การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

นางสาวปัทมาพร ตรีเนตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Life cycle assessment of high density polyethylene (HDPE) plastic product

Miss Patthamaporn Treenate

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
โดย	นางสาวปัทมาพร ตรีเนตร
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เขมรัฐ โอสถาพันธุ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัจฉริยา สุริยะวงค์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. กิตตินันท์ อันนานนท์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปัทมาพร ตรีเนตร : การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (Life cycle assessment of high density polyethylene (HDPE) plastic product) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 152 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ คือ แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น และถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร โดยการเปรียบเทียบผลกระทบในกระบวนการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ด้วยการใช้โปรแกรม SimaPro version 8.2 และวิธี IMPACT 2002+ version 2.12 ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจำนวน 15 ด้าน ต่อหน่วยการทำงาน เช่น การเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ การเกิดความเป็นพิษต่อดิน การเกิดภาวะโลกร้อน และการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป เป็นต้น โดยมีขอบเขตการประเมินครอบคลุมตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ การผลิตเม็ดพลาสติก การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การขนส่ง การใช้งาน และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน โดยผลการประเมิน พบว่า กลุ่มผลกระทบที่มีความสำคัญต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมมากที่สุดของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง คือ ผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป โดยมีสาเหตุหลักเกิดจากการได้มาของวัตถุดิบ โดยเฉพาะก๊าซเอทิลีนซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเม็ดพลาสติก ขณะที่ผลการเปรียบเทียบวิธีการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงหลังการใช้งาน พบว่า การรีไซเคิลเป็นวิธีที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการจัดการด้วยการฝังกลบและการเผา นอกจากนี้ยังพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปจากการผสมเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงในสัดส่วนร้อยละ 50 จะมีผลกระทบมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปจากเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงอย่างเดียว และจากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตนี้สามารถนำมาใช้เสนอแนวทางที่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่แล้วหมดไปสำหรับเป็นวัตถุดิบและพลังงานในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก มาตรการอนุรักษ์พลังงาน การรีไซเคิลพลาสติก และการใช้เม็ดพลาสติกชีวภาพ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

5770440021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEYWORDS: LIFE CYCLE ASSESSMENT / HIGH DENSITY POLYETHYLENE / RECYCLE

PATTHAMAPORN TREENATE: Life cycle assessment of high density polyethylene (HDPE) plastic product. ADVISOR: ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., 152 pp.

This study was aimed to determine the environmental impacts for the whole life cycle of high density polyethylene (HDPE) between two products which are lubricant oil bottle and food plastic bag .The life cycle assessment methodology was used in this study by using the SimaPro program version 8.2 along with the IMPACT 2002+ version 2.12 method. The results would be expressed as a quantity of 15 midpoint environmental impact categories per the functional unit such as respiratory inorganics, terrestrial ecotoxicity, global warming and non-renewable energy etc. The scope of life cycle assessment covers the raw material acquisition, plastic pellet production, plastic formation process, transportation, plastic consumption and waste disposal. After the study, the results showed that the major impacts of HDPE plastic product for the whole life cycle was raw material acquisition due to the utilization of non-renewable energy, especially the ethylene gas which is the main ingredients for the HDPE production. While the results of disposal phase by recycle was examined to have a less degree on environmental impact than the landfilling and incineration. Furthermore, it was found that the product which made from HDPE pellet and LLDPE pellet composite in the ratio of 1:1 displayed a higher environmental impact than the product that made from the HDPE pellet only. Finally, the recommendation for environmental impact mitigation would be mainly focused on the reduction of non-renewable energy consumption and the non-renewable resources by using alternative energy, applying energy conservation measure, recycling plastic product and promoting the utilization of bioplastic product.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department:	Environmental Engineering	Student's Signature	.....
		Advisor's Signature	.....
Field of Study:	Environmental Engineering		
Academic Year:	2016		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน โดยผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณผู้ให้ความอนุเคราะห์ทุกท่าน ดังนี้

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด จนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร (ประธานกรรมการ)

รองศาสตราจารย์ ดร. เขมรัฐ โอสถาพันธุ์ (กรรมการ) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัจฉริยา สุริยะวงศ์ (กรรมการ) ดร. กิตตินันท์ อันนานนท์ (กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย) ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำแนะนำและตรวจสอบเพื่อแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากที่สุด

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่กรุณาให้การอบรมสั่งสอนและถ่ายทอดความรู้อันมีคุณค่ายิ่ง รวมถึงบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณบริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด มหาชน ที่ให้การสนับสนุนเงินทุน และคุณบุญเชิด สุวรรณทิพย์ ที่ให้คำแนะนำและข้อมูลสำหรับใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ ตลอดจนผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการให้ความรู้ คำปรึกษา กำลังใจ รวมไปถึงความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนงานวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ที่ให้การสนับสนุน และคอยผลักดัน รวมถึงให้โอกาสในการศึกษาอย่างดีมาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 พลาสติก 5

2.1.1 ข้อมูลทั่วไป 5

2.1.2 ประเภทของพลาสติก 6

2.1.3 การนำไปใช้งาน 6

2.2 อุตสาหกรรมพลาสติก 7

2.2.1 สถานการณ์อุตสาหกรรม 7

2.2.2 โครงสร้างอุตสาหกรรมพลาสติก 8

2.3 พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง 9

2.3.1 ข้อมูลทั่วไป 9

2.3.2 สถานการณ์อุตสาหกรรม 10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.3.3 กระบวนการผลิต 11
2.4 กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ 15
2.4.1 แกลลอนพลาสติก 15
2.4.2 ถุงพลาสติก 17
2.5 การจัดการขยะพลาสติก 19
2.6 ผลกระทบของพลาสติก 20
2.7 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ 21
2.7.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ 21
2.7.2 การประยุกต์ใช้งานของการประเมินวัฏจักรชีวิต 22
2.7.3 อนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000 24
2.7.4 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต 24
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 34
2.8.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต 34
2.8.2 การนำข้อมูลมาใช้ในงานวิจัยนี้ 49
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 51
3.1 การดำเนินงานวิจัย 51
3.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง 52
3.2.1 การคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะศึกษา 53
3.2.2 การออกแบบตารางการเก็บรวบรวมข้อมูล 53
3.2.3 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ 56
3.3 การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับงานวิจัยอื่น 62
3.4 การสัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้องกับการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกหลังการใช้งาน 62

หน้า

3.5 การเสนอแนะแนวทางลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติก 62
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 63
4.1 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง 63
4.1.1 ผลิตภัณฑ์ที่ 1 แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น 63
4.1.2 ผลิตภัณฑ์ที่ 2 ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร 96
4.1.3 การเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิตกับงานวิจัยอื่น 129
4.2 ผลการสัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้องกับการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงหลังการใช้งาน 132
4.3 แนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง 133
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 135
5.1 สรุปผลการวิจัย 135
5.2 ข้อเสนอแนะ 136
รายการอ้างอิง 137
ภาคผนวก 144
ภาคผนวก ก การใช้โปรแกรม SimaPro version 8.2 145
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 152

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างการใช้งานของพลาสติกชนิดต่างๆ 6

ตารางที่ 2-2 ข้อดีและข้อจำกัดของการประเมินวัฏจักรชีวิต 22

ตารางที่ 2-3 การประยุกต์ใช้งานของการประเมินวัฏจักรชีวิต 23

ตารางที่ 2-4 ตัวอย่างกลุ่มผลกระทบพื้นฐานในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม 31

ตารางที่ 2-5 ข้อมูลบัญชีรายการของถุงพลาสติก ถุงกระดาษ ถุงใยสังเคราะห์ และถุงผ้า ในประเทศฮ่องกง จีน และอินเดีย 39

ตารางที่ 2-6 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต 41

ตารางที่ 3-1 ตัวอย่างรูปแบบตารางการเก็บรวบรวมข้อมูล 54

ตารางที่ 3-2 ตัวอย่าง Emission factor สำหรับกรณีภาวะโลกร้อน 61

ตารางที่ 4-1 บัญชีรายการมวลสารของการผลิตก๊าซเอทิลีนต่อหน่วยการทำงาน 1 แกลลอน 65

ตารางที่ 4-2 บัญชีรายการมวลสารของการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงต่อหน่วยการทำงาน 1 แกลลอน 66

ตารางที่ 4-3 บัญชีรายการมวลสารของการผลิตแกลลอนพลาสติกต่อหน่วยการทำงาน 1 แกลลอน 68

ตารางที่ 4-4 ผลการคำนวณผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint categories) ของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น 73

ตารางที่ 4-5 ผลการจัดกลุ่มความเสียหาย (Damage categories) ของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น 74

ตารางที่ 4-6 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่นใน 2 กรณีศึกษา 76

ตารางที่ 4-7 บัญชีรายการมวลสารของการผลิตก๊าซเอทิลีนต่อหน่วยการทำงาน 1 ถุงพลาสติก 98

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4-8 บัญชีรายการมวลสารของการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงต่อหน่วยการทำงาน 1 ถุงพลาสติก 99

ตารางที่ 4-9 บัญชีรายการมวลสารของการผลิตถุงพลาสติกต่อหน่วยการทำงาน 1 ถุงพลาสติก 100

ตารางที่ 4-10 ผลการคำนวณผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint categories) ของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร 106

ตารางที่ 4-11 ผลการจัดกลุ่มความเสียหาย (Damage categories) ของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติก.... 107

ตารางที่ 4-12 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารเปรียบเทียบใน 2 กรณีศึกษา 109

ตารางที่ 4-13 ตารางเปรียบเทียบค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดภาวะโลกร้อนกับผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในงานวิจัยอื่น 130

ตารางที่ 4-14 ตารางเปรียบเทียบค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป 131

ตารางที่ 4-15 เปรียบเทียบค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดภาวะโลกร้อน 131

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2-1 โครงสร้างพอลิเมอร์ 5
รูปที่ 2-2 แนวโน้มอุตสาหกรรมพลาสติกของโลกและยุโรป 8
รูปที่ 2-3 โครงสร้างอุตสาหกรรมพลาสติกพอลิเอทิลีน 9
รูปที่ 2-4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง 10
รูปที่ 2-5 การสังเคราะห์พอลิเอทิลีน 11
รูปที่ 2-6 กลไกการสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-นัตตา 12
รูปที่ 2-7 แผนภาพกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง 14
รูปที่ 2-8 การประเมินวัฏจักรชีวิต 21
รูปที่ 2-9 กรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิต 25
รูปที่ 2-10 ตัวอย่างขอบเขตระบบและระบบผลิตภัณฑ์ในการวิเคราะห์การประเมินวัฏจักรชีวิต 27
รูปที่ 2-11 ขั้นตอนโดยทั่วไปของการจัดวิเคราะห์บัญชีรายการ 29
รูปที่ 2-12 ขั้นตอนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม 31
รูปที่ 3-1 ผังการไหลแผนการดำเนินงานวิจัย 51
รูปที่ 3-2 ผังการไหลของขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ 52
รูปที่ 3-3 ขอบเขตการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติก 57
รูปที่ 3-4 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี IMPACT 2002+ version 2.12 59
รูปที่ 4-1 แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น 63
รูปที่ 4-2 ขอบเขตการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แกลลอนพลาสติก 64
รูปที่ 4-3 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการผลิตก๊าซเอทิลีนต่อหน่วยการทำงาน 1 แกลลอน 65
รูปที่ 4-4 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
ต่อหน่วยการทำงาน 1 แกลลอน 66

รูปที่ 4-5 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการผลิตแกลลอนพลาสติกต่อหน่วยการทำงาน 1 แกลลอน . 67

รูปที่ 4-6 สมดุลมวลสารของแกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่นต่อหน่วยการทำงาน 1 แกลลอน.. 69

รูปที่ 4-7 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุ
น้ำมันหล่อลื่น กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการรีไซเคิล 71

รูปที่ 4-8 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุ
น้ำมันหล่อลื่น กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา 71

รูปที่ 4-9 เปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุ
น้ำมันหล่อลื่น ระหว่างการรีไซเคิลและการเผาผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน 72

รูปที่ 4-10 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุ
น้ำมันหล่อลื่น กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการรีไซเคิล 75

รูปที่ 4-11 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุ
น้ำมันหล่อลื่น กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา 75

รูปที่ 4-12 เปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับ
บรรจุน้ำมันหล่อลื่น ระหว่างการรีไซเคิลและการเผาผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน 76

รูปที่ 4-13 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ระหว่างการรีไซเคิล
และการเผาผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน 77

รูปที่ 4-14 สัดส่วนของผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปของผลิตภัณฑ์แกลลอน
สำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น แยกเป็นกระบวนการ 78

รูปที่ 4-15 ผังการไหลของผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปของผลิตภัณฑ์แกลลอน
สำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น 79

รูปที่ 4-16 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน ระหว่างการรีไซเคิลและการเผา
ผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน 80

รูปที่ 4-17 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุ
น้ำมันหล่อลื่น แยกเป็นกระบวนการ 81

รูปที่ 4-18 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับ
บรรจุน้ำมันหล่อลื่น 82

รูปที่ 4-19 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ระหว่างการรีไซเคิล และการเผาผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน 83

รูปที่ 4-20 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งของผลิตภัณฑ์ แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น แยกเป็นกระบวนการ 84

รูปที่ 4-21 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งของผลิตภัณฑ์ แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น 85

รูปที่ 4-22 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ระหว่างการ จัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิลและการเผา 86

รูปที่ 4-23 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็งของผลิตภัณฑ์ แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น แยกเป็นกระบวนการ 87

รูปที่ 4-24 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็งของผลิตภัณฑ์ แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น 88

รูปที่ 4-25 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ ระหว่างการ จัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิลและการเผา 89

รูปที่ 4-26 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจของผลิตภัณฑ์ แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น แยกเป็นกระบวนการ 90

รูปที่ 4-27 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจของผลิตภัณฑ์ แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น 91

รูปที่ 4-28 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ ระหว่างการ จัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิลและการเผา 92

รูปที่ 4-29 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจของผลิตภัณฑ์ แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น แยกเป็นกระบวนการ 93

รูปที่ 4-30 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจของผลิตภัณฑ์ แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น 94

รูปที่ 4-31 กราฟใยแมงมุมแสดงความสัมพันธ์ของ 6 ผลกระทบสูงสุดของผลิตภัณฑ์แกลลอน สำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น 95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4-32 ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร 96
รูปที่ 4-33 ขอบเขตการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติก 97
รูปที่ 4-34 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการผลิตก๊าซเอทิลีนต่อหน่วยการทำงาน 1 ถุงพลาสติก..... 98
รูปที่ 4-35 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ต่อหน่วยการทำงาน 1 ถุงพลาสติก..... 99
รูปที่ 4-36 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการผลิตถุงพลาสติกต่อหน่วยการทำงาน 1 ถุงพลาสติก ...100
รูปที่ 4-37 สมดุลมวลสารของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารต่อหน่วยการทำงาน 1 ถุงพลาสติก 102
รูปที่ 4-38 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการฝังกลบ 104
รูปที่ 4-39 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา..... 104
รูปที่ 4-40 เปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับ บรรจุอาหาร ระหว่างการฝังกลบและการเผาผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน 105
รูปที่ 4-41 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการฝังกลบ 108
รูปที่ 4-42 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา..... 108
รูปที่ 4-43 เปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับ บรรจุอาหารระหว่างการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการฝังกลบและการเผา... 109
รูปที่ 4-44 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ระหว่างการจัดการ ผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการฝังกลบและการเผา 110
รูปที่ 4-45 สัดส่วนของผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติก สำหรับบรรจุอาหารตลอดวัฏจักรชีวิต แยกเป็นกระบวนการ 111
รูปที่ 4-46 ผังการไหลของผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปของผลิตภัณฑ์ ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร..... 112

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4-47 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน ระหว่างการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการฝังกลบและการเผา 113

รูปที่ 4-48 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร แยกเป็นกระบวนการ 114

รูปที่ 4-49 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร 115

รูปที่ 4-50 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ระหว่างการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการฝังกลบและการเผา 116

รูปที่ 4-51 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร แยกเป็นกระบวนการ 117

รูปที่ 4-52 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร 118

รูปที่ 4-53 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ระหว่างการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการฝังกลบและการเผา 119

รูปที่ 4-54 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร แยกเป็นกระบวนการ 120

รูปที่ 4-55 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร 121

รูปที่ 4-56 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ ระหว่างการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการฝังกลบและการเผา 122

รูปที่ 4-57 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร แยกเป็นกระบวนการ 123

รูปที่ 4-58 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร 124

รูปที่ 4-59 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดความเป็นพิษต่อดิน ระหว่างการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการฝังกลบและการเผา 125

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4-60 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดความเป็นพิษต่อดินของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติก สำหรับบรรจุอาหาร แยกเป็นกระบวนการ 126

รูปที่ 4-61 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดความเป็นพิษต่อดินของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติก สำหรับบรรจุอาหาร 127

รูปที่ 4-62 กราฟใยแมงมุมแสดงความสัมพันธ์ของ 6 ผลกระทบสูงสุดของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติก สำหรับบรรจุอาหาร 128

รูปที่ 4-63 การสัมภาษณ์หน่วยงานราชการ เอกชนที่เกี่ยวข้อง และสมาคมผู้ผลิตพลาสติกในประเทศ 133

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์ เนื่องจากคุณสมบัติที่มีน้ำหนักเบา ราคาถูก แข็งแรง ทนทาน สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์แบบต่างๆ ได้ง่าย จึงได้รับความนิยมนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในหลากหลายรูปแบบ เช่น บรรจุภัณฑ์ ขวดน้ำ ขวดนม ถุงพลาสติก เฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น จากความนิยมใช้พลาสติกจึงทำให้อุตสาหกรรมพลาสติกเป็นอุตสาหกรรมที่มีอัตราการเติบโตเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2557 มีปริมาณการผลิตพลาสติกทั่วโลกประมาณ 311 ล้านตัน ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นกว่าปี 2556 ประมาณร้อยละ 4.01 (Statista, 2016) และสำหรับประเทศไทย อุตสาหกรรมพลาสติกเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญมากต่อระบบเศรษฐกิจ เนื่องจากการใช้เม็ดพลาสติกเป็นวัตถุดิบ จึงช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี และยังช่วยสนับสนุนภาคอุตสาหกรรมอื่นๆ ด้วย

อุตสาหกรรมพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene; HDPE) เป็นอุตสาหกรรมพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีอัตราการเติบโตเพิ่มสูงขึ้นประมาณร้อยละ 22 ในตลอดช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (Ihs, 2014) เนื่องจากผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมใช้มากในหลากหลายผลิตภัณฑ์ เช่น ใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับน้ำยาทำความสะอาด น้ำมันหล่อลื่น แชมพูสระผม ถุงหูหิ้ว เป็นต้น (Icis, 2007)

อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าพลาสติกเป็นวัสดุที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก เนื่องจากใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นสารตั้งต้นในการผลิตวัตถุดิบ เช่น ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Belboom และ Léonard, 2016) อีกทั้งพลาสติกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้พลังงานสูง โดยเฉพาะกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกที่ต้องใช้พลังงานประมาณร้อยละ 70 ของปริมาณพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตต่อปี และมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 204 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งส่วนใหญ่มาจากกระบวนการผลิตและการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน (Harald และคณะ, 2010) นอกจากนี้พลาสติกส่วนใหญ่จะมีการเติมสารเติมแต่ง (Additives) เพื่อมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ได้แก่ สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) สารปรับปรุงคุณภาพ (Modifier) สารเสริม (Filler) สารคงสภาพ (Stabilizer) สารยับยั้งปฏิกิริยา (Inhibitor) สารหล่อลื่น (Lubricant) และผงสี (Pigment) (Meeker และคณะ, 2009) ซึ่งหากผู้บริโภคขาดความรู้และมีความเข้าใจผิดเกี่ยวกับการใช้งานอาจทำให้สารเคมีจากผลิตภัณฑ์พลาสติกปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม ในส่วนของการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้

งาน พลาสติกเป็นวัสดุที่ต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนานจึงทำให้เกิดปัญหาต่อการจัดการขยะพลาสติก เช่น การเผาที่ไม่มีประสิทธิภาพจะทำให้เกิดฝุ่นผง ขี้เถ้า และก๊าซพิษ โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (ศุลีพร แสงกระจ่าง และคณะ, 2556) การฝังกลบจะทำให้เกิดการปนเปื้อนสารเคมีที่อยู่ในพลาสติกต่อดินและแหล่งน้ำ (จิโรจ มีเดช, 2549) เป็นต้น ดังนั้นเพื่อตอบรับกับการขยายตัวของอุตสาหกรรมพลาสติกในอนาคตและเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของพลาสติก จึงจำเปนต่องจัดหาแนวทางการลดผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตจากกระบวนการผลิต การใช้งานผลิตภัณฑ์ และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังใช้งานให้มีผลกระทบน้อยที่สุด

ผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อสิ่งแวดล้อมเป็นแนวคิดที่ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมพลาสติกและผู้บริโภคให้ความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน โดยแนวทางหนึ่งที่จะให้ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ได้คือ การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ของผลิตภัณฑ์ โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment; LCA) ตามมาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิต ISO 14040:2006 และ ISO 14044:2006 ทั้งนี้งานวิจัยการประเมินวัฏจักรชีวิตที่ผ่านมามีขอบเขตการศึกษาแบบ Cradle to gate ครอบคลุมผลกระทบที่เกี่ยวข้องตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ จนถึงการผลิตเป็นเม็ดพลาสติก (ขวัญฤดี อิ่มอาดูร, 2554) แต่ไม่ได้พิจารณาครอบคลุมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติก คือ ตั้งแต่ การได้มาของวัตถุดิบ การผลิตเป็นเม็ดพลาสติก การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ การใช้งาน และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน

งานวิจัยนี้จึงศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ด้วยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยมีขอบเขตการศึกษาแบบ Cradle to grave ครอบคลุมผลกระทบที่เกี่ยวข้องตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติก ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ การผลิตเม็ดพลาสติก การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การขนส่ง การใช้งาน การจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยใช้แนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิต

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่กระบวนการได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การขนส่ง การใช้งาน และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต

1.2.3 เพื่อเสนอแนะแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมผลิตภัณฑ์โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment; LCA) ของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

1.3.2 ใช้โปรแกรม SimaPro version 8.2 วิธี IMPACT 2002+ version 2.12 ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจำนวน 15 ด้าน ได้แก่ การเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง การเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง การเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ การปล่อยกัมมันตภาพรังสี การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ การเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ การเกิดความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำ การเกิดความเป็นพิษต่อดิน การเกิดความเป็นกรด/การเพิ่มสารอาหารในดิน การใช้ที่ดิน การเกิดความเป็นกรดในแหล่งน้ำ การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ การเกิดภาวะโลกร้อน การใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป และการสกัดแร่ธาตุ

1.3.3 กำหนดขอบเขตการศึกษาแบบ Cradle to grave ซึ่งคือการพิจารณาตั้งแต่กระบวนการได้มาของวัตถุดิบ การผลิตเม็ดพลาสติก การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การขนส่ง การใช้งาน และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน

1.3.4 หน่วยอ้างอิงหรือหน่วยทำงาน (Functional unit) คือ ผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผลิตได้ จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร 1 ถุง และแกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น 1 แกลลอน

1.3.5 เก็บรวบรวมข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออกในแต่ละกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ โดยการลงพื้นที่ศึกษากระบวนการผลิตในโรงงานและสัมภาษณ์ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตโดยตรง โดยข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการได้มาของวัตถุดิบ ได้รับจากโรงงานปิโตรเคมีที่ตั้งอยู่ในประเทศไทย ประกอบด้วยข้อมูลของกระบวนการผลิตก๊าซเอทิลีนในโรงโอเลฟินส์และโรงอะโรเมติกส์ และกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก รวมถึงกระบวนการขนส่งวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ และของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ ขณะที่ข้อมูลกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และการขนส่งที่เกี่ยวข้องได้รับจากโรงงานผลิตถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารและแกลลอนพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น ส่วนข้อมูลการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน และข้อมูลส่วนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง จะใช้ข้อมูลอ้างอิงจากฐานข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือในระดับสากล คือ Ecoinvent 3.0

1.3.6 สัมภาษณ์ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกสำหรับใช้เป็นแนวทางการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงสำหรับประเทศไทย ได้แก่ หน่วยงาน

ภาครัฐ เอกชน และหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง จำนวน 5 หน่วยงาน ประกอบด้วย กรมควบคุมมลพิษ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม สถาบันพลาสติก และหน่วยงานเอกชนที่รับจัดการขยะและกาก อุตสาหกรรมด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูงในเตาปูนซีเมนต์ ได้แก่ บริษัท เอส ซี ไอ อีโค่ เซอร์วิสเซส จำกัด และ บริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน

1.3.7 เสนอแนะแนวทางลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและลดการใช้ทรัพยากรโดยใช้หลัก 3Rs คือ การลดการใช้ (Reduce) การใช้ซ้ำ (Reuse) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 มีข้อมูลวัฏจักรชีวิตและผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์จากพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

1.4.2 มีแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมสำหรับผลิตภัณฑ์จากพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงสำหรับประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

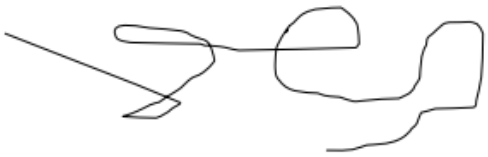
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติก

2.1.1 ข้อมูลทั่วไป

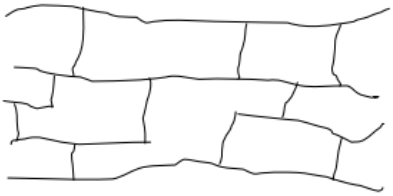
พลาสติกเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยธาตุสำคัญ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน นอกจากนี้อาจมีธาตุอื่นๆ เป็นส่วนประกอบย่อย ได้แก่ ไนโตรเจน ฟลูออรีน คลอรีน และกำมะถัน กระบวนการผลิตพลาสติกเริ่มจากการนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมมาผลิตเป็นเม็ดพลาสติกด้วยกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชั่น (Polymerization) ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนสารโมเลกุลเล็กหรือมอนอเมอร์ (Monomer) เช่น เอทิลีน โพรพิลีน เป็นต้น ให้เป็นสารโมเลกุลใหญ่หรือพอลิเมอร์ (Polymer) เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน เป็นต้น ก่อนจะนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการต่างๆ โดยโครงสร้างของพอลิเมอร์แบ่งเป็น 3 แบบ คือ พอลิเมอร์แบบเส้น พอลิเมอร์แบบกิ่ง และพอลิเมอร์แบบร่างแห ดังรูปที่ 2-1

พอลิเมอร์แบบเส้น



พอลิเมอร์แบบกิ่ง

พอลิเมอร์แบบร่างแห



รูปที่ 2-1 โครงสร้างพอลิเมอร์
(มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2544)

2.1.2 ประเภทของพลาสติก

โดยทั่วไปพลาสติกจะถูกแบ่งเป็น 2 ประเภทตามลักษณะสมบัติของพลาสติก ดังนี้

1. เทอร์โมพลาสติก

พลาสติกประเภทนี้จะมีโครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์ (Polymer) เป็นแบบเส้นตรงหรือแบบกิ่งสั้นๆ พันธะระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ไม่แข็งแรง ทำให้เมื่อได้รับความร้อนพอลิเมอร์ประเภทนี้จะอ่อนตัวและเมื่อเย็นลงก็จะแข็งตัว ซึ่งการอ่อนตัวและแข็งตัวนี้สามารถเกิดกลับไปกลับมาได้โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพหรือโครงสร้างของโพลิเมอร์เปลี่ยนไปมากนัก ตัวอย่างพลาสติกประเภทนี้ เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน พอลิไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น

2. เทอร์โมเซต

พลาสติกประเภทนี้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี คงรูปหลังการผ่านความร้อนหรือแรงดันเพียงครั้งเดียว ไม่สามารถนำมาหลอมใหม่ได้ เนื่องจากพันธะระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์แข็งแรงมากจึงทำให้พลาสติกประเภทนี้ไม่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ ตัวอย่างพลาสติกประเภทนี้ เช่น ฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์ อีพ็อกซี พอลิเอสเทอร์ พอลิยูรีเทน เป็นต้น

2.1.3 การนำไปใช้งาน

ในปัจจุบันพลาสติกเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมใช้มากในชีวิตประจำวัน ทั้งในลักษณะของบรรจุภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์สิ่งของเครื่องใช้ และวัสดุก่อสร้าง เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติพิเศษหลายประการ เช่น ขึ้นรูปได้ง่าย น้ำหนักเบา แข็งแรงและเหนียว ยืดหยุ่นได้ ทนทานต่อสารเคมี ไม่เป็นสนิม ไม่ผุกร่อน และสามารถปรุงแต่งคุณสมบัติได้ง่ายด้วยการเติมสารเติมแต่ง (Additives) เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) สารปรับปรุงคุณภาพ (Modifier) สารเสริม (Filler) สารปรับสภาพ (Stabilizer) สารยับยั้งปฏิกิริยา (Inhibitor) สารหล่อลื่น (Lubricant) และผงสี (Pigment) เป็นต้น (ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม, 2546) พลาสติกมีหลายชนิดและแต่ละชนิดจะมีสมบัติบางประการแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและองค์ประกอบของมอนอเมอร์ ดังตารางที่ 2-1 แสดงตัวอย่างลักษณะการใช้งานของพลาสติกชนิดต่างๆ

ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างการใช้งานของพลาสติกชนิดต่างๆ

(ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม, 2546)

ชนิดพลาสติก	การใช้งาน
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene; HDPE)	ขวดน้ำดื่มขุ่น ขวดนม ขวดน้ำยาทำความสะอาด ขวดแชมพู ถุงหูหิ้ว ถุงช้อปปิ้ง ถุงใส่ผักผลไม้สด

ตารางที่ 2-1 (ต่อ) ตัวอย่างการใช้งานของพลาสติกชนิดต่างๆ

(ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม, 2546)

ชนิดพลาสติก	การใช้งาน
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene; LDPE)	ฟิล์มห่ออาหารและห่อของ ถุงเย็นบรรจุอาหาร ถุงนม ถุงขนมขบเคี้ยว ถุงหูหิ้ว เส้นลวดสายไฟ
พอลิโพรพิลีน (Polypropylene; PP)	ถุงใส่แกง (ถุงร้อน) กล่องอาหารที่เข้าไมโครเวฟได้ เชือกพลาสติก ภาชนะบรรจุเนยเทียม ขวดยา
พอลิสไตรีน (Polystyrene; PS)	ชิ้นส่วนรถยนต์ กล่องอาหารสะดวกซื้อ กล่องโฟม ถ้วยน้ำ จาน ภาชนะบรรจุไข่
พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride; PVC)	ท่อน้ำ กรอบหน้าต่าง สายไฟฟ้า อุปกรณ์การแพทย์ แผ่นลามิเนตชั้นในถุงพลาสติก
พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต (Polyethylene Terephthalate; PET)	ขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำมันพืช ขวดแชมพู (ชนิดใส) ขวดสบู่เหลว (ชนิดใส)
พอลิยูรีเทน (Polyurethane; PU)	โฟมที่เป็นไส้ในของเบาะ หน้าปัด ด้านในของกันชน ประตูรถ กาว น้ำมันชักเงา
พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonates PC)	ถ้วย จาน ชาม ขวดนมเด็ก เลนส์ไฟ

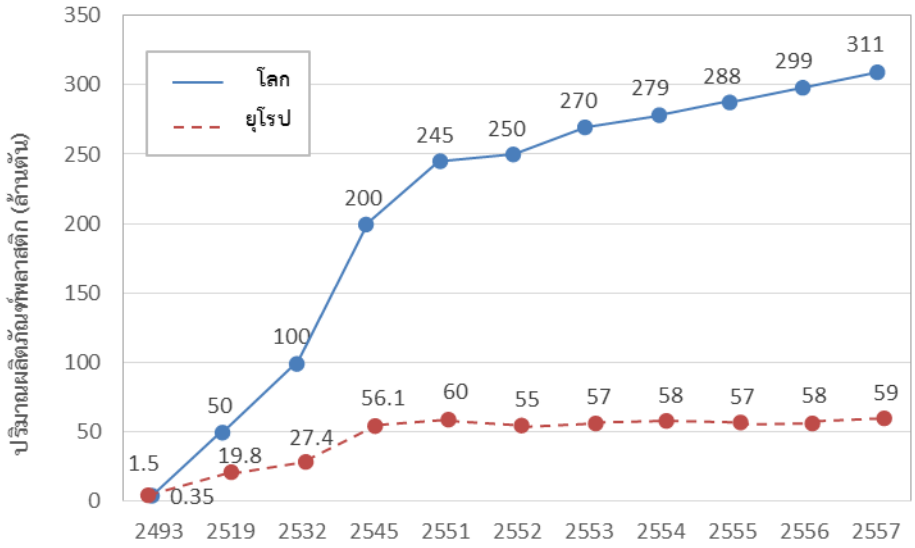
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 อุตสาหกรรมพลาสติก

2.2.1 สถานการณ์อุตสาหกรรม

จากความนิยมในการใช้ผลิตภัณฑ์พลาสติกในรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายนั้น ทำให้อุตสาหกรรรมพลาสติกเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจโลก มีอัตราการเติบโตเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2557 มีการผลิตพลาสติกทั่วโลกประมาณ 311 ล้านตัน ซึ่งเพิ่มขึ้นสูงกว่าปี 2556 ประมาณร้อยละ 4.01 (Statista, 2016) และคาดการณ์ว่าในปี 2562 จะเพิ่มขึ้นสูงกว่าปี 2557 ร้อยละ 5.08 (Prnewswire, 2015) ดังรูปที่ 2-2

โดยในปี 2557 ประเทศที่มีการผลิตพลาสติกสูงสุดคือประเทศจีน คิดเป็น 1 ใน 4 ของปริมาณการผลิตพลาสติกทั้งหมด ในขณะที่ยุโรปมีอัตราการเติบโตของอุตสาหกรรรมพลาสติกค่อนข้างคงที่ โดยในปี 2557 มีปริมาณพลาสติก 59 ล้านตัน ซึ่งคิดเป็นอันดับสามของปริมาณการผลิตพลาสติกทั้งหมดของโลก (Statista, 2016)



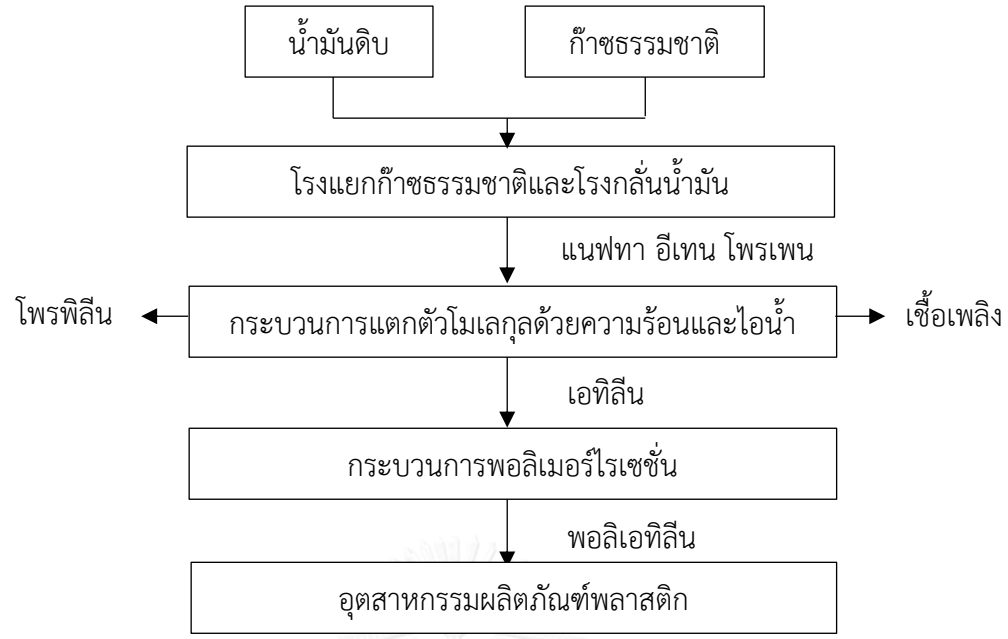
รูปที่ 2-2 แนวโน้มอุตสาหกรรมพลาสติกของโลกและยุโรป
(Statista, 2016)

และสำหรับประเทศไทย ในช่วงปี 2551 – 2558 มีปริมาณผลิตภัณฑ์พลาสติกเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย โดยในปี 2558 มีปริมาณผลิตภัณฑ์พลาสติก 4.73 ล้านตัน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 1.47 ของปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกทั้งหมดของโลก (สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, 2558)

2.2.2 โครงสร้างอุตสาหกรรมพลาสติก

อุตสาหกรรมพลาสติกแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1. อุตสาหกรรมเม็ดพลาสติกหรืออุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นปลายน้ำ เป็นอุตสาหกรรมที่จะนำผลิตภัณฑ์ซึ่งได้จากโรงกลั่นน้ำมันและโรงแยกก๊าซธรรมชาติในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมซึ่งได้แก่ แนฟทา อีเทน โพรเพน มาผลิตเป็นเม็ดพลาสติกในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ตัวอย่างเช่น การผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนจะเริ่มจากการนำอีเทนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโรงแยกก๊าซธรรมชาติในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมมาผลิตเป็นสารมอนอเมอร์ (Monomer) คือ ก๊าซเอทิลีน ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้นด้วยกระบวนการแตกตัวโมเลกุลด้วยความร้อนและไอน้ำ (Thermal steam cracking) ก่อนจะนำมาผลิตเป็นสารพอลิเมอร์ หรือเม็ดพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นปลายด้วยกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชั่น (Polymerization) ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนสารโมเลกุลเล็กหรือมอนอเมอร์ให้เป็นสารโมเลกุลใหญ่หรือพอลิเมอร์ (American chemistry council, 2015) โดยโครงสร้างอุตสาหกรรมพลาสติกพอลิเอทิลีนจะแสดงดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 โครงสร้างอุตสาหกรรมพลาสติกพอลิเอทิลีน
(Kuhlke และ Walsh, 2008)

2. อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก เป็นอุตสาหกรรมที่ทำหน้าที่ผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกหลายชนิด เช่น ถุงและกระสอบพลาสติก เครื่องใช้พลาสติกในบ้านหรือสำนักงาน แผ่นฟิล์ม กล่องหรือภาชนะพลาสติก เครื่องแต่งกาย หลอดและท่อพลาสติก พลาสติกปูพื้นและผนัง เป็นต้น ซึ่งอาจเป็นสินค้าอุปโภคบริโภคสำหรับผู้บริโภคโดยตรง หรืออาจเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปเพื่อป้อนอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ ที่ใช้พลาสติกเป็นส่วนประกอบของสินค้า

Chulalongkorn University

2.3 พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

2.3.1 ข้อมูลทั่วไป

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene; HDPE) เป็นเทอร์โมพลาสติก มีความหนาแน่นมากกว่า 0.94 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีโครงสร้างโมเลกุลที่เป็นกิ่งสาขาน้อยจึงมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลค่อนข้างสูง มีความแข็งแต่ยืดได้มาก มีความเป็นผลึกสูง ไม่มีขั้ว ในกรณีที่ผลิตเป็นฟิล์มบางจะมีความโปร่งแสงสูง ทนความร้อนได้สูงสุดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ทนสารเคมี มีความเหนียว ไม่แตกง่าย และขึ้นรูปได้ง่าย (PTT, 2011b) นิยมใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หลากหลายรูปแบบ เช่น ฟิล์ม ถุงหูหิ้ว ขวดน้ำดื่มขุ่น ขวดแชมพู ฝาขวดน้ำ ถังน้ำ ท่อน้ำเชือก และปลอกหุ้มสายไฟ เป็นต้น ดังรูปที่ 2-4

รูปที่ 2-4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
(PTTGC, 2012)

2.3.2 สถานการณ์อุตสาหกรรม

ปัจจุบันอุตสาหกรรมพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นอุตสาหกรรมที่มีอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 22 ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (Ihs, 2014) เนื่องจากผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมใช้มาก คิดเป็นอันดับสามของผลิตภัณฑ์ประเภทเทอร์โมพลาสติกทั้งหมดรองจากพลาสติกชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) และ พอลิโพรพิลีน (PP) ตามลำดับ (Icis, 2007)

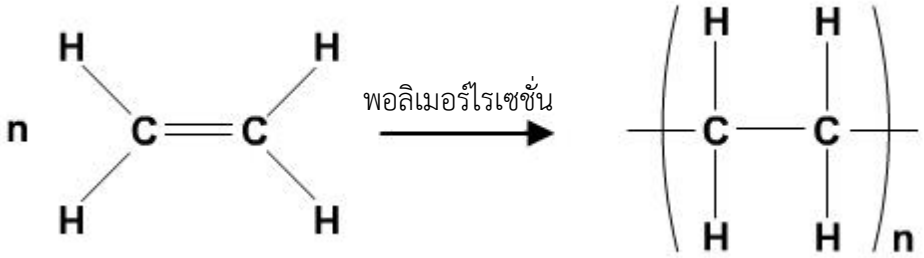
โดยในปี 2557 ภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกเป็นภูมิภาคที่มีส่วนแบ่งการตลาดของการพลาสติกชนิดนี้สูง มากกว่าร้อยละ 40 รองลงมาคือภูมิภาคยุโรปและอเมริกาเหนือตามลำดับ (Transparency market research, 2015)

สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่อยู่ในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก มีอัตราการเติบโตของอุตสาหกรรมพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในช่วงปี 2548-2557 ร้อยละ 2 ต่อปี (ธนาคารกรุงเทพ, 2558) มีปริมาณการส่งออกประมาณ 1.2 ล้านเมตริกตันต่อปีซึ่งสูงที่สุดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และมีปริมาณความต้องการใช้ในประเทศ 699,000 เมตริกตันต่อปี โดยส่วนใหญ่จะเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทถุงพลาสติก (Osterman, 2015)

2.3.3 กระบวนการผลิต

1. กระบวนการสังเคราะห์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงโดยตัวเร่งปฏิกิริยา ซีเกลอร์-นัตตา (Ziegler-Natta catalyst)

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงสังเคราะห์จากเอทิลีนมอนอเมอร์ด้วยกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชั่น ดังรูปที่ 2-5 โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้คือตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-นัตตา (Ziegler-Natta catalyst)

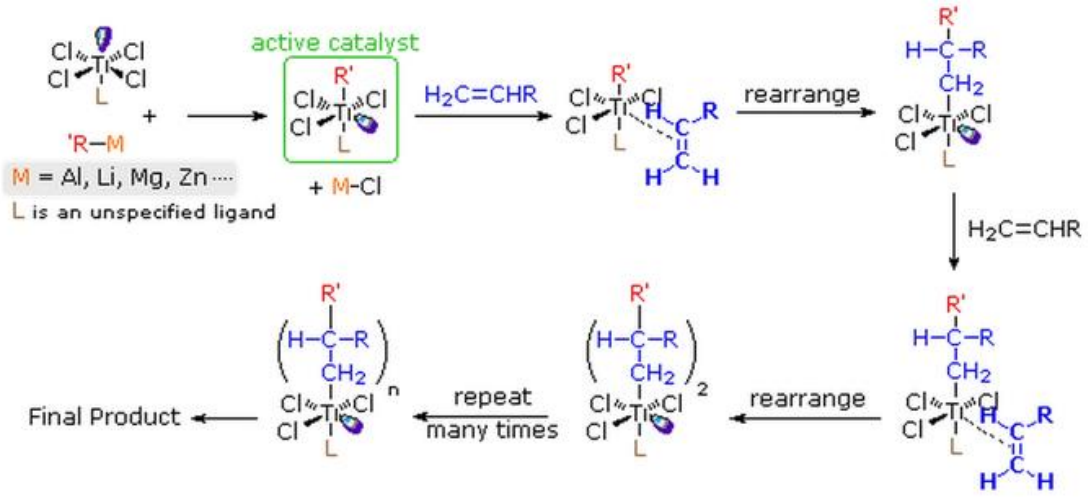


n = จำนวนมอนอเมอร์

รูปที่ 2-5 การสังเคราะห์พอลิเอทิลีน
(Washington university, 2006)

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ในกลุ่มพอลิโอเลฟินส์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-นัตตา (Ziegler-Natta catalyst) ค้นพบโดยคาร์ล ซีเกลอร์ (Karl Ziegler) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันและกุยลิโอ นัตตา (Guilio Natta) นักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาลี การค้นพบครั้งสำคัญนี้ทำให้บุคคลทั้งสองได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมีเมื่อปี 2506 (อโนดาษ รัชเวทย์, 2552)

การสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-นัตตานี้เป็นการทำหน้าที่ร่วมกันระหว่างตัวเร่งฏิกิริยา 2 ชนิด คือ สารประกอบโลหะแทรนซิชันเฮไลด์ของธาตุหมู่ 4-8 เช่น ไทเทเนียมเททระคลอไรด์ กับตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม (Co-catalyst) ซึ่งเป็นสารประกอบโลหะอินทรีย์ (Organometallic compound) ของโลหะหมู่ 1-3 เช่น ไทรเอทิลอะลูมินัม (Triethylaluminium) แล้วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างมอนอเมอร์กับตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อสร้างตำแหน่งกัมมันต์ที่สร้างโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการควบคุมการจัดเรียงตัวโครงสร้างโมเลกุลเฉพาะเจาะจง นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตพอลิเอทิลีนที่ไม่มีกิ่งหรือมีกิ่งน้อย เช่น พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และพอลิโพรพิลีนแบบไอโซแทกติก (Isotactic polypropylene; Iso-PP) หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการเกิดพอลิเมอร์แบบโคออร์ดิเนต เป็นต้น (PTT, 2011b) โดยกลไกปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-นัตตา แสดงดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 กลไกการสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-นัตตา (PTT, 2011b)

2. กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม

กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีประกอบด้วย 5 ขั้นตอน (PTT, 2011a) ดังนี้

2.1) การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

เตรียมโดยผสมตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) กับเฮกเซน (Hexane) ซึ่งเป็นตัวทำละลาย (Solvent) ได้เป็นสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst solution) สำหรับใช้ในกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชั่นต่อไป

2.2) กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชั่น

กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชั่นเกิดจากการทำปฏิกิริยาร่วมกันในถังปฏิกิริยาของสารตั้งต้นจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ ก๊าซเอทิลีน (Ethylene) ซึ่งเป็นสารมอนอเมอร์ สารละลายตัวเร่งปฏิกิริยา มอนอเมอร์ร่วม (Co-monomer) และก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen) ได้เป็นสารพอลิเมอร์พอลิเอทิลีน ซึ่งมีลักษณะเป็นสารละลายข้น (Slurry)

2.3) การคัดแยกและทำให้แห้ง

สารละลายข้นพอลิเอทิลีนจากถังปฏิกิริยาจะถูกนำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็วสูงจนกระทั่งพอลิเอทิลีนและเฮกเซนแยกออกจากกัน หลังจากนั้นพอลิเอทิลีนจะถูกนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบหมุน (Rotary dryer) ได้เป็นผงพอลิเอทิลีน ในขณะที่เฮกเซนจะถูกแยกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งจะถูกนำไปทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชั่นอีกครั้ง อีกส่วนหนึ่งซึ่งเป็นส่วนที่มีสารพอลิเมอร์ผสมอยู่เล็กน้อยจะถูกนำไปแยกสารพอลิเมอร์ออกจากเฮกเซนเพื่อนำเฮกเซนกลับมาใช้ใหม่

2.4) การทำเป็นเม็ดพลาสติก

- ฮอปเปอร์ (Hopper)

ผงพอลิเอทิลีนจะถูกนำเข้าไปในถังกรวยหรือฮอปเปอร์ (Hopper) ด้วยการเป่าลมโดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซพาหะ (Carrier gas) หลังจากนั้นผงพอลิเอทิลีนและก๊าซไนโตรเจนจะถูกแยกออกจากกันด้วยถุงกรอง (Bag filter)

- เอ็กซ์ทรูเดอร์ (Extruder)

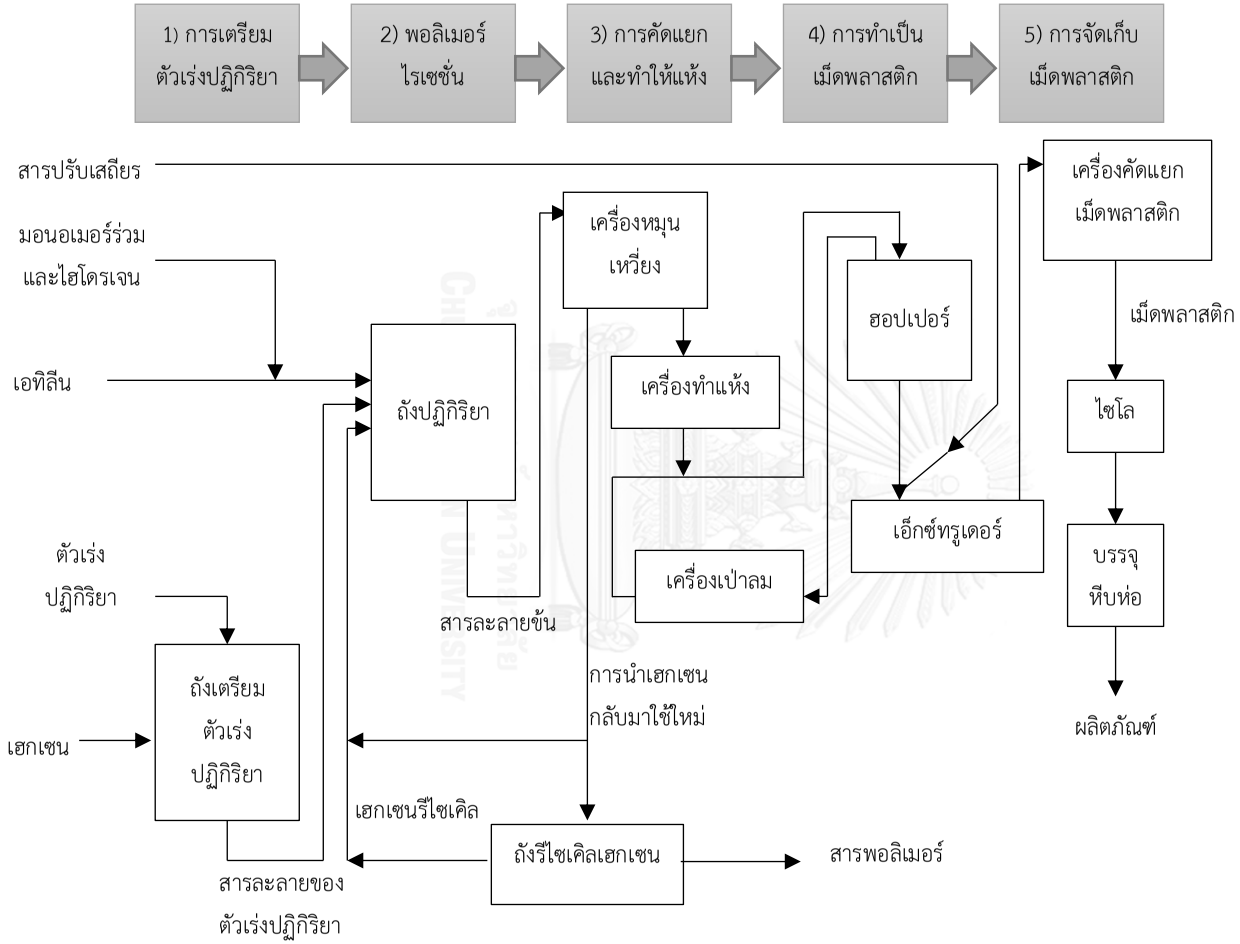
ผงพอลิเอทิลีนจะถูกผสมกับสารปรับเสถียร (Stabilizer) ในเครื่องฮอโมจิไนเซอร์ (Homogenizer) เพื่อทำให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นสารผสมจะถูกป้อนเข้าเอ็กซ์ทรูเดอร์เพื่อหลอมให้เป็นของเหลว แล้วส่งต่อไปยังแม่แบบได (Die) เพื่อทำให้เกิดเป็นเส้นพลาสติกบางสำหรับนำไปตัดให้เป็นแท่งพลาสติกเล็กๆ หรือที่เรียกว่าเม็ดพลาสติก (Pellets) ภายใต้การหล่อเย็น

2.5) การจัดเก็บเม็ดพลาสติก

เม็ดพลาสติกจะถูกนำเข้าเครื่องคัดแยกเพื่อแยกเม็ดพลาสติกที่ไม่ได้รูปร่างและขนาดออก โดยเม็ดพลาสติกที่มีขนาดปกติจะถูกส่งไปจัดเก็บไว้ในไซโล (Silo) เพื่อนำไปบรรจุหีบห่อในขั้นตอนสุดท้าย ส่วนเม็ดพลาสติกที่ถูกคัดแยกออกสามารถนำไปใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตโดยการนำไปผสมกับสารผสมในเครื่องฮอโมจิไนเซอร์

โดยรายละเอียดกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจะแสดงดังรูปที่ 2-7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2-7 แผนภาพกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

(PTT, 2011a)

2.4 กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

2.4.1 แกลลอนพลาสติก

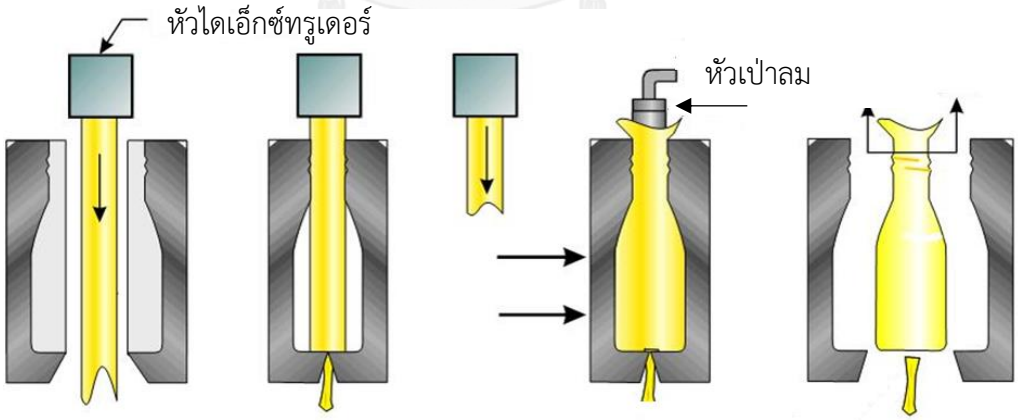
แกลลอนพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกที่นำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เช่น แกลลอนน้ำมันหล่อลื่น แกลลอนนม เป็นต้น โดยกระบวนการผลิตขวดพลาสติก ซึ่งเรียกว่า กระบวนการเป่าขึ้นรูป (Extrusion blow molding) ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. กระบวนการผสมเม็ดพลาสติก

เป็นการเตรียมวัตถุดิบให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการผลิตขวดพลาสติก โดยจะมีการผสมเม็ดพลาสติกและเม็ดสีเข้มข้น (Masterbatches) ในสัดส่วนตามที่กำหนด

2. กระบวนการเป่าขึ้นรูปแกลลอน

เป็นกระบวนการผลิตแกลลอนพลาสติก โดยเริ่มจากนำเม็ดพลาสติกมาหลอมในเอ็กซ์ทรูเดอร์ (Extruder) ซึ่งใช้ความร้อนจากฮีตเตอร์ (Heater) ในการหลอมละลายเม็ดพลาสติก สกรูจะอัดพลาสติกเหลวส่งผ่านหัวได (Die) ออกมาเป็นท่อทรงกระบอก (Parison) จากนั้นแม่พิมพ์ (Mold) จะเคลื่อนตัวมาประกบแล้วเป่าลมโดยใช้อากาศอัด เพื่อให้เนื้อพลาสติกขยายเต็มตามแม่พิมพ์ ก่อนที่น้ำเย็นจากเครื่องชิลเลอร์ (Chiller) จะไหลมาหล่อเย็น เพื่อให้ชิ้นงานแข็งตัวคงรูปตามแม่พิมพ์ ส่วนประกอบของเครื่องเป่าขึ้นรูปแกลลอนพลาสติกจะแสดงดังรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-8 เครื่องเป่าขึ้นรูปแกลลอนพลาสติก
(Design-tek tool and plastics Inc., 2015)

3. กระบวนการตัดแต่งผลิตภัณฑ์

เป็นกระบวนการตัดแต่งชิ้นงานให้สมบูรณ์ หลังขึ้นรูปเป็นแกลลอนพลาสติกเรียบร้อยแล้ว เช่น การตัดแต่ง การพ่นสี การขัดเงาหรือเคลือบ เป็นต้น

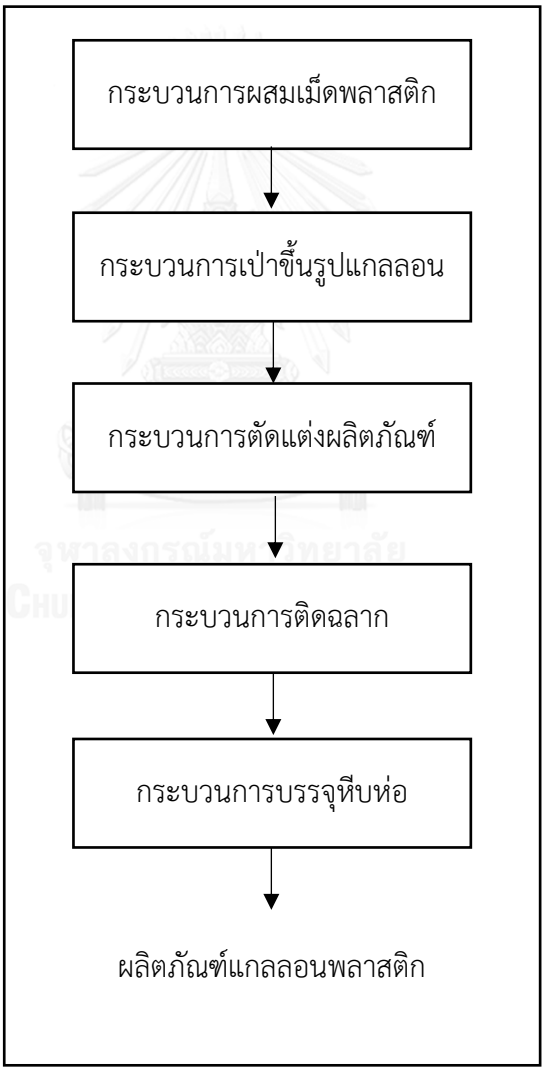
4. กระบวนการติดฉลาก

เป็นขั้นตอนติดฉลากให้กับแกลลอนพลาสติก เพื่อแสดงรายละเอียดของผลิตภัณฑ์

5. กระบวนการบรรจุหีบห่อ

เป็นการนำผลิตภัณฑ์ที่เสร็จสมบูรณ์แล้วมาบรรจุหีบห่อ เพื่อจัดจำหน่ายให้แก่ลูกค้าต่อไป

โดยกระบวนการผลิตแกลลอนพลาสติกจะสรุปได้ดังรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-9 กระบวนการผลิตแกลลอนพลาสติก

2.4.2 ถุงพลาสติก

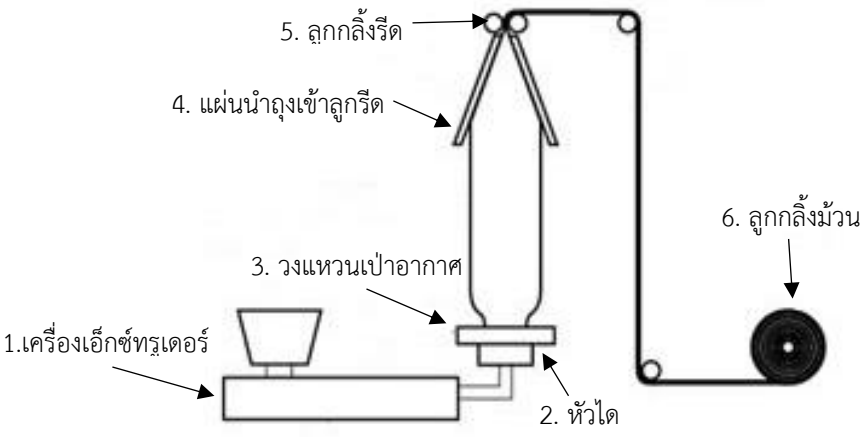
ถุงพลาสติกเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้รับความนิยมใช้มากและสามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวันในหลากหลายรูปแบบ เช่น ถุงหูหิ้ว ถุงร้อน ถุงเย็น ถุงซิปล็อค เป็นต้น โดยกระบวนการผลิตถุงพลาสติก ซึ่งเรียกว่า กระบวนการเป่าฟิล์ม (Blown film extrusion) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. กระบวนการเตรียมเม็ดพลาสติก

เป็นการเตรียมวัตถุดิบไว้ใช้ในกระบวนการผลิต โดยวัตถุดิบหลักที่ใช้คือ เม็ดพลาสติก (Plastic pellets) ซึ่งจะต้องเลือกใช้ชนิดของเม็ดพลาสติกที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานและอาจมีการผสมเม็ดพลาสติกแต่ละชนิดในสัดส่วนต่างๆ รวมถึงอาจมีการใส่สารเติมแต่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติที่ต้องการบางประการให้กับถุงพลาสติก เช่น สารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (Anti static) สีต่างๆ เป็นต้น

2. กระบวนการเป่าฟิล์ม

เป็นกระบวนการผลิตถุงพลาสติก โดยการนำวัตถุดิบที่ผ่านการเตรียมแล้ว ป้อนเข้าสู่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (Extruder) ซึ่งจะใช้ความร้อนและแรงเฉือน ทำให้เม็ดพลาสติกหลอมละลาย จากนั้นส่งต่อไปหัวได (Die) รูปวงแหวน เพื่อทำให้เกิดรูปร่างเป็นท่อพลาสติกบาง ทำการเป่าลมให้ท่อพลาสติกบางพองตัวในอากาศ แล้วส่งผ่านไปวงแหวนหล่อเย็นเพื่อทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วและคงรูปได้ จากนั้นบีบให้ลู่เข้าหากันด้วยแผ่นนำถุงเข้าลูกรีดเพื่อรีดให้เป็นแผ่นถุงพลาสติก ก่อนจะถูกส่งต่อเข้าลูกกลิ้งม้วนเพื่อจัดเตรียมนำไปใช้งานต่อไป ส่วนประกอบของเครื่องเป่าฟิล์มจะแสดงดังรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-10 เครื่องเป่าฟิล์ม

(Eastman, 2016)

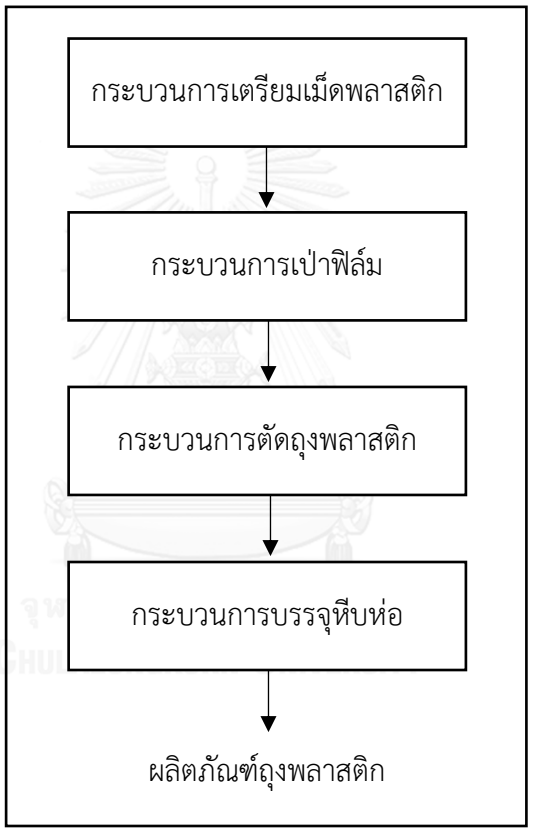
3. กระบวนการตัดถุงพลาสติก

ถุงพลาสติกที่ได้จากกระบวนการเป่า จะถูกนำมาซีลด้วยความร้อนและตัดให้ได้ความยาวตามข้อกำหนด

4. กระบวนการบรรจุหีบห่อ

หลังจากได้ถุงพลาสติกที่มีขนาดตามข้อกำหนดแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายคือการนำถุงพลาสติกไปบรรจุหีบห่อให้เรียบร้อย เพื่อเตรียมนำส่งให้ลูกค้าต่อไป

โดยกระบวนการผลิตถุงพลาสติกจะสรุปได้ดังรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-11 กระบวนการผลิตถุงพลาสติก

2.5 การจัดการขยะพลาสติก

ปัจจุบันปัญหาการจัดการขยะพลาสติกเป็นอีกหนึ่งปัญหาที่ทุกประเทศทั่วโลกให้ความสนใจ เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีน้ำหนักเบา ราคาถูก จึงทำให้มนุษย์นำมาใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่ด้วยสมบัติที่มีความคงทนสูงและต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนานจึงทำให้ขยะพลาสติกคงอยู่ในสภาพแวดล้อมได้เป็นเวลานานและก่อให้เกิดเป็นปัญหาต่อการจัดการและกำจัด

โดยทั่วไปแนวทางการจัดการขยะพลาสติกมี 3 แนวทาง ได้แก่ การฝังกลบ (Landfill) การเผาด้วยเตาเผาขยะ (Incineration) และการรีไซเคิล (Recycle) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การฝังกลบ (Landfill)

การฝังกลบเป็นการนำขยะมูลฝอยมาเทกองในพื้นที่ที่จัดเตรียมไว้สำหรับการฝังกลบโดยเฉพาะ ซึ่งจะมีการวางระบบต่างๆ เพื่อป้องกันไม่ให้มีการปล่อยมลสารออกสู่พื้นที่ภายนอก แล้วใช้เครื่องจักรกลเกลี่ยและบดอัดให้ยุบตัวลง หลังจากนั้นใช้ดินกลบทับและบดอัดให้แน่นอีกครั้งจนเต็มพื้นที่ อย่างไรก็ตามหากการฝังกลบนี้ไม่ได้ออกแบบให้ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill) รวมถึงไม่มีการดูแลควบคุมระบบให้เป็นอย่างดีก็จะทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากมาย เช่น ปัญหาจากการรั่วซึมของน้ำชะขยะซึ่งจะทำให้เกิดการปนเปื้อนต่อแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดิน เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

2. การเผาด้วยเตาเผาขยะ (Incineration)

การเผาด้วยเตาเผาขยะเป็นการเผาขยะในเตาที่ได้มีการออกแบบมาเป็นพิเศษสำหรับการเผาขยะ การเผาไหม้จะต้องมีการควบคุมที่ดีเพื่อจะป้องกันไม่ให้เกิดมลพิษและการรบกวนต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ก๊าซพิษ เขม่า กลิ่น เป็นต้น ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้จะได้รับการกำจัดเขม่าและอนุภาคตามที่กฎหมายควบคุมก่อนจะระบายทิ้งออกสู่บรรยากาศ ส่วนขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ซึ่งมีปริมาตรประมาณร้อยละ 10 และน้ำหนักประมาณร้อยละ 25 ถึง 30 ของขยะที่ส่งเข้าเตาเผา จะถูกนำไปฝังกลบหรือใช้เป็นวัสดุปูพื้นสำหรับการสร้างถนน นอกจากนั้นในบางพื้นที่ที่มีปริมาณขยะอยู่มากสามารถที่จะนำพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาขยะมาใช้ในการผลิตไอน้ำ ทำน้ำร้อน หรือผลิตกระแสไฟฟ้าได้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

3. การรีไซเคิล (Recycle)

การรีไซเคิลเป็นการนำผลิตภัณฑ์พลาสติกหลังการใช้งานกลับมาผลิตเป็นเม็ดพลาสติกที่มีเกรดต่ำลงสำหรับนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์รีไซเคิล แนวทางนี้เป็นแนวทางการจัดการขยะพลาสติกที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกและช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติในกระบวนการผลิต เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดิบ เป็นต้น

อย่างไรก็ตามประเด็นสำคัญของการรีไซเคิลขยะพลาสติกคือการแยกประเภทของพลาสติกก่อนนำไปทำการรีไซเคิลและการกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออกไป โดยปกติแล้วพลาสติกผสมเกือบทุกประเภทจะมีหลายเฟส ทั้งนี้เนื่องจากพอลิเมอร์ซึ่งแม้จะมีโครงสร้างทางเคมีเหมือนกันแต่ไม่สามารถเข้ากันได้เสมอไป (Incompatible) ตัวอย่างเช่น พอลิเอสเตอร์ ที่ใช้ทำขวดพลาสติกจะเป็นพอลิเอสเตอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงกว่า เมื่อเทียบกับพอลิเอสเตอร์ที่ใช้ในการผลิตเส้นใย (ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม, 2546)

นอกจากการใช้หลุมฝังกลบ การเผาด้วยเตาเผาขยะ และการรีไซเคิลแล้ว ยังมีการผลิตพลาสติกที่ย่อยสลายได้ด้วยแสง (Photodegradation) และพลาสติกที่ย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ (Biodgradation) เพื่อใช้เป็นทางเลือกเพิ่มเติมในการจัดการขยะพลาสติก

2.6 ผลกระทบของพลาสติก

แม้ว่าพลาสติกจะได้รับความนิยมใช้มากในปัจจุบัน แต่สารประกอบในพลาสติกบางชนิดมีความเป็นพิษอีกทั้งยังสลายตัวและเสื่อมสภาพได้ยาก จึงทำให้พลาสติกกลายเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบทั้งต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

1. การเผาไหม้ในกระบวนการผลิตพลาสติกเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเกิดภาวะโลกร้อน (จิโรจ มีเดช, 2549)

2. พลาสติกทำให้ปริมาณทรัพยากรธรรมชาติลดลง เนื่องจากต้องใช้พลังงานในกระบวนการผลิตสูงอีกทั้งวัตถุดิบหลักที่นำมาใช้ในการผลิตพลาสติกก็คือ น้ำมันปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ แนฟทา และถ่านหิน ซึ่งเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable resource)

3. ในกระบวนการผลิตพลาสติกจะมีการเพิ่มสารเติมแต่งบางชนิดลงไป เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก สารคงสภาพพลาสติก สารยับยั้งปฏิกิริยาและสารสีต่างๆ (Meeker และคณะ, 2009) ดังนั้นการขาดความรู้และมีความเข้าใจผิดเกี่ยวกับการใช้งานพลาสติกอาจทำให้สารเคมีจากผลิตภัณฑ์พลาสติกถูกชะและปนเปื้อนสู่อาหารและเครื่องดื่มได้ซึ่งอาจส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของผู้บริโภค (ศุลีพร แสงกระจ่าง และคณะ, 2556)

4. จากงานวิจัยของ จิโรจ มีเดช (2549) พบว่ากระบวนการผลิตถุงพลาสติกจะมีการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) จากขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบ ซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบด้านการเกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ (Acidification)

5. จากคุณสมบัติของพลาสติกที่มีความคงทนสูงและใช้เวลาในการย่อยสลายนานจึงทำให้เกิดปัญหาต่อการจัดการและกำจัดขยะพลาสติก โดยการเผาด้วยเตาเผาขยะที่ไม่มีประสิทธิภาพจะทำให้

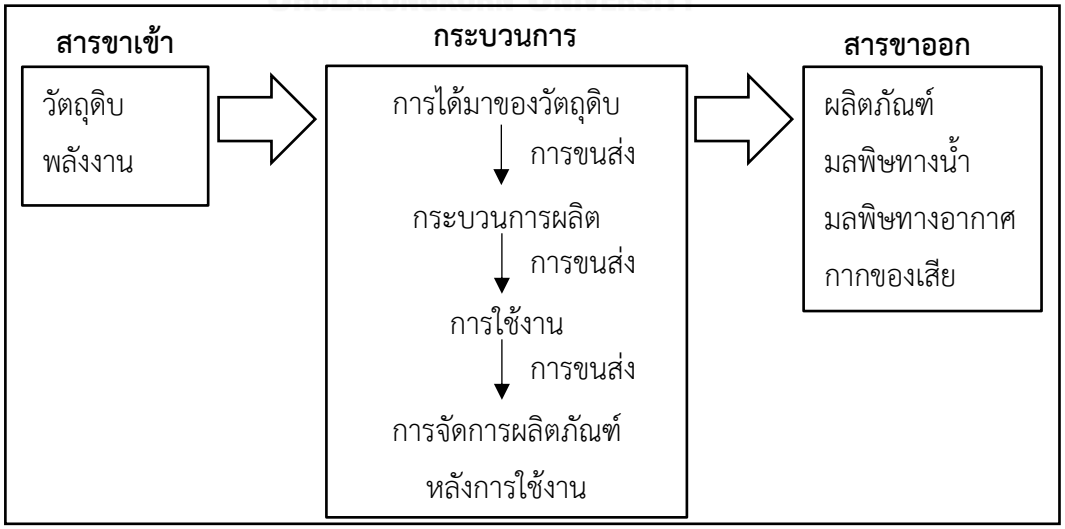
เกิดฝุ่นผง ขี้เถ้า และก๊าซพิษ โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อน (ศุลีพร แสงกระจ่าง และคณะ, 2556) นอกจากนี้จากงานวิจัยของ จิโรจ มีเดช (2549) พบว่าการฝังกลบขยะพลาสติกต้องใช้พื้นที่มากกว่าขยะประเภทอื่น อีกทั้งการใช้หลุมฝังกลบที่ไม่ถูกหลักสุขาภิบาลและไม่มีการควบคุมดูแลก็จะทำให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เช่น การรั่วซึมของน้ำชะขยะซึ่งจะทำให้เกิดสารตกค้างและการเสื่อมโทรมของคุณภาพดินและแหล่งน้ำ การเกิดฝุ่นละอองซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ เป็นต้น

2.7 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

2.7.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

องค์กรมาตรฐานระหว่างประเทศ (International Organization for Standardization; ISO) ได้ให้คำจำกัดความของการประเมินวัฏจักรชีวิต ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ว่า “เป็นการเก็บรวบรวมและประเมินค่าขององค์ประกอบที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการ (Input) และสิ่งที่ได้ออกมา (Output) รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต”

การประเมินวัฏจักรชีวิต คือ กระบวนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์และบริการที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งาน และการจัดการของเสียหลังการใช้งาน กล่าวได้ว่าเป็นการพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to grave) โดยมีการระบุปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ พลังงานที่ใช้ และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2-12 รวมถึงการประเมินโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ เพื่อที่จะหาแนวทางการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ให้น้อยที่สุด



รูปที่ 2-8 การประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีความแตกต่างจากเครื่องมืออื่นในหลายประเด็น โดยเครื่องมือนี้เป็นการประเมินค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของสินค้าหรือบริการในเชิงปริมาณ จึงค่อนข้างมีความละเอียดและซับซ้อนมากกว่าเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่น อีกทั้งสามารถใช้วิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ตลอดวัฏจักรชีวิตตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบจนถึงการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน และสามารถพิจารณาถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในทุกประเด็น นอกจากการประเมินวัฏจักรชีวิตจะเป็นกระบวนการศึกษาที่ละเอียดและเป็นระบบแล้ว ผลลัพธ์การประเมินที่ได้ยังสามารถเข้าใจได้ง่าย พิสูจน์ได้ และเป็นรูปธรรม จึงเป็นเครื่องมือในการตัดสินใจที่ดี โดยข้อดีและข้อจำกัดของการประเมินวัฏจักรชีวิตสรุปได้ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ข้อดีและข้อจำกัดของการประเมินวัฏจักรชีวิต
(ศุภณี เรียบเลิศหิรัญ, 2555)

ข้อดี	ข้อจำกัด
- เป็นการวิเคราะห์ที่มองภาพรวมของผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง - บ่งชี้ขั้นตอนหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบ - บ่งชี้ประเด็นที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุดและทำให้ทราบแหล่งที่มาของผลกระทบ - สามารถคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณต่อหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถเปรียบเทียบผลกระทบของผลิตภัณฑ์ และวิธีการจัดการสิ่งแวดล้อมได้ - สามารถแก้ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างไม่มีประสิทธิภาพ - เป็นฐานข้อมูลที่นำไปใช้ออกแบบเชิงนิเวศได้	- ค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลานาน - ขาดแคลนข้อมูลบัญชีรายการทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ เพราะต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก - ความไม่แน่นอนของวิธีการวิเคราะห์บัญชีรายการและการประเมินผลกระทบ - ผลการประเมินอาจมีความแตกต่างกัน เกิดเนื่องจากวิธีการประเมินแตกต่างกัน - การประเมินวัฏจักรชีวิตเรื่องเดียวกัน แต่มีช่วงระยะเวลาต่างกัน อาจให้ผลการประเมินไม่เหมือนกัน หรือขัดแย้งกัน

2.7.2 การประยุกต์ใช้งานของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิต ทำให้ทราบค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือบริการตลอดวัฏจักรชีวิต รวมถึงสามารถวิเคราะห์ที่มาหรือสาเหตุของปัญหา และสามารถนำค่าผลกระทบทั้งในเฉพาะประเด็นและในภาพรวมไปเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นได้ นอกจากนี้ผลการประเมินวัฏ

จักรชีวิตยังสามารถนำไปพิจารณาประกอบกับข้อมูลในประเด็นอื่นๆ เช่น การประเมินต้นทุน ความสะดวกสบาย และความปลอดภัยของผู้บริโภค เพื่อใช้กำหนดนโยบายในการพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือบริการให้เกิดความยั่งยืน และเพื่อกระตุ้นจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อมให้กับทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค

การประเมินวัฏจักรชีวิตสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ในหลายภาคส่วน ซึ่งกลุ่มของผู้นำไปใช้งานสามารถจำแนกได้ 4 กลุ่ม ได้แก่ ภาคอุตสาหกรรม ภาครัฐ องค์กรเอกชน และผู้บริโภค โดยรายละเอียดการนำไปใช้งานสรุปได้ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 การประยุกต์ใช้งานของการประเมินวัฏจักรชีวิต
(สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

ภาคอุตสาหกรรม	- ใช้แสดงข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ - ใช้เป็นข้อมูลเพื่อจัดหาวัตถุดิบที่เหมาะสมและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม - พัฒนากลยุทธ์ด้านนโยบาย การตลาด ธุรกิจ และแผนการลงทุน - การจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อม (ฉลากเขียว) ของผลิตภัณฑ์ - ปรับปรุงและออกแบบกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น ลดการใช้วัตถุดิบ พลังงาน ของเสีย - พัฒนานโยบายและกำหนดทิศทางของผลิตภัณฑ์ โดยการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ
ภาครัฐ	- เป็นเกณฑ์ในการจัดทำข้อกำหนดของฉลากสิ่งแวดล้อม - การพัฒนาและจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อม - ใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อสนับสนุนเงินทุนหรือการจัดทำโครงสร้างภาษีอากร - พัฒนานโยบายทั่วไปของภาครัฐ
องค์การนอกภาครัฐ (Non-Govermental Organization; NGO)	- เป็นข้อมูลให้กับผู้บริโภค - เป็นข้อมูลสนับสนุนสำหรับการประชุมหรือสัมมนาในเวทีสาธารณะ - ใช้ข้อมูลเพื่อกดดันภาคเอกชนและรัฐบาลในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม
ผู้บริโภค	- ได้รับข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกผลิตภัณฑ์ - สร้างจิตสำนึกต่อสิ่งแวดล้อม

2.7.3 อนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ถูกระบุไว้ในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000 โดยในปี 2549 องค์กรมาตรฐานระหว่างประเทศ (International Organization for Standardization; ISO) ได้ปรับปรุงมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์และบริการ มาตรฐานที่ปรับปรุงใหม่นี้สามารถนำไปใช้ในการดำเนินงานประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของสินค้าและการบริการ ซึ่งจะช่วยให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และช่วยลดค่าใช้จ่ายที่องค์กรต้องรับผิดชอบจากค่าความเสียหายต่อ1404สิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยมาตรฐานที่ปรับปรุงใหม่มีทั้งหมด 2 ฉบับ ดังนี้

- ISO 14040:2006 – Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework : กล่าวถึงรายละเอียดที่ชัดเจนเกี่ยวกับแนวทางปฏิบัติ การนำไปใช้และข้อจำกัดของการประเมินวัฏจักรชีวิตแก่ผู้ใช้และผู้ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งผู้ที่ไม่ค่อยมีความรู้เกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิต
- ISO 14044:2006 - Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines : กล่าวถึงการเตรียมการ การดำเนินการ และการทบทวนข้อผิดพลาดในการวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวกับวัฏจักรชีวิต นอกจากนั้นมาตรฐานนี้ยังให้แนวทางการประเมินผลกระทบตลอดช่วงวัฏจักรชีวิต และการตีความผลการประเมิน รวมทั้งคุณภาพและลักษณะของข้อมูลต่างๆ ที่ได้มีการจัดเก็บรวบรวม

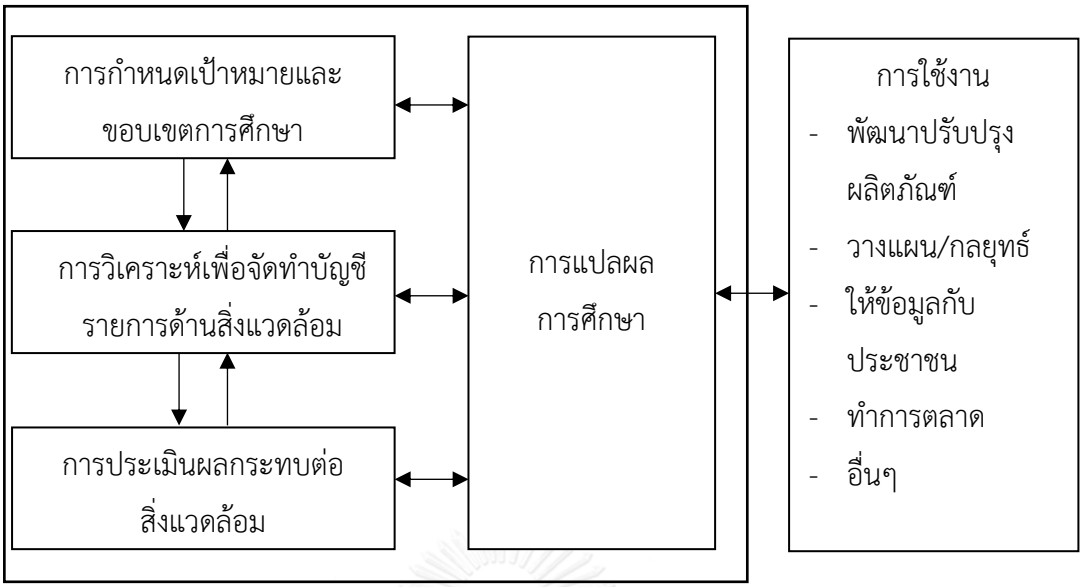
ทั้งนี้มาตรฐาน ISO 14040:2006 และ ISO 14044:2006 ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อแทนที่มาตรฐานที่มีการประกาศใช้ก่อนหน้านี้ คือ ISO 14040:1997 ISO 14041:1999 ISO 14042:2000 และ ISO 14043:2000

2.7.4 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตจะประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยมีกรอบการดำเนินงาน 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and scope definition)
2. การวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก (Inventory analysis)
3. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Life cycle impact assessment)
4. การแปลผลการศึกษา (Life cycle interpretation)

โดยขั้นตอนการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิต สรุปไว้ดังรูปที่ 2-13



รูปที่ 2-9 กรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิต
(International organization for standardization, 2006)

ในการศึกษาผลกระทบโดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตจะต้องใช้ข้อมูลและตัวเลขอ้างอิงจำนวนมาก จึงมีการพัฒนาโปรแกรมฐานข้อมูลสำเร็จรูปในหลากหลายโปรแกรม เช่น SimaPro™ Gabi™ เป็นต้น โปรแกรมเหล่านี้จะช่วยจัดการข้อมูลต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยฐานข้อมูลส่วนใหญ่อ้างอิงจากประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เป็นต้น ในส่วนของประเทศไทยยังไม่มีฐานข้อมูลเฉพาะที่ใช้งานได้จริง ดังนั้นจึงต้องอ้างอิงข้อมูลจากต่างประเทศและเทียบเคียงข้อมูลกับกระบวนการที่มีลักษณะคล้ายกัน

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากเพื่อทำให้วัตถุประสงค์การศึกษามีความชัดเจนและมีขอบเขตของระบบตรงตามต้องการ ซึ่งจะอิทธิพลโดยตรงต่อทิศทางและความละเอียดในการศึกษา หากกำหนดเป้าหมายและขอบเขตไม่ดีพอก็จะส่งผลต่อความถูกต้องและความแม่นยำของผลการประเมิน ขั้นตอนนี้จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญและส่งผลโดยตรงต่อความถูกต้องแม่นยำของผลการวิเคราะห์

ขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ประกอบด้วย การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Product function) หน่วยการทำงาน (Functional unit) ขอบบเขตของระบบ (System boundary) และระบบผลิตภัณฑ์ (Product system)

1.1) การกำหนดเป้าหมาย

ขั้นตอนแรกของการประเมินวัฏจักรชีวิต คือ การกำหนดเป้าหมาย ซึ่งจะต้องมีความชัดเจน ไม่คลุมเครือ โดยควรกำหนดเหตุผลในการศึกษาและจุดมุ่งหมายในการนำผลการศึกษาไปใช้งานต่อ เพื่อให้ข้อมูลและการสรุปผลมีความน่าเชื่อถือ อีกทั้งการกำหนดเป้าหมายการศึกษาจะต้องสัมพันธ์กับขอบเขตการศึกษา ซึ่งถ้าการศึกษานั้นมีเป้าหมายที่ต้องการความน่าเชื่อถือสูง หรือต้องการเผยแพร่ออกสู่สาธารณะ ก็จะส่งผลกระทบทำให้ระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการศึกษาสูงไปด้วย

1.2) การกำหนดขอบเขตการศึกษา

การกำหนดขอบเขตของการศึกษาเป็นการกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลให้ถูกต้องตามต้องการและตรงกับเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยการกำหนดขอบเขตการศึกษาควรประกอบไปด้วย การกำหนดหน่วยการทำงาน หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ ขอบเขตของระบบที่พิจารณาระบบผลิตภัณฑ์ เกณฑ์การตัดออก ข้อกำหนดคุณภาพของข้อมูล

หน่วยการทำงาน (Functional unit)

หน่วยการทำงานถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการเก็บข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและขาออกจากระบบที่ต้องพิจารณาให้อยู่ภายใต้หน่วยพื้นฐานเดียวกัน เช่น 1 กิโลกรัมของวัตถุดิบ หรือ 1 เมกะจูลของพลังงาน เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับเปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบระหว่างกระบวนการต่างๆ หรือระหว่างผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นซึ่งมีหน้าที่อย่างเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา โดยหน่วยการทำงานจะต้องให้รายละเอียดผลิตภัณฑ์ทั้ง หน้าที่ ปริมาณ คุณสมบัติ และความคงทนในการใช้งานตามหน้าที่ที่พิจารณา

หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Product function)

หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาอาจจะมีหน้าที่เดียวหรือหลายหน้าที่ก็ได้ ในกรณีที่มีหลายหน้าที่ควรจะเลือกเพียงหน้าที่เดียวเท่านั้นที่จะนำมาใช้ประเมินวัฏจักรชีวิต และต้องสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา แต่หากต้องการศึกษาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ทั้งหน้าที่หลักและหน้าที่รองจะทำให้การประเมินฟุตปริ้นท์สิ่งแวดล้อมมีความซับซ้อนมากขึ้น

ขอบเขตของระบบ (System boundary)

ขอบเขตของระบบคือขอบเขตการศึกษาระบบผลิตภัณฑ์ และกระบวนการย่อยต่างๆ (Unit process) โดยต้องกำหนดว่ากระบวนการย่อยใดบ้างที่ต้องทำการประเมินอย่างละเอียด เนื่องจากมีผลต่อการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ และกระบวนการย่อยใดที่ไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาเนื่องจากไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ขอบเขตของระบบจะมีรูปแบบดังนี้

Gate to gate คือ การพิจารณาเฉพาะกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งจากทั้งวัฏจักรจึงเป็นเพียงบางส่วนของการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

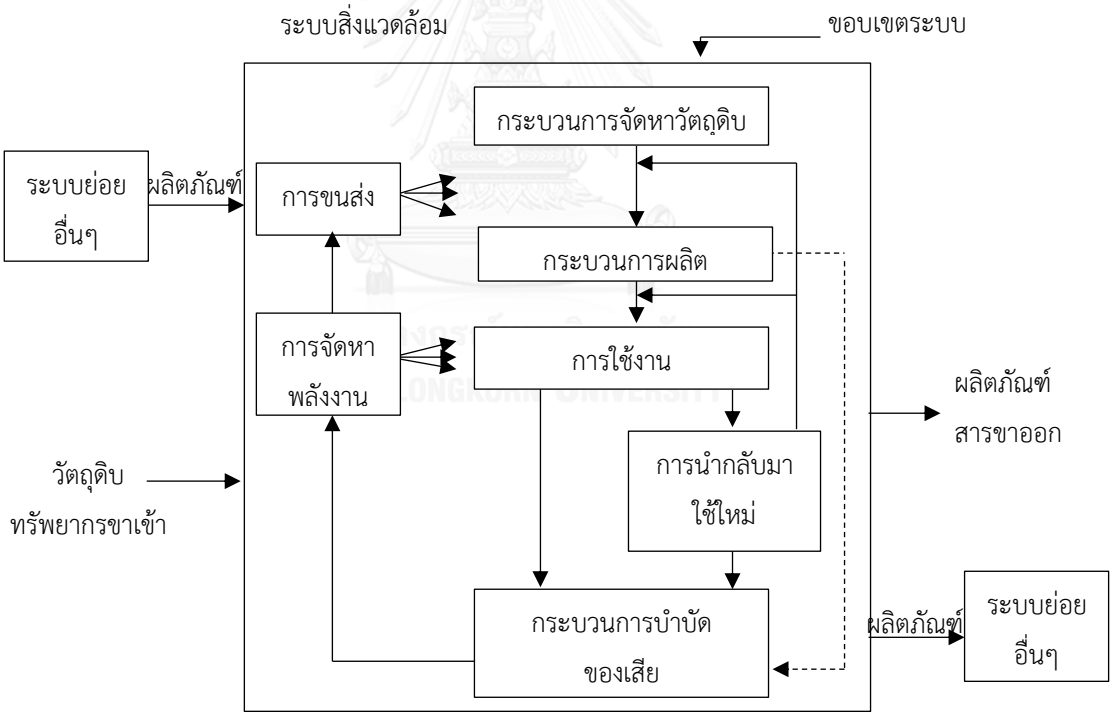
Cradle to gate คือ การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์มาแต่ไม่รวมขั้นตอนการใช้งานและการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้

Cradle to grave คือ การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การนำไปใช้งาน ตลอดจนการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ดังนั้นรูปแบบนี้จึงเป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตเต็มรูปแบบ

Cradle to cradle คือ รูปแบบพิเศษของ Cradle to grave ในกรณีที่ขั้นตอนการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานเป็นกระบวนการรีไซเคิล ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เดิมออกมา

ระบบผลิตภัณฑ์ (Product system)

ระบบผลิตภัณฑ์ หมายถึง ระบบที่จำลองกระบวนการย่อยหลายกระบวนการมาเชื่อมโยงกันตามการไหลของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย กระบวนการย่อย การไหลของวัตถุดิบหรือพลังงานที่เข้าสู่ระบบ และการไหลของผลิตภัณฑ์หรือของเสียหรือมลพิษที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการออกจากระบบ ดังรูปที่ 2-14



รูปที่ 2-10 ตัวอย่างขอบเขตระบบและระบบผลิตภัณฑ์ในการวิเคราะห์การประเมินวัฏจักรชีวิต (International organization for standardization, 2006)

นอกจากการจำลองระบบผลิตภัณฑ์แล้ว การจัดทำผังการไหลของกระบวนการก็เป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากทำให้สามารถระบุสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ได้ครบถ้วนและทำให้การวิเคราะห์สมดุลมวลสารถูกต้อง

เกณฑ์การตัดออก (Cut-off criteria)

ตามหลักการการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะต้องพิจารณาทุกกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตที่ได้กำหนดไว้ในขอบเขตการศึกษา อย่างไรก็ตามอาจมีบางกระบวนการที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยจึงทำให้ต้องกำหนดเกณฑ์การตัดออกเพื่อทำให้การแปลผลมีความชัดเจนมากขึ้น

ข้อกำหนดคุณภาพของข้อมูล

การกำหนดคุณภาพของข้อมูลเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือของข้อมูลและความถูกต้องของผลการศึกษา โดยคุณภาพของข้อมูลที่ควรระบุในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา เช่น ช่วงเวลาในการศึกษาและระยะเวลาการเก็บข้อมูล พื้นที่ของการศึกษา เทคโนโลยีของการศึกษา แหล่งที่มาของข้อมูล ความถูกต้องและความสมบูรณ์ของข้อมูล

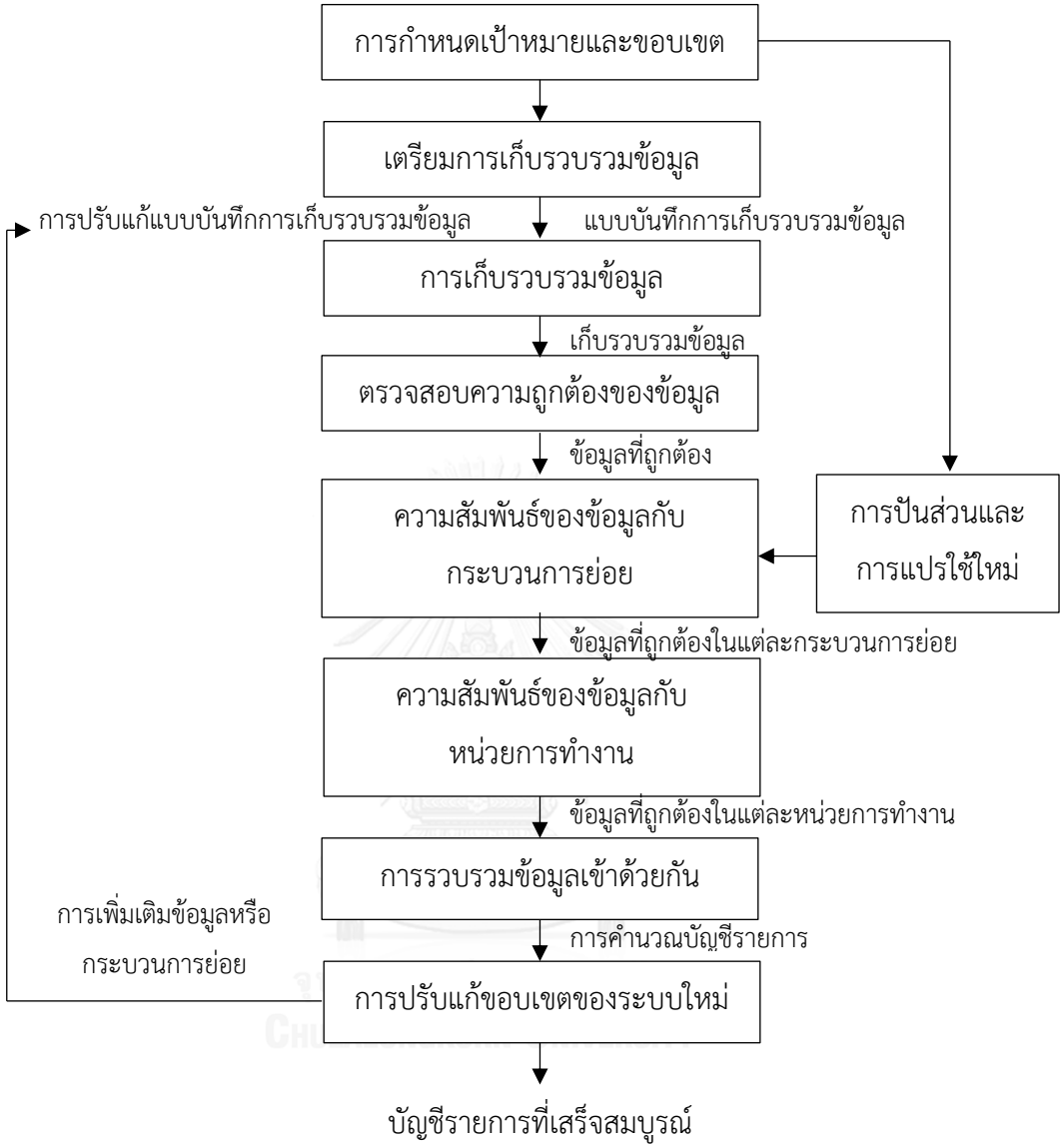
2. การวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

การจัดทำบัญชีด้านสิ่งแวดล้อมเป็นการรวบรวมข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการต่างๆ ในระบบผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา แล้วนำมาประมวลผลข้อมูลและคำนวณ โดยจะต้องมีการวางแผนก่อนการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วน สมบูรณ์ ซึ่งข้อมูลที่ต้องทำการจัดเก็บ ประกอบด้วย รายละเอียดของกระบวนการผลิต แหล่งที่มาของข้อมูล ลักษณะการจัดเก็บข้อมูล วิธีการคำนวณ และลักษณะของข้อมูล เช่น คุณภาพ แหล่งที่มา ข้อจำกัดของข้อมูล เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดเป็นไปได้ยาก เนื่องจากต้องใช้เวลาและงบประมาณจำนวนมาก

โดยทั่วไปขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการประกอบด้วย การเก็บรวบรวมข้อมูล การคำนวณข้อมูล และการปันส่วน ดังรูปที่ 2-15

การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data collection)

เมื่อทำการแยกกระบวนการย่อยๆ ในวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แล้วจึงเริ่มทำการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งตามหลักการแล้วต้องเก็บรวบรวมข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทุกตัว แต่ในทางปฏิบัติอาจไม่สามารถทำได้จึงต้องมีการคัดเลือกข้อมูลที่สารขาเข้าและสารขาออกเฉพาะที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง



รูปที่ 2-11 ขั้นตอนโดยทั่วไปของการจัดวิเคราะห์บัญชีรายการ
(International standard ISO 14044, 2006)

โดยข้อมูลที่ใช้จัดทำบัญชีรายการควรเป็นข้อมูลปฐมภูมิซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดโดยตรงจากกระบวนการผลิตในโรงงานหรือองค์กร อย่างไรก็ตามในกรณีที่ไม่สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลจากการตรวจวัดโดยตรงจากกระบวนการ ให้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากแหล่งข้อมูลอื่นๆ เช่น งานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เอกสาร วารสาร รายงาน เป็นต้น

การคำนวณข้อมูล (Data calculation)

ทำการคำนวณสารขาเข้าและสารขาออกของทุกกระบวนการย่อยให้อยู่ภายใต้หน่วยการทำงานเดียวกัน ซึ่งจะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล โดยการคำนวณสมดุลมวลสาร และสมดุลพลังงาน เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกของแต่ละกระบวนการย่อยกับหน่วยการทำงาน และสามารถนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่นได้

การปันส่วน (Allocation)

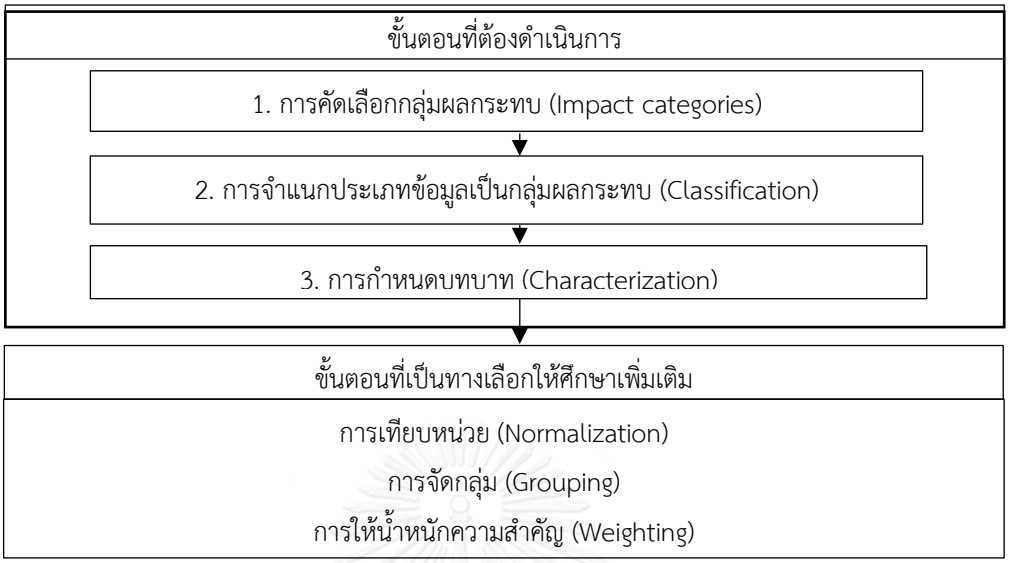
ในกรณีกระบวนการผลิตเกิดผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 ชนิดขึ้นไป และมีเพียง 1 ผลิตภัณฑ์ที่นำไปใช้ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เหลือจะถูกนำไปกำจัดหรือนำไปใช้ใหม่เป็นวัตถุดิบในกระบวนการอื่น ดังนั้นจะต้องทำการปันส่วนปริมาณวัตถุดิบ พลังงาน และปริมาณมลพิษที่ปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดด้วย

3. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นขั้นตอนที่มีเป้าหมายเพื่อประเมินระดับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมว่าผลกระทบด้านใดที่มีความสำคัญในระบบผลิตภัณฑ์ที่พิจารณา โดยการคำนวณข้อมูลบัญชีรายการที่เก็บรวบรวม ได้แก่ ข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปลดปล่อยมวลสาร ค่าปริมาณของวัตถุดิบ พลังงานที่ใช้ รวมถึงของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดให้อยู่ในรูปของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผลการคำนวณจะถูกนำมาใช้แปลผลกระทบในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งตามหลักการที่กำหนดในมาตรฐานสิ่งแวดล้อม ISO 14040:2006 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมมีหลายขั้นตอน แบ่งได้เป็นขั้นตอนที่ต้องดำเนินการและขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม ดังรูปที่ 2-16 โดยขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ การจำแนกประเภทข้อมูลเป็นกลุ่มผลกระทบ และการกำหนดบทบาท ส่วนขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม ประด้วย 3 ขั้นตอน คือ การเทียบหน่วย การจัดกลุ่ม และการให้น้ำหนักความสำคัญ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1) การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ (Impact categories)

เป็นการจำแนกว่าระบบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านใดบ้าง และเกิดขึ้นในกระบวนการใดบ้าง โดยแต่ละวิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะพิจารณากลุ่มผลกระทบแตกต่างกันไป โดยตัวอย่างกลุ่มผลกระทบพื้นฐานในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม แสดงดังตารางที่ 2-4



รูปที่ 2-12 ขั้นตอนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม
(International organization for standardization, 2006)

ตารางที่ 2-4 ตัวอย่างกลุ่มผลกระทบพื้นฐานในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

กลุ่มผลกระทบ	ความหมาย
Acidification	การเกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ
Eutrophication	การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในดินและแหล่งน้ำ
Respiratory inorganics	การเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ
Respiratory organics	การเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ
Ozone layer depletion	การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ
Ecotoxicity	การเกิดความเป็นพิษต่อต่อดินและแหล่งน้ำ
Ionizing radiation	การปล่อยกัมมันตภาพรังสี
Global warming	การเกิดภาวะโลกร้อน
Non-renewable energy	การใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป
Carcinogens	การเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง
Non-carcinogens	การเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง

3.2) การจำแนกประเภทข้อมูลเป็นกลุ่มผลกระทบ (Classification)

เป็นการนำข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออก ทั้งวัตถุดิบและทรัพยากรที่ใช้ ตลอดจนของเสียที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษามาจัดกลุ่มตามกลุ่มผลกระทบ โดยพิจารณาจากศักยภาพที่สารเหล่านั้นจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น สารคลอโรฟูออโรคาร์บอนมีผลในการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ เป็นต้น โดยบางครั้งอาจมีสารมากกว่า 1 ชนิดที่เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ เป็นต้น นอกจากนี้สารบางตัวอาจก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลายด้าน เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารที่ทำให้เกิดทั้งภาวะความเป็นกรดและส่งผลกระทบต่อสุขภาพด้วย

3.3) การกำหนดบทบาท (Characterization)

การกำหนดบทบาทเป็นการประเมินผลกระทบในเชิงปริมาณที่จะเกิดขึ้นจากสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจากบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ซึ่งในการประเมินต้องแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปตัวบ่งชี้ (Indicator) โดยใช้ค่าแฟคเตอร์ (Characterization factor) ซึ่งเป็นค่าแสดงศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบของแต่ละข้อมูล มาคูณกับข้อมูลบัญชีรายการเพื่อปรับค่าจากปริมาณของมลสารที่ปล่อยออกมาให้เป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบ โดยผลกระทบที่ได้จะมีความแตกต่างกันขึ้นกับประเภทของผลกระทบ ในกรณีที่ต้องการเปรียบเทียบผลกระทบแต่ละประเภทที่ได้จากการกำหนดบทบาทของผลิตภัณฑ์ต่างๆกัน จะแสดงผลในรูปเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบมากกับผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบน้อยกว่า

นอกจากขั้นตอนดังที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีขั้นตอนทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติมซึ่งไม่ใช่ขั้นตอนบังคับ เนื่องจากในขั้นตอนนี้จะมีวิธีการคำนวณที่แตกต่างกัน ขึ้นกับผู้คำนวณ วิธีการคำนวณ สภาพภูมิประเทศ และการให้น้ำหนักความสำคัญในแต่ละกลุ่มผลกระทบของแต่ละประเทศ โดยจะมีขั้นตอนดังนี้

(1) การเทียบหน่วย (Normalization)

การเทียบหน่วยเป็นการแสดงขนาดผลกระทบของสิ่งแวดล้อม เพื่อแสดงให้เห็นว่ากลุ่มผลกระทบแต่ละกลุ่มมีความสำคัญต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยรวมอยู่ในระดับใด ซึ่งจะช่วยตัดประเด็นปัญหาที่ต้องพิจารณาไปได้ในกรณีที่กลุ่มผลกระทบนั้นมีความสำคัญน้อยเมื่อเทียบกับปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยรวม โดยค่าที่ได้จะถูกอ้างอิงในช่วงเวลาที่กำหนดในระดับภูมิประเทศ ภูมิภาค และระดับโลก หรืออ้างอิงกับผลิตภัณฑ์หรือการบริการ

(2) การจัดกลุ่ม (Grouping)

เป็นการจัดกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมแยกออกเป็นหมวดหมู่ตามประเภท ได้แก่ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศ ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากร

(3) การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)

การให้น้ำหนักเป็นการกำหนดความสำคัญให้แก่กลุ่มผลกระทบแต่ละกลุ่ม เนื่องจากค่าที่ได้จากการเทียบหน่วยจะช่วยให้ผลกระทบสามารถเปรียบเทียบกันได้ในเชิงปริมาณ แต่ไม่ได้คำนึงถึงความสำคัญหรือความรุนแรงของผลกระทบแต่ละกลุ่ม โดยน้ำหนักของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นกับผู้ประเมิน และปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพภูมิประเทศ ประเภท และระดับความรุนแรงของผลกระทบ เป็นต้น

4. การแปลผลการศึกษา

การแปลผลการศึกษา คือ การนำผลการศึกษาทั้งการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมและการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมมาเชื่อมโยงแล้ววิเคราะห์เพื่อสรุปผล อธิบายข้อจำกัด และการจัดเตรียมข้อเสนอแนะ รวมถึงจัดทำรายงานสรุปผลการศึกษาให้เข้าใจง่าย ครบถ้วน และต้องมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่ได้กำหนดไว้ ขั้นตอนนี้จึงทำให้ทราบว่ากระบวนการใดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมl โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.1) การจำแนกประเด็นที่สำคัญ (Identification of significant issues)

เป็นการจัดกลุ่มข้อมูลและผลที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อนำมาคัดเลือกประเด็นสำคัญที่สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่ได้กำหนดไว้

4.2) การประเมินค่าความไม่แน่นอน (Estimating uncertainty)

เป็นการตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลว่ามีความถูกต้อง ตรงประเด็น และมีความสอดคล้อง คือ สมมติฐาน วิธีการ และข้อมูลมีความสอดคล้องกับเป้าหมายหรือไม่ โดยทั่วไปจะอธิบายค่าความไม่แน่นอนของข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3) การจัดทำบทสรุป ข้อเสนอแนะและข้อจำกัด (Conclusions, recommendations and limitations)

เป็นขั้นตอนการสรุปผลการประเมินและแสดงข้อเสนอแนะในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม แล้วทำรายงานสรุปผลให้สามารถเข้าใจง่าย ตัวอย่างข้อเสนอแนะในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

เช่น การเปลี่ยนชนิดวัตถุดิบ การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้วัตถุดิบ การปรับปรุงกระบวนการผลิต การขนส่ง การจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน เป็นต้น

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

Belboom และ Leonard (2016) ได้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene; HDPE) ซึ่งผลิตจากพอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้วัตถุดิบตั้งต้น 2 แหล่งคือ ต้นบีท (Sugar beet) ซึ่งเป็นพืชที่ใช้รากทำน้ำตาล และข้าวสาลี (Wheat) ในประเทศเบลเยี่ยม เปรียบเทียบกับพอลิเมอร์จากฟอสซิล โดยพบว่าการผลิตเม็ดพลาสติกจากพอลิเมอร์ชีวภาพสามารถลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ประมาณร้อยละ 60 โดยมีการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการปลูกพืชทำให้เกิดการชดเชยก๊าซเรือนกระจกจึงช่วยลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแต่ก็จะยังมีอยู่จนกระทั่งขั้นตอนการจัดการของเสีย อย่างไรก็ตามผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านอื่นๆ จะสูงกว่าการผลิตพลาสติกจากพอลิเมอร์ฟอสซิล เช่น การเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก การก่อให้เกิดความเป็นกรด การเพิ่มขึ้นของสารอาหารบนพื้นดินและในแหล่งน้ำ เป็นต้น ซึ่งเกิดจากการใช้ปุ๋ยเป็นหลักในกระบวนการเพาะปลูกพืช และสำหรับการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของพลาสติกชีวภาพ 2 ชนิด พบว่าผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศใกล้เคียงกันแต่ต้นบีทใช้พื้นที่น้อยกว่าข้าวสาลีประมาณ 2 เท่า

Tsiropoulos และคณะ (2015) ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเม็ดพลาสติกชีวภาพพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene; HDPE) และเม็ดพลาสติกชีวภาพพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต (Polyethylene terephthalate; PET) ซึ่งผลิตจากอ้อยในบราซิลและอินเดีย เพื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเม็ดพลาสติกชนิดเดียวกันที่ผลิตจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยพบว่า เม็ดพลาสติกชีวภาพพอลิเอทิลีนปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าเม็ดพลาสติกที่ผลิตจากปิโตรเคมีร้อยละ 140 และใช้พลังงานฟอสซิลลดลงร้อยละ 65 ส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเม็ดพลาสติกชีวภาพ PET จะใกล้เคียงกับเม็ดพลาสติกที่ผลิตจากปิโตรเคมี แต่การใช้พลังงานฟอสซิลลดลงร้อยละ 10 นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ชีวมวลในการผลิตไอน้ำช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ อย่างไรก็ตามการใช้ยาฆ่าแมลงและการเผาไหม้พื้นที่หลังเก็บเกี่ยวในบราซิลทำให้เม็ดพลาสติกชีวภาพมีผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์และคุณภาพระบบนิเวศสูงเป็น 2 เท่า เมื่อเทียบกับเม็ดพลาสติกจากปิโตรเคมี ดังนั้นถ้ามีการควบคุมการใช้ยาฆ่าแมลงและไม่เผาไหม้พื้นที่หลังเก็บเกี่ยวจะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษอื่นๆ

Ingrao และคณะ (2015) ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยการประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดวัฏจักรชีวิตของถาดบรรจุอาหารซึ่งผลิตจากโฟมพอลิสไตรีน (Foamy polystyrene) ครอบคลุมขอบเขตแบบ Cradle to grave คือ ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ การขนส่ง กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก กระบวนการขึ้นรูป การนำไปใช้งาน และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน โดยพบว่ากระบวนการได้มาของวัตถุดิบ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงโดยเฉพาะด้านการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และด้านการเกิดภาวะโลกร้อน เนื่องจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเพื่อเป็นสารตั้งต้นและผลิตไฟฟ้าในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดิบ เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษาแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกทั้งในด้านปริมาณและชนิดวัตถุดิบที่ใช้พบว่าไม่สามารถทำได้เนื่องจากการลดปริมาณหรือการใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลจะทำให้คุณภาพของถาดลดลง อย่างไรก็ตามอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมคือการใช้พลังงานทดแทนในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าการใช้พลังงานลมแทนไฟฟ้าจะลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ร้อยละ 14 นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกมีการปลดปล่อย NO_x ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบทั้งด้านสุขภาพมนุษย์และคุณภาพระบบนิเวศ

Usapein และ Chavalparit (2014) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากของเสียอุตสาหกรรมโดยใช้หลักการ 3Rs คือ การลด (Reduce) การใช้ซ้ำ (Reuse) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ของโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene; HDPE) ในประเทศไทย โดยพบว่าแหล่งกำเนิดของเสียอุตสาหกรรมมาจาก 4 แหล่ง คือ กระบวนผลิต การบรรจุ ระบบบำบัดของเสีย และระบบสาธารณูปโภค ซึ่งมีสัดส่วนของเสียร้อยละ 47 46 4 และ 3 ตามลำดับ โดยของเสียเหล่านั้นจะถูกนำไปจัดการโดยการขายให้โรงงานรีไซเคิลร้อยละ 60.41 นำไปใช้ซ้ำและนำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 25.93 และฝังกลบร้อยละ 10.47 ซึ่งเมื่อใช้การจัดการของเสียตามหลักการ 3Rs พบว่าสามารถลดปริมาณของเสียได้ร้อยละ 33.88

สำหรับการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการจัดการของเสียตามหลัก 3R พิจารณาโดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต พบว่า การผลิตพลังงานจากถ่านหินบิทูมินัสปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด ส่วนการผลิตพลังงานจากของเสียประเภทกล่องหรือบรรจุภัณฑ์ต่ำสุด และการจัดการของเสียโดยการนำไปผลิตเป็นพลังงานจะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่ำกว่าการนำของเสียไปฝังกลบในหลุมฝังกลบขยะ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนพบว่าการจัดการของเสียโดยใช้หลัก 3R ในประเทศไทยมีต้นทุนสูงกว่าการจัดการโดยใช้หลุมฝังกลบและการเผาด้วยเตาเผาขยะ

Siracusa และคณะ (2014) ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุและถนอมอาหาร เช่น เนื้อ ชีท ปลา และเส้นพลาสต้าแบบสด โดย

ฟิล์มพลาสติกประกอบด้วยพลาสติก 2 ชั้นซ้อนทับกันคือชั้นนอกซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ได้สัมผัสอาหารโดยตรงเป็นพลาสติกชนิดพอลิเอไมด์ (Polyamide; PA) และชั้นในซึ่งเป็นส่วนที่สัมผัสอาหารโดยตรงเป็นพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene; LDPE) ฟิล์มพลาสติกนี้มีความหนา 85 ไมครอน โดยกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to gate ครอบคลุมผลกระทบตั้งแต่การผลิตเม็ดพลาสติก การขนส่ง และการขึ้นรูปเป็นฟิล์มพลาสติก

จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตพบว่ากระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุดเนื่องจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก (Non-renewable resource) เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดิบ เป็นต้น ส่งผลให้เกิดผลกระทบสูงสุดด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ อีกทั้งทำให้เกิดผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากการเกิดภาวะโลกร้อน เนื่องจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์เนื่องจากการปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็ก นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้นำผลการประเมินวัฏจักรชีวิตมาเป็นแนวทางในการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Eco-design) ให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดน้อยลง ซึ่งพบว่าการลดความหนาของฟิล์มพลาสติกจะทำให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดลงร้อยละ 25.3 จากการลดลงของการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยสามารถลดความหนาของฟิล์มพลาสติกได้สูงสุดเป็น 65 ไมครอน ซึ่งไม่ทำให้คุณภาพในการถนอมอาหารของฟิล์มลดลง นอกจากนี้การใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ร้อยละ 15 ซึ่งน้อยกว่าการลดความหนาของฟิล์มพลาสติกเนื่องจากต้องใช้ไฟฟ้าในการรีไซเคิลและระยะทางในการขนส่งจากโรงงานรีไซเคิลเม็ดพลาสติกไปโรงงานขึ้นรูปมากกว่าระยะทางในการขนส่งจากโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ไปโรงงานขึ้นรูป

Simoes, Pinto และ Bernardo (2014) ทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจตามแนวการคิดของ Life cycle thinking ของแผ่นพลาสติกป้องกันแสงไฟสะท้อนเข้าตาผู้ขับขี่รถยนต์ (Anti-glare lamellae; AGL) ซึ่งผลิตจากเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene; HDPE) โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment; LCA) และการประเมินต้นทุน (Life cycle costing; LCC) ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ การขนส่ง กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก กระบวนการขึ้นรูป การนำไปใช้งาน และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ การฝังกลบ การเผาเพื่อนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ และการรีไซเคิลให้เป็นเม็ดพลาสติก โดยพบว่ากระบวนการผลิต AGL จากเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงกว่ากระบวนการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานทุกด้าน และเมื่อเปรียบเทียบการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานในแต่ละกรณีพบว่าการรีไซเคิลมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำกว่าการ

เผาและการฝังกลบด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สำหรับผลการวิเคราะห์ LCC ของทั้ง 3 กรณีพบว่าการฝังกลบมีต้นทุนสูงสุด ส่วนการรีไซเคิลมีต้นทุนต่ำสุด

นอกจากนี้ได้เปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์และเม็ดพลาสติกรีไซเคิล ซึ่งจากผลการประเมิน LCA พบว่า AGL ที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงกว่า AGL ที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์เกือบทุกด้านเล็กน้อย ยกเว้นด้านสารอินทรีย์ที่มีผลกระทบต่อการหายใจ และด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ถึงร้อยละ 58 จึงทำให้ชดเชยผลกระทบด้านอื่นๆ ที่สูงกว่าเล็กน้อยได้ ในขณะที่ผลการประเมิน LCC พบว่าต้นทุนของ AGL ที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลต่ำกว่า AGL ที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ร้อยละ 29 เนื่องจากต้นทุนเม็ดพลาสติกรีไซเคิลต่ำกว่าเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์

Mori และคณะ (2013) เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยการศึกษาวัฏจักรชีวิตของถุงพลาสติกหูหิ้วที่ผลิตจากเม็ดพลาสติก 3 ชนิด คือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene; LDPE) พอลิโพรพิลีน (Polypropylene; PP) และ พลาสติกชีวภาพ Mater-BI ซึ่งผลิตจากแป้งข้าวโพด ครอบคลุมขอบเขตแบบ Cradle to grave คือตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตเม็ดพลาสิก กระบวนขขึ้นรูป การขนส่ง การนำไปใช้ และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการเผา การฝังกลบ และรีไซเคิล โดยพบว่าถุงพลาสติกชนิด PP มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุดด้านการทำให้เกิดโลกร้อนเนื่องจากมีน้ำหนักสูงกว่าถุงพลาสติกชนิด Mater-BI และ LDPE เท่ากับ 6 และ 8 เท่า ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามถุงพลาสติกชนิด PP จะถูกใช้งานเป็นเวลา 5 ปี แต่ถุงพลาสติกชนิด LDPE และ Mater-BI ส่วนใหญ่จะถูกใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง นอกจากนี้พบว่ากระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกครอบคลุมถึงการได้มาของวัตถุดิบ ทั้ง 3 ชนิดมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุด โดยเม็ดพลาสติกชีวภาพ Mater-BI ใช้พลังงานน้อยกว่าเม็ดพลาสติกชนิดอื่น แต่ใช้น้ำมากกว่าจึงทำให้ผลกระทบด้านศักยภาพการลดลงของสิ่งไม่มีชีวิตและศักยภาพการเพิ่มขึ้นของสารอาหารสูงกว่าเม็ดพลาสติกชนิดอื่น และพบว่าการจัดการถุงพลาสติกชีวภาพ Mater-BI ด้วยการทำปุ๋ยหมักในอุตสาหกรรมมีผลกระทบสูงเท่ากับการจัดการด้วยการเผา เนื่องจากการเผาเศษพลาสติกทำให้ได้พลังงานความร้อนและไฟฟ้าซึ่งสามารถนำมาชดเชยกับผลกระทบที่เกิดขึ้นได้

Ruban และคณะ (2012) ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของถุงพลาสติกที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พบว่า กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก มีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด เนื่องจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเป็นวัตถุดิบและพลังงานในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก

Xie และคณะ (2011) ได้ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์สำหรับนม เปรียบเทียบระหว่างบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มลามิเนต (กระดาษ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และแผ่นเปลวอะลูมิเนียม) และบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยมีหน่วยการทำงาน คือ 1,000 ลิตรของถุงบรรจุนม และขอบเขตการศึกษาครอบคลุม Cradle to grave จากการศึกษาพบว่า บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มลามิเนตมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สูงกว่าบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเล็กน้อย กล่าวคือ ค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิต และการกำจัดซาก ในบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มลามิเนต มีค่าเท่ากับ 5.19 0.93 0.30 และ 0.42 ตามลำดับ ส่วนบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำอย่างเดียว มีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อม เท่ากับ 7.12 0.01 0.77 และ -1.16 ตามลำดับ จะเห็นว่าการได้มาซึ่งวัตถุดิบมีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สูงที่สุดในวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 แบบ โดยส่วนใหญ่แล้วบรรจุภัณฑ์ที่ทำมาจากฟิล์มลามิเนตจะมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล การใช้ที่ดิน และการหายใจจากอนินทรีย์สาร ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นส่วนใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานติดลบ เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มลามิเนตไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การศึกษานี้จึงสรุปผลให้เห็นว่ากระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด เพื่อที่จะได้พิจารณาถึงวัตถุดิบที่จะนำมาผลิต นอกจากนี้การพัฒนาเทคโนโลยีในการแยกพลาสติกและอะลูมิเนียมออกจากกันของบรรจุภัณฑ์ก็ช่วยให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมลดลงได้เช่นกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Siracusa และคณะ (2011) เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของฟิล์มห่ออาหารที่มีความหนา 70 และ 90 ไมครอน ซึ่งผลิตจากเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene; LDPE) และเม็ดพลาสติกชนิดพอลิเอไมด์ (Polyamide; PA) กำหนดขอบเขตการศึกษาแบบ Cradle to grave ครอบคลุมตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก การขึ้นรูป การขนส่ง และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน โดยทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลผสมกับเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ในสัดส่วนร้อยละ 50 ซึ่งพบว่าสามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ร้อยละ 70 และเมื่อทำการลดความหนาของฟิล์มห่ออาหาร พบว่าทำให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมลดลงร้อยละ 23 โดยกระบวนการที่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุดคือกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก ครอบคลุมถึงการได้มาของวัตถุดิบ ดังนั้นแนวทางที่สามารถใช้ลดผลกระทบจากกระบวนการนี้คือการใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิล อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์

Singh และคณะ (2011) ทำการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์สำหรับนม ซึ่งผลิตจากเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene; HDPE) พบว่า กลุ่มผลกระทบที่สำคัญที่สุด คือ ด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป โดยกระบวนการที่ทำให้เกิดผลกระทบสูงสุดคือ กระบวนการได้มาของวัตถุดิบ เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

Muthu และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษารอยเท้าคาร์บอน (Carbon footprint) ของถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene; HDPE) ถุงกระดาษคราฟท์ (Kraft) ถุงใยสังเคราะห์ (PP) และถุงผ้า (Woven) โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to gate ครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการได้มาของวัตถุดิบ การผลิตเม็ดพลาสติก และการขึ้นรูป และกรณีที่ 2 คือ ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตโดยกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to grave ครอบคลุมทุกกระบวนการตั้งแต่กระบวนการได้มาของวัตถุดิบ การผลิตเม็ดพลาสติก การขึ้นรูป การนำไปใช้งาน และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน โดยในกรณีที่ 1 พบว่าถุงใยสังเคราะห์ปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด รองมาคือถุงผ้า ในขณะที่ถุงกระดาษและถุงพลาสติกปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง เนื่องจากถุงใยสังเคราะห์ใช้พลังงานและวัสดุน้อยกว่า ดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 ข้อมูลบัญชีรายการของถุงพลาสติก ถุงกระดาษ ถุงใยสังเคราะห์ และถุงผ้า ในประเทศฮ่องกง จีน และอินเดีย
(Muthu และคณะ, 2011)

ชนิดของถุง	น้ำหนัก/ถุง (กรัม)	วัสดุที่ใช้ (กิโลกรัม)		พลังงานที่ใช้ (เมกะจูล)		การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)	
		จีนและฮ่องกง	อินเดีย	จีนและฮ่องกง	อินเดีย	จีนและฮ่องกง	อินเดีย
ถุงพลาสติก	6	6.57	0.90	12.8	1.74	442.2	60
ถุงกระดาษ	42.6	46.65	6.39	24.8	3.41	1,518.3	210
ถุงใยสังเคราะห์	65.6	718.32	0.0984	5.17	0.708	122.2	16.73
ถุงผ้า	125.4	2.75	0.3762	6.06	0.831	385	52.74

และในกรณีที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอนของการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน พบว่าการจัดการโดยการใช้ซ้ำจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการรีไซเคิลและการใช้หลุมฝังกลบ ซึ่งหากจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานโดยการใช้ซ้ำร้อยละ 5 จะช่วยลดรอยเท้าคาร์บอนได้ถึงร้อยละ 20

Wrap (2010) ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุนมที่ผลิตจากพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ระบุว่า กระบวนการได้มาของวัตถุดิบเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดผลกระทบทุกด้านสูงสุด ยกเว้นด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำ อีกทั้งการจัดการด้วยการรีไซเคิลเป็นวิธีจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีผลกระทบน้อยที่สุดทุกด้าน ยกเว้นด้านการเกิดความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำ

Harding และคณะ (2007) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกชีวภาพพอลิไฮดรอกซีบิวทิริกแอซิด (Poly-hydroxybutyric acid; PHB) เปรียบเทียบกับเม็ดพลาสติกพอลิเมอร์ชนิดพอลิโพรพิลีน (Polypropylene; PP) และ พอลิเอทิลีน (Polyethylene; PE) ทั้งชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene; HDPE) และ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene; LDPE) โดยพบว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมของวัฏจักรชีวิตเม็ดพลาสติกชีวภาพ PHB ต่ำกว่าเม็ดพลาสติก PP ทุกด้าน โดยเฉพาะด้านการลดลงของชั้นโอโซนที่ต่ำกว่าเม็ดพลาสติก PP 50 เท่า และผลกระทบส่วนใหญ่ต่ำกว่าเม็ดพลาสติก PE โดยเฉพาะด้านการทำให้เกิดโลกร้อนซึ่งต่ำกว่าร้อยละ 50 เนื่องจากการใช้ทรัพยากรลดลงทั้งการใช้พลังงานและวัตถุดิบ อย่างไรก็ตามจากการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก PHB และ PE พบว่า เม็ดพลาสติกชีวภาพ PHB มีผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของสารอาหารสูงกว่าเม็ดพลาสติก PE เนื่องจากกระบวนการเพาะปลูกอ้อยเพื่อใช้เป็นอาหารให้จุลินทรีย์ นอกจากนี้จากการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก HDPE และ LDPE พบว่า เม็ดพลาสติก HDPE มีผลกระทบต่ำกว่า LDPE ทุกด้าน ยกเว้นด้านการเกิดปฏิกิริยาโฟโต้ออกซิเดชั่น เนื่องจากกระบวนการผลิตมีการปลดปล่อยก๊าซอีทีนออกมา

Chaffee และ คณะ (2007) ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของถุงพลาสติก 3 ชนิด คือ ถุงพลาสติกหูหิ้วซึ่งทำจากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ถุงพลาสติกย่อยสลายได้ และถุงกระดาษ สรุปได้ว่า ถุงพลาสติกที่ทำจากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีผลกระทบโดยรวมน้อยกว่าถุงกระดาษและถุงพลาสติกย่อยสลายได้ซึ่งทำจากเม็ดพลาสติกชนิดพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid; PLA) ผสมกับเม็ดพลาสติก EcoFlex เนื่องจากการใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิล

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

งานวิจัย	รายละเอียดงานวิจัย	ขอบเขต	ผลการศึกษา
Belboom และ Leonard (2016)	เปรียบเทียบผลกระทบของเม็ดพลาสติก HDPE กับเม็ดพลาสติกชีวภาพซึ่งผลิตจากวัตถุดิบตั้งต้น คือ ต้นบีท และข้าวสาลีในประเทศเบลเยี่ยม วิธีการศึกษา : ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยLCA วิธี ILCD 2011 และ ReCiPe 2008 หน่วยการทำงาน : 1 ตันของเม็ดพลาสติก	การเพาะปลูก การผลิตพลาสติก การขนส่ง การจัดการของเสีย (Cradle to grave)	- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศและด้านการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลของพลาสติกชีวภาพน้อยกว่าพลาสติกจากฟอสซิล แต่ผลกระทบด้านอื่นสูงกว่า เนื่องจากการใช้ปุ๋ยในการเพาะปลูก
Tsiropoulos และคณะ (2015)	ศึกษาและเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเม็ดพลาสติกที่ผลิตจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีกับเม็ดพลาสติกชีวภาพชนิด HDPE และ PET ซึ่งผลิตจากอ้อยในประเทศบราซิลและอินเดีย วิธีการศึกษา : ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยLCA วิธี IPCC และ IMPACT 2002+	การได้มาของวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิตเม็ดพลาสติก (Cradle to gate)	- เม็ดพลาสติกชีวภาพ PE ปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าเม็ดพลาสติกที่ผลิตจากปิโตรเคมีร้อยละ 140 และมีการใช้พลังงานฟอสซิลลดลงร้อยละ 65 - ในการผลิตเม็ดพลาสติกชีวภาพ PET มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใกล้เคียงกับเม็ดพลาสติกที่ผลิตจากปิโตรเคมี แต่ใช้พลังงานฟอสซิลลดลงร้อยละ 10

ตารางที่ 2-6 (ต่อ) สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

งานวิจัย	รายละเอียดงานวิจัย	ขอบเขต	ผลการศึกษา
	หน่วยการทำงาน : 1 กิโลกรัมเม็ดพลาสติก		- การใช้ยาฆ่าแมลงและการเผาไหม้พื้นที่หลังเก็บเกี่ยวในประเทศบราซิลทำให้ผลกระทบเม็ดพลาสติกชีวภาพ ในด้านสุขภาพมนุษย์และคุณภาพระบบนิเวศสูงเป็น 2 เท่าเมื่อเทียบกับเม็ดพลาสติกจากปิโตรเคมี
Ingrao และคณะ (2015)	ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยการประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดวัฏจักรชีวิตของถาดบรรจุอาหารซึ่งผลิตจากโฟมพอลิสไตรีน วิธีการศึกษา : ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยLCA วิธี IMPACT 2002+ หน่วยการทำงาน : 1 กิโลกรัมของถาดอาหาร	การได้มาของวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน การขนส่ง การจัดการของเสีย (Cradle to grave)	- การผลิตเม็ดพลาสติกโดยรวมตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงโดยเฉพาะการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และการเกิดโลกร้อน จากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติประกอบด้วยน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ เพื่อเป็นสารตั้งต้นและใช้ผลิตไฟฟ้าในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก - ในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกปล่อย NO_x ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบทั้งด้านสุขภาพมนุษย์และคุณภาพระบบนิเวศ

ตารางที่ 2-6 (ต่อ) สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

งานวิจัย	รายละเอียดงานวิจัย	ขอบเขต	ผลการศึกษา
Usapein และ Chavalparit (2014)	ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากของเสียอุตสาหกรรมโดยใช้หลักการ 3Rs ของโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก HDPE ในไทย วิธีการศึกษา : ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยLCA วิธี EDIP 2003 V1.03 หน่วยการทำงาน : ปริมาณพลังงานที่ได้จากของเสียอุตสาหกรรมมาผลิตปูนเม็ด 1 กิโลกรัม	การได้มาของวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน การขนส่ง การจัดการของเสีย (Cradle to grave)	- การผลิตพลังงานจากถ่านหินบิทูมินัสปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด ส่วนการผลิตพลังงานจากของเสียที่เป็นประเภทกล่องหรือบรรจุภัณฑ์ต่ำสุด เนื่องจากมีปริมาณมาก - ปริมาณปล่อยก๊าซเรือนกระจกและผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการจัดการของเสียที่นำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกน้อยกว่าหลุมฝังกลบขยะและการเผาด้วยเตาเผาขยะ แต่ต้องใช้ต้นทุนสูงกว่า - การจัดการของเสียด้วยหลัก 3Rs พบว่าสามารถลดปริมาณของเสียได้ร้อยละ 33.88
Siracusa และคณะ (2014)	ประเมินวัฏจักรชีวิตฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุและถนอมอาหาร เช่น เนื้อ ชีท ปลา และเส้นพลาสต้าแบบสด โดยฟิล์มพลาสติกเป็นพลาสติก 2 ชั้นซ้อนทับกัน คือชั้นนอกซึ่งเป็นส่วนไม่ได้สัมผัสอาหารโดยตรงเป็นพลาสติกชนิด PA และชั้นใน	การได้มาของวัตถุดิบ การผลิตเม็ดพลาสติก การขนส่ง การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ (Cradle to gate)	- กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุด ด้านการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะก๊าซ CO_2 และด้านการเกิดฝุ่นละออง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2-6 (ต่อ) สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

งานวิจัย	รายละเอียดงานวิจัย	ขอบเขต	ผลการศึกษา
	ซึ่งเป็นส่วนที่สัมผัสอาหารโดยตรงเป็นพลาสติกชนิด LDPE วิธีการศึกษา : ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยLCA วิธี IMPACT 2002+ หน่วยการทำงาน : 1 ตารางเมตรของฟิล์มพลาสติก		- แนวทางลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมคือการลดความหนาของฟิล์มพลาสติกและการใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิล
Simoes Pinto และ Bernardo (2014)	ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจตลอดวัฏจักรชีวิตของแผ่นพลาสติก AGL ซึ่งผลิตจากเม็ดพลาสติก HDPE เพื่อใช้ป้องกันแสงไฟสะท้อนเข้าตาผู้ขับขี่รถยนต์ วิธีการศึกษา : ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยLCA วิธี Eco-Indicator 99 หน่วยการทำงาน : ผลิตภัณฑ์ AGL 1 ชิ้น	การได้มาของวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน การขนส่ง การจัดการของเสีย (Cradle to grave)	- การจัดการของเสียด้วยการรีไซเคิล AGL มีต้นทุนและผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่ำสุด เนื่องจากทรัพยากรถูกใช้น้อยลง ในขณะที่ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิต AGL จากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลต่ำกว่าเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและด้านสารอินทรีย์ที่มีผลกระทบต่อการหายใจและต้นทุนของ AGL จากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลต่ำกว่าเนื่องจากมีราคาถูกกว่า

ตารางที่ 2-6 (ต่อ) สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

งานวิจัย	รายละเอียดงานวิจัย	ขอบเขต	ผลการศึกษา
Mori และคณะ (2013)	เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของถุงพลาสติกหูหิ้วที่ผลิตจากเม็ดพลาสติก 3 ชนิด คือ LDPE PP และพลาสติกชีวภาพ Mater-BI วิธีการศึกษา : ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยLCA วิธี CML 2001 หน่วยการทำงาน : ถุงพลาสติก 1 ถุง โดยถุงพลาสติกชนิด LDPE และ Master-BI มีปริมาตร 16.2 ลิตร และถุงพลาสติกชนิด PP มีปริมาตร 39.6 ลิตร	การได้มาของวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน การขนส่ง การจัดการของเสีย (Cradle to grave)	- ถุงพลาสติกชนิด PP มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุดด้านการทำให้เกิดโลกร้อน - การผลิตเม็ดพลาสติกทั้ง 3 ชนิด มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุด โดยเม็ดพลาสติก Mater-BI ใช้พลังงานน้อยสุดแต่ใช้น้ำสูงสุด - การจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานของถุงพลาสติก Mater-BI ด้วยการทำปุ๋ยหมักในอุตสาหกรรมมีผลกระทบสูงเท่ากับการเผา เนื่องจากการเผาทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนจึงนำมาชดเชยกับผลกระทบที่เกิดขึ้นได้
Ruban และคณะ (2012)	ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของถุงพลาสติกที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง วิธี IMPACT 2002+ หน่วยการทำงาน : ถุงพลาสติก 1,000 ถุง	การได้มาของวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน การขนส่ง การจัดการของเสีย (Cradle to grave)	- กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก มีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุดเนื่องจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเป็นวัตถุดิบและพลังงานในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2-6 (ต่อ) สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

งานวิจัย	รายละเอียดงานวิจัย	ขอบเขต	ผลการศึกษา
Xie และคณะ (2011)	เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์สำหรับนม เปรียบเทียบระหว่างบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มลามิเนต (กระดาษ LDPE และแผ่นเปลวอะลูมิเนียม) และบรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE หน่วยการทำงาน : 1,000 ลิตรของถุงบรรจุนม	การได้มาของวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน การขนส่ง การจัดการของเสีย (Cradle to grave)	- บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มลามิเนตมีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สูงกว่าบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเล็กน้อย - กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก มีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุดเนื่องจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเป็นวัตถุดิบและพลังงานในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก
Siracusa และคณะ (2011)	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของฟิล์มห่ออาหาร หนา 70 กับ 90 ไมครอน ผลิตจากเม็ดพลาสติก LDPE และ PA และศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลร้อยละ 50	การได้มาของวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน การขนส่ง การจัดการของเสีย (Cradle to grave)	- การลดความหนาของฟิล์มห่ออาหารทำให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมลดลงร้อยละ 23 - กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุด

ตารางที่ 2-6 (ต่อ) สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

งานวิจัย	รายละเอียดงานวิจัย	ขอบเขต	ผลการศึกษา
	วิธีการศึกษา : ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยLCA วิธี IMPACT 2002+ หน่วยการทำงาน : 1 ตารางเมตรของฟิล์มห่ออาหาร		– การผลิตผลิตภัณฑ์จากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในสัดส่วนร้อยละ 50 ช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ร้อยละ 70
Singh และคณะ (2011)	ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกสำหรับนม ชนิด HDPE วิธี CAPE PACK v2.04 และ The SavvyPack 2.0 หน่วยการทำงาน : 1 แกลลอน	การได้มาของวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน การจัดการของเสีย (Cradle to grave)	- กระบวนการได้มาของวัตถุดิบทำให้เกิดผลกระทบสูงสุด โดยเฉพาะในด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป
Muthu และคณะ (2011)	ศึกษารอยเท้าคาร์บอนโดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของถุงพลาสติกชนิด HDPE ถุงกระดาษคราฟท์ ถุงใยสังเคราะห์ซึ่งผลิตจาก PP และถุงผ้า วิธีการศึกษา : ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยLCA วิธี IPCC 2007 หน่วยการทำงาน : ปริมาณถุงพลาสติกที่ใช้ใน 1 ปี ของร้านขายของในจีน ฮ่องกง และอินเดีย	การได้มาของวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน การขนส่ง การจัดการของเสีย (Cradle to grave)	- ตั้งแต่กระบวนการได้มาของวัตถุดิบจนถึงการผลิตถุงใยสังเคราะห์ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด รองมาคือถุงผ้า ส่วนการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานโดยการใช้ซ้ำจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการนำกลับมาใช้ใหม่และการใช้หลุมฝังกลบ

ตารางที่ 2-6 (ต่อ) สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

งานวิจัย	รายละเอียดงานวิจัย	ขอบเขต	ผลการศึกษา
Wrap (2010)	ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุนมที่ผลิตจากพลาสติก HDPE วิธีการศึกษา : ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยLCA วิธี CML 2 Baseline 2000 หน่วยการทำงาน :1,000 pints (ไพนต์)	การได้มาของวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน การขนส่ง การจัดการของเสีย (Cradle to grave)	- การได้มาของวัตถุดิบเป็นกระบวนการที่ทำให้มีผลกระทบทุกด้านสูงสุด ยกเว้นด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำ - การรีไซเคิลเป็นวิธีจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติก HDPE ที่มีผลกระทบน้อยที่สุดทุกด้าน ยกเว้นการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำ
Harding และ Dennis (2007)	ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกชีวภาพ PHB เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับเม็ดพลาสติก PP และ PE ทั้งชนิด HDPE และ LDPE วิธีการศึกษา : ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยLCA วิธี CML 2 Baseline 2000 v2.03 หน่วยการทำงาน : 1,000 กิโลกรัมของเม็ดพลาสติก	การได้มาของวัตถุดิบ การขนส่ง กระบวนการผลิต (Cradle to gate)	- เม็ดพลาสติก PHB มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่น้อยกว่าเม็ดพลาสติก PP และ PE เนื่องจากใช้ทรัพยากรลดลง - ในกระบวนการผลิต PHB ซึ่งมีการปลูกอ้อยเพื่อใช้เป็นอาหารให้จุลินทรีย์ทำให้ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของสารอาหารสูงกว่าเม็ดพลาสติก PE - ผลกระทบส่วนใหญ่ของเม็ดพลาสติก HDPE จะต่ำกว่า LDPE ยกเว้นด้านการเกิดปฏิกิริยาโฟโต้ออกซิเดชั่นซึ่งเกิดจากการปล่อยก๊าซอีทีนในกระบวนการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2-6 (ต่อ) สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

งานวิจัย	รายละเอียดงานวิจัย	ขอบเขต	ผลการศึกษา
Chaffee และ คณะ (2007)	ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของถุงพลาสติก 3 ชนิด คือ ถุงพลาสติกหูหิ้ว ซึ่งทำจากเม็ดพลาสติกรีไซเคิล HDPE ถุงพลาสติกย่อยสลายได้ และถุงกระดาษ หน่วยการทำงาน : 1,000 ถุง	การได้มาของวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน การขนส่ง การจัดการของเสีย (Cradle to grave)	สรุปได้ว่า ถุงพลาสติกที่ทำจากเม็ดพลาสติกรีไซเคิล HDPE มีผลกระทบโดยรวมน้อยกว่าถุงกระดาษและถุงพลาสติกย่อยสลายได้ซึ่งทำจากเม็ดพลาสติกชนิดพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid; PLA) ผสมด้วยเม็ดพลาสติก EcoFlex เนื่องจากการใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิล

2.8.2 การนำข้อมูลมาใช้ในงานวิจัยนี้

จากข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์สามารถสรุปได้ว่า แม้ว่าพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจะได้รับความนิยมใช้ในหลากหลายผลิตภัณฑ์ เช่น ถุงหูหิ้ว ขวดน้ำดื่มขุ่น ขวดแชมพู ฝาขวดน้ำ ถังน้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังคงมีความไม่ชัดเจนเกี่ยวกับผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ภายใต้ขอบเขตแบบ Cradle to gate ครอบคลุมผลกระทบที่เกี่ยวข้องตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ การขนส่ง จนถึงการผลิตเป็นเม็ดพลาสติก ซึ่งพบว่าผลกระทบส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการได้มาของวัตถุดิบจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิต เช่น ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันดิบ เป็นต้น จึงทำให้เกิดผลกระทบสูงในด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ ทั้งนี้ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของถุงและแกลลอนพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงตลอดวัฏจักรชีวิต ครอบคลุมขอบเขตตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ การผลิตเป็นเม็ดพลาสติก การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การขนส่ง การใช้งาน และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงตลอดวัฏจักรชีวิต (Cradle to grave) จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ คือ ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุ

อาหารและแกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น โดยในงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงขอบเขตการศึกษาจากงานวิจัยของ Simoes, Pinto และ Bernardo (2014) ซึ่งทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของแผ่นพลาสติกสำหรับใช้ป้องกันแสงไฟสะท้อนเข้าตาผู้ขับขี่รถยนต์ (Anti-glare lamellae; AGL) ครอบคลุมผลกระทบที่เกี่ยวข้องตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ การผลิตเม็ดพลาสติก การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การใช้งาน การขนส่ง และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน (Cradle to grave) สำหรับหน่วยการทำงานได้อ้างอิงจากงานวิจัยของ Mori (2013) และอ้างอิงวิธีการศึกษาจากงานวิจัยของ Ingrao และคณะ (2015) ที่ใช้วิธี IMPACT 2002+ ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต ซึ่งเป็นวิธีการประเมินที่ได้รับความนิยมใช้ในระดับสากล ได้รับการพัฒนาขึ้นในปี 2555 โดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งชาติสวิส ณ เมืองโลซานน์ ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ (Swiss federal institute of technology in lausanne; EPFL) มีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 2 ขั้น คือ ผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint categories) และผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint categories) โดยผลกระทบขั้นกลางเป็นผลกระทบที่แสดงถึงปัญหาที่เกิดกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม มีจำนวน 15 ด้าน เช่น การเกิดภาวะโลกร้อน การใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป การเกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ เป็นต้น และผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint categories) แสดงผลการประเมินในรูปแบบของการประเมินความเสียหาย (Damage categories) จำนวน 4 ด้าน ได้แก่ สุขภาพมนุษย์ คุณภาพระบบนิเวศ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการใช้ทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

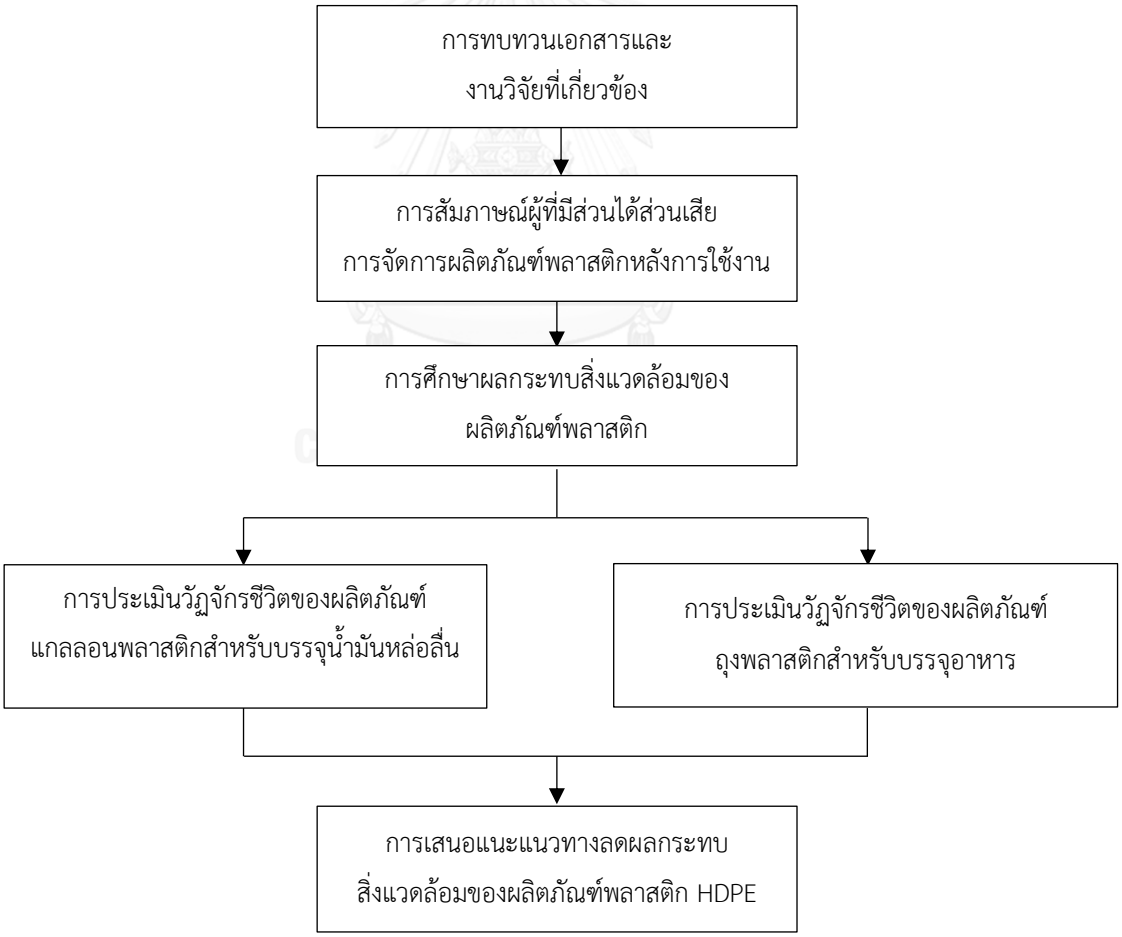
บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การดำเนินงานวิจัย

วิธีการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ดังนี้

1. การสัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกหลังการใช้งาน
2. การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติก HDPE
3. การเสนอแนะแนวทางลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติก HDPE

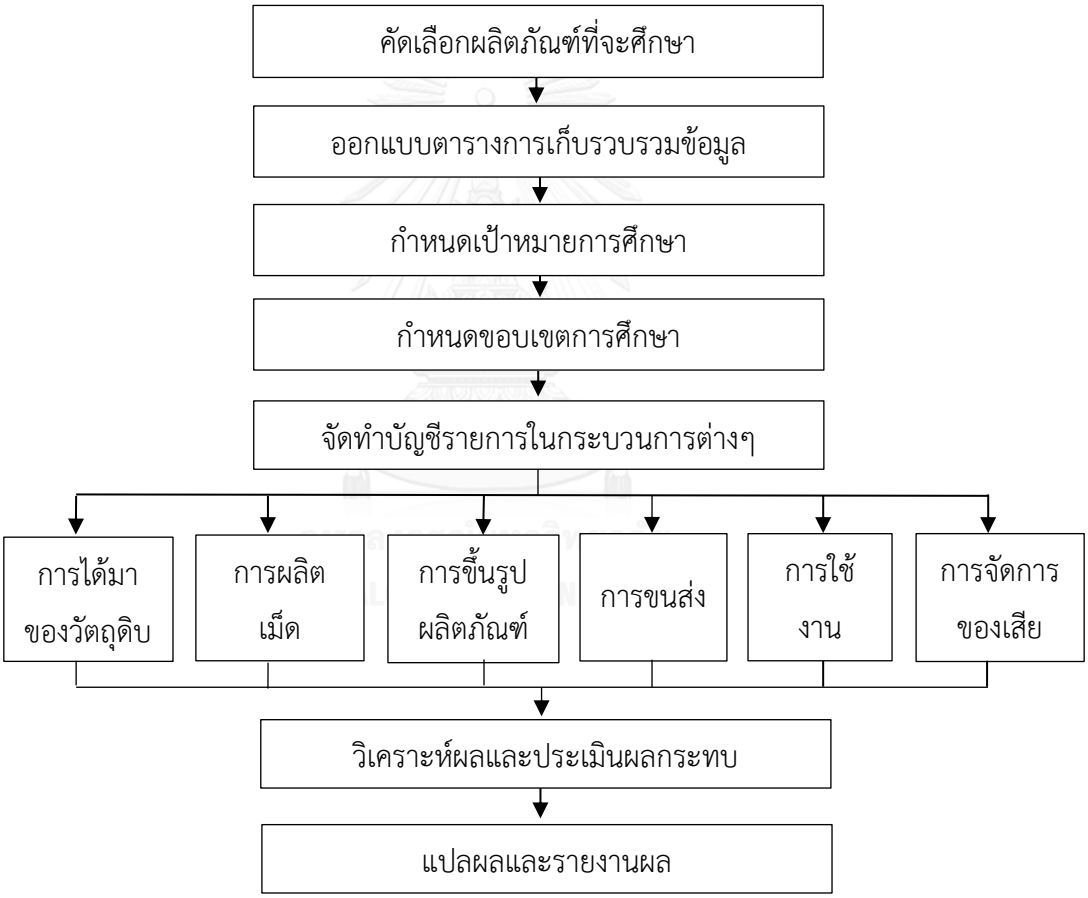
โดยแผนการดำเนินงานวิจัยจะแสดงดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 ผังการไหลแผนการดำเนินงานวิจัย

3.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

งานวิจัยนี้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง กำหนดขอบเขตการศึกษาแบบ Cradle to grave คือ พิจารณาตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ การผลิตเม็ดพลาสติก การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การขนส่ง การใช้งาน และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้มีทั้งข้อมูลที่ได้จากการสอบถามจากวิศวกรหรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตโดยตรง รวมทั้งจากการรวบรวมข้อมูลจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยผังการไหลของขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แสดงดังรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 ผังการไหลของขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

3.2.1 การคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะศึกษา

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์โรงงานผลิตเม็ดพลาสติก และโรงงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก พบว่า เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีปริมาณการใช้สูงในประเทศไทย นำไปผลิตเป็นแกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น และถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกทำการประเมินวัฏจักรชีวิต จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ คือ แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่นและถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร

3.2.2 การออกแบบตารางการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. จัดทำตารางเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ คือ แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่นและถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร โดยตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ตั้งแต่กระบวนการได้มาของวัตถุดิบ การผลิตเม็ดพลาสติก การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การขนส่ง การใช้งาน และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานในแต่ละกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิต

2. ข้อมูลที่เก็บรวบรวมในตารางการเก็บรวบรวมข้อมูล แสดงดังตารางที่ 3-1 ประกอบด้วย

- ข้อมูลทั่วไปของผลิตภัณฑ์
- ข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกในแต่ละกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิต คือ กระบวนการได้มาของวัตถุดิบ การผลิตเม็ดพลาสติก การขึ้นรูป การขนส่ง การใช้งาน และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน
  - ข้อมูลสารขาเข้า เช่น วัตถุดิบ พลังงานและสาธารณูปโภค
  - ข้อมูลสารขาออก เช่น มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ และกากของเสีย

โดยตัวอย่างรูปแบบตารางการเก็บรวบรวมข้อมูล แสดงดังตารางที่ 3-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3-1 ตัวอย่างรูปแบบตารางการเก็บรวบรวมข้อมูล

ชื่อโรงงาน		**รูปผลิตภัณฑ์**
ที่อยู่โรงงาน		
ผลิตภัณฑ์		
กำลังการผลิต		

1.กระบวนการได้มาของวัตถุดิบ			
มวลสารขาเข้า	**ปริมาณ**	**หน่วย**	**หมายเหตุ**
วัตถุดิบ			
1.เม็ดพลาสติก		kg	
2.สี		kg	
3.สารเคมี		kg	
4.อื่นๆ (โปรดระบุ)			
พลังงานและสาธารณูปโภค			
1.ไฟฟ้า		kwh	
2.เชื้อเพลิง (น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ)		(L, kg, m^3)	
3.ไอน้ำ		ton	
4.น้ำ		m^3	
5.อื่นๆ (โปรดระบุ)			
มวลสารขาออก	**ปริมาณ**	**หน่วย**	**หมายเหตุ**
น้ำเสีย		m^3	
1.BOD		mg/L	
2.COD		mg/L	
3.SS		mg/L	
4.อื่นๆ (โปรดระบุ)			
มลพิษอากาศ			
1.CO_2		kg	
2.SO_2		kg	
3.อื่นๆ (โปรดระบุ)			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3-1 (ต่อ) ตัวอย่างรูปแบบตารางการเก็บรวบรวมข้อมูล

มวลสารขาออก	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
กากของเสีย			
1.เศษพลาสติก		kg	
2.อื่นๆ (โปรดระบุ)			
2. กระบวนการขึ้นรูป			
มวลสารขาเข้า	**ปริมาณ**	**หน่วย**	**หมายเหตุ**
วัตถุดิบ			
1.เม็ดพลาสติก		kg	
2.สารเคมี		kg	
3. อื่นๆ (โปรดระบุ)			
พลังงานและสาธารณูปโภค			
1.ไฟฟ้า		kwh	
2.เชื้อเพลิง (น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ)		(L, kg, m^3)	
3.ไอน้ำ		ton	
4.น้ำ		m^3	
5.อากาศ		kg	
6.อื่นๆ (โปรดระบุ)			
มวลสารขาออก	**ปริมาณ**	**หน่วย**	**หมายเหตุ**
น้ำเสีย		m^3	
1.BOD		mg/L	
2.COD		mg/L	
3.SS		mg/L	
4.อื่นๆ (โปรดระบุ)			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3-1 (ต่อ) ตัวอย่างรูปแบบตารางการเก็บรวบรวมข้อมูล

มวลสารขาออก	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
มลพิษอากาศ			
1.CO_2		kg	
2.SO_2		kg	
3.อื่นๆ (โปรดระบุ)			
กากของเสีย			
1.เศษพลาสติก		kg	
2.อื่นๆ (โปรดระบุ)			

3.2.3 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจะดำเนินการตามขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14040:2006 และ ISO 14044:2006 ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงาน 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and scope definition)
2. การวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก (Inventory analysis)
3. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Life cycle impact assessment)
4. การแปลผลการศึกษา (Life cycle interpretation)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

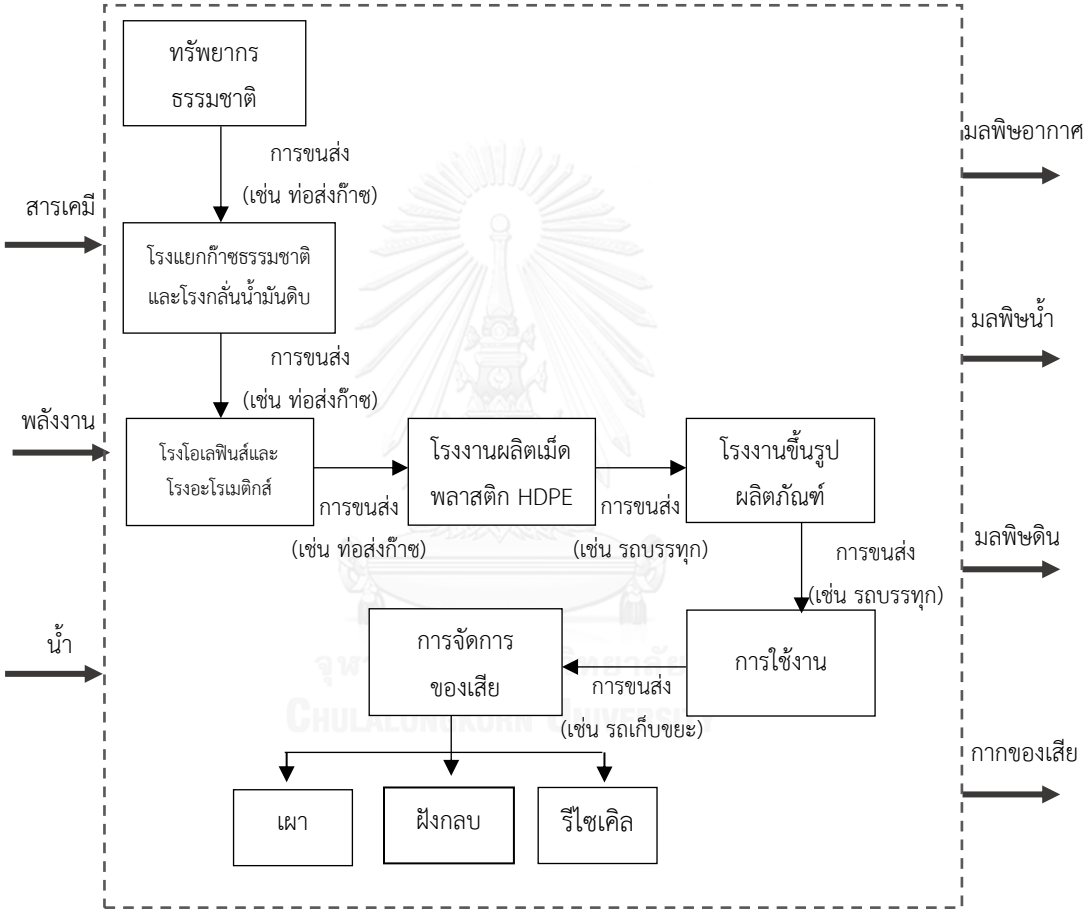
การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาเป็นขั้นตอนแรกของการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อให้เกิดความชัดเจนในวัตถุประสงค์ของการศึกษา ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การกำหนดเป้าหมาย การระบุผลิตภัณฑ์และหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ หน่วยการทำงาน และขอบเขตของการศึกษา

1.1) การกำหนดเป้าหมายการศึกษา

เป้าหมายของงานวิจัยนี้ คือ การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง จำนวน 2 กรณีศึกษา ประกอบด้วย ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารและแกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น เพื่อหาว่าผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านใดสูง และมาจากกระบวนการใด รวมถึงสามารถนำผลการประเมินที่ได้ไปใช้เสนอแนะแนวทางการลดผลกระทบของผลิตภัณฑ์

1.2) การกำหนดขอบเขตการศึกษา

การกำหนดขอบเขตของการศึกษาเป็นการกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลให้ถูกต้องตรงกับเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยจะแสดงถึงผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ หน่วยการทำงาน และขอบเขตของการศึกษา ซึ่งครอบคลุม Cradle to grave ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การขนส่ง การใช้งาน และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 ขอบเขตการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติก

2. การวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก

การจัดทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการต่างๆ ในระบบผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา ตามที่ได้กำหนดในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

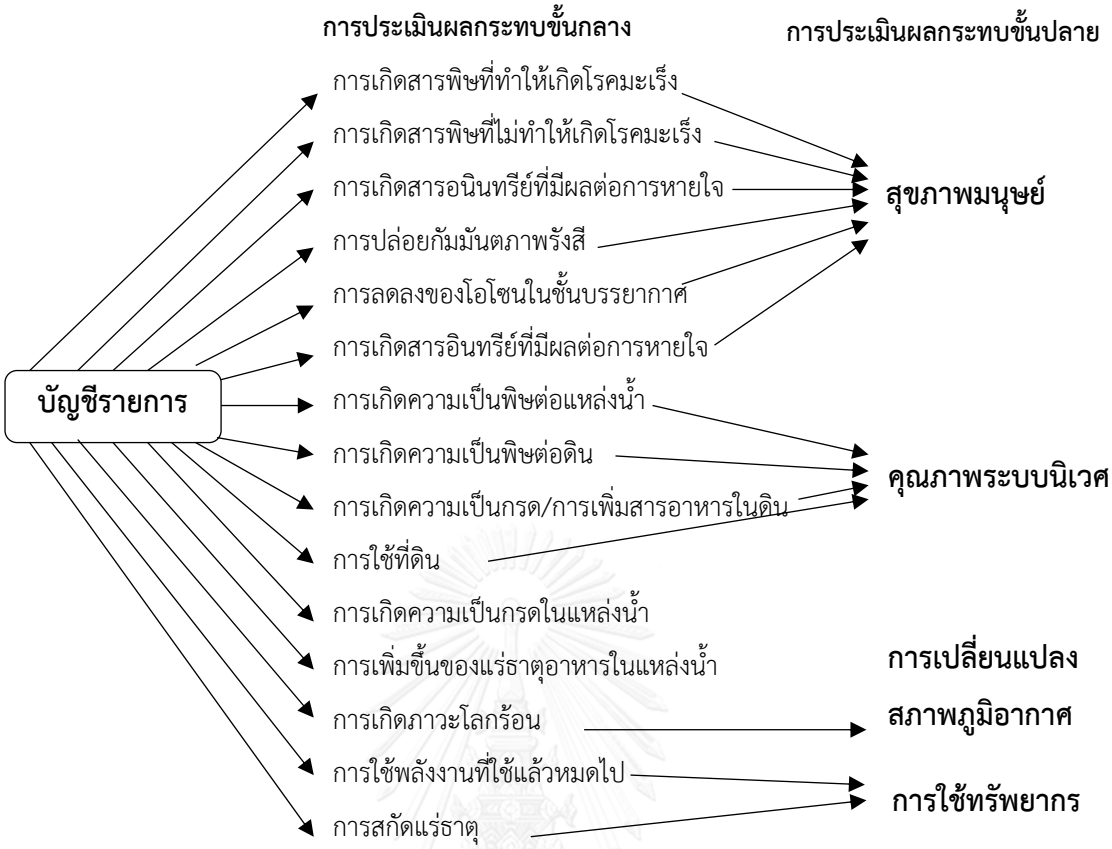
การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรก ประกอบด้วย กระบวนการได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การขนส่ง และการใช้งาน เป็นส่วนที่ใช้ทั้งข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ โดยข้อมูลปฐมภูมิเป็นข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่ศึกษากระบวนการผลิต การสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง และการเก็บข้อมูลจากวิศวกรในกระบวนการต่างๆ โดยตรง และข้อมูลทุติยภูมิจะเป็นข้อมูลที่มาจากการรวบรวมบทความ รายงาน เอกสารวิชาการ งานวิจัยต่างๆ ซึ่งจะเน้นการอ้างอิงข้อมูลในประเทศเป็นหลัก ส่วนที่สองกระบวนการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน เป็นส่วนที่อ้างอิงข้อมูลทุติยภูมิจากฐานข้อมูลในโปรแกรม SimaPro version 8.2 ที่มีความน่าเชื่อถือในระดับสากล คือ Ecoinvent 3.0

เมื่อได้ข้อมูลครบถ้วนแล้วจะต้องนำข้อมูลที่ได้มาทำสมดุลมวลสารเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล แล้วนำข้อมูลที่ได้มาเชื่อมโยงกับหน่วยการผลิตและการทำงาน เพื่อนำไปใช้ในการประเมินผลกระทบต่อไป

3. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ คือ การนำข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกจากทุกกระบวนการที่เกี่ยวข้องมาคำนวณ เพื่ออธิบายผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์โดยใช้โปรแกรม SimaPro version 8.2 ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธีการประเมิน IMPACT 2002+ version 2.12 ในการประเมินผลกระทบ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ครอบคลุมการประเมินผลกระทบทั้งทางด้านสุขภาพ ระบบนิเวศ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการใช้ทรัพยากร วิธีการนี้เป็นวิธีประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ถูกพัฒนาโดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งชาติสวิส ณ เมืองโลซานน์ ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ (Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne; EPFL) โดยลักษณะกลุ่มผลกระทบ เป็นไปตามแผนผังดังแสดงรูปที่ 3-5 ประกอบด้วย การประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint categories) และการประเมินผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint categories) ในรูปแบบของการประเมินความเสียหาย (Damage categories)

ขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะเริ่มจากการคัดเลือกกลุ่มผลกระทบแต่ละกลุ่ม (Impact categories) แล้วนำข้อมูลบัญชีรายการที่เก็บรวบรวมไว้มาจำแนกประเภทออกเป็นกลุ่มผลกระทบ (Classification) จากนั้นทำการกำหนดบทบาท (Characterization) ด้วยการคำนวณค่าผลกระทบสำหรับนำไปใช้แปลผลต่อไป



รูปที่ 3-4 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี IMPACT 2002+ version 2.12

การประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint categories) ประกอบด้วย 15 ผลกระทบ คือ

- การเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Carcinogens)
- การเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Non-carcinogens)
- การเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics)
- การปล่อยกัมมันตภาพรังสี (Ionizing radiation)
- การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone layer depletion)
- การเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory organics)
- การเกิดความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำ (Aquatic ecotoxicity)
- การเกิดความเป็นพิษต่อดิน (Terrestrial ecotoxicity)
- การเกิดความเป็นกรด/การเพิ่มสารอาหารในดิน (Terrestrial acidification/ nutrification)

- การใช้ที่ดิน (Land occupation)
- การเกิดความเป็นกรดในแหล่งน้ำ (Aquatic acidification)
- การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Aquatic eutrophication)
- การเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming)
- การใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy)
- การสกัดแร่ธาตุ (Mineral extraction)

การประเมินผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint categories) เป็นการแปลงค่าผลกระทบขั้นกลางด้านต่างๆ ให้อยู่ในรูปแบบของกลุ่มความเสียหาย (Damage categories) 4 กลุ่มหลัก ได้แก่

- ความเสียหายด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดปีสุขภาวะที่สูญเสียไปจากโรคและการบาดเจ็บของประชากร (Disability-adjusted life year: DALY)
- ด้านคุณภาพระบบนิเวศ (Ecosystem quality) ซึ่งจะบ่งชี้ศักยภาพการสูญหายของสายพันธุ์บนพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในช่วงระยะเวลา 1 ปี (PDF*m^2*yr)
- การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) ซึ่งจะแสดงผลในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO_2eq.)
- ด้านการใช้ทรัพยากร (Resource) ซึ่งจะแสดงผลในรูปของพลังงานขึ้นต้น หน่วยเมกะจูล (Megajoule; MJ)

ทำการคำนวณหาปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละกลุ่มของผลกระทบ โดยคำนวณให้อยู่ในรูปของปริมาณสารอ้างอิงในแต่ละกลุ่มของผลกระทบนั้นๆ เชน สารที่กอใหเกิดภาวะโลกรอนจะถูกคำนวณใหอยูในหนวยของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 – equivalent) เปนตน คาผลกระทบตอสิ่งแวดลอมในแตละกลุ่มของผลกระทบสามารถคำนวณไดจากสมการที่ 3-1

$$\text{Emission} = \sum(\text{Activity} \times \text{Emission Factor}) \qquad \text{สมการที่ 3-1}$$

โดย Emission คือ ปริมาณมลพิษที่ปล่อยออก

Activity คือ ปริมาณสารที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มต่างๆ

Emission factor คือ ค่าแฟคเตอร์ของสารต่างๆ โดยจะแสดงตัวอย่างดังตารางที่ 3-2

ค่าแฟคเตอร์ของสารต่างๆได้ข้อมูลมาจากโปรแกรม SimaPro version 8.2 โดยค่าแฟคเตอร์และหน่วยของค่าแฟคเตอร์จะแตกต่างกันไปตามแต่ละกลุ่มผลกระทบ

ตารางที่ 3-2 ตัวอย่าง Emission factor สำหรับกรณีภาวะโลกร้อน
(IPCC, 2007)

ชื่อสาร	สูตรเคมี	GWP (100 ปี) gCO_2-eq/g substance
คาร์บอนไดออกไซด์	CO_2	1
มีเทน	CH_4	25
ไนตรัสออกไซด์	N_20	298
ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน	HFCs	124-14,800
ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์	SF_6	22,800
เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน	PFCs	7,500-12,200

นอกจากนี้ยังมีขั้นตอนการเทียบหน่วย (Norrmalization) เพื่อแสดงให้เห็นว่าแต่ละกลุ่มผลกระทบมีความสัมพันธ์กับภาพรวมผลกระทบสิ่งแวดล้อมอย่างไร โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3-2

Norrmalization impact score = Emission/ Normalization value สมการที่ 3-2

โดย Normalization impact score คือ ค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เป็นสัดส่วนจากการกระทำของคน 1 คน ในแต่ละประเภทของผลกระทบ

Normalization value คือ ค่าอ้างอิงปริมาณผลกระทบใดๆ ที่เกิดจากการกระทำของคน 1 คน

4. การแปลผลการศึกษา

ขั้นตอนนี้จะนำผลการศึกษาจากการวิเคราะห์บัญชีรายการและการประเมินผลกระทบมาเชื่อมโยงเพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผล พิจารณาข้อจำกัด การให้ข้อเสนอแนะที่มาจากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตและการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม รวมถึงการทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้เข้าใจง่าย สมบูรณ์ครบถ้วน มีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

โดยต้องสามารถสรุปผลได้ว่ากระบวนการใดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละกระบวนการซึ่งจะช่วยให้สามารถเสนอแนะแนวทางการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมได้

3.3 การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับงานวิจัยอื่น

ทำการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับงานวิจัยอื่นๆ ที่ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหน่าแน่นสูงและผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดอื่น เพื่อวิเคราะห์วิธีการที่เหมาะสมสำหรับการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกและเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติกให้น้อยที่สุด

3.4 การสัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้องกับการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกหลังการใช้งาน

เนื่องจากข้อมูลการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ คือ แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น และถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร ยังไม่มีการศึกษามในเชิงปริมาณในประเทศไทย ดังนั้นจึงต้องทำการสัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้องกับการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกหลังการใช้งาน ซึ่งข้อมูลจากการสัมภาษณ์จะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการประเมินวิธีการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกหลังการใช้งาน และใช้วิเคราะห์เพื่อเสนอแนะแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติก อันนำไปสู่การจัดการสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนของผลิตภัณฑ์พลาสติก โดยกลุ่มเป้าหมายในการสัมภาษณ์ ประกอบด้วย

1. หน่วยงานราชการและสมาคมผู้ผลิตพลาสติกในประเทศ ได้แก่ กรมควบคุมมลพิษ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม และสถาบันพลาสติก

2. บริษัทเอกชนที่รับกำจัดขยะและกากอุตสาหกรรมด้วยการเผาในเตาปูนซีเมนต์ ได้แก่ บริษัท เอสซีไอ อีโค่ เซอร์วิสเซส จำกัด และบริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน)

3.5 การเสนอแนะแนวทางลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติก

ทำการวิเคราะห์ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต เพื่อนำเสนอแนวทางลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยเน้นหลักการ 3Rs คือ การลดการใช้ (Reduce) การใช้ซ้ำ (Reuse) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) เพื่อเป็นแนวทางการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตน้อยที่สุด

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene; HDPE) จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ คือ แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น และถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร

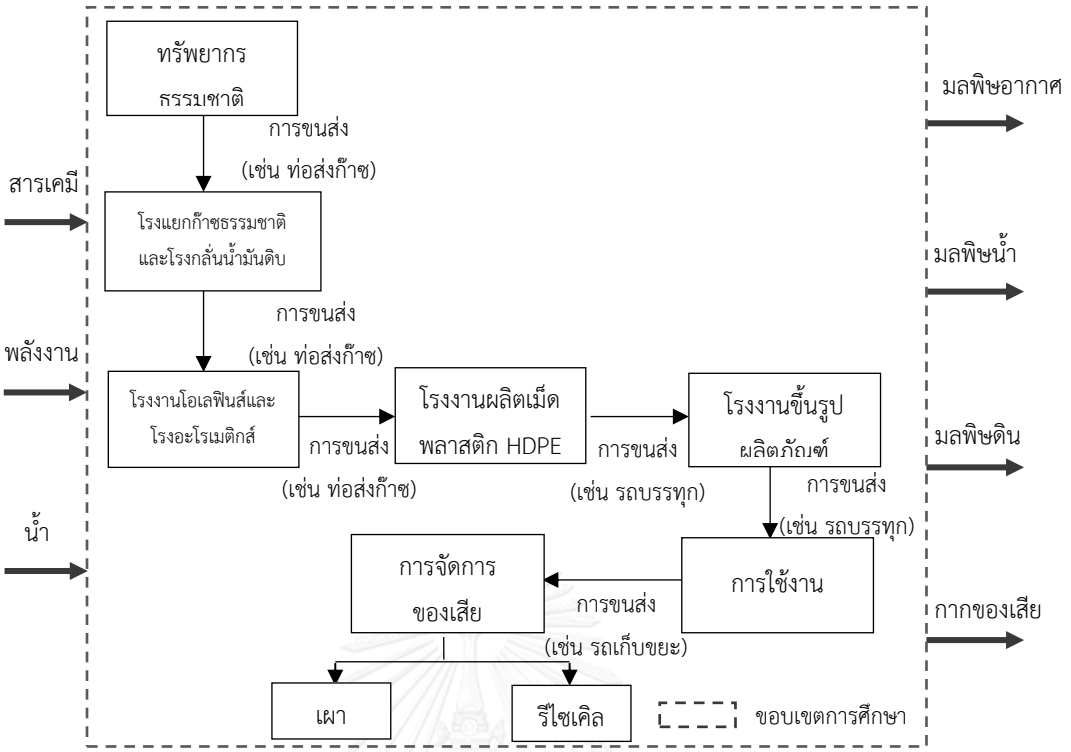
4.1.1 ผลิตภัณฑ์ที่ 1 แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของแกลลอนพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น โดยการประเมินวัฏจักรชีวิต หน่วยการทำงาน คือ แกลลอนพลาสติก 1 แกลลอน ขนาด 6 ลิตร ดังรูปที่ 4-1

รูปที่ 4-1 แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น

ขอบเขตการศึกษาครอบคลุม Cradle to grave เริ่มตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การขนส่ง การใช้งาน และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 4-2



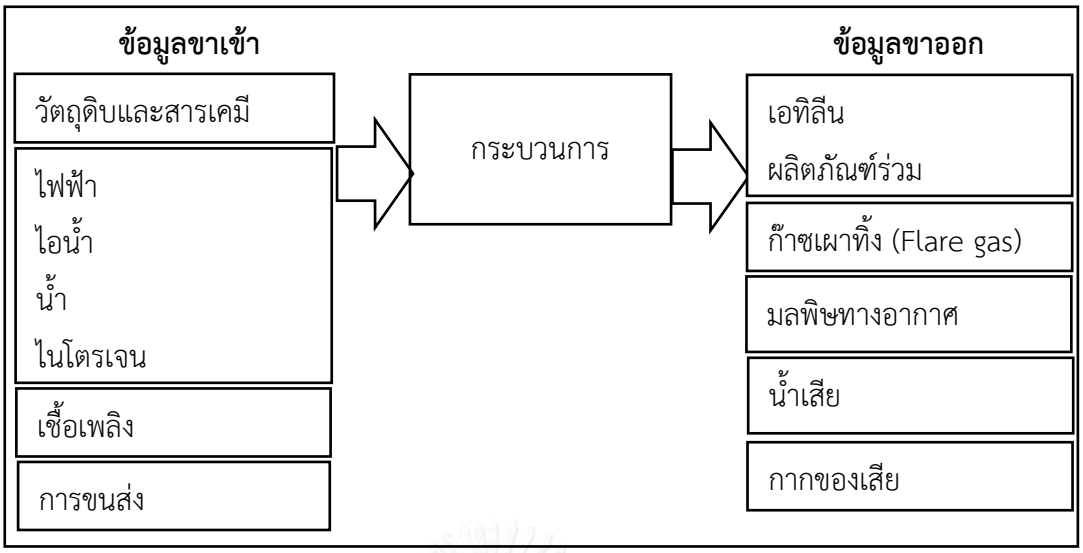
รูปที่ 4-2 ขอบเขตการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แกลลอนพลาสติก

2) การวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก

การจัดเก็บบัญชีรายการมวลสารขาเข้าและขาออกของแกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงตลอดวัฏจักรชีวิต จะใช้ทั้งข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ แบ่งการเก็บข้อมูลเป็น 4 กระบวนการ คือ การได้มาของวัตถุดิบ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การใช้งาน และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ส่วนข้อมูลการขนส่งจะถูกรวมอยู่ใน 4 กระบวนการดังกล่าว โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1) กระบวนการได้มาของวัตถุดิบ

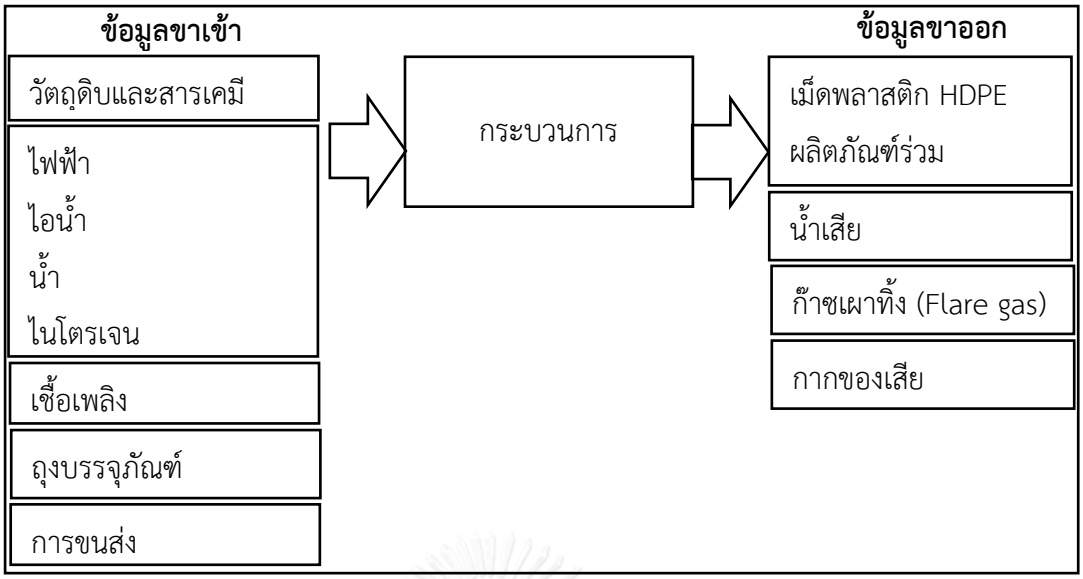
การรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการของกระบวนการได้มาของวัตถุดิบมีทั้งข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ ซึ่งข้อมูลปฐมภูมิได้จากการสอบถามข้อมูลของแต่ละกระบวนการในช่วงระยะเวลา 1 ปี จากวิศวกรและผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตโดยตรง โดยข้อมูลปฐมภูมิในส่วนนี้เป็นข้อมูลกระบวนการผลิตก๊าซเอทิลีนในโรงโอเลฟินส์และโรงอะโรเมติกส์ และกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง รวมถึงข้อมูลการขนส่งซึ่งเป็นการขนส่งวัตถุดิบ สารเคมี พลังงาน และสาธารณูปโภค เชื้อเพลิง และของเสียต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ส่วนข้อมูลทุติยภูมิซึ่งเป็นข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการได้มาของวัตถุดิบ จะอ้างอิงจากฐานข้อมูลที่ได้รับความน่าเชื่อถือในระดับสากล คือ Ecoinvent 3.0 โดยข้อมูลบัญชีรายการขาเข้าและขาออกแสดงดังในรูปที่ 4-3 และ 4-4 และตารางที่ 4-1 และ 4-2



รูปที่ 4-3 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการผลิตก๊าซเอทิลีนต่อหน่วยการทำงาน 1 แกลลอน

ตารางที่ 4-1 บัญชีรายการมวลสารของการผลิตก๊าซเอทิลีนต่อหน่วยการทำงาน 1 แกลลอน

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
มวลสารขาเข้า			
วัตถุดิบ	7.408E-1	กิโลกรัม/แกลลอน	
สารเคมี	1.318E-1	กิโลกรัม/แกลลอน	
ไฟฟ้า	9.513E-2	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/แกลลอน	
ไอน้ำ	1.284	เมกะจูล/แกลลอน	
น้ำ	2.959	กิโลกรัม/แกลลอน	
ไนโตรเจน	5.986E-1	กิโลกรัม/แกลลอน	
เชื้อเพลิง	3.869	เมกะจูล/แกลลอน	
การขนส่ง	1.114E-2	ตัน-กิโลเมตร/แกลลอน	
มวลสารขาออก			
ก๊าซเอทิลีน	3.537E-1	กิโลกรัม/แกลลอน	
ผลิตภัณฑ์ร่วม	3.009E-1	กิโลกรัม/แกลลอน	
ก๊าซเผาทิ้ง (Flare gas)	4.928E-3	ลูกบาศก์เมตร/แกลลอน	
มลพิษทางอากาศ	9.908E-5	กิโลกรัม/แกลลอน	
น้ำเสีย	2.761E-1	ลูกบาศก์เมตร/แกลลอน	
กากของเสีย	3.990E-5	กิโลกรัม/แกลลอน	



รูปที่ 4-4 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ต่อหน่วยการทำงาน 1 แกลลอน

ตารางที่ 4-2 บัญชีรายการมวลสารของการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ต่อหน่วยการทำงาน 1 แกลลอน

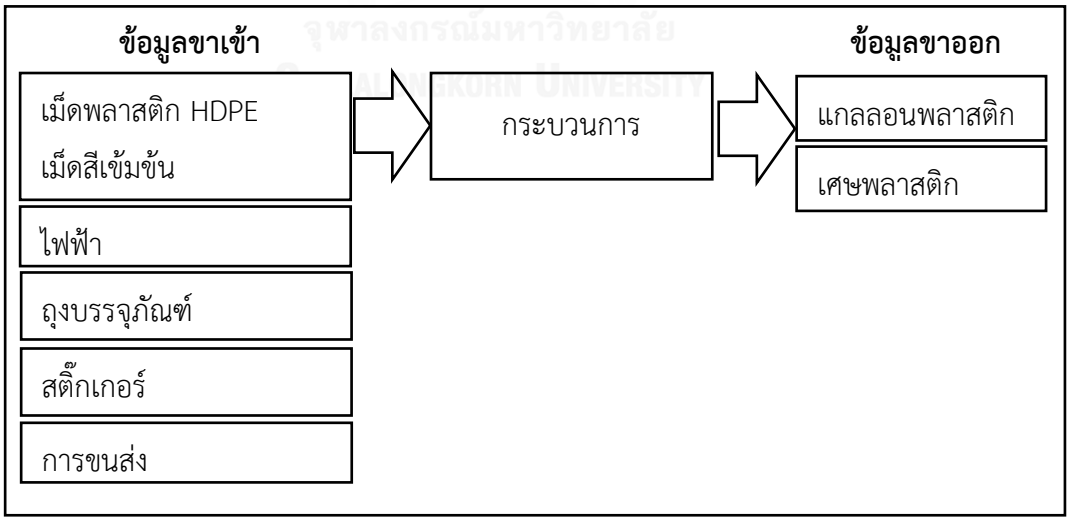
รายการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
มวลสารขาเข้า			
ก๊าซเอทิลีน	3.537E-1	กิโลกรัม/แกลลอน	
วัตถุดิบและสารเคมีอื่นๆ	4.164E-3	กิโลกรัม/แกลลอน	
ถุงบรรจุภัณฑ์	2.670E-3	กิโลกรัม/แกลลอน	
ไฟฟ้า	4.368E-1	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/แกลลอน	
ไอน้ำ	1.704E-1	เมกะจูล/แกลลอน	
น้ำ	8.746E-1	กิโลกรัม/แกลลอน	
ไนโตรเจน	1.537E-2	กิโลกรัม/แกลลอน	
เชื้อเพลิง	5.763E-4	เมกะจูล/แกลลอน	
การขนส่ง	4.693E-3	ตัน-กิโลเมตร/แกลลอน	
มวลสารขาออก			
เม็ดพลาสติก HDPE	3.437E-1	กิโลกรัม/แกลลอน	
ผลิตภัณฑ์ร่วม	3.759E-3	กิโลกรัม/แกลลอน	
ก๊าซเผาทิ้ง (Flare gas)	3.654E-3	ลูกบาศก์เมตร/แกลลอน	
น้ำเสีย	1.012E-4	ลูกบาศก์เมตร/แกลลอน	
กากของเสีย	4.237E-7	กิโลกรัม/แกลลอน	

2.2) กระบวนการขึ้นรูปแกลลอนพลาสติก

ข้อมูลส่วนนี้ได้จากข้อมูลปฐมภูมิเป็นหลัก ซึ่งมาจากการลงพื้นที่ศึกษากระบวนการผลิตและสอบถามข้อมูลบัญชีรายการของกระบวนการขึ้งรูปแกลลอนพลาสติกจากวิศวกรในโรงงานโดยตรง โดยพบว่าการผลิตแกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่นนี้จะเริ่มด้วยการผสมเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene; HDPE) กับเม็ดสีเข้มข้น (Masterbatches) จากนั้นจะถูกส่งไปยังกระบวนการขึ้นรูปเป็นแกลลอนพลาสติกด้วยการเป่า (Extrusion blow molding) เสร็จแล้วจะถูกนำมาตัดแต่งชิ้นงานและติดฉลากผลิตภัณฑ์ สุดท้ายแกลลอนที่ผลิตได้จะถูกนำไปบรรจุหีบห่อพร้อมส่งให้กับผู้ใช้งาน ส่วนเศษพลาสติกและเศษกระดาษมันที่เหลือจากการลอกแผ่นสติ๊กเกอร์ออกจะถูกขายต่อให้กับโรงงานรีไซเคิล และสำหรับการขนส่งในกระบวนการนี้จะเป็นข้อมูลการขนส่งของเม็ดพลาสติก เม็ดสีเข้มข้น บรรจุภัณฑ์ สติ๊กเกอร์ และของเสียต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4-5 และตารางที่ 4-3

2.3) การใช้งาน

ขั้นตอนการใช้งานแกลลอนพลาสติกจะไม่มีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไม่มีการใช้พลังงานรวมถึงไม่มีการเติมสารใดๆ เข้าไปในขั้นตอนนี้ สำหรับการขนส่งของการใช้งานจะเป็นข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้คิดเทียบต่อ 1 แกลลอนพลาสติก คูณกับระยะการขนส่งไปยังลูกค้าของโรงงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงคิดเป็นค่าการขนส่งในส่วนของการใช้งานได้เท่ากับ 3.131E-2 ตัน-กิโลเมตร/แกลลอน



รูปที่ 4-5 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการผลิตแกลลอนพลาสติกต่อหน่วยการทำงาน 1 แกลลอน

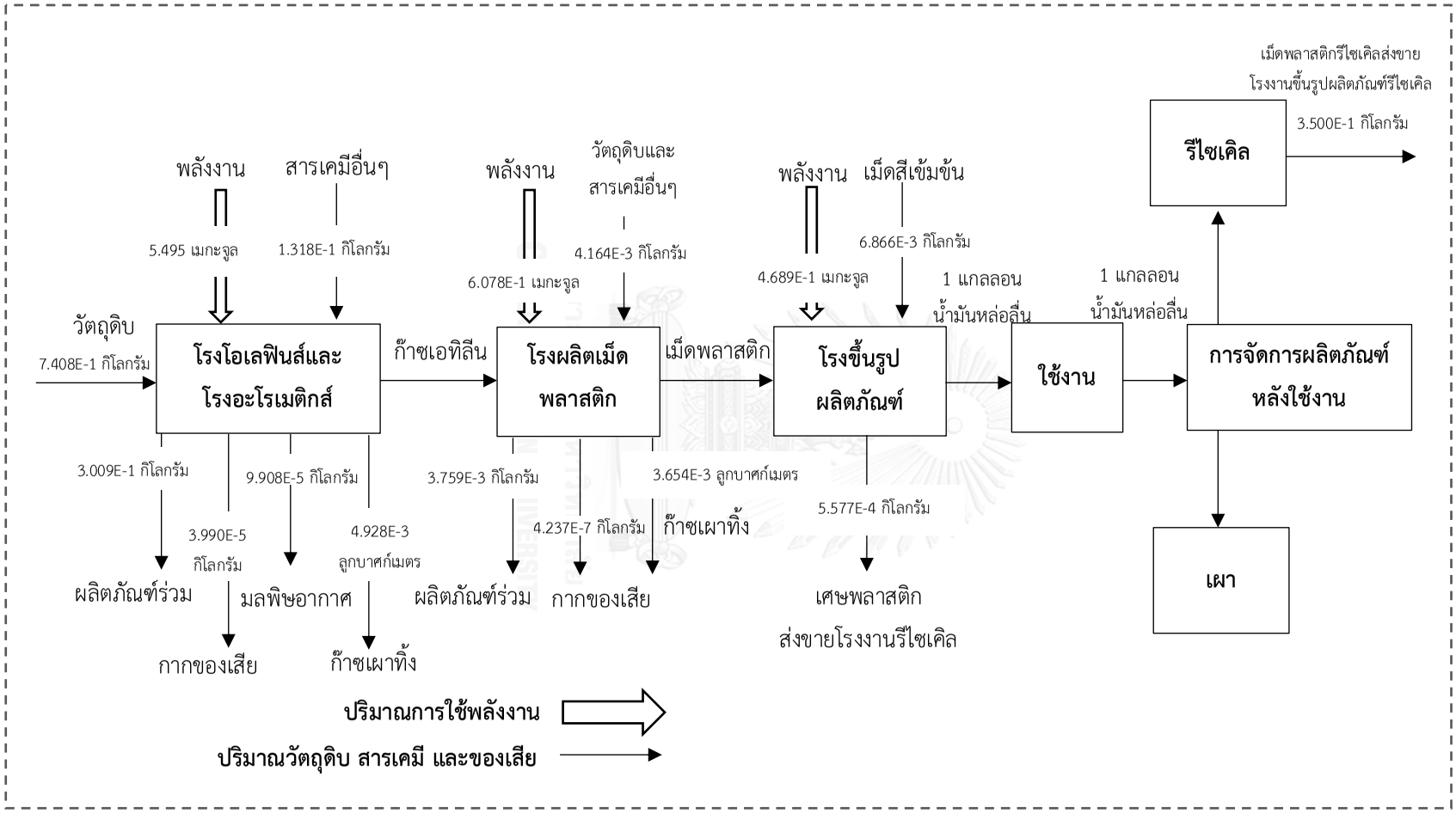
ตารางที่ 4-3 บัญชีรายการมวลสารของการผลิตแกลลอนพลาสติกต่อหน่วยการทำงาน 1 แกลลอน

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
มวลสารขาเข้า			
เม็ดพลาสติก HDPE	3.437E-1	กิโลกรัม/แกลลอน	
เม็ดสีเข้มข้น	6.866E-3	กิโลกรัม/แกลลอน	
ถุงบรรจุภัณฑ์	9.287E-3	กิโลกรัม/แกลลอน	
สติ๊กเกอร์	3.920E -3	กิโลกรัม/แกลลอน	
ไฟฟ้า	4.689E-1	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/แกลลอน	
การขนส่ง	9.687E-2	ตัน-กิโลเมตร/แกลลอน	
มวลสารขาออก			
ถุงพลาสติก	3.500E-1	กิโลกรัม/แกลลอน	
เศษพลาสติก	5.577E-4	กิโลกรัม/แกลลอน	ส่งขายโรงงานรีไซเคิล

2.4) การจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน

การจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน จะอ้างอิงจากฐานข้อมูล Ecoinvent 3.0 โดยแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการรีไซเคิล (Recycle) เนื่องจากผลการสอบถามและสัมภาษณ์หน่วยงานเอกชนที่รับกำจัดขยะอันตรายด้วยวิธีเผาทำลายในเตาเผาปูนซีเมนต์ในประเทศไทย สรุปได้ว่า ปัจจุบันแกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วในประเทศไทยจะถูกขายให้กับโรงงานรีไซเคิลเพื่อนำมาขึ้นรูปเป็นเม็ดพลาสติกรีไซเคิล และกรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา (Incineration) เนื่องจากตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 และพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 กำหนดให้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้บรรจุน้ำมันหล่อลื่นจัดเป็นขยะอันตราย (Hazardous waste) จึงต้องจัดการด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง ในส่วนข้อมูลการขนส่งจะอ้างอิงข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ ที่กำหนดรัศมีการเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยของศูนย์จัดการขยะมูลฝอยสำหรับกลุ่มพื้นที่ชุมชนขนาดใหญ่ที่สุดไม่เกิน 50 กิโลเมตร โดยในการขนส่งจะใช้รถบรรทุก 10 ล้อ ขนาดบรรทุกสูงสุด 16 ตัน ซึ่งเมื่อนำปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วเทียบต่อ 1 แกลลอนพลาสติก คูณกับระยะทางที่ต้องขนส่งไปศูนย์จัดการขยะมูลฝอย จะสามารถคิดเป็นค่าการขนส่งในส่วนของการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานได้เท่ากับ 1.750E-2 ตัน-กิโลเมตร/แกลลอน

เมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกครบถ้วนแล้ว นำข้อมูลทั้งหมดมาจัดทำสมดุลมวลสารขาเข้าและขาออกของปริมาณวัตถุดิบ สารเคมีที่ใช้ และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น รวมถึงพลังงานที่ใช้ในแต่ละกระบวนการ โดยแผนผังแสดงสมดุลมวลสารของแกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่นต่อหน่วยการทำงาน 1 แกลลอน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4-6



รูปที่ 4-6 สมดุลมวลสารของแกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่นต่อหน่วยการทำงาน 1 แกลลอน

3. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการแปลผลการศึกษา

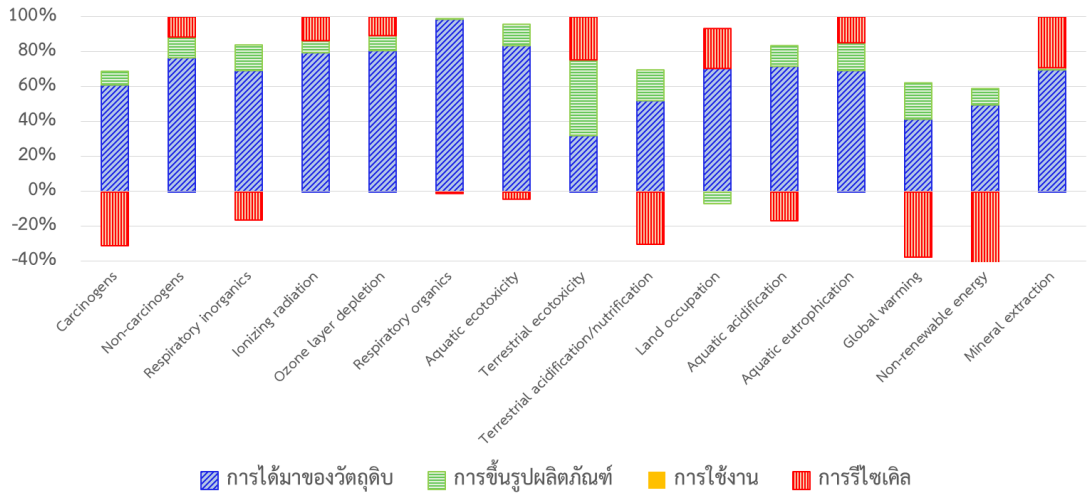
3.1) ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลาง (Midpoint categories)

จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งเป็นผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของแกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้วิธีการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานโดยการรีไซเคิล ดังแสดงผลในรูปที่ 4-7 พบว่า ผลกระทบสูงสุดเกิดจากการได้มาของวัตถุดิบเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ซึ่งเป็นผลกระทบรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ โรงแยกก๊าซธรรมชาติและโรงกลั่นน้ำมันดิบ โรงโอเลฟินส์และโรงอะโรเมติกส์ และการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง มีค่าสูงสุดในทุกด้านของผลกระทบ เนื่องจากเม็ดพลาสติกใช้ก๊าซเอทิลีนเป็นวัตถุดิบ และมีการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลในปริมาณสูง

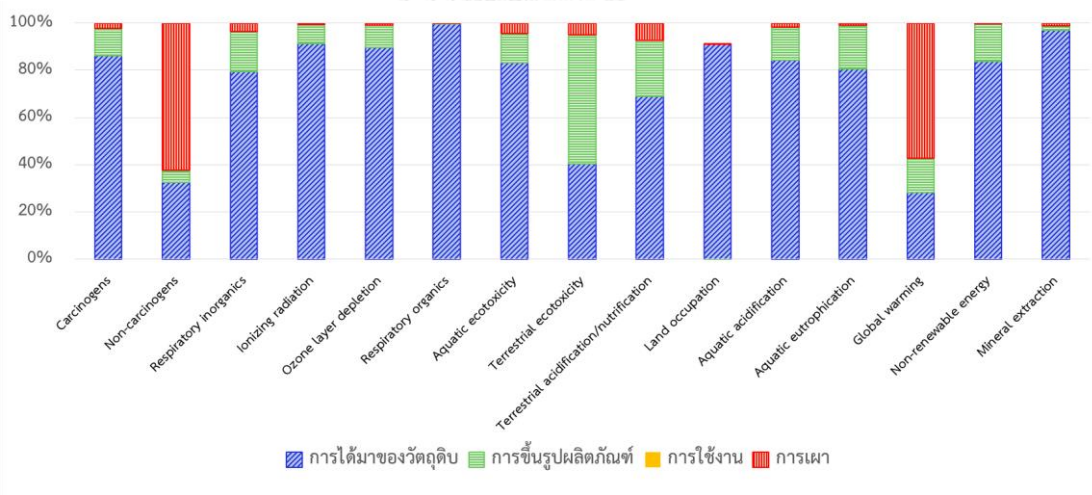
นอกจากนี้ยังพบว่า การจัดการด้วยการรีไซเคิลให้ค่าผลกระทบในหลายๆ ด้านเป็นลบ ซึ่งช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ 8 ผลกระทบ จากทั้งหมด 15 ผลกระทบ ได้แก่ การเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Carcinogens) การเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics) การเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory organics) การเกิดความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำ (Aquatic ecotoxicity) การเกิดความเป็นกรด/การเพิ่มสารอาหารในดิน (Terrestrial acidification/nutrification) การเกิดความเป็นกรดในแหล่งน้ำ (Aquatic acidification) การเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) และการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy)

ในขณะที่การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกรณีศึกษาที่ 2 ซึ่งเป็นผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของแกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้วิธีการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานโดยการการเผา ดังแสดงผลในรูปที่ 4-8 พบว่า ผลกระทบจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีค่าสูงที่สุด ยกเว้นผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Non-carcinogens) และการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ที่มีผลกระทบสูงสุดจากการจัดการด้วยการเผา เนื่องจากการเผาทำลายผลิตภัณฑ์พลาสติกทำให้เกิดการปล่อยมลพิษหลายชนิด เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ออกไซด์ และโลหะหนัก เป็นต้น และผลกระทบด้านการเกิดความเป็นพิษต่อดิน (Terrestrial ecotoxicity) ที่มีผลกระทบสูงสุดจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้จากรูปจะเห็นว่าผลกระทบด้านการใช้ที่ดิน (Land occupation) ไม่มีผลกระทบจากกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการรีไซเคิลเศษเม็ดพลาสติกและเศษกระดาษที่เหลือจากการลอกแผ่นสติ๊กเกอร์จึงทำให้ผลกระทบในด้านนี้โดยรวมของกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์มีค่าติดลบ

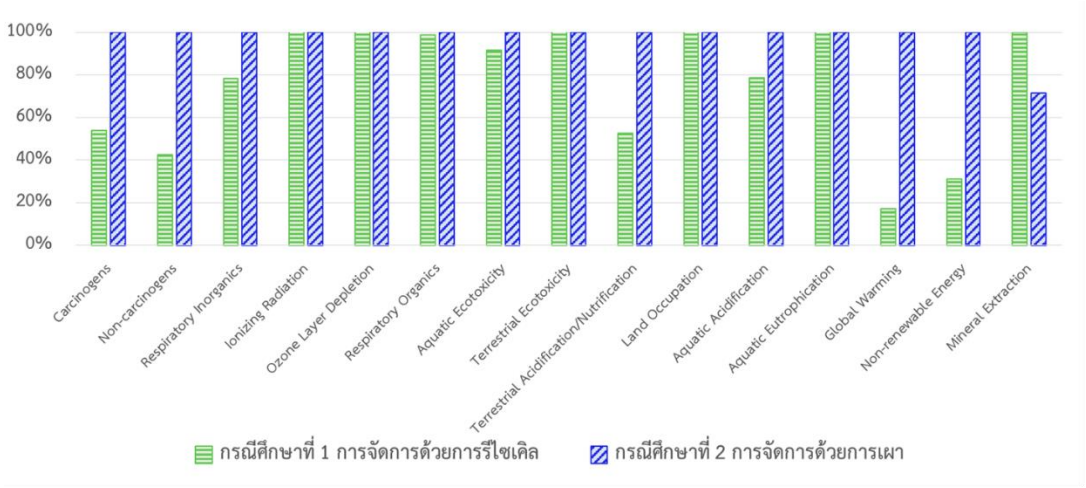
และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบจากกรณีศึกษาทั้ง 2 กรณี พบว่า กรณีศึกษาที่ 2 มีผลกระทบสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 1 ทุกด้าน ยกเว้นด้านการสกัดแร่ธาตุ (Mineral extraction) เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการรีไซเคิลพลาสติก ดังแสดงผลในรูปที่ 4-9



รูปที่ 4-7 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการรีไซเคิล



รูปที่ 4-8 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา



รูปที่ 4-9 เปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการรีไซเคิลและการเผาผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน

3.2) ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นปลาย (Endpoint categories)

จากผลการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลางของแกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่นสามารถนำมาคำนวณโดยใช้ค่าแฟคเตอร์ (Damage factor) อ้างอิงตามวิธีการ IMPACT 2002+ version 2.12 เพื่อให้เป็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นปลาย (Endpoint categories) ดังแสดงในตารางที่ 4-4 และการวิเคราะห์ความเสียหาย (Damage assessment) ดังแสดงในตารางที่ 4-5 พบว่ากรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งเป็นการจัดการผลิตภัณฑ์หลังใช้งานด้วยการรีไซเคิลมีผลกระทบโดยรวมทุกด้านต่ำกว่ากรณีศึกษาที่ 2 ยกเว้นด้านคุณภาพระบบนิเวศ (Ecosystem quality) ที่กรณีศึกษาที่ 1 มีค่าผลกระทบโดยรวมสูงกว่ากรณีที่ 2 เล็กน้อย และเมื่อพิจารณาค่าผลกระทบในกรณีศึกษาที่ 1 พบว่าผลกระทบทั้ง 4 ด้าน เกิดจากกระบวนการได้มาของวัตถุดิบสูงสุด รองลงมาคือการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ส่วนในกรณีศึกษาที่ 2 ผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) ด้านการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) และ ด้านคุณภาพระบบนิเวศ (Ecosystem quality) เกิดจากการได้มาของวัตถุดิบสูงสุด ในขณะที่ผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) เกิดจากการเผาผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานสูงสุด เนื่องจากการเผาผลิตภัณฑ์จะก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ตารางที่ 4-4 ผลการคำนวณผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint categories) ของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น

กลุ่มผลกระทบ	หน่วย	การได้มาของวัตถุดิบ	การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์	การใช้งาน	การจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน		รวม
Carcinogens	DALY	5.791E-7	7.693E-8	-	การรีไซเคิล	-2.935E-7	3.626E-7
					การเผา	1.390E-8	6.699E-7
Non-carcinogens	DALY	4.003E-8	6.198E-9	-	การรีไซเคิล	5.919E-9	5.215E-8
					การเผา	7.642E-8	1.227E-7
Respiratory inorganics	DALY	3.942E-7	8.454E-8	-	การรีไซเคิล	-9.049E-8	3.883E-7
					การเผา	1.704E-8	4.958E-7
Ionizing radiation	DALY	9.673E-10	8.409E-11	-	การรีไซเคิล	1.643E-10	1.216E-9
					การเผา	6.155E-12	1.058E-9
Ozone layer depletion	DALY	1.462E-10	1.506E-11	-	การรีไซเคิล	1.955E-11	1.808E-10
					การเผา	1.228E-12	1.625E-10
Respiratory organics	DALY	1.918E-7	2.272E-10	-	การรีไซเคิล	-1.903E-9	1.901E-7
					การเผา	3.225E-11	1.921E-7
Aquatic ecotoxicity	PDF*m^2*yr	3.854E-3	5.709E-04	-	การรีไซเคิล	-1.874E-4	4.238E-3
					การเผา	1.975E-4	4.623E-3
Terrestrial ecotoxicity	PDF*m^2*yr	9.692E-3	1.304E-2	-	การรีไซเคิล	7.455E-3	3.019E-2
					การเผา	1.177E-3	2.391E-2
Terrestrial acid/nutri	PDF*m^2*yr	8.935E-3	3.064E-3	-	การรีไซเคิล	-5.176E-3	6.824E-3
					การเผา	9.281E-04	1.293E-2
Land occupation	PDF*m^2*yr	5.614E-3	-5.282E-4	-	การรีไซเคิล	1.805E-3	6.892E-3
					การเผา	2.749E-5	5.114E-3
Aquatic acidification	-	-	-	-	การรีไซเคิล	-	-
					การเผา	-	-
Aquatic eutrophication	-	-	-	-	การรีไซเคิล	-	-
					การเผา	-	-
Global warming	kg CO_2 eq	5.187E-1	2.649E-1	-	การรีไซเคิล	-4.694E-1	3.142E-1
					การเผา	1.049	1.833
Non-renewable energy	MJ primary	2.999E+1	5.640	-	การรีไซเคิล	-2.448E+1	1.115E+1
					การเผา	8.415E-02	3.571E+1
Mineral extraction	MJ primary	7.695E-4	1.366E-5	-	การรีไซเคิล	3.231E-4	1.106E-3
					การเผา	7.993E-6	7.911E-4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

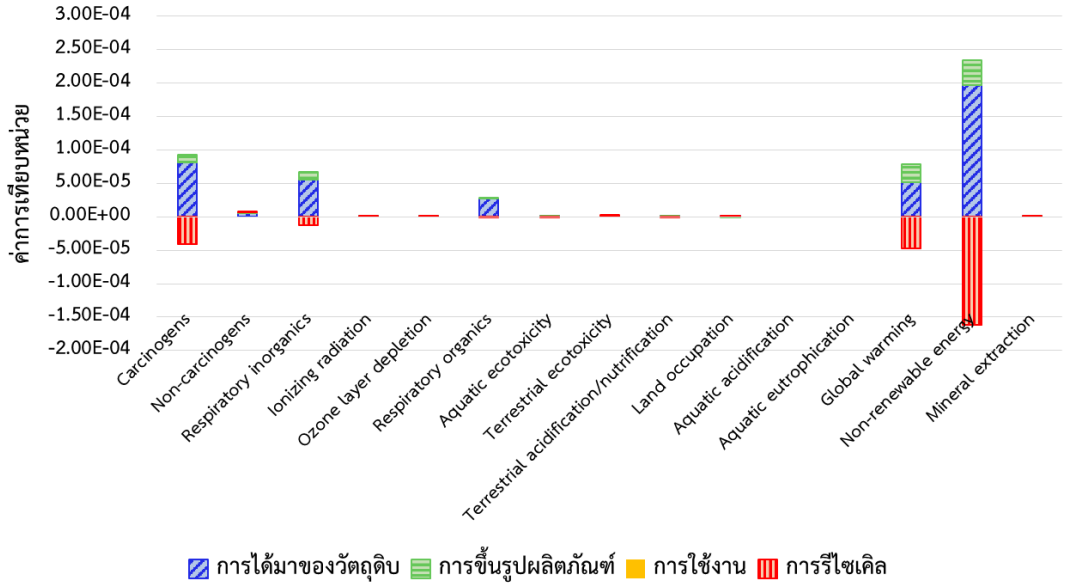
ตารางที่ 4-5 ผลการจัดกลุ่มความเสียหาย (Damage categories) ของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น

กลุ่มผลกระทบ	หน่วย	การได้มาของวัตถุดิบ	การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์	การใช้งาน	การจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน		รวม
Human health	DALY	1.206E-6	1.680E-7	-	การรีไซเคิล	-3.798E-7	9.945E-7
					การเผา	1.074E-7	1.482E-6
Ecosystem quality	PDF*m^2*yr	2.810E-2	1.615E-2	-	การรีไซเคิล	3.898E-3	4.814E-2
					การเผา	2.330E-3	4.657E-2
Climate change	kg CO_2 eq	5.187E-1	2.649E-1	-	การรีไซเคิล	-4.694E-1	3.142E-1
					การเผา	1.049	1.833
Resources	MJ primary	2.999E+1	5.640	-	การรีไซเคิล	-2.448E+1	1.115E+1
					การเผา	8.416E-2	3.571E+1

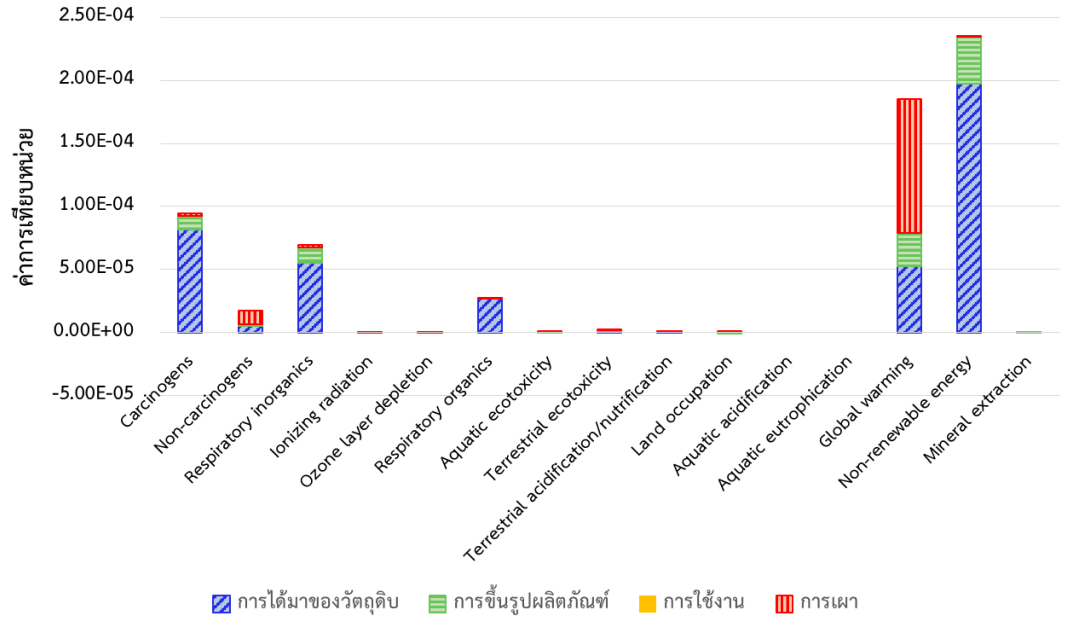
3.3) การเทียบหน่วย (Normalization)

การเทียบหน่วย (Normalization) คือ การปรับหน่วยของแต่ละผลกระทบ ให้อยู่ในรูปแบบเดียวกันเพื่อนำมาเปรียบเทียบกันและเพื่อให้เห็นถึงความสำคัญของแต่ละผลกระทบ โดยกรณีศึกษาที่ 1 มีค่าผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy) สูงสุด รองลงมาคือ ผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics) ด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Carcinogens) ด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ด้านการเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory organics) และด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Non-carcinogens) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4-10 ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 2 มีค่าผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปสูงสุด รองลงมา คือ ผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน ด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ ด้านการเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ และด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ตามลำดับ แสดงได้ดังรูปที่ 4-11

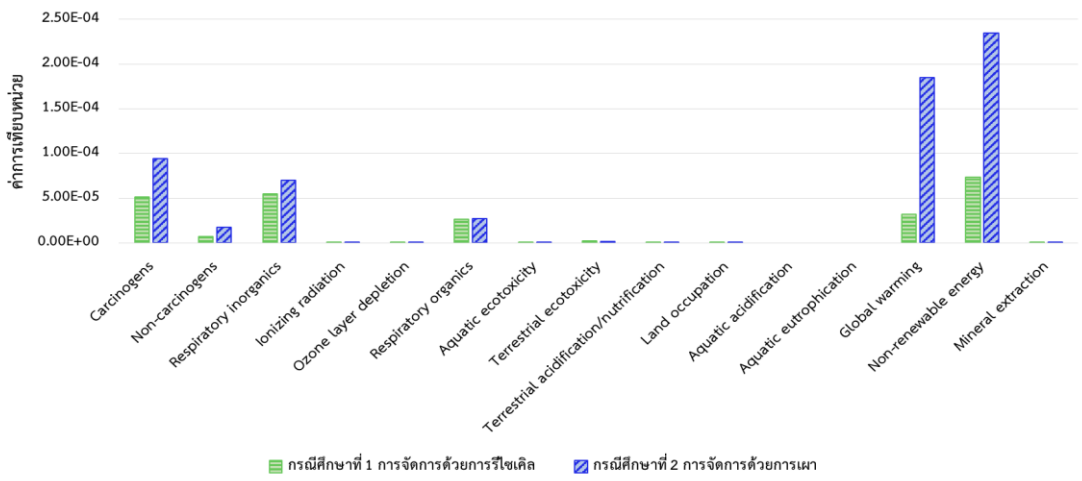
เมื่อทำการเปรียบเทียบจะเห็นว่าด้านที่มีผลกระทบสูง 6 อันดับของทั้ง 2 กรณีมีผลกระทบในด้านเดียวกันทั้ง 6 ผลกระทบ แตกต่างกันที่ลำดับการก่อให้เกิดผลกระทบ ดังรูปที่ 4-12 และเมื่อทำการรวมค่าผลกระทบทุกด้านเพื่อเปรียบเทียบค่าผลกระทบโดยรวมของทั้ง 2 กรณีศึกษา พบว่ากรณีศึกษาที่ 2 มีค่าผลกระทบโดยรวมสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 1 ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4-6



รูปที่ 4-10 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการรีไซเคิล



รูปที่ 4-11 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา



รูปที่ 4-12 เปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการรีไซเคิลและการเผาผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน

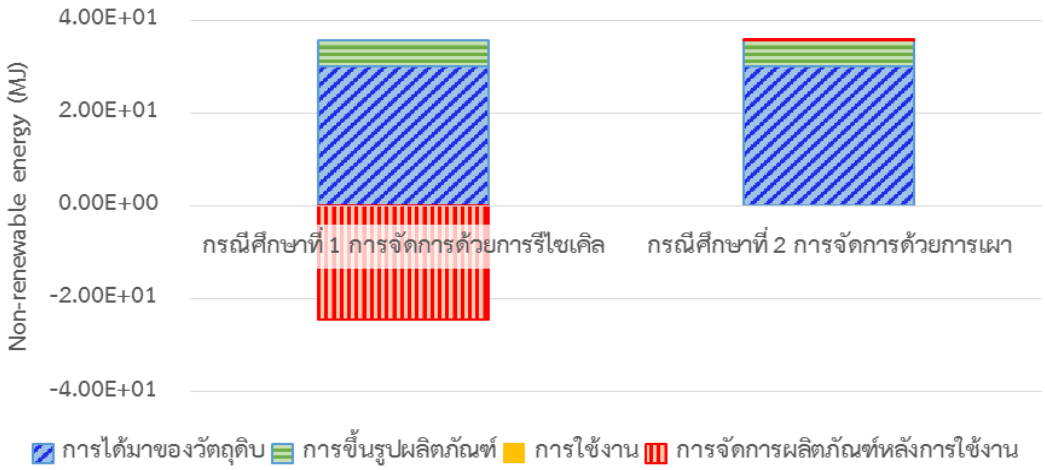
ตารางที่ 4-6 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่นใน 2 กรณีศึกษา

กลุ่มผลกระทบ	กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการรีไซเคิล	กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา
Carcinogens	5.112E-5	9.446E-5
Non-carcinogens	7.353E-6	1.729E-5
Respiratory inorganics	5.474E-5	6.991E-5
Ionizing radiation	1.714E-7	1.491E-7
Ozone layer depletion	2.549E-8	2.291E-8
Respiratory organics	2.681E-5	2.708E-5
Aquatic ecotoxicity	3.094E-7	3.375E-7
Terrestrial ecotoxicity	2.204E-6	1.745E-6
Terrestrial acidifiction/nutrification	4.981E-7	9.437E-7
Land occupation	5.031E-7	3.733E-7
Aquatic acidification	-	-
Aquatic eutrophication	-	-
Global warming	3.173E-5	1.851E-4
Non-renewable energy	7.337E-5	2.350E-4
Mineral extraction	7.279E-9	5.206E-9
รวม	**2.489E-4**	**6.324E-4**

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้นำผลกระทบ 6 ด้านที่มีอันดับสูงสุดในทั้ง 2 กรณีศึกษา ได้แก่ ผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ด้านการเกิดภาวะโลกร้อน ด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ และด้านการเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจมาทำการคำนวณสัดส่วนผลกระทบของแต่ละกระบวนการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

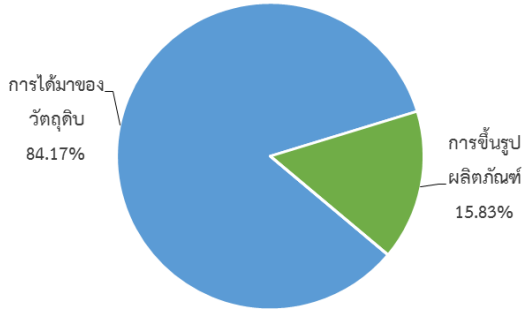
(1) ผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy)

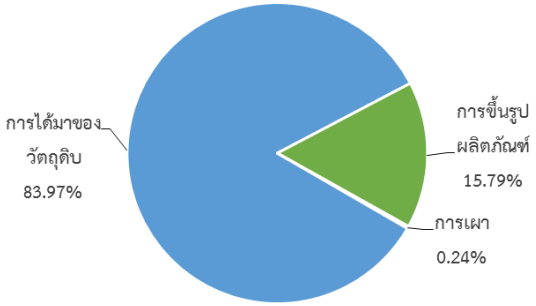
ผลกระทบจากการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปเป็นผลกระทบจากการเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งจะพิจารณาหน่วยพลังงานในรูปเมกะจูล (Megajoule; MJ) จากการคำนวณค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Gross calorific value) ที่นำมาใช้โดยตรง ดังรูปที่ 4-13 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปแยกตามกระบวนการต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 4-13 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป
ระหว่างการรีไซเคิลและการเผาผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน

จากแผนภาพข้างต้น พิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปของ 2 กรณีศึกษา พบว่า กระบวนการที่มีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากที่สุดของทั้ง 2 กรณีศึกษา คือ การได้มาของวัตถุดิบ มีค่าผลกระทบ 29.9876 MJ/1 แกลลอน รองลงมาคือการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ มีค่าผลกระทบ 5.6405 MJ/1 แกลลอน นอกจากนี้ยังพบว่า การจัดการด้วยการรีไซเคิลในกรณีศึกษาที่ 1 ให้ค่าผลกระทบเป็นลบ จึงทำให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมของด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปมีค่าลดลง และมีค่าต่ำกว่ากรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา สัดส่วนของผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปของแต่ละกรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 4-14



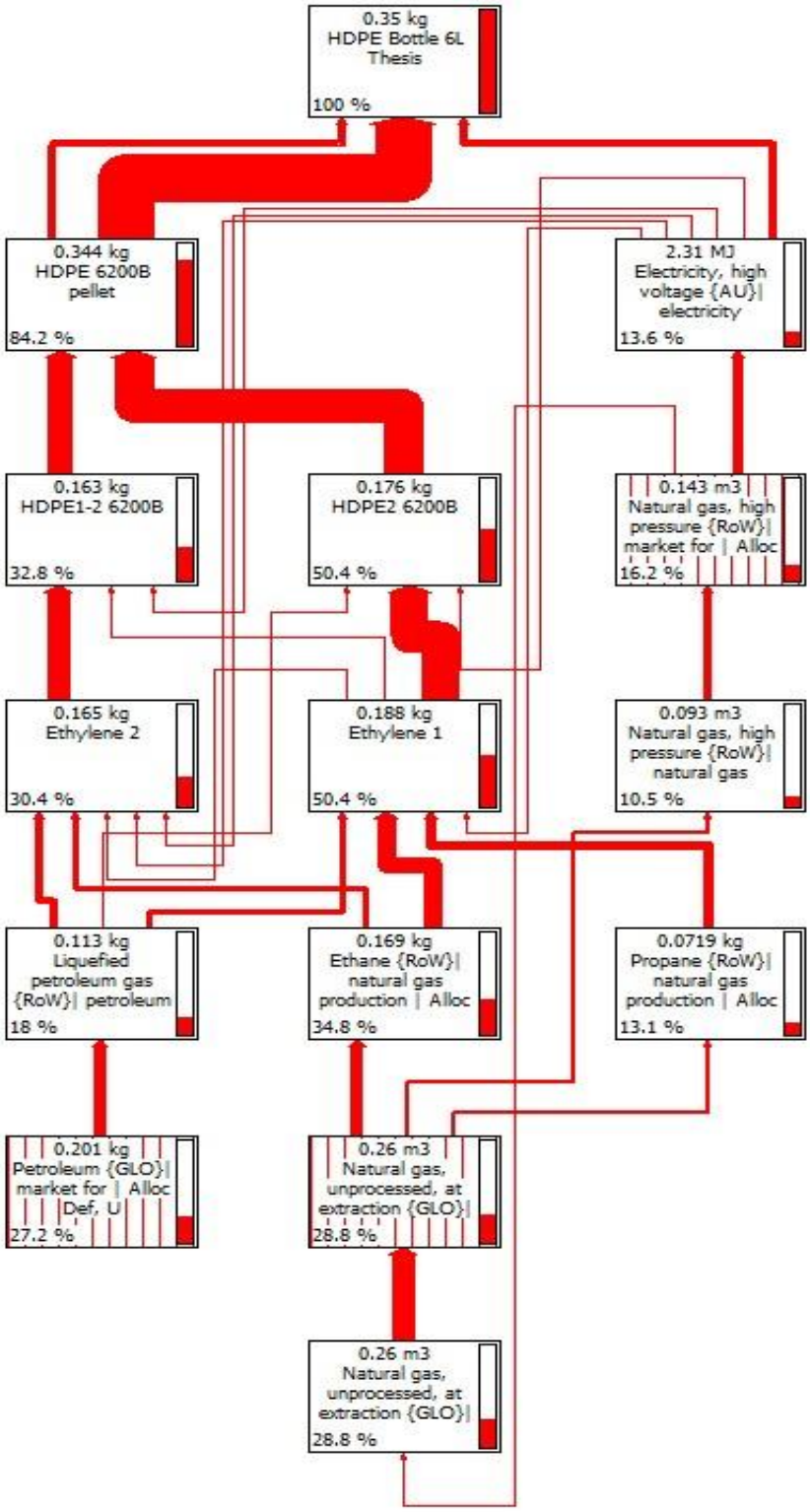


กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการรีไซเคิล กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา

รูปที่ 4-14 สัดส่วนของผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป
ของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น แยกเป็นกระบวนการ

กรณีศึกษาที่ 1 จุดที่มีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากที่สุด คือ การได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 84.17 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการได้มาของวัตถุดิบ จะพบว่า เป็นผลกระทบจากการใช้ก๊าซเอทิลีนเป็นวัตถุดิบผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 79.90 โดยจะรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ โรงแยกก๊าซธรรมชาติและโรงกลั่นน้ำมันดิบ จนถึงโรงโอเลฟินส์และโรงอะโรเมติกส์ รองลงมา คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ 15.83 ในขณะที่การรีไซเคิลผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานสามารถช่วยลดผลกระทบจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ 40.72 ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 จุดที่มีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากที่สุด คือ การได้มาของวัตถุดิบ คือ เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 83.97 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการได้มาของวัตถุดิบ จะพบว่า เป็นผลกระทบจากการใช้ก๊าซเอทิลีนเป็นวัตถุดิบผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 79.71 รองลงมา คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และการจัดการด้วยการเผา คิดเป็นร้อยละ 15.79 และ 0.24 ตามลำดับ

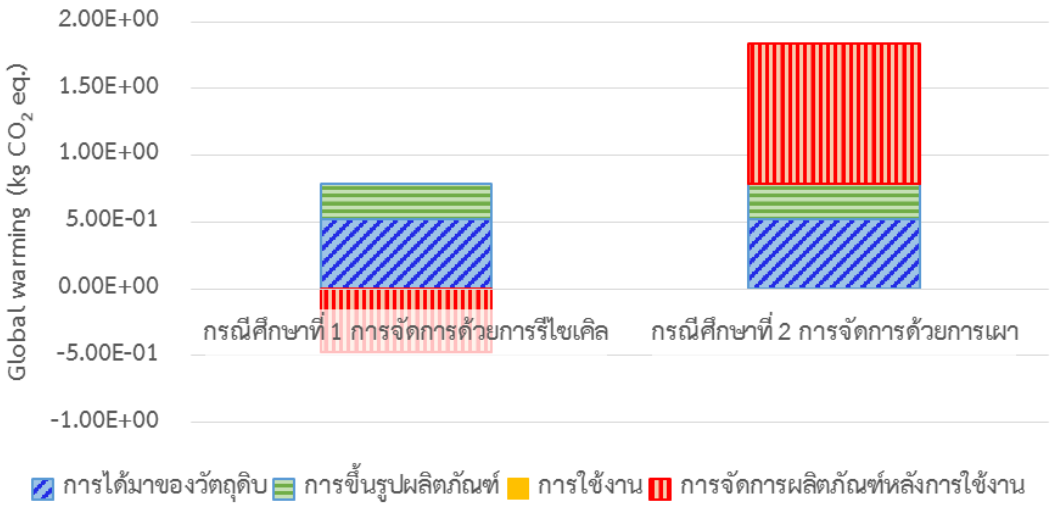
ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปด้วยขอบเขตแบบ Cradle to Gate ดังรูปที่ 4-15 พบว่า ผลกระทบด้านนี้ส่วนใหญ่มาจากการได้มาของวัตถุดิบ คือ เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 84.2 ซึ่งครอบคลุมถึงการได้มาของก๊าซเอทิลีน โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ โรงแยกก๊าซธรรมชาติและโรงกลั่นน้ำมันดิบ จนถึงโรงโอเลฟินส์และโรงอะโรเมติกส์ รองลงมา คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการขึ้นรูปและผลิตเม็ดพลาสติก ร้อยละ 13.6 ตามลำดับ



รูปที่ 4-15 ผังการไหลของผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป
ของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น

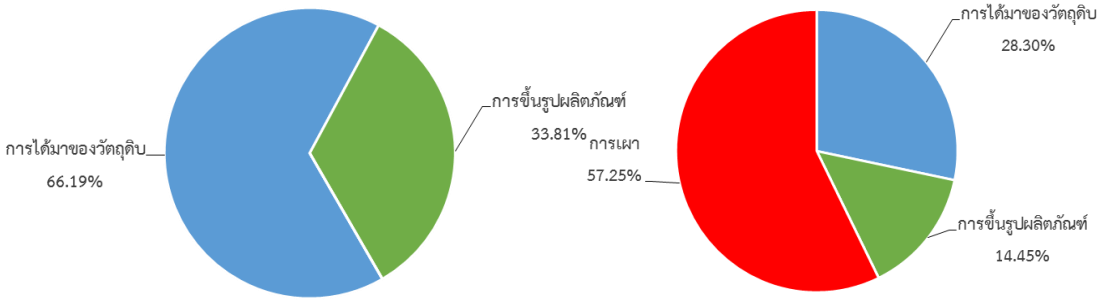
(2) ผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming)

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น แสดงผลในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO_2 eq.) ดังรูปที่ 4-16 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนแยกตามกระบวนการต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 4-16 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน
ระหว่างการรีไซเคิลและการเผาผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน

จากแผนภาพข้างต้น พิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน พบว่ากระบวนการที่มีผลกระทบมากที่สุดของกรณีศึกษาที่ 1 คือ การได้มาของวัตถุดิบ มีค่าผลกระทบ 0.5187 kg CO_2 eq./1 แกลลอน รองลงมาคือการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ มีค่าผลกระทบ 0.2649 kg CO_2 eq./1 แกลลอน ส่วนการรีไซเคิลผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานมีค่าผลกระทบ -0.469 kg CO_2 eq./1 แกลลอน จึงทำให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมของด้านการเกิดภาวะโลกร้อนมีค่าลดลง ในส่วนกรณีศึกษาที่ 2 กระบวนการที่มีผลกระทบมากที่สุดคือการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการเผามีค่า 1.049 kg CO_2 eq./1 แกลลอน รองลงมาคือการได้มาของวัตถุดิบและการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตามลำดับ โดยสัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนของแต่ละกรณีศึกษา ดังรูปที่ 4-17

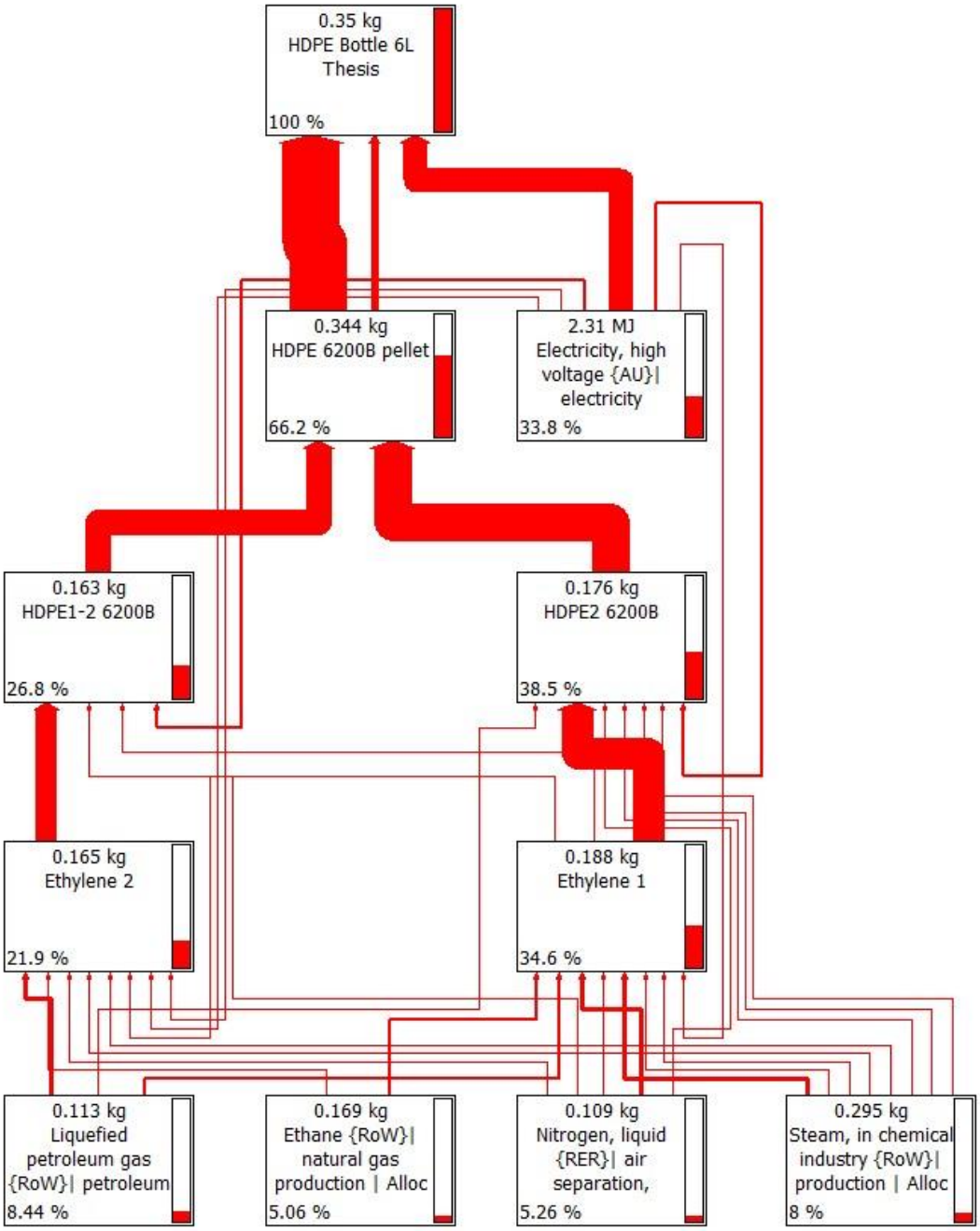


กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการรีไซเคิล กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา

รูปที่ 4-17 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน
ของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น แยกเป็นกระบวนการ

กรณีศึกษาที่ 1 จุดที่ส่งผลมากที่สุด คือ การได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 66.19 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการได้มาของวัตถุดิบ จะพบว่า เป็นผลกระทบจากการใช้ก๊าซเอทิลีนในการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 55.85 โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ โรงแยกก๊าซธรรมชาติและโรงกลั่นน้ำมันดิบ จนถึงโรงโอเลฟินส์และโรงอะโรเมติกส์ รองลงมาคือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 33.81 ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 จุดที่ส่งผลมากที่สุดเกิดจากการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานการเผาร้อยละ 57.25 เนื่องจากการเผาพลาสติกจะทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน รองลงมา คือ การได้มาของวัตถุดิบ คือ เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการได้มาของวัตถุดิบ จะพบว่า เป็นผลกระทบจากการใช้ก๊าซเอทิลีนในการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 23.88

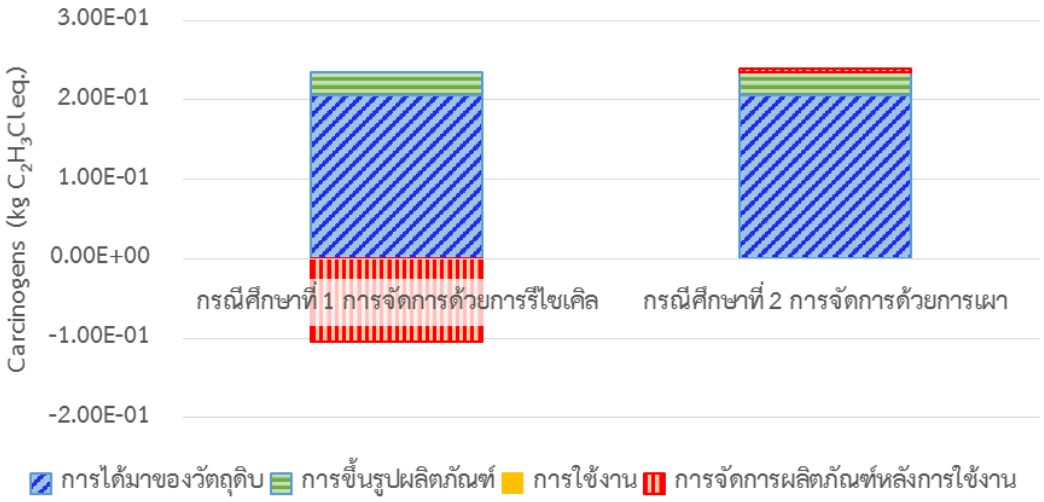
เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to gate ครอบคลุมกระบวนการได้มาของวัตถุดิบ และการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 4-18 พบว่าผลกระทบด้านนี้ส่วนใหญ่มาจากการได้มาของวัตถุดิบ คือ เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 66.2 ซึ่งครอบคลุมถึงการได้มาของก๊าซเอทิลีน โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ โรงแยกก๊าซธรรมชาติและโรงกลั่นน้ำมันดิบ จนถึงโรงโอเลฟินส์และโรงอะโรเมติกส์ รองลงมา คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการขึ้นรูปและผลิตเม็ดพลาสติก ร้อยละ 33.8 ตามลำดับ



รูปที่ 4-18 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน
ของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น

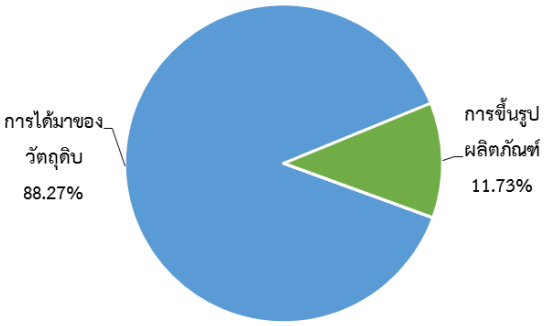
(3) ผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Carcinogens)

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Carcinogens) แสดงดังรูปที่ 4-19 โดยแยกตามกระบวนการต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ แสดงผลในหน่วยกิโลกรัมคลอโรเอทิลีนเทียบเท่า (kg C_2H_3Cl eq.)

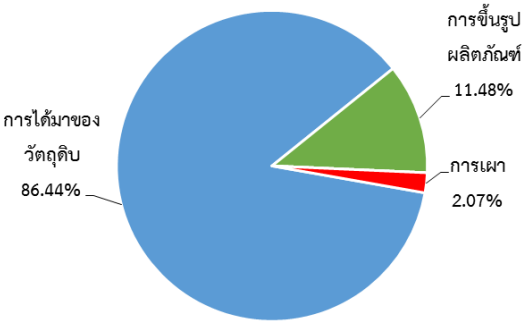


รูปที่ 4-19 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง
ระหว่างการรีไซเคิลและการเผาผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน

จากแผนภาพข้างต้น พิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งของ 2 กรณีศึกษา พบว่า ทั้ง 2 กรณีศึกษา กระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบสูงสุดคือการได้มาของวัตถุดิบ มีค่า 0.207 kg C_2H_3Cl eq./1 แกลลอน รองลงมาคือการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ 0.0275 kg C_2H_3Cl eq./1 แกลลอน โดยการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิล ให้ค่าผลกระทบเป็นลบ เท่ากับ -0.105 kg C_2H_3Cl eq./1 แกลลอน จึงสามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมของกรณีศึกษาที่ 1 ได้ สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งของแต่ละกรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 4-20



กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการรีไซเคิล

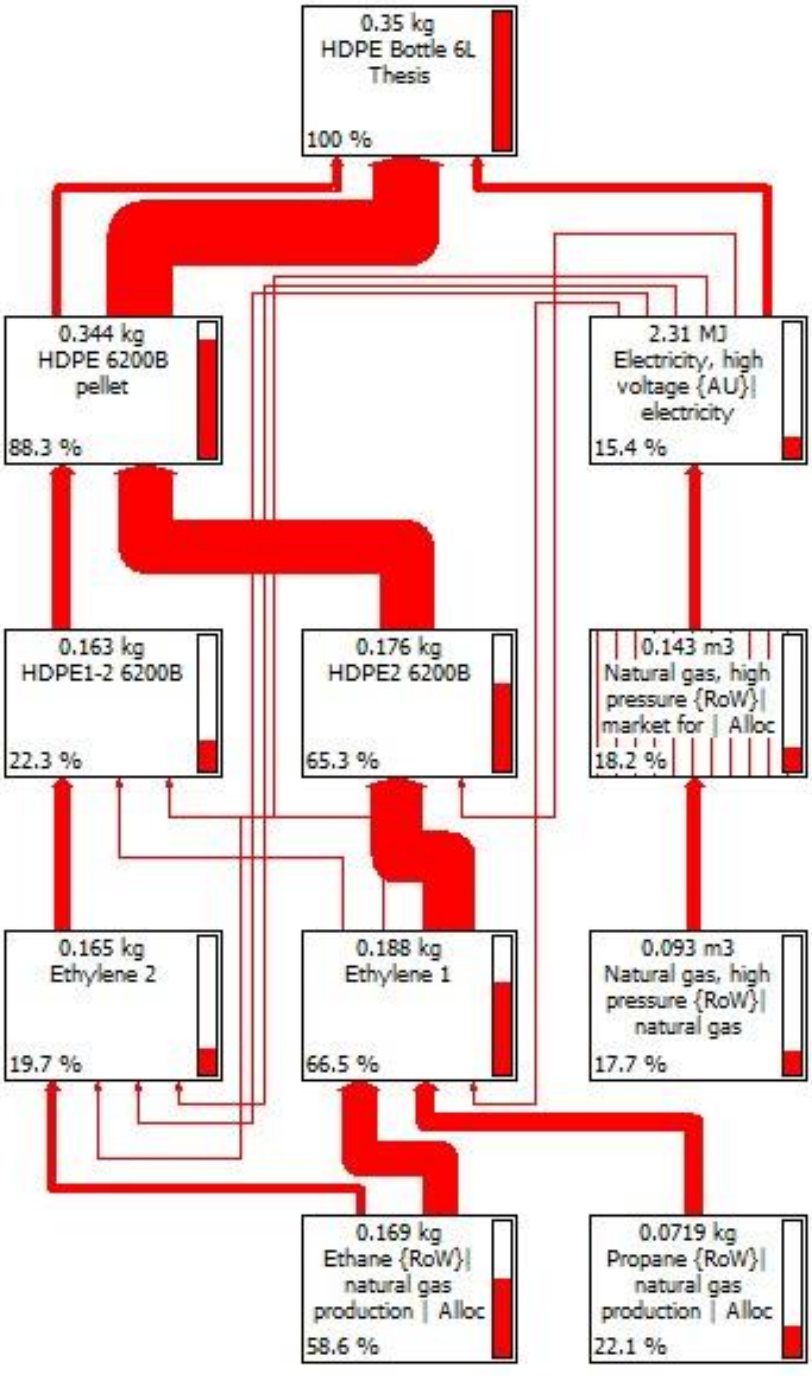


กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา

รูปที่ 4-20 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง
ของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น แยกเป็นกระบวนการ

กรณีศึกษาที่ 1 จุดที่ส่งผลมากที่สุด คือ การได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 88.27 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการได้มาของวัตถุดิบ จะพบว่า เป็นผลกระทบจากการใช้ก๊าซเอทิลีนผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 84.93 โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ โรงแยกก๊าซธรรมชาติและโรงกลั่นน้ำมันดิบ จนถึงโรงโอเลฟินส์และโรงอะโรเมติกส์ รองลงมาคือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 11.73 ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 จุดที่ส่งผลมากที่สุด คือ การได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 86.44 โดยเป็นผลกระทบจากการใช้ก๊าซเอทิลีนเป็นวัตถุดิบผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 83.17 รองลงมา คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการเผา คิดเป็นร้อยละ 11.48 และ 2.07 ตามลำดับ

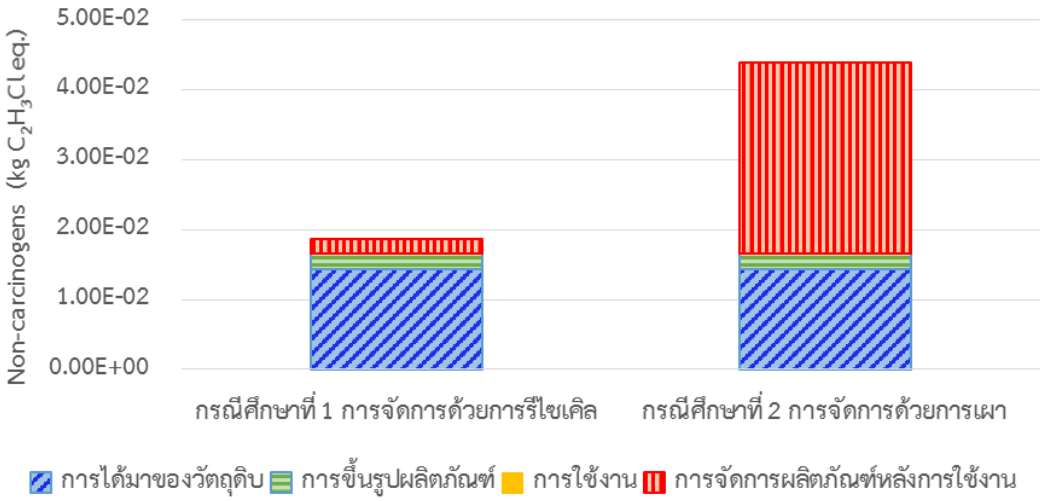
ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to gate ครอบคลุมกระบวนการได้มาของวัตถุดิบ และการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 4-21 พบว่า ผลกระทบด้านนี้ส่วนใหญ่มาจากเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 88.3 ซึ่งครอบคลุมถึงการได้มาของก๊าซเอทิลีน โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ โรงแยกก๊าซธรรมชาติและโรงกลั่นน้ำมันดิบ จนถึงโรงโอเลฟินส์และโรงอะโรเมติกส์ เนื่องจากในกระบวนการผลิตจะมีการปล่อยสารก่อมะเร็ง ได้แก่ สารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน สารพอลิไซคลิกอะโรมาติก หรือ PAHs ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ไฮโดรคาร์บอน รองลงมา คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 15.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4-21 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง
ของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น

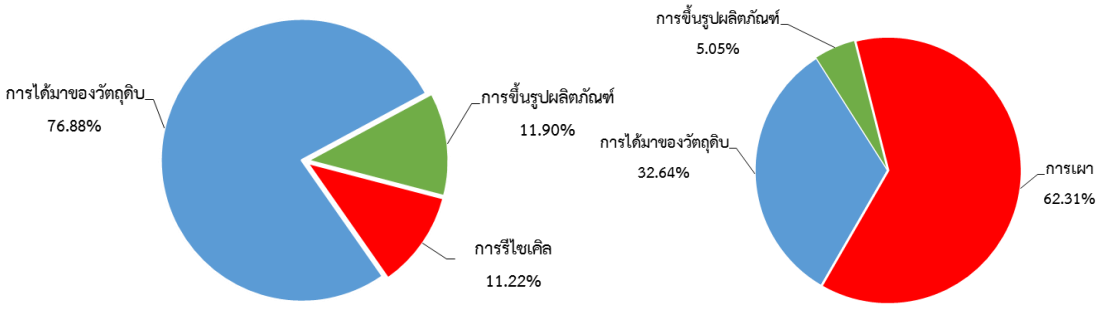
(4) ผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Non-carcinogens)

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Non-carcinogens) แสดงดังรูปที่ 4-22 โดยแยกตามกระบวนการต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ แสดงผลในหน่วยกิโลกรัมคลอโรเอทิลีนเทียบเท่า (kg C_2H_3Cl eq.)



รูปที่ 4-22 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง
ระหว่างการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิลและการเผา

จากแผนภาพข้างต้น พิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็งของ 2 กรณีศึกษา พบว่า กรณีศึกษาที่ 2 มีผลกระทบโดยรวมสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 1 โดยกรณีศึกษาที่ 2 มีค่าผลกระทบโดยรวม 0.0438 kg C_2H_3Cl eq./1 แกลลอน ซึ่งเกิดจากกระบวนการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการเผาสูงที่สุด รองลงมาคือ การได้มาของวัตถุดิบ และการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ ส่วนกรณีศึกษาที่ 1 มีค่าผลกระทบโดยรวม 0.0186 kg C_2H_3Cl eq./1 แกลลอน ซึ่งเกิดจากการได้มาของวัตถุดิบสูงสุด รองลงมาคือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิล ตามลำดับ สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็งของแต่ละกรณีศึกษา แสดงได้ดังรูปที่ 4-23

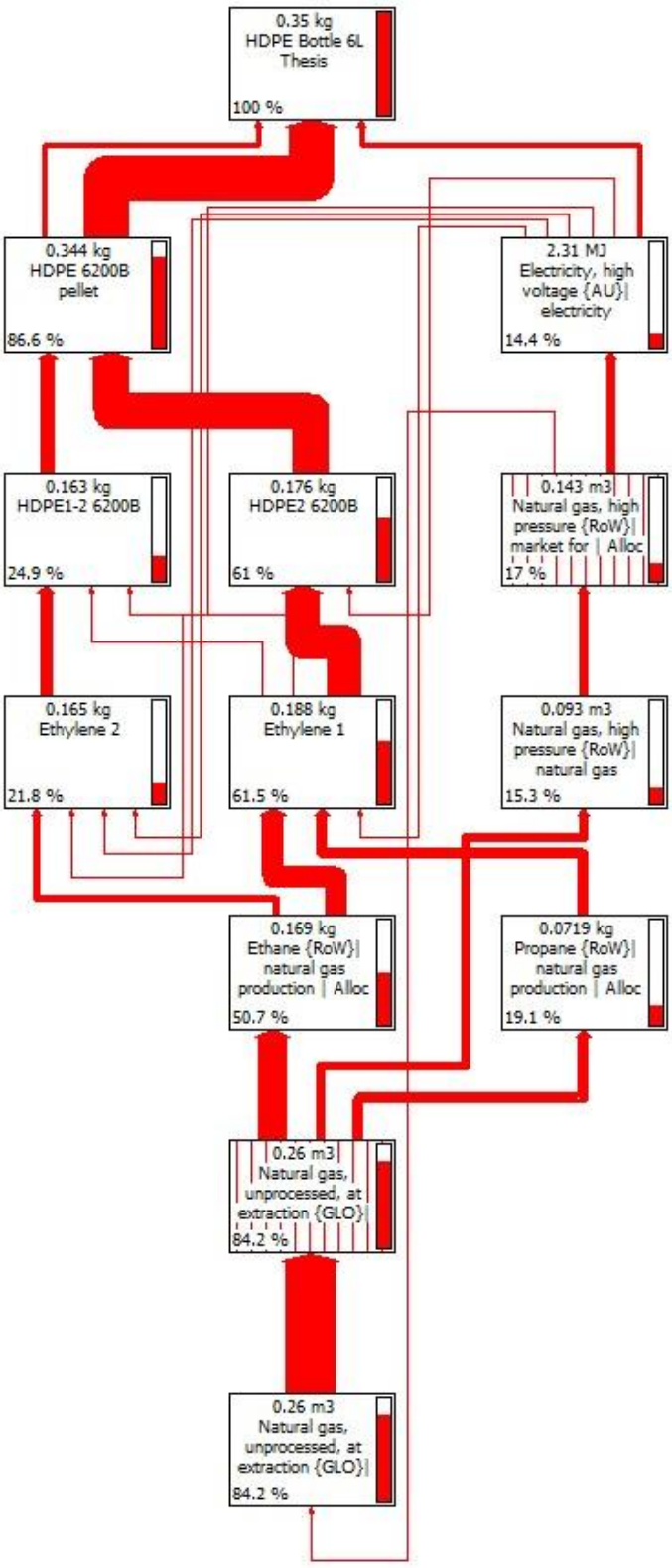


กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการรีไซเคิล กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา

รูปที่ 4-23 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น แยกเป็นกระบวนการ

กรณีศึกษาที่ 1 จุดที่ส่งผลมากที่สุด คือ การได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 76.88 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการได้มาของวัตถุดิบ จะพบว่า เป็นผลกระทบจากก๊าซเอทิลีนที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 72.77 โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ โรงแยกก๊าซธรรมชาติและโรงกลั่นน้ำมันดิบ จนถึงโรงโอเลฟินส์และโรงอะโรเมติกส์ รองลงมาคือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และการจัดการด้วยการรีไซเคิล ร้อยละ 11.90 และ 11.22 ตามลำดับ ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 จุดที่ส่งผลมากที่สุด คือ การจัดการด้วยการเผา ร้อยละ 62.31 รองลงมาคือ การได้มาของวัตถุดิบ และการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 32.64 และ 5.05 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการได้มาของวัตถุดิบ จะพบว่า เป็นผลกระทบจากก๊าซเอทิลีนที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 30.94

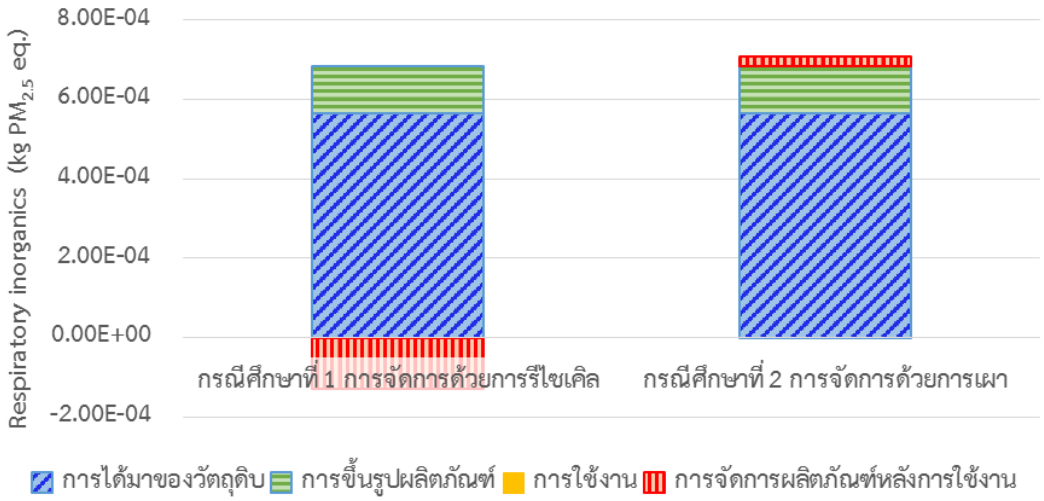
ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to gate ครอบคลุมกระบวนการได้มาของวัตถุดิบ และการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 4-24 พบว่า ผลกระทบด้านนี้ส่วนใหญ่มาจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 86.6 ซึ่งครอบคลุมถึงการได้มาของก๊าซก๊าซเอทิลีน โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ โรงแยกก๊าซธรรมชาติและโรงกลั่นน้ำมันดิบ จนถึงโรงโอเลฟินส์และโรงอะโรเมติกส์ รองลงมา คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกและการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 14.4



รูปที่ 4-24 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง
ของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น

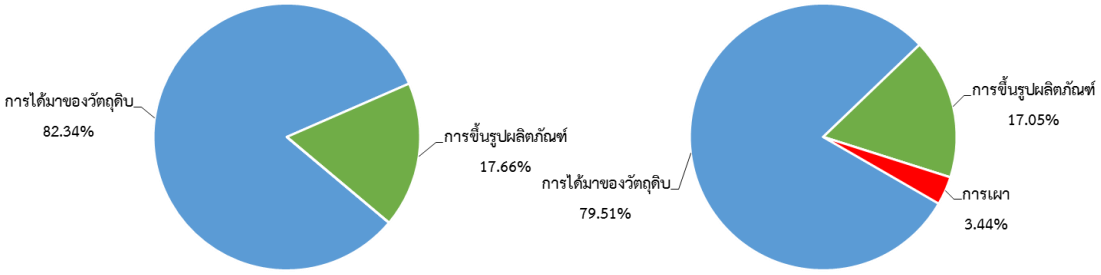
(5) ผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics)

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics) แสดงดังรูปที่ 4-25 โดยแยกตามกระบวนการต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ แสดงผลในหน่วยกิโลกรัมฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ เทียบเท่า (kg $PM_{2.5}$ eq.)



รูปที่ 4-25 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ
ระหว่างการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิลและการเผา

จากแผนภาพข้างต้น พิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics) ของ 2 กรณีศึกษา พบว่า ทั้งกรณีศึกษาที่ 2 มีกระบวนการที่ทำให้เกิดผลกระทบสูงสุด คือการได้มาของวัตถุดิบ มีค่า 0.000563 kg $PM_{2.5}$ eq./1 แกลลอน รองลงมาคือการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ มีค่า 0.000121 kg $PM_{2.5}$ eq./1 แกลลอน อีกทั้ง การจัดการด้วยการรีไซเคิลมีค่าผลกระทบเป็นลบ เท่ากับ -0.000129 kg $PM_{2.5}$ eq./1 แกลลอน จึงสามารถช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยรวมของด้านนี้ได้ สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจของแต่ละกรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 4-26

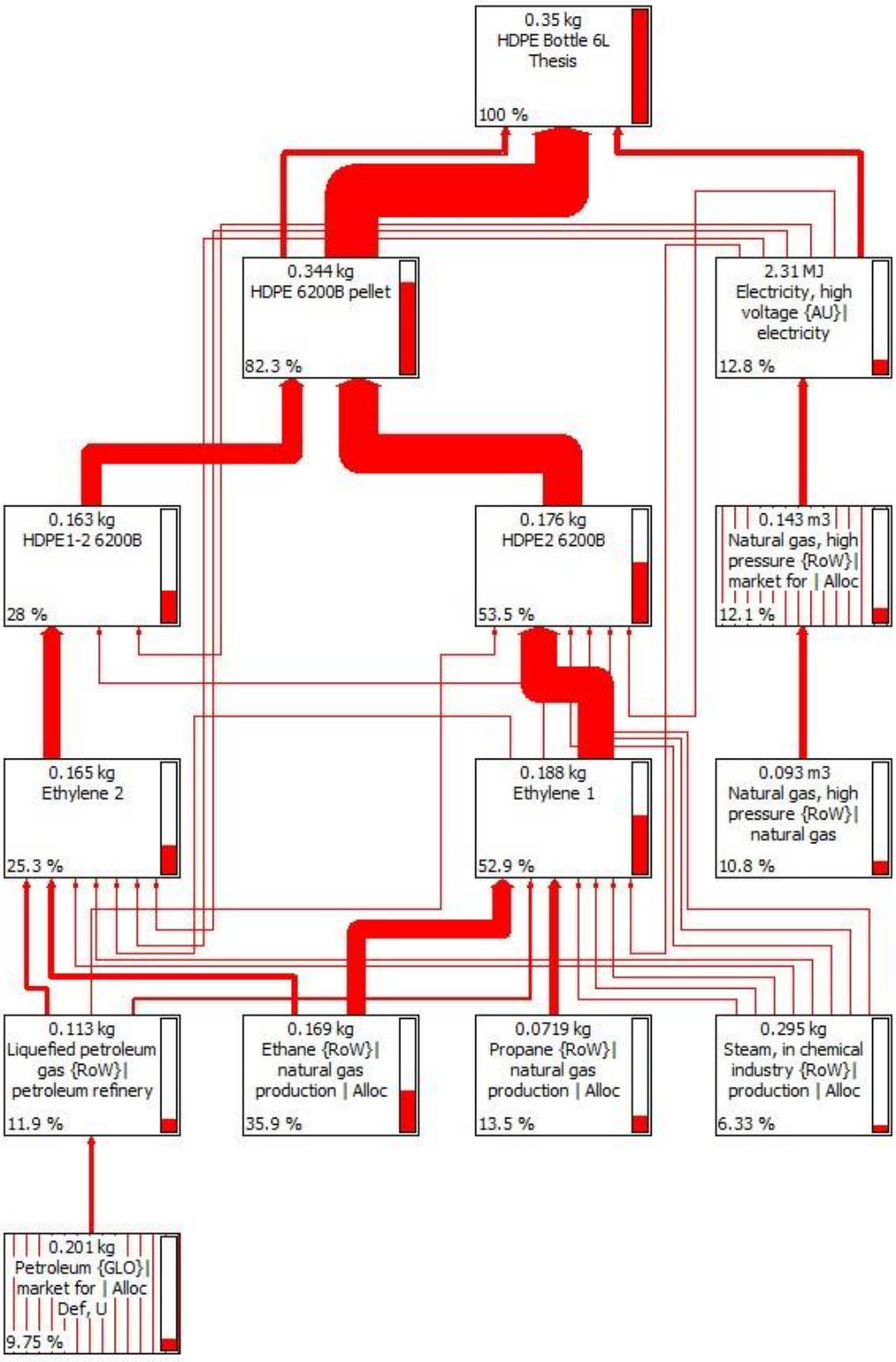


กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการรีไซเคิล กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา

รูปที่ 4-26 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น แยกเป็นกระบวนการ

กรณีศึกษาที่ 1 จุดที่ส่งผลมากที่สุด คือ การได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 82.34 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการได้มาของวัตถุดิบ จะพบว่า เป็นผลกระทบจากการใช้ก๊าซเอทิลีนเป็นวัตถุดิบผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 77.12 โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ โรงแยกก๊าซธรรมชาติและโรงกลั่นน้ำมันดิบ จนถึงโรงโอเลฟินส์และโรงอะโรเมติกส์ รองลงมาคือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 17.66 อีกทั้งการจัดการด้วยการรีไซเคิลจะช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ ร้อยละ 15.90 ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 จุดที่ส่งผลมากที่สุด คือ การได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 79.51 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการการได้มาของวัตถุดิบ จะพบว่า เป็นผลกระทบจากการใช้ก๊าซเอทิลีนเป็นวัตถุดิบผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 74.47 รองลงมา คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 17.05 และการจัดการด้วยการเผา 3.44 ตามลำดับ

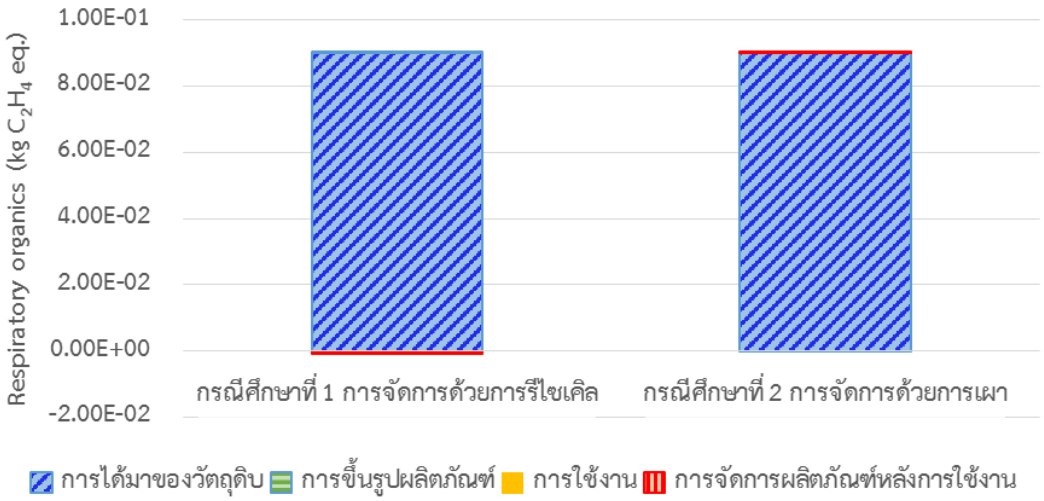
ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจด้วยขอบเขตแบบ Cradle to gate ครอบคลุมกระบวนการได้มาของวัตถุดิบ และการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 4-27 พบว่า ผลกระทบด้านนี้ส่วนใหญ่มาจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นวัตถุดิบผลิตแกลลอน ร้อยละ 82.3 ซึ่งครอบคลุมถึงการได้มาของก๊าซเอทิลีน โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ โรงแยกก๊าซธรรมชาติและโรงกลั่นน้ำมันดิบ จนถึงโรงโอเลฟินส์และโรงอะโรเมติกส์ เนื่องจากในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต้องใช้พลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลปริมาณมาก จึงมีการปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็กรวมถึงก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนออกสู่อากาศ รองลงมา คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกและการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 12.8 ตามลำดับ



รูปที่ 4-27 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น

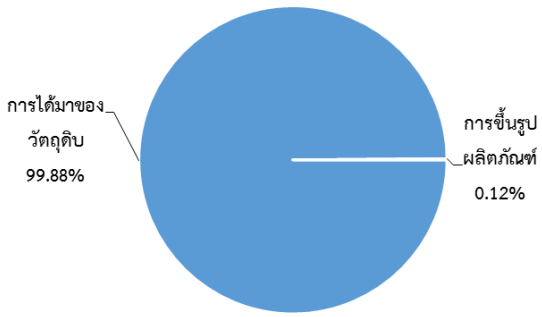
(6) ผลกระทบด้านการเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory organics)

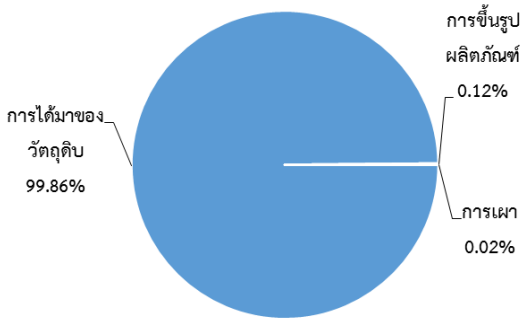
ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory organics) แสดงดังรูปที่ 4-28 โดยแยกตามกระบวนการต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ แสดงผลในหน่วยกิโลกรัมเอทิลีนเทียบเท่า (kg C_2H_4 eq.)



รูปที่ 4-28 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ
ระหว่างการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิลและการเผา

จากแผนภาพข้างต้น พิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory organics) ของ 2 กรณีศึกษา พบว่า ทั้ง 2 กรณีศึกษา มีผลกระทบจากกระบวนการได้มาของวัตถุดิบสูงสุด 0.0901 kg C_2H_4 eq./1 แกลลอน รองลงมาคือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ มีค่า 0.000107 kg C_2H_4 eq./1 แกลลอน โดยในกรณีศึกษาที่ 1 มีผลกระทบจากการจัดการด้วยการรีไซเคิลเป็นลบ เท่ากับ -0.000894 kg C_2H_4 eq./1 แกลลอน จึงสามารถช่วยลดผลกระทบโดยรวมในกรณีศึกษาที่ 1 ได้ สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจของแต่ละกรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 4-29



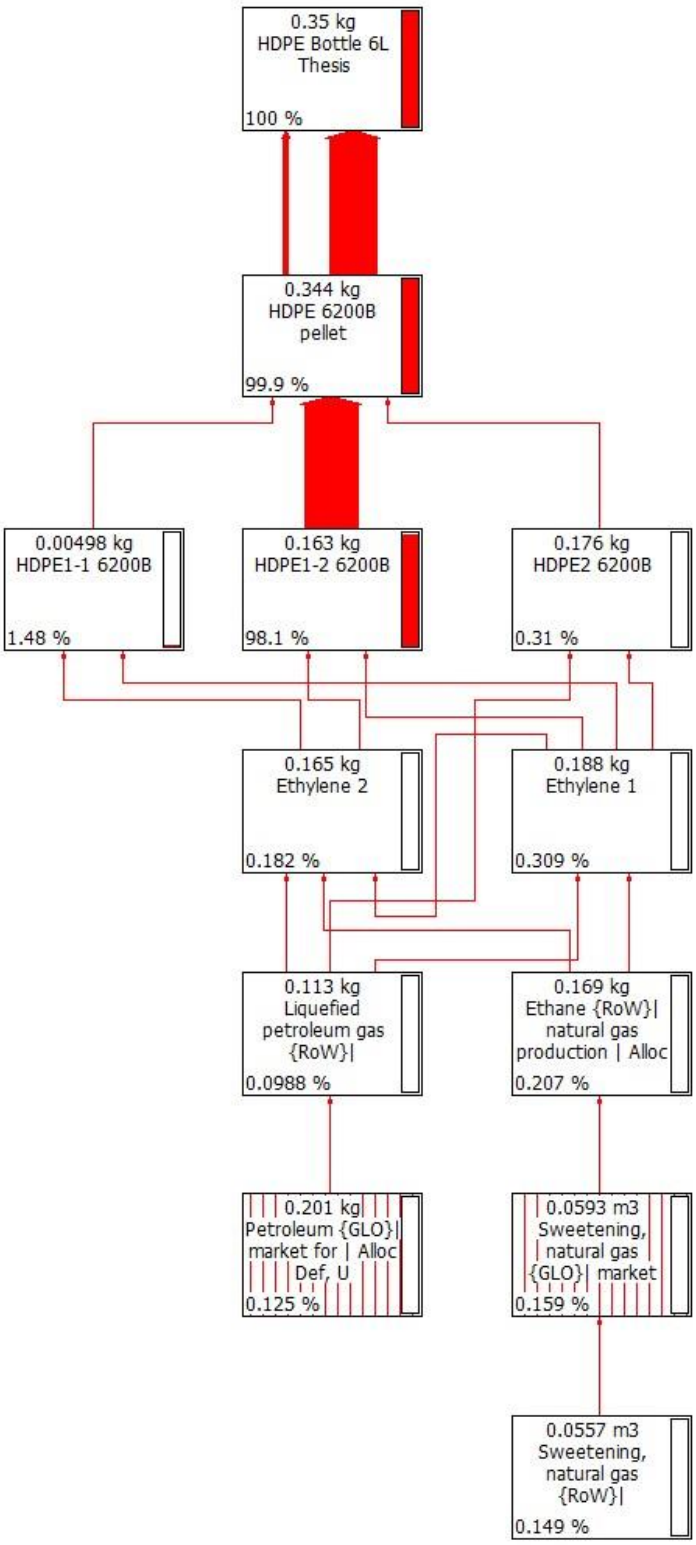


กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการรีไซเคิล กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา

รูปที่ 4-29 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ
ของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น แยกเป็นกระบวนการ

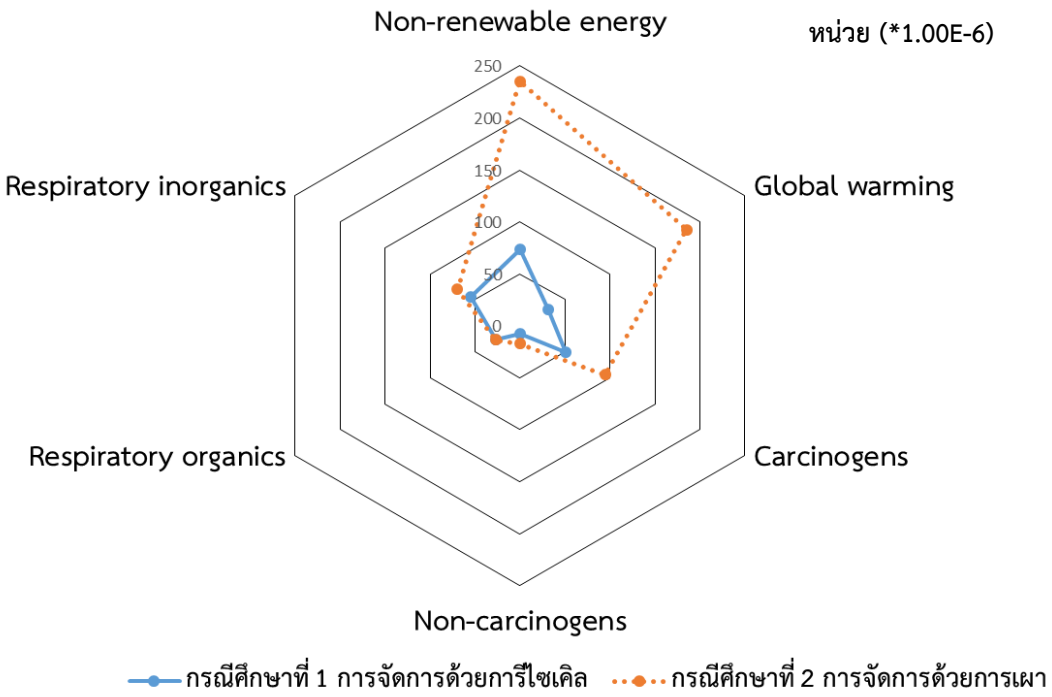
กรณีศึกษาที่ 1 จุดที่ส่งผลมากที่สุด คือ การได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 99.88 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการได้มาของวัตถุดิบ จะพบว่า เป็นผลกระทบจากกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 99.40 โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ โรงแยกก๊าซธรรมชาติและโรงกลั่นน้ำมันดิบ จนถึงโรงโอเลฟินส์และโรงอะโรเมติกส์ รองลงมาคือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 0.12 อีกทั้งการจัดการด้วยการรีไซเคิลจะช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ ร้อยละ 0.98 ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 จุดที่ส่งผลมากที่สุด คือ การได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 99.86 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการการได้มาของวัตถุดิบ จะพบว่า เป็นผลกระทบจากกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 99.38 รองลงมา คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 0.12 และการจัดการด้วยการเผา 0.02 ตามลำดับ

ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to gate ครอบคลุมกระบวนการได้มาของวัตถุดิบ และการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 4-30 พบว่า ผลกระทบด้านนี้ส่วนใหญ่มาจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นวัตถุดิบผลิตแกลลอน ร้อยละ 99.9 ซึ่งครอบคลุมถึงการได้มาของก๊าซเอทิลีน โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ โรงแยกก๊าซธรรมชาติและโรงกลั่นน้ำมันดิบ จนถึงโรงโอเลฟินส์และโรงอะโรเมติกส์ เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเม็ดพลาสติกบางชนิด เป็นสารอินทรีย์ระเหยได้ (Volatile Organic Compounds, VOCs) เช่น 1-บิวทีน (1-Butene) เฮกเซน (Hexane) ไซลีน (Xylene) เบนซีน (Benzene) และมีเทน (Methane)



รูปที่ 4-30 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น

เมื่อได้จัดทำสัดส่วนกระบวนการที่มีผลกระทบสูงสุดของทั้ง 6 ด้านแล้ว จึงได้นำค่าผลกระทบมาจัดทำกราฟใยแมงมุม (Radar chart) เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์กันของทั้ง 6 ผลกระทบ ดังแสดงในรูปที่ 4-31 พบว่า กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการรีไซเคิล มีผลกระทบทั้ง 6 ผลกระทบต่ำกว่ากรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา โดยกรณีศึกษาที่ 1 มีค่าผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปสูงที่สุด รองลงมาคือ ผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ ด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ด้านการเกิดภาวะโลกร้อน ด้านการเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ และด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ตามลำดับ ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา มีผลกระทบ 6 ด้านสูงสุดเหมือนกับกรณีศึกษาที่ 1 แต่แตกต่างกันที่ลำดับของผลกระทบ โดยกรณีศึกษาที่ 2 มีผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนสูงเป็นอันดับสองรองจากผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป



รูปที่ 4-31 กราฟใยแมงมุมแสดงความสัมพันธ์ของ 6 ผลกระทบสูงสุด
ของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น

4.1.2 ผลิตภัณฑ์ที่ 2 ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร

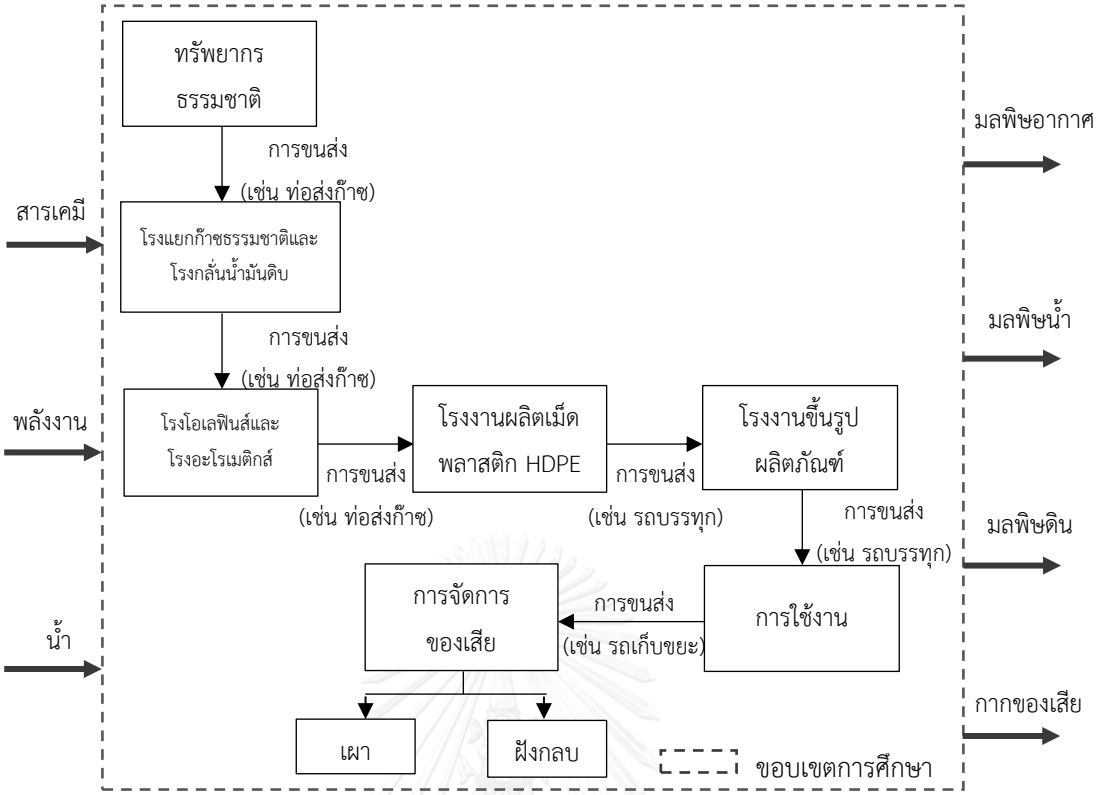
1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร โดยการประเมินวัฏจักรชีวิต หน่วยการทำงาน คือ ถุงพลาสติก 1 ถุง ขนาดกว้าง 25 นิ้ว ยาว 30 นิ้ว หนา 0.04 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4-32

รูปที่ 4-32 ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร

ขอบเขตการศึกษาครอบคลุม Cradle to grave เริ่มตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การขนส่ง การใช้งาน และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 4-33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



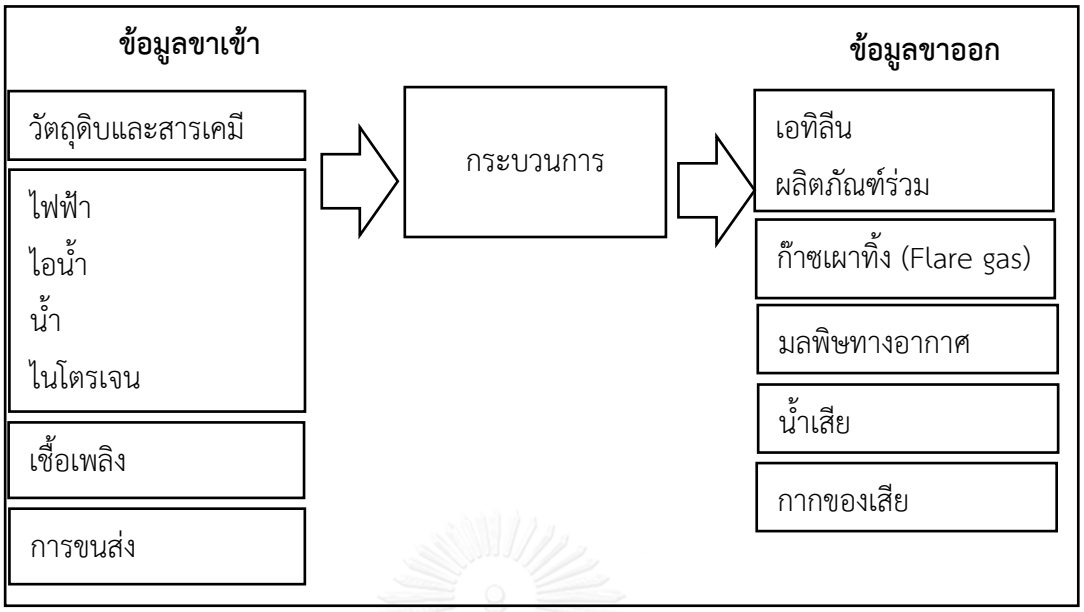
รูปที่ 4-33 ขอบเขตการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติก

2. การวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก

การจัดเก็บบัญชีมวลสารขาเข้าและขาออกของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารได้ใช้ทั้งข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ แบ่งการเก็บข้อมูลเป็น 4 กระบวนการ คือ การได้มาของวัตถุดิบ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การใช้งาน และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ส่วนข้อมูลการขนส่งจะถูกรวมอยู่ใน 4 กระบวนการดังกล่าว โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1) กระบวนการได้มาของวัตถุดิบ

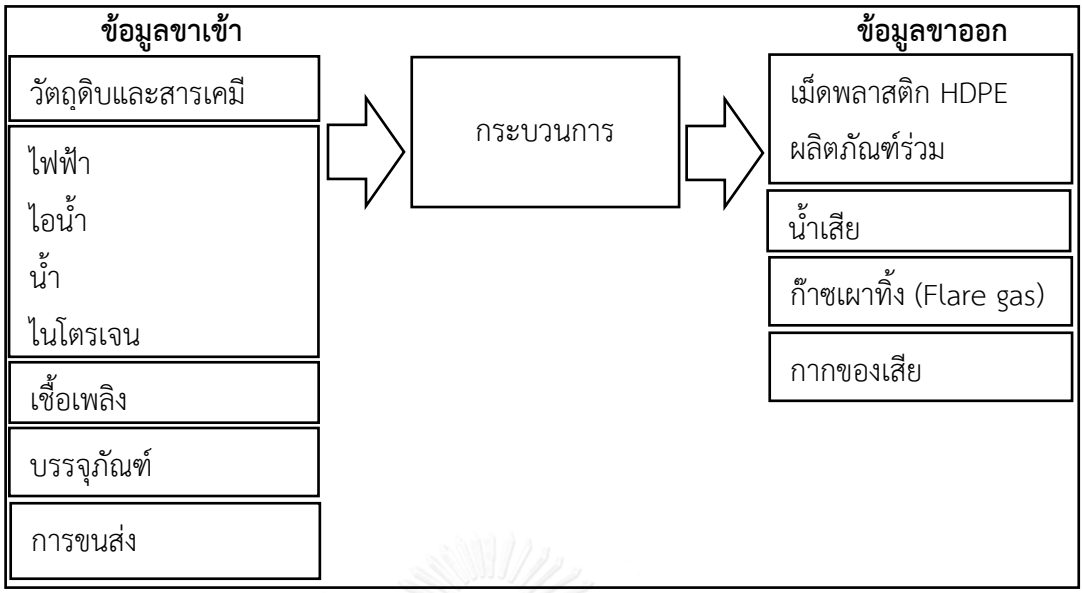
การรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการของกระบวนการได้มาของวัตถุดิบมีทั้งข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ ซึ่งข้อมูลปฐมภูมิได้จากการสอบถามข้อมูลของแต่ละกระบวนการในช่วงระยะเวลา 1 ปี จากวิศวกรและผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตโดยตรง โดยข้อมูลปฐมภูมิในส่วนนี้เป็นข้อมูลกระบวนการผลิตก๊าซเอทิลีนในโรงโอเลฟินส์และโรงอะโรเมติกส์ และกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง รวมถึงข้อมูลการขนส่งซึ่งเป็นการขนส่งวัตถุดิบ สารเคมี พลังงาน และสาธารณูปโภค เชื้อเพลิง และของเสียต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ส่วนข้อมูลทุติยภูมิซึ่งเป็นข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการได้มาของวัตถุดิบ จะอ้างอิงจากฐานข้อมูลที่ได้รับความน่าเชื่อถือในระดับสากล คือ Ecoinvent 3.0 โดยข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้าและขาออกแสดงดังในรูปที่ 4-34 และ 4-35 และตารางที่ 4-7 และ 4-8



รูปที่ 4-34 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการผลิตก๊าซเอทิลีนต่อหน่วยการทำงาน 1 ถุงพลาสติก

ตารางที่ 4-7 บัญชีรายการมวลสารของการผลิตก๊าซเอทิลีนต่อหน่วยการทำงาน 1 ถุงพลาสติก

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
มวลสารขาเข้า			
วัตถุดิบ	1.570E-2	กิโลกรัม/ถุง	
สารเคมี	3.188E-3	กิโลกรัม/ถุง	
ไฟฟ้า	9.736E-4	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ถุง	
ไอน้ำ	2.012E-2	เมกะจูล/ถุง	
น้ำ	6.463E-2	กิโลกรัม/ถุง	
ไนโตรเจน	2.334E-4	กิโลกรัม/ถุง	
เชื้อเพลิง	1.643	เมกะจูล/ถุง	
การขนส่ง	2.162E-4	ตัน-กิโลเมตร/ถุง	
มวลสารขาออก			
ก๊าซเอทิลีน	7.586E-3	กิโลกรัม/ถุง	
ผลิตภัณฑ์ร่วม	6.048E-3	กิโลกรัม/ถุง	
ก๊าซเผาทิ้ง (Flare gas)	9.065E-5	ลูกบาศก์เมตร/ถุง	
มลพิษทางอากาศ	2.400E-6	กิโลกรัม/ถุง	
น้ำเสีย	8.539E-6	ลูกบาศก์เมตร/ถุง	
กากของเสีย	2.189E-4	กิโลกรัม/ถุง	



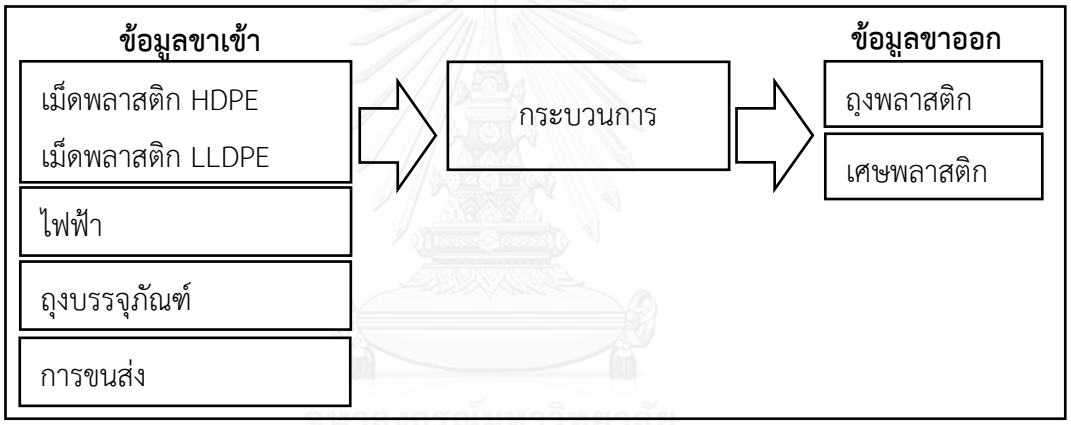
รูปที่ 4-35 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ต่อหน่วยการทำงาน 1 ถุงพลาสติก

ตารางที่ 4-8 บัญชีรายการมวลสารของการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ต่อหน่วยการทำงาน 1 ถุงพลาสติก

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
มวลสารขาเข้า			
ก๊าซเอทิลีน	7.586E-3	กิโลกรัม/ถุง	
วัตถุดิบและสารเคมีอื่นๆ	1.098E-4	กิโลกรัม/ถุง	
บรรจุภัณฑ์	5.583E-5	กิโลกรัม/ถุง	
ไฟฟ้า	2.594E-3	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ถุง	
ไอน้ำ	2.514E-3	เมกะจูล/ถุง	
น้ำ	1.867E-2	กิโลกรัม/ถุง	
ไนโตรเจน	3.463E-4	กิโลกรัม/ถุง	
เชื้อเพลิง	9.405E-6	เมกะจูล/ถุง	
การขนส่ง	4.034E-05	ตัน-กิโลเมตร/ถุง	
มวลสารขาออก			
เม็ดพลาสติก HDPE	7.400E-3	กิโลกรัม/ถุง	
ผลิตภัณฑ์ร่วม	1.305E-4	กิโลกรัม/ถุง	
ก๊าซเผาทิ้ง (Flare gas)	3.886E-5	ลูกบาศก์เมตร/ถุง	
น้ำเสีย	1.867E-2	ลูกบาศก์เมตร/ถุง	
กากของเสีย	1.377E-7	กิโลกรัม/ถุง	

2.2) กระบวนการขึ้นรูปถุงพลาสติก

ข้อมูลในส่วนนี้ได้จากข้อมูลปฐมภูมิเป็นหลัก ซึ่งมาจากการลงพื้นที่ศึกษากระบวนการผลิตและสอบถามข้อมูลบัญชีรายการของกระบวนการขึ้นรูปและการขนส่งของถุงพลาสติกจากวิศวกรของโรงงานโดยตรง โดยขั้นตอนของกระบวนการผลิตถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร เริ่มด้วยการผสมเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene; HDPE) กับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรง (Linear low density polyethylene; LLDPE) ในสัดส่วนร้อยละ 50 จากนั้นจะถูกส่งไปยังกระบวนการขึ้นรูปด้วยการเป่าฟิล์ม (Blow film extruder) เมื่อเสร็จแล้วจะถูกนำมาซีลด้วยความร้อนและตัดให้ได้ความยาวที่กำหนด สุดท้ายถุงพลาสติกที่ผลิตได้จะถูกนำไปบรรจุหีบห่อเพื่อเตรียมส่งให้ผู้ใช้งาน ส่วนเศษพลาสติกที่เกิดขึ้นจะถูกขายต่อให้กับโรงงานรีไซเคิล และสำหรับข้อมูลการขนส่งของกระบวนการนี้จะเป็นการขนส่งของวัตถุดิบ บรรจุภัณฑ์ และของเสียต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4-36 และตารางที่ 4-9



รูปที่ 4-36 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการผลิตถุงพลาสติกต่อหน่วยการทำงาน 1 ถุงพลาสติก

ตารางที่ 4-9 บัญชีรายการมวลสารของการผลิตถุงพลาสติกต่อหน่วยการทำงาน 1 ถุงพลาสติก

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
มวลสารขาเข้า			
เม็ดพลาสติก HDPE	7.400E-3	กิโลกรัม/ถุง	
เม็ดพลาสติก LLDPE	7.400E-3	กิโลกรัม/ถุง	เม็ดพลาสติกที่มีส่วนผสมของสีเขียว 1-2%
ถุงบรรจุภัณฑ์	9.603E-5	กิโลกรัม/ถุง	
ไฟฟ้า	9.171E-3	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ถุง	
การขนส่ง	1.853E-03	ตัน-กิโลเมตร/ถุง	
มวลสารขาออก			
ถุงพลาสติก	1.480E-2	กิโลกรัม/ถุง	
เศษพลาสติก	4.394E-4	กิโลกรัม/ถุง	ส่งขายโรงงานรีไซเคิล

2.3) การใช้งาน

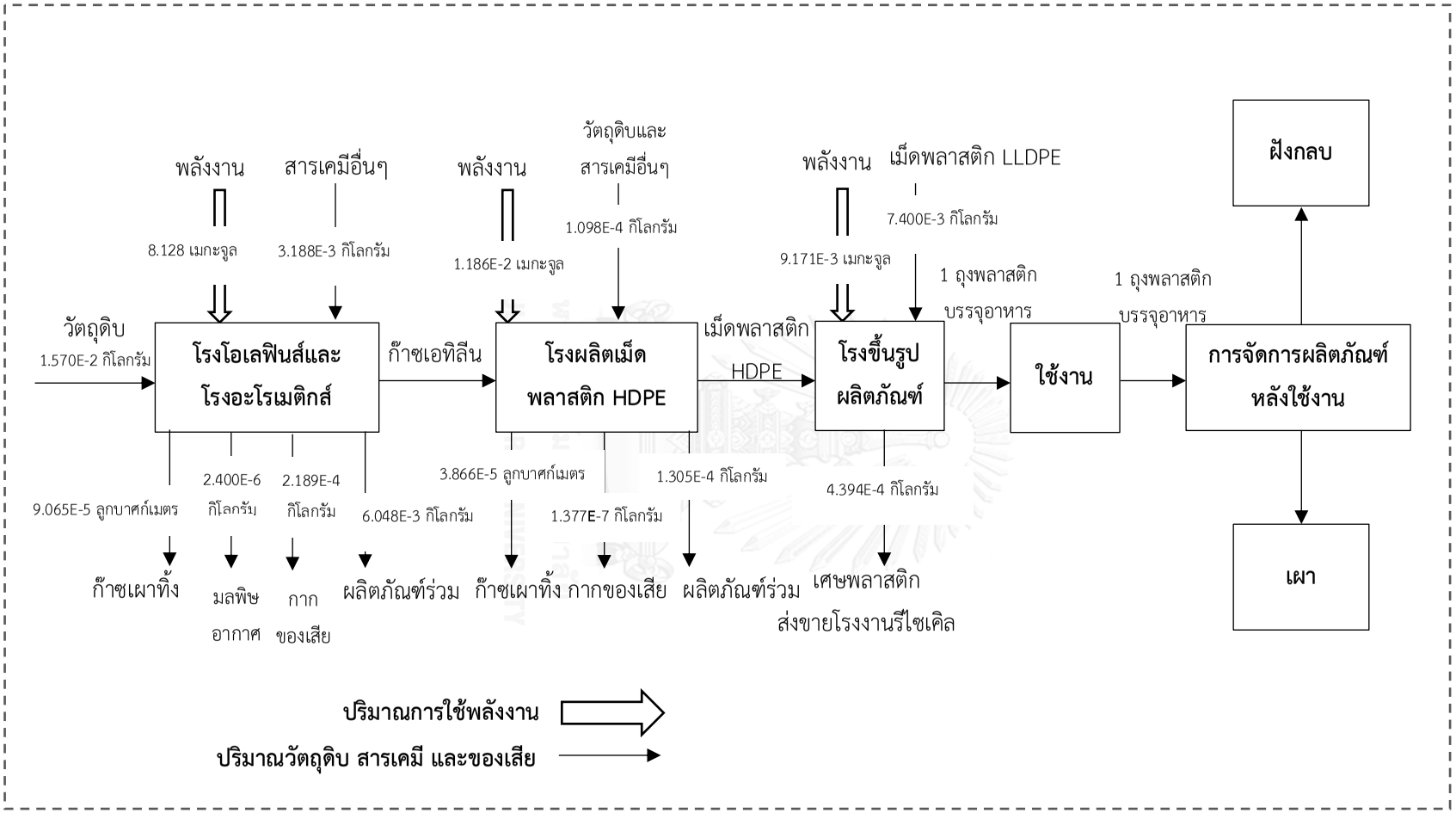
ขั้นตอนการใช้งานถุงพลาสติกจะไม่มีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไม่มีการใช้พลังงานรวมถึงไม่มีการเติมสารใดๆ เข้าไปในขั้นตอนนี้ และในส่วนการขนส่งของการใช้งานจะเป็นข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้เทียบต่อ 1 ถุงพลาสติก คูณกับระยะการขนส่งไปยังลูกค้าของโรงงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงคิดเป็นค่าการขนส่งในส่วนของการใช้งานได้เท่ากับ 2.264E-3 ตัน-กิโลเมตร/ถุง

2.4) การจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน

ในส่วนของขั้นตอนการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน จะอ้างอิงจากฐานข้อมูลที่น่าเชื่อถือระดับสากล คือ Ecoinvent 3.0 โดยจะแบ่งเป็น 2 กรณีศึกษา คือ กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการฝังกลบ (Landfill) เนื่องจากถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารเป็นขยะมูลฝอยทั่วไป (Municipal waste) และ กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา (Incineration) เนื่องจากผลการสอบถามและสัมภาษณ์หน่วยงานภาครัฐและหน่วยงานเอกชนที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะชุมชนในประเทศไทย พบว่า ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารทุกชนิดจะไม่นิยมนำมารีไซเคิล แต่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อนำไปใช้เผาเป็นเชื้อเพลิง โดยจากการตรวจวัดค่าความร้อนของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์ พบว่าการเผาไหม้ถุงพลาสติกให้ค่าความร้อนสูง เท่ากับ 10,096 แคลอรี่/กรัม จึงสามารถนำไปใช้เผาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้

ในส่วนข้อมูลการขนส่งถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารที่ใช้แล้วจะอ้างอิงข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ ที่ได้กำหนดรัศมีการเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยของศูนย์จัดการขยะมูลฝอยสำหรับกลุ่มพื้นที่ชุมชนขนาดใหญ่ที่สุดไม่เกิน 50 กิโลเมตร เพื่อให้มีความสะดวกในการขนถ่ายขยะ และเพื่อให้สามารถจัดการขยะได้อย่างถูกต้องโดยเร็วที่สุด ซึ่งในการขนส่งจะใช้รถบรรทุก 10 ล้อ ขนาดบรรทุกสูงสุด 16 ตัน ซึ่งเมื่อนำปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วเทียบต่อ 1 ถุงพลาสติกคูณกับระยะทางที่ต้องขนส่งไปศูนย์จัดการขยะมูลฝอย จะสามารถคิดเป็นค่าการขนส่งในส่วนของการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานได้เท่ากับ 7.400E-4 ตัน-กิโลเมตร/ถุง

เมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกครบถ้วนแล้ว จะต้องนำข้อมูลทั้งหมดของทุกกระบวนการมาจัดทำสมดุลมวลสารขาเข้าและขาออกของปริมาณวัตถุดิบ สารเคมีที่ใช้ และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น รวมถึงพลังงานที่ใช้ในแต่ละกระบวนการ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและเพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูลในแต่ละกระบวนการ โดยแผนผังแสดงสมดุลมวลสารของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารต่อหน่วยการทำงาน 1 ถุงพลาสติก สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4-37



รูปที่ 4-37 สมดุลมวลสารของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารต่อหน่วยการทำงาน 1 ถุงพลาสติก

3. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการแปลผลการศึกษา

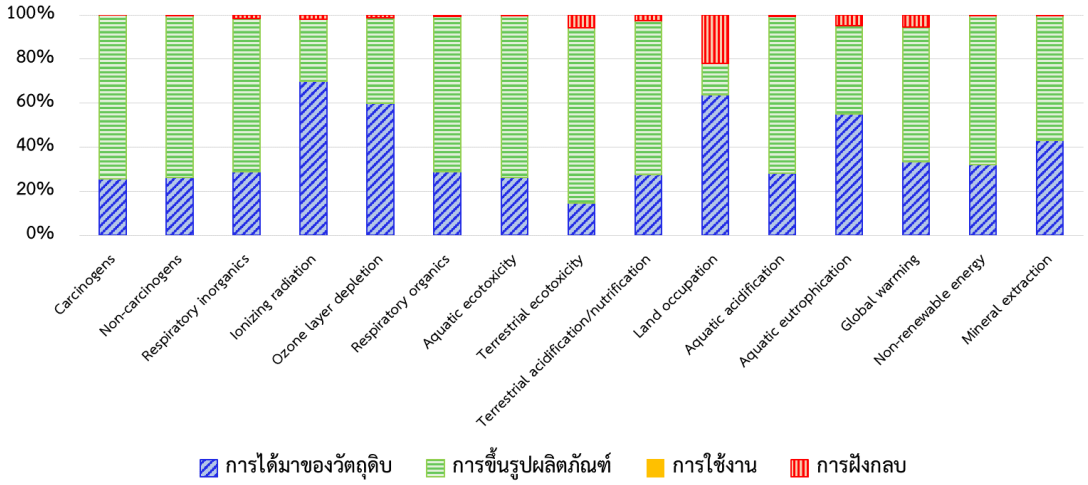
3.1) ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลาง (Midpoint categories)

จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งเป็นผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารที่ใช้วิธีการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานโดยการฝังกลบ ดังแสดงผลในรูปที่ 4-38 พบว่า ผลกระทบสูงสุดเกิดจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรง (Linear low density polyethylene; LLDPE) ผสมกับพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เนื่องจากในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก ต้องใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบเป็นวัตถุดิบและต้องใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในกระบวนการผลิตในปริมาณมาก จึงทำให้กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์มีค่าผลกระทบสูงสุดในทุกด้าน ยกเว้นผลกระทบด้านการปล่อยกัมมันตภาพรังสี (Ionizing radiation) ด้านการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone layer depletion) ด้านการใช้ที่ดิน (Land occupation) และด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Aquatic eutrophication) ซึ่งมีค่าผลกระทบสูงสุดมาจากการได้มาของวัตถุดิบ คือ เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยเป็นผลกระทบรวมตั้งแต่กระบวนการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ กระบวนการผลิตอีเทนและแนฟทา กระบวนการผลิตก๊าซเอทิลีนในโรงโอเลฟินส์และโรงอะโรเมติกส์ และกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

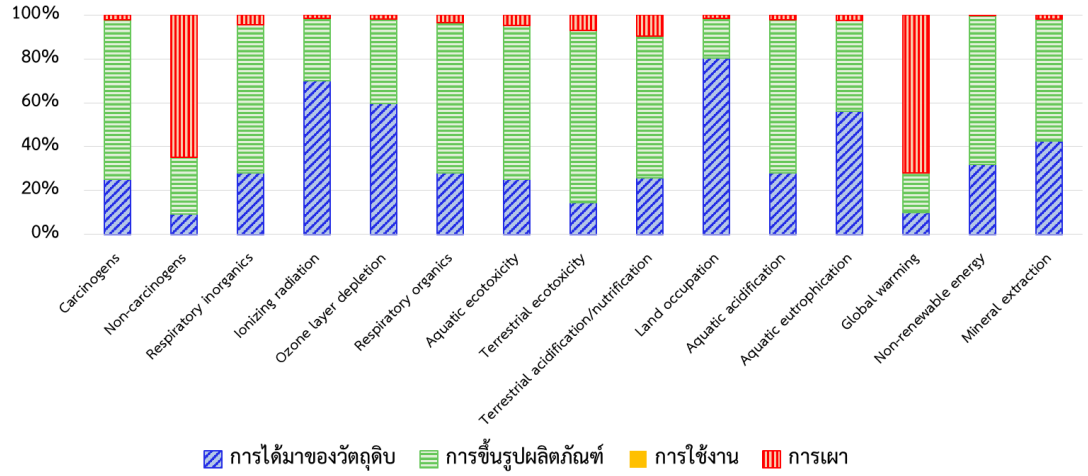
สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารที่ใช้วิธีการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานโดยการเผา แสดงดังรูปที่ 4-39 พบว่า การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์มีค่าผลกระทบสูงสุดทุกด้าน เนื่องจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงผสมกับพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ยกเว้นผลกระทบด้านการปล่อยกัมมันตภาพรังสี (Ionizing radiation) ด้านการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone layer depletion) ด้านการใช้ที่ดิน (Land occupation) และด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Aquatic eutrophication) ซึ่งมีค่าผลกระทบสูงสุดมาจากการได้มาของวัตถุดิบ คือ เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ส่วนผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Non-carcinogens) และด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) มีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานโดยการเผา เนื่องจากการเผาพลาสติกก่อให้เกิดมลพิษหลายชนิด เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ออกไซด์ และโลหะหนัก เป็นต้น

นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบจากกรณีศึกษาทั้ง 2 กรณี พบว่า กรณีศึกษาที่ 2 มีผลกระทบโดยรวมสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 1 ในทุกด้าน ยกเว้นผลกระทบด้านการปล่อยกัมมันตภาพรังสี (Ionizing radiation) ด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Aquatic eutrophication) และด้านการใช้ที่ดิน (Land occupation) เนื่องจากการจัดการด้วยการฝังกลบต้องใช้ที่ดินสูงกว่าการ

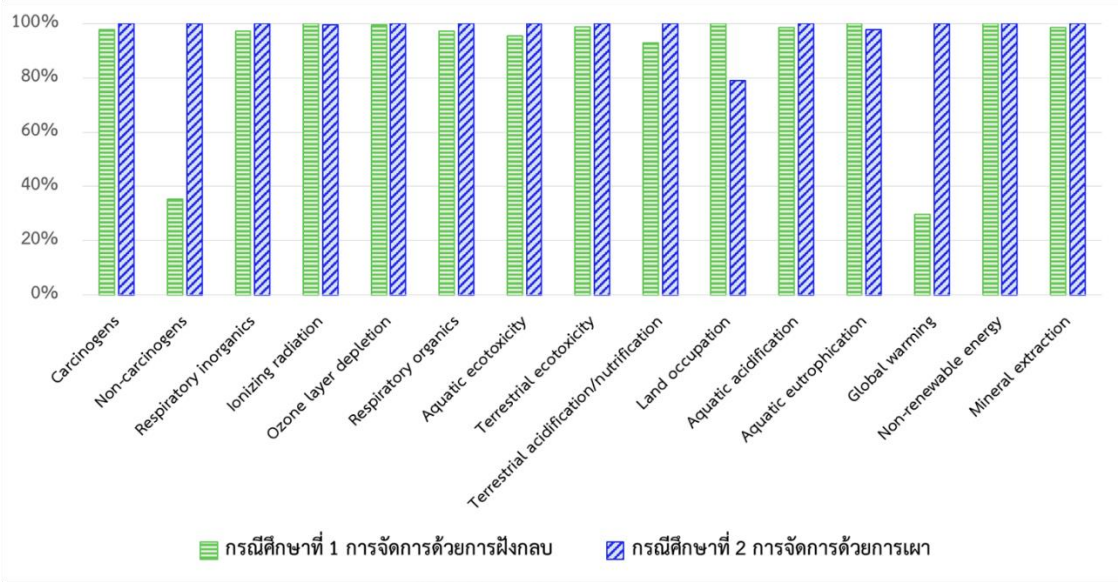
จัดการด้วยการเผา จึงทำให้ผลกระทบด้านการใช้ที่ดินสูงกว่า อีกทั้งการจัดการด้วยการฝังกลบอาจทำให้สารเคมีที่อยู่ในพลาสติกปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อม จึงทำให้ผลกระทบด้านการปล่อยกัมมันตภาพรังสี และด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำของการจัดการด้วยการฝังกลบสูงกว่าการเผา แสดงดังรูปที่ 4-40



รูปที่ 4-38 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการฝังกลบ



รูปที่ 4-39 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา



รูปที่ 4-40 เปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารระหว่างการฝังกลบและการเผาผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน

3.2) ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นปลาย (Endpoint categories)

จากการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลางของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารตลอดวัฏจักรชีวิต สามารถนำมาคำนวณเป็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นปลาย (Endpoint categories) โดยใช้ค่าแฟคเตอร์ (Damage factor) ที่อ้างอิงตามวิธีการ IMPACT 2002+ version 2.12 ดังแสดงในตารางที่ 4-10 และการวิเคราะห์ความเสียหาย (Damage assessment) ดังแสดงในตารางที่ 4-11 พบว่า กรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งเป็นผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารที่ใช้วิธีจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานโดยการฝังกลบ มีผลกระทบรวมทุกด้านต่ำกว่ากรณีศึกษาที่ 2 ซึ่งเป็นผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารที่ใช้วิธีจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการเผา โดยผลกระทบทั้ง 4 ด้านในกรณีศึกษาที่ 1 คือ ด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) ด้านคุณภาพระบบนิเวศ (Ecosystem quality) ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) และด้านการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) เกิดจากกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สูงสุด รองลงมาคือการได้มาของวัตถุดิบ ส่วนในกรณีศึกษาที่ 2 ผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) ด้านการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) และด้านคุณภาพระบบนิเวศ (Ecosystem quality) เกิดจากกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สูงสุด ในขณะที่ผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) เกิดจากการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการเผาสูงสุด เนื่องจากการเผาพลาสติกจะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ตารางที่ 4-10 ผลการคำนวณผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint categories) ของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร

กลุ่มผลกระทบ	หน่วย	การได้มาของวัตถุดิบ	การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์	การใช้งาน	การจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน		รวม
Carcinogens	DALY	6.784E-9	1.970E-8	-	การฝังกลบ	2.709E-12	2.648E-8
					การเผา	5.877E-10	2.707E-8
Non-carcinogens	DALY	4.642E-10	1.292E-9	-	การฝังกลบ	7.485E-12	1.764E-9
					การเผา	3.232E-09	4.988E-9
Respiratory inorganics	DALY	4.607E-9	1.112E-8	-	การฝังกลบ	2.494E-10	1.597E-8
					การเผา	7.205E-10	1.644E-8
Ionizing radiation	DALY	1.152E-11	4.672E-12	-	การฝังกลบ	3.104E-13	1.650E-11
					การเผา	2.603E-13	1.645E-11
Ozone layer depletion	DALY	1.733E-12	1.120E-12	-	การฝังกลบ	3.910E-14	2.893E-12
					การเผา	5.191E-14	2.905E-12
Respiratory organics	DALY	1.164E-11	2.838E-11	-	การฝังกลบ	2.465E-13	4.026E-11
					การเผา	1.364E-12	4.138E-11
Aquatic ecotoxicity	PDF*m^2*yr	4.492E5	1.254E-4	-	การฝังกลบ	4.581E-7	1.708E-4
					การเผา	8.353E-6	1.787E-4
Terrestrial ecotoxicity	PDF*m^2*yr	1.010E-4	5.521E-4	-	การฝังกลบ	4.050E-5	6.936E-4
					การเผา	4.977E-5	7.028E-4
Terrestrial acid/nutri	PDF*m^2*yr	1.045E-4	2.647E-4	-	การฝังกลบ	9.936E-6	3.791E-4
					การเผา	3.925E-5	4.085E-4
Land occupation	PDF*m^2*yr	6.451E-5	1.443E-5	-	การฝังกลบ	2.237E-5	1.013E-4
					การเผา	1.162E-6	8.010E-5
Aquatic acidification	-	-	-	-	การฝังกลบ	-	-
					การเผา	-	-
Aquatic eutrophication	-	-	-	-	การฝังกลบ	-	-
					การเผา	-	-
Global warming	kg CO_2 eq	6.070E-3	1.118E-2	-	การฝังกลบ	1.009E-3	1.826E-2
					การเผา	4.437E-2	6.161E-2
Non-renewable energy	MJ primary	3.536E-1	7.491E-1	-	การฝังกลบ	3.263E-3	1.106
					การเผา	3.558E-3	1.106
Mineral extraction	MJ primary	8.618E-6	1.132E-5	-	การฝังกลบ	3.586E-8	1.997E-5
					การเผา	3.380E-7	2.027E-5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

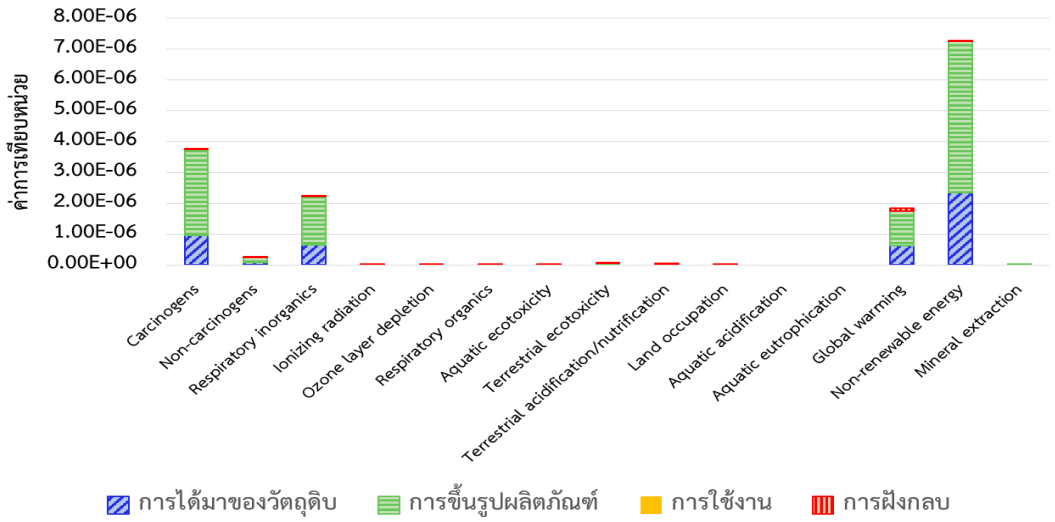
ตารางที่ 4-11 ผลการจัดกลุ่มความเสียหาย (Damage categories) ของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร

กลุ่มผลกระทบ	หน่วย	การได้มาของวัตถุดิบ	การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์	การใช้งาน	การจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน		รวม
Human health	DALY	1.188E-8	3.214E-8	-	การฝังกลบ	2.602E-10	4.428E-8
					การเผา	4.542E-9	4.856E-8
Ecosystem quality	PDF*m^2*yr	3.149E-4	9.567E-4	-	การฝังกลบ	7.327E-5	1.345E-3
					การเผา	9.853E-5	1.370E-3
Climate change	kg CO_2 eq.	6.070E-3	1.118E-2	-	การฝังกลบ	1.009E-3	1.826E-2
					การเผา	4.437E-2	6.161E-2
Resources	MJ primary	3.536E-1	7.491E-1	-	การฝังกลบ	3.263E-3	1.106
					การเผา	3.559E-3	1.106

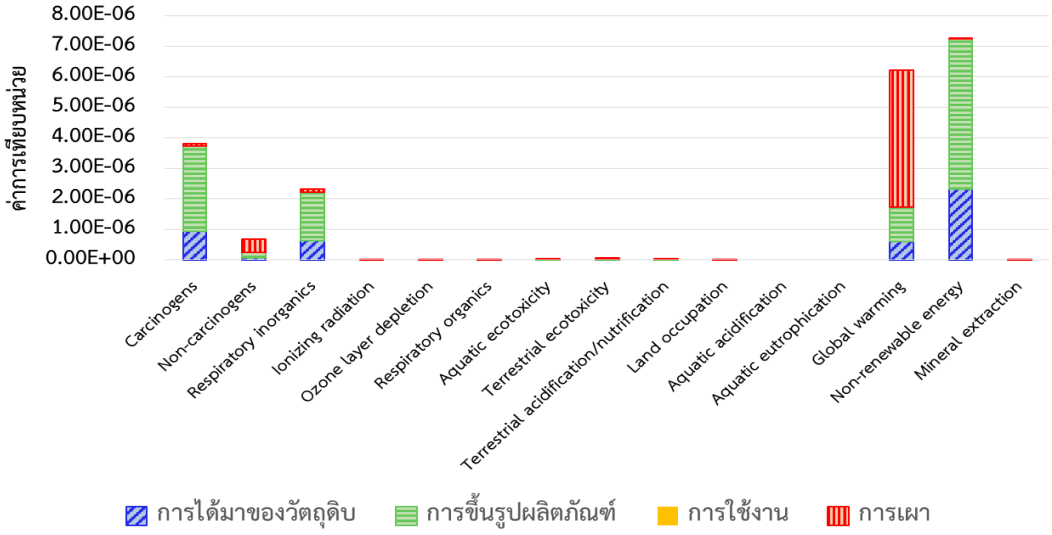
3.3) การเทียบหน่วย (Normalization)

การเทียบหน่วย (Normalization) คือ การปรับหน่วยของแต่ละผลกระทบให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกันและเพื่อให้เห็นถึงความสำคัญของแต่ละผลกระทบ เมื่อทำการเทียบหน่วยผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารที่มีการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการฝังกลบในกรณีศึกษาที่ 1 พบว่า ผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy) มีค่าสูงสุด รองลงมา ได้แก่ ผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Carcinogens) ด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics) ด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Non-carcinogens) และด้านการเกิดความเป็นพิษต่อดิน (Terrestrial ecotoxicity) ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4-41

ในส่วนของกรณีศึกษาที่ 2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารที่มีการจัดการผลิตภัณฑ์หลังใช้งานด้วยการเผา พบว่า ผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy) มีค่าสูงสุด รองลงมา ได้แก่ ผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Carcinogens) ด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics) ด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Non-carcinogens) และด้านการเกิดความเป็นพิษต่อดิน (Terrestrial ecotoxicity) ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4-42

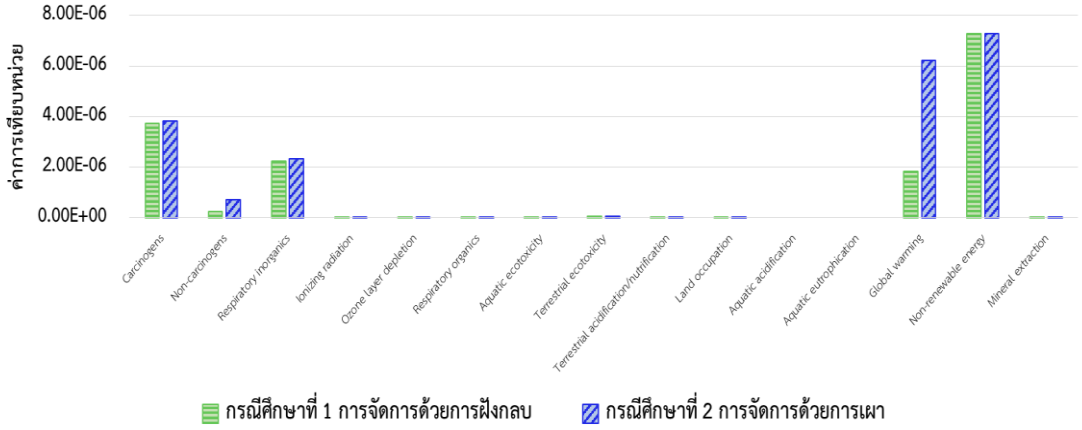


รูปที่ 4-41 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการฝังกลบ



รูปที่ 4-42 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา

และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมระหว่าง 2 กรณีศึกษา จะเห็นว่าทั้ง 2 กรณีศึกษามีผลกระทบในด้านเดียวกันทั้ง 6 ผลกระทบ แต่ไม่เป็นไปในลำดับเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4-43 และเมื่อทำการรวมค่าผลกระทบทุกด้านเพื่อเปรียบเทียบค่าผลกระทบโดยรวมของทั้ง 2 กรณีศึกษา พบว่า การจัดการด้วยการเผาในกรณีศึกษาที่ 2 มีค่าผลกระทบโดยรวมสูงกว่าการจัดการด้วยการฝังกลบในกรณีศึกษาที่ 1 ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4-12



รูปที่ 4-43 เปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารระหว่างการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการฝังกลบและการเผา

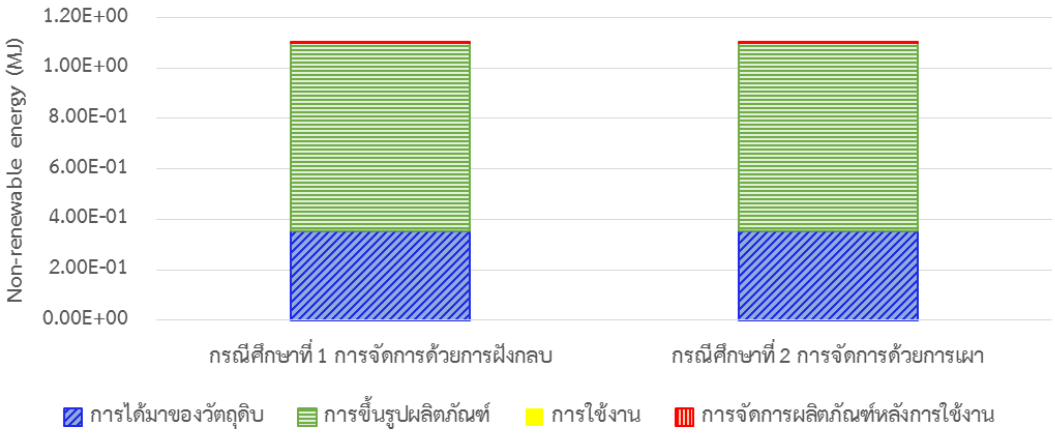
ตารางที่ 4-12 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร เปรียบเทียบใน 2 กรณีศึกษา

กลุ่มผลกระทบ	กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการฝังกลบ	กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา
Carcinogens	3.734E-6	3.817E-6
Non-carcinogens	2.487E-7	7.033E-7
Respiratory inorganics	2.252E-6	2.318E-6
Ionizing radiation	2.327E-9	2.320E-9
Ozone layer depletion	4.078E-10	4.097E-10
Respiratory organics	5.677E-9	5.835E-9
Aquatic ecotoxicity	1.247E-8	1.305E-8
Terrestrial ecotoxicity	5.063E-8	5.131E-8
Terrestrial acidifiction/nutrification	2.768E-8	2.982E-8
Land occupation	7.396E-9	5.847E-9
Aquatic acidification	-	-
Aquatic eutrophication	-	-
Global warming	1.844E-6	6.223E-6
Non-renewable energy	7.277E-6	7.279E-6
Mineral extraction	1.314E-10	1.334E-10
รวม	**1.546E-5**	**2.045E-5**

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้นำผลกระทบ 6 ด้านที่มีอันดับสูงสุดในทั้ง 2 กรณีศึกษา ได้แก่ ผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ด้านการเกิดภาวะโลกร้อน ด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ และด้านการเกิดความเป็นพิษต่อดิน มาทำการคำนวณสัดส่วนผลกระทบของแต่ละกระบวนการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

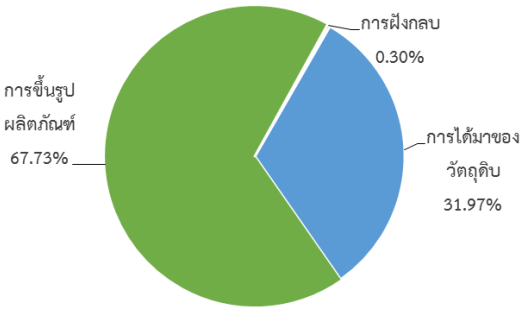
(1) ผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy)

ผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปเป็นผลกระทบที่มากที่สุดจากการประเมินด้วยการเทียบหน่วย (Normalization) ดังแสดงในรูปที่ 4-44 ชี้ให้เห็นถึงผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปแยกตามกระบวนการต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

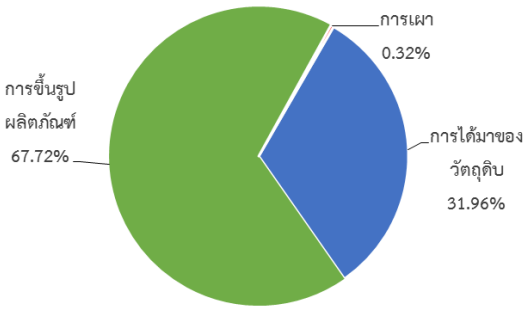


รูปที่ 4-44 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป
ระหว่างการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการฝังกลบและการเผา

จากแผนภาพข้างต้น พิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปของ 2 กรณีศึกษา พบว่า ทั้ง 2 กรณีศึกษามีค่าผลกระทบโดยรวมทุกกระบวนการใกล้เคียงกัน โดยกระบวนการที่มีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากที่สุดของทั้ง 2 กรณีศึกษา คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ มีค่า 0.749 เมกะจูล/1 ถุงพลาสติก รองลงมาคือการได้มาของวัตถุดิบ 0.354 เมกะจูล/1 ถุงพลาสติก และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ตามลำดับ สัดส่วนของผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปของแต่ละกรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 4-45



กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการฝังกลบ

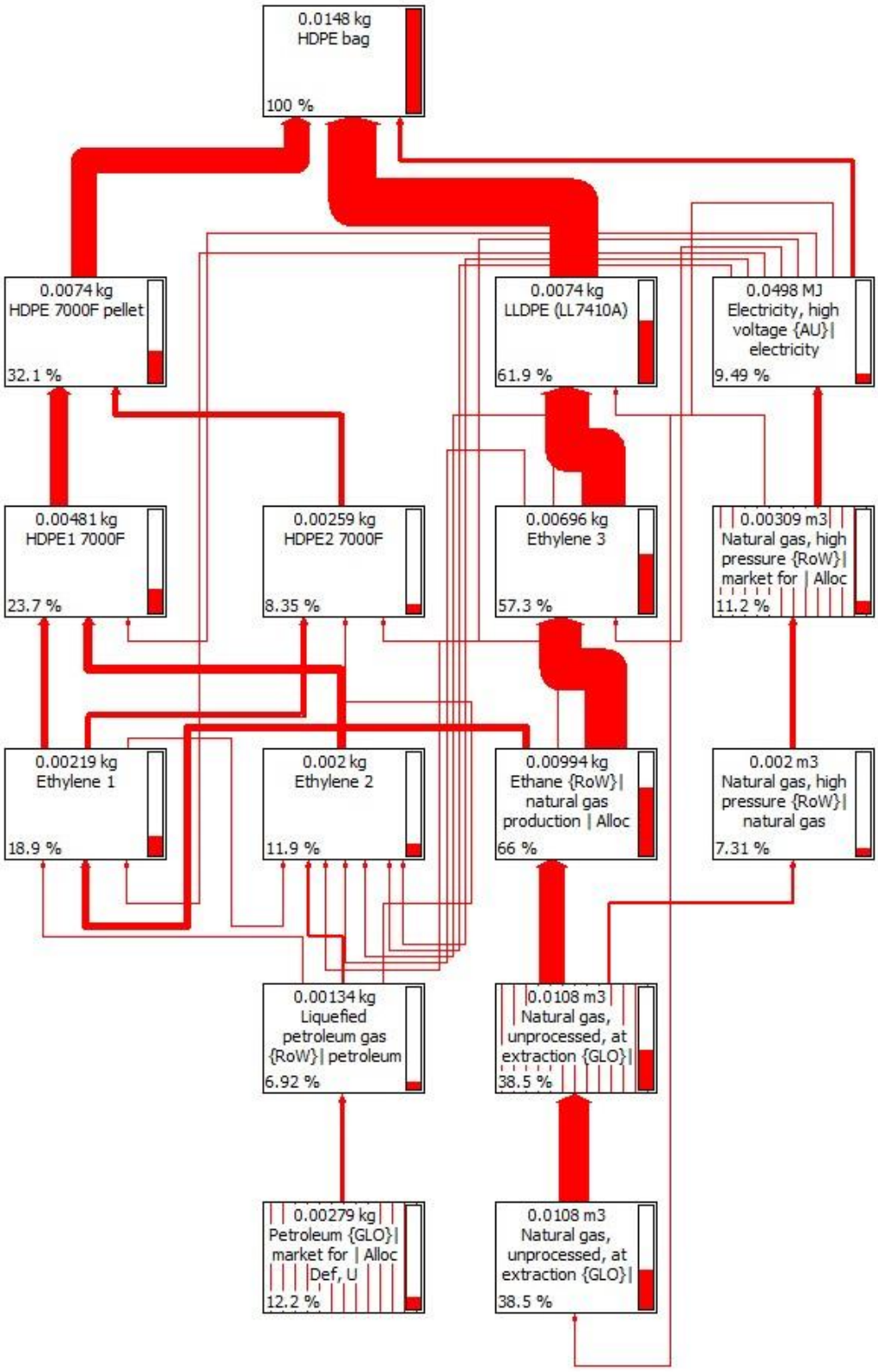


กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา

รูปที่ 4-45 สัดส่วนของผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารตลอดวัฏจักรชีวิต แยกเป็นกระบวนการ

กรณีศึกษาที่ 1 จุดที่มีค่าผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปมากที่สุด คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ร้อยละ 67.73 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ พบว่า ร้อยละ 61.83 เป็นผลกระทบจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงเป็นวัตถุดิบผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในกระบวนการเป่าขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ รองลงมา คือ การได้มาของวัตถุดิบ ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 จุดที่มีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากที่สุด คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ร้อยละ 67.72 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จะพบว่า เป็นผลกระทบจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงเป็นวัตถุดิบผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในกระบวนการเป่าขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 61.81 รองลงมา คือ การได้มาของวัตถุดิบ และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการเผา คิดเป็นร้อยละ 31.96 และ 0.32 ตามลำดับ

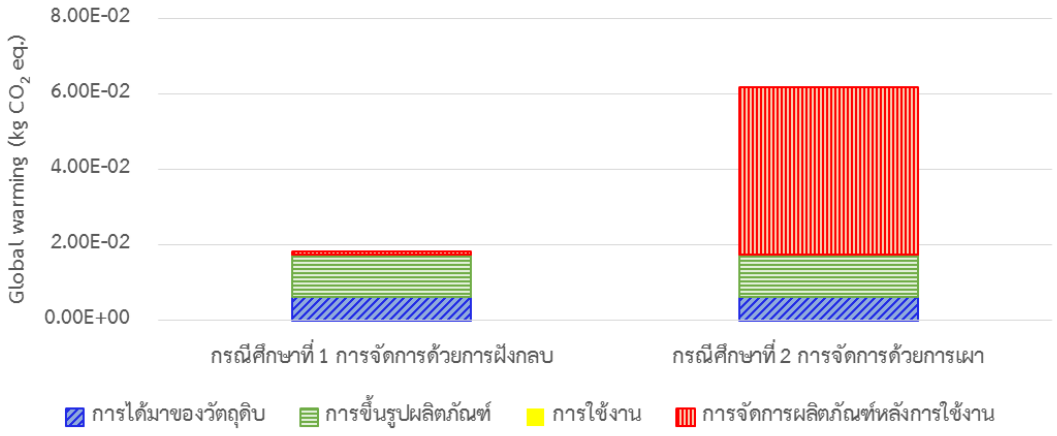
ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to gate ครอบคลุมกระบวนการได้มาของวัตถุดิบ และกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 4-46 พบว่า ผลกระทบด้านนี้ส่วนใหญ่มาจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงเป็นวัตถุดิบผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในกระบวนการเป่าขึ้นรูปถุงพลาสติก ร้อยละ 61.90 ซึ่งในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกต้องใช้ก๊าซเอทิลีนเป็นวัตถุดิบ และต้องใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลปริมาณมาก รองลงมา คือ การได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 32.10 และการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกและการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 9.49



รูปที่ 4-46 ผังการไหลของผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป
ของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร

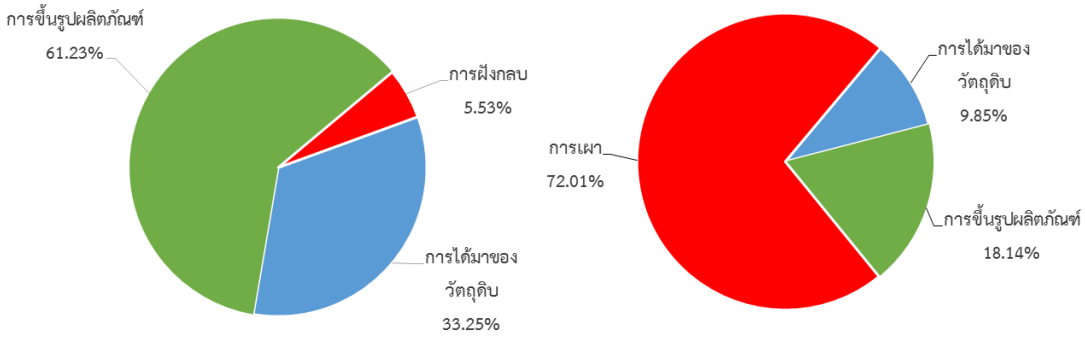
(2) ผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming)

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อน (Global Warming) แสดงดังรูปที่ 4-47 โดยแยกตามกระบวนการต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่กระบวนการได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การใช้งาน และการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน โดยจะแสดงผลในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO_2 eq.)



รูปที่ 4-47 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน
ระหว่างการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการฝังกลบและการเผา

จากแผนภาพข้างต้น พิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนของ 2 กรณีศึกษา พบว่า กรณีศึกษาที่ 2 มีผลกระทบโดยรวมสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 1 โดยกรณีศึกษาที่ 2 มีค่าผลกระทบโดยรวม 0.0616 kg CO_2 eq./1 ถุงพลาสติก ซึ่งเกิดจากกระบวนการจัดการด้วยการเผาสูงสุด รองลงมาคือการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และการได้มาของวัตถุดิบ ตามลำดับ ส่วนกรณีศึกษาที่ 1 มีค่าผลกระทบโดยรวม 0.0183 kg CO_2 eq./1 ถุงพลาสติก ซึ่งเกิดจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สูงที่สุด รองลงมาคือ การได้มาของวัตถุดิบ และการจัดการด้วยการฝังกลบ ตามลำดับ สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนของแต่ละกรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 4-48

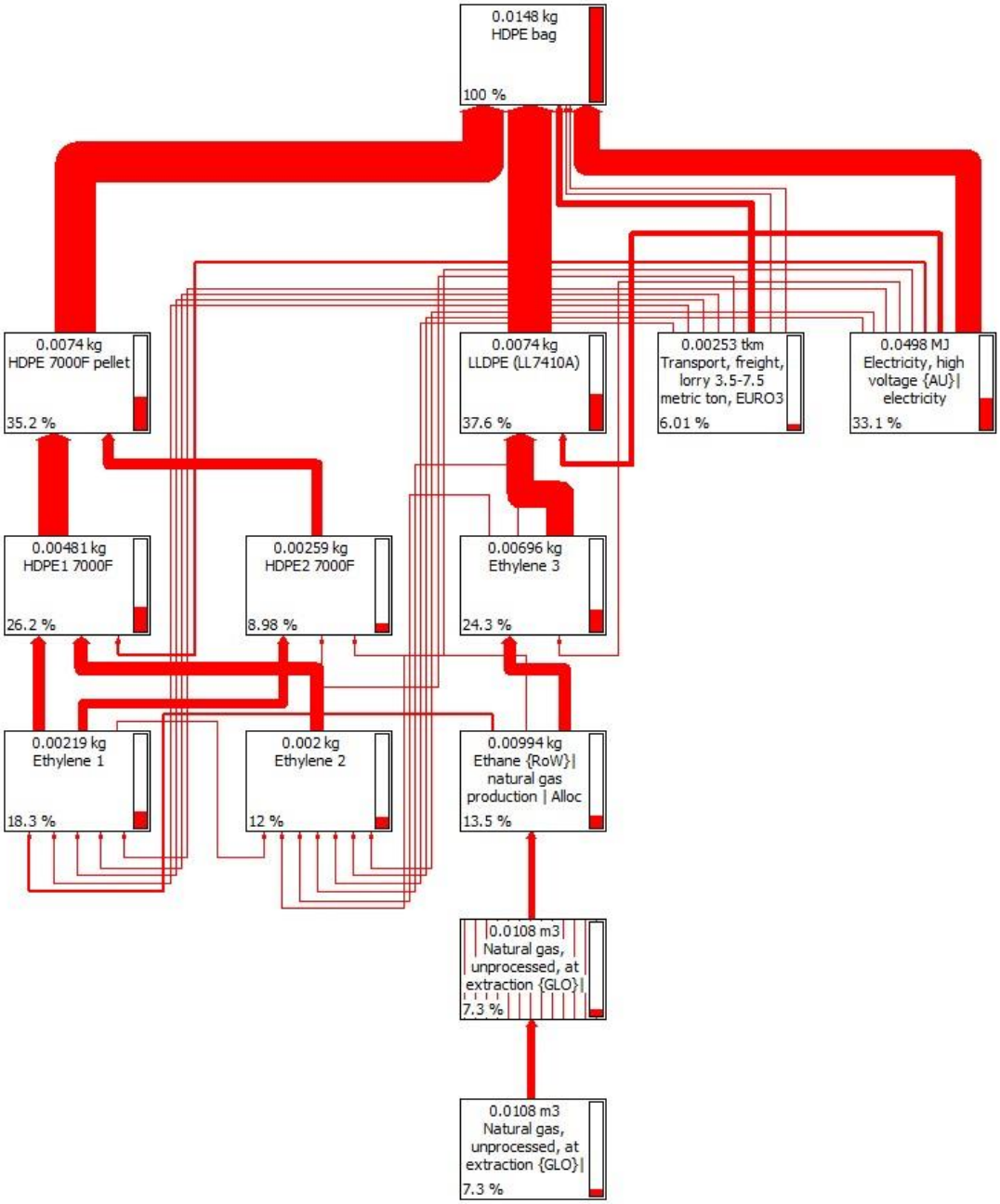


กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการฝังกลบ กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา

รูปที่ 4-48 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติก สำหรับบรรจุอาหาร แยกเป็นกระบวนการ

กรณีศึกษาที่ 1 จุดที่ส่งผลมากที่สุด คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 61.23 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จะพบว่า ร้อยละ 35.82 เป็นผลกระทบจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงเป็นวัตถุดิบผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในกระบวนการเป่าขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และผลกระทบจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 20.75 รองลงมาคือ การได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 33.25 และการจัดการด้วยการฝังกลบร้อยละ 5.53 ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 จุดที่ส่งผลมากที่สุดเกิดจากการจัดการด้วยการเผาร้อยละ 72.01 เนื่องจากการเผาผลิตภัณฑ์จะทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน รองลงมา คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และการได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 18.14 และ 9.85 ตามลำดับ

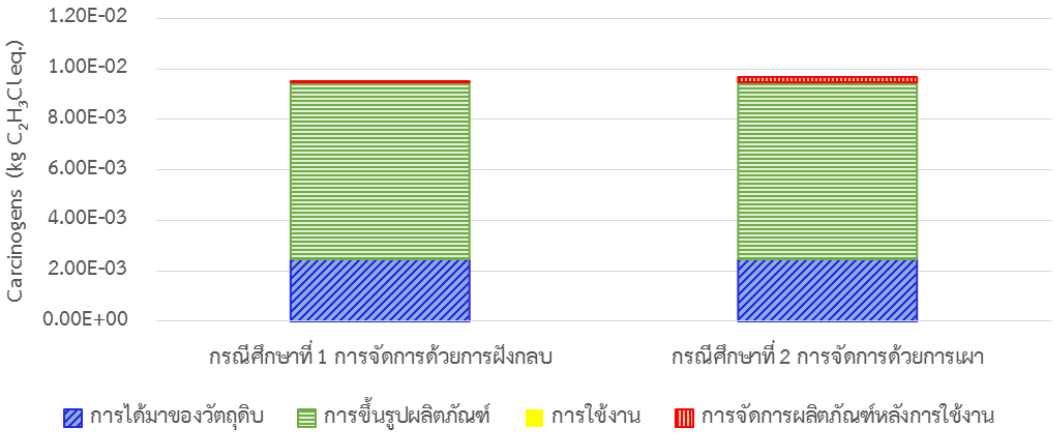
เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to gate ครอบคลุมกระบวนการได้มาของวัตถุดิบ และการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 4-49 พบว่าผลกระทบด้านนี้ส่วนใหญ่มาจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงเป็นวัตถุดิบผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในกระบวนการเป่าขึ้นรูปถุงพลาสติก ร้อยละ 37.6 ซึ่งในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกจะต้องเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลปริมาณมาก จึงเกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง รองลงมา คือ การได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 35.2 และการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกและการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 33.1



รูปที่ 4-49 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน
ของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร

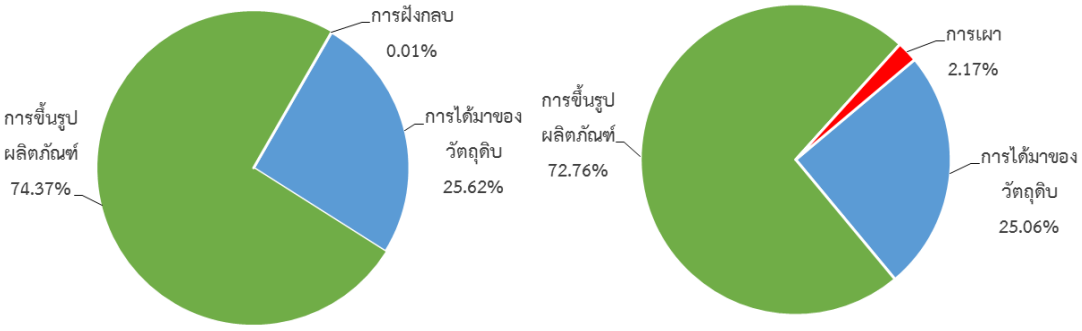
(3) ผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Carcinogens)

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Carcinogens) แสดงดังรูปที่ 4-50 โดยแยกตามกระบวนการต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ แสดงผลในหน่วยกิโลกรัมคลอโรเอทิลีนเทียบเท่า (kg C_2H_3Cl eq.)



รูปที่ 4-50 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง
ระหว่างการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการฝังกลบและการเผา

จากแผนภาพข้างต้น พิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งของ 2 กรณีศึกษา พบว่า กรณีศึกษาที่ 2 มีผลกระทบโดยรวมสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 1 เล็กน้อย โดยกรณีศึกษาที่ 2 มีค่าผลกระทบโดยรวม 0.00967 kg C_2H_3Cl eq./1 ถุงพลาสติก ซึ่งเกิดจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สูงที่สุด รองลงมาคือการได้มาของวัตถุดิบ และการจัดการด้วยการเผาตามลำดับ ส่วนกรณีศึกษาที่ 1 มีค่าผลกระทบโดยรวม 0.00946 kg C_2H_3Cl eq./1 ถุงพลาสติก ซึ่งเกิดจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สูงสุด รองลงมาคือ การได้มาของวัตถุดิบ และการจัดการด้วยการฝังกลบตามลำดับ สัดส่วนของผลกระทบด้านการการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งของแต่ละกรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 4-51

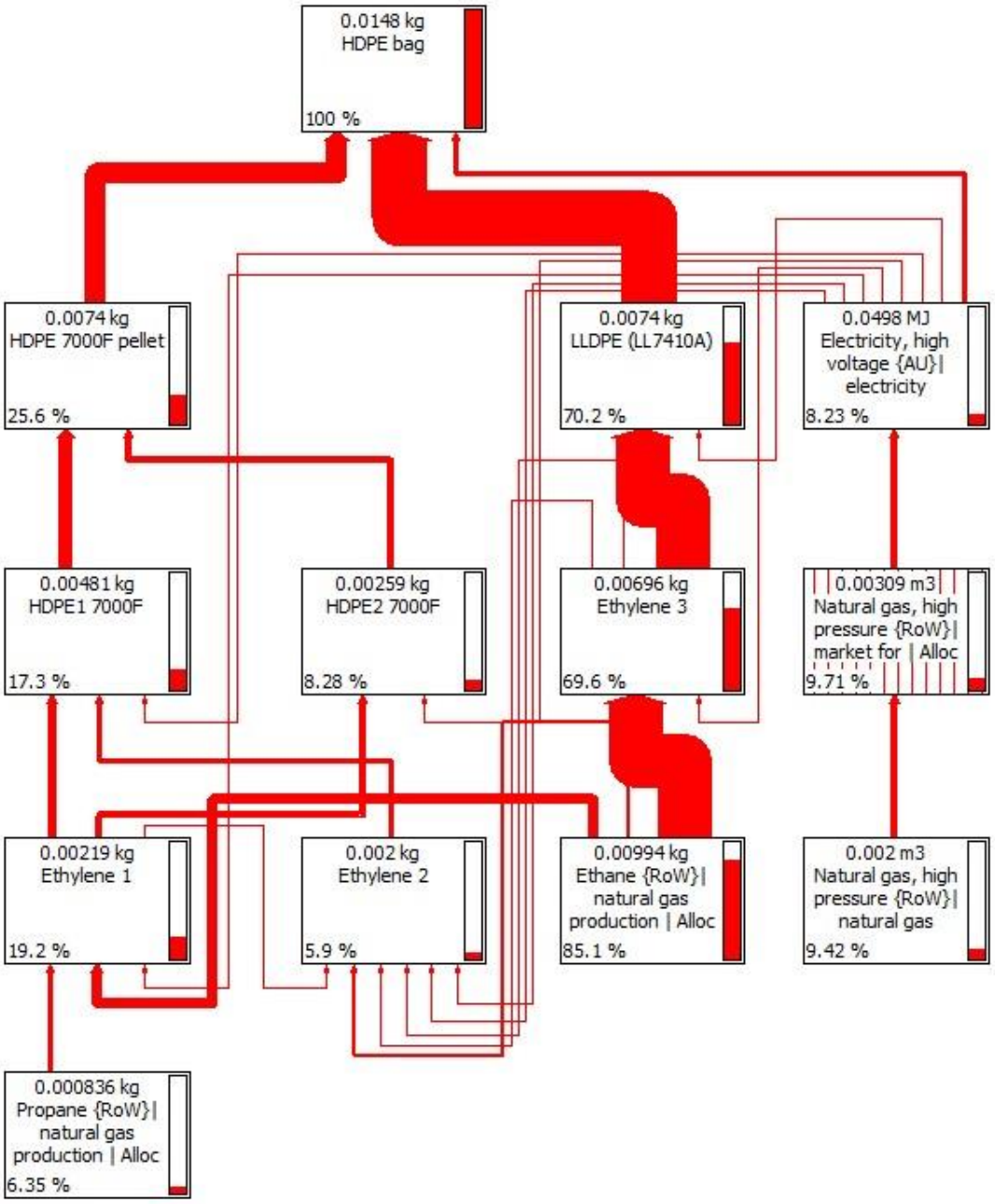


กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการฝังกลบ กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา

รูปที่ 4-51 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง
ของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร แยกเป็นกระบวนการ

กรณีศึกษาที่ 1 จุดที่ส่งผลมากที่สุด คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 74..37 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จะพบว่า ร้อยละ 70.22 เป็นผลกระทบจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงเป็นวัตถุดิบผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในกระบวนการเป่าขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ในสัดส่วนร้อยละ 50 รองลงมาคือ การได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 25.62 และการจัดการด้วยการฝังกลบ ร้อยละ 0.01 ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 จุดที่ส่งผลมากที่สุด คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ร้อยละ 72.76 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จะพบว่า เป็นผลกระทบจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงเป็นวัตถุดิบผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 68.70 รองลงมา คือ การได้มาของวัตถุดิบ และการจัดการด้วยการเผา คิดเป็นร้อยละ 25.06 และ 2.17 ตามลำดับ

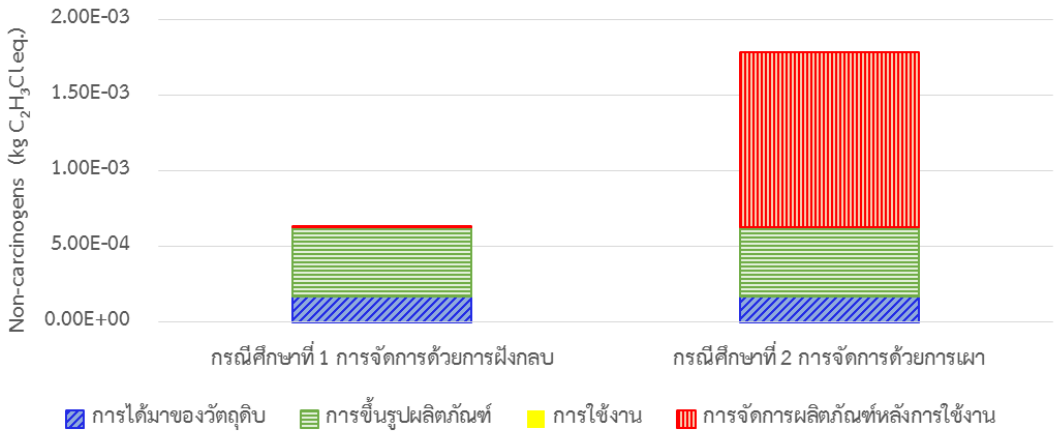
ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to gate ครอบคลุมกระบวนการได้มาของวัตถุดิบ และการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 4-52 พบว่า ผลกระทบด้านนี้ส่วนใหญ่มาจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในกระบวนการเป่าขึ้นรูปถุงพลาสติก ร้อยละ 70.2 ซึ่งในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกจะมีการปล่อยสารก่อมะเร็ง ได้แก่ สารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน สารพอลิไซคลิกอะโรมาติก หรือ PAHs ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ไฮโดรคาร์บอน รองลงมา คือ การได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 25.6 และพลังงานไฟฟ้า ร้อยละ 8.23 สำหรับใช้ในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกและการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ



รูปที่ 4-52 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง
ของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร

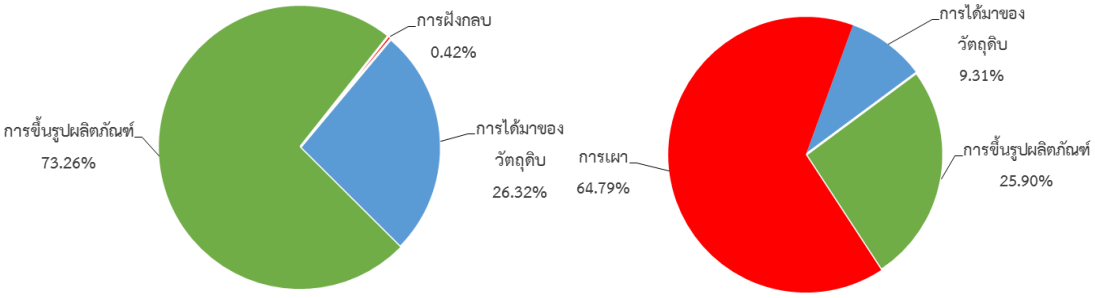
(4) ผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Non-carcinogens)

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Non-carcinogens) แสดงดังรูปที่ 4-53 โดยแยกตามกระบวนการต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ แสดงผลในหน่วยกิโลกรัมคลอโรเอทิลีนเทียบเท่า (kg C_2H_3Cl eq.)



รูปที่ 4-53 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ระหว่างการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการฝังกลบและการเผา

จากแผนภาพข้างต้น พิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็งของ 2 กรณีศึกษา พบว่า กรณีศึกษาที่ 2 มีผลกระทบโดยรวมสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 1 โดยกรณีศึกษาที่ 2 มีค่าผลกระทบโดยรวม 0.00178 kg C_2H_3Cl eq./1 ถุงพลาสติก ซึ่งเกิดจากกระบวนการจัดการด้วยการเผาสูงที่สุด รองลงมาคือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และการได้มาของวัตถุดิบตามลำดับ ส่วนกรณีศึกษาที่ 1 มีค่าผลกระทบโดยรวม 0.00063 kg C_2H_3Cl eq./1 ถุงพลาสติก ซึ่งเกิดจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สูงสุด รองลงมาคือ การได้มาของวัตถุดิบ และการจัดการด้วยการฝังกลบตามลำดับ สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็งของแต่ละกรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 4-54

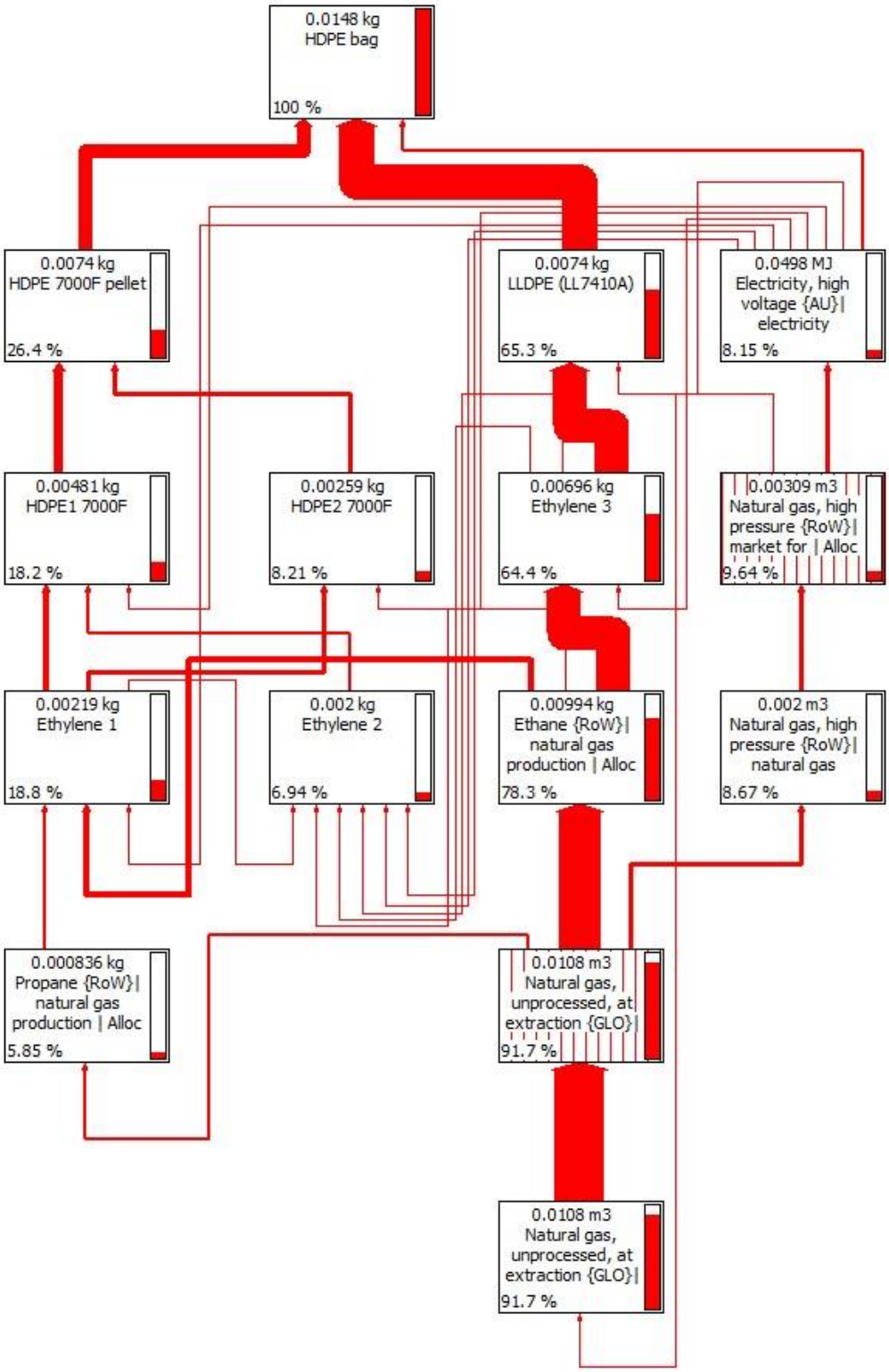


กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการฝังกลบ กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา

รูปที่ 4-54 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร แยกเป็นกระบวนการ

กรณีศึกษาที่ 1 จุดที่ส่งผลมากที่สุด คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 73.26 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จะพบว่า ร้อยละ 65.16 เป็นผลกระทบจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงเป็นวัตถุดิบผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในกระบวนการเป่าขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ รองลงมาคือ การได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 26.32 และการจัดการด้วยการฝังกลบ ร้อยละ 0.42 ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 จุดที่ส่งผลมากที่สุด คือ การจัดการด้วยการเผา ร้อยละ 64.79 รองลงมาคือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 25.90 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จะพบว่าเป็นผลกระทบจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงเป็นวัตถุดิบผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 23.02

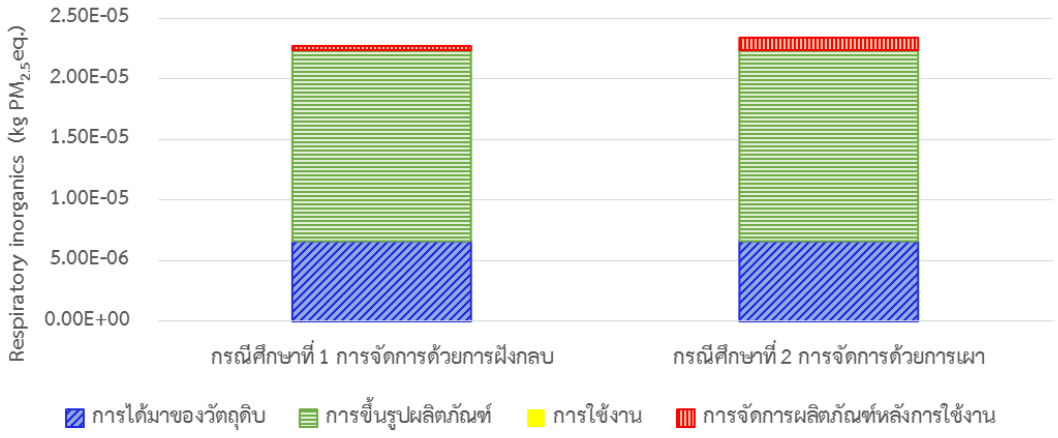
ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to gate ครอบคลุมกระบวนการได้มาของวัตถุดิบ และการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 4-55 พบว่า ผลกระทบด้านนี้ส่วนใหญ่มาจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในกระบวนการเป่าขึ้นรูปถุงพลาสติก ร้อยละ 65.3 ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเม็ดพลาสติกส่วนใหญ่จะมีสารจำพวกโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ เช่น แบเรียม อาร์เซนิก สังกะสี ปรอท จึงต้องมีการกำจัดก่อนเข้านำเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป รองลงมา คือ การได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 26.4 และการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกและการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 8.15 ตามลำดับ



รูปที่ 4-55 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร

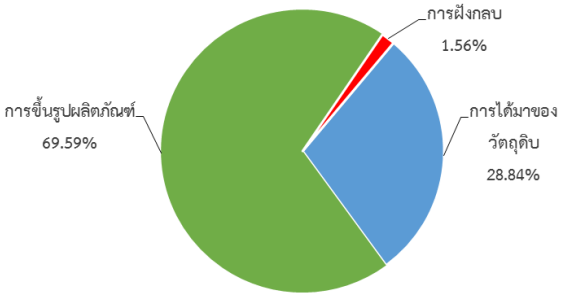
(5) ผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics)

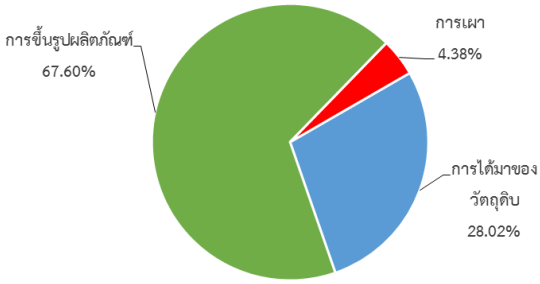
ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics) แสดงดังรูปที่ 4-56 โดยแยกตามกระบวนการต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ แสดงผลในหน่วยกิโลกรัมฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ เทียบเท่า (kg $PM_{2.5}$ eq.)



รูปที่ 4-56 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ
ระหว่างการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการฝังกลบและการเผา

จากแผนภาพข้างต้น พิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics) ของ 2 กรณีศึกษา พบว่า กรณีศึกษาที่ 2 มีผลกระทบโดยรวมสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 1 เล็กน้อย โดยกรณีศึกษาที่ 2 มีค่าผลกระทบโดยรวม 0.0000235 kg $PM_{2.5}$ eq./1 ถุงพลาสติก ซึ่งเกิดจากกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สูงที่สุด รองลงมาคือการได้มาของวัตถุดิบ และการจัดการด้วยการเผา ตามลำดับ ส่วนกรณีศึกษาที่ 1 มีค่าผลกระทบโดยรวม 0.0000228 kg $PM_{2.5}$ eq./1 ถุงพลาสติก ซึ่งเกิดจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สูงสุด รองลงมาคือ การได้มาของวัตถุดิบ และการจัดการด้วยการฝังกลบ ตามลำดับ สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจของแต่ละกรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 4-57



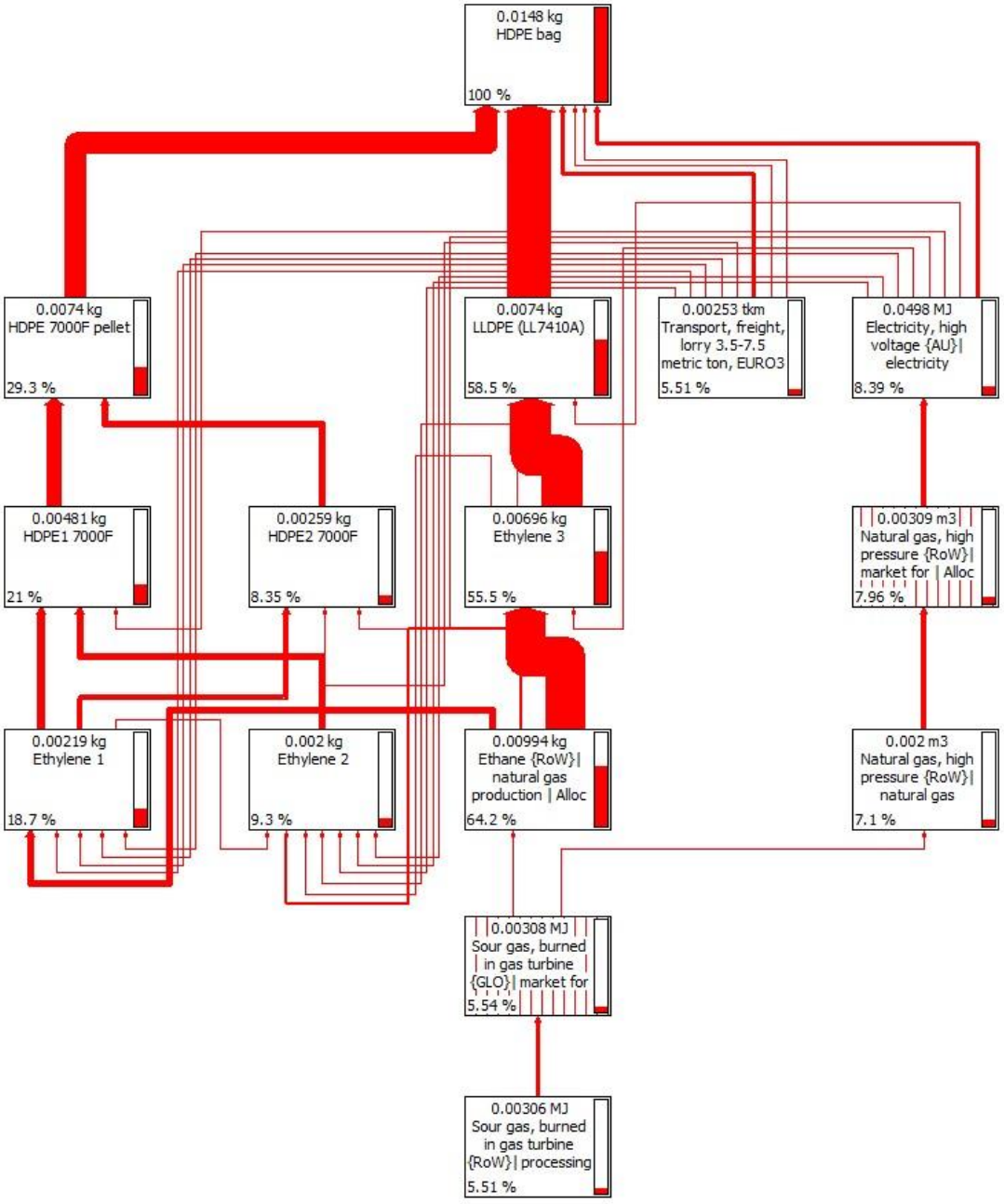


กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการฝังกลบ กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา

รูปที่ 4-57 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร แยกเป็นกระบวนการ

กรณีศึกษาที่ 1 จุดที่ส่งผลมากที่สุด คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 69.59 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จะพบว่า ร้อยละ 57.99 เป็นผลกระทบจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงเป็นวัตถุดิบผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในกระบวนการเป่าขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ รองลงมาคือ การได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 28.84 และการจัดการด้วยการฝังกลบ ร้อยละ 1.56 ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 จุดที่ส่งผลมากที่สุด คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ร้อยละ 67.60 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จะพบว่า เป็นผลกระทบจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงเป็นวัตถุดิบผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ร้อยละ 56.32 รองลงมา คือ การได้มาของวัตถุดิบ และการจัดการด้วยการเผา คิดเป็นร้อยละ 28.02 และ 4.38 ตามลำดับ

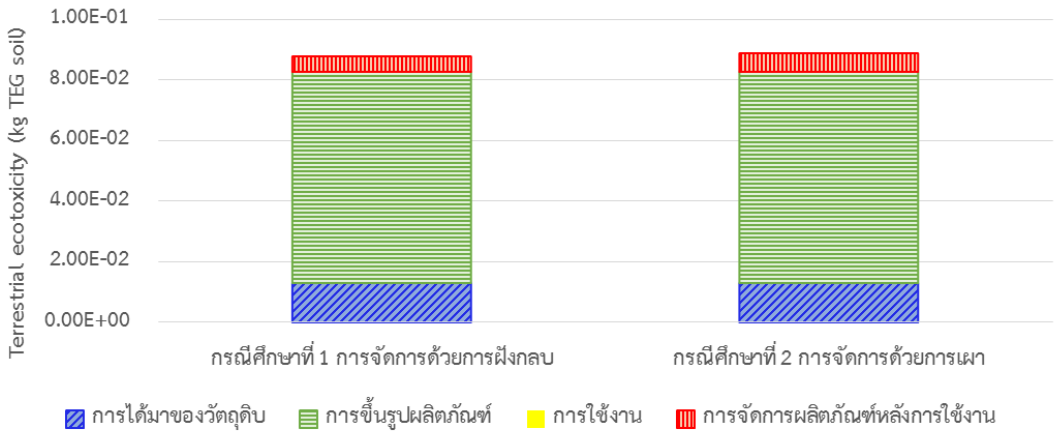
ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจด้วยขอบเขตแบบ Cradle to gate ครอบคลุมกระบวนการได้มาของวัตถุดิบ และการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 4-58 พบว่า ผลกระทบด้านนี้ส่วนใหญ่มาจากการใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงเป็นวัตถุดิบผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในกระบวนการเป่าขึ้นรูปถุงพลาสติก ร้อยละ 58.5 ซึ่งในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกต้องใช้พลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลปริมาณมาก จึงมีการปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็กรวมถึงก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนออกสู่อากาศ รองลงมา คือ การได้มาของวัตถุดิบ ร้อยละ 29.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกและการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 8.39 ตามลำดับ



รูปที่ 4-58 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร

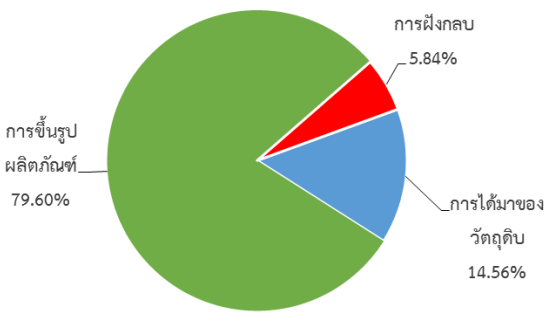
(6) ผลกระทบด้านการเกิดความเป็นพิษต่อดิน (Terrestrial ecotoxicity)

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดความเป็นพิษต่อดิน (Terrestrial ecotoxicity) แสดงดังรูปที่ 4-59 โดยแยกตามกระบวนการต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ แสดงผลในหน่วยกิโลกรัมไตรเอทิลีนไกลคอลในดิน (kg TEG soil)

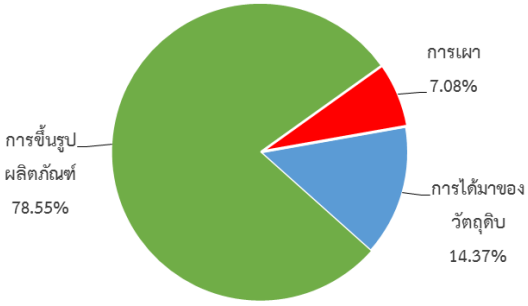


รูปที่ 4-59 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดความเป็นพิษต่อดิน
ระหว่างการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการฝังกลบและการเผา

จากแผนภาพข้างต้น พิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดความเป็นพิษต่อดิน (Terrestrial ecotoxicity) ของ 2 กรณีศึกษา พบว่า กรณีศึกษาที่ 2 มีผลกระทบโดยรวมสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 1 เล็กน้อย โดยกรณีศึกษาที่ 2 มีค่าผลกระทบโดยรวม 0.0885 kg TEG soil/1 ถุงพลาสติก ซึ่งเกิดจากกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สูงที่สุด รองลงมาคือการได้มาของวัตถุดิบ และการจัดการด้วยการเผา ตามลำดับ ส่วนกรณีศึกษาที่ 1 มีค่าผลกระทบโดยรวม 0.08768 kg TEG soil/1 ถุงพลาสติก ซึ่งเกิดจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สูงสุด รองลงมาคือ การได้มาของวัตถุดิบ และการจัดการด้วยการฝังกลบ ตามลำดับ สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดความเป็นพิษต่อดินของแต่ละกรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 4-60



กรณีศึกษาที่ 1 การจัดการด้วยการฝังกลบ

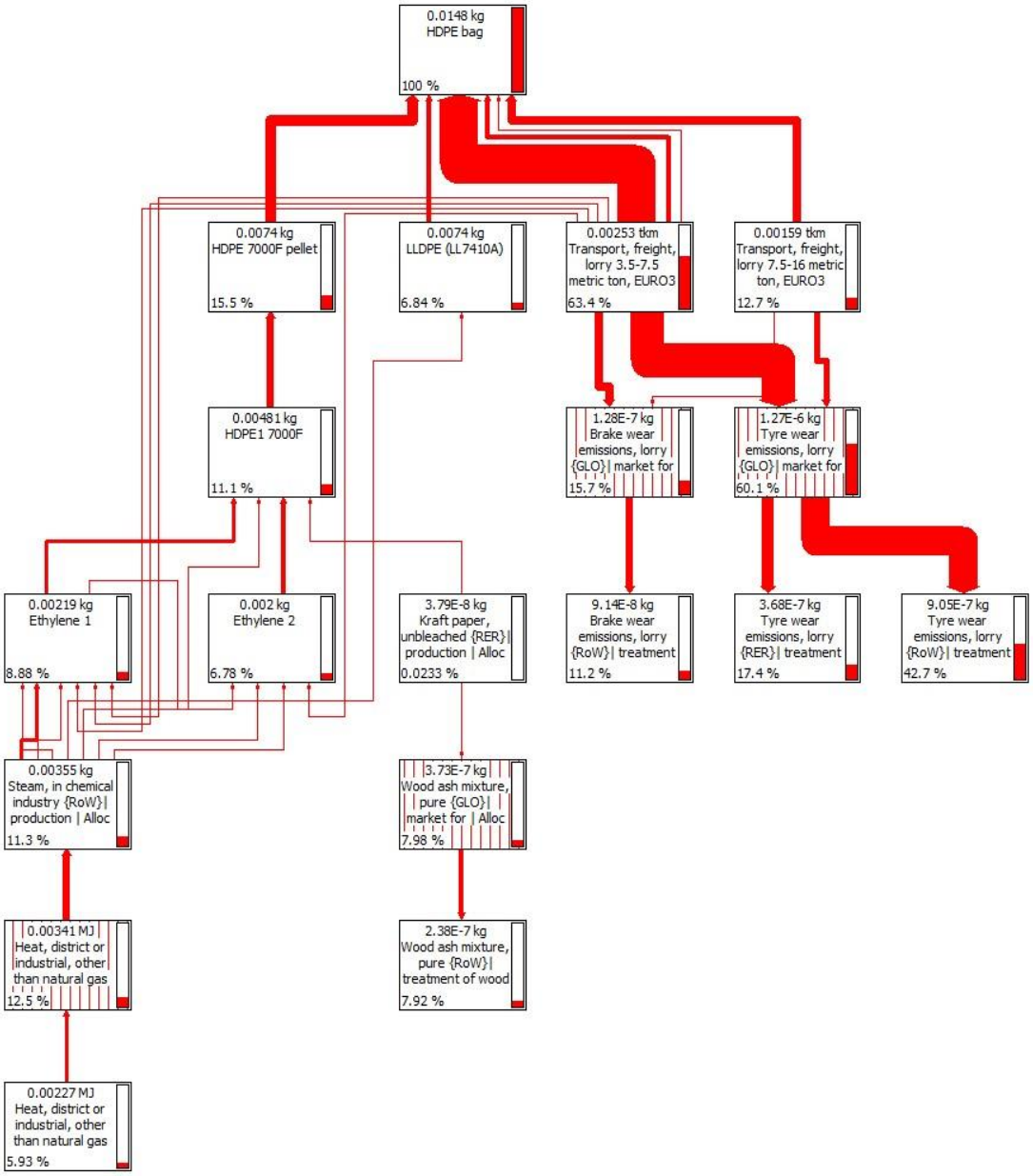


กรณีศึกษาที่ 2 การจัดการด้วยการเผา

รูปที่ 4-60 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดความเป็นพิษต่อดิน
ของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร แยกเป็นกระบวนการ

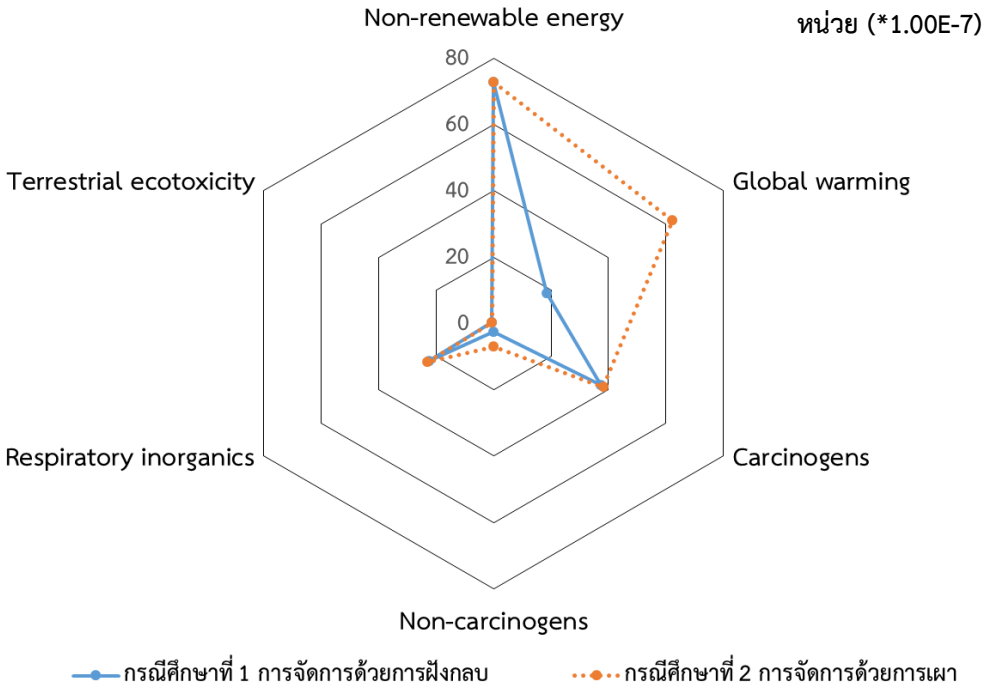
กรณีศึกษาที่ 1 จุดที่ส่งผลมากที่สุด คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 79.60 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จะพบว่า เป็นผลกระทบจากการขนส่งวัตถุดิบ สารเคมี และบรรจุภัณฑ์สำหรับใช้ในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 75.89 รองลงมา คือ การได้มาของวัตถุดิบเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงร้อยละ 14.56 และการจัดการด้วยการฝังกลบ ร้อยละ 5.84 ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 จุดที่ส่งผลมากที่สุด คือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ร้อยละ 78.55 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จะพบว่า เป็นผลกระทบจากการขนส่งวัตถุดิบ สารเคมี และบรรจุภัณฑ์สำหรับใช้ในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 74.83 รองลงมา คือ การได้มาของวัตถุดิบ และการจัดการด้วยการเผา คิดเป็นร้อยละ 14.37 และ 7.08 ตามลำดับ

ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดความเป็นพิษต่อดิน ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to gate ครอบคลุมกระบวนการได้มาของวัตถุดิบ และการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 4-61 พบว่า ร้อยละ 63.40 เป็นผลกระทบที่เกิดจากการขนส่ง โดยเฉพาะการขนส่งวัตถุดิบในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ซึ่งในการขนส่งจะใช้รถบรรทุกและรถกระบะเป็นหลัก เมื่อมีการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงจะก่อให้เกิดมลพิษในปริมาณมาก



รูปที่ 4-61 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดความเป็นพิษต่อดิน
ของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร

เมื่อได้วิเคราะห์หาสัดส่วนกระบวนการที่มีผลกระทบสูงสุดในแต่ละด้านแล้ว จึงได้นำค่าผลกระทบโดยรวมทุกกระบวนการจากทั้ง 6 ผลกระทบ มาจัดทำกราฟใยแมงมุม (Radar Chart) เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์กัน ดังแสดงในรูปที่ 4-62 พบว่า ทั้ง 2 กรณีศึกษามีผลกระทบ 6 ด้านสูงสุดเหมือนกัน และกรณีศึกษาที่ 1 มีผลกระทบต่ำกว่ากรณีศึกษาที่ 2 ทั้ง 6 ผลกระทบ โดยกรณีศึกษาที่ 1 มีค่าผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปสูงที่สุด รองลงมาคือ ผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ ด้านการเกิดภาวะโลกร้อน ด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง และด้านการเกิดความเป็นพิษต่อดิน ตามลำดับ ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 มีลำดับผลกระทบคล้ายกัน แตกต่างกันที่ผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนสูงเป็นอันดับสองรองจากผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปเนื่องจากกรณีศึกษาที่ 2 เป็นการจัดการด้วยการเผา จึงทำให้กรณีศึกษาที่ 2 มีผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนสูง



รูปที่ 4-62 กราฟใยแมงมุมแสดงความสัมพันธ์ของ 6 ผลกระทบสูงสุดของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร

4.1.3 การเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิตกับงานวิจัยอื่น

จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงตลอดวัฏจักรชีวิต จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น และถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร ในขั้นตอนการประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint categories) ขั้นตอนการประเมินผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint categories) และขั้นตอนการเทียบหน่วย (Normalization) สามารถนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นได้ ดังนี้

1. การเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิตกับผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในงานวิจัยอื่น

1.1) กลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปจากเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง คือ ผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy) เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันดิบ เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Singh (2011) และคณะ ซึ่งได้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของแกลลอนบรรจุนมซึ่งผลิตจากพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยระบุว่ากระบวนการที่ทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูง คือ กระบวนการได้มาของวัตถุดิบ เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นสารตั้งต้นในการผลิต ทำให้เกิดผลกระทบด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสูง

1.2) ผลการเปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับงานวิจัยอื่น แสดงได้ดังตารางที่ 4-13 โดยพบว่า การจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการเผาก่อให้เกิดผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนสูงกว่าการจัดการด้วยการรีไซเคิล สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wrap (2010) ซึ่งได้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แกลลอนสำหรับบรรจุนมที่ผลิตจากพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ระบุว่า การจัดการด้วยการเผาจะก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าการรีไซเคิล อย่างไรก็ตามผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนของงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่างานวิจัยของ Wrap (2010) เนื่องจากแกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่นจะถูกนำไปจัดการโดยการเผาทำลาย แต่แกลลอนบรรจุนมในงานวิจัยของ Wrap (2010) จะถูกนำไปจัดการโดยการเผาเป็นเชื้อเพลิงทดแทน ขณะที่การจัดการด้วยการรีไซเคิลในงานวิจัยนี้มีค่าผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนน้อยกว่างานวิจัยของ Wrap (2010) อาจเนื่องมาจากวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเม็ดพลาสติกแตกต่างกัน โดยในงานวิจัยนี้ใช้ก๊าซอีเทนเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตก๊าซเอทิลีน ส่วนงานวิจัยอื่นอาจใช้วัตถุดิบอื่นที่มีค่าผลกระทบสูงกว่า เช่น แนฟทา ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquid petroleum gas; LPG) ซึ่งมีค่าผลกระทบสูงกว่าการใช้ก๊าซอีเทน โดยเฉพาะด้านการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน และด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป

ตารางที่ 4-13 ตารางเปรียบเทียบค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดภาวะโลกร้อนกับผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในงานวิจัยอื่น

งานวิจัย	ผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา	ชนิดพลาสติก	ผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (kg CO_2 eq./kg pellet)	
			กรณีศึกษาที่ 1 (การรีไซเคิล)	กรณีศึกษาที่ 2 (การเผา)
งานวิจัยนี้	แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมัน	HDPE	0.898	5.236
Wrap (2010)	แกลลอนสำหรับบรรจุนม	HDPE	2.738	4.700

2. การเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิตกับผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดอื่น

2.1) กลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมของผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ขึ้นรูปด้วยเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงในสัดส่วนร้อยละ 50 คือ ผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy) เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruban และคณะ (2012) ซึ่งได้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของถุงพลาสติกที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และงานวิจัยของ Xie และคณะ (2011) ซึ่งได้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์สำหรับนม ที่ทำจากเม็ดพลาสติพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ พบว่า กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก มีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด เนื่องจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเป็นวัตถุดิบและพลังงานในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก

2.2) ผลการเปรียบเทียบผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปซึ่งเป็นกลุ่มผลกระทบที่มีค่าสูงสุดของผลิตภัณฑ์พลาสติกในงานวิจัยนี้กับผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดอื่น แสดงในตารางที่ 4-14 พบว่า งานวิจัยนี้มีค่าผลกระทบน้อยกว่างานวิจัยอื่น เนื่องมาจากชนิดเม็ดพลาสติกมีความแตกต่างกัน ทำให้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตและการจัดการผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน

2.3) จากผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต พบว่า การจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยการเผา ทำให้มีผลกระทบสูงในด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ดังนั้นจึงได้นำผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนมาเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยอื่น ดังแสดงในตารางที่ 4-15 ซึ่งพบว่า ถุงพลาสติกในงานวิจัยนี้มีผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนน้อยกว่างานวิจัยอื่น เนื่องมาจากชนิดเม็ดพลาสติกมีความแตกต่างกัน ทำให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตและการจัดการผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน

ตารางที่ 4-14 ตารางเปรียบเทียบค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป

งานวิจัย	ผลิตภัณฑ์	ประเภทเม็ดพลาสติกที่ใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์	ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (MJ./kg pellet)
งานวิจัยนี้	ถุงพลาสติก (จัดการด้วยการฝังกลบ)	HDPE ผสม LLDPE ในสัดส่วนร้อยละ 50	74.727
	ถุงพลาสติก (จัดการด้วยการเผา)		74.747
Siracusa (2011)	ฟิล์มห่ออาหาร 2 ชั้น (จัดการด้วยการเผา)	ฟิล์มชั้นในชนิด LDPE ฟิล์มชั้นนอกชนิด PA	102.064
Chaffee และคณะ (2007)	ถุงพลาสติกหูหิ้ว (จัดการด้วยการฝังกลบ)	HDPE	88.062
	ถุงพลาสติกหูหิ้ว (จัดการด้วยการเผา)		88.062

ตารางที่ 4-15 เปรียบเทียบค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดภาวะโลกร้อน

งานวิจัย	ผลิตภัณฑ์	ประเภทเม็ดพลาสติกที่ใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์	ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (kg CO_2 eq../kg pellet)
งานวิจัยนี้	ถุงพลาสติก (จัดการด้วยการฝังกลบ)	HDPE ผสม LLDPE ในสัดส่วนร้อยละ 50	1.234
	ถุงพลาสติก (จัดการด้วยการเผา)		4.163
Siracusa (2011)	ฟิล์มห่ออาหาร 2 ชั้น (จัดการด้วยการเผา)	ฟิล์มชั้นในชนิด LDPE ฟิล์มชั้นนอกชนิด PA	4.151
Chaffee และ คณะ (2007)	ถุงพลาสติกหูหิ้ว (จัดการด้วยการฝังกลบ)	HDPE	2.353
	ถุงพลาสติกหูหิ้ว (จัดการด้วยการเผา)		3.287

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2 ผลการสัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้องกับการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงหลังการใช้งาน

จากการสัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้องกับการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกหลังการใช้งาน 5 หน่วยงาน คือ กรมควบคุมมลพิษ สถาบันพลาสติก กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม และบริษัทรับกำจัดขยะและกากอุตสาหกรรมด้วยการเผาในเตาปูนซีเมนต์ คือ บริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน) และบริษัท เอส ซี ไอ อีโค่ เซอร์วิสเซส จำกัด โดยรูปการสัมภาษณ์แสดงดังรูปที่ 4-63 เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์มาใช้วิเคราะห์แนวทางการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกหลังการใช้งานและเป็นแนวทางการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย โดยผลการสัมภาษณ์สรุปได้ว่า แนวทางการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกในประเทศไทยโดยทั่วไปมี 3 แนวทาง คือ การฝังกลบ (Landfill) การรีไซเคิล (Recycle) และการเผา (Incineration) โดยผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ไม่ได้มีการผสมเม็ดพลาสติกชนิดอื่นก่อนการนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ควรใช้วิธีการจัดการด้วยการรีไซเคิล เนื่องจากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตในงานวิจัยนี้พบว่าการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกด้วยการรีไซเคิลให้เป็นเม็ดพลาสติกที่มีเกรดต่ำลง มีค่าผลกระทบโดยรวมน้อยกว่าการเผา

อย่างไรก็ตามสำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ขึ้นรูปจากการผสมเม็ดพลาสติกหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารที่เป็นผลิตภัณฑ์ศึกษาในงานวิจัยนี้ จะไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้ เนื่องจากใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงในสัดส่วนร้อยละ 50 ดังนั้นผลิตภัณฑ์พลาสติกในกลุ่มนี้จะถูกจัดการด้วยการเผาและการฝังกลบ โดยการเผาผลิตภัณฑ์พลาสติกจะให้ค่าความร้อนสูง จึงสามารถนำมาเผาแล้วใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้ แต่จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตพบว่าผลิตภัณฑ์พลาสติกที่จัดการด้วยการเผาจะมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมสูงกว่าการฝังกลบ โดยเฉพาะผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน เนื่องจากการเผาจะก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกสูง ขณะที่การจัดการด้วยการฝังกลบซึ่งเป็นวิธีการจัดการที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการเผา แต่ต้องใช้พื้นที่มากกว่าและต้องอยู่ภายใต้การควบคุมดูแลให้ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล เพื่อป้องกันการปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

สถาบันพลาสติก

กรมควบคุมมลพิษ

บริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน)

บริษัท เอส ซี ไอ อีโค่ เซอร์วิสเซส จำกัด

รูปที่ 4-63 การสัมภาษณ์หน่วยงานราชการ เอกชนที่เกี่ยวข้อง
และสมาคมผู้ผลิตพลาสติกในประเทศ

4.3 แนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

1. การลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต

จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พบว่ากลุ่มผลกระทบที่มีความสำคัญมากที่สุดคือผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกสูงสุด ดังนั้นแนวทางการลดผลกระทบควรเน้นที่การลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติสำหรับเป็นวัตถุดิบและเป็นพลังงานในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก โดยมีแนวทางดังนี้

1.1) การใช้พลังงานทดแทน

แนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ คือ การใช้พลังงานทดแทนหรือพลังงานทางเลือก (Alternative energy) เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล เป็นต้น เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558–2579 (PDP2015) ของกระทรวงพลังงานที่กำหนดให้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนดังกล่าวข้างต้น (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2558) และเป็นแนวทางที่

เหมาะสมกับโรงงานที่มีการผลิตไฟฟ้าใช้เองในกระบวนการผลิต เช่น โรงงานผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยแนวทางนี้จะช่วยลดทั้งการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิต

1.2) มาตรการอนุรักษ์พลังงาน

แนวทางการอนุรักษ์พลังงานเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงาน เช่น การควบคุมค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนส่วนเกิน (% Excess oxygen) ที่เตาเผา การเปลี่ยนใบพัด (Fan blade) เป็นต้น ซึ่งจะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

2. การลดการใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิต

2.1) การรีไซเคิลพลาสติก

จากผลการศึกษาพบว่าการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง หลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิล โดยนำพลาสติกใช้แล้วมาผลิตเม็ดพลาสติกเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีเกรดต่ำลง มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยเมื่อเทียบกับการเผา เนื่องจากการรีไซเคิลช่วยลดการใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิต ทั้งนี้การเลือกใช้เม็ดพลาสติกชนิดเดียวในการขึ้นรูป (Monotype plastic pellets) จะทำให้ง่ายต่อการรีไซเคิล

2.2) การใช้พลาสติกชีวภาพ

แนวทางการผลิตพลาสติกชีวภาพหรือไบโอพลาสติก เกิดจากการรีไซเคิลพลาสติกที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกฟอสซิลต้องใช้พลังงานสูงในการทำให้พลาสติกบริสุทธิ์ และไม่คุ้มทุน ประกอบกับการใช้พลาสติกชีวภาพนั้นมีข้อดี คือ สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (Biodegradable) เมื่อฝังกลบลงดิน และเกิดกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ ในปัจจุบันมีการใช้ไบโอพลาสติกในรูปแบบที่หลากหลาย อาทิ แก้ว ถ้วย จาน เป็นต้น

3. การจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกหลังการใช้งาน

จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตพบว่าการจัดการด้วยการรีไซเคิลและการจัดการด้วยการฝังกลบมีค่าผลกระทบน้อยกว่าการเผา ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการเลือกวิธีการจัดการที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงควรพิจารณาในหลายปัจจัย ได้แก่ ปริมาณขยะ พื้นที่ งบประมาณ การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม และความสามารถขององค์กรในการบริหารจัดการและการคัดแยกขยะ เพื่อนำไปสู่การจัดการผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตอย่างยั่งยืนได้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่

ผลิตภัณฑ์ที่ 1 : แกลลอนสำหรับบรรจุน้ำมันหล่อลื่น

ผลิตภัณฑ์ที่ 2 : ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร

โดยการรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ตั้งแต่กระบวนการได้มาของวัตถุดิบ โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ กระบวนการผลิตอีเทนและแนฟทาในโรงแยกก๊าซธรรมชาติและโรงกลั่นน้ำมันดิบ กระบวนการผลิตก๊าซเอทิลีนในโรงโอเลฟินส์และโรงอะโรเมติกส์ และกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การขนส่ง การใช้งาน และการจัดการของเสียหลังการใช้งาน ได้จากการสอบจากวิศวกรและผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตโดยตรง และจากฐานข้อมูลที่ได้รับความน่าเชื่อถือในระดับสากล คือ Ecoinvent 3.0 โดยผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง มีค่าผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปสูงที่สุด เนื่องจากในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกต้องใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล คือ ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตและพลังงานในปริมาณมาก

2. ผลกระทบด้านอื่นๆ จะแตกต่างกันในแต่ละประเภทผลิตภัณฑ์พลาสติก และวิธีการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ขึ้นรูปจากเม็ดพลาสติกชนิดความหนาแน่นสูงกับผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ขึ้นรูปจากเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงในสัดส่วนร้อยละ 50 จะมีกลุ่มผลกระทบแตกต่างกัน

3. กลุ่มผลกระทบที่มีความสำคัญสูงสุดของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง คือ ผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกสูงสุด ดังนั้น แนวทางการลดผลกระทบของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจึงควรเน้นที่การลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติสำหรับเป็นวัตถุดิบและเป็นพลังงานใน

กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก โดยการใช้พลังงานทดแทน เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล เป็นต้น รวมถึงการใช้มาตรการอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน

4. นอกจากการลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและพลังงานในกระบวนการผลิตแล้ว แนวทางอื่นที่สามารถช่วยลดผลกระทบได้ คือ การใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลเพื่อลดการใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิต และการใช้เม็ดพลาสติกชีวภาพ

5. จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตพบว่าผลิตภัณฑ์พลาสติกที่จัดการด้วยการรีไซเคิลและการฝังกลบจะมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมน้อยกว่าการเผา อย่างไรก็ตามการคัดเลือกวิธีการจัดการที่เหมาะสม ควรพิจารณาในเรื่อง ปริมาณขยะ พื้นที่ งบประมาณ การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม และความสามารถขององค์กรในการบริหารจัดการและการคัดแยกขยะควบคู่กันไปด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรทำการเก็บรวบรวมข้อมูลให้ครอบคลุมทุกกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์พลาสติก เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้อง สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และมีความเหมาะสมกับสถานการณ์ของประเทศไทย อย่างไรก็ตามอาจทำให้ต้องใช้ระยะเวลาและงบประมาณที่สูงมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ. 2552. การกำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://infofile.pcd.go.th/waste/waste_sanitaryLandfill.pdf?CFID=2404903&CFTOKEN=75734004. [30 มกราคม 2559]

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2553. การแปรรูปขยะมูลฝอยไปเป็นพลังงานความร้อนโดยใช้เตาเผา. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www4.dede.go.th/dede/index.php?Option=com_ content&view=article&id=105%3A2010-05-06-06-10-11&catid=55%11&catid=55%3A2010-04-06-09-12-12&Itemid=68&lang=. [30 มกราคม 2559]

ขวัญฤดี อิ่มอาดูร. 2554. การประเมินรอยเท้าคาร์บอนของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสหสาขาวิชาการจัดการสารอันตรายและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จิโรจ มีเดช. 2549. การประเมินวัฏจักรชีวิตในช่วงการผลิตถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธนาคารกรุงเทพ. 2558. รายงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีประเทศไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.bangkokbank.com/BangkokBankThai/BusinessBanking/RatesAndReports/Reports/EconomicNewsAndResearch/Documents/TH_IR_Manu_Price_PlasticPrice_0314.pdf. [20 มกราคม 2559]

มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2544. พอลิเมอร์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://e-book.ram.edu/e-book/s/SE502%20(54115)/chapter6.pdf. [25 มีนาคม 2559]

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (2556). มติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.eppo.go.th/nepc/kpc/kpc-145.html#10. [28 กุมภาพันธ์ 2557]

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (2558). แผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 - 2579 (PDP2015). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.eppo.go.th/power/ PDP2015 /PDP2015.pdf [31 สิงหาคม 2558]

ศุภณี เรียบเลิศหิรัญ และ แววบุญ แย้มแสงสังข์. 2555. รายงานผลการเข้าอบรมหลักสูตรการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์. สถาบันวิทยาการ สวทช.

ศุลีพร แสงกระจ่าง, ปัทมา พลอยสว่าง และ ปริณดา พรหมหิตาธร. 2556. ผลกระทบของพลาสติกต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.thaitox.org/media/ upload/file/Journal/2013-1/04aricle.pdf. [18 มกราคม 2559]

ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม. 2546. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาแนวทางการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกและโฟม.คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2547. คู่มือการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์. ภายใต้โครงการ “การจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม”. นนทบุรี.

อโนดาษ รัชเวทย์. 2552. พอลิเมอร์. กรุงเทพมหานคร: ดวงกมลพับลิชชิ่ง.

ภาษาอังกฤษ

American chemistry council. 2015. The Basics of Plastic Manufacturing. [online]. Avaliable from: https://plastics.americanchemistry.com/Education-Resources/ Plastics-101/How-Plastics-Are-Made.html. [9 February 2016]

Belboom, S., and Léonard. A. 2016. Does biobased polymer achieve better environmental impacts than fossil polymer? Comparison of fossil HDPE and biobased HDPE produced from sugar beet and wheat. Biomass and bioenergy. 85: 159-167.

Chaffee, C, Bernard, R., Boustead, Y. 2007. Life cycle assessment for three types of grocery bags - recyclable plastic; compostable, biodegradable plastic; and recycled, recyclable paper. United Kingdom: Boustead consulting Ltd.

Design-tek Tool and Plastics Inc 2015. Extrusion blow molding: like extruding play dough but with burning hot plastic. [online]. Avaliable from: http://designtekplastics.com/tips/extrusion-blow-molding-like-extruding-play-dough-but-with-burning-hot-plastic. [20 May 2016]

Eastman. 2016. Blown film line. [online]. Avaliable from: http://www.eastman.com/Markets/medical_technical_center/Processing/Extrusion/Pages/BF_Process.aspx. [31 March 2016]

Harding, K. G., Dennis, J.S., Blottnitz, H., and Harrison, S.T.L. 2007. Environmental analysis of plastic production processes: comparing petroleum-based polypropylene and polyethylene with biologically-based poly-beta-hydroxybutyric acid using life cycle analysis. Jounal of biotechnology. 130(1): 57-66.

Icis. 2007. Polyethylene - high density (HDPE) uses and market data. [online]. Avaliable from: http://www.icis.com/resources/news/2007/11/06/9076152/polyethylene-high-density-hdpe-uses-and-market-data. [3 February 2016]

Ihs. 2014. High density polyethylene resins. [online]. Avaliable from: https://www.ihs.com/products/high-density-polyethylene-chemical-economics-handbook.html. [15 January 2016]

Ingrao, C., et al. 2015. Foamy polystyrene trays for fresh-meat packaging: Life-cycle inventory data collection and environmental impact assessment. Food research international. 76: 418-426.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

International organization for stardardization. 2006. ISO 14040:2006. [online]. Avaliable from: https://www.iso.org/standard/37456.html. [12 January 2017]

Kuhlke, B., and Walsh, T. 2008. World plastic market review. [online]. Avaliable from: http://www.polymerplace.com/articles/World%20Plastics%20Review.pdf. [17 February 2016]

Meeker, J., Sathyanarayana, S., and Swan, S. 2009. Phthalates and other additives in plastics: human exposure and associated health outcomes. Philosophical transaction of the loyal society B. 364: 2097–2113.

Mori, M., Drobnic, B., Gantar, G., and Sekavcnik, M. 2013. Life cycle assessment of supermarket carrier bags and opportunity of bioplastics. Proceedings of SEEP 2013. Slovenia.

Muthu, S. S., Li, Y., Hu, J.Y., and Mok P.Y. 2011. Carbon footprint of shopping (grocery) bags in China, Hong Kong and India. Atmospheric environment. 45(2): 469-475.

Osterman. 2015. More HDPE, LDPE production capacity needed in southeast asia: chinaplas. [online]. Avaliable from: http://www.osterman-co.com/omi/public-omi/omi-articles/more-hdpe-ldpe-production-capacity-needed-in-southeast-asia-chinaplas. [20 January 2016]

PTIT. 2015. PTIT Focus annual issue.

Prnewswire. 2015. Global High Density Polyethylene Market 2015-2019. [online]. Avaliable from: http://www.prnewswire.com/news-releases/global-high-density-polyethylene-market-2015-2019-300136041.html. [10 January 2016]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

PTT. 2011a. Economic benefits of standards – Pilot projects – Final report: THAILAND. [online]. Avaliable from: http://www.iso.org/iso/03_thailand_ptt_chemica_full _report.pdf. [20 February 2016]

PTT. 2011b. Petrochemical encyclopedia. [online]. Avaliable from: http:// www.pttplc.com/th/Media-Center/EnergyKnowledge/Documents/MD24%-20knowledge 01 /PetrochemicalEncyclopedia2011.pdf. [18 February 2016]

PTTGC. 2012. Innoplus. [online]. Avaliable from: http://www.innoplus.co.th/th/home aspx. [12 December 2015]

Ruban, .A. 2012. Life cycle assessment of plastic bag production. Master thesis, Sustainable development at uppsala university.

Simoes, C., Pinto L., and Bernado CA. 2014. Environmental and economic analysis of end of life management options for an HDPE product using a life cycle thinking approach. Waste management & research. 32(5): 414-422.

Singh, J., Krasowski, A., and Singh, S.P. 2011 Life cycle inventory of HDPE bottle-based liquid milk packaging systems. Journal of Packaging Technology and Science. 24: 49–60.

Siracusa, V., Ingrao, C., Giudice, A., Mbohwa, C., and Rosa, M. 2014. Environmental assessment of a multilayer polymer bag for food packaging and preservation: An LCA approach. Food research international. 62: 151-161.

Siracusa, V., Rosa, M., Romani, S., Rocculi, P., and Tylewicz, U. 2011. Life cycle assessment of multilayer polymer film used on food packaging field. Procedia food science. 1: 235-239.

Statista. 2016. Production of plastics worldwide from 1950 to 2014. [online]. Avaliable from: http://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950. [9 January 2016]

Transparency market research. 2015. High density polyethylene market is expected to reach US$ 84.79 Bn in 2023. [online]. Avaliable from: http://www.transparency marketresearch.com/pressrelease/high-density-polyethylene-market.html. [20 January 2016]

Treyer, K., and Bauer, C. 2016. The environmental footprint of UAE's electricity sector: Combining life cycle assessment and scenario modeling. Renewable and sustainable energy reviews. 55: 1234-1247.

Tsiropoulos, I., Faaij A.P.C., Lundquist, L., Schenker, U., Briois, J.F., and Patel M.K. 2015. Life cycle impact assessment of bio-based plastics from sugarcane ethanol. Journal of cleaner production. 90: 114-127.

Usapein, P., and Chavalparit, O. 2014. Options for sustainable industrial waste management toward zero landfill waste in a high-density polyethylene (HDPE) factory in Thailand. Journal of material cycles and waste management. 16(2): 373-383.

Washington university. 2006. Ethylene Polymerization. [online]. Avaliable from: http://www.chemistry.wustl.edu/~edudev/Designer/session2.html. [18 March 2016]

Wrap. 2010. Life cycle assessment of example packaging systems for milk. [online]. Avaliable from: http://www.wrap.org.uk/sites files/wrap/Final%20Report% 20 Retail%202010.pdf. [31 August 2016]

Xie. 2011 A comparative study on milk packaging using life cycle assessment: from PA-PE-Al laminate and polyethylene in China. Journal of cleaner production. 19: 2100-2106.

ภาคผนวก

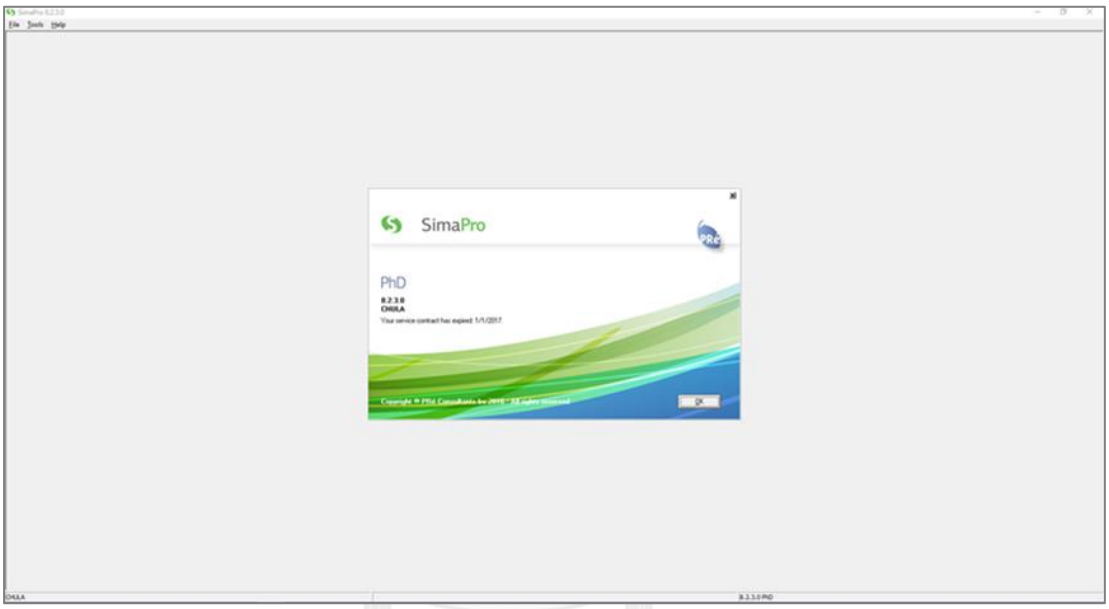
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
การใช้โปรแกรม SimaPro version 8.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

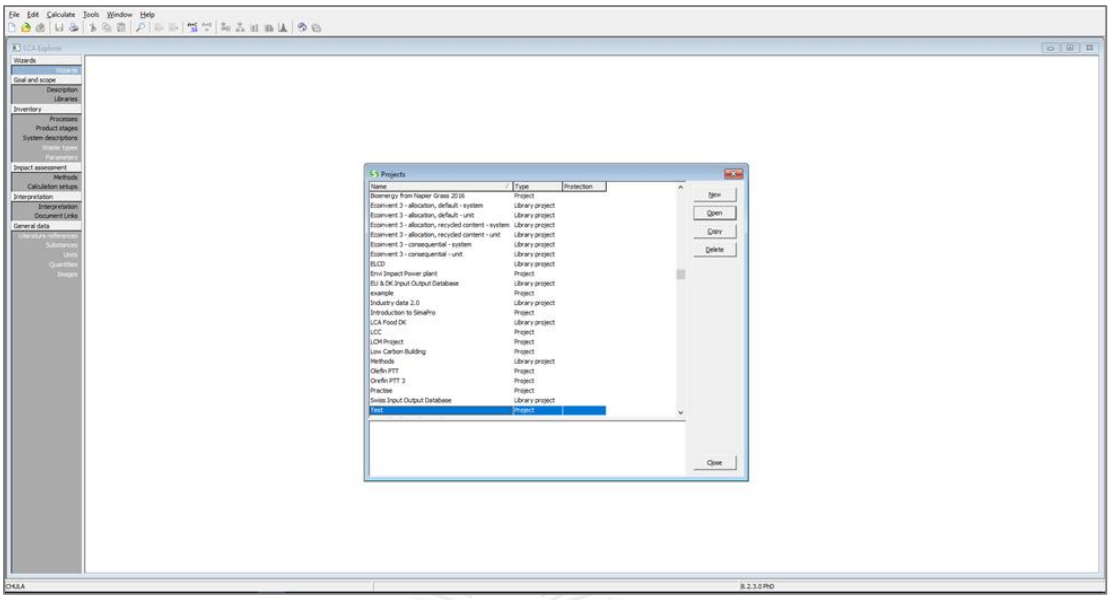
โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro version 8.2

โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro version 8.2 เป็นโปรแกรมสำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยต้องใส่ข้อมูลบัญชีรายการของกระบวนที่ศึกษา เพื่อให้โปรแกรมคำนวณค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมออกมาในเชิงปริมาณ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

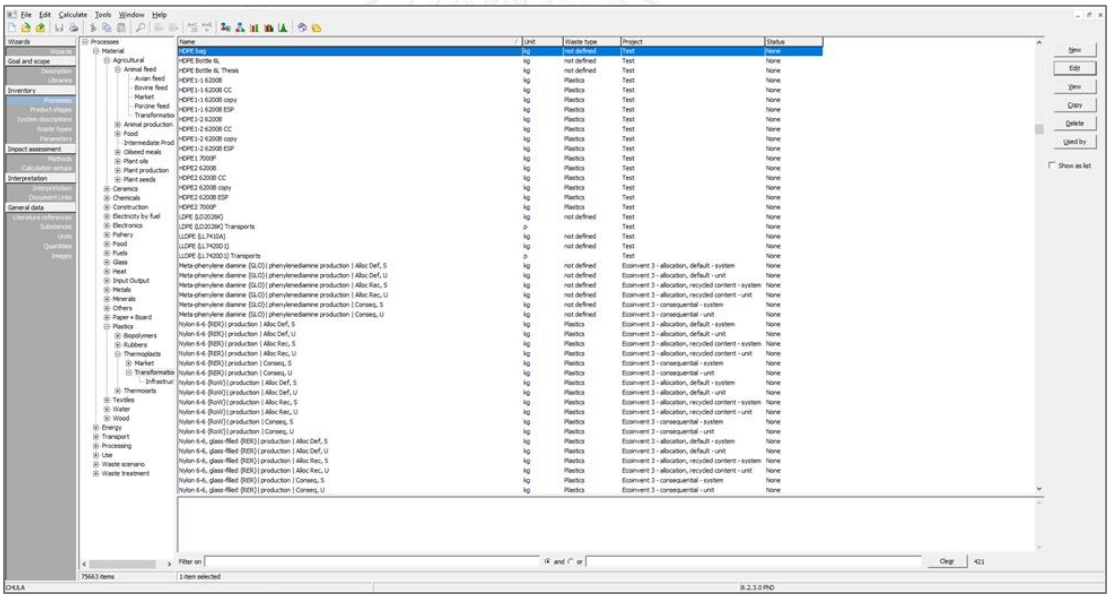


รูปที่ 1 การเปิดใช้งานโปรแกรม SimaPro version 8.2

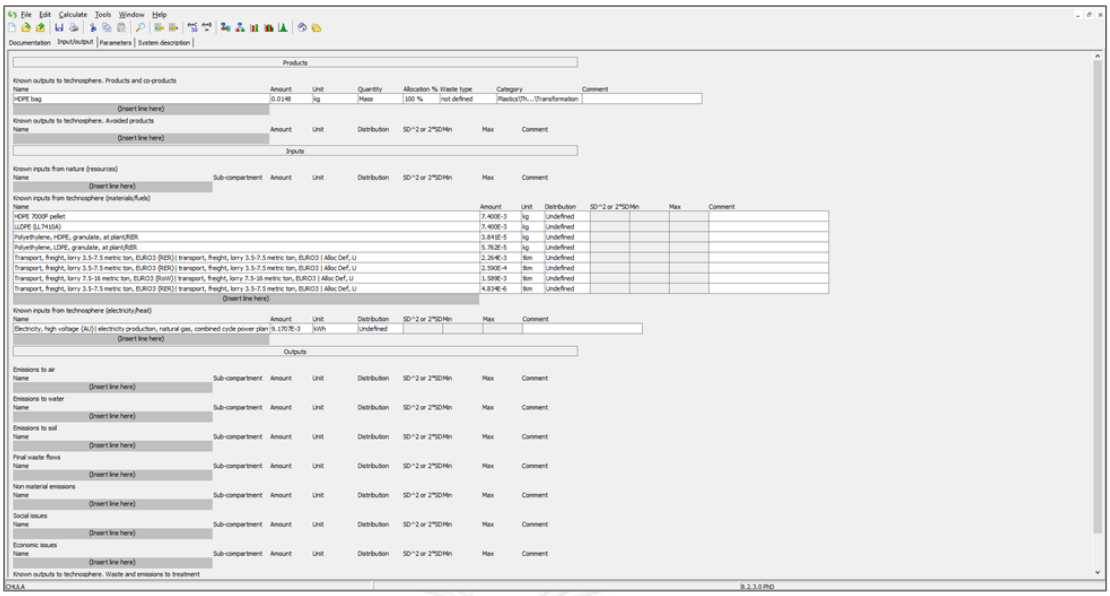
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



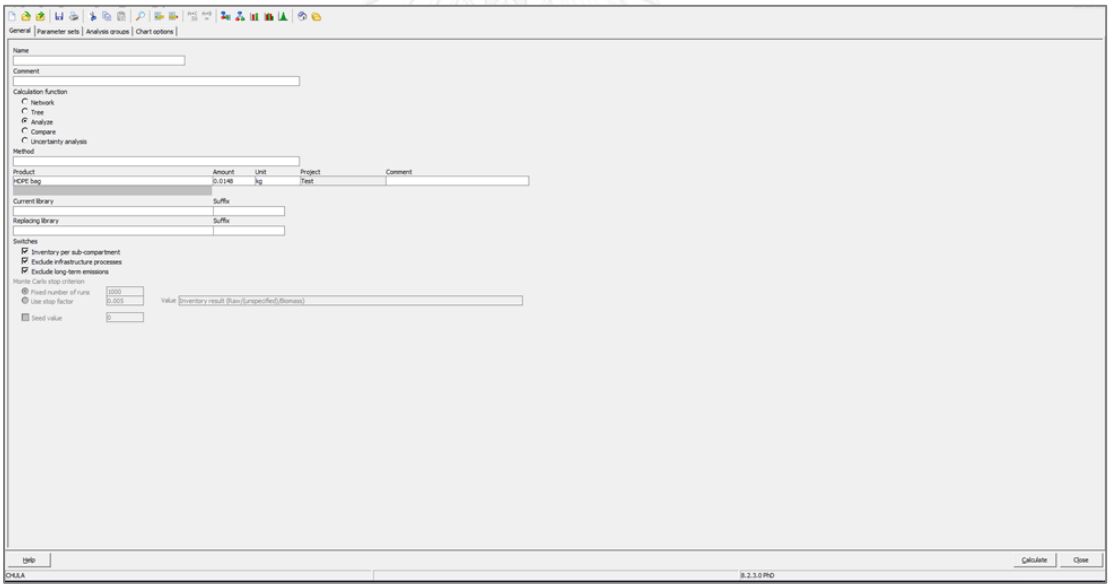
รูปที่ 2 การเริ่มต้นใช้โปรแกรม โดยต้องเปิด Project เลือก New



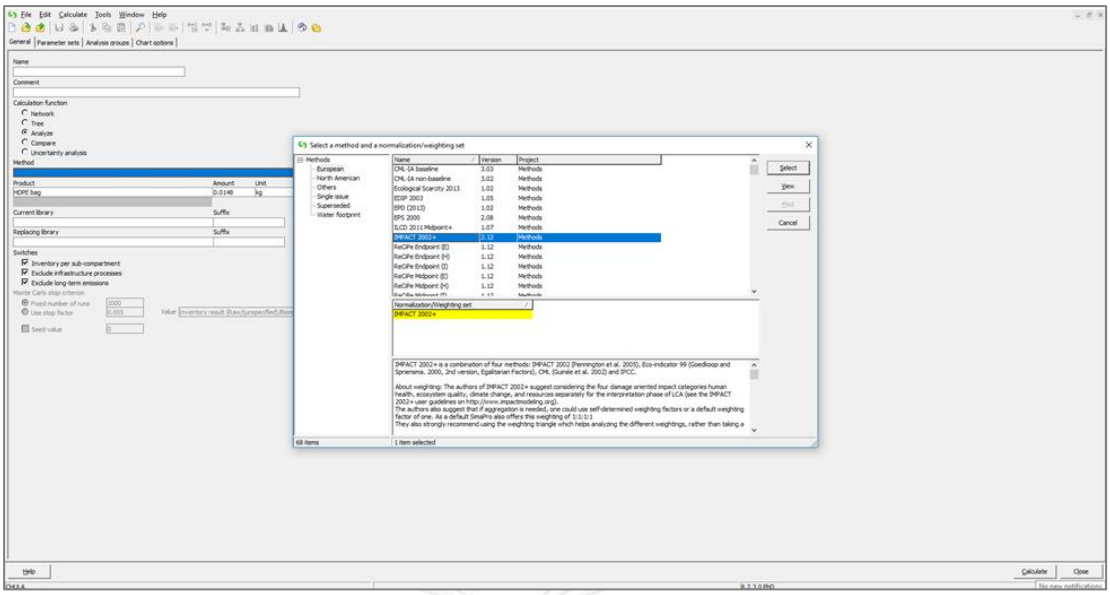
รูปที่ 3 การสร้าง Process ที่ต้องการเพื่อใส่ข้อมูลดิบ เลือก New



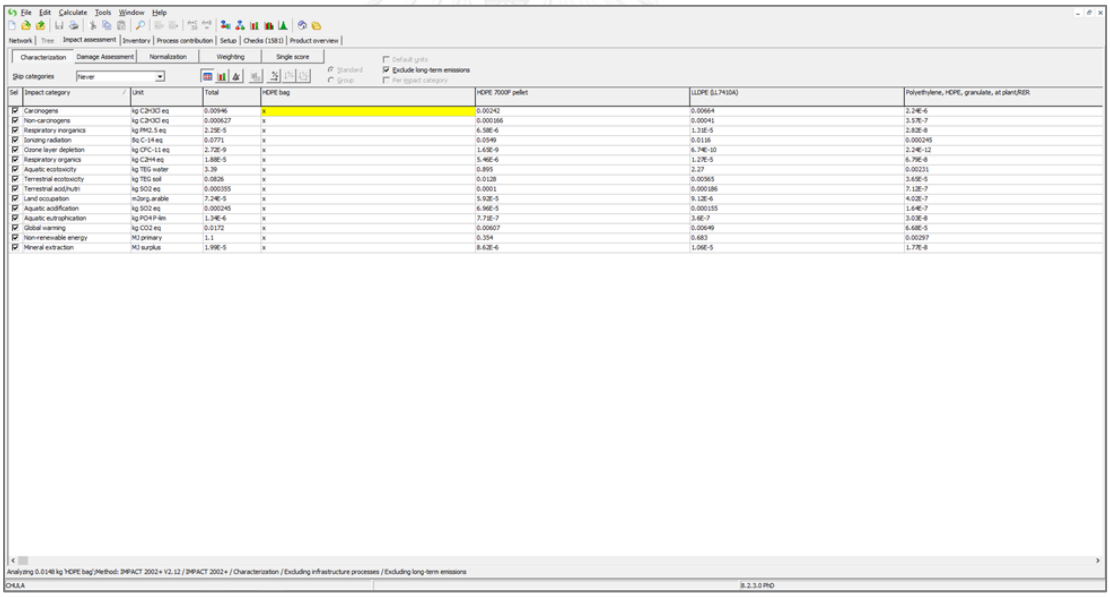
รูปที่ 4 ป้อนข้อมูลบัญชีรายการให้ครบถ้วน



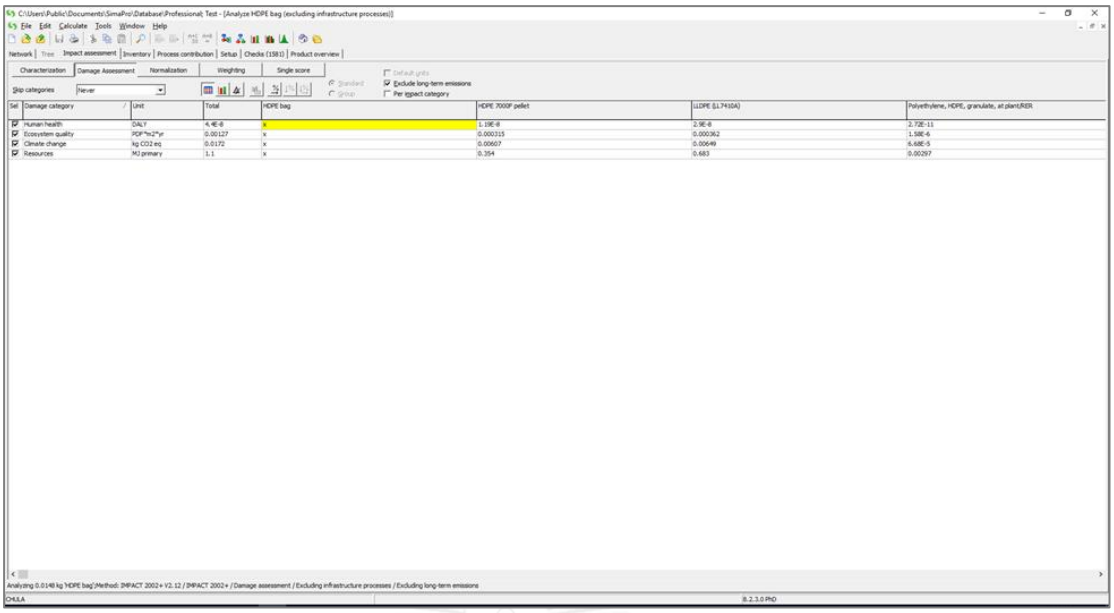
รูปที่ 5 ทำการประเมินโดยการเลือก Analyst (สัญลักษณ์รูปแผนภูมิแท่ง)
แล้วใส่หน่วยการทำงานที่ต้องการประเมิน



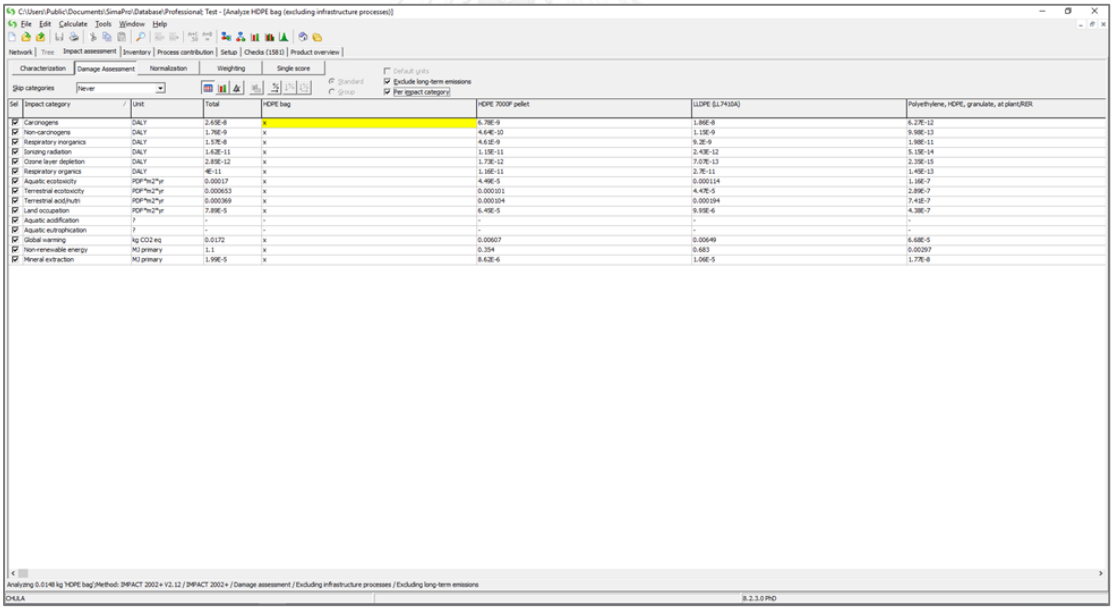
รูปที่ 6 เลือก Method ที่ต้องการศึกษา โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ IMPACT 2002+ version 2.12



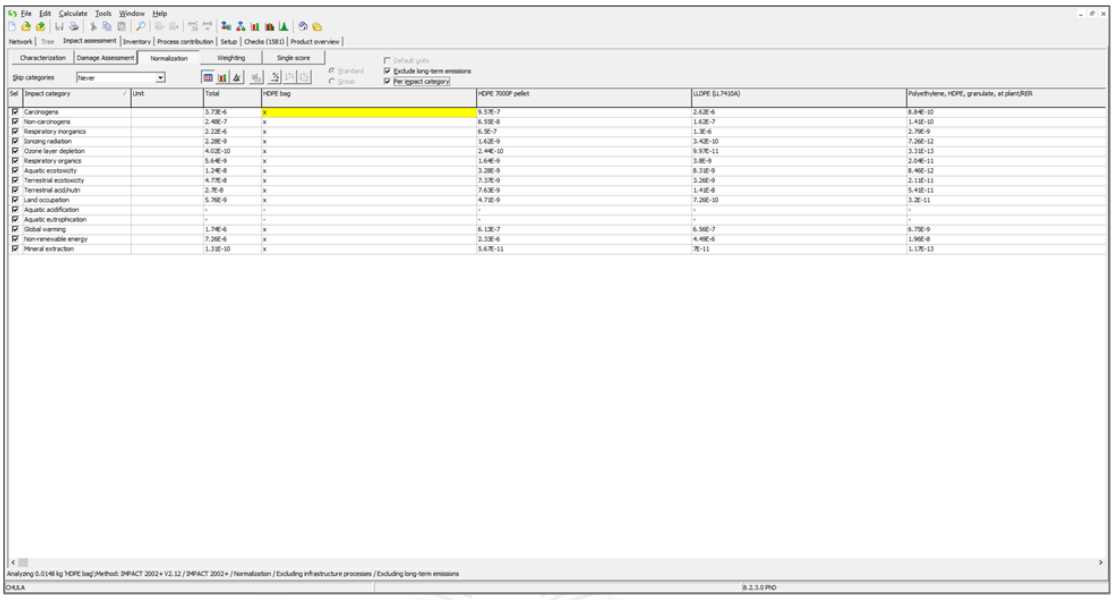
รูปที่ 7 ผลการประเมิน Midpoint categories



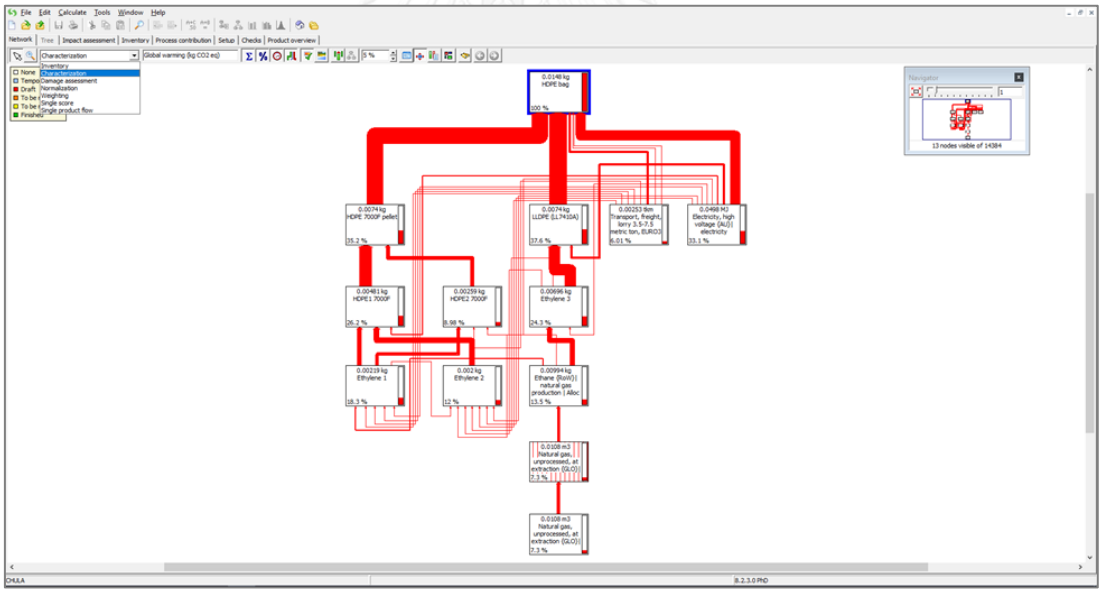
รูปที่ 8 ผลการประเมิน Damage assessment



รูปที่ 9 ผลการประเมิน Endpoint categories



รูปที่ 10 ผลการประเมิน Normalization



รูปที่ 11 ทำการประเมิน Tree diagram โดยการเลือก Tree diagram (สัญลักษณ์รูปผังการไหล) แล้วเลือกขั้นตอนและกลุ่มผลกระทบที่ต้องการ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปัทมาพร ตรีเนตร เกิดเมื่อวันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ. 2533 ที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา ในปีการศึกษา 2551 ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2555 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2557

P Treenate, N Limphitakphon and O Chavalparit. “A Complete Life Cycle Assessment of High Density Polyethylene Plastic Bottle”. The proceeding of the 2nd International Conference on Energy Materials and Applications, Hiroshima, Japan, YMCA, Hiroshima, Japan. 10-12 May, 2017.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University