

การประเมินและการบริหารจัดการของเสีย: กรณีศึกษา สำนักการเรียนรู้ตลอด
ชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
WASTE ASSESSMENT AND MANAGEMENT: A CASE STUDY OF KMITL
LIFELONG LEARNING CENTER



นายกษิติเดช แก่นนาคำ
MR. KASIDET KANNAKUM
นายเกียรติพนธ์ เจตน์โสภณ
MR. KIATTIPON JADSOPON

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WASTE ASSESSMENT AND MANAGEMENT: A CASE STUDY OF KMITL
LIFELONG LEARNING CENTER



MR. KASIDET KANNAKUM
MR. KIATTIPON JADSOPON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

การประเมินและการบริหารจัดการของเสีย: กรณีศึกษา สำนักงาน
เรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

WASTE ASSESSMENT AND MANAGEMENT: A CASE STUDY OF
KMITL LIFELONG LEARNING CENTER

นักศึกษา

นายกษิติเดช แก่นนาคำ รหัสประจำตัว 62010040
นายเกียรติพนธ์ เจตน์โสภณ รหัสประจำตัว 62010079

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์



(รศ.ดร.จรัสวรรณ โกยวานิช)

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การประเมินและการบริหารจัดการของเสีย: กรณีศึกษา สำนักงาน เรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
นักศึกษา	นายกษิตรีเดช แก่นนาคำ นายเกียรติพนธ์ เจตน์โสภณ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	รศ.ดร.จรัสวรรณ โกยวานิช

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นภายในสำนักงานเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเพื่อนำเสนอทางออกของการบริหารจัดการของเสีย โดยคณะผู้วิจัยได้เริ่มทำการวิจัยด้วยการศึกษาปัญหาของปริมาณและประเภทของของเสียที่เกิดขึ้น โดยการประยุกต์ใช้หลักการพาเรโต (Pareto) แผนภาพพาเรโต และได้ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลของเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงาน และนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาวิเคราะห์ด้วยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม จากนั้นจึงจัดทำแนวทางการบริหารจัดการขยะอันประกอบไปด้วย เทคโนโลยีเตาเผาขยะ (Incineration), เทคโนโลยีไพโรไลซิส (Pyrolysis), และเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี CML 2001 พบว่าการจัดการของเสียด้วยเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานด้วยเทคโนโลยีเตาเผาขยะ (Incineration) จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และในด้านประเภทของของเสียพบว่าของเสียประเภทพลาสติกส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดและผลลัพธ์จากการศึกษาในส่วนของการออกข้อเสนอแนะในรูปแบบนโยบายเพื่อช่วยการจัดการของเสียประเภทพลาสติกพบว่านโยบายที่สามารถใช้กับที่สำนักงานเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมีดังนี้ 1) การลดการใช้แก้วพลาสติก, หลอดพลาสติก, และขวดพลาสติก โดยการใช้แก้วหรือขวดที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ 2) การพิจารณาให้มีการห้ามนำถุงพลาสติกเข้ามาในบริเวณของสำนักงานเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 3) การแยกของเสียประเภทถุงพลาสติกและนำส่งกลับไปยังโรงงานผลิตถุงพลาสติกเพื่อนำกลับไปรีไซเคิล 4) การนำขวดพลาสติกไปรีไซเคิลเพื่อใช้ในการเกษตร เช่น นำไปรีไซเคิลเป็นแจกันหรือนำไปรีไซเคิลเป็นภาชนะปลูกผัก

Thesis Title	Waste assessment and management: A case study of KMITL lifelong learning center
Student	Mr. Kasidet Kannakum Mr. Kiattipon Jadsopon
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2022
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Jarotwan Koiwanit

ABSTACT

The objective of this research is to study the waste analysis and management of the KMITL Lifelong Learning Center (KLLC). The researchers started the research by studying the problem of the amount and type of waste that was generated. By applying the Pareto chart principle and studying and collecting all the data in waste-to-energy technologies, the collected data will be analyzed with the life cycle assessment principle of the product to analyze and assess the environmental impact, and then we will design the solution for the problem. The result of the analysis and assessment of the environmental impact by using the CML 2001 method is that waste management with incineration technology will have the least impact on the environment, and in terms of the type of waste, plastic waste has the most impact on the environment. The results from the study of policy recommendations to help manage plastic waste found that the policies that are suitable for adoption at KMITL Lifelong Learning Center (KLLC) are as follows: 1) Reduce the use of plastic cups, plastic straws, and plastic bottles by replacing them with reusable bottles or cups to reduce waste 2) Considering banning plastic bags in the KMITL Lifelong Learning Center (KLLC) area to encourage the use of cloth bags 3) Separate plastic bags and send them back to the factory for recycling; and 4) Recycle plastic bottles for agriculture.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง การประเมินและการบริหารจัดการของเสีย: กรณีศึกษา สำนักงานการเรียนรู้ตลอดชีวิต พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ เนื่องจากความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ รศ.ดร.จรัสวรรณ โกยวานิช ผู้ให้คำแนะนำและแก้ไขจุดบกพร่องของปริญญาานิพนธ์นี้เพื่อความสมบูรณ์ของปริญญาานิพนธ์ และผศ.ดร.ภาสุ พูนภักดี กรรมการสอบความคืบหน้าปริญญาานิพนธ์ สำหรับการสอบถามจุดที่ปริญญาานิพนธ์มีข้อบกพร่อง พร้อมทั้งให้คำแนะนำเพิ่มเติมแก่ผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณสำนักงานการเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และบุคลากรภายในสำนักงานการเรียนรู้ทั้งหมด ที่อำนวยความสะดวก และให้ความร่วมมือในการจัดทำปริญญาานิพนธ์อย่างเต็มที่และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และผู้ปกครองทุกท่านของผู้วิจัย ที่ส่งเสริมทั้งด้านการเงิน การเรียน และเป็นกำลังใจของผู้วิจัยในการเรียนมาโดยตลอด ซึ่งถือเป็นกลุ่มบุคคลสำคัญในการศึกษาของผู้วิจัย

นายกษิติเดช แก่นนาคำ
นายเกียรติพนธ์ เจตน์โสภณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษาของปริญญาานิพนธ์.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินการของปริญญาานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เครื่องมือที่ช่วยระบุหัวข้อปัญหา.....	4
2.1.1 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart).....	5
2.2 หลักการลำดับความสำคัญของการจัดการขยะมูลฝอย.....	6
2.3 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA).....	7
2.3.1 นิยามของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์.....	8
2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ISO 14000 กับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์.....	8
2.3.3 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment).....	10
2.3.3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition).....	11
2.3.3.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI).....	12

2.3.3.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA).....	14
2.3.3.3.1 ขั้นตอนในการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Steps in LCA).....	15
2.3.3.3.2 วิธีการกำหนดบทบาท (Characterization Method).....	17
2.3.3.3.3 วิธีการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCIA Methods).....	21
2.3.3.4 การแปลผล (Interpretation).....	26
2.3.4 ขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์.....	29
2.3.5 ประโยชน์ของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์.....	31
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการของเสียของสำนักงานการเรือนรัฐการศึกษา.....	40
3.2 ศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาของการจัดการของเสีย.....	41
3.3 การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม GaBi.....	42
3.3.1 การเก็บรวบรวมของเสีย (Waste Collection).....	43
3.3.2 การขนส่ง (Transportation).....	43
3.3.3 แบบจำลองเทคโนโลยีการเผาไหม้ (Incineration Model).....	43
3.3.4 แบบจำลองเทคโนโลยีไพโรไลซิส (Pyrolysis Model).....	44
3.3.5 แบบจำลองเทคโนโลยีการแปรสภาพเป็นแก๊ส (Gasification Model).....	45
3.4 การวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม.....	46
3.5 สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ.....	46
บทที่ 4 การดำเนินงานและผลการดำเนินงาน	
4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของสำนักงานการเรือนรัฐตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	47
4.2 การศึกษาและการออกแบบแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เป็นไปได้สำหรับปัญหาของการจัดการของเสีย.....	48

4.2.1 การศึกษาเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงาน	48
4.2.1.1 เทคโนโลยีการเผาไหม้ (Incineration)	48
4.2.1.2 เทคโนโลยีการไพโรไลซิส (Pyrolysis)	49
4.2.1.3 เทคโนโลยีการแปรสภาพให้เป็นแก๊ส (Gasification)	49
4.3 การวิเคราะห์ผลและการเปรียบเทียบผลของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	50
4.3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal & Scope Definition).....	50
4.3.1.1 การกำหนดหน่วยหน้าที่ (Functional Unit).....	50
4.3.1.2 ขอบเขตของกรณีศึกษา (System Boundaries).....	50
4.3.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI).....	51
4.3.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA) 55	
4.3.3.1 ศักยภาพในการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP).....	56
4.3.3.2 การทำลายทรัพยากรที่ไม่มีชีวิต (Abiotic Depletion (ADP Elements)).....	57
4.3.3.3 การทำลายทรัพยากรฟอสซิล (Abiotic Depletion (ADP Fossil))	57
4.3.3.4 ศักยภาพในความเป็นกรด (Acidification Potential: AP).....	58
4.3.3.5 ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication Potential: EP).....	59
4.3.3.6 ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำจืด (Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential: FAEP).....	59
4.3.3.7 ศักยภาพในความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity Potential: HTP)	60
4.3.3.8 ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำทะเล (Marine Aquatic Ecotoxicity Potential: MAEP)	61
4.3.3.9 ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน (Ozone Layer Depletion Potential: OLDP)	62
4.3.3.10 ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์โฟโตเคมีคัล (Photochemical Ozone Creation Potential: POCP).....	63
4.3.3.11 ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศบนบก (Terrestrial Ecotoxicity Potential: TEP).....	64

ฉ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 การแปลผล (Interpretation).....	73
4.4 การศึกษานโยบายเพื่อส่งเสริมการจัดการของเสีย	74
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปและอภิปรายผล.....	75
5.2 ข้อเสนอแนะ	76
5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะนำผลของปริญญานิพนธ์ไปใช้	76
5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะนำไปทำวิจัยในอนาคต	76
เอกสารอ้างอิง.....	77



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานปริญญาโท.....	3
ตารางที่ 2.1 แสดงคำจำกัดความย่อของ LCA ในระบบมาตรฐาน ISO 14000.....	10
ตารางที่ 2.2 แสดงหมวดหมู่ผลกระทบในวิธีของ CML 2001.....	25
ตารางที่ 2.3 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการศึกษา LCA ที่นิยมในปัจจุบัน.....	29
ตารางที่ 3.1 การเก็บข้อมูลของเสียรายเดือน.....	41
ตารางที่ 4.1 ปริมาณและประเภทของขยะที่สำนักการเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง..	47
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของการศึกษาเทคโนโลยี Pyrolysis.....	51
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของการศึกษาเทคโนโลยี Gasification.....	53
ตารางที่ 4.4 บัญชีรายการสำหรับศักยภาพในการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP).....	56
ตารางที่ 4.5 บัญชีรายการสำหรับการทำลายทรัพยากรที่ไม่มีชีวิต (Abiotic Depletion (ADP Elements)).....	56
ตารางที่ 4.6 บัญชีรายการสำหรับการทำลายทรัพยากรฟอสซิล (Abiotic Depletion (ADP Fossil)).....	57
ตารางที่ 4.7 บัญชีรายการสำหรับศักยภาพในความเป็นกรด (Acidification Potential: AP).....	58
ตารางที่ 4.8 บัญชีรายการสำหรับศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication Potential: EP).....	58
ตารางที่ 4.9 บัญชีรายการสำหรับศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำจืด (Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential: FAEP).....	59
ตารางที่ 4.10 บัญชีรายการสำหรับศักยภาพในความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity Potential: HTP)....	60
ตารางที่ 4.11 บัญชีรายการสำหรับศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำทะเล (Marine Aquatic Ecotoxicity Potential: MAEP).....	60
ตารางที่ 4.12 บัญชีรายการสำหรับศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน (Ozone Layer Depletion Potential: OLDP).....	61
ตารางที่ 4.13 บัญชีรายการสำหรับศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์โฟโตเคมีคัล (Photochemical Ozone Creation Potential : POCP).....	62

ตารางที่ 4.14 บัญชีรายการสำหรับศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศบนบก (Terrestrial Ecotoxicity Potential: TEP).....	62
ตารางที่ 4.15 ปริมาณของเสียโดยน้ำหนัก.....	65
ตารางที่ 4.16 บัญชีรายการสำหรับการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม.....	66



สารบัญญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ลำดับความสำคัญของการจัดการของเสีย (The Waste Management Hierarchy).....	7
รูปที่ 2.2 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040.....	10
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างของผลกระทบชั้นกลางและการสอดคล้องกันของผลกระทบชั้นกลางที่สามารถเปลี่ยนเป็น ผลกระทบปลายทาง.....	15
รูปที่ 2.4 การจำแนกประเภท การกำหนดลักษณะ และการให้น้ำหนักความสำคัญ.....	17
รูปที่ 2.5 ขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์.....	30
รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงความเหมาะสมของวิธีการกำจัดของเสียแต่ละประเภท.....	32
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการสร้างแผนภูมิพารेटอ.....	42
รูปที่ 3.2 ลำดับความสำคัญของการจัดการของเสีย (The Waste Management Hierarchy)	43
รูปที่ 3.3 แบบจำลองการจัดการของเสียด้วยเทคโนโลยีการเผาไหม้โดยโปรแกรมสำเร็จรูป GaBi Education....	44
รูปที่ 3.4 แบบจำลองการจัดการของเสียด้วยเทคโนโลยีไพโรไลซิสโดยโปรแกรมสำเร็จรูป GaBi Education.....	45
รูปที่ 3.5 แบบจำลองการจัดการของเสียด้วยเทคโนโลยีการแปรสภาพเป็นแก๊สโดยโปรแกรมสำเร็จรูป GaBi Education.....	45
รูปที่ 4.1 ขอบเขตการศึกษาของการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงาน.....	50
รูปที่ 4.2 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละด้านของเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงาน.....	64
รูปที่ 4.3 ของเสียประเภทต่างๆในการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....	65
รูปที่ 4.4 ของเสียประเภทต่างๆในการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....	66
รูปที่ 4.5 ของเสียประเภทต่างๆในการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....	67
รูปที่ 4.6 ของเสียประเภทต่างๆในการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....	67
รูปที่ 4.7 ของเสียประเภทต่างๆในการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....	68
รูปที่ 4.8 ของเสียประเภทต่างๆในการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....	68
รูปที่ 4.9 ของเสียประเภทต่างๆในการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....	69
รูปที่ 4.10 ของเสียประเภทต่างๆในการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....	69
รูปที่ 4.11 ของเสียประเภทต่างๆในการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....	70
รูปที่ 4.12 ของเสียประเภทต่างๆในการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....	70
รูปที่ 4.13 ของเสียประเภทต่างๆในการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....	71
รูปที่ 4.14 ของเสียประเภทต่างๆในการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....	71

ญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ฉ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันโลกของเรามีขยะมูลฝอยเกิดขึ้นถึง 2.01 พันล้านตัน ในทุกๆปี ซึ่งนั่นเท่ากับแต่ละคนจะสร้างขยะประมาณ 0.74 กิโลกรัมต่อวัน ประเทศในเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จะต้องเผชิญกับปริมาณของเสียที่เพิ่มขึ้นสูงสุดและจำเป็นต้องรับมือกับความท้าทายนี้ [1] และที่ผ่านมา ประเทศไทยขยายความเป็นเมืองอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับทุกประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ประชากรในเมืองที่เพิ่มขึ้นจาก 27 ล้านคนในปี พ.ศ. 2493 เป็น 68 ล้านคนในปี พ.ศ. 2562 แม้ว่าอัตราการเพิ่มของประชากรในภาพรวมจะลดลงสู่ระดับปานกลาง แต่ในบริเวณใจกลางเมืองยังมีสภาพแออัดจากการเคลื่อนย้ายประชากรจากชนบทสู่เมือง โดยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 เป็นต้นมา มีประชากรจำนวนกว่าครึ่งอาศัยอยู่ในเขตเมืองและแนวโน้มการขยายตัวของเมืองนี้เองที่จะยิ่งเร่งอัตราการสร้างของเสียต่อคนให้เพิ่มขึ้น [2]

ขยะมูลฝอยเป็นของเหลือทิ้งจากการใช้สอยของมนุษย์หรือจากกระบวนการผลิตจากกิจกรรมภาคอุตสาหกรรม และเกษตรกรรม ซึ่งนับเป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานทางเลือก โดยขยะมูลฝอยอาจมีลักษณะแตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิด เช่น มูลฝอยจากบ้านเรือน เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า ถุงพลาสติก ภาชนะใส่อาหาร แก้ว วัสดุสัตว์หรือซากสัตว์ เศษกิ่งไม้ ใบไม้ ซึ่งขยะเหล่านี้สร้างปัญหาต่างๆมากมาย ไม่ว่าจะเป็น ความสกปรก ส่งกลิ่นเหม็น เป็นที่อยู่อาศัยของแมลงวันและหนู เป็นแหล่งแพร่เชื้อโรคและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของเรา ด้วยเหตุนี้จึงมีการรณรงค์ให้มีการนำขยะกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 13 ในหมวดหมู่ที่ 10 “ไทยมีเศรษฐกิจหมุนเวียนและสังคมคาร์บอนต่ำ” โดยมีอัตราการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ของประเทศไทยไม่ต่ำกว่าร้อยละ 40 ของปริมาณขยะที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ ภายในปี พ.ศ.2570 และให้ผลประโยชน์ได้อย่างยั่งยืนในอุตสาหกรรม ขับเคลื่อนประเทศไทยด้วยนวัตกรรมและเทคโนโลยี สร้างระบบนิเวศอุตสาหกรรมและบริการที่เหมาะสม [3] และสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรม อีกทั้งเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนที่ 12 (SDGs) ยังเป็นการส่งเสริมการจัดการของเสียโดยสนับสนุนหลักปฏิบัติในการลดการใช้ การใช้ซ้ำและการนำกลับมาใช้ใหม่ (Reduce, Reuse, Recycle: 3Rs) โดยประยุกต์ใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พร้อมทั้งสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนเพิ่มมากขึ้น ทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาสำนักการเรียนรู้ตลอดชีวิตให้เป็นสำนักงานสีเขียว (Green office) เพื่อการสร้างเสริมความเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสร้างสังคมคาร์บอนต่ำ พัฒนาและใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีเพื่อลดมลพิษและผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยคณะผู้วิจัยได้ศึกษานโยบาย

Green office และนำมาวิเคราะห์ เพื่อเรียงลำดับความสำคัญของปัญหาที่ควรแก้ไข ซึ่งพบว่าปัญหาที่ควรแก้ไขคือ ปัญหาขยะที่เกิดขึ้นภายในบริเวณสำนักการเรียนรู้ตลอดชีวิตฯ คณะผู้วิจัยได้ทำการนำวิธีการบริหารจัดการขยะมา ประเมินและเลือกแนวทางที่เหมาะสม เพื่อหาวิธีการแก้ไขปัญหายขยะนี้ต่อไป

คณะผู้วิจัยเล็งเห็นว่ามิชชันวาทที่เกิดขึ้นที่สำนักการเรียนรู้ตลอดชีวิตฯ ที่สามารถนำไปแปลงเป็นพลังงานได้ เพื่อเป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานชีวภาพ เพื่อเป็นการจัดการขยะอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการ พัฒนาที่ยั่งยืนของสถาบันการศึกษา โดยทำหน้าที่ในการสร้างความตระหนักในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมตามหลัก เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) เป็นคลังความรู้เกี่ยวกับความตระหนักเรื่องสิ่งแวดล้อม จากแนวคิด คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและนำมาปรับใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของของเสียโดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
2. เพื่อเปรียบเทียบและนำเสนอแนวทางการจัดการของเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด
3. เพื่อสร้างนโยบายในการบริหารจัดการขยะ

1.3 ขอบเขตการศึกษาของปริญญานิพนธ์

1. ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการแปรรูปขยะให้เป็นพลังงานโดยใช้โปรแกรม GaBi
2. ศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการแปรรูปขยะให้เป็นพลังงาน
3. จัดทำนโยบายการลดขยะของสำนักการเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้กระบวนการแปรรูปของเสียที่เกิดขึ้นเป็นเชื้อเพลิง
2. ได้เป็นแนวทางการปฏิบัติที่ดีของการบริหารจัดการของเสียของสำนักงาน
3. เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่สนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาการจัดการขยะ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการของปริญญาโท

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูล ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เก็บรวบรวมข้อมูลของเสียในเชิงปริมาณและชนิดของของเสีย
3. ประเมินประสิทธิภาพในการจัดการของเสีย
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบกระบวนการแปรรูปของเสีย
5. ศึกษาและออกนโยบายการจัดการขยะ
6. สรุปผลการวิจัย
7. เรียบเรียงเนื้อหาและจัดทำรูปเล่มปริญญาโท

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินปริญญาโท

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2565					2566				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาค้นคว้าข้อมูล ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง										
2.เก็บรวบรวมข้อมูลของเสียในเชิงปริมาณและชนิดของของเสีย										
3.ประเมินประสิทธิภาพในการจัดการของเสีย										
4.วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ										
5.ศึกษาและออกนโยบายการจัดการขยะ										
6.สรุปผลการวิจัย										
7.เรียบเรียงเนื้อหาและจัดทำรูปเล่มปริญญาโท										

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปริญญาโทฉบับนี้เป็น การประเมินและการบริหารจัดการของเสียที่สำนักงานการเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบังจากการศึกษาทฤษฎีและหลักการต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการบริหารจัดการของเสียให้มีประสิทธิภาพ โดยได้นำเสนอเฉพาะที่นำมาใช้กับปริญญาโทฉบับนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 เครื่องมือที่ช่วยระบุหัวข้อปัญหา
- 2.2 หลักการลำดับความสำคัญของการจัดการขยะมูลฝอย
- 2.3 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA)
- 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องมือที่ช่วยระบุหัวข้อปัญหา

การระบุหัวข้อปัญหา ถือว่าเป็น ขั้นตอนแรกของการปรับปรุงการทำงานที่สำคัญ นำไปสู่การกำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมาย ขอบเขตการปรับปรุงได้อย่างชัดเจน ทำให้กระบวนการวิเคราะห์และการหาแนวทางการแก้ไขเป็นไปตามทิศทางและสิ่งที่ถูกต้อง ไม่ผิดประเด็น ในหลายครั้งหัวหน้าโครงการและทีมงานอาจมีหัวข้อปัญหามากมายหลายเรื่อง แต่ด้วยเวลา ทรัพยากร และงบประมาณที่จำกัด จำเป็นต้องคัดเลือกหัวข้อปัญหาที่สำคัญจริงๆ มาปรับปรุงก่อนด้วยจำนวนไม่กี่เรื่องเท่านั้น โดยพื้นฐานเบื้องต้นเครื่องมือที่จะมาช่วยคัดเลือกและระบุหัวข้อปัญหาสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1 แผนภูมิพารето (Pareto Chart)

ปัญหาแต่ละเรื่องที่ถูกแจ้งมา มีลักษณะอิสระต่อกันซึ่งไม่ได้เป็นเหตุและผลกันอย่างชัดเจน, ไม่ได้เป็นเซตย่อยของอีกปัญหา, หรือสามารถแยกออกจากการคนละเรื่องได้ เครื่องมือที่นิยมนำมาใช้คัดเลือกเพื่อระบุปัญหาหลัก คือ คือ “แผนภูมิพารето (Pareto Chart)” นอกจากนี้ยังใช้ “ตาราง (Tabular Form)” มาช่วยลงคะแนนในกรณีที่มีหลายเกณฑ์ที่ต้องพิจารณา

กรณีที่ 2 แผนภาพความสัมพันธ์ (Relation Diagram)

ปัญหาแต่ละเรื่องที่ถูกแจ้งมา มีลักษณะสัมพันธ์กัน รวมถึงลักษณะโครงสร้างปัญหาที่มีระดับชั้นที่ซับซ้อน กล่าวคือ มีบางปัญหาเป็นสาเหตุให้เกิดอีกปัญหา เครื่องมือที่จะมาช่วยจัดระเบียบข้อความแห่งปัญหาเหล่านี้ ได้แก่ “แผนภาพความสัมพันธ์ (Relation Diagram)” ทำให้เข้าใจถึงโครงสร้างภาพรวมของปัญหาอย่างเป็นระบบ

นำไปสู่การเชื่อมโยงเหตุและผลต่างๆ ภายใต้ข้อความแห่งปัญหาทั้งหมดที่ถูกแจ้งมา บางกรณีโครงสร้างปัญหาที่มีระดับชั้นและแบ่งกลุ่มที่ชัดเจน ควรเปลี่ยนจาก “แผนภาพความสัมพันธ์” มาอยู่ในรูปของ “แผนภาพต้นไม้” เพราะแผนภาพต้นไม้มีความเป็นระบบและรูปแบบในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่มีประสิทธิภาพมากกว่าแผนภาพความสัมพันธ์ในแง่ของระดับชั้น

2.1.1 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart)

แผนภูมิพาเรโต คือ เครื่องมือที่รวมกราฟแท่งและกราฟเส้นเข้าไว้ด้วยกันซึ่งกราฟแท่งจะอยู่ติดกันโดยเรียงลำดับค่าความสำคัญของหัวข้อต่างๆ (ปัญหาหรือสาเหตุ) จากมากไปหาน้อย และกราฟเส้นจะเป็นเปอร์เซ็นต์ความสำคัญสะสมของแต่ละหัวข้อ แผนภูมิพาเรโตจะถูกใช้เปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละหัวข้อ (ปัญหาหรือสาเหตุ) และเป็นแนวทางคัดเลือกหัวข้อที่สำคัญและเร่งด่วน ว่าหัวข้อใดควรจะถูกนำมาพิจารณาก่อนเป็นอันดับแรก ยึดตาม “หลักการของพาเรโต (The Pareto Principle)” หรือเรียกอีกอย่างว่า “กฎ 80:20”

ลักษณะเด่นของแผนภูมิพาเรโต มีดังนี้

1. แกนแนวนอน จะเป็นหัวข้อซึ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (เป็นข้อความ) สามารถเป็นได้ทั้งปัญหาหรือสาเหตุของปัญหาก็ได้ จะเห็นว่าแผนภูมิพาเรโตสามารถนำไปใช้ในขั้นตอนของการระบุข้อความแห่งปัญหา หรือไปใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์สภาพปัจจุบันเพื่อหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาได้

2. แกนแนวตั้งด้านซ้ายมือ จะเป็นแกนแสดงค่าความสำคัญของปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น ซึ่งแสดงออกมาเป็นตัวเลข ค่าความสำคัญอาจจะเป็น จำนวนความถี่, ต้นทุนการผลิต, มูลค่าความเสียหาย, รายได้หรือกำไร, เวลาในการผลิต, ค่าความรุนแรง, ค่าความสำคัญของความเสี่ยง เป็นต้น การสร้างกราฟแท่งและการเรียงลำดับค่าความสำคัญจะยึดตามแกนแนวตั้งด้านซ้ายมือนี้ นอกจากนั้นในมุมมองของฝ่ายบริหารแกนแนวตั้งด้านซ้ายมือควรวัดและแสดงในหน่วยที่เป็นตัวเงินมากกว่าหน่วยที่เป็นจำนวนชิ้น เพราะจะสะท้อนถึงความมั่นคงขององค์กรมากกว่า

3. แกนแนวตั้งด้านขวามือ จะเป็นแกนเปอร์เซ็นต์ความสำคัญทั้งแบบสะสมและไม่สะสมของข้อมูลหรือหัวข้อเรื่องต่างๆ ค่าสูงสุดของแกนนี้มีค่าเท่ากับ 100% โดยที่กราฟเส้นของแผนภูมิพาเรโต จะยึดตามแกนแนวตั้งด้านขวามือนี้ หลังจากนั้นกราฟเส้นที่จัดทำขึ้นนี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ตามหลักการของพาเรโต (The Pareto Principle) โดยหลักการของพาเรโตมีใจความสำคัญ คือ “สิ่งที่สำคัญมากจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (Vital Few), และสิ่งที่สำคัญน้อยจะมีจำนวนมาก (Trivial Many)” คือ ประมาณ 80% ของค่าความสำคัญทั้งหมด จะมาจากข้อมูล (หัวเรื่อง) จำนวนประมาณ 20% ของจำนวนข้อมูลทั้งหมด (หัวเรื่องทั้งหมด) ดังนั้นหัวเรื่องหรือสิ่งที่ถูก

คัดเลือกออกมาแก้ไขก่อนตามหลักการของพาเรโต จะมีเพียง 2 ถึง 3 เรื่องเท่านั้น ซึ่งผลกระทบมากถึง 80% ของค่าความถี่หรือมูลค่าที่สนใจทั้งหมด [4]

2.2 หลักการลำดับความสำคัญของการจัดการขยะมูลฝอย

หากขยะมูลฝอยหมายถึงของเสียทั้งหมด การจัดการขยะมูลฝอยในขั้นตอนสุดท้ายก็คือการกำจัดขยะมูลฝอยให้หมดและวิธีกำจัดขยะมูลฝอยเหล่านั้นจะเป็นการฝังกลบ (landfill) หรือการเผาเท่านั้น แต่หากพิจารณาว่าขยะมูลฝอยยังคงเป็นทรัพยากรที่สามารถแยกแยะได้ซึ่งประกอบด้วยวัสดุหลากหลายประเภทที่เหลือจากการผลิตและการบริโภค ดังนั้นในกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยจึงควรเริ่มจากการไม่ผลิตหรือบริโภคให้เหลือเศษ แต่หากมีส่วนที่เหลือก็ต้องนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ด้วยวิธีต่างๆ จนกระทั่งเหลือส่วนที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้จึงนำไปกำจัดด้วยวิธีเผาหรือฝังกลบ กระบวนการจัดการขยะมูลฝอยที่มีลำดับขั้นตอนเช่นนี้คือหลักการลำดับความสำคัญของการจัดการขยะมูลฝอย (Waste management hierarchy) (รูปที่ 2.1)

หลักการลำดับความสำคัญของการจัดการขยะมูลฝอยพัฒนาจากแนวคิดด้านสาธารณสุขซึ่งให้ความสำคัญกับการป้องกันมากกว่าการรักษา กับแนวคิดที่ว่า “การหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดปัญหาเป็นวิธีการที่ดีกว่าการที่จะต้องลงทุนสร้างระบบแก้ไขเมื่อปัญหานั้นเกิดขึ้นแล้ว” ซึ่งเป็นที่ยอมรับทั่วไปว่าการแก้ไขปัญหาเมื่อปัญหาเกิดขึ้นแล้วหรือที่เรียกว่าการแก้ปัญหาลายท่อ (End of pipe solution) เป็นกระบวนการจัดการที่มีประสิทธิภาพต่ำ

หลักการลำดับความสำคัญของการจัดการขยะมูลฝอยพัฒนาขึ้นโดยหน่วยงานป้องกันสิ่งแวดล้อมประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental Protection Agency) ประกอบด้วยลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานเพื่อแก้ปัญหาขยะมูลฝอยชุมชนซึ่งได้แก่ การลดปริมาณขยะมูลฝอยจากแหล่งกำเนิด การนำกลับมาใช้ใหม่ การนำพลังงานที่เกิดจากกระบวนการกำจัดมาใช้ประโยชน์ และการกำจัดในขั้นตอนสุดท้ายด้วยวิธีฝังกลบ โดยการลดปริมาณขยะมูลฝอย เป็นการเริ่มต้นที่หยุดหรือลดการเกิดขยะมูลฝอย เช่น โรงงานใช้วัสดุน้อยลงในการออกแบบและผลิต หรือสามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้ได้นานขึ้น หรือสามารถใช้ซ้ำได้ ไม่ก่อให้เกิดเป็นขยะ การใช้ผลิตภัณฑ์ซ้ำการนำผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้หลายรอบมาใช้ใหม่ เช่น ถุงผ้า, ขวดโพล, ขวดน้ำ, กระดาษ การแปรสภาพเพื่อใช้ใหม่ คือ การเปลี่ยนขยะมูลฝอยให้เป็นอีกสารหนึ่งเพื่อเป็นวัสดุในการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นถัดไป เช่น การสร้างมูลค่าให้เศษวัสดุแบบ Upcycling รวมถึงการนำขยะอินทรีย์และขยะจากเกษตรกรรมมาหมักทำปุ๋ย การแปลงของเสียให้เป็นพลังงาน เป็นการนำขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้แล้วมาเปลี่ยนให้เป็นพลังงาน ความร้อน พลังงานไฟฟ้า หรือเชื้อเพลิงโดยผ่านกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การเผาในเตา การหมักก๊าซชีวภาพและการดักก๊าซจากการฝังกลบขยะและการฝังกลบมูลฝอยเป็นลำดับขั้นสุดท้ายของการจัดการขยะ [5]



รูปที่ 2.1 ลำดับความสำคัญของการจัดการของเสีย (The Waste Management Hierarchy) [6]

หลักการลำดับความสำคัญของการจัดการขยะมูลฝอยทำให้เกิดกระบวนการผลิตที่สะอาด (Clean production) ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดเศษหรือของเสียจากการจัดหาสินแร่/วัตถุดิบและผลิตสินค้า ตลอดจนถึงการลดผลกระทบจากกระบวนการกำจัดขยะมูลฝอยเมื่อสินค้าหรือวัสดุดังกล่าวหมดอายุการใช้งาน (service life cycle) นอกจากนี้ยังมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแนวคิด หลักเหตุผล การกำหนดนโยบายและขั้นตอนของกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยของประเทศต่างๆ เช่น ในกลุ่มประเทศภาคพื้นยุโรป ได้นำเอาสาระสำคัญของหลักการลำดับความสำคัญของการจัดการขยะมูลฝอยเป็นแนวทางการจัดการขยะมูลฝอย [7]

2.3 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA)

LCA คือวิธีการประเมินเชิงปริมาณของการใช้ทรัพยากร มลพิษที่เกิดขึ้นและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากการผลิตผลิตภัณฑ์และบริการ โดยพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้ผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการนำไปกำจัด การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) ที่มีส่วนช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ นักออกแบบสามารถเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ที่มีหน่วยหน้าที่ (Functional unit) ในการทำงานเหมือนกัน โดยสิ่งนี้เองสามารถช่วยให้นักออกแบบสามารถตัดสินใจได้ว่าผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการใดที่ควรได้รับการพิจารณา เพื่อให้ผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยในปัจจุบัน กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน น้ำมันและก๊าซธรรมชาติ การตัดไม้ทำลายป่า การใช้ยานพาหนะ ที่ก่อให้เกิดควันจากท่อไอเสียเป็นต้นนั้น กิจกรรมต่าง ๆ เหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม อันนำไปสู่การเกิดผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของทั้งมนุษย์ สัตว์ และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ โดยปัญหาสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันที่มนุษย์และสิ่งมีชีวิตกำลังประสบอยู่นั้น ได้แก่ ปัญหาการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ ปัญหาความไม่สมดุลของระบบนิเวศ ปัญหามลพิษ เป็นต้น

ซึ่งปัญหาเหล่านี้มาจากปัญหาย่อย ๆ หลากหลายปัญหา ไม่ว่าจะเป็นปัญหาจากมลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ มลพิษทางดิน เป็นต้น โดยหากปัญหาเหล่านี้ยังไม่ได้ถูกดำเนินการแก้ไขและป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นอีกนั้น อาจนำไปสู่การเกิดผลกระทบต่อวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตได้ อย่างไรก็ตาม การที่จะทราบว่าปัญหาในปัจจุบันก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากมายเพียงใด การมีระบบการประเมินที่ดีและการมีวิธีการในการประเมินที่เหมาะสม จะช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปเป็นแนวทางในการดำเนินการแก้ไขและป้องกันการเกิดปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ต่อไปการตระหนักถึงประเด็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ด้วยการใช้การประเมินตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น มีมากกว่า 40 ปีที่ผ่านมา ซึ่งการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ถือเป็นวิธีการของการตรวจสอบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ อันจะช่วยให้สามารถระบุผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมได้ตลอดทั้งห่วงโซ่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งครอบคลุมมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคด้านสิ่งแวดล้อมแบบเดิมที่นำมาใช้ตรวจสอบเฉพาะช่วงระหว่างกระบวนการผลิตหรือช่วงสิ้นสุดการใช้งานของผลิตภัณฑ์นอกจากนั้นการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ยังช่วยให้เกิดการประเมินที่ง่ายขึ้น จากการที่มีกระบวนการที่มีระบบซับซ้อนให้กลายเป็นกระบวนการ/ขั้นตอนย่อย ๆ จากนั้นจึงทำการจับกลุ่มมลพิษต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแต่ละกระบวนการตามประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งการประเมินวัฏจักรชีวิต ของผลิตภัณฑ์นั้น เป็นระเบียบวิธีที่ใช้ในการระบุผลกระทบตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หรือมักจะเรียกว่า Cradle-to-grave approach (การประเมินผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย) [8] [9]

2.3.1 นิยามของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการ วิเคราะห์และประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักร ชีวิตในเชิงปริมาณการใช้ทรัพยากร มลพิษที่เกิดขึ้น และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากการ ผลิตผลิตภัณฑ์หรือบริการหนึ่งๆโดยพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิตซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การได้มา ซึ่งวัตถุดิบกระบวนการผลิตการขนส่งการใช้ งานผลิตภัณฑ์การแปรรูปรวมถึงการใช้ซ้ำการ หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่และการกำจัดทิ้งหลัง หมดอายุการใช้งานซึ่งอาจกล่าวได้ว่า พิจารณา ผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการอ้างอิงถึงปริมาณพลังงานและ วัสดุที่ใช้ และมลพิษที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมทั้ง ทางอากาศน้ำและดินรวมถึงการประเมินผล กระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมทั้งระบบนิเวศ สุขอนามัยและคุณภาพชีวิต [10]

2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ISO 14000 กับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ได้ถูกบรรจุอยู่ในมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม (ISO) อันมีกรอบการดำเนินงานตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 โดยอนุกรมของ ISO 14000 ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น มีดังนี้

1) ISO 14040- Environmental Management - Life Cycle Assessment-Principles and Framework อันเป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงหลักการ นิยาม ศัพท์ และกรอบการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

2) ISO 14041- Environmental Management-Life Cycle Assessment-Goal and Scope Definition and Life Cycle Inventory Analysis อันเป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต การวิเคราะห์ และการจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

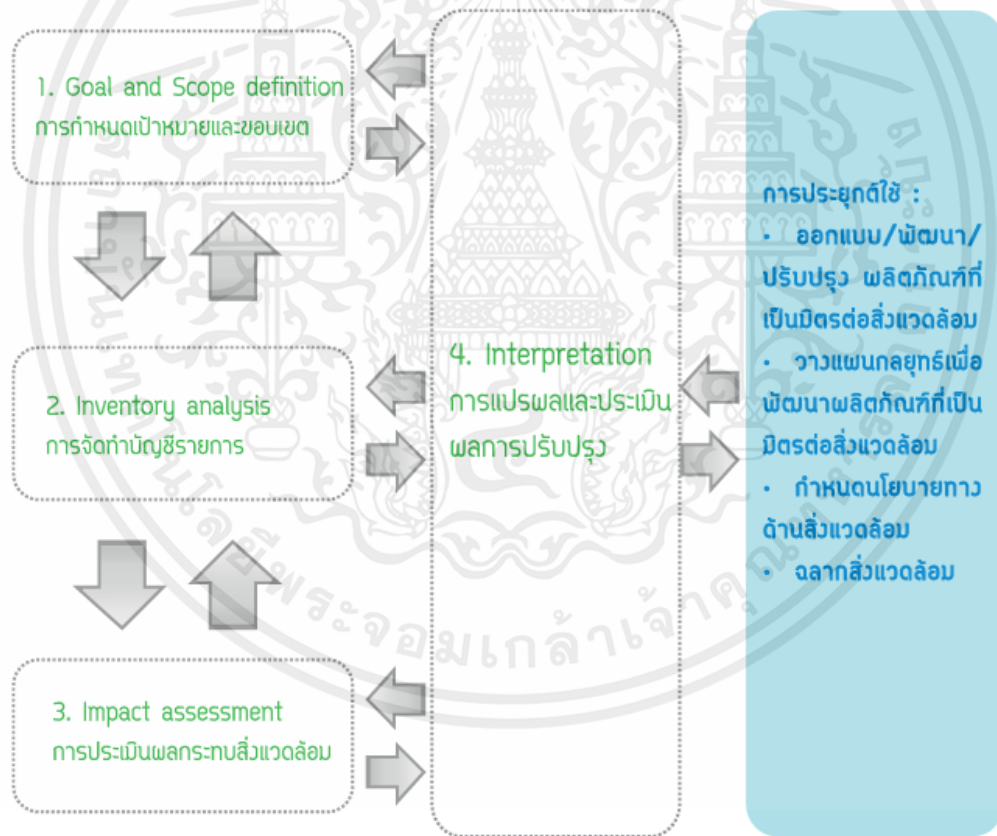
3) ISO 14042- Environmental Management - Life Cycle Assessment-Life Cycle Impact Assessment (LCIA) อันเป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

4) ISO 14043- Environmental Management-Life Cycle Assessment-Life Cycle Interpretation อันเป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการแปลผลของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการบ่งชี้ประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม
ตารางที่ 2.1 แสดงคำจำกัดความย่อของ LCA ในระบบมาตรฐาน ISO 14000 [11]

LCA Standards	Focus
ISO 14040 <ul style="list-style-type: none"> Principle and framework (หลักการและขอบเขตการศึกษา) 	การแนะนำสู่โครงสร้าง หลักการ และข้อกำหนดสำหรับการศึกษา LCA โดยเฉพาะการแนะนำในเรื่องการพิจารณาถึงความสำคัญในการศึกษา LCA
ISO 14041 <ul style="list-style-type: none"> Goal and scope definition and life – cycle inventory analysis (การกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา และการจัดทำบัญชีรายการ) 	คำแนะนำในการให้คำจำกัดความของเป้าหมาย กำหนดขอบเขตของระบบผลิตภัณฑ์ การเก็บข้อมูล และการส่งผลของรายงาน
ISO 14042 <ul style="list-style-type: none"> Life cycle impact assessment (การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม) 	คำแนะนำเรื่องของการเก็บข้อมูล เพื่อความเข้าใจที่ดีเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมที่สัมพันธ์กับระบบผลิตภัณฑ์ที่กำลังศึกษาอยู่
ISO 14043 <ul style="list-style-type: none"> Life cycle interpretation (การแปลผลทางการศึกษา) 	คำแนะนำถึงการแปลผลจากการเก็บข้อมูลและการศึกษา LCA

2.3.3 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment)

ผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อมนั้นมีความสัมพันธ์กันตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ความสัมพันธ์ ที่แตกต่างกันย่อมส่งผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดย LCA ถูกนำมาใช้ ทั่วโลกโดยรัฐบาลและองค์กรอุตสาหกรรมเพื่อให้ได้รู้ถึงความเป็นมาของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละ กระบวนการที่เกี่ยวข้องปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดซึ่งหลักการ ของ LCA เป็นการวิเคราะห์ตั้งแต่แหล่งกำเนิดของทรัพยากรธรรมชาติที่นำมาใช้ไปจนกระทั่งการกำจัด ซากหลังหมดอายุการใช้งานโดยพิจารณาถึงผลการศึกษาทั้งผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อมในทุกประเด็นที่ เกิดขึ้นการรวบรวมและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์บริการ การใช้งานหรือกระบวนการที่เกี่ยวข้องเพื่อนำผลที่ได้ไปปรับปรุงพัฒนาวิเคราะห์จุดอ่อนและจุดแข็งได้ อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้นตลอดจนก่อให้เกิดการจัดการขึ้นอย่างเป็นระบบ [9]



รูปที่ 2.2 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 [11]

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition) 2) การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Inventory: LC) 3) การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA) และ 4) การแปลผล (Interpretation) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.3.3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)

การกำหนดเป้าหมาย (Goal) ของการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดและวัตถุประสงค์ของแบบจำลองที่ระบุไว้และขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเป้าหมายที่แตกต่างกัน ส่งผลให้เกิดผลกระทบที่ต่างกัน อันนำมาซึ่งผลลัพธ์ที่ต่างกันอย่าง การตั้งเป้าหมายจะต้องมีความชัดเจน นอกจากนี้ยังควรที่จะต้องระบุถึงเหตุผลของการศึกษา ผลของการศึกษา และการนำผลการศึกษาไปใช้อีกด้วยทั้งหมดทั้งมวลเหล่านี้ หากองค์กรมีความสามารถในการตั้งเป้าหมายได้ดีเพียงใด ก็จะช่วยให้การดำเนินงานในขั้นตอนต่อ ๆ ไปของการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ง่ายมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม การทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ สามารถปรับเปลี่ยนเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาได้ในขณะที่กำลังศึกษา ซึ่งจะช่วยให้องค์กรสามารถเปลี่ยนตัวเลือกที่กำหนดขึ้นในตอนต้นได้ รวมถึงสามารถปรับเปลี่ยนขั้นตอนอื่นๆ ได้อยู่เสมอ

สำหรับการกำหนดขอบเขต (Scope) ของการศึกษานั้น มีวัตถุประสงค์ในการกำหนดขอบเขตเพื่อป้องกันและกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมิน นอกจากนี้ ยังเป็นไปเพื่อรวบรวมสิ่งที่เกี่ยวข้องต่อเป้าหมายของการศึกษา ซึ่งถือเป็นการระบุสิ่งที่องค์กรต้องการประเมิน รวมไปถึงวิธีการประเมินโดยการกำหนดขอบเขตนั้น จะต้องครอบคลุมถึง หน่วยหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ ขอบเขตของระบบ (System Boundary) ที่ทำการศึกษา วิธีการในการประเมิน โดยองค์กรควรอธิบายหรือกำหนดข้อกำหนดต่าง ๆ อย่างเพียงพอ เพื่อที่จะทำให้แน่ใจได้ว่ารายละเอียดของการศึกษามีความเฉพาะเจาะจง เกี่ยวข้อง และเพียงพอต่อเป้าหมายที่ได้ตั้งไว้

การกำหนดขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญเนื่องจากหากมีการกำหนดขอบเขตที่ไม่ชัดเจนพอ การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์นั้น ๆ จะทำได้ไม่สมบูรณ์และไม่ตรงประเด็น การกำหนดขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์สามารถทำได้หลัก ๆ 2 วิธีได้แก่ การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Gate เป็นการประเมินและวิเคราะห์ผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อมจากการผลิตตั้งแต่กระบวนการผลิตวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน จนถึงการผลิตใน โรงงาน โดยไม่รวมการขนส่งสินค้าไปจัดจำหน่าย การบริโภค และการกำจัด นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถวิเคราะห์ผลกระทบในช่วงการใช้งานได้ชัดเจน เช่น ไฟฟ้า น้ำ เชื้อเพลิง และวัสดุต่างๆ (เช่น กระดาษ พลาสติก) และ การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Grave เป็นการ

ประเมินและวิเคราะห์ผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อมจากการผลิตตั้งแต่กระบวนการผลิตวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน จนถึงการผลิตในโรงงาน รวมไปถึงการขนส่งสินค้าไปจัดจำหน่าย การบริโภค และการกำจัดใช้ได้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่สามารถ วิเคราะห์ผลกระทบในช่วงการใช้งานได้อย่างชัดเจน เช่น ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, บรรจุ ภัณฑ์ต่าง ๆ เป็นต้น [12]

โดยหน่วยหน้าที่ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากของการนำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มาใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ต้องการทำการเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์หรือของสองสิ่งขึ้นไป เพื่อใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการกำหนดการวัดหรือเก็บข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบ หากไม่มีการกำหนดหน่วยหน้าที่แล้วนั้น การดำเนินการเปรียบเทียบ จะเกิดความไม่เท่าเทียมกันเกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ภาชนะใส่น้ำ ที่สามารถบรรจุน้ำในปริมาณที่เท่ากัน คือ 200 มิลลิลิตรด้วยแก้วและพลาสติก หากมีการกำหนดหน่วยหน้าที่แบบดังกล่าว จะสามารถเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตภาชนะโดยใช้แก้วและพลาสติกที่มีหน้าที่ในการบรรจุน้ำในปริมาตรที่เท่ากันได้ เป็นต้น สำหรับขอบเขตของระบบนั้น เป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยระบุขอบเขตหรือกระบวนการที่จะทำการพิจารณาในการดำเนินการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ใดผลิตภัณฑ์หนึ่งยกตัวอย่างเช่น การผลิตภาชนะใส่น้ำด้วยพลาสติก ที่ต้องการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิตพลาสติก แต่ไม่รวมไปถึงการจัดซากของแก้วพลาสติก เป็นต้น

2.3.3.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI)

การวิเคราะห์บัญชีรายการ หรือ LCI นั้น ประกอบไปด้วยการสร้างแบบจำลองของกระบวนการ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ 2 ของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์บัญชีรายการ เป็นไปเพื่อเป็นการทำให้กลไกของคลังข้อมูลสามารถสนับสนุนเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปแบบจำลองการวิเคราะห์บัญชีรายการ จะอยู่ในรูปแบบของผังงาน (Flow Chart)

โดยแบบจำลองการวิเคราะห์บัญชีรายการ ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) การสร้างผังการไหล (Construction of the Flowchart) 2) การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection) และ 3) การคำนวณข้อมูล (Calculation Procedure) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) การสร้างผังการไหล (Construction of the Flowchart)

ผังการไหลทั่วไปจะถูกสร้างขึ้นตามขอบเขตของระบบที่ต้องการศึกษา ซึ่งการสร้างผังการไหลนั้น จะต้องมีการเขียนกระบวนการย่อยทั้งหมดของขอบเขตทั้งหมดที่ต้องการศึกษา รวมไปถึงเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง

กระบวนการย่อยต่าง ๆ นั้น เพื่อนำไปสู่การเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งสารขาเข้าและขาออกของแต่ละกระบวนการย่อย ๆ ภายใต้ผังการไหลทั้งหมด

2) การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection)

การเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นส่วนที่ต้องใช้เวลาเป็นอย่างมากในกระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยต้องมีการรวบรวมข้อมูลเชิงคุณภาพ ข้อมูลเชิงพรรณนา และข้อมูลเชิงปริมาณที่จำเป็นในแต่ละกระบวนการ โดยข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น ได้แก่

- ปัจจัยการผลิต (Inputs): พลังงาน วัตถุดิบ ปัจจัยเสริมที่มีผลต่อการผลิตและปัจจัยทางกายภาพอื่น ๆ เช่น การใช้ที่ดิน เป็นต้น

- ผลิตภัณฑ์ (Products): การศึกษาผลิตภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงของเสียต่าง ๆ

- มลพิษ (Emissions): ทางอากาศ ทางน้ำ และทางดิน

- ด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ (Other Environmental Aspects)

นอกจากนี้ ข้อมูลทางด้านการขนส่ง ระยะทาง และเส้นทางการขนส่งยังได้ถูกรวบรวมไว้ในขั้นตอนของการเก็บรวบรวมด้วย โดยข้อมูลสามารถจำแนกตามแหล่งที่มาได้ 2 ประเภท ดังนี้

- 1) ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) หมายถึง ข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกจากกิจกรรมการผลิตของบริษัท รวมทั้งกิจกรรมการผลิตที่บริษัทผู้ผลิตสามารถเข้าถึงข้อมูลได้

- 2) ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) หมายถึง ข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกจากกิจกรรมการผลิตที่บริษัทไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ ตลอดจนในกรณีที่ไม่สามารถรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ (ชี้แจงเหตุผล) โดยให้พิจารณาใช้แหล่งที่มาของข้อมูล ดังต่อไปนี้

- ฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อมของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศ

- ข้อมูลจากวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ดำเนินการศึกษาในประเทศไทยซึ่งผ่านการกรองแล้ว (Peer-Reviewed Publications)

- ฐานข้อมูลที่เผยแพร่ทั่วไป ได้แก่ โปรแกรมสำเร็จรูปในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCA Software) ฐานข้อมูลเฉพาะของกลุ่มอุตสาหกรรมฐานข้อมูลเฉพาะของแต่ละประเทศ
- ข้อมูลที่ตีพิมพ์โดยองค์กรระหว่างประเทศ เช่น Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) สหประชาชาติ เป็นต้น

3) การคำนวณข้อมูล (Calculation Procedure) การคำนวณข้อมูลมีบทบาทสำคัญในกระบวนการวิเคราะห์บัญชีรายการ เนื่องจากข้อมูลทั้งหมดจะถูกคำนวณขึ้นอยู่กับหน่วยการทำงานของแต่ละกรณีศึกษา

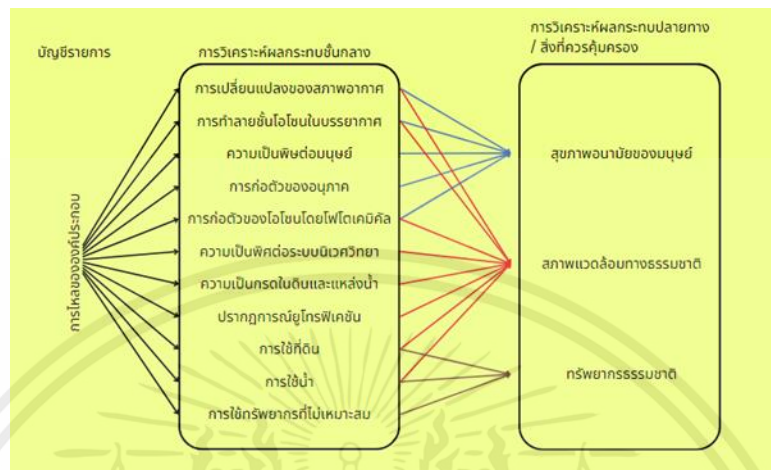
2.3.3.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หรือ LCA นั้น ได้มีการอธิบายผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องในระบบผลิตภัณฑ์ โดยการประเมินดังกล่าว เป็นขั้นตอนทั่วไปที่ใช้เพื่อการตีความหรือแปลงข้อมูลจากบัญชีรายการเข้าตามผลของบัญชีรายการ จากนั้นนำข้อมูลในขั้นที่ 2 ไปแปลงเพื่อได้ออกมาเป็นค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เช่น การทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ (Acidification) ผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพ (Effect on Biodiversity) การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone Depletion) และอื่น ๆ โดยการตีความหรือการแปลงข้อมูลจะช่วยให้ผลลัพธ์ด้านสิ่งแวดล้อมมีการเชื่อมโยงกัน เข้าใจง่าย และมีประโยชน์มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ยังสามารถเทียบผลลัพธ์ได้มากขึ้น โดยการแปลงข้อมูลพารามิเตอร์จากในส่วนของกระบวนการวิเคราะห์บัญชีรายการให้เป็นประเภทผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ ดังนี้

การวิเคราะห์ผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint): เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบของปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่ถูกสร้างขึ้นก่อนที่จะเกิดผลลัพธ์สุดท้าย และผลกระทบจะถูกพิจารณาในการวิเคราะห์ขั้นนี้ เช่น การถูกทำลายของชั้นโอโซน เป็นต้น โดยวิธีการที่มุ่งเน้นการวิเคราะห์ผลกระทบขั้นกลางนั้น ก่อให้เกิดความไม่แน่นอนน้อยกว่าวิธีการที่มุ่งเน้นผลกระทบปลายทาง หรือมุ่งเน้นที่ความเสียหาย

การวิเคราะห์ผลกระทบปลายทาง (Endpoint): เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ที่สามารถแปลงไปสู่ความเสียหายหรือผลลัพธ์ปลายทางได้ การวิเคราะห์ผลกระทบดังกล่าวเป็นไปเพื่อประมาณผลลัพธ์ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ สิ่งมีชีวิต และทรัพยากรทางธรรมชาติ เช่น เมื่อชั้นโอโซนถูกทำลาย จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ได้ เป็นต้น อย่างไรก็ตามแม้การวิเคราะห์

ผลกระทบปลายทางนี้จะทำให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องได้เห็นภาพของผลกระทบที่ชัดเจนขึ้น แต่การวิเคราะห์ผลกระทบในรูปแบบนี้มักมีความไม่แน่นอนสูงกว่าการวิเคราะห์ผลกระทบชั้นกลาง



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างของผลกระทบชั้นกลางและการสอดคล้องกันของผลกระทบชั้นกลางที่สามารถเปลี่ยนเป็นผลกระทบปลายทาง [8]

2.3.3.3.1 ขั้นตอนในการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Steps in LCA)

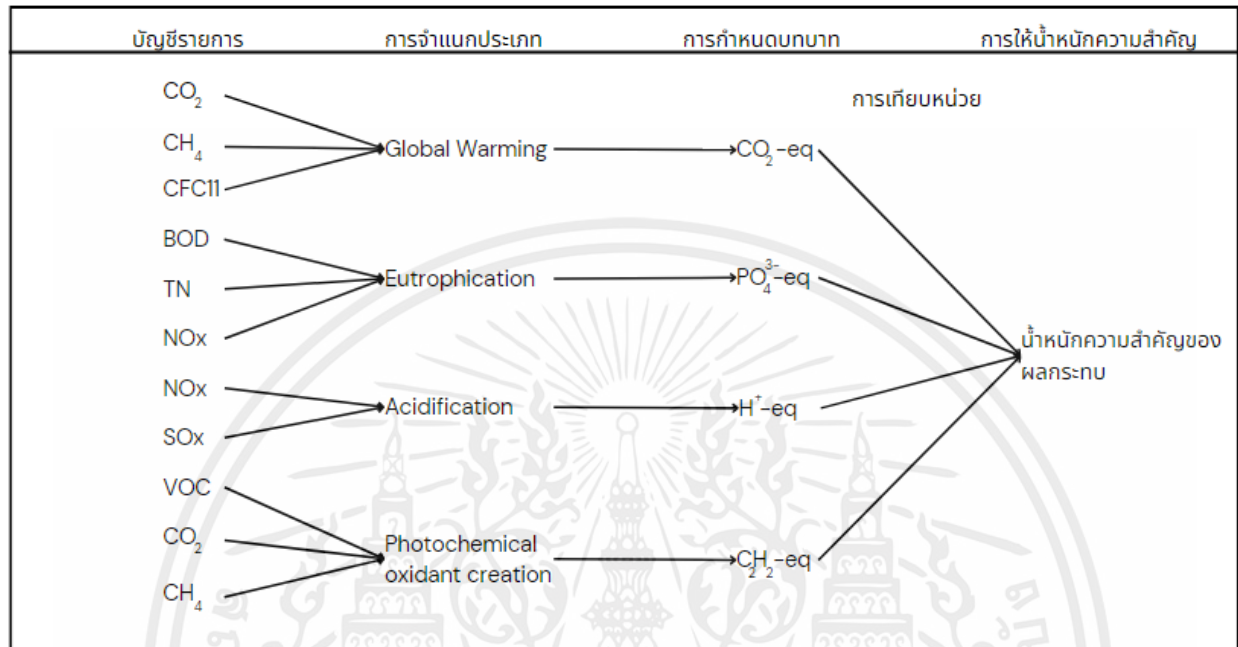
ตามระบบมาตรฐาน ISO 14000 นั้น ขั้นตอนในกระบวนการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ขั้นตอนพื้นฐานหรือขั้นตอนบังคับ ประกอบด้วย 1) การคัดเลือกประเภทของผลกระทบ (Selection of Impact Characteristics) 2) การจำแนกประเภท (Classification) และ 3) การกำหนดบทบาท (Characterization) สำหรับขั้นตอนที่เป็นทางเลือกเพื่อเพิ่มเติม นั้น ประกอบด้วย 1) การเทียบหน่วย (Normalization) 2) การจัดกลุ่ม (Grouping) และ 3) การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)

1) ขั้นตอนพื้นฐานหรือขั้นตอนบังคับ มีรายละเอียด ดังนี้

- การเลือกประเภทของผลกระทบ (Selection of Impact Characteristics): ในแต่ละกรณีศึกษานั้นองค์กรจำเป็นต้องระบุและเลือกหมวดหมู่ของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีความเกี่ยวข้องต่อกรณีศึกษานั้น ๆ
- การจำแนกประเภท (Classification): จำแนกประเภทของข้อมูลทั้งสารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) ไปยังประเภทของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ยกตัวอย่างเช่น การกำหนดให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในกลุ่มที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน เป็นต้น

- การกำหนดบทบาท (Characterization): ขั้นตอนในการแสดงข้อมูลของมลพิษต่าง ๆ ที่อยู่ในกลุ่มผลกระทบเดียวกัน ให้อยู่ในรูปของตัวเลขที่แสดงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามแต่ละประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยมลพิษแต่ละชนิดจะถูกคูณด้วยค่าการกำหนดบทบาท (Characterization Factor) ที่แตกต่างกัน เพื่อแปลงค่ามลพิษให้อยู่ในรูปของค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยสาเหตุที่มลพิษแต่ละชนิดมีค่าแฟคเตอร์ที่ต่างกันนั้น เนื่องมาจากมลพิษแต่ละชนิดมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในระดับแตกต่างกัน
- 2) ขั้นตอนที่เป็นทางเลือกเพื่อศึกษาเพิ่มเติม มีรายละเอียด ดังนี้
- การเทียบหน่วย (Normalization): การแปลงผลของขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์/บริการที่มีต่อสิ่งแวดล้อม กับขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ ในบริเวณที่ผลิตและที่ใช้ผลิตภัณฑ์ ไม่ว่าจะอยู่ในระดับประเทศ ภูมิภาคระดับโลก ยกตัวอย่างเช่น การแปลงผลกระทบจากความเป็นกรด (Acidification) ของผลิตภัณฑ์ ว่ามีปริมาณเท่าใดเมื่อเทียบกับความเป็นกรดทั้งหมดในประเทศไทย
 - การจัดกลุ่ม (Grouping): กำหนดประเภทของผลกระทบเป็นหนึ่งกลุ่มหรือมากกว่านั้น เพื่อให้ตีความผลลัพธ์ในบริเวณที่เฉพาะเจาะจงได้ง่ายขึ้น ซึ่งวิธีการเรียงลำดับและการจัดอันดับประเภทของผลกระทบนั้นมีการจัดกลุ่มอยู่ 2 วิธี คือ
 - การเรียงลำดับ เพื่อจัดกลุ่มประเภทของผลกระทบตามเกณฑ์พื้นฐาน เช่น ตำแหน่งที่ตั้งระดับโลก ระดับภูมิภาคและระดับท้องถิ่น เป็นต้น หรือตามลักษณะเฉพาะ เช่น ปัจจัยการผลิต และผลผลิต เป็นต้น
 - การจัดอันดับ เพื่อจัดลำดับความสำคัญของประเภทผลกระทบในระดับต่าง ๆ เช่น ความสำคัญในระดับสูง ความสำคัญในระดับปานกลาง และความสำคัญในระดับต่ำ เป็นต้น
 - การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting): ให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะแตกต่างกันไป ด้วยค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบ (Weighting Factor) ซึ่งขึ้นอยู่กับที่กำหนดลำดับความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเภทของผู้ทำการศึกษา

สำหรับตัวอย่างของการจำแนกประเภท การกำหนดลักษณะ และการให้น้ำหนักความสำคัญ แสดงดังรูปที่ 2.4 ดังนี้



รูปที่ 2.4 การจำแนกประเภท การกำหนดลักษณะ และการให้น้ำหนักความสำคัญ [8]

2.3.3.3.2 วิธีการกำหนดบทบาท (Characterization Method)

โดยผลกระทบที่นิยมนำมาใช้ในการจำแนก ได้แก่

- การสิ้นเปลืองทรัพยากร (Resource Depletion)

การสิ้นเปลืองทรัพยากรมีวิธีการประเมินผลกระทบอยู่หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีต้องการทรัพยากรที่ต่างกัน นอกจากนั้น การสร้างแบบจำลองการกำหนดบทบาทของผลกระทบที่ต่างกันจะขึ้นอยู่กับชนิดของทรัพยากร โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) ทรัพยากรหมุนเวียนและไม่หมุนเวียน (Renewable & Non-Renewable Resource) และ 2) ทรัพยากรธรรมชาติที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต (Biotic & Abiotic Resources) โดยทรัพยากรหมุนเวียน คือ ทรัพยากรที่มีการสร้างขึ้นใหม่อยู่ตลอดเวลา เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น ในขณะที่ทรัพยากรไม่หมุนเวียน จะไม่มีการเกิดขึ้นใหม่ในช่วงชีวิตของมนุษย์ เช่น เชื้อเพลิงฟอสซิล แร่ธาตุ เป็นต้น ขณะที่ทรัพยากรที่มีชีวิตเป็นทรัพยากรที่มีช่วงชีวิตหรือมีการหายใจ เช่น ป่า สัตว์ เป็นต้น สำหรับทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่มีชีวิตเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่มีช่วงชีวิต หรือไม่มีการหายใจ เช่น น้ำมันดิบ พลังงานลม เป็นต้น ซึ่งการสิ้นเปลืองทรัพยากรนั้นเกิดมาจากหลากหลายสาเหตุ ไม่ว่าจะเป็น 1) จำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น

อย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดความต้องการในการใช้ทรัพยากรที่เพิ่มขึ้น 2) การบริโภคเหลือทิ้งของประชาชน 3) การตัดไม้ทำลายป่า รวมไปถึงการทำลายระบบนิเวศของสัตว์เพื่อที่จะสร้างที่อยู่อาศัย พื้นที่อำนวยความสะดวกต่าง ๆ 4) การทำเหมืองแร่ การขุดน้ำมันและเชื้อเพลิง 5) การพัฒนาเทคโนโลยีและอุตสาหกรรม ซึ่งการพัฒนาเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมนั้นก่อให้เกิดความต้องการในการใช้ทรัพยากรที่เพิ่มสูงขึ้น 6) การพังทลายของดินอันเนื่องมาจากการตัดไม้ทำลายป่า ก่อให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุและทรัพยากรที่สำคัญของดิน 7 มลพิษและการปนเปื้อนของทรัพยากร ไม่ว่าจะเป็นทางน้ำและทางดินที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการที่ประชาชนไม่ใส่ใจต่อความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

- การใช้ที่ดิน (Land Use)

การใช้ที่ดิน หมายถึง มิติของการทำงานที่ดินและความสอดคล้องกับการใช้ที่ดินในแง่ของวัตถุประสงค์ทางเศรษฐกิจและสังคม ไม่ว่าจะเป็นการใช้ที่ดินเพื่อการอยู่อาศัย การเกษตร การป่าไม้ต่าง ๆ นอกจากนั้นการใช้ที่ดินยังหมายถึงการดำเนินการต่าง ๆ โดยมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเกษตรเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์และสร้างผลประโยชน์อันเกิดจากการใช้ทรัพยากรที่ดินนั่นเอง โดย IPCC (2007) นั้น ได้นิยามการใช้ที่ดิน ว่าหมายถึง การเตรียมการทั้งหมดของกิจกรรมอันเนื่องเกี่ยวกับการใช้ที่ดิน รวมไปถึงการใช้ที่ดินในแง่ของวัตถุประสงค์ทางสังคมและเศรษฐกิจ เช่น การอนุรักษ์ที่ดิน การเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น มากไปกว่านั้น การใช้ที่ดิน ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ คือ 1) การยึดครองที่ดิน (Land Occupation) และ 2) การแปรสภาพที่ดิน (Land Transformation) ซึ่งการยึดครองที่ดินและการแปรสภาพที่ดินนั้นจะส่งผลกระทบต่อแตกต่างกัน โดยการยึดครองที่ดิน หมายถึง การใช้พื้นที่อย่างต่อเนื่องเพื่อจุดประสงค์ในการดำเนินกิจการหรือกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นการเกษตร การป่าไม้ การสร้างอาคาร เป็นต้นสำหรับการแปรสภาพที่ดินนั้นหมายถึงการเปลี่ยนแปลงจากการใช้ที่ดินแบบหนึ่งไปเป็นอีกแบบหนึ่ง โดยการแปรสภาพที่ดินนั้นสามารถเกิดขึ้นได้จากกิจกรรมของมนุษย์และโดยกระบวนการทางธรรมชาติ

- ภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP)

ภาวะโลกร้อนหรือภาวะเรือนกระจก คือ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยในชั้นบรรยากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับโลก ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas: GHG) นั้นเป็นส่วนหลักที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนโดยแหล่งที่มาสำคัญของการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ได้แก่ การผลิตไฟฟ้า การเกษตร การขนส่ง กระบวนการทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วภาวะโลกร้อนจะถูกรายงานเป็นค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อนในรอบ 100 ปี และส่วนใหญ่การรายงานผลของภาวะโลกร้อนจะรายงานเป็นค่ากิโลกรัมก๊าซคาร์บอน

ได้ออกไข่เทียบเท่า สำหรับผลกระทบของการเกิดภาวะโลกร้อนนั้น ยกตัวอย่างเช่น การเพิ่มระดับของน้ำทะเล การเพิ่มขึ้นของความร้อนที่จะนำไปสู่การก่อให้เกิดความเจ็บป่วยของมนุษย์ การสูญเสียความชุ่มชื้นของดิน เป็นต้น

- ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน (Ozone Depletion Potential)

โอโซน คือ โมเลกุลที่ประกอบขึ้นจากอะตอมของออกซิเจน 3 อะตอม (O_3) มีโครงสร้างที่ไม่เสถียร ดังนั้นจึงสามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นก๊าซออกซิเจนได้ ซึ่งโอโซนในสถานะก๊าซนั้นจะไม่มีสี และไม่มีกลิ่น อย่างไรก็ตาม โอโซนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) โอโซนดี และ 2) โอโซนไม่ดี หรือที่เรียกว่าศักยภาพในการก่อให้เกิดหมอกควัน (Smog Creation Potential) สำหรับโอโซนดีที่อยู่ในชั้นบรรยากาศที่สูงขึ้นไปจากพื้นดินประมาณ 6-30 ไมล์นั้น มักถูกทำลายจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งศักยภาพในการทำลายโอโซนหรือการลดลงของโอโซน หมายถึง การลดลงของโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratosphere) การลดลงของโอโซนนี้สามารถส่งผลให้ระดับแสงรังสีอัลตราไวโอเล็ตบนผิวโลกสูงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และระบบนิเวศในธรรมชาติ โดยชั้นโอโซนดังกล่าวทำหน้าที่เสมือนเป็นเกราะคุ้มกันในการปกป้องมนุษย์และระบบนิเวศในธรรมชาติจากรังสีที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์ ผลกระทบนี้ส่งผลให้เกิดมะเร็งผิวหนังซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์ โดยสาเหตุหลักของการลดลงของโอโซนคือ คลอโรฟลูโอคาร์บอน (CFCs) ไฮโดรคลอโรฟลูโอคาร์บอน (HCFCs) และสารฮาลอน (Halons) สำหรับโอโซนไม่ดีขึ้น จะอยู่ในชั้นโทรโพสเฟียร์ (Troposphere) ที่อยู่เหนือหรือสูงกว่าพื้นดินไม่มากนัก โอโซนดังกล่าวเกิดจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ เครื่องจักร และโรงงานอุตสาหกรรม โดยจะปะปนอยู่ในหมอกควัน หากสูดดมจะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย

- ศักยภาพในความเป็นกรด (Acidification Potential)

ค่าศักยภาพความเป็นกรดของสารที่ถูกปลดปล่อยออกมานั้น เกิดจากการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรดในดินและน้ำ โดยสารที่มีส่วนทำให้เกิดเป็นกรด ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x), ไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) และแอมโมเนีย (NH_3) เมื่อสารเหล่านี้ลอยขึ้นไปในอากาศก็จะกลายเป็นส่วนหนึ่งของไอน้ำในก้อนเมฆ แล้วเมื่อก้อนเมฆรวมตัวกันก็จะก่อให้เกิดฝนกรด เมื่อฝนกรดตกลงมาจากที่ต่าง ๆ ก็จะถูกปลดปล่อยลงสู่พื้นดิน แม่น้ำ ทะเล ซึ่งเมื่อสารเหล่านี้ซึมลงสู่พื้นดินก็จะเข้าไปทำลายแร่ธาตุและสารอาหารที่มีประโยชน์ในพื้นดิน ทำให้ต้นไม้และพืชมีการเจริญเติบโตที่ช้าลง ช้ำยังอาจส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ที่บริโภคพืชและผัก เมื่อกรดละลายบนผิวน้ำหรือสัมผัสกับเนื้อเยื่อของมนุษย์ เช่น เนื้อเยื่อปอด ก็สามารถก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพได้อีกด้วย นอกจากนี้ หากอาคารบ้านเรือนที่มีส่วนประกอบเป็นหินปูนเจอกับฝนกรดที่มีสารพิษดังกล่าว ก็จะก่อให้เกิดการสึกกร่อนของตัวอาคารได้

- การก่อให้เกิดพิษต่อสุขภาพอนามัยมนุษย์ (Human Toxicity Potential)

ความเป็นพิษมีผลกระทบที่ซับซ้อน ซึ่งอาจเกิดจากผลกระทบหลายประเภท และสารหลายชนิด ความเป็นพิษสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ 1) ความเป็นพิษสุขภาพอนามัยมนุษย์ และ 2) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ สำหรับความเป็นพิษต่อสุขภาพอนามัยมนุษย์นั้น เกี่ยวข้องกับกิจกรรมที่มีการปลดปล่อยสารพิษเข้าสู่มนุษย์โดยผ่านทางอากาศ น้ำ และดิน ดังนั้น ประเภทของความเป็นพิษต่อมนุษย์ หมายถึง จำนวนของผลกระทบที่แตกต่างกันที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันอาการภูมิแพ้ ผลกระทบกับทางเดินหายใจที่มีการได้รับสารพิษเป็นจำนวนมาก เป็นต้น สำหรับความเป็นพิษต่อระบบนิเวศนั้น จะขอกกล่าวถึงในหัวข้อย่อยถัดไป

- ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity Potential)

ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity) นั้น มาจากการผสมคำระหว่างคำว่านิเวศวิทยา (Ecology) และพิษวิทยา (Toxicology) โดยศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศหมายถึง การประเมินผลกระทบของความเป็นพิษแบบเรื้อรังและแบบเฉียบพลันต่อสายพันธุ์ในระบบนิเวศที่เกิดจากมลพิษจากธรรมชาติหรือสารสังเคราะห์ และมีสารหลายชนิดที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ ตัวอย่างเช่น สารประกอบเคมี โลหะ และยากำจัดศัตรูพืช ยกตัวอย่างเช่น การทดสอบความเป็นพิษและการประเมินความเสี่ยงของปริมาณของสารเคมีที่อยู่ในดิน น้ำ อากาศ การทดสอบความเป็นพิษของการสัมผัสของตัวรับทางนิเวศวิทยา ไม่ว่าจะเป็น นก ปลา สัตว์ต่าง ๆ ต่อสิ่งปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เป็นต้น นอกจากนี้ การประเมินศักยภาพความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ ยังเกี่ยวข้องกับการประเมินความเป็นพิษของตัวกลางในสิ่งแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนสารเคมี เช่น น้ำทิ้ง ดิน ตะกอน ต่อสิ่งมีชีวิตอีกด้วย

- ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication Potential)

ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันนั้น คือ ศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเนื่องจากระดับของแร่ธาตุที่มีมากจนเกินไป ซึ่งอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบทางด้านสายพันธุ์และวงจรการผลิตของสิ่งมีชีวิต ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ 1) ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันในน้ำ และ 2) ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันบนพื้นดิน โดยการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันในน้ำเกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัส (P) และไนโตรเจน (N) ที่ผิดปกติ ส่งผลให้เกิดการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นของสาหร่าย แพลงก์ตอน รวมถึงจุลินทรีย์อื่น ๆ ในน้ำอีกด้วย เมื่อสาหร่ายแพลงก์ตอน และ

จุลินทรีย์มีจำนวนมากขึ้นแล้วนั้น จะทำให้เกิดการปิดกั้นแสงที่ส่องลงสู่ใต้น้ำ และทำให้พืชใต้น้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ทำให้พืชตาย นอกจากนั้น เมื่อพืชตาย กระบวนการย่อยสลายของพวกมันยังสิ้นเปลืองออกซิเจน (O_2) นี้เป็นสาเหตุให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลง ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์และพืชใต้น้ำ อันเป็นการรบกวนความสมดุลของระบบนิเวศใต้น้ำนั่นเอง ส่วนการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันบนพื้นดินนั้นเกี่ยวข้องกับสารอาหารในดิน ที่มีการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจน (N_2) ในดินมากจนเกินไป ซึ่งจะไปกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช อันจะก่อให้เกิดผลเสียต่อพืชไม่ว่าจะเป็นทำให้พืชอวบน้ำมากจนเกินไป ต้นอ่อนล้มง่าย โรคและแมลงเข้ารบกวนได้ง่าย เป็นต้น นอกจากนั้น คุณภาพผลผลิตของพืชบางชนิดก็อาจจะเสียไปได้ ยกตัวอย่างเช่น อ้อยจะมีความหวานลดน้อยลง ส้มจะมีความเปรี้ยวมากยิ่งขึ้น เป็นต้น

- การเกิดหมอกควัน (Smog)

การเกิดหมอกควันถือเป็นมลภาวะทางอากาศที่เกิดจากคำกร่อนระหว่างคำว่า ควัน (Smoke) กับ หมอก (Fog) ซึ่งอาจเรียกว่าหมอกปนควันนั่นเอง โดย "ควัน" คือสารผสมระหว่างเขม่า ฝุ่น และวัสดุต่าง ๆ ที่เกิดมาจากกองเพลิง นอกจากนั้นยังมีพวกแก๊สและไอต่าง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ส่วน "หมอก" คือ อนุภาคเล็ก ๆ ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ โดยเกิดขึ้นในสภาวะอากาศร้อนอันเนื่องมาจากไอน้ำในอากาศถูกทำให้เย็นลงอย่างกะทันหัน ก่อให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหมอกเหนือพื้นดิน ซึ่งหมอกควันหรือหมอกควันนั้นคือปรากฏการณ์ที่ฝุ่นควันและอนุภาคแขวนลอยในอากาศเกิดการทำปฏิกิริยากันกับแสงอาทิตย์ในสภาวะที่อากาศปิด ก่อให้เกิดลักษณะของหมอกควันขึ้นมานั่นเอง โดยมีพิษหลักคือไนโตรเจนออกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOCs) ซึ่งมลพิษเหล่านี้มักเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่านหิน การใช้รถยนต์จำนวนมากศาลควันจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยผลกระทบของการเกิดหมอกควัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อสุขภาพของประชาชนนั้น ยกตัวอย่างเช่น การก่อให้เกิดปัญหาของระบบทางเดินหายใจ การระคายเคืองจมูกและลำคอ การระคายเคืองตา การเกิดความผิดปกติของปอด เป็นต้น

2.3.3.3.3 วิธีการประเมินผลกระทบต่อวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCIA Methods)

การประเมินผลกระทบต่อวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ มีวิธีการอยู่หลายวิธีในการประเมินที่ถูกนำมาใช้ และถูกนำมาพัฒนาอย่างต่อเนื่อง วัตถุประสงค์ของการประเมินผลกระทบต่อวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ คือ การอธิบายผลลัพธ์ของผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มาจากกระบวนการวิเคราะห์บัญชีรายการและการแปลงผลข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมไปสู่ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยวิธีการประเมินผลกระทบต่อวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย มีหลายวิธี ดังนี้

1) LUCAS (Canadian-Specific Context)

LUCAS ถูกใช้เป็นหนึ่งในการประเมินที่ผสมผสานระหว่างผลกระทบชั้นกลาง และผลกระทบปลายทาง ของค่าการกำหนดบทบาท (Characterization Factor) การประเมินแบบLUCAS สามารถจำแนกประเภท ผลกระทบได้ทั้งหมด 10 ประเภท ประกอบด้วย 1) การร่อยหรอของทรัพยากรที่ไม่มีชีวิต (Abiotic Resource Depletion) 2) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) 3) การทำลายโอโซน (Ozone Depletion) 4) ความเป็นกรด (Acidification) 5) ความเป็นพิษ (Toxicity) 6) การเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Aquatic & Terrestrial Eutrophication) 7) การใช้ที่ดิน (Land Use) 8) การก่อให้เกิดหมอกและควัน (Smog Formation) 9) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทั้งสัตว์น้ำและสัตว์บก (Aquatic & Terrestrial Ecotoxicity) และ 10) ผลกระทบ ด้านการหายใจ (Respiratory Effects) อย่างไรก็ตาม ผลกระทบปลายทางยังอยู่ในขั้นตอนของการพัฒนาในอนาคต

2) Eco-Indicator 99 (E199)

Eco-Indicator 99 ได้ถูกเริ่มต้นพัฒนาขึ้นเพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์สำหรับมลพิษอุตสาหกรรมใน ประเทศฝั่งยุโรป อันเป็นวิธีการประเมิน LCAเพื่อหาผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ขึ้นอยู่กับผลกระทบปลายทาง ดังนั้น นักวิจัยจึงได้เริ่มปรับปรุงวิธีการโดยเริ่มการให้น้ำหนักความสำคัญ แล้วเริ่มศึกษาจากจุดสูงสุดไปจุดต่ำสุด (Top Down) เพื่อให้การวิเคราะห์สมบูรณ์ จึงเรียกการวิเคราะห์นี้ว่า Top-down method โดย E99 ได้พิจารณา ถึง 3 ประเภทความเสียหายหลัก ๆ คือ 1) สุขภาพมนุษย์ (Human Health) 2) คุณภาพของระบบนิเวศ (Ecosystem Quality) และ 3) การสิ้นเปลืองทรัพยากร (Resource Depletion) โดยการเทียบหน่วยและการให้ น้ำหนักความสำคัญก็ยังคงถูกรวมมาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้

3) EDIP97/2003 (The Environmental Design of Industrial Products)

EDIP97/2003 เป็นวิธีการประเมินที่ถูกพัฒนาในยุคกลางของปี ค.ศ. 1990 ที่ประเทศเดนมาร์ค โดย บริษัท Consortium of Danish และวิธีดังกล่าวได้ถูกเผยแพร่และใช้ชื่อว่า EDIP97 ในปี ค.ศ. 1997 ซึ่ง EDIP97 นับเป็นการประเมินผลกระทบชั้นกลาง (Midpoint) ซึ่งจำแนกประเภทผลกระทบสิ่งแวดล้อมออกได้เป็น 7 ประเภท ได้แก่ 1) ภาวะโลกร้อน (Global Warming) 2) การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone Depletion) 3) การก่อตัวของ โอโซนที่เกิดจากปรากฏการณ์โฟโตเคมีคัล (Photochemical Ozone Formation) 4) ความเป็น กรด (Acidification) 5) การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุ (Nutrient Enrichment) 6) ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity) และ 7) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity) ซึ่งการเทียบหน่วยและการให้น้ำหนักความสำคัญ ยังคงเป็นขั้นตอนที่สำคัญของ EDIP97/2003 เพราะหลังจากขั้นตอนการกำหนดบทบาทแล้วนั้น ค่าผลกระทบจะ ถูกเทียบหน่วยโดยขึ้นอยู่กับค่ากลางที่เหมาะสม

4) IMPACT2002+

IMPACT2002+ เป็นหนึ่งในการประเมินของยุโรป ซึ่งเป็นการประเมินที่ผสมผสานระหว่างผลกระทบชั้นกลาง และผลกระทบปลายทาง โดยประเภทผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมชั้นกลาง มีทั้งหมด 14 ประเภท ประกอบด้วย 1) ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity) 2) ผลกระทบด้าน การหายใจ (Respiratory Effects) 3) การแผ่รังสี (Ionizing Radiation) 4) การทำลายชั้นโอโซน (Ozone Layer Depletion) 5) การออกซิเดชันที่เกิดจากปรากฏการณ์โฟโตเคมีคัล (Photochemical Oxidation) 6) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในน้ำ (Aquatic Ecotoxicity) 7) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศบนบก (Terrestrial Ecotoxicity) 8) ความเป็นกรดในน้ำ (Aquatic Acidification) 9) ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันในน้ำ (Aquatic Eutrophication) 10) ความเป็นกรดในดิน (Terrestrial Acidification/Nitrification) 11) การยึดครองที่ดิน (Land Occupation) 12) ภาวะโลกร้อน (Global Warming) 13) การใช้พลังงานที่สิ้นเปลือง (Non-Renewable Energy) และ 14) การใช้สินแร่ (Mineral Extraction) และถูกจัดเป็นกลุ่มของผลกระทบปลายทางได้เป็น 4 ประเภท ประกอบด้วย 1) สุขภาพมนุษย์ (Human Health) 2) คุณภาพระบบนิเวศ (Ecosystem Quality) 3) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) และ 4) ทรัพยากร (Resources) โดยการเทียบหน่วยสามารถนำไปใช้ที่ผลกระทบชั้นกลางหรือผลกระทบปลายทางได้

5) TRACI (The Tool for the Reduction and Assessment of Chemicals and Other Environmental Impacts)

TRACI เป็นวิธีการประเมินผลกระทบที่พัฒนาโดยองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental Protection Agency) การประเมินนี้สามารถจำแนกผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมออกได้เป็น 15 ประเภทของผลกระทบชั้นกลาง ได้แก่ 1) ภาวะโลกร้อน (Global Warming) 2) การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ (Acidification) 3) การก่อให้เกิดหมอกและควัน (Smog Formation) 4) การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone Depletion) 5) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในอากาศ (Air Ecotoxicity) 6) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในน้ำ (Aquatic Ecotoxicity) 7) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศบนพื้นดิน (Ground- Surface Soil Ecotoxicity) 8) ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) 9) สุขภาพมนุษย์จากสารก่อมะเร็งและสารไม่ก่อมะเร็งอันเป็นสาเหตุมาจากมลพิษในอากาศ (Human Health Regarding Both Non-Cancer-Causing and Cancer-Causing Components in Air) 10) สุขภาพมนุษย์จากสารก่อมะเร็งและสารไม่ก่อมะเร็งอันเป็นสาเหตุมาจากมลพิษในน้ำ (Human Health Regarding Both Non-Cancer-Causing Components in Water and Cancer-Causing Components Water) 11) สุขภาพมนุษย์จากสารก่อมะเร็งและสารไม่ก่อมะเร็งอัน

เป็นสาเหตุมาจากมลพิษบนพื้นดิน (Human Health Regarding Both Non-Cancer-Causing and Cancer-Causing Components in Ground Surface Soil และ 12) เกณฑ์ด้านสุขภาพมนุษย์ที่เกี่ยวกับมลภาวะทางอากาศ (Human Health Criteria Pertaining to Air-Point Sources) โดยผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ทั้งทางอากาศ น้ำ และบนพื้นดินนั้น สามารถแยกย่อยออกเป็นผลกระทบที่มาจากสารก่อมะเร็งและสารไม่ก่อมะเร็ง จึงทำให้วิธีการประเมินนี้ประกอบด้วยผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมรวมเป็นจำนวนทั้งสิ้น 15 ประเภทนั่นเอง นอกจากนี้วิธีการประเมินนี้ยังเป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในประเทศสหรัฐอเมริกาอีกด้วย

6) CML 2001

ในปี 2001 วิธีการประเมินผลกระทบแบบ CML ถูกพัฒนาโดย Center of Environmental Science of Leiden University จากประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยในวิธีนี้จะเป็นการมุ่งเน้นไปที่ปัญหา วิธีการประเมินนี้เป็นการประเมินผลกระทบชั้นกลาง โดย CML 2001 แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือแบบพื้นฐานและแบบไม่ใช่พื้นฐาน โดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้แบบพื้นฐานในการประเมินผลกระทบบ่อยที่สุด ในแบบพื้นฐานนั้นสามารถจำแนกประเภทผลกระทบออกเป็น 11 ประเภท ประกอบด้วย 1) ศักยภาพในการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential) 2) การทำลายทรัพยากรที่ไม่มีชีวิต (Abiotic Depletion (ADP Elements)) 3) การทำลายทรัพยากรฟอสซิล (Abiotic Depletion (ADP fossil)) 4) ศักยภาพในความเป็นกรด (Acidification Potential) 5) ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication Potential) 6) ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำจืด (Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential) 7) ศักยภาพในความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity Potential) 8) ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำทะเล (Marine Aquatic Ecotoxicity Potential) 9) ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน (Ozone Layer Depletion Potential) 10) ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์โฟโตเคมีคัล (Photochemical Ozone Creation Potential) 11) ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศบนบก (Terrestrial Ecotoxicity Potential) [13]

ตารางที่ 2.2 แสดงหมวดหมู่ผลกระทบในวิธีของ CML 2001

วิธี CML (baseline)	
กลุ่มหมวดหมู่ผลกระทบ	ชื่อของประเภทผลกระทบ
ความเป็นกรด (Acidification)	ศักยภาพในความเป็นกรด (Acidification Potential)
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change)	ศักยภาพในการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential)
การสูญเสียทรัพยากรชีวภาพ (Depletion of abiotic resources)	การทำลายทรัพยากรที่ไม่มีชีวิตและการทำลายทรัพยากรฟอสซิล (Abiotic Depletion Elements & Fossil)
ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity)	ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำจืด (Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential) , ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำทะเล (Marine Aquatic Ecotoxicity Potential) และ ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศบนบก (Terrestrial Ecotoxicity Potential)
ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)	ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication Potential)
ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity)	ศักยภาพในความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity Potential)
การทำลายชั้นโอโซน (Ozone layer depletion)	ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน (Ozone Layer Depletion Potential)
ปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล (Photochemical oxidation)	ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์โฟโตเคมีคัล (Photochemical Ozone Creation Potential)

7) The Japanese LIME (The Japanese Life-cycle Impact Assessment Method)

LIME เป็นการประเมินผลกระทบปลายทางที่พัฒนาโดยสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีขั้นสูงในอุตสาหกรรม (The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology) ในประเทศญี่ปุ่น โดยการประเมินนี้สามารถจำแนกผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมออกเป็น 11 ประเภท ประกอบด้วย 1) ภาวะโลกร้อน (Global Warming) 2) การเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) 3) ความเป็นกรด (Acidification) 4) การออกซิเดชันที่เกิดจากปรากฏการณ์โฟโตเคมีคัล (Photochemical Oxidation) 5) การทำลายชั้นโอโซน (Ozone-Layer Depletion) 6) การเกิดมลพิษทางอากาศ (Urban Air Pollution) 7) การใช้ที่ดิน (Land Use) 8) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity) 9) ศักยภาพในความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity Potential) 10) การสิ้นเปลืองทรัพยากร (Resource Depletion) และ 11) การเกิดขยะ (Waste) อย่างไรก็ตาม LIME ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อสภาพแวดล้อมของประเทศญี่ปุ่น

8) LCSEA (The Life-Cycle Stressor-Effects Assessment)

LCSEA ถูกพัฒนาโดยระบบการรับรองทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Certification Systems: SCS) อันเป็นกระบวนการในการประเมินที่พิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) ซึ่งได้ถูกจัดอยู่ในระบบมาตรฐาน ISO 14042 และจุดประสงค์ในการพัฒนาวิธีการประเมินแบบ LCSEA นั้น เพื่อการคำนวณค่าการบ่งชี้ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ที่มาจากสังคม ศาสนา และ ค่าตัวแปรอื่น ๆ ทั่วโลก โดย LCSEA นั้นสามารถใช้งานได้ ในหลากหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานทั้งภายนอกและภายในอุตสาหกรรม ผู้ใช้งานภายในสามารถใช้สำหรับการวางแผนการพัฒนากลยุทธ์ทางด้านสิ่งแวดล้อมภายในองค์กรและการประเมินประสิทธิภาพสิ่งแวดล้อม ส่วนผู้ใช้งานภายนอกสามารถใช้เพื่อการจัดซื้อจัดจ้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและโครงการจัดทำต่าง ๆ ที่สนใจต่อการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2.3.3.4 การแปลผล (Interpretation)

ขั้นตอนการแปลผลของ LCA หมายถึง การนำผลจากการทำรายการบัญชีข้อมูล และการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมารวมกันเข้าเพื่อให้ได้ข้อสรุป และข้อเสนอแนะตามเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่ระบุไว้ ตามระบบมาตรฐาน ISO 14040 ได้กล่าวถึงในส่วนของการแปลผลของการประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ว่ามีวัตถุประสงค์หลักเพื่อสรุปผลและให้ข้อเสนอแนะ นอกจากนี้ข้อสรุปยังจำเป็นที่จะต้องมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ทำให้สามารถชี้ชัดลงไปได้อย่างชัดเจนถึงกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และควรมีการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุง ณ จุดนั้นๆ เพื่อให้คุณสมบัตินี้ทางสิ่งแวดล้อมดีขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ที่ได้ อาจไม่เป็นไปตามความคาดหวัง ดังนั้น จึงควรมีการเสนอ

วิธีที่มีประสิทธิภาพเพื่อการเรียนรู้ต่อไป สำหรับการแปลผลหรือการตีความผลข้อมูลของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การกำหนดประเด็นสำคัญ 2) การประเมินผล และ 3) การสรุปผล การกำหนดข้อจำกัดในการวิจัย และข้อเสนอแนะ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) การกำหนดประเด็นสำคัญ เกี่ยวข้องกับการกำหนดและทบทวนข้อมูลที่สำคัญของการวิเคราะห์บัญชีรายการ และการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปจะมีผลข้อมูลของพารามิเตอร์หลายร้อยตัว ดังนั้น การกำหนดทางเลือกในการวิเคราะห์และแสดงผลลัพธ์ เป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญ

2) การประเมินผล ประกอบด้วย 1) การระบุผลและประเด็นสำคัญ และ 2) ความสมบูรณ์ความอ่อนไหวและความสม่ำเสมอของการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้มั่นใจในผลลัพธ์จากส่วนของการวิเคราะห์บัญชีรายการ และการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

3) การสรุปผล การกำหนดข้อจำกัดในการวิจัย และข้อเสนอแนะนั้น ใช้เพื่อสื่อสารผลของการประเมินอย่างเป็นรูปธรรมและสมบูรณ์ โดยมีความถูกต้องแม่นยำให้แก่ผู้ที่สนใจในการนำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ไปประยุกต์ใช้โดยกรอบการดำเนินงานในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่กล่าวมาข้างต้นนั้น

หลังจากที่วิเคราะห์ด้วย LCA เสร็จเรียบร้อยแล้ว พบว่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมใดเป็นอันตรายที่สุด และเกิดจากกระบวนการใด การวิเคราะห์หาวิธีที่เหมาะสมในการแก้ไขสิ่งแวดล้อม แต่ในโลกอุตสาหกรรมขั้นตอนการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงมักขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

ทางเศรษฐศาสตร์

บริษัทหรือองค์กรใดๆ ก็ตามจะยังต้องการที่จะคงไว้ซึ่งผลของกำไร เมื่อมีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงใดๆเกิดขึ้น

ทางผู้บริโภค

นิสัยของผู้บริโภค ปัจจุบันนิสัยในการบริโภคของคนเรามากยึดติดอยู่กับสมัยนิยมหรือแฟชั่น ซึ่งถูกควบคุมโดยผู้ผลิตเพราะฉะนั้นธรรมเนียมในการจับจ่ายใช้สอยจะเปลี่ยนแปลงเสมอๆ ผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ อาจขายได้เป็นอย่างดี ไม่ใช่เพราะว่าผลิตภัณฑ์เก่าไม่ดี แต่เป็นเพราะของใหม่มีลักษณะที่แตกต่างออกไป อาจเป็นในเรื่องของสีหรือรูปทรง

ความพึงพอใจของผู้บริโภค จากมุมมองทั่วไปของผู้บริโภค ความต้องการพื้นฐานขึ้นอยู่กับความพึงพอใจประมาณ 80% ของความต้องการที่ถูกสร้างขึ้นสามารถเปลี่ยนได้โดยความรู้สึกหรือการศึกษา ปัจจุบันการปลูก

สำนึกในเรื่องสิ่งแวดล้อมได้มีมากขึ้น ถ้าผู้บริโภคเห็นด้วยกับผลิตภัณฑ์อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมากกว่า ด้วยเหตุนี้ บริษัทหรือองค์กรที่มีความสามารถในการจัดการเรื่องสิ่งแวดล้อมย่อมได้เปรียบ [14] [15]

โปรแกรมสำเร็จรูปของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

Cooper & Fava (2006) ได้กล่าวไว้ว่า โดยส่วนใหญ่แล้วโปรแกรมสำเร็จรูปของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เป็นโปรแกรมที่มีการใช้อย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นโปรแกรม GaBi ที่มีผู้ใช้งานกว่าร้อยละ 58 ของโปรแกรมสำเร็จรูปทั้งหมด ส่วนโปรแกรม SimaPro และ TEAM มีผู้ใช้งานร้อยละ 31 และ 11 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีโปรแกรมสำเร็จรูปอื่น ๆ อีกไม่ว่าจะเป็น Umberto, ECO-IT, Boustead เป็นต้น โดยโปรแกรมสำเร็จรูปที่ถูกใช้งานและเป็นที่นิยมมากที่สุด 3 อันดับแรก มีดังนี้

GaBi

โปรแกรมสำเร็จรูป GaBi เป็นระบบและฐานข้อมูลที่ถูกพัฒนาโดยบริษัท PE International ของประเทศเยอรมันนี้ GaBi เป็นโปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ครอบคลุมในทุก ๆ ด้านของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม มีโครงสร้างและโปรแกรมที่ง่ายต่อการใช้งานและข้อมูลที่ GaBi มีนั้นครอบคลุมกับอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท เช่น โลหะ (เหล็กกล้าอลูมิเนียม โลหะอื่น ๆ พลาสติก วัสดุดิบธรรมชาติ พลังงาน (ไอน้ำ ความร้อน พลังงานผสม) การขนส่ง การกำจัด การผลิต ไฟฟ้า และอื่น ๆ

SimaPro

โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro เป็นระบบและฐานข้อมูลที่ถูกคิดค้นโดยบริษัท Pre Consultants ประเทศเนเธอร์แลนด์ โปรแกรมดังกล่าวเป็นโปรแกรมที่ง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งมีฐานข้อมูลของบัญชีรายการที่หลากหลาย และมีวิธีการประเมินผลกระทบที่หลากหลายเช่นกัน นอกจากนี้ SimaPro ยังสามารถเชื่อมต่อกับระบบการแต่ละกระบวนการได้เพียงไม่กี่ขั้นตอน

TEAM

โปรแกรมสำเร็จรูป TEAM เป็นระบบและฐานข้อมูลที่ถูกคิดค้นโดยบริษัท Ecobilan ประเทศอังกฤษ โปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมที่ยอมให้ผู้ใช้งานสามารถสร้างและใช้ฐานข้อมูลที่มีมากกว่า 600 แบบเพื่อนำไปสร้างระบบแบบจำลองของผลิตภัณฑ์ การดำเนินการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ กระบวนการ และกิจกรรม โดยโปรแกรมสำเร็จรูปนี้สามารถให้ผู้ใช้งานคำนวณค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยอ้างอิงจากระบบมาตรฐาน ISO 14040 ได้

เนื่องจากการศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตนั้นจะต้องใช้ตัวเลขและข้อมูลเข้ามาเกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก จึงอาจต้องใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเข้ามาใช้ในการจัดเก็บข้อมูลเพื่อความรวดเร็ว สะดวกสบายและลดความผิดพลาดจากการคำนวณหลายประเทศได้ให้ความสนใจและพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปขึ้นมาอย่างมากมาย ดังแสดงในตาราง 2.2 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการศึกษา LCA ที่นิยมในปัจจุบัน [16]

ตารางที่ 2.3 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการศึกษา LCA ที่นิยมในปัจจุบัน

ประเทศ	ชื่อโปรแกรม	ผู้ผลิต	เว็บไซต์
ญี่ปุ่น	NIRE-LCA	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)	http://www.aist-riss.jp/main
	JEMAI-LCA – Pro 2	Japan Environmental Management Association for Industry (JEMAI)	http://www.jemai.or.jp/english/lca
เนเธอร์แลนด์	SimaPro	PR Product Ecology Consultants	http://www.simapro.co.uk
เยอรมัน	Umberto	ifu Hamburg GmbH	http://www.umberto.de
	GaBi	PE International Experts in Sustainability	http://gabi-software.com
ฝรั่งเศส	TEAM	Ecobilan	https://www.ecobilan.com
	WISARD	Ecobilan	https://www.ecobilan.com
สหรัฐอเมริกา	TRACI	U.S. Environmental Protection Agency	http://www.epa.gov

2.3.4 ขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

สำหรับขอบเขตของการประเมินโดยวิธีการการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขอบเขตหลัก (รูปที่ 2.5) ดังนี้

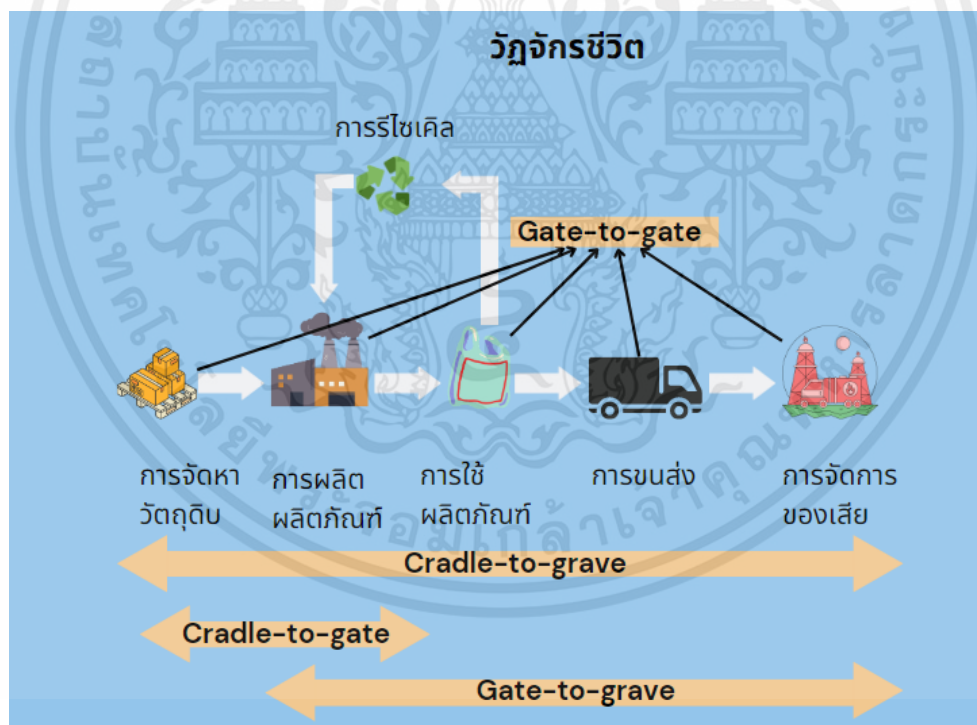
1) Cradle to Grave เป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แบบเต็มรูปแบบ โดยเริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิตผลิตภัณฑ์ การนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน ตลอดจนการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ อาจกล่าวได้ว่า การประเมินวัฏจักรชีวิตของ

ผลิตภัณฑ์แบบเต็มรูปแบบนี้ คือการพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนถึงตาย ซึ่งการประเมินในรูปแบบนี้จำเป็นที่จะต้องใช้เวลาที่ค่อนข้างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนของการเก็บรวบรวมข้อมูล

2) Cradle to Gate เป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบจนกระทั่งได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ แต่จะไม่มีการรวมขั้นตอนการใช้งานหรือกำจัดซากเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งการพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในรูปแบบนี้เหมาะสำหรับใช้ในการทำเอกสาร หรือการรับรองผลิตภัณฑ์

3) Gate to Gate เป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ในส่วนที่เฉพาะเกี่ยวกับกระบวนการในการผลิตผลิตภัณฑ์ในแต่ละช่วงกระบวนการ เช่น การจัดหาวัตถุดิบ การผลิตผลิตภัณฑ์ การใช้ผลิตภัณฑ์ การขนส่ง การจัดการของเสีย

4) Gate to Grave เป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การผลิตผลิตภัณฑ์ไปจนถึงการกำจัดซาก



รูปที่ 2.5 ขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ [8]

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เทียบกับการประเมินความเสี่ยง

โดยทั่วไปนั้นความเสี่ยงหมายถึง ความเป็นไปได้ของผลกระทบด้านลบหรือเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ โดยการประเมินความเสี่ยงเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจัดทำโครงสร้างและรวบรวมข้อมูล เพื่อที่จะระบุสถานการณ์อันตรายที่อาจเกิดขึ้น รวมไปถึงการรายงานปัญหาที่มีศักยภาพ หรือระดับของความเสี่ยงด้านสุขภาพและความปลอดภัย อย่างไรก็ตาม การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ มีเป้าหมายและวิธีการที่แตกต่างจากการประเมินความเสี่ยงโดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ คือการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ แม้วัตถุประสงค์และเป้าหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์และการประเมินความเสี่ยงจะแตกต่างกัน แต่มีบางส่วนของกระบวนการประเมินทั้ง 2 ที่สามารถเป็นประโยชน์และเติมเต็มซึ่งกันและกัน ในการพยายามที่จะทำให้สภาพแวดล้อมโดยรวมเกิดผลดี

2.3.5 ประโยชน์ของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

สำหรับประโยชน์ของการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นมีมากมายโดยผลประโยชน์หลัก ๆ มีดังนี้

- เพื่อส่งเสริมให้ผู้ผลิตใช้เทคโนโลยีหรือวิธีการผลิตที่ลดการเกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม
- ช่วยให้เกิดการนำผลจากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมไปต่อยอดในการออกแบบการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ให้มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น
- เพื่อส่งเสริมให้เกิดการใช้วัตถุดิบและพลังงานอย่างคุ้มค่า อันนำไปสู่การมีต้นทุนการผลิตที่ลดลง รวมไปถึงการก่อให้เกิดต้นทุนในการบำบัดมลพิษที่น้อยลงเพื่อช่วยในการลดปริมาณและการสะสมตัวของมลพิษต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม
- สามารถนำผลของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบ เพื่อให้สามารถเลือกทางเลือกในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด
- ช่วยให้เกิดการทราบถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย ไม่ใช่เพียงเฉพาะช่วงใดช่วงหนึ่งของการผลิตผลิตภัณฑ์

- สามารถนำ LCA ไปใช้ในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการว่า ผลิตภัณฑ์หรือ กระบวนการใด มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า

- ใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการด้าน พลังงานและสิ่งแวดล้อมรวมถึงใช้เป็นฐานข้อมูล ในการวางแผนการจัดการ เพื่อปรับปรุงเพิ่ม ประสิทธิภาพและเลือกใช้เทคโนโลยีในกระบวนการ ที่เกี่ยวข้อง

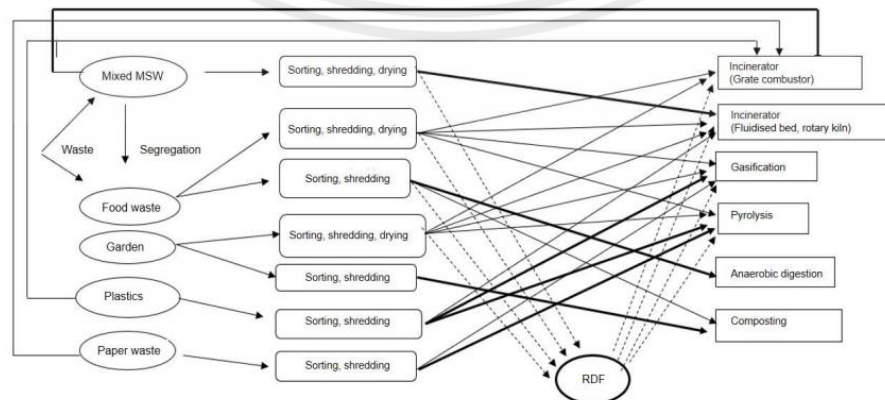
- เป็นฐานข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการออกแบบเชิงนิเวศ (Eco-Design) ต่อไป

- ผลที่ได้รับจากการศึกษา LCA สามารถนำไปเป็นข้อมูลหรือข้ออ้างอิงด้านสิ่งแวดล้อมให้เป็นไปตามกฎหมายสิ่งแวดล้อมของ ประเทศคู่ค้าเพื่อสนับสนุนการส่งออกของโรงงาน และของประเทศไทย

- การศึกษาวิจัยด้าน LCA จะช่วยเตรียมความพร้อมของประเทศในการรองรับกับมาตรการ ด้านการค้า และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศ คู่ค้าใหญ่ๆ ของไทย เช่น สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น เป็นต้น [8] [17]

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mazalan Maisaraha, Cassendra P.C. Bonga, Wai Shin Hoa, Jeng Shiun Lima, Zarina Muisa, Haslenda Hashima, Sherien Elagroudyb, Gabriel H.T. Lingc, Chin Siong Hoc (2018) พิจารณาเกี่ยวกับลักษณะของของเสียประเภทต่างๆ ของขยะมูลฝอยและเสนอความเหมาะสมระหว่างของเสียเหล่านี้กับเทคโนโลยีแปลงของเสียเป็นพลังงานที่มีอยู่ ซึ่งขยะมูลฝอยแบบผสมเหมาะสมกับกระบวนการ Incineration ส่วนขยะมูลฝอยแบบที่มีการคัดแยก ในส่วนของขยะอินทรีย์จะเหมาะกับการบำบัดทางชีวภาพมากกว่า ขยะใบไม้/กิ่งไม้เหมาะกับกระบวนการ Pyrolysis, Incineration และ Gasification ขยะพลาสติกเหมาะกับกระบวนการ Gasification และ Pyrolysis เนื่องจากมีค่าความร้อนสูงและติดไฟได้ ขยะกระดาษเหมาะกับกระบวนการ Pyrolysis เนื่องจากมี



เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส โดยแผนภาพการจับคู่ความเหมาะสมของของเสียประเภทต่างๆกับเทคโนโลยีการแปร
รูปของเสียให้เป็นพลังงานแสดงดังรูปที่ 2.6 [18]

รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงความเหมาะสมของวิธีการกำจัดของเสียแต่ละประเภท [18]

Samson O. Ojoawo, Abayomi A. Gbadamosi (2013) เครื่องมือสำหรับการลดและประเมินสารเคมี
และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ (TRACI) ของสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา และวิธีการของ
ศูนย์ศึกษาสิ่งแวดล้อม (CML) ของมหาวิทยาลัยไลเดนเป็นสองแนวทางที่นำไปใช้สำหรับฐานข้อมูลซอฟต์แวร์ GaBi
Life Cycle Assessment (LCA) เพื่อจัดประเภทและระบุลักษณะผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขยะชุมชนในพื้นที่
Ogbomoso South Local Government (LGA) ประเทศไนจีเรีย ซึ่งในองค์ประกอบของขยะ ตัวแทน 5
ครัวเรือนได้รับเลือกจากหน่วยเลือกตั้งใน Ibapon สำหรับการศึกษา เก็บตัวอย่างของเสียจากครัวเรือนใน
ระยะเวลา 5 วัน โดยคัดแยกประเภทตามส่วนประกอบและน้ำหนัก สำหรับการประเมินผลกระทบของวัฏจักรชีวิต
(LCIA) แบบจำลองการจัดการของเสีย 2 สถานการณ์ ได้รับการพัฒนาและเปรียบเทียบโดยใช้ซอฟต์แวร์ GaBi
สถานการณ์ที่ 1 เกี่ยวข้องกับการรวบรวม การขนส่ง และการฝังกลบ ในขณะที่สถานการณ์ที่ 2 เป็นการเผา ดัชนี
ผลกระทบที่กำหนดจากทั้งสองสถานการณ์คือ: ศักยภาพของภาวะโลกร้อน (GWP), ศักยภาพในการทำให้เป็นกรด
(AP), ศักยภาพยูโทรฟิเคชัน (EP) และศักยภาพการลดลงของชั้นโอโซน (ODP) ผลการวิจัยพบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละ
(%) ขององค์ประกอบของขยะที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โลหะ สิ่งทอ กระดาษ พลาสติก แก้ว และไม้ ตามลำดับ
คือ 55.9, 9.5, 2.4, 6.5, 6.7, 6.6 และ 12.2 จากผลการศึกษาวีธี LCIA การฝังกลบของเสียสร้างผลกระทบต่อ
สิ่งแวดล้อมน้อยกว่า โดยใช้ดัชนี ODP เมื่อเทียบกับการเผา สรุปได้ว่าการพิจารณาสถานการณ์การจัดการ การ
ฝังกลบของเสียเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า [19]

Antzela Fivga, Ioanna Dimitriou (2018) ไพโรไลซิสถูกมองว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีแนวโน้มที่ดีในการ
เปลี่ยนขยะพลาสติกให้เป็นผลิตภัณฑ์น้ำมัน จึงได้ทำการตรวจสอบความเป็นไปได้ทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์
ของกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงหนัก สถานการณ์กรณี
พื้นฐานที่พิจารณาคือโรงงานที่มีกำลังการผลิตขยะพลาสติก 100 กก./ชม. ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของโพลีเอ
ทิลีน โพลีโพรพิลีน และโพลีสไตรีน ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นน้ำมัน ตลอดจนถ่านและก๊าซได้อย่างมีประสิทธิภาพตาม
มูลค่าผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเชื้อเพลิงคำนวณโดย Aspen HYSYS ที่ 86% [20]

Dang Saebeaa, Pornnapat Ruengritb, Amornchai Arpornwihanopc, Yaneeporn
Patcharavorachot (2020) การผลิตแก๊สสังเคราะห์จากแก๊สซิฟิเคชันของขยะพลาสติกจำพวก พอลิเอทิลีน (PE)
และพอลิโพรพิลีน (PP) ซึ่งสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมจำลอง AspenPlusTM ผลกระทบของอุณหภูมิแก๊สซิ

ไพเออร์และอัตราส่วนมวลไอน้ำต่อการป้อน (S/F) จะถูกตรวจสอบเพื่อหาอัตราการไหลของโมลของก๊าซสังเคราะห์ที่เหมาะสม ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องผลิตก๊าซควรทำงานที่อุณหภูมิ 900 ° C โดยมีอัตราส่วนมวล S/F ที่เหมาะสมเท่ากับ 1.5 และจากการพิจารณาอิทธิพลของ PE/PP อัตราส่วนโดยมวล ผลการทดลองระบุว่าอัตราส่วนมวลของ PE/PP ที่ 100/0 หรือ PE บริสุทธิ์สามารถให้การไหลของก๊าซสังเคราะห์สูงสุด อัตรา 21 กม./ชม. และอัตราส่วน H₂/CO เท่ากับ 2.1 [21]

Janajreh et al.(2006), Anke Brems et al.(2012) เป็นการวิเคราะห์จัดการขยะพลาสติก (PW) โดยวิธีไพโรไลซิสและแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งเป็นเทคนิคสองวิธีของการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนและเคมี (TCC) การแปลง PW และการประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ที่แปลงเป็นขั้นตอนสำคัญในการลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล ส่งเสริมการรีไซเคิลวัสดุแบบวงจรปิดและเศรษฐกิจหมุนเวียน การทบทวนที่นำเสนอในที่นี้ยังมุ่งเน้นไปที่การกระจายผลิตภัณฑ์และผลตอบแทนโดยเน้นที่ปริมาณพลังงานและการรวมศักยภาพเข้ากับระบบพลังงาน โดยพบว่าน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงทั่วไป เช่น น้ำมันดีเซล และสามารถใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้บางส่วน ในความเป็นจริง ปริมาณพลังงานของ PW pyro-oils ที่ได้รับจากนักวิจัยหลายคนมีค่าตั้งแต่ 41.10–46.16 MJ kg⁻¹ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงทั่วไป ดังนั้นจึงเป็นตัวเลือกที่มีศักยภาพสำหรับการใช้งานเชื้อเพลิง การบำบัดโดยทั่วไปหลังการแปลงสภาพ ซึ่งดำเนินการเพื่อรักษาคุณภาพของน้ำมันที่ผลิตและการกำจัดปริมาณกำมะถันให้เป็นไปตามมาตรฐานของตลาด ในทางกลับกัน syngas ที่เกิดขึ้นระหว่างการแปรสภาพเป็นแก๊สมีศักยภาพต่ำกว่าสำหรับการใช้เชื้อเพลิง เนื่องจากปริมาณพลังงานของมันเป็นค่าต่ำถึง 20 MJ kg⁻¹ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันไพโร อย่างไรก็ตาม ทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของกระบวนการ ซึ่งสามารถเพิ่มปริมาณพลังงานให้มีความมากกว่า 40 MJ kg⁻¹ นอกจากนี้ syngas ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญของสารเคมีที่มีค่ามากมาย ด้วยการบำบัดที่เหมาะสม syngas ที่ได้จากการแปรสภาพเป็นแก๊สของ PW สามารถใช้ในเครื่องยนต์แก๊สได้ และสามารถเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ได้ เช่น เชื้อเพลิงเหลวผ่านการสังเคราะห์ [22]

SLÁVKA KOČANOVÁ et al.(2012), Marcofellin et al.(2016) การตรวจวัดที่ดำเนินการโดยภาคอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีความร้อน ทำการทดลองกับเครื่องผลิตก๊าซแบบทวนกระแสโดยใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน ตัวกลางการแปรสภาพเป็นก๊าซแบบไหลต่างกัน และความสูงของวัสดุทดแทนต่างกัน เพื่อให้ได้ค่าการปล่อยก๊าซของกระบวนการเผาไหม้ของก๊าซผู้ผลิต โดยมีการวางแผนการวัดสำหรับองค์ประกอบต่างๆ ของก๊าซที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางที่เป็นก๊าซ ซึ่งในกรณีนี้ ก๊าซที่ผลิตได้จะถูกเผาไหม้ในหม้อไอน้ำหรือหน่วยโคเจนเนอเรชัน [23]

M. Ouadi et al. (2013), Gang Xiao et al.(2009) ของเสียหลัก 2 ชนิดที่เกิดจากโรงงานผลิตกระดาษ เส้นใยรอง ได้แก่ ของเสีย (ส่วนใหญ่ประกอบด้วยพลาสติกและเส้นใย) และกากตะกอนหมึก ซึ่งทั้งสองอย่างนี้ วิศวกรรมการมาจากการบวนการผลิตเยื่อกระดาษในระหว่างการผลิตกระดาษ แนวทางปฏิบัติในปัจจุบันสำหรับการ กำจัดของเสียเหล่านี้มีทั้งการเกลี่ยดินหรือการถมดิน งานนี้สำรวจการแปรสภาพเป็นแก๊สของส่วนผสมของของเสีย ที่ผ่านการปรับสภาพล่วงหน้าและเมื่อกากตะกอนกำจัดหมึกด้วยเศษไม้ผสมในเครื่องผลิตแก๊สแบบ Downdraft แบบ คงที่ชนิด Imbert ที่มีความสามารถในการป้อนสูงสุด 10 กก./ชม. โดยก๊าซจะสร้างความร้อนและพลังงานร่วม (CHP) ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า 80 wt.% ของกระดาษสีน้ำตาลของโรงงานกระดาษสี น้ำตาล (ประกอบด้วยพลาสติกผสม 20 wt.% และเส้นใยกระดาษ 80 wt.%) สามารถทำให้เป็นแก๊สได้สำเร็จใน การผสมผสานกับเศษไม้ผสม 20 wt.% องค์ประกอบของก๊าซคือ 16.24% H₂, 23.34% CO, 12.71% CO₂ 5.21% CH₄ และ 42.49% N₂ (v/v%) โดยมีค่าความร้อนสูงกว่า 7.3 MJ/Nm³ หลังจากกำจัดน้ำมันดินและคอน เดนเสทของน้ำแล้ว ก๊าซของผู้ผลิตมีค่าความร้อนและอัตราการไหลเพียงพอที่จะให้พลังงานแก่เครื่องยนต์ก๊าซ ขนาด 10 กิโลวัตต์ [24]

M.Rehan et al.(2016), Ouda et al.(2013) ไพโรไลซิสเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีของเสียเป็นพลังงานที่มี แนวโน้มสำหรับการแปลงขยะพลาสติกในชุมชนให้เป็นพลังงาน (เชื้อเพลิงเหลว) และผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม เช่น ถ่าน เชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้มีศักยภาพในการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับพลังงานหลายอย่าง เช่น การผลิตไฟฟ้า เชื้อเพลิงการขนส่ง และวัตถุประสงค์ในการให้ความร้อน มีการประเมินว่าขยะพลาสติกในเมืองมักกะห์ในปี 2559 สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 87.91 เมกะวัตต์ ซึ่งคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 172.80 เมกะวัตต์ไฟฟ้าภายในปี 2583 ศักยภาพโลกร้อนที่ 199.7 พัน Mt.CO₂eq จะบรรลุผลสำเร็จด้วยการประหยัดการปล่อยก๊าซ CH₄ ได้ 7.9 พันตัน หากมีการพัฒนาเทคโนโลยีไพโรไลซิสในเมืองมักกะห์ นอกจากนี้ การประหยัดรวม 297.52 ล้าน SAR จากการถม ดิน การผลิตไฟฟ้า และคาร์บอนเครดิต สามารถทำได้ในปี 2559 จากไพโรไลซิส ผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจเหล่านี้ จะเพิ่มขึ้นทุกปี และจะสูงถึง 584.83 ล้าน SAR ในปี 2583 [25]

Ioannis Kalargaris et al.(2016), Ahmed I.Osman et al.(2020) การดำเนินการตรวจสอบเชิงทดลอง เพื่อวิเคราะห์และทำความเข้าใจการเผาไหม้ สมรรถนะ และลักษณะการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันซึ่งได้มาจากการไพโรไลซิสของขยะพลาสติก การทดสอบดำเนินการกับเครื่องยนต์ดีเซล อัตราส่วนการผสม กับน้ำมันดีเซลแปรผันตั้งแต่ 25% ถึง 100% ได้ข้อสรุปว่าเครื่องยนต์สามารถทำงานได้อย่างมั่นคงเมื่อ PPO 100 ที่ไหลสูงกว่า 75%, เมื่อ PPO 90 สำหรับการไหลที่สูงกว่า 50% และเมื่อ PPO เบลนด์ที่ต่ำกว่าสำหรับการ ไหลทั้งหมด ส่วนผสมของ PPO ทำให้การหน่วงเวลาการจุดระเบิดนานขึ้น ความดันสูงสุดของกระบอกสูบสูงขึ้น และอัตราการคลายความร้อนสูงขึ้นเนื่องจากค่าซีเทนต่ำ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ลดลง 3-4%

เมื่อใช้ส่วนผสม PPO เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล แต่อัตราส่วน PPO ที่เพิ่มขึ้นไม่ได้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการระบายความร้อน สำหรับการทำงานระยะยาว ส่วนผสมของ PPO 60%– 70% ทำงานที่โหลดเครื่องยนต์ 80%– 90% จะมีศักยภาพสูงสุดในการบรรลุประสิทธิภาพเครื่องยนต์และการปล่อยมลพิษที่ดีที่สุด จำเป็นต้องมีการสำรวจพารามิเตอร์เพิ่มเติม เช่น จังหวะการฉีด แรงดันการฉีด และสารเพิ่มค่าซีเทนเพื่อให้ได้สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่เหมาะสมที่สุด [26]

Benjamin Hersh et al.(2019), Sparrevik et al.(2013), Ludovica Silvani et al.(2020) การตรวจสอบศักยภาพผลิตภัณฑ์และวิธีการแก้ปัญหาที่ยั่งยืนด้วยวิธี LCA การศึกษาล่าสุดเกี่ยวกับการนำขยะอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ (เช่น ป่าไม้และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร) มาผลิตเป็นมูลค่าเพิ่มได้แสดงให้เห็นว่าเป็นแนวทางที่มีแนวโน้มในการปรับปรุง FEW ความยั่งยืน การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การประเมินการผลิตถ่านชีวภาพจากมวลชีวภาพจากไม้โดยใช้กระบวนการแปลงขนาดเล็ก การพัฒนาเส้นทางการแปลงประกอบด้วยเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร่งปฏิกิริยาและเครื่องปฏิกรณ์แบบเตียง SP เพื่อผลิตถ่านชีวภาพคุณภาพสูงจากหลากหลายชนิดวัตถุดิบชีวมวล โดยรวบรวมข้อมูลจากการทดลองและการศึกษาก่อนหน้ารวมถึงฐานข้อมูล OpenLCA ที่มีให้สำรวจผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตชีวมวล-โทไปโอชาร์ โดยเฉพาะส่วนกลางน้ำ ได้แก่ กระบวนการก่อน/หลังการแปลง ผล LCA แสดงให้เห็นว่าการปล่อย GHG ของเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลเข้าขนาดเล็กคือที่มาในรูปแบบของ syngas การรีไซเคิล syngas จะถูกปล่อยสู่อากาศโดยตรง การวิเคราะห์มวลโดยมวลและการใช้พลังงานของกระบวนการแปลงขนาดเล็ก แสดงให้เห็นว่า ชีวมวลเฉื่อย, ก๊าซไนโตรเจนและไฟฟ้าเป็นเพียงปัจจัยที่ป้อนเข้าระบบ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ ได้แก่ ถ่านชีวภาพ น้ำมันชีวภาพ และซิงก๊าซ รวมถึงการสูญเสียความร้อนและการปล่อยมลพิษที่เกี่ยวข้อง ผล LCA ระบุว่าส่วนหนึ่งของพลังงานที่ป้อนเข้าจะถูกขับออกโดยสูญเสียต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งให้โอกาสในการปรับปรุงกระบวนการแปลงผ่านฉนวนที่ดีกว่าเพื่อป้องกันการสูญเสียพลังงานและความร้อน การคำนวณการสูญเสียความร้อนเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อกำหนดทิศทางในอนาคตและประเมินศักยภาพในเชิงพาณิชย์ของถ่านไบโอชาร์ นอกจากนี้ การใช้ bio-oil และ syngas สำหรับการผลิตถ่านชีวภาพยังสามารถช่วยลดความขาดแคลนพลังงานลงได้ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมผลกระทบและต้นทุนการผลิต [27]

Garvit Bhardwaj et al.(2021), Jancovic et al.(2014) พารามิเตอร์ทางความร้อนของกระดาษพิมพ์ขนาด A4 (AP) กระดาษกรอง (FP) กระดาษหนังสือพิมพ์ (NP) กระดาษเขียน (WP) และตัวอย่าง reedpith (RP) ถูกประเมินโดยใช้โปรโตคอลมาตรฐานเพื่อระบุคุณลักษณะของเชื้อเพลิง และการย่อยสลายทางความร้อน ได้รับการศึกษาโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์เทอร์โมกราวิเมตริก (TGA) และดิฟเฟอเรนเชียลเทอร์โมกราวิเมตริก (DTG) ในช่วงอุณหภูมิ 30–800 °C ที่อัตราการให้ความร้อน 10, 15 และ 20 °C/นาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน เส้นโค้งของ TGA และ DTG แสดงสี่ขั้นตอนสำคัญ การลดน้ำหนักสูงสุดพบว่าอยู่ในขั้นที่สอง พลังงานกระตุ้นโดยเฉลี่ย

พบว่าอยู่ที่ 139.90, 115.93, 212.52, 257.41 และ 241.63 กิโลจูล/โมล โดยใช้ FWO; 129.73, 103.06, 202.46, 248.38 และ 231.55 กิโลจูล/โมล โดยใช้ KAS; 145.57, 134.00, 195.29, 256 และ 241.63 kJ/mol โดยใช้ Vyazovkin; และ 140.71, 133.86, 193.14, 247.57 และ 190.14 kJ/mol โดยใช้แบบจำลอง Vyazovkin AIC พารามิเตอร์ทางเทอร์โมไดนามิก (การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (ΔH) การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระแบบกิบส์ (ΔG) และการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี (ΔS)) โดยแบบจำลองเหล่านี้ได้รับการประเมินแล้ว [28]

S.Prabhakaran et al.(2018), Garvit Bhardwaj et al.(2021) ในงานวิจัยนี้ได้เลือกวัสดุเหลือใช้ 2 ชนิด หนึ่งคือเศษกระดาษสำหรับพิมพ์ และอีกชิ้นคือเศษถ้วยกระดาษสำหรับผลิตน้ำมันชีวภาพ เนื่องจากทั้งกระดาษพิมพ์และเศษถ้วยกระดาษถูกเคลือบด้วยแว็กซ์ จึงเห็นได้ชัดว่าพวกมันย่อยสลายเป็นเวลาหลายปี จึงก่อให้เกิดมลภาวะต่อดิน ด้วยการใช้กระบวนการไพโรไลซิสสามารถกำจัดได้อย่างปลอดภัยโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม น้ำมันชีวภาพผลิตจากชีวมวลด้วยวิธีต่างๆ เช่น การย่อย การหมัก แก๊สซิฟิเคชัน และไพโรไลซิส ไพโรไลซิสเป็นกระบวนการสลายตัวทางความร้อนทางเคมีที่วัสดุถูกย่อยสลายโดยใช้ความร้อน และก๊าซที่ผลิตจะถูกทำให้เย็นลงเพื่อแยกออกเป็นน้ำมันชีวภาพที่สามารถพกพาได้ซึ่งได้มาจากของเสียจากกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบโดยใช้ FTIR [29]

Chao-Hsiung Wu et al.(2003), Laurijssen et al.(2010), Zheng et al.(2017) เศษหนังสือพิมพ์ซึ่งเป็นหนึ่งในเศษกระดาษหลักในไต้หวัน ถูกไพโรไลซ์ด้วยระบบปฏิกิริยาเทอร์โมกราวิเมตริก (TGA) การทดลองไพโรไลซิสดำเนินการในสภาพแวดล้อมไนโตรเจนที่อัตราการให้ความร้อนคงที่ที่ 5 K/min ผลิตภัณฑ์ไพโรไลซิสและสารตกค้างถูกรวบรวมและวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีและเครื่องวิเคราะห์ธาตุตามลำดับ ผลิตภัณฑ์หลักที่ตรวจสอบประกอบด้วยสารที่ไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอน (H_2 , CO , CO_2 และ H_2O) และไฮโดรคาร์บอน (C1–3, C4, C5, C6, 1-ring, C10–12, levoglucosan, C13–15 และ C16–18) . มวลที่สะสมและความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ไพโรไลซิสสามารถวัดได้ภายใต้เงื่อนไขการทดลอง และมีการทำการประเมินมวลของน้ำมันดินที่ได้ที่อุณหภูมิไพโรไลซิสต่างๆ [30]

K.O. Babaremu et al.(2022) การใช้ขวดพลาสติกเพื่อการใช้งานที่เป็นนวัตกรรมในแง่ของการใช้ซ้ำและแนวทางการรีไซเคิลที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การนำแนวคิดการใช้พลาสติกมาใช้แทนผนังอิฐจะค่อยๆ ช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่สิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตซีเมนต์ซึ่งใช้สำหรับการขึ้นรูปอิฐ พลาสติกยังเผยให้เห็นมิติการประหยัดต้นทุนเมื่อเทียบกับการใช้ผนังอิฐแบบธรรมดาในการก่อสร้าง สรุปได้อย่างปลอดภัยว่าเป้าหมายการช่วยเหลือนด้านสภาพอากาศยังคงเป็นสิ่งสำคัญยิ่งสำหรับมนุษย์ทุกคนที่ยังคงอาศัยอยู่บนโลกใบนี้ ดังนั้น ความจำเป็นในการลดหรือกำจัดกิจกรรมที่ปล่อยก๊าซพิษและอันตรายที่เป็นภัยคุกคามต่อสภาพอากาศของ

เรา เพื่อจุดประสงค์นี้ นักวิจัยได้รับการสนับสนุนให้ค้นพบนวัตกรรมเพื่อช่วยควบคุมการหมุนเวียนของพลาสติก เช่นเดียวกับที่ค้นพบจากธนาคารวรรณกรรมว่าพลาสติกถูกนำมาใช้ในส่วนผสมมวลรวมคอนกรีต ผงังก่อสร้างและเสาโครงสร้าง กระจ่างเพาะปลูกพืชในพืชสวน, วัสดุเส้นใยในการพิมพ์ 3 มิติหรือการผลิตและงานฝีมือที่มีประโยชน์อื่นๆ [31]

Moshood Akanni Alao et al.(2022) เป็นการวิเคราะห์เทคโนโลยีที่ใช้บ่อยที่สุดสำหรับการจัดการขยะมูลฝอยทั่วโลก เช่น การเผา ไพโรไลซิส แก๊สซิฟิเคชัน การย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน และการฝังกลบด้วยการนำก๊าซกลับมาใช้ใหม่เพื่อให้ได้จุดเชื่อมโยงของเสียเป็นพลังงาน โดยมีการอภิปรายโดยย่อเกี่ยวกับผลกระทบทางเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และสังคม และแนวทางแก้ไขที่เป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยีดังกล่าวไปใช้ทั้งในประเทศที่พัฒนาแล้ว และกำลังพัฒนารวมอยู่ด้วย จากบทความนี้กระแสชะยะของประเทศกำลังพัฒนาประกอบด้วยอาหารและขยะจากสวน 50-56% ทำให้เทคโนโลยีการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนเหมาะสมกว่าสำหรับการบำบัด การเผาขยะถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในประเทศที่พัฒนาแล้ว โดยมีโรงงานเผาขยะมากกว่า 1,700 แห่งทั่วโลก งานวิจัยนี้นำเสนอเพื่อช่วยนักวิจัยและผู้มีอำนาจตัดสินใจในการตัดสินใจอย่างรอบรู้เกี่ยวกับความเป็นไปได้ของการแปลงของเสียเป็นพลังงาน เพื่อเป็นหนทางสู่การจัดการขยะอย่างยั่งยืนและการผลิตพลังงานหมุนเวียน [32]

Diego Moya et al.(2017) ในการศึกษาเป็นการประเมินขยะมูลฝอยในชุมชนว่าเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีค่าและเป็นโอกาสทั่วโลกในการกู้คืนพลังงานโดยใช้เทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงาน เทคโนโลยีที่แตกต่างกันที่พัฒนาจนถึงปัจจุบันและการรวมเทคโนโลยีเหล่านี้กับ SWMS ก็ถูกกล่าวถึงเช่นกัน เพื่อจุดประสงค์นี้มีการจัดเตรียมตัวอย่างบางส่วนจากทั่วโลก ในเรื่องนี้เป็นที่สังเกตว่าขยะมูลฝอยเป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพทั้งในประเทศที่พัฒนาแล้วและกำลังพัฒนา อย่างไรก็ตามเห็นได้ชัดว่าขาดการถ่ายทอดเทคโนโลยีระหว่างประเทศเหล่านี้ มีเทคโนโลยีจำนวนมากในการผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอย ก๊าซชีวภาพจากกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถผลิตความร้อนในหม้อต้ม ความร้อนและไฟฟ้าใน CHP หรือเชื้อเพลิงรถยนต์หลังจากปรับปรุงและบีบอัด ในทางกลับกัน การเผาขยะโดยตรงอาจผลิตไอน้ำแล้วผลิตพลังงานโดยใช้กังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า นอกจากนี้ การใช้ก๊าซจากหลุมฝังกลบยังเป็นแหล่งที่มีศักยภาพในการผลิตพลังงานทดแทนซึ่งยังใช้ประโยชน์ไม่เต็มศักยภาพ ISWMS เป็นโซลูชันพร้อมกับการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่จากของเสียเพื่อจัดการ ขยะมูลฝอยอย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบัน ขยะถูกสร้างขึ้น 1.3 พันล้านตันต่อปี และมูลค่านี้จะเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 2.2 พันล้านตันต่อปีภายในปี 2568 ขยะชุมชนจำนวนนี้อาจถูกมองว่าเป็นโอกาสในการได้รับสินค้า เช่น ปุ๋ยหมัก วัสดุรีไซเคิล ความร้อน หรือพลังงาน เนื่องจากความท้าทายในการเก็บรวบรวม ขนส่ง และกำจัดขยะในบางประเทศ การเลือกและการใช้เทคโนโลยีการแปลงของเสียอย่างเหมาะสมสามารถเปลี่ยนจากการพิจารณาของเสียเป็นปัญหาไปสู่การพิจารณาของเสียในฐานะแหล่งพลังงานทดแทน สำหรับเทคโนโลยีการแปรรูปของเสีย

ให้เป็นพลังงานทางชีวภาพ เทคโนโลยีการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบเปียกในอุณหภูมิการทำงานแบบเมโซฟิลิก ที่ระหว่าง 35 ถึง 40 °C เป็นวิธีการบำบัดล่วงหน้าที่ได้รับการพัฒนาอย่างดีเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการก๊าซชีวภาพ เทคโนโลยีนี้ทำงานที่อุณหภูมิการทำงานต่ำและมีการเพาะปลูกเป็นระยะเวลานาน ในทำนองเดียวกัน เทคโนโลยีการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนด้วยความร้อนแบบแห้งจะพัฒนาเวลาในการทำงานให้สั้นลงเพื่อให้ได้มีเทนและสารอินทรีย์ที่ย่อยสลาย และทำงานที่อุณหภูมิการทำงานที่สูงขึ้นที่ประมาณ 55 °C อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีนี้นำเสนออัตราการเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์ที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบเปียก ในส่วนของเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่มีการเกี่ยวข้องกับความร้อน อุณหภูมิในการทำงานสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 300 ถึง 800 °C ในกระบวนการไพโรไลซิส อีกเทคโนโลยีการบำบัดด้วยความร้อน แก๊สซิฟิเคชัน สามารถลดปริมาณของเสียได้มากถึง 90% เทคโนโลยีนี้ยังเข้ากันได้กับสิ่งแวดล้อมสำหรับการผลิตพลังงานร่วม (การผลิตความร้อนและไฟฟ้า) ซึ่งเป็นไปได้ทั้งด้านเทคนิคและเศรษฐกิจ ในการทำงานในช่วงอุณหภูมิการทำงานที่สูง (700-900°C) นอกจากนี้ การใช้ก๊าซจากหลุมฝังกลบถือเป็นการใช้เทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานเพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพที่อุดมไปด้วยมีเทนซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะผลิตพลังงานและความร้อนในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม อย่างไรก็ตาม ทั่วโลกมีเพียง 3% ของศักยภาพที่ใช้ในการผลิตพลังงานหรือความร้อน โรงกลั่นชีวภาพผสมผสานกระบวนการแปรรูปชีวมวลจากขยะมูลฝอยในชุมชนเพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ พลังงาน ความร้อน ปุ๋ยชีวภาพ และสารเคมีที่มีมูลค่าเพิ่ม เทคโนโลยีเหล่านี้พร้อมกับระบบการจัดการที่เหมาะสมของขยะมูลฝอยกำลังเป็นตัวอย่างของระบบการจัดการขยะมูลฝอยแบบบูรณาการทั่วโลก ความคิดริเริ่มเหล่านี้กำลังผลิตสินค้าจากขยะ เช่น ปุ๋ยหมัก วัสดุรีไซเคิล ความร้อนและพลังงานในประเทศที่พัฒนาแล้ว แม้ว่าในประเทศกำลังพัฒนา ขยะมูลฝอยยังเป็นปัญหาอยู่ [33]

การศึกษานี้ใช้ลำดับความสำคัญของการจัดการของเสียเป็นกรอบการทำงาน เพื่อสำรวจแนวปฏิบัติของการจัดการของเสียจากการก่อสร้างและการรีไซเคิลในยุโรป ผ่านการสำรวจภาคสนามและการสัมภาษณ์ตัวต่อตัว การศึกษานี้จะศึกษาการจัดตั้งและการพัฒนาลำดับขั้นของขยะในยุโรปเป็นครั้งแรก ลำดับขั้นของขยะมีต้นกำเนิดมาจาก Ladder of Lansink ซึ่งได้รับการตั้งชื่อตามนักการเมืองชาวดัตช์ที่เป็นผู้คิดค้นลำดับขั้นของเสียที่นักวิชาการและผู้ปฏิบัติงานนำมาใช้ ในภายหลังนั้นเกี่ยวข้องกับการป้องกันของเสียและประสิทธิภาพของทรัพยากรมากกว่าแค่การจัดการของเสีย เศรษฐกิจหมุนเวียนมีวิวัฒนาการที่คล้ายคลึงกันกับลำดับขั้นของขยะ ทั้งลำดับขั้นของเสียและเศรษฐกิจหมุนเวียนสามารถทำให้มองเห็นแนวทางใหม่ในการจัดการของเสียโดยความคิดใหม่ ออกแบบใหม่ และเปลี่ยนผลิตภัณฑ์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของทรัพยากร และลดการสร้างและผลกระทบต่อด้านลบของของเสียจากวงจรชีวิตก่อนการใช้ การใช้ และระยะหลังการใช้ [5]

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

ในการดำเนินการจัดทำปฏิญานิพนธ์ เรื่องการประเมินและการบริหารจัดการของเสียที่สำนักงานการเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง จะกล่าวถึงการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหา โดยประกอบด้วยหัวข้อที่เกี่ยวข้องดังนี้

- 3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการของเสียของสำนักงานการเรียนรู้ตลอดชีวิตกรณีศึกษา
- 3.2 ศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาของการจัดการของเสีย
- 3.3 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม
- 3.4 การวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม
- 3.5 สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ

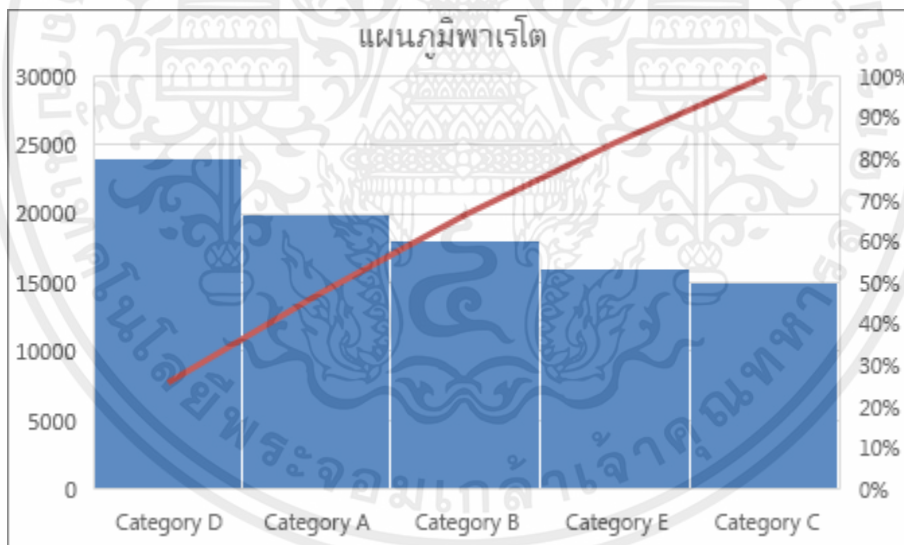
3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการของเสียของสำนักงานการเรียนรู้กรณีศึกษา

ในขั้นตอนแรกผู้วิจัยจะทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการของเสียของสำนักงานการเรียนรู้กรณีศึกษาผ่านตารางการเก็บข้อมูลของเสียรายเดือนและสอบถามผู้ที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการจัดการของเสียที่สำนักงานการเรียนรู้ จากนั้นผู้วิจัยจะทำการนำข้อมูลปริมาณของเสียที่ได้ มาวิเคราะห์โดยใช้หลักการของพาเรโต เพื่อศึกษาว่าของเสียประเภทไหนที่มีมากและเป็นปัญหาต่อการจัดการ โดยสามารถออกแบบตารางเก็บข้อมูลของเสียรายเดือนดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การเก็บข้อมูลของเสียรายเดือน

ลำดับ	รายการขยะ	ปริมาณ (ระบุเป็นกก.หรือลิตร)				รวม
		1	2	...	31	
1	ขยะพลาสติก					
2	กระดาษ					
3	ขวดแก้ว					
4	ขยะรีไซเคิล					
5	ขยะใบไม้/กิ่งไม้					
6	ขยะเศษอาหาร					

เมื่อได้ข้อมูลตารางของเสียรายเดือนของสำนักการเรียนรู้กรณีศึกษาเรียบร้อยแล้ว ต่อไปเป็นการวิเคราะห์ว่าของเสียชนิดใดเป็นปัญหาสำคัญหลักๆที่ควรได้รับการจัดการเป็นอันดับแรกโดยใช้หลักการของพาเรโต ผู้วิจัยได้ทำการใช้เครื่องมือแผนภูมิพาเรโตในการวิเคราะห์ เป็นเครื่องมือที่รวมกราฟแท่งและกราฟเส้นเข้าไว้ด้วยกันซึ่งกราฟแท่งจะอยู่ติดกันโดยเรียงลำดับความสำคัญของหัวข้อปัญหาหรือสาเหตุต่างๆ จากมากไปหาน้อย และกราฟเส้นจะเป็นเปอร์เซ็นต์ความสำคัญสะสมของแต่ละหัวข้อ โดยหลักการของพาเรโตมีใจความสำคัญ คือ “สิ่งที่มีสำคัญมากจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (Vital Few), และสิ่งที่มีสำคัญน้อยจะมีจำนวนมาก (Trivial Many)” คือ ประมาณ 80% ของค่าความสำคัญทั้งหมด จะมาจาก ข้อมูล (หัวเรื่อง) จำนวนประมาณ 20% ของจำนวนข้อมูลทั้งหมด (หัวเรื่องทั้งหมด) ดังนั้นหัวเรื่องหรือสิ่งที่ถูก คัดเลือกออกมาแก้ไขก่อนตามหลักการของพาเรโต จะมีเพียง 2 ถึง 3 เรื่องเท่านั้น ซึ่งผลกระทบมากถึง 80% ของ ค่าความถี่หรือมูลค่าที่สนใจทั้งหมด หลังจากการทำกรวิเคราะห์แผนภูมิพาเรโตแล้วคัดเลือกชนิดของเสียที่ควรได้รับพิจารณาเพื่อการจัดการเป็น 3 อันดับต้นเรียบร้อยแล้ว ต่อไปเป็นการหาแนวทางเพื่อจัดการแก้ไขปัญหาของเสียเหล่านี้



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการสร้างแผนภูมิพาเรโต [34]

3.2 ศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาของการจัดการของเสีย

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับแนวทางในการแก้ไขปัญหของของเสียที่เกิดขึ้น โดยวิเคราะห์จากแผนภูมิลำดับความสำคัญของการจัดการของเสียซึ่งประกอบไปด้วย การลดปริมาณขยะมูลฝอยจากแหล่งกำเนิด การนำกลับมาใช้ใหม่ การนำพลังงานที่เกิดจากกระบวนการกำจัดมาใช้ประโยชน์ และการกำจัดในขั้นตอนสุดท้าย

ด้วยวิธีฝึกลับ เนื่องจากลำดับความสำคัญ 3 ขั้นตอนแรกก็คือหลักการ 3R โดยหลักการ 3R มีเป้าหมายเพื่อลดความสูญเสียจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติหรือการใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด แต่ยังไม่เชื่อมโยงขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการจัดการ ซึ่งเป็นขั้นตอนในลำดับต่อไปที่อธิบายถึงกรณีขยะมูลฝอยที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือไม่คุ้มด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน จำเป็นต้องกำจัด ให้พิจารณาทางเลือกในการผลิตพลังงาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นในส่วนของการกู้คืน โดยทางผู้วิจัยทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีการกู้คืนพลังงานจากของเสียผ่านงานวิจัยต่างๆที่มีอยู่ และทำการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการจัดการของเสียที่เป็นปัญหาหลักของสำนักงานการเรียนรู้การศึกษาร่วมวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม [6]



รูปที่ 3.2 ลำดับความสำคัญของการจัดการของเสีย (The Waste Management Hierarchy) [35]

3.3 การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม GaBi

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการสร้างแบบจำลองโดยการนำข้อมูลที่ได้ศึกษามาจากการทำงานวิจัยต่างๆ มาทำเป็นแบบจำลองเพื่อทำการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ในการศึกษาเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานของการศึกษารุ่นนี้แบ่งออกเป็น 3 โมเดลด้วยกันคือ การเผาไหม้ (Incineration), การไพโรไลซิส (Pyrolysis), และการแปรสภาพให้เป็นแก๊ส (Gasification) ซึ่งวิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ทางคณะผู้วิจัยเลือกใช้ในการประเมินครั้งนี้คือวิธี CML 2001

3.3.1 การเก็บรวบรวมของเสีย (Waste Collection)

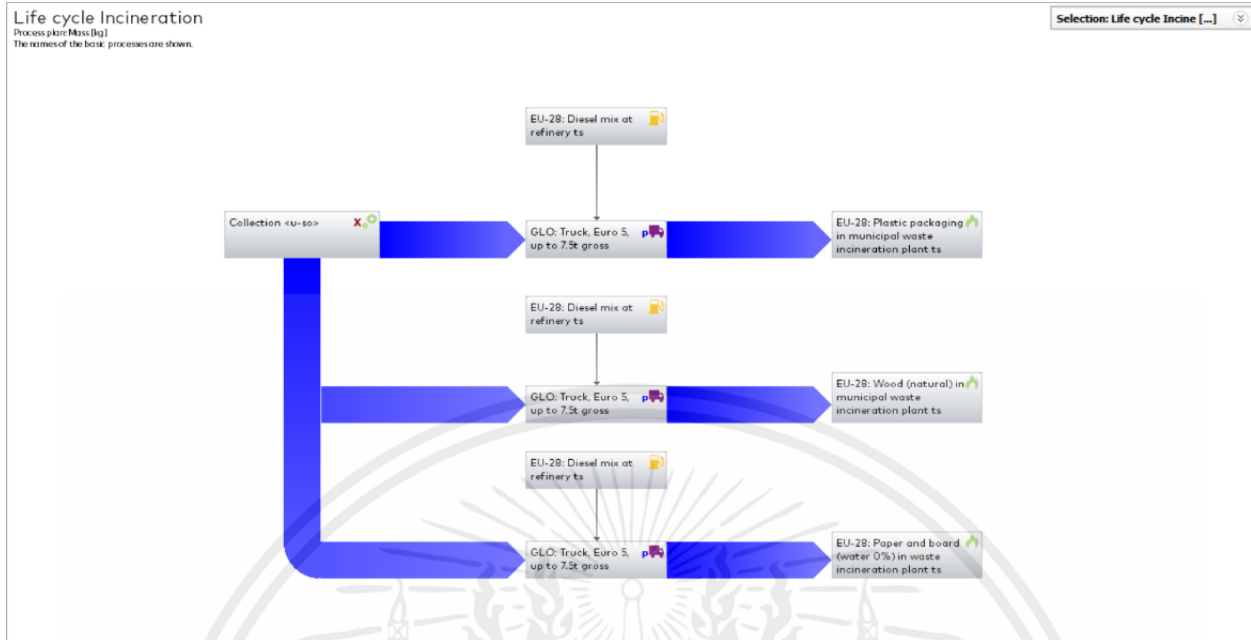
โดยในแบบจำลองในการศึกษาจะเริ่มจาก การเก็บรวบรวมของเสีย (Collection) ในขั้นตอนนี้ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดภายในบริเวณสำนักการเรียนรู้อัตโนมัติพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังด้วยวิธีการสัมภาษณ์บุคลากรภายใน ในกระบวนการนี้มีการสังเกตถึงวิธีการจัดเก็บรวบรวมและขนส่งที่ซึ่งเป็นเงื่อนไขในการจัดการของเสียแต่ละรายการ

3.3.2 การขนส่ง (Transportation)

แบบจำลองของการศึกษาคำนี้ทางคณะผู้วิจัยได้ศึกษาและค้นหาสถานที่สำหรับการกำจัดของเสียด้วยเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานทั้ง 3 วิธีนี้ได้แก่ การเผาไหม้ (Incineration), การไพโรไลซิส (Pyrolysis), และการแปรสภาพให้เป็นแก๊ส (Gasification) พบว่าสถานที่แปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานของทั้ง 3 เทคโนโลยีนั้นอยู่คนละบริเวณกัน ดังนั้นในแบบจำลองการจัดการของเสียจะทำการขนส่งของเสียไปยังสถานที่แปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานด้วยรถบรรทุก โดยสถานที่แปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานของเทคโนโลยีการเผาไหม้, การไพโรไลซิส, และการแปรสภาพให้เป็นแก๊ส จะตั้งอยู่ห่างจากสำนักการเรียนรู้อัตโนมัติพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นระยะทาง 26 กิโลเมตร, 79 กิโลเมตร, และ 73.9 กิโลเมตร ตามลำดับ [36] [37] [38]

3.3.3 แบบจำลองเทคโนโลยีการเผาไหม้ (Incineration Model)

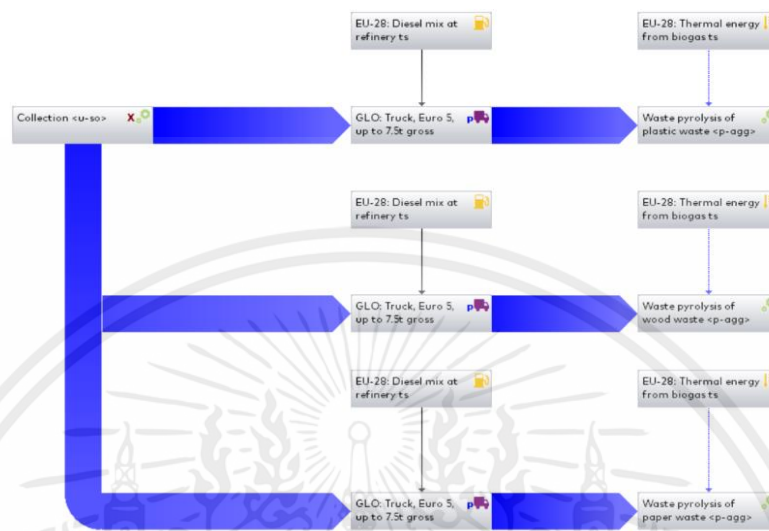
ในแบบจำลองการจัดการของเสียด้วยเทคโนโลยีการเผาไหม้จะประกอบไปด้วย การเก็บรวบรวม (Collection), การขนส่ง (Transportation), และกระบวนการเผาไหม้ (Incineration) โดยที่ในส่วนของการเก็บรวบรวมนั้นจะเป็นการรวบรวมของเสียแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นทั้งหมดภายในบริเวณสำนักการเรียนรู้อัตโนมัติพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KLLC) และทำการทำการขนส่งของเสียประเภทพลาสติก, เศษใบไม้/กิ่งไม้, และกระดาษ ไปยังโรงงานแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่ใช้เทคโนโลยีการเผาไหม้ในการแปรรูปด้วยรถบรรทุกโดยจะคำนึงถึงการใช้น้ำมันดีเซลร่วมด้วย และขั้นตอนสุดท้ายเป็นกระบวนการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานด้วยวิธีการเผาไหม้ ในการสร้างแบบจำลอง LCA ของการจัดการของเสียด้วยเทคโนโลยีเผาไหม้ทำได้โดยจัดทำตามขั้นตอนการวางแผน, กระบวนการ, และ การไหลของข้อมูล โดยที่ในขั้นตอนการวางแผนนั้นจะแสดงถึงขอบเขตของแบบจำลอง LCA, กระบวนการแสดงถึงกิจกรรมที่เกิดขึ้นจริงในวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่กำลังวิเคราะห์ (เช่น การขนส่ง) และการไหลในแบบจำลองเป็นตัวแทนของการไหลของวัตถุดิบและพลังงานในระบบ การไหลของข้อมูลในแบบจำลองนี้จะไปติดตามทิศทางของลูกศรดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แบบจำลองการจัดการของเสียด้วยเทคโนโลยีการเผาไหม้โดยโปรแกรมสำเร็จรูป GaBi Education

3.3.4 แบบจำลองเทคโนโลยีไพโรไลซิส (Pyrolysis Model)

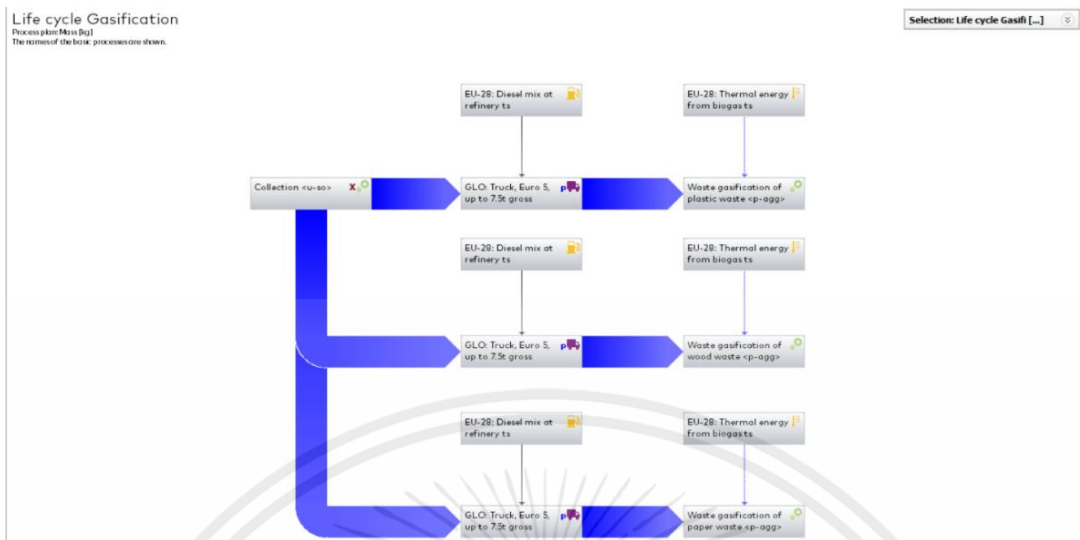
ในแบบจำลองการจัดการของเสียด้วยเทคโนโลยีไพโรไลซิสจะถูกพิจารณาไปด้วย การเก็บรวบรวม (Collection), การขนส่ง (Transportation), และกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) โดยที่ในส่วนของการเก็บรวบรวมนั้นจะเป็นการรวบรวมของเสียแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นทั้งหมดภายในบริเวณสำนักการเรียนรู้ตลอดชีวิต พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KLLC) และทำการทำการขนส่งของเสียประเภทพลาสติก, เศษใบไม้/กิ่งไม้, และกระดาษ ไปยังโรงงานแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่ใช้เทคโนโลยีการไพโรไลซิสในการแปรรูปด้วยรถบรรทุกโดยจะคำนึงถึงการใช้น้ำมันดีเซลร่วมด้วย และขั้นตอนสุดท้ายเป็นกระบวนการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานด้วยวิธีการไพโรไลซิสการไหลของข้อมูลเป็นไปตามทิศทางของลูกศรโดยแบบจำลองการจัดการของเสียด้วยเทคโนโลยีไพโรไลซิสถูกพัฒนาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป GaBi Education ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แบบจำลองการจัดการของเสียด้วยเทคโนโลยีไพโรไลซิสโดยโปรแกรมสำเร็จรูป GaBi Education

3.3.5 แบบจำลองเทคโนโลยีการแปรสภาพเป็นแก๊ส (Gasification Model)

ในแบบจำลองการจัดการของเสียด้วยการแปรสภาพเป็นแก๊สจะประกอบไปด้วย การเก็บรวบรวม (Collection), การขนส่ง (Transportation), และกระบวนการแปรสภาพเป็นแก๊ส (Gasification) โดยที่ในส่วนของการเก็บรวมนั้นจะเป็นการรวบรวมของเสียแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นทั้งหมดภายในบริเวณสำนักการเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KLLC) และทำการทำการขนส่งของเสียประเภทพลาสติก, เศษใบไม้/กิ่งไม้, และกระดาษ ไปยังโรงงานแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่ใช้เทคโนโลยีการแปรสภาพให้เป็นแก๊สในการแปรรูปด้วยรถบรรทุกโดยจะคำนึงถึงการใช้น้ำมันดีเซลร่วมด้วย และขั้นตอนสุดท้ายเป็นกระบวนการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานด้วยวิธีการแปรสภาพให้เป็นแก๊ส การไหลของข้อมูลเป็นไปตามทิศทางของลูกศรโดยแบบจำลองการจัดการของเสียด้วยเทคโนโลยีการแปรสภาพเป็นแก๊สถูกพัฒนาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป GaBi Education ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แบบจำลองการจัดการของเสียด้วยเทคโนโลยีการแปรสภาพเป็นแก๊สโดยโปรแกรมสำเร็จรูป GaBi Education

3.4 การวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของแต่ละเทคโนโลยีที่ถูกเลือกมาเพื่อจัดการกับของเสียที่เกิดขึ้น โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ชื่อว่า GaBi เพื่อหาว่าเทคโนโลยีใดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดและของเสียชนิดไหนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด เพื่อจะได้หาวิธีการที่เหมาะสมกับจัดการกับของเสียชนิดนั้น โดยคณะผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ตามวิธี CML 2001 ซึ่งคำนึงถึงผลกระทบทั้ง 11 ประเภท ดังนี้ ศักยภาพในการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) การทำลายทรัพยากรที่ไม่มีชีวิต (Abiotic Depletion (ADP Elements)) การทำลายทรัพยากรฟอสซิล (Abiotic Depletion (ADP Fossil)) ศักยภาพในความเป็นกรด (Acidification Potential: AP) ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication Potential: EP) ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำจืด (Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential: FAEP) ศักยภาพในความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity Potential: HTP) ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำทะเล (Marine Aquatic Ecotoxicity Potential: MAEP) ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน (Ozone Layer Depletion Potential: OLDP) ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์โฟโตเคมีคัล (Photochemical Ozone Creation Potential: POCP) และศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศบนบก (Terrestrial Ecotoxicity Potential: TEP) [7]

3.5 สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะนำผลที่ได้มาเขียนเป็นบทสรุปการดำเนินงาน พร้อมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อให้ผู้นำผลการศึกษานี้ไปใช้งานจริง สามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพเหมาะสมสำหรับการเรียนรู้กรณีศึกษา

บทที่ 4

การดำเนินงานและผลการดำเนินงาน

ในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในสำนักการเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตามขั้นตอนที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยรายละเอียดผลการดำเนินงานจะแบ่งได้ดังนี้

- 4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของสำนักการเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 4.2 การศึกษาและออกแบบแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เป็นไปได้สำหรับปัญหาของการจัดการของเสีย
- 4.3 การวิเคราะห์ผลและการเปรียบเทียบผลของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม
- 4.4 การศึกษานโยบายเพื่อส่งเสริมการจัดการของเสีย
- 4.5 ผลการศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของสำนักการเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สำนักการเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีการจัดการของเสียด้วยการแยกประเภทของเสียเพื่อส่งไปกำจัดอย่างถูกวิธี โดยปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นภายในวันที่ 1 ตุลาคมถึง วันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2565 มีปริมาณเท่ากับ 2,319.80 กิโลกรัม ประกอบไปด้วยของเสียทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ พลาสติก 2,139.10 กิโลกรัมคิดเป็นร้อยละ 92.21 ใบไม้และกิ่งไม้ 119.20 กิโลกรัมคิดเป็นร้อยละ 5.14 กระดาษ 39.50 กิโลกรัมคิดเป็นร้อยละ 1.7 ขยะรีไซเคิล 15.50 กิโลกรัมคิดเป็นร้อยละ 0.67 แก้ว 6.50 กิโลกรัมคิดเป็นร้อยละ 0.28 และเศษอาหาร 0 กิโลกรัมคิดเป็นร้อยละ 0

ตารางที่ 4.1 ปริมาณและประเภทของขยะที่สำนักการเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ระยะเวลา : 1 ต.ค. - 31 ต.ค.		
ประเภทของเสีย	รวม	สะสม
พลาสติก	2139.10	92.21%
ใบไม้ / กิ่งไม้	119.20	97.35%
กระดาษ	39.50	99.05%
ขยะรีไซเคิล	15.50	99.72%
ขวดแก้ว	6.50	100.00%
เศษอาหาร	0.00	100.00%

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของตารางที่ 4.1 ตามหลักการของ แผนภูมิพาร์ต โดยเลือกของเสีย 3 ประเภทแรกที่มีปริมาณเยอะที่สุดมาใช้เป็นตัวอย่างในการแก้ไขจะพบว่า มีประเภทของเสียที่ถูกเลือกมาเป็นตัวอย่างในการแก้ไขดังนี้ 1) พลาสติก 2) ใบไม้/กิ่งไม้ 3) กระจาด

4.2 การศึกษาและการออกแบบแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เป็นไปได้สำหรับปัญหาของการจัดการของเสีย

4.2.1 การศึกษาเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงาน

เนื่องจากคณะผู้วิจัยเลือกแก้ปัญหาของเสียในประเภทของ พลาสติก ใบไม้/กิ่งไม้ และกระจาดในการศึกษาเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานนั้นพบว่า มีเพียง 3 เทคโนโลยีนี้ที่เหมาะสมกับการจัดการของเสียทั้ง 3 ประเภทนี้ ได้แก่ 1) เทคโนโลยี Incineration 2) เทคโนโลยี Pyrolysis และ 3) เทคโนโลยี Gasification Mazalan Maisaraha และคณะได้มีการพิจารณาในเรื่องของความเหมาะสมของประเภทของของเสียกับเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงาน ซึ่งขยะมูลฝอยแบบผสมเหมาะสมกับกระบวนการ Incineration ส่วนขยะมูลฝอยแบบที่มีการคัดแยก ในส่วนของขยะอินทรีย์จะเหมาะกับการบำบัดทางชีวภาพมากกว่า ขยะใบไม้/กิ่งไม้เหมาะสมกับกระบวนการ Pyrolysis, Incineration และ Gasification ขยะพลาสติกเหมาะสมกับกระบวนการ Gasification และ Pyrolysis เนื่องจากมีค่าความร้อนสูงและติดไฟได้ ขยะกระจาดเหมาะสมกับกระบวนการ Pyrolysis เนื่องจากมีเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส [9]

4.2.1.1 เทคโนโลยีการเผาไหม้ (Incineration)

เทคโนโลยี Incineration เป็นเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียที่มีการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่จากการเผาไหม้ของเสีย โดยวัตถุดิบที่จะสามารถใช้กับเทคโนโลยีนี้จะเป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติในการติดไฟได้เช่น พลาสติก, ยาง, ผ้า, เศษอาหาร, ขยะมูลฝอยและของเสียจากโรงพยาบาล เทคโนโลยีนี้วัตถุดิบจะถูกเผาไหม้โดยตรงโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นตัวช่วยในการเผาไหม้ที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 800 – 1,000 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเผาในเตาขั้นต่ำ 2 วินาที ซึ่งนำไปสู่การผลิตความร้อนและซีเถ้าและเป็นกระบวนการเผาไหม้ขยะมูลฝอยที่ใช้อากาศ มากกว่าความต้องการอากาศในการเผาไหม้ทางทฤษฎีซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ความร้อน (Heat) ซึ่งสามารถใช้งานกับหม้อต้มไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าได้ โดยในช่วงอุณหภูมิสูงนี้สามารถนำไปใช้เป็นพลังงาน ความร้อนและนำมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ วัตถุประสงค์หลักของเทคโนโลยี Incineration คือการลดปริมาณ และน้ำหนักของของเสียและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานโดยใช้ออกซิเจนและอากาศ โดยในเทคโนโลยีนี้สามารถลดปริมาณขยะมูลฝอยลงได้ถึง 90% แต่ในการเผามักก่อให้เกิดมลพิษและการรบกวนต่อสิ่งแวดล้อมด้านอากาศเช่น ฝุ่นขนาดเล็ก เขม่า กลิ่นและแก๊สพิษต่างๆเช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfer dioxide: SO₂) และยังสามารถก่อให้เกิดไดออกซิน (Dioxins) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง เป็นต้น [39] [40]

4.2.1.2 เทคโนโลยีการไพโรไลซิส (Pyrolysis)

เทคโนโลยีไพโรไลซิส (Pyrolysis) เป็นกระบวนการที่มีการสลายตัวของสารอินทรีย์ในสภาพแวดล้อมที่ปราศจากออกซิเจนที่อุณหภูมิสูงในช่วงระหว่าง 250-900 องศาเซลเซียส โดยเทคโนโลยี Pyrolysis เป็นกระบวนการทางเลือกที่สามารถแปรรูปของเสียให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่ามากขึ้นเช่น ถ่านไบโอ (bio-char), ซิงแก๊ส (syngas) และน้ำมันไบโอ (bio-oil) โดยวัตถุดิบของเสียที่อยู่ในรูปของของแข็งและของเหลวที่ผ่านกระบวนการ Pyrolysis จะได้ผลลัพธ์เป็นถ่านไบโอและน้ำมันไบโอแต่ว่าวัตถุดิบที่มีส่วนผสมเป็นแก๊สก็จะได้ผลลัพธ์เป็นซิงแก๊ส โดยจะมีส่วนประกอบหลักคือ Carbon dioxide, Carbon monoxide, Methane, Hydrogen กระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการทำให้ขยะมูลฝอยเป็นแก๊สโดยการทำปฏิกิริยาสันดาปแบบไม่สมบูรณ์กล่าวคือสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยจะทำปฏิกิริยากับอากาศหรือออกซิเจนปริมาณจำกัดทำให้เกิดเป็นซิงแก๊ส ในกระบวนการไพโรไลซิสนั้นอาจส่งผลกระทบต่อให้เกิดมลพิษทางอากาศเช่น ฝุ่นขนาดเล็ก (particle matter) เหม่า และแก๊สพิษ เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ซึ่งส่งผลให้เกิดหมอกควันและฝนกรดได้ [39] [41] [42]

4.2.1.3 เทคโนโลยีการแปรสภาพให้เป็นแก๊ส (Gasification)

เทคโนโลยี Gasification เป็นกระบวนการบำบัดด้วยความร้อนขั้นสูงซึ่งเกี่ยวข้องกับการสลายตัวของเชื้อเพลิงที่มีส่วนประกอบเป็นคาร์บอนเช่น ถ่านหินหรือขยะมูลฝอยที่อุณหภูมิระหว่าง 500 – 1400 องศาเซลเซียส โดยจะมีการควบคุมปริมาณของ Oxygen หรือไอน้ำที่อุณหภูมิสูงและพบว่าอุณหภูมิปฏิกิริยาในกระบวนการ Gasification เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตซิงแก๊สโดยที่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะสามารถผลิต Carbon monoxide และ Hydrogen ได้มากขึ้นแต่ในขณะเดียวกันธาตุอื่นๆอย่างเช่น Methane, Carbon dioxide, และ Hydrocarbons จะลดลง ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่ได้รับจากกระบวนการ Gasification คือ ซิงแก๊ส (syngas) ซึ่งจะประกอบไปด้วย Hydrogen, Carbon monoxide, Carbon dioxide, Methane, Higher hydrocarbons, และ Nitrogen และยังสามารถนำไปพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของซิงแก๊สได้โดยการนำไปผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง, สารเคมี, แก๊สทดแทนแทนแก๊สธรรมชาติ อีกทั้งในซิงแก๊สยังประกอบไปด้วยสิ่งสกปรกมากมาย เช่น ฝุ่นละออง, น้ำมันทาร์, โลหะอัลคาไลน์, คลอไรด์ (chloride) และซัลไฟด์ (sulfide) ซึ่งส่งผลให้การนำมาแปรรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือความร้อนอาจทำให้เกิดเป็นมลพิษได้ เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาดูดความร้อนในกระบวนการเผาไหม้ระหว่าง Oxygen และ Nitrogen [40] [41] [43]

4.3 การวิเคราะห์ผลและการเปรียบเทียบผลของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

4.3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal & Scope Definition)

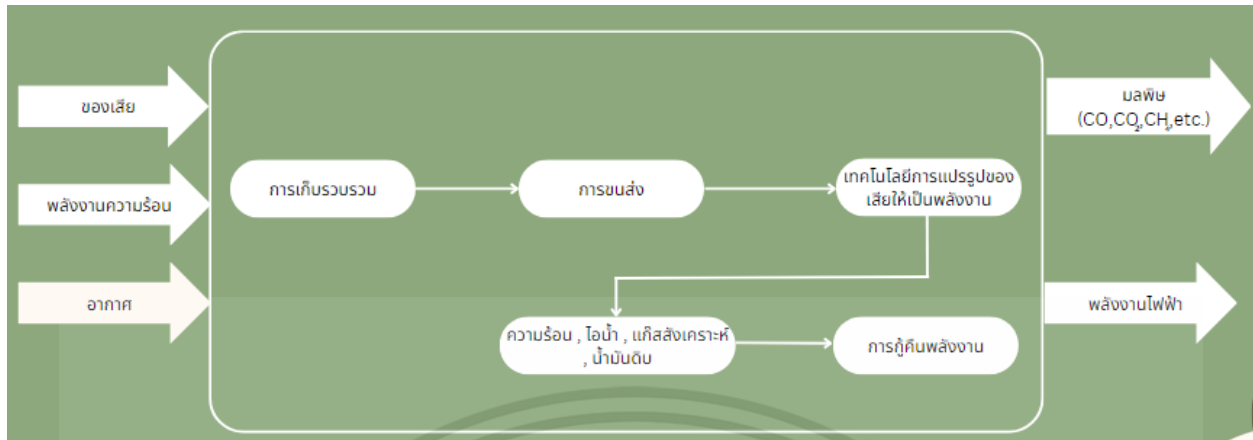
เป้าหมายของการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและเปรียบเทียบเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานผ่านกระบวนการทาง Thermochemical ทั้ง 3 วิธี ประกอบด้วย Incineration, Pyrolysis, และ Gasification กรณีศึกษาสำนักการเรียนรู้อุตสาหกรรมพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเพื่อนำเสนอแนวทางการจัดการของเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่น้อยที่สุดและเพื่อจัดทำนโยบายเพื่อช่วยลดการเกิดของเสียที่จะเกิดขึ้นในบริเวณสำนักการเรียนรู้อุตสาหกรรมพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4.3.1.1 การกำหนดหน่วยหน้าที่ (Functional Unit)

สำหรับหน่วยหน้าที่ของการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการจัดการของเสียในการศึกษาครั้งนี้คือ 1 กิโลกรัมของของเสียประเภทพลาสติก, กิ่งไม้/ใบไม้, และ กระดาษ หน่วยหน้าที่นี้ใช้เพื่อเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่แตกต่างกัน โดยการเลือกหน่วยหน้าที่นี้เป็นไปเพื่อให้ผู้ประเมินสามารถที่จะเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่แตกต่างกันว่าเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานแบบใดที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และของเสียประเภทไหนจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

4.3.1.2 ขอบเขตของกรณีศึกษา (System Boundaries)

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การผลิตผลิตภัณฑ์ไปจนถึงการกำจัดซาก โดยใช้การศึกษาแบบ Gate-to-Grave ซึ่งเริ่มต้นจากการได้มาของของเสียซึ่งเกิดจากการใช้แล้วทิ้งในบริเวณสำนักการเรียนรู้อุตสาหกรรมพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การขนส่งของเสียเพื่อนำไปกำจัดตามแต่ละเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงาน การแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงาน โดยขอบเขตของกรณีศึกษานั้น แสดงดังรูปที่ 4.1 ดังนี้



รูปที่ 4.1 ขอบเขตการศึกษาของการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงาน

4.3.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI)

ข้อมูลหลักที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ได้มาจากฐานข้อมูลของ GaBi Education Database และการรวบรวมข้อมูลมาจากการศึกษาการวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานและมลพิษที่เกิดขึ้นต่างๆของเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานมาจากการวิจัย แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของการศึกษาเทคโนโลยี Pyrolysis

Pyrolysis				
ประเภทของเสีย	สารขาเข้า	สารขาออก	รายละเอียด	ทบทวนวรรณกรรม
พลาสติก	พลังงานความร้อน		1,316.1 kJ/kg	Antzela Fivga et al.(2018), Gao F. et al.(2010), Yuan X. et al.(2006)
	ของเสียพลาสติก		2,140 kg from KMITL Lifelong learning center	
		พลังงานไฟฟ้า	~3.6 MJ/Nm ³ (8.9 kWh)	M.Rehan et al.(2016), Ouda et al.(2013)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของการศึกษาเทคโนโลยี Pyrolysis

Pyrolysis				
ประเภทของเสีย	สารขาเข้า	สารขาออก	รายละเอียด	ทบทวนวรรณกรรม
พลาสติก		มลพิษ	Methane 34%wt Hydrogen 20%wt Nitrogen 17.5%wt Carbon monoxide 13%wt Carbon dioxide 11%wt Ethylene 3%wt Oxygen 1.5%wt	Ioannis Kalargaris et al.(2016), Ahmed I.Osman et al.(2020)
ใบไม้/กิ่งไม้	พลังงานความร้อน		1,829 kJ/kg	Thomas Kohl et al.(2012), Daugaard D. et al.(2003), Li et al.(2010)
	ของเสียใบไม้/กิ่งไม้		119 kg from KMITL Lifelong learning center	
		พลังงานไฟฟ้า	~4.58 kWh	Thomas Kohl et al.(2012), Y. Yang et al.(2017)
		มลพิษ	Carbon monoxide 10.1 %wt Carbon dioxide 6.4 %wt Hydrogen 4.3 %wt Ethylene 2.5 %wt Methane 0.9 %wt Oxygen 0.2 %wt	Benjamin Hersh et al.(2019), Sparrevik et al.(2013), Ludovica Silvani et al.(2020)
กระดาษ	พลังงานความร้อน		1,725 kJ/kg	Garvit Bhardwaj et al.(2021), Jancovic et al.(2014)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของการศึกษาเทคโนโลยี Pyrolysis

Pyrolysis				
ประเภทของเสีย	สารขาเข้า	สารขาออก	รายละเอียด	ทบทวนวรรณกรรม
กระดาษ	ของเสียกระดาษ		39.5 kg from KMITL Lifelong learning center	
		พลังงานไฟฟ้า	2.78 kWh	S.Prabhakaran et al.(2018), Garvit Bhardwaj et al.(2021)
		มลพิษ	Hydrogen 0.4%wt Carbon monoxide 10.71 %wt Carbon dioxide 56.77 %wt Water 20.57 %wt Hydrocarbons 2.11 %wt	Chao-Hsiung Wu et al.(2003), Laurijssen et al.(2010), Zheng et al. (2017)

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของการศึกษาเทคโนโลยี Gasification

Gasification				
ประเภทของเสีย	สารขาเข้า	สารขาออก	รายละเอียด	ทบทวนวรรณกรรม
พลาสติก	อากาศ		1.5 kg	Dang Saebea et al.(2020), Ahmed S. Al-Fatesh et al.(2023), Shounzhuang Li et al.(2021)
	พลังงานความร้อน		22.77 MJ/kg	Janajreh et al.(2006), Anke Brems et al.(2012)
	ของเสียพลาสติก		2,140 kg from KMITL Lifelong learning center	

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของการศึกษาเทคโนโลยี Gasification

Gasification				
ประเภทของเสีย	สารขาเข้า	สารขาออก	รายละเอียด	ทบทวนวรรณกรรม
พลาสติก		พลังงานไฟฟ้า	~9 MJ/Nm ³ (6.325 kW)	Janajreh et al.(2006), Anke Brems et al.(2012), Shounzhuang Li et al.(2021)
		มลพิษ	Methane 0.18%wt Hydrogen 67.25%wt Carbon dioxide 7.33%wt Carbon monoxide 25.24%wt	John Scheirs et al.(2006), Ahmed S. Al-Fatesh et al.(2023)
ใบไม้/กิ่งไม้	อากาศ		1.997 kg	Dang Saebea et al.(2020), Marcofellin et al.(2016)
	พลังงานความร้อน		12.5 MJ/kg	Thomas Bleul et al.(2014), Gang Xiao et al.(2009), Marcofellin et al.(2016)
	ของเสียใบไม้/กิ่งไม้		119 kg from KMITL lifelong learning center	
		พลังงานไฟฟ้า	2.5-6.5 MJ/Nm ³ (4.2kW)	Thomas Bleul et al.(2014), Gang Xiao et al.(2009), Marcofellin et al.(2016)
		มลพิษ	Hydrogen 3.33%wt Carbon monoxide 17%wt Carbon dioxide 11.2%wt Methane 2%wt Nitrogen 66.47%wt	Slávka Kočanová et al.(2012), Marcofellin et al.(2016)

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของการศึกษาเทคโนโลยี Gasification

Gasification				
ประเภทของเสีย	สารขาเข้า	สารขาออก	รายละเอียด	ทบทวนวรรณกรรม
กระดาษ	อากาศ		1.099 kg	Dang Saebea et al.(2020)
	พลังงานความร้อน		17.1 MJ/kg	M.Ouadi et al.(2013), Gang Xiao et al.(2009)
	ของเสียกระดาษ		39.5 kg from KMITL lifelong learning center	
		พลังงานไฟฟ้า	1-4 MJ/Nm ³ (1.7kW)	M.Ouadi et al.(2013), Gang Xiao et al.(2009)
		มลพิษ	Hydrogen 16.24%wt Carbon monoxide 23.34%wt Carbon dioxide 12.71%wt Methane 5.21%wt Nitrogen 42.49%wt	M.Ouadi et al.(2013)

รายละเอียดของเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงาน

เนื่องจากเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานทั้ง 3 เทคโนโลยีนี้มีการจัดตั้งโรงงานอยู่ภายในบริเวณที่แตกต่างกัน ทำให้ในการขนส่งของเสียไปยังโรงงานใช้พลังงานและระยะทางที่แตกต่างกัน โดยในการศึกษารุ่นนี้มีระยะทางจากสำนักการเรียนรู้ตลอดชีวิตไปยังโรงงานกำจัดของเสียที่ใช้เทคโนโลยี Incineration, Pyrolysis, และ Gasification มีระยะทางเท่ากับ 26 กิโลเมตร, 79 กิโลเมตร, และ 73.9 กิโลเมตร ตามลำดับ [36] [37] [38]

4.3.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

การศึกษาในครั้งนี้ เป็นการคำนึงถึงการปล่อยของเสีย การใช้ทรัพยากร และผลกระทบทั้งหมดตั้งแต่การผลิตผลิตภัณฑ์ไปจนถึงการกำจัดซากของเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงาน โดยใช้วิธี CML 2001 ซึ่ง

ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางและใช้อย่างแพร่หลายจากทั่วโลกและประเทศไทย โดยมูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (ม.ส.ท.) และรัฐบาลไทย ซึ่งข้อมูลทั้งขาเข้าและขาออกที่เกี่ยวข้องทั้งหมดจะถูกทำการโมเดลโดยซอฟต์แวร์ที่ชื่อ GaBi Education เนื่องจากเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้กันอย่าง โดยเป้าหมายหลักของวิธี CML 2001 นั้นคำนึงถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม 11 ประเภท นอกจากนี้ การศึกษาในครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นถึงเทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง 11 ประเภทและประเภทของของเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดอีกด้วย (รูปที่ 4.2) และ (รูปที่ 4.3) ดังนี้

4.3.3.1 ศักยภาพในการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP)

สำหรับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของภาวะโลกร้อนของเทคโนโลยี Incineration, Pyrolysis, และ Gasification นั้น มีปริมาณ 5.75 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า, 4.94 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า, และ 3.8 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 3 เทคโนโลยีจะพบว่าผลกระทบดังกล่าวเกิดขึ้นจากเทคโนโลยี Incineration มากที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 39.68 และเทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบน้อยที่สุดคือ Gasification คิดเป็นร้อยละ 26.22 ของทั้ง 3 เทคโนโลยี โดยของเสียที่ส่งผลกระทบดังกล่าวมากที่สุดคือ พลาสติก คิดเป็นร้อยละ 46.29 ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 บัญชีรายการสำหรับศักยภาพในการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP)

ประเภทของเสีย	การแปรสภาพ			
	การเผาไหม้	การไพโรไลซิส	เป็นแก๊ส	
	ศักยภาพในการเกิดภาวะโลกร้อน	ศักยภาพในการเกิดภาวะโลกร้อน	ศักยภาพในการเกิดภาวะโลกร้อน	
พลาสติก	2.507054	3.47551	0.73209	46.29%
ไม้	1.827054	0.83281	1.01609	25.34%
กระดาษ	1.427054	0.63411	2.05309	28.36%
	39.68%	34.09%	26.22%	

4.3.3.2 การทำลายทรัพยากรที่ไม่มีชีวิต (Abiotic Depletion (ADP Elements))

สำหรับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการเกิดการทำลายทรัพยากรของเทคโนโลยี Incineration, Pyrolysis, และ Gasification นั้น มีปริมาณ 1.86×10^{-7} กิโลกรัมซัลเฟอร์ไดออกไซด์เทียบเท่า, 4.41×10^{-7} กิโลกรัมซัลเฟอร์ไดออกไซด์เทียบเท่า, 4.68×10^{-6} กิโลกรัมซัลเฟอร์ไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 3 เทคโนโลยีจะพบว่าผลกระทบดังกล่าวเกิดขึ้นจากเทคโนโลยี Gasification มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 88.2 และเทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบน้อยที่สุดคือ Incineration คิดเป็นร้อยละ 3.5 ของทั้ง 3 เทคโนโลยี โดยของเสียที่ส่งผลกระทบดังกล่าวมากที่สุดคือ พลาสติก คิดเป็นร้อยละ 43.19 ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 บัญชีรายการสำหรับการทำลายทรัพยากรที่ไม่มีชีวิต (Abiotic Depletion (ADP Elements))

ประเภทของเสีย	การเผาไหม้	การไพโรไลซิส	การแปรสภาพเป็นแก๊ส	การแปรสภาพเป็นแก๊ส
	การทำลายทรัพยากรที่ไม่มีชีวิต	การทำลายทรัพยากรที่ไม่มีชีวิต	การทำลายทรัพยากรที่ไม่มีชีวิต	
พลาสติก	1.42593E-07	1.198E-07	2.03168E-06	43.19%
ไม้	1.7393E-08	1.648E-07	1.12168E-06	24.55%
กระดาษ	2.6093E-08	1.558E-07	1.53168E-06	32.26%
	3.50%	8.30%	88.18%	

4.3.3.3 การทำลายทรัพยากรฟอสซิล (Abiotic Depletion (ADP Fossil))

สำหรับผลกระทบทางด้านการทำลายทรัพยากรฟอสซิลของเทคโนโลยี Incineration, Pyrolysis, และ Gasification นั้น มีปริมาณ 1.88 เมกะจูล, 1.45 เมกะจูล, 7.06 เมกะจูล ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 3 เทคโนโลยีจะพบว่าผลกระทบดังกล่าวเกิดขึ้นจากเทคโนโลยี Gasification มากที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 67.9 และเทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบน้อยที่สุดคือ Pyrolysis คิดเป็นร้อยละ 14 ของทั้ง 3 เทคโนโลยี โดยของเสียที่ส่งผลกระทบดังกล่าวมากที่สุดคือ พลาสติก คิดเป็นร้อยละ 42.32 ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 บัญชีรายการสำหรับการทำลายทรัพยากรฟอสซิล (Abiotic Depletion (ADP Fossil))

	การแปรสภาพ			
	การเผาไหม้	การไพโรไลซิส	เป็นแก๊ส	
ประเภท ของเสีย	การทำลาย ทรัพยากร ฟอสซิล	การทำลาย ทรัพยากร ฟอสซิล	การทำลาย ทรัพยากร ฟอสซิล	
พลาสติก	0.9676	0.447	2.982	42.32%
ไม้	0.4296	0.509	1.762	26.00%
กระดาษ	0.4836	0.496	2.312	31.68%
	18.09%	13.96%	67.95%	

4.3.3.4 ศักยภาพในความเป็นกรด (Acidification Potential: AP)

สำหรับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในหมวดหมู่ของการทำให้เป็นกรดในอากาศของเทคโนโลยี Incineration, Pyrolysis, และ Gasification นั้นคือ 1.09×10^{-3} กิโลกรัมซัลเฟอร์ไดออกไซด์เทียบเท่า, 2.46×10^{-3} กิโลกรัมซัลเฟอร์ไดออกไซด์เทียบเท่า, 2.51×10^{-2} กิโลกรัมซัลเฟอร์ไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 3 เทคโนโลยีจะพบว่าผลกระทบดังกล่าวเกิดขึ้นจากเทคโนโลยี Gasification มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 88.2 และเทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบน้อยที่สุดคือ Incineration คิดเป็นร้อยละ 3.8 ของทั้ง 3 เทคโนโลยี โดยของเสียที่ส่งผลกระทบดังกล่าวมากที่สุดคือ พลาสติก คิดเป็นร้อยละ 42.49 ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 บัญชีรายการสำหรับศักยภาพในความเป็นกรด (Acidification Potential: AP)

	การแปรสภาพ			
	การเผาไหม้	การไพโรไลซิส	เป็นแก๊ส	
ประเภท ของเสีย	ศักยภาพใน ความเป็นกรด	ศักยภาพใน ความเป็นกรด	ศักยภาพใน ความเป็นกรด	
พลาสติก	0.0005946	0.0006744	0.0109415	42.49%
ไม้	0.0001896	0.0009194	0.0060215	24.82%
กระดาษ	0.0003026	0.0008694	0.0082215	32.69%
	3.80%	8.59%	87.61%	

4.3.3.5 ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication Potential: EP)

CML 2001 นั้น ได้นำเสนอการเกิดปรากฏการณ์ EP ในหลากหลายช่องทาง ไม่ว่าจะเป็นทางดิน ทางอากาศหรือแม้กระทั่งทางน้ำ โดยผลรวมของผลกระทบในด้านนี้ของเทคโนโลยี Incineration, Pyrolysis, และ Gasification นั้นมีปริมาณ 1.49×10^{-4} กิโลกรัมฟอสเฟตเทียบเท่า, 1.31×10^{-2} กิโลกรัมฟอสเฟตเทียบเท่า, 0.463 กิโลกรัมฟอสเฟตเทียบเท่า ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 3 เทคโนโลยีจะพบว่าผลกระทบดังกล่าวเกิดขึ้นจากเทคโนโลยี Gasification มากที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 97.2 และเทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบน้อยที่สุดคือ Pyrolysis คิดเป็นร้อยละ 2.75 ของทั้ง 3 เทคโนโลยี โดยของเสียที่ส่งผลกระทบดังกล่าวมากที่สุดคือ กิ่งไม้/ใบไม้ คิดเป็นร้อยละ 58.97 ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 บัญชีรายการสำหรับศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication Potential:EP)

ประเภทของเสีย	การแปรสภาพ			
	การเผาไหม้	การไพโรไลซิส	เป็นแก๊ส	
	ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน	ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน	ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน	
พลาสติก	0.000049524	0.01274472	0.00233003	3.18%
ไม้	0.000040824	0.00019772	0.28029003	58.98%
กระดาษ	0.000058924	0.00018672	0.17976003	37.84%
	0.03%	2.75%	97.22%	

4.3.3.6 ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำจืด (Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential: FAEP)

สำหรับผลลัพธ์จากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยใช้วิธี CML 2001 นั้นแสดงให้เห็นเห็นว่าผลกระทบทางด้าน FAEP ของเทคโนโลยี Incineration, Pyrolysis, และ Gasification นั้น มีปริมาณ 4.02×10^{-4} กิโลกรัมไดคลอโรเบนซีนเทียบเท่า, 3.91×10^{-3} กิโลกรัมไดคลอโรเบนซีนเทียบเท่า, 3.53×10^{-2} กิโลกรัมไดคลอโรเบนซีนเทียบเท่า ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 3 เทคโนโลยีจะพบว่าผลกระทบดังกล่าวเกิดขึ้นจากเทคโนโลยี Gasification มากที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 89.1 และเทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบน้อยที่สุดคือ Incineration คิดเป็นร้อยละ 1.01 ของทั้ง 3 เทคโนโลยี โดยของเสียที่ส่งผลกระทบดังกล่าวมากที่สุดคือ พลาสติก คิดเป็นร้อยละ 41.69 ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 บัญชีรายการสำหรับศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำจืด (Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential: FAEP)

ประเภทของเสีย	การแปรสภาพ			
	การเผาไหม้	การไพโรไลซิส	เป็นแก๊ส	
	ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำจืด	ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำจืด	ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำจืด	
พลาสติก	0.000202107	0.000994022	0.015306021	43.61%
ไม้	9.59074E-05	0.001333022	0.008466021	24.63%
กระดาษ	0.000104407	0.001577022	0.011506021	31.76%
	1.01%	9.87%	89.11%	

4.3.3.7 ศักยภาพในความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity Potential: HTP)

เทคโนโลยีการแปรรูปขยะให้เป็นพลังงานทั้ง Incineration, Pyrolysis, และ Gasification นั้นได้แสดงให้เห็นว่าผลกระทบทั้งหมดของ HTP คิดเป็น 0.0456 กิโลกรัมไดคลอโรเบนซินเทียบเท่า, 0.133 กิโลกรัมไดคลอโรเบนซินเทียบเท่า, 0.156 กิโลกรัมไดคลอโรเบนซินเทียบเท่า ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 3 เทคโนโลยีจะพบว่าผลกระทบดังกล่าวเกิดขึ้นจากเทคโนโลยี Gasification มากที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 46.62 และเทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบน้อยที่สุดคือ Incineration คิดเป็นร้อยละ 13.63 ของทั้ง 3 เทคโนโลยี โดยของเสียที่ส่งผลกระทบดังกล่าวมากที่สุดคือ พลาสติก คิดเป็นร้อยละ 67.37 ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 บัญชีรายการสำหรับศักยภาพในความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity Potential: HTP)

ประเภทของเสีย	การแปรสภาพ			
	การเผาไหม้	การไพโรไลซิส	เป็นแก๊ส	
ศักยภาพในความเป็นพิษต่อมนุษย์	ศักยภาพในความเป็นพิษต่อมนุษย์	ศักยภาพในความเป็นพิษต่อมนุษย์	ศักยภาพในความเป็นพิษต่อมนุษย์	
พลาสติก	0.04244025	0.115316	0.0674988	67.37%
ไม้	0.00150025	0.011566	0.0373988	15.09%
กระดาษ	0.00172025	0.005896	0.0509988	17.53%
	13.63%	39.75%	46.62%	

4.3.3.8 ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำทะเล (Marine Aquatic Ecotoxicity Potential: MAEP)

สำหรับผลกระทบด้านศักยภาพในความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำทะเลของเทคโนโลยี Incineration, Pyrolysis, และ Gasification นั้นคิดเป็น 7.5 กิโลกรัมไดคลอโรเบนซินเทียบเท่า, 5.98 กิโลกรัมไดคลอโรเบนซินเทียบเท่า, 54.1 กิโลกรัมไดคลอโรเบนซินเทียบเท่า ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 3 เทคโนโลยีจะพบว่าผลกระทบดังกล่าวเกิดขึ้นจากเทคโนโลยี Gasification มากที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 80.05 และเทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบน้อยที่สุดคือ Pyrolysis คิดเป็นร้อยละ 8.85 ของทั้ง 3 เทคโนโลยี โดยของเสียที่ส่งผลกระทบดังกล่าวมากที่สุดคือ พลาสติก คิดเป็นร้อยละ 43.61 ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 บัญชีรายการสำหรับศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำทะเล (Marine Aquatic Ecotoxicity Potential: MAEP)

ประเภทของเสีย	การแปรสภาพ			
	การเผาไหม้	การไพโรไลซิส	เป็นแก๊ส	
	ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำทะเล	ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำทะเล	ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำทะเล	
พลาสติก	4.394000001	1.685000004	23.423	46.29%
ไม้	1.434000001	2.205000004	13.023	25.34%
กระดาษ	1.664000001	2.095062204	17.723	28.36%
	11.10%	8.85%	80.05%	

4.3.3.9 ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน (Ozone Layer Depletion Potential: OLDP)

สำหรับศักยภาพในการลดชั้นโอโซนของเทคโนโลยี Incineration, Pyrolysis, และ Gasification นั้นคิดเป็น 1.61×10^{-15} กิโลกรัมไตรคลอโรฟลูออโรมีเทนเทียบเท่า, 5.13×10^{-16} กิโลกรัมไตรคลอโรฟลูออโรมีเทนเทียบเท่า, 5.41×10^{-15} กิโลกรัมไตรคลอโรฟลูออโรมีเทนเทียบเท่า ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 3 เทคโนโลยีจะพบว่าผลกระทบดังกล่าวเกิดขึ้นจากเทคโนโลยี Gasification มากที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 71.82 และเทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดคือ Pyrolysis คิดเป็นร้อยละ 6.81 ของทั้ง 3 เทคโนโลยี โดยของเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคือ พลาสติก คิดเป็นร้อยละ 45.85 ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 บัญชีรายการสำหรับศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน (Ozone Layer Depletion Potential: OLDP)

ประเภทของเสีย	การแปรสภาพ			
	การเผาไหม้	การไพโรไลซิส	เป็นแก๊ส	
	ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน	ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน	ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน	
พลาสติก	9.7115E-16	1.395E-16	2.34328E-15	45.85%
ไม้	2.9615E-16	1.925E-16	1.29328E-15	23.66%
กระดาษ	3.4215E-16	1.815E-16	1.77328E-15	30.49%
	21.37%	6.81%	71.82%	

4.3.3.10 ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์โฟโตเคมีคัล (Photochemical Ozone Creation Potential: POCP)

เทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานทั้ง Incineration, Pyrolysis, และ Gasification นั้นแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่อาจเกิดกับศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์โฟโตเคมีคัลที่ 4.08×10^{-5} กิโลกรัมเอทิลีนเทียบเท่า, 0.198 กิโลกรัมเอทิลีนเทียบเท่า, 0.0177 กิโลกรัมเอทิลีนเทียบเท่า ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 3 เทคโนโลยีจะพบว่าผลกระทบดังกล่าวเกิดขึ้นจากเทคโนโลยี Pyrolysis มากที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 91.77 และเทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบน้อยที่สุดคือ Incineration คิดเป็นร้อยละ 0.02 ของทั้ง 3 เทคโนโลยี โดยของเสียที่ส่งผลกระทบดังกล่าวมากที่สุดคือ พลาสติก คิดเป็นร้อยละ 87.18 ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 บัญชีรายการสำหรับศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์โฟโตเคมีคัล (Photochemical Ozone Creation Potential: POCP)

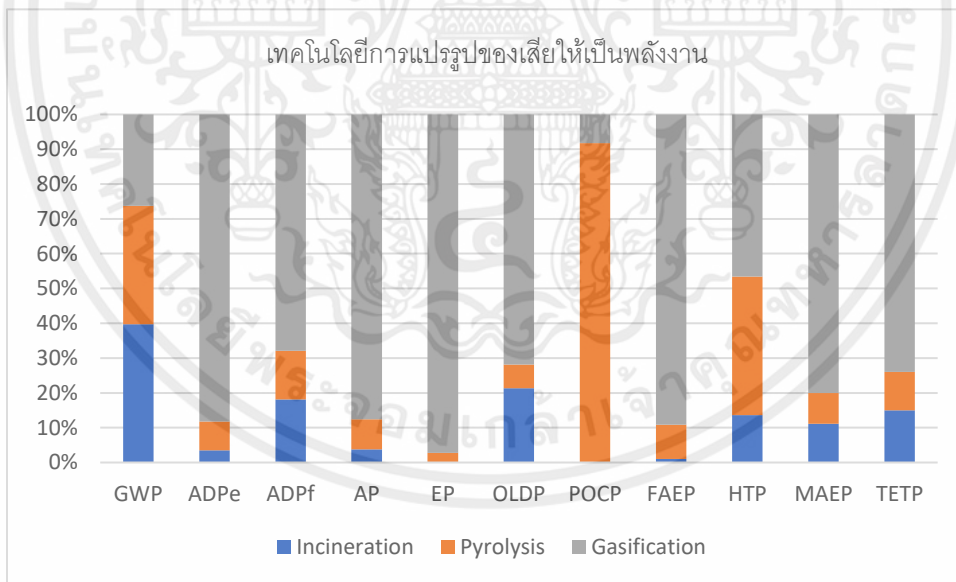
ประเภทของเสีย	การแปรสภาพ			
	การเผาไหม้	การไพโรไลซิส	เป็นแก๊ส	
	ศักยภาพใน	ศักยภาพใน	ศักยภาพใน	
	การเกิดปรากฏการณ์โฟโตเคมีคัล	การเกิดปรากฏการณ์โฟโตเคมีคัล	การเกิดปรากฏการณ์โฟโตเคมีคัล	
พลาสติก	0.00001693	0.18101125	0.00725942	87.18%
ไม้	0.00000953	0.01192125	0.00351042	7.15%
กระดาษ	0.00001433	0.00529915	0.00693042	5.67%
	0.02%	91.78%	8.20%	

4.3.3.11 ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศบนบก (Terrestrial Ecotoxicity Potential: TEP)

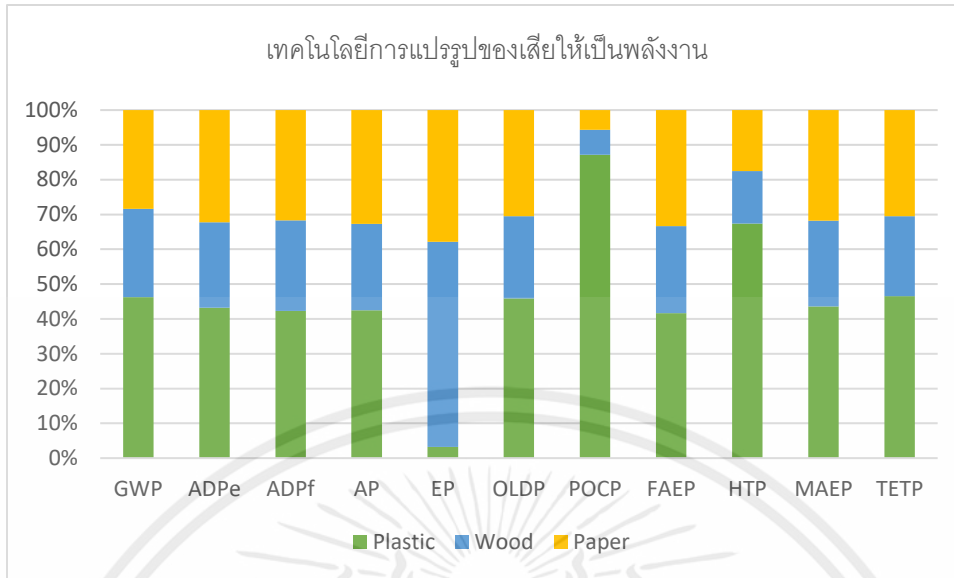
สำหรับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านศักยภาพในการก่อให้เกิดมลพิษต่อระบบนิเวศบนบกของเทคโนโลยี Incineration, Pyrolysis, และ Gasification นั้น คิดเป็น 6.05×10^{-4} กิโลกรัมไดคลอโรเบนซินเทียบเท่า, 4.47×10^{-4} กิโลกรัมไดคลอโรเบนซินเทียบเท่า, 2.99×10^{-3} กิโลกรัมไดคลอโรเบนซินเทียบเท่า ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 3 เทคโนโลยีจะพบว่าผลกระทบดังกล่าวเกิดขึ้นจากเทคโนโลยี Gasification มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 73.97 และเทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบน้อยที่สุดคือ Pyrolysis คิดเป็นร้อยละ 14.95 ของทั้ง 3 เทคโนโลยี โดยของเสียที่ส่งผลกระทบดังกล่าวมากที่สุดคือ พลาสติก คิดเป็นร้อยละ 46.57 ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 บัญชีรายการสำหรับศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศบนบก (Terrestrial Ecotoxicity Potential: TEP)

ประเภทของเสีย	การแปรสภาพ			%
	การเผาไหม้	การไพโรไลซิส	เป็นแก๊ส	
	ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศบนบก	ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศบนบก	ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศบนบก	
พลาสติก	0.000477901	0.000120303	0.001285302	46.57%
ไม้	5.01008E-05	0.000148303	0.000728302	22.91%
กระดาษ	7.66008E-05	0.000178303	0.000979302	30.52%
	14.97%	11.06%	73.97%	



รูปที่ 4.2 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละด้านของเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงาน



รูปที่ 4.3 ของเสียประเภทต่างๆในการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการแปลงของเสียเป็นพลังงานโดยผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป GaBi เพื่อนำมาเปรียบเทียบค่าผลลัพธ์ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยงานวิจัยที่จะนำมากล่าวถึง เป็นการศึกษผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการแปลงขยะมูลฝอยโดยใช้เทคโนโลยีการเผาไหม้ (Incineration), เทคโนโลยีการไพโรไลซิส (Pyrolysis) และเทคโนโลยีการแปรสภาพให้เป็นแก๊ส (Gasification) ประเภทของเสียที่งานวิจัยนี้นำมาวิเคราะห์ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.15 [19] [44] [45] [46]

ตารางที่ 4.15 ปริมาณของเสียโดยน้ำหนัก

Table 1. Waste composition by mass.

Waste Materials (kg)	H1	H2	H3	H4	H5	Average	% waste composition
Occupant's Population	6	9	10	11	14	10	
Paper (kg)	0.20	0.25	0.27	0.45	0.42	0.32	6.49
Biodegradable (kg)	2.75	2.76	2.47	2.53	3.29	2.76	55.98
Plastic (kg)	0.32	0.25	0.26	0.38	0.43	0.33	6.69
Glass (kg)	0.20	0.29	0.26	0.59	0.31	0.33	6.69
Metal (kg)	0.21	0.39	0.52	0.48	0.74	0.47	9.53
Wood (kg)	0.40	0.50	0.36	0.95	0.77	0.60	12.17
Textile (kg)	0.00	0.00	0.14	0.18	0.30	0.12	2.43
Total (kg)	4.08	4.44	4.28	5.56	6.26	4.93	100.00

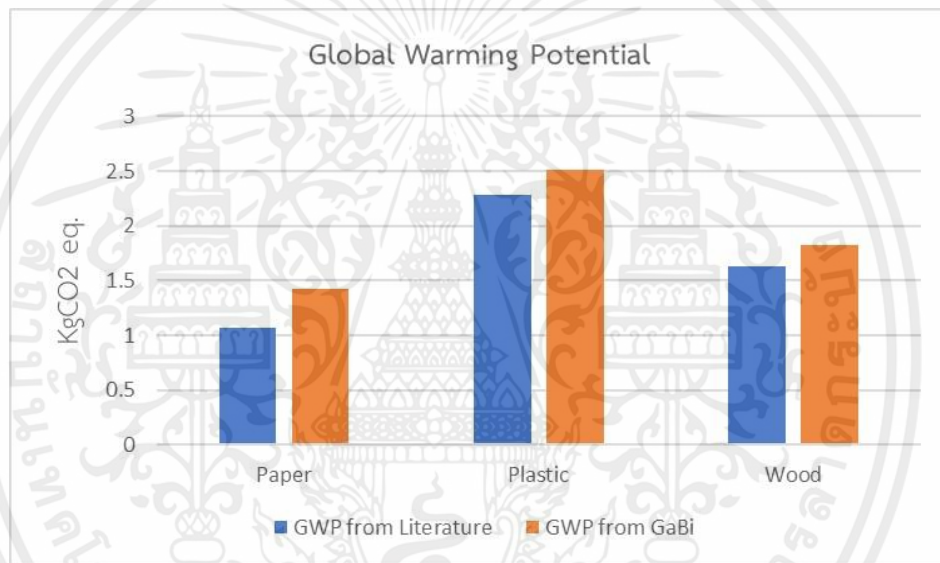
งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธี CML 2001 ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังตาราง

4.16

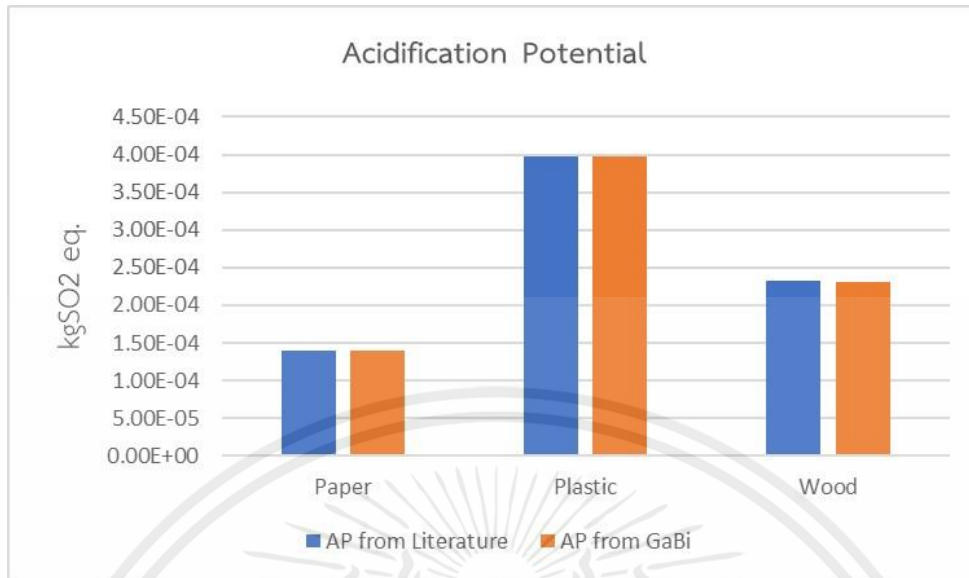
ตารางที่ 4.16 บัญชีรายการสำหรับการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

Method	Impact Category	Biodegr-Adable	Metal	Glass	Paper	Plastic	Textile	Wood
CML	GWP-100 years (kg CO ₂ eqv.)	1.87	-0.366	0.0205	0.342	0.752	0.179	0.981
	AP (kg SO ₂ eqv.)	0.00127	-0.00126	4.72E-005	4.48E-005	0.000131	0.000109	0.000139
	EP (kg phosphate eqv.)	0.000246	-0.000106	1.13E-005	1.49E-005	2.73E-005	2.44E-005	2.33E-005
	ODP (kg RII eqv.)	8.8E-009	1.77E-008	9.24E-010	2.67E-010	8.92E-010	3.48E-010	1.64E-009

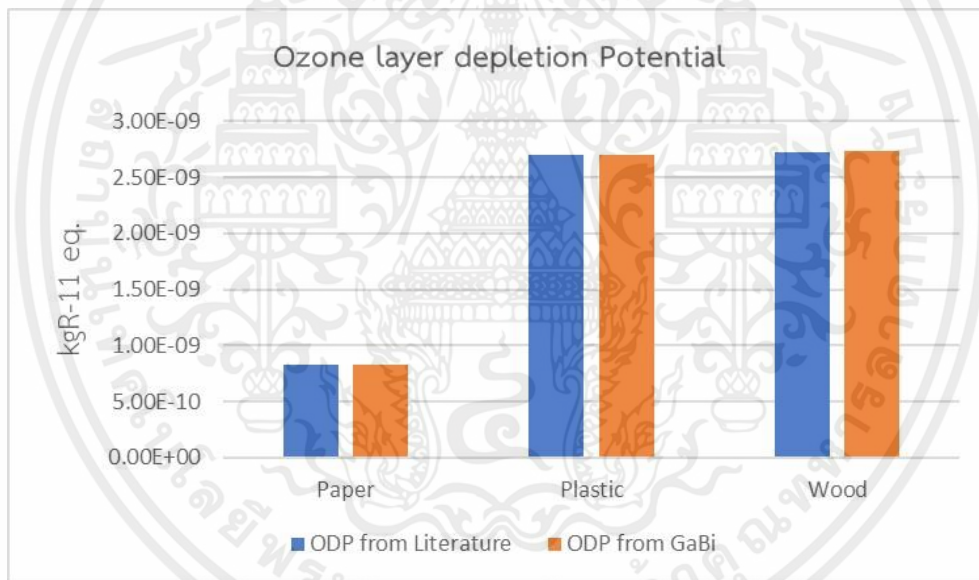
ผู้วิจัยจึงนำค่าที่ได้จากงานวิจัยข้างต้นและค่าที่ได้จากโปรแกรม GaBi มาสร้างกราฟแผนภูมิแท่งและทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ในแต่ละด้านของเทคโนโลยีการเผาไหม้, เทคโนโลยีการโฟโวลติส, และเทคโนโลยีการแปรสภาพให้เป็นแก๊สแสดงดังรูปด้านล่าง



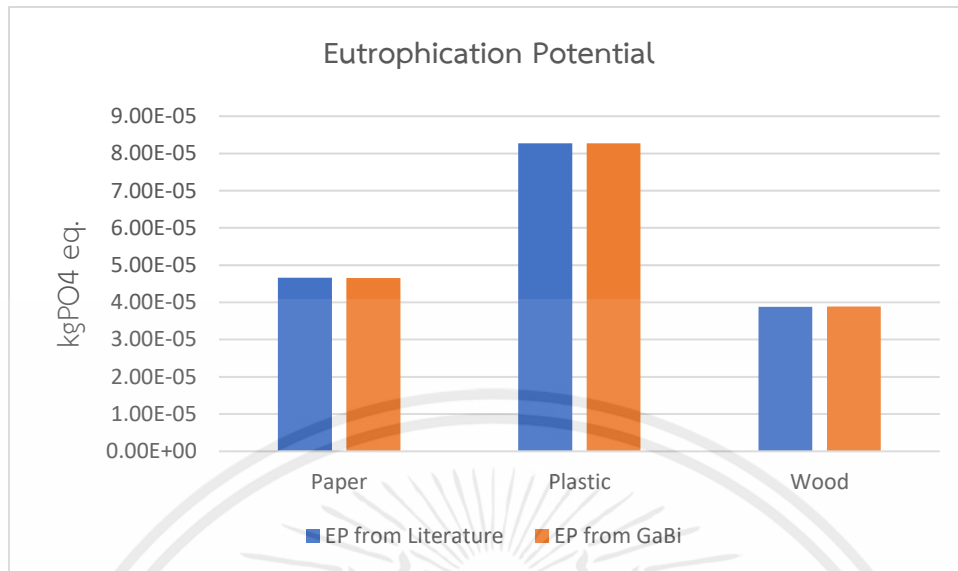
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการเผาไหม้ด้าน GWP กับงานวิจัย



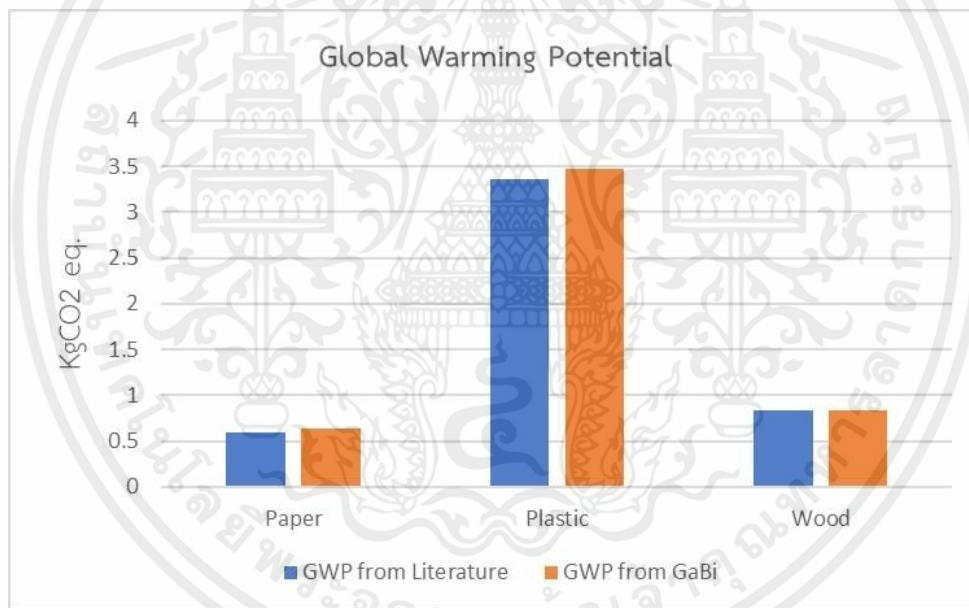
รูป 4.5 เปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการเผาไหม้ด้าน AP กับงานวิจัย



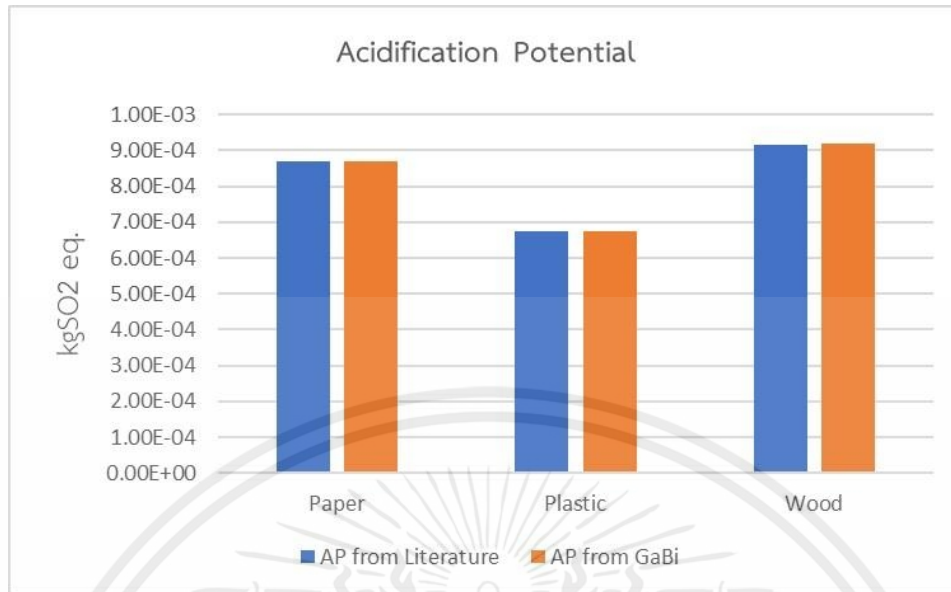
รูป 4.6 เปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการเผาไหม้ด้าน ODP กับงานวิจัย



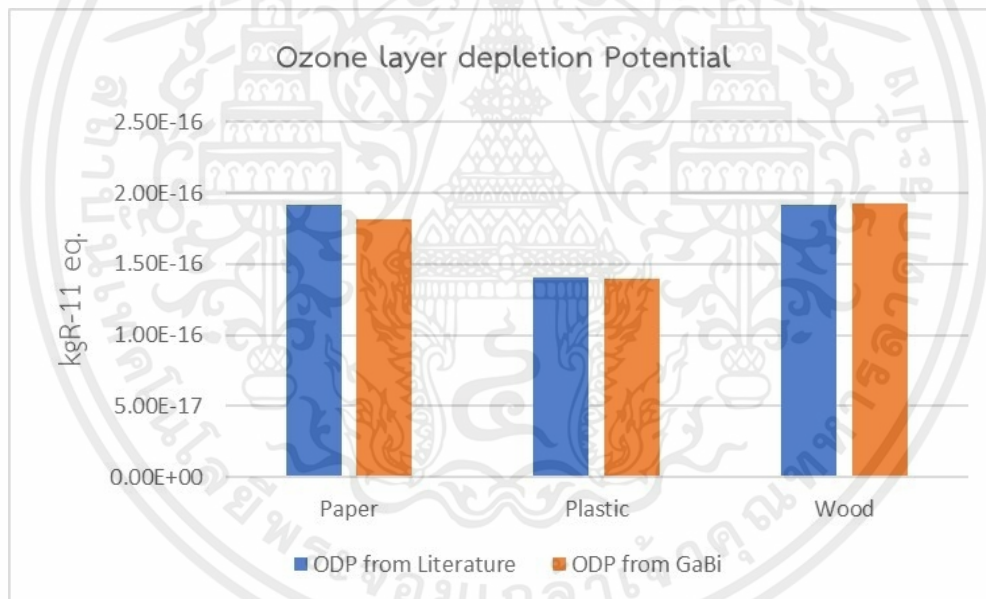
รูป 4.7 เปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการเผาไหม้ด้าน EP กับงานวิจัย



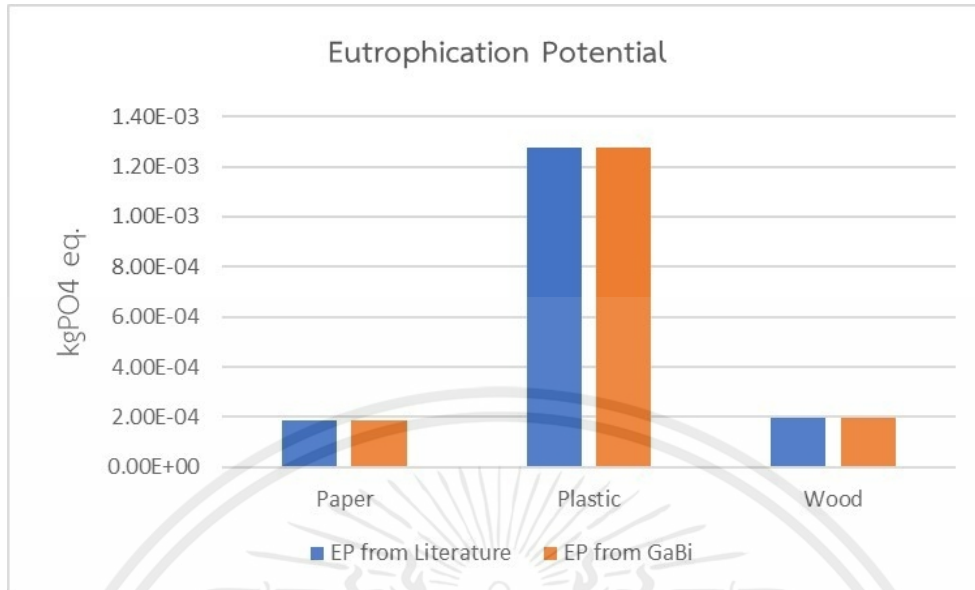
รูป 4.8 เปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการไฟโพลีเอสตันด้าน GWP กับงานวิจัย



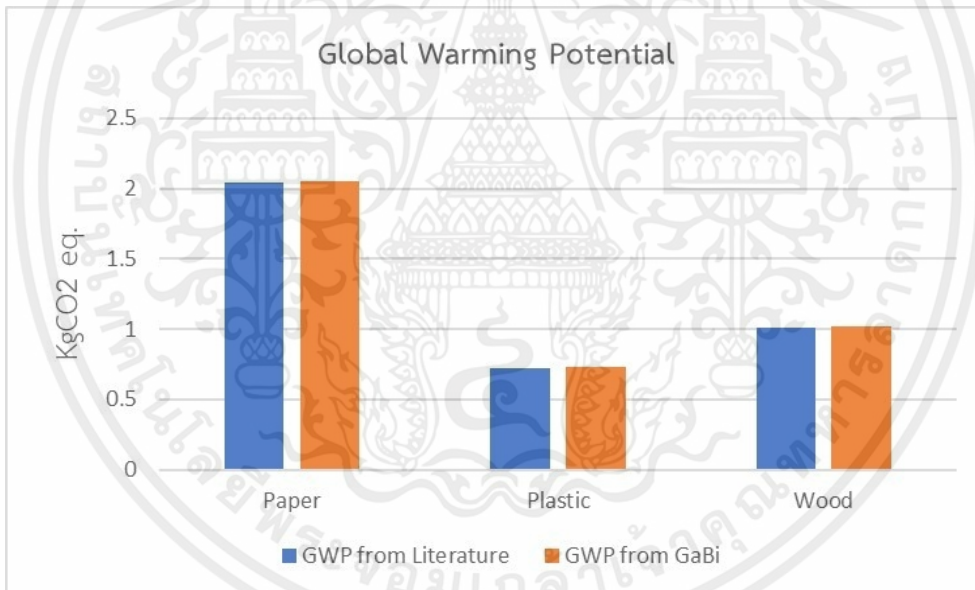
รูป 4.9 เปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการโฟโวลติสตาม AP กับงานวิจัย



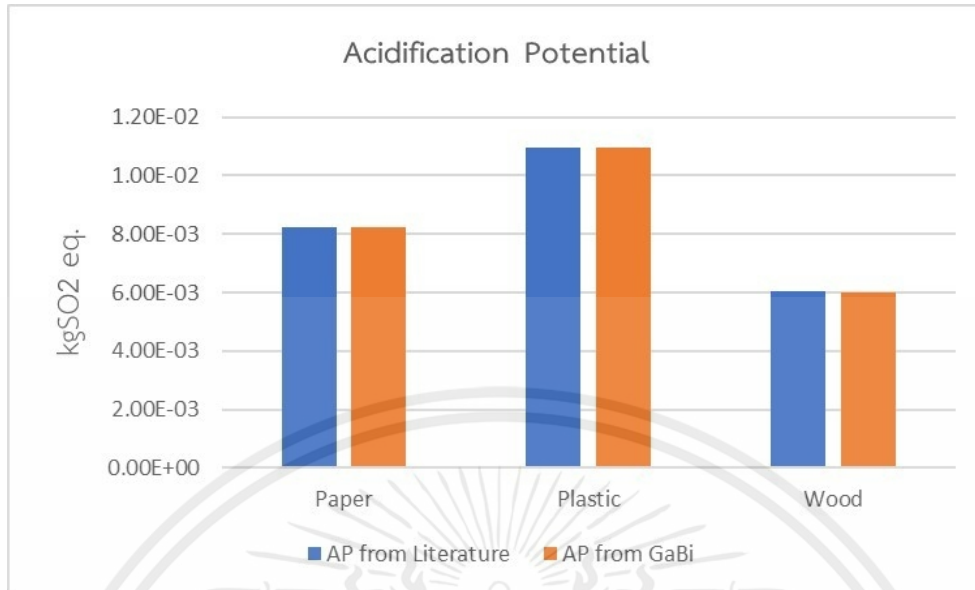
รูป 4.10 เปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการโฟโวลติสตาม ODP กับงานวิจัย



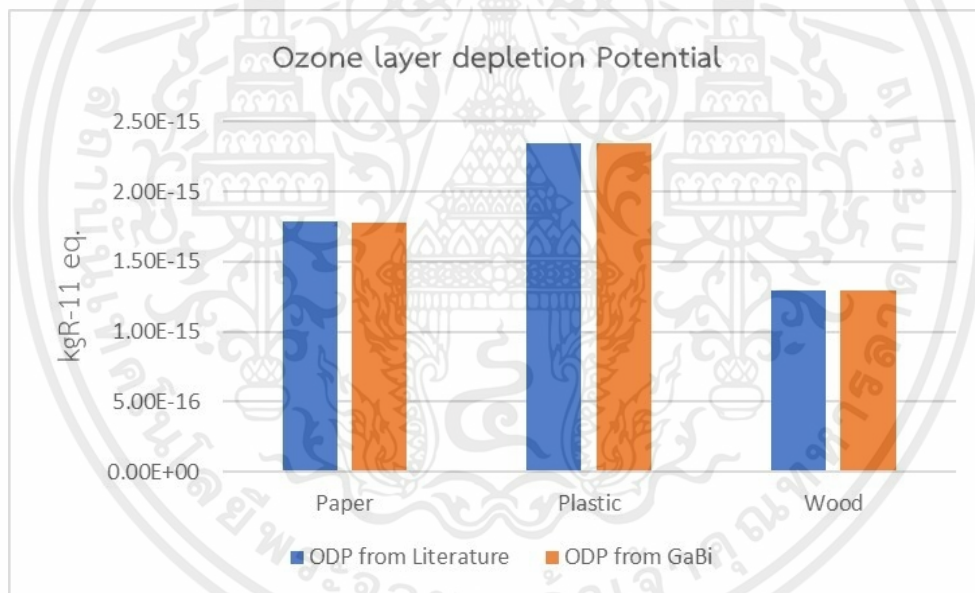
รูป 4.11 เปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการโฟโวลติสด้าน EP กับงานวิจัย



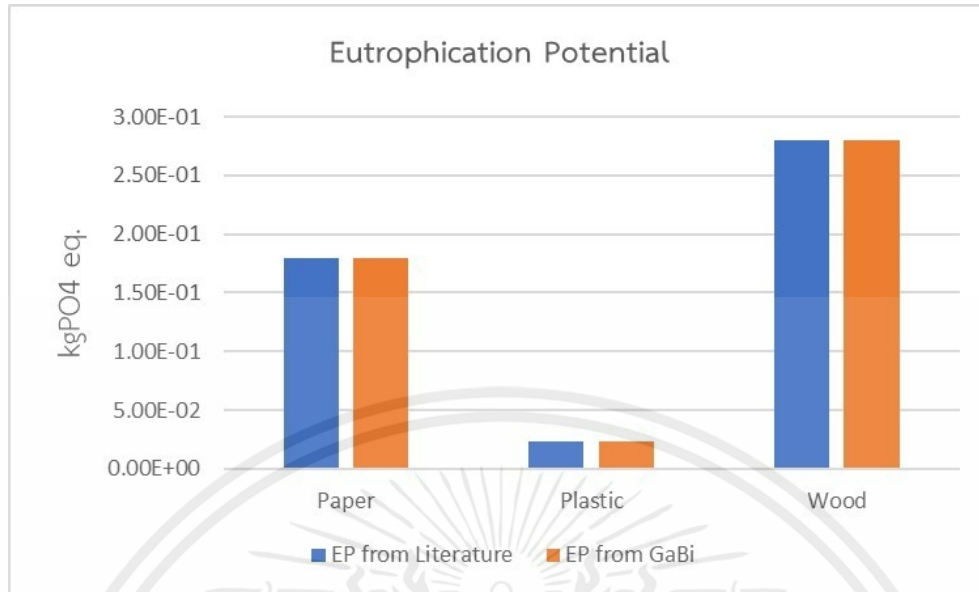
รูป 4.12 เปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการแปรรูปให้เป็นแก๊ส GWP กับงานวิจัย



รูป 4.13 เปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการแปรสภาพให้เป็นแก๊ส AP กับงานวิจัย



รูป 4.14 เปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการแปรสภาพให้เป็นแก๊ส ODP กับงานวิจัย



รูป 4.15 เปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการแปรสภาพให้เป็นแก๊ส EP กับงานวิจัย

4.3.4 การแปลผล (Interpretation)

การศึกษาในครั้งนี้ ได้นำเสนอทางเลือกของการจัดการของเสียกรณีศึกษาสำนักการเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ซึ่งสามารถกำจัดของเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพและช่วยลดการปล่อยมลพิษในการกำจัดของเสีย โดยประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานได้ถูกวิเคราะห์และประเมินโดยใช้วิธี CML 2001 จากผลการศึกษาพบว่า การปลดปล่อยมลพิษส่วนใหญ่พบในเทคโนโลยี Gasification ในทางกลับกันเทคโนโลยีที่ปลดปล่อยมลพิษออกมาน้อยที่สุดคือเทคโนโลยี Incineration และพบว่าการปลดปล่อยมลพิษในการจัดการของเสียส่วนใหญ่คือของเสียประเภทพลาสติก ในด้านของเสียประเภทกิ่งไม้/ใบไม้เป็นผู้เล่นหลักต่อผลกระทบในด้านของศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication Potential) ส่วนของเสียพบว่าของเสียประเภทพลาสติก ถือเป็นผู้เล่นหลักต่อผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมประเภทการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential) การทำลายทรัพยากรที่ไม่มีชีวิตและฟอสซิล (Abiotic Depletion (ADP Element and Fossil)) ศักยภาพในความเป็นกรด (Acidification Potential) ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำจืดและสัตว์น้ำทะเล (Freshwater and Marine Aquatic Ecotoxicity Potential) ศักยภาพในความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity Potential) ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน (Ozone Layer Depletion) ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์โฟโตเคมีคัล (Photochemical Creation Potential) และศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศบนบก (Terrestrial Ecotoxicity Potential)

4.4 การศึกษานโยบายเพื่อส่งเสริมการจัดการของเสีย

ศึกษานโยบายการจัดการของเสียประเภทพลาสติกเนื่องจากในการศึกษาค้นคว้าพบว่าการจัดการกับของเสียประเภทพลาสติกนั้นจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมถึง 10 ประเภทจากทั้งหมด 11 ประเภทตามวิธี CML 2001 โดยนโยบายที่คณะผู้วิจัยได้ศึกษามานั้นมีดังนี้ 1) หยุดการใช้พลาสติกที่ใช้ได้ครั้งเดียว เป็นการรณรงค์ให้หยุดการใช้พลาสติกแบบที่ใช้ได้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง เช่น จานพลาสติก, กล่องใส่อาหารพลาสติก, ซ้อนส้อมพลาสติก [47] 2) โครงการ “วน” เป็นการรวบรวมพลาสติกชนิดอ่อนเพื่อนำส่งกลับไปรีไซเคิลที่โรงงาน [48] 3) การนำขวดพลาสติกมารีไซเคิลเพื่อใช้ในการเกษตร เช่น แจกันดอกไม้หรือภาชนะปลูกผัก [31] 4) การปฏิเสธถุงพลาสติก เป็นการรณรงค์ให้ปฏิเสธการรับถุงพลาสติกจากร้านค้าเพื่อลดการใช้ถุงพลาสติก [49] 5) เก็บภาษีถุงพลาสติก โดยจะเป็นการเก็บภาษีถุงพลาสติกจากร้านค้าที่มีการแจกถุงพลาสติกให้กับลูกค้า [50] 6) ห้ามการใช้ถุงพลาสติก [50] 7) ห้ามการใช้ถุงพลาสติกเพื่อสนับสนุนให้มีการใช้ถุงที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ [51] จากการศึกษาพบว่ามี 4 นโยบายที่สามารถนำมาปรับใช้กับสำนักงานการเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้ ได้แก่ 1) รณรงค์ให้มีการลดการใช้พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว เช่น หลอดพลาสติก, แก้วพลาสติก, และขวดพลาสติกโดยการใช้ขวดหรือแก้วที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ [51] 2) พิจารณาให้มีการห้ามนำถุงพลาสติกเข้ามาในบริเวณสำนักงานการเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง [49,50] 3) คัดแยกถุงพลาสติกไว้เพื่อนำส่งกลับไปรีไซเคิลที่โรงงานผลิตพลาสติก [52] 4) การนำขวดพลาสติกมารีไซเคิลเพื่อใช้ในการเกษตร เช่น แจกันดอกไม้หรือภาชนะปลูกผัก [31] โดยนโยบายเหล่านี้จะมีการเชื่อมโยงกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในเป้าหมายที่ 11 ทำให้เมืองและการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์ มีความครอบคลุม ปลอดภัย ยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงและยั่งยืน ในเป้าหมายย่อยที่ 11.6.1 ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อหัวประชากรรวมถึงการให้ความสำคัญกับคุณภาพอากาศและการจัดการขยะมูลฝอย และของเสียอื่นๆ ภายในปี พ.ศ. 2573 และเป้าหมายที่ 12 สร้างหลักประกันให้มีแบบแผนการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน ในเป้าหมายย่อยที่ 12.5 ลดการเกิดของเสียโดยให้มีการป้องกัน การลดปริมาณ การใช้ซ้ำ และการนำกลับมาใช้ใหม่ ภายในปี พ.ศ. 2573

บทที่ 5

สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในเรื่องการประเมินและการจัดการของเสียกรณีศึกษาสำนักการเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในส่วนของเทคโนโลยีการจัดการของเสียด้วยการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานผ่านโปรแกรม GaBi Education ด้วยวิธี CML 2001 โดยจะแบ่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมออกเป็น 11 ประเภท ได้แก่ 1) ศักยภาพในการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) 2) การทำลายทรัพยากรที่ไม่มีชีวิต (Abiotic depletion Potential: ADPe) 3) การทำลายทรัพยากรฟอสซิล (Abiotic depletion fossil fuels Potential: ADPf) 4) ศักยภาพในความเป็นกรด (Acidification Potential: AP) 5) ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication Potential: EP) 6) ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน (Ozone layer depletion Potential: ODP) 7) ศักยภาพในการเกิดปรากฏการณ์โฟโตเคมีคัล (Photochemical oxidation Potential: POCP) 8) ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำจืด (Freshwater aquatic ecotoxicity Potential: FAETP) 9) ศักยภาพในความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity Potential: HTP) 10) ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำทะเล (Marine aquatic ecotoxicity Potential: MAETP) และ 11) ศักยภาพในความเป็นพิษต่อระบบนิเวศบนบก (Terrestrial ecotoxicity Potential: TETP) จากนั้นนำผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของทั้ง 3 เทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานมาเปรียบเทียบกันเพื่อระบุสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด พร้อมทั้งหาแนวทางการจัดการของเสียเพื่อลดปริมาณการเกิดของเสียด้วยการออกข้อเสนอแนะในส่วนของนโยบายการจัดการของเสียโดยจะมีความเชื่อมโยงกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการของเสีย โดยมีการสรุปผลดังนี้

5.1 สรุปและอภิปรายผล

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผล

สรุปผลได้ว่า การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการประเมินและการจัดการของเสียกรณีศึกษาสำนักการเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในส่วนของเทคโนโลยีการจัดการของเสียด้วยการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานผ่านโปรแกรม GaBi Education ด้วยวิธี CML 2001 ถัดไปคณะผู้จัดทำได้ทำการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของทั้ง 3 เทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานได้แก่ Incineration, Pyrolysis, และ

Gasification และสุดท้ายทางคณะผู้จัดทำได้ออกข้อเสนอแนะในส่วนของการสร้างนโยบายนโยบายในการจัดการของเสีย ผลลัพธ์จากการวิจัยที่สามารถสรุปได้ คือ เทคโนโลยี Incineration เป็นเทคโนโลยีการจัดการของเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดและพบว่าของเสียที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคือพลาสติก และผลลัพธ์จากการศึกษาในส่วนของการออกข้อเสนอแนะในรูปแบบนโยบายเพื่อช่วยการจัดการของเสียประเภทพลาสติกพบว่านโยบายที่เหมาะสมกับการนำมาปรับใช้กับที่สำนักงานการเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังคือควร ลดการใช้แก้วพลาสติก, หลอดพลาสติก, และขวดพลาสติก โดยการใช้แก้วหรือขวดที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ พิจารณาให้มีกรห้ามนำถุงพลาสติกเข้ามาในบริเวณของสำนักงานการเรียนรู้ตลอดชีวิตพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แยกของเสียประเภทถุงพลาสติกและนำส่งกลับไปยังโรงงานผลิตถุงพลาสติกเพื่อนำกลับไปรีไซเคิลและนำขวดพลาสติกไปรีไซเคิลเพื่อใช้ในการเกษตร เช่น นำไปรีไซเคิลเป็นแจกันหรือนำไปรีไซเคิลเป็นภาชนะปลูกผัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะนำผลของปริญญานิพนธ์ไปใช้

1. นักวิจัยและผู้สนใจสามารถนำผลของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนการดำเนินงานปริญญานิพนธ์ได้
2. หน่วยงานหรือองค์กรที่มีความสนใจสามารถนำผลของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงการจัดการของเสียเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะนำไปทำวิจัยในอนาคต

1. ควรศึกษาประเภทของของเสียและเทคโนโลยีการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงานเพิ่มเติมว่าของเสียแต่ละประเภทควรจะไปกำจัดด้วยเทคโนโลยีอะไร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียและการรักษาสิ่งแวดล้อมที่มีคุณภาพ
2. ในการปรับปรุงพัฒนาต่อไป อาจมีการปรับปรุงโมเดลการจัดการของเสียเพื่อลดการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

- [1] The world bank. 2016 “Trend in solid waste management”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html
- [2] Thaipublica. 2022. “แผนจัดการขยะกทม. 20 ปี ยังคงล้นเมืองต่อไป”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://thaipublica.org/2022/05/bangkok-agenda06-2565/>
- [3] Ahsan Farooq, Piyanon Haputta, Thapat Silalertruksa and Shabbir H. Gheewala. 2021. A Framework for the Selection of Suitable Waste to Energy Technologies for a Sustainable Municipal Solid Waste Management System, Circular Economy, A section of the journal Frontiers in Sustainability
- [4] กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข 2563 “การศึกษาการทำงานอุตสาหกรรม” สำนักพิมพ์คณะวิศวกรรมศาสตร์กรุงเทพฯ
- [5] Chunbo Zhang. 2022. An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition. Delft University of Technology.
- [6] กรมควบคุมมลพิษ, 2565, แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะของประเทศ ฉบับที่ 2, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- [7] กรมควบคุมมลพิษ, 2550, แผนปฏิบัติการบริหารจัดการขยะมูลฝอยและน้ำเสียแบบบูรณาการ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- [8] ผศ.ดร.จรัสวรรณ โกยวานิช, Industrial Environmental Management, หน้า 108.
- [9] อรพรรณ บุญพร้อม, 2552. การประเมินผลกระทบวัฏจักรชีวิตในระบบจัดการหลอตฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้แล้ว. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- [10] Sate Sampattagul, Life Cycle Assessment of Products, p.29
- [11] [International Organization for Standardization. Environmental Management – Life Cycle Assessment: Principles and Framework. Draft ISO Standard ISO/DIS 14040 (ISO/TC 207/SC 5), 2005.]
- [12] อีร์เวซ ทิตยส์เสง. มปป. การประเมินวัฏจักรชีวิต (Lifecycle Assessment, LCA). สถาบันเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น
- [13] Guinée, J.B.; Gorrée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; Koning, A. de; Oers, L. van; Wegener Sleeswijk, A.; Suh, S.; Udo de Haes, H.A.; Bruijn, H. de; Duin, R. van; Huijbregts, M.A.J. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 2002, 692 pp.

- [14] สุวัฒนา แต่งไทย, 2554, การประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบบอินเวอร์เตอร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- [15] International Organization for Standardization. (1998). ISO/DIS 14041: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Life cycle interpretation.
- [16] Cooper, J.S.& Fava, J.A., 2006, Life-Cycle assessment practitioner survey: Summary of results. Journal of industrial Ecology
- [17] เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล,ปี,การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์,คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [18] Mazalan Maisaraha, Cassendra P.C. Bonga, Wai Shin Hoa, Jeng Shiun Lima, Zarina Muisa, Haslenda Hashima, Sherien Elagroudyb, Gabriel H.T. Lingc, Chin Siong Hoc, 2018. Review on the Suitability of Waste for Appropriate Waste-to-Energy Technology. Universiti Teknologi Malaysia
- [19] Samson O. Ojoawo, Abayomi A. Gbadamosi, 2013. Application pf TRACI and CML Modeling Tools in Life Cycle Impact Assessment of Municipal Wastes. Ladoke Akintola University of Technology
- [20] Antzela Fivga, Ioanna Dimitriou, 2018. Pyrolysis of plastic waste for production of heavy fuel substitute: A techno-economic assessment. University of Sheffield
- [21] Dang Saebeaa, Pornnapat Ruengritb, Amornchai Arpornwichanopc, Yaneeporn Patcharavorachot, 2020. Gasification of plastic waste for synthesis gas production. Burapha University
- [22] Janajreh et al.(2006), Anke Brems, 2012. Energy potential of plastic waste valorisation :A short comparative assesment of pyrolysis vs gasification.
- [23] SLÁVKA KOČANOVÁ, Marcofellin, 2016. THE IMPACT OF THE COMPOSITION OF THE WOOD GAS TO EMISSIONS AFTER COMBUSTION OF WOOD GAS. Technical university of Košice
- [24] M. Ouali, Gang Xiao, 2013. Fixed bed downdraft gasification of paper industry wastes. Aston University
- [25] M.Rehan, Ouda, 2016. Pyrolytic liquid fuel A source of renewable electricity generation in Makkah. King Abdulaziz University
- [26] Ioannis Kalargaris, Ahmed I.Osman, 2020. Combustion, performance and emission analysis of a DI diesel engine using plastic pyrolysis oil. University of Surrey
- [27] Benjamin Hersh, Sparrevik, Ludovica Silvani, 2020. LIFE CYCLE ASSESSMENT OF PYROLYSIS-DERIVED BIOCHAR FROM ORGANIC WASTES AND ADVANCED FEEDSTOCKS. University of Idaho

- [28] Garvit Bhardwaj, Jancovic, 2021. Kinetic analysis of the slow pyrolysis of paper wastes.
- [29] S.Prabhakaran, Garvit Bhardwaj, 2021. Kinetic analysis of the slow pyrolysis of paper wastes
- [30] Chao-Hsiung Wu, Laurijssen, Zheng, 2017. Pyrolysis product distribution of waste newspaper in MSW
- [31] K.O. Babaremu, 2022. Sustainable plastic waste management in a circular economy. De Montfort University
- [32] Moshood Akanni Alao, 2022. Cleaner Energy System. Tshwane University of Technology.
- [33] Diego Moya, Clay Aldas, Germanico Lopez, 2017. Munciple solid waste as a valuable renewable energy resource: a worldwide opportunity of energy recovery by using Waste to Energy Technologies. Griffith University.
- [34] ธัญลักษณ์ โคตะมี, 2554, Using the Pareto Chart for Quality Control in Industry
- [35] นภาพร อยู่เบิก, 2565. การบูรณาการแนวทางต้นน้ำเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษพลาสติกในแผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก. สถาบัน Oko-Institute e.V.
- [36] โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิง RDF แพรกษาใหม่ , บริษัท ราชบุรี-อีอีพี รีนิวเอเบิล เอนเนอจี้ จำกัด
- [37] Corsair group international [Online]. Available: <https://corsairnow.com/>
- [38] “โครงการ Wood Pellet”, บริษัท อำพลฟูดส์ โพรเซสซิ่ง จำกัด
- [39] เด่นพงษ์ ศรีราช. 2561. แผนธุรกิจโรงไฟฟ้าชีวมวล(เชื้อเพลิงขยะ). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์]
- [40] Khodadad Mostakim, Md Arman Arefin, Mohammad Towhidul Islam, Khaled Mohammad Shifullah, Md Amirul Islam. 2021. Harnessing energy from the waste produced in Bangladesh: evaluating potential technologies, Department of Mechanical Engineering, Rajshahi University of Engineering & Technology, Rajshahi, 6204, Bangladesh
- [41] P.R.Yaashikaa, P.Senthil Kumar, Sunita Varjani, A.Saravanan. 2020. A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy, Biotechnology Reports, Volume 28
- [42] Jun Dong, Yuanjun Tang, Ange Nzihou, Yong Chi, Elsa Weiss-Hortala, Mingjiang Ni. 2018. Life cycle assessment of pyrolysis, gasification and incineration waste-to-energy technologies: Theoretical analysis and case study of commercial plants. Science of the total Environment p.744-753

- [43] Moshood Akanni Alao, Olawale Mohammed Popoola, Temitope Raphael Ayodele. 2022. Waste to energy nexus: An overview of technologies and implementation for sustainable development. Cleaner Energy Systems.
- [44] Zhaozhuo Yu, Haoxiang Ma, Xiangjun Liu, Miao Wang, Junqi Wang. 2022. Review in life cycle assessment biomass conversion through pyrolysis-issues and recommendations.
- [45] Tu Xayachak, Nawshad Haque, Deborah Lau, Raj Parthasarathy, Biplob Kumar Pramanik. 2023. Assessing the environmental footprint of plastic pyrolysis and gasification: A life cycle inventory study. Process Safety and Environment Protection
- [46] Adeyanju Anthony Ademola. 2022. Comparisons of Incineration and Gasification Thermal Conversion of Municipal Solid Waste in Trinidad and Tobago. The University of the West Indies, St. Augustine Campus
- [47] Sze Ying Lee, Revathy Sankaran, Kit Wayne Chew, Chung Hong Tan, Rambabu Krishnamoorthy, Dinh-Toi Chu, and Pau-Loke Show. 2019. Waste to bioenergy: a review on the recent conversion technologies, BMC Energy.
- [48] กรมควบคุมมลพิษ, 2563, แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- [49] “โครงการ รวน”, บริษัท ทีพีไอ จำกัด (มหาชน)
- [50] กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, Everyday Say No to Plastic Bags, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [51] Aweewan Mingmeechai. 2020. Plastic Bag Ban Policy in Thailand: A Step into the 20-Year Roadmap for Plastic Waste Management.
- [52] A Department of the City and County of San Francisco. 2020. Checkout Bag Charge and Recyclable or Compostable Pre-Checkout Bag Ordinance, San Francisco Environment Department.