ 5.27% และอื่น ๆ 20.76% รายละเอียดแสดงในภาพที่ 23

ภาพที่ 23 วัสดุอุปกรณ์ของการดำเนินงานบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด

รายการข้อมูลวัสดุอุปกรณ์การดำเนินงานของบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวน์ (ประเทศไทย) จำกัด มีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 บัญชีรายการวัสดุอุปกรณ์ส่วนการดำเนินงานผลิตภัณฑ์เอสเอ็มดี ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

รายละเอียด	ปริมาณ (kg)	รายละเอียด	ปริมาณ (kg)
เครื่องจักรวัสดุอลูมิเนียม	133,950	ท่อ UPVC	40,000
สกรูและน็อต	124,500	เครื่องจักรวัสดุทองแดง	38,775
เครื่องจักรวัสดุสแตนเลส	105,750	ท่อ PVC	35,000
ท่อเกลวาไนท์	50,000	เครื่องจักรวัสดุเหล็กหล่อ	31,725
เครื่องจักรวัสดุพลาสติก	42,300		

ผลการสำรวจข้อมูลบริษัทได้ดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์หลักอยู่ 2 ผลิตภัณฑ์ได้แก่ อันดับที่ 1 SMD Quartz Crystal Unit มีปริมาณการผลิตในช่วง 2.80-7.60 Million Piece โดยเฉลี่ย 5.24 Million Piece คิดเป็น 86% และอันดับที่ 2 Lead Quartz Crystal Unit มีปริมาณการผลิตในช่วง 0.33-1.40 Million Piece โดยเฉลี่ย 0.84 Million Piece คิดเป็น 14% ดังนั้นจึงเป็นที่มาและเหตุผลหลัก ที่ผู้ดำเนินงานวิจัยเลือกใช้ข้อมูลของผลิตภัณฑ์เอสเอ็มดี ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ในการวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของงานวิจัยในครั้งนี้ โดยผลการจัดทำบัญชีรายการข้อมูลของผลิตภัณฑ์ในส่วนการดำเนินงาน มีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 บัญชีรายการส่วนการดำเนินงานผลิตภัณฑ์เอสเอ็มดี ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

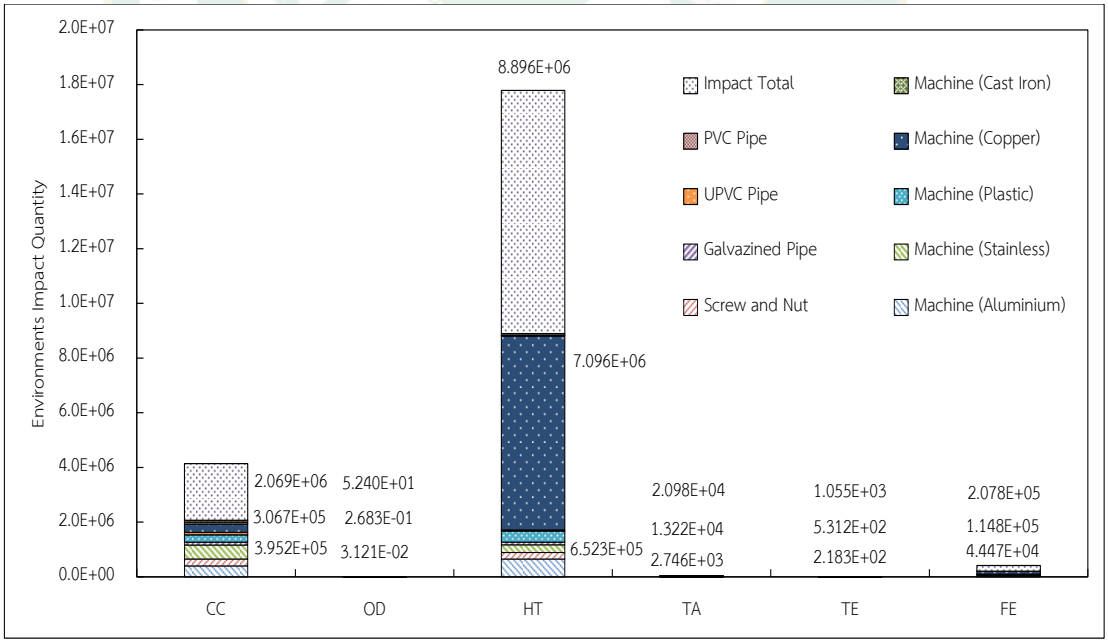
รายละเอียด	ปริมาณ (kg)	รายละเอียด	ปริมาณ (kg)
ถุงมือยางไนไตร	93.65	ฝาครอบแบบเรียบ 35 C	3.31
ม้วนใส่งานพลาสติก	53.31	เทปปิดงานสองหน้า	0.23
ตัวรองแผ่นงาน CX-2016	16.66	กระดาษสีขาวA3	0.10
แผ่นปิดงาน CX-208C	16.31	หัวสัญญาณแบบเตารับ	0.74
หัวสัญญาณ	155.02	ถุง P.E	0.13
หลอดฉีดกาวเหลว	27.44	ไม้กวาด	0.03
แผ่นใส่งาน5032SA,B	22.22	แบตเตอรี	0.31
เข็มขัดรัดสายไฟฟ้า	20.74	ฉลากติดตัวงาน	0.11

รายละเอียด	ปริมาณ (kg)	รายละเอียด	ปริมาณ (kg)
ถุงใส่งานพลาสติก	20.57	ก๊าซฮิเลียม	0.24
เทปปิดม้วนใส่งาน	17.40	เทปติดบรรจุภัณฑ์	0.22
ถุงกั้นไฟฟ้าสถิตย์	15.55	ผ้าสก๊อตไบท์	0.21
ตัวตัดงาน 49G, 91F, 41M	42.03	ถุงมือกั้นความร้อน	0.01
เทปติดประทับตรา	2.53	ม้วนทำความสะอาด	0.12
กาวติดงาน	27.17	หมึกปริ้นงาน	0.09
หัวเข็ม	5.09	เซนเซอร์ยี่ห้อโอมรอน	0.01
เทปยูนิต	13.43	ถุงมือผ้า	0.01
เทปติดด้านบนตัวงาน PSA	2.64	ถุงนิ้วยางB	0.01
ฝาครอบเซรามิค	16.65	ถุงนิ้วยางA	0.011
แท่งควอตซ์ คริสตัลยูนิต	83.33	กระดาษปริ้นงานแบบต่อเนื่อง	0.007
ตะแกรงยิงงาน 0.2A (24ไลน์)	0.77	กระดาษ SATO	0.007
หัวปิดงาน	8.33	เทปแบบ OPP	0.019
ตะแกรงยิงงาน 0.3A (24ไลน์)	0.66	เทปสีน้ำเงิน	0.019
แผ่นทอง	0.53	ตัวบรรจุงาน	0.019
ม้วนใส่งานเปล่า	1.15	เทปสีขาว	0.011
ถุงมือยางไนลอน	0.67	ผ้าปิดจมูกสีเขียว	1.933
กล่องใส่งาน	7.01	กล่องใส่งานBlank	1.852
คีมคีบ	0.41	ถุงใส่งานอลูมิเนียม	1.707
ซิลิกาเจล	56.66	กระดาษกราฟ	0.289
กระดาษสีเหลือง A4	0.46	ขดลวดความร้อน	1.411
กระดาษในคลีนรูม	0.17		
รายละเอียด	**ปริมาณ**	**รายละเอียด**	**ปริมาณ**
พลังงานไฟฟ้า (kWh)	54,424	-	-
ก๊าซไนโตรเจน (m^3)	7,392	-	-
ขยะมูลฝอย (kg)	9,828	-	-

ตารางที่ 10 บัญชีรายการส่วนการรื้อถอนวัสดุอุปกรณ์ ของผลิตภัณฑ์เอสเอ็มดี ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

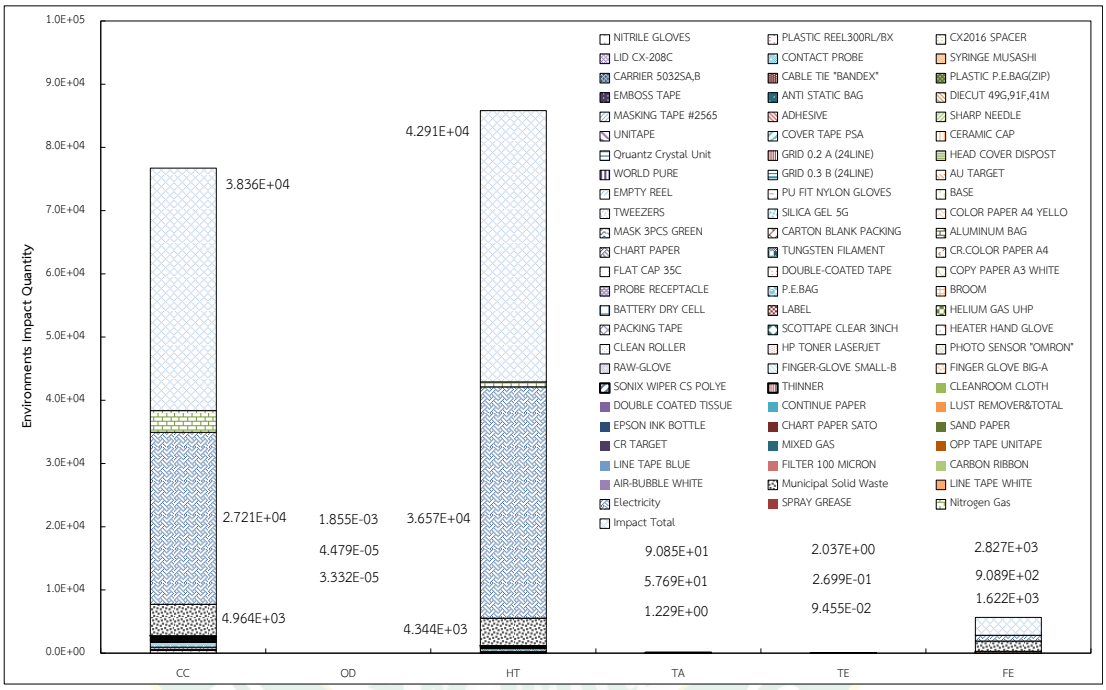
รายละเอียด	ปริมาณ (kg)	รายละเอียด	ปริมาณ (kg)
เครื่องจักรวัสดุอลูมิเนียม	133,950	ท่อ UPVC	40,000
สกรูและน็อต	124,500	เครื่องจักรวัสดุทองแดง	38,775
เครื่องจักรวัสดุสแตนเลส	105,750	ท่อ PVC	35,000
ท่อเกลวาไนท์	50,000	เครื่องจักรวัสดุเหล็กหล่อ	31,725
เครื่องจักรวัสดุพลาสติก	42,300		

ผลการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของวัสดุอุปกรณ์ส่วนการดำเนินงาน พบว่าผลกระทบที่ปลดปล่อยมลภาวะมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 8.896E+06 kg 1,4 DB-eq มาจากวัสดุทองแดง 7.096E+06 kg 1,4 DB-eq คิดเป็น 79.76% และวัสดุอลูมิเนียม 6.523E+05 คิดเป็น 7.33% ผลรวมรองลงมา คือ ภาวะโลกร้อน 2.069E+08 kg CO_2-eq มาจากวัสดุอลูมิเนียม 3.952E+05 คิดเป็น 19.10% และวัสดุทองแดง 3.067E+05 คิดเป็น 14.82% รายละเอียดแสดงในภาพที่ 24



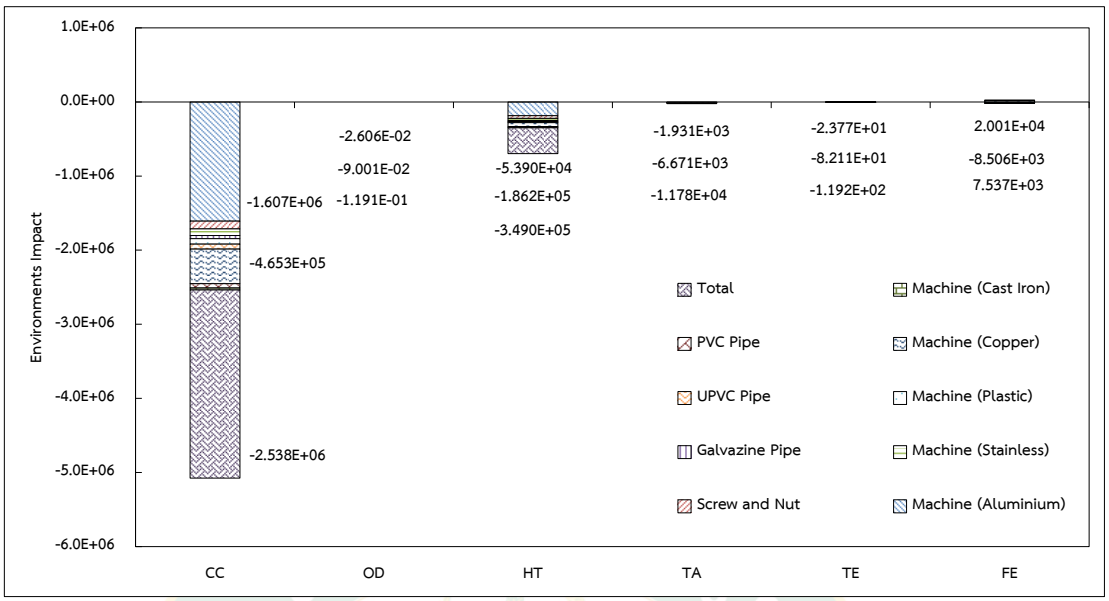
ภาพที่ 24 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ส่วนวัสดุอุปกรณ์การดำเนินงานก่อนปรับปรุง

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการดำเนินงานส่วนสารขาเข้าด้านวัตถุดิบและพลังงาน พบว่า มีการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 4.29E+04 kg 1,4 DB-eq อันประกอบไปด้วย พลังงานไฟฟ้า 3.65E+04 kg 1,4 DB-eq คิดเป็น 85.24% ขยะมูลฝอย 4.34E+03 kg 1,4 DB-eq คิดเป็น 10.12% ภาวะโลกร้อน 3.84E+04 kg CO_2-eq มาจากพลังงานไฟฟ้า 2.72E+04 คิดเป็น 70.94% ก๊าซไนโตรเจน 3.41E+03 kg CO_2-eq คิดเป็น 8.90% และขยะมูลฝอยคิดเป็น 12.94% ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาพที่ 25



ภาพที่ 25 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการดำเนินงานด้านวัตถุดิบก่อนปรับปรุง

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการรื้อถอน พบว่า สามารถนำเอาวัสดุอุปกรณ์โครงสร้างกลับมารีไซเคิลได้ ซึ่งสามารถลดการปลดปล่อยผลกระทบ ด้านสิ่งแวดล้อมรวมมากที่สุด คือ ภาวะโลกร้อน -2.53E+06 kg CO_2-eq มาจากการรื้อถอนเครื่องจักรวัสดุอลูมิเนียม -1.607E+06 kg CO_2-eq คิดเป็น 63.32% รองลงมา คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ -3.49E+05 kg 1,4 DB-eq ภาวะฝนกรด -1.17E+04 kg SO_2-eq พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก -1.192E+02 kg 1,4 DB-eq การลดลงของชั้นโอนโซนช่วยลดผลกระทบน้อยที่สุด -1.19E-01 kg CFC-11-eq ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการรื้อถอนก่อนการปรับปรุง

ผลรวมของการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ส่วนวัสดุอุปกรณ์โครงสร้าง การดำเนินงาน และส่วนการรื้อถอนวัสดุอุปกรณ์โครงสร้าง พบว่า ผลการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 8.90E+06 kg 1,4 DB-eq รองลงมา คือ ภาวะโลกร้อน 2.07E+06 kg CO_2-eq และผลกระทบน้อยที่สุด คือ การลดลงของชั้นโอนโซน 5.24E+01 kg CFC-11-eq โดยผลกระทบตลอดอายุการใช้งานมากที่สุด คือ 2.58E+08 kg 1,4 DB-eq ซึ่งผลิตภัณฑ์ 1 Piece เกิดผลกระทบ 1.64E+00 kg 1,4 DB-eq ตามลำดับ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลรวมการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	ส่วนผลกระทบย่อย			ผลรวมผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	
	วัสดุอุปกรณ์	การดำเนินงาน	รื้อถอนวัสดุอุปกรณ์	ตลอดอายุการใช้งาน	1 Piece
ความเป็นพิษต่อมนุษย์	8.90E+06	4.29E+04	-3.49E+05	2.58E+08	1.64E+00
ภาวะโลกร้อน	2.07E+06	3.84E+04	-2.54E+06	-1.29E+07	-8.22E-02
ภาวะฝนกรด	2.10E+04	9.09E+01	-1.18E+04	2.79E+05	1.77E-03
ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด	2.08E+05	2.83E+03	7.54E+03	6.54E+06	4.16E-02

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	ส่วนผลกระทบย่อย			ผลรวมผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	
	วัสดุอุปกรณ์	การดำเนินงาน	รื้อถอนวัสดุอุปกรณ์	ตลอดอายุการใช้งาน	1 Piece
พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก	1.06E+03	2.04E+00	-1.19E+02	2.81E+04	1.79E-04
การลดลงของชั้นโอนโซน	5.24E+01	1.86E-03	-1.19E-01	1.57E+03	9.97E-06

ผลการแปลผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ก่อนการปรับปรุงเป็นระยะเวลา 30 y โดยมีระยะเวลาการทำงาน 24 h/d หรือ 360 d/y มีสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมสำคัญมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 2.58E+08 kg 1,4 DB-eq ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด 6.54E+06 kg 1,4 DB-eq ภาวะฝนกรด 2.79E+05 kg SO_2-eq พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก 2.81E+04 kg 1,4 DB-eq การลดลงของชั้นโอนโซน 1.57E+03 kg CFC-11-eq และภาวะโลกร้อน -1.29E+07 kg CO_2-eq ที่เกิดจากวัสดุอุปกรณ์โครงสร้างเป็นหลัก อันประกอบไปด้วยวัสดุทองแดง 38,775 kg และวัสดุอลูมิเนียม 133,950 kg

ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของเตาเผาขยะแบบเผาตรง

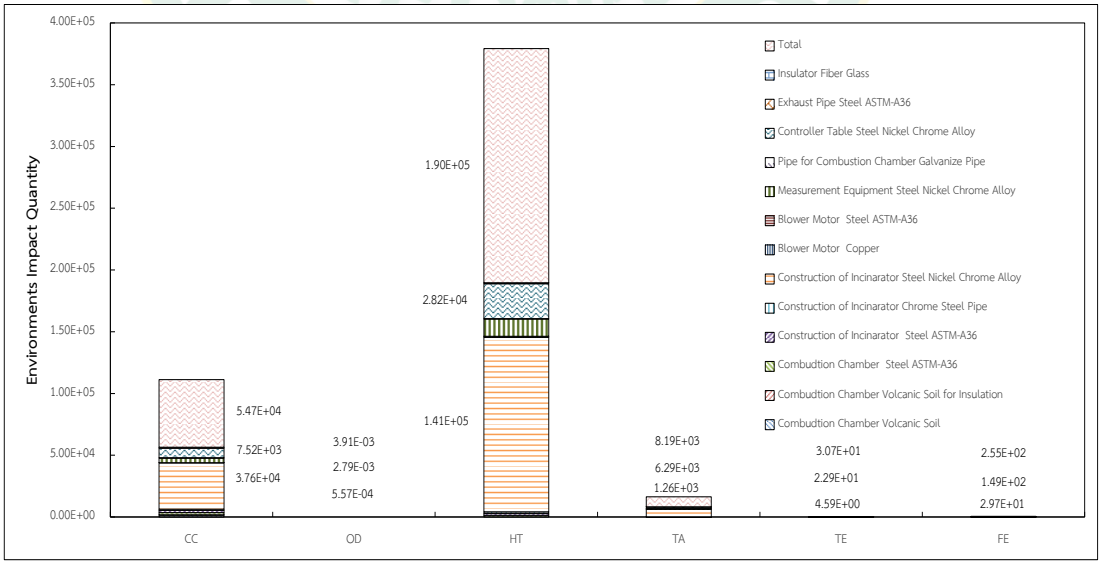
จัดทำบัญชีรายการข้อมูลเตาเผาขยะมูลฝอยซึ่งในที่นี้เลือกใช้เตาเผาชนิดเผาตรง ที่มีการออกแบบและสร้างเพื่อทำงานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยเฉพาะ ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งมีความสามารถในการกำจัดขยะประมาณ 2 Ton/d เพื่อประเมินหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้ง 6 ด้าน ต่อการกำจัดขยะ 1 kg และใช้ค่าดังกล่าวในการวิเคราะห์ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ในกระบวนการผลิตควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ต่อไป โดยรายละเอียดแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ข้อมูลวัสดุอุปกรณ์ และองค์ประกอบเตาเผาขยะมูลฝอย

ส่วนประกอบเตาเผาขยะมูลฝอย	วัสดุ	ปริมาณ (kg)
โครงสร้างห้องเผาไหม้	ดินภูเขาไฟห้องเผาไหม้	5,800
	ดินภูเขาไฟเคลือบห้องเผาไหม้	580
	เหล็กรูปพรรณ ASTM-A36	1,000
	เหล็กไร้สนิม	1,070

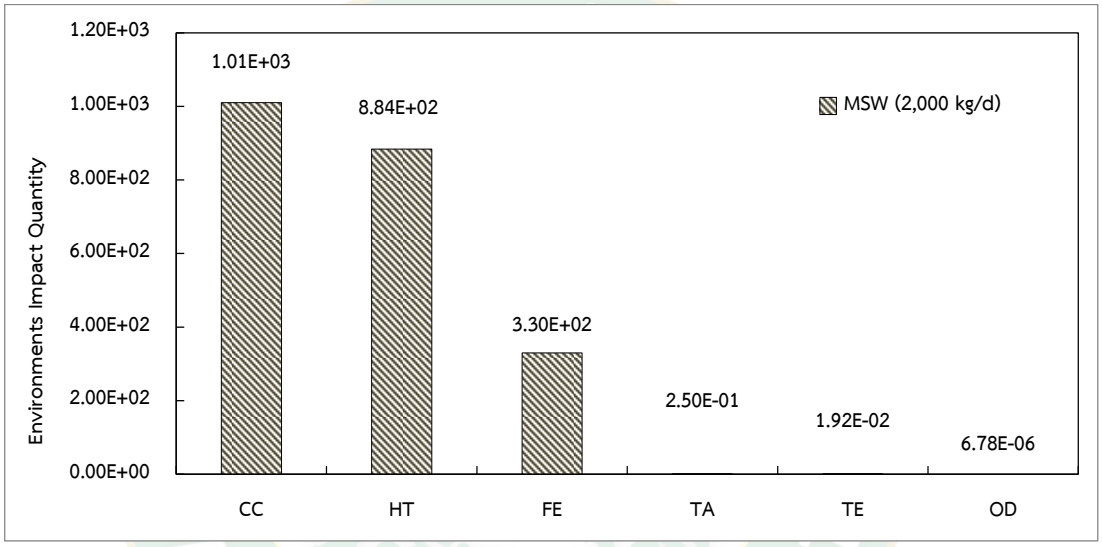
ส่วนประกอบเตาเผาขยะมูลฝอย	วัสดุ	ปริมาณ (kg)
โครงสร้างโดยรอบ	ท่อเหล็กโครเมียม	500
	เหล็ก นิเกิล โครเมียม อัลลอย	250
มอเตอร์	ทองแดง	4.5
	เหล็กรูปพรรณ ASTM-A36	10
อุปกรณ์ตรวจวัด	เหล็ก นิเกิล โครเมียม อัลลอย	25
ท่อต่าง ๆ ส่วนห้องเผาไหม้	ท่อกัลวาไนซ์	150
ตู้ควบคุม	เหล็ก นิเกิล โครเมียม อัลลอย	50
ปล่องควัน	เหล็กไร้สนิม	500
ฉนวนกันความร้อน	ใยแก้วสังเคราะห์	60

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนโครงสร้างเตาเผาขยะ พบว่า มีปริมาณการปลดปล่อยผลกระทบที่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ 1.90E+05 1,4 DB-eq มากที่สุด อันประกอบไปด้วยโครงสร้างโดยรอบที่มีส่วนผสมเหล็ก นิเกล โครเมียม อัลลอย 1.41E+05 kg 1,4 DB-eq คิดเป็น 74.47% รองลงมา คือ ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน 5.47E+04 kg CO_2-eq อันประกอบไปด้วยโครงสร้างโดยรอบที่มีส่วนผสมเหล็ก นิเกล โครเมียม อัลลอย 3.76E+05 kg CO_2-eq คิดเป็น 68.74% ตามลำดับรายละเอียดแสดงในภาพที่ 27



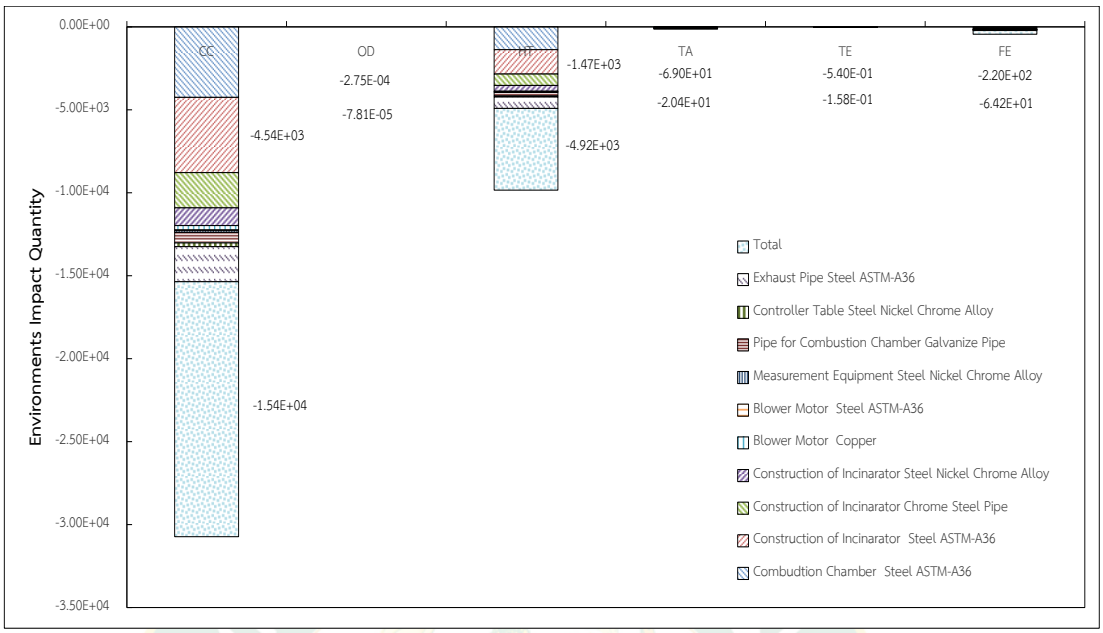
ภาพที่ 27 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของโครงสร้างเตาเผาขยะ

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการดำเนินงานส่วนสารขาออกด้านขยะมูลฝอย ซึ่งจากข้อกำหนดของเตาเผาขยะสามารถเผาขยะได้ประมาณ 2,000 kg/d พบว่า มีการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ภาวะโลกร้อน 1.01E+03 kg CO_2-eq รองลงมา คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 8.84E+02 kg 1,4 DB-eq ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด 3.30E+05 kg 1,4 DB-eq ภาวะฝนกรด 2.50E-01 kg SO_2-eq พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก 1.92E-02 kg 1,4 DB-eq และการลดลงของชั้นโอนโซนเกิดผลกระทบน้อยที่สุด 6.78E-06 kg CFC-11-eq ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาพที่ 28



ภาพที่ 28 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการดำเนินงานส่วนสารขาเข้าขยะมูลฝอย

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการรื้อถอน พบว่า สามารถลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนได้ -1.54E+04 kg CO_2-eq มาจากการรื้อถอนโครงสร้างที่เป็นโลหะเหล็ก สแตนเลส ท่อเกลวาไนซ์ และทองแดง รองลงมา คือ การรื้อถอนช่วยลดความเป็นพิษต่อมนุษย์รวมได้ -4.92E+04 kg 1,4 DB-eq ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 29 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการรื้อถอนเตาเผาขยะชนิดเผาตรง

ผลรวมการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในส่วนโครงสร้าง การดำเนินงาน และการรื้อถอน พบว่า มีการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 1.90E+05 1,4 DB-eq คิดเป็น 99.53% รองลงมา คือ ภาวะโลกร้อน 5.47E+04 kg CO_2-eq ภาวะฝนกรด 8.19E+03 kg SO_2-eq และผลกระทบที่เกิดน้อย คือ การลดลงของชั้นโอนโซน 3.91E-03 kg CFC-11-eq โดยผลกระทบตลอดอายุการใช้งานมากที่สุด คือ 5.69E+06 kg 1,4 DB-eq ซึ่งปริมาณขยะ 1 kg ก่อให้เกิดผลกระทบ 9.48E+01 kg 1,4 DB-eq ตามลำดับ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลรวมการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเตาเผาขยะ

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	ส่วนผลกระทบย่อย			ผลรวมผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	
	วัสดุอุปกรณ์	การดำเนินงาน	รื้อถอนวัสดุอุปกรณ์	ตลอดอายุการใช้งาน	1 kg
ความเป็นพิษต่อมนุษย์	1.90E+05	8.84E+02	-9.84E+02	5.69E+06	9.48E+01
ภาวะโลกร้อน	5.47E+04	1.01E+03	-3.07E+03	1.58E+06	2.63E+01
ภาวะฝนกรด	8.19E+03	2.50E-01	-1.38E+01	2.45E+05	4.09E+00

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	ส่วนผลกระทบย่อย			ผลรวมผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	
	วัสดุอุปกรณ์	การดำเนินงาน	รื้อถอนวัสดุอุปกรณ์	ตลอดอายุการใช้งาน	1 kg
ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด	2.55E+02	3.30E+02	-4.40E+01	1.62E+04	2.70E-01
พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก	3.07E+01	1.92E-02	-1.08E-01	9.18E+02	1.53E-02
การลดลงของชั้นโอนโซน	3.91E-03	6.78E-06	-5.49E-05	1.16E-01	1.93E-06

ผลการแปลผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเตาเผาขยะชนิดเผาตรง เป็นระยะเวลา 30 y มีสาเหตุหลักของการก่อให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญทั้ง 6 ด้าน คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 99.53% ภาวะโลกร้อน 98.08% ภาวะฝนกรด 100% ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด 38.96% พิษต่อระบบนิเวศบนบก 99.94% และการลดลงของชั้นโอโซน 99.82% ที่เกิดจากช่วงการก่อสร้างเตาเผาขยะเป็นหลัก อันประกอบไปด้วยโครงสร้างโดยรอบ 250 kg และปล่องควัน 500 kg

ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

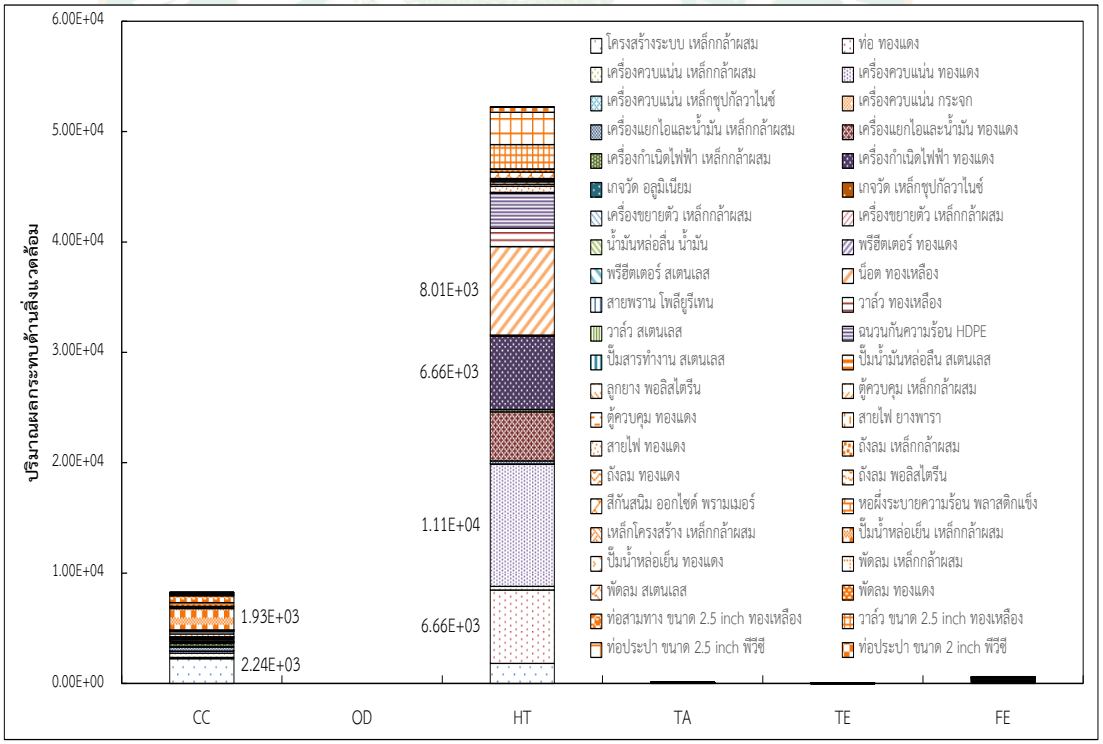
จัดทำบัญชีรายการข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ต้นแบบการประเมินวัสดุโครงสร้างของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพงขนาด 10 kW_e (ปาณิศา, 2561) เพื่อหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้ง 6 ด้าน ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh และใช้ค่าดังกล่าวในการวิเคราะห์ร่วมกับเตาเผากำจัดขยะในหัวข้อที่ผ่านมา ในกระบวนการผลิตควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุงต่อไป โดยรายละเอียดแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ข้อมูลวัสดุอุปกรณ์และองค์ประกอบระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

ข้อมูลระบบ	ข้อมูลวัตถุดิบ	น้ำหนัก (kg)	ข้อมูลวัตถุดิบ	น้ำหนัก (kg)
1. วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ 2. หอผึ่งระบายความร้อน	เหล็กกล้าผสม	2,319.53	ออกไซด์ พรามเมอร์	24
	ทองแดง	365.9	พลาสติกแข็ง	220
	สเตนเลส	337	พีวีซี	35.94

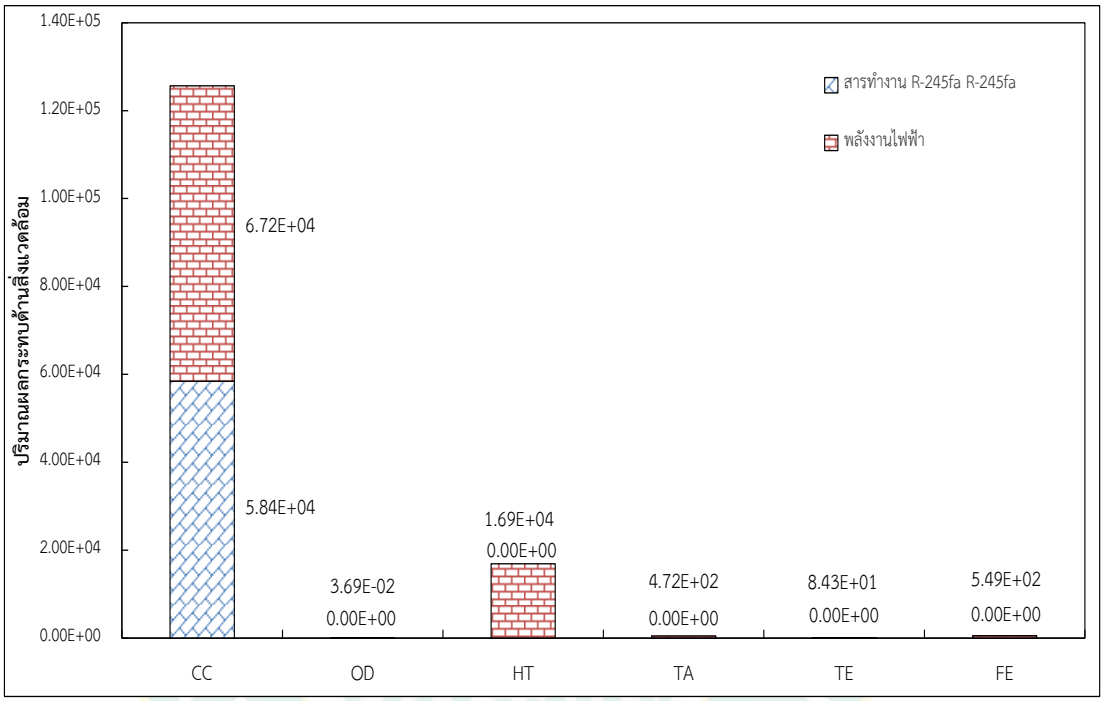
ข้อมูลระบบ	ข้อมูลวัตถุดิบ	น้ำหนัก (kg)	ข้อมูลวัตถุดิบ	น้ำหนัก (kg)
	ทองเหลือง	98.4	ปูนซีเมนต์	250
	โพลียูรีเทน	2	ทราย	1,174
	HDPE	1	หิน	785
	พอลิสไตรีน	1.5	น้ำ	185
	ยางพารา	0.5	เหล็กชุปกัลวาไนซ์	7.5
	โพลิสไตรีน	1	น้ำมัน	40
1. วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	อลูมิเนียม	0.5	กระจก	0.3

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนโครงสร้างของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ พบว่า มีปริมาณการปลดปล่อยผลกระทบที่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์มากที่สุด อันประกอบไปด้วยเครื่องควบแน่นที่มีส่วนผสมของทองแดง 1.11E+04 kg 1,4 DB-eq คิดเป็น 21.25% รองลงมา คือ ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนอันประกอบไปด้วยเหล็กกล้าในโครงสร้างระบบ 2.24E+03 kg CO_2-eq คิดเป็น 26.82% ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาพที่ 30



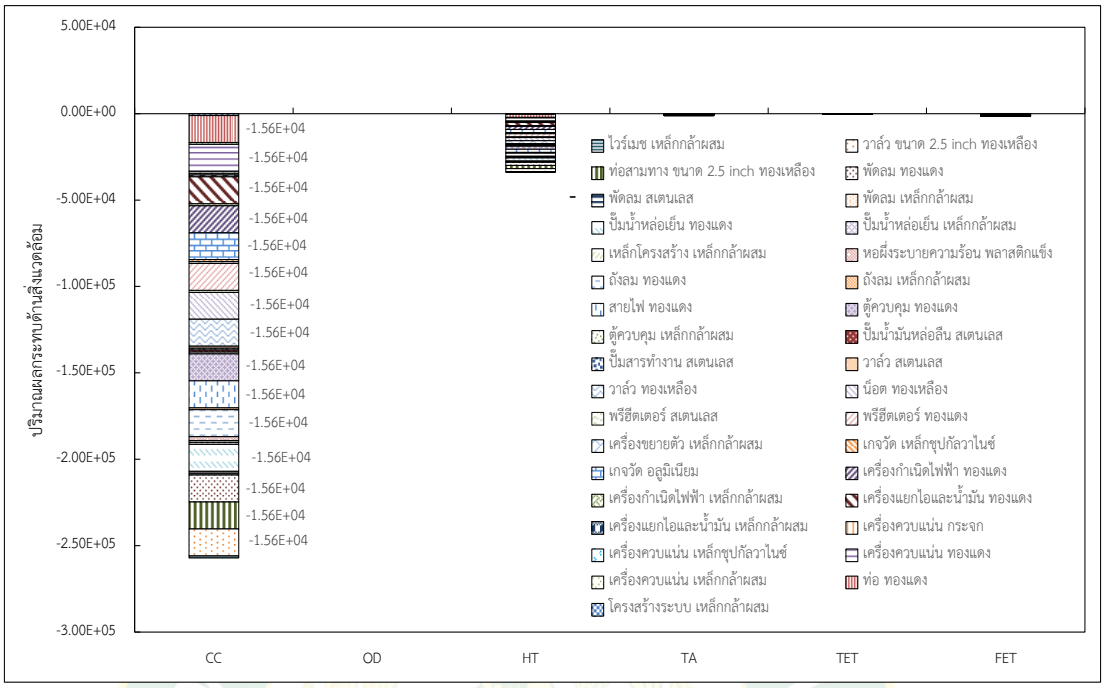
ภาพที่ 30 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของโครงสร้างระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการดำเนินงานส่วนสารขาเข้าด้านวัตถุดิบ และพลังงาน พบว่า มีการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุด คือ 6.72E+04 kg CO_2-eq มาจากพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบ คิดเป็น 53.49% รองลงมา คือ สารทำงาน R-245fa 5.84E+04 kg CO_2-eq คิดเป็น 46.51% และเกิดผลกระทบความพิษต่อมนุษย์เป็นอันดับที่สอง 1.69E+04 kg 1,4 DB-eq ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาพที่ 31



ภาพที่ 31 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการดำเนินงานระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการรื้อถอน พบว่า สามารถลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน -1.54E+04 kg CO_2-eq มาจากการรื้อถอนโครงสร้างที่เป็นโลหะเหล็ก สแตนเลส ท่อเกลวาไนซ์ และทองแดง รองลงมา คือ การรื้อถอนช่วยลดความเป็นพิษต่อมนุษย์รวมได้ -3.39E+04 kg 1,4 DB-eq ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาพที่ 32



ภาพที่ 32 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการรื้อถอนระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

ผลรวมการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในส่วนโครงสร้าง การดำเนินงาน และการรื้อถอน พบว่า มีการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 5.22E+04 kg 1,4 DB-eq คิดเป็น 50.93% รองลงมา คือ ภาวะโลกร้อน 8.34E+03 kg CO_2-eq ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด 6.02E+02 1,4 DB-eq และผลกระทบที่เกิดน้อยที่สุด คือ การลดลงของชั้นโอนโซน 4.98E-04 kg CFC-11-eq โดยผลกระทบตลอดอายุการใช้งานมากที่สุดคือ 7.04E+05 ซึ่งพลังงานไฟฟ้า 1 kWh ก่อให้เกิดผลกระทบ 1.28E-02 kg 1,4 DB-eq ตามลำดับ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 รวมผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

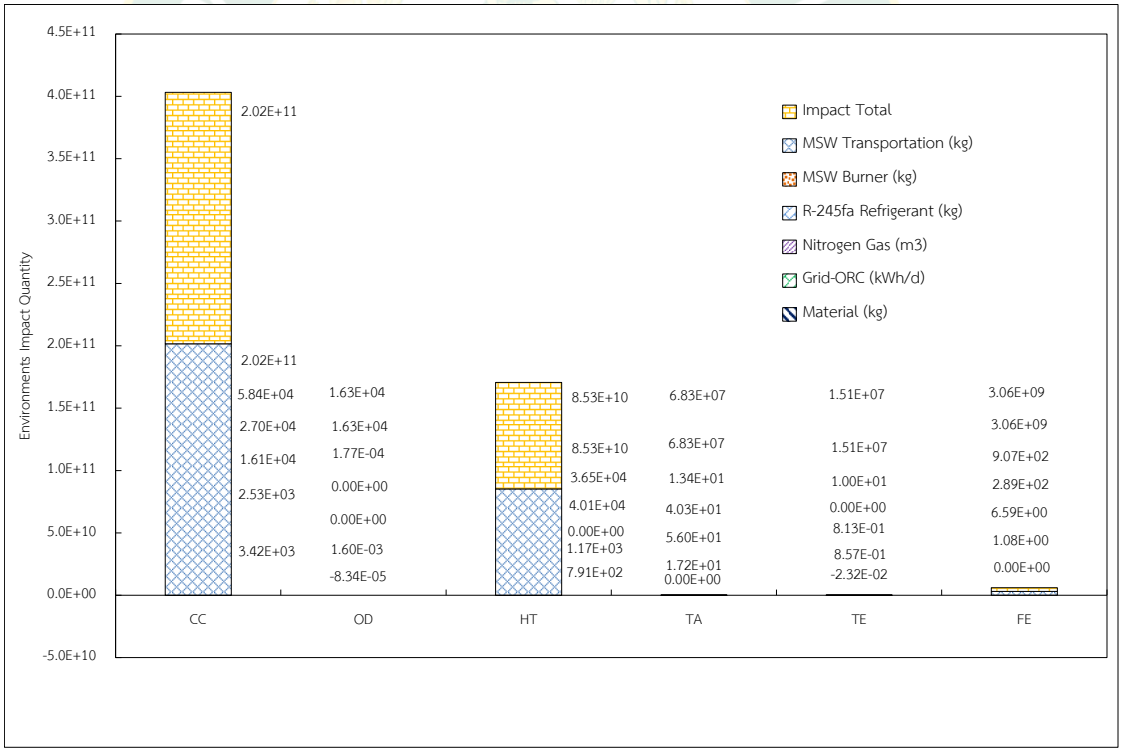
ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	ส่วนผลกระทบย่อย			ผลรวมผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	
	วัสดุอุปกรณ์	การดำเนินงาน	รื้อถอนวัสดุอุปกรณ์	ตลอดอายุการใช้งาน	1 kWh
ความเป็นพิษต่อมนุษย์	5.22E+04	1.69E+04	-3.39E+04	7.04E+05	1.28E-02
ภาวะโลกร้อน	8.34E+03	1.26E+05	-2.57E+05	-2.46E+06	-4.48E-02
ภาวะฝนกรด	8.24E+01	4.72E+02	-1.09E+03	-1.07E+04	-1.95E-04
ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์น้ำจืด	6.02E+02	5.49E+02	-1.53E+03	-7.67E+03	-1.39E-04
พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก	3.07E+00	8.43E+01	-1.28E+01	1.49E+03	2.71E-05
การลดลงของชั้นโอนโซน	4.98E-04	3.69E-02	-1.35E-02	4.79E-01	8.71E-09

ผลการแปลผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เป็นระยะเวลา 30 y โดยมีระยะเวลาการทำงาน 24 h/d หรือ 360 d/y มีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมสำคัญ คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 52.02% พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก 13.09% การลดลงของชั้นโอโซน 54.19% เกิดจากช่วงการก่อสร้างระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เป็นหลักอันประกอบไปด้วยทองแดง 100 kg ในส่วนประกอบเครื่องควบแน่น โดยสามารถลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน 49.49% ภาวะฝนกรด 53.18% และความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด 41.11%

ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์หลังปรับปรุง

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต เพื่อปรับปรุงกระบวนการ โดยการลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลจากการซื้อไฟฟ้าของ กฟภ. และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตเดิม โดยนำค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเตาเผาขยะและระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ในหัวข้อที่ผ่านมา ใช้ในการวิเคราะห์การปรับปรุงกระบวนการผลิตเดิม โดยการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในส่วนโครงสร้างอาคารโรงงานหลังการปรับปรุง จะกำหนดให้มีค่าเท่าเดิม ไม่คิดโครงสร้างที่มาจากเตาเผากำจัดขยะและระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคิน

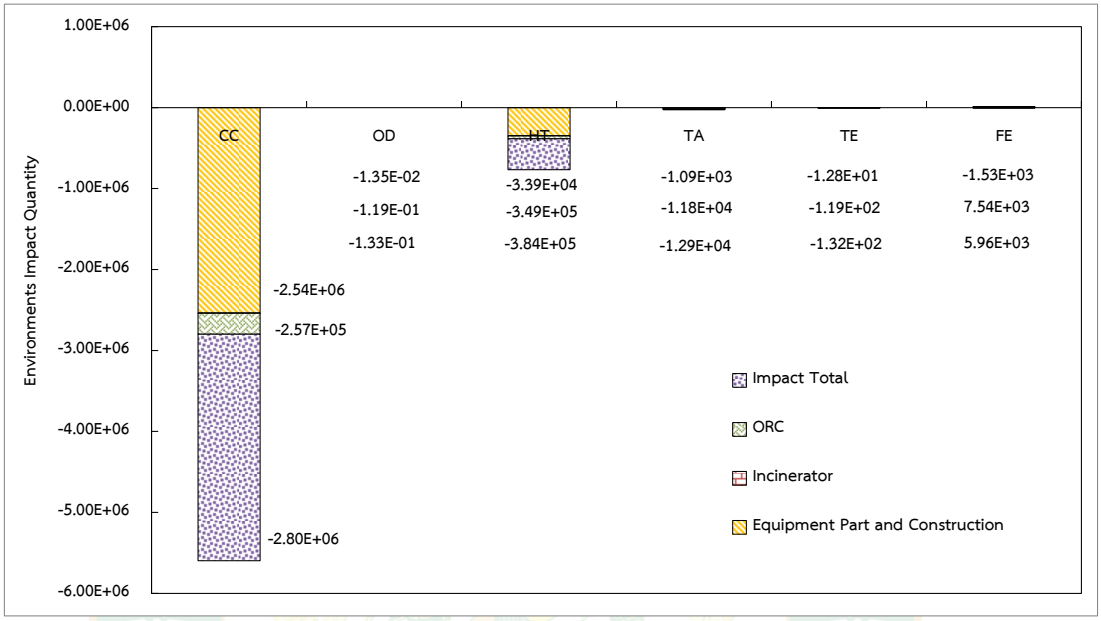
สารอินทรีย์ เพราะผลกระทบทั้งสองส่วนดังกล่าว จะถูกนำมาคิดในส่วนของการดำเนินงาน สารขาเข้าวัตถุดิบ และพลังงาน หรือคิดผลกระทบในรูปแบบการซื้อไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานขยะมาใช้งานทดแทนการซื้อไฟฟ้าจาก กฟภ. นั้นเอง และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการดำเนินงาน ในส่วนสารขาเข้าด้านวัตถุดิบ พลังงานหลังการปรับปรุง การขนส่ง และมลพิษทางอากาศ พบว่า มีการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ภาวะโลกร้อน 2.02E+11 kg CO_2-eq มาจากการขนส่งขยะมูลฝอย เท่ากับ 2.02E+11 kg CO_2-eq คิดเป็น 99.96% และส่วนเกินของพลังงานไฟฟ้าที่ไม่สามารถทดแทนได้2.70E+04 kg CO_2-eq คิดเป็น 0.04% รองลงมา คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 8.53E+10 kg 1,4 DB-eq มาจากการขนส่งขยะมูลฝอย 8.53E+10 kg 1,4 DB-eq คิดเป็น 99.95% และผลกระทบการลดลงของชั้นโอนโซนเกิดน้อยที่สุด 1.63E+04 kg CFC-11-eq ในด้านมลพิษทางอากาศ พบว่า ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 4.01E+04 kg 1,4 DB-eq รองมา คือ ภาวะโลกร้อน 1.61E+04 kg CO_2-eq รายละเอียดแสดงในภาพที่ 33



ภาพที่ 33 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการดำเนินงานหลังปรับปรุง

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการรื้อถอน พบว่า สามารถนำเอาวัสดุอุปกรณ์โครงสร้างกลับมารีไซเคิลได้ ซึ่งทำให้สามารถลดการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมรวมมากที่สุด คือ ภาวะโลกร้อน -2.80E+06 kg CO_2-eq มาจากการรื้อถอนวัสดุอุปกรณ์ประเภทอลูมิเนียม

และทองแดง 90.70% รองลงมา คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ -3.84E+05 kg 1,4 DB-eq ภาวะฝนกรด -1.29E+04 kg SO_2-eq พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก -1.32E+02 kg 1,4 DB-eq การลดลงของชั้นโอนโซนช่วยลดผลกระทบน้อยที่สุด -1.33E-01 kg ตามลำดับ ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาพที่ 34



ภาพที่ 34 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการรื้อถอนหลังการปรับปรุง

ผลรวมการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนวัสดุอุปกรณ์โครงสร้าง การดำเนินงาน และส่วนการรื้อถอนวัสดุอุปกรณ์โครงสร้างบางชนิดเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่า มีการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 6.49E+08 kg 1,4 DB-eq คิดเป็น 99.98% รองลงมา คือ ภาวะโลกร้อน 4.57E+08 kg CO_2-eq และผลกระทบที่เกิดน้อยที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศบนบก 3.22E+04 kg 1,4 DB-eq โดยผลกระทบรวมตลอดอายุการใช้งาน คือ 1.95E+10 kg 1,4 DB-eq ซึ่งผลิตภัณฑ์ 1 Piece เกิดผลกระทบ 1.24E+02 kg 1,4 DB-eq แสดงรายละเอียดในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ผลรวมการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต ของผลิตภัณฑ์หลังการปรับปรุง

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	ส่วนผลกระทบย่อย			ผลรวมผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	
	วัสดุอุปกรณ์	การดำเนินงาน	รื้อถอนวัสดุอุปกรณ์	ตลอดอายุการใช้งาน	1 Piece
ความเป็นพิษต่อมนุษย์	8.90E+06	8.53E+10	-3.84E+05	2.56E+12	1.63E+04
ภาวะโลกร้อน	2.07E+06	2.02E+11	-2.80E+06	6.05E+12	3.85E+04
ภาวะฝนกรด	2.10E+04	6.83E+07	-1.29E+04	2.05E+09	1.30E+01
ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์น้ำจืด	2.08E+05	3.06E+09	5.96E+03	9.18E+10	5.84E+02
พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก	1.06E+03	1.51E+07	-1.32E+02	4.54E+08	2.88E+00
การลดลงของชั้นโอนโซน	5.24E+01	1.63E+04	-1.33E-01	4.91E+05	3.12E-03

ผลการแปลผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุงเป็นระยะเวลา 30 y โดยมีระยะเวลาการทำงาน 24 h/d หรือ 360 d/y มีสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้ง 6 ด้าน คือ เกิดจากวัสดุอุปกรณ์หลักในการดำเนินงาน อันประกอบไปด้วย เครื่องจักรที่มีส่วนประกอบเป็นวัสดุชนิดทองแดง 38,775 kg และวัสดุชนิดอลูมิเนียม 133,950 kg ตามลำดับ โดยในส่วนผลการดำเนินงานมีสาเหตุหลัก อันประกอบไปด้วย การขนส่งขยะมูลฝอยที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนให้กับเตาเผา เพื่อผลิตไฟฟ้า 372.50 kg/h และก๊าซไนโตรเจนที่ใช้ในกระบวนการผลิต 7,392 m_3/d เมื่อนำผลการประเมินดังกล่าว มาทำการเปรียบเทียบกับผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิต ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ก่อนการปรับปรุง พบว่า ผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ ภาวะโลกร้อน ภาวะฝนกรด ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์น้ำจืด พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก และการลดลงของชั้นโอนโซนมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณตามลำดับ สาเหตุที่ทำให้ผลกระทบเพิ่มขึ้น เนื่องจากการขนส่งขยะมูลฝอยจากบ่อเก็บขยะ มายังบริษัทเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าจำนวน 4,318 Ton/y ในกระบวนการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 17

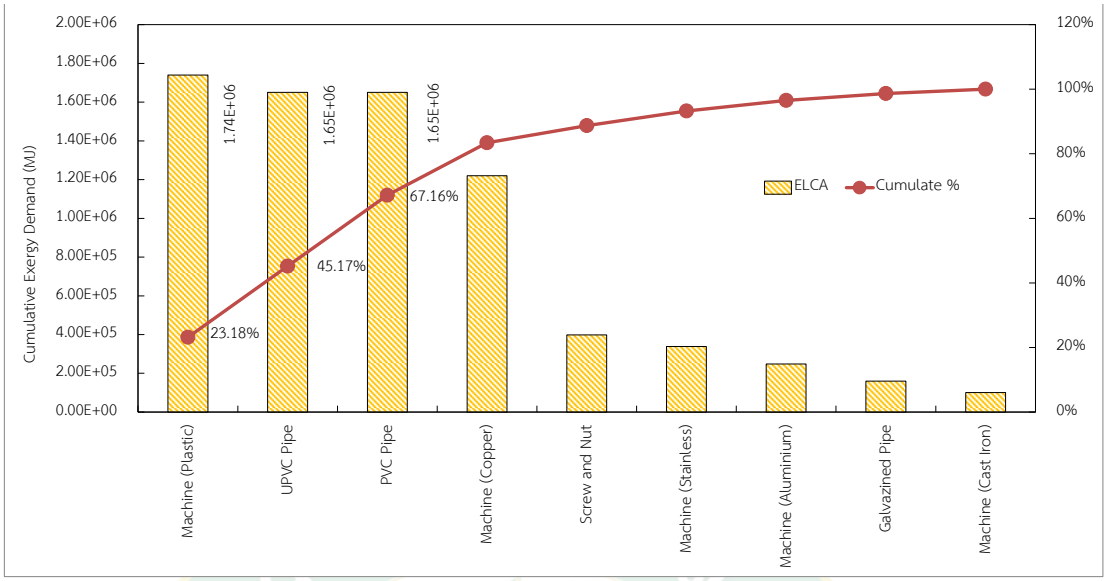
ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ของการประเมินวัฏจักรชีวิตก่อนและหลังการปรับปรุง ผลิตภัณฑ์ควอต คริสตัล ยูนิต จำนวณ 1 Piece

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
ความเป็นพิษต่อมนุษย์	1.64E+00	1.63E+04
ภาวะโลกร้อน	-8.22E-02	3.85E+04
ภาวะฝนกรด	1.77E-03	1.30E+01
ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์น้ำจืด	4.16E-02	5.84E+02
พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก	1.79E-04	2.88E+00
การลดลงของชั้นโอนโซน	9.97E-06	3.12E-03

ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

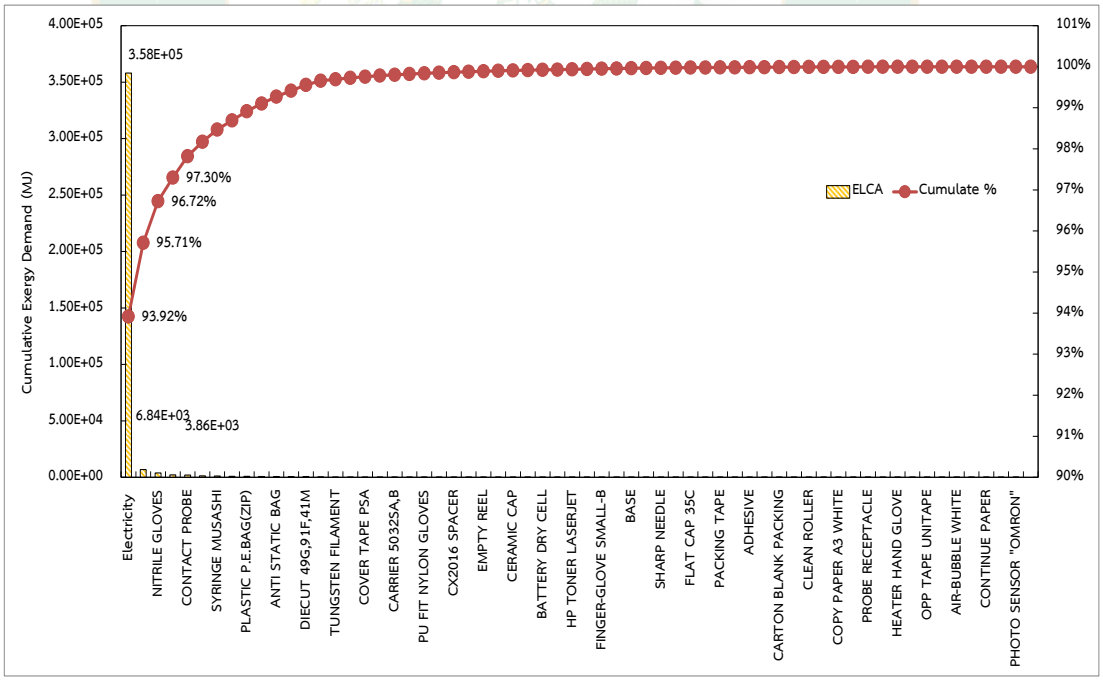
การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของควอตซ์ คริสตัล ยูนิต เป็นการประเมินปริมาณและคุณภาพด้านพลังงานความร้อน โดยการประเมินมีขั้นตอนต่าง ๆ เหมือนกับการประเมินวัฏจักรชีวิตทั้งหมด โดยเริ่มตั้งแต่บัญชีรายการของโครงสร้าง การดำเนินงาน และการรื้อถอน แต่ค่าที่แสดงออกมาจากหน่วยที่เป็นผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้ง 6 ด้าน ก็จะแปรเปลี่ยนเป็นหน่วยทางด้านพลังงานความร้อนแทน คือ เมกะจูล (MJ) โดยวิธีซิงเกิล อิสชู่ (Single Issue) และคำนวณออกมาในรูปแบบความต้องการพลังงานสะสม (Cumulative Exergy Demand) รายละเอียดแสดงในหัวข้อดังต่อไปนี้

ก่อนการปรับปรุงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของควอตซ์ คริสตัล ยูนิต พบว่าด้านวัสดุอุปกรณ์โครงสร้างมีความต้องการพลังงานสะสมมากที่สุด คือ เครื่องจักรที่มีพลาสติกเป็นส่วนประกอบ 1.74E+06 MJ คิดเป็น 23.18% รายละเอียดแสดงในภาพที่ 34



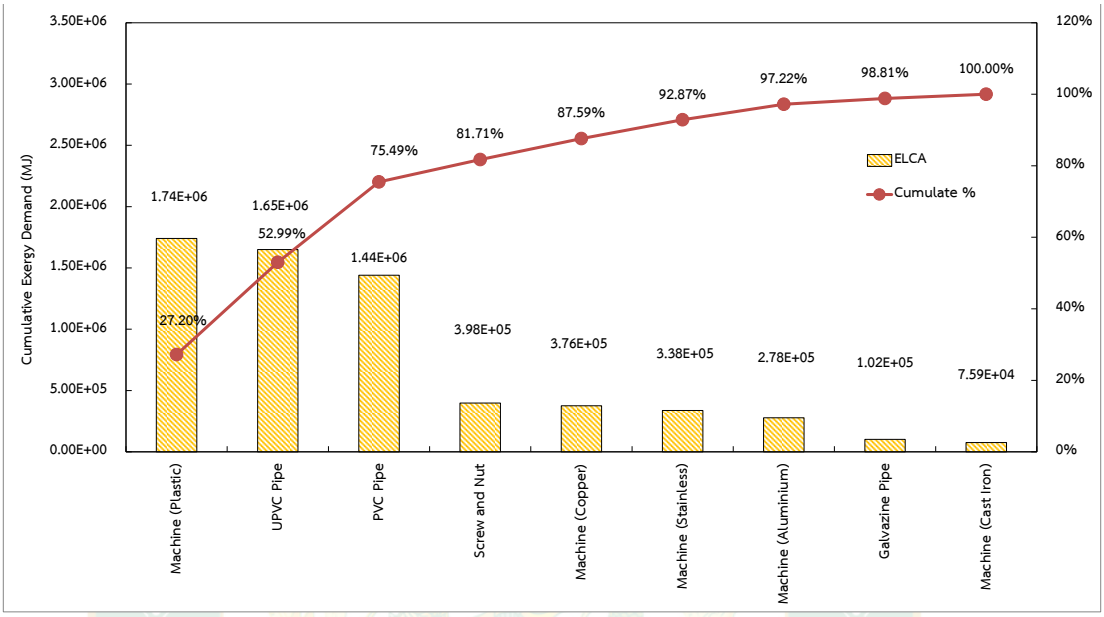
ภาพที่ 35 การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกด้านวัสดุอุปกรณ์โครงสร้าง

ผลการประเมินด้านการดำเนินงาน พบว่า พลังงานไฟฟ้ามีความต้องการพลังงานสะสมมากที่สุด 3.58E+05 MJ คิดเป็น 93.92% รายละเอียดแสดงในภาพที่ 35



ภาพที่ 36 การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกด้านการดำเนินงาน

ในส่วนการรื้อถอนหลังจากตลอดอายุการใช้งาน 30 y ผลการประเมิน พบว่า วัสดุอุปกรณ์โครงสร้างเครื่องจักรในส่วนของพลาสติก สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งสามารถลดความต้องการการใช้พลังงานสะสมได้เท่ากับ -1.74E+06 MJ คิดเป็น 27.20% รายละเอียดแสดงในภาพที่ 36



ภาพที่ 37 การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกด้านการรื้อถอน

การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของเตาเผาขยะชนิดเผาตรง ด้านโครงสร้าง การดำเนินงาน และการรื้อถอนจะใช้ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการประเมิน เหมือนกับการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต พบว่า ด้านโครงสร้างมีความต้องการพลังงานสะสมมากที่สุด 1.97E+04 MJ คิดเป็น 36.52% รองลงมา คือ ในด้านการดำเนินงาน พบว่า มีการใช้พลังงานส่งผลให้เกิดความต้องการพลังงานสะสม 3.38E+04 MJ คิดเป็น 4.27% ตามลำดับ ซึ่งผลรวมความต้องการพลังงานสะสมหลังการรื้อถอนเท่ากับ 4.21E+04 MJ โดยมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของเตาเผาขยะชนิดเผาตรง

Item	Incinerator
	ELCA (MJ)
● Construction Phase	1.97E+04

Item	Incinerator
	ELCA (MJ)
● Operation Phase	
1. Raw Material (Solid Waste)	1.39E+03
2. Energy Factory Waste	3.28E+04
● Decommissioning Phase	
Recycle Waste	-1.18E+04
● Total	4.21E+04

การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ด้านโครงสร้าง การดำเนินงาน และการรื้อถอน พบว่า ด้านโครงสร้างมีความต้องการพลังงานสะสมมากที่สุด 9.26E+05 MJ คิดเป็น 84.72% รองลงมา คือ ด้านการ ดำเนินงาน พบว่า มีการใช้พลังงานส่งผลให้เกิดความต้องการพลังงานสะสม 1.67E+05 MJ คิดเป็น 15.28% ซึ่งผลรวมความต้องการพลังงานสะสมหลังจากการรื้อถอนรวมเท่ากับ 5.37E+05 MJ โดยมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

Item	Organic Rankine Cycle
	ELCA (MJ)
● Construction Phase	9.26E+05
● Operation Phase	
1. Raw Material (Solid Waste)	-
2. Energy	1.67E+05
3. Factory Waste	-
● Decommissioning Phase	
Recycle Waste	-5.55E+05
● Total	5.37E+05

จากนั้นทำการประเมินความต้องการพลังงานสะสมของวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกหลังการปรับปรุง ของแต่ละกระบวนการดังแสดงในภาพที่ 6 ตั้งแต่ด้านวัสดุอุปกรณ์โครงสร้าง การดำเนินงาน

และการรื้อถอน พบว่า ผลการจำลองทางคณิตศาสตร์หลังการปรับปรุง โดยใช้เชื้อเพลิงขยะป้อนให้กับเตาเผาขยะชนิดเผาตรง เพื่อผลิตน้ำร้อนให้กับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์นั้น พบว่า ในด้านวัสดุอุปกรณ์โครงสร้างไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ในด้านการดำเนินงานนั้นสามารถลดความต้องการพลังงานสะสมได้ -5.67E+03 MJ และสามารถลดความต้องการพลังงานสะสมรวมได้ 3.71E+05 MJ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ผลการประเมินของวัฏจักรเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ควอต คริสตัลยูนิต

Item	Before Improvement	Incinerator	ORC	After Improvement
	ELCA (MJ)			
● Construction Phase	7.51E+06	1.97E+04	9.26E+05	7.51E+06
● Operation Phase				
1. Raw Material	1.63E+04	1.39E+03	-	1.63E+04
2. Energy	3.58E+05	3.28E+04	1.67E+05	-5.67E+03
3. Factory Waste	6.84E+03	-	-	-
● Decommissioning Phase				
Recycle Waste	-6.40E+06	-1.18E+04	5.55E+05	-6.40E+06
● Total	1.49E+06	4.21E+04	1.65E+05	1.12E+06

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาสามารถสรุปเนื้อหาสำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อเพลิงขยะได้ดังนี้

สรุปผล

1. การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมก่อนปรับปรุงตลอดอายุการใช้งาน พบว่า ส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 2.58E+08 kg 1,4 DB-eq ภาวะโลกร้อน -1.29E+07 kg CO_2-eq ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด 6.54E+06 kg 1,4 DB-eq ภาวะฝนกรด 2.79E+05 kg SO_2-eq การลดลงของชั้นโอนโซน 1.57E+03 kg CFC-11-eq และพิษต่อระบบนิเวศน์บนบก 2.27E+06 kg 1,4 DB-eq โดยผลิตภัณฑ์ 1 Piece ก่อให้เกิดผลกระทบในด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ 1.64E+00 kg 1,4 DB-eq และความต้องการพลังงานสะสมรวม 1.101809E+10 MJ

2. การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเตาเผาขยะชนิดเผาตรงตลอดอายุการใช้งาน พบว่า ส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 5.69E+06 kg 1,4 DB-eq ภาวะโลกร้อน 1.58E+06 kg CO_2-eq ภาวะฝนกรด 2.45E+05 kg SO_2-eq ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด 1.62E+04 kg 1,4 DB-eq พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก 9.18E+02 kg 1,4 DB-eq และการลดลงของชั้นโอนโซน 1.16E-01 kg CFC-11-eq โดยขยะมูลฝอย 1 kg ก่อให้เกิดผลกระทบในด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ 9.48E+01 kg 1,4 DB-eq และความต้องการพลังงานสะสมรวม 4.75E+04 MJ

3. การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ตลอดอายุการใช้งาน พบว่า ส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 7.04E+05 kg 1,4 DB-eq พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก 1.49E+03 kg 1,4 DB-eq การลดลงของชั้นโอนโซน 4.79E-01 kg CFC-11-eq ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์น้ำจืด -7.67E+03 kg 1,4 DB-eq ภาวะฝนกรด -1.07E+04 kg SO_2-eq และภาวะโลกร้อน -2.46E+06 kg CO_2-eq โดยพลังงานไฟฟ้า 1 kWh ก่อให้เกิดผลกระทบในด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ 1.28E-02 kg 1,4 DB-eq และความต้องการพลังงานสะสมรวม 5.37E+05 MJ

4. การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมหลังปรับปรุงตลอดอายุการใช้งาน พบว่า ส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 2.56E+12 kg 1,4 DB-eq ภาวะโลก

ร้อน6.05E+12 kg CO_2-eq ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด 9.18E+10 kg 1,4 DB-eq ภาวะฝนกรด 2.05E+06 kg SO_2-eq การลดลงของชั้นโอนโซน 4.91E+05 kg CFC-11-eq และพิษต่อระบบนิเวศน์บนบก 4.54E+05 kg 1,4 DB-eq โดยผลิตภัณฑ์ 1 Piece ก่อให้เกิดผลกระทบในด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ 1.63E+04 kg 1,4 DB-eq และความต้องการพลังงานสะสมรวม 1.101773E+10 MJ

5. จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตก่อนและหลังการปรับปรุงผลิตภัณฑ์จำนวน 1 ชิ้น พบว่า การขนส่งขยะมูลฝอยเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนให้กับเตาเผา ส่งผลกระทบในทุก ๆ ด้านของสิ่งแวดล้อม โดยความเป็นพิษต่อมนุษย์เพิ่มขึ้น 1.63E+04 kg 1,4 DB-eq ภาวะโลกร้อน 3.85E+04 kg CO_2-eq ภาวะฝนกรด 1.30E+01 kg SO_2-eq ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด 2.88E+00 kg 1,4 DB-eq พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก 5.84E+02 kg 1,4 DB-eq และการลดลงของชั้นโอนโซน 3.11E-03 kg CFC-11-eq ในส่วนผลการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก พบว่า สามารถลดการใช้พลังงานความร้อนสะสมได้เท่ากับ 3.71E+05 MJ

6. ผลการวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อเพลิงขยะ พบว่า มีค่าเท่ากับ 1.50 Baht/kWh

7. ผลการวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อเพลิงขยะ พบว่า ก่อนปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 1.47 Baht/Piece และหลังปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 1.46 Baht/Piece ซึ่งสามารถลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยได้ 0.01%

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางการการประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อเพลิงขยะ โดยภาพรวมถือว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย แต่งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการจำลองการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ที่ทำงานร่วมกับแหล่งความร้อน คือ เตาเผาขยะชนิดเผาตรง ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งยังไม่ได้ทำการพิสูจน์โดยผลการทดสอบจริง ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงเสนอแนะให้ทำการปรับปรุง และพัฒนาโดยการนำมาใช้กับการผลิตไฟฟ้าโดยใช้วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ที่ทำงานร่วมกับเตาเผาขยะชนิดเผาตรงในสภาวะการทำงานจริงต่อไป

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department). **รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559**. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา www.dcd.go.th, (9 ธันวาคม 2560).

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (Department of Environmental Quality Promotion). **ข้อมูลทั่วไปขยะมูลฝอย**. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา www.deqp.go.th, (12 ธันวาคม 2560).

เจนจิรา เปี่ยมดี พัชรวรรณ สุขสร้อย และโชติมา โครตพัฒน์. 2557. การประเมินวัฏจักรของไส้กรอกปลา กรณีศึกษา (Life Cycle Assessment of Fish Sausage, A Case Study), ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7**. นครปฐม: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

นัฐพร ไชยญาติ. 2560. **การออกแบบระบบพลังงานทดแทน** (Renewable Energy System Design). เชียงใหม่ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และคณะ. 2553. **การสาธิตการเปลี่ยนขยะในมหาวิทยาลัยเป็นพลังงานในรูปแบบความร้อน (Demonstration Projects on Thermal Energy from Waste in University).** สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

นิติวิศว์ แตงไทย. 2556. **การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตและจ่ายน้ำประปา กรณีศึกษาการประปาส่วนภูมิภาคสาขาเชียงราย (Lift Cycle Assessment of Water Supply Production and Distribution System: Case Study of Chiang Rai Water Work Authority),** วิทยาพนธ์ปริญญาโท. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นวรัตน์ และ นันทิยา. 2556. การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตสีเคลือบป้องกันสนิม (Life Cycle Assessment of Protective Coating Paint Production). **วิศวกรรมสาร มก,** *26*(63), 63-75.

เนตรชนากานต์ สุนันตา และ เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. 2560. การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Greenhouse Gases Evaluation of Power Generation Technology from Municipal Waste by Organic Rankine Cycle System), **วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม,** 1(1), 1-14.

ปาณิศา อ่อนดอกไม้ นัฐพร ไชยญาติ จุฑาภรณ์ ชนะถาวร วรรษมล เลิศจตุรานนท์ และสุรัตน์ เศษโพธิ์. 2561. การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่ออน ตามพระราชดำริ. นน. 428-442. ใน **การ**

ประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3. ชุมพร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์.

เลิศชัย ศรเฉลิม. 2553. **การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของขวดแก้วโดยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Environmental Impact Evaluation of Glass Bottle Using Life Cycle Assessment).** วิทยาพนธ์ปริญญาโท. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วิทยา กันยา และหาญพล พึ่งรัศมี. 2551. การประเมินวัฏจักรชีวิตน้ำตาลทรายแดง (Life Cycle Assessment of Brown Sugar), **วารสารงานวิจัย มทร.พระนคร,** 2(1), 77-84.

องค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน).2559. **Emission Factor**. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_822ebb1ed5.pdf (20 กุมภาพันธ์ 2561)

อภิวัฒน์ ยิ้มประเสริฐ นัฐพร ไชยญาติ และจักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล. 2558. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 20 kW_e โดยชีวมวลในพื้นที่ภาคเหนือ. ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8**. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

Ana Cláudia Dias, Luis Arroja and Isabel Capela. 2007. Life Cycle Assessment of Printing and Writing Paper Produced in Portug. **Int J Life Cycle Assessment,** 12(7), 521-528.

APWA (American Public Works Association). **Solid Waste Management,** America, 1992.

Asmae Ismaili M'hamdi, Noureddine Idrissi Kandri, Abdelaziz Zerouale, Dagnija Blumberga, Julija Gusca. 2017. Life cycle assessment of paper production from treated wood. **Energy Procedia**, (128), 461–468.

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.**

Karim Menoufi, Daniel Chemisana, Joan I. Rosell. 2017. Life cycle assessment of a building added concentrating photovoltaic system (BACPV). **Energy Procedia,** (128). 194–201.

Sotoodehnia Poopak and P. Agamuthu. 2011. Life cycle impact assessment (LCIA) of paper making process in Iran. **African Journal of Biotechnology,** 24(10), 4860-4870.

Surat S, Sate S, Nattaporn C and Shabbir H G. 2016. Conventional and Exergetic Life Assessment of Organic Rankine Cycle Implementation to Municipal Waste Management: The Case Study of Nae Hong Son (Thailand). **Int J Life Cycle Assessment,** (22), 1773-1784.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การเผยแพร่งานวิจัย

บทความทางวิชาการที่ 1

ชื่อผู้แต่ง: วรพันธ์ กันธิยะ
นัฐพร ไชยญาติ
จุฑาภรณ์ ชนะถาวร
สุรัตน์ เศษโพธิ์
วรรษมล เลิศจตุรานนท์

ชื่อบทความ: การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์และต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต
Carbon Footprint Assessment and Economic Costing of Quartz Crystal Unit

ชื่อวารสาร: การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3 (The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Science and Technology)

หน้าที่: หน้า 140-141

สถานที่: ณ โรงแรม Loft Mania Boutique Hotel อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร ดำเนินการจัดโดย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาลัยเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

วันที่: ระหว่างวันที่ 24-25 พฤษภาคม 2561

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

เกียรติบัตรฉบับนี้ ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

วรพันธ์ กันธิยะ นัฐพร ไชยญาติ จุฑาภรณ์ ชนะถาวร สุรัตน์ เศษโพธิ์ และวรรษมล เลิศจตุรานนท์

ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความวิจัย ภาคบรรยาย
เรื่อง "การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์และต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต"

วันที่ ๒๔ – ๒๕ พฤษภาคม ๒๕๖๑
ณ ลอฟท์ มาเนีย บูทีค โฮเทล อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร

(ศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)
อธิการบดี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

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

การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์และต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

Carbon Footprint Assessment and Economic Costing of Quartz Crystal Unit

วรพันธ์ กันธิยะ[1], นัฐพร ไชยญาติ[1*], จุฑาภรณ์ ชนะถาวร[1], สุรัตน์ เศษโพธิ์[2] และ วรรษมล เลิศจตุรานนท์[1]
Woraphan Kantiya[1], Nattaporn Chaiyat[1*], Juthaporn Chanataworn[1], Surat Sedpho[2] and Wassamon Lertjaturanon[1]
[1]วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
[2]วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา
[1]School of Renewable Energy, Maejo University
[2]School of Energy and Environment, University of Phayao
*Email: benz178tii@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ และต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของควอตซ์ คริสตัล ยูนิต บริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด โดยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แบบการเกิด (สารขาเข้า) ถึงประตู (สารขาออก) โดยใช้ข้อมูลของบริษัทปี พ.ศ. 2560 ในการประเมิน ผลการศึกษาพบว่า โครงสร้างของโรงงานมีการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้น 32,975,705 kg CO_2-eq และผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการผลิตใช้พลังงานและวัตถุดิบหลัก คือ ไฟฟ้า 9,893 kWh/day และก๊าซไนโตรเจน 7,392 m^3/day ที่ระยะเวลาการทำงาน 24 h/day พบว่า มีการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้น 36,546,216 kg CO_2-eq และในส่วนการนำวัสดุกลับมาใช้เมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน 30 ปีของโรงงาน สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้น 2,819,026 kg CO_2-eq ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าควอตซ์ คริสตัล ยูนิต 1 Piece มีผลต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.58 kg CO_2-eq/Piece และมีผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของค่าต้นทุนต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1.47 Baht/Piece

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์, การประเมินวัฏจักรชีวิต, ค่าต้นทุนต่อหน่วย, ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

Abstract

This research studies the environmental impact based on carbon footprint and the economic costing of Quartz Crystal Unit product of Kyocera Crystal Device (Thailand) Company Limited by a life cycle assessment under cradle to gate. The 2017 operation data of company is used to consider the environmental effect. From the study results, it could be seen that the construction phase of factory released the greenhouse gases total 32,975,705 kg CO_2-eq. The environmental impacts from operation phase of the main energy and material values was electricity of 9,893 kWh/day and nitrogen gas of 7,392 m^3/day at the full operating time (24 h/day), where the greenhouse gases emission was 36,546,216 kg CO_2-eq. The decommissioning phase for recycling the some materials at the end of the factory life time at 30 y was 2,819,026 kg CO_2-eq/Piece. It could be concluded 1 Piece of Quartz Crystal Unit represented the environmental impact at around 0.58 kg CO_2-eq/Piece. Economic costing of this product was 1.47 Baht/Piece.

Keyword: Carbon Footprint, Life Cycle Assessments, Levelized Cost, Quartz Crystal Unit

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาเรื่องขยะมูลฝอยถือเป็นวาระแห่งชาติ จากข้อมูลสถานการณ์ขยะมูลฝอยของกรมควบคุมมลพิษที่ผ่านมา แนวโน้มของปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศเพิ่มขึ้นในทุกปี ทั้งนี้ในปี พ.ศ. 2559 มีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นในประเทศไทยอยู่ที่ 27.06 Million Ton ซึ่งคิดเป็นอัตราการเกิดขยะมูลฝอย 1.14 kg/person·day สำหรับปริมาณขยะมูลฝอยในเขตอุตสาหกรรมทั่วประเทศ พบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้นเช่นกันดังนั้นเพื่อลดปัญหาภาวะก๊าซเรือนกระจก (Green House Effect) ลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลทำให้เกิด ภาวะโลกร้อน (Global Warming) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญเกี่ยวกับผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และการจัดการก๊าซเรือนกระจกในเขตโรงงานอุตสาหกรรม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เลิศชัย (2553) ได้ศึกษาการประเมินวัฏชีวิตของขวดแก้วบรรจุน้ำดื่มขนาด 500 ml พบว่าผลกระทบหลัก คือ ความเป็นพิษในอากาศต่อมนุษย์มาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตขวดแก้ว 98.71% เนตรชนากานต์ และเศรษฐ์ (2560) ได้ศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า จากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 1 kWh พบว่า สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.93 kg CO_2-eq เจนจิรา พัชราวรรณ และ โชติมา (2557) ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของไส้กรอกปลากรณีศึกษา พบว่า กระบวนการผลิตไส้กรอกปลารมควันส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.57 kg CO_2-eq/250 g ของผลิตภัณฑ์ สุรัตน์ และคณะ (2559) ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก โดยการดำเนินการจัดการขยะ

มูลฝอยชุมชนร่วมกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน พบว่า สามารถลดปริมาณขยะมูลฝอยที่จะนำไปฝังกลบลงได้ และลดการบริโภคทรัพยากรได้ถึง 79%

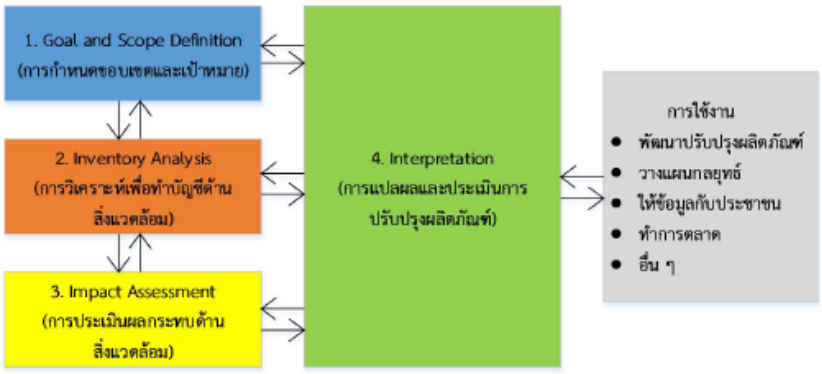
จากงานวิจัยที่กล่าวมาเบื้องต้น พบว่ายังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) โดยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต พร้อมทั้งการหาค่าต้นทุนต่อหน่วย (Levelized Cost) ในโรงงานอุตสาหกรรม

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต และค่าต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์มีดังนี้

2.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment, LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการประเมินและวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณ ที่เกี่ยวเนื่องกับผลิตภัณฑ์ทั้งวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ การจัดหาวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งการใช้งานผลิตภัณฑ์การนำมาใช้ใหม่หรือการใช้ซ้ำ (Reuse) รวมถึงการกำจัดผลิตภัณฑ์ทิ้งหลังจากการใช้งาน ซึ่งเป็นการพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย โดยศึกษาปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ ของเสียจากกระบวนการต่าง ๆ ที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศสุขอนามัยของชุมชนและระบบสิ่งแวดล้อมโลก เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ซึ่งวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ISO 14040-14043 ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็น 4 ขั้นตอนหลักดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1. การดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตตามอนุกรมมาตรฐาน 14040

2.2 การหาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint)

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases) หรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ หมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์ แต่ละหน่วยตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มี 4

ขั้นตอน ตามหลัก ISO 14040 คือ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา การวิเคราะห์บัญชีรายการ การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการแปลผล โดยต้องวิเคราะห์ตามขั้นตอนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ตามหน่วยการทำงาน (Functional Unit, FU) ที่ได้กำหนด การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ การใช้งาน และการกำจัดซากหลังการใช้งาน โดยคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าดังแสดงในสมการดังต่อไปนี้

$$CFP = \sum_i A_i EF_i$$ สมการที่ 1

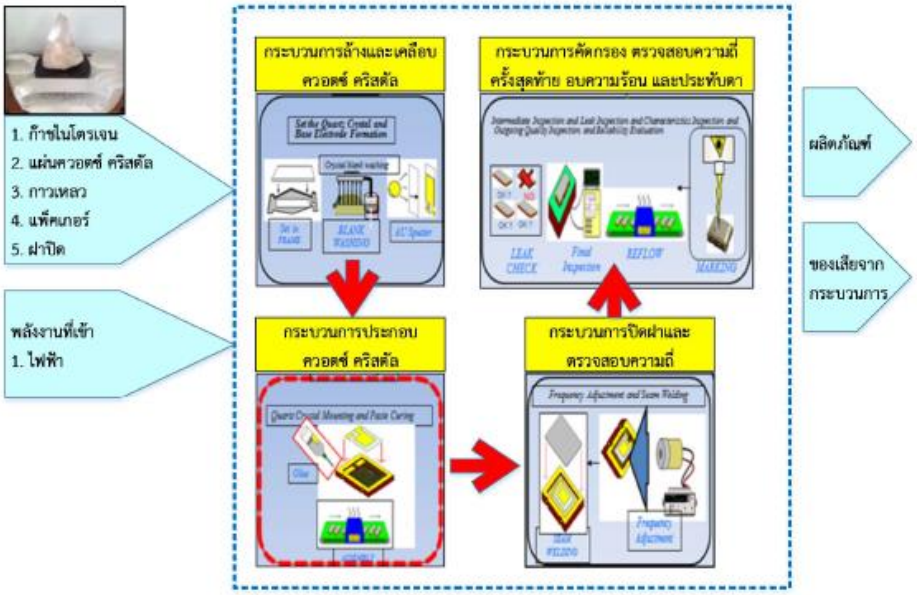
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 กำหนดเป้าหมายและขอบเขตข้อมูลของผลิตภัณฑ์ เพื่อศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดทั้งผลิตภัณฑ์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขอบเขตของการศึกษา คือ ทำการศึกษาตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิด (สารขาเข้า) จนถึงประตู (สารขาออก) โดยพิจารณาตั้งแต่การรับวัตถุดิบ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ วัสดุอุปกรณ์ จนถึงการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์และการกำจัดซากทั้งนี้ไม่พิจารณาในส่วนการส่งออก

การกำหนดหน่วยการทำงาน คือ ผลิตภัณฑ์เอสเอ็มดี ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต จำนวน 1 Piece

รายละเอียดขอบเขตแผนผังการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

3.2 การจัดทำบัญชีรายการข้อมูล และวิเคราะห์บัญชีรายการโดยทำการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม คือ คาร์บอนฟุตฟรินท์โดยใช้โปรแกรม Simapro เวอร์ชั่น 8.5.0 หาค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยคำนวณออกมาในรูป kg CO_2-eq

3.3 การแปรผลและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต จำนวน 1 Piece

3.4 การวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต จำนวน 1 Piece ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$LC = \frac{Inv + \sum_{i=1}^{n} \frac{PC}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^{n} M_{SMD}}$$ สมการที่ 2

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

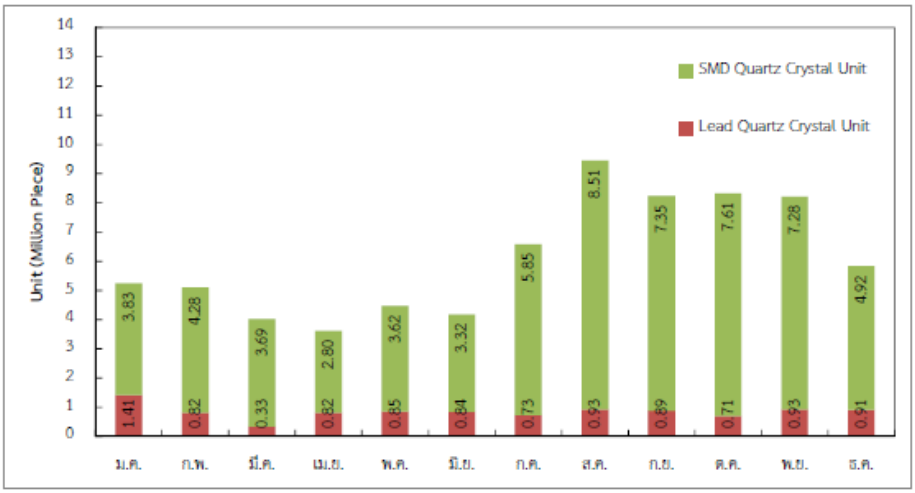
4.1 การจัดทำบัญชีรายการข้อมูล

จากผลการสำรวจข้อมูลด้านวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารโรงงาน ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 5 เฟส โดยเฟสที่ 1 2 และ 3 เป็นอาคารสำนักงาน กระบวนการผลิตรวมอยู่ในอาคารโรงงานเดียวกันมีขนาด 13,971 m^2 ส่วนเฟสที่ 4 เป็นโรงอาหาร สถานที่พักผ่อน และ เฟสที่ 5 เป็นกระบวนการผลิตมีทางเดินเชื่อมต่อกันระหว่างเฟสมีขนาด 9,407 m^2 เป็นอาคารปูน โครงสร้างเหล็ก และหลังคาเมทัลชีท ดังแสดงในรูปที่ 3

รูปที่ 3 อาคารโรงงานเฟสที่ 1 2 3 4 และ 5 บริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด

4.2 การจัดทำบัญชีรายการข้อมูลผลิตภัณฑ์

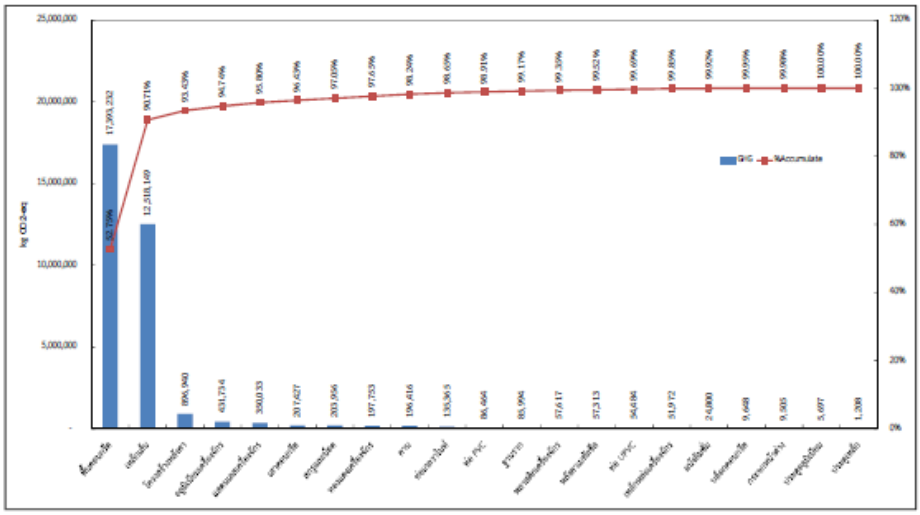
จากผลการสำรวจข้อมูลบริษัทได้ดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์หลักอยู่ 2 ผลิตภัณฑ์ได้แก่ อันดับที่ 1. SMD Quartz Crystal Unit คิดเป็น 86% และอันดับที่ 2. Lead Quartz Crystal Unit คิดเป็น 14% ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ผู้ดำเนินงานวิจัยเลือกที่จะทำการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ และต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ของงานวิจัยในครั้งนี้มีรายละเอียดแสดงในรูปที่ 4



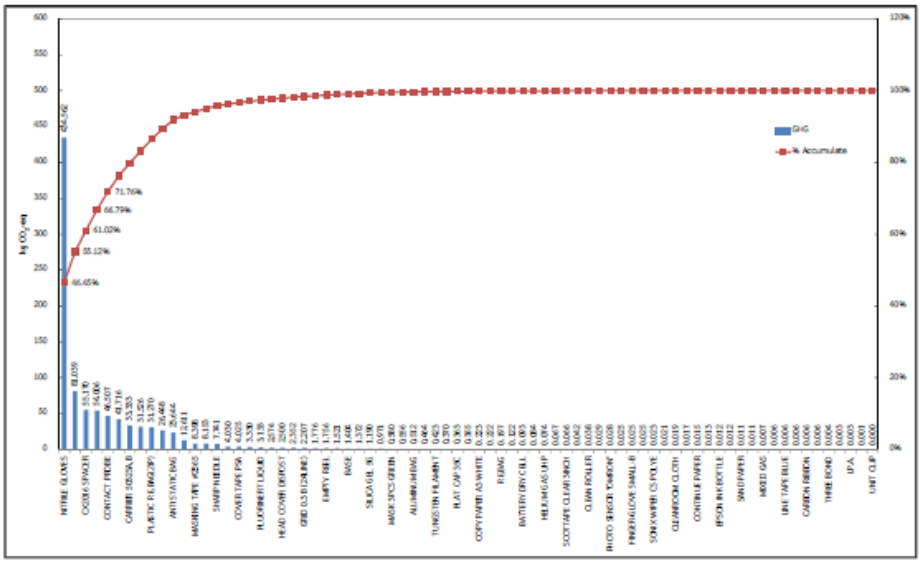
รูปที่ 4 ข้อมูลการผลิตผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ปี พ.ศ. 2560

4.3 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

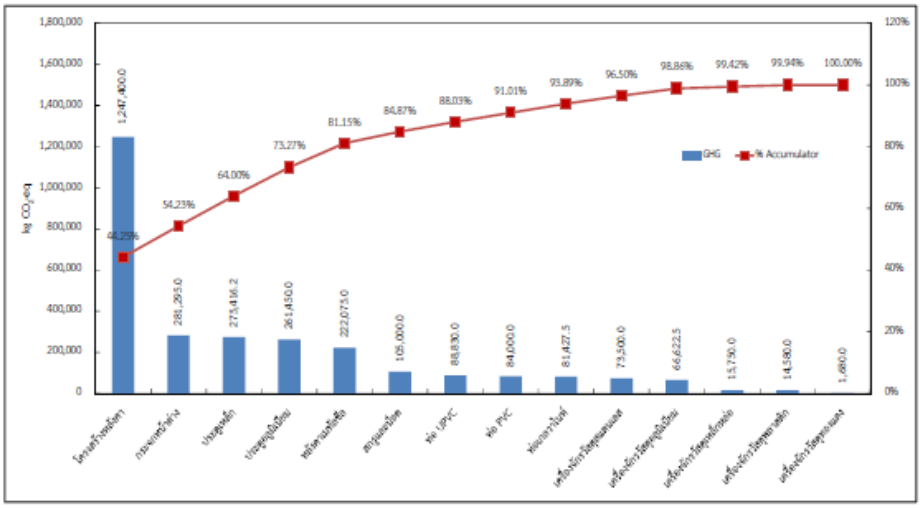
จากผลการสำรวจข้อมูลและวิเคราะห์บัญชีรายการสามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ ข้อมูลปริมาณวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารโรงงาน กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต และการรื้อถอนวัสดุโครงสร้างอาคารโรงงาน พบว่า การเกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างอาคารโรงงาน ปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนมากที่สุด คือ 31,397,734.21 kg CO_2-eq และกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์รองลงมา คือ 3,679,987.23 kg CO_2-eq ตลอดอายุการใช้งาน 30 y และเมื่อหมดอายุการใช้งานสามารถนำเอาวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างอาคารโรงงานบางชนิดกลับมาใช้งานใหม่ สามารถลดการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้เท่ากับ 88,268,292.3 kg CO_2-eq ดังแสดงในรูปที่ 5 6 และ 7



รูปที่ 5 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ส่วนโครงสร้างอาคารโรงงาน



รูปที่ 6 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ส่วนการปฏิบัติงาน



รูปที่ 7 การลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ส่วนการรื้อถอน

4.4 การประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากข้อมูลผลสำรวจและรวบรวมข้อมูลการลงทุน และค่าใช้จ่ายต่างๆ เพื่อทำการประเมินค่าความคุ้มทุนด้านเศรษฐศาสตร์ผลการศึกษา พบว่า กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 Piece จะมีต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตเท่ากับ 1.47 Baht/Piece ดังแสดงรายละเอียดการคำนวณในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การประเมินต้นทุนต่อหน่อยของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์

รายละเอียด	ปริมาณ
มูลค่าของกระบวนการผลิต ($Inv_{Production}$, Baht)	550,000,000
มูลค่าสาธารณูปโภค ($Inv_{Utility}$, Baht)	100,000,000
มูลค่าอาคารโรงงาน ($Inv_{Buidding}$, Baht)	350,000,000
มูลค่าการลงทุน (Inv, Baht)	1,000,000,000
ราคาค่าไฟฟ้าต่อปี ($PC_{Electricity}$, Baht/y)	5,673,317
ราคาค่าน้ำดิบต่อปี (PC_{Water}, Baht/y)	165,000
ราคาค่าก๊าซไนโตรเจน ($PC_{Nitrogen}$, Baht/y)	823,000
ค่าจ้างพนักงานต่อปี (PC_{OP}, Baht/y)	136,500,000

รายละเอียด	ปริมาณ
ค่าใช้จ่ายรวมต่อปี (PC, Baht/y)	143,161,317
มวลผลิตภัณฑ์ชิ้นต่อปี (M_{SMD}, Piece/y)	63,062,000
ระยะเวลาในการทำงาน (t_{OP}, day/y)	8,640
อายุการใช้งาน (N, y)	30
ค่าต้นทุนต่อหน่วย (LC, Baht/Piece)	1.47

5. สรุปผลงานวิจัย

จากการศึกษาและวิเคราะห์ผลงานวิจัย สามารถสรุปเนื้อหาสำคัญได้ดังนี้

1. พลังงานหลักที่ป้อนให้กับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ คือ พลังงานไฟฟ้าในอัตรา 9,893 kWh/day ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอัตรา 5,965 kg CO_2-eq

2. วัตถุดิบหลักที่ป้อนให้กับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ คือ ก๊าซไนโตรเจนในอัตรา 7,392 m^3/day ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอัตรา 3,563,609 kg CO_2-eq

3. การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากคาร์บอนฟุตพริ้นท์แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารโรงงานปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอัตรา 32,975,705 kg CO_2-eq ในส่วนพื้นคอนกรีตปลดปล่อยมากที่สุดในอัตรา 17,393,232 kg CO_2-eq กลุ่มที่ 2 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัลยูนิตปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอัตรา 935.51 kg CO_2-eq ในส่วนถุงมือยางไนไตรล์ปลดปล่อยมากที่สุดในอัตรา 415.16 kg CO_2-eq กลุ่มที่ 3 การรื้อถอนโครงสร้างอาคารโรงงานสามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ในอัตรา 2,819,026 kg CO_2-eq ดังนั้นผลรวมของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด คือ 36,546,216 kg CO_2-eq ตลอดอายุการใช้งาน 30 y และผลิตภัณฑ์มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อชิ้นในอัตรา 0.58 kg CO_2-eq/Piece

4. การประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ของ ควอตซ์ คริสตัลยูนิต จำนวน 1 Piece มีค่าต้นทุนต่อหน่วยเท่ากับ 1.47 Baht/Piece

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และบริษัท เคียว เซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ในการศึกษางานวิจัย ในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559, กรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department), ออนไลน์: www.deqp.go.th, เข้าถึงเมื่อ: 9 ธันวาคม 2560.

อ้างถึงผลสำรวจข้อมูลจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นทั่วประเทศ โดยสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคและสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมและสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัด, ออนไลน์: www.mnre.go.th, เข้าถึงเมื่อ: 9 ธันวาคม 2560.

เลิศชัย ศรเฉลิม. 2553. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของขวดแก้ว โดยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Environmental Impact Evaluation of Glass Bottle Using Life Cycle Assessment), สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2553

Netchanakan S and Sate S. 2017. Greenhouse Gases Evaluation of Power Generation Technology from Municipal Waste by Organic Rankine Cycle System. Journal of Innovative Technology Research Vol.1 No.1 July-December 2017 Rajamangala University of Technology Lanna.

Surat S, Sate S, Nattaporn C and Shabbir H G. 2017. Conventional and Exergetic Life Assessment of Organic Rankine Cycle Implementation to Municipal Waste Management: The Case Study of Nae Hong Son (Thailand). Int J Life Cycle Assess 22: 1773-1784

เจนจิรา พัชรวรรณ และ โชติมา. 2557. การประเมินวัฏจักรของไส้กรอกปลา กรณีศึกษา (Life Cycle Assessment of Fish Sausage, A Case Study), การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, ประเทศไทย, 12-14 พฤศจิกายน 2557.

IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2, Energy. Online://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html, Accessed: 9 December 2017.

องค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), Emission Factor. ออนไลน์: http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_822ebb1ed5.pdf, เข้าถึงเมื่อ: 20 กุมภาพันธ์ 2561

8. รายการสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
CFP	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO_2-eq)
A_i	กิจกรรมต่างๆ (Unit)
EF_i	ค่าเฟคเตอร์ของการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (kg CO_2-eq/unit)
LC	ค่าต้นทุนต่อหน่วย (Baht/Piece)
Inv	มูลค่าการลงทุน (Baht)
PC	ค่าใช้จ่ายรายปี (Baht/y)
M_{SMD}	มวลของผลิตภัณฑ์ (Piece/y)

n	อายุของบริษัท (y)
r	ค่าอัตราส่วนลด (%)
t_{OP}	เวลาการทำงานต่อปี (h/y)
ตัวห้อย	**ความหมาย**
OP	Operator
SMD	Surface Mounting Device

บทความทางวิชาการที่ 2

ชื่อผู้แต่ง: วรพันธ์ กันธิยะ
นัฐพร ไชยญาติ
จุฑาภรณ์ ชนะถาวร
สุรัตน์ เศษโพธิ์
วรรษมล เลิศจตุรานนท์

ชื่อบทความ: การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต
Life Cycle Assessments of Quartz Crystal Unit Product

ชื่อวารสาร: การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 18 และลำปางวิจัย ครั้งที่ 4
(The 18th Graduate Studies of Northern Rajabhat University Network Conference and the 4th Lampang Research)

หน้าที่: หน้า 248-260

สถานที่: ณ อาคารโอฬาร โรจน์หิรัญ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

วันที่: วันที่ 20 กรกฎาคม 2561

มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ร่วมกับ
เครือข่ายบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ

มอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

นายวรพันธ์ กันธิยะ รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ อาจารย์ ดร.จุฑาภรณ์ ชนะถาวร
อาจารย์ ดร.สุรัตน์ เศษโพธิ์ นางสาววรรษมล เลิศจตุรานนท์

ได้นำเสนอผลงานวิจัย (ภาคบรรยาย)

ในการประชุมสัมมนาวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ

เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ ๑๘ และลำปางวิจัย ครั้งที่ ๔

วันที่ ๒๐ กรกฎาคม พุทธศักราช ๒๕๖๑

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ ชัยเสนา
รองอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐรดา วงษ์นายะ
ประธานเครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ

รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ สายธนู
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

Life Cycle Assessments of Quartz Crystal Unit Product

วรพันธ์ กันธิยะ(Woraphan Kantiya)[1] นัฐพร ไชยญาติ(Nattaporn Chaiyat)[1*]
จุฑาภรณ์ ชนะถาวร(Juthaporn Chanataworn)[1], สุรัตน์ เศษโพธิ์(Surat Sedpho)[2]
วรรษมล เลิศจตุรานนท์(Wassamon Lertjaturanon)[1]
[1]วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
[2]วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา
*Email: benz178tii@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ที่ผลิตจากบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด โดยกำหนดขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์แบบ เครเดิล ทู เกท จากข้อมูลการผลิตของบริษัทปี พ.ศ. 2560 และทำการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม 5 ด้าน ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ 30 y ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ ที่ปริมาณ 1.31E+09 kg 1,4 DB-eq รองลงมา คือ ภาวะโลกร้อน 5.70E+08 kg CO_2-eq และเป็นผลกระทบจาก ภาวะฝนกรด 3.33E+07 kg SO_2-eq พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก 1.36E+05 kg 1,4 DB-eq และการลดลงของชั้นโอนโซน 7.01E+04 kg CFC-11-eq ตามลำดับ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้ง 5 ด้าน พบว่า สาเหตุหลักเกิดจากวัสดุก่อสร้างอาคารโรงงาน อันประกอบไปด้วย เหล็ก 40,381,125 kg และพื้นคอนกรีต 56,107,200 kg ตามลำดับ

คำสำคัญ:การประเมินวัฏจักรชีวิต ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ความเป็นพิษต่อมนุษย์ ภาวะโลกร้อน ภาวะฝนกรด

Abstract

This research is the study of the life cycle assessments of the Quartz Crystal Unit product, which is produced from Kyocera Crystal Device (Thailand) Company Limited by setting the scope of the life cycle assessment in terms of cradle to gate from the 2017 operation data of company under the 5 environmental impacts and the life time at 30 y. From the study results, it could be seen that the most emission of the environmental impact is a human toxicity at 1.31E+09 kg 1,4 DB-eq. The

second of the environmental impact is a climate change human health of 5.70E+08 kg CO_2-eq, after that the impacts occur from a terrestrial acidification of 3.33E+07 kg SO_2-eq, a tterrestrial eco toxicity at 1.36 kg 1,4 DB-eq and an ozone depletion as 7.19E+04 kg CFC-11-eq, respectively. From the analysis results, it could be found that the main effect comes from construction materials of factory, which consists of steel at 40,381,125 kg and concrete as 56,107,200 kg, respectively.

Keyword: Life cycle assessments, Quartz Crystal Unit, Human toxicity, Climate change human health, Terrestrial acidification

1. บทนำ

ปัจจุบันเรื่องขยะมูลฝอยถือเป็นปัญหาหลักที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน และเป็นปัญหาระดับชาติซึ่งประเทศไทยกำลังประสพกับปัญหาขยะล้นเมือง จากข้อมูลสถานการณ์ขยะมูลฝอยของกรมควบคุมมลพิษที่ผ่านมา แนวโน้มของปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศไทยมีอัตราเพิ่มขึ้นในทุกปี ทั้งนี้ในปี พ.ศ. 2559 มีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นในประเทศไทยอยู่ที่ 27.06 Million Ton ซึ่งคิดเป็นอัตราการเกิดขยะมูลฝอย 1.14 kg/person·day สำหรับปัญหาขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมทั่วประเทศ มีอัตราเพิ่มขึ้นเช่นกันดังนั้นเพื่อลดปัญหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ภาวะโลกร้อน (Global Warming) การลดลงของชั้นโอนโซน (Ozone Level Depletion) ภาวะฝนกรด (Acidification) ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicology) พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก (Terrestrial Eco toxicity) และ เอ็กเซอร์จีติก (Exergetic Life Cycle Assessment) ดังนั้นงานวิจัยนี้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ และประเภทผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในเขตโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นกระบวนการที่ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตและกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องกันในรูปของวัตถุดิบและพลังงาน ซึ่งการประเมินนี้จะทำตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เลิศชัย (2553) ได้ศึกษาการประเมินวัฏชีวิตของขวดแก้วบรรจุน้ำดื่มขนาด 500 ml พบว่าผลกระทบหลัก คือ ความเป็นพิษในอากาศต่อมนุษย์มาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตขวดแก้ว 98.71% เนตรชนากานต์ และเศรษฐ์ (2560) ได้ศึกษาการประเมินการปลอยกาซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟา จากขยะเทศบาลดวยระบบวัฏจักรแรงดินสารอินทรีย์ขนาด 1 kWh พบว่า สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.93 kg CO_2-eq เจนจิรา พัชราวรรณ และ โชติมา (2557) ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของไส้กรอกปลา กรณีศึกษา พบว่ากระบวนการผลิตไส้กรอกปลารมควันส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.57 kg CO_2-eq/250 g

ของผลิตภัณฑ์ สุรัตน์ และคณะ (2559) ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก โดยการดำเนินการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนรวมกับวัฏจักรแรงดินสารอินทรีย์ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน พบว่าสามารถลดปริมาณขยะมูลฝอยที่จะนำไปฝังกลบลงได้ และลดการบริโภคทรัพยากรได้ถึง 79%

จากงานวิจัยที่กล่าวมาเบื้องต้น พบว่ายังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ ศริสตัล ยูนิต ซึ่งเป็นที่มาของวิจัยนี้ ที่ต้องการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ ศริสตัล ยูนิต ภายใต้ผลกระทบสิ่งแวดล้อม 5 ด้าน อันประกอบไปด้วย ความเป็นพิษต่อมนุษย์ ภาวะโลกร้อน ภาวะฝนกรด พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก และการลดลงของชั้นโอโซน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment, LCA) มีผู้ให้นิยามของการประเมินวัฏจักรชีวิตไว้มากมาย ยกตัวอย่างดังนี้ “เป็นกระบวนการที่ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตและกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องกันในรูปของวัตถุดิบและพลังงาน ซึ่งการประเมินนี้จะทำตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อย่างละเอียด เช่น กระบวนการผลิต การบรรจุ การคัดแยก การบำรุงรักษา และการแปรรูปใช้ใหม่ รวมถึงกิจกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยยึดหลักของระบบนิเวศ สุขอนามัย และการนำทรัพยากรมาใช้เป็นหลัก” ซึ่งถูกนิยามโดย สมาคมพิษวิทยาด้านสิ่งแวดล้อม และสารเคมี (Society of Environment Toxicology and Chemical, SETAC) “เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต” ซึ่งถูกนิยามไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO14040 โดยองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization, ISO) การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มีความซับซ้อนกว่าเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เนื่องจากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตไม่ได้มองเฉพาะการปล่อยสารพิษออกมาเพียงอย่างเดียว แต่ยังศึกษาถึงผลกระทบต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมของโลก เช่น การเกิดภาวะเรือนกระจกที่ส่งผลให้โลกร้อนขึ้น โดยการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตจะเน้นผลเชิงปริมาณของผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ และใช้ข้อมูลผลกระทบนั้นมาพิจารณาเพื่อกำหนดแนวทางในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ของภาคอุตสาหกรรม และแนวทางการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมของภาครัฐและภาคเอกชน รวมถึงใช้เป็นข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคการประเมินวัฏจักรชีวิตประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. การบ่งชี้และระบุปริมาณของภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดช่วงชีวิตของ ผลิตภัณฑ์ในทุกกิจกรรม (Environmental Loads)

2. การประเมินและหาค่าของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้น (Environmental Impacts) ในกระบวนการผลิต โดยลักษณะการเกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมสามารถแบ่งได้ 3 ส่วน อันประกอบไปด้วย วัสดุในการก่อสร้างอาคาร วัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ในการผลิตต่าง ๆ และการรื้อถอนนำกลับมาใช้ใหม่

3. การประเมินหาโอกาสในการปรับปรุงสิ่งแวดล้อม

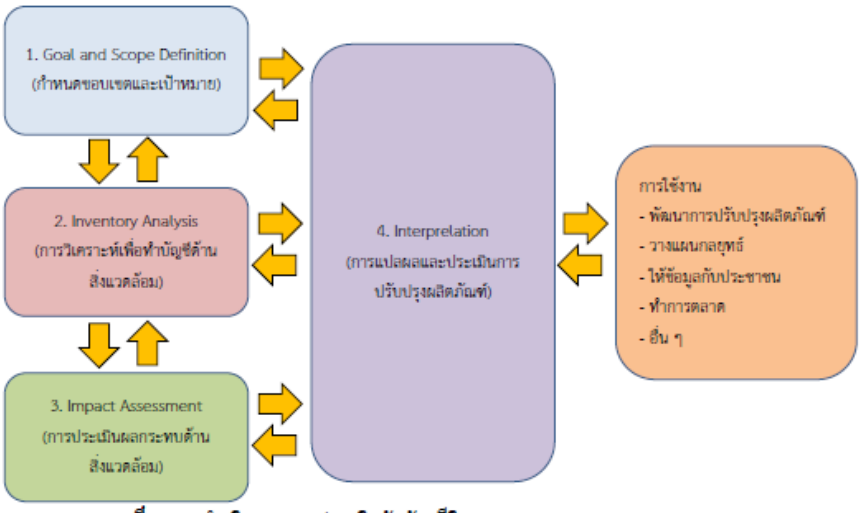
ซึ่งวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ISO 14040-14043 ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็น 4 ขั้นตอนหลักดังแสดงในภาพที่ 1 ส่วนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา การวิเคราะห์บัญชีรายการ การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการแปลผลวิเคราะห์ตามขั้นตอนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ตามหน่วยการทำงาน (Functional Unit, FU) ซึ่งการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ การใช้งาน และการกำจัดซากหลังการใช้งาน โดยคำนวณออกมาในรูปผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมแสดงในสมการดังต่อไปนี้

$$IC = \sum_i (A_i \times EF_i) \qquad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ IC หมวดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (Impact Category)

A_i กิจกรรมต่าง ๆ (Unit)

EF_i ค่าเฟคเตอร์ของผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (kg 1,4 DB-eq/Unit, kg CO_2-eq/Unit, kg SO_2-eq/Unit, kg 1,4 DB-eq/Unit, kg CFC-11-eq/Uint)



ภาพที่ 1 การดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตตามอนุกรมมาตรฐาน 14040

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขอบเขตของการศึกษา คือ ทำการศึกษาตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แบบ เครเดิล ทู เกท (Cradle to Gate) โดยพิจารณาตั้งแต่การรับวัตถุดิบ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ วัสดุอุปกรณ์ จนถึงการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ และการกำจัดซากทิ้งนี้ไม่พิจารณาในส่วนการส่งออก

3.2 กำหนดเป้าหมาย คือ ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดทั้งผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์เอสเอ็มดี ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต และหน่วยการทำงาน คือ ผลิตภัณฑ์เอสเอ็มดี ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต จำนวน 1 Piece ซึ่งมีรายละเอียดในการศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ดังแสดงในภาพที่ 2

ภาพที่ 2 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

3.3 จัดทำบัญชีรายการและเก็บข้อมูลของบริษัท เพื่อทำการประเมินผลกระทบต่าง ๆ ทั้ง 5 ด้าน คือ 1 ภาวะโลกร้อน kg CO_2-eq 2 การลดลงของชั้นโอโซน kg CFC-11-eq 3 ภาวะฝนกรด kg SO_2-eq 4 ความเป็นพิษต่อมนุษย์ kg 1,4 DB-eq และ 5 พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก kg 1,4 DB-eq โดยใช้โปรแกรม SimaPro เวอร์ชั่น 8.5.0 โดยวิธี ReCiPi Midpoint (H) หรือการวิเคราะห์ผลกระทบขั้นกลางแบบลำดับชั้น เพื่อหาปริมาณการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้ง 5 ด้าน

3.4 ทำการแปรผลและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ของผลิตภัณฑ์เอสเอ็มดี ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต จำนวน 1 Piece ว่าเกิดผลกระทบทั้ง 5 ด้าน ๆ ใดเกิดผลกระทบมากที่สุดเพื่อนำไปปรับปรุงและพิจารณาการแก้ไขปรับปรุงทางด้านสิ่งแวดล้อมต่อไป

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 จัดทำบัญชีรายการข้อมูลด้านวัสดุอุปกรณ์การก่อสร้างอาคารโรงงานของบริษัท โดยอาคารโรงงานมีอยู่ด้วยกัน 5 เฟส ซึ่งเฟสที่ 1-3 เป็นอาคารสำนักงาน กระบวนการผลิตรวมอยู่ใน

อาคารโรงงานเดียวกันมีขนาด 13,971 m^2 ส่วนเฟสที่ 4 เป็นโรงอาหาร สถานที่พักผ่อน และเฟสที่ 5 เป็นคลังสินค้าและการส่งออกมีขนาดพื้นที่รวมกัน 9,407 m^2 เป็นอาคารปูน โครงสร้างเหล็ก และหลังคาเป็นแผ่นเมทัลชีท โดยมีรายละเอียดของโรงงานแต่ละเฟสแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อาคารโรงงานบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด

ชื่ออาคารโรงงาน	รายละเอียดของพื้นที่	ขนาดพื้นที่ (m2)
เฟสที่ 1	สำนักงานและกระบวนการผลิต	6,985
เฟสที่ 2	กระบวนการผลิตลีด ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต	2,235
เฟสที่ 3	กระบวนการผลิตเอสเอ็มดี ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต	402
เฟสที่ 4	โรงอาหารและสถานที่พักผ่อน	2,351
เฟสที่ 5	คลังเก็บสินค้าและการส่งออก	7,055

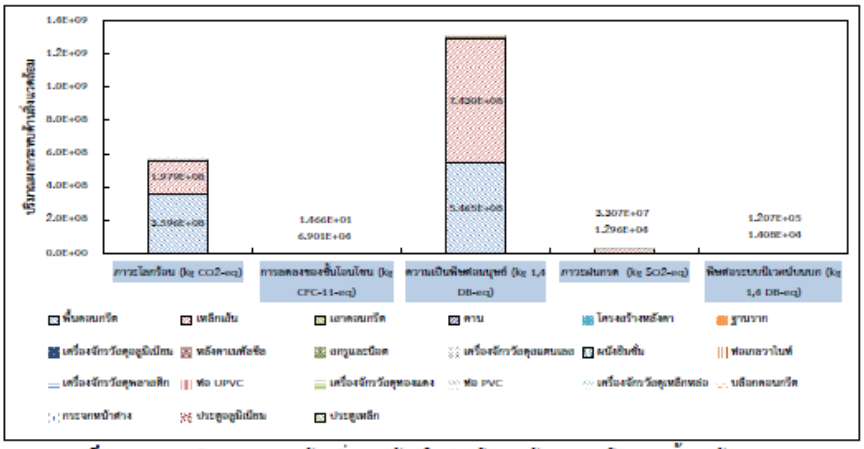
4.2 จัดทำบัญชีรายการข้อมูลผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากผลการสำรวจข้อมูลบริษัทได้ดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์หลักอยู่ 2 ผลิตภัณฑ์ได้แก่ อันดับที่ 1 เอสเอ็มดี ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต (SMD Quartz Crystal Unit) คิดเป็น 86% และอันดับที่ 2 ลีด ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต (Lead Quartz Crystal Unit) คิดเป็น 14% ดังนั้นจึงเป็นที่มาและเหตุผลหลักที่ผู้ดำเนินงานวิจัยเลือกใช้ข้อมูลของผลิตภัณฑ์เอสเอ็มดี ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ในการวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของงานวิจัยในครั้งนี้ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลการผลิตผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิตปี พ.ศ. 2560

เดือนที่ผลิต	จำนวน (Million Piece)	
	ลีด ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต	เอสเอ็มดี ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต
มกราคม	1.40	3.80
กุมภาพันธ์	0.81	4.30
มีนาคม	0.33	3.70
เมษายน	0.81	2.80
พฤษภาคม	0.84	3.60

มิถุนายน	0.84	3.30
กรกฎาคม	0.72	5.80
สิงหาคม	0.92	8.50
กันยายน	0.889	7.300
ตุลาคม	0.710	7.600
พฤศจิกายน	0.927	7.300
ธันวาคม	0.912	4.900

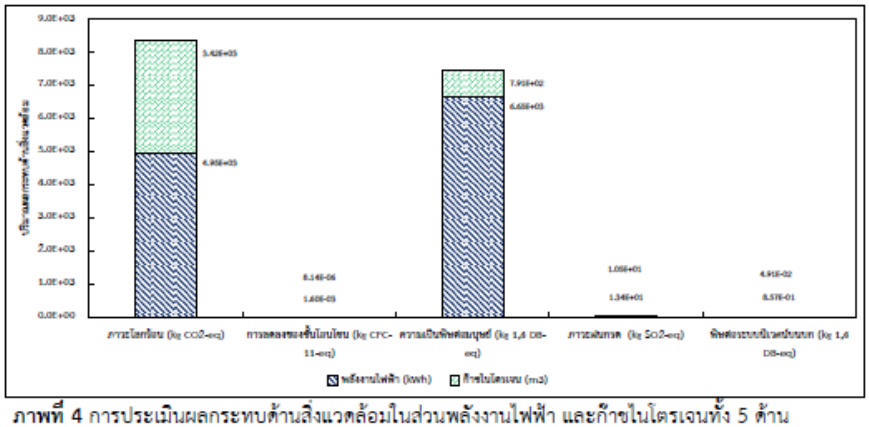
4.3 ผลการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของโครงสร้างอาคารโรงงาน โดยใช้โปรแกรม SimaPro เวอร์ชั่น 8.5.0 หาปริมาณการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้ง 5 ด้าน ซึ่งผลกระทบที่ปลดปล่อยมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 1.31E+09 kg 1,4 DB-eq มาจากโครงสร้างเหล็ก 7.43E+08 คิดเป็น 56.73% และพื้นคอนกรีต 5.46E+08 คิดเป็น 41.72% รองลงมาคือ ภาวะโลกร้อน 5.70E+07 kg CO_2-eq มาจากพื้นคอนกรีต 3.59E+08 คิดเป็น 63.05% และโครงสร้างเหล็ก 1.97E+08 คิดเป็น 34.96% รายละเอียดแสดงในภาพที่ 3



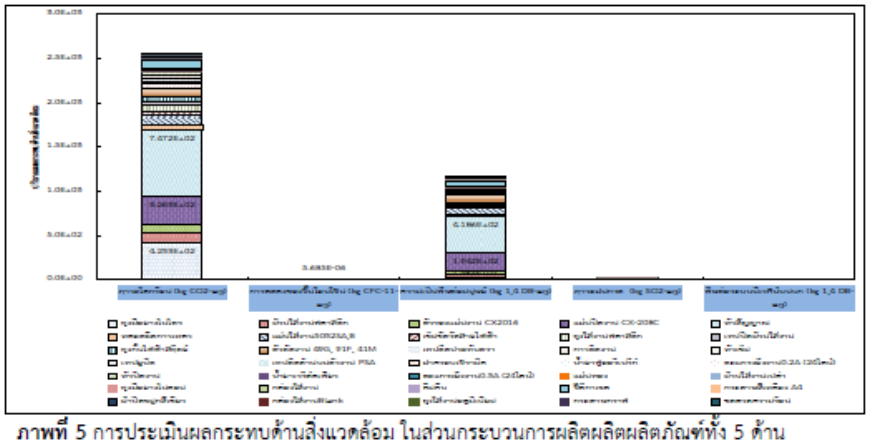
ภาพที่ 3 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในส่วนโครงสร้างอาคารโรงงานทั้ง 5 ด้าน

4.4 ผลการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ภาวะโลกร้อน 1.09E+04 kg CO_2-eq มาจากพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับกระบวนการผลิต 4.95E+03 kg CO_2-eq คิดเป็น 45.32% ก๊าซไนโตรเจน 3.42E+03 kg

CO_2-eq คิดเป็น 31.29% ถุงมือยางไนไตร 4.23E+02 คิดเป็น 3.87% รองลงมา คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 8.61E+03 kg 1,4 DB-eq มาจากพลังงานไฟฟ้าและก๊าซไนโตรเจนคิดเป็น 77.2% และ 9.19% ตามลำดับ โดยผลกระทบด้านการลดลงของชั้นโอโซนเกิดน้อยที่สุด 1.78E-04 kg CFC-11-eq ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาพที่ 4 และ 5



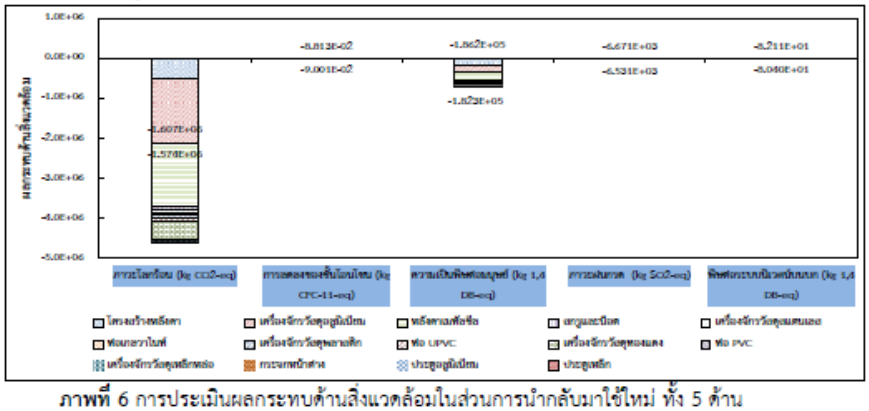
ภาพที่ 4 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในส่วนพลังงานไฟฟ้า และก๊าซไนโตรเจนทั้ง 5 ด้าน



ภาพที่ 5 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ในส่วนกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 ด้าน

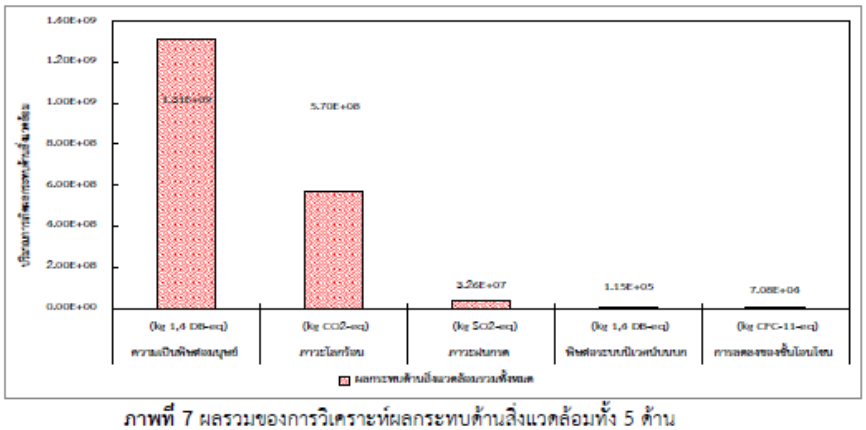
4.5 ผลการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อนำเอาวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างอาคารโรงงานบางชนิดกลับมาใช้งานใหม่ ซึ่งสามารถลดการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ภาวะโลกร้อน -4.63E+06 kg CO_2-eq มาจากการรื้อถอนเครื่องจักรวัสดุอลูมิเนียม 34.69% หลังคา

เมทัลชีล 33.96% รองลงมา คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ -6.96E+05 kg 1,4 DB-eq ภาวะฝนกรด -2.06E+04 kg SO_2-eq พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก -2.21E+02 kg 1,4 DB-eq การลดลงของชั้นโอนโซน ช่วยลดผลกระทบน้อยที่สุด -2.22E+02 kg CFC-11-eq มาจากโครงสร้างหลังคา 4.0% และน้อยที่สุดมาจากประตูเหล็ก 0.005% ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในส่วนการนำกลับมาใช้ใหม่ ทั้ง 5 ด้าน

4.6 ผลรวมของการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ในส่วนวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างอาคารโรงงาน กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ และวัสดุอาคารโรงงานบางชนิดกลับมาใช้งานใหม่ ซึ่งผลการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 1.31E+09 kg 1,4 DB-eq มาจากโครงสร้างอาคารโรงงานคิดเป็น 99.99% ในส่วนผลกระทบรองลงมาเป็นภาวะโลกร้อน 5.70E+08 kg CO_2-eq ภาวะฝนกรด 3.26E+07 kg SO_2-eq พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก 1.15E+05 kg 1,4 DB-eq และการลดลงของชั้นโอนโซน 7.08E+04 kg CFC-11-eq ซึ่งจากผลการประเมินตัวการหลักที่ทำให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุดทั้ง 5 ด้านมาจากการก่อสร้างอาคารโรงงาน รายละเอียดแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลรวมของการวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้ง 5 ด้าน

4.7 ผลการแปลผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ ศริสตัล ยูนิต เป็นเวลา 30 y ระยะเวลาทำงาน 24 h/day หรือ 360 day/y มีสาเหตุหลักของการปลดปล่อยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง 5 ด้าน เกิดจากช่วงการก่อสร้างอาคารของโรงงาน อันประกอบไปด้วยวัสดุหลักจากเหล็ก 40,381,125 kg และพื้นคอนกรีต 56,107,200 kg ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การแปลผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	ส่วนผลกระทบย่อย			ผลรวม	หน่วย
	โครงสร้าง1	ปฏิบัติการ2	การรื้อถอน3	ปริมาณผลกระทบ	
ความเป็นพิษต่อมนุษย์	1.31E+09	8.61E+03	-4.63E+06	1.31E+09	kg 1,4 DB-eq
ภาวะโลกร้อน	5.70E+08	1.09E+04	-2.17E-01	5.70E+08	kg CO_2-eq
ภาวะฝนกรด	3.33E+07	4.11E+01	-6.97E+05	3.26E+07	kg SO_2-eq
พิษต่อระบบนิเวศบนบก	1.36E+05	1.72E+00	-2.07E+04	1.15E+05	kg 1,4 DB-eq
การลดลงของชั้นโอโซน	7.10E+04	1.78E-03	-2.22E+02	7.08E+04	kg CFC-11-eq

หมายเหตุ: [1]ส่วนโครงสร้างอาคารโรงงาน, [2]ส่วนปฏิบัติการ, [3]ส่วนการรื้อถอน

5. สรุปผลงานวิจัย

จากการศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของงานวิจัยดังกล่าว สามารถสรุปเนื้อหาสำคัญได้ดังนี้ในส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งเป็นพลังงานหลักในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ มีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์เท่ากับ 6.65E+03 kg 1,4 DB-eq รองลงมา คือ ภาวะโลกร้อนเท่ากับ 4.95E+03 kg CO_2-eq ในส่วนการใช้ก๊าซไนโตรเจนมีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ภาวะโลกร้อนเท่ากับ 3.42E+03 kg CO_2-eq รองลงมา คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์เท่ากับ 7.91E+03 kg 1,4 DB-eq และผลการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต แบ่งเป็น 3 กลุ่ม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. กลุ่มวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ก่อสร้างอาคารโรงงานมีการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์เท่ากับ 1.31E+09 kg 1,4 DB-eq และรองลงมา คือ ภาวะโลกร้อนเท่ากับ 5.70E+08 kg CO_2-eq

2. กลุ่มกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มีการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม มากที่สุด คือ ภาวะโลกร้อนเท่ากับ 2.55E+03 kg CO_2-e และรองลงมา คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์เท่ากับ 1.17E+03 kg 1,4 DB-eq

3. กลุ่มรื้อถอนโครงสร้างอาคารโรงงาน เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม มากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์เท่ากับ -4.63E+06 kg 1,4 DB-eq และรองลงมา คือ ภาวะฝนกรดเท่ากับ -6.97E+05 kg SO_2-eq

4. ผลรวมของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิตทั้งหมดมีการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์เท่ากับ 1.31E+09 kg 1,4 DB-eq และรองลงมา คือ ภาวะโลกร้อนเท่ากับ 5.70E+08 kg CO_2-eq

5. สาเหตุหลักของการปลดปล่อยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง 5 ด้าน เกิดจากช่วงการก่อสร้างอาคารของโรงงาน อันประกอบไปด้วยวัสดุหลัก คือ เหล็ก 40,381,125 kg และพื้นคอนกรีต 56,107,200 kg

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ในการศึกษางานวิจัย ในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

เจนจิรา เปี่ยมดี, พัชรวรรณ สุขสร้อย และโชติมา โครตพัฒน์. 2557. การประเมินวัฏจักรของไส้กรอกปลา กรณีศึกษา (Life Cycle Assessment of Fish Sausage, A Case Study), การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7, 12-14 พฤศจิกายน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, ประเทศไทย.

เนตรชนากานต์ สุนันตา และเศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. 2560. การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ (Greenhouse Gases Evaluation of Power Generation Technology from Municipal Waste by Organic Rankine Cycle System), วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1 กรกฎาคม-ธันวาคม, เลขหน้า 1-14, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

เลิศชัย ศรเฉลิม. 2553. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของขวดแก้ว โดยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Environmental Impact Evaluation of Glass Bottle Using Life Cycle Assessment), สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559, กรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department), ออนไลน์: www.deqp.go.th, เข้าถึงเมื่อ: 9 ธันวาคม 2560.

อ้างถึงผลสำรวจข้อมูลจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นทั่วประเทศ โดยสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคและสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมและสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัด, ออนไลน์: www.mnre.go.th, เข้าถึงเมื่อ: 9 ธันวาคม 2560.

องค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), Emission Factor. ออนไลน์: http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_822ebb1ed5.pdf, เข้าถึงเมื่อ: 20 กุมภาพันธ์ 2561

IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2, Energy. Online://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html, Accessed: 9 December 2017.

Surat S, Sate S, Nattaporn C and Shabbir H G. 2016. Conventional and Exergetic Life Assessment of Organic Rankine Cycle Implementation to Municipal Waste Management: The Case Study of Nae Hong Son (Thailand). Int J Life Cycle Assess 22: 1773-1784

8. รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
A	Activity (Unit)
CC	Climate Change (kg CO_2-eq)
EF	Emission Factor (kg CO_2-eq/unit)
HT	Human Toxicology (kg 1,4 DB-eq)
IC	Impact Category (Unit)
OD	Ozone Level Depletion (kg CFC-11-eq)
TA	Terrestrial Acidification (kg SO_2-eq)
TE	Terrestrial Eco toxicity (kg 1,4 DB-eq)

อักษรย่อ	ความหมาย
i	Item
SMD	Surface Mounting Device

บทความทางวิชาการที่ 3

ชื่อผู้แต่ง: วรพันธ์ กันธิยะ
นัฐพร ไชยญาติ
วรรษมล เลิศจตุรานนท์

ชื่อบทความ: การประเมินวัฏจักรชีวิตและการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิตร่วมกับวัฏจกรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อเพลิงขยะ
Conventional and Exergetic Life Cycle Assessments of Quartz Crystal Unit Product Combinend with Organic Rankine Cycle by Using Refuse Derived Fuel

ชื่อวารสาร: วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
(UBU Engineering Journal)

หน้าที่: -

สถานที่: อยู่ในช่วงการแก้ไขบทความครั้งที่ 2 และรอผลการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ

วันที่: -

วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.
UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

การประเมินวัฏจักรชีวิตและการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อเพลิงขยะ

Conventional and exergetic life cycle assessments of Quartz Crystal Unit product combined with Organic Rankine Cycle by using refuse derived fuel

วรพันธ์ กันธิยะ นัฐพร ไชยญาติ* และวรรษมล เลิศจตุรานนท์

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

Woraphan Kantiya Nattaporn Chaiyat * and Wassamon Lertjaturanon

School of Renewable Energy Maejo University, Sansi District, Chiang Mai, 50290

* Corresponding author.

E-mail: benz178tii@hotmail.com; Telephone: +668 8252 3088

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของกระบวนการผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต บริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้ารัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยใช้ขยะในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ โดยทำการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้งหมด 6 ด้าน ร่วมกับต้นทุนด้านเศรษฐศาสตร์ ผลการศึกษา พบว่า การนำเชื้อเพลิงขยะมาผลิตไฟฟ้า เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต สามารถลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมลงได้ โดยสามารถลดความเป็นพิษต่อมนุษย์ได้มากที่สุด คือ 1.95E+10 kg 1,4 DB-eq รองลงมา คือ ภาวะโลกร้อน 1.36E+10 kg CO_2-eq ภาวะฝนกรด 9.56E+06 kg SO_2-eq ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด 9.49E+07 kg 1,4 DB-eq พิษต่อระบบนิเวศบนบก 9.67E+05 kg 1,4 DB-eq และการลดลงของชั้นโอโซน 2.13E+06 kg CFC-11-eq ตามลำดับ การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก พบว่า ระบบหลังการปรับปรุงสามารถลดความต้องการพลังงานสะสมรวมได้ 370,506.67 MJ โดยมีค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยจากเชื้อเพลิงขยะ 1.50 Baht/kWh และสามารถลดค่าต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ได้เท่ากับ 1.44 Baht/Piece เปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงที่ 1.47 Baht/Piece

คำสำคัญ

การประเมินวัฏจักรชีวิต; การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก; ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต; ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย; ค่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วย

Abstract

This research studies the conventional and exergetic life cycle assessments of a Quartz Crystal Unit production processes of Kyocera Crystal Device (Thailand) Company Limited combined with an organic Rankine cycle by using municipal solid waste in the Northern Region Industrial Estate. The environmental impact of 6 indicators and the economic results are analyzed. From the study results, it can be seen that the electrical process from a refuse derived fuel for using in the Quartz Crystal Unit production processes can be reduced the environmental effects. A highest impact to reduce the environmental emission is a human toxicity at 1.95E+10 kg 1,4 DB-eq. The second environmental impact is a climate change human health of 1.36E+10 kg CO_2-eq. Next the impacts occur from a terrestrial acidification of 9.56E+06 kg SO_2-eq, a freshwater eco toxicity 9.49E+07 kg 1,4 DB-eq, a terrestrial eco toxicity at 9.67E+05 kg 1,4 DB-eq and an ozone depletion as 2.13E+06 kg CFC-11-eq, respectively. Exergetic life cycle assessment shows that a cumulative energy demand of the modified system can be decreased 370,506.67 MJ. The economic results, a levelized electricity cost from the refuse derived fuel is 1.50 Baht/kWh, which can be decreased a levelized cost of the Quartz Crystal Unit production processes to be 1.44 Baht/Piece compared with that of the normal processes at 1.47 Baht/Piece.

Keywords

Life Cycle Assessment; Exergetic Life Cycle Assessment; Quartz Crystal Unit; Levelized Electricity Cost; Levelized Cost

1. คำนำ

ปัจจุบันปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมถือเป็นสิ่งสำคัญในทุกภาคส่วนยิ่งเกี่ยวกับผลกระทบต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบนิเวศ เช่น ภาวะโลกร้อน (Global Warming) การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone Level Depletion) ภาวะฝนกรด (Acidification) ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicology) พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก (Terrestrial Eco toxicity) และ ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด (Freshwater Eco toxicity) เป็นต้น ถือเป็นวิกฤตปัญหาของทั่วโลก ซึ่งประเทศไทยได้ดำเนินการแก้ไขและป้องกันผลกระทบดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาที่มีต้นเหตุจากขยะมูลฝอย และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2559 ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยประมาณ 27.06 Million Ton คิดเป็น 1.14 kg/person·day [1] ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงนำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ เพื่อลดปัญหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

โดยงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมประกอบไปด้วย เลิศชัย [2] ได้ศึกษาการประเมินวัฏชีวิตของขวดแก้วบรรจุน้ำดื่มขนาด 500 ml พบว่า ผลกระทบหลัก คือ ความเป็นพิษในอากาศต่อมนุษย์มาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตขวดแก้ว 98.71% เนตรชนา กานต์ และเศรษฐ์ [3] ได้ศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า จากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ขนาด 1 kWh พบว่า สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.93 kg CO_2-eq เจนจิรา พัชราวรรณ และ โชติมา [4] ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของไส้กรอกปลา พบว่า กระบวนการผลิตไส้กรอกปลารมควันส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.57 kg CO_2-eq/250 g ของผลิตภัณฑ์ สุรัตน์ และคณะ [5] ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก โดยการดำเนินการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน ร่วมกับวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งสามารถลดปริมาณขยะมูลฝอยที่จะนำไปฝังกลบลงได้ และลดการบริโภคทรัพยากรได้ถึง 79% นวรัตน์ และนันทิยา [6] ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตสีเคลือบป้องกันสนิม พบว่า ในการผลิตสีเคลือบ

ป้องกันสนิม 1 ตัน เกิดจากการผลิตวัตถุดิบมากที่สุด รองลงมาคือ กระบวนการผลิตสีในบริษัทและการขนส่งวัตถุดิบมายังบริษัทผลิตสี ผลกระทบส่วนใหญ่เกิดจากความเป็นพิษในแหล่งน้ำทะเล ความเป็นพิษของแหล่งน้ำจืด และศักยภาพทำให้เกิดฝนกรด วิทยา และหาญพล [7] ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตน้ำตาลทรายแดง พบว่า กระบวนการตกผลึกของน้ำตาลทรายแดงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยเกิดภาวะโลกร้อน 81% การลดลงของชั้นโอโซน 56% ของกระบวนการน้ำตาลทราย 1 Ton นิติวิศว์ [8] ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตและจ่ายน้ำประปา กรณีศึกษาการประปาส่วนภูมิภาคสาขาเชียงราย พบว่า ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเป็นปริมาณท่ากับ 0.173 kg CO_2-eq/m^3 โดยมีก๊าซที่เกิดจากกระบวนการผลิต 0.101 kg CO_2-eq/m^3 และปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่จ่ายน้ำประปาเท่ากับ 0.072 kg CO_2-eq/m^3 Ana et al. [9] ประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตกระดาษเขียนและกระดาษพิมพ์ไนโปรตุเกส พบว่า การผลิตกระดาษปลดปล่อยมลพิษทางอากาศมากที่สุด และไม่มีการนำกลับมาใช้ ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนมากที่สุด รองลงมาเป็นส่วนกระบวนการผลิตกระดาษเกิดมลพิษทางน้ำของค่า COD และ AOX คล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Sotoodehnia and Agamuthu [10] และ Asmae et al. [11]

จากงานวิจัยที่กล่าวมาเบื้องต้น พบว่า ยังไม่มีงานวิจัยใดทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินวัฏจักรเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อพลิงขยะ ซึ่งเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ที่ต้องการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ร่วมกับความเป็นไปได้ด้านพลังงานและด้านเศรษฐศาสตร์ ของกระบวนการผลิตควอตซ์ คริสตัล ยูนิต โดยใช้ขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในเขตนิคมอุตสาหกรรมลำพูน มาผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เพื่อลดการซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ของกระบวนการผลิตควอตซ์ คริสตัล ยูนิต บริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การผลิตเชื้อเพลิงขยะมูลฝอย (Refuse Derived Fuel, RDF)

เชื้อเพลิงขยะเป็นรูปแบบของการจัดการขยะเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงวิธีหนึ่ง โดยการปรับปรุงและแปลงสภาพของขยะมูลฝอยให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณสมบัติในด้านค่าความร้อน (Heating Value) ความชื้น ขนาด และความหนาแน่นเหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าหรือความร้อน และมีองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอ เชื้อเพลิงขยะสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิด ตามมาตรฐาน ASTM E-75

การประเมินค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ สามารถหาได้จากการวิเคราะห์แบบละเอียด (Ultimate Analysis) หรือการวิเคราะห์หาสัดส่วนขององค์ประกอบธาตุ อันประกอบไปด้วย คาร์บอน (Carbon, C) ไฮโดรเจน (Hydrogen, H) ออกซิเจน (Oxygen, O) ซัลเฟอร์ (Sulfur, S) ขี้เถ้า (Ash Content, Ash) และค่าความชื้น (Moisture Content, Mc) โดยการหาค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV) และค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value, LHV) ของเชื้อเพลิงขยะ นิยมใช้สมการ Dulong Formula [13] ดังแสดงในสมการดังต่อไปนี้

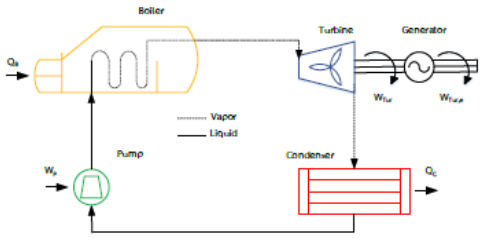
$$HHV = 33.801C + 144.158\,[H - (0.125O)] + 9.413S \quad (1)$$

$$LHV = HHV - 22.604\,H - 2.581\,Mc \quad (2)$$

2.2 วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle, ORC)

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีหลักการทำงาน คือ การเปลี่ยนพลังงานความร้อนอุณหภูมิต่ำในช่วง 90-110 ^{o}C มาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เป็นระบบการทำงานที่ใช้หลักการของวัฏจักรแรงคิน แต่ใช้สาร

ทำงานในกลุ่มสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูง สามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำ หรือมีจุดเดือดต่ำ (Boiling Point) เมื่อเปรียบเทียบกับจุดเดือดของน้ำที่ใช้เป็นสารทำงานในระบบแรงคิน ทำให้ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ สามารถทำให้สารทำงานกลายสถานะจากของเหลวเป็นไอ เพื่อใช้ขับกังหันและผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้โดยใช้แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ โดยอุปกรณ์หลักในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีทั้งหมด 5 ตัว คือ หม้อต้ม (Boiler) กังหัน (Turbine) เครื่องควบแน่น (Condenser) ปั๊ม (Pump) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) [13] แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงอุปกรณ์ในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

2.3 วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment, LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิต คือ กระบวนการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตและกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องกันในรูปของวัตถุดิบและพลังงาน ซึ่งการประเมินนี้จะทำตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อย่างละเอียด ภายใต้มาตรฐาน ISO 14040-14043 แบ่งขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็น 4 ขั้นตอนหลัก อันประกอบไปด้วย 1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา 2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ 3. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และ 4. การแปลผลวิเคราะห์ ตามหน่วยการทำงาน (Functional Unit, FU) โดยสามารถคำนวณออกมาในรูปผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ดังสมการต่อไปนี้

$$IC = \sum_i (A_i \times EF_i) \quad (3)$$

เมื่อ IC ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (Impact Category)

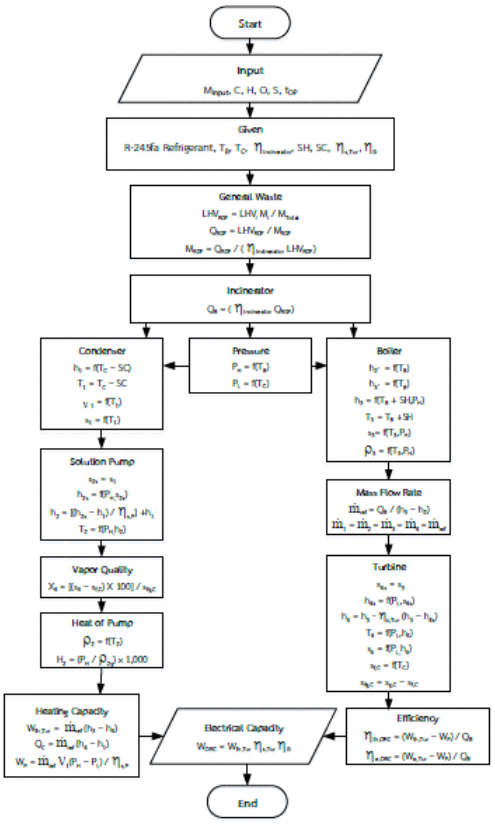
A_i กิจกรรมต่าง ๆ (Unit)

EF_i ค่าเฟคเตอร์ของผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภท

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือในปี พ.ศ. 2560 และทำการสำรวจองค์ประกอบของขยะดังกล่าว โดยใช้ระดับความน่าเชื่อถือทางสถิติ 20% เพื่อประเมินค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ

3.2 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยมีแหล่งความร้อนเป็นเชื้อเพลิงขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ เพื่อนำไปคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการคำนวณแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

3.3 วิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Levelized Electricity Cost, LEC) ของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อเพลิงขยะ ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$LEC = \frac{Inv + \sum_{t=1}^{n} \frac{PEC1 - PEC2}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{W_{ORC}{}^{t}OP}{(1+r)^t}} \quad (4)$$

3.4 วิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วย (Levelized Cost, LC) ของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อเพลิงขยะ จำนวน 1 Piece โดยรายละเอียดดังแสดงในสมการต่อไปนี้

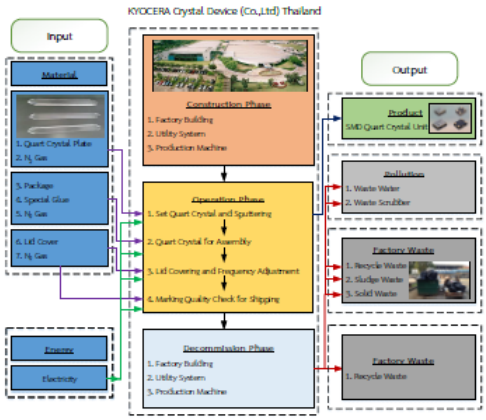
$$LC = \frac{Inv + \sum_{t=1}^{n} \frac{PC}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} M_{SMD}} \quad (5)$$

3.5 ศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

3.5.1 กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

- เป้าหมายการศึกษา คือ ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ตลอดวัฏจักรชีวิตก่อนการปรับปรุง ตลอดอายุการใช้งาน 30 y ขอบเขตการศึกษา คือ ศึกษาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แบบ เครเดิล ทู เกรฟ (Cradle to Grave) โดยพิจารณาตั้งแต่โครงสร้างอาคาร การรับวัตถุดิบ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ วัสดุอุปกรณ์ จนถึงการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ และการกำจัดซาก ทั้งนี้ไม่พิจารณาในส่วนการส่งออก
- หน่วยการทำงาน คือ ผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต จำนวน 1 Piece

3.5.2 จัดทำบัญชีรายการข้อมูลของกระบวนการผลิต เพื่อประเมินผลกระทบในส่วนโครงสร้างอาคารโรงงาน ส่วนการดำเนินงาน และส่วนการรื้อถอน ดังรายละเอียดแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ก่อนปรับปรุง

3.5.3 การประเมินผลกระทบทั้ง 6 ด้าน คือ 1. ภาวะโลกร้อน (Climate Change Human Health, CC) kg CO_2-eq 2. การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone Depletion, OD) kg CFC-11-eq 3. ภาวะฝนกรด (Terrestrial Acidification, TA) kg SO_2-eq 4. ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity, HT) kg 1,4 DB-eq 5. พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก (Terrestrial Eco toxicity, TE) kg 1,4 DB-eq และ 6. ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด (Freshwater Eco toxicity, FE) kg 1,4 DB-eq โดยใช้โปรแกรม SimaPro เวอร์ชั่น 8.5.0 โดยวิธี ReCiPi Midpoint (H) (SimaPro, 2018) หรือการวิเคราะห์ผลกระทบขั้นกลางแบบลำดับชั้น [12] เพื่อหาปริมาณการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้ง 6 ด้าน เนื่องจากผลกระทบดังกล่าวมีการควบคุม ให้เป็นไปตามมาตรฐานของระบบการดำเนินกิจการของบริษัทและในเขตนิคมอุตสาหกรรม

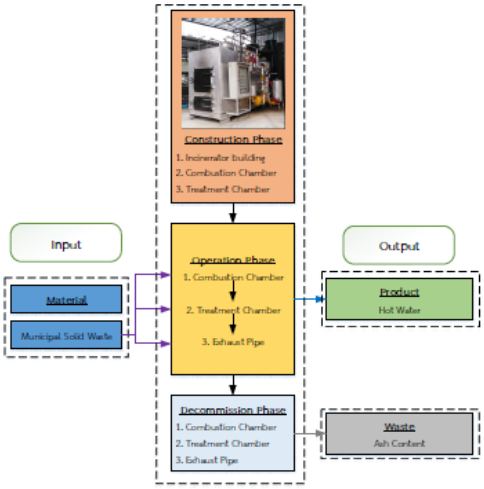
3.5.4 ทำการแปรผลและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

3.6 ศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเตาเผาขยะ เพื่อนำผลที่ได้ไปประเมินกระบวนการผลิตของควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังทำการปรับปรุง เมื่อมีการติดตั้งเตาเผาขยะร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

3.6.1 กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

- เป้าหมายการศึกษา คือ ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตเตาเผาขยะตลอดอายุใช้งาน 30 y
- ขอบเขตการศึกษา คือ ศึกษาวัฏจักรชีวิตของเตาเผาขยะ แบบ เครเดิล ทู เกรฟ (Cradle to Grave) โดยพิจารณาตั้งแต่โครงสร้าง การรับวัตถุดิบ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ วัสดุอุปกรณ์ จนถึงการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ และการกำจัดซาก ทั้งนี้ไม่พิจารณาในส่วนการส่งออก
- หน่วยการทำงาน คือ ขยะมูลฝอยจำนวน 1 kg

3.6.2 จัดทำบัญชีรายการข้อมูลของเตาเผาขยะ เพื่อประเมินผลกระทบในส่วนโครงสร้าง ส่วนการดำเนินงาน และส่วนการรื้อถอน โดยมีรายละเอียดแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การประเมินวัฏจักรชีวิตของเตาเผาขยะ

3.6.3 การประเมินผลกระทบทั้ง 6 ด้าน โดยใช้โปรแกรม SimaPro เวอร์ชั่น 8.5.0 โดยวิธี ReCiPi Midpoint (H)

3.6.4 ทำการแปรผลและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของเตาเผาขยะ

3.7 ศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เพื่อนำผลที่ได้ไปประเมินกระบวนการผลิตของควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังทำการปรับปรุง เมื่อมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เพื่อใช้ในการผลิตของโรงงาน

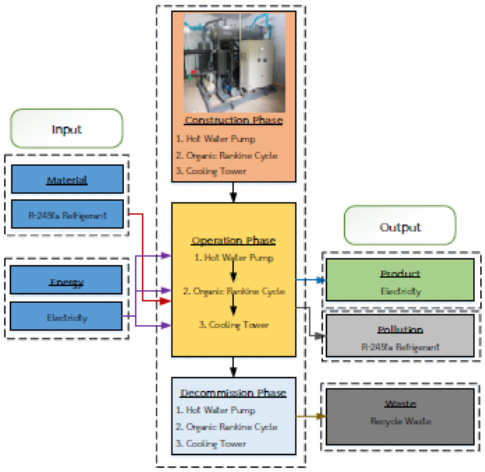
3.7.1 กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

- เป้าหมายการศึกษา คือ วัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ตลอดอายุใช้งาน 30 y
- ขอบเขตการศึกษา คือ วัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์แบบ เคร

เดิล ทู เกรพ (Cradle to Grave) โดยพิจารณาตั้งแต่โครงสร้าง การรับวัตถุดิบ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ วัสดุอุปกรณ์ จนถึงการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ และการกำจัดซาก

- หน่วยการทำงาน คือ พลังงานไฟฟ้า 1 kWh

3.7.2 จัดทำบัญชีรายการข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เพื่อประเมินผลกระทบในส่วนโครงสร้าง ส่วนการดำเนินงาน และส่วนการรื้อถอน [14] โดยมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 วัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

3.7.3 การประเมินผลกระทบทั้ง 6 ด้าน โดยใช้โปรแกรม SimaPro เวอร์ชั่น 8.5.0 โดยวิธี ReCiPi Midpoint (H)

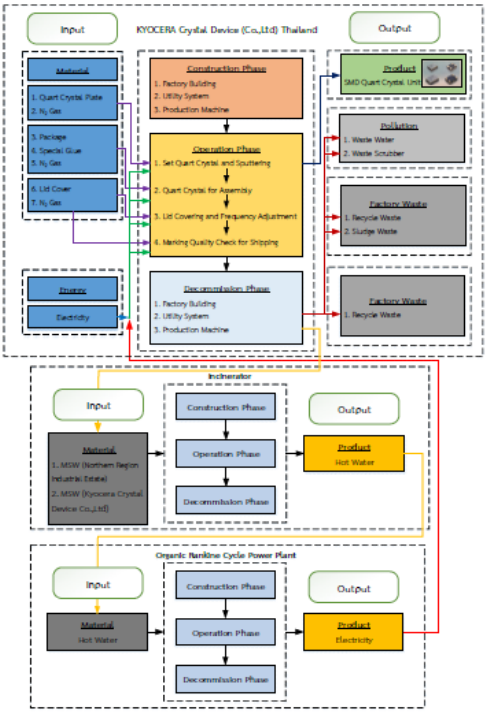
3.7.4 ทำการแปรผลและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

3.8 ศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุงที่ทำงานร่วมกับเตาเผาขยะและระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

3.8.1 กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

- เป้าหมายการศึกษา คือ ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุง ตลอดอายุการใช้งาน 30 y
- ขอบเขตการศึกษา คือ ศึกษาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แบบ เครเดิล ทู เกรพ (Cradle to Grave) โดยพิจารณาตั้งแต่โครงสร้างอาคาร การรับวัตถุดิบ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ วัสดุอุปกรณ์ จนถึงการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ การกำจัดซาก และปริมาณขยะมูลฝอยที่ใช้เป็นพลังงานทดแทน ทั้งนี้ไม่พิจารณาในส่วนการส่งออก
- หน่วยการทำงาน คือ ผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต จำนวน 1 Piece

3.8.2 จัดทำบัญชีรายการข้อมูลของกระบวนการผลิต เพื่อประเมินผลกระทบในส่วนโครงสร้างอาคารโรงงาน ส่วนการดำเนินงาน และส่วนการรื้อถอน ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุง โดยมีรายละเอียดแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุง

3.8.3 การประเมินผลกระทบทั้ง 6 ด้าน โดยใช้โปรแกรม SimaPro เวอร์ชั่น 8.5.0 โดยวิธี ReCiPi Midpoint (H)

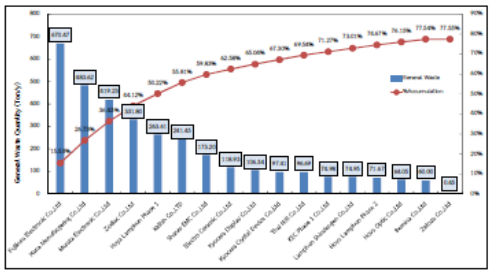
3.8.4 ทำการแปรผลและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยการทำงานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

3.8 ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุงที่ทำงานร่วมกับเตาเผาขยะและระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ

จากข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือในปี พ.ศ. 2560 พบว่า ผลจากการสำรวจข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยจากสำนักงานนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ จำนวน 68 บริษัท มีปริมาณขยะมูลฝอยรวมทั้งหมด 4,318 Ton/y โดยปริมาณขยะมูลฝอยของบริษัท ฟูจิดูระ อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด มีมากที่สุดจำนวน 670.47 Ton/y รองลงมา คือ บริษัท ฮานา แมนูแฟคเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด 485.62 Ton/y บริษัท มูราตะ อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด 419.23 Ton/y ตามลำดับ และอันดับสุดท้าย คือ บริษัท ซาโตเซน (ประเทศไทย) จำกัด 0.45 Ton/y ดังรายละเอียดแสดงในรูปที่ 7



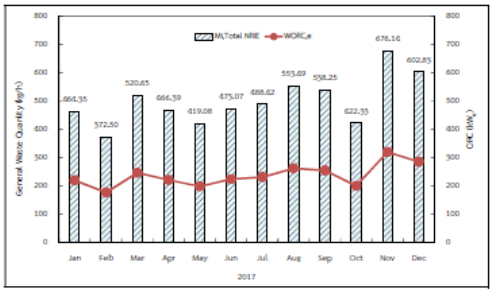
รูปที่ 7 ปริมาณขยะมูลฝอยในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือในปี พ.ศ. 2560

จากนั้นทำการสำรวจและคัดแยกองค์ประกอบของขยะในเขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ พบว่า มีพลาสติก (ถุงชนิดทนร้อน ถุงหิ้วพลาสติก) มากที่สุดในสัดส่วน 48.64% รองลงมา คือ เศษอาหาร 19.25% ที่เหลือประกอบไปด้วย เศษไม้ 10.56% ผ้าปิดจมูก 8.85% พลาสติก (แก้วน้ำ ขวดเครื่องดื่ม) 5.76% กระดาษ และกล่องกระดาษ 4.76% และอื่น ๆ 2.35% ซึ่งจากการคำนวณ พบว่า ขยะดังกล่าวสามารถ

นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงขยะ ที่มีค่าความร้อนต่ำ (LHV_{RDF}) เท่ากับ 20.62 MJ/kg

4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

รูปที่ 8 แสดงผลการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า ปริมาณขยะมูลฝอยที่ต้องกำจัดในแต่ละชั่วโมงอยู่ในช่วงระหว่าง 372.50-676.14 kg/h (อ้างอิงตามปริมาณขยะของแต่ละเดือน) และเมื่อนำขยะดังกล่าวไปเข้าเตาเผากำจัดขยะเพื่อผลิตน้ำร้อน และจ่ายให้กับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในช่วง 176.19-319.81 kW_e ดังนั้นขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่เหมาะสม คือ 150 kW_e จำนวน 2 เครื่อง ที่มีประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ประมาณ 11.02 %



รูปที่ 8 ปริมาณขยะมูลฝอยและขนาดระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

4.3 ค่าต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย

ผลการวิเคราะห์ค่าต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย ของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อเพลิงขยะ พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.50 Baht/kWh ซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้ดังกล่าวไปเทียบกับค่าไฟฟ้าสุทธิของบริษัทบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด ในปี พ.ศ. 2560 ซึ่งมีเฉลี่ยค่าเท่ากับ 3.22 Baht/kWh จะสามารถลดค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 1.72 Baht/kWh รายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย

รายละเอียด	ข้อมูล
อายุการใช้งานของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (N, y)	20
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดทั้งปี ($Pw_{ORC} = W_{ORC}\ t_{OP}$, kWh/y)	2,747,798
มูลค่าในการลงทุนโครงการรวม ($Inv = Z_{ORC} + Z_{Land} + Z_{Buildind} + Z_{Piping} + Z_{Cooling\ tower} + Z_{Incinerator}$, Baht)	25,935,250
ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าต่อปีของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ($PEC_2 = PEC_{RDF\text{-}1} + PEC_e + \dot{Z}_{OM,1} + \dot{Z}_{OM,2}$, Baht/y)	2,830,110
ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าต่อปีของบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (PEC_1, Baht/y)	5,250,432
อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของปั๊มน้ำร้อน ปั๊มน้ำร้อนระบายความร้อน และพัดลมของหอผึ่งระบายความร้อน ($Pw_e = [W_{HW} + W_{CW} + W_{CT}]\ t_{OP}$, kWh/y)	610,032
อัตราการใช้เชื้อเพลิง RDF-1 ($\dot{m}_{RDF\text{-}1} = [3600\ Q_B] / \eta_{incinerator}\ [LHV_{RDF\text{-}1} / 1000]$), kg/h	612.19
ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบเชื้อเพลิงขยะร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคิน	1.50

รายละเอียด	ข้อมูล
สารอินทรีย์ (LEC, Baht/kWh)	

4.4 ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

การวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อเพลิงขยะ พบว่า มีค่าต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตเท่ากับ 1.44 Baht/Piece ซึ่งมีค่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วยลดลง 0.07 Baht/Piece ซึ่งกระบวนการผลิตเดิมมีค่าอยู่ที่ 1.47 Baht/Piece ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลค่าต้นทุนผลิตต่อหน่วยหลังจากติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

รายละเอียด	ข้อมูลก่อนปรับปรุง	ข้อมูลหลังปรับปรุง
มูลค่าการลงทุนรวมของบริษัท ($Inv = Inv_{Production} + Inv_{Utility} + Inv_{Building} + Inv_{Company}$, Baht)	1,552,000,000	1,552,000,000
ราคาค่าไฟฟ้าต่อปี ($PC_{Electricity}$, Baht/y)	5,673,317	2,420,322
ราคาค่าน้ำดิบต่อปี (PC_{Water}, Baht/y)	165,000	165,000
ราคาค่าก๊าซไนโตรเจน ($PC_{Nitrogen}$, Baht/y)	823,000	823,000
มวลผลิตภัณฑ์ชิ้นต่อปี (M_{SMD}, Piece/y)	63,062,000	63,062,000
ระยะเวลาในการทำงาน (t_{OP}, h/y)	8,592	8,592
อายุการใช้งาน (N, y)	30	30
ค่าต้นทุนต่อหน่วย (LC, Baht/Piece)	1.47	1.44

4.5 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต

บริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด ได้ดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์หลักอยู่ 2 ผลิตภัณฑ์ คือ SMD Quartz Crystal Unit ในปริมาณ 5.24 Million Piece/y คิดเป็น 86% และ Lead Quartz Crystal Unit ปริมาณการผลิต 0.84 Million Piece/y คิดเป็น 14%

โดนผลการจัดทำบัญชีรายการข้อมูลด้านวัสดุอุปกรณ์การก่อสร้างอาคารโรงงานของบริษัท พบว่า อาคารโรงงานมีอยู่ด้วยกัน 5 เฟส ซึ่งเฟสที่ 1-3 เป็นอาคารสำนักงาน กระบวนการผลิตรวมอยู่ในอาคารโรงงานเดียวกันมีขนาด 13,971 m^2 ส่วนเฟสที่ 4 เป็นโรงอาหาร สถานที่พักผ่อน และเฟสที่ 5 เป็นคลังสินค้าและการส่งออกมีขนาดพื้นที่รวมกัน 9,407 m^2 เป็นอาคารปูน โครงสร้างเหล็ก และหลังคาเป็นแผ่นเมทัลชีท

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของโครงสร้างอาคารโรงงาน พบว่า ผลกระทบที่ปลดปล่อยมลภาวะมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 6.486E+08 kg 1,4 DB-eq มาจากพื้นคอนกรีต 5.465E+08 kg 1,4 DB-eq คิดเป็น 56.73% และโครงสร้างเหล็กเส้น 7.551E+07 คิดเป็น 41.72% ผลรวมรองลงมา คือ ภาวะโลกร้อน 4.568E+08 kg CO_2-eq มาจากพื้นคอนกรีต 3.596E+08 คิดเป็น 63.05% และโครงสร้างเหล็ก 8.319E+07 คิดเป็น 34.96%

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการดำเนินงานส่วนสารขาเข้าด้านวัตถุดิบและพลังงาน พบว่า มีการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 4.29E+04 kg 1,4 DB-eq อันประกอบไปด้วย

พลังงานไฟฟ้า 3.65E+04 kg 1,4 DB-eq คิดเป็น 85.24% ขยะมูลฝอย 4.34E+03 kg 1,4 DB-eq คิดเป็น 10.12% ภาวะโลกร้อน 3.84E+04 kg CO_2-eq มาจากพลังงานไฟฟ้า 2.72E+04 คิดเป็น 70.94% ก๊าซไนโตรเจน 3.41E+03 kg CO_2-eq คิดเป็น 8.90% และขยะมูลฝอยคิดเป็น 12.94%

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการรื้อถอน พบว่า สามารถนำเอาวัสดุอุปกรณ์โครงสร้างอาคารโรงงานกลับมารีไซเคิลได้ ซึ่งสามารถลดการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ภาวะโลกร้อน -4.63E+06 kg CO_2-eq มาจากการื้อถอนเครื่องจักรวัสดุอลูมิเนียม 34.69% หลังคาเมทัลชีล 33.96% รองลงมา คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ -6.96E+05 kg 1,4 DB-eq ภาวะฝนกรด -2.06E+04 kg SO_2-eq พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก -2.21E+02 kg 1,4 DB-eq การลดลงของชั้นโอนโซนช่วยลดผลกระทบน้อยที่สุด -2.22E+02 kg CFC-11-eq มาจากโครงสร้างหลังคา 4.0% และประตูเหล็ก 0.005%

ผลรวมของการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ส่วนโครงสร้างอาคารโรงงาน การดำเนินงาน และส่วนการรื้อถอนวัสดุโครงสร้างอาคารโรงงาน พบว่า ผลการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 6.49E+08 kg 1,4 DB-eq รองลงมา คือ ภาวะโลกร้อน 4.57E+08 kg CO_2-eq และผลกระทบน้อยที่สุด คือ พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก 3.24E+04 kg kg 1,4 DB-eq โดยผลกระทบตลอดอายุการใช้งานมากที่สุด คือ 1.95E+10 kg 1,4 DB-eq ซึ่งผลิตภัณฑ์ 1 Piece เกิดผลกระทบ 1.24E+02 kg 1,4 DB-eq ตามลำดับ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลรวมการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	ส่วนผลกระทบย่อย			ผลรวมผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	
	โครงสร้าง	ดำเนินการ	การรื้อถอน	ตลอดอายุการใช้งาน	1 Piece
ความเป็นพิษต่อมนุษย์	6.49E+08	4.29E+04	2.78E+06	1.95E+10	1.24E+02
ภาวะโลกร้อน	4.57E+08	3.84E+04	-4.11E+06	1.36E+10	8.64E+01
ภาวะฝนกรด	3.32E+05	9.09E+01	-9.50E+03	9.67E+06	6.15E-02
ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด	2.46E+06	2.83E+03	-8.39E+03	7.36E+07	4.68E-01
พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก	3.24E+04	2.04E+00	4.32E+04	2.27E+06	1.44E-02
การลดลงของชั้นโอนโซน	7.10E+04	1.86E-03	3.71E+04	3.24E+06	2.06E-02

ผลการแปลผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ก่อนการปรับปรุงเป็นระยะเวลา 30 y โดยมีระยะเวลาการทำงาน 24 h/day หรือ 360 day/y มีสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมสำคัญมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 99.70% ภาวะโลกร้อน 99.51% ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด 77.44% ภาวะฝนกรด 99.80% พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก 99.87% และการลดลงของชั้นโอนโซน 99.99% ที่เกิดจากช่วงก่อสร้างอาคารโรงงานเป็นหลัก อันประกอบไปด้วยพื้นคอนกรีต 56,107,200 kg และวัสดุหลักจากเหล็กเส้น 40,381,125 kg

4.6 การประเมินวัฏจักรชีวิตของเตาเผาขยะ

จัดทำบัญชีรายการข้อมูลเตาเผาขยะมูลฝอยซึ่งในที่นี้เลือกใช้เตาเผา ที่มีการออกแบบและสร้างเพื่อทำงานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยเฉพาะ ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งมีความสามารถในการกำจัดขยะประมาณ 2 Ton/d เพื่อประเมินหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้ง 6 ด้าน ต่อการกำจัดขยะ 1 kg และใช้ค่าดังกล่าวในการวิเคราะห์ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ในกระบวนการผลิตควอตซ์คริสตัล ยูนิต ต่อไป รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลวัสดุอุปกรณ์ และองค์ประกอบเตาเผาขยะมูลฝอย

ส่วนประกอบเตาเผาขยะมูลฝอย	วัสดุ	ปริมาณ (kg)
โครงสร้างห้องเผาไหม้	ดินภูเขาไฟห้องเผาไหม้	5,800
	ดินภูเขาไฟเคลือบห้องเผาไหม้	580
	เหล็กรูปพรรณ ASTM-A36	1,000
	เหล็กไร้สนิม	1,070
โครงสร้างโดยรอบ	ท่อเหล็กโครเมียม	500
	เหล็ก นิเกิล โครเมียม อัลลอย	250
มอเตอร์	ทองแดง	4.5
	เหล็กรูปพรรณ ASTM-A36	10
อุปกรณ์ตรวจวัด	เหล็ก นิเกิล โครเมียม อัลลอย	25
ท่อต่าง ๆ ส่วนห้องเผาไหม้	ท่อกัลวาไนซ์	150
ตู้ควบคุม	เหล็ก นิเกิล โครเมียม อัลลอย	50
ปล่องควัน	เหล็กไร้สนิม	500
ฉนวนกันความร้อน	ใยแก้วสังเคราะห์	60

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนโครงสร้างเตาเผาขยะ พบว่า มีปริมาณการปลดปล่อยผลกระทบที่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ 1.90E+05 1,4 DB-eq มากที่สุด อันประกอบไปด้วยโครงสร้างโดยรอบที่มีส่วนผสมเหล็ก นิเกล โครเมียม อัลลอย 1.41E+05 kg 1,4 DB-eq คิดเป็น 74.47% รองลงมา คือ ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน 5.47E+04 kg CO_2-eq อันประกอบไปด้วยโครงสร้างโดยรอบที่มีส่วนผสมเหล็ก นิเกล โครเมียม อัลลอย 3.76E+05 kg CO_2-eq คิดเป็น 68.74% ตามลำดับ

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการดำเนินงานส่วนสารขาออกด้านขยะมูลฝอย ซึ่งจากข้อกำหนดของเตาเผาขยะสามารถเผาขยะได้ประมาณ 2,000 kg/d พบว่า มีการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ภาวะโลกร้อน 1.01E+03 kg CO_2-eq รองลงมา คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 8.84E+02 kg 1,4 DB-eq ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด 3.30E+05 kg 1,4 DB-eq ภาวะฝนกรด 2.50E-01 kg SO_2-eq พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก 1.92E-02 kg 1,4 DB-eq และการลดลงของชั้นโอโซนเกิดผลกระทบน้อยที่สุด 6.78E-06 kg CFC-11-eq

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการรื้อถอน พบว่า สามารถลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนได้ -1.54E+04 kg CO_2-eq มาจากการรื้อถอนโครงสร้างที่เป็นโลหะ เหล็ก สแตนเลส ท่อเกลวาไนซ์ และทองแดง รองลงมา คือ การรื้อถอนช่วยลดความเป็นพิษต่อมนุษย์รวมได้ -4.92E+04 kg 1,4 DB-eq

ผลรวมการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในส่วนโครงสร้าง การดำเนินงาน และการรื้อถอน พบว่า มีการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ

ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 1.90E+05 1,4 DB-eq คิดเป็น 99.53% รองลงมา คือ ภาวะโลกร้อน 5.47E+04 kg CO_2-eq ภาวะฝนกรด 8.19E+03 kg SO_2-eq และผลกระทบที่เกิดน้อย คือ การลดลงของชั้นโอนโซน 3.91E-03 kg CFC-11-eq โดยผลกระทบตลอดอายุการใช้งานมากที่สุด คือ 5.69E+06 kg 1,4 DB-eq ซึ่งปริมาณขยะ 1 kg ก่อให้เกิดผลกระทบ 9.48E+01 kg 1,4 DB-eq ตามลำดับ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลรวมการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเตาเผาขยะ

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	ส่วนผลกระทบย่อย			ผลรวมผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	
	โครงสร้าง	ดำเนินการ	การรื้อถอน	ตลอดอายุการใช้งาน	1 kg
ความเป็นพิษต่อมนุษย์	1.90E+05	8.84E+02	-9.84E+02	5.69E+06	9.48E+01
ภาวะโลกร้อน	5.47E+04	1.01E+03	-3.07E+03	1.58E+06	2.63E+01
ภาวะฝนกรด	8.19E+03	2.50E-01	-1.38E+01	2.45E+05	4.09E+00
ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด	2.55E+02	3.30E+02	-4.40E+01	1.62E+04	2.70E-01
พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก	3.07E+01	1.92E-02	-1.08E-01	9.18E+02	1.53E-02
การลดลงของชั้นโอนโซน	3.91E-03	6.78E-06	-5.49E-05	1.16E-01	1.93E-06

ผลการแปลผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเตาเผาขยะ เป็นระยะเวลา 30 y มีสาเหตุหลักของการก่อให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญทั้ง 6 ด้าน คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 99.53% ภาวะโลกร้อน 98.08% ภาวะฝนกรด 100% ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด 38.96% พิษต่อระบบนิเวศบนบก 99.94% และการลดลงของชั้นโอโซน 99.82% ที่เกิดจากช่วงการก่อสร้างเตาเผาขยะเป็นหลัก อันประกอบไปด้วยโครงสร้างโดยรอบ 250 kg และปล่องควัน 500 kg

4.7 การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

จัดทำบัญชีรายการข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ต้นแบบการประเมินวัสดุโครงสร้างของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพงขนาด 10 kW_e (ปาณิศา, 2561) เพื่อหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้ง 6 ด้าน ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh และใช้ค่าดังกล่าวในการวิเคราะห์ร่วมกับเตาเผากำจัดขยะในหัวข้อที่ผ่านมา ในกระบวนการผลิตควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุงต่อไป โดยรายละเอียดแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ข้อมูลวัสดุอุปกรณ์และองค์ประกอบระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

ข้อมูลระบบ	ข้อมูลวัตถุดิบ	น้ำหนัก (kg)	ข้อมูลวัตถุดิบ	น้ำหนัก (kg)
วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์และหอผึ่งระบายความร้อน	เหล็กกล้าผสม	2,319.53	ออกไซด์ พรามเมอร์	24
	ทองแดง	365.9	พลาสติกแข็ง	220
	สเตนเลส	337	พีวีซี	35.94

	ทองเหลือง	98.4	ปูนซีเมนต์	250
	โพลียูรีเทน	2	ทราย	1,174
	HDPE	1	หิน	785
	พอลิสไตรีน	1.5	น้ำ	185
	ยางพารา	0.5	เหล็กชุปกัลวาไนซ์	7.5
	พอลิสไตรีน	1	น้ำมัน	40
วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	อลูมิเนียม	0.5	กระจก	0.3

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนโครงสร้างของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ พบว่า มีปริมาณการปลดปล่อยผลกระทบที่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์มากที่สุด อันประกอบไปด้วยเครื่องควบแน่นที่มีส่วนผสมของทองแดง 1.11E+04 kg 1,4 DB-eq คิดเป็น 21.25% รองลงมา คือ ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนอันประกอบไปด้วยเหล็กกล้าในโครงสร้างระบบ 2.24E+03 kg CO_2-eq คิดเป็น 26.82%

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการดำเนินงานส่วนสารขาเข้าด้านวัตถุดิบ และพลังงาน พบว่า มีการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุด คือ 6.72E+04 kg CO_2-eq มาจากพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบ คิดเป็น 53.49% รองลงมา คือ สารทำงาน R-245fa 5.84E+04 kg CO_2-eq คิดเป็น 46.51% และเกิดผลกระทบความพิษต่อมนุษย์เป็นอันดับที่สอง 1.69E+04 kg 1,4 DB-eq

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการรื้อถอน พบว่า สามารถลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน -1.54E+04 kg CO_2-eq มาจากการรื้อถอนโครงสร้างที่เป็นโลหะ เหล็ก สแตนเลส ท่อเกลวาไนซ์ และทองแดง รองลงมา คือ การรื้อถอนช่วยลดความเป็นพิษต่อมนุษย์รวมได้ -3.39E+04 kg 1,4 DB-eq

ผลรวมการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในส่วนโครงสร้าง การดำเนินงาน และการรื้อถอน พบว่า มีการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 5.22E+04 kg 1,4 DB-eq คิดเป็น 50.93% รองลงมา คือ ภาวะโลกร้อน 8.34E+03 kg CO_2-eq ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด 6.02E+02 1,4 DB-eq และผลกระทบที่เกิดน้อยที่สุด คือ การลดลงของชั้นโอนโซน 4.98E-04 kg CFC-11-eq โดยผลกระทบตลอดอายุการใช้งานมากที่สุดคือ 7.04E+05 ซึ่งพลังงานไฟฟ้า 1 kWh ก่อให้เกิดผลกระทบ 1.28E-02 kg 1,4 DB-eq ตามลำดับ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 รวมผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	ส่วนผลกระทบย่อย			ผลรวมผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	
	โครงสร้าง	ดำเนินการ	การรื้อถอน	ตลอดอายุการใช้งาน	1 kWh
ความเป็นพิษต่อมนุษย์	5.22E+04	1.69E+04	-3.39E+04	7.04E+05	1.28E-02
ภาวะโลกร้อน	8.34E+03	1.26E+05	-2.57E+05	-2.46E+06	-4.48E-02
ภาวะฝนกรด	8.24E+01	4.72E+02	-1.09E+03	-1.07E+04	-1.95E-04

ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด	6.02E+02	5.49E+02	-1.53E+03	-7.67E+03	-1.39E-04
พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก	3.07E+00	8.43E+01	-1.28E+01	1.49E+03	2.71E-05
การลดลงของชั้นโอโซน	4.98E-04	3.69E-02	-1.35E-02	4.79E-01	8.71E-09

ผลการแปลผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เป็นระยะเวลา 30 y โดยมีระยะเวลาการทำงาน 24 h/day หรือ 360 day/y มีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมสำคัญ คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 52.02% พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก 13.09% การลดลงของชั้นโอโซน 54.19% เกิดจากช่วงการก่อสร้างระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เป็นหลัก อันประกอบไปด้วยทองแดง 100 kg ในส่วนประกอบเครื่องควบแน่น โดยสามารถลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน 49.49% ภาวะฝนกรด 53.18% และความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด 41.11%

4.8 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต เพื่อปรับปรุงกระบวนการ โดยการลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลจากการซื้อไฟฟ้าของ กฟภ. และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตเดิม โดยนำค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเตาเผาขยะและระบบผลิตไฟฟ้าวักจักรแรงคินสารอินทรีย์ในหัวข้อที่ผ่านมา ใช้ในการวิเคราะห์การปรับปรุงกระบวนการผลิตเดิม โดยการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในส่วนโครงสร้างอาคารโรงงานหลังการปรับปรุงจะกำหนดให้มีค่าเท่าเดิม ไม่คิดโครงสร้างที่มาจากเตาเผากำจัดขยะและระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เพราะผลกระทบทั้งสองส่วนดังกล่าว จะถูกนำมาคิดในส่วนของการดำเนินงาน สารขาเข้าวัตถุดิบ และพลังงาน หรือคิดผลกระทบในรูปแบบการซื้อไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานขยะมาใช้งานทดแทนการซื้อไฟฟ้าจาก กฟภ. นั้นเอง และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการดำเนินงาน ในส่วนสารขาเข้าด้านวัตถุดิบและพลังงานหลังการปรับปรุง พบว่า มีการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ภาวะโลกร้อน 9.14E+04 kg CO_2-eq มาจากสารทำงาน R-245fa (ORC) เท่ากับ 5.84E+04 kg CO_2-eq คิดเป็น 63.96% และส่วนเกินของพลังงานไฟฟ้าที่ไม่สามารถทดแทนได้2.70E+04 kg CO_2-eq คิดเป็น 29.53% รองลงมา คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 3.85E+04 kg 1,4 DB-eq มาจากส่วนเกินของพลังงานไฟฟ้า 3.65E+04 kg 1,4 DB-eq คิดเป็น 94.90% และผลกระทบการลดลงของชั้นโอนโซนเกิดน้อยที่สุด -8.34E-05 kg CFC-11-eq

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนการรื้อถอน พบว่า สามารถนำเอาวัสดุอุปกรณ์ โครงสร้างอาคารโรงงานกลับมารีไซเคิลได้ ซึ่งสามารถลดการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ภาวะโลกร้อน -4.63E+06 kg CO_2-eq มาจากการื้อถอนเครื่องจักรวัสดุอลูมิเนียม 34.69% หลังคาเมทัลชีล 33.96% รองลงมา คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ -6.96E+05 kg 1,4 DB-eq ภาวะฝนกรด -2.06E+04 kg SO_2-eq พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก -2.21E+02 kg 1,4 DB-eq การลดลงของชั้นโอนโซนช่วยลดผลกระทบน้อยที่สุด -2.22E+02 kg CFC-11-eq มาจากโครงสร้างหลังคา 4.0% และประตูเหล็ก 0.005%

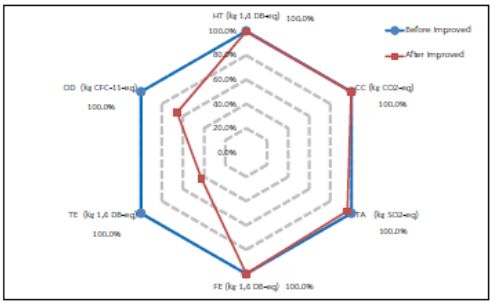
ผลรวมการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนโครงสร้างอาคารโรงงาน การดำเนินงาน และส่วนการรื้อถอนวัสดุอาคารโรงงานบางชนิดเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่า มีการปลดปล่อยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 6.49E+08 kg 1,4 DB-eq คิดเป็น

99.98% รองลงมา คือ ภาวะโลกร้อน 4.57E+08 kg CO_2-eq และผลกระทบที่เกิดน้อยที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศบนบก 3.22E+04 kg 1,4 DB-eq โดยผลกระทบรวมตลอดอายุการใช้งาน คือ 1.95E+10 kg 1,4 DB-eq ซึ่งผลิตภัณฑ์ 1 Piece เกิดผลกระทบ 1.24E+02 kg 1,4 DB-eq แสดงรายละเอียดในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 รวมผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	ส่วนผลกระทบย่อย			ผลรวมผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	
	โครงสร้าง	ดำเนินการ	การรื้อถอน	ตลอดอายุการใช้งาน	1 Piece
ความเป็นพิษต่อมนุษย์	6.49E+08	3.85E+04	-7.32E+05	1.94E+10	1.24E+02
ภาวะโลกร้อน	4.57E+08	9.14E+04	-4.89E+06	1.36E+10	8.62E+01
ภาวะฝนกรด	3.32E+05	8.66E+01	-2.18E+04	9.30E+06	5.91E-02
ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด	2.46E+06	6.26E+02	-9.98E+03	7.35E+07	4.67E-01
พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก	3.24E+04	1.65E+00	-2.35E+02	9.65E+05	6.14E-03
การลดลงของชั้นโอโซน	7.10E+04	1.69E-03	-2.30E-01	2.13E+06	1.35E-02

ผลการแปลผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต หลังการปรับปรุงเป็นระยะเวลา 30 y โดยมีระยะเวลาการทำงาน 24 h/day หรือ 360 day/y มีสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมคิดเป็น 99.99% ของทั้ง 6 ผลกระทบ คือ เกิดจากช่วงการก่อสร้างอาคารของโรงงานเป็นหลัก อันประกอบไปด้วยพื้นคอนกรีต 56,107,200 kg และวัสดุหลักจากเหล็กเส้น 40,381,125 kg ตามลำดับ โดยเมื่อนำผลการประเมินดังกล่าวมาทำการเปรียบเทียบกับผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิต ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ก่อนการปรับปรุง พบว่า ผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ ภาวะโลกร้อน ภาวะฝนกรด ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก และการลดลงของชั้นโอโซนมีค่าลดลงประมาณ 0.54% 0.16% 3.81% 0.15% 57.43% และ 34.33% ตามลำดับ สาเหตุที่ทำให้ผลกระทบลดลง เนื่องจากการลดลงของปริมาณขยะมูลฝอยจำนวน 97.41 Ton/y ในกระบวนการผลิต แสดงในรูปที่ 20



รูปที่ 20 การเปรียบเทียบผลกระทบของการประเมินวัฏจักรชีวิตก่อนและหลังการปรับปรุง

4.9 การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของควอตซ์ คริสตัล ยูนิต เป็นการประเมินปริมาณและคุณภาพด้านพลังงานความร้อน โดยการประเมินวัฏจักรชีวิตบนพื้นฐานของหน่วยทางด้านพลังงานความร้อน คือ เมกะจูล (MJ) โดยวิธี Single Issue

และคำนวณออกมาในรูปแบบความต้องการพลังงานสะสม (Cumulative Exergy Demand) โดยผลการวิเคราะห์ พบว่า ก่อนการปรับปรุงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของควอตซ์ คริสตัล ยูนิต โครงสร้างอาคารโรงงานมีความต้องการพลังงานสะสมมากที่สุด คือ พื้นคอนกรีต 1.07E+10 MJ ในขั้นตอนการดำเนินงาน พบว่า
พลังงานไฟฟ้ามีความต้องการพลังงานสะสมมากที่สุด 3.58E+05 MJ และขั้นตอนการรื้อถอนหลังจากตลอดอายุการใช้งาน 30 y ผลการประเมิน พบว่า โครงสร้างหลังคาสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งสามารถลดความต้องการการใช้พลังงานสะสมได้เท่ากับ -1.90E+06 MJ การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของระบบหลังการปรับปรุง พบว่า ความต้องการพลังงานสะสมในด้านโครงสร้างไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ในขั้นตอนการดำเนินงานสามารถลดความต้องการพลังงานสะสมได้ -5.67E+03 MJ และสามารถลดความต้องการพลังงานสะสมรวมได้ 370,506.67 MJ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการประเมินของวัฏจักรเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ควอต คริสตัลยูนิต

Item	Before Improvement	Incinerator	ORC	After Improvement
	ELCA (MJ)			
1. Construction Phase	1.10E+10	1.97E+04	9.26E+05	1.10E+10
2. Operation Phase				
• Raw Material	1.63E+04	1.39E+03	-	1.63E+04
• Energy	3.58E+05	3.28E+04	1.67E+05	-5.67E+03
• Factory Waste	6.84E+03	-	-	-
3. Decommissioning Phase				
• Recycle Waste	-8.75E+06	-1.18E+04	-5.55E+05	-8.75E+06
Total	1.101809E+10	4.75E+04	5.37E+05	1.101773E+10

5. สรุปผลงานวิจัย

จากผลการศึกษาสามารถสรุปเนื้อหาสำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติกของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อเพลิงขยะได้ดังนี้

1. การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมก่อนปรับปรุงตลอดอายุการใช้งาน พบว่า ส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 1.95E+10 kg 1,4 DB-eq โดยผลิตภัณฑ์ 1 Piece ก่อให้เกิดผลกระทบในด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ 1.24E+02 kg 1,4 DB-eq

2. การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเตาเผาขยะตลอดอายุการใช้งาน พบว่า ส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 5.69E+06 kg 1,4 DB-eq โดยขยะมูลฝอย 1 kg ก่อให้เกิดผลกระทบในด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ 9.48E+01 kg 1,4 DB-eq

3. การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ตลอดอายุการใช้งาน พบว่า ส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 7.04E+05 kg 1,4 DB-eq โดยพลังงานไฟฟ้า 1 kWh ก่อให้เกิดผลกระทบในด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ 1.28E-02 kg 1,4 DB-eq

4. การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมหลังปรับปรุงตลอดอายุการใช้งาน พบว่า ส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ 1.94E+10 kg 1,4 DB-eq โดยผลิตภัณฑ์ 1 Piece ก่อให้เกิดผลกระทบในด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ 1.24E+02 kg 1,4 DB-eq

5. จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่า งานวิจัยนี้สามารถลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมได้ในทุก ๆ ส่วน โดยความเป็นพิษต่อมนุษย์ลดลง 0.54% ภาวะโลกร้อน 0.16% ภาวะฝนกรด 3.81% ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด 0.15% พิษต่อระบบนิเวศน์บนบก 57.43% และการลดลงของชั้นโอโซน 34.33%

6. ผลการวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อเพลิงขยะ พบว่า มีค่าเท่ากับ 1.50 Baht/kWh

7. ผลการวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ควอตซ์ คริสตัล ยูนิต ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้เชื้อเพลิงขยะ พบว่า ก่อนปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 1.47 Baht/Piece และหลังปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 1.44 Baht/Piece ซึ่งสามารถลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยได้ 2.04%

8. การประเมินวัฏจักรชีวิตเอ็กเซอร์จีติก พบว่า ระบบหลังการปรับปรุงสามารถลดความต้องการพลังงานสะสมรวมได้ 370,506.67 MJ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และบริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ในการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559, กรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department), ออนไลน์: www.deqp.go.th, เข้าถึงเมื่อ: 9 ธันวาคม 2560.

[2] เลิศชัย ศรเฉลิม. 2553. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของขวดแก้ว โดยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Environmental Impact Evaluation of Glass Bottle Using Life Cycle Assessment), สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[3] เนตรชนากานต์ สุนันตา และเศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. 2560. การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Greenhouse Gases Evaluation of Power Generation Technology from Municipal Waste by Organic Rankine Cycle System), วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1 กรกฎาคม-ธันวาคม, เลขหน้า 1-14, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

[4] เจนจิรา เปี่ยมดี, พัชรวรรณ สุขสร้อย และโชติมา โครตพัฒน์. 2557. การประเมินวัฏจักรของไส้กรอกปลา กรณีศึกษา (Life Cycle Assessment of Fish Sausage, A Case Study), การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7, 12-14 พฤศจิกายน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, ประเทศไทย.

[5] Surat S, Sate S, Nattaporn C and Shabbir H G. 2016. Conventional and Exergetic Life Assessment of Organic Rankine Cycle Implementation to Municipal Waste Management: The Case Study of Nae Hong Son (Thailand). Int J Life Cycle Assessment 22: 1773-1784

[6] นวรัตน์ และ นันทิยา. 2556. การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตสีเคลือบป้องกันสนิม (Life Cycle Assessment of Protective Coating Paint Production), วิศวกรรมสาร มก, ฉบับที่ 85, ปีที่ 26 กรกฎาคม-กันยายน 2556, เลขหน้า 63, สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, วิทยาเขตบางเขน1.

[7] วิทยา กันยา และหาญพล พึ่งรัศมี. 2551. การประเมินวัฏจักรชีวิตน้ำตาลทรายแดง (Life Cycle Assessment of Brown Sugar), วารสารงานวิจัย มทร.พระนคร, ปีที่ 2, ฉบับที่ 1 มีนาคม, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[8] นิติวิศว์ แตงไทย. 2556. การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตและจ่ายน้ำประปา กรณีศึกษาการประปาส่วนภูมิภาคสาขาเชียงราย (Lift Cycle Assessment of Water Supply Production and Distribution System: Case Study of Chiang Rai Water Work Authority), สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, ภาควิชาสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[9] Ana Cláudia Dias, Luis Arroja and Isabel Capela. 2007. Life Cycle Assessment of Printing and Writing Paper Produced in Portug, Int J Life Cycle Assessment 12 (7) 521-528

[10] Sotoodehnia Poopak and P. Agamuthu. 2011. Life cycle impact assessment (LCIA) of paper making process in Iran, African Journal of Biotechnology Vol. 10 (24), 4860-4870, 6 Jun

[11] Asmae Ismaili M'hamdi, Noureddine Idrissi Kandri, Abdelaziz Zerouale, Dagnija Blumberga, Julija Gusca. 2017. Life cycle assessment of paper production from treated wood, Energy Procedia 128 (2017) 461–468

[12] SimaPro. SimaPro for Education (Release 8.5.2.0): Faculty Maejo University, 2018.

[13] นัฐพร ไชยญาติ. 2560. การออกแบบระบบพลังงานทดแทน (Renewable Energy System Design), วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, สำนักพิมพ์: มหาวิทยาลัยแม่โจ้, พิมพ์ครั้งที่ 3, มิถุนายน พ.ศ. 2560

[14] ปาณิศา อ่อนดอกไม้ นัฐพร ไชยญาติ จุฑาภรณ์ ชนะถาวร วรรษมล เลิศจตุรานนท์ และสุรัตน์ เศษโพธิ์. 2561. การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่ออน ตามพระราชดำริ. การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

8. รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
A	Activity (Unit)
CC	Climate Change (kg CO_2-eq)
EF	Emission Factor (kg CO_2-eq/unit)
FE	Freshwater Ecotixicity (kg 1,4 DB-eq)
HT	Human Toxicology (kg 1,4 DB-eq)
IC	Impact Category (Unit)
LHF	Low Heating Value (MJ/kg)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายวรพันธ์ กันธิยะ
เกิดเมื่อ	28 ธันวาคม 2518
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2541 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพ
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2547-ปัจจุบัน บริษัท เคียวเซร่า คริสตัล ดีไวซ์ (ประเทศไทย) จำกัด รองหัวหน้าแผนก สาธารณูปโภค

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY