

การศึกษาการผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ด้วยเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทาง
การแพทย์ กรณีศึกษา: โรงพยาบาลลำปาง



ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2561

การศึกษาการผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ด้วยเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทาง
การแพทย์ กรณีศึกษา: โรงพยาบาลลำปาง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การศึกษาการผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ด้วยเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อ
ทางการแพทย์ กรณีศึกษา: โรงพยาบาลลำปาง

Sonesack Sengnavong

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การศึกษาการผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ด้วยเชื้อเพลิงขยะ ติดเชื้อทางการแพทย์ กรณีศึกษา: โรงพยาบาลลำปาง
ชื่อผู้เขียน	Mr.Sonesack Sengnavong
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการของการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของโรงพยาบาลลำปางด้วย การบด ย่อย และการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน จากเครื่อง ECODAS รุ่น T300 ร่วมกับหม้อไอน้ำแบบขดลวดไฟฟ้า โดยทำการประเมินอัตราการใช้พลังงานของกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ และค่าต้นทุนต่อหน่วยของการบำบัดขยะติดเชื้อ จากผลการศึกษา พบว่า พลังงานและวัสดุที่ป้อนให้แก่ระบบ คือ พลังงานไฟฟ้าในอัตรา 39.91 kWh/day และน้ำในปริมาณ 1,082 Liter/day ที่ระยะเวลาการทำงาน 19 h/day ผลการประเมินด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า การบำบัดขยะติดเชื้อปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนรวมทั้งสิ้น 9,676,035 kgCO₂-eq/life time ตลอดอายุการใช้งาน 20 y ของการบำบัดขยะติดเชื้อ หรือ เท่ากับ 1.767 kgCO₂-eq/kg_{MCW} และการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า มีต้นทุนต่อหน่วยของการกำจัดขยะติดเชื้อเท่ากับ 3.185 Baht/kg_{MCW} และเมื่อทำการวิเคราะห์การนำขยะติดเชื้อมาผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ โดยการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับการประเมินศักยภาพด้านการผลิตไฟฟ้า เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม จากผลการจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า เมื่อนำขยะติดเชื้อปริมาณ 750 kg/day ของโรงพยาบาลลำปางมาทำการอบแห้งด้วยโรงเรือนพลาสติก เป็นระยะเวลาทั้งหมด 12 h หลังการอบแห้งของขยะติดเชื้อทางการแพทย์มีน้ำหนักคงเหลือ 560 kg มีค่าความชื้นอยู่ที่ 5.65% โดยมีค่าความร้อนต่ำ 26.29 MJ/kg เมื่อป้อนเชื้อเพลิงขยะอบแห้งในอัตรา 39.47 kg/h ให้แก่ระบบผลิตไฟฟ้า พบว่า วัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาด 13 kW_e ที่ใช้สารทำงาน R-245fa มีประสิทธิภาพด้านผลิตไฟฟ้า 8.97% สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 90,155 kWh/y มีต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 2.838 Baht/kWh ซึ่งทำให้การจัดการขยะติดเชื้อ 1 kg_{MCW} สามารถลดต้นทุนต่อหน่วยของการกำจัดขยะติดเชื้อได้เท่ากับ 2.370 Baht/kg_{MCW} สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานประมาณ 324,558 Bath/y และการประเมินด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า มีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตไฟฟ้าจากขยะติดเชื้อเท่ากับ 0.0252 kgCO₂-ep/kWh ดังนั้นในการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ร่วมกับการผลิตไฟฟ้า

ปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 1.333 kgCO₂-eq/kg_{MCW} สามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์
ในกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อประมาณ 24.57 %

คำสำคัญ : ขยะติดเชื้อ วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ พลังงานทดแทน คาร์บอนฟุตพริ้นท์



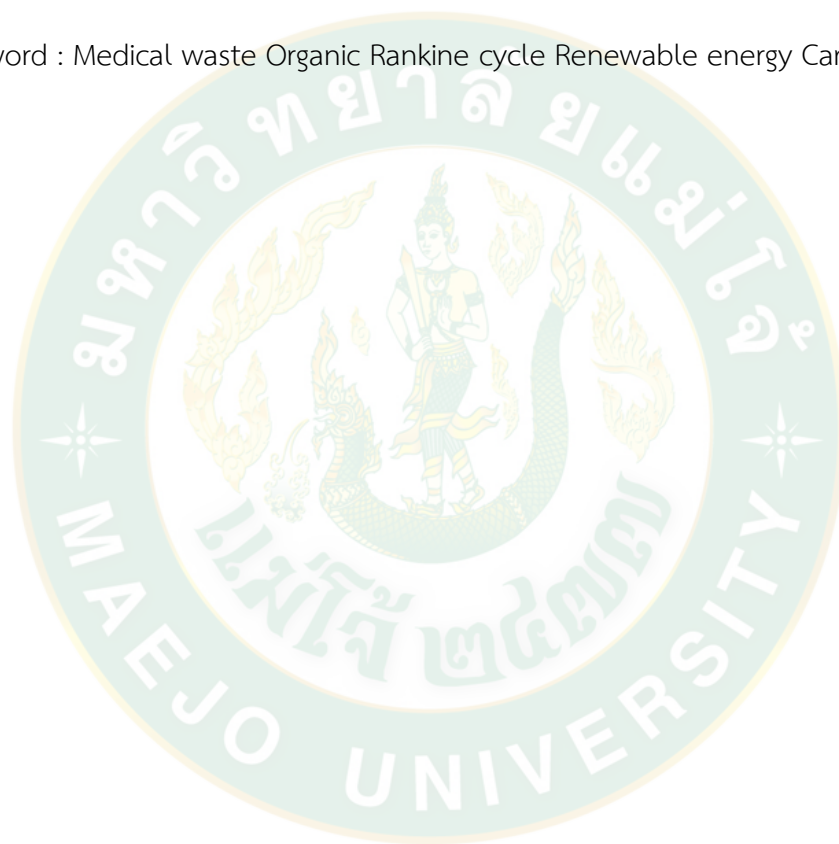
Title	STUDY OF ELECTRICITY GENERATION FROM MEDICAL WASTE BY ORGARNIC RANKINE CYCLE CASE STUDY: LAMPANG HOSPITAL
Author	Mr. Sonesack SENGNVONG
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Associate Professor Dr. Nattaporn Chaiyat

ABSTRACT

This research studied infected medical waste treatment process at Lampang hospital by a shredding, heating and sterilization processes from a T300 ECODAS model operated with an electrical boiler. Energy consumption, environmental impact and levelized cost (LC) of the treatment process were considered. From the study results, it was found that the main energy consumption and raw material input of the treatment processes were electrical power at 39.91 kWh/day and water of 1,082 Liter/day based on an operating time of 19 h/day. Environmentally the treatment technique released total carbon dioxide at 9,676,035 kgCO₂-eq during the life time of 20 years, which was 1.767 kgCO₂-eq/kg_{MCW}. Economically, this method showed that the LC of the infected medical waste treatment process was 3.185 Baht/kg_{MCW}. The medical waste was used to produce electricity from an organic Rankine cycle (ORC) using the mathematical model. This simulation result was analyzed to evaluate the energy potential as well as economic and environment impacts. Results, showed that when the medical waste of 750 kg/day was heated by a solar plastic greenhouse drying room for 12 h. Dried infected medical waste of 560 kg at moisture and low heating value at 5.65% and 26.29 MJ/kg was found. Moreover, the dried waste fuel of 39.47 kg/h was supplied to the electricity machine. The 13 kW_e ORC unit with using R-245fa as refrigerant revealed the energy efficiency of 8.97% and the annual production energy as 90,155 kWh/y. The levelized electricity cost (LEC) was 2.838 Baht/kWh. The infected medical waste

saved the LC using the infected medical waste treatment process 2.370 Baht/kg_{MCW} and reduced the energy cost 324,558 Bath/y. The environmental assessment showed that the carbon footprint in the electricity generation process was 0.0252 kgCO₂-ep/kWh. Thus, this treatment process combined with the electricity generation released the carbon dioxide at 1.333 kgCO₂-eq/kg_{MCW}, which decreased the carbon footprint in the infected medical waste treatment process by 24.57 %.

Keyword : Medical waste Organic Rankine cycle Renewable energy Carbon footprint



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณามอบความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือในทุกด้าน รวมทั้งการแก้ปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนตรวจสอบวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวโรจน์ ใจสิน ที่กรุณาได้รับเป็นกรรมการตรวจโครงร่างวิทยานิพนธ์ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้ง ยังเป็นอาจารย์ที่ให้คำแนะนำ ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้เขียนในหลาย ๆ ด้าน

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ คุณครูทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ อบรมสั่งสอน แนะนำและตักเตือนผู้เขียนจนมีวันนี้

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ และทุนการศึกษารวมถึงทุนในการทำวิจัย ภายใต้โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศ อาเซียน สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2561

Sonesack Sengnavong

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
อักษรย่อและสัญลักษณ์.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความสำคัญและที่มา.....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
ขอบเขตการศึกษา.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 หลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ขยะติดเชื้อทางการแพทย์.....	4
กระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์.....	5
การวิเคราะห์หาคุณสมบัติ.....	9
วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์.....	11
การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์.....	14
คาร์บอนฟุตพริ้นท์.....	15
การวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้า.....	17
การตรวจสอบเอกสาร.....	18

การกำจัดขยะติดเชื้อด้วยระบบโรตารีคล้ายเพื่อผลิตไฟฟ้า.....	18
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	22
การเก็บรวบรวมข้อมูลของโรงพยาบาลลำปาง	23
การศึกษาและประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของ โรงพยาบาลลำปาง.....	24
การอบแห้งขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการบำบัดแล้วด้วยโรงเรือนพลาสติก	25
การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์	26
การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	27
การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ของต้นทุนต่อหน่วยในการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคิน สารอินทรีย์	30
การทดสอบการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการอบแห้งและ คุณสมบัติทางด้านเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซไอเสีย.....	31
การประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยพิจารณาจากค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์หลังการ ปรับปรุง.....	34
ทำการเปรียบเทียบการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจากค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์หลัง การปรับปรุง	35
บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผล	36
ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลโรงพยาบาลลำปาง.....	36
ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และต้นทุนต่อหน่วยของการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ ของโรงพยาบาลลำปาง	40
ผลการอบแห้งขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการบำบัดแล้วด้วยโรงเรือนพลาสติก	44
ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์	46
ผลการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	47
ผลการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของการ ผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	49

ผลการเปรียบเทียบกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของโรงพยาบาลลำปางหลัง ปรับปรุง.....	51
ผลการศึกษาและประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์	53
ผลการทดสอบการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว.....	57
ผลการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยพิจารณาจากค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์หลังการ ปรับปรุง.....	58
ผลทำการเปรียบเทียบการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจากค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ หลังการปรับปรุง.....	63
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	64
สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	64
ข้อเสนอแนะ	65
บรรณานุกรม.....	66
ภาคผนวก.....	69
ภาคผนวก ก.1.....	70
ภาคผนวก ก.2.....	71
ภาคผนวก ก.3.....	74
ภาคผนวก ก.4.....	75
ภาคผนวก ก.5.....	76
ประวัติผู้วิจัย.....	99

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์	26
ตารางที่ 2 ราคาระบบผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (นัฐพร, 2560).....	30
ตารางที่ 3 วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซไอเสีย	32
ตารางที่ 4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทดสอบ.....	33
ตารางที่ 5 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์กระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ.....	41
ตารางที่ 6 การประเมินต้นทุนต่อหน่วยของการกำจัดขยะติดเชื้อ	44
ตารางที่ 7 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อที่ผ่านการอบแห้ง	46
ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้า	50
ตารางที่ 9 การประเมินต้นทุนต่อหน่วยของการกำจัดขยะติดเชื้อหลังการปรับปรุง	51
ตารางที่ 10 การพิจารณาผลกระทบของสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	54
ตารางที่ 11 การทดสอบด้านเคมีของก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการอบแห้ง	58
ตารางที่ 12 การประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยพิจารณาจากค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์หลังการปรับปรุง.....	60
ตารางที่ 13 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปลดปล่อยในกระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	62

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ขยะติดเชื้อทางการแพทย์.....	4
ภาพที่ 2 การลำเลียงขยะติดเชื้ออัตโนมัติ.....	5
ภาพที่ 3 การบดย่อยขยะติดเชื้อ.....	6
ภาพที่ 4 การเพิ่มแรงดันและอุณหภูมิในเครื่องบำบัดขยะติดเชื้อ.....	6
ภาพที่ 5 การฆ่าเชื้อของเครื่องบำบัดขยะติดเชื้อ.....	7
ภาพที่ 6 การลดอุณหภูมิ และแรงดันภายในเครื่องด้วยน้ำ.....	7
ภาพที่ 7 การปล่อยน้ำที่ใช้หล่อเย็น.....	8
ภาพที่ 8 เครื่องจะดูดอากาศภายในถังออก.....	8
ภาพที่ 9 การตรวจสอบความเรียบร้อยก่อนนำขยะออก.....	9
ภาพที่ 10 แผนภาพหลักการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์.....	13
ภาพที่ 11 แผนภาพอุณหภูมิของเอนโทรปี (T-s Diagram) แสดงกระบวนการต่าง ๆ ในแต่ละอุปกรณ์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์.....	13
ภาพที่ 12 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตามหลัก ISO 14040.....	15
ภาพที่ 13 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์.....	16
ภาพที่ 14 แผนผังของระบบการนำความร้อนที่กลับมาใช้ใหม่.....	18
ภาพที่ 15 แผนผังของระบบการรีไซเคิลของเสียด้วยการกู้คืนความร้อน.....	20
ภาพที่ 16 การนำเศษไม้และขยะติดเชื้อมาย่อยสลายด้วยระบบไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน ...	21
ภาพที่ 17 แผนผังขั้นตอนวิธีการดำเนินการของงานวิจัย.....	22
ภาพที่ 18 การเก็บรวบรวมข้อมูลของโรงพยาบาลลำปาง.....	23
ภาพที่ 19 ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์.....	24
ภาพที่ 20 โรงเรือนพลาสติกมีขนาดการผลิต 2,000 kg.....	26

ภาพที่ 21 แผนผังการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ที่ใช้แหล่งจากเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อ	28
ภาพที่ 22 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์	29
ภาพที่ 23 กระบวนการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้า	31
ภาพที่ 24 จุดตรวจวัดอุณหภูมิ อัตราการไหลและเก็บตัวอย่างก๊าซไอเสีย	32
ภาพที่ 25 ขอบเขตการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยพิจารณาจากค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์	34
ภาพที่ 26 โครงสร้างหลักระบบบำบัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง	36
ภาพที่ 27 กระบวนการจัดการขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง	37
ภาพที่ 28 ปริมาณขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของโรงพยาบาลลำปาง	38
ภาพที่ 29 ปริมาณขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ	38
ภาพที่ 30 การใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์บำบัดขยะติดเชื้อ	39
ภาพที่ 31 การใช้น้ำของอุปกรณ์บำบัดขยะติดเชื้อ	40
ภาพที่ 32 วัสดุคืบที่ป้อนให้แก่ระบบบำบัดขยะติดเชื้อ	41
ภาพที่ 33 น้ำหนักขยะติดเชื้อแต่ละชั่วโมงในโรงเรือนพลาสติก	45
ภาพที่ 34 ค่าความชื้นฐานเปียกของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อที่ผ่านการอบแห้งโดยโรงเรือนพลาสติกในแต่ละชั่วโมง	45
ภาพที่ 35 การตรวจวัดค่ารังสีอาทิตย์อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งอุณหภูมิแวดล้อม	46
ภาพที่ 36 อุณหภูมิสารทำงานในแต่ละอุปกรณ์ของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	48
ภาพที่ 37 อัตราการถ่ายเทความร้อนและกำลังของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	48
ภาพที่ 38 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากการทดสอบและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	49
ภาพที่ 39 การเปรียบเทียบกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์หลังปรับปรุง	52

ภาพที่ 40 การเปรียบเทียบการประเมินต้นทุนต่อหน่วยกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์	52
ภาพที่ 41 กระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์	53
ภาพที่ 42 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปลดปล่อยตลอดกระบวนการผลิตไฟฟ้า	57
ภาพที่ 43 การทดสอบการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการอบแห้ง	58
ภาพที่ 44 กระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของโรงพยาบาลลำปางหลังการปรับปรุง....	59
ภาพที่ 45 ผลการเปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ก่อนและ หลังการปรับปรุง	63



อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	Activity	Unit
B	ผลตอบแทนต่อปี	Baht/y
CW	Cooling water	°C
CFP	Carbon footprint	kgCO ₂ -eq
EF	Emission factor	kgCO ₂ -eq/Unit
GWP	ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน	kgCO ₂ -eq
HHV	High heating value	kJ/kg
h	เอนทัลปี	kJ/kg
Inv	ค่าใช้จ่ายการลงทุนติดตั้งระบบ	Baht
LHV	Low heating value	kJ/kg
n	อายุการใช้งานของระบบ	y
P	ความดัน	kPa
PB	ระยะเวลาคืนทุน	y
PEC	ค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อปี	Baht/y
q	การถ่ายเทความร้อน	kJ/kg
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	kW
r	อัตราส่วนลด	%
T	อุณหภูมิ	°C
T _{vap}	อุณหภูมิของไหลสถานะไอ	°C
T _{liq}	อุณหภูมิของไหลสถานะของเหลว	°C
t	เวลาการทำงานต่อปี	h/y
w	พลังงาน	kJ/kg
W	งาน	kW
ตัวกรีก	ความหมาย	หน่วย
η	ประสิทธิภาพ	%
ε	ประสิทธิผล	%
ρ	ความหนาแน่น	kg/m ³
v	ปริมาตรจำเพาะ	m ³ /kg

m	อัตราการไหล	kg/s
ตัวห้อย	ความหมาย	
B	Boiler	
C	Condenser	
CW	Cool water	
e	Electricity	
FG	Fuel gas	
HW	Hot water	
HX	heat exchanger	
H	Hight	
i	Input	
L	Low	
MCW	Medical waste	
net	สุทธิ	
o	Out put	
OP	Operation	
ORC	Organic Rankine cycle	
P	Pump	
ref	Refrigerant	
th	Thermal	

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันสถานพยาบาลในประเทศไทยมีปริมาณของเสียทั้งที่เป็นขยะมูลฝอยทั่วไป และขยะมูลฝอยติดเชื้อในแต่ละวันมีเป็นจำนวนมาก นับวันยังมีแนวโน้มเพิ่มปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ สาเหตุเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณประชากร การขยายตัวทางเศรษฐกิจ และการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในการอุปโภคบริโภคของประชาชน ซึ่งขยะมูลฝอยจากสถานพยาบาลจัดเป็นของเสียอันตราย เนื่องจากสามารถแพร่เชื้อโรคได้ และส่วนใหญ่ยังไม่มีการจัดการเก็บรวบรวมหรือกำจัดอย่างถูกวิธี ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามมา โดยสถานการณ์ปริมาณขยะมูลฝอยติดเชื้อในปี พ.ศ. 2560 เพิ่มขึ้นจากปี 2558 จำนวน 1,778 ton หรือ คิดเป็น 3.3% ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม และขยะมูลฝอยจากสถานพยาบาลในประเทศไทย ส่วนหนึ่งเกิดจากการจัดการอย่างไม่เหมาะสม โดยการจัดการมูลฝอยติดเชื้อของสถานพยาบาลในส่วนภูมิภาคส่วนใหญ่ให้เทศบาล หรือ องค์การบริหารส่วนจังหวัดเป็นผู้เข้ามาดำเนินการเก็บ และนำไปกำจัดร่วมกับขยะมูลฝอยชุมชนที่สถานกำจัดของเทศบาล หรือ องค์การบริหารส่วนจังหวัด ยกเว้นสถานพยาบาลของรัฐสังกัดกระทรวงสาธารณสุขประมาณ 820 แห่ง สถานพยาบาลรัฐทั้งหมดที่มีเตาเผาประจำสถานพยาบาล จำนวน 723 แห่ง ไม่มีเตาเผาจำนวน 97 แห่ง ปัจจุบันการกำจัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ถือว่ามีความเสี่ยงด้านสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2561) โดยองค์การอนามัยโลกได้กล่าวว่า การจัดการขยะติดเชื้อที่ไม่ถูกสุขลักษณะ อาจทำให้ผู้ดูแลผู้ป่วย ผู้ขนถ่ายผู้ป่วย และชุมชน อาจต้องติดเชื้อจากผลกระทบด้านความพิษ เกิดการบาดเจ็บ และมีความเสี่ยงต่อการเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม เป็นสิ่งจำเป็นที่วัสดุทางการแพทย์ทั้งหมดต้องถูกแยกออกจากจุดเริ่มต้น แล้วทำการบำบัดและการกำจัดอย่างเหมาะสม ดังนั้น ขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลจำเป็นต้องจัดให้มีกระบวนการกำจัดที่พิเศษกว่าขยะปกติ คือ ต้องนำมาทำการฆ่าเชื้อที่อยู่ในขยะให้หมดไปก่อน จากนั้นจึงสามารถนำไปทิ้งร่วมกับขยะทั่วไปได้ จากข้อมูลดังกล่าวเห็นว่า ขยะติดเชื้อทางการแพทย์มีศักยภาพในการนำมาผลิตพลังงานด้วยการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงขยะที่มีความเป็นไปได้และเหมาะสม

ของเหลือทิ้งจากขบวนการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ ของโรงพยาบาลลำปาง ซึ่งเป็นอีกหนึ่งโรงพยาบาลที่มีขยะติดเชื้อปริมาณสูง ที่มีกระบวนการกำจัดอย่างเหมาะสม แต่ยังไม่มีการนำขยะที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้ประโยชน์ต่อ ดังนั้นหากสามารถนำขยะติดเชื้อมาทางการแพทย์มาผลิตเป็นพลังงานทดแทน เพื่อการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชน เป็นปัจจัยพื้นฐานการผลิตในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม ดังนั้น จึงต้องมีการจัดหาพลังงานให้มีปริมาณที่เพียงพอ และมีราคาที่เหมาะสม

การผลิตพลังงานทดแทนนั้นไม่ได้รวมถึงการผลิตที่เหมาะสม ซึ่งการผลิตพลังงานทดแทนอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการใช้พลังงานฟอสซิล รวมถึงอาจมีค่าใช้จ่ายในการผลิตที่มากกว่าอีกด้วย อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ มากมาย การผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine cycle, ORC) ก็เป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จะใช้สารทำงาน คือ R-245fa เป็นสารทำงานในกลุ่มสารอินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำ หรือ มีจุดเดือดต่ำ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีหลักการทำงาน โดยเริ่มจากการนำน้ำร้อนสำหรับใช้เป็นแหล่งความร้อนในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เมื่อสารทำงานได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนดังกล่าวที่หม้อต้ม (Boiler) จะระเหยกลายเป็นไอเข้าสู่เครื่องขยายตัว (Expander) ขับหมุนเพลลาที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อผลิตไฟฟ้า หลังจากนั้นอุณหภูมิ และความดันของสารจะลดลงเข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) เพื่อควบแน่นสารทำงานให้กลายเป็นของเหลว และถูกปั๊มเข้าสู่หม้อต้มเพื่อเริ่มต้นกระบวนการใหม่อีกครั้ง ซึ่งการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก และมีคุณภาพของไฟฟ้าที่ได้มีความใกล้เคียงกับพลังงานจากฟอสซิล ซึ่งสามารถนำไฟฟ้าที่ผลิตได้กลับไปใช้ในกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ ทำให้สามารถประหยัดไฟฟ้าจากเดิมที่เคยใช้

จากสถานการณ์ดังกล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ที่ต้องการศึกษาประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ จากเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์มาผลิตเป็นพลังงาน เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาขยะติดเชื้อของสถานพยาบาลต่าง ๆ ในประเทศไทย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ร่วมกับเตากำจัดขยะแบบเผาไหม้ตรง
2. เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบบำบัดขยะติดเชื้อในโรงพยาบาลลำปาง โดยการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และต้นทุนต่อหน่วยของการบำบัดขยะติดเชื้อ

3. เพื่อศึกษาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง
4. เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ร่วมกับเตากำจัดขยะแบบเผาไหม้ตรง

ขอบเขตการศึกษา

1. ระบบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า คือ วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
2. สารทำงานที่ใช้ในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ คือ R-245fa
3. ขยะติดเชื้อที่ใช้ในการศึกษา คือ ขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง
4. กระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ คือ การบด ย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงแนวทางในการผลิตไฟฟ้าจากขยะติดเชื้อทางการแพทย์
2. ได้ทราบถึงค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ และประสิทธิภาพทางด้านความร้อน การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
3. ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตากำจัดขยะร่วมกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

บทที่ 2

หลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลักการและทฤษฎีในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย ขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล กระบวนการฆ่าเชื้อ จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ในกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ และการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ซึ่งรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขยะติดเชื้อทางการแพทย์

ขยะติดเชื้อทางการแพทย์ถือได้ว่าเป็นความเสี่ยงด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อม โดยองค์การอนามัยโลกได้กล่าวว่า การจัดการขยะติดเชื้อที่ไม่ถูกสุขลักษณะ อาจทำให้ผู้ดูแลสุขภาพ ผู้ขนถ่ายผู้ป่วย และชุมชน โดยมากต้องติดเชื้อจากผลกระทบที่เป็นพิษและการบาดเจ็บ เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม เป็นสิ่งจำเป็นที่วัสดุทางการแพทย์ทั้งหมดถูกแยกออกจากจุดเริ่มต้นการบำบัด และการกำจัดอย่างเหมาะสม จากคำจำกัดความของคณะกรรมการศูนย์วิชาการการแก้ไขปัญหโดย ขยะติดเชื้อหมายถึงสิ่งของที่ไม่ต้องการ หรือ ถูกทิ้งจากสถานพยาบาล อาทิ สำลี ผ้ากอซ กระดาษชำระ เข็มฉีดยา มีดผ่าตัด และเสื้อผ้า ดังแสดงในภาพที่ 1



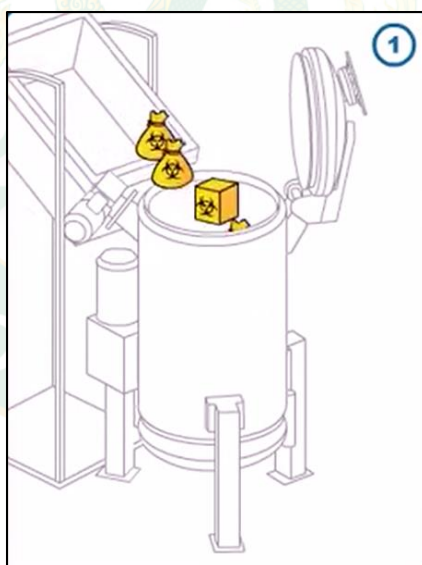
ภาพที่ 1 ขยะติดเชื้อทางการแพทย์

ที่มา: สำนักสื่อสารความเสี่ยงและพัฒนาพฤติกรรมสุขภาพ กรมควบคุมโรค

กระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์

หลักการทำงานของเครื่องบำบัดขยะติดเชื้อแบบบด ย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2 คือ การบรรจุขยะจากถังขยะเข้าสู่เครื่อง (Loading) จากนั้นทำบดย่อยขยะติดเชื้อให้มีขนาดเล็กกว่า 2 Inch (Shredding) และป้อนไอน้ำอุณหภูมิมากกว่า 138 °C เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ขยะ และฆ่าเชื้อโรค (Heating and sterilization) โดยทั้ง 2 กระบวนการจะใช้เวลาประมาณ 45-50 Minute เมื่อเสร็จกระบวนการด้านความร้อน จะใช้น้ำป้อนให้แก่ขยะเพื่อระบายความร้อน (Cooling) เมื่อขยะเย็นตัวลงจะเข้าสู่กระบวนการดื่งน้ำ และอากาศออกจากขยะ (Draining) เพื่อทำให้เกิดสุญญากาศ (Vacuum) เป็นการฆ่าเชื้อจากขยะขั้นตอนสุดท้าย จากนั้นจึงถ่ายขยะออกจากเครื่องกำจัด (Unloading) เพื่อนำไปทิ้งรวมกับขยะทั่วไปแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

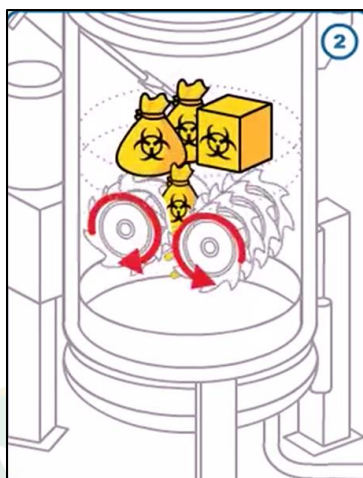
1. ระบบลำเลียงอัตโนมัติ (Automatic elevator feeding) จะยกขึ้นในแนวตั้ง และเทขยะติดเชื้อเข้าไปในห้องนั่งของตัวเครื่องที่มีโครงสร้างเป็นโลหะทนความร้อนและความดัน ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การลำเลียงขยะติดเชื้ออัตโนมัติ

ที่มา: ECODAS (2017)

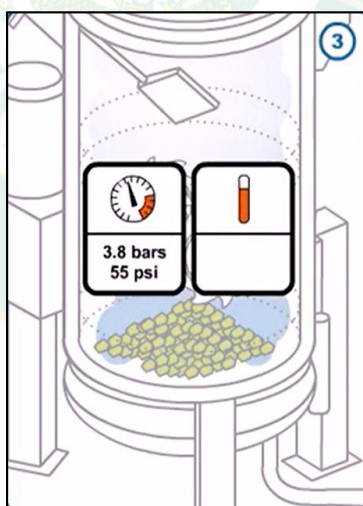
2. ฝาห้องนี้จะปิดอัตโนมัติและอุปกรณ์บดย่อยชิ้นขยะติดเชื้อ (Shredder) ที่อยู่ในห้องนี้จะเริ่มการบดย่อยขยะให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ขยะจะถูกนำไปกระบวนการของห้องถัดไปสำหรับขยะที่ไม่สามารถบดได้ จะมีระบบแจ้งเตือนให้ทราบ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การบดย่อยขยะติดเชื้อ

ที่มา: ECODAS (2017)

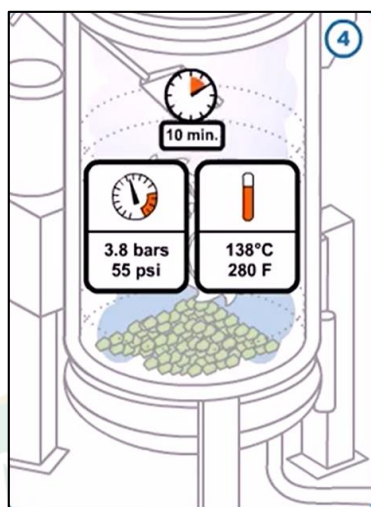
3. เครื่องจะเริ่มกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำที่มีแรงดันไม่น้อยกว่า 3.8 bar และมีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 138 °C ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเพิ่มแรงดันและอุณหภูมิในเครื่องบำบัดขยะติดเชื้อ

ที่มา: ECODAS (2017)

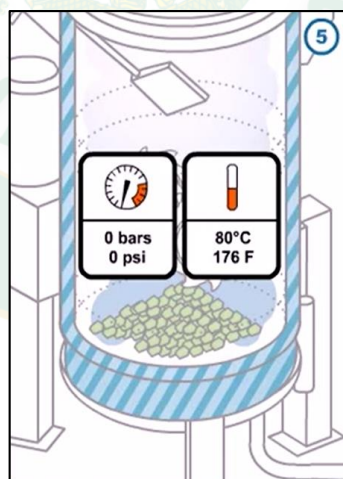
4. เมื่ออุณหภูมิและแรงดันได้ตามที่กำหนด หลังจากนั้นจะทำการฆ่าเชื้อเป็นเวลา 10 min ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อได้ในระดับ 8-10 ng ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การฆ่าเชื้อของเครื่องบดขยະติดเชื้อ

ที่มา: ECODAS (2017)

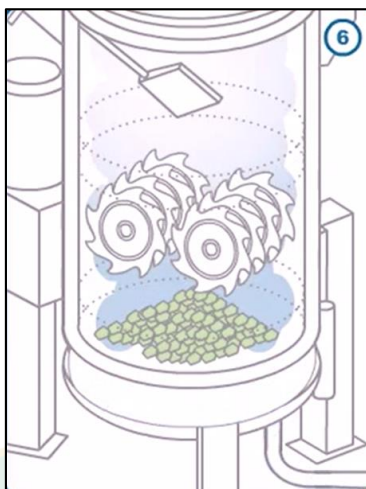
5. หลังจากนั้นเครื่องจะทำการลดอุณหภูมิ และแรงดันภายในเครื่องจะลดลงเพื่อให้พร้อมในการนำขยະที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วออกจากถังบด ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การลดอุณหภูมิ และแรงดันภายในเครื่องด้วยน้ำ

ที่มา: ECODAS (2017)

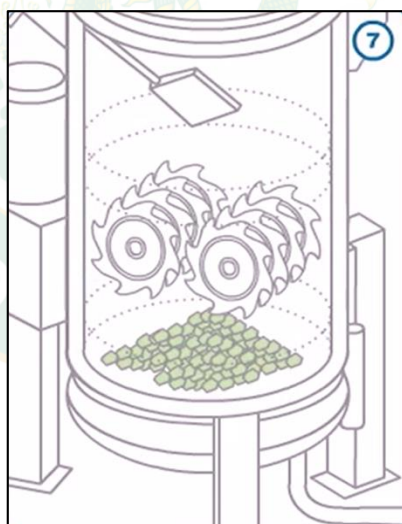
6. เครื่องจะปล่อยน้ำที่ใช้หล่อเย็นในการลดอุณหภูมิ และแรงดันภายในเครื่องออกมา ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การปล่อยน้ำที่ใช้หล่อเย็น

ที่มา: ECODAS (2017)

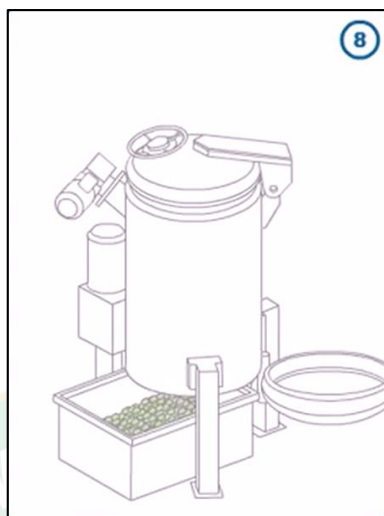
7. เครื่องจะทำการดูดอากาศที่อยู่ภายในถังออกจนหมดเพื่อให้อยู่ในสภาวะสุญญากาศ และทำให้กระบวนการในการฆ่าเชื้อสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 เครื่องจะดูดอากาศภายในถังออก

ที่มา: ECODAS (2017)

8. เครื่องจะทำการตรวจสอบความเรียบร้อยก่อนที่จะนำขยะที่ผ่านการบำบัดแล้วออกไปทิ้งร่วมกับขยะทั่วไป ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การตรวจสอบความเรียบร้อยก่อนนำขยะออก

ที่มา: ECODAS (2017)

การวิเคราะห์หาคุณสมบัติ

การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของขยะติดเชื้อทางการแพทย์เพื่อใช้พิจารณาเป็นแนวทางในการออกแบบหม้อต้ม จากเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

1. การวิเคราะห์หาโครงสร้างองค์ประกอบของเชื้อเพลิง (Proximate analysis) การวิเคราะห์วิธีนี้นิยมทำกันทั่วไปในห้องปฏิบัติการ ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้จะเป็นค่าโดยประมาณ การวิเคราะห์วิธีนี้แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ 6 กลุ่ม คือ

1.1 ความชื้น (Moisture) หมายถึงค่าที่บ่งชี้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัสดุปริมาณความชื้นนิยมนับออกเป็นเปอร์เซ็นต์มี 2 รูปแบบ คือ ความชื้นฐานเปียก (Wet basis) เป็นค่าความชื้นที่มักใช้ในทางการเป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์ และความชื้นฐานแห้ง (Dry basis) เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งความชื้น โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

$$M = [(m_1 - m_2) / m_1] \times 100 \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ M ปริมาณความชื้น (%)

m_1 มวลของวัสดุก่อนอบแห้ง (kg)

m_2 มวลของวัสดุหลังอบแห้ง (kg)

$$\% \text{ Dry basis} = [(m - m_{F,0}) / m_{F,0}] \times 100 \quad \text{สมการที่ 2}$$

$$\% \text{ Wet basis} = [(m - m_{F,0}) / m] \times 100 \quad \text{สมการที่ 3}$$

เมื่อ	m	มวลของวัสดุ (kg)	
	$m_{F,0}$	มวลแห้งความชื้น 0% (kg)	
	$m_F = m_S \left[\frac{\% \text{wetbasis}_S - \% \text{wetbasis}_F}{100 - \% \text{wetbasis}_F} \right]$		สมการที่ 4
เมื่อ	m_S	มวลของวัสดุก่อนการอบแห้ง (kg)	
	m_F	มวลของวัสดุหลังการอบแห้ง (kg)	
	$\% \text{ Wet basis}_S$	ค่าความชื้นฐานเปียกของวัสดุก่อนเริ่มต้นอบแห้ง (%)	
	$\% \text{ Wet basis}_F$	ค่าความชื้นฐานเปียกของวัสดุหลังการอบแห้ง (%)	

ในการคำนวณค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงเมื่อความชื้นเปลี่ยนแปลงไป จะต้องทราบค่าความร้อนต่ำและปริมาณไฮโดรเจน เพื่อแปลงเป็นค่าความร้อนสูงสุดและค่าความร้อนแห้ง จากนั้นจะแปลงกลับมาที่ความชื้นที่ต้องการ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการดังนี้

	$LHV_2 = LHV_1A + (M_1A - M_2)$	สมการที่ 5
เมื่อ	LHV_1	ค่าความร้อนต่ำสุด ที่ความชื้น M_1 (kJ/kg)
	LHV_2	ค่าความร้อนต่ำสุด ที่ความชื้น M_2 (kJ/kg)
	A	$\frac{100 - M_2}{100 - M_1}$
	M_1	ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (%)
	M_2	ปริมาณความชื้นเริ่มที่เปลี่ยนแปลง (%)

1.2 เถ้า (Ash) ปริมาณเถ้าหมายถึงส่วนของขยะที่เหลือจากการเผาไหม้ หรือส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้

1.3 คาร์บอนคงที่ (Fixed carbon) เป็นสารประกอบของคาร์บอนที่ให้ความร้อนเป็นค่าที่วัดปริมาณสารที่สามารถเผาได้ไหม้ และเป็นค่าหนึ่งที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพในการเผาไหม้

1.4 สารระเหย (Volatile matter) หมายถึงสารประกอบอินทรีย์เคมีประเภทไฮโดรคาร์บอน โดยส่วนประกอบที่สามารถถูกเผาไหม้ได้ และค่าสารระเหยสูงแสดงว่าสามารถติดไฟได้ง่าย

2. การวิเคราะห์สัดส่วนของธาตุ (Ultimate analysis) การวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการหาค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ โดยจะรายงานเป็นปริมาณร้อยละของธาตุต่าง ๆ อาทิ คาร์บอน (Carbon) ไฮโดรเจน (Hydrogen) ไนโตรเจน (Nitrogen) ออกซิเจน (Oxygen) กำมะถัน (Sulfur) ที่ประกอบขึ้น จากการวิเคราะห์สัดส่วนของธาตุที่มีความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนต่อน้ำหนัก โดยปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักเชื้อเพลิง เมื่อเชื้อเพลิงนั้นถูกเผาไหม้ โดยทั่วไป

ค่าความร้อนมี 2 ประเภท คือ ค่าความร้อนสูง (High heating value, HHV) และค่าความร้อนต่ำ (Low heating value, LHV) ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงต่อไปนี้

2.1 ค่าความร้อนสูง คือ ค่าความร้อนที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง (Bomb calorimeter) ที่สภาวะมาตรฐาน (อุณหภูมิ 25 °C) และความดันบรรยากาศโดยเชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้ในภาชนะปิดที่อยู่ในน้ำหลัง จากที่เชื้อเพลิงที่เผาไหม้จะคายความร้อนให้แก่น้ำทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสามารถหาปริมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงได้ จากการวัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 25 °C ความดันบรรยากาศไอน้ำที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้จะควบแน่นเป็นของเหลว โดยสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{HHV}_{\text{MCW}} = \frac{\sum_{i=0}^n \text{HHV}_i M_i}{M_{\text{Total}}}$$

สมการที่ 6

2.2 ค่าความร้อนต่ำ คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่พิจารณาว่าไอน้ำที่เกิด จากการเผาไหม้ไม่ได้ควบแน่นเป็นของเหลว โดยความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงบางส่วนจะถูกใช้ไปในการระเหยน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ให้ออยู่ในสภาวะไอน้ำ (เอนทัลปีของไอน้ำมีค่าสูงกว่าเอนทัลปีของน้ำที่สภาวะของเหลว) ดังนั้น ค่าความร้อนต่ำจะมีค่าน้อยกว่าค่าความร้อนสูง

$$\text{LHV}_{\text{MCW}} = \frac{\sum_{i=0}^n \text{LHV}_i M_i}{M_{\text{Total}}}$$

สมการที่ 7

โดยที่	HHV	ค่าความร้อนสูง (MJ/kg)
	LHV	ค่าความร้อนต่ำ (MJ/kg)
	M_i	น้ำหนักของขยะแต่ละชนิด (kg)
	M_{Total}	น้ำหนักของขยะทั้งหมด (kg)

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

หลักการทํางานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เป็นระบบการทํางานที่ใช้หลักการของวัฏจักรแรงคิน (Rankine cycle) ใช้สารทํางานในกลุ่มสารอินทรีย์ (Organic) โดยที่สารดังกล่าวอาศัยการ

เปลี่ยนคุณสมบัติจากสถานะของน้ำ จากของเหลวกลายเป็นไอเมื่อได้รับพลังงานความร้อน และไอน้ำ จะเข้าไปขับเคลื่อนเครื่องขยายตัวขับเคลื่อนเพลลาที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ มีหลักการทำงาน คือ ของไหลที่ผ่านกระบวนการควบแน่นจน สมบูรณ์ในเครื่องควบแน่น จะควบแน่นเป็นของเหลวอิ่มตัวจุดที่ 1 และของไหลจะถูกอัดตัวโดยปั๊ม ภายใต้กระบวนการไอเซนทรอปิก จนกระทั่งมีความดันสูงขึ้นจุดที่ 2 จะเท่ากับความดันภายในหม้อ ต้ม จากนั้นของเหลวจะถูกให้ความร้อนภายใต้ความดันคงที่ ($P_2 = P_2'$) จนกระทั่งเข้าสู่สถานะของเหลว อิ่มตัวที่สถานะจุดที่ 2' กลายเป็นไออิ่มตัวที่สถานะจุดที่ 3' และกลายเป็นไอร้อนยวดยิ่งจุดที่ 3 ใน ที่สุด ไอร้อนยวดยิ่งจะเข้าสู่เครื่องขยายตัวแบบไอเซนทรอปิก ($s_3 = s_4$) และผลิตงานโดยการขับเคลื่อนเพลลา ที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำให้ความดัน และอุณหภูมิของไอสารทำงานลดลงจุดที่ 4 ที่บริเวณ ทางออกของกังหันซึ่งอยู่ในสถานะของผสม (ไอและของเหลว) จากนั้นจะไหลไปควบแน่นยังเครื่อง ควบแน่นภายใต้ความดันคงที่ ($P_4 = P_1$) กลายเป็นของเหลวอิ่มตัวที่สถานะจุดที่ 1 อีกครั้ง แสดงดัง ภาพที่ 10

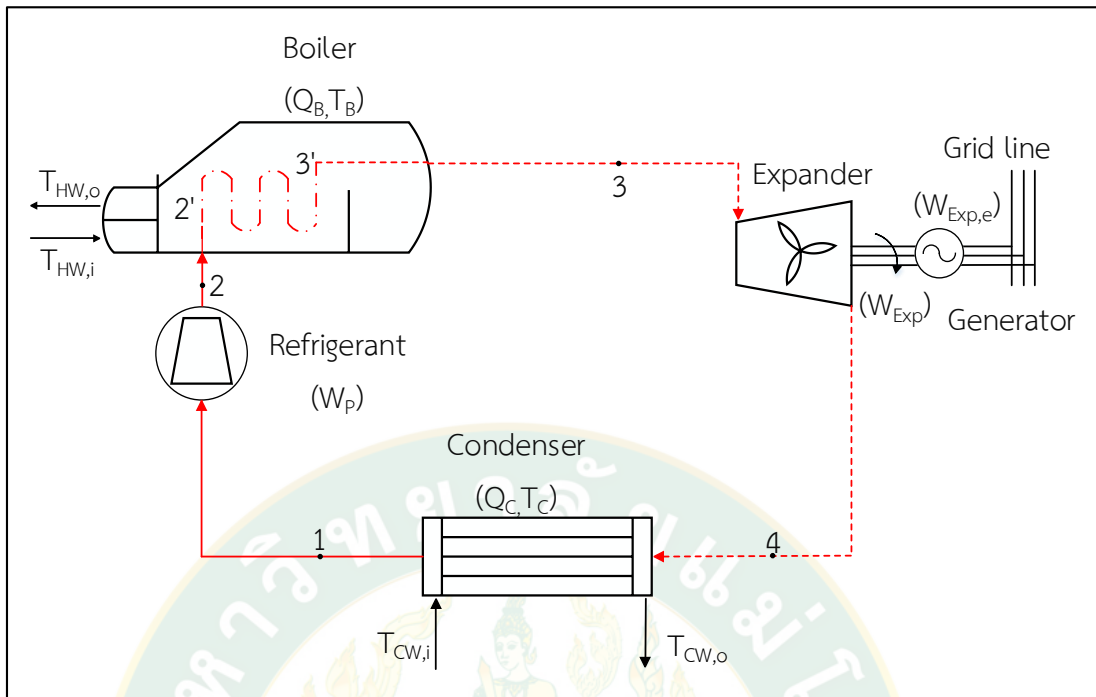
วัฏจักรแรงคินประกอบด้วยกระบวนการต่าง ๆ ดังนี้ (กระบวนการทั้งหมดเป็นกระบวนการ ย้อนกลับได้ทั้งสิ้น) แสดงดังภาพที่ 11

กระบวนการ 1-2 การอัดตัวของเหลวแบบไอเซนทรอปิกในปั๊ม

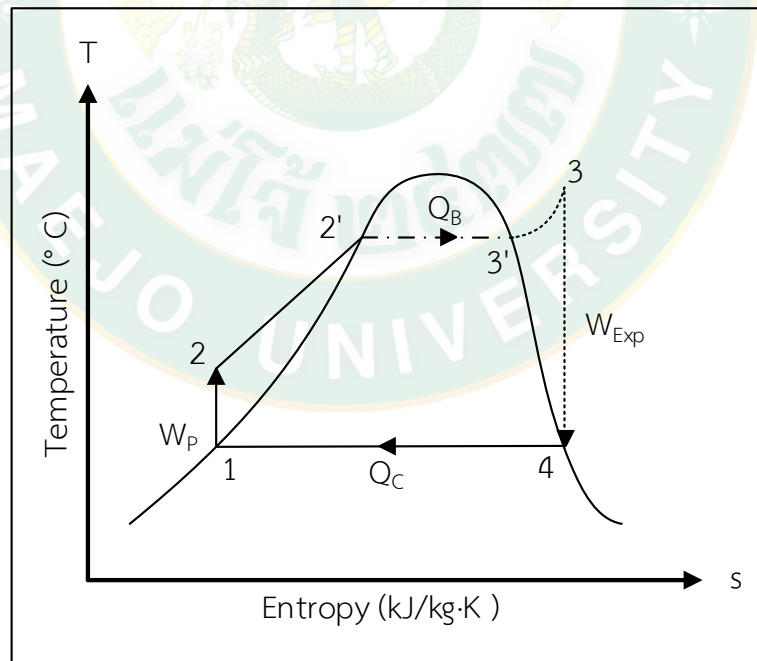
กระบวนการ 2-3 การให้ความร้อนภายใต้ความดันคงที่ในหม้อต้ม

กระบวนการ 3-4 การขยายตัวของก๊าซแบบไอเซนทรอปิกในกังหัน

กระบวนการ 4-1 การถ่ายเทความร้อนที่ออกจากกังหันภายใต้ความดันคงที่ในเครื่อง ควบแน่น



ภาพที่ 10 แผนภาพหลักการทำงานของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์



ภาพที่ 11 แผนภาพอุณหภูมิของเอนโทรปี (T-s Diagram) แสดงกระบวนการต่าง ๆ ในแต่ละอุปกรณ์ของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ประกอบไปด้วย 4 อุปกรณ์หลัก คือ ป้อนสารทำงาน หม้อต้ม กังหัน และเครื่องควบแน่น ดังแสดงในภาพที่ 10 สมการทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์พิจารณาที่สภาวะคงตัว (Steady state steady flow, SSSF) ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

พิจารณาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้ม

$$Q_B = \dot{m}_{\text{ref}} (h_3 - h_2) \quad \text{สมการที่ 8}$$

พิจารณาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น

$$Q_C = \dot{m}_{\text{ref}} (h_4 - h_1) \quad \text{สมการที่ 9}$$

พิจารณางานที่ป้อนให้แก่ป้อนสารทำงาน

$$W_P = [V_1 \dot{m}_{\text{ref}} (P_H - P_L)] / \eta_{s,p} \quad \text{สมการที่ 10}$$

พิจารณางานที่ได้จากเครื่องขยายตัว

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

ประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

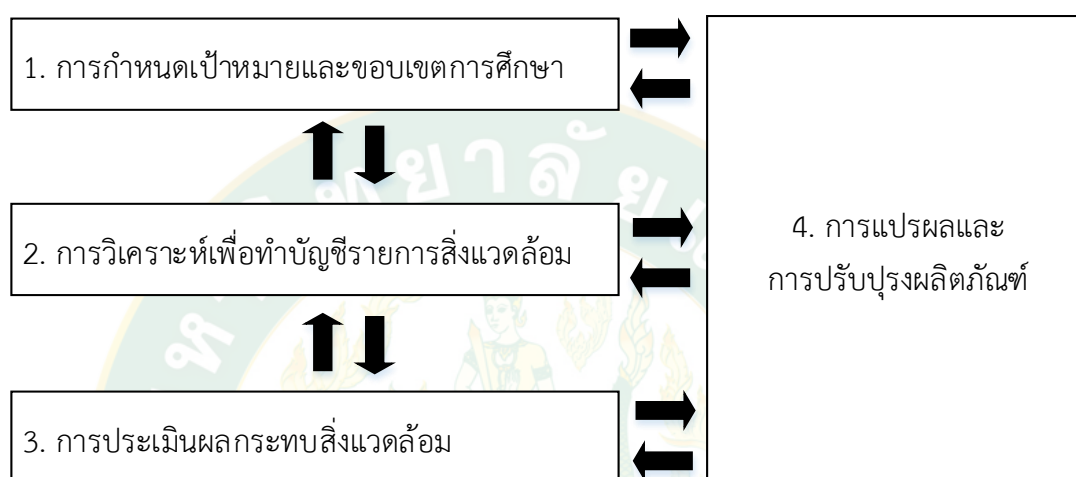
$$\eta_{\text{ORC}} = (W_{\text{Exp}} - W_P) / Q_B \quad \text{สมการที่ 12}$$

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

การประเมินผลกระทบของสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เป็นการคำนวณเพื่อแปลงข้อมูลบัญชีรายการที่ได้จากการรวบรวมปริมาณสารขาเข้า และสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปของผลกระทบสิ่งแวดล้อม เพื่ออธิบายค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมชั้นกลางหรือปลายทางที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์

การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases: GHGs) จากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์อย่างต่อเนื่อง ทั้งการใช้พลังงานในการพัฒนา และการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง การตัดไม้ทำลายป่า รวมทั้งการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมในรูปแบบอื่น ๆ ล้วนเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดภาวะโลกร้อน ซึ่งส่งผลกระทบต่อวิถีการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิต โดยแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ใช้หลักการประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment: LCA) ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งาน และการกำจัดเศษซากหลังการใช้งาน ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Cradle to grave) หรือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบจนถึงสิ้นสุดกระบวนการผลิตในโรงงาน (Cradle to gate) การประเมินการ

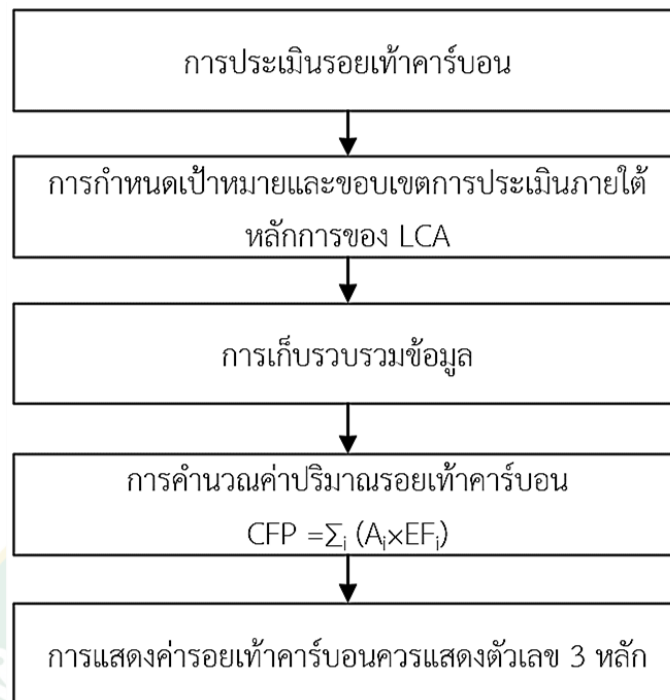
ปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ ได้ดำเนินการตาม 4 ขั้นตอน คือ การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ได้แก่ การกำหนดเป้าหมาย และขอบเขตการศึกษา การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม การประเมินผลกระทบ และการแปรผล โดยต้องวิเคราะห์ตามขั้นตอนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ คือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิตการใช้งาน และการจัดการซากหลังจากการใช้งานดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตามหลัก ISO 14040

คาร์บอนฟุตพริ้นท์

การวิเคราะห์บัญชีรายการ การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการแปรผล โดยต้องวิเคราะห์ตามขั้นตอนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ตามหน่วยการทำงาน (Functional unit, FU) ที่ได้ทำการกำหนด การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งาน และการจัดการซากหลังจากใช้งาน ด้วยการคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ต้องระบุหน้าที่ของระบบผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา และหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO 14040 และ ISO 14044 และต้องมีการระบุเอกสารอ้างอิงด้วย ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต้องอยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยการทำงาน หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor, EF) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งเปลี่ยนข้อมูลจากกิจกรรมต่าง ๆ ให้เป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยค่าสัมประสิทธิ์จะมีค่าเป็นปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยมวล เช่น กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้อยู่ในรูปของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่าต่อหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$EF = (M_{\text{gas}}/M_{\text{fuel}}) \text{GWP} \quad \text{สมการที่ 13}$$

เมื่อ M_{gas} มวลของก๊าซเรือนกระจก (kg)

M_{fuel} มวลของเชื้อเพลิง (kg)

GWP ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (kg CO₂-eq)

$$M_{\text{gas}} = M_{\text{exhaust}} \Psi \quad \text{สมการที่ 14}$$

เมื่อ M_{exhaust} มวลรวมของไอเสียทั้งหมด (kg)

Ψ เปอร์เซ็นโตโมลของก๊าซเรือนกระจก

มวลของก๊าซเรือนกระจกที่เป็นส่วนประกอบของไอเสียสามารถประเมินได้จากอุณหภูมิ และ อัตราความเร็วลมของไอเสียที่ปล่อยออกจากปล่องระบายไอเสียจากหม้อต้มน้ำดังสมการต่อไปนี้

$$M_{\text{exhaust}} = \dot{m}_{\text{gas}} \quad \text{สมการที่ 15}$$

เมื่อ \dot{m}_{gas} อัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซเรือนกระจก (kg/s)
 T เวลา (s)

อัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซเรือนกระจก สามารถหาได้จาก

$$\dot{m}_{\text{gas}} = \rho Av \quad \text{สมการที่ 16}$$

เมื่อ ρ ความหนาแน่นก๊าซเรือนกระจกที่อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (kg/m³)
 v ความเร็วลมของไอเสีย (m/s)
 A พื้นที่หน้าตัดปล่องระบายไอเสีย (m²)

การวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์ต้นทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้า ในงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทราบว่า การดำเนินงานนี้มีความเหมาะสมและผลประโยชน์ในด้านการเงินมากน้อยเพียงใด จากการพิจารณามูลค่าการลงทุนเบื้องต้นทั้งหมดเปรียบเทียบกับมูลค่าผลตอบแทนจากการลงทุนต่อปีโดยสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

การวิเคราะห์อัตรารับซื้อไฟฟ้าในบางครั้ง อาจใช้ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยแทน ซึ่งสามารถประเมินได้จากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ค่าอัตราส่วนมีจุดประสงค์ลด (Discount rate, r) ค่าดอกเบี้ยของธนาคาร ค่าเงินเฟ้อ และค่าเสียโอกาส เป็นต้น ซึ่งค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยจะมีค่าไม่เท่ากับอัตรารับซื้อไฟฟ้าเสมอ เนื่องจากการประเมินค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยไม่พิจารณาระยะเวลาการรับซื้อไฟฟ้า หรือ ระยะเวลาการคืนทุน ดังนั้นต้องใช้สมการต่อไปนี้ในการวิเคราะห์ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย

$$LEC = \frac{\text{Inv} + \sum_{t=1}^n \frac{\text{PEC}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{W_{\text{net } t\text{OP}}}{(1+r)^t}} \quad \text{สมการที่ 17}$$

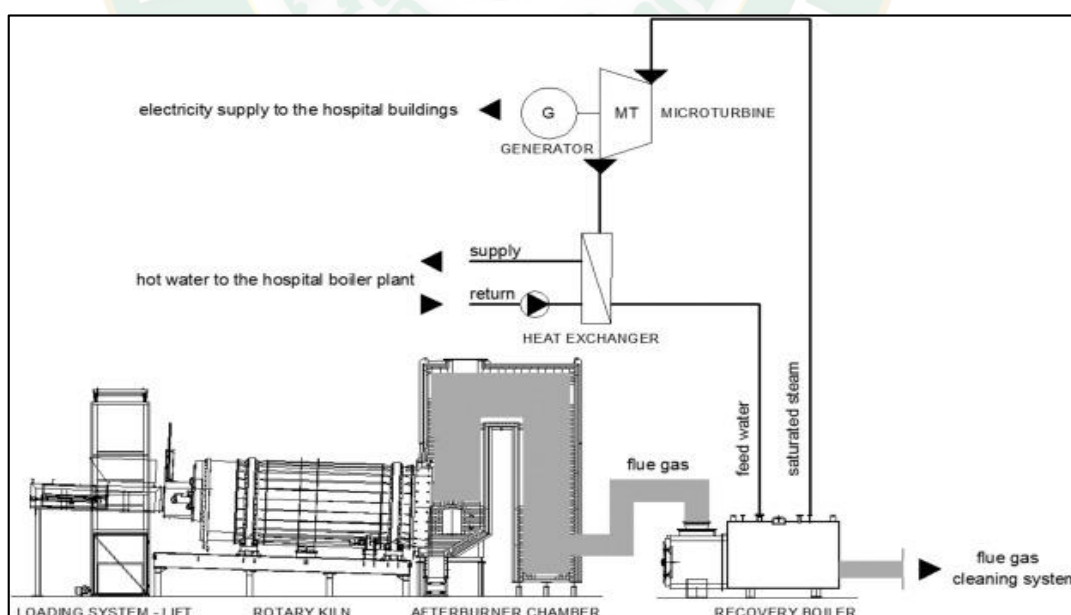
เมื่อ LEC ราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/kWh)
 n อายุการใช้งานของระบบ (y)
 r อัตราส่วนลด (%)

การตรวจสอบเอกสาร

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าประกอบไปด้วยการศึกษากการผลิตพลังงาน จากขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของโรงพยาบาลในรูปแบบต่าง ๆ และประโยชน์ที่ได้ในการนำของเหลือทิ้งของโรงพยาบาลมาทำการแปรรูปให้เกิดประโยชน์สูงสุด

การกำจัดขยะติดเชื้อด้วยระบบโรตารีคลายเพื่อผลิตไฟฟ้า

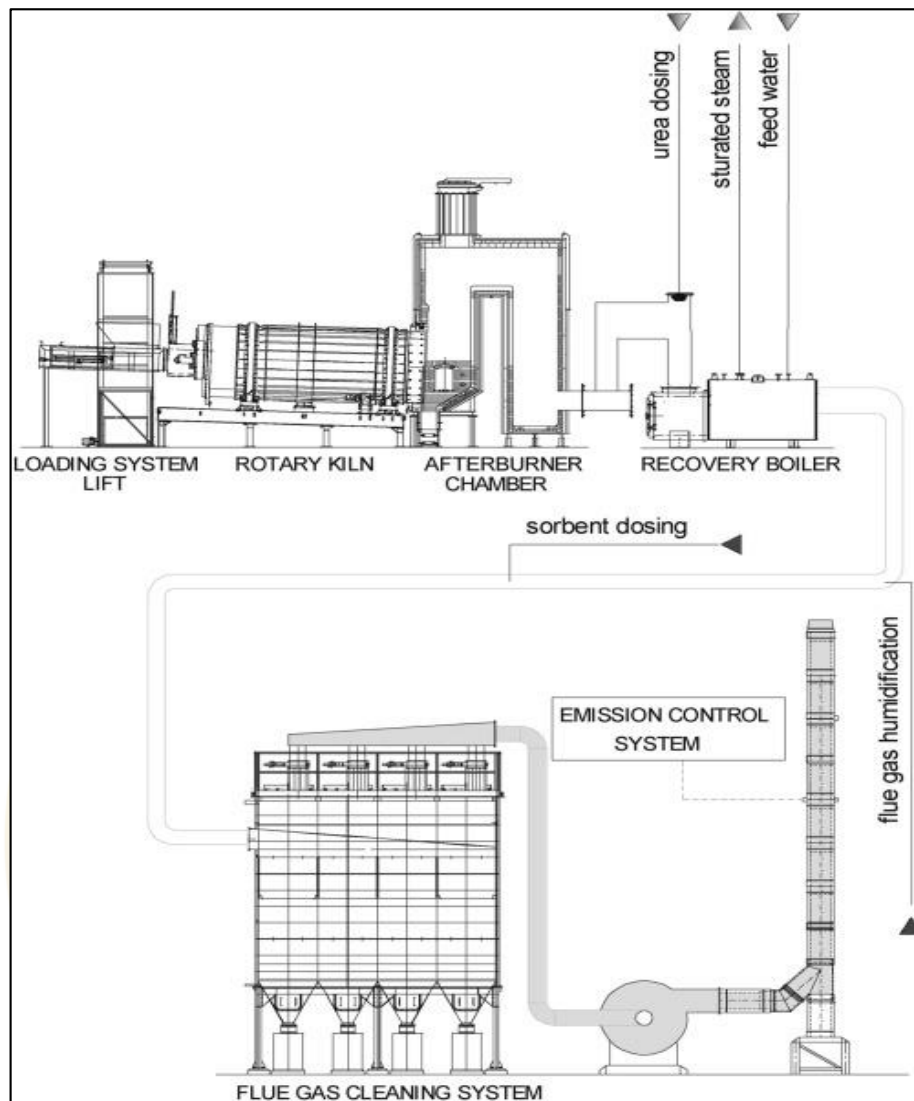
Bujuk (2015) ได้ทำการศึกษากการผลิตไฟฟ้า จากขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล โดยการนำขยะทางการแพทย์ของโรงพยาบาลมาทำการเผาไหม้ด้วยระบบโรตารีคลาย เพื่อผลิตความร้อนในรูปแบบของไอน้ำไปป้อนให้แก่เครื่องผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากผลการศึกษา พบว่า การใช้ประโยชน์จากความร้อนทิ้งจากกระบวนการกำจัดขยะทางการแพทย์ โดยความจะถูกนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อผลิตไอน้ำร้อนที่หม้อต้ม และไอน้ำร้อนจะถูกส่งเข้าไปผลิตไฟฟ้าที่เครื่องผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 79.0% ที่มีความดันไอน้ำอยู่ที่ประมาณ 22 bar ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับค่าเฉลี่ยในการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ในระหว่างการทดสอบประมาณ 31.6 kW_e ซึ่งคิดเป็น 4.2% ของพลังงานที่ใช้ได้ทั้งหมดจากแหล่งความร้อนที่มีขนาด 729 kW ดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แผนผังของระบบการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่

ที่มา: Bujuk (2015)

Bujuk (2015) ได้ทำการศึกษาระบวนการบำบัดไอเสียที่เกิดจากการกำจัดขยะติดเชื้อด้วยการเผาไหม้จากเครื่องโรตารีที่ใช้เวลาในการทำการทดสอบเป็นเวลา 1 month หรือ 720 h ต่อเนื่องโดยมีการทำการประเมินในด้านพลังงานสิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์จากผลการศึกษาพบว่า ห้องเผาไหม้แบบโรตารีคล้ายมีลักษณะถังกลมตั้งเป็นแนวนอนที่มีความยาว 4 m กว้าง 1 m โดยขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลที่ได้นำมาทำการเผาไหม้จะมีค่าความร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 25.0 MJ/kg ในการดำเนินการทดสอบจะนำขยะติดเชื้อเข้าทางด้านบนของเตาเผาเพื่อป้อนขยะติดเชื้อ ในขั้นตอนของการเผาไหม้จะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกจะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณ 880.5 °C และช่วงสุดท้ายจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอยู่ที่ประมาณ 1,237 °C ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้จะถูกนำเข้าไปที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อผลิตไอน้ำร้อนที่หม้อต้มไอน้ำร้อนเพื่อป้อนเข้าไปในเครื่องผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่ประสิทธิภาพการทำงานของระบบในการผลิตไฟฟ้าประมาณ 66.8% และยังมีการบำบัดก๊าซไอเสียด้วยเครื่องบำบัดก๊าซไอเสียแบบถุงกรองฝุ่นกึ่งแห้ง (Flue gas cleaning system) เพื่อดักเก็ลลอย และก๊าซไอเสียให้อากาศที่ระบายออกจากเตาบริเวณปลายปล่องสู่บรรยากาศให้มีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมตามค่ามาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด ในการตรวจวัดค่าไอเสียมีค่าอยู่ที่ประมาณ 36.3 mg/Nm³ โดยค่ามาตรฐานจะอยู่ที่ประมาณ 50 mg/Nm³ หรือ สามารถกำจัดปริมาณคาร์บอนก่อนการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ไม่เกิน 3.0% ดังแสดงในภาพที่ 15

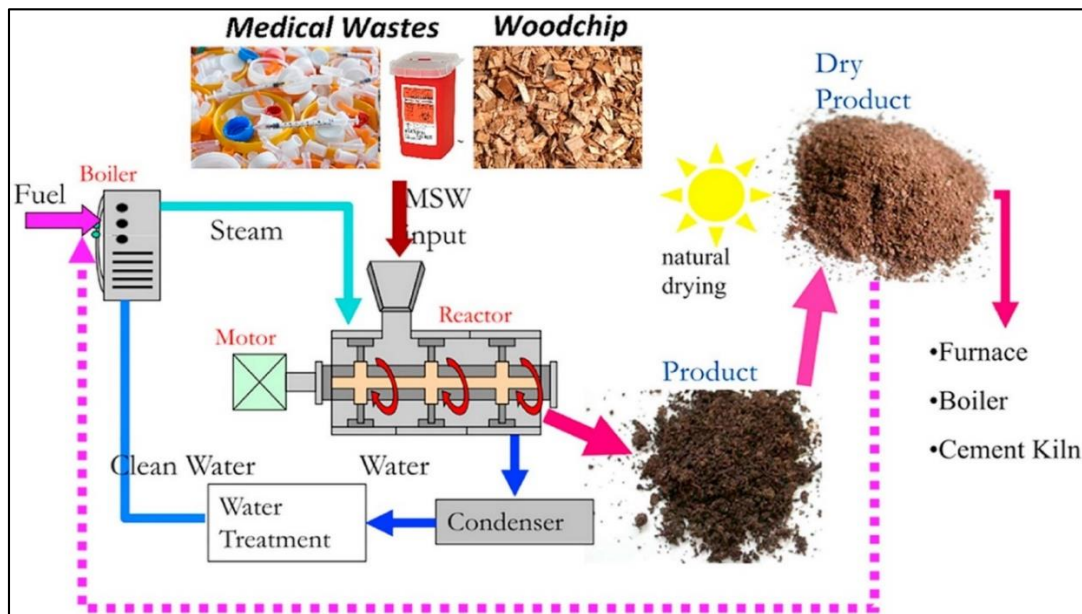


ภาพที่ 15 แผนผังของระบบการรีไซเคิลของเสียด้วยการกู้คืนความร้อน

ที่มา: Bujuk (2015)

Shen et al. (2017) ได้นำเสนอการศึกษาการผลิตถ่านจากการนำขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลมาบดย่อยรวมกับชีวมวล ด้วยระบบการย่อยสลายด้วยความร้อนชื้น (Hydrothermal carbonization) ผลการศึกษา พบว่า วัสดุที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นขยะติดเชื้อ และส่วนที่เป็นชีวมวลขั้นตอนแรกจะนำขยะ และชีวมวลเข้าประมาณ 250 kg ที่มีมูลค่าขึ้นประมาณ 33.2% จากนั้นวัสดุจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ (Reactor) โดยมีการใช้มอเตอร์ขนาด 4.9 kW มีแรงดันกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 12 A โดยมีอัตราการหมุนอยู่ที่ 600 rpm ใช้เวลาในการหมุนประมาณ 30 min ขณะเดียวกันวัสดุจะถูกให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 220 °C ภายใต้ความดัน 2.4 MPa หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการไอน้ำจะถูกแยกออกมาเพื่อทำการ

ควบแน่นที่ด้วยเครื่องควบแน่น โดยน้ำที่สามารถควบแน่นได้จะอยู่ที่ประมาณ 320 Liter น้ำดังกล่าว จะถูกนำไปเพื่อทำการบำบัดป้อนเข้าให้แก่เครื่องอีกครั้งหนึ่ง ส่วนที่เป็นวัสดุเนื่องจากยังมีความชื้นอยู่ที่ประมาณ 55.9% จึงจำเป็นต้องได้นำเข้าไปทำการอบแห้ง ด้วยการตากแห้งกับแสงแดดตามธรรมชาติ หลังกระบวนการอบแห้งเสร็จสิ้นแล้วได้นำตัวอย่างวัสดุไปทำการตรวจสอบถึงค่าความร้อน เช่น มีค่าความร้อนต่ำอยู่ที่ประมาณ 24.18 MJ/kg ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาทำการต่อยอดในการผลิตพลังงานต่อไปดังแสดงในภาพที่ 16



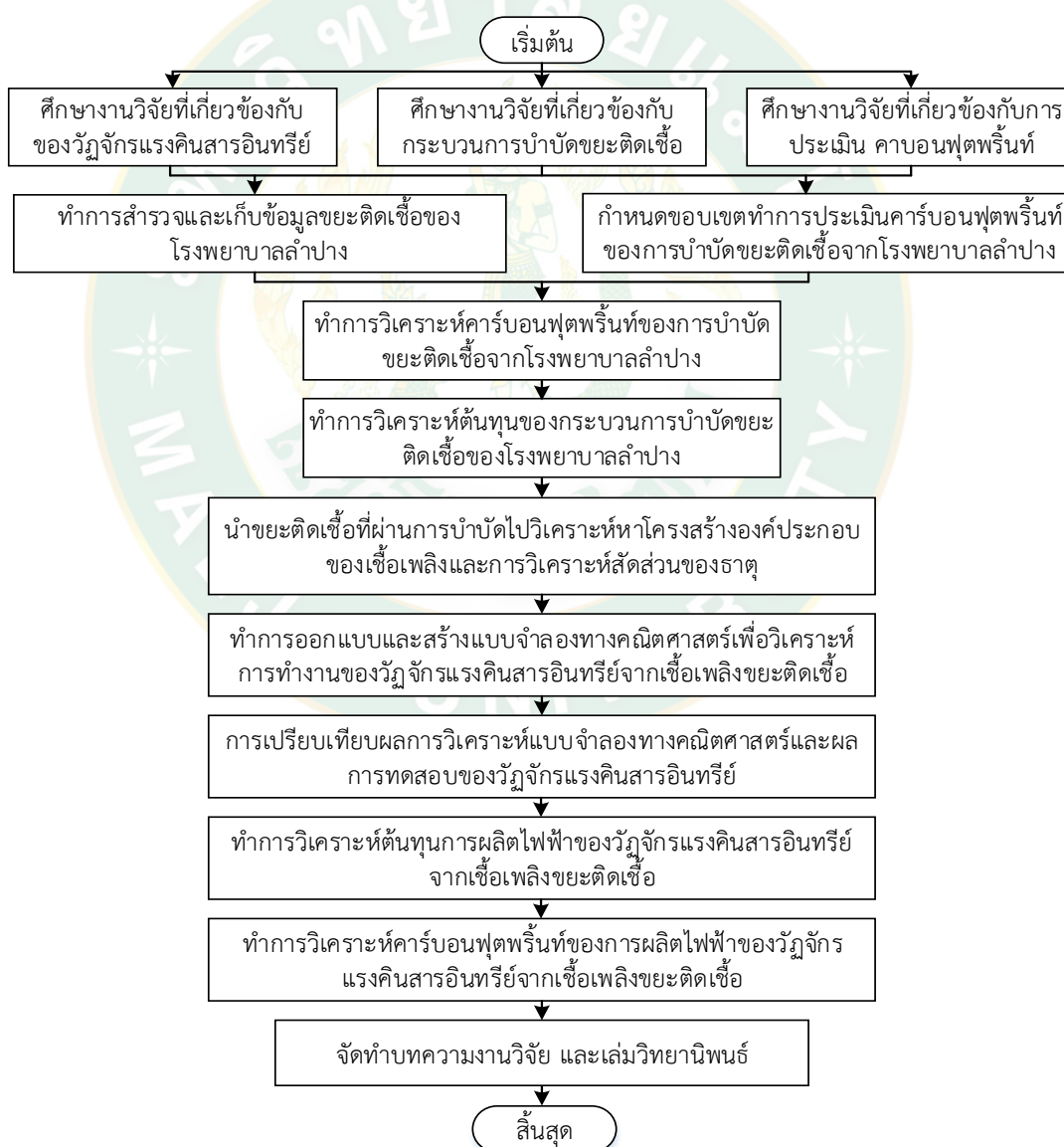
ภาพที่ 16 การนำเศษไม้และขยะติดเชื้อมาย่อยสลายด้วยระบบไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน
ที่มา: Shen et al. (2017)

จากงานวิจัยต่าง ๆ ที่กล่าวนำเสนอในข้างต้นจะเห็นว่า มีการนำขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล มากำจัดในหลายรูปแบบ อาทิ การเผาไหม้ขยะติดเชื้อ การแปรรูปชีวมวลเพื่อผลิตพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ในการนำมาผลิตเป็นพลังงานแต่ไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการนำเสนอเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าโดยวัฏจักร แรงคินสาร์อินทรีย์ และทำการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้า ด้วยเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อที่ผ่านการบำบัดแล้ว

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางในการดำเนินงานวิจัย เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ การเก็บข้อมูล การประเมินศักยภาพทางด้านพลังงาน เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมของการนำขยะติดเชื้อมาผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 17 ต่อไปนี้



ภาพที่ 17 แผนผังขั้นตอนวิธีการดำเนินการของงานวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูลของโรงพยาบาลลำปาง

การสำรวจเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของกระบวนการบำบัด และปริมาณขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของโรงพยาบาลลำปาง เพื่อทำการศึกษา วิเคราะห์ และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม จากวัสดุ พลังงานที่ป้อนให้แก่กระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ และการจัดการขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปางแสดงดังในภาพที่ 18 โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังรายละเอียดต่อไปนี้



ภาพที่ 18 การเก็บรวบรวมข้อมูลของโรงพยาบาลลำปาง

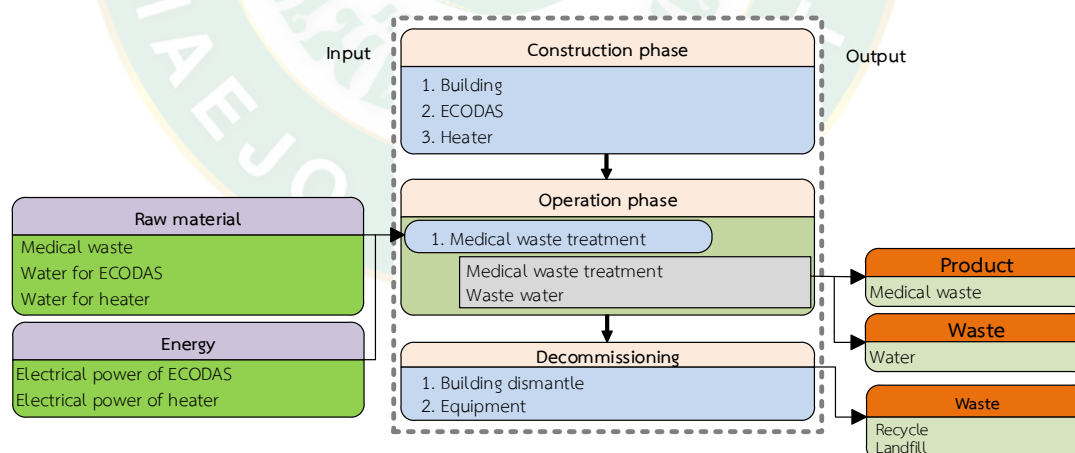
การเก็บข้อมูลพื้นฐานของโรงเรือนมีความจำเป็นอย่างมาก ในเรื่องของการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นจากการสร้างโรงเรือน และเครื่องบำบัดขยะติดเชื้อ ซึ่งการเก็บข้อมูลชุดนี้เป็นการเก็บข้อมูลพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการสร้างระบบบำบัดขยะติดเชื้อ และการกำจัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล จำเป็นจะต้องมีการวิธีในการจัดการกับขยะเหล่านี้อย่างระมัดระวังมากกว่าขยะมูลฝอยทั่วไป ตั้งแต่การเก็บรวบรวม การขนส่งการบำบัดและกำจัด ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษขั้นตอนการกำจัดขยะติดเชื้อ โดยเริ่มจากขยะติดเชื้อที่ถูกเก็บรวบรวมไว้ นำไปเข้าเครื่อง ECODAS รุ่น T300 จากนั้นจึงเริ่มขั้นตอนในการบำบัดด้วยการบด ย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

การใช้ไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ระบบบำบัดขยะติดเชื้อ คือ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในการสำรวจ และเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของระบบบำบัดขยะติดเชื้อ จึงเป็นข้อมูลหลักที่จำเป็นต้องทราบ และใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยข้อมูลเบื้องต้นของระบบบำบัดขยะติดเชื้อแบ่งการใช้พลังงานออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การใช้ไฟฟ้าของโรงเรือน การใช้ไฟฟ้าของเครื่องบำบัดขยะติดเชื้อ

การสำรวจและเก็บข้อมูลปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการบำบัด อันประกอบไปด้วย การใช้น้ำของเครื่องบำบัดขยะติดเชื้อ การใช้น้ำการล้างขยะก่อนเข้าสู่กระบวนการ และอื่น ๆ เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่จะสะท้อนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการบำบัด

การศึกษาและประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของโรงพยาบาลลำปาง

ในการประเมินผลกระทบของสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาตามแนวทางของการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อประเมินปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ ของโรงพยาบาลลำปาง โดยการนำข้อมูลพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการสร้างระบบบำบัดขยะติดเชื้อปริมาณการใช้น้ำ การใช้ไฟฟ้าของเครื่องบำบัดขยะติดเชื้อ ดังแสดงภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การศึกษาขั้นตอนการกำจัดขยะของโรงพยาบาลลำปาง เพื่อประเมินองค์ประกอบทางกายภาพของขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้น โดยการรวบรวม และเก็บข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน เป็นระยะเวลารวม 4 day จากการเก็บรวบรวมข้อมูลวัสดุ (Raw materials) ที่ใช้ในการสร้าง

อาคารบริหารจัดการปริมาณพลังงาน และวัตถุดิบ (Input energy and raw materials) ที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการกำจัดขยะติดเชื้อ ด้วยวิธีย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ที่มีการกำหนดขอบเขตการศึกษา คือ แบบประตูสู่ประตู (Gate to gate) ที่ขยะติดเชื้อเข้าสู่อาคารบริหารจัดการขยะติดเชื้อ โรงพยาบาลลำปาง บำบัดขยะติดเชื้อด้วยการบด ย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน และใส่ถุงดำรอการนำไปกำจัดรวมกับขยะทั่วไป รวมทั้งกำหนดให้หน่วยการศึกษา (Functional unit, FC) คือ ปริมาณขยะติดเชื้อทางการแพทย์ 1 kg ก่อนเข้าสู่กระบวนการบำบัดประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยต้นทุนต่อหน่วยการบำบัดขยะติดเชื้อ 1 kg ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$LC = \frac{Inv + \sum_{t=1}^N \frac{PC}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^N M_{MCW} t_{OP}}$$

สมการที่ 18

โดยที่	LC	ค่าต้นทุนต่อหน่วย (Baht/kg _{MCW})
	Inv	มูลค่าการลงทุน (Baht)
	PC	ค่าใช้จ่ายรายปี (Baht/y)
	M _{MCW}	มวลของขยะ (kg _{MCW})
	t _{OP}	ระยะเวลาการทำงาน (day/y)
	N	อายุการใช้งาน (y)

การอบแห้งขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการบำบัดแล้วด้วยโรงเรือนพลาสติก

การนำตัวอย่างขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการบำบัดมาทำการอบแห้งในโรงเรือนพลาสติก ขนาดประมาณ 2,000 kg แสดงดังภาพที่ 20 โดยภายในโรงเรือนพลาสติกติดตั้งพัดลมเพื่อระบายอากาศขนาด 0.005 kW จำนวน 1 Unit โดยมีขนาดโรงเรือน กว้าง 3 m ยาว 6 m สูง 2 m โดยใช้เวลาในการอบแห้ง 1 day และทำการชั่งน้ำหนักทุก ๆ 1 h นำตัวอย่างขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการอบแห้ง ไปทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ดังแสดงในภาพ 20



ภาพที่ 20 โรงเรือนพลาสติกมีขนาดการผลิต 2,000 kg

การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์

การวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการอบแห้ง โดยวิธีการวิเคราะห์หาโครงสร้างองค์ประกอบของเชื้อเพลิง และการวิเคราะห์สัดส่วนของธาตุ ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าความร้อน ค่าความชื้น ค่าคาร์บอนคงที่ ค่าปริมาณสารระเหย และค่าปริมาณเถ้า แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์

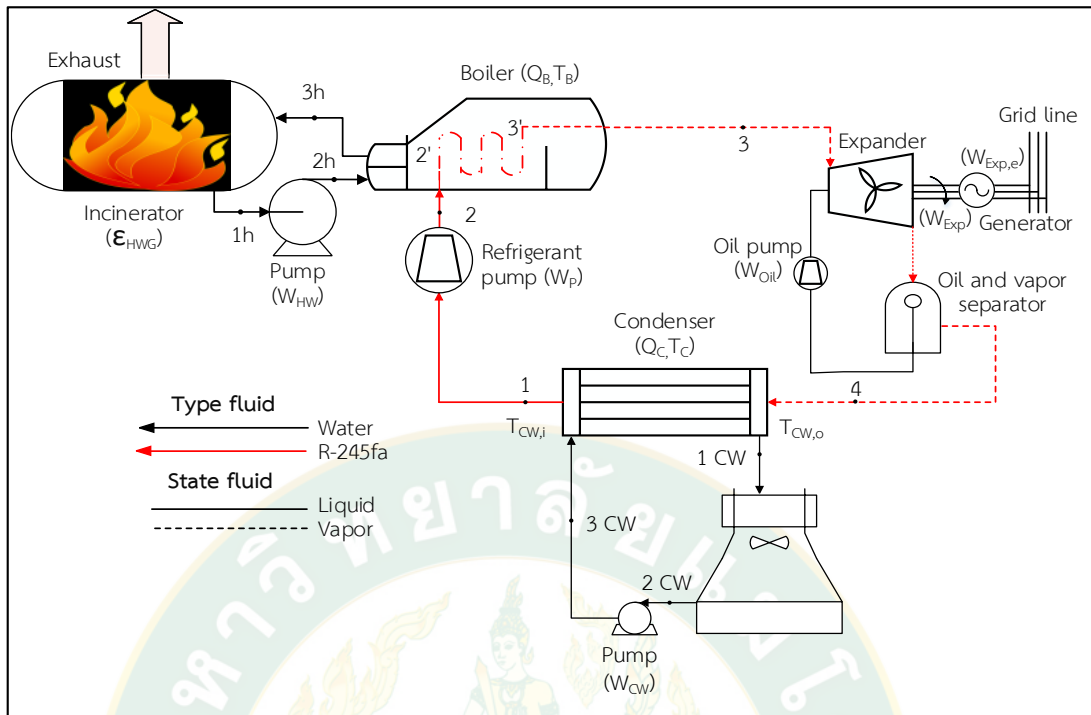
รายละเอียด	การวิเคราะห์	หน่วย
การวิเคราะห์หาโครงสร้างองค์ประกอบของเชื้อเพลิง		
ความชื้น	ASTM D 7582	%
ค่าคาร์บอนคงที่	ASTM D 7582	%
ค่าปริมาณสารระเหย	ASTM D 7582	%
ค่าปริมาณเถ้า	ASTM D 7582	%
การวิเคราะห์สัดส่วนของธาตุ		
ค่าความร้อนสูง	ASTM D 5865	MJ/kg

รายละเอียด	การวิเคราะห์	หน่วย
ค่าความร้อนต่ำ	ASTM D 5865	MJ/kg
ไฮโดรเจน	ASTM D 5373	%
ไนโตรเจน	ASTM D 5373	%
ออกซิเจน	ASTM D 5373	%
กำมะถัน	ASTM D 4239	%

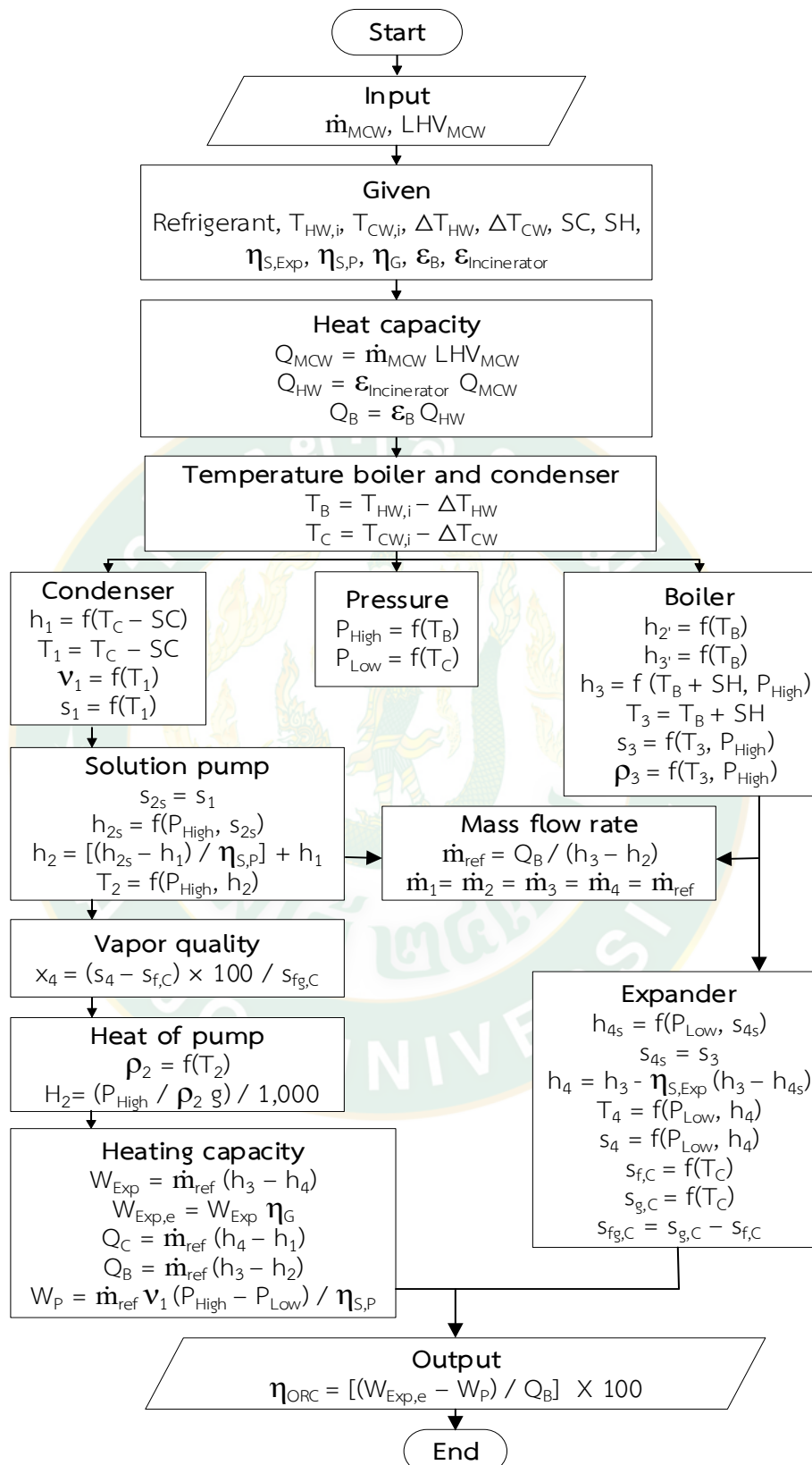
การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

การประเมินศักยภาพทางพลังงานด้วยการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ที่ใช้แหล่งความร้อนจากเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อ ด้วยโปรแกรมเรฟโปรป (Refprop) (NIST 2018) ดังแสดงในภาพที่ 21 และในภาพที่ 22 ตามลำดับ โดยมีเงื่อนไขในการคำนวณดังต่อไปนี้

- สารทำงานที่ใช้ในวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ คือ R-245fa
- ของไหลที่เข้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์เป็นน้ำร้อนอุณหภูมิ ($T_{HW,i}$) เท่ากับ $105\text{ }^{\circ}\text{C}$
- อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องควบแน่น ($T_{CW,i}$) เท่ากับ $32\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกของปั๊ม ($\eta_{s,p}$) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (η_G) และเครื่องขยายตัว ($\eta_{s,Exp}$) เท่ากับ 80%
- ประสิทธิภาพของหม้อต้ม (ϵ_B) และเตาเผาขยะ ($\epsilon_{Incinerator}$) เท่ากับ 80%
- ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อ (Low heating value) อ้างอิงผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 1



ภาพที่ 21 แผนผังการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ที่ใช้แหล่งจากเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อ



ภาพที่ 22 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ของต้นทุนต่อหน่วยในการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคิน สารอินทรีย์

การศึกษาความเหมาะสมของโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์จะพิจารณา จากผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ โดยทำการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ที่ใช้ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ แสดงเงื่อนไขในการคำนวณดังต่อไปนี้

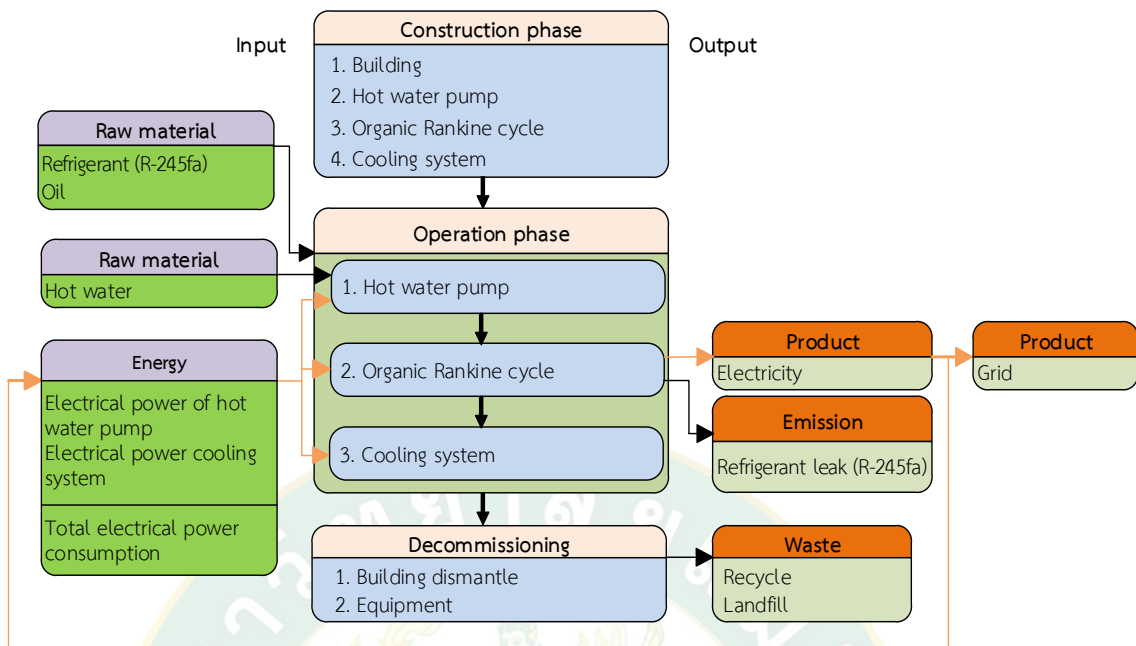
- ขนาดระบบผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (W_{ORC}) อ้างอิงผลการวิเคราะห์ในข้อที่ 3.5
- ราคาของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ($Z_{ORC, Unit}$) อ้างอิงราคาของระบบที่ผลิตเองในประเทศของ (นัฐพร, 2560) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ราคากระบบผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (นัฐพร, 2560)

ORC capacity (kW_e)	ORC cost (Baht)
Waste heat machine: ORC-10	1,500,000
Waste heat machine: ORC-20	1,800,000

การศึกษาและประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดยใช้โปรแกรม SimaPro เวอร์ชัน 8.5.0 ด้วยวิธี Recipe (H)-Mid-point V.1.13 (Goedkoop et al. 2017) ซึ่งทำการพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ซึ่งมีขอบเขตการศึกษา ศึกษาดังแต่การใช้วัสดุพลังงาน ทรัพยากร กระบวนการสร้าง และติดตั้งจนกระบวนการใช้งาน และกระบวนการกำจัดซากเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน โดยการพิจารณาข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยของ (Chaiyat and Kaitsiriroat. 2015) ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมารวบรวม สรุปผลกระทบที่เกิดขึ้น และเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมกับการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย และงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยมีขั้นตอนในการประเมินแสดงดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 กระบวนการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้า

การทดสอบการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการอบแห้งและคุณสมบัติทางด้านเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซไอเสีย

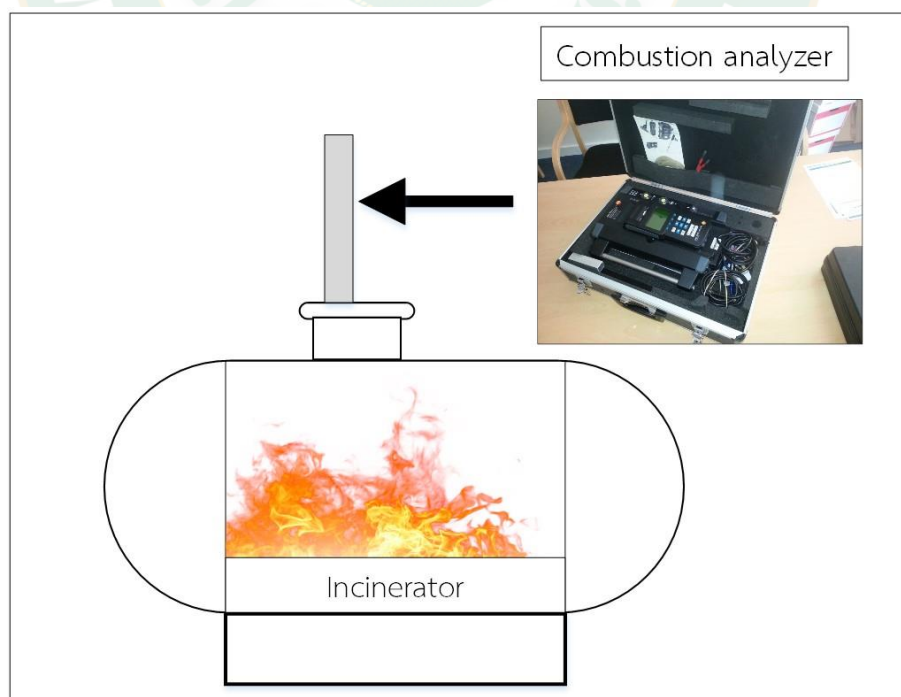
การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาเคมีที่ซึ่งวัตถุที่เผาไหม้จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนพร้อมกับปลดปล่อยความร้อนออกมา ในขณะที่เดียวกันก็จะแปรสภาพไปเป็นสารประกอบออกไซด์หรือผลิตภัณฑ์ จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ได้แก่ออกไซด์ และนำการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไปโดยเปล่าประโยชน์และก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ

การทดสอบการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ ได้ใช้เตาเผา ที่มีขนาด กว้าง 70 cm ยาว 150 cm สูง 120 cm เพื่อเก็บตัวอย่างก๊าซไอเสีย ส่งตรวจวัดคุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพ และวิเคราะห์หาก๊าซองค์ประกอบของก๊าซไอเสียดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซไอเสีย





รายการทดสอบ	หน่วย
มีเทน (CH ₄)	% mole
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	% mole
ออกซิเจน (O ₂)	% mole
ไนโตรเจน (N ₂)	% mole
ไฮโดรเจน (H ₂)	% mole

การหาอัตราการไหลเชิงมวล (Mass flow rate, \dot{m}_{FG}) ขององค์ประกอบย่อยของก๊าซ โดยทำการตรวจวัดอุณหภูมิไอเสียและอัตราความเร็วของก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกจากปล่องไอเสียของเตาเผาทดสอบในขณะที่เผาไหม้เชื้อเพลิง โดยตำแหน่งจุดตรวจวัดอุณหภูมิ อัตราการไหล และการเก็บตัวอย่างก๊าซไอเสียแสดงดังภาพที่ 24 เพื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบไปประเมินหาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ จากนั้นทำการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ ที่ใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ซึ่งมีรายละเอียดอุปกรณ์ ดังแสดงในตารางที่ 4



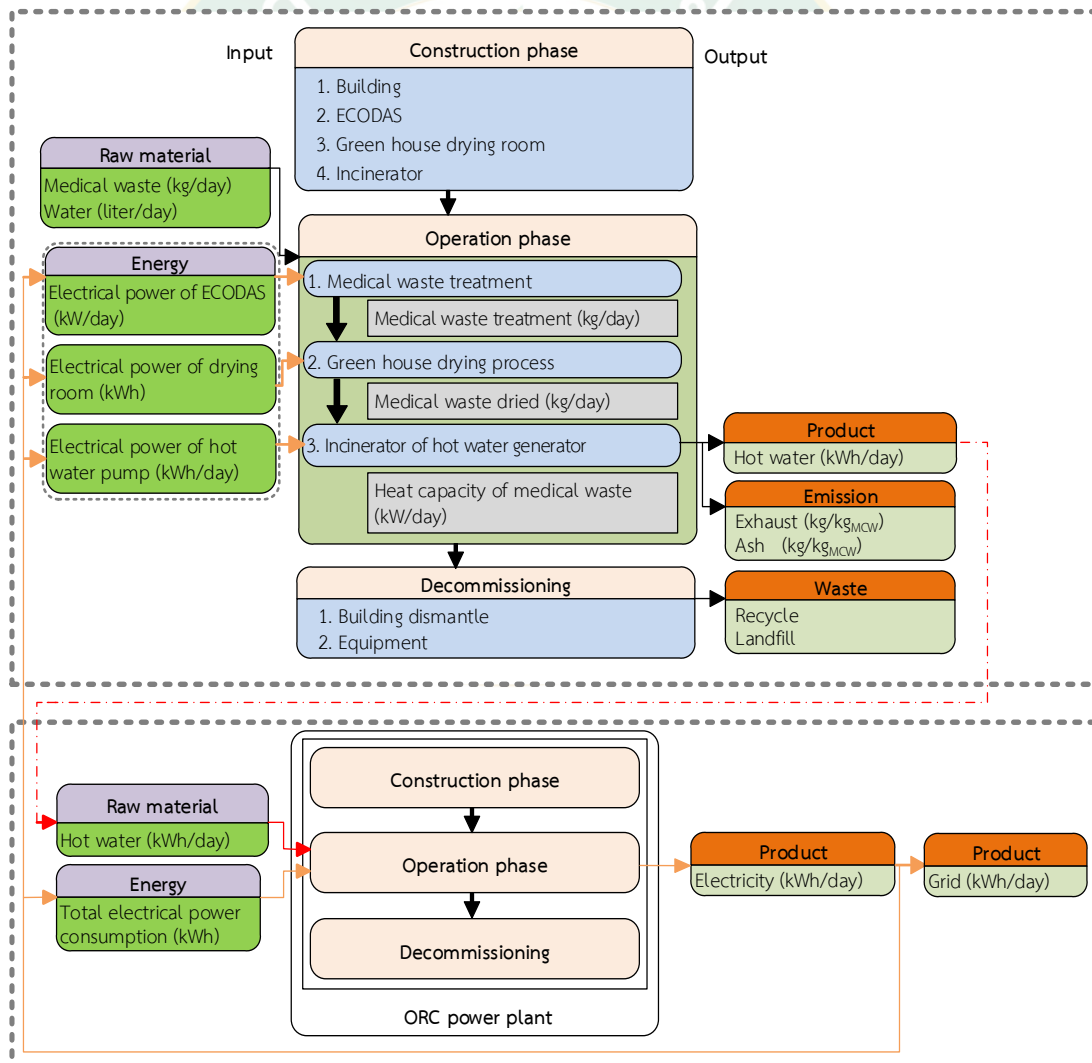
ภาพที่ 24 จุดตรวจวัดอุณหภูมิ อัตราการไหลและเก็บตัวอย่างก๊าซไอเสีย

ตารางที่ 4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทดสอบ

อุปกรณ์	ภาพ	รายละเอียด
Digital anemometer		<ul style="list-style-type: none"> ▪ SP-7000 ▪ ช่วงการวัดความเร็วลม 0.4-2.0 m/s accuracy $\pm 3\%$ full scale ▪ ช่วงการวัดอุณหภูมิ 0-55 °C Accuracy ± 1.2 °C
Electronic weight		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fine scale CDR-30 ▪ weight 30 kg
Incinerator		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Incinerator size width 70 cm long 150 cm high 120 cm
Combustion analyzer		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Testo 350-XL ▪ Dimensions 13 inch x 5 inch x 17.2 inch ▪ Weight 10.58 lbs ▪ Storage temperature - 4 °F to 122 °F ▪ Operating temperature 22 °F to 113 °F ▪ Gas sensors CO, NO, NO₂, SO₂, H₂S, C_x, H_y and O₂

การประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยพิจารณาจากค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์หลังการปรับปรุง

การประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม พิจารณาจากค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ โดยทำการศึกษ และประเมินผลในขั้นตอนกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง ขั้นตอนการเผาไหม้เชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ เพื่อคำนวณค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าตามแนวทาง การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์โดยมีขอบเขตการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ขอบเขตการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยพิจารณาจากค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาจากค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์มีการกำหนดขอบเขตการศึกษา คือ แบบประตูสู่ประตู ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลวัสดุ ที่ใช้ในการสร้างอาคารบริหารจัดการขยะติดเชื้อ โรงพยาบาลลำปาง และวัสดุที่ใช้ในการสร้างระบบบำบัดขยะติดเชื้อ ปริมาณการใช้พลังงานและวัตถุดิบ ที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการกำจัดขยะติดเชื้อ กำหนดให้หน่วยการศึกษา คือ ปริมาณขยะติดเชื้อ 1 kg ก่อนเข้าสู่กระบวนการบำบัด

ทำการเปรียบเทียบการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจากค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์หลังการปรับปรุง

ในการเปรียบเทียบการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาจากค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ด้วยการนำผลจากกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ ที่ได้ทำการประเมินในหัวข้อที่ผ่านมา เพื่อทำการวิเคราะห์การทำงานในด้านการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ในกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อเพื่อทำเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุง



บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผล

ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลโรงพยาบาลลำปาง

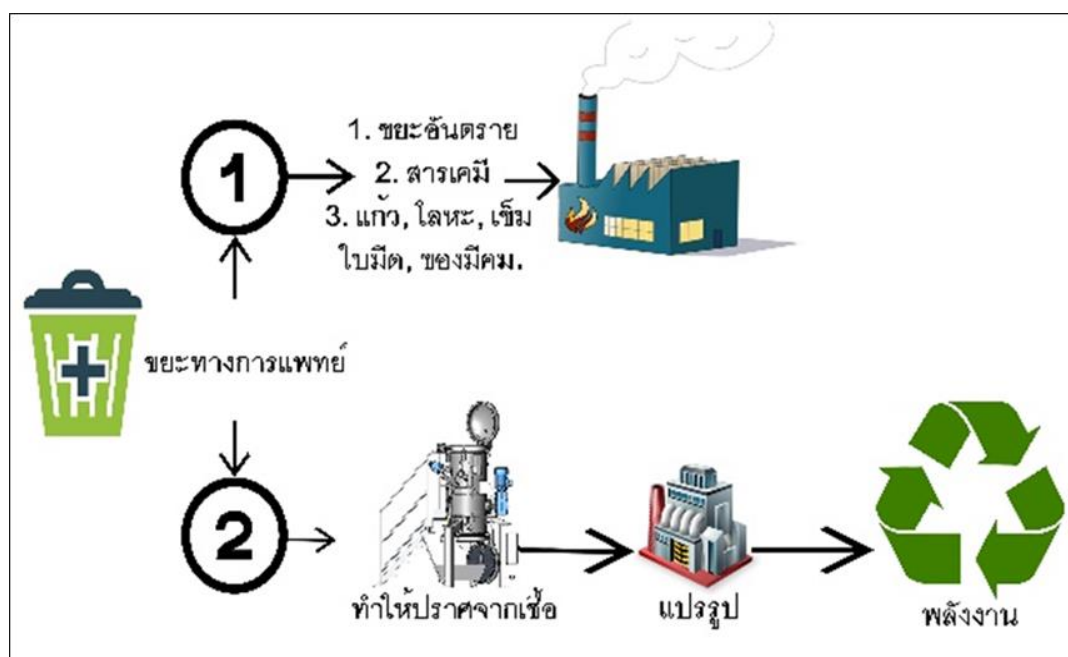
ในการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลโรงพยาบาลลำปาง มีวัตถุประสงค์ เพื่อทำการศึกษาวิเคราะห์ และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม จากวัสดุและพลังงานที่ป้อนให้แก่กระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลประกอบด้วย 5 กลุ่มข้อมูลหลัก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ระบบบำบัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปางแบ่งโครงสร้างหลักออกเป็น 3 ส่วน คือ โรงเรือน เครื่องบำบัดขยะติดเชื้อ และหม้อต้มไอน้ำด้วยไฟฟ้า (Electrical boiler) อาคารบริหารจัดการขยะติดเชื้อ โรงพยาบาลลำปาง มีขนาดของโรงเรือน กว้าง 10 m ยาว 20 m สูง 10 m เป็นอาคารปูน และมีหลังคาทำจากเมทัลชีทภายในบรรจุเครื่องกำจัดขยะติดเชื้อยี่ห้อ ECODAS รุ่น T300 และหม้อไอน้ำแบบขดลวดไฟฟ้าขนาด 45 kW_e ซึ่งข้อมูลต่าง ๆ ของโครงสร้างหลักดังกล่าว แสดงดังภาพที่ 26



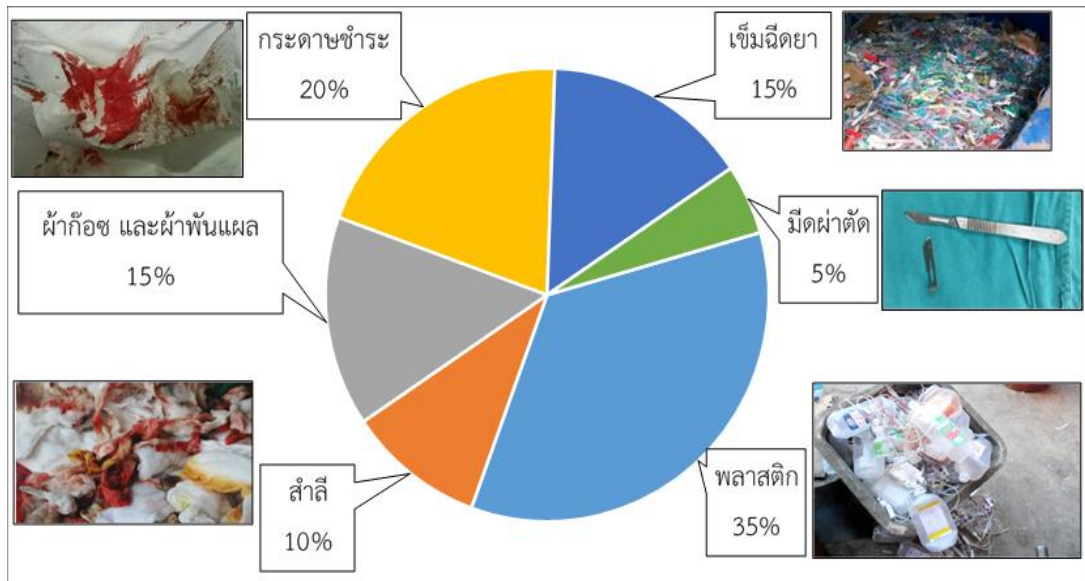
ภาพที่ 26 โครงสร้างหลักระบบบำบัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง

การศึกษาของงานวิจัย จากการสำรวจ และรวบรวมข้อมูลขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง พบว่า กระบวนการจัดการขยะติดเชื้อในขั้นแรก คือ การคัดแยกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน อันประกอบไปด้วย ส่วนที่ 1 เป็นขยะติดเชื้อที่มีคม และโลหะที่ต้องเข้าสู่กระบวนการฆ่าเชื้อและจะทำการบดโลหะก่อน จากนั้นจึงนำเข้าสู่เครื่องบำบัดต่อไป และส่วนที่ 2 เป็นขยะที่สามารถนำเข้าสู่เครื่องบำบัดได้เลย แสดงดังภาพที่ 27

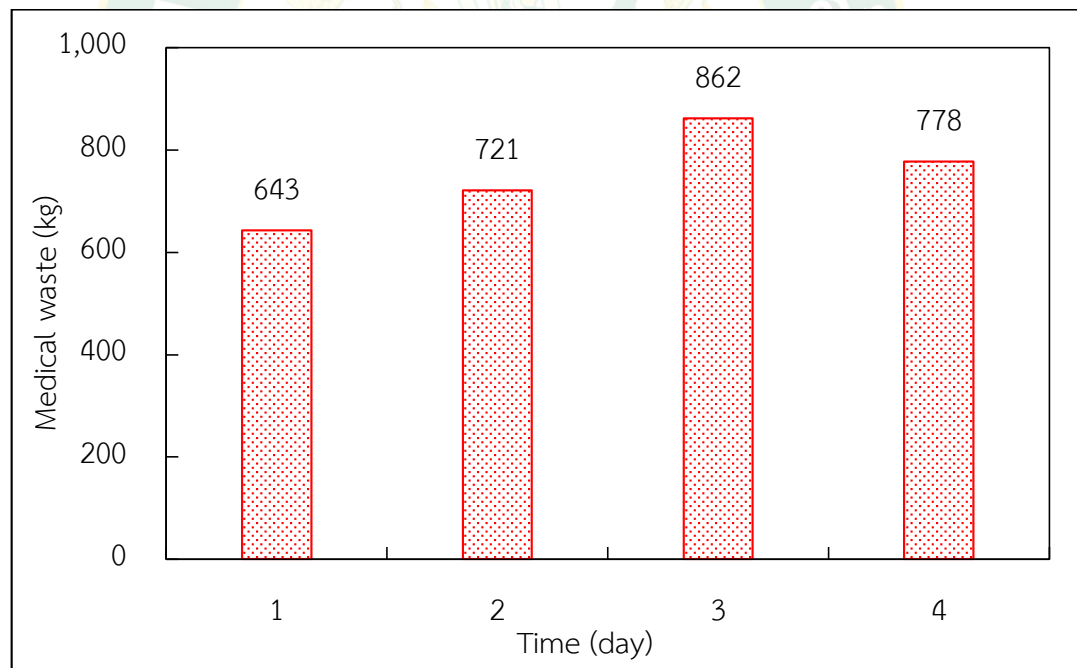


ภาพที่ 27 กระบวนการจัดการขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง

จากการสำรวจและเก็บข้อมูล พบว่า ขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของโรงพยาบาลลำปางที่สามารถบำบัดได้ประมาณ 750 kg/day โดยทำการบำบัดด้วยเครื่อง ECODAS รุ่น T300 ด้วยวิธีการบด ย่อย และฆ่าเชื้อ ที่อุณหภูมิประมาณ 135-140 °C อันประกอบไปด้วย พลาสติก สำลี และผ้ากอซ เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 28 และ 29 ตามลำดับ



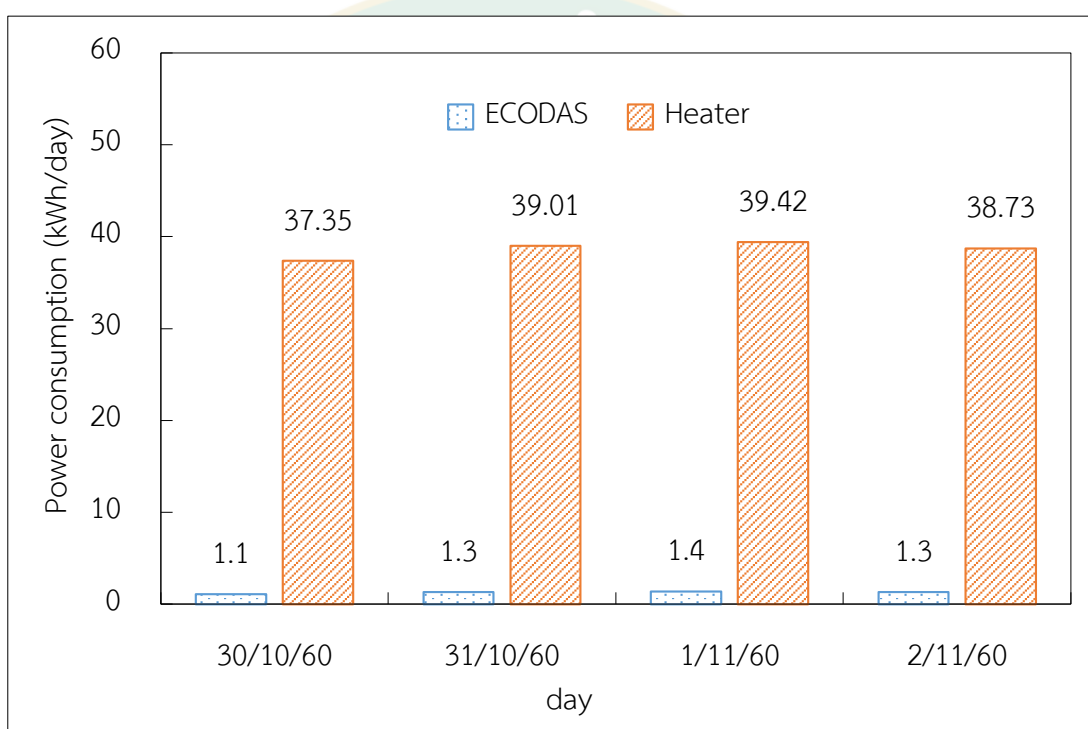
ภาพที่ 28 ปริมาณขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของโรงพยาบาลลำปาง



ภาพที่ 29 ปริมาณขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ

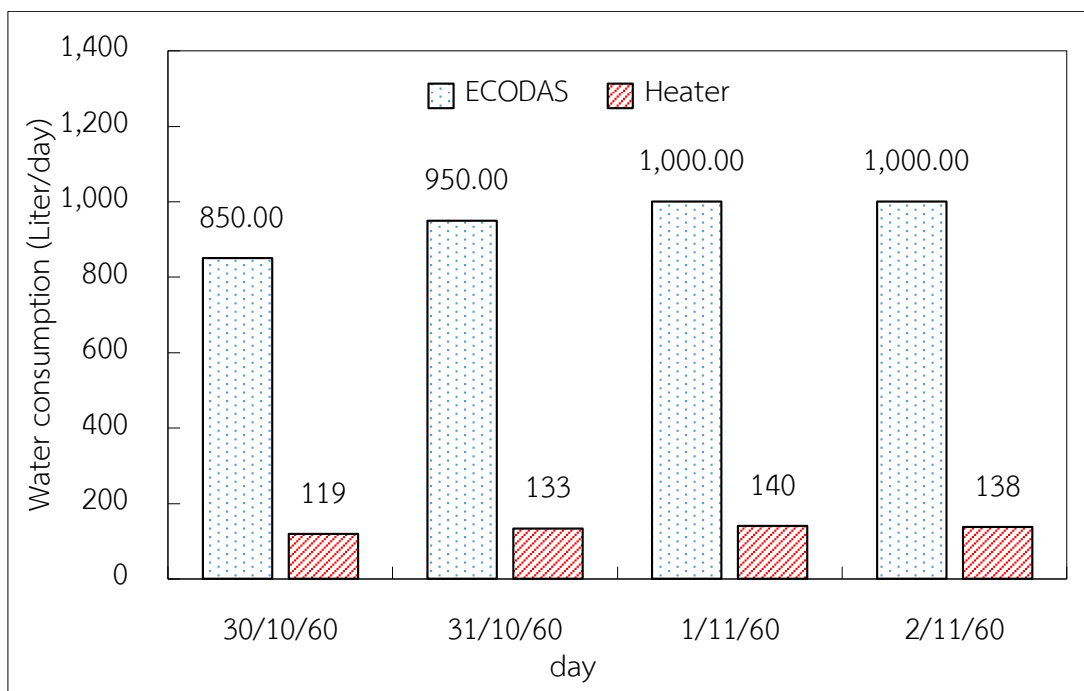
พลังงานฟอสซิลที่ป้อนให้แก่ระบบบำบัดขยะติดเชื้อ คือ ผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในการสำรวจ และเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบบำบัดขยะติดเชื้อ จึงเป็นข้อมูลหลักที่จำเป็นต้องทราบและใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการเก็บข้อมูล พบว่า การใช้

ไฟฟ้าของระบบบำบัดขยะติดเชื้อแบ่งการใช้พลังงานออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ การใช้ไฟฟ้าของโรงเรือน การใช้ไฟฟ้าของเครื่องบำบัดขยะติดเชื้อ และการใช้ไฟฟ้าของหม้อต้มไอน้ำด้วยไฟฟ้า โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นเวลา 4 day (30 ตุลาคม พ.ศ. 2560 ถึง 2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560) พลังงานที่ใช้ในการป้อนให้แก่เครื่อง ECODAS และหม้อไอน้ำแบบขดลวดไฟฟ้า คือ พลังงานไฟฟ้า โดยมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 1.28 kWh/day ในขณะที่พลังงานไฟฟ้าส่วนมากสูญเสียไปกับการผลิตไอน้ำด้วยขดลวดไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 38.63 kWh/day โดยมีชั่วโมงการทำงานอยู่ที่ 19 h/day แสดงดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 การใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์บำบัดขยะติดเชื้อ

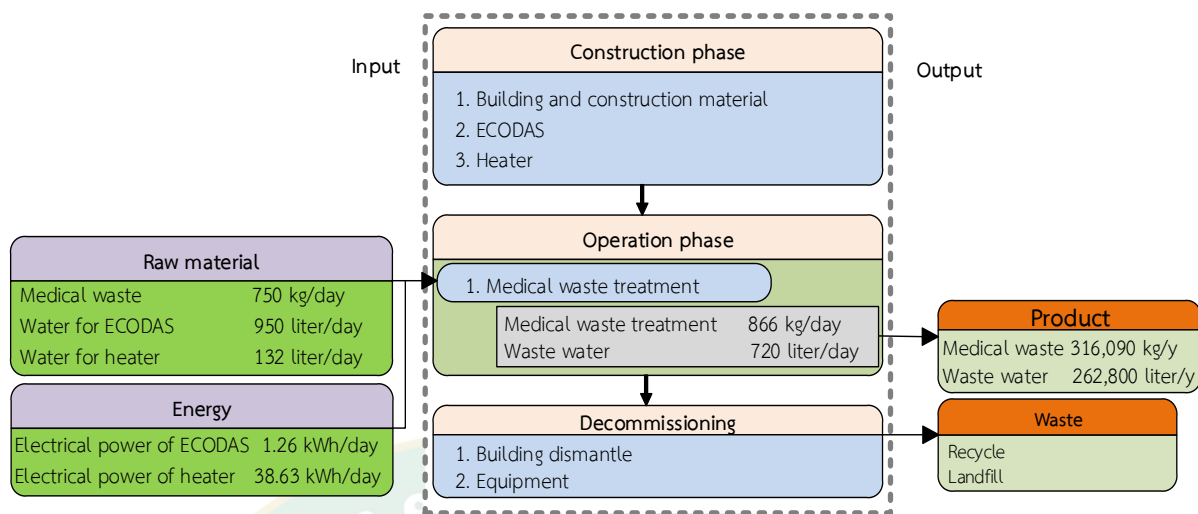
ในกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อต้องใช้น้ำเป็นทรัพยากรที่สำคัญในการบำบัด โดยใช้ปริมาณน้ำในการระบายความร้อนของเครื่อง ECODAS ปริมาณ 950 Liter/day และใช้น้ำในการผลิตไอน้ำในกระบวนการฆ่าเชื้อจากหม้อไอน้ำแบบไฟฟ้าปริมาณ 132.50 Liter/day ดังแสดงในภาพ 31



ภาพที่ 31 การใช้น้ำของอุปกรณ์บำบัดขยะติดเชื้อ

ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และต้นทุนต่อหน่วยของการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ ของโรงพยาบาลลำปาง

จากการสำรวจ และเก็บข้อมูลพลังงาน และวัตถุดิบที่ป้อนให้แก่ระบบ ดังแสดงในรูปที่ 32 ร่วมกับข้อมูลปริมาณวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างโรงเรือน และระบบบำบัดขยะติดเชื้อ ดังแสดงในตารางที่ 5 ผลการศึกษา พบว่า การเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ เป็นผลที่เกิดขึ้นทางอ้อม (Indirect) ทั้งหมด ไม่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง (Direct) โดยขั้นตอนการบำบัดขยะติดเชื้อปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนมากที่สุด คือ 9,667,026.48 kg CO₂-eq ตลอดอายุการใช้งาน 20 y มีการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนของขั้นตอนการสร้างโรงเรือนบริหารจัดการขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปางและเครื่องบำบัดเท่ากับ 23,337.36 kgCO₂-eq และเมื่อหมดอายุการใช้งาน ได้มีการนำวัสดุบางชนิดกลับมาใช้งาน สามารถลดปริมาณคาร์บอนได้เท่ากับ 14,328.90 kgCO₂-eq ดังนั้นตลอดอายุการใช้งานมีปริมาณคาร์บอนเกิดขึ้นสุทธิ 9,676,035 kgCO₂-eq คิดเป็น 1.767 kgCO₂-eq/kg_{MCW} ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 5



ภาพที่ 32 วัสดุที่ใช้ป้อนให้แก่ระบบบำบัดขยะติดเชื้อ

ตารางที่ 5 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์กระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ

Raw material	Quantity	Unit	EF ¹	GHG
Construction phase				
Building and construction material				
Cast iron	1,350	kg	1.51	2,038.50
Metal sheet zine	834	kg	0.437	364.46
Concrete	6,435	kg	0.31	1,994.85
Concrete block	4,315	kg	0.31	1,337.65
Screws, nut and bolt	15	kg	0.57	8.55
Sanitary ceramics	2,039	kg	2.4	4,893.60
Wood window	28	kg	0.095	2.66
Class	68	kg	1.26	85.68
Aluminum alloy	40	kg	6.33	253.20
Warehouse door and class door	22	kg	2.31	50.82
Wire mesh	159	kg	2.31	367.29
ECODAS				
Stainless steel 80%	2,480	kg	3.38	8,382.40

Raw material	Quantity	Unit	EF¹	GHG
Iron, steel and production mix	30	kg	0.9	27.00
Steel, low-alloyed and hot rolled	297	kg	2.31	686.07
Reinforcing steel	95	kg	2.52	239.40
Aluminum	80	kg	6.33	506.40
Spathic	40	kg	1.067	42.68
Steel, low-alloyed and hot rolled	50	kg	2.31	115.50
PVC	18	kg	0.41	7.38
Plastic	15	kg	0.065	0.98
Motor				
Carbon steel	200	kg	2.31	462.00
Steel, low-alloyed and hot rolled	150	kg	2.31	346.50
Stainless steel hot rolled coil	70	kg	3.31	231.70
Copper	80	kg	5.1	408.00
PVC	15	kg	0.41	6.15
Heater				
Cast iron	64	kg	1.51	96.64
Pipe (Alloy steel)	9	kg	0.474	4.27
PVC	0.5	kg	2.19	1.10
Metal sheet	40	kg	0.47	18.80
Plastic	2	kg	0.065	0.13
Copper	70	kg	5.1	357.00
Operation phase				
Medical waste				
Plastic	262.50	kg/day	0.411	787,578

Raw material	Quantity	Unit	EF ¹	GHG
Water	75.00	kg/day	0.704	385,440
Fabric	112.50	kg/day	2.00	1,642,500
Cotton fiber	150.00	kg/day	2.71	2,967,450
Stainless steel	150.00	kg/day	3.38	3,701,100
ECODAS				
Water	0.95	m ³ /day	0.704	4,882.24
Electricity	1.275	kWh/day	0.609	5,668
Heater				
Water	0.13	m ³ /day	0.704	680.94
Electricity	38.628	kWh/day	0.609	171,726
Decommissioning (Recycle)				
Cast iron	1,414	kg	-2.1	(2,969.40)
Metal sheet zine	834	kg	-2.1	(1,751.40)
Aluminum alloy	40	kg	-16.2	(648.00)
Stainless steel 80%	2,480	kg	-2.1	(5,208.00)
Steel, low-alloyed and hot rolled	497	kg	-2.1	(1,043.70)
Reinforcing steel	95	kg	-2.1	(199.50)
Aluminum	80	kg	-16.2	(1,296.00)
Spathic	40	kg	-2.1	(84.00)
Carbon steel	200	kg	-2.1	(420.00)
Stainless steel hot rolled coil	70	kg	-2.1	(147.00)
Copper	150	kg	-3.06	(459.00)
Pipe (Alloy steel)	9	kg	-2.1	(18.90)
Metal sheet	40	kg	-2.1	(84.00)
Total GHG emission (kgCO₂-eq/life time)				9,676,035
Total GHG emission (kgCO₂-eq/kg_{MCW})				1.767

หมายเหตุ: ¹ อ้างอิง EF จาก IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

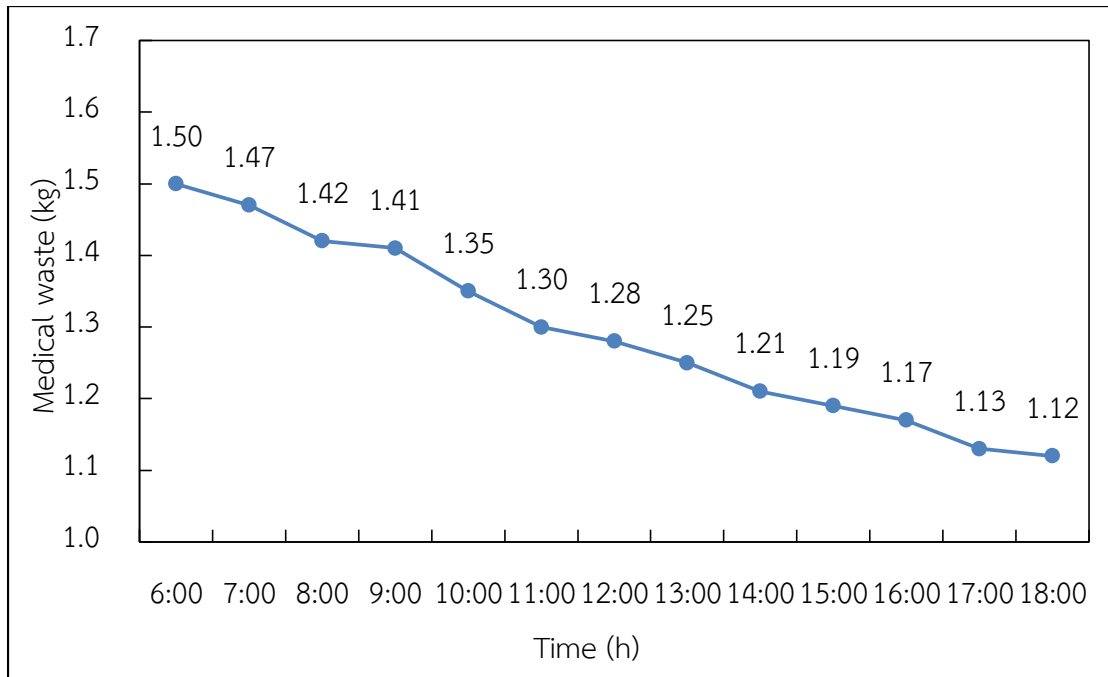
จากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลการลงทุนและค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ผลการศึกษาพบว่า การบำบัดขยะติดเชื้อ 1 kg_{MCW} จะมีต้นทุนต่อหน่วยของการกำจัดขยะติดเชื้อ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การประเมินต้นทุนต่อหน่วยของการกำจัดขยะติดเชื้อ

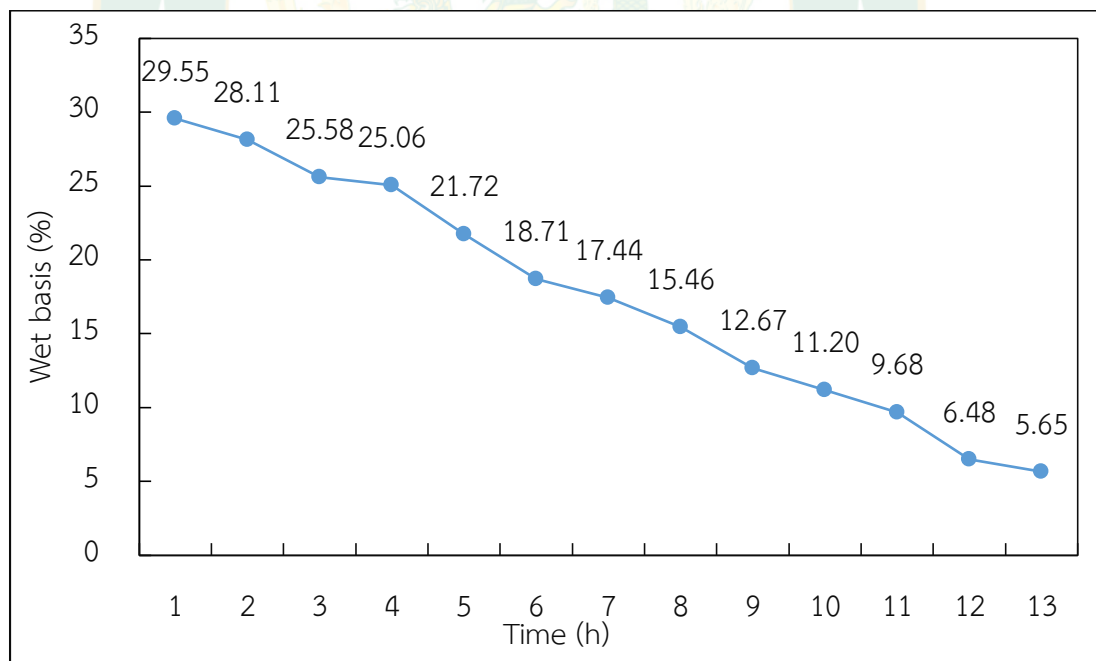
รายละเอียด	ปริมาณ
มูลค่าระบบบำบัดขยะ (Inv _{ECODUS} , Baht)	12,000,000
มูลค่าโรงเรือน (Inv _{Building} , Baht)	975,000
มูลค่าการลงทุนรวม (Inv, Baht)	12,975,000
ค่าไฟฟ้าต่อปี (PC _{Electricity} , Baht/y)	61,477
ค่าน้ำประปาต่อปี (PC _{Water} , Baht/y)	3,753
ค่าจ้างคนงาน (2 คน) ต่อปี (PC _{OP} , Baht/y)	360,000
ค่าใช้จ่ายรวมรายปี (PC, Baht/y)	425,230
มวลของขยะ (M _{MCW} , kg _{MCW} /day)	750
ระยะเวลาการทำงาน (t _{OP} , day/y)	365
อายุการใช้งาน (N, y)	20
ค่าต้นทุนต่อหน่วย (LC, Baht/kg _{MCW})	3.185

ผลการอบแห้งขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการบำบัดแล้วด้วยโรงเรือนพลาสติก

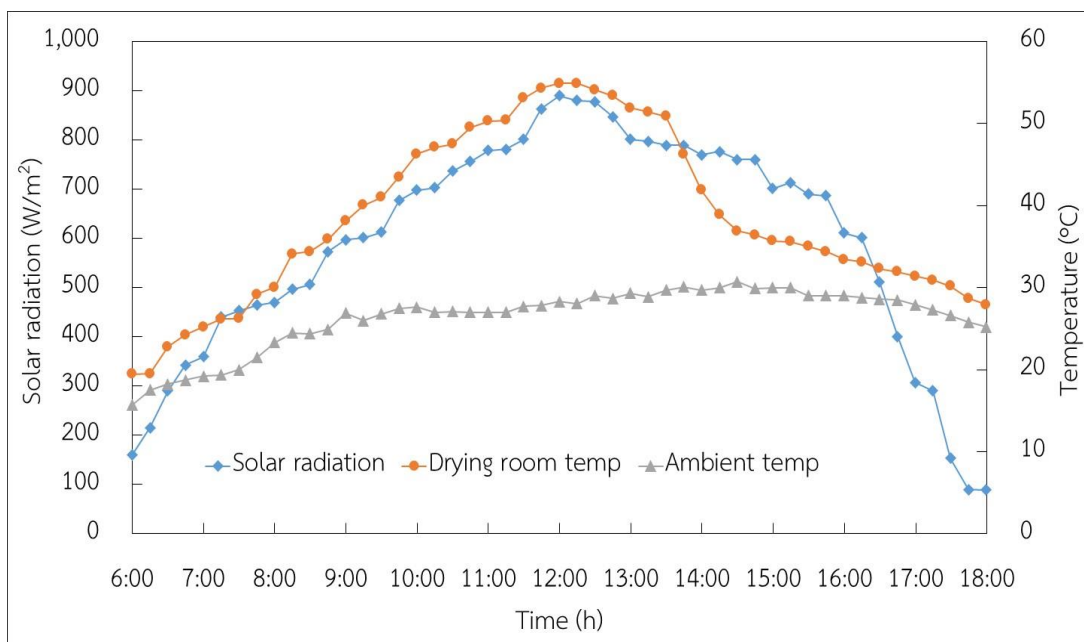
จากการนำตัวอย่างของขยะติดเชื้อที่ผ่านการบำบัดมาทำการอบแห้งในโรงเรือนพลาสติก ผลการศึกษา พบว่า ที่น้ำหนักเริ่มต้น 1.5 kg ตั้งแต่เวลา 06:00-18:00 น. เป็นเวลาทั้งหมด 12 h และมีการชั่งน้ำหนักทุก ๆ 1 h แสดงดังภาพที่ 33 จากผลการศึกษาพบว่า การอบแห้งขยะติดเชื้อมีอัตราการลดลงของน้ำหนักประมาณ 0.016 kg/h น้ำหนักสุดท้ายหลังการอบแห้งเหลือ 1.12 kg และนำไปประเมินค่าความชื้นมาตรฐานเปียกของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อมีค่าอยู่ที่ 5.65% ดังแสดงในภาพที่ 34 โดยสภาพอากาศในวันที่ทำการอบแห้งมีอุณหภูมิแวดล้อมโดยเฉลี่ยประมาณ 28.44 °C อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งโดยเฉลี่ยประมาณ 45.07 °C และจากการตรวจวัดค่ารังสีอาทิตย์ในแนวระนาบมีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 590 W/m² แสดงดังภาพที่ 35



ภาพที่ 33 น้ำหนักขยะติดเชื้อแต่ละชั่วโมงในโรงเรือนพลาสติก



ภาพที่ 34 ค่าความชื้นฐานเปียกของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อที่ผ่านการอบแห้งโดยโรงเรือนพลาสติกในแต่ละชั่วโมง



ภาพที่ 35 การตรวจวัดค่ารังสีอาทิตย์อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งอุณหภูมิแวดล้อม

ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างองค์ประกอบของเชื้อเพลิง และการวิเคราะห์สัดส่วนของธาตุ แสดงถึง ปริมาณของ ความชื้น สารระเหย ถ่านคงตัว เถ้า ไฮโดรเจน คาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ ค่าความร้อนสูง ค่าความร้อนต่ำ ผลการศึกษาพบว่า ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นฐานเปียกของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อมีค่าอยู่ที่ 5.65% เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลของการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อ ที่ผ่านการอบแห้งพบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกันซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความถูกต้อง ดังแสดงในตารางที่ 7 [สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2560]

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อที่ผ่านการอบแห้ง

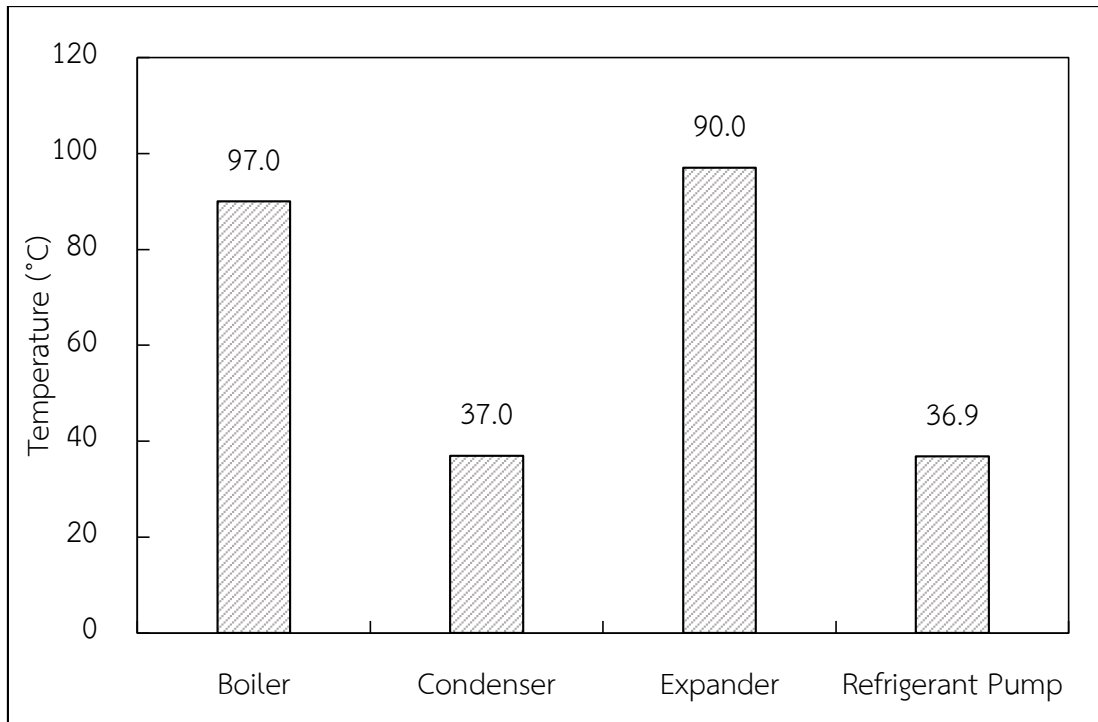
Parameter	Testing standard	Result	Unit
Proximate analysis			
Moisture	ASTM D 7582	5.65	%
Fix carbon	ASTM D 7582	5.70	%
Volatile matter	ASTM D 7582	82.20	%
Ash	ASTM D 7582	6.45	%
Ultimate analysis			

Parameter	Testing standard	Result	Unit
High heating value	ASTM D 5865	28.38	MJ/kg
Low heating value	ASTM D 5865	26.29	MJ/kg
Carbon	ASTM D 5373	58.00	%
Hydrogen	ASTM D 5373	9.33	%
Nitrogen	ASTM D 5373	0.73	%
Oxygen	ASTM D 5373	25.35	%
Sulfur	ASTM D 4239	0.14	%

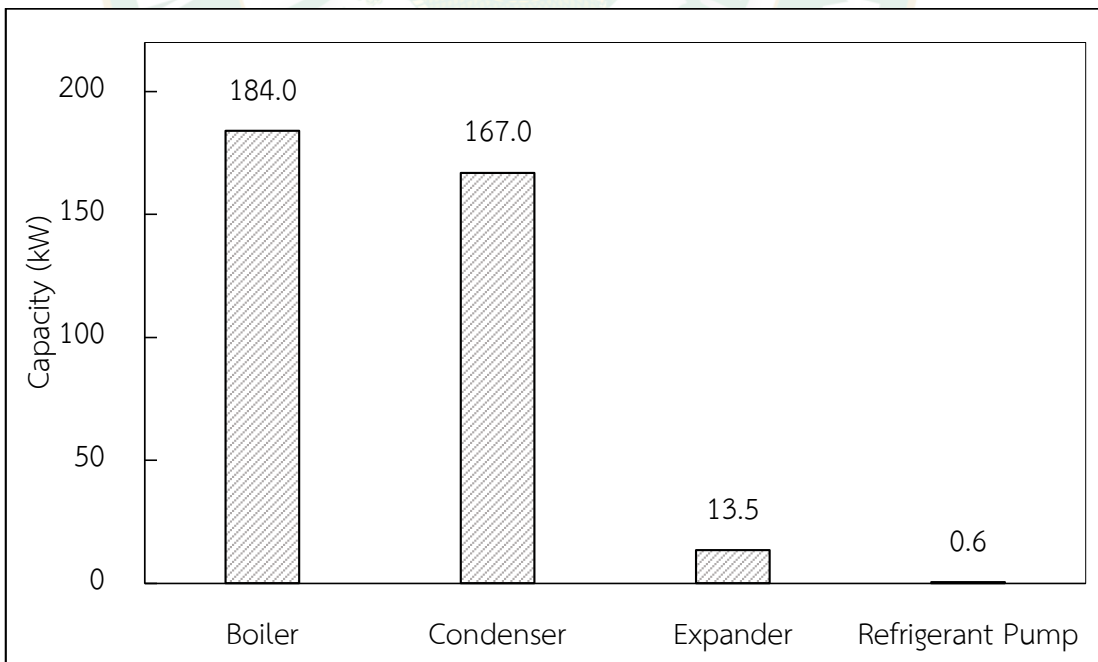
ผลการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

ผลการประเมินศักยภาพทางพลังงานด้วยการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ที่ใช้สารทำงาน R-245fa อุณหภูมิน้ำร้อนที่ทำการทดสอบป้อนให้แก่หม้อต้มอยู่ที่ประมาณ 105 °C นำมาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้เชื้อเพลิงขยะติดเชื้อที่ผ่านการอบแห้งเป็นแหล่งความร้อนที่ป้อนให้แก่ระบบ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เครื่องควบแน่นประมาณ 32 °C และขนาดของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ที่มีความเหมาะสมกับแหล่งความร้อนดังกล่าว คือ ขนาดการผลิตไฟฟ้า 13 kW_e อัตราการป้อนเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อที่ผ่านการอบแห้งอยู่ที่ 39.47 kg/h

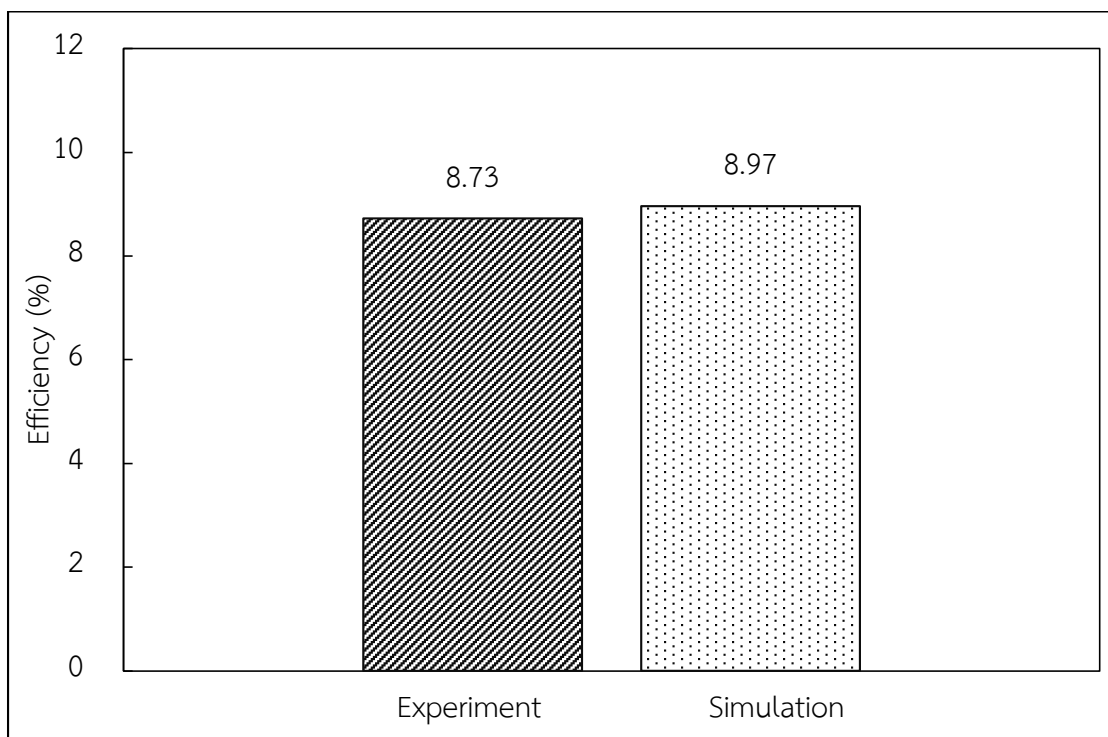
จากผลการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ และอุณหภูมิสารทำงานที่อยู่ในหม้อต้ม เครื่องควบแน่น เครื่องขยายตัว และปั๊มสารทำงานดังแสดงในภาพที่ 36 ในขณะที่เดียวกันยังมีอัตราการถ่ายเทความร้อนของสารทำงานในแต่ละอุปกรณ์ ซึ่งมีผลต่อการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ดังแสดงในภาพที่ 37 และเมื่อนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับ การทดสอบของ (Chaiyat and Kaitsiriroat, 2015) พบว่า ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 38 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความถูกต้อง และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ได้ในหัวข้อต่อไป



ภาพที่ 36 อุณหภูมิการทำงานในแต่ละอุปกรณ์ของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



ภาพที่ 37 อัตราการถ่ายเทความร้อนและกำลังของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



ภาพที่ 38 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากการทดสอบและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผลการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ จากเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ ผลการวิเคราะห์ พบว่า ราคาต้นทุนของขยะติดเชื้อก่อนการปรับปรุงการบำบัดมีค่าอยู่ที่ 3.185 Baht/kg_{MCW} มีเงินลงทุนโครงการอยู่ที่ 2,772,500 Baht โดยต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 4.668 Baht/kWh ในกรณีนี้เป็นการวิเคราะห์เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตไฟฟ้าโดยทั่วไป

การนำขยะติดเชื้อที่ผ่านการบำบัดแล้วมาทำการผลิตไฟฟ้า ซึ่งในความเป็นจริงขยะติดเชื้อดังกล่าวเป็นของเหลือทิ้งจากโรงพยาบาลอยู่แล้ว ดังนั้น เมื่อการได้มาของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อไม่มีค่าใช้จ่าย จึงทำให้การผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 2.838 Baht/kWh สามารถนำส่วนต่างที่เกิดจากต้นทุนการผลิตไฟฟ้าไปลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในส่วนของการใช้พลังงาน ในกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้า

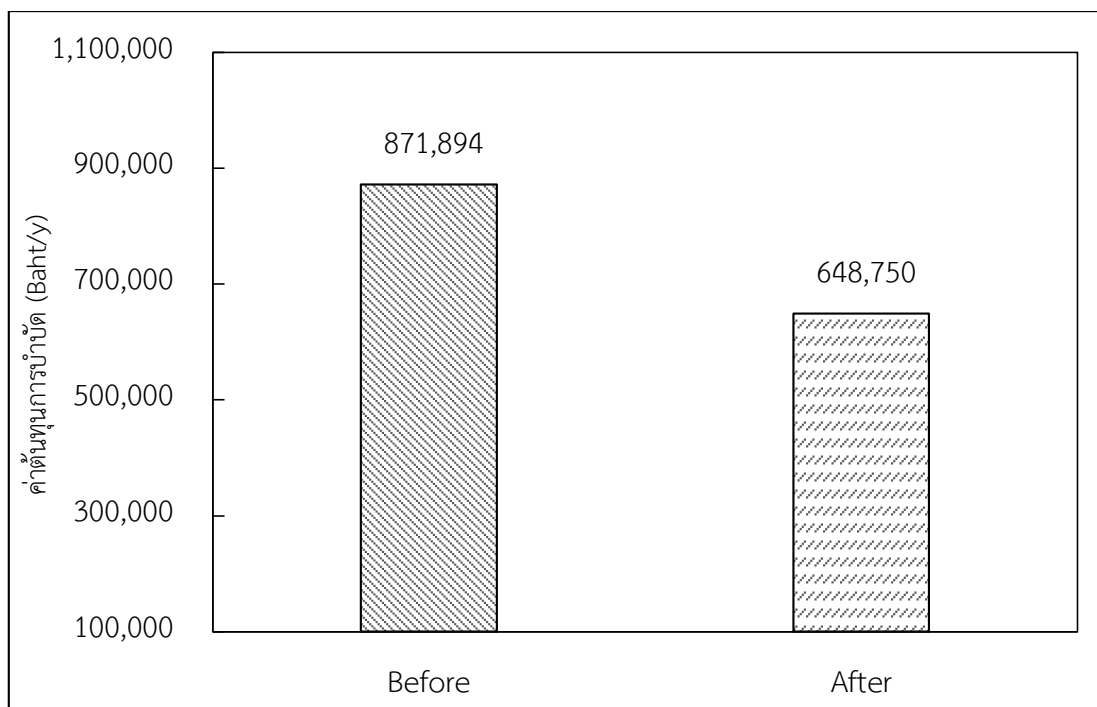
รายละเอียด	มีต้นทุนเชื้อเพลิง	ไม่มีต้นทุน เชื้อเพลิง	หน่วย
กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้า ($W_{ORC,e}$)	13	13	kW_e
อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้ม (Q_B)	184	184	kW
อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำร้อน (Q_{HW})	230	230	kW
อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้ม ($Q_{Medical\ waste}$)	288	288	kW
ราคาตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์ ($Z_{ORC, Unit}$)	1,590,000	1,590,000	Baht
ค่าที่ดินในการสร้างโรงไฟฟ้า $300\ m^2$ (Z_{Land})	187,500	187,500	Baht
ค่าบำรุงรักษาของโรงไฟฟ้าต่อปี คิดที่ 5% ของราคา (Z_{OM})	79,500	79,500	Baht/y
ค่าใช้จ่ายในบำบัดขยะติดเชื้อ ($Z_{Medical\ waste}$)	871,893	0	Baht/y
ราคาโรงเรือนพลาสติก ($Z_{Solar\ greenhouse}$)	200,000	200,000	Baht
ค่าโรงเรือน ($Z_{Building}$) ค่าเตาเผา ($Z_{Incinerator}$) และท่อน้ำร้อน ($Z_{Pipping}$) คิดที่ 50% ของราคา ORC	795,000	795,000	Baht
เวลาการทำงาน 19 h/day (t_{OP})	6,935	6,935	h/y
กำลังการผลิตไฟฟ้าต่อปี (PW_{ORC})	90,155	90,155	kWh/y
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Z_{OP})	180,000	180,000	Baht/y
อัตราส่วนลดของธนาคาร (r)	7.12	7.12	%
อายุการใช้งานของ (n)	20	20	y
มูลค่าการลงทุนโครงการ ($Inv = Z_{ORC, Unit} + [Z_{Building} + Z_{Incinerator} + Z_{Pipping} + Z_{Solar\ greenhouse} + Z_{Land}]$)	2,772,500	2,772,500	Baht
ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าต่อปี ($PEC = Z_{Medical\ waste} + Z_{OP} + Z_{OM}$)	1,131,393	259,500	Baht/y
ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (LEC)	4.668	2.838	Baht/kWh

ผลการเปรียบเทียบกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของโรงพยาบาลลำปางหลัง ปรับปรุง

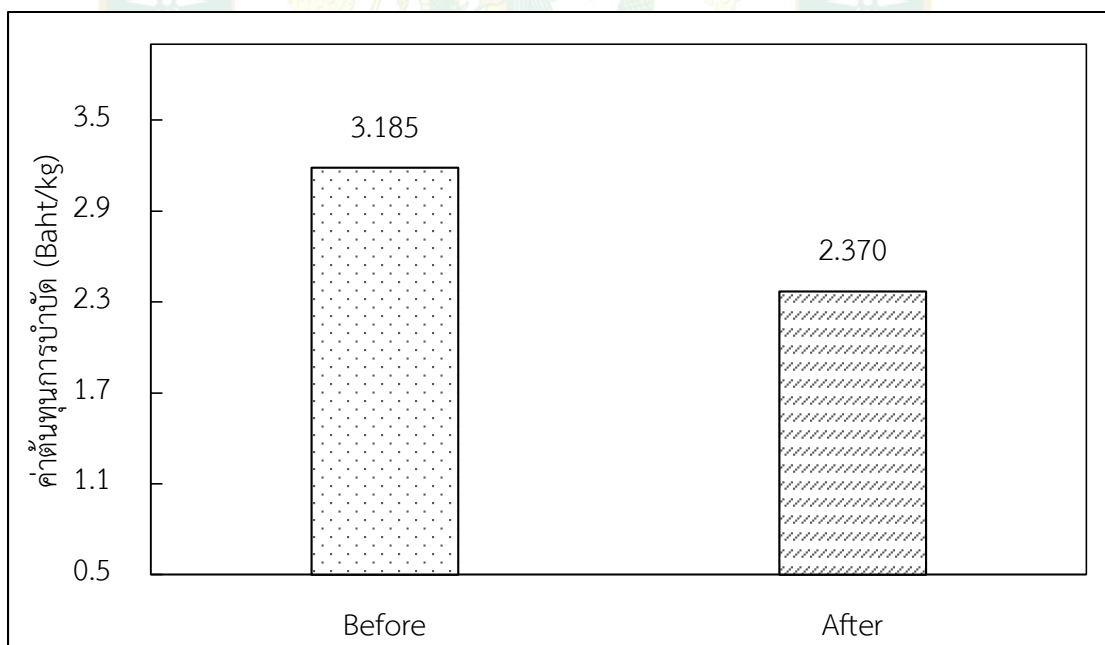
การเปรียบเทียบกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของโรงพยาบาลลำปางหลังปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 9 ผลการศึกษาพบว่า สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดขยะติดเชื้อ โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากโรงจักรแรงดันอินทรีย์เข้าไปใช้ในกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อดังกล่าวนอกจากนี้ไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ในแต่ละปียังสามารถนำกลับไปใช้ในส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 39 และ 40 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 การประเมินต้นทุนต่อหน่วยของการกำจัดขยะติดเชื้อหลังการปรับปรุง

รายละเอียด	ปริมาณ
มูลค่าระบบบำบัดขยะ (Inv_{ECODUS} , Baht)	12,000,000
มูลค่าโรงเรือน ($Inv_{Building}$, Baht)	975,000
มูลค่าการลงทุนรวม (Inv , Baht)	12,975,000
ค่าไฟฟ้าต่อปี ($PC_{Electricity}$, Baht/y)	61,477
ราคาโรงจักรแรงดันอินทรีย์ ($Z_{ORC, Unit}$, Baht)	1,590,000
ค่าที่ดินในการสร้างโรงไฟฟ้า 300 m ² (Z_{Land} , Baht)	187,500
ค่าบำรุงรักษาของโรงไฟฟ้าต่อปี คิดที่ 5% ของราคา (Z_{OM} , Baht)	79,500
ราคาโรงเรือนพลาสติก ($Z_{Solar\ greenhouse}$)	200,000
ค่าโรงเรือน ($Z_{Building}$) ค่าเตาเผา ($Z_{Incinerator}$) และท่อน้ำร้อน ($Z_{Pipping}$) คิดที่ 50% ของราคา ORC (Baht)	795,000
ราคาโรงเรือนพลาสติก ($Z_{Solar\ greenhouse}$, Baht)	200,000
ค่าน้ำประปาต่อปี (PC_{Water} , Baht/y)	3,753
ค่าจ้างคนงาน (2 คน) ต่อปี (PC_{Op} , Baht/y)	360,000
ค่าใช้จ่ายรวมรายปี (PC , Baht/y)	425,230
ปริมาณขยะที่บำบัด (M_{MCW} , kg _{MCW} /y)	273,750
ระยะเวลาการทำงาน (t_{Op} , day/y)	365
อายุการใช้งาน (N , y)	20
ค่าต้นทุนต่อหน่วย (LC , Baht/kg _{MCW})	2.370



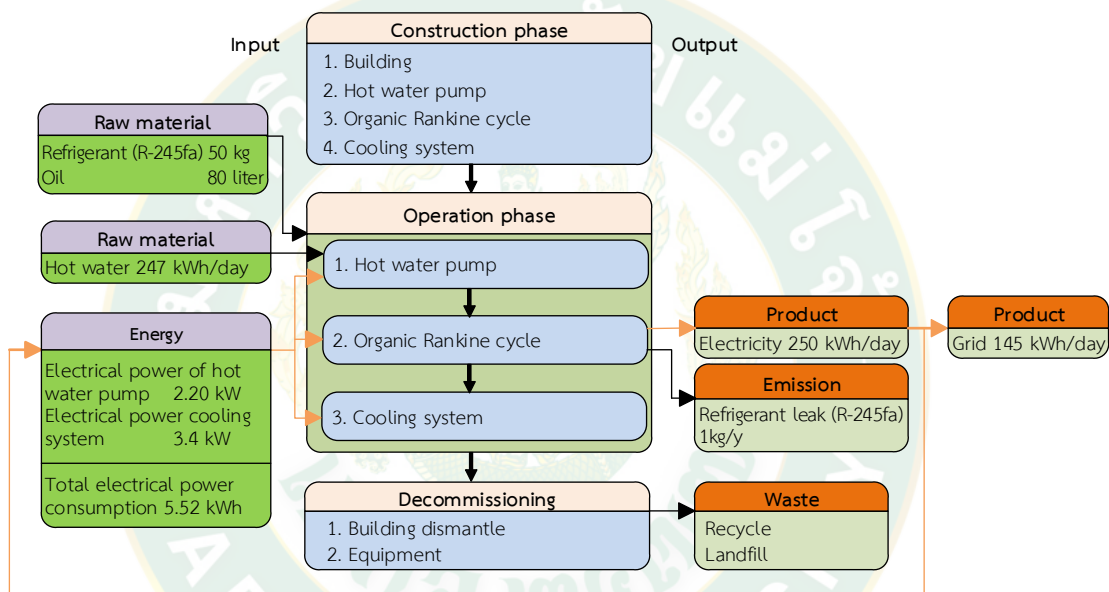
ภาพที่ 39 การเปรียบเทียบกระบวนการบำบัดระยะติดเชื่อทางการแพทย์หลังปรับปรุง



ภาพที่ 40 การเปรียบเทียบการประเมินต้นทุนต่อหน่วยกระบวนการบำบัดระยะติดเชื่อทางการแพทย์

ผลการศึกษาและประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาด 13 kW_e โดยมีระยะเวลาการทำงานทำงาน 19 h/day และ 365 day/y ตลอดระยะเวลา 20 y สามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมดสุทธิ 1,803,100 kWh/life time จากการแปรผลกระทบ พบว่า ผลกระทบส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากกระบวนการสร้าง และติดตั้ง โดยเฉลี่ยประมาณ 74.95% รองลงมา คือ กระบวนการใช้งาน โดยเฉลี่ยประมาณ 5.74% และกระบวนการกำจัดซาก โดยเฉลี่ยประมาณ 19.31% มีกระบวนการผลิตไฟฟ้าดังแสดงในภาพที่ 40



ภาพที่ 41 กระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

การพิจารณาผลกระทบของสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ซึ่ง จะพิจารณาจากวัสดุ อุปกรณ์ ที่ใช้ในการสร้าง และระบบต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยมีหน่วยการ ทำงานคือ 1 kWh จากการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ พบว่า การผลิตไฟฟ้า 1 kWh จะ มีการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์อยู่ที่ 0.0252 kgCO₂-eq/kWh ซึ่งค่าการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักร แรงดันอินทรีย์ดังกล่าวจะถูกนำไปใช้เป็นค่าพื้นฐานของผลกระทบที่เกิดจากการไฟฟ้าด้วยวัฏจักร แรงดันอินทรีย์ เพื่อทำการวิเคราะห์ในหัวข้อถัดไปแสดงรายละเอียดผลการประเมินในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การพิจารณาผลกระทบของสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

Components	Raw material	Weight	Unit	EF ¹	GHG
Organic Rankine cycle					
Structure	Mixed steel	1,300	kg	1.720	2,236.00
Pipe	Copper	60	kg	1.880	112.80
Condenser	Mixed steel	230	kg	1.720	344.00
	Copper	100	kg	1.880	188.00
	Galvanized Steel	2	kg	2.710	5.42
	Glass	0.3	kg	0.979	0.29
Vapor and separator	Mixed steel	200	kg	1.720	344.00
	Copper	40	kg	1.880	75.20
Generator	Mixed steel	150	kg	1.720	206.40
	Copper	60	kg	1.880	112.80
Gauge	Aluminum	0.5	kg	8.550	4.28
	Galvanized Steel	5.5	kg	2.710	14.91
Boiler	Copper	36.1	kg	1.880	65.80
	Stainless	10	kg	3.380	33.80
Expander	Mixed steel	60	kg	1.720	103.20
Refrigerant	Synthetic chemicals	68.1	kg	858.000	42,900.00
Oil	Oil	40	Liter	0.088	3.53
Pre heater	Copper	72.2	kg	1.880	122.20
	Stainless	20	kg	3.380	67.60
Nut	Brass	20	kg	2.450	36.75
Belt	Polystyrene	2	kg	6.100	9.15
Valve	Brass	38	kg	2.450	93.10
	Stainless	2	kg	3.380	6.76
Insulation	HDPE	1	kg	6.100	6.10
Refrigerant pump	Stainless	76	kg	3.380	256.88
Oil pump	Stainless	60	kg	3.380	202.80

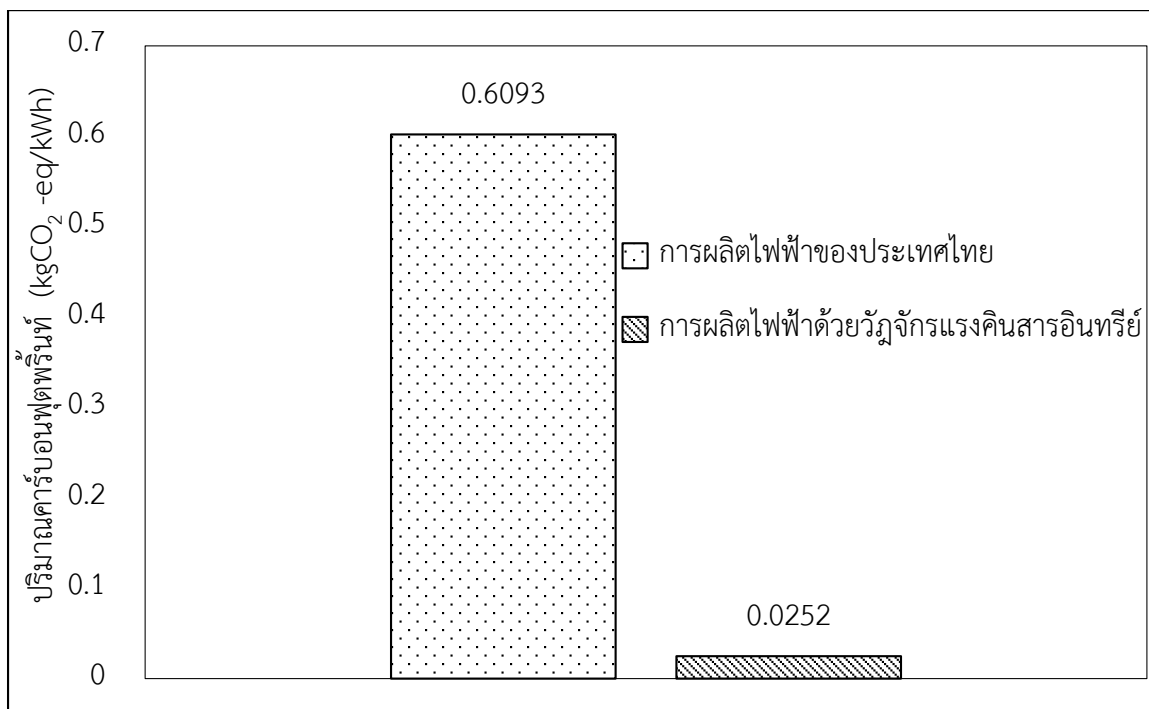
Components	Raw material	Weight	Unit	EF ¹	GHG
Rubber	Polystyrene	1.5	kg	6.100	9.15
Control cabinet	Mixed steel	50	kg	1.720	86.00
	Copper	5	kg	1.880	9.40
Wire	Rubber	0.5	kg	6.100	3.05
	Copper	1.5	kg	1.880	2.82
Air tank	Mixed steel	15	kg	1.720	25.80
	Copper	2	kg	1.880	3.76
	Polystyrene	1	kg	6.100	6.10
Rustproof	Oxide primer	24	kg	0.992	23.80
Cooling tower					
Structural steel	Reinforced plastic	220	kg	8.79	1,933.80
	Mixed steel	80	kg	1.72	137.60
Coolant pump	Mixed steel	30.6	kg	1.72	52.63
	Copper	5.2	kg	1.88	9.78
Air fan	Mixed steel	199	kg	1.72	342.28
	Stainless	179	kg	3.38	605.02
	Copper	20	kg	1.88	37.60
Three-way pipe 1.5 inch	Brass	35	kg	2.45	73.50
Valve 1.5 inch	Brass	5.4	kg	2.45	13.23
Pipe 1.5 inch	PVC	9.12	kg	3.23	29.46
Pipe 2 inch	PVC	26.82	kg	3.23	80.75
Base of cooling system	Cement	250	kg	0.19	47.50
	Sand	1,174	kg	0.01	8.69
	Stone	785	kg	0.01	5.81
	Water	185	Liter	0.43	79.18
Wire mesh	Mixed steel	4.93	kg	1.45	7.15
Operation phase					

Components	Raw material	Weight	Unit	EF ¹	GHG
Input	Refrigerant (R-245fa)	50	kg	-	-
	Oil	40	Liter	0.088	3.52
	Water	1,000	Liter	0.43	430.00
Output	Refrigerant leak (R-245fa)	1	Kg/y	-	-
	Oil	5	Liter	0.088	3.52
	Water	20	Liter	0.43	430.00
Decommissioning					
Recycle	Mixed steel	2,319.53	kg	-1.72	(3886.39)
	Copper	402.00	kg	-1.88	(740.16)
	Brass	98.40	kg	-2.45	(216.58)
	Stainless	347.00	kg	-3.38	(1,172.86)
	Galvanized Steel	7.50	kg	-2.710	(20.33)
	Glass	0.30	kg	-0.979	(0.29)
	Aluminum	0.50	kg	-8.550	(4.28)
Landfill	HDPE	1.00	kg	-6.100	(6.10)
	Oxide primer	24.00	kg	-0.992	(23.81)
	Sand	1,174.00	kg	-0.01	(8.69)
	Stone	785.00	kg	-0.01	(5.81)
	Cement	250.00	kg	-0.19	(47.50)
Total GHG emission (kgCO₂-eq)					45,486.36
Total GHG emission (kgCO₂-eq/kWh)					0.0252

หมายเหตุ: ¹ อ้างอิง EF จาก IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

เมื่อนำค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปลดปล่อยตลอดกระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ จากเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ มาเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย ของ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือน

กระจก องค์กรมหาชน 2560) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.6093 kgCO₂-eq/kWh พบว่ามีค่าที่มากกว่าดังแสดง
ในภาพที่ 42



ภาพที่ 42 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปลดปล่อยตลอดกระบวนการผลิตไฟฟ้า

ผลการทดสอบการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว

การทดสอบการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการอบแห้งด้วย
โรงเรือนพลาสติกเป็นเวลาทั้งหมด 12 h มาทำการเผาไหม้โดยเตาเผาทดสอบ ดังภาพที่ 43 เพื่อ
วิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพของก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้



ภาพที่ 43 การทดสอบการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการอบแห้ง

การทดสอบคุณสมบัติทางด้านเคมี พบว่า ประกอบไปด้วยก๊าซมีเทน (Methane) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) ก๊าซออกซิเจน (Oxygen) ก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen) และก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen) โดยผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 11

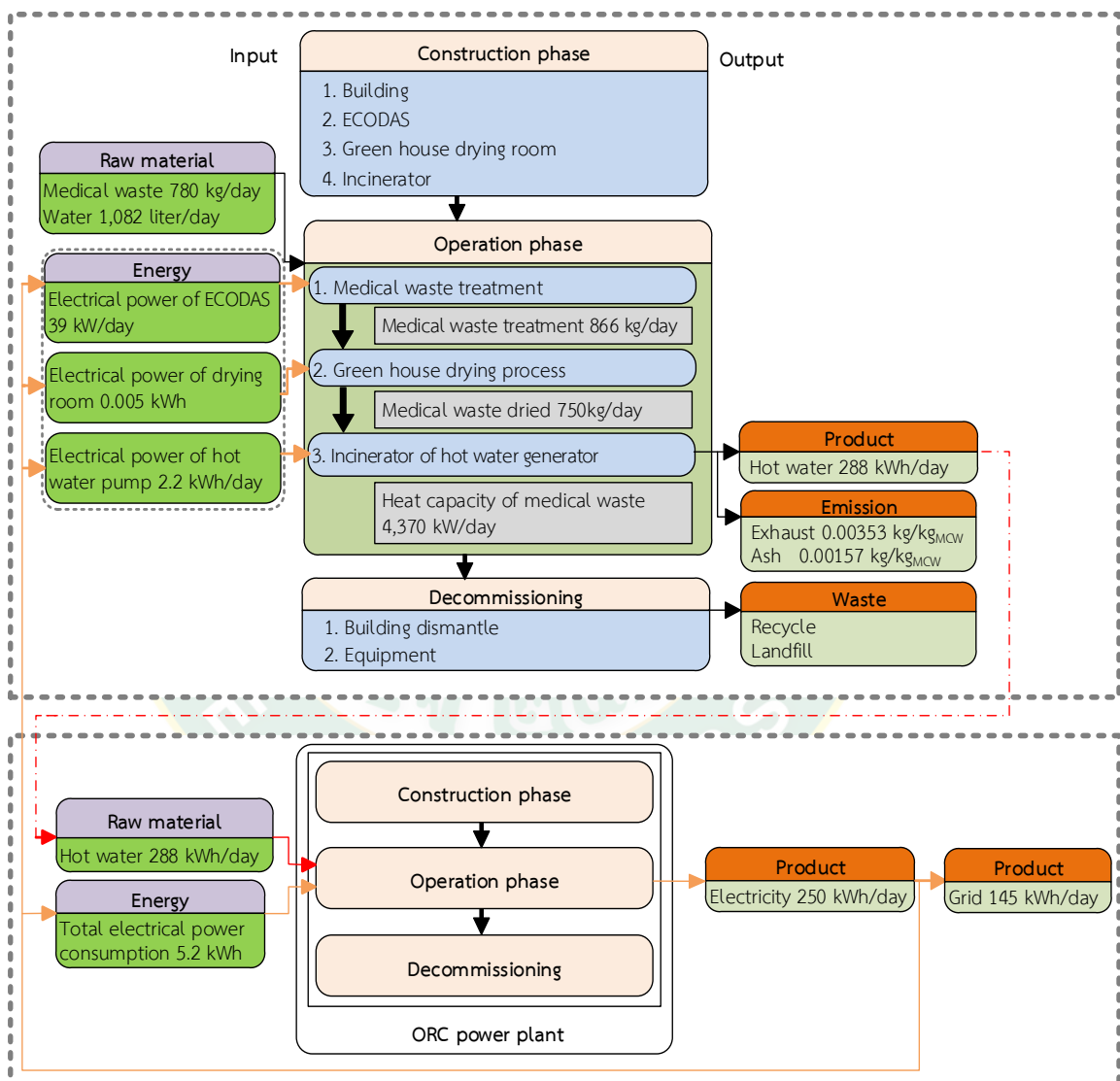
ตารางที่ 11 การทดสอบด้านเคมีของก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการอบแห้ง

ลำดับ	รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย
1	มีเทน (CH ₄)	0.89	% mole
2	คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	0.20	% mole
3	ออกซิเจน (O ₂)	18.34	% mole
4	ไนโตรเจน (N ₂)	28	% mole
5	ไฮโดรเจน (H ₂)	NF.	% mole

ผลการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยพิจารณาจากค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์หลังการปรับปรุง

ผลการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยพิจารณาจากค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากกระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ด้วยเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการอบแห้ง เป็นแหล่งความร้อนที่ป้อนให้ระบบผลิตไฟฟ้าประกอบด้วยมี 3 กระบวนการ คือ

กระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ กระบวนการอบแห้ง และกระบวนการเผาไหม้เพื่อผลิตความร้อนในรูปของน้ำร้อน เพื่อเป็นแหล่งความร้อนให้แก่การผลิตไฟฟ้าโดยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ดังแสดงในภาพที่ 44 โดยการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจะมีอุปกรณ์ที่เพิ่มเติมเข้ามา คือ โรงเรือนพลาสติก ระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ และเครื่องผลิตน้ำร้อน โดยมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 12



ภาพที่ 44 กระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของโรงพยาบาลลำปางหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 12 การประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยพิจารณาจากค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์หลังการปรับปรุง

Component	Raw material	Quantity	Unit	EF ¹	GHG
Construction phase					
Building					11,397.26
ECODAS					11,462.16
Heater					477.94
Green house drying room	Steel, low-alloyed and hot rolled	297.00	kg	2.31	686.07
	Polycarbonate	149.00	kg	7.99	368.29
	Aluminum, wrought alloy	33.37	kg	0.53	17.79
	Polyethylene terephthalate resin	1.57	kg	2.51	369.29
	Flat glass, uncoated	37.80	kg	1.05	39.69
	Incinerator	Steel, low-alloyed and hot rolled	2,287	kg	0.306
Total GHG emission (kgCO₂-eq)					25,518.31
Operation phase					
Raw material	Medical waste	750	kg	1.767	1,325.25
	Water	950	Litter	0.703	667.85
Total GHG emission (kgCO₂-eq)					4,679.37
Decommissioning					
Landfill	HDPE	1.00	kg	-6.100	(6.1)
	Oxide primer	24.00	kg	-0.992	(23.80)

Component	Raw material	Quantity	Unit	EF ¹	GHG
	Sand	1,174.00	kg	-0.01	(11.74)
	Stone	785.00	kg	-0.01	(7.85)
	Cast iron	5,000	kg	-1.51	(7,550.00)
	Metal sheet zine	834	kg	-0.437	(364.46)
	Aluminum alloy	40	kg	-6.33	(253.20)
	Stainless steel 80%	2,520	kg	-3.38	(8,517.60)
	Steel, low- alloyed and hot rolled	497	kg	-2.31	(1,148.07)
Recycle	Reinforcing steel	95	kg	-2.52	(239.40)
	Aluminum	89.5	kg	-6.33	(566.54)
	Spathic	40	kg	-1.067	(42.68)
	Carbon steel	200	kg	-2.31	(462.00)
	Stainless steel hot rolled coil	630	kg	-3.31	(2,085.30)
	Copper	150	kg	-5.1	(765.00)
	Pipe (Alloy steel)	15	kg	-0.474	(7.11)
	Metal sheet	80	kg	-0.47	(37.60)
Total GHG emission (kgCO₂-eq)					(21,745.82)

หมายเหตุ: ¹ อ้างอิง EF จาก IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

จากข้อมูลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปลดปล่อยออกมาตลอดกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ ผลการศึกษา พบว่า ในการก่อสร้างระบบบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ นอกจากส่วนที่เป็นตัวอาคารแล้วยังมีอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้ออันประกอบไปด้วย เครื่องบำบัดขยะติดเชื้อ ECODAS รุ่น T300 เครื่องผลิตไอน้ำแบบขดลวดทองแดง โรงเรือนพลาสติกที่ใช้ใน

การอบแห้ง และวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ประมาณ 25,518.31 kgCO₂-eq ในการดำเนินงานรายการดำเนินงานจะมีวัสดุที่ปล่อยของเสียอาทิน้ำที่ใช้ ในกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ และขยะติดเชื้อในแต่ละวัน ของการดำเนินงานมีการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตลอดวัฏจักรชีวิตอยู่ที่ประมาณ 7,904,652.86 kgCO₂-eq/life time และการรื้อถอนยังมีวัสดุบางชนิดที่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกครั้งหนึ่งอาทิ เหล็กสแตนเลส ทองแดงรวมไปถึงคอนกรีต ซึ่งจะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกครั้งหนึ่งและส่วนที่เหลือก็จะถูกนำไปฝังกลบโดยในกระบวนการรื้อถอนดังกล่าวจะสามารถลดการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้อยู่ที่ประมาณ 21,745.82 kgCO₂-eq จากข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้นสามารถนำไปประเมินการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปลดปล่อยในกระบวนการผลิตไฟฟ้า

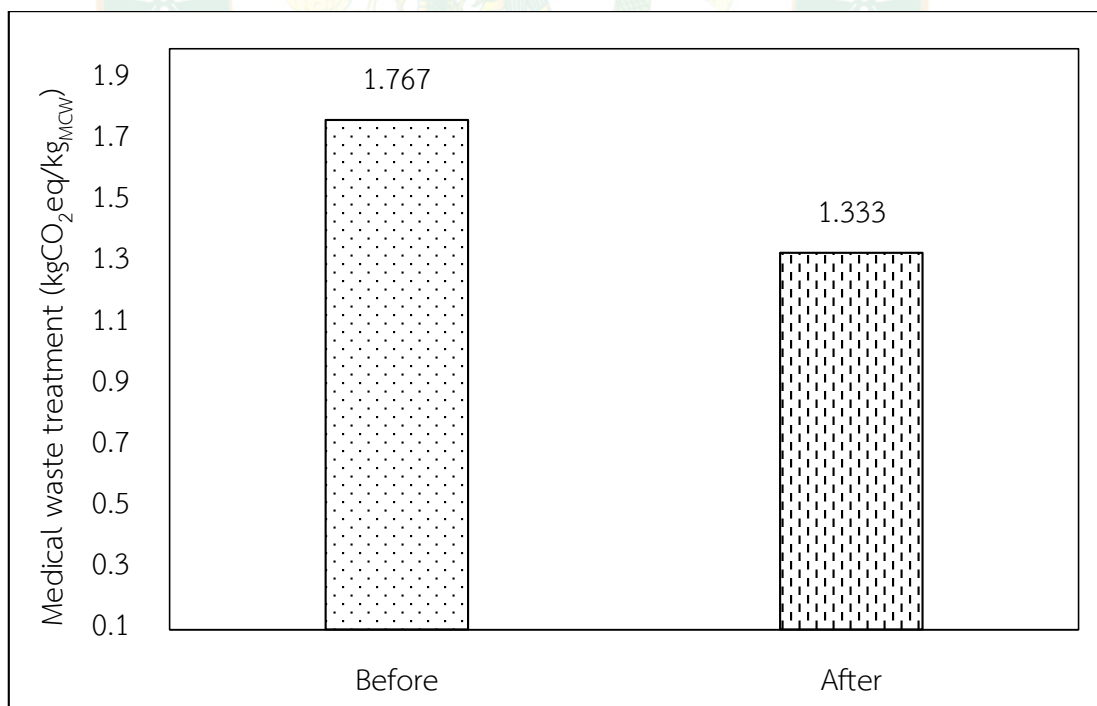
รายละเอียด	ปริมาณ	หน่วย
อัตราการใช้เชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์อบแห้ง	39.47	kg/h
จำนวนชั่วโมงทำงาน	19	h/day
จำนวนวันทำงาน	365	day/y
ชั่วโมงการทำงาน	6,935	h/y
อัตราการใช้เชื้อเพลิงขยะติดเชื้ออบแห้ง	8,073.65	kg/day
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์อบแห้ง	273,724.45	kg/y
กำลังการผลิตไฟฟ้าต่อปี	90,155	kWh/y
ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของก๊าซไอเสีย	0.0976	kgCO ₂ -eq/kg _{MCW}
ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์กระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์	1.333	kgCO ₂ -eq/kg _{MCW}
การผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จะมีการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์	0.0252	kgCO ₂ -eq/kWh

จากข้อมูลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าโดยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ผลการศึกษา พบว่า การป้อนเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อที่ผ่านการอบแห้งแล้วอยู่ที่ประมาณ 39.47 kg/h มีชั่วโมงการทำงานอยู่ที่ 19 h/day โดยขนาดการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแหล่งคินสารอินทรีย์ 13 kW_e ที่ใช้แหล่งความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงขยะ

ติดเชื้อ ปริมาณไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้อยู่ที่ 90,155 kWh/y คิดเป็นปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปลดปล่อยตลอดกระบวนการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 0.0252 kgCO₂-eq/kWh

ผลทำการเปรียบเทียบการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจากค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์หลังการปรับปรุง

การเปรียบเทียบการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม จากค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ก่อนและหลังการปรับปรุงดังแสดงในภาพที่ 45 โดยระบบหลังการปรับปรุงมีการใช้ไฟฟ้าที่ผลิตด้วยด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ที่ใช้เชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์หลังการอบแห้งมาทำการผลิตน้ำร้อนป้อนให้แก่วัฏจักรแรงดันอินทรีย์มาทำการเปรียบเทียบ พบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของโรงพยาบาลลำปาง หลังการปรับปรุงมีค่าอยู่ที่ 1.333 kgCO₂-eq/kg_{MCW} เมื่อเปรียบเทียบ ก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 1.767 kgCO₂-eq/kg_{MCW} สามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ลงได้ถึง 0.4340 kgCO₂-eq/kg_{MCW} ในกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์คิดเป็น 24.57%



ภาพที่ 45 ผลการเปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ก่อนและหลังการปรับปรุง

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการของการบำบัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง และการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำจากเครื่อง ECODAS รุ่น T300 ร่วมกับหม้อไอน้ำแบบขดลวดไฟฟ้า โดยผลการศึกษา พบว่า การบำบัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปางมีปริมาณขยะติดเชื้ออยู่ที่ประมาณ 750 kg/day พลังงานหลักที่ป้อนให้แก่ระบบบำบัดขยะติดเชื้อแบบบด ย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน คือ ไฟฟ้าในอัตรา 39.91 kWh/day และน้ำในปริมาณ 1,082 Liter/day ที่ระยะเวลาการทำงาน 19 h/day ผลการประเมินด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า การบำบัดขยะติดเชื้อปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนรวมทั้งสิ้น 9,676,035 kgCO₂-eq ตลอดอายุการใช้งาน 20 y คิดเป็น 1.767 kgCO₂-eq/kg_{MCW} และการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า การบำบัดการขยะติดเชื้อทางการแพทย์ 1 kg_{MCW} มีต้นทุนต่อหน่วยของการกำจัดขยะติดเชื้อเท่ากับ 3.185 Baht/kg_{MCW}

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาของงานวิจัยนี้ สามารถสรุปเนื้อหาสำคัญได้ดังนี้

1. กระบวนการของการบำบัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง โดย วิธีการบด ย่อย และการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน จากเครื่อง ECODAS รุ่น T300 ร่วมกับหม้อไอน้ำแบบขดลวดไฟฟ้า โดยผลการศึกษา พบว่า การบำบัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปางมีปริมาณขยะติดเชื้ออยู่ที่ประมาณ 750 kg/day พลังงานหลักที่ป้อนให้แก่ระบบบำบัดขยะติดเชื้อแบบบด ย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน คือ ไฟฟ้าในอัตรา 39.91 kWh/day และน้ำในปริมาณ 1,082 Liter/day ที่ระยะเวลาการทำงาน 19 h/day ผลการประเมินด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า การบำบัดขยะติดเชื้อปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนรวมทั้งสิ้น 9,676,035 kgCO₂-eq ตลอดอายุการใช้งาน 20 y คิดเป็น 1.767 kgCO₂-eq/kg_{MCW} และการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า การบำบัดการขยะติดเชื้อทางการแพทย์ 1 kg_{MCW} มีต้นทุนต่อหน่วยของการกำจัดขยะติดเชื้อเท่ากับ 3.185 Baht/kg_{MCW}

2. การนำตัวอย่างของขยะติดเชื้อที่ผ่านการบำบัดมาทำการอบแห้งในโรงเรือนพลาสติก ที่น้ำหนักเริ่มต้น 1.5 kg ตั้งแต่เวลา 06:00-18:00 น เป็นเวลาทั้งหมด 12 h และมีการชั่งน้ำหนักทุก ๆ 1 h จากผลการศึกษาพบว่า การอบแห้งขยะติดเชื้อมีอัตราการลดลงของน้ำหนักประมาณ 0.016 kg/h น้ำหนักสุดท้ายหลังการอบแห้งเหลือ 1.12 kg และนำไปประเมินค่าความชื้นฐานเปียกของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อมีค่าอยู่ที่ 5.65% โดยสภาพอากาศในวันที่ทำการอบแห้งมีอุณหภูมิแวดล้อมโดยเฉลี่ยประมาณ 28.44 °C อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งโดยเฉลี่ยประมาณ 45.07 °C และจากการตรวจวัดค่ารังสีอาทิตย์ในแนวระนาบมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 590 W/m² และทำการวิเคราะห์

โครงสร้างองค์ประกอบของเชื้อเพลิงและการวิเคราะห์สัดส่วนของธาตุ พบว่า มีค่าความร้อนต่ำ 26.29 MJ/kg

3. การทดสอบการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการอบแห้ง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากก๊าซมีเทนเท่ากับ $0.0967 \text{ kgCO}_2\text{-eq/kg}_{\text{MCW}}$

4. การประเมินศักยภาพทางพลังงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ใช้อุณหภูมิความร้อนที่ทำการทดสอบป้อนให้แก่หม้อต้มอยู่ที่ประมาณ $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$ นำมาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้เชื้อเพลิงขยะติดเชื้อที่ผ่านการอบแห้งเป็นแหล่งความร้อนที่ป้อนให้แก่ระบบ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เครื่องควบแน่นประมาณ $32 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และขนาดของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่มีความเหมาะสมกับแหล่งความร้อนดังกล่าว คือ ขนาดการผลิตไฟฟ้า 13 kW_e ปริมาณไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้อยู่ที่ $90,155 \text{ kWh/y}$ มีประสิทธิภาพ 8.97% อัตราการป้อนเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อที่ผ่านการอบแห้งอยู่ที่ 39.47 kg/h

5. การวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ การประเมินศักยภาพด้านพลังงาน และเศรษฐศาสตร์ จากการวิเคราะห์ พบว่า มีต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 2.838 Baht/kWh

6. การผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์การผลิตไฟฟ้า 1 kWh จะมีการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์อยู่ที่ $0.0252 \text{ kgCO}_2\text{-eq/kWh}$

7. การบำบัดขยะติดเชื้อ โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ หลังการปรับปรุงมีต้นทุนต่อหน่วยเท่ากับ $2.370 \text{ Baht/kg}_{\text{MCW}}$

8. การบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์หลังการปรับปรุงอยู่ที่ $1.333 \text{ kgCO}_2\text{-eq/kg}_{\text{MCW}}$ สามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อประมาณ 24.57%

ข้อเสนอแนะ

การดำเนินงานวิจัย โดยภาพรวมถือได้ว่าผลการดำเนินงานดังกล่าวได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ ของงานวิจัย แต่งานวิจัยครั้งนี้เป็นการจำลองการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ใช้เชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ ในการผลิตน้ำร้อนเพื่อป้อนให้กับระบบ ซึ่งยังไม่ได้ทำการพิสูจน์ โดยผลการทดสอบ ดังนั้นคณะผู้วิจัย จึงเสนอแนะให้ทำการทดสอบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ทำงาน โดยใช้เชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ ในการต้มน้ำเพื่อป้อนให้กับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จริงต่อไป

บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม “ขยะมูลฝอยของประเทศไทย”. 2560. <http://www.pcd.go.th> (28 มีนาคม 2561).
- ศูนย์อนามัยที่ 5, กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. ระบบออนไลน์: <http://www.hpc.go.th>. เข้าถึงเมื่อ: 9 ธันวาคม 2560.
- นัฐพร ไชยญาติ. 2560. การออกแบบระบบพลังงานทดแทน (Renewable energy system design). พิมพ์ครั้งที่ 3, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยแม่โจ้, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- นัฐพร ไชยญาติ. 2560. เทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ (Geothermal energy technology). พิมพ์ครั้งที่ 6, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยแม่โจ้, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- ปรัชญา กริโส และสมรัฐ เกิดสุวรรณ. 2556. การทดสอบระบบผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอยโดยเทคโนโลยีก๊าซซิฟิเคชันแบบต่อเนื่อง 200 ชั่วโมง. น. 246-253. ใน: **จากการประชุมวิชาการ เสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 32. 3-4 พฤศจิกายน 2557**. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพมหานคร.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาด และ สิ่งแวดล้อม . 2560. (Thailand Institute of Scientific and Technological Research, TISTR, 2018).
- สำนักงานที่ดินจังหวัดเชียงใหม่ “ราคาที่ดินจังหวัดเชียงใหม่” <http://property.treasury.go.th/pvmwebsite/> (25 มีนาคม 2561).
- ธนาคารกรุงไทย “อัตราดอกเบี้ยเงินให้สินเชื่อ”. 2561. <https://www.ktb.co.th> (20 มีนาคม 2561).
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), **Emission factor**. ออนไลน์: http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_822ebb1ed5.pdf, เข้าถึงเมื่อ: 9 ธันวาคม 2560
- Bujak J W. Production of waste energy and heat in hospital facilities. **Energy** 2015;91: 350-362.
- Bujak J W. Thermal treatment of medical waste in a rotary kiln. **J Environ Manage** 2015; 162:139-47.
- Bujak J W. Heat recovery from thermal treatment of medical waste. **Energy** 2015; 90:1721-1732.

Chaiyat, N. 2015. Sustainability of Alternative Energy for Organic Rankine Cycle Power Plant in. **Naresuan University Journal**, 23(1), 45-62.

Shen Y, Yu S, Ge S, Chen X, Ge X, Chen M. Hydrothermal carbonization of medical wastes and lignocellulosic biomass for solid fuel production from lab-scale to pilot-scale. **Energy** 2017; 118:312-323.

NIST (National Institute of Standards and Technology), Inc. (Refprop Version 10: Customer Number 40754). **Thermodynamic Properties of Refrigerants and Refrigerant Mixtures Software, America**. 2018.

World health organization topic is health care and medical waste by department of public health, **Environmental and social determinants of health**. Online: <http://www.who.int>, Accessed: 9 December 2017.

ECODAS. Online: www.contact@ecodas.com, Accessed: 9 December 2017.

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

IPCC Forth Assessment Report – Climate Change 2007. **ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกต่าง ๆ ในช่วงเวลา 100 y** [ระบบออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ: 1 ธันวาคม 2560



ภาคผนวก ก.1

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ การใช้ Function ของโปรแกรมสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Refprop)

Function การหาสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของของไหลต่าง ๆ ประกอบไปด้วยคำสั่ง Temperature, Pressure, Density, Liquid Density, Vapor Density, Volume, Energy, Enthalpy, Entropy, Isochoric Heat Capacity (or: Cv), Isobaric Heat Capacity (or: Cp), Speed Of Sound (or: Sound), Quality, Viscosity, Thermal Conductivity, Surface Tension และ Dielectric Constant โดยสามารถเรียกใช้งานบน Microsoft Excel spreadsheet หรือพัฒนาต่อบน Visual basic ก็ได้ ทั้งนี้รูปแบบการเรียกใช้งานของแต่ละ Function มีโครงสร้างดังต่อไปนี้ = Function (“Refrigerant”, ”Type”, ”Unit”, Input 1, Input 2) Function คือ ชื่อสมบัติที่ต้องการทราบ (ชื่อ Function ต่าง ๆ ด้านบน) Refrigerant คือ ชื่อสารทำงานในระบบที่สามารถเรียกใช้งานได้ โดยสารทำงานแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สารเดี่ยวที่มีจุดเดือดค่าเดียว ถูกเก็บไว้ใน Folder ของโปรแกรมชื่อ fluids และสารผสมที่เกิดจากสารเดี่ยวหลายชนิดผสมกัน ถูกเก็บไว้ใน Folder ของโปรแกรมชื่อ mixtures Type คือ ประเภทของข้อมูลที่ทราบค่า โดยปกติต้องป้อน 2 ค่า ใช้เป็นสัญลักษณ์อื่นประกอบไปด้วย Density (D), Volume(V), Energy (E), Enthalpy (H), Entropy (S), Pressure (P), Temperature (T) และ Quality (Q) เมื่อนำมารวมกันสามารถแสดงได้ด้วยสัญลักษณ์ TP, TD, TH, TE, TS, TQ, PD, PS, PE, PQ, DH, DS, DE และ HS สำหรับค่าที่เส้นอิ่มตัว (Saturated) สามารถใช้ข้อมูลเพียงค่าเดียว แต่ต้องมีอักษรย่อตามหลัง คือ LIQ (Liquid) และ VAP (Vapor) ดังตัวอย่างต่อไปนี้ TLIQ, TVAP, PLIQ และ PVAP Unit คือ สัญลักษณ์หน่วยที่ต้องการให้โปรแกรมแสดงผลออกมา โดยอักษรย่อ สัญลักษณ์และหน่วยที่แสดงผลมีดังต่อไปนี้

SI: K, MPa, mol/dm³, J/mol, J/mol·K, m/s, uPas, mW/m·K

mks: K, kPa, kg/m³, kJ/kg, kJ/kg·K, m/s, uPas, W/m·K

cgs: K, MPa, g/cm³, J/g, J/g·K, cm/s, uPas, mW/m·K

E: F, psia, Lb/ft³, ft³/lb, Btu/lb, Btu/lbR, ft/s, lb/fts, Btu/hftF

M: K, psia, g/cm³, cm³/g, J/g, J/gK, m/s, uPas, mW/m·K

Input1 และ Input2 คือ ข้อมูลที่ต้องการป้อนเรียงตามประเภท Type และตามหน่วยของ Unit ตัวอย่างเช่น

ภาคผนวก ก.2

ตัวอย่างการคำนวณของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์

ตัวอย่างการคำนวณของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ โดยจำลองวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ที่ใช้สารทำงาน คือ R-245fa ซึ่งใช้โปรแกรม Refprop คำนวณบน Microsoft Excel โดยมีข้อมูลเบื้องต้นดังต่อไปนี้

สารทำงาน	R245fa
อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้ม (Q_B)	184 kWh
ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกของกังหัน ($h_{s,EXP}$)	80%
ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกของปั๊ม ($h_{s,P}$)	80%
Superheating (SH)	7 °C
Sub cooling (SC)	3 °C
แนวทางการวิเคราะห์	
ขั้นตอนที่ 1) หาอุณหภูมิของสารทำงานที่หม้อต้มและเครื่องควบแน่น	
อุณหภูมิสารทำงานที่หม้อต้ม ($T_B = T_{1h} - \Delta T_{HW} - (T_{2h} - T_{ref})$)	85 °C
อุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องควบแน่น ($T_C = T_{3C} + \Delta T_{CW} + (T_{ref} - T_{1C})$)	38 °C
ขั้นตอนที่ 2) หาความดันของสารทำงานที่หม้อต้มและเครื่องควบแน่น	
ความดันด้านสูงพิจารณาที่หม้อต้ม ($P_H = f(T_B)$)	892.78 kPa
คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Pressure ("R245fa", "Tvap", "mks", 273.15+87)	
ความดันด้านต่ำพิจารณาที่เครื่องควบแน่น ($P_L = f(T_C)$)	234.36 kPa
คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Pressure ("R245fa", "Tvap", "mks", 273.15+38)	
ขั้นตอนที่ 3) พิจารณาสารทำงานที่ปั๊มสารทำงาน	
อุณหภูมิสารทำงานจุดที่ 1 ($T_1 = T_C - SC$)	35 °C
เอนทัลปีสารทำงานจุดที่ 1 ($h_1 = f(T_C - SC)$)	245.81 kJ/kg
คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Enthalpy ("R254fa", "Tliq", "mks", 273.15+38)	
ปริมาตรสารทำงานจุดที่ 1 ($v_1 = f(T_1)$)	0.00076 m ³ /kg
คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Volume ("R254fa", "Tliq", "mks", 273.15+38)	
เอนโทรปีจุดที่ 1 ($s_1 = f(T_1)$)	1.157 kJ/kg·K

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Entropy ("R254fa","Tliq","mks",273.15+38)

เอนโทรปีจุดที่ 2 ($s_{2s}=s_1$) 1.157 kJ/kg·K

เอนทัลปีสารทำงานที่จุด 2s ($h_{2s}=f(P_H,s_{2s})$) 246.33 kJ/kg

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Enthalpy ("R254fa","PS","mks",936.89,1.17)

เอนทัลปีสารทำงานจุดที่ 2 $\left(h_2 = \left[\frac{(h_{2s} + h_1)}{\eta_{s,P}} \right] + h_1 \right)$ 245.81 kJ/kg

อุณหภูมิสารทำงานจุดที่ 2 ($T_2=f(P_H,h_2)$) 34.87 °C

คำสั่งที่ใช้บน Excel คือ = Temperature ("R254fa","PH","mks",936.89,250.76)-273.15

ขั้นตอนที่ 4) พิจารณาสารทำงานที่หม้อต้ม

เอนทัลปีสารทำงานจุดที่ 2' ($h_2'=f(T_B)$) 316.71 kJ/kg

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Enthalpy ("R254fa","Tliq","mks",273.15+87)

เอนทัลปีสารทำงานจุดที่ 3' ($h_3'=f(T_B)$) 465.02 kJ/kg

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Enthalpy ("R254fa","Tvap","mks",273.15+87)

เอนทัลปีสารทำงานจุดที่ 3 ($h_3=f(T_B+SH,P_H)$) 473.54 kJ/kg

คำสั่งที่ใช้บน Excel คือ = Enthalpy ("R254fa","TP","mks",273.15+87+5,936.89)

อุณหภูมิสารทำงานจุดที่ 3 ($T_3=T_B+SH$) 92 °C

เอนโทรปีจุดที่ 3 ($s_3=f(T_3,P_H)$) 1.806 kJ/kg·K

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Entropy ("R254fa","TP","mks",273.15+92,936.89)

ขั้นตอนที่ 5) พิจารณาสารทำงานที่กังหัน

เอนโทรปีจุดที่ 4s ($s_{4s}=s_3$) 1.806 kJ/kg·K

เอนทัลปีสารทำงานจุดที่ 4s ($h_{4s} = f(P_L,s_{4s})$) 448.11 kJ/kg

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Enthalpy ("R254fa","PS","mks",234.36,1.80)

เอนทัลปีสารทำงานจุดที่ 4 ($h_4=h_3-\eta_{s,Exp}(h_3-h_{4s})$) 453.20 kJ/kg

อุณหภูมิสารทำงานจุดที่ 4 ($T_4=f(P_L,h_4)$) 59.02 °C

คำสั่งที่ใช้บน Excel คือ = Temperature ("R254fa","PH","mks",234.36,450.28)-273.15

เอนโทรปีจุดที่ 4 ($s_4=f(P_L,h_4)$) 1.822 kJ/kg·K

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Entropy ("R254fa","PH","mks",234.36,450.28)

เอนโทรปีของสารทำงานในสถานะของเหลวอิ่มตัวที่อุณหภูมิควบแน่น ($s_{f,c}=f(T_C)$)

1.170 kJ/kg·K

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Entropy ("R254fa","Tliq","mks",273.15+38)

เอนโทรปีของสารทำงานในสถานะของไออิ่มตัวที่อุณหภูมิควบแน่น ($s_{g,c}=f(T_c)$)

$$1.757 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Entropy ("R254fa","Tvap","mks",273.15+38)

เอนโทรปีของการกลายเป็นไอที่อุณหภูมิควบแน่น ($s_{fg,C} = s_{g,C} - s_{f,C}$) 0.59 kJ/kg·K

ขั้นตอนที่ 6) พิจารณาปริมาณไอของสารทำงานที่ออกจากกังหัน

$$\text{คุณภาพไอของสารทำงานที่ออกจากกังหัน} \left(qv_4 = \frac{(s_4 - s_{f,C}) \times 100}{s_{f,C}} \right) 111.11\%$$

ขั้นตอนที่ 7) พิจารณาปริมาณอัตราการไหลของสารทำงาน

$$\text{อัตราการไหลของสารทำงาน} (\dot{m}_{ref} = Q_B / (h_3 - h_2)) 0.810 \text{ kg/s}$$

ขั้นตอนที่ 8) พิจารณาความสูงของของไหลเทียบเท่า

$$\text{ความหนาแน่นของสารทำงานที่ออกจากปั๊มสารทำงาน} (p_2 = f(T_2)) 1,302.43 \text{ kg/m}^3$$

คำสั่งที่ใช้บน Microsoft Excel คือ = Density ("R254fa","Tliq","mks",273.15+38)

$$\text{เทียบเท่าความสูงของของไหล} \left(H_2 = \frac{P_H}{\rho_{2g}} \times 1000 \right) 69.87 \text{ m}$$

ขั้นตอนที่ 9) พิจารณาความสามารถด้านความร้อนของอุปกรณ์ในระบบ

$$\text{งานที่ได้จากกังหัน} (W_{EXP} = \dot{m}_{ref}(h_3 - h_4)) 16.48 \text{ kW}$$

$$\text{อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น} (Q_C = \dot{m}_{ref}(h_4 - h_1)) 168.02 \text{ kW}$$

$$\text{งานที่ต้องป้อนให้แก่ปั๊มสารทำงาน} (W_P = (\dot{m}_{ref} v_1 (P_H - P_L)) / \eta_{s,P}) 0.51 \text{ kW}$$

ขั้นตอนที่ 10) หาค่าประสิทธิภาพของระบบ ORC

$$\text{ค่าประสิทธิภาพ} (\eta_{ORC} = [(W_{Exp,e} - W_P) / Q_B]100) 8.97\%$$

ภาคผนวก ก.3

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากก๊าซไอเสียโดยมีข้อมูลเบื้องต้นดังต่อไปนี้

- ค่าความเร็วลมไอเสียที่ปล่อยออกมา 0.9 m/s
- อุณหภูมิก๊าซไอเสีย 69.4 °C
- ปริมาณก๊าซมีเทน ส่วนประกอบของก๊าซไอเสีย 0.2 %mol
- พื้นที่หน้าตัดปล่องระบายไอเสีย 0.00071 m²
- น้ำหนักเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อที่ใช้ในการเผาไหม้ 1 kg

ขั้นตอนที่ 1) หาความหนาแน่นของก๊าซมีเทนที่อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย

$$\text{ค่าความหนาแน่นของก๊าซมีเทนที่อุณหภูมิ } 25 \quad 1.2505 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{หาค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ } 39.7 \text{ °C } (\rho_2 = \frac{\rho_1 T_1}{T_2}) \quad 1.088 \text{ kg/m}^3$$

ขั้นตอนที่ 2) หาอัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซไอเสีย

$$\text{ค่าอัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซมีเทน } (\dot{m}_{\text{gas}} = 2Av) \quad 0.00070 \text{ kg/s}$$

ขั้นตอนที่ 3) หามวลรวมของก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกมาในระยะเวลา 1 h

$$\text{มวลของก๊าซมีเทน } (M_{\text{CH}_4} = \dot{m}_{\text{gas}} t) \quad 2.504 \text{ kg}$$

$$\text{มวลรวมก๊าซไอเสีย } (M_{\text{exhaust}} = M_{\text{CH}_4} + M_{\text{N}_2} + M_{\text{CO}} + M_{\text{O}_2}) \quad 11.586 \text{ kg}$$

ขั้นตอนที่ 4) หามวลมวลของก๊าซเรือนกระจก

$$\text{มวลของก๊าซเรือนกระจก } (M_{\text{gas}} = M_{\text{exhaust}}) \quad 2.317 \text{ mg}$$

$$\text{เทียบอัตราส่วนก๊าซเรือนกระจกกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้า} \quad 2.317 \text{ mg/kg}_{\text{Fuel}}$$

ขั้นตอนที่ 5) หาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหน่วยกิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์

$$\text{ค่า GHG ของก๊าซมีเทนเท่ากับ} \quad 25$$

$$\text{หาปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน } \left(\frac{M_{\text{gas}}}{M_{\text{fuel}}} \text{ GHG} \right) \quad 0.00014 \text{ kg CO}_2\text{-eq/kg}_{\text{fuel}}$$

ขั้นตอนที่ 6) หาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของก๊าซไอเสีย

โดยค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของก๊าซไอเสียของงานวิจัยนี้ หาได้จากปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนรวมกับปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (ใช้ค่าไนโตรเจนจากผลการทดสอบ) มีค่าเท่ากับ 0.0967 kgCO₂-eq/kg_{fuel}

ภาคผนวก ก.4



คำขอบริการที่ สนพ. 038/61

ที่ หป. 115-11/60

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

ให้แก่

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

การทดสอบ / วิเคราะห์ เชื้อเพลิงขยะติดเชื้อ RDF-3

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582, D 5373, D 4239 and D 5865

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

คุณสมบัติ	สภาพนำส่ง	สภาพนำหนักแห้ง
ความชื้น, %	5.65	-
สารระเหย, %	82.20	87.12
ถ่านกึ่งตัว, %	5.70	6.04
เถ้า, %	6.45	6.84
ไฮโดรเจน, %	9.33	9.23
คาร์บอน, %	58.00	61.47
ไนโตรเจน, %	0.73	0.77
ออกซิเจน, %	25.35	21.54
ซัลเฟอร์, %	0.14	0.15
ค่าความร้อนสูง, กิโลแคลอรี/กก.	5,900 – 6,900	6,250 – 7,310
ค่าความร้อนต่ำ, กิโลแคลอรี/กก.	5,430 – 6,430	5,750 – 6,810

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

- 1.
2. ทวีพงษ์ พรหมเพชร

ผู้ตรวจสอบ

(ดร.ปริศนีย์ จันทร์วงศ์ไพศาล)

ผู้รับรอง



(ดร. นงลักษณ์ ไรจนแสง)

รักษาการในตำแหน่งผู้อำนวยการ

ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม

วันที่ 14 ธันวาคม 2560

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองผลเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(วว.)

FM-EIE-13

35 หมู่ 3 เขตหนองจอก อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

โทร. (66) 0 2577 9000 อัดโน้ต 90 สาย

โทรสาร (66) 0 2577 9009 E - Mail : tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

วิสัยทัศน์ : เป็นองค์กรชั้นนำระดับอาเซียนในด้านวิจัย พัฒนา และบริการด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม

ภาคผนวก ก.5

ทางวิชาการที่ 1

- ชื่อผู้แต่ง: Mr. Sonesack Sengnavong
 อนุรักษ์ ไชยญาติ
 ชวโรจน์ ใจสิน
 จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล
- ชื่อบทความ: การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ กรณีศึกษา: โรงพยาบาลลำปาง
 Carbon footprint and economic cost evaluation of medical waste treatment case study: Lampang hospital
- ชื่อวารสาร: การประชุมวิชาการ "การถ่ายทอดพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ" ครั้งที่ 17
- หน้าที่: 84-88
- สถานที่: ณ ลำปาง รีสอร์ท จ.ลำปาง ประเทศไทย ดำเนินการจัดประชุมโดย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- วันที่: วันที่ 15-16 กุมภาพันธ์ 2561
- ชื่อบทความ: การวิเคราะห์ต้นทุนด้านพลังงานของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ด้วยเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษา: โรงพยาบาลลำปาง
 Energy costing of organic Rankine cycle using medical waste from mathematical model a case study: Lampang hospital
- ชื่อวารสาร: การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3
 The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Science and Technology
- หน้าที่: 370-383
- สถานที่: ณ โรงแรม ลอฟท์ มาเนีย จ.ชุมพร ประเทศไทย ดำเนินการจัดประชุมโดย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพรวันที่ 24-25 พฤษภาคม 2561



ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ประกาศนียบัตรฉบับนี้มอบไว้เพื่อแสดงว่า

Sonesack Sengnavong, Nattaporn Chaiyat, Chawaroj Jaisin,
Wassamol Lerdjaturanon, Chakkraphan Thawonggamyigsakul

ได้เสนอบทความ เรื่อง การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์

กรณีศึกษา: โรงพยาบาลลำปาง

ในการประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายทอดผลงานความรู้และมวลในอุปกรณ์ด้านความรู้และกระบวนการ (ครั้งที่ 17)

จัดขึ้นระหว่างวันที่ 15-16 กุมภาพันธ์ 2561

ณ ลำปางริสอร์ท อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง

ให้ไว้ ณ วันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2561

Wassamol Lerdjaturanon

(ศาสตราจารย์ ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์)

ประธานการจัดประชุมวิชาการ

เรื่องการถ่ายทอดผลงานความรู้และมวลในอุปกรณ์ด้านความรู้และกระบวนการ (ครั้งที่ 17)



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

ศรศักดิ์ เสงฆวงศ์ นัฐพร ไชยญาติ ขวโรจน์ ใจลิ้น และจักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล

ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความวิจัย ภาคบรรยาย

เรื่อง “การวิเคราะห์ต้นทุนด้านพลังงานของวิสาหกิจและร้านค้าอินเทอร์เน็ตด้วยเครื่องวัดพลังงานอัจฉริยะ”

กรณีศึกษา : โรงพยาบาลลำปาง”

วันที่ ๒๔ - ๒๕ พฤษภาคม ๒๕๖๑

ณ ลอฟท์ ธานี บูทีค โฮเทล อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร

(ศาสตราจารย์ ดร.สุชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

อธิการบดี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



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 (AMBEST)

เกียรติบัตรฉบับนี้ ให้เพื่อแสดงว่า

ศรสักดิ์ เสงฆวงศ์ นัฐพร ไชยญาติ ชวโรจจน์ ใจสิน และจักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล

ได้รับรางวัล

การนำเสนอบทความวิจัย ภาคบรรยาย ระดับดี

เรื่อง “การวิเคราะห์ต้นทุนด้านพลังงานของวิสาหกิจแรงงานสตรีในสตาร์ทอัพด้วยเฟล็กซ์ชชะติเคซึ่อด้วยแบบจำลอง

ทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษา : โรงพยาบาลลำปาง”

วันที่ ๒๔ – ๒๕ พฤษภาคม ๒๕๖๑

ณ ลอฟท์ มานีย์ บูทีค โฮเทล อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร

(ศาสตราจารย์ ดร.สุชีวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

อธิการบดี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การประชุมวิชาการ เรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวล
ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 17)
ระหว่างวันที่ 15-16 กุมภาพันธ์ 2561
ณ สำนักวิจัยและพัฒนา อากาศยาน จักรวรรดิลำปาง

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์
กรณีศึกษา: โรงพยาบาลลำปาง
CARBON FOOTPRINT AND ECONOMIC COST EVALUATION OF MEDICAL WASTE
TREATMENT CASE STUDY: LAMPANG HOSPITAL

Sonesack Sengnavong¹

Nattaporn Chaiyat^{1*}

Chawaroj Jaisin¹

Wassamol Lerdjaturanon¹

Chakkraphan Thawonggamyigsakul²

¹ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก

* Email: benz178ti@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการของการบำบัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง โดยวิธีการบด ย่อย และการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน จากเครื่อง ECODAS รุ่น T300 ร่วมกับหม้อไอน้ำแบบขดลวดไฟฟ้า โดยทำการประเมินอัตราการใช้พลังงานของกระบวนการบำบัด ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการบำบัด และคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของการบำบัด โดยผลการศึกษาพบว่า พลังงานหลักที่ป้อนให้แก่กระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อแบบบด ย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน คือ ไฟฟ้าในอัตรา 39.91 kWh/day และน้ำในปริมาณ 1,082 Liter/day ที่ระยะเวลาการทำงาน 19 h/day ผลการประเมินด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า การบำบัดขยะติดเชื้อปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนรวมทั้งสิ้น 9,676,035 kg CO₂-eq ตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี คิดเป็น 1.767 kg CO₂-eq/kg_{MCW} และการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า การจัดการขยะติดเชื้อ 1 kg_{MCW} มีต้นทุนต่อหน่วยของการกำจัดขยะติดเชื้อเท่ากับ 3.185 Baht/kg_{MCW}

คำสำคัญ: ขยะติดเชื้อ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ ต้นทุนต่อหน่วย

Abstract

This research studies the medical waste treatment process of Lampang hospital by using shredding heating and sterilization from the ECODAS model T300 operated with the electrical boiler. Energy consumption, environmental impact and levelized cost of treatment process are considered. From the study results, it could be found that the main energy consumption and the raw material input of treatment process is the electrical power at 39.91 kWh/day and water of 1,082 Liter/day based on the operating time at 19 h/day. The environmental results, it could be seen that the treatment technique releases the total carbon dioxide to be 9,676,035 kg CO₂-eq for the life time at 20 year, which is 1.767 kg CO₂-eq/kg_{MCW}. In the economic cost, this method could be shown that the levelized cost for managing medical waste at 1 kg_{MCW} is 3.185 Baht/kg_{MCW}.

Keywords: Medical waste, Carbon footprint, Economic cost, Levelized cost

1. บทนำ

ขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลจัดว่าเป็นขยะที่ต้องมีกระบวนการกำจัดที่พิเศษกว่าขยะปกติ คือ ต้องฆ่าเชื้อที่อยู่ในขยะให้หมดไปก่อน จากนั้นจึงสามารถนำไปทิ้งร่วมกับขยะทั่วไปได้ รวมทั้งในปัจจุบันมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะติดเชื้อในโรงพยาบาลต่าง ๆ ทั่วประเทศอย่างต่อเนื่อง [1]

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดขยะติดเชื้อมีดังต่อไปนี้ Bujak [2] นำเสนอการนำขยะติดเชื้อมาเผาเพื่อผลิตไอน้ำที่ความดันมากกว่า 22 bar และนำไปผลิตไฟฟ้าโดยไมโครเทอร์โมอิเล็กทริก (Microthermal)

ประสิทธิภาพของระบบประมาณ 79.0% รวมทั้ง Bujak [3] ยังนำเสนอการเพิ่มตัวกรอกไอเสียลดปริมาณคาร์บอน ซึ่งผลการศึกษาพบว่าสามารถกำจัดปริมาณคาร์บอนก่อนการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ไม่เกิน 3.0% Bujak [4] ยังได้นำเสนอกระบวนการนำความร้อนทิ้งจากไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์ โดยติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ปล่อยไอเสีย เพื่อผลิตไอน้ำอุณหภูมิโดยมีค่าเฉลี่ย 192.8 °C และนำไปผลิตไฟฟ้าโดยระบบไมโครเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าประมาณ 70.7% Shen [5] นำขยะติดเชื้อมาบดให้มีขนาดเล็กลง และนำไปผสมรวมกับชีวมวล เพื่อนำไปผลิตถ่านโดยวิธีการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal)



ซึ่งจากงานวิจัยต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า ยังมีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษาระดับด้านสิ่งแวดล้อมและต้นทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของการบำบัดขยะติดเชื้อโดยกระบวนการบด ย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ที่ต้องการนำขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง มาบำบัดเพื่อผลิตเชื้อเพลิงจากขยะติดเชื้อ และทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยวิธีการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint) รวมถึงประเมินค่าต้นทุนต่อหน่วย (Levelized cost, LC) ของการบำบัดขยะติดเชื้อต่อไป

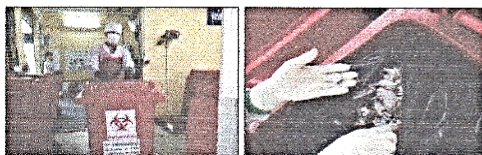
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อด้วยการบดย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน มีดังต่อไปนี้

2.1 ขยะติดเชื้อ

ขยะติดเชื้อคือ วัสดุที่มีความเสี่ยงด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อม โดยองค์การอนามัยโลกได้กล่าวไว้ว่า [6] การจัดการขยะติดเชื้อที่ไม่ถูกสุขลักษณะ อาจทำให้ผู้ดูแลสุขภาพผู้ชนถ่ายผู้ป่วยและชุมชน โดยมากต้องติดเชื้อจากผลกระทบที่เป็นพิษและการบาดเจ็บ เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม เป็นสิ่งจำเป็นที่วัสดุทางการแพทย์ทั้งหมดถูกแยกออกจากจุดเริ่มต้นการบำบัดและการกำจัดอย่างเหมาะสม

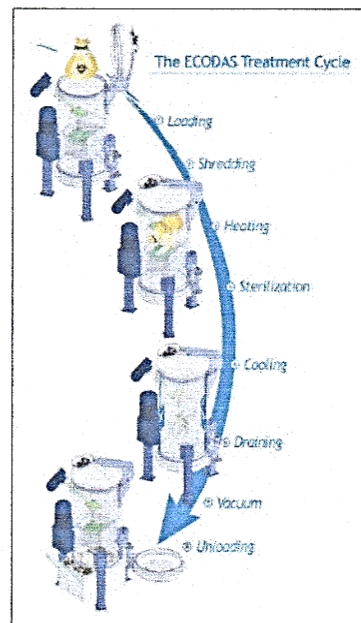
จากคำจำกัดความของคณะกรรมการศูนย์วิชาการการแก้ไขปัญหามลพิษ โดยขยะติดเชื้อหมายถึงสิ่งของที่ไม่ต้องการหรือถูกทิ้งจากสถานพยาบาล อาทิเช่น สำลี ผ้าก๊อช กระดาษชำระ เข็มฉีดยา มีดผ่าตัด และเสื้อผ้า ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง

2.2 การบำบัดขยะติดเชื้อ

หลักการทำงานของเครื่องบำบัดขยะติดเชื้อแบบบดย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2 คือ การบรรจุขยะจากถังขยะเข้าสู่เครื่อง (Loading) จากนั้นทำบดย่อยขยะติดเชื้อให้มีขนาดเล็กลงน้อยกว่า 2 Inch (Shredding) และป้อนไอน้ำอุณหภูมิมากกว่า 135 °C เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่วัสดุและฆ่าเชื้อโรค (Heating and sterilization) โดยทั้ง 2 กระบวนการจะใช้เวลาประมาณ 30 Minute เมื่อเสร็จกระบวนการด้านความร้อน จะใช้น้ำป้อนให้แก่ขยะเพื่อระบายความร้อน (Cooling) เมื่อขยะเย็นตัวลงจะเข้าสู่กระบวนการดึงน้ำและอากาศออกจากขยะ (Draining) เพื่อทำให้เกิดสุญญากาศ (Vacuum) เป็นการฆ่าเชื้อจากขยะขั้นตอนสุดท้าย จากนั้นจึงถ่ายขยะออกจากเครื่องกำจัด (Unloading) เพื่อนำไปทิ้งร่วมกับขยะทั่วไปต่อไป



รูปที่ 2 กระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อแบบบดย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน [7]

2.3 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint)

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases) หรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ หมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์ แต่ละหน่วยตลอดวงจรของผลิตภัณฑ์ 4 ขั้นตอน ตามหลัก หลัก ISO 14040 คือ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา การวิเคราะห์ปัญหาชี้รายการ การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการแปรผล โดยต้องวิเคราะห์ตามขั้นตอนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ตามหน่วยการทำงาน (Functional unit, FU) ที่ได้ทำการกำหนด การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งานและการจัดการซากหลังจากใช้งาน โดยคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$CFP = \sum_i A_i EF_i$$

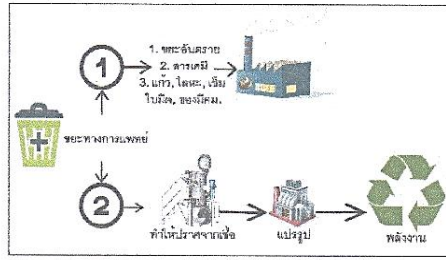
โดยที่ CFP ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO₂-eq)
 A_i กิจกรรมต่าง ๆ (Unit)
 EF_i ค่าแฟกเตอร์การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (kg CO₂-eq/Unit)

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยของการศึกษานี้ มีดังต่อไปนี้

3.1 ทำการศึกษาขั้นตอนการจัดขยะของโรงพยาบาลลำปาง ดังแสดงในรูปที่ 3 เพื่อประเมินองค์ประกอบทางกายภาพของขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้น





รูปที่ 3 กระบวนการจัดการขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง

3.2 ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลวัสดุ (Raw materials) ที่ใช้ในการสร้างอาคารบริหารจัดการขยะติดเชื้อ โรงพยาบาลลำปาง และวัสดุที่ใช้ในการสร้างระบบบำบัดขยะติดเชื้อ

3.3 สำรวจและเก็บข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน เป็นระยะเวลา 4 วัน

3.4 สำรวจและเก็บข้อมูลปริมาณพลังงานและวัตถุดิบ (Input energy and raw materials) ที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการกำจัดขยะติดเชื้อ โดยวิธีย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

3.5 ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ที่มีการกำหนดขอบเขตการศึกษา คือ แบบประตูสู่ประตู (Gate to gate) ที่ขยะติดเชื้อเข้าสู่อาคารบริหารจัดการขยะติดเชื้อ โรงพยาบาลลำปาง บำบัดขยะติดเชื้อด้วยการบด ย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน และใส่ถุงดำการนำไปกำจัดร่วมกับขยะทั่วไป รวมทั้งกำหนดให้หน่วยการศึกษา (Functional unit, FC) คือ ปริมาณขยะติดเชื้อ 1 kg ก่อนเข้าสู่กระบวนการบำบัด

3.6 ประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยต้นทุนต่อหน่วยการบำบัดขยะติดเชื้อ 1 kg ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$LC = \frac{Inv + \sum_{t=1}^N \frac{PC}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^N M_{MCW} t_{OP}} \quad \text{สมการที่ 2}$$

- โดยที่ LC ค่าต้นทุนต่อหน่วย (Baht/kg_{MCW})
- Inv มูลค่าการลงทุน (Baht)
- PC ค่าใช้จ่ายรายปี (Baht/y)
- M_{MCW} มวลของขยะ (kg_{MCW})
- t_{OP} ระยะเวลาการทำงาน (day/y)
- N อายุการใช้งาน (y)

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการศึกษางานวิจัย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 องค์ประกอบทางกายภาพของขยะติดเชื้อ

จากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่า กระบวนการจัดการขยะติดเชื้อในขั้นแรก คือ การคัดแยกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน อันประกอบไปด้วย ส่วนที่ 1 เป็นขยะติดเชื้อที่มีคมและโลหะ ที่ต้องเข้าสู่กระบวนการฆ่าเชื้อและบด

โลหะก่อน จากนั้นจึงนำเข้าสู่เครื่องบดต่อไป และส่วนที่ 2 เป็นขยะที่สามารถนำเข้าสู่เครื่องบำบัดได้เลย โดยข้อมูลสัดส่วนของขยะติดเชื้อที่ได้จากการสำรวจ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางกายภาพของขยะติดเชื้อ

ขยะติดเชื้อ	ปริมาณ (%)
พลาสติก	35
ผ้าสี	10
ผ้ากอซ และผ้าพันแผล	15
กระดาษชำระ	20
เข็มฉีดยา	15
มีดผ่าตัด	5

4.2 ปริมาณวัสดุที่ใช้ในการสร้างอาคารบริหารจัดการขยะติดเชื้อ โรงพยาบาลลำปาง

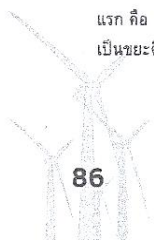
อาคารบริหารจัดการขยะติดเชื้อ โรงพยาบาลลำปาง มีขนาดของโรงเรือน กว้าง 10 m x ยาว 20 m x สูง 10 m เป็นอาคารปูนและมีหลังคาทำจากเมทัลชีท ดังแสดงในรูปที่ 4 ภายในบรรจุเครื่องกำจัดขยะติดเชื้อยี่ห้อ ECODAS รุ่น T300 และหม้อไอน้ำแบบขดลวดไฟฟ้าขนาด 45 kW. ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลและประเมิน แสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 4 อาคารบริหารจัดการขยะติดเชื้อ โรงพยาบาลลำปาง

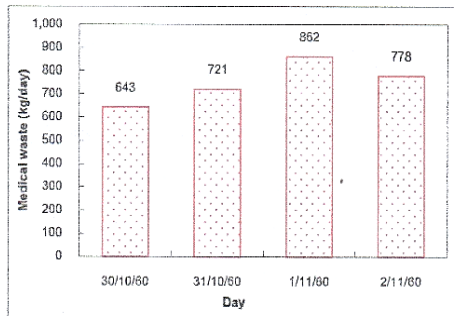


ก) ECODAS รุ่น T300 ข) หม้อไอน้ำแบบขดลวดไฟฟ้ารูปที่ 5 อุปกรณ์การบำบัดขยะติดเชื้อ



4.3 ปริมาณขยะติดเชื้อต่อวัน

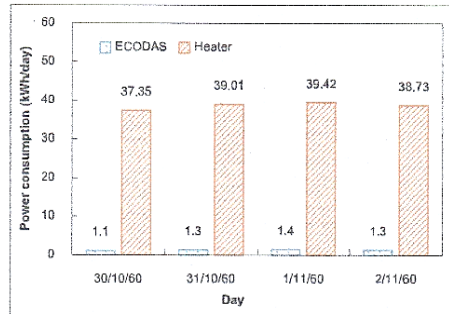
จากการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อเป็นเวลา 4 วัน (30 ตุลาคม พ.ศ. 2560 ถึง 2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560) พบว่า ปริมาณขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นต่อวันมีค่าเฉลี่ยประมาณ 750 kg/day แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ปริมาณขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นจากการรวบรวมการบำบัดขยะติดเชื้อ

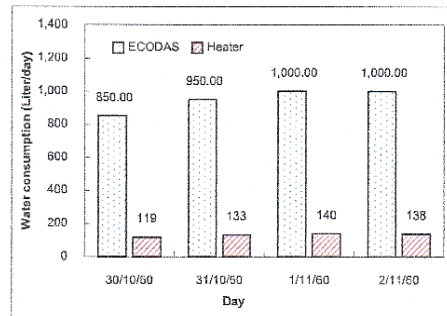
4.4 ปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการกำจัดขยะติดเชื้อ

พลังงานที่ใช้ในการป้อนให้แก่เครื่อง ECODAS และหม้อไอน้ำแบบขดลวดไฟฟ้า คือ พลังงานไฟฟ้า โดยมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 1.28 kWh/day ในขณะที่พลังงานไฟฟ้าส่วนมากสูญเสียไปกับการผลิตไอน้ำด้วยขดลวดไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 38.63 kWh/day โดยมีชั่วโมงการทำงานอยู่ที่ 19 h/day ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์บำบัดขยะติดเชื้อ

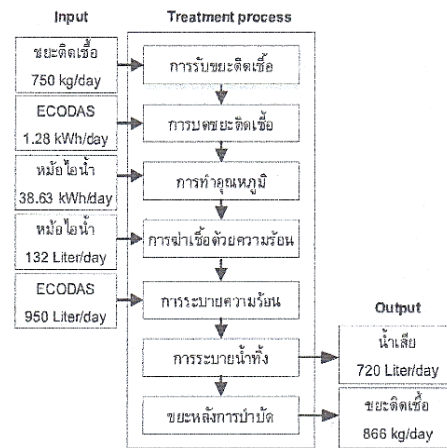
นอกจากไฟฟ้าแล้ว ในกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อต้องใช้น้ำเป็นทรัพยากรที่สำคัญในการบำบัด โดยใช้ปริมาณน้ำในการระบายความร้อนของเครื่อง ECODAS ปริมาณ 950 Liter/day และใช้น้ำในการผลิตไอน้ำในกระบวนการฆ่าเชื้อจากหม้อไอน้ำแบบไฟฟ้าปริมาณ 132.50 Liter/day ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 การใช้น้ำของอุปกรณ์บำบัดขยะติดเชื้อ

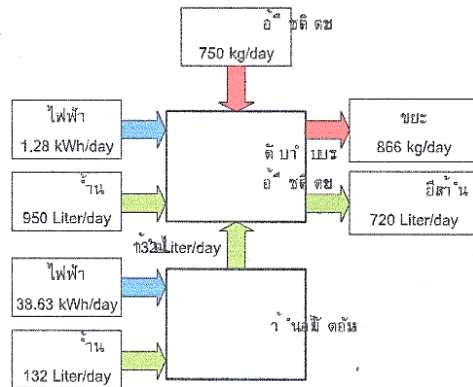
4.5 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลพลังงานและวัตถุดิบที่ป้อนให้แก่ระบบ ดังแสดงในรูปที่ 9 และ 10 ร่วมกับข้อมูลปริมาณวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างโรงเรือนและระบบบำบัดขยะติดเชื้อ ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า การเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ เป็นผลที่เกิดขึ้นทางอ้อม (Indirect) ทั้งหมด ไม่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง (Direct) โดยขั้นตอนการบำบัดขยะติดเชื้อปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนมากที่สุด คือ 9,667,026.48 kg CO₂-eq ตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี มีการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนของขั้นตอนการก่อสร้างโรงเรือนและเครื่องบำบัดเท่ากับ 23,337.36 kg CO₂-eq และเมื่อหมดอายุการใช้งาน นำวัสดุบางชนิดกลับมาใช้งาน สามารถลดปริมาณคาร์บอนได้เท่ากับ 14,328.90 kg CO₂-eq ดังนั้นตลอดอายุการใช้งานจะมีปริมาณคาร์บอนเกิดขึ้นสุทธิ 9,676,035 kg CO₂-eq คิดเป็น 1.767 kg CO₂-eq/kg_{MGW} ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 2



รูปที่ 9 การวิเคราะห์ตามขั้นตอนวัฏจักรชีวิต





รูปที่ 10 วัสดุและพลังงานที่เข้าและออกระบบบำบัดขยะติดเชื้อ

ตารางที่ 2 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

Raw material	Quantity	Unit	EF ¹	GHG
Construction phase				
Building and construction material				
Cast iron	1,350	kg	1.51	2,038.50
Metal sheet zinc	834	kg	0.437	364.46
Concrete	6,435	kg	0.31	1,994.85
Concrete block	4,315	kg	0.31	1,337.65
Screws, nut and bolt	15	kg	0.57	8.55
Sanitary ceramics	2,039	kg	2.4	4,893.60
Wood window	28	kg	0.095	2.66
Class	68	kg	1.26	85.68
Aluminum alloy	40	kg	6.33	253.20
Warehouse door and class door	22	kg	2.31	50.82
Wire mesh	159	kg	2.31	367.29
ECODAS				
Stainless steel 80%	2,480	kg	3.38	8,382.40
Iron, steel and production mix	30	kg	0.9	27.00
Steel, low-alloyed and hot rolled	297	kg	2.31	686.07
Reinforcing steel	95	kg	2.52	239.40
Aluminum	80	kg	6.33	506.40
Spathic	40	kg	1.067	42.68
Steel, low-alloyed and hot rolled	50	kg	2.31	115.50
PVC	18	kg	0.41	7.38
Plastic	15	kg	0.065	0.98
Motor				
Carbon steel	200	kg	2.31	462.00
Steel, low-alloyed and hot rolled	150	kg	2.31	346.50
Stainless steel hot rolled coil	70	kg	3.31	231.70
Copper	80	kg	5.1	408.00
PVC	15	kg	0.41	6.15
Heater				

Raw material	Quantity	Unit	EF ¹	GHG
Cast iron	64	kg	1.51	96.64
Pipe (Alloy steel)	9	kg	0.474	4.27
PVC	0.5	kg	2.19	1.10
Metal sheet	40	kg	0.47	18.80
Plastic	2	kg	0.065	0.13
Copper	70	kg	5.1	357.00
Operation phase				
Medical waste				
Plastic	262.50	kg/day	0.411	787,578
Water	75.00	kg/day	0.704	385,440
Fabric	112.50	kg/day	2.00	1,642,500
Cotton fiber	150.00	kg/day	2.71	2,967,450
Stainless steel	150.00	kg/day	3.38	3,701,100
ECODAS				
Water	0.95	m ³ /day	0.704	4,882.24
Electricity	1.275	kWh/day	0.609	5,668
Heater				
Water	0.13	m ³ /day	0.704	680.94
Electricity	38.628	kWh/day	0.609	171,726
Decommissioning (Recycle)				
Cast iron	1,414	kg	-2.1	(2,969.40)
Metal sheet zinc	834	kg	-2.1	(1,751.40)
Aluminum alloy	40	kg	-16.2	(648.00)
Stainless steel 80%	2,480	kg	-2.1	(5,208.00)
Steel, low-alloyed and hot rolled	497	kg	-2.1	(1,043.70)
Reinforcing steel	95	kg	-2.1	(199.50)
Aluminum	80	kg	-16.2	(1,296.00)
Spathic	40	kg	-2.1	(84.00)
Carbon steel	200	kg	-2.1	(420.00)
Stainless steel hot rolled coil	70	kg	-2.1	(147.00)
Copper	150	kg	-3.06	(459.00)
Pipe (Alloy steel)	9	kg	-2.1	(18.90)
Metal sheet	40	kg	-2.1	(84.00)
Total GHG emission (kg CO ₂ -eq/Lifetime)				9,676,035
Total GHG emission (kg CO ₂ -eq/kg _{MGW})				1.767

หมายเหตุ: ¹ อ้างอิงค่าแฟกเตอร์การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จาก IPCC [8] และ อบก. [9]

4.6 การประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลการลงทุนและค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ผลการศึกษาพบว่า การบำบัดขยะติดเชื้อ 1 kg_{MGW} จะมีต้นทุนต่อหน่วยของการกำจัดขยะติดเชื้อเท่ากับ 6.069 Baht/kg_{MGW} ดังแสดงรายละเอียดการคำนวณและผลการประเมินในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การประเมินต้นทุนต่อหน่วยของการกำจัดขยะติดเชื้อ

รายละเอียด	ปริมาณ
มูลค่าระบบบำบัดขยะ (Inv _{ECODAS} , Baht)	12,000,000
มูลค่าโรงเรือน (Inv _{Building} , Baht)	975,000

มูลค่าการลงทุนรวม (Inv, Baht)	12,975,000
ค่าไฟฟ้าต่อปี ($PC_{Electricity}$, Baht/y)	61,477
ค่าน้ำประปาต่อปี (PC_{Water} , Baht/y)	3,753
ค่าจ้างคนงาน (2 คน) ต่อปี (PC_{Op} , Baht/y)	360,000
ค่าใช้จ่ายรวมรายปี (PC, Baht/y)	425,230
มวลของขยะ (M_{MCW} , kg _{MCW} /day)	750
ระยะเวลาการทำงาน (t_{Op} , day/y)	365
อายุการใช้งาน (N, y)	20
ค่าต้นทุนต่อหน่วย (LC, Baht/kg _{MCW})	3.185

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาของงานวิจัยนี้ สามารถสรุปเนื้อหาสำคัญได้ดังนี้

1. ผลงานหลักที่ป้อนให้แก่ระบบบำบัดขยะติดเชื้อแบบบด ย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน คือ ไฟฟ้าในอัตรา 39.91 kWh/day และน้ำในปริมาณ 1,082 Liter/day
2. การบำบัดขยะติดเชื้อบดปล่อยปริมาณคาร์บอนรวมทั้งสิ้น 9,676,035 kg CO₂-eq ตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี คิดเป็น 1.767 kg CO₂-eq/kg_{MCW}
3. การประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า การจัดการขยะติดเชื้อ 1 kg_{MCW} มีต้นทุนต่อหน่วยของการกำจัดขยะติดเชื้อเท่ากับ 3.185 Baht/kg_{MCW}

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยหลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้ "โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงาน ทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา" และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้ "แผนงานพลังงาน ทดแทนภายใต้โครงการความร่วมมือระหว่างไทย-จีน 2560 และขอขอบคุณ โรงพยาบาลลำปาง และบริษัท นาวิวัฒน์การช่าง (1992) จำกัด ที่สนับสนุนด้านสถานที่ในการศึกษาวิจัย

7. อ้างอิง

- [1] ศูนย์อนามัยที่ 5, กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. ระบบออนไลน์: <http://www.hpc.go.th>, เข้าถึงเมื่อ: 9 ธันวาคม 2560.
- [2] Bujak J W. Production of waste energy and heat in hospital facilities. Energy 2015;91:350-362.
- [3] Bujak J W. Thermal treatment of medical waste in a rotary kiln. J Environ Manage 2015;162:139-47.
- [4] Bujak J W. Heat recovery from thermal treatment of medical waste. Energy 2015;90:1721-1732.
- [5] Shen Y, Yu S, Ge S, Chen X, Ge X, Chen M. Hydrothermal carbonization of medical wastes and lignocellulosic biomass for solid fuel production from lab-scale to pilot-scale. Energy 2017;118:312-323.
- [6] World health organization topic is health care and medical waste by department of public health, Environmental and

social determinants of health. Online: <http://www.who.int>, Accessed: 9 December 2017.

- [7] ECODAS. Online: www.contact@ecodas.com, Accessed: 9 December 2017.
- [8] IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2, Energy. Online: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>, Accessed: 9 December 2017.
- [9] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), Emission factor. อ อ น โ ล นี : http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_822ebb1ed5.pdf, เข้าถึงเมื่อ: 9 ธันวาคม 2560.



การวิเคราะห์ต้นทุนด้านพลังงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ด้วยเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อ
ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษา: โรงพยาบาลลำปาง
Energy Costing of Organic Rankine Cycle Using Medical Waste
from Mathematical Model a Case Study: Lampang Hospital

ศรศักดิ์ เสงنوانวงศ์¹ นัฐพร ไชยญาติ^{1*} ชวโรจน์ ใจสิน¹ และ จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล²
Sonesack Sengnavong¹, Nattaporn Chaiyat^{1*}, Chawaroj Jaisin¹ and Chakkraphan Thawongngamyigsakul²

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

¹School of Renewable Energy, Meajo University

²Faculty of engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak

* Corresponding author: benz178tii@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้า ด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ และการวิเคราะห์ต้นทุนเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อ ซึ่งอ้างอิงจากข้อมูลปริมาณขยะของโรงพยาบาลลำปาง ในการศึกษาได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม Refprop สำหรับการประเมินศักยภาพด้านพลังงานและเศรษฐศาสตร์ จากผลการจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า เมื่อนำขยะติดเชื้อปริมาณ 750 kg/day ของโรงพยาบาลลำปางมาทำการอบแห้งโดยโรงเรือนพลาสติก เป็นระยะเวลาทั้งหมด 12 h เชื้อเพลิงขยะติดเชื้อหลังการอบแห้งจะมีค่าความชื้นอยู่ที่ 5.65% โดยมีค่าความร้อนต่ำ 26.29 MJ/kg และเมื่อป้อนเชื้อเพลิงขยะในอัตรา 39.47 kg/h ให้แก่ระบบผลิตไฟฟ้า พบว่า วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 13 kW_e ที่ใช้สารทำงาน R-245fa มีประสิทธิภาพด้านผลิตไฟฟ้า 8.97% ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ พบว่า ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงขยะอบแห้งมีค่าเท่ากับ 3.185 Baht/kg_{Medical waste} และต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 4.668 Baht/kWh
คำสำคัญ: เชื้อเพลิงขยะติดเชื้อ วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ พลังงานทดแทน

Abstract

This research studies levelized of electricity cost (LOEC) of organic Rankine cycle (ORC) and medical waste fuel, which refers the medical waste data of Lampang hospital. The mathematical model is developed in this study by using Refprop program for evaluating energy and economic potentials. From the simulation results, it could be found that when medical waste of Lampang hospital at around 750 kg/day was heated by solar greenhouse drying room as 12 h, the dried medical waste shown moisture as 5.65% and low heating value at 26.29 MJ/kg. Moreover, when the waste fuel of 39.47 kg/h was supplied to electricity machine, the 13 kW_e ORC unit with using R-245fa as refrigerant revealed energy efficiency of 8.97%. In economic results, it could be found that levelized cost (LC) of the dried medical waste fuel was 3.185 Baht/kg_{Medical waste} and the LOEC was 4.668 Baht/kWh.

Keywords: Medical waste fuel, Organic Rankine cycle, Renewable energy.

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

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



บทนำ

ปัจจุบันสถานการณ์ในประเทศไทยมีปริมาณของเสียทั้งที่เป็นขยะมูลฝอยทั่วไป และขยะมูลฝอยติดเชื้อ ในแต่ละวันเป็นจำนวนมาก โดยองค์ประกอบทางกายภาพของขยะติดเชื้อประกอบด้วยพลาสติก สาลี ผักกอก ผักพืชมล็ด กระดาษชำระ เข็มฉีดยา และเม็ดผ้าตัด เป็นต้น ซึ่งขยะมูลฝอยจากสถานพยาบาลจัดเป็นของเสียอันตราย เนื่องจากสามารถแพร่เชื้อโรคได้ และส่วนใหญ่ยังไม่มีการจัดการเก็บรวบรวมหรือกำจัดอย่างถูกวิธี โดยสถานการณ์ปริมาณขยะมูลฝอยติดเชื้อในปี พ.ศ. 2560 เพิ่มขึ้นจากปี 2558 จำนวน 1,778 ton หรือคิดเป็น 3.3% และในการกำจัดขยะโดยทั่วไปมักจะใช้วิธีการกำจัดด้วยความร้อน อาทิเช่น การเผาแบบเผาไหม้ตรงที่อุณหภูมิสูง การใช้ไอน้ำในการบำบัดขยะติดเชื้อ และการฝังกลบ เป็นต้น ซึ่งปกติแล้วกระบวนการกำจัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ด้วยเตาเผาขยะพิษ หรือขยะอันตรายต้องมีอุณหภูมิสูงกว่า 1,200°C ขึ้นไป และกำจัดสารพิษประเภทโลหะหนัก ตะกั่ว พรอท โดยมีตัวกรองไอเสีย (Flue gas cleaning) เป็นส่วนประกอบสำคัญในการกำจัดแก๊สพิษ จากข้อมูลดังกล่าวเห็นว่า ขยะติดเชื้อที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ จึงเกิดแนวคิดในการนำขยะติดเชื้อมาผลิตเป็นพลังงาน (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2561) เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาขยะติดเชื้อของสถานพยาบาลต่าง ๆ ในประเทศไทย

ในการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ อาทิเช่น Bujak (2015) ได้ทำการศึกษาการนำขยะติดเชื้อมาทำการเผาไหม้ด้วยการหมุนแบบโรตารีคาย (Rotary kiln) เพื่อผลิตน้ำร้อนป้อนให้แก่ระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก ผลการศึกษาพบว่า มีประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 79% ปรีชญา และสมรรฐ (2556) ได้นำขยะจากหลุมฝังกลบมาใช้ผลิตพลังงานในรูปแบบของแก๊ส โดยเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลลง ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) ในระดับเครื่องต้นแบบขนาด 50 kg/h และนำแก๊สเชื้อเพลิงใช้ร่วมกับเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อผลิตไฟฟ้า ผลการศึกษาพบว่า สามารถทดแทนการใช้ น้ำมันดีเซลในการผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 73.33% และแก๊สที่ได้มีค่าความร้อนสูงสุด 3.99 MJ/Nm³ ณวรรษดา (2555) ได้ทำการศึกษาการเผาขยะในประเทศญี่ปุ่น โดยเน้นที่ผลประโยชน์ของการผลิตไฟฟ้าจากขยะ ผลการศึกษาพบว่า ประเทศญี่ปุ่นมีโรงงานผลิตไฟฟ้าจากขยะในประเทศมากถึง 306 แห่ง หรือคิดเป็น 25.1% จากปริมาณโรงงานเผาขยะทั้งหมดและมีกำลังการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด 1,700 MW Shen et al. (2017) ได้ทำการศึกษา การนำเศษไม้และขยะติดเชื้อมาย่อยสลายด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน (Hydrothermal carbonization) ผลการศึกษาพบว่า จากขบวนการดังกล่าวเศษไม้และขยะติดเชื้อถูกแปรสภาพให้กลายเป็นถ่านโดยมีค่าความร้อนสูงอยู่ที่ 24.18 MJ/kg

จากงานวิจัยที่กล่าวมาในข้างต้น พบว่า ยังไม่มีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อ ดังนั้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่ต้องการวิเคราะห์ต้นทุนด้านพลังงานของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ด้วยเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ (Organic Rankine cycle, ORC)

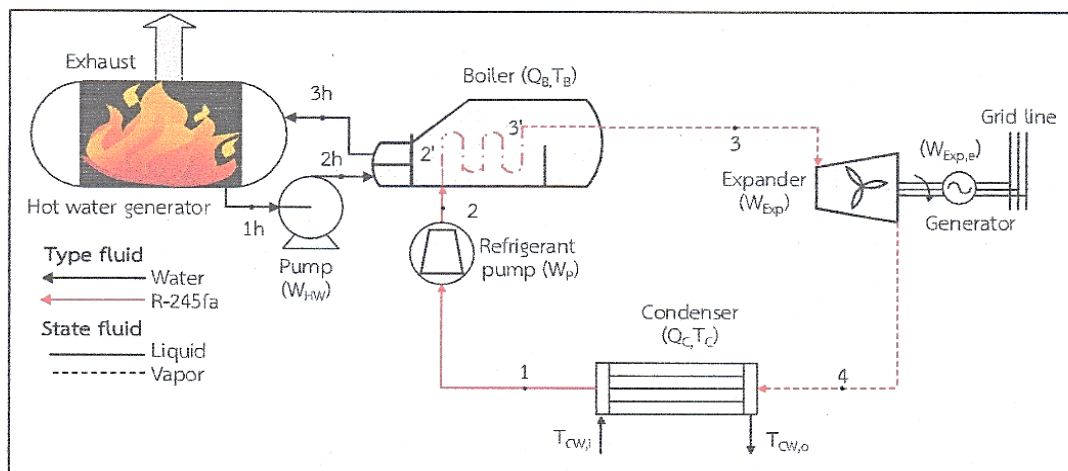
ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ มีหลักการทำงานดังแสดงรูปที่ 1 โดยเริ่มจากการนำเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อไปป้อนให้แก่เตาเผาเพื่อผลิตน้ำร้อน สำหรับใช้เป็นแหล่งความร้อนในวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ เมื่อสารทำงานได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนดังกล่าวที่หม้อต้ม (Boiler) จะระเหยกลายเป็นไอเข้าสู่เครื่องขยายตัว (Expander) ขับหมุนเพลลาที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อผลิตไฟฟ้า หลังจากนั้นอุณหภูมิและความดันของสารจะลดลงเข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) เพื่อควบแน่นสารทำงานให้กลายเป็นของเหลว และถูกปั๊มเข้าสู่หม้อต้มเพื่อเริ่มต้นกระบวนการใหม่อีกครั้ง

ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ (η_{ORC}) ดังแสดงในสมการที่ 1

$$\eta_{\text{ORC}} = (W_{\text{Exp,e}} - W_{\text{p}}) / Q_{\text{B}} \quad (1)$$

อัตราการความร้อนที่หาได้จากการเผาไหม้โดยตรงจากขยะติดเชื้อดังแสดงในสมการที่ 2

$$\begin{aligned} Q_{\text{MCW}} &= \dot{m}_{\text{MCW}} \text{LHV}_{\text{MCW}} \\ Q_{\text{HW}} &= \varepsilon_{\text{incinerator}} Q_{\text{MCW}} \\ Q_{\text{B}} &= \varepsilon_{\text{B}} Q_{\text{HW}} \end{aligned} \quad (2)$$



รูปที่ 1 แผนภาพการทำงานของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับเตาเผาขยะ

ต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้า (Levelized of electricity cost, LOEC)

การวิเคราะห์ต้นทุนด้านพลังงานของการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ โดยใช้พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ขยะติดเชื้อติดเชื้อดังแสดงในสมการที่ 3 (Chaiyat, 2015)

$$\text{LOEC} = \frac{\text{Inv} + \sum_{t=1}^n \frac{\text{PEC}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{W_{\text{net } t\text{OP}}}{(1+r)^t}} \quad (3)$$

วิธีการศึกษา

ในการศึกษาการวิเคราะห์ต้นทุนด้านพลังงานของการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ จากเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของโรงพยาบาลลำปาง มีวิธีการศึกษาดังต่อไปนี้

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

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



1. การสำรวจและเก็บข้อมูลของกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ ปริมาณขยะติดเชื้อทางการแพทย์ และการประเมินต้นทุนต่อหน่วยการบำบัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง โดยมีเงื่อนไขในการคำนวณดังต่อไปนี้
 - 1.1. มูลค่าการลงทุนโครงการ (Inv) = ราคาโรงเรือนบำบัดขยะติดเชื้อ (Z_{Building}) + ราคาเครื่องบำบัดขยะติดเชื้อ (Z_{CODUS})
 - 1.2. ระยะเวลาการทำงาน (t_{op}) เท่ากับ 19 h/day ทำงาน 365 day/year
 - 1.3. อายุการใช้งานของระบบบำบัดขยะติดเชื้อ (n) คิดที่ 20 year
 - 1.4. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Z_{op}) คิดที่คนละ 15,000 Baht/moth จำนวน 2 person
 - 1.5. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคาร (r) โดยคิดที่ 7.12% (ธนาคารกรุงไทย, 2561)
2. การอบแห้งขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการบำบัดแล้วด้วยโรงเรือนพลาสติกขนาดการผลิต 2,000 kg ที่มีขนาดกว้าง 3 m ยาว 6 m และสูง 2 m โดยใช้เวลาในการอบแห้ง 12 h ที่ทำการชั่งน้ำหนักทุก ๆ 1 h
3. การวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่ผ่านการอบแห้ง โดยวิธีการวิเคราะห์หาโครงสร้างองค์ประกอบของเชื้อเพลิง (Proximate analysis) และการวิเคราะห์สัดส่วนของธาตุ (Ultimate analysis)
4. การประเมินศักยภาพทางพลังงานด้วยการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ใช้แหล่งความร้อนจากเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อ โดยโปรแกรมเรฟโปรป (Refprop) (NIST, 2018) ดังแสดงในภาพที่ 2 มีเงื่อนไขในการคำนวณดังต่อไปนี้
 - 4.1. สารทำงานที่ใช้ในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ คือ R-245fa
 - 4.2. ขอลไหลที่เข้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เป็นน้ำร้อนอุณหภูมิ ($T_{\text{HW},i}$) เท่ากับ 105°C
 - 4.3. อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องควบแน่น ($T_{\text{CW},i}$) เท่ากับ 32°C
 - 4.4. ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกของปั๊ม ($\eta_{\text{s,p}}$) และเครื่องขยายตัว ($\eta_{\text{s,exp}}$) เท่ากับ 80%
 - 4.5. ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (η_g) เท่ากับ 80%
 - 4.6. ประสิทธิภาพของหม้อต้ม (ϵ_b) และเตาเผาขยะ ($\epsilon_{\text{Incinerator}}$) เท่ากับ 80%
 - 4.7. ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อ (Lower heating value) อ้างอิงผลการวิเคราะห์ในข้อที่ 3
5. การวิเคราะห์ต้นทุนด้านพลังงานของการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยใช้ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ โดยมีเงื่อนไขในการคำนวณดังต่อไปนี้
 - 5.1. ขนาดระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (W_{ORC}) อ้างอิงผลการวิเคราะห์ในข้อที่ 4
 - 5.2. ราคาของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ($Z_{\text{ORC, Unit}}$) อ้างอิงราคาของระบบที่ผลิตเองในประเทศของ นัฐพร (2560) ดังแสดงในตารางที่ 1

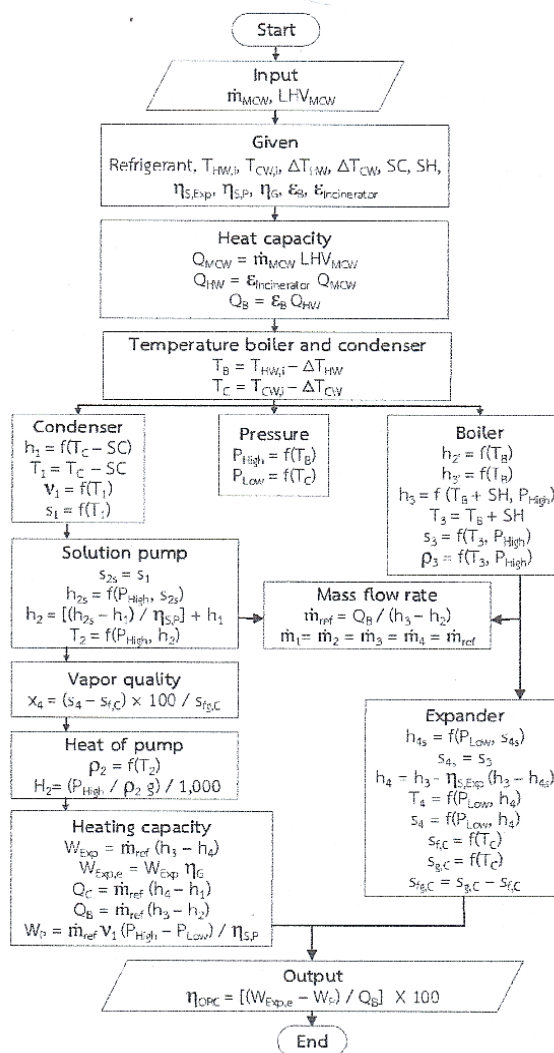
ตารางที่ 1 ราคาของระบบผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (นัฐพร, 2560)

ORC capacity (kW _e)	ORC cost (Baht)
Waste heat machine: ORC-10	1,500,000
Waste heat machine: ORC-20	1,800,000

- 5.3. ราคาที่ดิน (Z_{land}) คิดที่ 625 Baht/m² โดยใช้พื้นที่ทั้งหมด 300 m² (Chiangmai provincial land office, 2018)
- 5.4. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (Z_{OM}) คิดที่ 5% ของราคาวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
- 5.5. ราคาของโรงเรือนพลาสติก ($Z_{\text{Solar greenhouse}}$) เท่ากับ 200,000 Baht/Unit



- 5.6. ราคาเครื่องเรือน (Z_{Building}) ค่าเตาเผาขยะ ($Z_{\text{Incinerator}}$) และค่าท่อน้ำร้อน (Z_{Piping}) คิดที่ 50% ของราคาวิศวกรแรงคินสารอินทรีย์
- 5.7. อายุการใช้งานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (n) คิดที่ 20 year
- 5.8. ระยะเวลาการทำงาน (t_{OP}) เท่ากับ 19 h/day ทำงาน 365 day/year
- 5.9. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Z_{OP}) คิดที่ 15,000 Baht/month จำนวน 1 person
- 5.10. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคาร (r) โดยคิดที่ 7.12% (ธนาคารกรุงไทย, 2561)



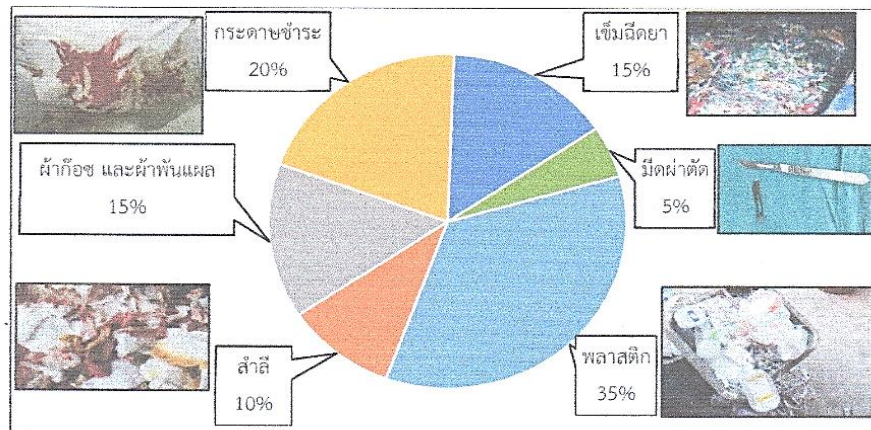
รูปที่ 2 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

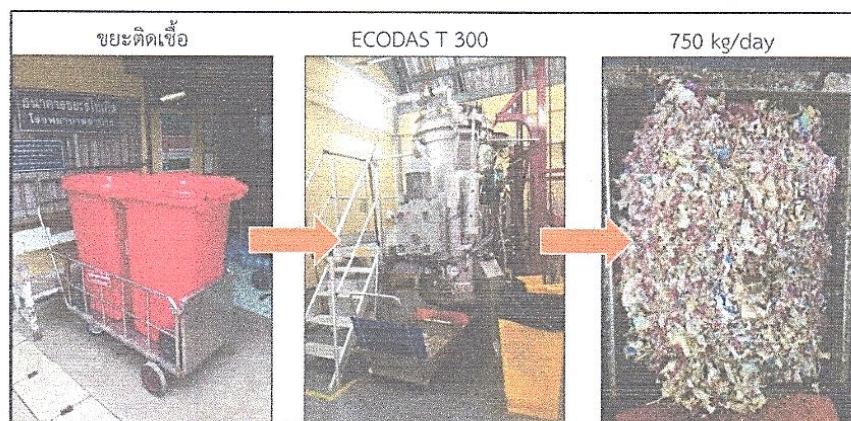
ผลการวิเคราะห์ต้นทุนด้านพลังงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ด้วยเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง แสดงดังต่อไปนี้

1. ผลการสำรวจและเก็บข้อมูลขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของโรงพยาบาลลำปาง

จากการสำรวจและเก็บข้อมูล พบว่า ขยะติดเชื้อจะถูกแบ่งออก 2 ส่วน คือ ส่วนที่สามารถบำบัดได้ทันที และส่วนที่ไม่สามารถบำบัดได้ประกอบไปด้วยโลหะ อาทิเช่น เข็มฉีดยา มีดผ่าตัด เป็นต้น โดยมีปริมาณขยะติดเชื้อทางการแพทย์ที่สามารถบำบัดได้ประมาณ 750 kg/day โดยทำการบำบัดด้วยเครื่อง ECODAS รุ่น T300 ด้วยวิธีการบดย่อย และฆ่าเชื้อ ที่อุณหภูมิประมาณ 135-140 °C อันประกอบไปด้วย พลาสติก สาลี และผ้ากอซ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ



รูปที่ 3 ปริมาณขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของโรงพยาบาลลำปาง



รูปที่ 4 การคัดแยกและกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ

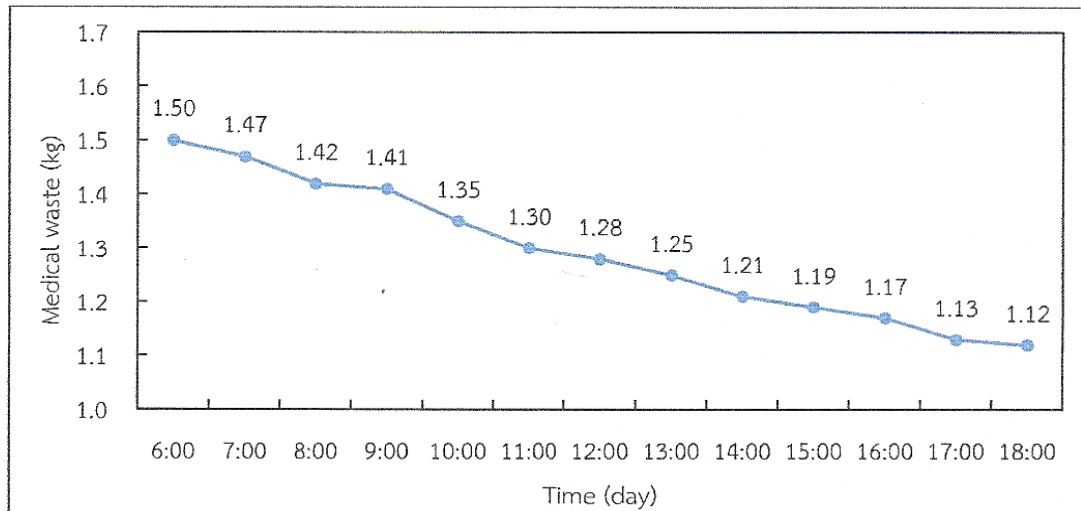
การประเมินต้นทุนต่อหน่วยของการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของโรงพยาบาลลำปาง พบว่า การบำบัดขยะติดเชื้อ 1 kg_{Medical waste} มีต้นทุนต่อหน่วยของการบำบัดขยะติดเชื้อเท่ากับ 3.185 Baht/kg_{Medical waste} มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การประเมินต้นทุนต่อหน่วยของการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ (Sonesack et al. 2017)

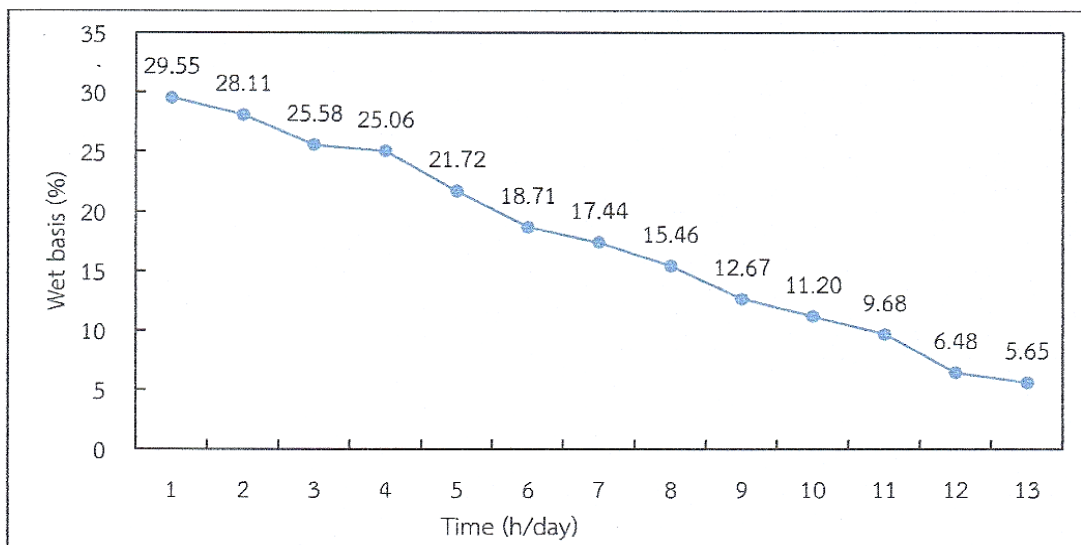
Description	Data	Unit
Cost of ECODUS model T300 (Z_{FCODUS})	12,000,000	Baht
Cost of building ($Z_{Building}$)	975,000	Baht
Investment cost (Inv)	12,975,000	Baht
Cost of electricity ($PC_{Electricity}$)	61,477	Baht/year
Cost of water (PC_{Water})	3,753	Baht/year
Operating cost (PC_{OP})	360,000	Baht/year
Cost of maintenance (Z_{OM})	425,230	Baht/year
Mass of medical waste ($M_{Medical\ waste}$)	750	kg _{Medical waste} /day
Operating time (t_{OP})	365	day/year
Life time (n)	20	year
Levelized cost (LC)	3.185	Baht/kg _{Medical waste}

2. ผลการอบแห้งของขยะติดเชื้อทางการแพทย์

จากการนำตัวอย่างของขยะติดเชื้อที่ผ่านการบำบัดมาทำการอบแห้งในโรงเรือนพลาสติก ที่น้ำหนักเริ่มต้น 1.5 kg ตั้งแต่เวลา 06:00-18:00 น. เป็นเวลาทั้งหมด 12 h และมีการชั่งน้ำหนักทุก ๆ 1 h จากผลการศึกษาพบว่า การอบแห้งขยะติดเชื้อมีอัตราการลดลงของน้ำหนักประมาณ 0.016 kg/h น้ำหนักสุดท้ายหลังการอบแห้งเหลือ 1.12 kg และนำไปประเมินค่าความชื้นฐานเปียกของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อมีค่าอยู่ที่ 5.65% ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ โดยสภาพอากาศในวันที่ทำการอบแห้งมีอุณหภูมิแวดล้อมโดยเฉลี่ยประมาณ 28.44 °C อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งโดยเฉลี่ยประมาณ 45.07 °C และจากการตรวจวัดค่ารังสีอาทิตย์ในแนวระนาบมีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 590 W/m²



รูปที่ 5 น้ำหนักขยะติดเชื้อแต่ละชั่วโมงในโรงเรือนพลาสติก



รูปที่ 6 ค่าความชื้นฐานเปียกของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อที่ผ่านการอบแห้งโดยโรงเรือนพลาสติกในแต่ละชั่วโมง

3. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อที่ผ่านการอบแห้ง

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างองค์ประกอบของเชื้อเพลิงและการวิเคราะห์สัดส่วนของธาตุ พบว่า มีค่าความร้อนต่ำ 26.29 MJ/kg ซึ่งจะถูกนำมาประเมินการผลิตไฟฟ้าในหัวข้อถัดไป ดังแสดงในตารางที่ 3 (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2560)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อที่ผ่านการอบแห้ง

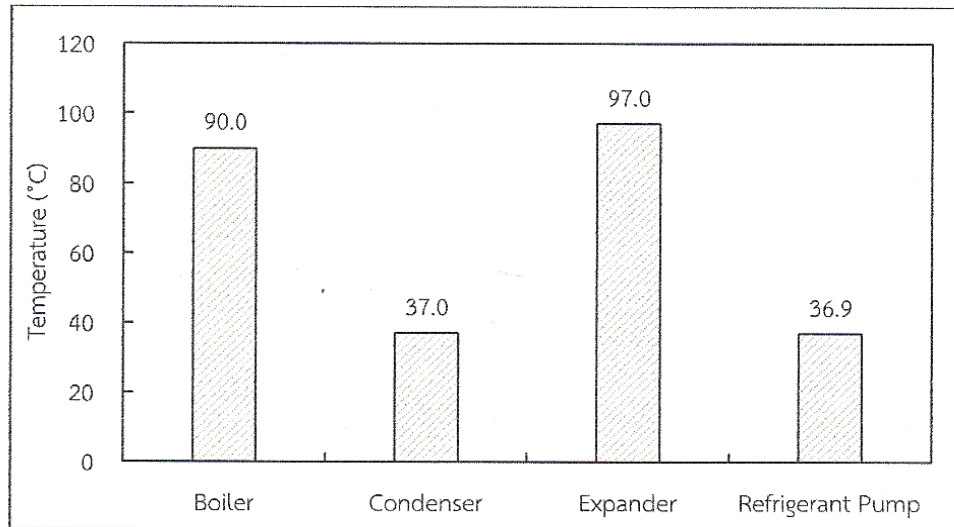
Parameter	Testing standard	Result	Unit
Proximate analysis			
Moisture	ASTM D 7582	5.65	%
Fix carbon	ASTM D 7582	5.70	%
Volatile matter	ASTM D 7582	82.20	%
Ash	ASTM D 7582	6.45	%
Ultimate analysis			
Higher heating value	ASTM D 5865	28.38	MJ/kg
Lower heating value	ASTM D 5865	26.29	MJ/kg
Carbon	ASTM D 5373	58.00	%
Hydrogen	ASTM D 5373	9.33	%
Nitrogen	ASTM D 5373	0.73	%
Oxygen	ASTM D 5373	25.35	%
Sulfur	ASTM D 4239	0.14	%

4. ผลการประเมินศักยภาพทางพลังงาน

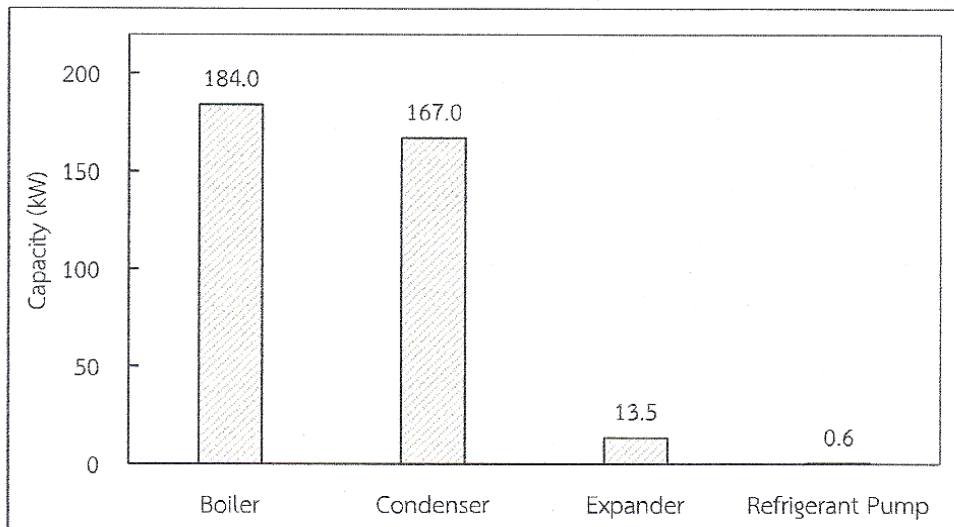
ผลการประเมินศักยภาพทางพลังงานด้วยการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ใช้สารทำงาน R-245fa มีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ป้อนให้แก่หม้อต้มอยู่ที่ประมาณ 105 °C โดยใช้เชื้อเพลิงขยะติดเชื้อที่ผ่านการอบแห้งเป็นแหล่งความร้อนที่ป้อนให้แก่ระบบ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เครื่องควบแน่นประมาณ 32 °C และขนาดของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ที่มีความเหมาะสมกับแหล่งความร้อนดังกล่าว คือ ขนาดการผลิตไฟฟ้า 13 kW_e อัตราการป้อนเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อที่ผ่านการอบแห้งอยู่ที่ 39.47 kg/h

จากผลการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ และอุณหภูมิสารทำงานที่อยู่ในหม้อต้ม เครื่องควบแน่น เครื่องขยายตัว และปั๊มสารทำงานดังแสดงในรูปที่ 7 ในขณะที่เดียวกันยังมีอัตราการถ่ายเทความร้อนของสารทำงานในแต่ละอุปกรณ์ ซึ่งมีผลต่อการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ดังแสดงในรูปที่ 8 และเมื่อนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับ การทดสอบของ Chaiyat and Kaitisiroat (2015) พบว่าประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความถูกต้อง และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ได้ในหัวข้อต่อไป

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



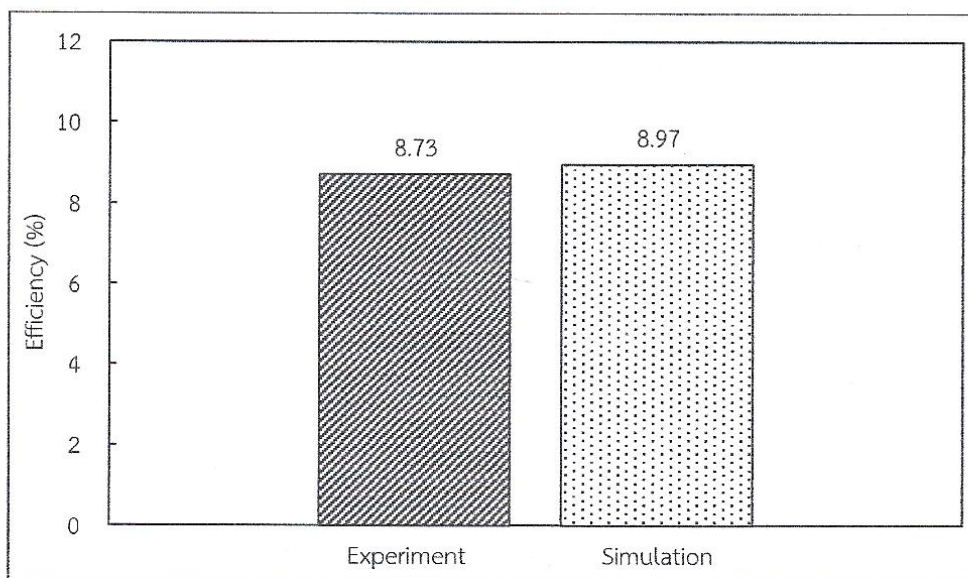
รูปที่ 7 อุณหภูมิสารทำงานในแต่ละอุปกรณ์ของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 8 อัตราการถ่ายเทความร้อนและกำลังของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

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



รูปที่ 9 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากการทดสอบ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

5. ผลการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้า

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ จากเชื้อเพลิงขยะติดเชื้อทางการแพทย์ดังแสดงในตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ พบว่า ราคาต้นทุนของขยะติดเชื้อหลังการบำบัดแล้วมีค่าอยู่ที่ 3.185 Baht/kg_{Medical waste} และเงินลงทุนโครงการอยู่ที่ 2,772,500 Baht โดยคิดเป็นต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 4.668 Baht/kWh

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้า

Description	Data	Unit
Capacity of ORC ($W_{ORC,e}$)	13	kW_e
Heat capacity of boiler (Q_B)	184	kW
Heat capacity of hot water (Q_{HW})	230	kW
Heat capacity of medical waste ($Q_{Medical\ waste}$)	288	kW
Cost of ORC ($Z_{ORC, Unit}$)	1,590,000	Baht
Cost of land for 300 m ² (Z_{Land})	187,500	Baht
Cost of maintenance 5% of ORC price (Z_{OM})	79,500	Baht/year
Cost of medical waste fuel ($Z_{Medical\ waste}$)	871,893	Baht/year
Cost of solar greenhouse drying room ($Z_{Solar\ greenhouse}$)	200,000	Baht
Cost of building ($Z_{Building}$), incinerator ($Z_{Incinerator}$) and piping ($Z_{Pipping}$) 50% of ORC price	795,000	Baht

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



Description	Data	Unit
Operating time is 19 h/day (t_{OP})	6,935	h/year
Electrical product generation (PW_{ORC})	95,031	kWh/year
Operating cost (Z_{OP})	180,000	Baht/year
Discount rate (r)	7.12	%
Life time of ORC (n)	20	year
Investment cost ($Inv = Z_{ORC, Unit} + [Z_{Building} + Z_{Incinerator} + Z_{Pipping} + Z_{Solar greenhouse} + Z_{Land}]$)	2,772,500	Baht
Production electricity cost ($PEC = Z_{Medical waste} + Z_{OP} + Z_{OM}$)	1,131,393	Baht/year
Levelized of electricity cost (LOEC)	4.668	Baht/kWh

สรุป

- 1) การสำรวจและเก็บข้อมูลขยะติดเชื้อทางการแพทย์ของโรงพยาบาลลำปาง รวมทั้งสิ้น 750 kg/day
- 2) การอบแห้งของขยะติดเชื้อทางการแพทย์มีอัตราการลดลงของน้ำหนัก 0.016 kg/h
- 3) เชื้อเพลิงขยะติดเชื้ออบแห้งมีค่าความร้อนสูงอยู่ที่ 28.38 MJ/kg และค่าความร้อนต่ำอยู่ที่ 26.29 MJ/kg
- 4) วัฏจักรแรงคินสาร์อินทรีย์ที่เหมาะสม คือ ขนาดการผลิตไฟฟ้า 13 kW_e มีประสิทธิภาพ 8.97% และมีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงอยู่ที่ 39.47 kg/h
- 5) ราคาต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 4.668 Baht/kWh

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้โครงการ “ผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา” และขอขอบคุณโรงพยาบาลลำปาง และ บริษัท นวัตกรรมช่าง (1992) จำกัด ที่สนับสนุนด้านสถานที่ในการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม “ขยะมูลฝอยของประเทศไทย”. 2560. <http://www.pcd.go.th> (28 มีนาคม 2561).
- ฉวรรชดา มะโนคำ. 2555. การเผาขยะในประเทศญี่ปุ่น: ปัจจัยการเกิดและผลประโยชน์ของการผลิตไฟฟ้าจากขยะในประเทศญี่ปุ่นกรณีศึกษาโรงงานเผาขยะ ชินโกโต้. ปริญญาโท สาขาวิชาภาษาญี่ปุ่น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- นัฐพร ไชยญาติ. 2560. การออกแบบระบบพลังงานทดแทน (Renewable energy system design). พิมพ์ครั้งที่ 3, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยแม่โจ้, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- นัฐพร ไชยญาติ. 2560. เทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ (Geothermal energy technology). พิมพ์ครั้งที่ 6, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยแม่โจ้, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- ปรัชญา กริโส และสมรัฐ เกิดสุวรรณ. 2556. การทดสอบระบบผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอยโดยเทคโนโลยีก๊าซซิฟิเคชั่นแบบต่อเนื่อง 200 ชั่วโมง. น. 246-253. ใน: การจัดประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 32. 3-4 พฤศจิกายน 2557. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพมหานคร.

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

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



- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม. 2560. (Thailand Institute of Scientific and Technological Research, TISTR, 2018).
- สำนักงานที่ดินจังหวัดเชียงใหม่ “ราคาที่ดินจังหวัดเชียงใหม่” <http://property.treasury.go.th/pvmwebsite/> (25 มีนาคม 2561).
- ธนาคารกรุงไทย “อัตราดอกเบี้ยเงินให้สินเชื่อ”. 2561. <https://www.ktb.co.th> (20 มีนาคม 2561).
- Sonesack Sengnavong, Nattaporn Chaiyat, Chawaroj Jaisin, Wassamol Lerdjaturanon, Chakkrapan Thawongamyigsakul. 2018. การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ กรณีศึกษา: โรงพยาบาลลำปาง, น. 84-89. ใน: การถ่ายทอดพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 17. 15-16 กุมภาพันธ์ 2561. ลำปาง.
- Bujak, J. 2015. Production of waste energy and heat in hospital facilities. *Energy*. 91: P. 350-362.
- Chaiyat, N. 2015 Assessment alternative energy for organic Rankine cycle power plant in Thailand. *International Journal of engineering and technology* 7: P 0975-4024.
- ECODAS. Online: www.contact@ecodas.com, Accessed: 9 December 2017.
- NIST (National Institute of Standards and Technology), Inc. (Refprop Version 10: Customer Number 40754). Thermodynamic Properties of Refrigerants and Refrigerant Mixtures Software, America. 2018.
- Shen, Y., Yu, S., Ge, S., Chen, X., Ge, X. and Chen, M. Hydrothermal carbonization of medical wastes and lignocellulosic biomass for solid fuel production from lab-scale to pilot-scale. *Energy* 2017; 118: P. 312-323.

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
Inv	มูลค่าการลงทุน	Baht
LOEC	ค่าต้นทุนต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า	Baht/kWh
LHV	ค่าความร้อนต่ำ	MJ/kg
N	จำนวน	Unit
n	จำนวนปีและอายุการใช้งาน	year
ORC	วัฏจักรแรงดันอินทรีย์	kW
P	ความดัน	kPa
PB	ระยะเวลาในการคืนทุน	year
PW	กำลังการผลิตไฟฟ้า	kW
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	kW, kJ
r	อัตราส่วนลด	%
T	อุณหภูมิ	°C
t	เวลา	h
W	กำลังไฟฟ้า	kW
Z	รายจ่าย	Baht

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	Mr. Sonesack Sengnavong
เกิดเมื่อ	19 FEB 1994
ประวัติการศึกษา	2011-2016 ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยแห่งชาติลาว ภาควิชาเครื่องกล สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม 2008-2011 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนมิตรภาพเวียงจันทน์ โฮจิมินห์ นครหลวงเวียงจันทน์

