การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น กรณีศึกษาถุงพลาสติกสำหรับอาหาร

นางสาวชณิภรณ์ เรืองฤทธิ์

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 Low Density Polyethylene (LDPE) and Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) Plastic Product Case Study: Food Packaging

Miss Chaniporn Ruangrit

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	การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น กรณีศึกษาถุงพลาสติกสำหรับอาหาร
โดย	นางสาวชณิภรณ์ เรืองฤทธิ์
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. ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรอนงค์ ลาภปริสุทธิ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. กิตตินันท์ อันนานนท์)

ชณิภรณ์ เรืองฤทธิ์ : การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น กรณีศึกษาถุงพลาสติกสำหรับอาหาร (Life Cycle Assessment of Low Density Polyethylene (LDPE) and Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) Plastic Product Case Study: Food Packaging) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 126 หน้า.

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) ด้วยเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยมีกรณีศึกษาเป็นถุงพลาสติกสำหรับอาหาร ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร และถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง หน่วยการทำงาน คือ 1 ถุง และทำการประเมินด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro Version 8.2 วิธี IMPACT 2002+ ขอบเขตการประเมินครอบคลุม Cradle to Grave ประกอบไปด้วย ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก กระบวนขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การใช้งาน และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ โดยการกำจัดซากผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบระหว่างการกำจัดด้วยการฝังกลบและการกำจัดด้วยการเผาทำลาย จากผลการประเมิน พบว่า ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร และถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง มีผลกระทบสูงสุด 5 อันดับที่เป็นผลกระทบเดียวกันทั้งการกำจัดด้วยการฝังกลบ และการกำจัดด้วยการเผาทำลาย ได้แก่ ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง ตามลำดับ โดยผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไปมาจากเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE เป็นหลัก ซึ่งผลกระทบของเม็ดพลาสติกที่เกิดขึ้นรวมผลกระทบตั้งแต่ การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ การผลิตเอทิลีน และการผลิตเม็ดพลาสติก นอกจากนี้ผลจากการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตเปรียบเทียบระหว่างการกำจัดด้วยการฝังกลบและการกำจัดด้วยการเผาทำลาย พบว่า การกำจัดด้วยการเผาทำลายก่อให้เกิดผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนมากกว่าการกำจัดด้วยการฝังกลบ จึงสรุปได้ว่าการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีผลกระทบต่ำหรือการใช้วัตถุดิบที่มาจากทรัพยากรทดแทน และการเลือกวิธีการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมสามารถเป็นทางเลือกที่จะช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารและถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งได้ในอนาคต

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

5770389721 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEYWORDS: LIFE CYCLE ASSESSMENT / LOW DENSITY POLYETHYLENE / LINEAR LOW DENSITY POLYETHYLENE / PLASTIC PRODUCT / FOOD PACKAGING

CHANIPORN RUANGRIT: Life Cycle Assessment of Low Density Polyethylene (LDPE) and Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) Plastic Product Case Study: Food Packaging. ADVISOR: ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., 126 pp.

This research applied life cycle assessment methodology in evaluating environmental impact of zip-lock bag for food and frozen food packaging. The objective of this study was to identify the hotspot of environmental impact through life cycle of food packaging from LDPE and LLDPE resins. The system boundary was defined as cradle-to-grave which included the ethylene production, LDPE and LLDPE resins production, zip-lock bag and frozen food packaging production, and disposal. The disposal was compare between landfill and incineration. All materials and emissions were calculated based on 1 bag of zip-lock bag for food and frozen food packaging. IMPACT 2002+ method was used for assessing environmental impact on SimaPro V8.2 software. The result found that the The most of environmental impact was generated from LDPE and LLDPE resins (raw material) which was used as raw material for producing bag. After normalization, non-renewable energy showed the highest potential to concern. This impact related directly to the natural gas drilling, ethane production, ethylene production, resin productions, and energy in all process. In conclusion, it should be suggested that the selection of suitable option for disposal can play an important role to reduce the environmental impact. The research demonstrates the possible way and benefits in improving cleaner raw material and suitable way of product’s end-of-life for producing green portion bag in the future.

Department: Environmental Engineering
Field of Study: Environmental Engineering
Academic Year: 2016

Student's Signature .....
Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ให้ความอนุเคราะห์ทุกท่าน ดังนี้

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ ซึ่งได้สละเวลาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และการช่วยเหลือต่างๆ ในงานวิจัยมาโดยตลอด จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและสมบูรณ์ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้วิจัย

บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัย และคุณบุญเชิด สุวรรณทิพย์ ที่ให้คำแนะนำและข้อมูลสำหรับใช้ในการทำวิจัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร (ประธานกรรมการ) รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล (กรรมการ) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ลาภปริสุทธิ (กรรมการ) และ ดร.กิตตินันท์ อันนานนท์ (กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย) ที่ได้กรุณาชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์นี้เป็นอย่างยิ่ง

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน และมอบความปรารถนาดีให้แก่ผู้วิจัย รวมถึงบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

หน่วยปฏิบัติการวิจัยการจัดการสิ่งแวดล้อมเชิงอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro และ ดร.ภานุวัฒน์ อุส่าห์เพียร ที่ให้ความช่วยเหลือ และคำปรึกษา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคนเป็นอย่างมาก ที่ให้ความช่วยเหลือ และคำปรึกษาในด้านต่างๆ และคอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ คุณน้า และครอบครัว ที่ได้ให้การสนับสนุนและคอยผลักดัน รวมทั้งเป็นกำลังใจที่สำคัญที่ทำให้ผู้วิจัยสามารถทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 สถานการณ์พลาสติกในประเทศไทย 4

2.2 กระบวนการผลิตและประเภทของพลาสติก 5

2.2.1 กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก 5

2.2.2 ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน 8

2.2.3 ประเภทของเม็ดพลาสติก 8

2.3 พอลิเอทิลีน 10

2.3.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) 10

2.3.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) 11

2.3.3 กระบวนการผลิตถุงพลาสติกจาก LDPE และ LLDPE 12

2.3.4 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของถุงพลาสติก 15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.4 การประเมินวัฏจักรชีวิต 15
2.4.1 ความหมายและหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิต 15
2.4.2 การประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต 16
2.4.3 อนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 17
2.4.4 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต.....17
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 36
3.1 การดำเนินงานวิจัย.....36
3.2 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE.....37
3.3 การคัดเลือกผลิตภัณฑ์จากการใช้วัตถุดิบเม็ดพลาสติก 38
3.4 การสำรวจและเก็บข้อมูลห่วงโซ่อุปทานการผลิต 38
3.4.1 ห่วงโซ่อุปทานการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกจากเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE .38
3.4.2 ออกแบบตารางการเก็บรวบรวมข้อมูล.....39
3.5 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์.....42
3.5.1 การกำหนดเป้าหมายของการศึกษา.....42
3.5.2 การกำหนดขอบเขตของการศึกษา.....42
3.5.3 การจัดทำบัญชีรายการของสารขาเข้าและสารขาออก.....44
3.5.4 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE ...44
3.5.5 การแปลผลและรายงานผลการประเมินวัฏจักรชีวิต 46
3.6 การนำเสนอแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม 46
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....47
4.1 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE ...47

4.1.1 การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE 48

4.1.2 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE 50

4.2 ผลการคัดเลือกผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE 55

4.3 การสำรวจและเก็บข้อมูลห่วงโซ่การผลิต 56

4.4 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร 59

4.4.1 การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร 60

4.4.2 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมและการแปลผลการศึกษาของถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร 62

4.5 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง 82

4.5.1 การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง 83

4.5.2 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมและการแปลผลการศึกษาของถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง 85

4.6 การเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์กับงานวิจัยอื่น 106

4.7 แนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE.... 108

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.... 112

5.1 สรุปผลการวิจัย.... 112

5.2 ข้อเสนอแนะ.... 114

รายการอ้างอิง.... 115

ภาคผนวก.... 119

ภาคผนวก ก.... 120

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 126

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2- 1 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 34

ตารางที่ 3- 1 ตัวอย่างรูปแบบตารางการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับโรงงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก.....40

ตารางที่ 3- 2 กำหนดขอบเขตของการศึกษา.....42

ตารางที่ 4- 1 บัญชีรายการมวลสารของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE48

ตารางที่ 4- 2 บัญชีรายการมวลสารของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LLDPE.....49

ตารางที่ 4- 3 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE 55

ตารางที่ 4- 4 ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่คัดเลือกในประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต.....56

ตารางที่ 4- 5 บัญชีรายการมวลสารของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร 62

ตารางที่ 4- 6 ผลการคำนวณผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint Category) ของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร.....66

ตารางที่ 4- 7 การจัดกลุ่มความเสียหาย (Damage Category) ของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร.....67

ตารางที่ 4- 8 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับบรรจุอาหารใน 2 กรณีศึกษา.....70

ตารางที่ 4- 9 บัญชีรายการมวลสารของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง.....85

ตารางที่ 4- 10 ผลการคำนวณผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint Category) ของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง.....90

ตารางที่ 4- 11 การจัดกลุ่มความเสียหาย (Damage Category) ของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง.....91

ตารางที่ 4- 12 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งใน 2 กรณีศึกษา 94

ตารางที่ 4- 13 ตารางเปรียบเทียบกลุ่มความเสียหายของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารและถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งกับงานวิจัยอื่น 107

ตารางที่ 4- 14 ค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารและถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง 110

ตารางที่ 4- 15 ค่าความร้อนของวัสดุที่เป็นเชื้อเพลิง 110

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2- 1 ขั้นตอนการกลั่นน้ำมันดิบ 6

รูปที่ 2- 2 ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้น 7

รูปที่ 2- 3 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต 9

รูปที่ 2- 4 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิเอทิลีน 10

รูปที่ 2- 5 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลและสายโซ่พอลิเมอร์ของ LDPE 11

รูปที่ 2- 6 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลและสายโซ่พอลิเมอร์ของ LLDPE 11

รูปที่ 2- 7 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของ LLDPE ในการใช้พอลิเมอร์ร่วม (Co-polymer) 12

รูปที่ 2- 8 กระบวนการขึ้นรูปโดยการอัดรีดแบบเป่าฟิล์ม (Blow Film Extrusion) 13

รูปที่ 2- 9 ตัวอย่างถุงพลาสติกที่ผลิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) 14

รูปที่ 2- 10 ตัวอย่างถุงพลาสติกที่ผลิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) (Minigrip, 2010) 14

รูปที่ 2- 11 กรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตจากอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 18

รูปที่ 2- 12 ตัวอย่างการแสดงขอบเขตและระบบผลิตภัณฑ์ในการวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547 อ้างถึงใน อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041: 1998) 20

รูปที่ 3- 1 แผนการดำเนินงานวิจัย 36

รูปที่ 3- 2 แผนผังการไหลของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติก 37

รูปที่ 3- 3 ห่วงโซ่อุปทานการผลิตถุงพลาสติกจากเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE 39

รูปที่ 3- 4 ขอบเขตของการศึกษา 43

รูปที่ 3- 5 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี IMPACT 2002+ version 2.12 45

รูปที่ 4- 1 แผนผังแสดงขอบเขตการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม 47

รูปที่ 4- 2 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE 51

รูปที่ 4- 3 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LLDPE 52

รูปที่ 4- 4 เปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE.....52

รูปที่ 4- 5 ผลการเทียบหน่วย (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE.....53

รูปที่ 4- 6 ผลการเทียบหน่วย (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LLDPE.....54

รูปที่ 4- 7 เปรียบเทียบผลการเทียบหน่วย (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE.....54

รูปที่ 4- 8 การสัมภาษณ์กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง.....58

รูปที่ 4- 9 ผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร.....59

รูปที่ 4- 10 แผนผังแสดงขอบเขตการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร.....60

รูปที่ 4- 11 แผนผังกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร.....61

รูปที่ 4- 12 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ.....64

รูปที่ 4- 13 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย.....65

รูปที่ 4- 14 เปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารระหว่างการกำจัดด้วยการฝังกลบและการกำจัดด้วยการเผาทำลาย.....65

รูปที่ 4- 15 ผลการเทียบหน่วย (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ.....68

รูปที่ 4- 16 ผลการเทียบหน่วย (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย.....69

รูปที่ 4- 17 เปรียบเทียบผลการเทียบหน่วย (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารระหว่างการกำจัดด้วยการฝังกลบและการกำจัดด้วยการเผาทำลาย.....69

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4- 18 สัดส่วนของผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไปของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร 71

รูปที่ 4- 19 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไปของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร 72

รูปที่ 4- 20 สัดส่วนของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร 73

รูปที่ 4- 21 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร 74

รูปที่ 4- 22 สัดส่วนของผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร 75

รูปที่ 4- 23 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร.....76

รูปที่ 4- 24 สัดส่วนของผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร 77

รูปที่ 4- 25 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร 78

รูปที่ 4- 26 สัดส่วนของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร 79

รูปที่ 4- 27 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร 80

รูปที่ 4- 28 กราฟใยแมงมุมแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบหลักของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร 81

รูปที่ 4- 29 ผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง.....82

รูปที่ 4- 30 แผนผังแสดงขอบเขตการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง.....83

รูปที่ 4- 31 แผนผังกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง.....84

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4- 32 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ.....88

รูปที่ 4- 33 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งกรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย.....88

รูปที่ 4- 34 เปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง ระหว่างการกำจัดด้วยการฝังกลบและการกำจัดด้วยการเผาทำลาย 89

รูปที่ 4- 35 ผลการเทียบหน่วย (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ.....92

รูปที่ 4- 36 ผลการเทียบหน่วย (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย.....92

รูปที่ 4- 37 เปรียบเทียบผลการเทียบหน่วย (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งระหว่างการกำจัดด้วยการฝังกลบและการกำจัดด้วยการเผาทำลาย 93

รูปที่ 4- 38 สัดส่วนของผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไปของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง.....95

รูปที่ 4- 39 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไปของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง 96

รูปที่ 4- 40 สัดส่วนของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง.....97

รูปที่ 4- 41 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง 98

รูปที่ 4- 42 สัดส่วนของผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง 99

รูปที่ 4- 43 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ ของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง 100

รูปที่ 4- 44 สัดส่วนของผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง 101

รูปที่ 4- 45 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง 102

รูปที่ 4- 46 สัดส่วนของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง 103

รูปที่ 4- 47 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง 104

รูปที่ 4- 48 กราฟใยแมงมุมแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบหลักของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง 105

รูปที่ 4- 49 แผนผังแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE 109

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมพลาสติกเป็นอุตสาหกรรมปลายสายของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่สร้างมูลค่าทำให้อุตสาหกรรมพลาสติกมีการเติบโตเป็นอย่างมาก โดยพลาสติกได้ถูกนำมาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและกลายมาเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวัน เนื่องจากพลาสติกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคสามารถเลือกใช้ได้ตรงความต้องการตามชนิดของพอลิเมอร์ พลาสติกจากปิโตรเลียมยังคงเป็นพลาสติกที่นิยมใช้กัน แม้ว่าจะเกิดการพัฒนาพลาสติกจากทรัพยากรหมุนเวียนขึ้น แต่มีข้อจำกัดทางด้านราคาและการใช้งานที่ยังตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้น้อยกว่า อีกทั้งยังมีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่า พลาสติกที่ผลิตจากทรัพยากรหมุนเวียนมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากกว่าพลาสติกจากปิโตรเลียม อันเนื่องมาจากการใช้ที่ดินสำหรับปลูกพืชหมุนเวียน (Liptow และ Tillman, 2012) อย่างไรก็ตามพลาสติกจากปิโตรเลียมยังคงก่อปัญหาหลุมฝังกลบ ขยะในทะเล และขยะตามสิ่งแวดล้อมทั่วไป ดังนั้นจึงควรมีการจัดการวัฏจักรชีวิตของพลาสติก เพื่อลดการทิ้งพลาสติกสู่สิ่งแวดล้อม

เนื่องด้วยในปัจจุบันผู้บริโภคมีความต้องการผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น การเลือกซื้อผลิตภัณฑ์จึงเป็นผู้บริโภคที่เป็นผู้ตัดสินใจ ทำให้ผู้ผลิตได้เล็งเห็นถึงความสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมและเป็นการแข่งขันทางการค้า โดยใช้ผลิตภัณฑ์เป็นตัวกำหนดทางการตลาด การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจึงมีความสำคัญและจำเป็นเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหรือชี้วัดว่าผลิตภัณฑ์นี้ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมเท่าไร การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันจึงมุ่งเน้นไปที่การประเมินผลกระทบของผลิตภัณฑ์ โดยวิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์นั้นมีหลายวิธี เช่น การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งสามารถเลือกวิธีการและหลักเกณฑ์ตามความเหมาะสม หลักเกณฑ์การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้มีการพัฒนาและปรับปรุงให้มีความถูกต้องและครอบคลุมกับความต้องการของผู้ประเมินมากขึ้น

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) ด้วยเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) ตลอดห่วงโซ่อุปทาน ที่มีขอบเขตการศึกษาครอบคลุม Cradle to Grave ประกอบไปด้วย ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิตเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE การขึ้นรูปเม็ดพลาสติกจนได้เป็นผลิตภัณฑ์ การขนส่งและกระจายสินค้า

การนำผลิตภัณฑ์พลาสติกไปใช้งาน และการกำจัดซากหรือของเสียหลังจากการใช้งาน เพื่อนำผลการประเมินที่ได้จากการวิจัยไปเป็นข้อมูลในการวางแผนและประกอบการตัดสินใจในการจัดการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมสำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE อย่างยั่งยืนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นด้วยเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

1.2.2 นำเสนอแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการจัดการวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) กรณีศึกษาผลิตจากโรงงานที่ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง

1.3.2 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตถุงพลาสติกสำหรับอาหาร

1.3.3 ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) เป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยมีขอบเขตการศึกษาครอบคลุม Cradle to Grave คือ พิจารณาตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การนำไปใช้งาน และการกำจัดซากหรือของเสียที่เกิดขึ้นหลังการใช้งาน

1.3.4 การกำจัดซากผลิตภัณฑ์ แบ่งเป็น 2 กรณีศึกษา คือ กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ และกรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย

1.3.5 หน่วยอ้างอิงหรือหน่วยการทำงาน (Functional Unit) คือ 1 ถุง (Bag) ของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE

1.3.6 การประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE โดยใช้โปรแกรม SimaPro Version 8.2 ประเมินผลกระทบด้วยวิธี IMPACT 2002+

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3.7 เสนอแนะแนวการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติกจากวัตถุดิบในผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) ตลอดวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบจนการนำไปกำจัดซาก และสามารถนำผลที่ได้จากการวิจัยนี้ไปเป็นข้อมูลในการวางแผนและประกอบการตัดสินใจ เพื่อการจัดการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมสำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สถานการณ์พลาสติกในประเทศไทย

อุตสาหกรรมพลาสติกมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจไทย เนื่องจากอุตสาหกรรมพลาสติกเป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องของอุตสาหกรรมสาขาอื่น เช่น อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ อุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วน อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กโทรนิกส์ และอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น ซึ่งทำให้อุตสาหกรรมปิโตรเคมีของประเทศไทยที่มีความแข็งแกร่งอยู่แล้ว ให้เกิดความมั่นคงมากยิ่งขึ้นด้วย (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2553) แม้สภาวะเศรษฐกิจโลกที่ซบเซานั้นส่งผลกระทบภาพรวมสำหรับการส่งออกสินค้าไทย แต่สัดส่วนการส่งออกผลิตภัณฑ์พลาสติกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (สถาบันพลาสติก, 2559)

คณะกรรมการพัฒนาอุตสาหกรรมแห่งชาติ (กอช.) ได้มีมติเห็นชอบในการร่างยุทธศาสตร์การพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติก 6 ปี (2559-2564) ภายใต้วิสัยทัศน์ การขยายศักยภาพอุตสาหกรรมพลาสติกไทยสู่เวทีโลก โดยมีเป้าหมายเพื่อขยายสัดส่วนการส่งออกผลิตภัณฑ์พลาสติกให้เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 20 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30 ของมูลค่าการผลิตในอุตสาหกรรม ซึ่งมอบหมายให้กระทรวงอุตสาหกรรม สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุนหรือบีโอไอ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องไปจัดทำแผนปฏิบัติการภายใต้กรอบดังกล่าว เพื่อขับเคลื่อนสู่การปฏิบัติต่อไป แผนปฏิบัติการประกอบไปด้วย 3 ยุทธศาสตร์ 6 กลยุทธ์ (สำนักปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม, 2557) ดังต่อไปนี้

- ยุทธศาสตร์ที่ 1 การปรับโครงสร้างอุตสาหกรรมพลาสติกไทย เพื่อช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ประกอบไปด้วย 2 กลยุทธ์ ได้แก่
    1) การส่งเสริมการปรับตัวสู่ผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดใหญ่
    2) การส่งเสริมการลงทุนในเขตพื้นที่ชายแดนและประเทศเพื่อนบ้าน
- ยุทธศาสตร์ที่ 2 การยกระดับและพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกไทยสู่ตลาดมูลค่าสูง ประกอบด้วย 2 กลยุทธ์ ได้แก่
    1) การส่งเสริมนวัตกรรม เทคโนโลยีและการออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติก
    2) การส่งเสริมโอกาสทางการตลาดของผลิตภัณฑ์พลาสติกมูลค่าสูง
- ยุทธศาสตร์ที่ 3 การพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกควบคู่สิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย 2 กลยุทธ์ ได้แก่
    1) การพัฒนาเทคโนโลยีและการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อสิ่งแวดล้อม

2) การส่งเสริมและพัฒนาเทคโนโลยีพลาสติกชีวภาพและส่งเสริมตลาดผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพ

2.2 กระบวนการผลิตและประเภทของพลาสติก

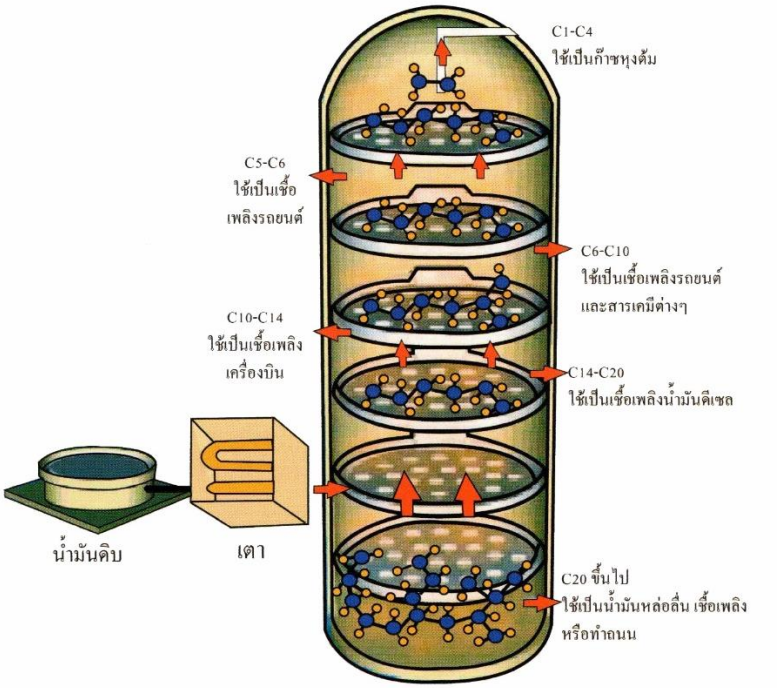
2.2.1 กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก

พลาสติกที่ผลิตในปัจจุบัน ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากปิโตรเลียม ทั้งน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยการผลิตพลาสติกเกิดจากกระบวนการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันดิบ ที่สามารถแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกเป็นส่วนๆ (สถาบันพลาสติก, 2556) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการกลั่นลำดับส่วน สามารถแบ่งตามประโยชน์หลัก (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2553) ดังต่อไปนี้

- ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการขับเคลื่อนยานพาหนะ เช่น ก๊าซธรรมชาติเหลว (NGL) น้ำมันเบนซิน (Gasoline) น้ำมันดีเซล (Diesel) น้ำมันเครื่องบิน (JET A1) เป็นต้น
- ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อเป็นแหล่งให้ความร้อนและเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า เช่น ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas) ก๊าซหุงต้มหรือก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) น้ำมันเตา (Fuel oil) เป็นต้น
- ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้น (Feedstocks) สำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

แต่ละส่วนที่ได้จากการกลั่นนั้นมีปริมาณของสารประกอบคาร์บอนและสายโซ่โมเลกุลที่แตกต่างกัน (รูปที่ 2-1) โดยปกติจะนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะสั้นมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย กรณีที่ได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนพันธะที่มีความยาวมากเกินความต้องการที่จะใช้งาน สามารถผ่านกระบวนการแยกสลายพันธะให้ความยาวสายโซ่สั้นลงได้

กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกเริ่มจากการนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กจากกระบวนการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันดิบ มาทำปฏิกิริยากันจนได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว เรียกว่า พอลิเมอร์ (Polymer) ซึ่งพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์แต่ละชนิดจะใช้วัตถุดิบตั้งต้นที่แตกต่างกันออกไป ทำให้พอลิเมอร์แต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกัน โดยพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นนี้จะถูกนำไปผลิตเป็นเม็ดพลาสติกและขึ้นรูปพลาสติกเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกต่อไป (สถาบันพลาสติก, 2556)



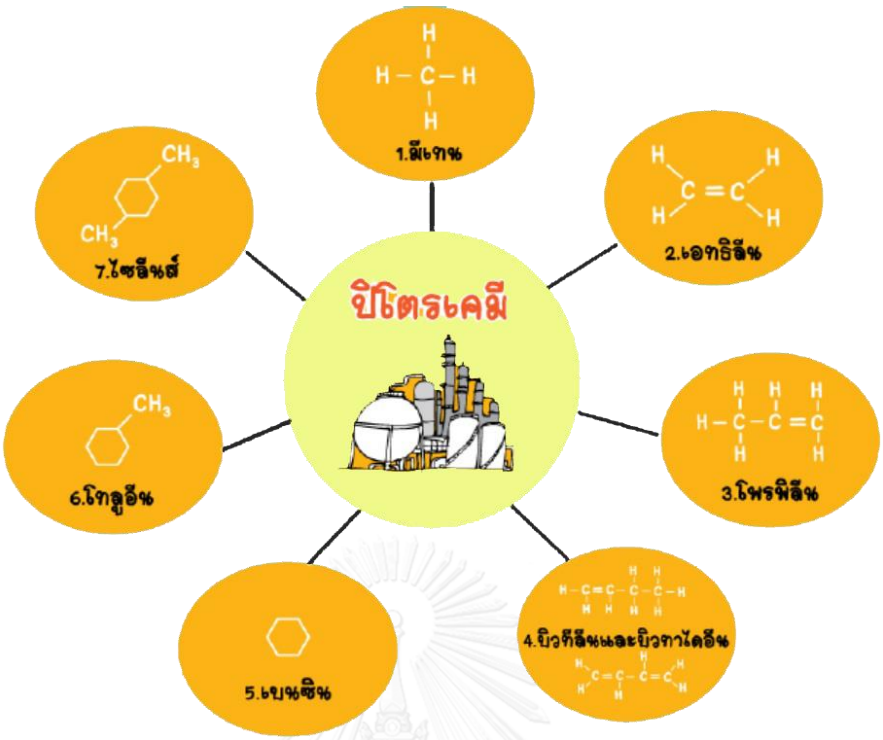
รูปที่ 2- 1 ขั้นตอนการกลั่นน้ำมันดิบ
(สถาบันพลาสติก, 2556)

อุตสาหกรรมปิโตรเคมีเป็นอุตสาหกรรมที่มีความเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมอื่นมากมาย อีกทั้งเป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่า เกิดการแข่งขันสูงทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ โดยอุตสาหกรรมปิโตรเคมีสามารถแบ่งลำดับตามโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีได้ 3 ขั้น ประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้น ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลาง และผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นปลาย (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2553)

1) ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้น (Upstream petrochemical product)

ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นเป็นผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีลำดับแรก โดยผลิตจากวัตถุดิบตั้งต้นที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม เพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีในขั้นถัดไป ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นที่สำคัญมี 7 ชนิด (รูปที่ 2-2) ซึ่งแบ่งเป็น 3 กลุ่มตามโครงสร้างพื้นฐานของโมเลกุลที่ต่างกัน ได้ดังนี้

- กลุ่มอัลเคน (Alkane group) ได้แก่ มีเทน (Methane)
- กลุ่มโอเลฟินส์ (Olefins group) ได้แก่ เอทิลีน (Ethylene) โพรพิลีน (Propylene) และบิวทาไดอีนในซี 4 ผสม (Mixed C4)
- กลุ่มอะโรมาติก (Aromatics group) ได้แก่ เบนซีน (Benzene) โทลูอีน (Toluene) และไซลีน (Xylene)



รูปที่ 2- 2 ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้น

(ดัดแปลงจาก ส่วนสื่อสารกลุ่มธุรกิจปิโตรเลียม บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน), 2555)

2) ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลาง (Intermediate petrochemical product)

ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลางเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ผลิตภัณฑ์ขั้นต้นเป็นวัตถุดิบ เพื่อใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ขั้นปลายต่อไป และสามารถใช้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลางชนิดอื่นได้ ยกตัวอย่างเช่น เอทิลีนไกลคอล เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลางที่ผลิตจากเอทิลีนออกไซด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลางเช่นกัน

3) ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นปลาย (Downstream petrochemical product)

ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นปลายจะใช้วัตถุดิบที่เป็นผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้นหรือขั้นกลางมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นปลาย ก่อนนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นปลายไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปหรือกึ่งสำเร็จรูปในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ ต่อไป โดยผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นปลายสามารถแบ่งเป็นกลุ่มหลักตามประเภทของการใช้งาน ได้แก่ กลุ่มพลาสติก (Plastic) กลุ่มเส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic fibre) กลุ่มยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber หรือ Elastomer) กลุ่มสารเคลือบผิวและผลิตภัณฑ์กาว (Synthetic coating and Adhesive material)

2.2.2 ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน

ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) หรือปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์ คือ ปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดสารที่มีโมเลกุลใหญ่ (polymer) โดยการทำให้สารที่มีโมเลกุลเล็ก (monomer) เกิดปฏิกิริยาต่อกันเป็นสายโซ่ยาว สามารถแบ่งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันตามกลไกของการเกิดปฏิกิริยาและโครงสร้างเคมีของพอลิเมอร์ได้ 2 ประเภท (สถาบันพลาสติก, 2556) ดังต่อไปนี้

1. การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบลูกโซ่หรือรวมตัว (Addition Polymerization Reaction)

   กระบวนการที่นำเอามอนอเมอร์ ซึ่งเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กชนิดเดียวกันและไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หรือพันธะสามอยู่ในโมเลกุล มาทำปฏิกิริยากันจนได้เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ โดยเกิดจากพันธะคู่หรือพันธะสามจะถูกความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ที่เหมาะสม ทำให้เกิดการหลุดของพันธะ 1 พันธะ พันธะที่หลุดออกมาจะทำปฏิกิริยายึดจับกับพันธะที่หลุดออกมาด้วยกัน ทำให้เกิดการต่อกันทีละโมเลกุลจนได้โมเลกุลใหม่ที่มีลักษณะเป็นสายโซ่ที่ยาวขึ้น ตัวอย่างพลาสติกที่เกิดจากการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบลูกโซ่ ได้แก่ พอลิเอทิลีน (PE) พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) พอลิพรอพิลีน (PP) เป็นต้น

2. การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบขั้นหรือควบแน่น (Step Condensation Polymerization)

   กระบวนการที่เกิดจากมอนอเมอร์ 2 ชนิด โดยแต่ละชนิดเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและมีหมู่ฟังก์ชันเหมือนกันอย่างน้อย 2 หมู่ที่ปลายสุดของโมเลกุล หรืออาจเกิดจากโมโนเมอร์เพียง 1 ชนิดที่มีหมู่ฟังก์ชันแตกต่างกันอย่างน้อย 2 หมู่ที่ปลายสุดของโมเลกุล ตัวอย่างพลาสติกที่เกิดจากการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบขั้น ได้แก่ ไนลอน (PA) พอลิเอสเทอร์ เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.3 ประเภทของเม็ดพลาสติก

พลาสติกหรือพอลิเมอร์ ได้จากการสังเคราะห์ของสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาเคมี โครงสร้างหลักจะประกอบไปด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจน นอกจากนี้มีส่วนประกอบของออกซิเจน ไนโตรเจน กำมะถัน คลอรีน ฟลูออรีน ซึ่งเป็นสารประกอบเป็นส่วนน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกที่แตกต่างกัน สามารถแบ่งประเภทตามโครงสร้างเคมีและสมบัติทางความร้อนเป็น 2 ประเภท คือ เทอโมพลาสติก (Thermoplastic) และเทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting) (รูปที่ 2-3)

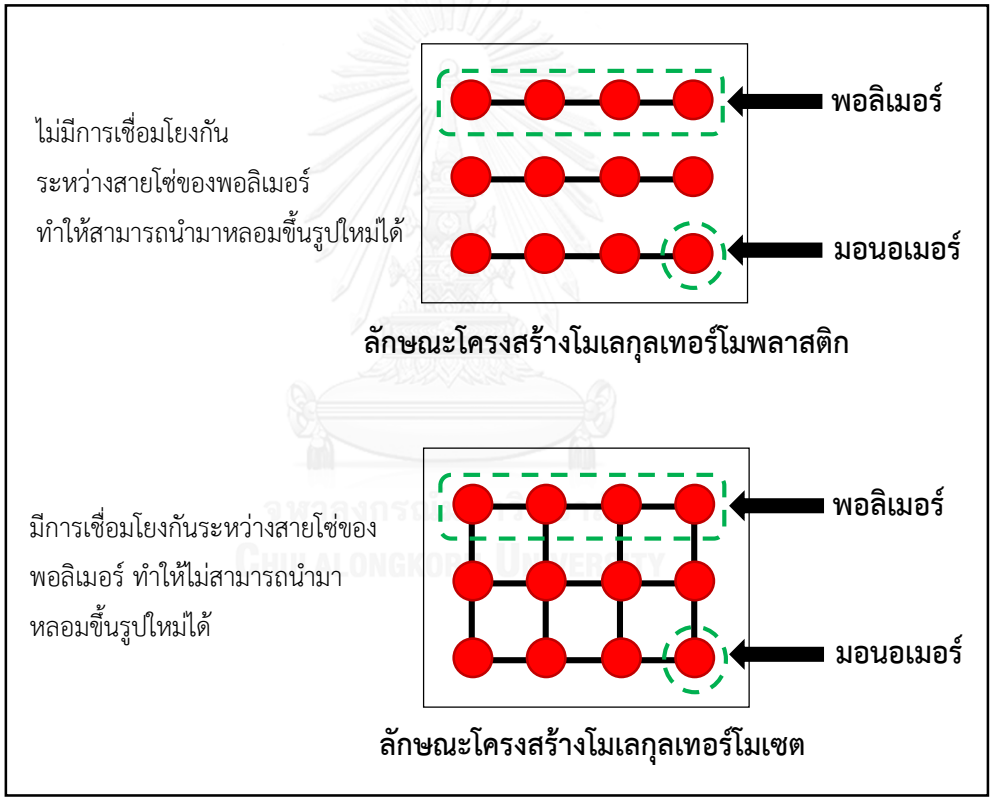
1. เทอโมพลาสติก (Thermoplastic)

   พลาสติกหรือพอลิเมอร์ประเภทนี้มักได้จากปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบลูกโซ่ มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายโซ่แบบเส้นตรงสายยาวหรือแบบกิ่งสั้น มีการเชื่อมต่อระหว่างโซ่พอลิเมอร์น้อยมาก ทำให้สามารถหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน และแข็งตัวเมื่อ

เย็นตัวลง การหลอมเหลวและเย็นตัวสามารถเกิดกลับไปมาได้ จึงนำมาหลอมซ้ำได้ด้วยความร้อน และนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ แต่สมบัติของพลาสติกประเภทนั้นอาจลดลงเนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพของพลาสติก

2. เทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting)

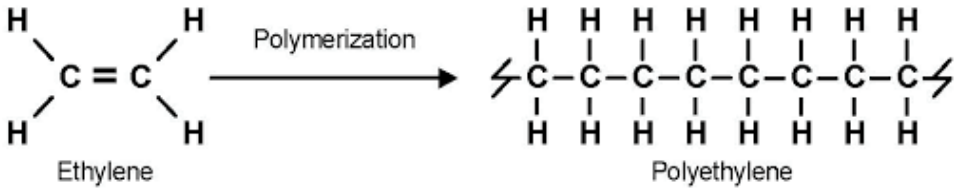
พลาสติกหรือพอลิเมอร์ประเภทนี้ส่วนใหญ่ได้จากปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบควบแน่น ซึ่งมีโครงสร้างที่แตกต่างจากเทอร์โมพลาสติก โดยมีโครงสร้างเคมีเป็นร่างแห จึงจำกัดการเคลื่อนไหวของโมเลกุลพลาสติก ทำให้ไม่สามารถนำมาหลอมเหลวเพื่อขึ้นรูปแล้วนำมาใช้ใหม่ได้ เมื่อให้ความร้อนจะเกิดการสลายตัวหรือไหม้ในที่สุด



รูปที่ 2- 3 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต
(ดัดแปลงจาก สถาบันพลาสติก, 2556)

2.3 พอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีน (PE) เป็นเทอร์โมพลาสติก ที่สังเคราะห์จากเอทิลีนมอนอเมอร์ (Ethylene monomer) โครงสร้างโมเลกุลของพอลิเอทิลีนแสดงดังรูปที่ 2-4 เป็นพอลิเมอร์ที่ใช้กันแพร่หลาย สมบัติทั่วไปคือ ลักษณะภายนอกมีสีค่อนข้างขาวกึ่งโปร่งแสง มีความเหนียวมาก สามารถดึงยืดได้ง่าย ทนสารเคมีได้ดี การซึมผ่านไอน้ำต่ำ การดูดซับน้ำต่ำ และมีกระบวนการขึ้นรูปที่ทำได้ง่าย ข้อจำกัดของพอลิเอทิลีนมีบางประการ คือ อุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ และมอดูลัสการดึงต่ำ พอลิเอทิลีนสามารถจำแนกเป็นหลายชนิดตามความหนาแน่นที่แตกต่างกัน เช่น พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) เป็นต้น (ส่วนสื่อสารกลุ่มธุรกิจปิโตรเลียม บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน), 2554)



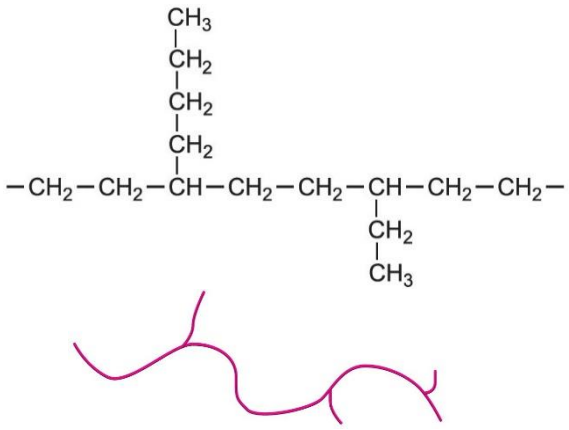
รูปที่ 2- 4 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิเอทิลีน
(Zeus Industrial Products, 2006)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene: LDPE) ถูกค้นพบขึ้นครั้งแรกโดยบังเอิญของนักวิจัยของบริษัทไอซีไอ คือ เรจินัลด์ กิ๊บสัน (Reginald Gibson) และอีริค ฟาวเซ็ทท์ (Eric Fawcett) เมื่อปี ค.ศ. 1933 จากการให้ความดันที่สูงมากแก่ส่วนผสมของสารเอทิลีน (Ethylene) และเบนซัลดีไฮด์ (Benzaldehyde)

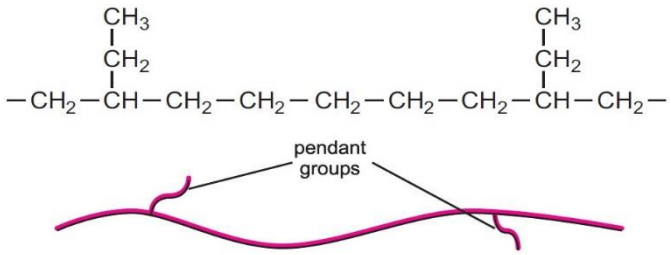
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของมอนอเมอร์ พอลิเอทิลีนเกิดเป็นสายโซ่กิ่ง ซึ่งมีความยาวอะตอมคาร์บอน 2-8 อะตอม และมีโซ่กิ่งจำนวนมาก (รูปที่ 2-5) โดยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีความหนาแน่นระหว่าง 0.915-0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นพลาสติกที่มีความใส มีความยืดหยุ่นดี มีความเหนียว และสามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกได้ดี ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย เช่น ถุงพลาสติกทั่วไป บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร ฟิล์มหดรัด ฟิล์มกันกระแทก ฟิล์มลามิเนต ฟิล์มเคลือบผิววัสดุ หลอดบรรจุเครื่องสำอาง งานท่อ งานโฟม เป็นต้น



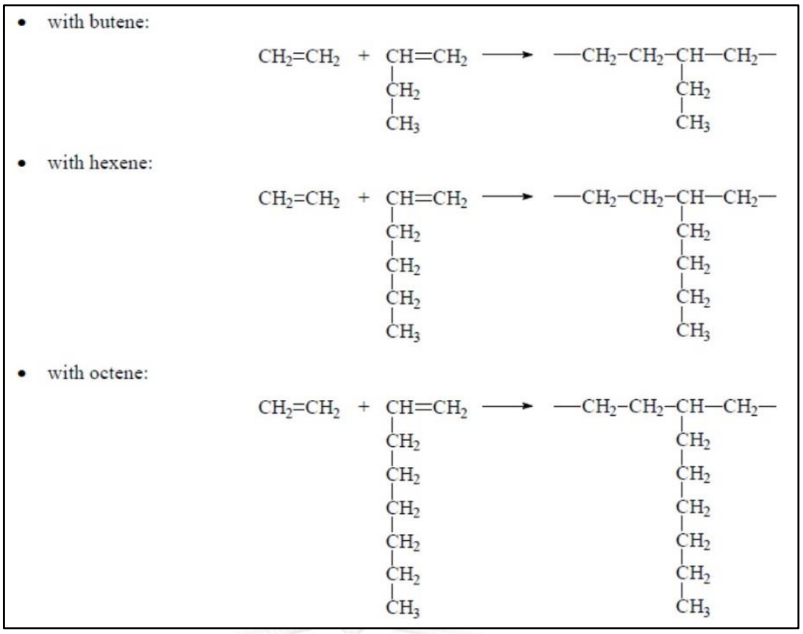
รูปที่ 2- 5 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลและสายโซ่พอลิเมอร์ของ LDPE
(The Essential Chemical Industry, 2014)

2.3.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE)

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear Low Density Polyethylene: LLDPE) มีความหนาแน่นเท่ากับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) แต่มีโซ่กิ่งที่สั้นกว่า (รูปที่ 2-6) เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำให้มีสมบัติความต้านแรงดึง (Tensile strength) ที่สูงขึ้น ซึ่งการสังเคราะห์พอลิเมอร์มีการใช้ความดันและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ต่ำกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ จึงทำให้มีราคาถูกกว่า โดยมีวัสดุที่ใช้ผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เพื่อเพิ่มความเหนียวให้กับตัวผลิตภัณฑ์ เช่น บิวทีน (Butene) เฮกซีน (Hexene) และออกทีน (Octane) ดังรูปที่ 2-7 ผลิตภัณฑ์จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นคล้ายคลึงกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เช่น งานฟิล์ม งานฉีดเข้าแบบ งานหมุนเข้าแบบ เป็นต้น



รูปที่ 2- 6 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลและสายโซ่พอลิเมอร์ของ LLDPE
(The Essential Chemical Industry, 2014)



รูปที่ 2- 7 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของ LLDPE ในการใช้พอลิเมอร์ร่วม (Co-polymer) (Lepoutre, 2008)

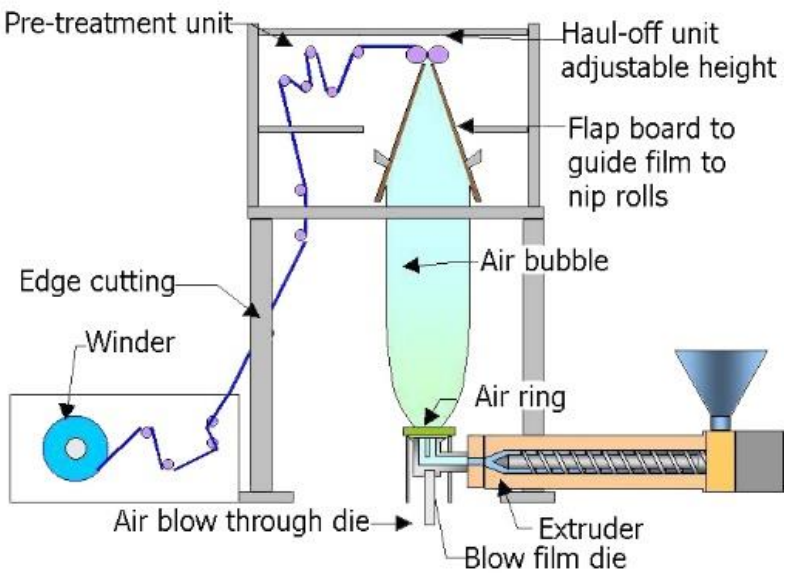
2.3.3 กระบวนการผลิตถุงพลาสติกจาก LDPE และ LLDPE

กระบวนการผลิตถุงพลาสติก

ผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกเกิดจากการนำเม็ดพลาสติกไปขึ้นรูป ด้วยกระบวนการขึ้นรูปโดยการอัดรีดแบบเป่าฟิล์ม (Blow Film Extrusion) (รูปที่ 2-8) ซึ่งมีหลักการ คือ เป่าเม็ดพลาสติกที่เหลวหนืดให้เกิดการพองตัวขึ้นในอากาศและรีดฟิล์มที่เป่าออกมาเป็นถุงพลาสติก (ฐานันดร์ ปิ่นนาค และคณะ, 2555) ซึ่งเครื่องเป่าฟิล์มพลาสติกประกอบไปด้วย (กัลยา อุบลทิพย์, 2537)

- เครื่องอัดรีด (Extruder) มีหน้าที่ป้อนเม็ดพลาสติกโดยใช้เกลียวหนอนหมุนอัดเม็ดพลาสติกให้เคลื่อนที่เข้าไปตามเกลียวและหลอมเหลวให้เม็ดพลาสติกเหลวหนืด
- แม่แบบ (Die) เมื่อเม็ดพลาสติกหลอมเหลวด้วยเครื่องอัดรีดแล้ว จากนั้นพลาสติกที่เหลวหนืดจะถูกดันออกมาให้ผ่านแม่แบบ โดยมีการเป่าลมเพื่อให้พลาสติกขยายออกและบางลงจนเป็นฟิล์มพลาสติก พลาสติกที่เป่านี้จะมีลักษณะเป็นท่อฟิล์ม ซึ่งแม่แบบสามารถออกแบบให้มีลักษณะตามชิ้นงานที่ต้องการได้
- วงแหวนหล่อเย็น ฟิล์มพลาสติกที่ถูกเป่าต้องทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความคงรูปของฟิล์มมีน้อย ในการหล่อเย็นสามารถใช้ได้ทั้งลมและน้ำ

- แผ่นนำถุงเข้าลูกรีด จะทำหน้าที่ช่วยประคองให้ท่อฟิล์มที่เป่า รีดตัวเข้าสู่ลูกกลิ้งรีด ซึ่งแผ่นนำถุงเข้าลูกรีดนี้ต้องปรับมุมเพื่อประคองฟิล์มในการเข้าสู่ลูกรีด โดยทำมุมขึ้นอยู่กับชนิดของเทอร์โมพลาสติกและขนาดถุงที่ต้องการ
- ลูกกลิ้งรีด มีหน้าที่รีดให้ท่อพลาสติกที่เป่ามีลักษณะบางและแบน ท่อฟิล์มพลาสติกจะถูกรีดอากาศตรงกลางออก โดยจำนวนของลูกกลิ้งรีดจะตามแต่การออกแบบของแต่ละเครื่องจักร
- ลูกกลิ้งม้วน ฟิล์มพลาสติกจะถูกส่งผ่านมายังลูกกลิ้งม้วน เพื่อม้วนฟิล์มพลาสติกให้เป็นม้วน ระหว่างมายังลูกกลิ้งม้วนนั้นจะมีการตัดขอบและขนาด จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 2- 8 กระบวนการขึ้นรูปโดยการอัดรีดแบบเป่าฟิล์ม (Blow Film Extrusion)
(New & Used Equipment, 2015)

สำหรับถุงพลาสติกที่ต้องการพิมพ์ลาย ข้อความ หรือสัญลักษณ์ หลังจากขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกแล้ว จะเข้าสู่ขั้นตอนของกระบวนการพิมพ์ลายบนถุงพลาสติก โดยม้วนพลาสติกจะถูกส่งผ่านแบบแม่พิมพ์หรือเครื่องพิมพ์ลาย ตามลวดลายหรือสีที่ออกแบบไว้ หลังจากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนของการตัดแต่งถุงพลาสติกเพื่อให้ได้ตามรูปแบบและขนาดที่ต้องการ ซึ่งเครื่องตัดถุงพลาสติกจะใช้ความร้อนในการเย็บติดและตัดให้ได้ตามขนาดที่กำหนด รวมถึงการเจาะรูหรือทำหูหิ้ว จากนั้นจะบรรจุถุงพลาสติกเพื่อส่งสินค้าต่อไป (ยูนิคอุตสาหกรรมพลาสติก, 2544)

ถุงพลาสติกชนิด LDPE และ LLDPE

ถุงพลาสติกชนิด LDPE เป็นถุงพลาสติกที่มีความทนทาน ต่อสารเคมีที่เป็นกรดและด่าง สามารถรับแรงกระแทก และมีความยืดหยุ่นได้ดี รวมทั้งไม่มีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ โดยเม็ดพลาสติก LDPE สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เป็นถุงพลาสติกชนิดต่างๆ เช่น บรรจุภัณฑ์อาหาร ถุงน้ำแข็ง ถุงอุตสาหกรรม แผ่นฟิล์มที่ใช้ทำวัสดุกันกระแทก แผ่นฟิล์มหดรัด เป็นต้น

ถุงพลาสติกชนิด LLDPE มีสมบัติอยู่ระหว่าง LDPE และ HDPE ซึ่งจะนิ่มและเหนียว จึงนิยมขึ้นรูปเม็ดพลาสติก LLDPE เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทฟิล์ม โดยถุงพลาสติก LLDPE จะมีลักษณะใส แข็งแรง ปิดผนึกได้ดี (กลุ่มบริษัทศรีเทพไทย, 2552) สามารถผลิตฟิล์มได้หลากหลาย เช่น บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร ฟิล์มแช่แข็ง ฟิล์มรองใน ฟิล์มที่ต้องการความแข็งแรงสูง ฟิล์มเกษตร ถุงอุตสาหกรรม ฟิล์มยืด และฟิล์มลามิเนต หรือฟิล์มที่มีหลายชั้น เป็นต้น (Innoplus, 2012)

รูปที่ 2- 9 ตัวอย่างถุงพลาสติกที่ผลิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) (Vuckovic, 2015)

รูปที่ 2- 10 ตัวอย่างถุงพลาสติกที่ผลิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) (Minigrip, 2010)

2.3.4 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของถุงพลาสติก

ปัจจุบันพลาสติกมีบทบาทอย่างมากในการดำเนินชีวิต ซึ่งจะสามารถพบเห็นพลาสติกในรูปของผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ที่หลากหลาย ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้งานกันมากที่สุด คือ ถุงพลาสติกประเภทต่างๆ เช่น ถุงบรรจุอาหาร ถุงหูหิ้ว ถุงซองพลาสติก เป็นต้น ในประเทศไทยมีขยะถุงพลาสติกเกิดขึ้นเฉลี่ยวันละ 5,300 ตันต่อวันโดยน้ำหนัก หรือประมาณร้อยละ 80 ของขยะประเภทพลาสติกและโฟม ซึ่งส่วนใหญ่ถุงพลาสติกจะถูกนำไปฝังกลบรวมกับขยะมูลฝอยทั่วไป อันเนื่องมาจากยังไม่มีการจัดการขยะพลาสติกที่ดี ทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่ฝังกลบและใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนาน หากเกิดการรั่วไหลของสารประกอบเป็นพิษที่ใช้ในกระบวนการผลิต ก็จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม และสุขภาพอนามัยของประชาชน

เนื่องด้วยถุงพลาสติกใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายยาวนาน อาจทำให้เกิดการสะสมและก่อให้เกิดปัญหาตามมา อาทิ ปัญหาการอุดตันตามท่อระบายน้ำ ปัญหาการทิ้งถุงพลาสติกกระจัดกระจายหรือทิ้งลงแม่น้ำก่อให้เกิดการทำลายทัศนียภาพและระบบนิเวศ ปัญหาสัตว์น้ำและสัตว์ป่ากินพลาสติกเข้าไปจนส่งผลต่อระบบทางเดินอาหาร เป็นต้น (สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ, 2553) นอกจากนี้สารประกอบในถุงพลาสติกบางชนิดอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ เนื่องจากในกระบวนการผลิตจะมีการเพิ่มสารเติมแต่งบางชนิด เช่น สารเสริมสภาพ สารคงสภาพ สารยับยั้งปฏิกิริยา เม็ดสีต่างๆ เป็นต้น หากมีการใช้งานไม่ถูกประเภทของถุงพลาสติกจะทำให้สารเหล่านี้สามารถปนเปื้อนสู่อาหาร อันนำมาซึ่งผลกระทบต่อการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ได้ (ศุลีพร แสงกระจ่าง และคณะ, 2556)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4 การประเมินวัฏจักรชีวิต

2.4.1 ความหมายและหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment ; LCA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization: ISO) ได้นิยามความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ว่า “เป็นการรวบรวมและประเมินค่าสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต” ซึ่งกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) คือ ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและกระจายผลิตภัณฑ์ การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่หรือแปรรูปผลิตภัณฑ์ และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน โดยการวัดปริมาณในทุกลำดับขั้นตอนของวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ รวมถึงปริมาณของเสียที่มีการปล่อยสู่

สิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถประเมินและบ่งชี้ผลกระทบที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อทำการลดผลกระทบให้เกิดน้อยที่สุด และสามารถกำหนดแนวทางในการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมต่อไปได้

เทคนิคของการประเมินวัฏจักรชีวิตมีความแตกต่างจากเครื่องมือการประเมินทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆที่มีอยู่ โดยการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นกระบวนการประเมินค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ หรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือการบริการนั้น ซึ่งเน้นผลเชิงปริมาณชัดเจน ทำให้การประเมินวัฏจักรชีวิตมีความซับซ้อนมากกว่าเทคนิคการประเมินสิ่งแวดล้อมอื่น เนื่องจากต้องทำการวิเคราะห์ตั้งแต่แหล่งกำเนิดของวัตถุดิบจวบจนกระทั่งถึงขั้นตอนการจัดการของเสียของผลิตภัณฑ์หลังใช้งาน ซึ่งการประเมินวัฏจักรชีวิตนี้สามารถบ่งชี้และระบุปริมาณของภาระทางสิ่งแวดล้อม (Environmental loads) ตลอดวัฏจักรชีวิต และประเมินค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental impacts) จากการพิจารณาปริมาณของภาระทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ นอกจากนี้ยังนำไปสู่การประเมินหาโอกาสในการปรับปรุงทางสิ่งแวดล้อม โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ

2.4.2 การประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตทำให้ทราบถึงข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการ ช่วยให้จำแนกได้ว่าช่วงชีวิตใดของผลิตภัณฑ์ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด มีความรุนแรงและประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญสูงสุด อีกทั้งสามารถนำมาพิจารณาประกอบกับข้อมูลอื่นๆ อาทิ ต้นทุน วัตถุดิบ ความสะดวกสบาย และความปลอดภัยของผู้บริโภค ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนำไปสู่การตัดสินใจหรือกำหนดแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนได้ในอนาคต ทั้งการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือเทคโนโลยีให้มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ปรับปรุงนโยบายทางภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม และนโยบายที่มีผลกระทบต่อผู้ผลิตและผู้บริโภคในการกระตุ้นให้เกิดจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

การประเมินวัฏจักรชีวิตนั้น กล่าวถึง ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีต่อระบบผลิตภัณฑ์ภายใต้การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ นิเวศวิทยา และการหมดไปของทรัพยากร แต่ไม่ได้กล่าวถึงผลทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ซึ่งการประเมินวัฏจักรชีวิตนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) เพื่อหาสัดส่วนระหว่างมูลค่าของผลิตภัณฑ์หรือบริการ (Product or service value) กับผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental impact) ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจเป็นการสร้างสมดุลระหว่างความก้าวหน้าทางธุรกิจและการรักษาระบบนิเวศจากการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมไปพร้อมกัน (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

2.4.3 อนุกรมมาตรฐาน ISO 14040

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือหนึ่งในด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ถูกจัดอยู่ในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000 โดยมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตมีทั้งหมด 7 ฉบับ ดังนี้

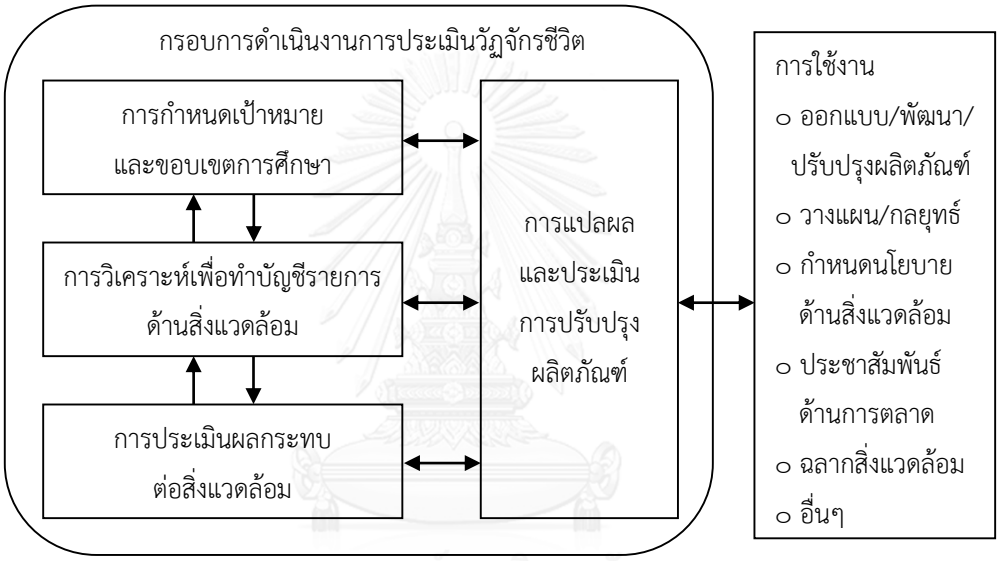
1) ISO 14040 - Life cycle assessment เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงหลักการ นิยามศัพท์และกรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิต
2) ISO 14041 - Life cycle assessment เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการกำหนดวัตถุประสงค์ขอบเขต การวิเคราะห์และจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (LCI)
3) ISO 14042 - Life cycle assessment เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ (LCIA)
4) ISO 14043 - Life cycle assessment เป็นมาตรฐานกล่าวถึงการแปรผลข้อมูลที่ได้จากการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (LCI) และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ (LCIA)
5) ISO/TR 14047 - Life cycle assessment เป็นรายงานทางวิชาการที่ได้แสดงถึงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
6) ISO/TR 14048 - Life cycle assessment เป็นรายงานทางวิชาการที่ได้แสดงถึงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้านการประเมินวัฏจักรชีวิต
7) ISO/TR 14049 - Life cycle assessment เป็นรายงานทางวิชาการที่ได้แสดงถึงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (LCI)

2.4.4 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งพิจารณากระบวนการต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิต โปรแกรมฐานข้อมูลสำเร็จรูปจึงได้รับความนิยม เนื่องจากสามารถจัดการกับข้อมูลได้รวดเร็ว แม่นยำ สามารถใช้ได้กับกระบวนการผลิตที่มีขั้นตอนมากและเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตจากประเทศต่างๆ ทั่วโลก โปรแกรมฐานข้อมูลสำเร็จรูปที่ถูกพัฒนาและนิยมใช้สำหรับศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต เช่น SimaPro^{TM} GaBi^{TM} TEAM^{TM} เป็นต้น

การประเมินวัฏจักรชีวิตมีวิธีการประเมินหลากหลาย แต่ปัจจุบันวิธีการหลักในการประเมินวัฏจักรชีวิตนิยมใช้วิธีการและขั้นตอนการศึกษาตามมาตรฐาน ISO 14040 เพื่อเป็นแนวทางเดียวกัน โดยศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จากอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040-14043 ซึ่งมีกรอบการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน (รูปที่ 2-11)

- การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition)
- การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis)
- การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment)
- การแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation)



รูปที่ 2- 11 กรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตจากอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 (ดัดแปลงจาก International Standardization Organization, 2006)

1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาเป็นขั้นตอนแรกและสำคัญในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เกิดความชัดเจน สอดคล้อง และครอบคลุมในวัตถุประสงค์และกำหนดขอบเขตที่ต้องการการศึกษา อันประกอบไปด้วย การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope) หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Product function) หน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ (Functional unit) ขอบเขตระบบ (System boundary) และระบบผลิตภัณฑ์ (Product system)

การกำหนดเป้าหมาย

เป้าหมายของการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตต้องมีความชัดเจน ไม่คลุมเครือ กำหนดเหตุผลในการศึกษา ผลการศึกษา การนำผลการศึกษาไปใช้หรือการประยุกต์ใช้ และผู้ใช้ผลการศึกษา (Target audience) โดยเป้าหมายจะเป็นตัวบ่งชี้ขอบเขตของการศึกษา หากวัตถุประสงค์ในการศึกษาต้องการข้อมูลและการสรุปผลที่มีความน่าเชื่อถือสูง ในส่วนของขอบเขต ระยะเวลา และงบประมาณของการศึกษาต้องสูงขึ้นด้วย ซึ่งผลการศึกษาจะเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนให้ผลวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือและสามารถกำหนดแนวทางการประยุกต์เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตหรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้

การกำหนดขอบเขตของการศึกษา

การกำหนดขอบเขตของการศึกษาต้องสอดคล้องกับเป้าหมาย เป็นการกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและรายละเอียดภายในระบบ โดยขอบเขตที่กำหนดต้องครอบคลุมหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ หน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ คำจำกัดความของระบบ ขอบเขตของระบบ ขอบเขตของเวลาดำเนินการศึกษา สมมติฐานที่ใช้ โปรแกรมฐานข้อมูล ข้อจำกัดของการศึกษา และข้อกำหนดคุณภาพของข้อมูล

- **หน้าที่ของผลิตภัณฑ์**

  การกำหนดขอบเขตต้องระบุหน้าที่และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน เนื่องจากผลิตภัณฑ์หนึ่งชนิด สามารถมีหน้าที่แตกต่างกันได้ หากทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์โดยครอบคลุมทั้งหน้าที่หลักและหน้าที่รอง จะทำให้การศึกษาดังกล่าวมีความซับซ้อนและประเมินยากยิ่งขึ้น ดังนั้นหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ที่เลือกมาเพื่อศึกษาวัฏจักรชีวิตต้องสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

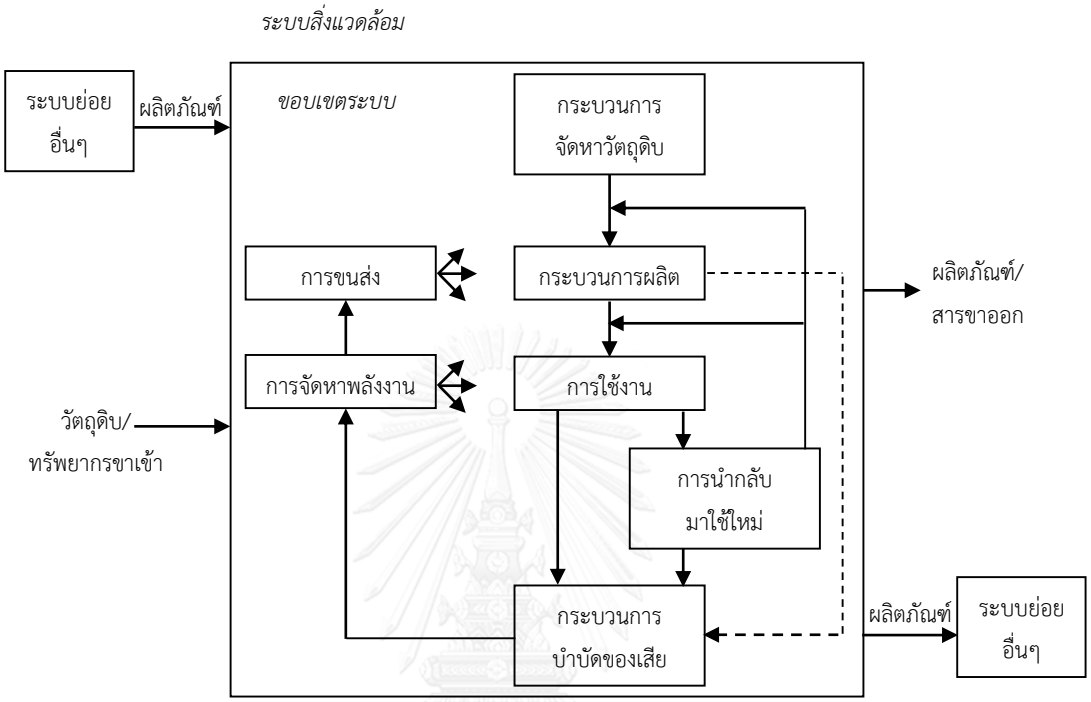
- **หน่วยการทำงาน**

  หน่วยการทำงานถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นพื้นฐานเดียวกันในการเก็บข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบ โดยมีความสำคัญในการเปรียบเทียบผลของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการ ผลิตภัณฑ์ หรือหลายผลิตภัณฑ์ที่รวมเป็นผลิตภัณฑ์เดียว เพื่อให้ข้อมูลมีหน่วยการทำงานเดียวกัน

- **ขอบเขตของระบบ**

  การกำหนดขอบเขตของระบบ เป็นการกำหนดขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์กับสิ่งแวดล้อม หรือกับระบบผลิตภัณฑ์อื่น ซึ่งระบบผลิตภัณฑ์ คือ ระบบที่เป็นการจำลองขึ้นจากกระบวนการย่อยหลายกระบวนมารวมกัน โดยมีการไหลของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่

ต้องบำบัดของแต่ละกระบวนการย่อยเป็นตัวเชื่อมโยง กล่าวคือ มีการเชื่อมโยงกันของสารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) ของแต่ละกระบวนการย่อยทุกกระบวนการเกิดเป็นระบบผลิตภัณฑ์ขึ้น (รูปที่ 2-12)



รูปที่ 2- 12 ตัวอย่างการแสดงขอบเขตและระบบผลิตภัณฑ์ในการวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547 อ้างถึงใน อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041: 1998)

Chulalongkorn University

ขอบเขตของระบบที่กำหนดขึ้น แสดงถึงขอบเขตของการศึกษา ระบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการย่อย รวมถึงสารขาเข้าและสารขาออกที่เกี่ยวข้องในการศึกษา และอาจมีการเลือกศึกษาสารขาเข้าและสารขาออกเฉพาะที่มีความสำคัญและมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูง โดยการคัดเลือกว่าศึกษาข้อมูลใดและละเว้นไม่ศึกษาข้อมูลใด และต้องมีเกณฑ์การคัดเลือกเพื่อประกอบการตัดสินใจอย่างชัดเจนและสามารถอธิบายได้

นอกจากการจำลองระบบผลิตภัณฑ์แล้ว การจัดทำแผนภาพการไหลเป็นสิ่งจำเป็นและเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์สมดุลมวลสารของแต่ละกระบวนการเป็นไปอย่างถูกต้อง ขอบเขตของระบบมีรูปแบบการกำหนดขอบเขต ดังนี้

- Gate to Gate คือ การประเมินผลกระทบที่มีขอบเขตเฉพาะกระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง จากทั้งสายโซ่การผลิต โดยเป็นเพียงบางส่วนของการประเมินวัฏจักรชีวิต

- Gate to Grave คือ การประเมินผลกระทบที่มีขอบเขตตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่เริ่มจากกระบวนการผลิต จนได้ผลิตภัณฑ์ ตลอดจนการขนส่ง การกระจายสินค้า และขั้นตอนการกำจัดซากของผลิตภัณฑ์
- Cradle to Gate คือ การประเมินผลกระทบที่มีขอบเขตตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ จนถึงการได้ผลิตภัณฑ์มา แต่ไม่รวมขั้นตอนการใช้งานและการกำจัดซาก
- Cradle to Grave คือ การประเมินผลกระทบที่มีขอบเขตตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่งและการกระจายผลิตภัณฑ์ การนำไปใช้งาน และการกำจัดซากหลังจากการใช้งาน ซึ่งขอบเขตนี้เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เต็มรูปแบบ
- Cradle to Cradle คือ เป็นรูปแบบพิเศษของขอบเขต Cradle to Grave ที่พิจารณาถึงขั้นตอนรีไซเคิล ในกรณีที่ขั้นตอนการกำจัดซากของผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการรีไซเคิล

- **ข้อกำหนดคุณภาพของข้อมูล**

เนื่องจากการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต้องใช้ข้อมูลเพื่อประเมินจำนวนมาก ดังนั้นการระบุรายละเอียดและระดับคุณภาพของข้อมูลจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นและสำคัญ โดยการระบุคุณภาพของข้อมูลควรครอบคลุมตัวแปรสำคัญ เช่น ช่วงเวลาของข้อมูล ลักษณะที่มาของข้อมูล เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับข้อมูล เป็นต้น หากข้อมูลใดที่ต้องใช้สมมติฐานในการวิเคราะห์ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องอธิบายสมมติฐานต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด เพื่อให้ทราบถึงที่มาข้อมูลและผลการวิเคราะห์อย่างแท้จริง

2) การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis)

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis: LCI) เป็นการรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและการกำหนดขอบเขตของการศึกษา และสร้างแผนผังของระบบผลิตภัณฑ์ โดยการคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบของผลิตภัณฑ์ต้องพิจารณาถึง ทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ในระบบ หรือการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยการวิเคราะห์บัญชีรายการ

ด้านสิ่งแวดล้อมควรพิจารณาในประเด็นหลัก ได้แก่ การเก็บรวบรวมข้อมูล การคำนวณข้อมูล และการปันส่วน

การเตรียมการเก็บรวบรวมข้อมูล

1) การร่างผังการไหลของกระบวนการย่อยทั้งหมด และความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการย่อย
2) การอธิบายรายละเอียดของแต่ละกระบวนการย่อย และหาความสัมพันธ์กันเพื่อจัดกลุ่มข้อมูลในแต่ละกระบวนการย่อยนั้นๆ
3) กำหนดและระบุหน่วยการทำงานที่ใช้ในการวัด เพื่อให้หน่วยเป็นไปตามทิศทางเดียวกัน
4) อธิบายถึงเทคนิคในการเก็บรวบรวมข้อมูลและการคำนวณแต่ละกลุ่มข้อมูล เพื่อให้ทราบถึงแหล่งที่มาของข้อมูล นอกจากนี้ยังทำให้ทราบว่าต้องใช้ข้อมูลใดบ้างในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในครั้งนี้
5) ข้อมูลที่เกี่ยวกับวัตถุดิบที่เป็นสารขาเข้าไปในระบบ ต้องเลือกใช้ข้อมูลที่สามารถตรวจสอบย้อนกลับไปยังวัตถุดิบได้ โดยต้องมีข้อมูลของสารที่ออกจากระบบย่อยทั้งหมด ข้อมูลของการปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม และข้อมูลการขนส่งภายในระบบ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม แบ่งข้อมูลตามแหล่งของข้อมูล คือ ข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งข้อมูลปฐมภูมิ คือข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาจากแหล่งข้อมูลขั้นต้นที่ได้มาจากแหล่งข้อมูลโดยตรง จึงเป็นข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ แม่นยำ ถูกต้อง และเป็นข้อมูลปัจจุบันมากกว่าข้อมูลทุติยภูมิ ส่วนข้อมูลทุติยภูมิ คือข้อมูลที่ได้จากแหล่งรวบรวมข้อมูลไว้แล้ว เป็นข้อมูลที่สามารถอ้างอิงได้ ประกอบด้วย หนังสือ วารสาร งานวิจัย เอกสารหรือรายงานที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น และเมื่อพบว่ามีข้อมูลที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้โดยตรง สามารถใช้ข้อมูลอื่น เช่น ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ การคำนวณทางวิศวกรรม การประมาณจากกระบวนการหรือวัตถุดิบที่คล้ายกัน สิ่งตีพิมพ์และฐานข้อมูลแหล่งอื่น เป็นต้น

ข้อมูลที่รวบรวมจากแหล่งข้อมูลสาธารณะ ต้องมีการอ้างอิงแหล่งที่มาและบันทึกระยะเวลาในการเก็บข้อมูล ในการบ่งชี้ถึงคุณภาพของข้อมูลนั้น ควรมีการอธิบายเหตุผลถ้าข้อมูลไม่เหมาะสมที่นำมาใช้ในเบื้องต้น รวมทั้งระบุข้อมูลที่ผิดปกติหรือสูญหาย

การคำนวณข้อมูล

ขั้นตอนการคำนวณเป็นการสร้างผลลัพธ์เพื่อการกำหนดบัญชีรายการของแต่ละกระบวนการย่อย และเป็นการกำหนดหน่วยการทำงานของระบบผลิตภัณฑ์ สิ่งสำคัญในการคำนวณ ได้แก่

- ความถูกต้องของข้อมูล

  การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในระหว่างการเก็บรวบรวมข้อมูล เช่น ดูความสัมพันธ์กันของของข้อมูลโดยการทำสมดุลมวลสาร พลังงาน หรือการวิเคราะห์เปรียบเทียบปัจจัยการปล่อยมลพิษ (Emission factor) เป็นต้น

- การเชื่อมข้อมูลเข้ากับกระบวนการย่อย

  กำหนดปริมาณอ้างอิง (Reference flow) ของผลิตภัณฑ์ ในแต่ละกระบวนการย่อย เนื่องจากต้องคำนวณปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบ ภายใต้ความสัมพันธ์กับหน่วยอ้างอิงเดียวกับผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปรายละเอียดของข้อมูลควรประกอบด้วย หน่วยอ้างอิง แหล่งที่มาของข้อมูล เงื่อนไขของข้อมูล ตำแหน่งที่ตั้งของข้อมูล เทคโนโลยีหรือระดับของเทคโนโลยีที่ใช้ ข้อมูลเพิ่มเติมในกรณีที่มีการปันส่วน เป็นต้น

- การเชื่อมข้อมูลกับหน่วยการทำงาน

  การเชื่อมข้อมูลกับหน่วยการทำงาน เป็นการเทียบ (Normalize) ตามหน่วยการทำงาน เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบระหว่างรายการที่แตกต่างกันหรือระหว่างผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกันได้ ซึ่งต้องรวบรวมข้อมูลเฉพาะที่มีความเกี่ยวข้อง ที่สามารถจัดให้อยู่ในกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมเดียวกันได้

- การปรับขอบเขตของระบบให้เหมาะสมขึ้น

  เมื่อมีการเก็บรวบรวมข้อมูลและการคำนวณควรมีการปรับขอบเขตของระบบให้เหมาะสมขึ้น เพื่อช่วยในการตัดสินใจหากต้องการเพิ่มเติมข้อมูลอื่นอีก และช่วยในการจำกัดข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออก

การปันส่วน

กระบวนการย่อยที่ทำการศึกษาอาจเกิดผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยมีผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่อไปภายในระบบ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เหลือจะถูกนำไปเป็นวัตถุดิบในกระบวนการอื่น หรือถูกกำจัดไป ดังนั้นจึงต้องทำการปันส่วนปริมาณวัตถุดิบ พลังงาน และการปล่อยมลพิษ เข้าไปในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดด้วย ซึ่งการทำบัญชีรายการนั้นอยู่บนพื้นฐานของสมดุลมวลสาร การปันส่วนจึงควรประมาณให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของความสัมพันธ์และลักษณะของสารขาเข้าและสารขาออก ซึ่งหลักการปันส่วนสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ร่วม (Co-product) พลังงานที่ใช้ภายในระบบ การบริการ และการแปรใช้ใหม่

3) การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment)

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA) มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม โดยการจำแนก การจัดกลุ่มผลกระทบ และการคัดเลือกตัวชี้วัดของกลุ่ม ซึ่งผลของการคำนวณจะบ่งชี้ว่ากลุ่มผลกระทบใดมีความสำคัญหรือก่อให้เกิดผลกระทบที่รุนแรงที่สุดและเกิดจากกระบวนการใดของระบบผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นการเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการแปลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ต่อไป โดยหลักการการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตามที่กำหนดในมาตรฐาน 14042 แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

- ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ ได้แก่
    - การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ (Impact categories) ตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบ (Category indicators) และแบบจำลองการกำหนดบทบาท (Characterization models)
    - การจำแนกข้อมูลการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมเข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบ (Classification)
    - การกำหนดบทบาท (Characterization)
- ขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม ได้แก่
    - การเทียบหน่วย (Normalization)
    - การจัดกลุ่ม (Grouping)
    - การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)
    - การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (Data quality analysis)

การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ (Impact categories)

การนำเอาข้อมูลจากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมมาวิเคราะห์และจำแนกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารขาเข้าและสารขาออกอย่างเป็นหมวดหมู่ เพื่อจำแนกว่าระบบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านใดและเกิดจากกระบวนการใด โดยการจำแนกเพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญและนิยมนำมาใช้ (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547) ได้แก่

- การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change)
- การทำให้โลกร้อน (Global warming)

- การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone depletion)
- การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ (Acidification)
- การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Eutrophication)
- การสิ้นเปลืองทรัพยากร (Resource depletion)
- การสิ้นเปลืองพลังงาน (Energy depletion)
- การออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมี (Photochemical oxidation)
- การก่อให้เกิดสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ (Human toxicity)
- การก่อให้เกิดความเป็นพิษในมหาสมุทร (Aquatic ecotoxicity)

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต สามารถจำแนกเป็น 2 ประเภท คือ ผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint category) และผลกระทบปลายทาง (Endpoint category) ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการเลือกใช้กลุ่มผลกระทบชั้นกลางจะแปลผลได้ยาก เนื่องจากผลกระทบชั้นกลาง 1 ชนิด สามารถส่งผลให้เกิดผลกระทบปลายทางได้หลาย จึงควรคำนวณไปจนถึงผลกระทบปลายทาง ซึ่งจะสามารถทำให้เห็นความเชื่อมโยงระหว่างระบบผลิตภัณฑ์กับผลกระทบสิ่งแวดล้อมอย่างชัดเจน

การคัดเลือกตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบ (Category indicators)

เนื่องจากแต่ละกลุ่มผลกระทบมีตัวชี้วัดผลกระทบหลากหลาย เพื่อให้สามารถคัดเลือกตัวชี้วัดได้อย่างเหมาะสม จึงต้องพิจารณาผลกระทบและตัวชี้วัดผลกระทบปลายทางให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์และประเภทของผลกระทบที่ได้คัดเลือกไว้

การคัดเลือกแบบจำลองการกำหนดบทบาท (Characterization models)

การคัดเลือกแบบจำลองการกำหนดบทบาท เป็นแบบจำลองสำเร็จรูปสำหรับการแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกัน ให้อยู่ในรูปตัวเลขที่สามารถบอกถึงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารแต่ละตัวก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่แตกต่างกัน ซึ่งค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบ (Potential environment impact) ของแต่ละสารนั้น แตกต่างกันไปในแต่ละแบบจำลอง ดังนั้นการคัดเลือกแบบจำลองต้องพิจารณาถึงการยอมรับและความแพร่หลาย โดยแบบจำลองที่นิยมอย่างแพร่หลายคือ IPCC model ซึ่งพัฒนาโดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) เป็นต้น

Chulalongkorn University

การจำแนกข้อมูลการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมเข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบ (Classification)

การนำข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมมาจำแนกกลุ่มผลกระทบที่ได้คัดเลือกไว้อย่างเป็นหมวดหมู่ จำเป็นต้องพิจารณากลไกของการเกิดผลกระทบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ผลกระทบแบบคู่ขนาน และผลกระทบแบบอนุกรมหรือแบบต่อเนื่อง

1) ผลกระทบแบบคู่ขนาน เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด ซึ่งผลกระทบนั้นเกิดขึ้นพร้อมกัน การคำนวณหาผลกระทบจึงต้องคำนวณทั้ง 2 ด้านพร้อมกัน
2) ผลกระทบแบบอนุกรมหรือแบบต่อเนื่อง เช่น ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_X) ส่งผลกระทบด้านการเกิดโอโซนระดับพื้นดิน (Ground-level ozone formation) ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ เมื่อระเหยไปชั้นบรรยากาศ จะก่อให้เกิดผลกระทบด้านการเกิดโอโซนระดับชั้นบรรยากาศและภาวะความเป็นกรด ซึ่งผลกระทบนั้นเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคการปันส่วนตามสัดส่วนปริมาณของแต่ละผลกระทบมาประกอบการคำนวณหาผลกระทบที่เกิดขึ้น

การกำหนดบทบาท (Characterization)

การกำหนดบทบาท เป็นขั้นตอนการแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปตัวเลข ที่บอกค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยทำการเทียบอิงกับสารพื้นฐาน เนื่องจากสารแต่ละตัวมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่แตกต่างกัน ซึ่งการกำหนดบทบาทนั้นดูจากค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบ (Potential environmental impact) ซึ่งคำนวณจากความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคนิคกระบวนการที่สามารถดำเนินการได้ คือ การนำปริมาณสารในแต่ละกลุ่มคูณกับแฟกเตอร์เทียบเท่า (Equivalent factor) เพื่อให้เป็นหน่วยเดียวกัน การอ้างอิงนี้นิยมดูผลกระทบที่เกิดขึ้นจากก๊าซเรือนกระจกในรอบ 100 ปี

ขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม

ขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติมเป็นขั้นตอนที่ไม่ได้บังคับ ซึ่งเป็นค่าผลกระทบที่มาจากวิธีการคำนวณที่แตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับผู้ทำการคำนวณ สภาพภูมิประเทศ และการให้น้ำหนักความสำคัญในแต่ละกลุ่มผลกระทบของแต่ละประเทศที่ทำการคำนวณ ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินค่าผลกระทบจะแสดงถึงผลิตภัณฑ์ที่เลือกทำการศึกษานั้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใน

ประเด็นปัญหาใด และทราบผลกระทบที่เป็นปัญหาสำคัญที่สุดตามที่ผู้ทำการศึกษาได้ให้น้ำหนักความสำคัญ มีวิธีการดังนี้

1. การเทียบหน่วย (Normalization) เป็นการศึกษาว่าผลกระทบแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมในภาพรวมทั้งหมดอย่างไร การเปรียบเทียบทำได้โดยการเทียบกับปริมาณทั้งหมดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนดว่า มีผลิตภัณฑ์หรือกิจกรรมที่ศึกษาส่งผลกระทบเท่าใด เมื่อเทียบกับระดับโลก ระดับทวีป หรือระดับประเทศ โดยคะแนนหลังจากการเทียบหน่วยนั้น เป็นคะแนนที่ไม่มีหน่วย
2. การจัดกลุ่ม (Grouping) เป็นการจัดกลุ่มผลกระทบของผลที่ได้จากการเทียบหน่วย โดยปกตินิยมแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ได้แก่ ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศ และผลกระทบต่อการคงเหลือของทรัพยากร เพื่อทราบว่ากลุ่มผลกระทบใดมีความสำคัญและรุนแรงที่สุด
3. การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) เป็นการกำหนดน้ำหนักความสำคัญในแต่ละกลุ่มผลกระทบ โดยการคูณด้วยค่าแฟกเตอร์ความสำคัญ (Weighting factor) การกำหนดน้ำหนักความสำคัญนั้นมีความละเอียดและต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น สภาพภูมิประเทศ ประเภทของผลกระทบ ความรุนแรงของผลกระทบ ความสำคัญของผลกระทบ เป็นต้น ดังนั้นวิธีการของการให้น้ำหนักความสำคัญควรแสดงเหตุผลและเกณฑ์ในการให้คะแนนความสำคัญอย่างชัดเจน
4. การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (Data quality analysis) เป็นการวิเคราะห์ความถูกต้องและความสมบูรณ์ของข้อมูลที่รวบรวมไว้ เพื่อให้ผลการศึกษาสามารถเชื่อถือได้ โดยเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ การวิเคราะห์ความถ่วงของข้อมูล (Gravity analysis) การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของข้อมูล (Uncertainty analysis) การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูล (Sensitivity analysis) เป็นต้น

4) การแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation)

การแปลผลการศึกษามีวัตถุประสงค์คือ การวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผล อธิบายข้อจำกัดและข้อเสนอแนะของการศึกษา และการสรุปการแปลผลการศึกษา ซึ่งต้องสมบูรณ์ครบถ้วน สามารถเข้าใจได้ง่าย และมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตที่กำหนดไว้ โดยขั้นตอนการแปลผลการศึกษาประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้

การจำแนกประเด็นที่สำคัญ

การจำแนกประเด็นที่สำคัญเป็นการจัดกลุ่มของข้อมูลหรือผลลัพธ์จากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หรือจากขั้นตอนการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อสามารถเลือกประเด็นที่สำคัญ

การประเมินค่า

การประเมินค่ามีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นของผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หรือจากขั้นตอนการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม รวมทั้งผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการจำแนกประเด็นสำคัญ การประเมินค่าจะพิจารณาถึงความสอดคล้องกับเป้าหมาย ขอบเขต และการนำผลลัพธ์ของการศึกษาไปใช้ในภายหลัง

การจัดทำบทสรุป ข้อเสนอแนะ และการรายงานผล

การจัดทำบทสรุปต้องจัดทำผลสรุปเบื้องต้นและตรวจสอบความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่กำหนดไว้ รายงานเรื่องคุณภาพของข้อมูล การตั้งสมมติฐานและค่าต่างๆ (value) รวมทั้งการนำไปประยุกต์ใช้ จากนั้นทำเป็นรายงานสรุปฉบับเต็ม ซึ่งการรายงานผลต้องแสดงรายละเอียดของการศึกษาอย่างสมบูรณ์และตรงไปตรงมา นอกจากนี้ควรจัดทำข้อเสนอแนะต่อผู้ตัดสินนโยบาย โดยข้อเสนอแนะต้องมาจากผลสรุปสุดท้ายของการศึกษาและสามารถสะท้อนถึงผลต่อเนื่องที่จะเกิดตามมาได้ เพื่อสามารถกำหนดแนวทางนำเสนอการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมได้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งามทิพย์ ภู่วโรดม และคณะ (2557) วิเคราะห์และเปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของฟิล์มพลาสติกแบบอ่อนตัว ซึ่งเป็นฟิล์มพอลิโอเลฟิน ประกอบด้วยฟิล์ม 3 ชนิด คือ ฟิล์มพอลิโพรพิลีน ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยมีหน่วยการทำงาน คือ 1 ตารางเมตรของฟิล์มพลาสติก และขอบเขตการศึกษาครอบคลุม Cradle to Gate คณะผู้วิจัยพบว่าค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น ร้อยละ 19-67 เมื่อเปรียบเทียบกับศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของเม็ดพลาสติก และพบว่าตัวแปรที่ทำให้ค่า GWP สูงขึ้นมาก คือ ไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูป โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คือ กระบวนการพิมพ์ลายและกระบวนการประกบฟิล์ม เมื่อประเมินกระบวนการพิมพ์ลายพบว่า การพิมพ์ลายแบบนูน(Flexography) มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงถึงร้อยละ 70 ของค่า GWP ทั้งหมด ซึ่งสูงกว่ากระบวนการพิมพ์ลายแบบลูกกลิ้ง (Rotogravure) ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าร้อยละ 64 ของค่า GWP ทั้งหมด ในส่วนของกระบวนการอัดและเป่าขึ้นรูปฟิล์มพบว่า

ฟิล์มชนิด LLDPE HDPE และ PP มีค่า GWP ร้อยละ 20 23 และ 29 จากค่า GWP ทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งมาจากความแตกต่างกันของค่าการหลอมเหลวของชนิดพลาสติกและความหนาของชั้นฟิล์ม และผลกระทบจากกระบวนการประกบฟิล์มจะขึ้นอยู่ชนิดฟิล์มพลาสติก ความหนาของชั้นฟิล์มและจำนวนชั้นฟิล์มที่ประกบ จากการศึกษาจึงสรุปได้ว่ากระบวนการขึ้นรูปฟิล์มสามารถเป็นตัวชี้วัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของฟิล์มพลาสติกได้ แต่ก็มีข้อจำกัดคือ ชนิดของพลาสติก และกระบวนการผลิตที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

Liptow และ Tillman (2012) ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อเป็นแนวทางสำหรับกลยุทธ์ในการแก้ปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเปลี่ยนพลาสติกจากปิโตรเลียมมาเป็นพลาสติกจากทรัพยากรทดแทน ซึ่งทำการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยเปรียบเทียบ LDPE จากอ้อยที่จัดเป็นทรัพยากรทดแทน และ LDPE จากปิโตรเลียม โดยมีหน่วยการทำงาน คือ 1 กิโลกรัม (kg) ของเม็ดพลาสติก LDPE และขอบเขตการศึกษาครอบคลุม Cradle to Grave มีขอบเขตการศึกษาตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ จนกระทั่งการกำจัดซากโดยการเผา นอกจากนี้ยังทำการประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ผลการศึกษาพบว่าอ้อยใช้พลังงานสิ้นเปลืองมากกว่า แม้ว่าจะเป็นทรัพยากรทดแทนก็ตาม เนื่องจากพิจารณาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ทำให้ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) มีค่าที่สูงกว่า LDPE จากปิโตรเลียม พบว่ามีกรณีของ LDPE จากอ้อยที่มีค่า GWP เพิ่มขึ้นสองเท่า อันเกิดมาจากมลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

Xie และคณะ (2011) ได้ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์สำหรับนม เปรียบเทียบระหว่างบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มลามิเนต (กระดาษ LDPE และแผ่นเปลวอะลูมิเนียม) และบรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE โดยมีหน่วยการทำงาน คือ 1000 ลิตรของถุงบรรจุนม และขอบเขตการศึกษาครอบคลุม Cradle to Grave จากการศึกษาพบว่า บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มลามิเนตมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สูงกว่าบรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE เล็กน้อย กล่าวคือ ค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิต และการกำจัดซาก ในบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มลามิเนตมีค่าเท่ากับ 5.19 0.93 0.30 และ 0.42 ตามลำดับ ส่วนบรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE อย่างเดียวมีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อม เท่ากับ 7.12 0.01 0.77 และ -1.16 ตามลำดับ จะเห็นว่าการได้มาซึ่งวัตถุดิบมีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สูงที่สุดในวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 แบบ โดยส่วนใหญ่แล้วบรรจุภัณฑ์ที่ทำมาจากฟิล์มลามิเนตจะมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล การใช้ที่ดิน และการหายใจจากอนินทรีย์สาร ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นส่วนใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามบรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE มีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ของการกำจัดซากติดลบ เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มลามิเนตไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การศึกษานี้จึงสรุปผลให้เห็นว่ากระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด เพื่อที่จะได้พิจารณาถึงวัตถุดิบที่จะนำมาผลิต นอกจากนี้การพัฒนาเทคโนโลยีในการแยกพลาสติกและอะลูมิเนียมออกจากกันของบรรจุภัณฑ์ก็ช่วยให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมลดลงได้เช่นกัน

Siracusa และคณะ (2014) ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์ถนอมอาหารแบบฟิล์มหลายชั้น (Multilayer film) ด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยผู้วิจัยได้ทำการประเมินฟิล์มแบบ 2 ชั้น ประกอบไปด้วยชั้นฟิล์มพอลิเอไมด์หรือไนลอน (PA) และชั้นฟิล์มพอลิเอทิลีนแบบความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยมีหน่วยการทำงาน คือ 1 ตารางเมตรของฟิล์มพลาสติก และขอบเขตการศึกษาครอบคลุม Cradle to Gate ซึ่งประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ จนถึงการผลิตได้เป็นผลิตภัณฑ์ฟิล์มพลาสติก จากผลการศึกษาพบว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ได้แก่ กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก ซึ่งผลกระทบนั้นมาจากการใช้ทรัพยากรตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ คือ ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ โดยมีปริมาณ 53.55 ลูกบาศก์เดซิเมตร และ 132.42 กรัม ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตรของฟิล์มพลาสติก ตามลำดับ ในการประเมินและเปรียบเทียบกลุ่มความเสียหาย จะพบว่า การใช้ทรัพยากรเป็นกลุ่มที่เกิดความเสียหายมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มความเสียหายจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความเสียหายต่อสุขภาพของมนุษย์ และความเสียหายต่อระบบนิเวศ และพบว่าการลดความหนาของชั้นให้บางลง จะช่วยให้ค่าการประเมินความเสียหายลดลงร้อยละ 25 โดยการเปลี่ยนความหนาของฟิล์มจาก 85 ไมครอน เป็นความหนา 65 ไมครอน นอกจากนี้การนำเม็ดพลาสติก PA รีไซเคิลมาเป็นวัตถุดิบร้อยละ 25 ในกระบวนการผลิต พบว่าค่าการประเมินความเสียหายลดลงร้อยละ 15 อีกด้วย

Shah และคณะ (2016) ได้ประเมินวัฏจักรชีวิตของถังกักเก็บน้ำที่ใช้ในบ้านเรือน ได้ทำการประเมินเปรียบเทียบถังที่มีความจุ 1000 ลิตร ซึ่งถังกักเก็บน้ำที่ทำการศึกษามีน้ำหนักและวัสดุที่แตกต่างกัน ได้แก่ ถังพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) ถังสแตนเลสสตีล และถังคอนกรีตเสริมเหล็ก (RCC) โดยมีหน่วยการทำงาน คือ 1000 ลิตรของความจุถังกักเก็บน้ำ และขอบเขตการศึกษาครอบคลุม Cradle to Grave ในส่วนของการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยทำการเลือกกลุ่มผลกระทบทั้งหมด 15 กลุ่มผลกระทบ ซึ่งพิจารณากลุ่มผลกระทบลำดับสุดท้าย (Endpoint) เป็น 3 กลุ่มความเสียหายคือ ความเสียหายต่อสุขภาพของมนุษย์ ความเสียหายต่อระบบนิเวศ และความเสียหายต่อการใช้ทรัพยากร จากการประเมินวัฏจักรชีวิตตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบ การผลิต การขนส่งและการกระจาย การใช้งาน การใช้ซ้ำ การซ่อมบำรุง และการกำจัดซากหรือ

การรีไซเคิล พบว่า ถังกักเก็บน้ำที่ใช้วัสดุคือ พลาสติกชนิด LLDPE มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด รองลงมาคือ ถังกักเก็บน้ำแบบสแตนเลส และถังกักเก็บน้ำแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก ตามลำดับ การศึกษาดังกล่าวทำให้เกิดความตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถเป็นแนวทางสำหรับอุตสาหกรรมในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมต่อไปได้

Günkaya และ Banar (2016) ได้พัฒนาฟิล์มพลาสติกที่ย่อยสลายได้ที่ผลิตจากวัสดุผสมชีวภาพ (Biocomposite film) ประกอบไปด้วย เพกทินโดยสกัดจากเปลือกส้ม และแป้งข้าวโพด ทางคณะผู้วิจัยจึงทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของฟิล์มพลาสติกที่ย่อยสลายนี้ เปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE จากปิโตรเลียม ซึ่งทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม 2 ส่วน คือ ส่วนกระบวนการผลิตจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ฟิล์มพลาสติก และส่วนของประสิทธิภาพในการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยมีหน่วยการทำงาน คือ 1 ตารางเมตรของฟิล์มพลาสติก และขอบเขตการศึกษาครอบคลุม Cradle to Gate จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตพบว่า ฟิล์มพลาสติกจากวัสดุผสมชีวภาพมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมในทุกกลุ่มผลกระทบสูงกว่าฟิล์มพลาสติกจากปิโตรเลียมเล็กน้อย และพบว่าส่วนใหญ่การใช้พลังงานไฟฟ้าของฟิล์มพลาสติกจากวัสดุผสมชีวภาพมาจากการฉีดขึ้นรูปฟิล์มและกระบวนการผลิตแป้งดัดแปร (Modified starch) ในส่วนของการย่อยสลายทางชีวภาพได้วิเคราะห์จากองค์ประกอบของดิน อัตราการย่อยสลายของฟิล์มพลาสติกโดยใช้อากาศ และคำนวณการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลการวิเคราะห์พบว่า ฟิล์มพลาสติกจากวัสดุผสมชีวภาพและฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE จากปิโตรเลียม สามารถย่อยสลายทางชีวภาพเท่ากับร้อยละ 78.4 และร้อยละ 40.4 ตามลำดับ โดยมีอัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1.97 และ 1.17 มิลลิโมลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อวัน

Klöpffer (2005) การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือสำคัญในการเปรียบเทียบระบบที่แตกต่างกันให้มีหน่วยการทำงานเชิงปริมาณเดียวกันได้ ผู้วิจัยจึงได้นำการประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดวัฏจักรคือ cradle to grave มาใช้ในการประเมินระบบผลิตภัณฑ์อย่างยั่งยืน ทำการประเมินตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน และการนำกลับมาใช้ใหม่หรือการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ ซึ่งพิจารณาให้เกิดความสมดุลของทั้ง 3 ด้านคือ ด้านสิ่งแวดล้อมหรือระบบนิเวศ ด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านสังคม โดยมาตรฐานการประเมินทั้ง 3 ด้านประกอบไปด้วย การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ (Life Cycle Costing: LCC) และการประเมินทางด้านสังคม (Social Life Cycle Assessment: SLCA) เครื่องมือการประเมินนี้เป็นเป้าหมายหลักในการจัดการวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Management: LCM) ซึ่งการจัดการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วัฏจักรชีวิตมีจุดมุ่งหมายที่สำคัญอย่างยิ่งในการประเมินความยั่งยืน ผู้วิจัยกล่าวว่าในอนาคตการจัดการสิ่งแวดล้อมจะถูกนำมาใช้และได้รับความน่าเชื่อถือในการประเมินความยั่งยืน เนื่องจากเป็นการประเมินร่วมกันทั้ง LCA LCC และ SLCA ที่จะสามารถเปรียบเทียบระบบผลิตภัณฑ์ในด้านสิ่งแวดล้อม ด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านสังคม ทั้งข้อดี ข้อเสีย และการปรับปรุงหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไปได้ ซึ่งการจัดการวัฏจักรชีวิตจะมีส่วนช่วยให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน

Accorsi และคณะ (2015) ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของขวดน้ำมันมะกอกแบบบริสุทธิ์พิเศษขนาดบรรจุ 1 ลิตร โดยเปรียบเทียบขวดแก้วและขวดพลาสติก รวมทั้งพิจารณาร่วมกับการขนส่งสินค้า โดยมีหน่วยการทำงาน คือ 1 ลิตรของขวดน้ำมันมะกอกแบบบริสุทธิ์พิเศษ และขอบเขตการศึกษาครอบคลุม Cradle to Grave จากการศึกษาพบว่า การผลิตขวดพลาสติกชนิด PET มีการใช้พลังงานในการผลิตมากกว่าการผลิตขวดแก้ว เนื่องจากใช้เครื่องจักรในการทำงานเยอะกว่า แต่ในทางตรงกันข้าม แก้ว 1 กิโลกรัม สามารถผลิตขวดแก้วได้เพียง 2 ขวด (น้ำหนัก 0.460 กิโลกรัมต่อขวด) ในขณะที่เม็ดพลาสติก PET 1 กิโลกรัม สามารถผลิตขวดพลาสติกได้ถึง 28 ขวด (น้ำหนัก 0.036 กิโลกรัมต่อขวด) ขวดพลาสติก PET มีค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) เท่ากับ 0.36 กิโลกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อขวด ซึ่งน้อยกว่าขวดแก้ว ในส่วนของการขนส่ง คณะผู้วิจัยได้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการขนส่งโดยประกอบไปด้วย แหล่งวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันมะกอกแบบบริสุทธิ์พิเศษไปยังโรงงาน แหล่งวัตถุดิบในการผลิตบรรจุภัณฑ์ไปยังโรงงาน กระบวนการผลิตน้ำมันมะกอกแบบบริสุทธิ์พิเศษ กระบวนการบรรจุลงขวดและการบรรจุสินค้า การเก็บสินค้าและการกระจายสินค้าไปยังผู้บริโภค และการกำจัดซากขวดบรรจุภัณฑ์ และการรีไซเคิลพบว่า ขวดแก้วสามารถรีไซเคิลได้มากกว่าขวดพลาสติก เนื่องจากพลาสติกมีข้อจำกัดในการรีไซเคิล จึงทำให้การรีไซเคิลของขวดแก้วมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าขวดพลาสติก

รัตนาวรรณ มั่งคั่ง และคณะ (2555) ได้ทำการศึกษาเพื่อระบุถึงแนวทางที่เกี่ยวข้องกับการทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตามมาตรฐานของ PAS 2050:2008 สำหรับใช้ในประเทศไทยและแนะนำเกี่ยวกับวิธีการศึกษาในการพิจารณาข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Product Category Rules: PCRs) สำหรับผลิตภัณฑ์ไก่และทูน่า ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกกรณีศึกษาคือ เนื้อไก่แช่แข็ง และทูน่ากระป๋องในน้ำมันดอกทานตะวัน ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยใช้เกณฑ์ของ PAS 2050:2008 เพื่อเป็นเกณฑ์ในการประเมินสำหรับกลุ่มการเกษตรและอาหาร ซึ่งความรับผิดชอบของผู้ผลิตควรเป็นการลดขนาดของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตลอดวัฏจักร เนื่องจากปัจจุบันเน้นย้ำการทำฉลากคาร์บอน

มากกว่าการแสดงปริมาณของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการเปรียบเทียบระหว่างสินค้า สิ่งสำคัญของการศึกษานี้คือ แนวทางที่จะทำให้สินค้ามีการแข่งขันทางการตลาดจากการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยให้ผู้ซื้อเป็นผู้ตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่มีคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่ำกว่า ซึ่งข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (PCRs) นี้ควรมีการพัฒนาร่วมกันของทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องและสามารถใช้ได้ในระดับโลกต่อไป

Lehmann และคณะ (2015) ได้ทำการอภิปรายในรายละเอียดของฟุตพริ้นท์สิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Product Environmental Footprint: PEF) จากการประชุมของคณะกรรมาธิการสหภาพยุโรป (European commission) ในปี 2013 ซึ่งฟุตพริ้นท์สิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์มีการพิจารณาเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่แตกต่างจาก ISO เนื่องจากมีการกำหนดบัญญัติศัพท์ใหม่ขึ้นเพื่อให้เข้าใจกันโดยทั่วไป เช่น การเปลี่ยนจากคำว่า หน่วยการทำงาน (Functional unit) เป็น หน่วยการวิเคราะห์ (Unit of analysis) เป็นต้น วิธีการศึกษามุ่งไปที่ ISO 14044 ฟุตพริ้นท์สิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์มีกฎการคัดทิ้ง เป็นขั้นตอนในการคัดเลือกข้อมูลที่จะทำการศึกษา สามารถคัดประเด็นที่ไม่สำคัญหรือไม่จำเป็นในการพิจารณาออกได้ ในส่วนของขั้นตอนการประเมินฟุตพริ้นท์สิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ มีกลุ่มผลกระทบในการประเมิน 14 ด้าน โดยผลการประเมินสามารถเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันได้

การนำข้อมูลมาใช้ในงานวิจัยนี้

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปได้ว่า พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นนิยมใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะงานขึ้นรูปแบบฟิล์ม ซึ่งพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นนี้สามารถผลิตได้จากปิโตรเลียมและทรัพยากรหมุนเวียน แต่เนื่องด้วยยังมีข้อจำกัดในการนำทรัพยากรหมุนเวียนมาผลิตเป็นพอลิเมอร์ เนื่องจากมีเหตุผลของด้านราคา เทคโนโลยี และการใช้งาน ปัจจุบันจึงผลิตพอลิเมอร์ที่มาจากปิโตรเลียมเป็นหลัก และการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตจะช่วยเป็นตัวชี้วัดผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมในทุกด้าน

งานวิจัยนี้จะทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มุ่งเน้นไปที่ผลิตภัณฑ์ ด้วยเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต อีกทั้งยังไม่มี

งานวิจัยใดที่ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นที่มีขอบเขต Cradle to grave กรณีศึกษาถุงพลาสติกสำหรับอาหารของประเทศไทย

ตารางที่ 2- 1 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	รายละเอียดของงานวิจัย	ขอบเขต/หน่วยการทำงาน	ผลการศึกษา
Siracusa และคณะ (2014)	ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์ถนอมอาหารแบบฟิล์ม 2 ชั้น คือชั้นฟิล์มไนลอน (PA) และชั้นฟิล์ม LDPE ด้วยวิธีการประเมิน วัฏจักรชีวิต	Cradle to Gate/ 1 ตารางเมตรของฟิล์มพลาสติก	ผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก และพบว่าการลดความหนาของชั้นให้บางลงและการนำเม็ดพลาสติกรีไซเคิลมาผสม จะช่วยให้ค่าการประเมินความเสียหายลดลงได้
Günkaya และ Banar (2016)	ประเมินวัฏจักรชีวิตของฟิล์มพลาสติกย่อยสลายได้ที่ผลิตจากวัสดุผสมชีวภาพเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE จากปิโตรเลียม ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ฟิล์มพลาสติกและประสิทธิภาพในการย่อยสลายทางชีวภาพ	Cradle to Gate/ 1 ตารางเมตรของฟิล์มพลาสติก	ฟิล์มพลาสติกจากวัสดุผสมชีวภาพมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมในทุกกลุ่มผลกระทบสูงกว่าฟิล์ม LDPE จากปิโตรเลียมเล็กน้อย ซึ่งมาจากกระบวนการฉีดขึ้นรูปและกระบวนการผลิตแป้งดัดแปร (Modified starch) แต่มีอัตรายอ่ยสลายทางชีวภาพได้ดีกว่า LDPE จากปิโตรเลียม
งามทิพย์ ภู่วโรดม และคณะ (2557)	ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบของฟิล์มพลาสติกแบบอ่อนตัวชนิด LLDPE HDPE และ PP	Cradle to Grave/ 1 ตารางเมตรของฟิล์มพลาสติก	กระบวนการขึ้นรูปฟิล์มสามารถเป็นตัวชี้วัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของฟิล์มพลาสติกได้ แต่มีข้อจำกัดคือ ชนิดของพลาสติกและกระบวนการผลิตที่ใช้
Liptow และ Tillman (2012)	ประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดวัฏจักร เพื่อเปรียบเทียบ LDPE จากทรัพยากหมุนเวียน คือ จากอ้อย และ LDPE จากปิโตรเลียม	Cradle to Grave/ 1 กิโลกรัมของ LDPE	การศึกษาพบว่า อ้อยใช้พลังงานสิ้นเปลืองมากกว่า แม้เป็นทรัพยากรหมุนเวียน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินทำให้มีค่า GWP สูงกว่า

งานวิจัย	รายละเอียดของงานวิจัย	ขอบเขต/หน่วยการทำงาน	ผลการศึกษา
Xie และคณะ (2011)	ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์สำหรับนม เปรียบเทียบระหว่างบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มลามิเนตและบรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE	Cradle to Grave/ 1000 ลิตรของถุงบรรจุนม	บรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE มีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการกำจัดซากติดลบ เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำและรีไซเคิลได้ ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มลามิเนตไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้
Shah และคณะ (2016)	ประเมินวัฏจักรชีวิตของถังกักเก็บน้ำที่ใช้ในบ้านเรือน เปรียบเทียบถังพลาสติก LLDPE ถังสแตนเลสสตีล และถังคอนกรีตเสริมเหล็ก (RCC)	Cradle to Grave/ 1000 ลิตรของถังกักเก็บน้ำ	พลาสติกชนิด LLDPE มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด รองลงมาคือ ถังกักเก็บน้ำแบบสแตนเลส และถังกักเก็บน้ำแบบคอนกรีตเสริมเหล็กตามลำดับ
Accorsi และคณะ (2015)	ประเมินวัฏจักรชีวิตของขวดน้ำมันมะกอกแบบบริสุทธิ์พิเศษขนาดบรรจุ 1 ลิตร โดยเปรียบเทียบขวดแก้วและขวดพลาสติกชนิด PET	Cradle to Grave/ 1 ลิตรของขวดน้ำมันมะกอกแบบบริสุทธิ์พิเศษ	เม็ดพลาสติก PET 1 กิโลกรัม มีการใช้พลังงานในการผลิตมากกว่าการผลิตขวดแก้ว แต่สามารถผลิตปริมาณขวดได้มากกว่าถึง 14 เท่าของขวดแก้ว ในการรีไซเคิลพบว่า ขวดแก้วสามารถรีไซเคิลได้มากกว่าขวดพลาสติก
งานวิจัยนี้	ประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์	Cradle to Grave/ 1 ชิ้นของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE	ดำเนินการวิจัย

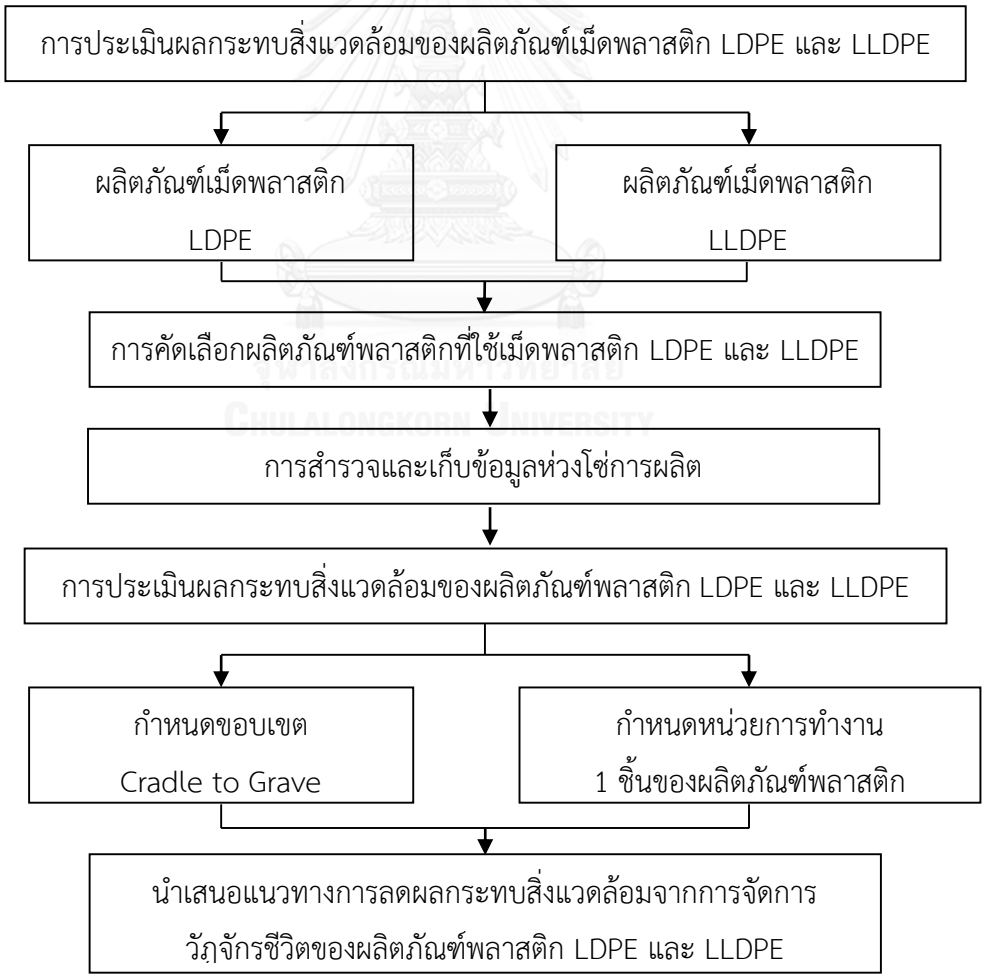
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การดำเนินงานวิจัย

โดยการศึกษานี้มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังรูปที่ 3-1

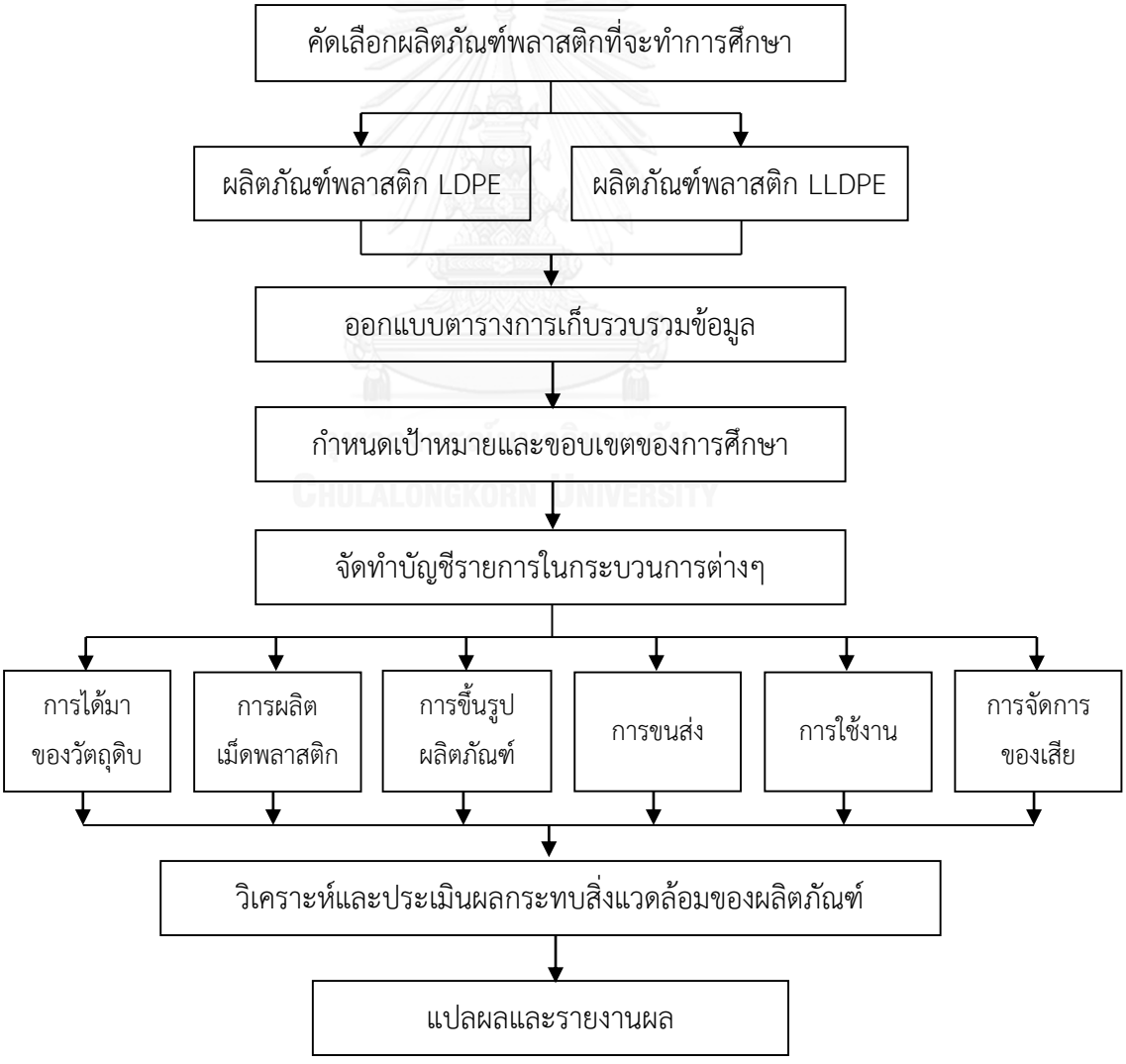
1. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE
2. การคัดเลือกผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE
3. การสำรวจและเก็บข้อมูลห่วงโซ่การผลิต
4. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE
5. นำเสนอแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการจัดการวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE



รูปที่ 3- 1 แผนการดำเนินงานวิจัย

3.2 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE

ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE ด้วยเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์และมีขอบเขตของการศึกษาครอบคลุม Cradle to Grave คือ พิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติก ตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบ การผลิตเม็ดพลาสติก การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก การขนส่ง การนำไปใช้งาน และการกำจัดซากหรือของเสียหลังจากการใช้งาน ซึ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลของงานวิจัยนี้ มีทั้งข้อมูล ปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ โดยข้อมูลปฐมภูมิได้ทำการเก็บข้อมูลโดยตรงจากโรงงานปิโตรเคมี โรงงานผลิตเม็ดพลาสติก และโรงงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิด LDPE และ LLDPE ส่วนของข้อมูลทุติยภูมิได้จากการรวบรวมงานวิจัย รายงาน และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกมีแผนผังการไหลดังรูปที่ 3-2



รูปที่ 3- 2 แผนผังการไหลของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติก

3.3 การคัดเลือกผลิตภัณฑ์จากการใช้วัตถุดิบเม็ดพลาสติก

การคัดเลือกผลิตภัณฑ์พลาสติกที่จะทำการศึกษาเพื่อเป็นตัวแทนในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิด LDPE และ LLDPE ได้พิจารณาตามหลักเกณฑ์ ดังต่อไปนี้

1. คัดเลือกเกรดของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติกของโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก โดยพิจารณาจากเกรดเม็ดพลาสติกชนิด LDPE และ LLDPE ที่มีปริมาณการใช้งานมากที่สุด
2. คัดเลือกผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิด LDPE และ LLDPE โดยพิจารณาจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้เม็ดพลาสติกจากเกรดเม็ดพลาสติกในข้อ 1.
3. เป็นโรงงานที่สนใจเข้าร่วมในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติก

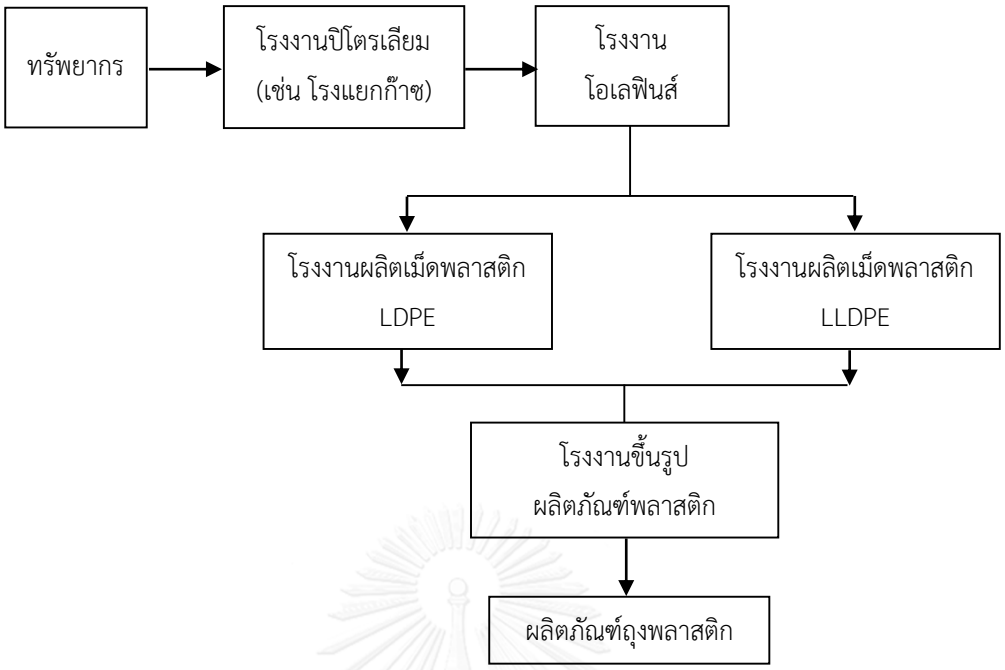
จากการทบทวนงานวิจัย พบว่า พลาสติกชนิด LDPE และ LLDPE มีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ประเภทฟิล์มพลาสติกมากที่สุดและผลิตภัณฑ์ที่พิจารณาคัดเลือก ได้แก่ ถุงพลาสติกสำหรับอาหาร

3.4 การสำรวจและเก็บข้อมูลห่วงโซ่อุปทานการผลิต

เมื่อทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิด LDPE และ LLDPE เพื่อเป็นตัวแทนในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แล้ว จากนั้นศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่คัดเลือกและลงพื้นที่สัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำการออกแบบตารางการเก็บข้อมูลสำหรับการเก็บข้อมูลปฐมภูมิจากโรงงานปิโตรเคมีที่ผลิตเม็ดพลาสติกและโรงงานขึ้นรูปพลาสติก ในทุกกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ การผลิตเม็ดพลาสติก การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก การขนส่ง การนำไปใช้งาน และการกำจัดซากหรือของเสียหลังจากการใช้งาน

3.4.1 ห่วงโซ่อุปทานการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกจากเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE

ทำการศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE ที่คัดเลือกเพื่อทำการลงพื้นที่สัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องและเก็บข้อมูลตลอดห่วงโซ่อุปทานในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกจากเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE โดยจะต้องทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE จนได้ผลิตภัณฑ์ คือ ถุงพลาสติก LDPE และ LLDPE (รูปที่ 3-3)



รูปที่ 3- 3 ห่วงโซ่อุปทานการผลิตถุงพลาสติกจากเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE

3.4.2 ออกแบบตารางการเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการออกแบบตารางการเก็บข้อมูลสำหรับการเก็บข้อมูลปฐมภูมิจากโรงงานปิโตรเคมีที่ผลิตเม็ดพลาสติกและโรงงานขึ้นรูปพลาสติกในทุกกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ แสดงตารางการเก็บข้อมูล ดังตารางที่ 3-1

ข้อมูลปฐมภูมิที่นำมาใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย

- ข้อมูลทั่วไปของผลิตภัณฑ์
- กระบวนการผลิต
- กระบวนการขึ้นรูป
- การขนส่ง
- การจัดการของเสียหลังการใช้งาน
- ข้อมูลสารขาเข้า เช่น วัตถุดิบ พลังงานและสาธารณูปโภค
- ข้อมูลสารขาออก เช่น มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ และกากของเสีย

ตารางที่ 3- 1 ตัวอย่างรูปแบบตารางการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับโรงงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก

ชื่อโรงงาน		**รูปผลิตภัณฑ์**
ที่อยู่โรงงาน		
ผลิตภัณฑ์		
กำลังการผลิต		

กระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์พลาสติก			
1. กระบวนการที่ 1			
มวลสารขาเข้า	**ปริมาณ**	**หน่วย**	**หมายเหตุ**
วัตถุดิบ			
1.เม็ดพลาสติก		กิโลกรัม	
2.สารเคมี		กิโลกรัม	
3.อื่นๆ (โปรดระบุ)			
พลังงานและสาธารณูปโภค			
1.ไฟฟ้า		กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง	
2.เชื้อเพลิง (น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ)		กิโลกรัม ลิตร หรือ ลูกบาศก์เมตร	
3.ไอน้ำ		กิโลกรัม	
4.น้ำ		ลูกบาศก์เมตร	
5.อื่นๆ (โปรดระบุ)			
มวลสารขาออก	**ปริมาณ**	**หน่วย**	**หมายเหตุ**
น้ำเสีย		ลูกบาศก์เมตร	
1.BOD		มิลลิกรัมต่อลิตร	
2.COD		มิลลิกรัมต่อลิตร	
3.SS		มิลลิกรัมต่อลิตร	
4.อื่นๆ (โปรดระบุ)			
มลพิษอากาศ			
1.CO_2		กิโลกรัม	
2.SO_2		กิโลกรัม	
3.อื่นๆ (โปรดระบุ)			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มวลสารขาออก (ต่อ)	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
กากของเสีย			
1.เศษพลาสติก		มิลลิกรัมต่อลิตร	
2.อื่นๆ (โปรดระบุ)			
2. กระบวนการที่ 2			
มวลสารขาเข้า	**ปริมาณ**	**หน่วย**	**หมายเหตุ**
วัตถุดิบ			
1.เม็ดพลาสติก		มิลลิกรัมต่อลิตร	
2.สารเคมี		มิลลิกรัมต่อลิตร	
3.อื่นๆ (โปรดระบุ)			
พลังงานและสาธารณูปโภค			
1.ไฟฟ้า		กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง	
2.เชื้อเพลิง (น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ)		กิโลกรัม ลิตร หรือ ลูกบาศก์เมตร	
3.ไอน้ำ		กิโลกรัม	
4.น้ำ		ลูกบาศก์เมตร	
5.อื่นๆ (โปรดระบุ)			
มวลสารขาออก	**ปริมาณ**	**หน่วย**	**หมายเหตุ**
น้ำเสีย		ลูกบาศก์เมตร	
1.BOD		มิลลิกรัมต่อลิตร	
2.COD		มิลลิกรัมต่อลิตร	
3.SS		มิลลิกรัมต่อลิตร	
4.อื่นๆ (โปรดระบุ)			
มลพิษอากาศ			
1.CO_2		กิโลกรัม	
2.SO_2		กิโลกรัม	
3.อื่นๆ (โปรดระบุ)			
กากของเสีย			
1.เศษพลาสติก		กิโลกรัม	
2.อื่นๆ (โปรดระบุ)			

3.5 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์จะดำเนินการตามการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) มีการดำเนินงานแบ่งออกเป็นขั้นตอน ดังนี้

1) การกำหนดเป้าหมายของการศึกษา
2) การกำหนดขอบเขตของการศึกษา
3) การจัดทำบัญชีรายการของสารขาเข้าและสารขาออก
4) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์
5) การแปลผลและรายงานผลการประเมินวัฏจักรชีวิต

3.5.1 การกำหนดเป้าหมายของการศึกษา

การกำหนดเป้าหมายเป็นขั้นตอนแรกในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้วัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา และผลการศึกษา มีความเหมาะสมและเป็นไปในทางเดียวกัน ซึ่งเป้าหมายของการศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) เพื่อศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ และเสนอแนวทางการลดผลกระทบของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมมาจากการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์

3.5.2 การกำหนดขอบเขตของการศึกษา

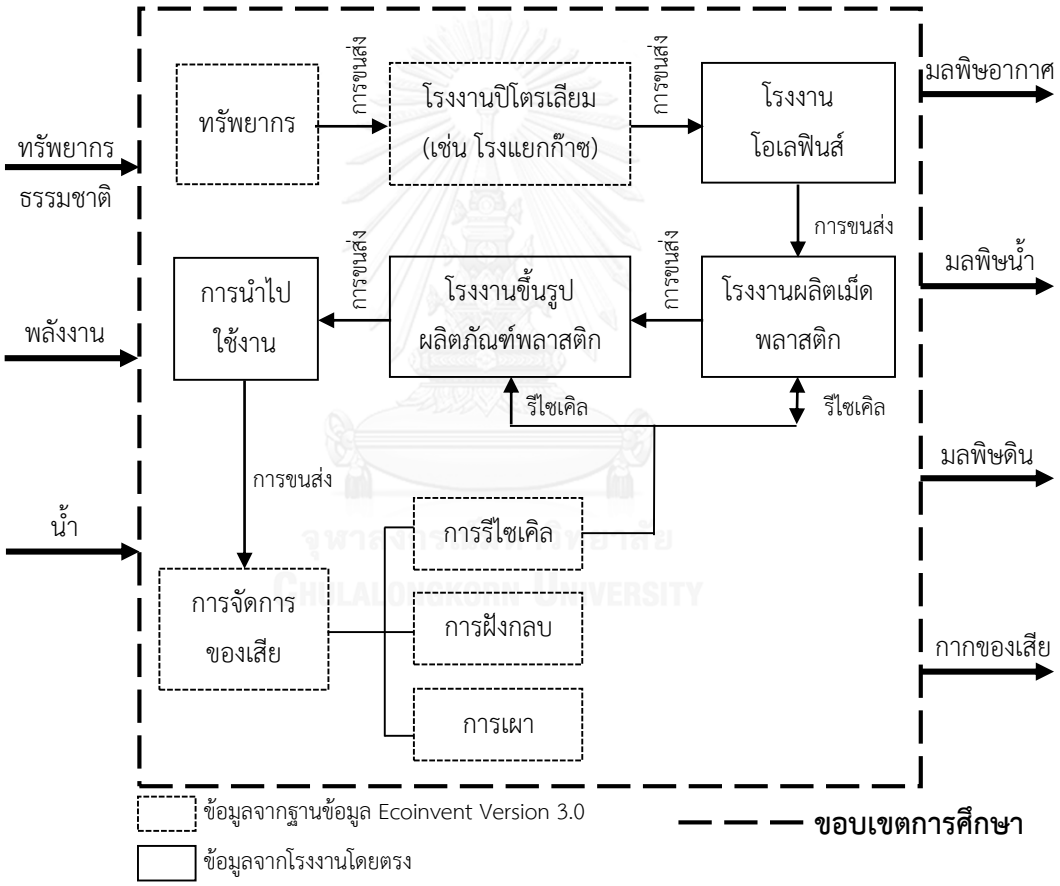
การกำหนดขอบเขตในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จะต้องแสดงรายละเอียดของระบบที่ทำการศึกษา ซึ่งขอบเขตของการศึกษาจะต้องเป็นไปในทิศทางเดียวกับเป้าหมายที่กำหนดไว้ ซึ่งประกอบไปด้วย ผลิตภัณฑ์ หน้าที่ผลิตภัณฑ์ หน่วยการทำงาน และขอบเขตของระบบ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดขอบเขตของการศึกษา ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3- 2 กำหนดขอบเขตของการศึกษา

ผลิตภัณฑ์	หน้าที่ของผลิตภัณฑ์	หน่วยการทำงาน	ขอบเขตการศึกษา
ผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติก LDPE และ LLDPE	บรรจุอาหารและสิ่งของ	1 ถุง	Cradle to Grave
ผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติก LDPE และ LLDPE	บรรจุอาหารและสิ่งของ	1 ถุง	Cradle to Grave

Cradle to Grave คือ การพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติก ตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบ การผลิตเม็ดพลาสติก การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก การขนส่ง การนำไปใช้งาน และการกำจัดซากหรือของเสียหลังจากการใช้งาน โดยมีแผนภาพแสดงขอบเขต ดังรูปที่ 3-4

โดยกระบวนการที่ทางผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลโดยตรงจากโรงงานเพื่อทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกนั้น ประกอบด้วย โรงงานโอเลฟินส์ โรงงานผลิตเม็ดพลาสติก และโรงงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก ในส่วนของการได้มาของทรัพยากร โรงงานแยกก๊าซ และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน จะใช้ข้อมูลบัญชีรายการเพื่อคำนวณจากฐานข้อมูล Ecoinvent Version 3.0 ซึ่งการกำจัดซากผลิตภัณฑ์จะเลือกวิธีการกำจัดโดยการศึกษาข้อมูลและสัมภาษณ์ห่วงโซ่อุปทานที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 3- 4 ขอบเขตของการศึกษา

3.5.3 การจัดทำบัญชีรายการของสารขาเข้าและสารขาออก

การจัดทำบัญชีรายการเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกของทุกกระบวนในระบบที่ทำการศึกษา จากนั้นทำการเชื่อมโยงความสัมพันธ์และทำสมดุลมวลสารเพื่อให้ข้อมูลอยู่ในหน่วยทำงานเดียวกัน โดยข้อมูลที่ใช้ในการทำบัญชีรายการจะมีทั้งข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งข้อมูลปฐมภูมิได้จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิตต่างๆ และจากการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรง และข้อมูลทุติยภูมิได้จากการรวบรวมงานวิจัย รายงาน เอกสารที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลทุติยภูมิที่ใช้ในการประเมินจะเน้นข้อมูลในประเทศเป็นหลัก เพื่อความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

3.5.4 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ เป็นการนำข้อมูลจากขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการของสารขาเข้าและสารขาออกมาประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ด้วยโปรแกรม SimaPro Version 8.2 ประเมินผลกระทบด้วยวิธี IMPACT 2002+ Version 2.12

การจำแนกข้อมูลการวิเคราะห์บัญชีรายการเข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบในงานวิจัยนี้ ลักษณะการประเมินจะเป็นไปตามแผนผังดังแสดงรูปที่ 3-5 ประกอบด้วย การประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint Category) และการเทียบหน่วย (Normalization) ซึ่งการประเมินผลกระทบขั้นกลางประกอบไปด้วย 15 ผลกระทบ ได้แก่

1) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens)

2) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens)

3) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ (Respiratory Inorganics)

4) ผลกระทบด้านการปล่อยกัมมันตภาพรังสี (Ionizing Radiation)

5) ผลกระทบด้านการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone Layer Depletion)

6) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอินทรีย์ (Respiratory Organics)

7) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำ (Aquatic Ecotoxicity)

8) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อดิน (Terrestrial Ecotoxicity)

9) ผลกระทบด้านการเกิดความเป็นกรดหรือการเพิ่มสารอาหารในดิน (Terrestrial Acidification/Nutrification)

10) ผลกระทบด้านการใช้ที่ดิน (Land Occupation)

11) ผลกระทบด้านการเกิดความเป็นกรดในแหล่งน้ำ (Aquatic Acidification)

12) ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหาร (Aquatic Eutrophication)

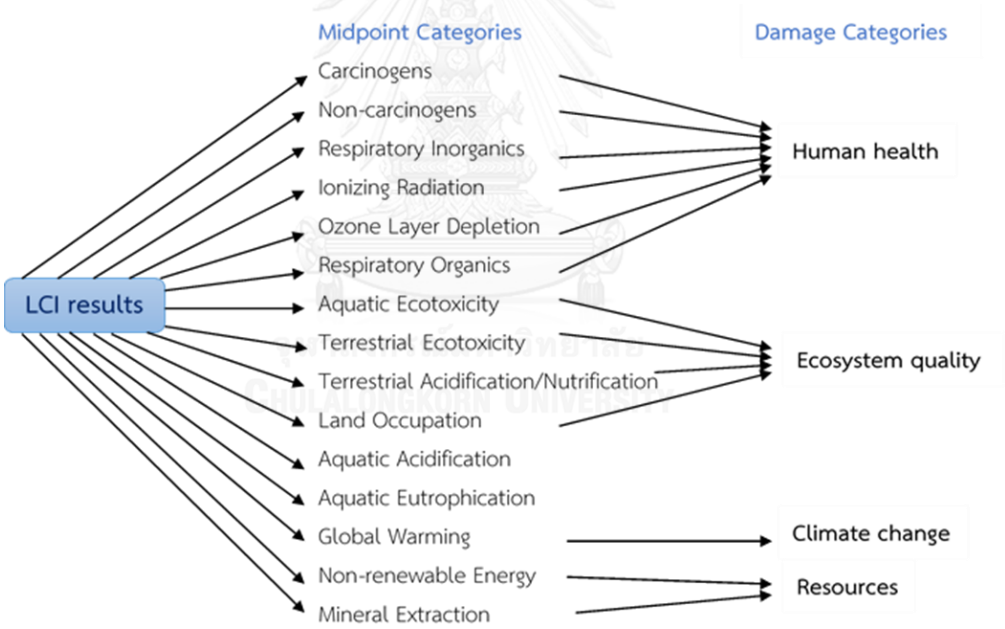
13) ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming)

14) ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy)

15) ผลกระทบด้านการสกัดแร่ธาตุ (Mineral Extraction)

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

1) ความเสียหายด้านสุขภาพมนุษย์ (Human Health) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดปีสุขภาวะที่สูญเสียไปจากโรคและการบาดเจ็บของประชากร (Disability-Adjusted Life Year: DALY)
2) ด้านคุณภาพระบบนิเวศ (Ecosystem Quality) ซึ่งจะบ่งชี้ศักยภาพการสูญหายของสายพันธุ์บนพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในช่วงระยะเวลา 1 ปี (PDF*m^2*yr)
3) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ซึ่งจะแสดงผลในรูป kg CO_2 eq
4) ด้านการใช้ทรัพยากร (Resources) ซึ่งจะแสดงผลในหน่วยของพลังงานขึ้นต้น (MJ primary)



รูปที่ 3- 5 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี IMPACT 2002+ version 2.12

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้ง 15 ด้าน คำนวณค่าผลกระทบทั้งหมดด้วยโปรแกรม SimaPro Version 8.2 โดยการกำหนดบทบาทเป็นการคำนวณให้อยู่ในรูปของปริมาณสารอ้างอิงในแต่ละชนิดของผลกระทบนั้นๆ สามารถคำนวณได้ตามสมการ ดังนี้

$$Emission = \sum(\text{Activity} \times \text{Emission Factor})$$

โดย Emission คือ ปริมาณมลพิษที่ถูกปล่อยออก

Activity คือ ปริมาณสารที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่างๆ

Emission Factor คือ ค่าแฟกเตอร์ของสารต่างๆ

ซึ่งค่าแฟกเตอร์ในการวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลจากโปรแกรม SimaPro Version 8.2 เพื่อประเมินหาค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการ ซึ่งในแต่ละกระบวนมีค่าแฟกเตอร์ที่แตกต่างกัน ทำให้หน่วยของปริมาณมลพิษที่ถูกปล่อยออกแตกต่างกันไปด้วย ดังนั้นจึงมีการเทียบหน่วย เพื่อแสดงให้เห็นว่าแต่ละกลุ่มผลกระทบมีความสำคัญกับผลกระทบอยู่ในระดับใดในสิ่งแวดล้อมโดยรวมทั้งหมด

3.5.5 การแปลผลและรายงานผลการประเมินวัฏจักรชีวิต

การแปลผลจากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ เป็นการวิเคราะห์ผลลัพธ์ของการศึกษา การประเมินค่า และสรุปผล รวมทั้งการจัดทำรายงานสรุปผลและแสดงรายละเอียดของการศึกษาให้ครบถ้วน โดยการแปลผลและรายงานผลต้องสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตที่กำหนดไว้ สามารถบ่งชี้กระบวนการที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดได้อย่างชัดเจนและเข้าใจง่าย นอกจากนี้ควรจัดทำข้อเสนอแนะของการศึกษาและสามารถสะท้อนถึงผลต่อเนื่องที่จะเกิดตามมาได้ เพื่อที่จะสามารถกำหนดแนวทางการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมได้

3.6 การนำเสนอแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

จากผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ แสดงถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE ทำให้ทราบผลกระทบหลักว่ามีกลุ่มผลกระทบใด และเกิดขึ้นที่จุดใดในกระบวนการผลิตตลอดห่วงโซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE จะนำมาซึ่งการกำหนดแนวทางเพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยการหาสาเหตุการเกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมดังกล่าว และมุ่งประเด็นไปในจุดนั้น เพื่อทำการกำหนดแนวทางในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม อีกทั้งเสนอแนวทางการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิต การใช้พลังงานในด้านต่างๆ การจัดการของเสีย เป็นต้น

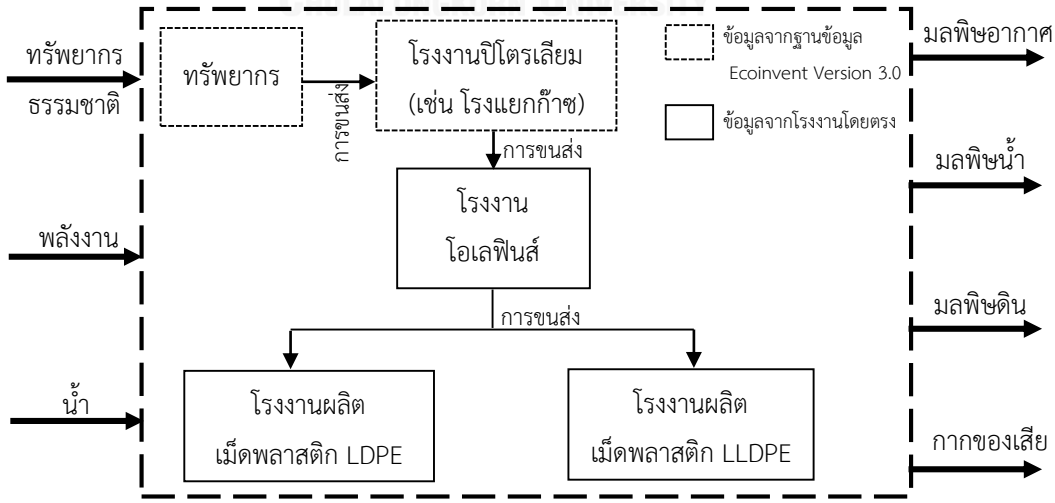
บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) กรณีศึกษาถุงพลาสติกสำหรับอาหาร ได้แบ่งการดำเนินงานวิจัยเป็น 5 ขั้นตอน

1. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE
2. การคัดเลือกผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE
3. การสำรวจและเก็บข้อมูลห่วงโซ่การผลิต
4. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE
5. นำเสนอแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการจัดการวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE

4.1 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LDPE โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หน่วยการทำงาน คือ เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE 1 กิโลกรัม และขอบเขตการศึกษา คือ Cradle to Gate ขอบเขตการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมประกอบไปด้วย การได้มาของวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก จนได้เป็นผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE (รูปที่ 4-1)



รูปที่ 4- 1 แผนผังแสดงขอบเขตการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE

4.1.1 การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE

บัญชีรายการการผลิตเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE โดยใช้ข้อมูลบัญชีมวลสารขาเข้าและขาออกของกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้รับจากโรงงานปิโตรเคมีและโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก ที่ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง โดยมีบัญชีรายการมวลสารดังตารางที่ 4-1 และ ตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4- 1 บัญชีรายการมวลสารของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
หน่วยอ้างอิง	1	กิโลกรัม	เม็ดพลาสติก LDPE
มวลสารขาเข้า			
วัตถุดิบและสารเคมี			
เอทิลีน	9.89E-01	กิโลกรัมต่อ LDPE 1 กิโลกรัม	
วัตถุดิบอื่นๆ	1.27E-02	กิโลกรัมต่อ LDPE 1 กิโลกรัม	
สารเคมี	1.09E-02	กิโลกรัมต่อ LDPE 1 กิโลกรัม	
น้ำ	1.36E+00	กิโลกรัมต่อ LDPE 1 กิโลกรัม	
พลังงานขาเข้า			
พลังงานไฟฟ้า	7.59E-01	กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง	
ไอน้ำ	1.41E-01	กิโลกรัมต่อ LDPE 1 กิโลกรัม	
การขนส่ง			
รถบรรทุก	9.56E-04	ตันต่อกิโลเมตร	
เรือบรรทุก	2.01E-02	ตันต่อกิโลเมตร	
มวลสารขาออก			
การบำบัดของเสีย			
มลพิษสู่อากาศ			
- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	6.61E-03	กิโลกรัมต่อ LDPE 1 กิโลกรัม	
- ก๊าซมีเทน	1.06E-08	กิโลกรัมต่อ LDPE 1 กิโลกรัม	
- ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	2.28E-08	กิโลกรัมต่อ LDPE 1 กิโลกรัม	
มลพิษสู่น้ำ			
- ปริมาณน้ำเสีย	3.34E-04	ลูกบาศก์เมตรต่อ LDPE 1 กิโลกรัม	
- ค่าบีโอดี (BOD)	1.06E-13	กิโลกรัมต่อ LDPE 1 กิโลกรัม	
- ค่าซีโอดี (COD)	6.81E-13	กิโลกรัมต่อ LDPE 1 กิโลกรัม	
- ค่าของแข็งแขวนลอย (SS)	1.22E-13	กิโลกรัมต่อ LDPE 1 กิโลกรัม	

ตารางที่ 4- 2 บัญชีรายการมวลสารของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LLDPE

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
หน่วยอ้างอิง	1	กิโลกรัม	เม็ดพลาสติก LLDPE
มวลสารขาเข้า			
วัตถุดิบและสารเคมี			
เอทิลีน	9.20E-01	กิโลกรัมต่อ LLDPE 1 กิโลกรัม	
วัตถุดิบอื่นๆ	8.11E-02	กิโลกรัมต่อ LLDPE 1 กิโลกรัม	
สารเคมี	8.82E-02	กิโลกรัมต่อ LLDPE 1 กิโลกรัม	
น้ำ	1.37E-01	กิโลกรัมต่อ LLDPE 1 กิโลกรัม	
พลังงานขาเข้า			
พลังงานไฟฟ้า	2.70E-01	กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง	
ไอน้ำ	6.13E-02	กิโลกรัมต่อ LLDPE 1 กิโลกรัม	
การขนส่ง			
รถบรรทุก	4.73E-04	ตันต่อกิโลเมตร	
เรือบรรทุก	2.05E-01	ตันต่อกิโลเมตร	
มวลสารขาออก			
การบำบัดของเสีย			
มลพิษสู่อากาศ			
- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	2.89E-04	กิโลกรัมต่อ LLDPE 1 กิโลกรัม	
- ก๊าซมีเทน	4.85E-09	กิโลกรัมต่อ LLDPE 1 กิโลกรัม	
- ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	6.08E-07	กิโลกรัมต่อ LLDPE 1 กิโลกรัม	
มลพิษสู่น้ำ			
- ปริมาณน้ำเสีย	6.03E-05	ลูกบาศก์เมตรต่อ LLDPE 1 กิโลกรัม	
- ค่าบีโอดี (BOD)	1.13E-14	กิโลกรัมต่อ LLDPE 1 กิโลกรัม	
- ค่าซีโอดี (COD)	4.34E-14	กิโลกรัมต่อ LLDPE 1 กิโลกรัม	
- ค่าของแข็งแขวนลอย (SS)	1.64E-14	กิโลกรัมต่อ LLDPE 1 กิโลกรัม	

4.1.2 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE 1 กิโลกรัม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro Version 8.2 คำนวณด้วยวิธี IMPACT 2002+ Version 2.12 โดยการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย การประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint Category) และการเทียบหน่วย (Normalization) ซึ่งการประเมินผลกระทบขั้นกลางประกอบไปด้วย 15 ผลกระทบ ได้แก่

1) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens)

2) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens)

3) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ (Respiratory Inorganics)

4) ผลกระทบด้านการปล่อยกัมมันตภาพรังสี (Ionizing Radiation)

5) ผลกระทบด้านการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone Layer Depletion)

6) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอินทรีย์ (Respiratory Organics)

7) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำ (Aquatic Ecotoxicity)

8) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อดิน (Terrestrial Ecotoxicity)

9) ผลกระทบด้านการเกิดความเป็นกรดหรือการเพิ่มสารอาหารในดิน (Terrestrial Acidification/Nutrification)

10) ผลกระทบด้านการใช้ที่ดิน (Land Occupation)

11) ผลกระทบด้านการเกิดความเป็นกรดในแหล่งน้ำ (Aquatic Acidification)

12) ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหาร (Aquatic Eutrophication)

13) ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming)

14) ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy)

15) ผลกระทบด้านการสกัดแร่ธาตุ (Mineral Extraction)

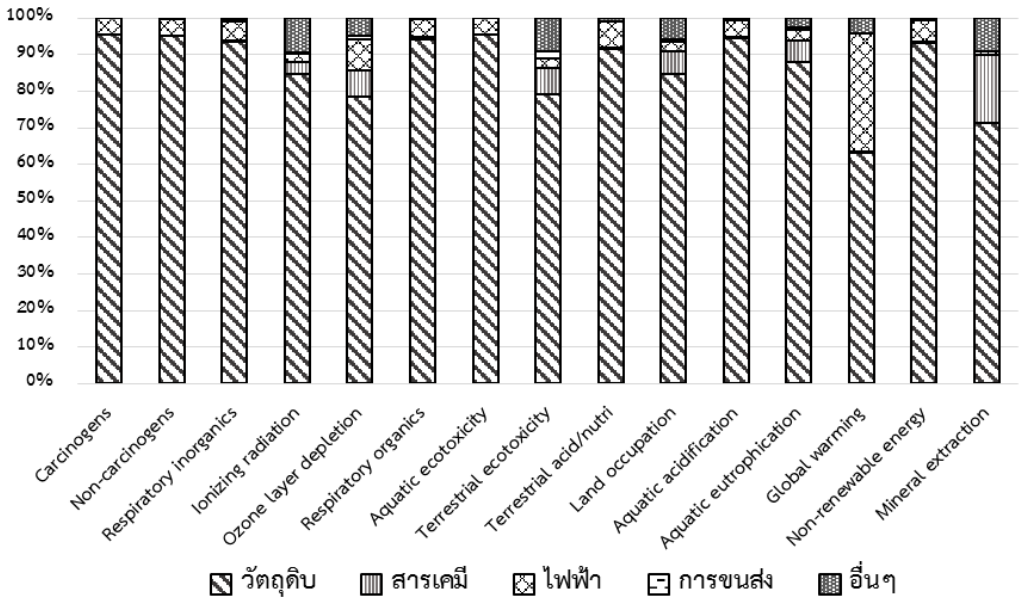
1. ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE โดยผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE แสดงผลดังรูปที่ 4-2 สัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดมาจากวัตถุดิบที่นำมาผลิตเม็ดพลาสติก คือ เอทิลีน ซึ่งเอทิลีนมาจากก๊าซธรรมชาติ จึงทำให้การได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิต มีผลกระทบสูงที่สุดในทุกด้าน

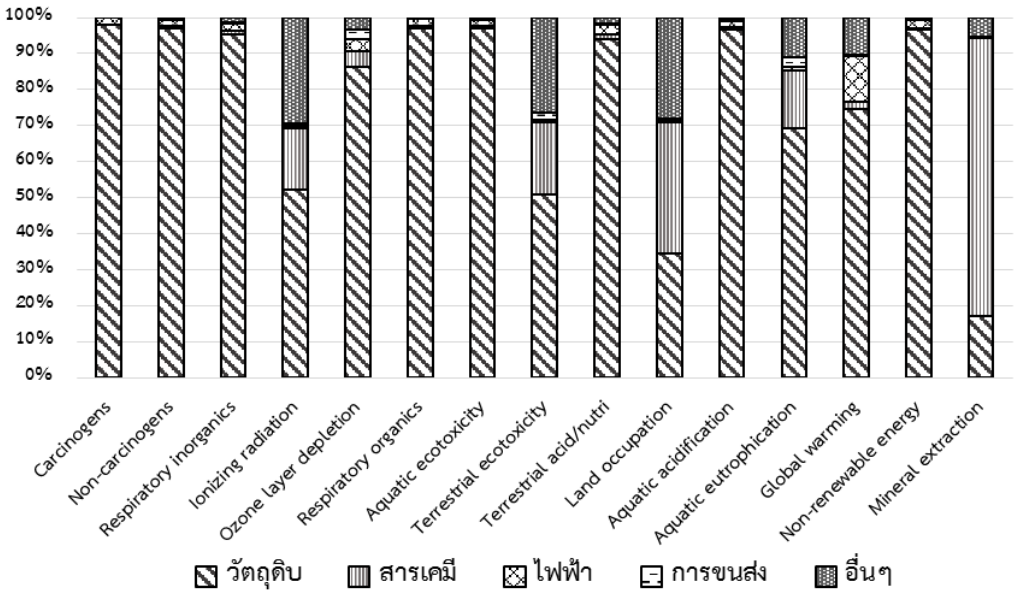
ในส่วนของผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LLDPE แสดงผลดังรูปที่ 4-3 สัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดมาจากวัตถุดิบที่นำมาผลิตเม็ดพลาสติก

เช่นเดียวกัน ยกเว้นผลกระทบด้านการใช้ที่ดิน (Land Occupation) และผลกระทบด้านการสกัดแร่ธาตุ (Mineral Extraction) ที่มาจากการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิตเป็นหลัก

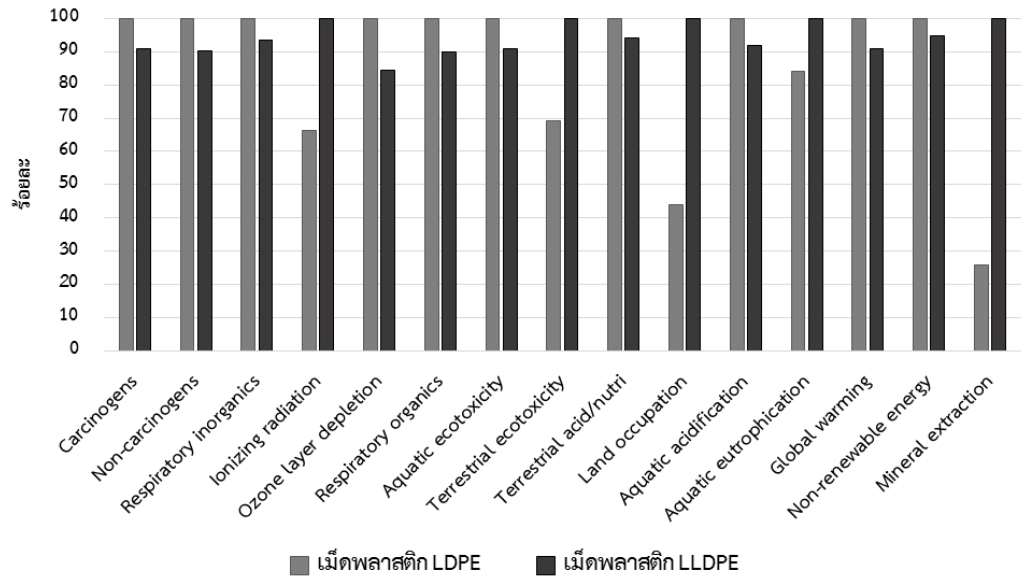
เมื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE (รูปที่ 4-4) พบว่า ผลกระทบด้านการสกัดแร่ (Mineral Extraction) และผลกระทบด้านการใช้ที่ดิน (Land Occupation) ของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LLDPE สูงกว่าเม็ดพลาสติก LDPE อันมาจากการใช้ปริมาณสารเคมีในกระบวนการผลิตที่มากกว่าการผลิตเม็ดพลาสติก LDPE และผลกระทบของเม็ดพลาสติก LLDPE ที่สูงกว่าเม็ดพลาสติก LDPE ที่มีค่าผลกระทบรองลงมา คือ ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อดิน (Terrestrial Ecotoxicity) ผลกระทบด้านการปล่อยกัมมันตภาพรังสี (Ionizing Radiation) และผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหาร (Aquatic Eutrophication) ตามลำดับ ส่วนผลกระทบด้านอื่นทั้ง 10 ผลกระทบ พบว่า เม็ดพลาสติก LDPE มีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับเม็ดพลาสติก LLDPE นอกจากนี้กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก LDPE มีการใช้พลังงานไฟฟ้า (32.25%) ที่มากกว่ากระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก LLDPE จึงทำให้สัดส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าในผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนนั้นสูงกกว่าเม็ดพลาสติก LLDPE (12.64%)



รูปที่ 4- 2 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE



รูปที่ 4- 3 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LLDPE

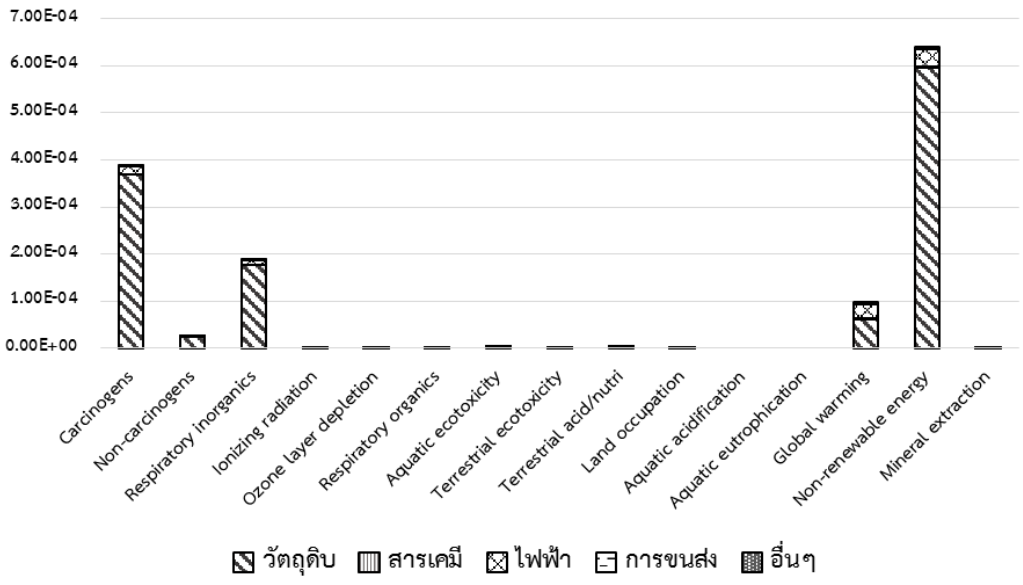


รูปที่ 4- 4 เปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม
ของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE

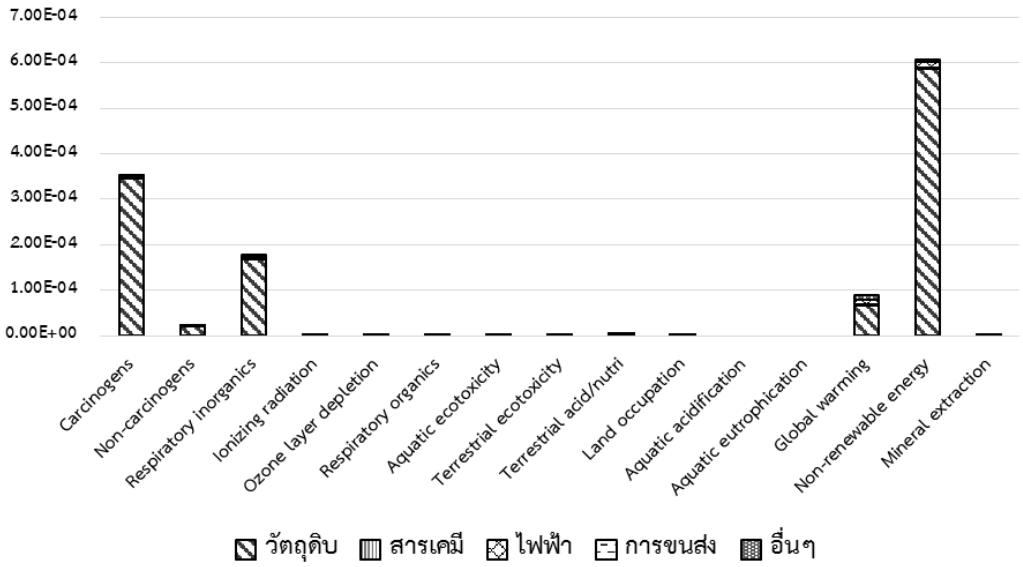
2. การเทียบหน่วย (Normalization)

การเทียบหน่วย (Normalization) คือ การปรับหน่วยของแต่ละผลกระทบให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกันและเพื่อให้เห็นถึงความสำคัญของแต่ละผลกระทบ เมื่อทำการเทียบหน่วยผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE พบว่า ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy) มีค่าสูงสุด รองลงมา ได้แก่ ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ (Respiratory Inorganics) ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming) และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens) ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4-5 ในส่วนของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LLDPE พบว่า มีผลกระทบไปในทิศทางเดียวกับเม็ดพลาสติก LDPE แสดงดังรูปที่ 4-6

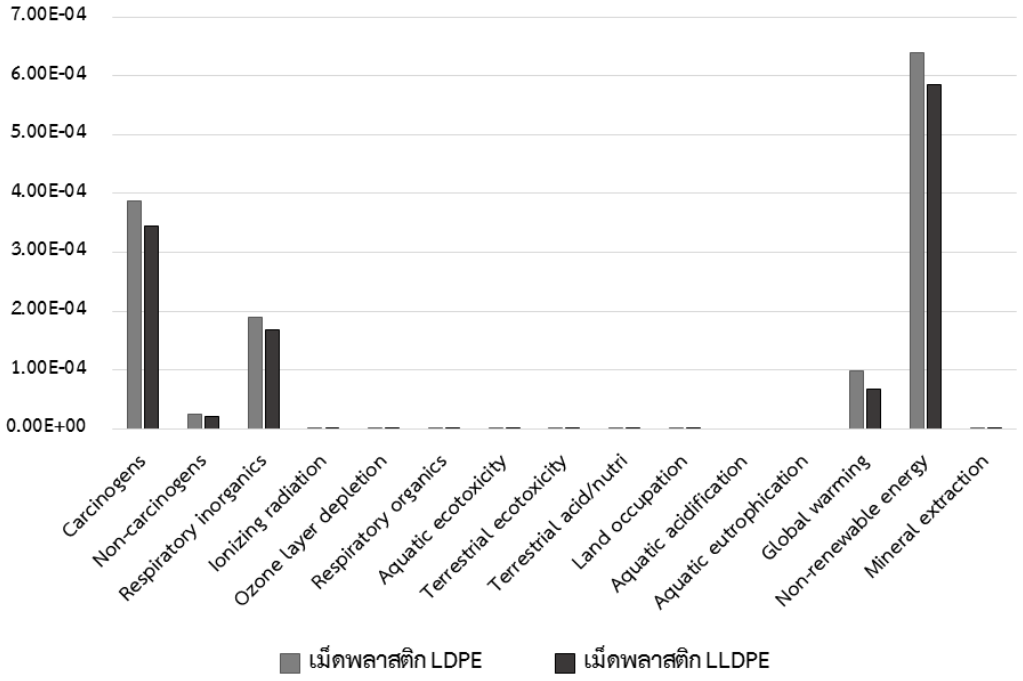
เมื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE (รูปที่ 4-7) พบว่า เม็ดพลาสติก LDPE มีค่าผลกระทบที่สูงกว่าเม็ดพลาสติก LLDPE เล็กน้อยในทุกผลกระทบหลัก คือ ผลกระทบสูงสุด 5 อันดับ เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าสัดส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากกว่าเม็ดพลาสติก LLDPE จึงทำให้ผลกระทบหลักมีค่าผลกระทบที่สูงกว่า เมื่อทำการรวมค่าผลกระทบทุกด้านเพื่อเปรียบเทียบค่าผลกระทบโดยรวมของทั้งเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE พบว่า เม็ดพลาสติก LDPE มีค่าผลกระทบโดยรวมสูงกว่าเม็ดพลาสติก LLDPE ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4-3



รูปที่ 4- 5 ผลการเทียบหน่วย (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE



รูปที่ 4- 6 ผลการเทียบหน่วย (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อม ของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LLDPE



รูปที่ 4- 7 เปรียบเทียบผลการเทียบหน่วย (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อม ของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE

ตารางที่ 4- 3 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	เม็ดพลาสติก LDPE	เม็ดพลาสติก LLDPE
Carcinogens	3.87E-04	3.45E-04
Non-carcinogens	2.40E-05	2.11E-05
Respiratory Inorganics	1.89E-04	1.68E-04
Ionizing Radiation	8.50E-08	6.69E-08
Ozone Layer Depletion	1.61E-08	1.18E-08
Respiratory Organics	5.42E-07	4.72E-07
Aquatic Ecotoxicity	1.23E-06	1.09E-06
Terrestrial Ecotoxicity	3.59E-07	2.64E-07
Terrestrial Acidifiction/Nutrification	2.04E-06	1.80E-06
Land Occupation	5.24E-08	4.11E-08
Aquatic Acidification	0.00E+00	0.00E+00
Aquatic Eutrophication	0.00E+00	0.00E+00
Global Warming	9.83E-05	6.66E-05
Non-renewable Energy	6.40E-04	5.86E-04
Mineral Extraction	2.44E-09	1.62E-09
ผลกระทบรวม	**1.34E-03**	**1.19E-03**

Chulalongkorn University

4.2 ผลการคัดเลือกผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE

การคัดเลือกผลิตภัณฑ์พลาสติกที่จะทำการศึกษาเพื่อเป็นตัวแทนในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิด LDPE และ LLDPE ได้พิจารณาตามหลักเกณฑ์ ดังต่อไปนี้

1. คัดเลือกเกรดของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติกของโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก โดยพิจารณาจากเกรดเม็ดพลาสติกชนิด LDPE และ LLDPE ที่มีปริมาณการใช้งานมากที่สุด
2. คัดเลือกผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิด LDPE และ LLDPE โดยพิจารณาจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้เม็ดพลาสติกจากเกรดเม็ดพลาสติกในข้อ 1.
3. เป็นโรงงานที่สนใจเข้าร่วมในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติก

จากการศึกษา ได้ทำการสัมภาษณ์กับทางโรงงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่สนใจเข้าร่วมในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต พบว่า โรงงานมีการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทฟิล์มมากที่สุด และมีความสนใจในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติกสำหรับอาหาร ซึ่งผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้คัดเลือกเป็นการผสมกันของเม็ดพลาสติก 2 ชนิด คือ เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE เพื่อใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ โดยการศึกษานี้ได้คัดเลือกผลิตภัณฑ์ 2 ผลิตภัณฑ์ จากโรงงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก 2 โรงงาน เป็นกรณีศึกษา ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4- 4 ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่คัดเลือกในประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

ผลิตภัณฑ์ที่คัดเลือก	หน้าที่ของผลิตภัณฑ์	เม็ดพลาสติก
1. ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร	บรรจุอาหาร	LDPE และ LLDPE
2. ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง	บรรจุอาหาร	LDPE และ LLDPE

4.3 การสำรวจและเก็บข้อมูลห่วงโซ่การผลิต

เมื่อทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิด LDPE และ LLDPE เพื่อเป็นตัวแทนในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แล้ว จากนั้นได้ทำการลงพื้นที่สัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำการเก็บข้อมูลสำหรับการเก็บข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิจากโรงงานปิโตรเคมีที่ผลิตเม็ดพลาสติกและโรงงานขึ้นรูปพลาสติก ในทุกกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ การผลิตเม็ดพลาสติก การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก การขนส่ง การนำไปใช้งาน และการกำจัดซากหรือของเสียหลังจากการใช้งาน

ผลการสัมภาษณ์ห่วงโซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE

1) อุตสาหกรรมต้นน้ำ (Upstream Industry)

จากการสัมภาษณ์โรงงานที่เป็นอุตสาหกรรมต้นน้ำ ผู้ผลิตพลาสติกที่เป็นอุตสาหกรรมต้นน้ำต่างเล็งเห็นความสำคัญด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งเล็งเห็นว่าอุตสาหกรรมต้นน้ำมีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยผลกระทบของสินค้ากลุ่มเม็ดพลาสติกก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ดังนั้นแนวทางในการลดผลกระทบ คือ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้คุ้มค่ามากที่สุด และเพิ่มการรีไซเคิลผลิตภัณฑ์พลาสติก รวมถึงเห็นด้วยกับการให้ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการคัดแยกขยะเพื่อจะได้นำของเสียกลับมาใช้ใหม่ได้

ในส่วนของแนวทางดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อม ส่วนใหญ่จะมีนโยบายและดำเนินการให้สอดคล้องกับความต้องการของหน่วยงานในประเทศและต่างประเทศ เช่น องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (ISO) ดัชนีความยั่งยืนดาวโจนส์ (DJSI) อุตสาหกรรมสีเขียว เป็นต้น นอกจากนี้มีการส่งเสริมนโยบายในด้านของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ที่เน้นให้คำนึงถึงสังคมชุมชน และสิ่งแวดล้อม เช่น การลดของเสีย ขยะ และน้ำทิ้ง นอกจากนั้นโรงงานอุตสาหกรรมต้นน้ำของผลิตภัณฑ์พลาสติกได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ และมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับประโยชน์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต ที่ใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมและสามารถนำมาเสนอแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโรงงานได้

2) อุตสาหกรรมปลายน้ำ (Downstream Industry)

อุตสาหกรรมปลายน้ำที่ทำการสัมภาษณ์ คือ โรงงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก จากผลการสัมภาษณ์ พบว่า โรงงานที่มีมาตรฐานสิ่งแวดล้อม (ISO 14000) มีจำนวนร้อยละ 50 ส่วนโรงงานที่สนใจและกำลังศึกษามีจำนวนร้อยละ 33.33 และโรงงานที่ยังไม่ต้องการมาตรฐานสิ่งแวดล้อมมีจำนวนร้อยละ 16.67 ซึ่งโรงงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานสิ่งแวดล้อมแล้วและที่สนใจอยู่นั้น เป็นโรงงานที่มีการผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารหรือเครื่องดื่มเป็นหลัก ทำให้เห็นความสำคัญทางด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมควบคู่ด้วย

จากการสัมภาษณ์ พบว่า ยังไม่มีโรงงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่ได้สัมภาษณ์นั้นมีผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม หรือได้รับการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) ฉลากผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม (Eco-labels) และการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ (Carbon Footprint of Product) ซึ่งด้านสิ่งแวดล้อมของโรงงานส่วนใหญ่จะเน้นหลักการ 3Rs (Reduce Reuse and Recycle) เพื่อลดปริมาณของเสียและวัตถุดิบ นอกจากนี้หลายโรงงานส่งเสริมและมุ่งเน้นเรื่องการลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตด้วย

ในส่วนของต้องการเม็ดพลาสติกชีวภาพของโรงงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์นั้น พบว่า โรงงานร้อยละ 80 มีความต้องการเม็ดพลาสติกชีวภาพ เพื่อช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม แต่มีปัญหาด้านราคาที่สูงมากกว่าเม็ดพลาสติกที่ใช้อยู่มาก และมีโรงงานเพียงร้อยละ 20 ที่ยังไม่มีความสนใจ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ของทางโรงงานต้องการความแข็งแรงทนทานสูง โดยลักษณะเม็ดพลาสติกที่โรงงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้องการ คือ มีความเหนียว แข็งแรง และสามารถลดการใช้วัตถุดิบเม็ดพลาสติกน้อยลง ในขณะที่มีคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ดีเหมือนเดิม ซึ่งการลดการใช้วัตถุดิบเม็ดพลาสติกถือเป็นแนวทางในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมให้ต่ำลงได้

3) การสัมภาษณ์หน่วยงานราชการ เอกชนที่เกี่ยวข้องและสมาคมผู้ผลิตพลาสติกในประเทศ

จากการสัมภาษณ์หน่วยงานภาครัฐและเอกชนที่เกี่ยวข้องกับการจัดการวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติก (รูปที่ 4-8) โดยข้อมูลการศึกษาของหน่วยงานภาครัฐที่ได้สัมภาษณ์ กล่าวว่า บรรจุภัณฑ์พลาสติก โดยเฉพาะถุงพลาสติกยังเป็นปัญหาสำคัญต่อการจัดการขยะชุมชน เนื่องจากส่วนใหญ่ถูกนำไปกำจัดโดยวิธีการฝังกลบ ไม่สามารถย่อยสลายได้ โดยในปี 2558 ปริมาณขยะของประเทศไทยมีประมาณ 26.8 ล้านตัน คิดเป็นขยะพลาสติกประมาณร้อยละ 17 โดยน้ำหนัก ซึ่งประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณขยะพลาสติกเป็นถุงพลาสติก โดยแนวทางที่กรมควบคุมมลพิษใช้ในการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมผลิตภัณฑ์พลาสติก คือ การให้ความรู้กับประชาชนในการการลดการใช้พลาสติก การคัดแยกขยะ และการใช้ประโยชน์จากขยะตั้งแต่ต้นทาง

ในด้านของการจัดการพลาสติก ทางหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนต้องการให้มีนโยบายดังต่อไปนี้ ส่งเสริมผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า เน้นการรีไซเคิลให้มากขึ้น ผลักดันการผลิตและการใช้พลาสติกชีวภาพ การโฆษณาส่งเสริมการใช้งานผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีแนวทางการจัดการขยะพลาสติกอย่างเป็นรูปธรรม รวมทั้งการเผยแพร่ข้อมูลและให้ความรู้เรื่องการคัดแยกขยะแก่ชุมชน

นอกจากนี้ได้ทำการสัมภาษณ์ในส่วนของโรงงานที่รับกำจัดของเสีย ทั้งของเสียอุตสาหกรรม ขยะชุมชน และขยะจากหลุมฝังกลบ พบว่า ถุงพลาสติกสำหรับอาหารส่วนใหญ่ ไม่นิยมรีไซเคิล เนื่องจากเป็นฟิล์มประกบ มีค่าใช้จ่ายสูงในการแยกชนิดของพลาสติกออกจากกัน ดังนั้นจึงกำจัดด้วยการฝังกลบเป็นหลัก นอกจากนั้นนิยมนำมาเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Refuse Derived Fuel; RDF) ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาซีเมนต์ในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ และใช้ในการเผาเพื่อผลิตไฟฟ้า

Chulalongkorn University

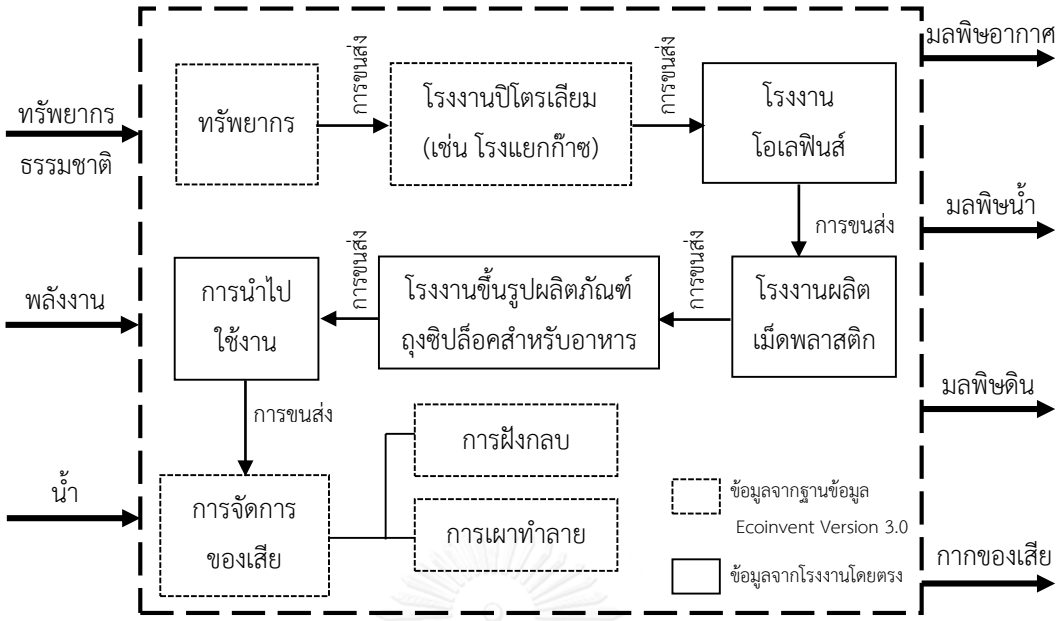
รูปที่ 4- 8 การสัมภาษณ์กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

4.4 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร 1 ถุง ซึ่งเป็นถุงที่มีปริมาตร 1 ถ้วยตวง (237 มิลลิลิตร) แสดงดังรูปที่ 4-9 โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หน่วยการทำงาน คือ ถุงซิปล็อคบรรจุอาหาร 1 ถุง และขอบเขตการศึกษาครอบคลุมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ คือ Cradle to Grave ประกอบไปด้วย ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก กระบวนขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การใช้งาน และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 4-10

รูปที่ 4- 9 ผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

ทั้งนี้ขั้นตอนการใช้งานผลิตภัณฑ์จะไม่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อม เนื่องจากขั้นตอนนี้ไม่มีการใช้พลังงานรวมถึงไม่มีการเติมสารใดๆ เข้าไปในระหว่างการใช้งานอีกด้วย ในส่วนของขั้นตอนการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้ตั้งสมมุติฐานเบื้องต้นให้มีการกำจัดเป็น 2 กรณี คือ กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ (Landfill) เนื่องจากเป็นขยะมูลฝอยทั่วไป (Municipal Waste) และ กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย (Incineration) เนื่องด้วยมีการสอบถามและสัมภาษณ์นั้น พบว่าถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารจะไม่นิยมนำมารีไซเคิล



รูปที่ 4- 10 แผนผังแสดงขอบเขตการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

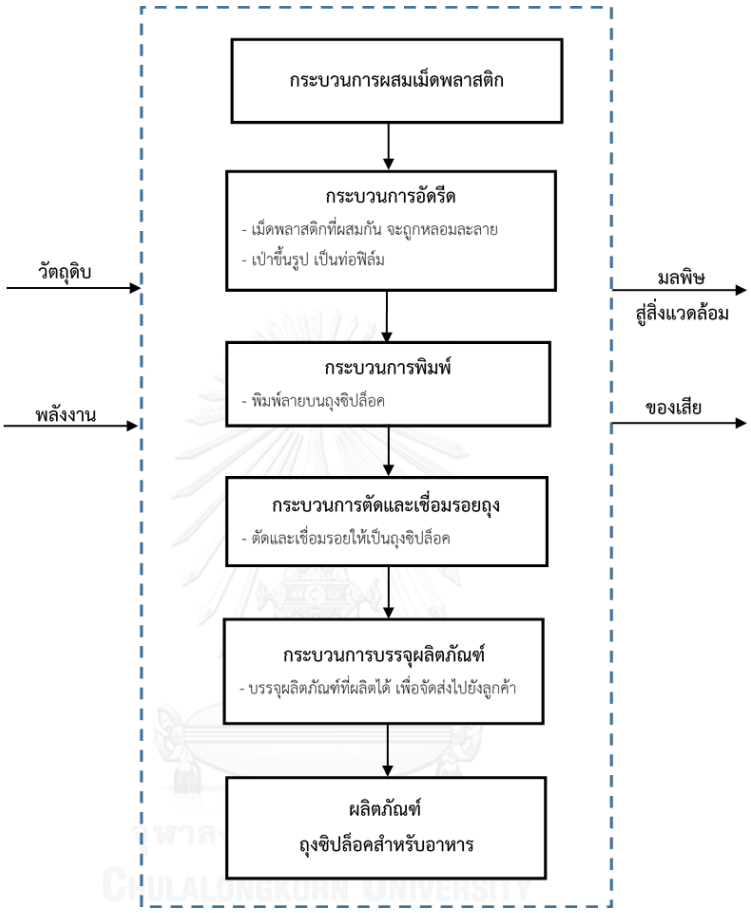
4.4.1 การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการเพื่อทำให้ทราบปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกในแต่ละกระบวนการ และสามารถนำบัญชีรายการไปประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro Version 8.2 การศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธีการประเมิน IMPACT 2002+ Version 2.12 เนื่องจากเป็นวิธีการที่ครอบคลุมการประเมินผลกระทบทั้งทางด้านสุขภาพ ระบบนิเวศ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการใช้ทรัพยากร

สำหรับผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารนั้น ขึ้นรูปจากการผสมกันของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear Low Density Polyethylene, LLDPE) ซึ่งมีสัดส่วนของเม็ดพลาสติก LDPE 60% และ LLDPE 40% โดยผู้วิจัยได้ลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูล และประสานงานกับทีมงานของโรงงานเพื่อทำความเข้าใจถึงกระบวนการผลิตของโรงงาน

กระบวนการผลิตถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร ดังรูปที่ 4-11 เริ่มด้วยเม็ดพลาสติกจะถูกนำผสมกับเม็ดสีเข้มข้น (Masterbatch) จากนั้นจะถูกส่งไปยังกระบวนการอัดรีด (Extrusion Process) ในขั้นตอนนี้เม็ดพลาสติกจะถูกหลอมและอัดรีด หลังจากนั้นเป่าเป็นแผ่นบาง ตามความหนาที่ต้องการ เมื่อผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นแผ่นแล้วจะเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ ในขั้นตอนนี้จะมีการใช้หมึกสีเพื่อ

พิมพ์ลายสำหรับถุงซิปล็อคสำหรับอาหารจะใช้สีขาวเป็นสีพิมพ์ จากนั้นผลิตภัณฑ์จะเข้าสู่กระบวนการตัดและเชื่อมรอยต่อถุง (Conversion Process) ถึงขั้นตอนนี้ผลิตภัณฑ์จะถูกบรรจุลงในกล่องบรรจุภัณฑ์ และพร้อมจัดส่งไปยังลูกค้าต่อไป



รูปที่ 4- 11 แผนผังกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการการผลิตถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร โดยใช้ข้อมูลบัญชีมวลสารขาเข้าและขาออกของกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE อ้างอิงข้อมูลที่ได้รับจากโรงงานปิโตรเคมีและโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก ที่ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง ซึ่งเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE จะถูกใช้เป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการขึ้นรูปถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร ส่วนข้อมูลบัญชีมวลสารขาเข้าและขาออกของกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารนั้นได้รับข้อมูลจากโรงงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก ที่ตั้งอยู่ในตำบลหนองเหียง อำเภอพนัสนิคม จังหวัดชลบุรี โดยมีบัญชีรายการมวลสาร ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4- 5 บัญชีรายการมวลสารของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
หน่วยอ้างอิง	1	ถุง	1 ถุง หมายถึง ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร ปริมาตร 1 ถ้วยตวง น้ำหนักถุง 2.49 กรัม
มวลสารขาเข้า			
วัตถุดิบและสารเคมี			
เม็ดพลาสติก LDPE	1.92E-03	กิโลกรัมต่อถุง	ข้อมูลบัญชีรายการจากโรงงานปิโตรเคมี
เม็ดพลาสติก LLDPE	1.28E-03	กิโลกรัมต่อถุง	ข้อมูลบัญชีรายการจากโรงงานปิโตรเคมี
เม็ดสีเข้มข้น (สีน้ำเงิน)	5.52E-06	กิโลกรัมต่อถุง	
เม็ดสีเข้มข้น (สีเขียว)	5.52E-06	กิโลกรัมต่อถุง	
หมึกพิมพ์ (สีขาว)	1.10E-05	กิโลกรัมต่อถุง	
พลังงานขาเข้า			
พลังงานไฟฟ้า	2.48E-03	กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง	
การขนส่ง			
รถบรรทุก	1.84E-04	ตันต่อกิโลเมตร	
เรือบรรทุก	5.24E-02	ตันต่อกิโลเมตร	
มวลสารขาออก			
การบำบัดของเสีย			
รีไซเคิลเศษพลาสติก	7.13E-04	กิโลกรัมต่อถุง	ขายเศษพลาสติกจากกระบวนการผลิตให้กับโรงงานรีไซเคิล

4.4.2 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมและการแปลผลการศึกษาของถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

งานวิจัยนี้ได้ได้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของถุงซิปล็อคบรรจุอาหาร 1 ถุง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro Version 8.2 คำนวณด้วยวิธี IMPACT 2002+ โดยการประเมินประกอบด้วย การประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint Category) และการประเมินผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint Category) ในรูปแบบของการประเมินความเสียหาย (Damage Category) ซึ่งการประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint) ประกอบไปด้วย 15 ผลกระทบ ได้แก่

1) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens)

2) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens)

3) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ (Respiratory Inorganics)

4) ผลกระทบด้านการปล่อยกัมมันตภาพรังสี (Ionizing Radiation)

5) ผลกระทบด้านการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone Layer Depletion)

6) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอินทรีย์ (Respiratory Organics)

7) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำ (Aquatic Ecotoxicity)

8) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อดิน (Terrestrial Ecotoxicity)

9) ผลกระทบด้านการเกิดความเป็นกรดหรือการเพิ่มสารอาหารในดิน (Terrestrial Acidification/Nutrification)

10) ผลกระทบด้านการใช้ที่ดิน (Land Occupation)

11) ผลกระทบด้านการเกิดความเป็นกรดในแหล่งน้ำ (Aquatic Acidification)

12) ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหาร (Aquatic Eutrophication)

13) ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming)

14) ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy)

15) ผลกระทบด้านการสกัดแร่ธาตุ (Mineral Extraction)

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

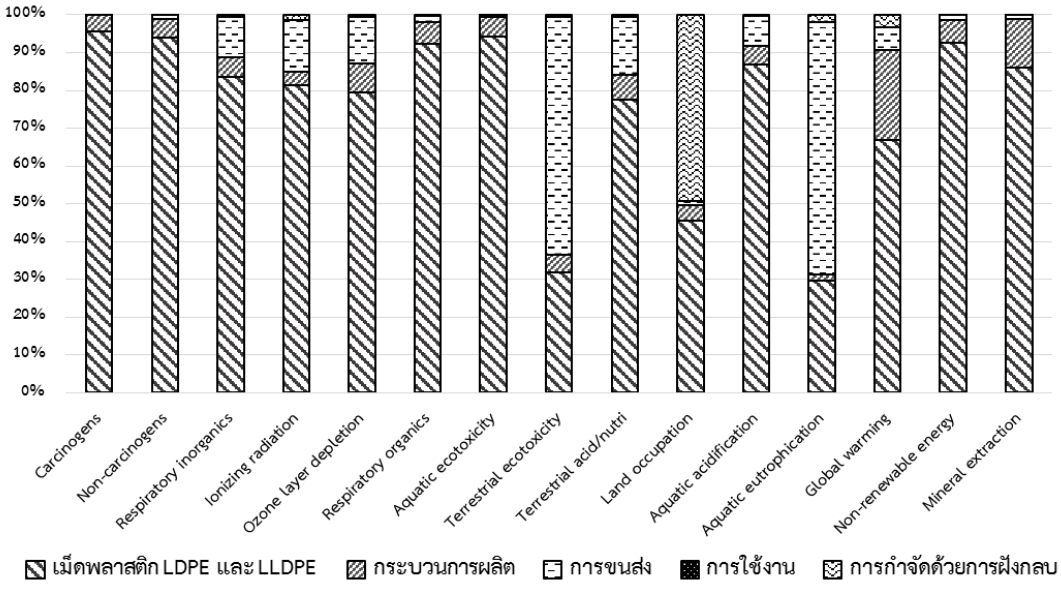
1) ความเสียหายด้านสุขภาพมนุษย์ (Human Health) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดปีสุขภาวะที่สูญเสียไปจากโรคและการบาดเจ็บของประชากร (Disability-Adjusted Life Year: DALY)
2) ด้านคุณภาพระบบนิเวศ (Ecosystem Quality) ซึ่งจะบ่งชี้ศักยภาพการสูญหายของสายพันธุ์บนพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในช่วงระยะเวลา 1 ปี (PDF*m^2*yr)
3) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ซึ่งจะแสดงผลในรูป kg CO_2 eq
4) ด้านการใช้ทรัพยากร (Resources) ซึ่งจะแสดงผลในหน่วยของพลังงานขั้นต้น (MJ primary)

1. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลาง (Midpoint Category)

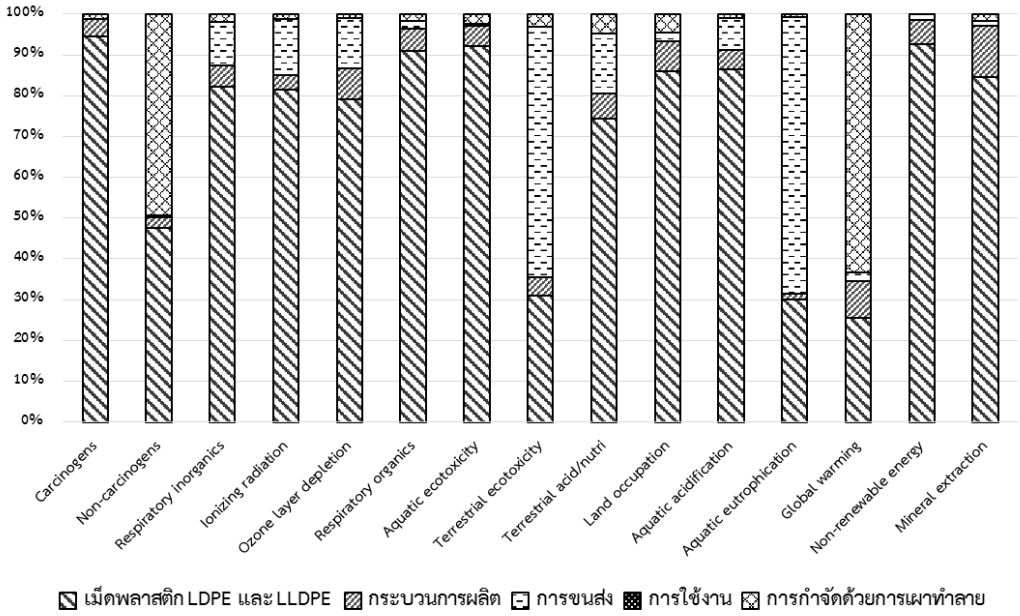
ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร ดังรูปที่ 4-12 แสดงผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารที่มีการกำจัดด้วยการฝังกลบ (กรณีศึกษาที่ 1) ในหลายด้านมีสัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดมาจากการใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE เนื่องจากเม็ดพลาสติกใช้เอทิลีนเป็นวัตถุดิบ ซึ่งเอทิลีนมาจากก๊าซธรรมชาติ และมีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในกระบวนการผลิตปริมาณมาก จึงทำให้การใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE มีผลกระทบสูงที่สุดในทุกด้าน ยกเว้นผลกระทบด้านการ

เพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหาร (Aquatic Eutrophication) และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อดิน (Terrestrial Ecotoxicity) ที่มาจากการขนส่ง คือ 66.93% และ 62.95% ตามลำดับ โดยผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารมาจากการขนส่งทางเรือถึง 66.59% ส่วนผลกระทบด้านด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อดินมาจากการขนส่งด้วยรถบรรทุก 47.79%

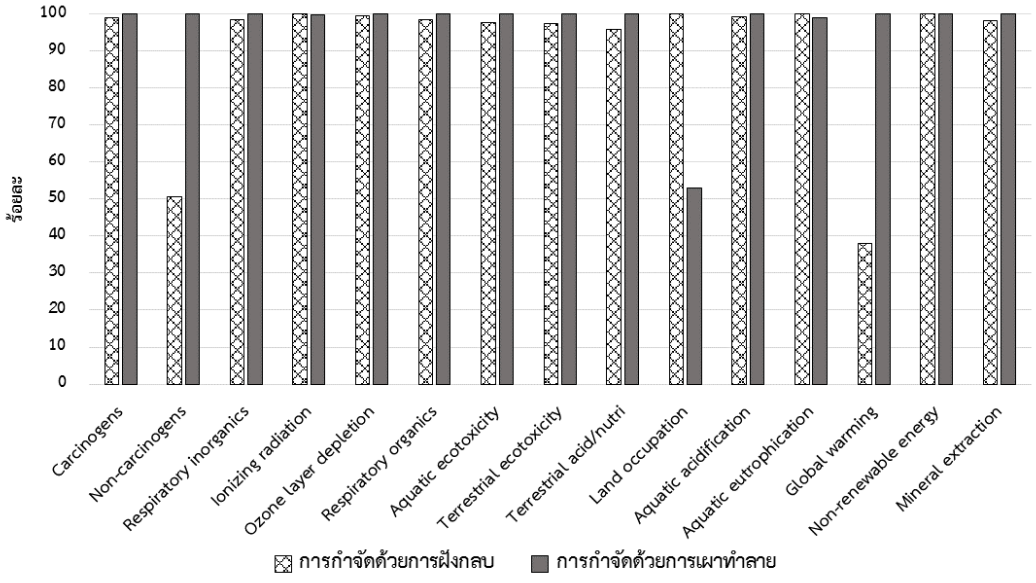
ในขณะที่ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารที่มีการกำจัดด้วยการเผาทำลาย (กรณีศึกษาที่ 2) ดังรูปที่ 4-13 พบว่า การเผากำจัดซากผลิตภัณฑ์นั้นก่อให้เกิดผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming) และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens) ที่สูงกว่าการกำจัดด้วยการฝังกลบ และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารระหว่างการกำจัดด้วยการฝังกลบ (กรณีศึกษาที่ 1) และการกำจัดด้วยการเผาทำลาย (กรณีศึกษาที่ 2) ผลกระทบสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่ไปในทิศทางเดียวกัน โดยผลกระทบที่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่แตกต่าง คือ ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง และผลกระทบด้านการใช้ที่ดิน แสดงดังรูปที่ 4-14 เนื่องจากการเผาก่อให้เกิดผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็งที่สูงกว่า แต่ทว่าการกำจัดด้วยฝังกลบมีผลกระทบด้านการใช้ที่ดิน จากการใช้ที่ดินในการฝังกลบเพื่อกำจัดซากผลิตภัณฑ์ที่สูงกว่า



รูปที่ 4- 12 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ



รูปที่ 4- 13 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย



รูปที่ 4- 14 เปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร ระหว่างการกำจัดด้วยการฝังกลบและการกำจัดด้วยการเผาทำลาย

2. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นปลาย (Endpoint Category)

จากการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม Midpoint ของถุงซิปล็อคสำหรับอาหารตลอดวัฏจักรชีวิต สามารถนำมาคำนวณเป็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นปลาย (Endpoint) โดยใช้ค่า Characterization Factor ที่อ้างอิงตามวิธีการ IMPACT 2002+ Version 2.12 ดังแสดงในตารางที่ 4-6 และผลการประเมินกลุ่มความเสียหายดังแสดงในตารางที่ 4-7 พบว่า ทั้ง 4 กลุ่มบ่งชี้ผลการศึกษาไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ การใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE ของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร ก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุดในความเสียหายทั้ง 4 ด้าน ประกอบด้วย ผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์ (Human Health) ผลกระทบด้านคุณภาพระบบนิเวศ (Ecosystem Quality) ผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (Climate Change) และผลกระทบด้านทรัพยากรธรรมชาติ (Resources)

เมื่อพิจารณาผลการประเมินกลุ่มความเสียหายตลอดวัฏจักรชีวิต โดยการเปรียบเทียบการกำจัดด้วยการฝังกลบและการกำจัดด้วยการเผาทำลาย พบว่า ทั้งสองกรณีมีค่าความเสียหายในแต่ละด้านใกล้เคียงกัน ยกเว้นความเสียหายด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ซึ่งการกำจัดด้วยการเผาทำลายมีค่าความเสียหายที่สูงกว่าการกำจัดด้วยการฝังกลบ

ตารางที่ 4- 6 ผลการคำนวณผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint Category) ของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

ผลกระทบขั้นปลาย	หน่วย	เม็ดพลาสติก	กระบวนการผลิต	การขนส่ง	การกำจัด		ค่าผลกระทบ
Carcinogens	DALY	8.45E-09	3.97E-10	3.05E-12	การฝังกลบ	3.51E-13	8.85E-09
					การเผาทำลาย	9.88E-11	8.95E-09
Non-carcinogens	DALY	5.24E-10	2.68E-11	5.62E-12	การฝังกลบ	7.23E-13	5.57E-10
					การเผาทำลาย	5.43E-10	1.10E-09
Respiratory Inorganics	DALY	4.17E-09	2.60E-10	5.42E-10	การฝังกลบ	2.33E-11	4.99E-09
					การเผาทำลาย	1.03E-10	5.07E-09
Ionizing Radiation	DALY	2.32E-12	1.02E-13	3.90E-13	การฝังกลบ	2.22E-14	2.85E-12
					การเผาทำลาย	3.40E-14	2.84E-12
Ozone Layer Depletion	DALY	3.42E-13	3.34E-14	5.30E-14	การฝังกลบ	2.26E-15	4.31E-13
					การเผาทำลาย	4.41E-15	4.33E-13
Respiratory Organics	DALY	1.18E-11	7.18E-13	2.36E-13	การฝังกลบ	2.46E-14	1.28E-11
					การเผาทำลาย	2.13E-13	1.29E-11
Aquatic Ecotoxicity	PDF•m^2•yr	5.20E-05	2.86E-06	2.32E-07	การฝังกลบ	3.96E-08	5.52E-05
					การเผาทำลาย	1.37E-06	5.65E-05
Terrestrial Ecotoxicity	PDF•m^2•yr	1.86E-05	2.75E-06	3.68E-05	การฝังกลบ	3.2E-07	5.84E-05
					การเผาทำลาย	1.91E-06	6.00E-05
Terrestrial Acidification/Nutrification	PDF•m^2•yr	8.71E-05	7.27E-06	1.72E-05	การฝังกลบ	7.84E-07	1.12E-04
					การเผาทำลาย	5.71E-06	1.17E-04
Land Occupation	PDF•m^2•yr	3.47E-06	2.95E-07	8.57E-08	การฝังกลบ	3.76E-06	7.61E-06
					การเผาทำลาย	1.87E-07	4.04E-06

ผลกระทบขั้นปลาย	หน่วย	เม็ดพลาสติก	กระบวนการผลิต	การขนส่ง	การกำจัด		ค่าผลกระทบ
Aquatic Acidification	-	-	-	-	การฝังกลบ	-	-
					การเผาทำลาย	-	-
Aquatic Eutrophication	-	-	-	-	การฝังกลบ	-	-
					การเผาทำลาย	-	-
Global Warming	kg CO_2 eq	2.99E-03	1.07E-03	2.65E-04	การฝังกลบ	1.48E-04	4.47E-03
					การเผาทำลาย	7.44E-03	1.18E-02
Non-renewable Energy	MJ primary	3.04E-01	2.01E-02	4.19E-03	การฝังกลบ	2.08E-04	3.29E-01
					การเผาทำลาย	2.57E-04	3.29E-01
Mineral Extraction	MJ primary	2.55E-06	3.80E-07	3.09E-08	การฝังกลบ	2.31E-09	2.96E-06
					การเผาทำลาย	5.31E-08	3.01E-06

ตารางที่ 4- 7 การจัดกลุ่มความเสียหาย (Damage Category) ของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

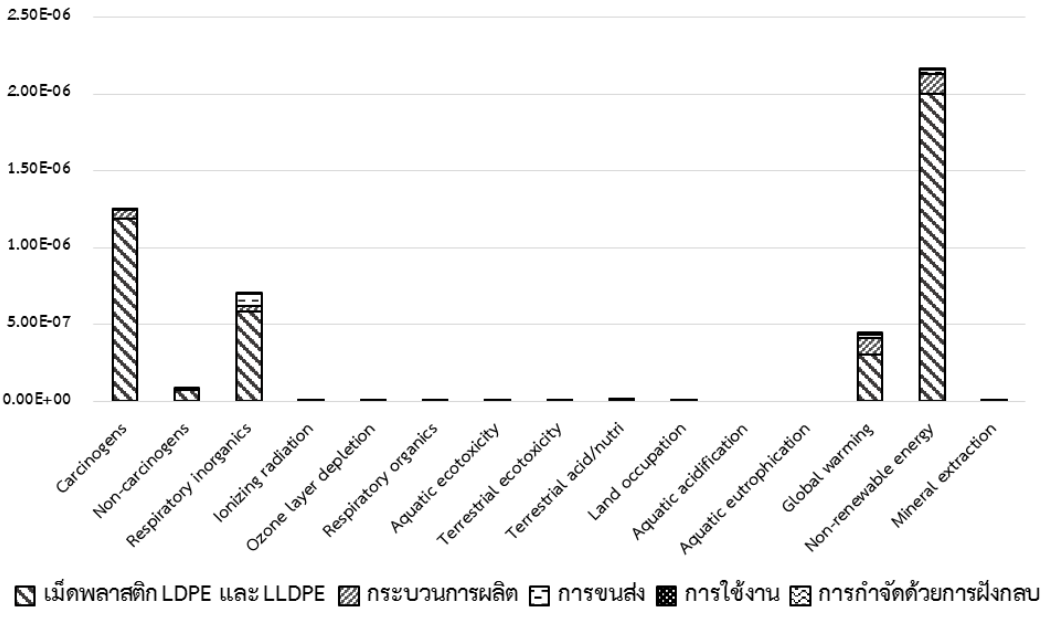
กลุ่มความเสียหาย	หน่วย	เม็ดพลาสติก	กระบวนการผลิต	การขนส่ง	การกำจัด		ค่าผลกระทบ
Human Health	DALY	1.32E-08	6.85E-10	5.51E-10	การฝังกลบ	2.44E-11	1.44E-08
					การเผาทำลาย	7.45E-10	1.51E-08
Ecosystem Quality	PDF•m^2•yr	1.61E-04	1.32E-05	5.43E-05	การฝังกลบ	4.92E-06	2.34E-04
					การเผาทำลาย	9.17E-06	2.38E-04
Climate Change	kg CO_2 eq	2.99E-03	1.07E-03	2.65E-04	การฝังกลบ	1.48E-04	4.47E-03
					การเผาทำลาย	7.44E-03	1.18E-02
Resources	MJ primary	3.04E-01	2.01E-02	4.19E-03	การฝังกลบ	2.08E-04	3.29E-01
					การเผาทำลาย	2.57E-04	3.29E-01

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

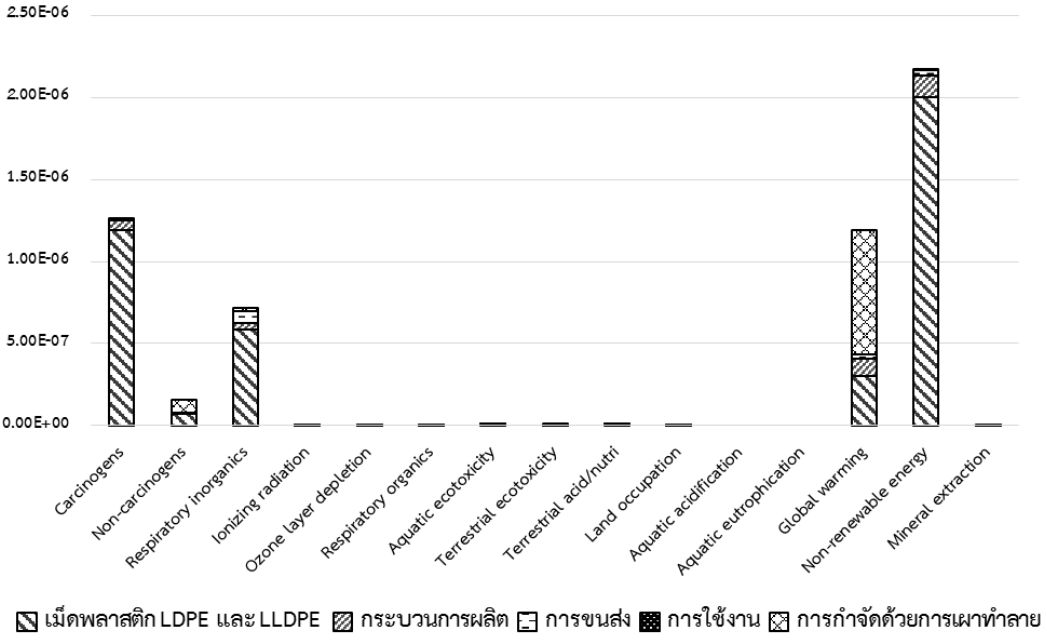
3. การเทียบหน่วย (Normalization)

การเทียบหน่วย (Normalization) คือ การปรับหน่วยของแต่ละผลกระทบให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกันและเพื่อให้เห็นถึงความสำคัญของแต่ละผลกระทบ เมื่อทำการเทียบหน่วยผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารที่มีการกำจัดด้วยการฝังกลบ (กรณีศึกษาที่ 1) พบว่า ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy) มีค่าสูงสุด รองลงมา ได้แก่ ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ (Respiratory Inorganics) ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming) และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens) ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4-15

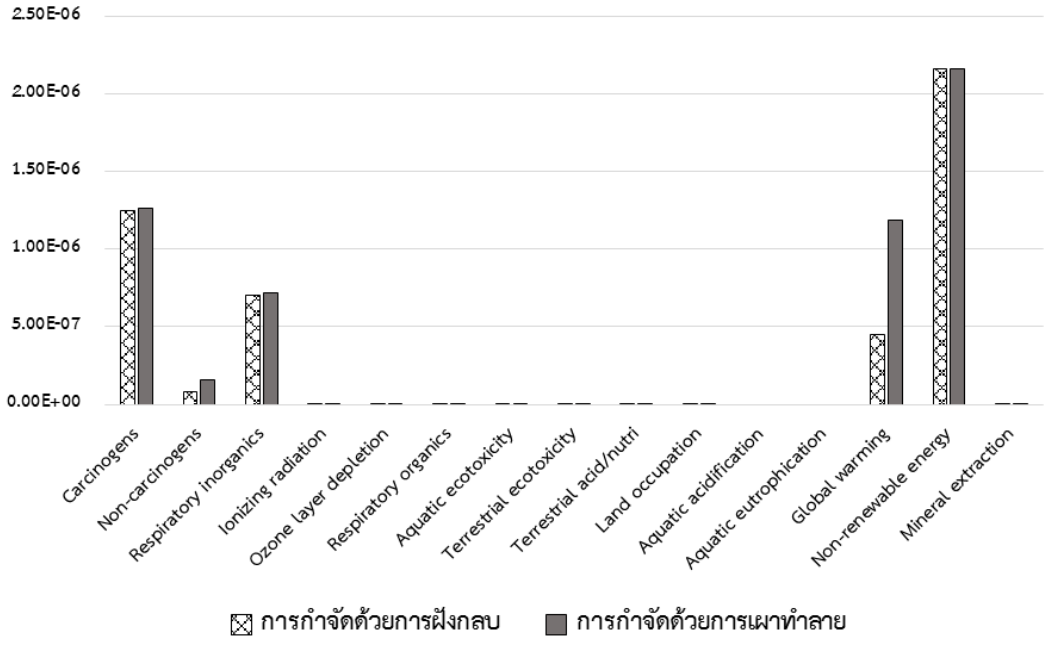
ในส่วนของผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารที่มีการกำจัดด้วยการเผาทำลาย (กรณีศึกษาที่ 2) พบว่า ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy) มีค่าผลกระทบสูงสุดเช่นกัน รองลงมา ได้แก่ ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens) ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ (Respiratory Inorganics) และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens) ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4-16 เมื่อทำการเปรียบเทียบจะเห็นว่าด้านที่มีผลกระทบสูง 5 อันดับของทั้งสองกรณีมีผลกระทบในด้านเดียวกันทั้ง 5 ผลกระทบ แตกต่างกันที่ลำดับการก่อให้เกิดผลกระทบ กล่าวคือ กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบมีค่าผลกระทบด้านการก่อให้เกิดโลกร้อนสูงเป็นอันดับ 4 ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลายให้ค่าผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนสูงขึ้นมาเป็นอันดับ 3 ดังรูปที่ 4-17 และเมื่อทำการรวมค่าผลกระทบทุกด้านเพื่อเปรียบเทียบค่าผลกระทบโดยรวมของทั้ง 2 กรณีศึกษา พบว่า กรณีศึกษาที่ 2 (การกำจัดด้วยการเผาทำลาย) มีค่าผลกระทบโดยรวมสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 1 (การกำจัดด้วยการฝังกลบ) ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4-8



รูปที่ 4- 15 ผลการเทียบหน่วย (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ



รูปที่ 4- 16 ผลการเทียบหน่วย (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย



รูปที่ 4- 17 เปรียบเทียบผลการเทียบหน่วย (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารระหว่างการกำจัดด้วยการฝังกลบและการกำจัดด้วยการเผาทำลาย

ตารางที่ 4- 8 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับบรรจุอาหาร ใน 2 กรณีศึกษา

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ	กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย
Carcinogens	1.25E-06	1.26E-06
Non-carcinogens	7.85E-08	1.55E-07
Respiratory Inorganics	7.04E-07	7.15E-07
Ionizing Radiation	4.02E-10	4.01E-10
Ozone Layer Depletion	6.08E-11	6.11E-11
Respiratory Organics	1.80E-09	1.83E-09
Aquatic Ecotoxicity	4.03E-09	4.12E-09
Terrestrial Ecotoxicity	4.27E-09	4.38E-09
Terrestrial Acidifiction/Nutrification	8.20E-09	8.56E-09
Land Occupation	5.55E-10	2.95E-10
Aquatic Acidification	-	-
Aquatic Eutrophication	-	-
Global Warming	4.52E-07	1.19E-06
Non-renewable Energy	2.16E-06	2.16E-06
Mineral Extraction	1.95E-11	1.98E-11
ผลกระทบรวม	**4.66E-06**	**5.50E-06**

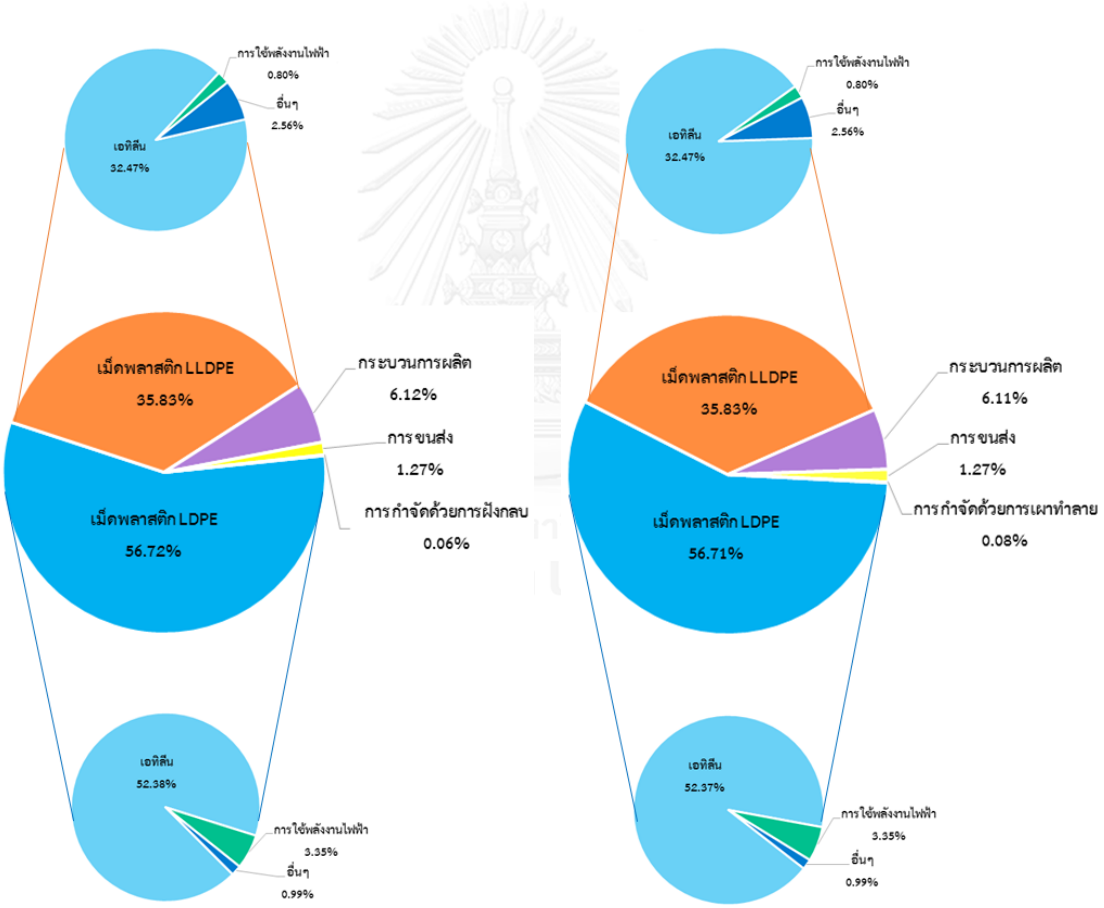
Chulalongkorn University

4. การแปลผลการศึกษา

จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ผลการประเมินที่ได้จะนำมาแปลผลการศึกษา เพื่อเปรียบเทียบและอภิปรายผลการประเมินสิ่งแวดล้อม โดยผู้วิจัยจึงทำการคัดเลือก 5 ผลกระทบหลัก ได้แก่ ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ (Respiratory Inorganics) ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming) และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens)

1) ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy)

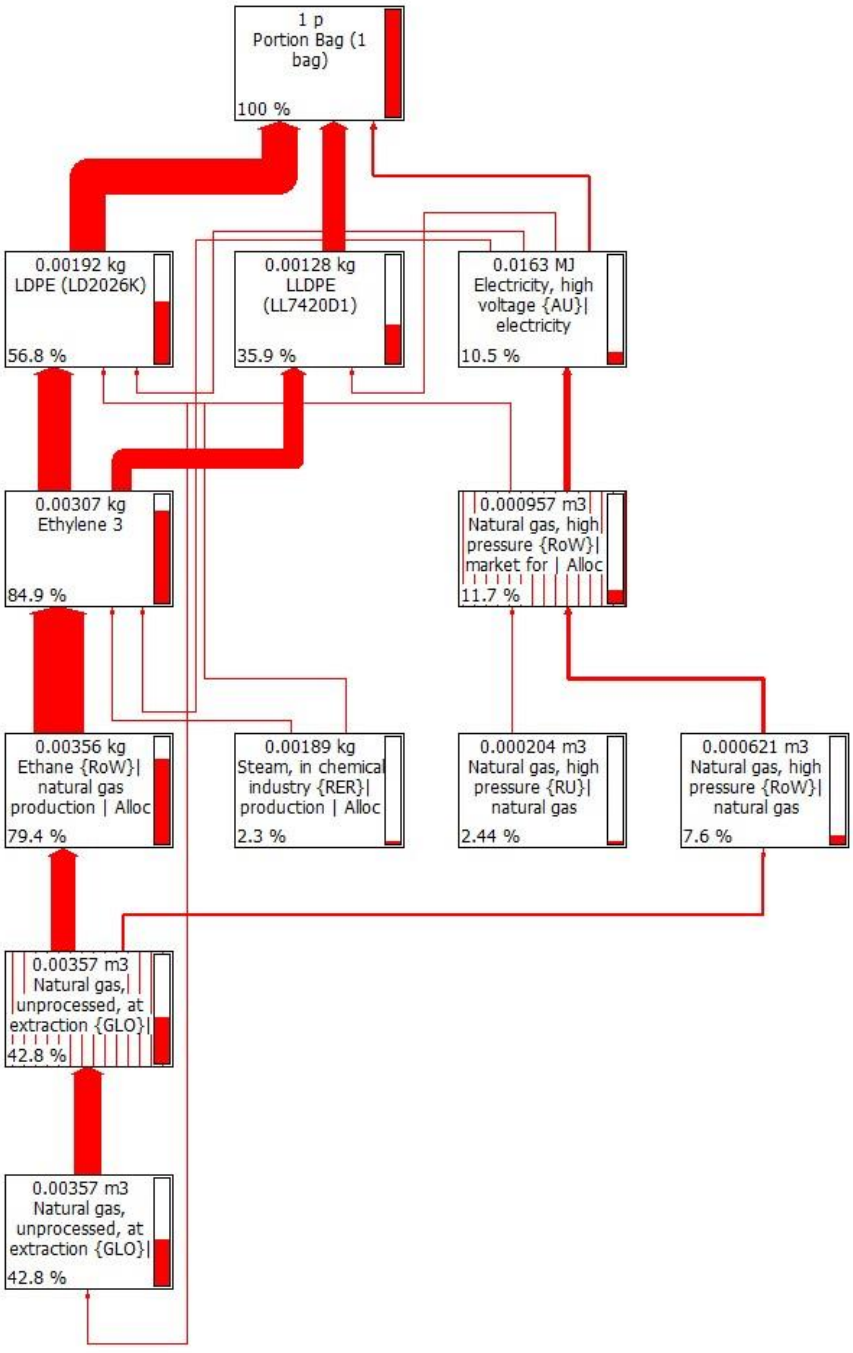
ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไปเป็นผลกระทบที่มากที่สุดจากการประเมินด้วยการเทียบหน่วย (Normalization) โดยจุดที่มีการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไปมากที่สุดของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร คือ การใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไปของแต่ละกระบวนการ พบว่า กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ มีผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป จากการใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE คือ 56.72% และ 35.72% ตามลำดับ และกรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย มีผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป จากการใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE คิดเป็น 56.71% และ 35.83% ตามลำดับ (รูปที่ 4-18)



กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย

รูปที่ 4- 18 สัดส่วนของผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไปของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

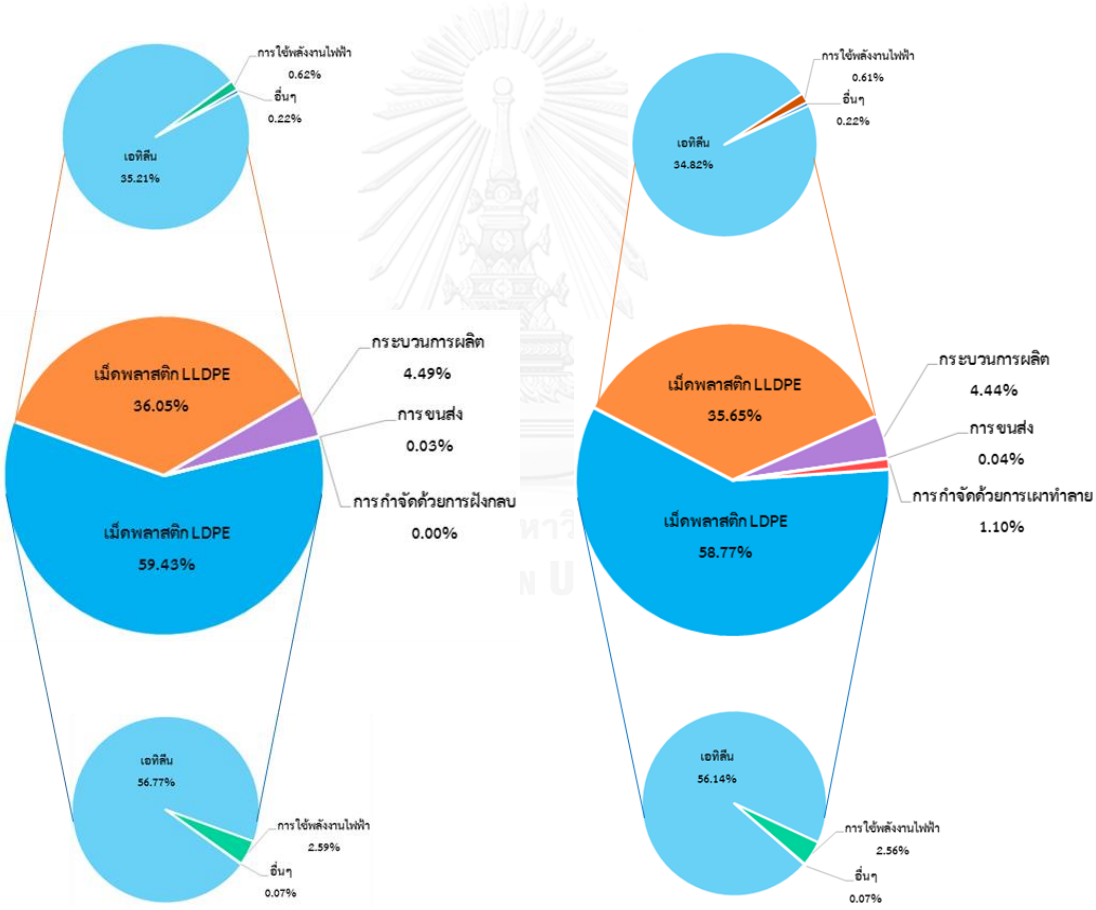
เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to Gate พบว่า ที่มาของผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป มาจากการผลิตเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE ซึ่งครอบคลุมถึงการได้มาของเอทิลีน โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ โรงแยกก๊าซธรรมชาติ และโรงโอเลฟินส์ โดยแสดงผังการไหลดังรูปที่ 4-19



รูปที่ 4- 19 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป ของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

2) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens)

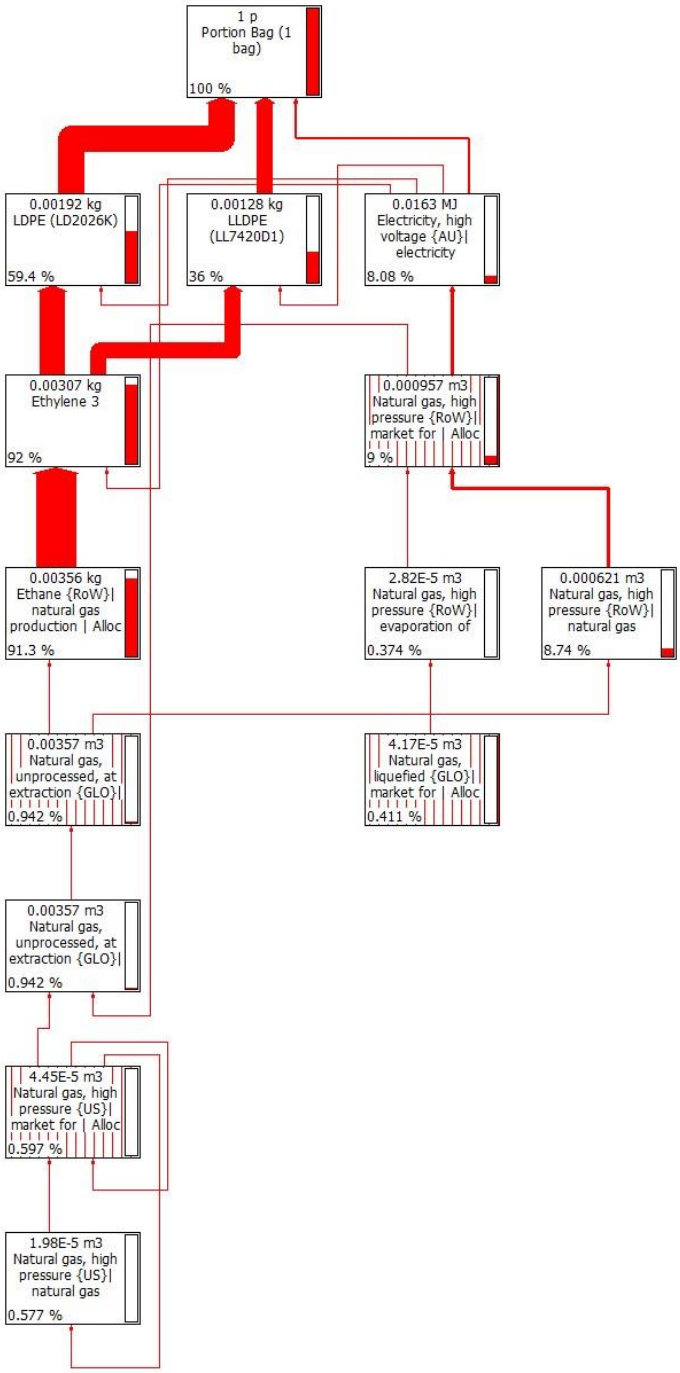
ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร แสดงสัดส่วนของผลกระทบดังรูปที่ 4-20 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งของแต่ละกระบวนการ เห็นได้ว่า 2 กรณีศึกษามีสัดส่วนที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งเหมือนกัน คือ เกิดจากการใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE โดยกรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ มีผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง จากการใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE คิดเป็น 59.43% และ 36.05% ตามลำดับ ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย มีผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง จากการใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE คิดเป็น 58.77% และ 35.65% ตามลำดับ



กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย

รูปที่ 4- 20 สัดส่วนของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

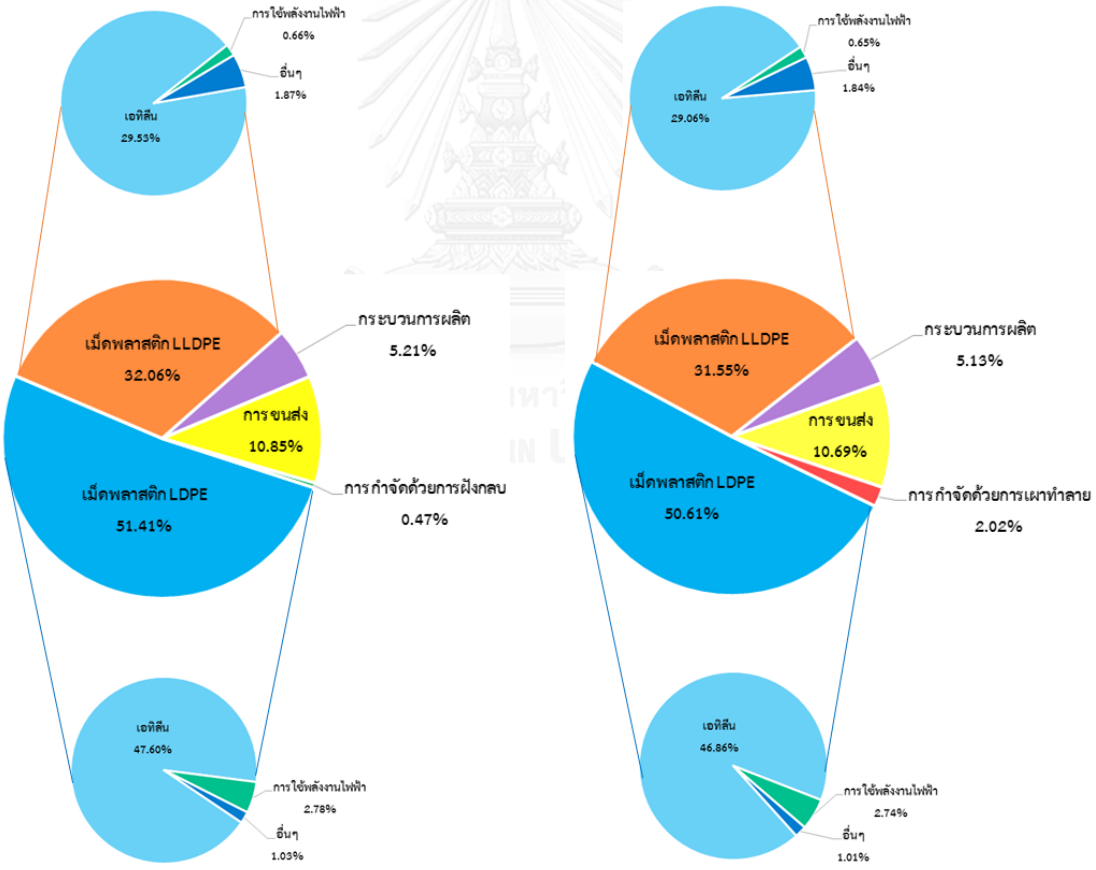
เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to Gate พบว่า ที่มาของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง มาจากการผลิตเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE ซึ่งครอบคลุมถึงการได้มาของเอทิลีน โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ โรงแยกก๊าซธรรมชาติ และโรงโอเลฟินส์ โดยแสดงผังการไหลดังรูปที่ 4-21



รูปที่ 4- 21 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

3) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ (Respiratory Inorganics)

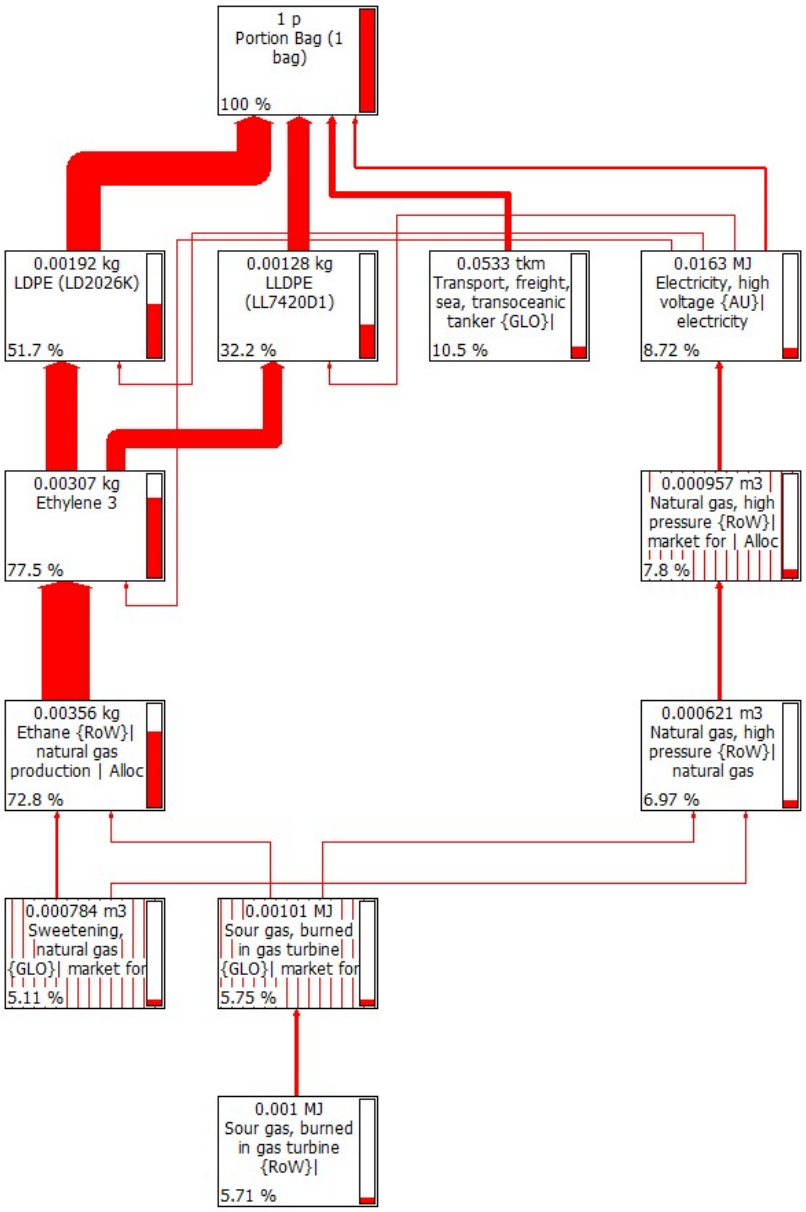
ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์เป็นผลกระทบที่เกิดจากฝุ่นละอองโดยส่วนใหญ่เป็นผลจากการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งมีการปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็ก ก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์ และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนออกสู่อากาศ หน่วยที่ใช้ในการพิจารณานั้นจะอยู่ในรูปของ kg PM2.5eq จากการประเมิน พบว่า กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ การใช้เม็ดพลาสติก LDPE (51.41%) และ LLDPE (32.06%) เป็นจุดที่ส่งผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์มากที่สุด รองลงมาคือ การขนส่ง (10.85%) ซึ่งส่วนใหญ่มาจากการขนส่งทางเรือถึง 10.30% และกรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย มีจุดที่ส่งผลกระทบเช่นเดียวกันกับกรณีที่ 1 คือ การใช้เม็ดพลาสติก LDPE (50.61%) และ LLDPE (31.55%) รองลงมาคือ การขนส่ง (10.69%) ซึ่งส่วนใหญ่มาจากการขนส่งทางเรือถึง 10.14% เช่นกัน เนื่องจากถุงซิปล็อคสำหรับอาหารมีการขนส่งทางเรือไปยังบริษัทลูกค้าที่ซื้อผลิตภัณฑ์ในประเทศสหรัฐอเมริกา (รูปที่ 4-22)



กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย

รูปที่ 4- 22 สัดส่วนของผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

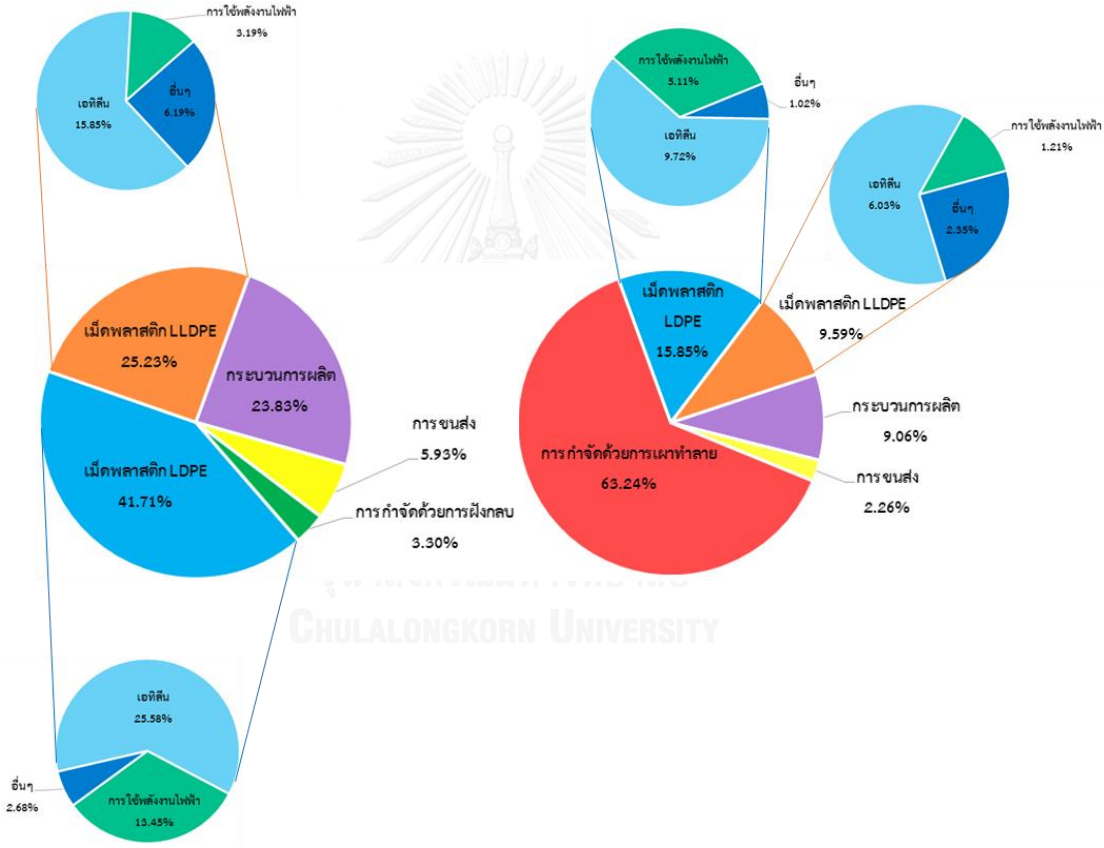
เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to Gate พบว่า การผลิตเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE เป็นจุดที่ทำให้เกิดผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์มากที่สุด ซึ่งครอบคลุมถึงการได้มาของเอทิลีน โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ โรงแยกก๊าซธรรมชาติ และโรงโอเลฟินส์ นอกจากนี้อีกหนึ่งจุดที่ควรพิจารณา คือ การขนส่ง เนื่องจากถุงซิปล็อคสำหรับอาหารมีการขนส่งทางเรือระยะทางไกลไปยังประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นที่ตั้งของบริษัทลูกค้าที่ซื้อผลิตภัณฑ์ โดยแสดงผังการไหลดังรูปที่ 4-23



รูปที่ 4- 23 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

4) ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming)

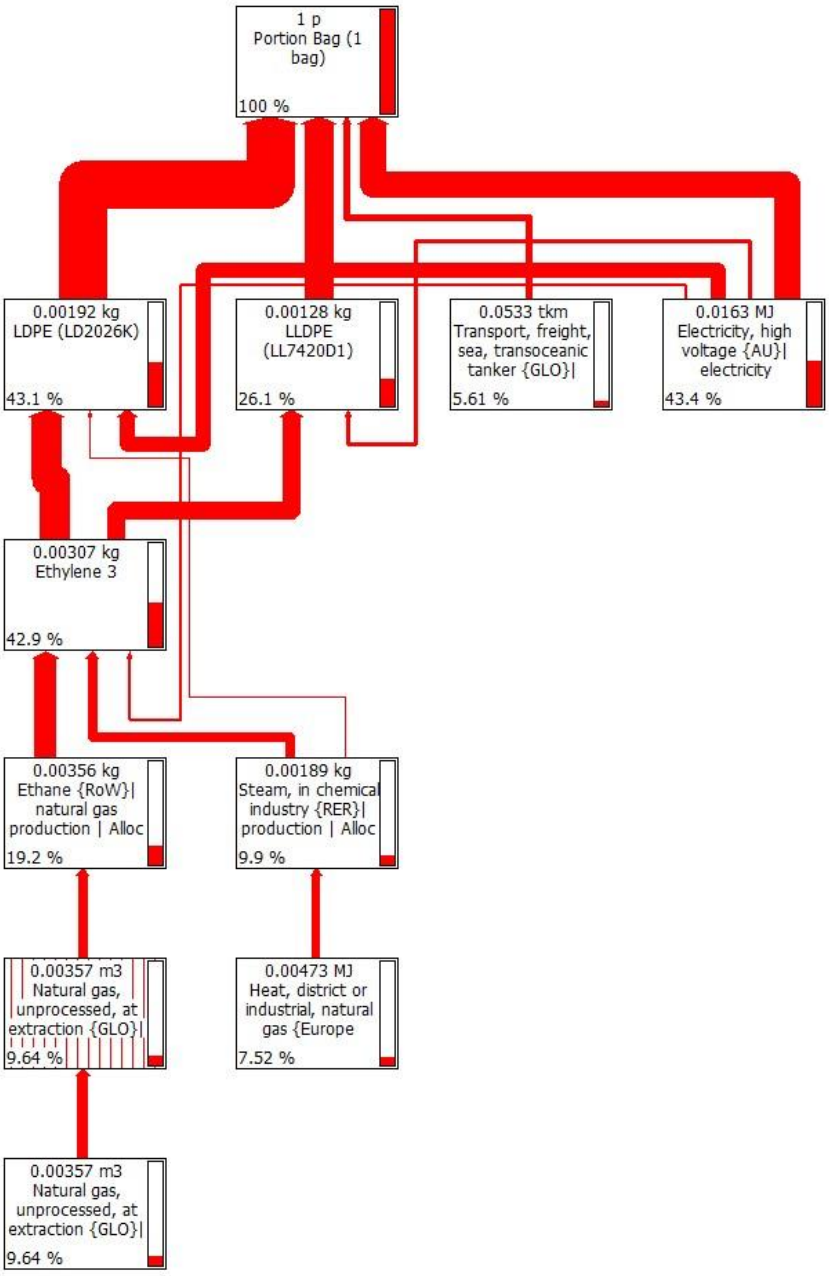
ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนของถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร แสดงในรูปที่ 4-24 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนของแต่ละกระบวนการ พบว่า ในกรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ ผลกระทบเกิดจาก การใช้เม็ดพลาสติก LDPE (41.71%) และ LLDPE (25.23%) มากที่สุด รองลงมา ได้แก่ กระบวนการผลิตถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร (23.83%) ซึ่งมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารถึง 22.90% และกรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย ผลกระทบเกิดจากการกำจัดด้วยวิธีการเผาทำลายมากที่สุด (63.24%)



กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย

รูปที่ 4- 24 สัดส่วนของผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

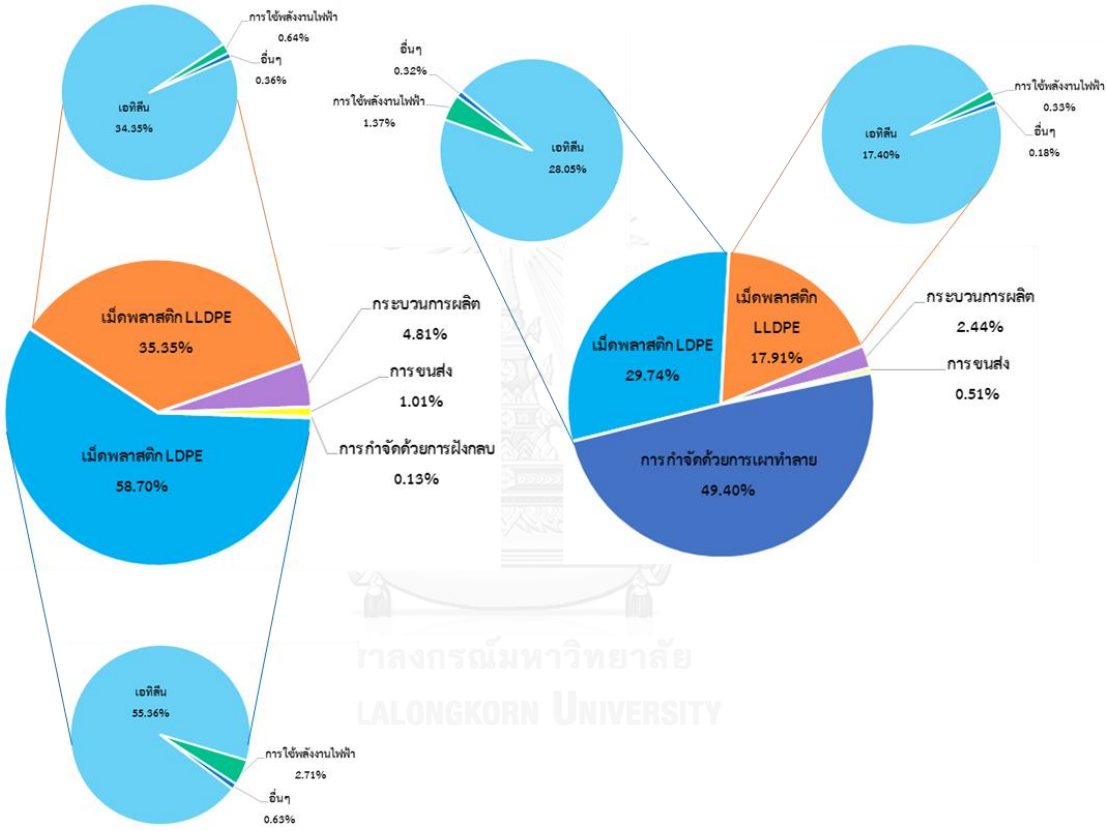
เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to Gate พบว่า ที่มาของผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน มาจากการผลิตเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE ซึ่งครอบคลุมถึงการได้มาของเอทิลีน โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ โรงแยกก๊าซธรรมชาติ และโรงโอเลฟินส์ แนวโน้มของผลกระทบมีลักษณะเช่นเดียวกับผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป และผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ โดยแสดงผังการไหลดังรูปที่ 4-25



รูปที่ 4- 25 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน ของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

5) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens)

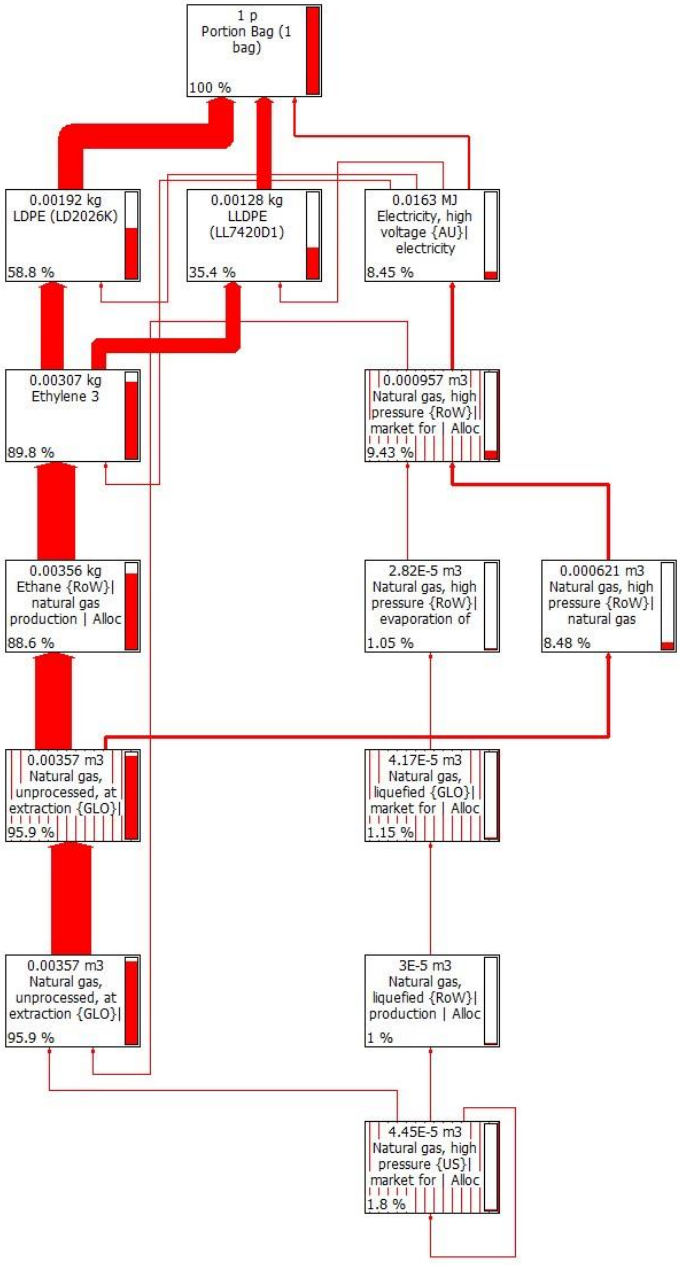
ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร แสดงในรูปที่ 4-26 โดยในกรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ ผลกระทบเกิดจากการใช้เม็ดพลาสติก LDPE (58.70%) และ LLDPE (35.35%) และกรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลายนั้นพบว่าผลกระทบมาจากการกำจัดด้วยการเผาทำลาย (49.40%) ใกล้เคียงกับผลกระทบที่เกิดจากวัตถุดิบ (47.65%) คือ เม็ดพลาสติก LDPE (29.74%) และ LLDPE (17.91%)



กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย

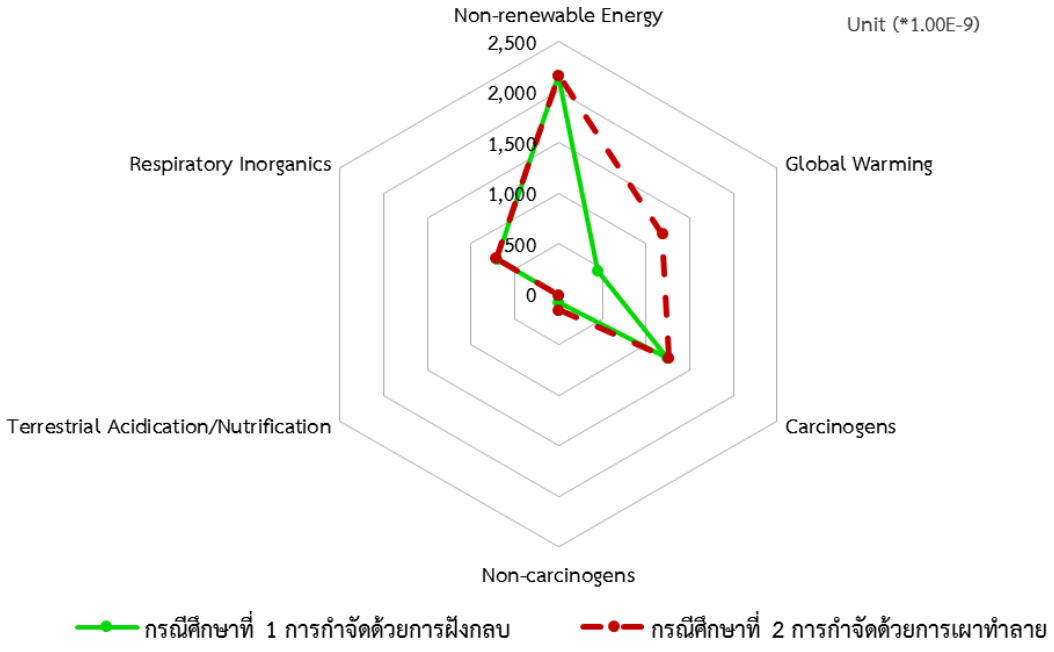
รูปที่ 4- 26 สัดส่วนของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to Gate พบว่า ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง มาจากการผลิตเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE ซึ่งครอบคลุมถึงการได้มาของเอทิลีน โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ โรงแยกก๊าซธรรมชาติ และโรงโอเลฟินส์ ทั้งนี้โดยส่วนใหญ่แล้ววัตถุดิบที่นำมาผลิตเอทิลีนจะมีสารจำพวกโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ เช่น ปรอท ซึ่งต้องมีการกำจัดก่อนเข้ากระบวนการผลิตเอทิลีน จึงทำให้เอทิลีนมีสัดส่วนของผลกระทบด้านนี้มากที่สุด ดังแสดงผังการไหลในรูปที่ 4-27



รูปที่ 4- 27 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลกระทบหลักที่มีผลกระทบสูงสุด 5 อันดับของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร ผู้วิจัยได้นำค่าผลกระทบมาจัดทำกราฟใยแมงมุม (Radar Chart) โดยทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของผลกระทบทั้งหมด 6 ผลกระทบ ประกอบด้วย ผลกระทบหลักสูงสุด 5 อันดับ และผลกระทบอันดับที่ 6 ที่มีค่าผลกระทบรองลงมาจากผลกระทบหลัก ซึ่งผลกระทบสูง 6 อันดับของกรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ และกรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลายนั้น เป็นผลกระทบในด้านเดียวกันทั้งสองกรณี ดังแสดงในรูปที่ 4-28 พบว่า กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ ผลกระทบที่มีค่าผลกระทบสูงสุด คือ ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy) รองลงมา คือ ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens) ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ (Respiratory Inorganics) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens) และผลกระทบด้านการเกิดความเป็นกรดหรือการเพิ่มสารอาหารในดิน (Terrestrial Acidification/Nutrification) ตามลำดับ ในส่วนของกรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย จะเห็นได้ว่าด้านที่มีผลกระทบสูง 6 อันดับเป็นผลกระทบในด้านเดียวกันกับกรณีศึกษาที่ 1 ทั้ง 6 ผลกระทบ แต่แตกต่างกันที่กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย มีค่าผลกระทบด้านผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนที่สูงกว่าการกำจัดด้วยการฝังกลบอย่างชัดเจน



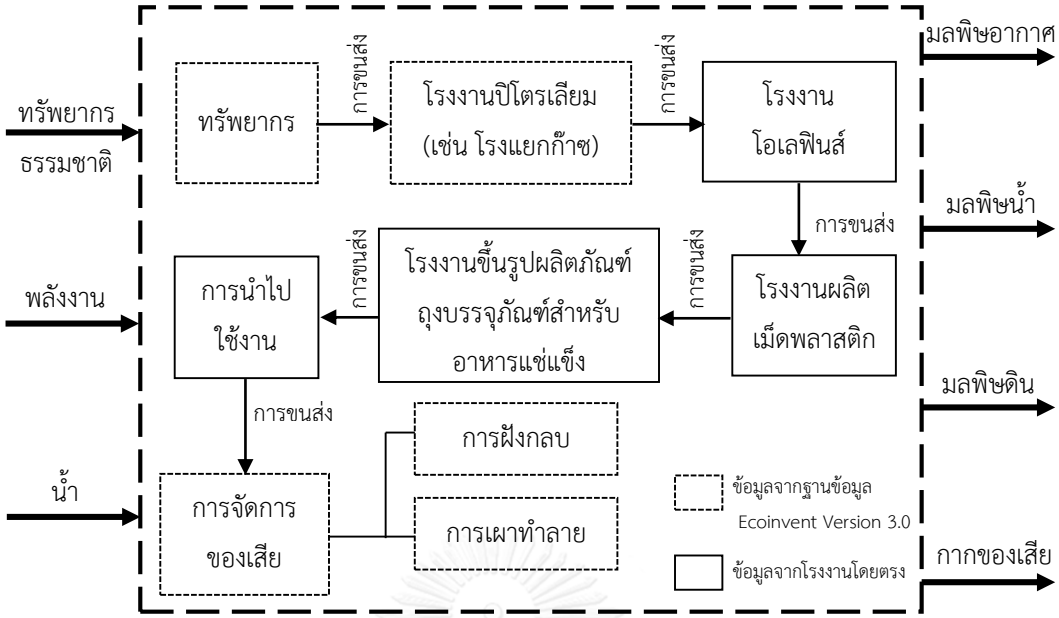
รูปที่ 4- 28 กราฟใยแมงมุมแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบหลักของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

4.5 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง 1 ถุง ซึ่งเป็นถุงที่มีขนาด 9.5 x 14 นิ้ว (รูปที่ 4-29) โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หน่วยการทำงาน คือ ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง 1 ถุง และขอบเขตการศึกษาครอบคลุมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ คือ Cradle to Grave ประกอบไปด้วย ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก กระบวนขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การใช้งาน และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 4-30

รูปที่ 4- 29 ผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

ทั้งนี้ขั้นตอนการใช้งานผลิตภัณฑ์จะไม่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อม เนื่องจากขั้นตอนนี้ไม่มีการใช้พลังงานรวมถึงไม่มีการเติมสารใดๆ เข้าไปในระหว่างการใช้งานอีกด้วย ในส่วนของขั้นตอนการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้ตั้งสมมุติฐานเบื้องต้นให้มีการกำจัดเป็น 2 กรณี เช่นเดียวกับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร คือ กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ (Landfill) เนื่องจากเป็นขยะมูลฝอยทั่วไป (Municipal Waste) และ กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย (Incineration) เนื่องด้วยมีการสอบถามและสัมภาษณ์นั้น พบว่า ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารจะไม่นิยมนำมารีไซเคิล



รูปที่ 4- 30 แผนผังแสดงขอบเขตการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

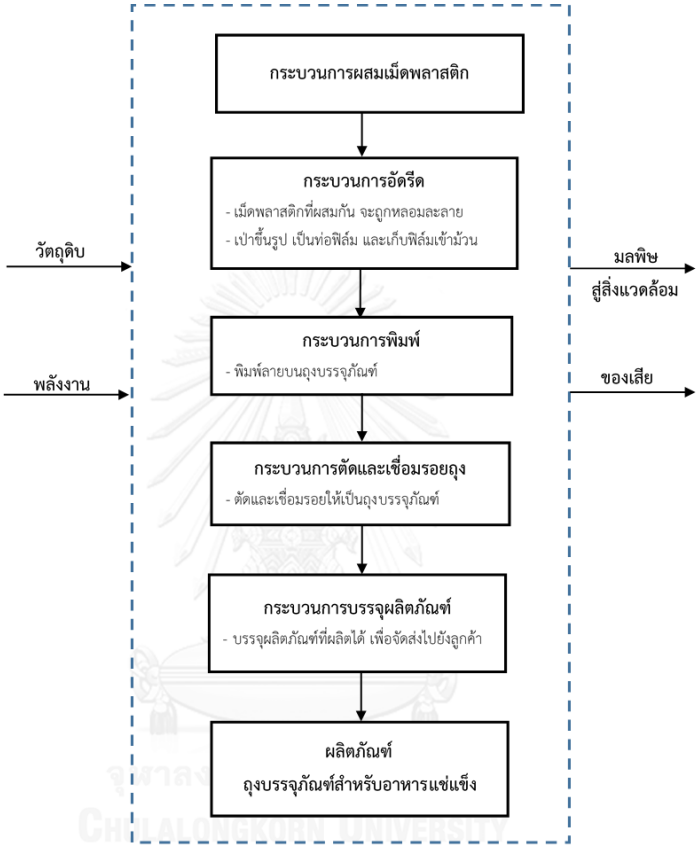
4.5.1 การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการเพื่อทำให้ทราบปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกในแต่ละกระบวนการ และสามารถนำบัญชีรายการไปประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro Version 8.2 การศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธีการประเมิน IMPACT 2002+ Version 2.12 เนื่องจากเป็นวิธีการที่ครอบคลุมการประเมินผลกระทบทั้งทางด้านสุขภาพ ระบบนิเวศ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการใช้ทรัพยากร

สำหรับผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งนั้น ขึ้นรูปจากการผสมกันของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear Low Density Polyethylene, LLDPE) ซึ่งมีสัดส่วนของเม็ดพลาสติก LDPE 20% และ LLDPE 80% โดยผู้วิจัยได้ลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูล และประสานงานกับทีมงานของโรงงานเพื่อทำความเข้าใจถึงกระบวนการผลิตของโรงงาน

กระบวนการผลิตถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง ดังรูปที่ 4-31 เริ่มด้วยเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE ที่ผสมตามสัดส่วนแล้วนั้น จะถูกส่งไปยังกระบวนการอัดรีด (Extrusion Process) ในขั้นตอนนี้เม็ดพลาสติกจะถูกหลอมและอัดรีด หลังจากนั้นเป่าเป็นแผ่นบาง ตามความหนาที่ต้องการ เมื่อผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นแผ่นแล้ว ฟิล์มพลาสติกจะถูกม้วนเพื่อเก็บเข้าม้วน จากนั้นม้วนฟิล์มจะ

เข้าสู่กระบวนการพิมพ์ ในขั้นตอนนี้จะมีการใช้หมึกสีเพื่อพิมพ์ลาย สำหรับถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งจะใช้สีเหลือง สีขาว และสีแดง เป็นสีพิมพ์ลายของถุง จากนั้นผลิตภัณฑ์จะเข้าสู่กระบวนการตัดและเชื่อมรอยต่อถุง (Conversion Process) ถึงขั้นตอนนี้ผลิตภัณฑ์จะถูกบรรจุลงในกล่องบรรจุภัณฑ์ และพร้อมจัดส่งไปยังลูกค้าต่อไป



รูปที่ 4- 31 แผนผังกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการการผลิตถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง โดยใช้ข้อมูลบัญชีมวลสารขาเข้าและขาออกของกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE อ้างอิงข้อมูลที่ได้รับจากโรงงานปิโตรเคมีและโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก ที่ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง ซึ่งเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE จะถูกใช้เป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการขึ้นรูปถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง ส่วนข้อมูลบัญชีมวลสารขาเข้าและขาออกของกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งนั้นได้รับข้อมูลจากโรงงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก ที่ตั้งอยู่ในตำบลแคราย อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร โดยมีบัญชีรายการมวลสาร ดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4- 9 บัญชีรายการมวลสารของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
หน่วยอ้างอิง	1	ถุง	1 ถุง หมายถึง ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง ขนาด 9.5 x 14 นิ้ว ความหนา 0.12 มิลลิเมตร น้ำหนักถุง 10.20 กรัม
มวลสารขาเข้า			
วัตถุดิบและสารเคมี			
เม็ดพลาสติก LDPE	2.12E-03	กิโลกรัมต่อถุง	ข้อมูลบัญชีรายการจากโรงงานปิโตรเคมี
เม็ดพลาสติก LLDPE	8.46E-03	กิโลกรัมต่อถุง	ข้อมูลบัญชีรายการจากโรงงานปิโตรเคมี
หมึกพิมพ์ (สีเหลือง)	9.46E-06	กิโลกรัมต่อถุง	
หมึกพิมพ์ (สีขาว)	9.08E-05	กิโลกรัมต่อถุง	
หมึกพิมพ์ (สีแดง)	4.82E-05	กิโลกรัมต่อถุง	
ตัวทำละลาย	1.45E-04	กิโลกรัมต่อถุง	
พลังงานขาเข้า			
พลังงานไฟฟ้า	2.37E-03	กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง	
การขนส่ง			
รถบรรทุก	3.44E-03	ตันต่อกิโลเมตร	
มวลสารขาออก			
การบำบัดของเสีย			
รีไซเคิลเศษพลาสติก	3.73E-04	กิโลกรัมต่อถุง	ขายเศษพลาสติกจากกระบวนการผลิตให้กับโรงงานรีไซเคิล

4.5.2 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมและการแปลผลการศึกษาของถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

งานวิจัยนี้ได้ได้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของถุงบรรจุภัณฑ์บรรจุอาหารแช่แข็ง 1 ถุง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro Version 8.2 คำนวณด้วยวิธี IMPACT 2002+ โดยลักษณะการประเมิน ประกอบด้วย การประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint Category) และการประเมินผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint Category) ในรูปแบบของการประเมินความเสียหาย (Damage Category) ซึ่งการประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint) ประกอบไปด้วย 15 ผลกระทบ ได้แก่

1) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens)

2) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens)

3) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ (Respiratory Inorganics)

4) ผลกระทบด้านการปล่อยกัมมันตภาพรังสี (Ionizing Radiation)

5) ผลกระทบด้านการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone Layer Depletion)

6) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอินทรีย์ (Respiratory Organics)

7) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำ (Aquatic Ecotoxicity)

8) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อดิน (Terrestrial Ecotoxicity)

9) ผลกระทบด้านการเกิดความเป็นกรดหรือการเพิ่มสารอาหารในดิน (Terrestrial Acidification/Nutrification)

10) ผลกระทบด้านการใช้ที่ดิน (Land Occupation)

11) ผลกระทบด้านการเกิดความเป็นกรดในแหล่งน้ำ (Aquatic Acidification)

12) ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหาร (Aquatic Eutrophication)

13) ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming)

14) ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy)

15) ผลกระทบด้านการสกัดแร่ธาตุ (Mineral Extraction)

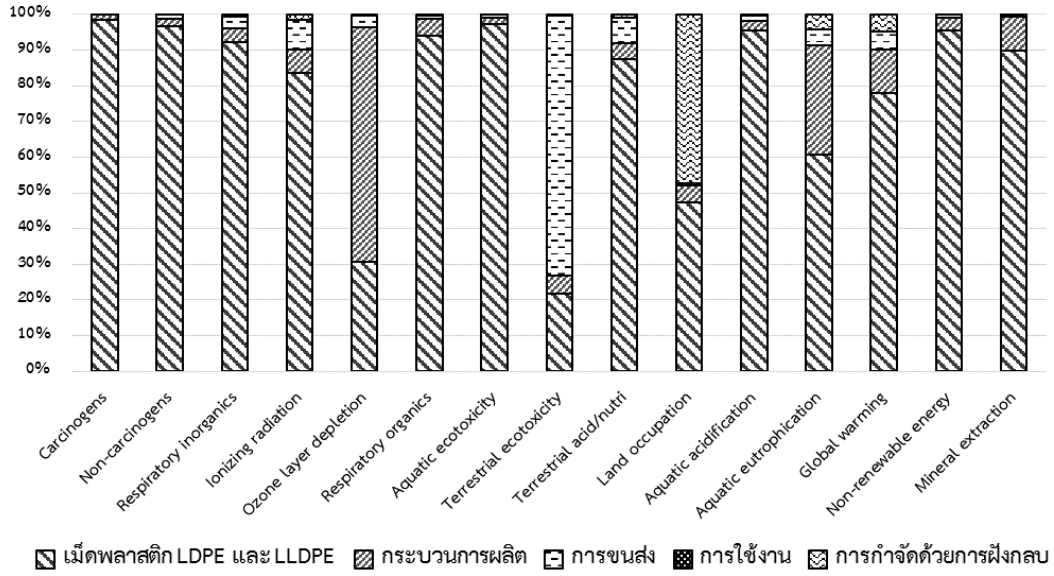
การประเมินผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint) เป็นการแปลงค่าผลกระทบขั้นกลางด้านต่างๆ ให้อยู่ในรูปแบบของกลุ่มความเสียหาย (Damage Assessment) 4 กลุ่มหลัก ได้แก่

1) ความเสียหายด้านสุขภาพมนุษย์ (Human Health) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดปีสุขภาวะที่สูญเสียไปจากโรคและการบาดเจ็บของประชากร (Disability-Adjusted Life Year: DALY)
2) ด้านคุณภาพระบบนิเวศ (Ecosystem Quality) ซึ่งจะบ่งชี้ศักยภาพการสูญหายของสายพันธุ์บนพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในช่วงระยะเวลา 1 ปี (PDF*m^2*yr)
3) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ซึ่งจะแสดงผลในรูป kg CO_2 eq
4) ด้านการใช้ทรัพยากร (Resources) ซึ่งจะแสดงผลในหน่วยของพลังงานขั้นต้น (MJ primary)

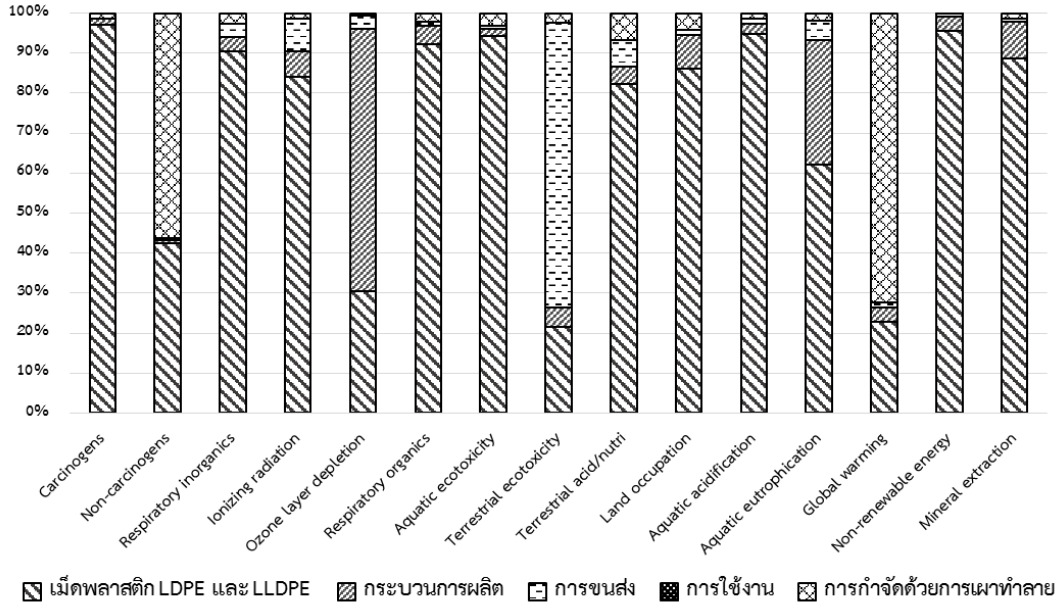
1. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลาง (Midpoint Category)

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง ดังรูปที่ 4-32 แสดงผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งที่มีการกำจัดด้วยการฝังกลบ (กรณีศึกษาที่ 1) ในหลายด้านมีสัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดมาจากการใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE เนื่องจากเม็ดพลาสติกใช้เอทิลีนเป็นวัตถุดิบ ซึ่งเอทิลีนมาจากก๊าซธรรมชาติ และมีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในกระบวนการผลิตปริมาณมาก จึงทำให้การใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE มีผลกระทบสูงที่สุดในทุกด้าน ยกเว้นผลกระทบด้านการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone Layer Depletion) และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อดิน (Terrestrial Ecotoxicity) โดยผลกระทบด้านการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศมาจากกระบวนการผลิตถุงบรรจุภัณฑ์ (65.74%) ซึ่งมาจากกระบวนการพิมพ์ที่มีการใช้ตัวทำละลายในการผสมหมึกพิมพ์ ผลกระทบจากตัวทำละลายสูงถึง 63.66% ในส่วนของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อดินมีสัดส่วนของการขนส่งสูงที่สุด คือ 72.60%

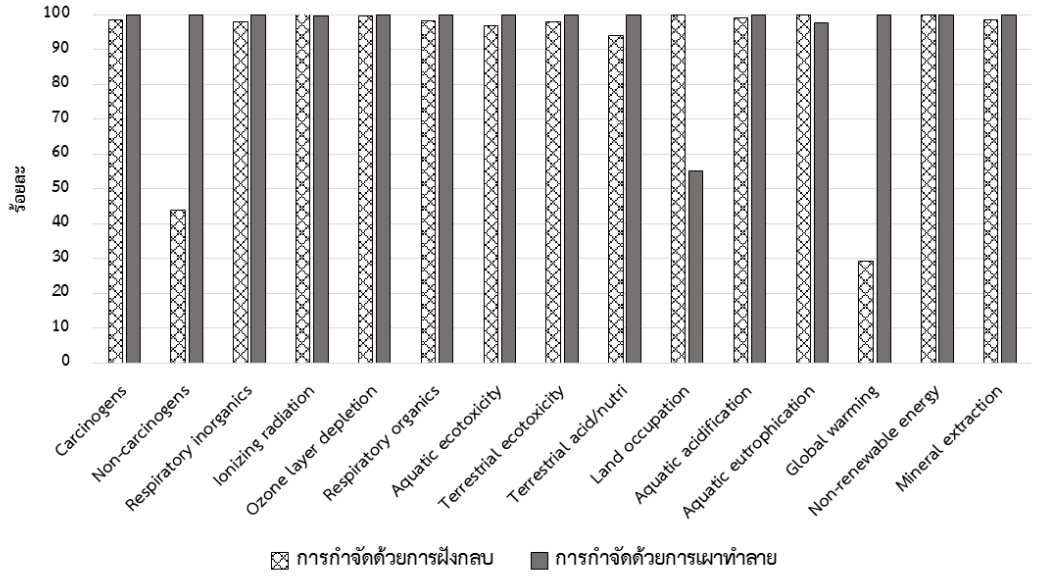
ในขณะที่ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งที่มีการกำจัดด้วยการเผาทำลาย (กรณีศึกษาที่ 2) ดังรูปที่ 4-33 พบว่า การเผากำจัดซากผลิตภัณฑ์นั้นก่อให้เกิดผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming) และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens) ที่สูงกว่าการกำจัดด้วยการฝังกลบ และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งระหว่างการกำจัดด้วยการฝังกลบ (กรณีศึกษาที่ 1) และการกำจัดด้วยการเผาทำลาย (กรณีศึกษาที่ 2) ผลกระทบสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่ไปในทิศทางเดียวกัน โดยผลกระทบที่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่แตกต่าง คือ ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง และผลกระทบด้านการใช้ที่ดิน แสดงดังรูปที่ 4-34 เนื่องจากการเผาก่อให้เกิดผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็งที่สูงกว่า แต่ทว่าการกำจัดด้วยฝังกลบมีผลกระทบด้านการใช้ที่ดิน จากการใช้ที่ดินในการฝังกลบเพื่อกำจัดซากผลิตภัณฑ์ที่สูงกว่า



รูปที่ 4- 32 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ



รูปที่ 4- 33 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย



รูปที่ 4- 34 เปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง ระหว่างการกำจัดด้วยการฝังกลบและการกำจัดด้วยการเผาทำลาย

2. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นปลาย (Endpoint Category)

จากการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม Midpoint ของถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งตลอดวัฏจักรชีวิต สามารถนำมาคำนวณเป็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นปลาย (Endpoint) โดยใช้ค่า Characterization Factor ที่อ้างอิงตามวิธีการ IMPACT 2002+ Version 2.12 ดังแสดงในตารางที่ 4-10

ผลการประเมินกลุ่มความเสียหายดังแสดงในตารางที่ 4-11 พบว่า ทั้ง 4 กลุ่มบ่งชี้ผลการศึกษาไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ การใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE ของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง ก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุดในความเสียหายทั้ง 4 ด้าน ประกอบด้วย ผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์ (Human Health) ผลกระทบด้านคุณภาพระบบนิเวศ (Ecosystem Quality) ผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (Climate Change) และผลกระทบด้านทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) เมื่อพิจารณาผลการประเมินกลุ่มความเสียหายตลอดวัฏจักรชีวิต โดยการเปรียบเทียบการกำจัดด้วยการฝังกลบและการกำจัดด้วยการเผาทำลาย พบว่า ทั้งสองกรณีมีค่าความเสียหายในแต่ละด้านใกล้เคียงกัน ยกเว้นความเสียหายด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ซึ่งการกำจัดด้วยการเผาทำลายมีค่าความเสียหายที่สูงกว่าการกำจัดด้วยการฝังกลบ

ตารางที่ 4- 10 ผลการคำนวณผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint Category) ของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

ผลกระทบขั้นปลาย	หน่วย	เม็ดพลาสติก	กระบวนการผลิต	การขนส่ง	การกำจัด		ค่าผลกระทบ
Carcinogens	DALY	2.72E-08	4.40E-10	2.84E-12	การฝังกลบ	1.44E-12	2.76E-08
					การเผาทำลาย	4.05E-10	2.80E-08
Non-carcinogens	DALY	1.68E-09	3.53E-11	1.88E-11	การฝังกลบ	2.98E-12	1.74E-09
					การเผาทำลาย	2.23E-09	3.96E-09
Respiratory Inorganics	DALY	1.36E-08	5.31E-10	4.94E-10	การฝังกลบ	9.53E-11	1.47E-08
					การเผาทำลาย	4.20E-10	1.50E-08
Ionizing Radiation	DALY	9.02E-12	6.98E-13	8.80E-13	การฝังกลบ	1.71E-13	1.08E-11
					การเผาทำลาย	1.39E-13	1.07E-11
Ozone Layer Depletion	DALY	1.07E-12	2.29E-12	1.16E-13	การฝังกลบ	9.24E-15	3.48E-12
					การเผาทำลาย	1.81E-14	3.49E-12
Respiratory Organics	DALY	3.77E-11	1.86E-12	4.35E-13	การฝังกลบ	1.01E-13	4.01E-11
					การเผาทำลาย	8.71E-13	4.09E-11
Aquatic Ecotoxicity	PDF•m^2•yr	1.67E-04	3.03E-06	1.31E-06	การฝังกลบ	1.64E-07	1.72E-04
					การเผาทำลาย	5.61E-06	1.77E-04
Terrestrial Ecotoxicity	PDF•m^2•yr	7.12E-05	1.64E-05	2.36E-04	การฝังกลบ	1.41E-06	3.25E-04
					การเผาทำลาย	7.81E-06	3.31E-04
Terrestrial Acidification/Nutrification	PDF•m^2•yr	2.84E-04	1.45E-05	2.28E-05	การฝังกลบ	3.21E-06	3.24E-04
					การเผาทำลาย	2.34E-05	3.45E-04
Land Occupation	PDF•m^2•yr	1.55E-05	1.48E-06	2.26E-07	การฝังกลบ	1.54E-05	3.26E-05
					การเผาทำลาย	7.67E-07	1.79E-05
Aquatic Acidification	-	-	-	-	การฝังกลบ	-	-
					การเผาทำลาย	-	-
Aquatic Eutrophication	-	-	-	-	การฝังกลบ	-	-
					การเผาทำลาย	-	-
Global Warming	kg CO_2 eq	9.62E-03	1.51E-03	5.91E-04	การฝังกลบ	6.05E-04	1.23E-02
					การเผาทำลาย	3.05E-02	4.22E-02
Non-renewable Energy	MJ primary	9.95E-01	3.68E-02	9.13E-03	การฝังกลบ	8.51E-04	1.04E+00
					การเผาทำลาย	1.05E-03	1.04E+00
Mineral Extraction	MJ primary	1.30E-05	1.35E-06	9.96E-08	การฝังกลบ	9.47E-09	1.44E-05
					การเผาทำลาย	2.18E-07	1.46E-05

ตารางที่ 4- 11 การจัดกลุ่มความเสียหาย (Damage Category) ของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

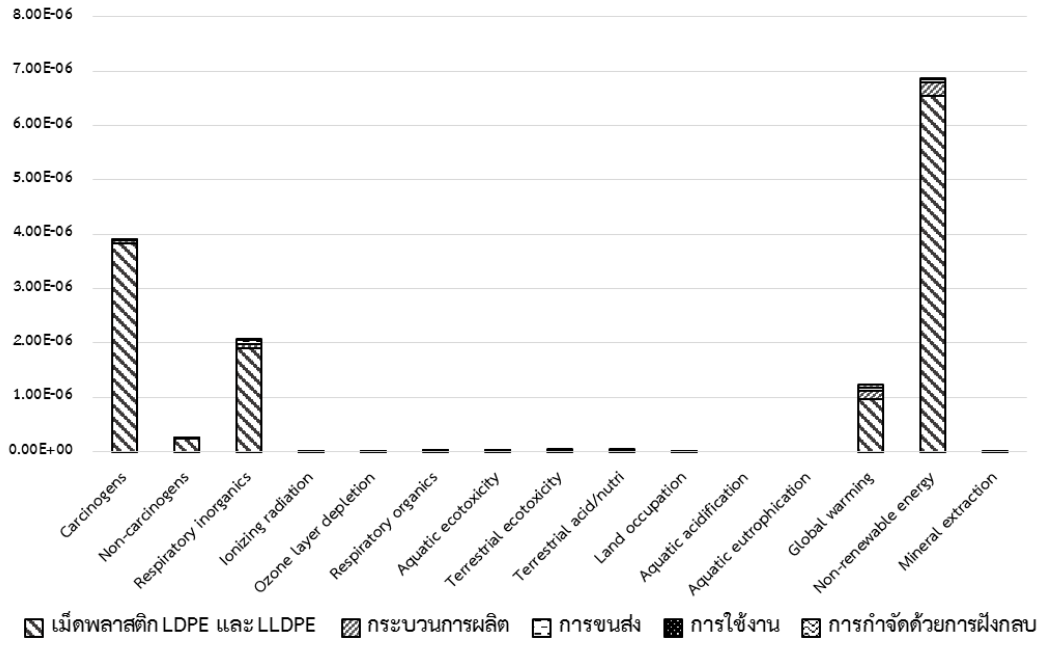
กลุ่มความเสียหาย	หน่วย	เม็ดพลาสติก	กระบวนการผลิต	การขนส่ง	การกำจัด		ค่าผลกระทบ
Human Health	DALY	4.25E-08	1.01E-09	5.17E-10	การฝังกลบ	1.00E-10	4.41E-08
					การเผาทำลาย	3.05E-09	4.70E-08
Ecosystem Quality	PDF•m^2•yr	5.38E-04	3.54E-05	2.60E-04	การฝังกลบ	2.02E-05	8.54E-04
					การเผาทำลาย	3.76E-05	8.71E-04
Climate Change	kg CO_2 eq	9.62E-03	1.51E-03	5.91E-04	การฝังกลบ	6.05E-04	1.23E-02
					การเผาทำลาย	3.05E-02	4.22E-02
Resources	MJ primary	9.95E-01	3.68E-02	9.13E-03	การฝังกลบ	8.51E-04	1.04E+00
					การเผาทำลาย	1.06E-03	1.04E+00

3. การเทียบหน่วย (Normalization)

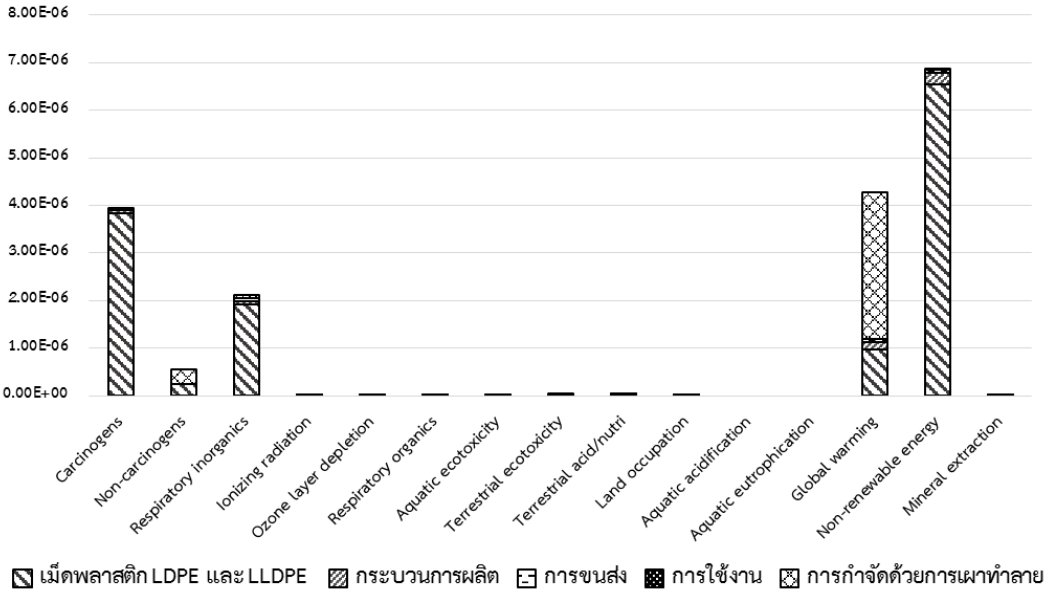
การเทียบหน่วย (Normalization) คือ การปรับหน่วยของแต่ละผลกระทบให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกันและเพื่อให้เห็นถึงความสำคัญของแต่ละผลกระทบ เมื่อทำการเทียบหน่วยผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งที่มีการกำจัดด้วยการฝังกลบ (กรณีศึกษาที่ 1) พบว่า ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy) มีค่าสูงสุด รองลงมา ได้แก่ ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ (Respiratory Inorganics) ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming) และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens) ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4-35

ในส่วนของผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งที่มีการกำจัดด้วยการเผาทำลาย (กรณีศึกษาที่ 2) พบว่า ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy) มีค่าผลกระทบสูงสุดเช่นกัน รองลงมา ได้แก่ ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ (Respiratory Inorganics) และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens) ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4-36 เมื่อทำการเปรียบเทียบจะเห็นว่าด้านที่มีผลกระทบสูง 5 อันดับของทั้งสองกรณีมีผลกระทบในด้านเดียวกันทั้ง 5 ผลกระทบแตกต่างกันที่ลำดับการก่อให้เกิดผลกระทบ กล่าวคือ กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบให้ค่าผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งสูงเป็นอันดับ 2 รองจากผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลายให้ค่าผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนสูงกว่ากรณีที่ 1 โดยผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนมีค่าผลกระทบสูงขึ้นมาเป็นอันดับ 2 ดังรูปที่ 4-37 และเมื่อทำการรวมค่าผลกระทบทุกด้านเพื่อเปรียบเทียบค่าผลกระทบโดยรวมของทั้ง

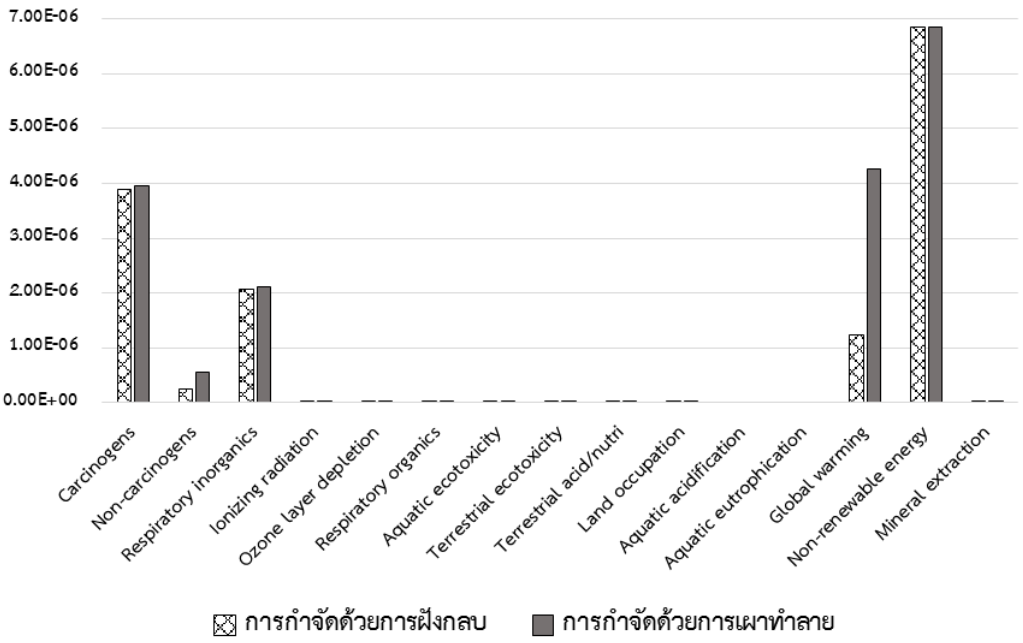
2 กรณีศึกษา พบว่า การกำจัดด้วยการเผาทำลาย (กรณีศึกษาที่ 2) มีค่าผลกระทบโดยรวมสูงกว่าการกำจัดด้วยการฝังกลบ (กรณีศึกษาที่ 1) ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4-12



รูปที่ 4- 35 ผลการเทียบหน่วย (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ



รูปที่ 4- 36 ผลการเทียบหน่วย (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย



รูปที่ 4- 37 เปรียบเทียบผลการเทียบหน่วย (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งระหว่างการกำจัดด้วยการฝังกลบและการกำจัดด้วยการเผาทำลาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4- 12 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งใน 2 กรณีศึกษา

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ	กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย
Carcinogens	3.89E-06	3.95E-06
Non-carcinogens	2.45E-07	5.58E-07
Respiratory Inorganics	2.07E-06	2.11E-06
Ionizing Radiation	1.52E-09	1.51E-09
Ozone Layer Depletion	4.91E-10	4.92E-10
Respiratory Organics	5.65E-09	5.76E-09
Aquatic Ecotoxicity	1.25E-08	1.29E-08
Terrestrial Ecotoxicity	2.37E-08	2.42E-08
Terrestrial Acidifiction/Nutrification	2.37E-08	2.52E-08
Land Occupation	2.38E-09	1.31E-09
Aquatic Acidification	-	-
Aquatic Eutrophication	-	-
Global Warming	1.24E-06	4.26E-06
Non-renewable Energy	6.85E-06	6.85E-06
Mineral Extraction	9.49E-11	9.63E-11
ผลกระทบรวม	**1.44E-05**	**1.78E-05**

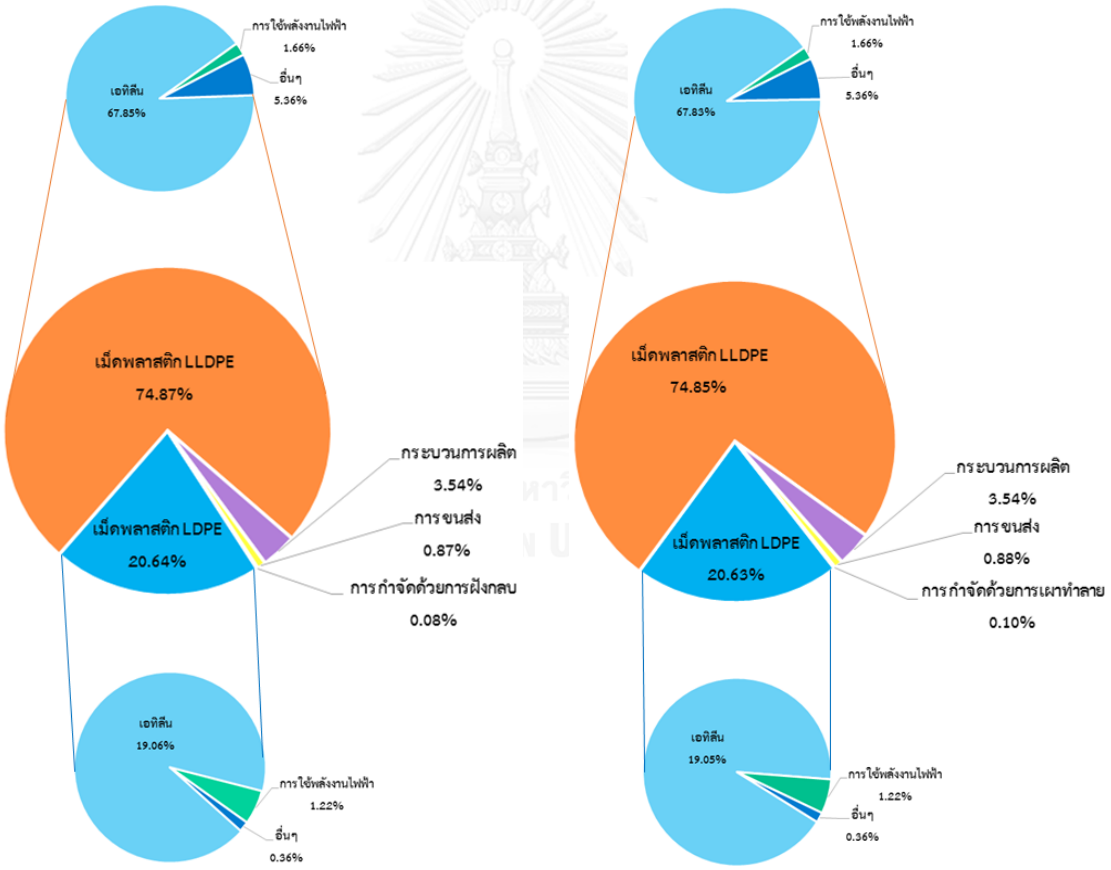
Chulalongkorn University

4. การแปลผลการศึกษา

จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ผลการประเมินที่ได้จะนำมาแปลผลการศึกษา เพื่อเปรียบเทียบและอภิปรายผลการประเมินสิ่งแวดล้อม โดยผู้วิจัยจึงทำการคัดเลือก 5 ผลกระทบหลัก ได้แก่ ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ (Respiratory Inorganics) ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming) และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens)

1) ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy)

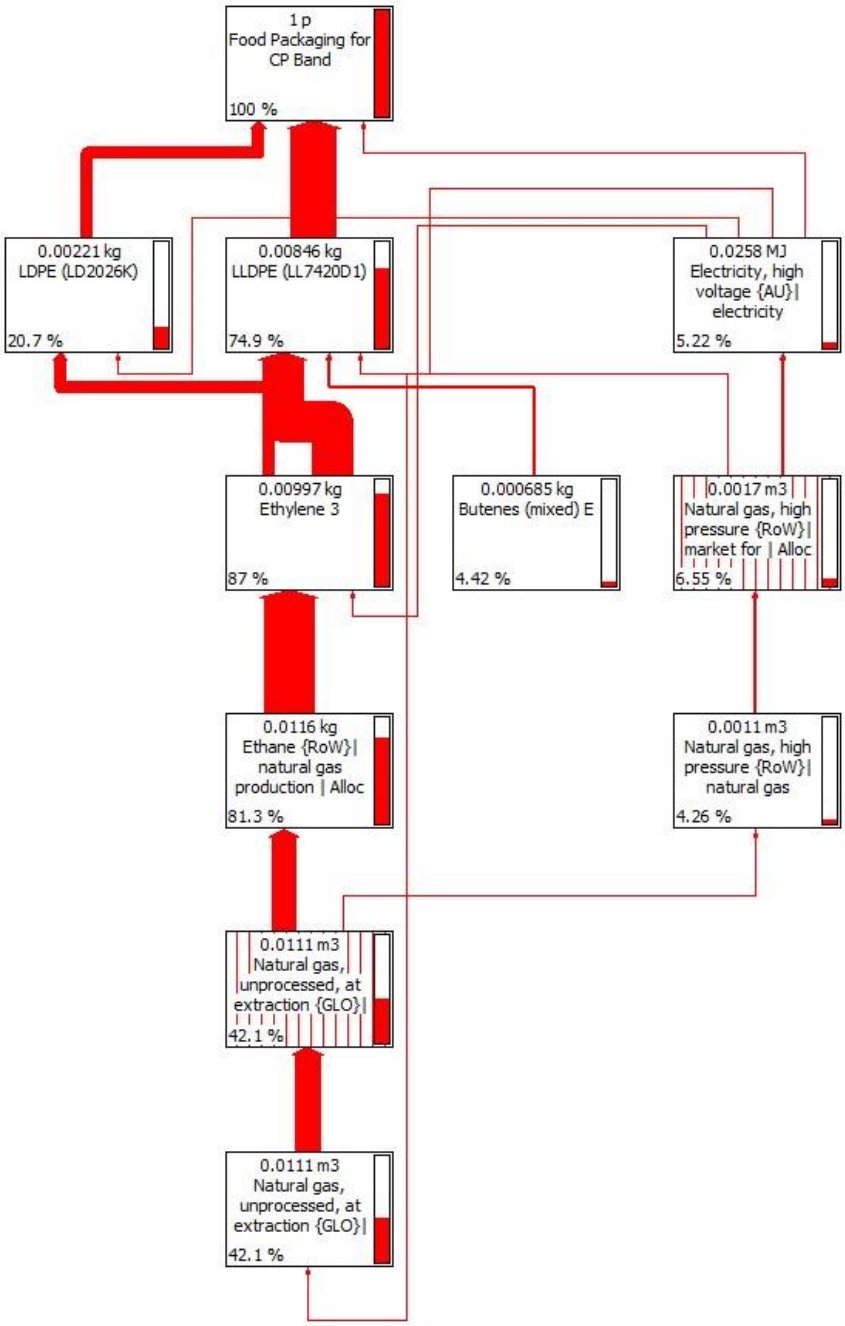
ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไปเป็นผลกระทบที่มากที่สุดจากการประเมินด้วยการเทียบหน่วย (Normalization) โดยจุดที่มีการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไปมากที่สุดของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง คือ การใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไปของแต่ละกระบวนการ พบว่า กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ มีผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป จากการใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE คือ 20.64% และ 74.87% ตามลำดับ และกรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย มีผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป จากการใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE คิดเป็น 20.63% และ 74.85% ตามลำดับ (รูปที่ 4-38)



กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย

รูปที่ 4- 38 สัดส่วนของผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไปของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

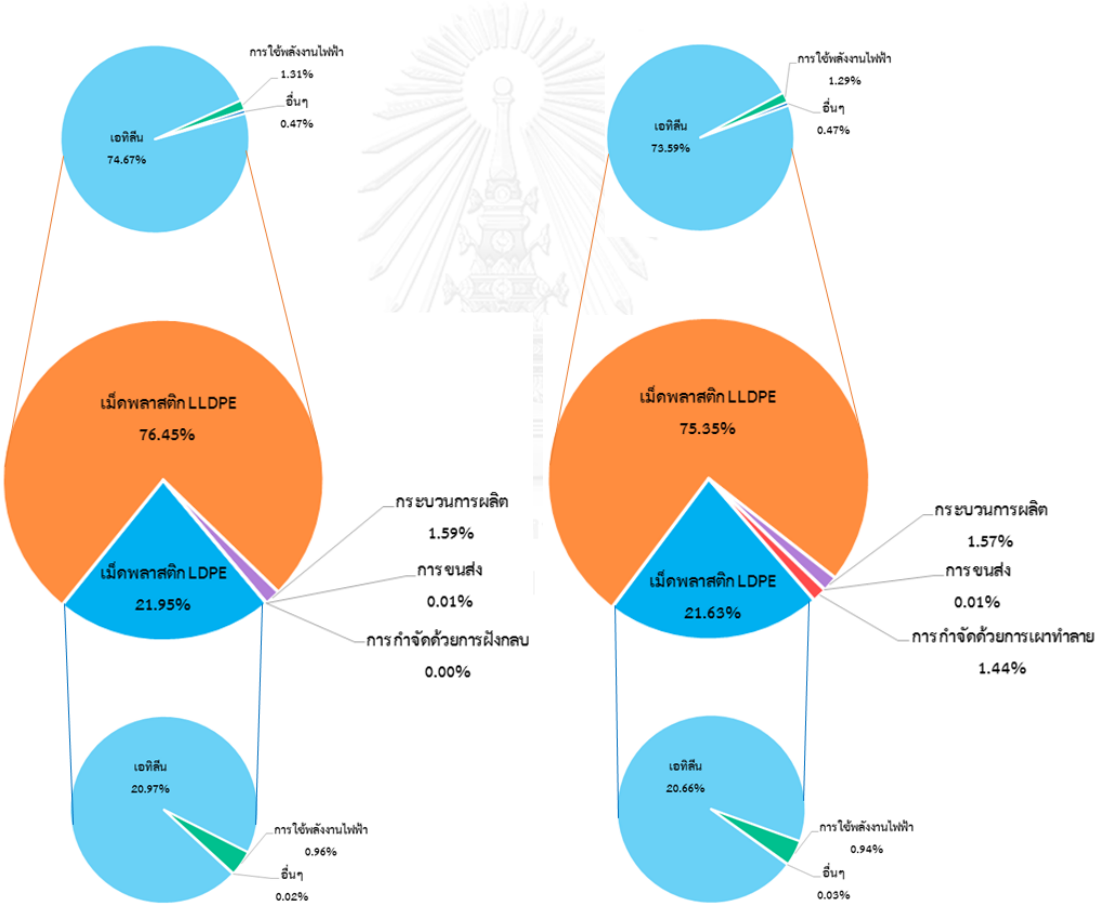
เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to Gate พบว่า ที่มาของผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป มาจากการผลิตเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE ซึ่งครอบคลุมถึงการได้มาของเอทิลีน โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ โรงแยกก๊าซธรรมชาติ และโรงโอเลฟินส์ โดยแสดงผังการไหลดังรูปที่ 4-39



รูปที่ 4- 39 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป ของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

2) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens)

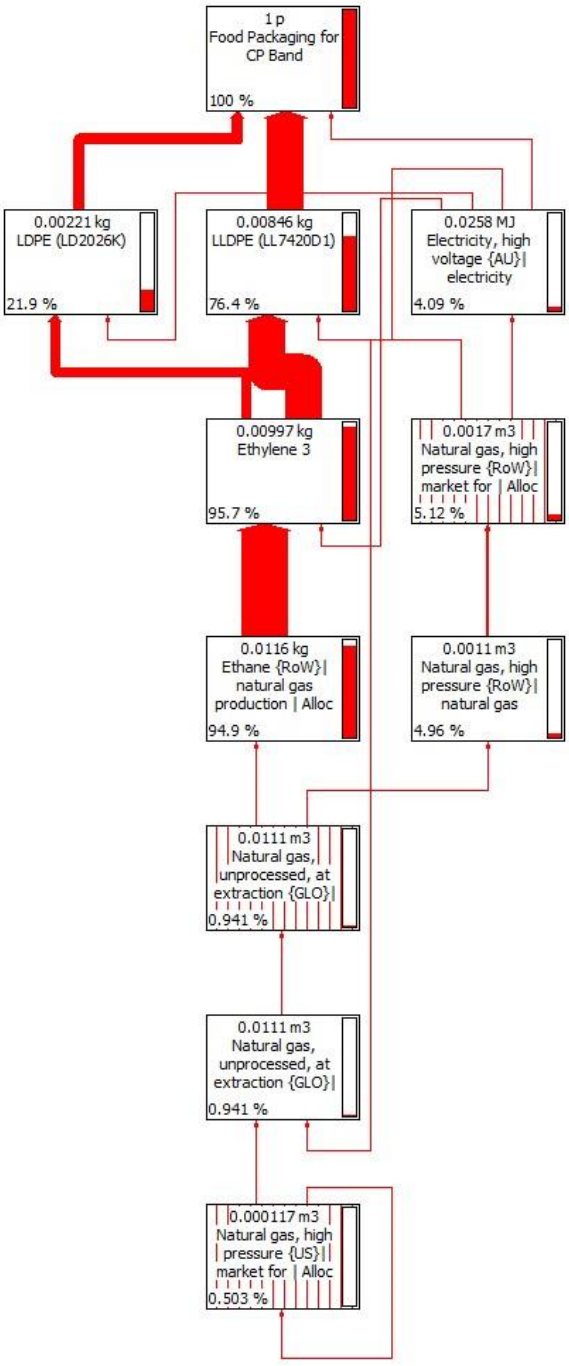
ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง ดังรูปที่ 4-40 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งของแต่ละกระบวนการ เห็นได้ว่า 2 กรณีศึกษามีสัดส่วนที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งเหมือนกัน คือ เกิดจากการใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE โดยกรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ มีผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง จากการใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE คิดเป็น 21.95% และ 76.45% ตามลำดับ ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย มีผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง จากการใช้เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE คิดเป็น 21.63% และ 75.35% ตามลำดับ



กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย

รูปที่ 4- 40 สัดส่วนของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

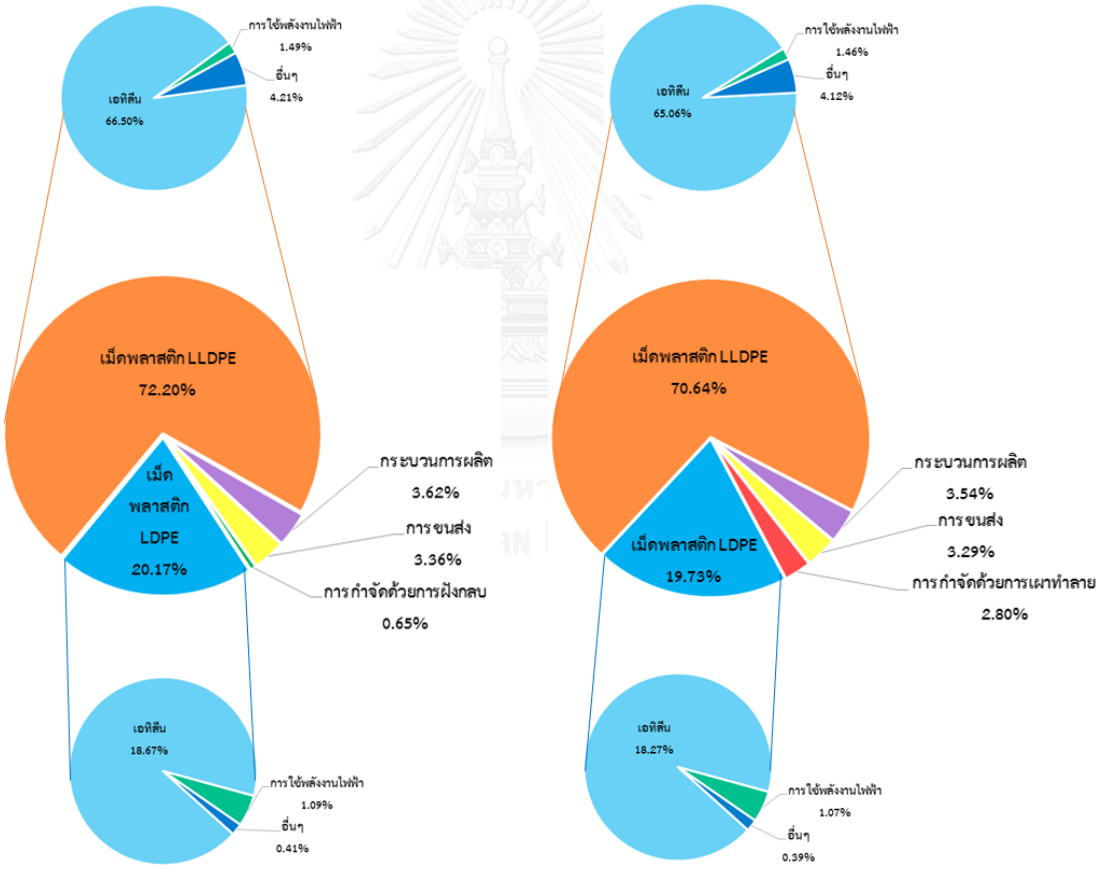
เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to Gate พบว่า ที่มาของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง มาจากการผลิตเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE ซึ่งครอบคลุมถึงการได้มาของเอทิลีน โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ โรงแยกก๊าซธรรมชาติ และโรงโอเลฟินส์ โดยแสดงผังการไหลดังรูปที่ 4-41



รูปที่ 4- 41 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

3) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ (Respiratory Inorganics)

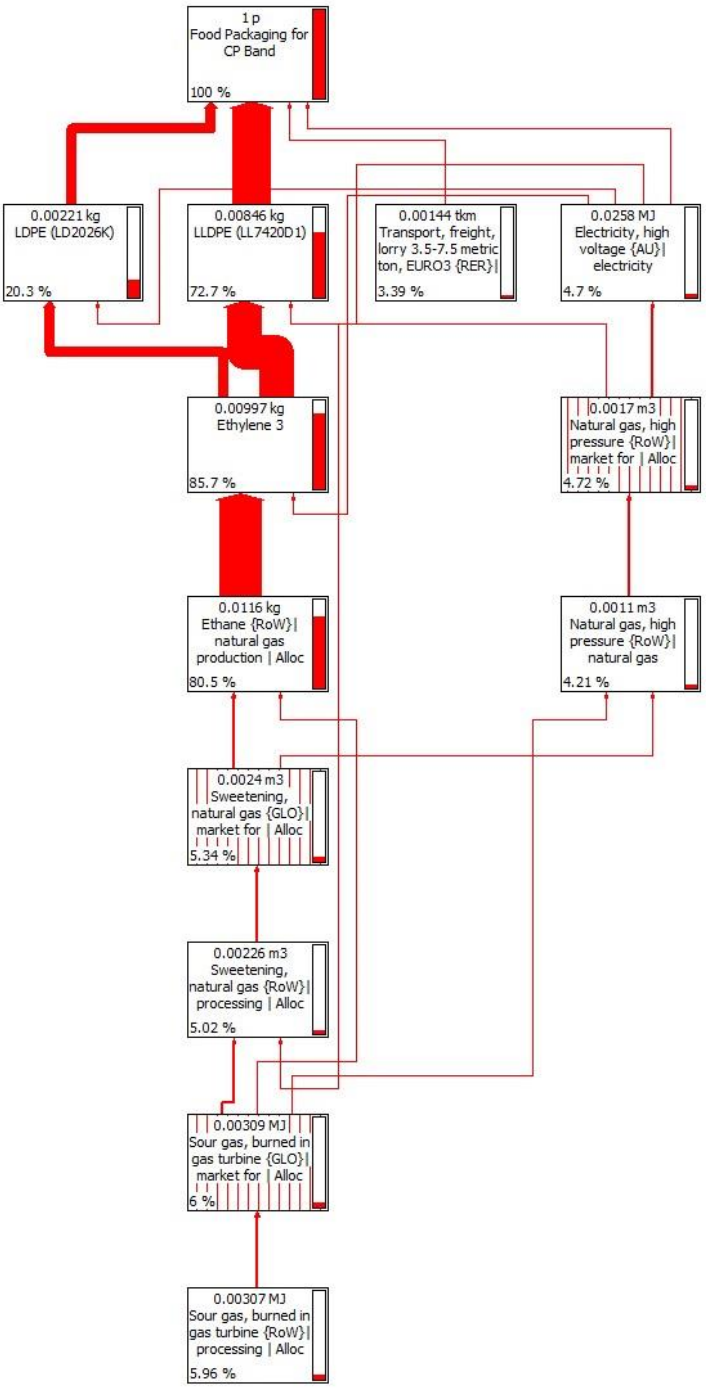
ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์เป็นผลกระทบที่เกิดจากฝุ่นละอองโดยส่วนใหญ่เป็นผลจากการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งมีการปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็ก ก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์ และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนออกสู่อากาศ หน่วยที่ใช้ในการพิจารณานั้นจะอยู่ในรูปของ kg PM2.5eq จากการประเมิน พบว่า กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ การใช้เม็ดพลาสติก LDPE (20.17%) และ LLDPE (72.20%) เป็นจุดที่ส่งผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์มากที่สุด และกรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย มีจุดที่ส่งผลกระทบเช่นเดียวกันกับกรณีที่ 1 คือ การใช้เม็ดพลาสติก LDPE (19.73%) และ LLDPE (70.64%) (รูปที่ 4-42)



กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย

รูปที่ 4- 42 สัดส่วนของผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

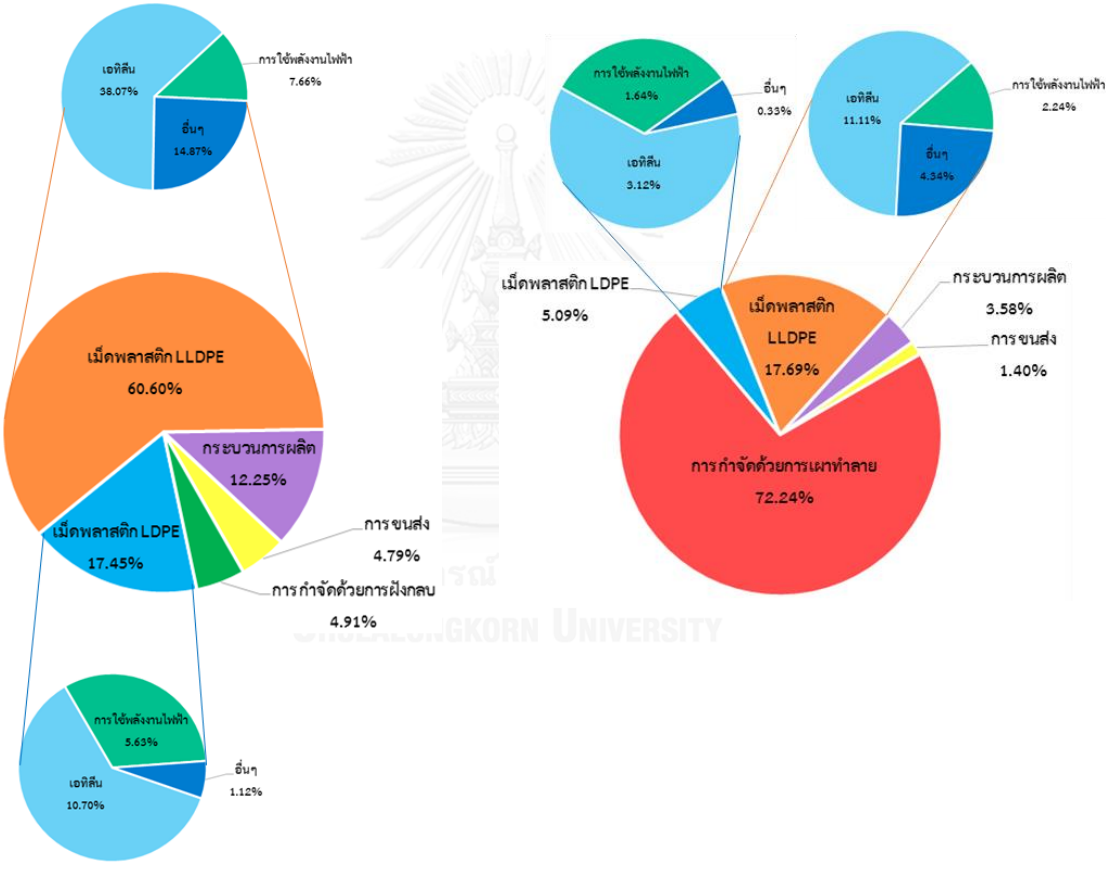
เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to Gate พบว่า การผลิตเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE เป็นจุดที่ทำให้เกิดผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์มากที่สุด ซึ่งครอบคลุมถึงการได้มาของเอทิลีน โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ โรงแยกก๊าซธรรมชาติ และโรงโอเลฟินส์ (รูปที่ 4-43)



รูปที่ 4- 43 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

4) ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming)

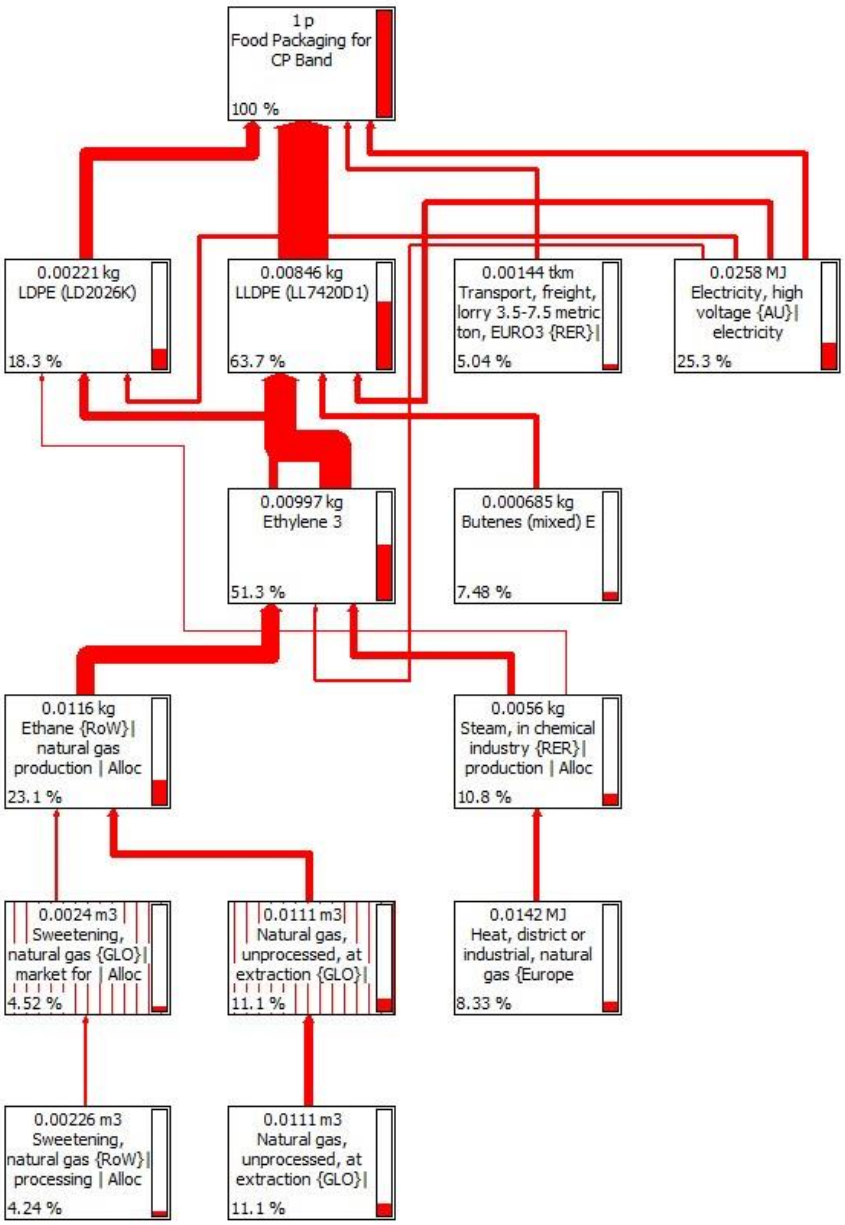
ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนของถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง แสดงในรูปที่ 4-44 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนของแต่ละกระบวนการ พบว่า ในกรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ ผลกระทบเกิดจาก การใช้เม็ดพลาสติก LDPE (17.45%) และ LLDPE (60.60%) มากที่สุด รองลงมา ได้แก่ กระบวนการผลิตถุงบรรจุภัณฑ์ (12.25%) ซึ่งมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง 7.94% และกรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย ผลกระทบเกิดจากการกำจัดด้วยวิธีการเผาทำลายมากที่สุด (72.24%)



กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย

รูปที่ 4- 44 สัดส่วนของผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

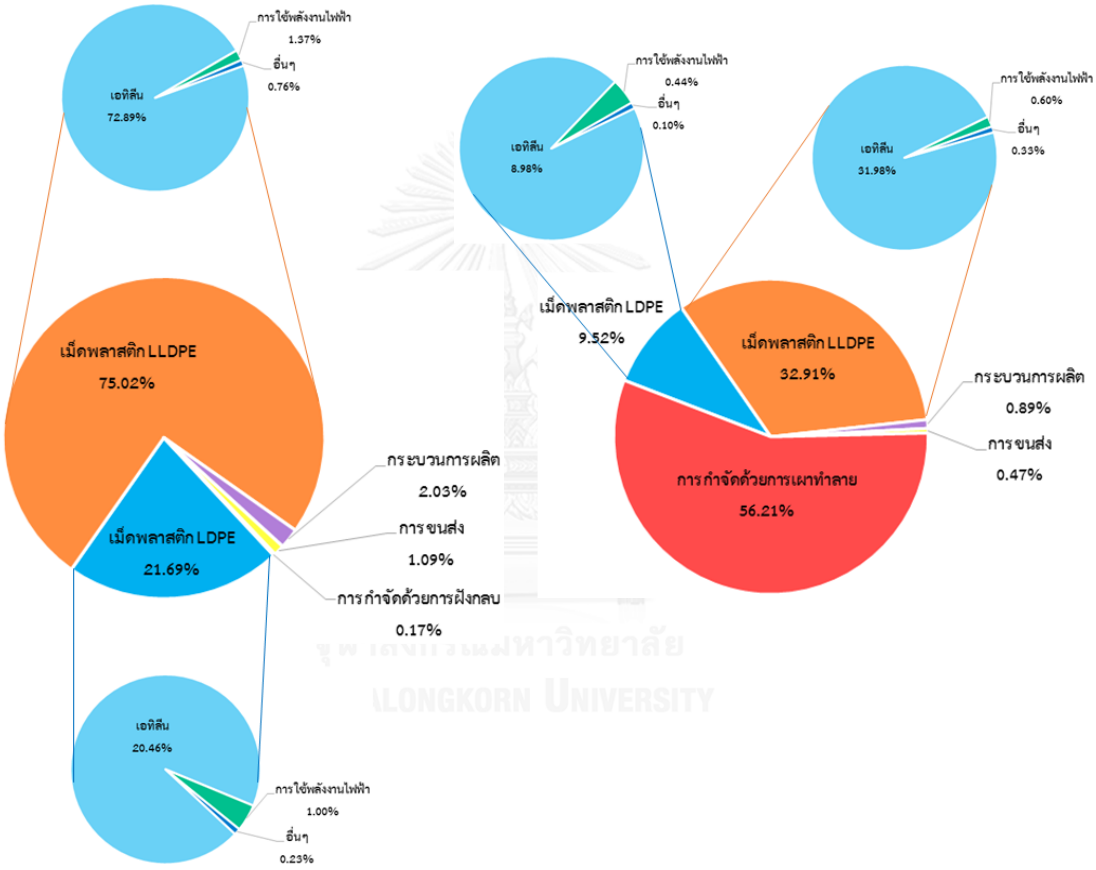
เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to Gate พบว่า ที่มาของผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน มาจากการผลิตเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE ซึ่งครอบคลุมถึงการได้มาของเอทิลีน โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ โรงแยกก๊าซธรรมชาติ และโรงโอเลฟินส์ แนวโน้มของผลกระทบมีลักษณะเช่นเดียวกับผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป และผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ โดยแสดงผังการไหลดังรูปที่ 4-45



รูปที่ 4- 45 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

5) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens)

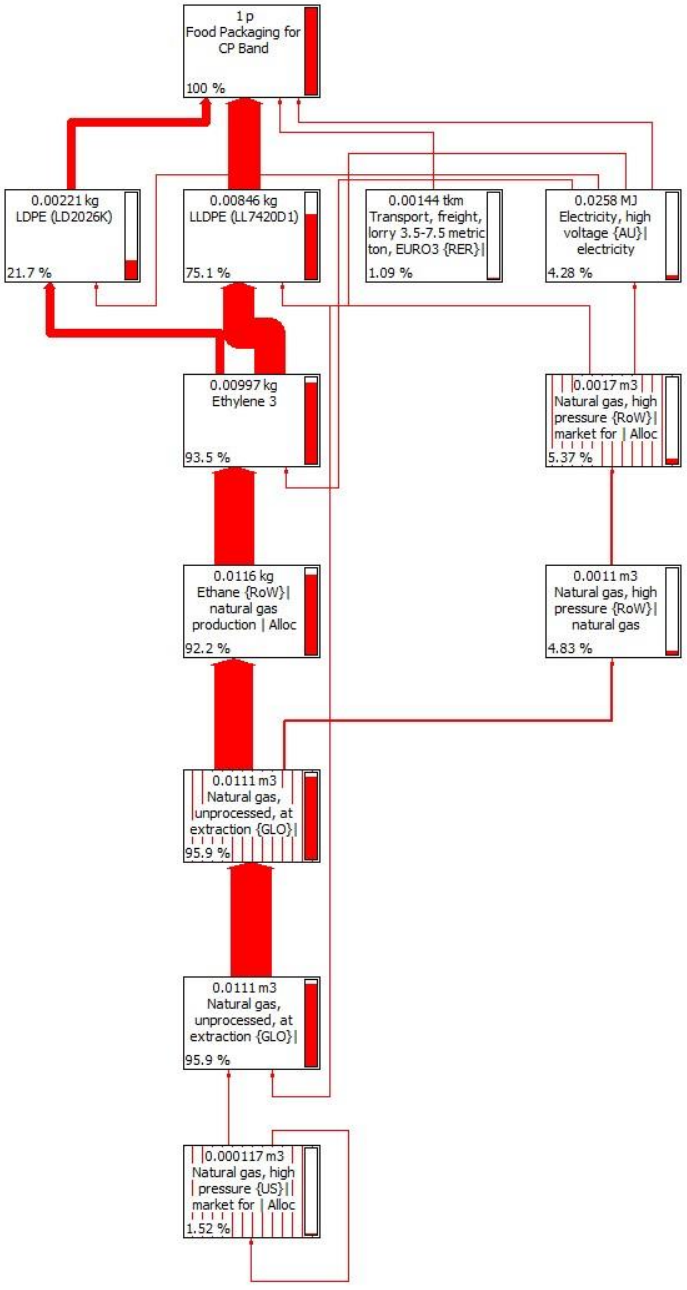
ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง แสดงในรูปที่ 4-46 โดยในกรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ ผลกระทบเกิดจากการใช้เม็ดพลาสติก LDPE (21.69%) และ LLDPE (75.02%) และกรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลายนั้นพบว่า ผลกระทบมาจากการกำจัดด้วยการเผาทำลาย (56.21%) รองลงมา คือ ผลกระทบที่เกิดจากวัตถุดิบ (42.43%) คือ เม็ดพลาสติก LDPE (9.52%) และ LLDPE (32.91%)



กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย

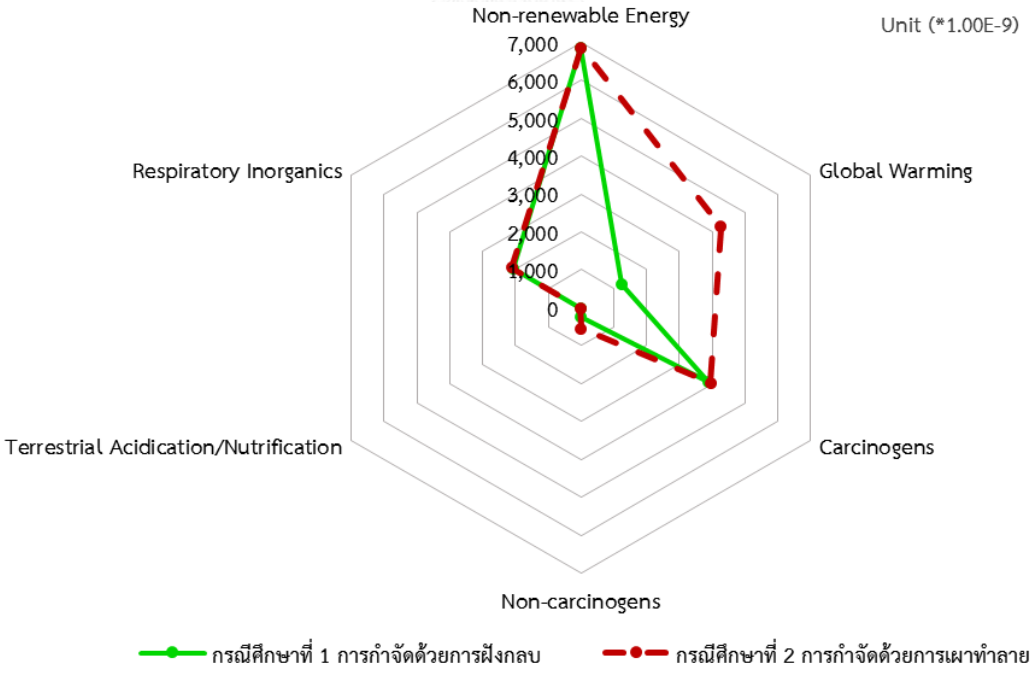
รูปที่ 4- 46 สัดส่วนของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็งของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to Gate พบว่า ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง มาจากการผลิตเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE ซึ่งครอบคลุมถึงการได้มาของเอทิลีน โดยรวมตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ โรงแยกก๊าซธรรมชาติ และโรงโอเลฟินส์ ทั้งนี้โดยส่วนใหญ่แล้ววัตถุดิบที่นำมาผลิตเอทิลีนจะมีสารจำพวกโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ เช่น ปรอท ซึ่งต้องมีการกำจัดก่อนเข้ากระบวนการผลิตเอทิลีน จึงทำให้เอทิลีนมีสัดส่วนของผลกระทบด้านนี้มากที่สุด ดังแสดงผังการไหลในรูปที่ 4-47



รูปที่ 4- 47 แผนภูมิแสดงการไหลของผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง ของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลกระทบหลักที่มีผลกระทบสูงสุด 5 อันดับของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง ผู้วิจัยได้นำค่าผลกระทบมาจัดทำกราฟใยแมงมุม (Radar Chart) โดยทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของผลกระทบทั้งหมด 6 ผลกระทบ ประกอบด้วย ผลกระทบหลักสูงสุด 5 อันดับ และผลกระทบอันดับที่ 6 ที่มีค่าผลกระทบรองลงมาจากผลกระทบหลัก ซึ่งผลกระทบสูง 6 อันดับของกรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ และกรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลายนั้น เป็นผลกระทบในด้านเดียวกันทั้งสองกรณี ดังแสดงในรูปที่ 4-48 พบว่า กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ ผลกระทบที่มีค่าผลกระทบสูงสุด คือ ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy) รองลงมา คือ ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens) ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ (Respiratory Inorganics) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens) และผลกระทบด้านการเกิดความเป็นกรดหรือการเพิ่มสารอาหารในดิน (Terrestrial Acidification/Nutrification) ตามลำดับ ในส่วนของกรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย จะเห็นได้ว่าด้านที่มีผลกระทบสูง 6 อันดับเป็นผลกระทบในด้านเดียวกันกับกรณีศึกษาที่ 1 ทั้ง 6 ผลกระทบ แต่แตกต่างกันที่กรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย มีค่าผลกระทบด้านผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนที่สูงกว่าการกำจัดด้วยการฝังกลบอย่างชัดเจน



รูปที่ 4- 48 กราฟใยแมงมุมแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบหลักของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

4.6 การเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์กับงานวิจัยอื่น

จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารและถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งในขั้นตอนการประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint Category) ขั้นตอนการประเมินผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint Category) และขั้นตอนการเทียบหน่วย (Normalization) พบว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ประเมินวัฏจักรชีวิตนั้น มีกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมเหมือนกัน โดยสรุปได้ว่า กลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวม คือ ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy) เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE การนำผลการศึกษาข้อมูลของงานวิจัยอื่นมาเปรียบเทียบจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งสองผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร และใช้เม็ดพลาสติกชนิดเดียวกันทั้งสองผลิตภัณฑ์ โดยผลการศึกษาข้อมูลของงานวิจัยอื่นที่นำมาวิเคราะห์เพิ่มเติม พบว่า

(1) งานวิจัยของ Xie และคณะ (2011) ซึ่งได้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์สำหรับนม พบว่า บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากเม็ดพลาสติก LDPE มีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด คือ กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ส่วนผลกระทบรองลงมา คือ การผลิต การขนส่ง และการกำจัดซาก ตามลำดับ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่มาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ โดยการประเมินผลกระทบของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร พบว่า การได้มาซึ่งวัตถุดิบมีผลกระทบสูงที่สุด เนื่องจากเม็ดพลาสติก LDPE และเม็ดพลาสติก LLDPE ผลิตขึ้นจากเอทิลีนซึ่งใช้วัตถุดิบจากก๊าซธรรมชาติ เม็ดพลาสติกจึงมีผลกระทบสูงสุดทั้ง 15 ผลกระทบ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมรองลงมา คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต และการขนส่งผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ โดยในการศึกษาผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของถุงซิปล็อคสำหรับอาหารนี้มีผลกระทบจากการใช้พลังงานไฟฟ้าใกล้เคียงกับการขนส่ง ซึ่งมาจากการขนส่งทางเรือไปยังบริษัทลูกค้าที่ตั้งอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา ส่วนการศึกษาผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมาจากกระบวนได้มาซึ่งวัตถุดิบเช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Xie และคณะ (2011)

(2) ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (Global Warming) ในงานวิจัยของ Liptow และ Tillman (2012) ระบุว่า การผลิตเอทิลีนเกิดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุด

ในการประเมินผลกระทบของเม็ดพลาสติก โดยจากการศึกษาผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารและถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งและพิจารณาผังการไหลของแต่ละผลกระทบ พบว่า ผลกระทบมาจากการได้มาซึ่งเอทิลีน จึงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liptow และ Tillman (2012) นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงการขนส่งว่า การขนส่งเกิดผลกระทบสูงในด้านของศักยภาพความเป็นกรด (Acidification Potential) และศักยภาพการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุ (Eutrophication Potential) ซึ่งสอดคล้องกันกับการศึกษานี้ ซึ่งพบว่าผลกระทบด้านการเกิดความเป็นกรดหรือการเพิ่มสารอาหารในดิน (Terrestrial Acidification/Nutrification) เกิดมาจากการขนส่งเช่นเดียวกัน

(3) งานวิจัยของ Siracusa และคณะ (2014) ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์ถนอมอาหารแบบฟิล์มประกบ (Multilayer Film) ด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยใช้วิธี IMPACT 2002+ ขอบเขต Cradle to Gate เมื่อเปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมกับผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของถุงซิปล็อคสำหรับอาหารและถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง ที่มีหน่วยการทำงาน 1 กิโลกรัม พบว่า ทั้งสองผลิตภัณฑ์มีผลกระทบความเสียหายด้านคุณภาพระบบนิเวศ (Ecosystem Quality) ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (Climate Change) และด้านทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) ของงานวิจัยนี้ มีค่าความเสียหายที่ต่ำกว่างานวิจัยของ Siracusa และคณะ (2014) แต่ผลกระทบความเสียหายด้านสุขภาพมนุษย์ (Human Health) มีค่าความเสียหายของผลกระทบที่มากกว่างานวิจัยของ Siracusa และคณะ (2014) ดังตารางที่ 4-13

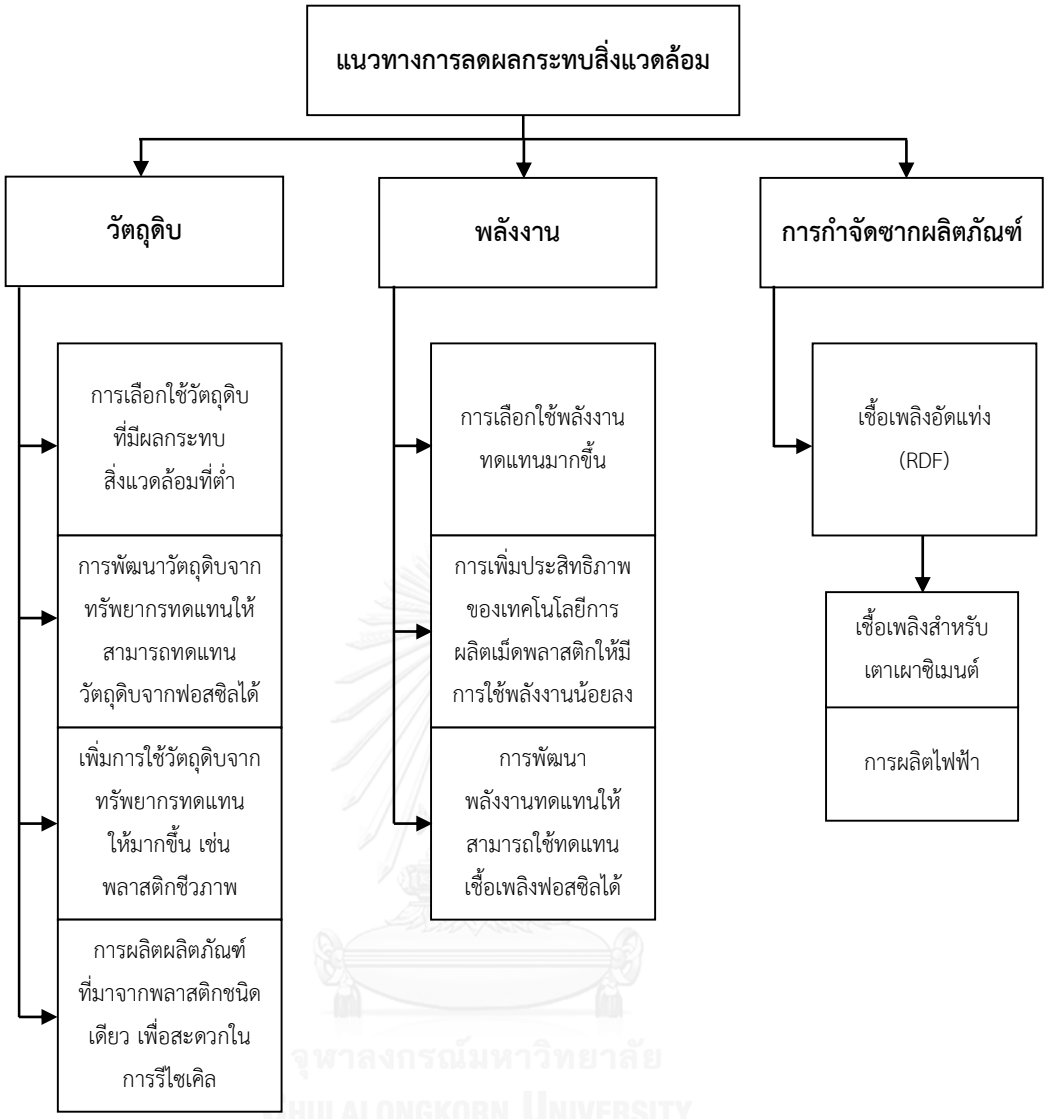
ตารางที่ 4- 13 ตารางเปรียบเทียบกลุ่มความเสียหายของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารและถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งกับงานวิจัยอื่น

กลุ่มความเสียหาย	หน่วย	Siracusa และคณะ (2014)	งานวิจัยนี้	
			ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร	ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง
Human Health	DALY	3.50E-06	5.86E-06	4.31E-06
Ecosystem Quality	PDF·m^2·yr	5.71E-01	9.83E-02	8.17E-02
Climate Change	kg CO_2 eq	7.75E+00	1.92E+00	1.15E+00
Resource	MJ primary	1.94E+02	1.37E+02	1.02E+02

4.7 แนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE

เมื่อพิจารณาผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารและถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง เห็นได้ว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีสัดส่วนผลกระทบสูงสุดในทั้งสองผลิตภัณฑ์ คือ ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy) โดยเป็นผลกระทบที่เกิดจากการได้มาของก๊าซอีเทนเป็นส่วนใหญ่ โดยการนำก๊าซอีเทนมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเม็ดพลาสติก ส่วนผลกระทบที่เหลือมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตของโรงงาน แต่มีสัดส่วนผลกระทบด้านนี้ต่ำกว่าการใช้ก๊าซอีเทนมาก ดังนั้นแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะมุ่งเน้นไปที่การจัดการการใช้พลังงานฟอสซิล เพื่อเป็นแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ได้พิจารณาถึงแนวทางการกำจัดซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE (รูปที่ 4-49) ดังต่อไปนี้

1. **วัตถุดิบ**
    - การเลือกใช้วัตถุดิบที่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่ำ
    - การพัฒนาวัตถุดิบจากทรัพยากรทดแทน (Renewable Resource) ให้สามารถใช้ทดแทนวัตถุดิบที่มาจากแหล่งฟอสซิลได้
    - เพิ่มการใช้วัตถุดิบจากทรัพยากรทดแทนให้มากขึ้น เพื่อที่จะลดการใช้วัตถุดิบจากทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป เช่น พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic)
    - การผลิตผลิตภัณฑ์ที่ใช้พลาสติกชนิดเดียว (Monotype Plastic) เพื่อที่จะสะดวกในการนำกลับมารีไซเคิลได้
2. **พลังงาน**
    - การเลือกใช้พลังงานทดแทน (Renewable Energy) ให้เพิ่มมากขึ้น
    - การเพิ่มประสิทธิภาพของเทคโนโลยีการผลิตเม็ดพลาสติกให้มีการใช้พลังงานน้อยลง
    - การพัฒนาพลังงานทดแทนให้สามารถใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. **การกำจัดซากผลิตภัณฑ์**
    - เชื้อเพลิงอัดแท่ง (Refuse Derived Fuel; RDF)
        - เชื้อเพลิงสำหรับเตาเผาซิเมนต์ (Cement Kiln)
        - การผลิตไฟฟ้า (Electricity)



รูปที่ 4- 49 แผนผังแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE และ LLDPE

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ค่าความร้อน (Heating Value) ของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารและถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง ดังตารางที่ 4-14 ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์พลังงานความร้อน (Bomb Calorimeter) ยี่ห้อ Parr 6200 ตามมาตรฐาน ASTM 5865 (Heating Value) โดยการหาค่าความร้อนเชื้อเพลิงเป็นการเสนอทางแนวทางการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ด้วยการเผาเพื่อให้พลังงาน โดยจากงานวิจัยของ Cherubini และคณะ (2009) พบว่า การกำจัดด้วยการเผาเพื่อให้ได้พลังงานจากเชื้อเพลิงอัดแท่ง (RDF) มีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการทำให้โลกร้อนลดลง 15% เมื่อเปรียบเทียบกับการกำจัดด้วยการฝังกลบ

ตารางที่ 4- 14 ค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารและถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

ผลิตภัณฑ์พลาสติก	ค่าความร้อน	
	แคลอรี่ต่อกรัม (cal/g)	เมกะจูลต่อกิโลกรัม MJ/kg)
ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร	10,977 ± 44	45.93
ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง	10,820 ± 35	45.27

ตารางที่ 4- 15 ค่าความร้อนของวัสดุที่เป็นเชื้อเพลิง

ชนิดของเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน (MJ/kg)	อ้างอิง
ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร	45.93	จากงานวิจัยนี้
ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง	45.27	จากงานวิจัยนี้
กระดาษ	17.68	Mrus และ Prendergast (1978)
ยาง	26.28	Mrus และ Prendergast (1978)
สิ่งทอ	18.61	Mrus และ Prendergast (1978)
ไม้	19.30	Mrus และ Prendergast (1978)
เศษอาหาร	19.54	Mrus และ Prendergast (1978)
เศษหญ้าและใบไม้	16.98	Mrus และ Prendergast (1978)
ถ่านหิน	26.00	Wasilewski (2013)
เชื้อเพลิงอัดแท่ง (RDF)	16.00	ศูนย์ความเป็นเลิศด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (2552)
พลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET)	23.80	Demetra และคณะ (2016)
พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)	37.10	Demetra และคณะ (2016)
พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)	42.60	Demetra และคณะ (2016)
พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE)	38.90	Demetra และคณะ (2016)
พลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)	22.90	Demetra และคณะ (2016)
พลาสติกพอลิโพรไพลีน (PP)	41.00	Demetra และคณะ (2016)
พลาสติกพอลิสไตรีน	38.60	Demetra และคณะ (2016)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อนำค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารและถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งที่ขึ้นรูปจากการผสมกันของเม็ดพลาสติกชนิด LDPE และ LLDPE มาเปรียบเทียบกับพลาสติกชนิดอื่น พบว่า ค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์มีค่าความร้อนของถุงซิปล็อคสำหรับอาหารและถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง เท่ากับ 45.93 MJ/kg และ 45.27 MJ/kg ตามลำดับ ซึ่งจากตารางที่ 4-15 แสดงค่าความร้อนของวัสดุและพลาสติกชนิดต่างๆ ที่สามารถเป็นเชื้อเพลิงในการเผาเพื่อได้พลังงาน จะเห็นว่า พลาสติกมีค่าความร้อนค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับวัสดุที่เป็นเชื้อเพลิงอื่น ในส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้น หากเป็นพลาสติกอย่างเดียวโดยไม่มีวัสดุอื่นผสม ค่าความร้อนจะสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผสมกับวัสดุอื่น ทำให้ได้พลังงานกลับมาจากการเผาได้มาก ถือเป็นเชื้อเพลิงทดแทนที่ช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล และผลกระทบที่เกิดจากการเผากำจัดจะไม่ถูกนำมาคำนวณ จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลาสติกของวิจัยนี้ ดังนั้นการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานที่ดี นอกเหนือจากการเลือกวิธีการกำจัดที่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่ำแล้ว ยังควรคำนึงถึงการคัดแยกขยะที่เป็นระบบ ซึ่งจะทำให้การจัดการซากผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์จากการกำจัดสูงสุด

จากผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกสำหรับอาหารทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ พบว่า การกำจัดด้วยการฝังกลบ มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่ำกว่า การกำจัดด้วยการเผาทำลาย แต่อย่างไรก็ดีการกำจัดด้วยการฝังกลบเป็นวิธีการกำจัดที่ค่อนข้างเกิดปัญหาสำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน เนื่องจากเกิดปัญหาการจัดหาพื้นที่รองรับสำหรับการฝังกลบ และส่วนใหญ่เป็นการฝังกลบแบบไม่ถูกหลักสุขาภิบาลหรือการกำจัดแบบเทกอง (Open Dump) 64% โดยมีการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) 35% และการเผาด้วยเตาเผาขยะ 1% (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) ซึ่งในขณะนี้ประเทศไทยได้ส่งเสริมพลังงานทดแทนเพิ่มขึ้น โดยตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) ของกระทรวงพลังงาน ได้ส่งเสริมการเพิ่มการใช้พลังงานขยะ ดังนั้นการกำจัดด้วยการเผาเพื่อให้ได้เป็นพลังงาน (Recovery Energy) จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการกำจัดซากผลิตภัณฑ์แทนการกำจัดด้วยการฝังกลบ เพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ แต่อย่างไรก็ดีการเลือกใช้วิธีการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมได้นั้น ต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย ได้แก่ ปริมาณขยะ พื้นที่ งบประมาณ การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม พิจารณาทั้งด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐศาสตร์ และสังคม เพื่อนำไปสู่การจัดการผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตอย่างยั่งยืนได้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) กรณีศึกษาถุงพลาสติกสำหรับอาหาร ที่มีผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกเป็นกรณีศึกษา 2 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่

(1) ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร

(2) ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง

ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตขอบเขตการศึกษาครอบคลุมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ คือ Cradle to Grave ประกอบไปด้วย ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก กระบวนขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การใช้งาน และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ขั้นตอนการใช้งานผลิตภัณฑ์จะไม่มีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม เนื่องจากขั้นตอนนี้ไม่มีการใช้พลังงานรวมถึงไม่มีการเติมสารใดๆ เข้าไปในระหว่างการใช้งาน ในส่วนของขั้นตอนการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ จากการสอบถามและสัมภาษณ์หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ตั้งสมมุติฐานเบื้องต้นให้มีการกำจัดเป็น 2 กรณี คือ กรณีศึกษาที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ (Landfill) เนื่องจากเป็นขยะมูลฝอยทั่วไป และกรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลาย (Incineration) โดยจากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE ซึ่งเป็นเม็ดพลาสติกที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ โดยมีขอบเขตการประเมิน คือ Cradle to Gate ประกอบด้วย ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก จนได้เป็นผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE มีหน่วยการทำงาน 1 กิโลกรัม จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE พบว่า เม็ดพลาสติกทั้ง 2 ชนิด มีผลกระทบสูงสุด 5 อันดับที่เป็นผลกระทบเดียวกัน ได้แก่ ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ (Respiratory Inorganics) ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming) และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens) ตามลำดับ

2. การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมระหว่างเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE ที่มีหน่วยการทำงาน 1 กิโลกรัมเท่ากัน พบว่า เม็ดพลาสติก LDPE มีค่าผลกระทบที่สูงกว่าเม็ดพลาสติก LLDPE เล็กน้อยในทุกผลกระทบสูงสุดทั้ง 5 อันดับผลกระทบ เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าสัดส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก LDPE มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากกว่าเม็ดพลาสติก LLDPE จึงทำให้ผลกระทบหลักสูงกว่าทั้ง 5 ผลกระทบ เมื่อทำการรวมค่าผลกระทบทุกด้านทั้ง 15 ผลกระทบ เพื่อเปรียบเทียบค่าผลกระทบโดยรวม พบว่า เม็ดพลาสติก LDPE มีค่าผลกระทบรวมเท่ากับ 1.34E-03 ซึ่งสูงกว่าเม็ดพลาสติก LLDPE ที่มีค่าผลกระทบรวม เท่ากับ 1.19E-03

3. การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารและถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง เป็นการประเมินผลกระทบขอบเขต Cradle to Grave และเปรียบเทียบวิธีการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ระหว่างกรณีศึกษาที่ 1 การจัดการซากผลิตภัณฑ์ด้วยการฝังกลบ และกรณีศึกษาที่ 2 การจัดการซากผลิตภัณฑ์ด้วยการเผาทำลาย ผลการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตของทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ คือ ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร และถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง พบว่า ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์มีผลกระทบสูงสุด 5 อันดับที่เป็นผลกระทบเดียวกันทั้งการกำจัดด้วยการฝังกลบ (กรณีศึกษาที่ 1) และการกำจัดด้วยการเผาทำลาย (กรณีศึกษาที่ 2) โดยผลกระทบที่สูงที่สุด คือ ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy) และมีแนวโน้มลำดับของผลกระทบไปในทิศทางเดียวกัน ยกเว้นผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming) ซึ่งทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์นั้น พบว่าในกรณีศึกษาที่ 2 การกำจัดด้วยการเผาทำลายมีผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อนที่สูงกว่ากรณีที่ 1 การกำจัดด้วยการฝังกลบ

4. การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร โดยการกำจัดด้วยการฝังกลบ (กรณีที่ 1) มีผลกระทบสูงสุด 5 อันดับ ได้แก่ ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ (Respiratory Inorganics) ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน (Global Warming) และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens) ตามลำดับ ในส่วนของการกำจัดด้วยการเผาทำลาย (กรณีที่ 2) พบว่า ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน มีผลกระทบสูงขึ้นมาอยู่ในอันดับที่ 3 แตกต่างจากการกำจัดด้วยการฝังกลบที่มีผลกระทบด้านทำให้โลกร้อนอยู่ในอันดับที่ 4 เนื่องจากการเผาทำลายซากผลิตภัณฑ์ ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าการฝังกลบ

5. การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง โดยการกำจัดด้วยการฝังกลบ (กรณีที่ 1) มีผลกระทบสูงสุด 5 อันดับ ได้แก่ ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป (Non-renewable Energy) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ (Respiratory Inorganics) ผลกระทบด้าน

การทำให้โลกร้อน (Global Warming) และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens) ตามลำดับ ในส่วนของการกำจัดด้วยการเผาทำลาย (กรณีที่ 2) พบว่า ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน มีผลกระทบสูงขึ้นมาอยู่ในอันดับที่ 2 แตกต่างจากการกำจัดด้วยการฝังกลบที่มีผลกระทบด้านทำให้โลกร้อนอยู่ในอันดับที่ 4 เนื่องจากการเผาทำลายซากผลิตภัณฑ์ ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าการฝังกลบ

6. แนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารและถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็งจะมุ่งเน้นในการจัดการการใช้พลังงานฟอสซิล เนื่องจากผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไปมีสัดส่วนผลกระทบที่สูงที่สุด และพิจารณาถึงแนวทางการกำจัดซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน เพื่อให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมลดลง แนวทางการลดผลกระทบ ได้แก่ เลือกใช้วัตถุดิบที่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่ำ การพัฒนาและเพิ่มการใช้วัตถุดิบหรือพลังงานทดแทนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ใช้พลาสติกชนิดเดียวเพื่อสะดวกในการรีไซเคิล การพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของเทคโนโลยีในกระบวนการผลิต และเลือกวิธีการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ เช่น การเผาเพื่อให้ได้เป็นพลังงาน (Recovery Energy)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการเก็บข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของอุตสาหกรรมต้นน้ำ คือ กระบวนการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ และกระบวนการได้มาซึ่งก๊าซอีเทน ที่เป็นที่มาของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในงานวิจัยนี้ เพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติมที่ถูกต้องและสามารถประเมินและจัดการวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ตลอดห่วงโซ่วัฏจักร ซึ่งอาจต้องใช้เวลาในการดำเนินงานวิจัยและใช้งบประมาณที่มากขึ้นไปด้วย

2. ควรทำการศึกษาและเก็บข้อมูลโดยตรง ในส่วนของนำซากผลิตภัณฑ์มาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาเพื่อให้ได้พลังงาน และการผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อที่จะสามารถนำไปเป็นงานวิจัยต่อยอดงานวิจัยนี้ได้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัลยา อุบลทิพย์. 2537. การผลิตถุงพลาสติก. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.plasticmart.co.th/images/1176038014/Plastic%20bag.pdf. [20 พฤษภาคม 2559]

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2547. การจัดการขยะมูลฝอยชุมชน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_garbage.html. [3 กรกฎาคม 2560]

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2558. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558-2579. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf. [3 กรกฎาคม 2560]

กลุ่มบริษัทศรีเทพไทย. 2552. เม็ดพลาสติก. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.srithepthai.com/index.php?option=com_djcatalog&view=show&layout=blog&cid=1&Itemid=86&limitstart=7. [20 พฤษภาคม 2559]

ฐานันดร์ ปิ่นนาค, เยาวภา ใจบาล, และวรรณภา อิสสะอาด. 2555. ศึกษาพารามิเตอร์และหาแนวทางปรับปรุงการกระจายตัวของสีบนแผ่นฟิล์มพลาสติก. ปริญญานิพนธ์, ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ยูนิคอุตสาหกรรมพลาสติก. 2544. กระบวนการผลิตถุงพลาสติก. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.uniqueplastic.com/tprocess.htm. [20 พฤษภาคม 2559]

ศุลีพรแสงกระจ่าง, ปัทมา พลอยสว่าง, และปริณดา พรหมหิตาธร. 2556. ผลกระทบของพลาสติกต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.thaitox.org/media/upload/file/Journal/2013-1/04aricle.pdf. [20 พฤษภาคม 2559]

ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2552. การศึกษาแนวทางบริหารจัดการขยะชุมชนเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนแบบครบวงจร (ระดับชุมชน). สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สถาบันพลาสติก. 2559. บทวิเคราะห์สถานการณ์อุตสาหกรรมพลาสติกรายเดือน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://thaiplastics.org/document_page.php?id=390. [9 เมษายน 2559]

สถาบันพลาสติก. 2556. รอบรู้เรื่องพลาสติก. กรุงเทพมหานคร: อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิสถาบันพลาสติก.

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2547. คู่มือการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.ebooktei.org/document/HTML/188_HBM-027.html. [14 มกราคม 2559]

ส่วนสื่อสารกลุ่มธุรกิจปิโตรเลียม บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน), 2554. สารานุกรมเปิดโลกปิโตรเคมี. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.pttplc.com/th/Media-Center/Energy-Knowledge/Documents/MD24%20knowledge01/PetrochemicalEncyclopedia2011.pdf. [16 มีนาคม 2559]

ส่วนสื่อสารกลุ่มธุรกิจปิโตรเลียม บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). 2555. ปิโตรเลียมของดีใกล้ตัว. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.pttplc.com/th/Media-Center/Energy-Knowledge/Pages/Petrochemical.aspx. [16 มีนาคม 2559]

สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ. 2553. มาเรียนรู้เรื่องพลาสติกและโฟมเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: ส่วนลดและใช้ประโยชน์ของเสีย สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ.

สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. 2553. โครงสร้างอุตสาหกรรมปิโตรเคมี. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.eppo.go.th/petro/PT-Petrochemical.pdf. [16 มีนาคม 2559]

สำนักปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม. 2557. แผนยุทธศาสตร์กระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ.2559-2564. กระทรวงอุตสาหกรรม.

ภาษาอังกฤษ

Accorsi, R., Versari, L., and Manzini, R. 2015. Glass vs. plastic: life cycle assessment of extra-virgin olive oil bottles across global supply chains. Sustainability. 7(3): 2818-2840.

Cherubini, F., Bargigli, S., and Ulgiati, S., Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. Energy. 34: 2116–2123.

European commission. 2013. Product Environmental Footprint Guide. Institute for Environmental and Sustainability.

Günkaya, Z., and Banar, M. 2016. An environmental comparison of biocomposite film based on orange peel-derived pectin jelly-corn starch and LDPE film: LCA and biodegradability. The International Journal of Life Cycle Assessment. 21(4): 465-475.

Innoplus. 2012. Linear Low Density Polyethylene (LLDPE). [online]. Available from: http://www.innoplus.in.th/en/lldpe.aspx. [20 May 2016]

International Standardization Organization. 2006. Environmental management-life cycle assessment-principle and framewoke. ISO 14040.

Klöpffer, W. 2005. Life Cycle Assessment as Part of Sustainability Assessment for Chemicals. Environmental Science and Pollution Research. 12(3): 173-177.

Lehmann, A., Bach, V., and Finkbeiner, M. 2015. Product environmental footprint in policy and market decisions: applicability and impact assessment. Integrated environmental assessment and management, 11(3): 417-424.

Lepoutre, P. 2008. The Manufacture of Polyethylene. [online]. Available from: http://nzic.org.nz/ChemProcesses/polymers/10J.pdf. [15 March 2016]

Liptow, C., and Tillman, A. M. 2012. A comparative life cycle assessment study of polyethylene based on sugarcane and crude oil. Journal of Industrial Ecology. 16.3: 420-435.

Minigrip. 2010. Minigrip Consumer Brand Products. [online]. Available from: http://www.minigripbrands.com. [20 May 2016]

Mrus, S. T., and Prendergast, C. A. 1978. Heating value of refuse derived fuel. Energy conservation through waste utilization. Proceedings of the Eighth Biennial National Waste Processing Conference, Chicago, USA, 7-10 May,1978. 365-370.

Mungkung, R., Gheewala, S. H., Kanyarushoki, C., Hospido, A., van der Werf, H., Poovarodom, N., Bonnet, S., Aubin, J., Moreira, M. T., and Feijoo, G. 2012. Product carbon footprinting in Thailand: A step towards sustainable consumption and production?. Environmental Development. 3: 100-108.

Chulalongkorn University

New & Used Equipment. 2015. Blown Film Extrusion Machine. [online]. Available from: http://folpynsea.com/blown-equipment-extrusion-film-used. [20 May 2016]

Poovarodom, N., Ponnak, C., and Manatphrom, N. 2015. Impact of Production and Conversion Processes on the Carbon Footprint of Flexible Plastic Films. Packaging Technology and Science. 28(6): 519-528.

Shah, K. N., Varandani, N. S., and Panchani, M. 2016. Life Cycle Assessment of Household Water Tanks—A Study of LLDPE, Mild Steel and RCC Tanks. Journal of Environmental Protection. 7(05): 760.

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

The Essential Chemical Industry. 2014. Polyethylene. [online]. Available from: http://www.essentialchemicalindustry.org/polymers/polyethene.html. [10 April 2016]

Tsiamis, A. D., and Castaldi, J. M. 2016. Determining accurate heating values of non-recycled plastics (NRP). Earth Engineering Center, City College, City University of New York.

Vuckovic, B. 2015. Know Your Plastics. [online]. Available from: http://www.know-your-waste.com/know-your-plastics. [20 May 2016]

Wasilewski, R. 2013. Energy recovery from waste plastics. CHEMIK 2013. 67: 435–445.

Xie, M., Li, L., Qiao, Q., Sun, Q., and Sun, T. 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(17): 2100-2106.

Zeus Industrial Products. 2006. Chemical Resistance of Fluoropolymers. [online]. Available from: http://www.masterflex.com/TechLibraryArticle/827. [10 April 2016]

ภาคผนวก

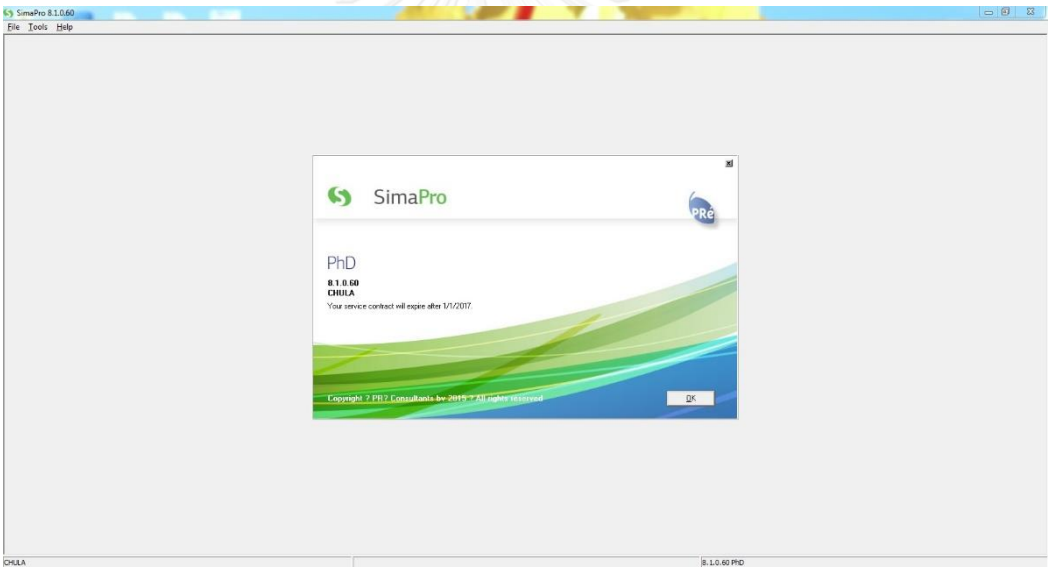
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

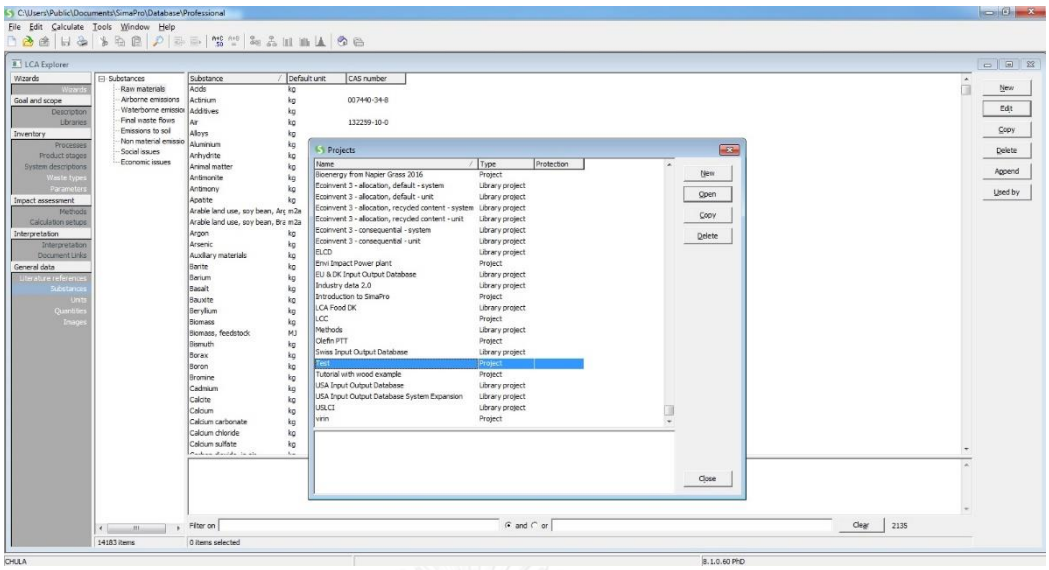
ขั้นตอนการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro Version 8.2

โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro Version 8.2

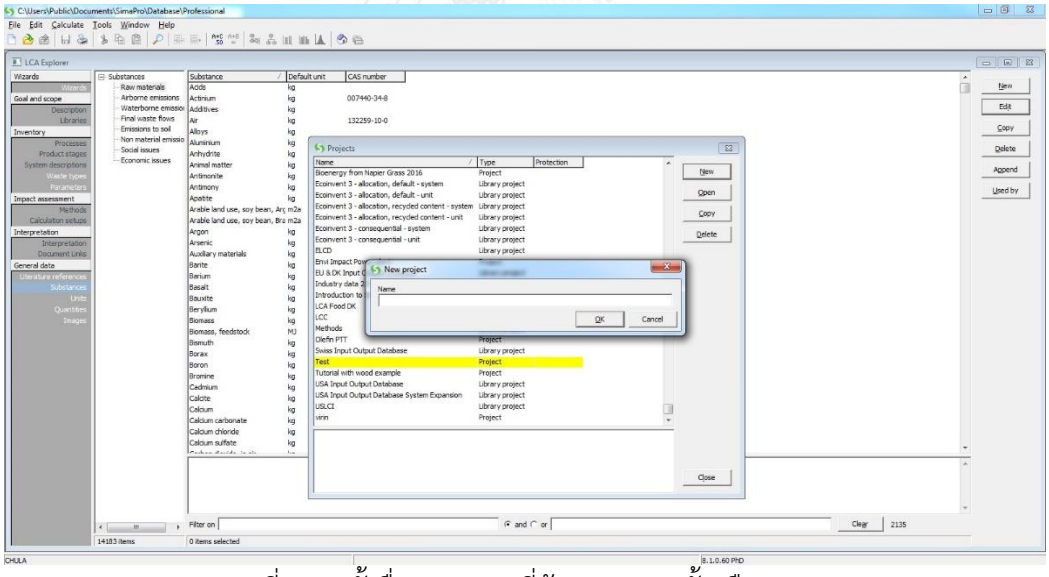
โปรแกรม SimaPro Version 8.2 เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อช่วยในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยสามารถคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมออกมาในเชิงปริมาณ ซึ่งต้องมีการกำหนดขอบเขตของแต่ละกระบวนการที่จะทำการประเมิน ได้แก่ กระบวนการของระบบ ผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ร่วมที่ได้ วัตถุดิบที่ใช้ การใช้พลังงาน ประเภทของของเสีย โดยรายละเอียดในการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro Version 8.2 แสดงรายละเอียดดังรูปต่อไปนี้



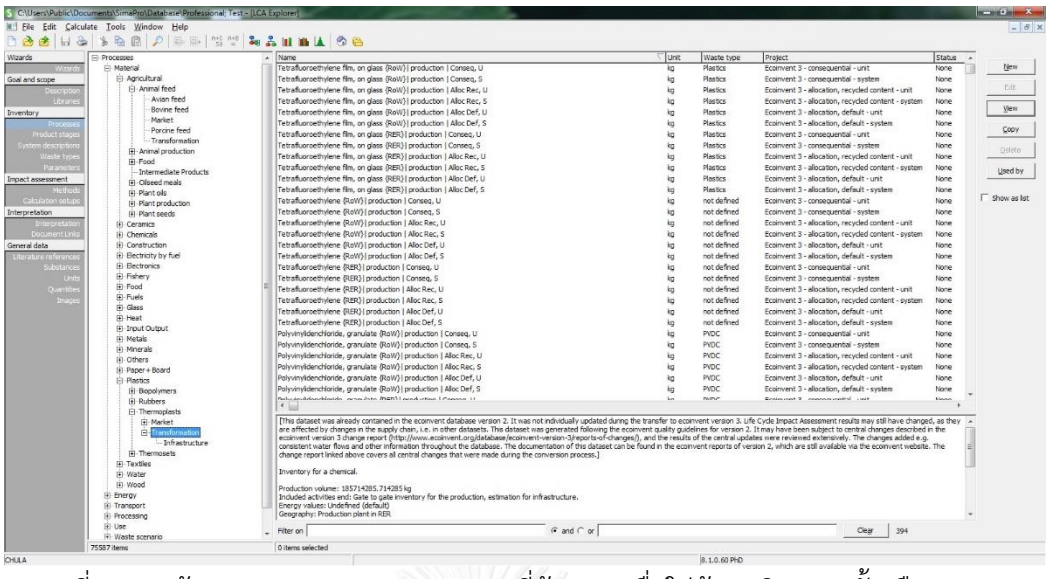
รูปที่ ก- 1 การเปิดใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 8.2



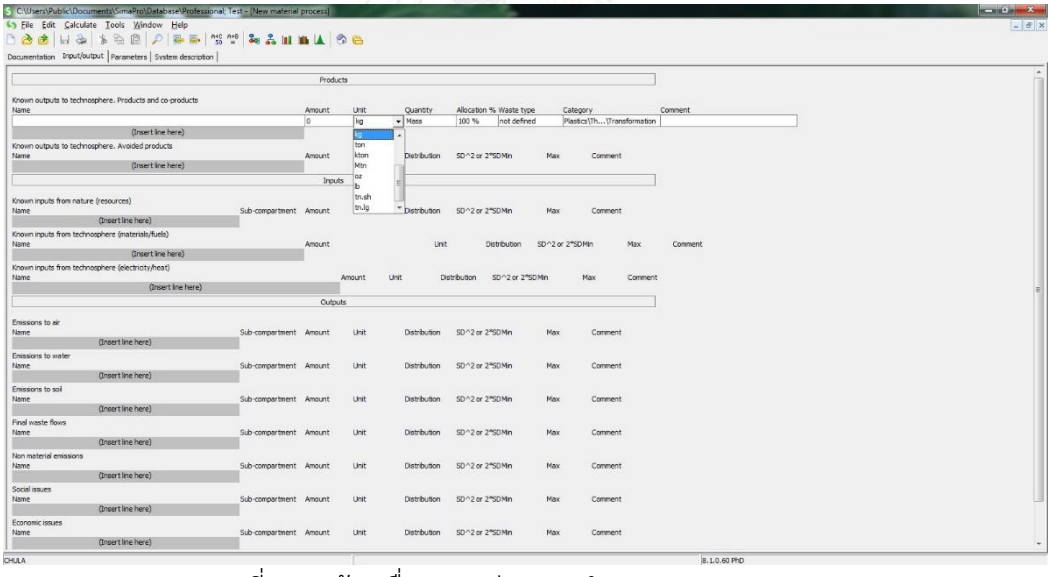
รูปที่ ก- 2 สำหรับการเริ่มต้นใช้งาน เลือก New เพื่อสร้าง Project ใหม่



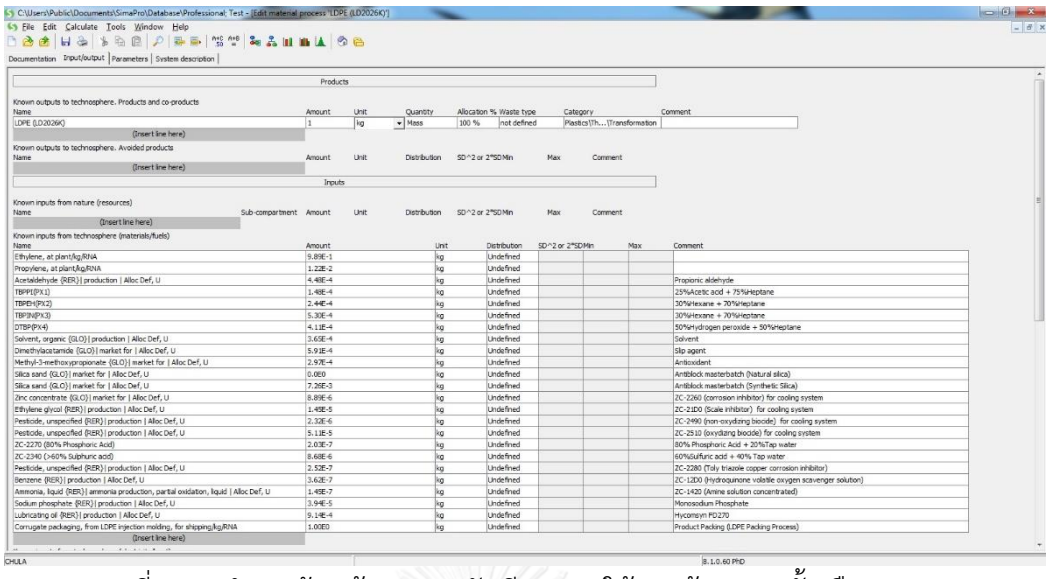
รูปที่ ก- 3 ตั้งชื่อ Project ที่ต้องการ จากนั้นเลือก OK



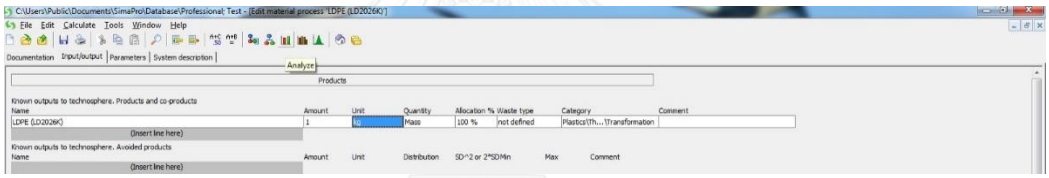
รูปที่ ก- 4 สร้าง Process ของกระบวนการที่ต้องการเพื่อใส่ข้อมูลดิบ จากนั้นเลือก New



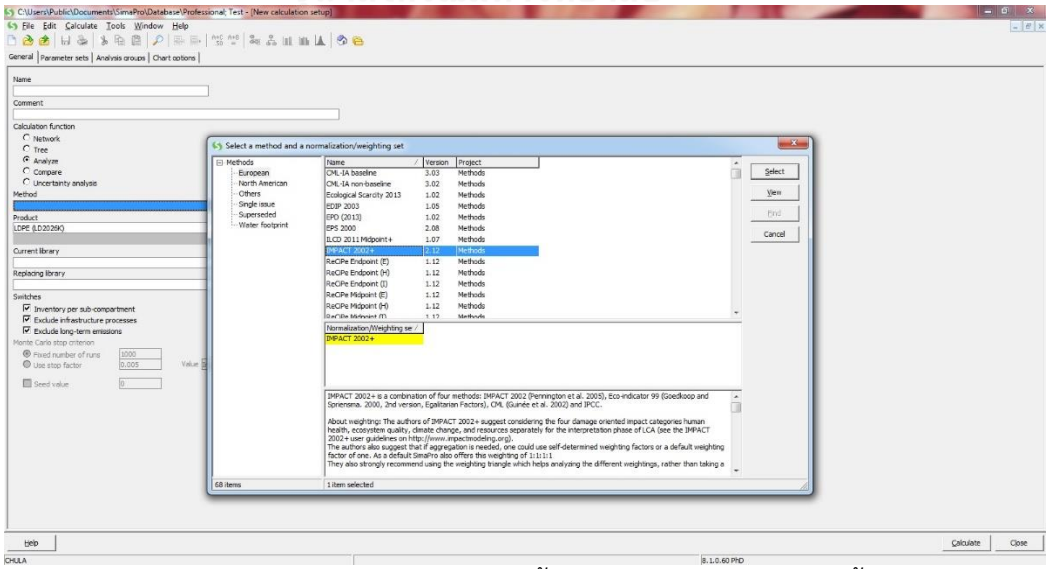
รูปที่ ก- 5 ป้อนชื่อและหน่วยการทำงานของกระบวนการ



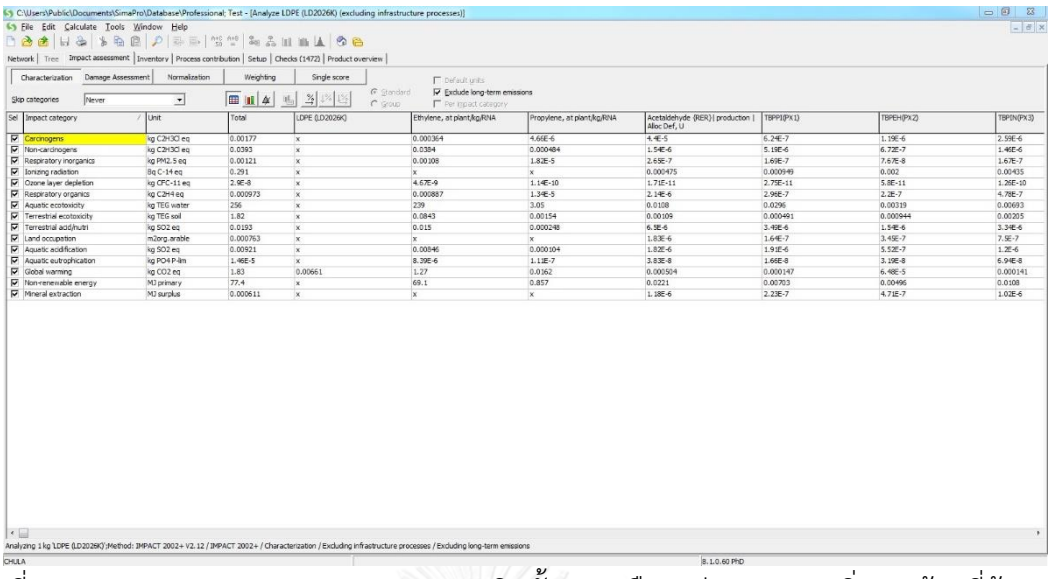
รูปที่ ก- 6 ทำการป้อนข้อมูลตามบัญชีรายการให้ครบถ้วน จากนั้นเลือก Save



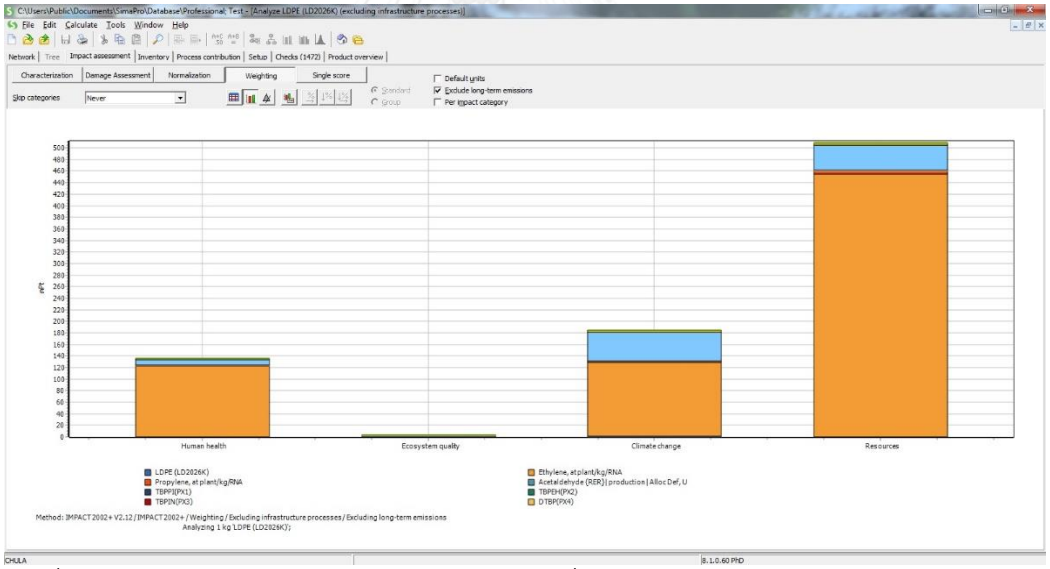
รูปที่ ก- 7 ทำการประเมินโดยเลือก Analysis



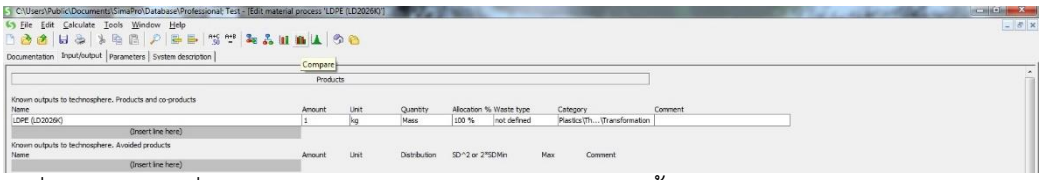
รูปที่ ก- 8 เลือก Method ที่ต้องการ โดยงานวิจัยนี้เลือก IMPACT2002+ จากนั้นเลือก Calculate



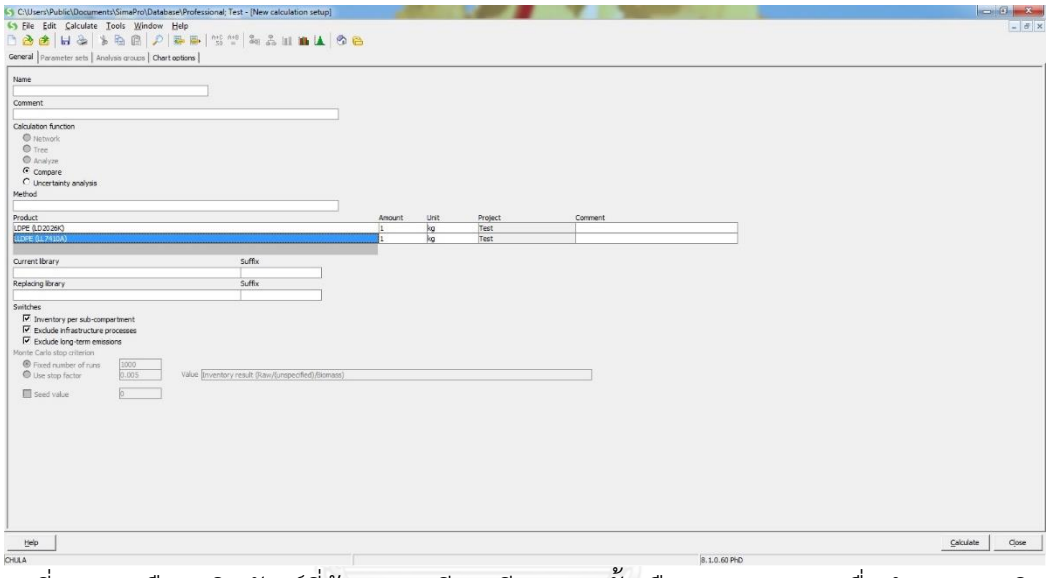
รูปที่ ก- 9 การประมวลผลจะแสดงผลการประเมินทั้งหมด เลือกกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ต้องการ



รูปที่ ก- 10 ตัวอย่างของผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม แสดงรูปแบบกราฟแผนภูมิแท่ง



รูปที่ ก- 11 กรณีที่ต้องการทำการเปรียบเทียบ 2 ผลิตภัณฑ์ขึ้นไป ทำได้โดยการเลือก Compare



รูปที่ ก- 12 เลือกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเปรียบเทียบ จากนั้นเลือก Calculate เพื่อทำการประเมิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชณิภรณ์ เรืองฤทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2534 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย ลพบุรี จ.ลพบุรี ในปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557

การเผยแพร่วิทยานิพนธ์แบบบรรยายในที่ประชุมระดับนานาชาติ

Chaniporn Ruangrit, Parnuwat Usapein, Nantamol Limphitakphong and Orathai Chavalparit. “Evaluation of the Environmental Impact of Portion Bag for Food Packaging: A Case Study of Thailand”. The proceedings of the 2 nd International Conference on Energy Materials and Applications, YMCA, Hiroshima, Japan. 10-12 May, 2017.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University