



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)

ปริญญา

วิศวกรรมเคมี

วิศวกรรมเคมี

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้

Life Cycle Environmental Impact Comparison of Juice Packaging

นามผู้วิจัย นางสาวศาดพร ศรีดาวทอง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( รองศาสตราจารย์ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถศักดิ์ จารีย์, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( อาจารย์จิตติ มังคละศิริ, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์อภิญา ดวงจันทร์, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

สิงสีทงี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้

Life Cycle Environmental Impact Comparison of Juice Packaging

โดย

นางสาวศาดพร ศรีดาวทอง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร. ศรีดาวทอง 2554: การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ น้ำผลไม้ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี) สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ธีรารัตน์ มุ่งเจริญ, Ph.D. 160 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทขวด PET ก่อตั้งเครื่องดื่ม กระป๋องอลูมิเนียม และขวดแก้วใส ด้วยเทคนิคการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิต กำหนดหน่วยการทำงานคือ บรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ที่มีปริมาตรความจุรวม 18,000 มิลลิลิตร ดังนั้นจึงใช้ขวด PET ขนาดบรรจุ 300 มิลลิลิตร จำนวน 60 ขวด ก่อตั้งเครื่องดื่มขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร จำนวน 100 ก่อตั้ง กระป๋องอลูมิเนียมขนาดบรรจุ 240 มิลลิลิตร จำนวน 75 กระป๋อง และขวดแก้วใสขนาดบรรจุ 250 มิลลิลิตร จำนวน 72 ขวด โดยใช้โปรแกรมไซมาโปร เวอร์ชัน 7.1 และวิธี CML 2 baseline 2000 ในการคำนวณตามอนุกรมมาตรฐานไอเอสโอ 14040

การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์ทั้ง 4 ประเภท ใช้ข้อมูลการบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้จากโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา (ไม่รวมการผลิตน้ำผลไม้) และการกระจายสินค้าจากตัวแทนจัดจำหน่าย โดยมีวิธีการจัดการหลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิล การเผาในเตาเผา การฝังกลบ และการใช้ซ้ำ (ขวดแก้วใส) ตามสัดส่วนการจัดการหลังการใช้งานของไทย พบว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์จากมากไปน้อยคือ ขวดแก้วใส กระป๋องอลูมิเนียม ขวด PET และก่อก่อตั้งเครื่องดื่ม มีค่า 0.047, 0.026, 0.022 และ 0.016 นาโนพอยท์ (nPt) ตามลำดับ โดยมาจากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์เป็นหลัก ซึ่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่เกิดจากการใช้น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า ยกเว้นก่อก่อตั้งเครื่องดื่มที่เกิดจากการใช้อลูมิเนียมเป็นสารตั้งต้นในการผลิตอลูมิเนียมพอยล์สำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์

แนวทางที่เหมาะสมในการจัดการหลังการใช้งานของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET ก่อก่อตั้งเครื่องดื่ม และกระป๋องอลูมิเนียม คือการรีไซเคิล ซึ่งหากมีการเพิ่มร้อยละการรีไซเคิลจากเดิม 25.07, 13.48 และ 52.98 เป็น 51.00, 31.00 และ 96.50 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ต่างประเทศทำได้สูงสุด จะช่วยลดค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ร้อยละ 6.88, 8.40 และ 63.65 ตามลำดับ ส่วนแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการบรรจุภัณฑ์ขวดแก้วใสคือการใช้ซ้ำ หากมีการเพิ่มร้อยละการใช้ซ้ำจากเดิม 12.02 เป็น 60 จะช่วยลดค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ร้อยละ 29.26 หากมีการรณรงค์เพิ่มการรีไซเคิลหรือการใช้ซ้ำให้เท่ากับต่างประเทศ จะทำให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์จากมากไปน้อยคือ ขวดแก้วใส ขวด PET ก่อก่อตั้งเครื่องดื่ม และกระป๋องอลูมิเนียม มีค่า 0.033, 0.021, 0.015 และ 0.009 nPt ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูลด้วยการเปลี่ยนแปลงชุดข้อมูลการผลิตบรรจุภัณฑ์ พบว่าค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของขวด PET และขวดแก้วใสเปลี่ยนแปลงไม่เกินร้อยละ 1.32 และ 2.53 ตามลำดับ

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Sataporn Sridowtong 2011: Life Cycle Environmental Impact Comparison of Juice Packaging.  
Master of Engineering (Chemical Engineering), Major Field: Chemical Engineering, Department of  
Chemical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Thumrongrut Mungcharoen, Ph.D.  
160 pages.

In this research, the life cycle environmental impact comparison of juice packagings, i.e. PET bottles, aseptic cartons, aluminium cans and clear glass bottles, were compared using life cycle assessment (LCA) technique. The functional unit was defined as 18,000 milliliters (mL) of juice packaging, which is equivalent to 60 units of 300 mL PET bottles, 100 units of 180 mL aseptic cartons, 75 units of 240 mL aluminium cans and 72 units of 250 mL clear glass bottles. SimaPro program version 7.1 with CML 2 baseline 2000 method was used in calculation according to the ISO 14040.

To compare the environmental impacts among four packagings, the data of juice filling (excluding juice production) from the Royal Chitralada projects and products distribution from the distributor were used. The data of waste management composed of recycling, incineration, landfill and reuse (for glass bottles only), were obtained from Thai waste management scenario. It is found that the environmental impact, in descending order, of clear glass bottles, aluminium cans, PET bottles and aseptic cartons were 0.047, 0.026, 0.022 and 0.016 nano-Points (nPt) respectively, mainly from the packaging production step. The main environmental impact was from crude oil and natural gas consumption as fuel in electricity production except for aseptic cartons, which was from aluminium consumption in aluminium foil production.

The appropriate waste management method for PET bottles, aseptic cartons and aluminium cans is recycling. If the recycling rates have increased from 25.07, 13.48 and 52.98 to 51.00, 31.00 and 96.50%, which are the maximum recycling rates from foreign countries, the environmental impacts will be reduced by 6.88, 8.40 and 63.65 %, respectively. The most appropriate waste management method for clear glass bottles is reuse. If the reuse rate has increased from 12.02 to 60%, the environmental impact will be reduced by 29.26%. If there is a campaign to increase the rates of recycling and reuse to match the maximum rates of foreign countries, the environmental impact, in descending order, of clear glass bottles, PET bottles, aseptic cartons and aluminium cans would be 0.033, 0.021, 0.015 and 0.009 nPt, respectively. The sensitivity analysis of PET bottles and clear glass bottles is studied by changing the dataset of packaging production. It is found that the environmental impacts have changed not more than 1.32 and 2.53%, respectively.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบ  
ขอบพระคุณ รศ.ดร.ธีรารัตน์ มุ่งเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผศ.ดร.อรรถศักดิ์ จารีย์  
และดร.จิตติ มังคละศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม สำหรับคำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์  
อย่างดียิ่ง ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้อง ขอขอบคุณนิสิตปริญญาโทและนิสิต  
ปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้คำแนะนำตลอดจน  
ความช่วยเหลือสนับสนุน และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา คุณวาสนา แจ่มประจักษ์ กรมควบคุม  
มลพิษ และโครงการจัดทำฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศ ที่ได้  
ความอนุเคราะห์ข้อมูลและให้คำปรึกษาอันมีประโยชน์แก่งานวิจัย

ขอขอบคุณ โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้ศูนย์ความเป็นเลิศด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมี  
และวัสดุขั้นสูง สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา ผู้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยและทุนการศึกษาแก่  
ผู้วิจัยจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วง

ประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่วงศ์ตระกูล ครูบาอาจารย์ และผู้มี  
ส่วนเกี่ยวข้องที่ไม่ได้เอ่ยนามทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือตลอดมา จนกระทั่ง  
วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วง

ศาสพร ศรีดาวทอง

ธันวาคม 2554

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	59
อุปกรณ์	59
วิธีการ	59
ผลและวิจารณ์	69
สรุปและข้อเสนอแนะ	133
สรุป	133
ข้อเสนอแนะ	136
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	137
ภาคผนวก	143
ภาคผนวก ก การคำนวณการขนส่ง	144
ภาคผนวก ข การคำนวณระยะทางการจัดจำหน่าย	146
ภาคผนวก ค การคำนวณการจัดการหลังการใช้งานในประเทศไทย	148
ภาคผนวก ง การคำนวณคะแนนเชิงเดียวตลอดวัฏจักรชีวิต	151
ภาคผนวก จ การสำรวจและวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียบรรจุภัณฑ์	153
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	160

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิธีการประเมินวิธีต่างๆ	11
2	ปริมาณการใช้ประโยชน์ของเสียในภาคอุตสาหกรรมปี พ.ศ. 2545	45
3	รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตัวประกอบการเทียบหน่วย และตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญของวิธี CML 2 Baseline 2000	67
4	ข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้ากระบวนการบรรจุน้ำผลไม้ของบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ จำนวน 18,000 มิลลิลิตร	75
5	ชนิดและระยะทางในการขนส่งสำหรับกระบวนการบรรจุน้ำผลไม้ จำนวน 18,000 มิลลิลิตร	75
6	ชนิดและระยะทางในการจัดจำหน่ายน้ำผลไม้ จำนวน 18,000 มิลลิลิตร	76
7	ปริมาณการจัดการหลังการใช้งานในประเทศไทยของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้แต่ละประเภทจำนวน 18,000 มิลลิลิตร	78
8	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละรายการในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET	81
9	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละรายการในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่ม	85
10	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละรายการในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องอลูมิเนียม	89
11	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละรายการในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส	93
12	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของขวด PET โดยวิธีการต่างๆ	99
13	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของกล่องเครื่องดื่ม โดยวิธีการต่างๆ	102
14	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของกระป๋องอลูมิเนียม โดยวิธีการต่างๆ	105

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของขวดแก้วใสโดยวิธีการต่างๆ	108
16	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ	113
17	ร้อยละการจัดการหลังการใช้งานของบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ ในประเทศไทยและต่างประเทศ	120
18	ผลของการลดน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ต่อผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนและคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต	125
19	ผลของการเพิ่มร้อยละการจัดการหลังการใช้งานและลดน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ต่อผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน และคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต	126
<b>ตารางผนวกที่</b>		
ข1	ระยะทางและร้อยละปริมาณการขนส่งในการจัดจำหน่ายน้ำผลไม้	147
จ1	องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (สำรวจครั้งที่ 1)	156
จ2	องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (สำรวจครั้งที่ 2)	158

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขั้นตอนของการประเมินวัฏจักรชีวิต	9
2	ส่วนการวิเคราะห์และจำแนกผลกระทบสิ่งแวดล้อมและส่วนเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม	10
3	สัญลักษณ์ของการรีไซเคิล PET	21
4	เม็ดพลาสติกที่ถูกฉีดให้เป็นพร็อพอร์ม	23
5	ชั้นถังหกของกล่องเครื่องดื่มยูเอชที	27
6	ไม้กระดานที่ได้จากการรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่ม	29
7	หลังคาที่ได้จากการรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่ม	31
8	การจัดการขยะบรรจุภัณฑ์โดยองค์กรที่ไม่มีกฎหมายรองรับ	46
9	แผนภาพการตัดสินใจโดยลำดับขั้น	57
10	ขอบเขตการศึกษาของบรรจุภัณฑ์ขวด PET	61
11	ขอบเขตการศึกษาของบรรจุภัณฑ์กล่องเครื่องดื่ม	62
12	ขอบเขตการศึกษาของบรรจุภัณฑ์กระป๋องอลูมิเนียม	63
13	ขอบเขตการศึกษาของบรรจุภัณฑ์ขวดแก้วใส	64
14	การผลิตบรรจุภัณฑ์ขวด PET	70
15	การผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องเครื่องดื่ม	70
16	การขึ้นรูปกระป๋องอลูมิเนียม (การรีดเย็น)	72
17	การขึ้นรูปฝากระป๋องและการประกอบชิ้นส่วน	73
18	การผลิตบรรจุภัณฑ์ขวดแก้วใส	74
19	การจำแนกข้อมูลตามรายการผลกระทบในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุ น้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET	82
20	การจำแนกข้อมูลตามรายการผลกระทบในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุ น้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่ม	86
21	การจำแนกข้อมูลตามรายการผลกระทบในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุ น้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องอลูมิเนียม	90

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	การจำแนกข้อมูลตามรายการผลกระทบในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุ น้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส	94
23	การเปรียบเทียบแต่ละรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตบรรจุ ภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่าย ของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภท ต่างๆ	97
24	การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิต บรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่าย ของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ ประเภทต่างๆ	98
25	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของ ขวด PET โดยวิธีการต่างๆ	100
26	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของ กล่องเครื่องดื่มโดยวิธีการต่างๆ	103
27	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของ กระป๋องอลูมิเนียมโดยวิธีการต่างๆ	106
28	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของ ขวดแก้วใส โดยวิธีการต่างๆ	109
29	การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการ หลังการใช้งานของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้แต่ละประเภทโดยวิธีการต่างๆ	111
30	การจำแนกข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของ บรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET	116
31	การจำแนกข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของ บรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่ม	116
32	การจำแนกข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของ บรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องอลูมิเนียม	117
33	การจำแนกข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของ บรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส	117

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
34	การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ	119
35	การเปรียบเทียบผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตระหว่างบรรจุภัณฑ์ประเทศไทยกับต่างประเทศ เมื่อเปลี่ยนแปลงร้อยละการจัดการหลังการใช้งาน	121
36	การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตระหว่างบรรจุภัณฑ์ประเทศไทยกับต่างประเทศ เมื่อเปลี่ยนแปลงร้อยละการจัดการหลังการใช้งาน	121
37	ผลของการเปลี่ยนแปลงร้อยละการรีไซเคิลหรือการใส่ซ้ำ ที่มีต่อผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ	123
38	ผลของการเปลี่ยนแปลงร้อยละการรีไซเคิลหรือการใส่ซ้ำ ที่มีต่อคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ	123
39	ผลของการเปลี่ยนแปลงร้อยละการรีไซเคิลหรือการใส่ซ้ำและลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ ที่มีต่อผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิต	127
40	ผลของการเปลี่ยนแปลงร้อยละการรีไซเคิลหรือการใส่ซ้ำและลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ ที่มีต่อคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต	127
41	การเปรียบเทียบผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET และขวดแก้วใส เมื่อเปลี่ยนแปลงฐานข้อมูลการผลิตบรรจุภัณฑ์	129
42	การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET และขวดแก้วใส เมื่อเปลี่ยนแปลงฐานข้อมูลการผลิตบรรจุภัณฑ์	129
43	การเปรียบเทียบผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ของแต่ละฐานข้อมูล	131
44	การเปรียบเทียบผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตของแต่ละฐานข้อมูล	132

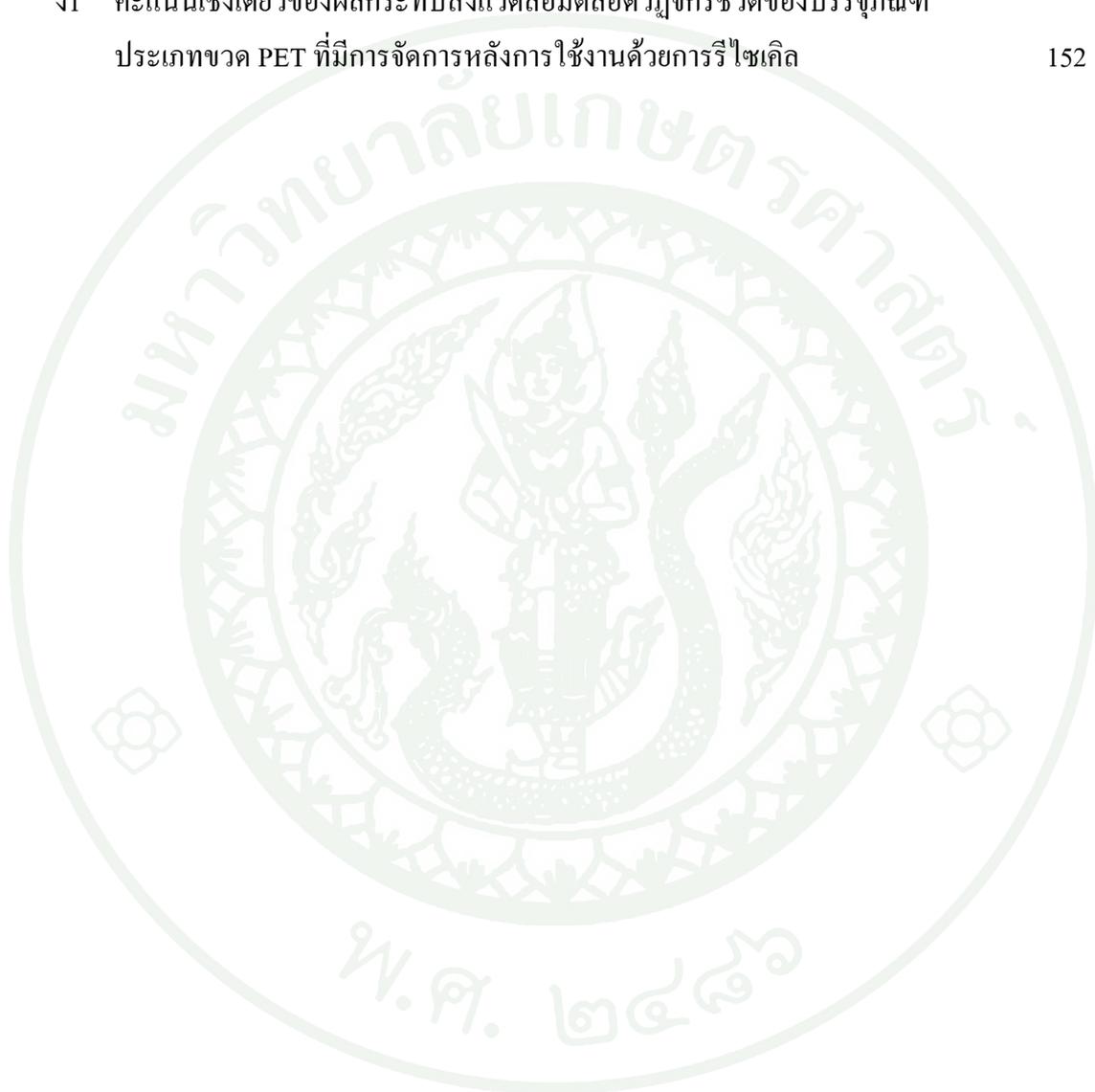
## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่

หน้า

- ง1 คะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์  
ประเภทขวด PET ที่มีการจัดการหลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิล

152



## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CFC-11	= ซีเอฟซี-11
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	= เอทิลีน
CO <sub>2</sub>	= คาร์บอน ไดออกไซด์
DB	= ไดคลอโรเบนซีน
eq.	= เทียบเท่า
GWP	= ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน
Kg	= กิโลกรัม
m <sup>2</sup>	= ตารางเมตร
PET	= โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	= ฟอสเฟต
Pt.	= ค่าผลกระทบเทียบเท่าต่อคน
Sb	= พลวง
SO <sub>2</sub>	= ซัลเฟอร์ไดออกไซด์
VOC	= สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้
w/w	= ร้อยละโดยมวลของตัวถูกละลายต่อมวลของสารละลาย
yr	= ปี

# การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้

## Life Cycle Environmental Impact Comparison of Juice Packaging

### คำนำ

สินค้าส่วนมากที่ผู้บริโภคซื้อหามาใช้ในชีวิตประจำวัน มักมาพร้อมกับบรรจุภัณฑ์เสมอ โดยจะทำหน้าที่ในการปกป้องตัวสินค้าที่อยู่ภายในหรือแสดงข้อมูลสินค้า ซึ่งมีอายุการใช้งานสั้น เพราะเมื่อถูกเปิดใช้งานก็จะกลายเป็นขยะทันที เมื่ออัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรเป็นไปอย่างรวดเร็ว รวมทั้งพฤติกรรมผู้บริโภคของประชาชนที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ จึงก่อให้เกิดปริมาณขยะมูลฝอยจากบรรจุภัณฑ์เพิ่มตามไปด้วย จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษในปี พ.ศ. 2547 องค์กรประกอบทางกายภาพของขยะบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET ก่อสร้างเครื่องดื่ม กระจกอลูมิเนียม และขวดแก้วใส คิดเป็นร้อยละ 0.19, 0.89, 0.77 และ 1.14 ตามลำดับ ของขยะมูลฝอยชุมชนในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งจะเห็นว่าขยะเหล่านี้สามารถนำกลับมารีไซเคิลหรือใช้ซ้ำได้

ปัจจุบันการจัดการขยะมูลฝอยในประเทศไทยซึ่งรวมถึงขยะบรรจุภัณฑ์เหล่านี้ ยังไม่มีการคัดแยกอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ จะมีก็เพียงกลุ่มผู้ประกอบการอาชีพเก็บและรับซื้อของเก่าที่เป็นกลไกในการคัดแยกขยะมูลฝอย เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ แต่ก็เป็นไปตามกลไกตลาดหรือความต้องการของผู้ประกอบการ ซึ่งทำให้ขยะที่ผู้ประกอบการไม่ให้ความสนใจไร้มูลค่า จึงต้องถูกนำไปกำจัดร่วมกับขยะมูลฝอยทั่วไป อีกทั้งยังไม่มีกฎหมายหลักที่ใช้ในการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์ แต่ยังมีบางหน่วยงานที่ทำหน้าที่รณรงค์ ประชาสัมพันธ์ เช่น สถาบันการบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม และสภาอุตสาหกรรม เป็นต้น การจัดการขยะมูลฝอยสร้างปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก การฝังกลบเป็นการสิ้นเปลืองพื้นที่ในการฝังกลบ โดยเฉพาะขยะบรรจุภัณฑ์ที่ต้องใช้พลังงานในการบดอัด และไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) นอกจากนี้ยังอาจเกิดการรั่วไหลของน้ำชะมูลฝอยที่มีสารอันตราย ส่วนการเผาต้องใช้เวลาเผาที่มีอุณหภูมิสูง พร้อมทั้งระบบดักจับไอระเหย ทำให้ค่าใช้จ่ายในการสร้างและดำเนินการสูงตามไปด้วย

บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุแต่ละประเภทมีข้อบกพร่องแตกต่างกัน เช่น กระจกอลูมิเนียมไม่สามารถมองเห็นอาหารที่อยู่ภายในและต้องนำเข้าวัตถุดิบหลักจากต่างประเทศ แก้วแตกหักได้ง่ายและมีน้ำหนักมาก ก่อสร้างกระดาษดูดความชื้นและบอบสลายได้ง่าย พลาสติกย่อยสลายได้ยากและ

การรีไซเคิลในประเทศไทยยังไม่สามารถนำกลับมาบรรจุอาหารได้เนื่องจากข้อกำหนดและเทคโนโลยีที่ใช้ (ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย [วว.], 2546) ปัจจุบันมีบริษัทผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์มากมายนำเสนอบรรจุภัณฑ์แบบใหม่ที่ใช้ปริมาณวัตถุดิบน้อยลง มีน้ำหนักเบาขึ้น ทำให้ช่วยลดพลังงานในการผลิต รวมทั้งยังช่วยลดต้นทุนการขนส่งได้อีกด้วย แนวโน้มของบรรจุภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มยุคใหม่ต้องพกพาสะดวก มีขนาดเล็กกลง และมีน้ำหนักเบา บรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิด PET มีคุณสมบัติที่สามารถตอบสนองความต้องการดังกล่าวได้ จึงยังคงมีบทบาทสำคัญอยู่ แต่ต้องเป็นชนิดที่รีไซเคิลได้ (ไทยแลนด์ อินคัสเทรียล ทูเดย์ , 2551) นอกจากนี้บริษัทผู้ผลิตขวดแก้วยังมีการทำการตลาดโดยใช้ข้ออ้างด้านสิ่งแวดล้อมเนื่องจากแก้วเป็นวัสดุที่ทำจากธรรมชาติ เช่น ทราย โซดาแอส และหินปูน ทำให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้บรรจุภัณฑ์ที่ทำด้วยแก้วได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่ม และกระป๋องอลูมิเนียม ที่บริษัทผู้ผลิตทำการโฆษณาประชาสัมพันธ์ร่วมกับหน่วยงานของภาครัฐ เพื่อรณรงค์ให้มีการนำไปรีไซเคิลมากขึ้น โดยเปิดจุดรับบริจาคตามสถานที่ต่างๆ

การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ของผู้บริโภคขึ้นอยู่กับความพึงพอใจและทัศนคติส่วนตัว รวมถึงความตระหนักถึงปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมน้ำผลไม้ของประเทศไทยในปัจจุบันยังไม่ได้มีการศึกษาข้อมูลเชิงเปรียบเทียบด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์เหล่านี้อย่างเป็นระบบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่มีจิตสำนึกในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ซึ่งการให้ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมที่ถูกต้องและครบถ้วนแก่ผู้บริโภคถือเป็นสิ่งสำคัญ

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ ได้แก่ ขวด PET กล่องเครื่องดื่ม กระป๋องอลูมิเนียม และขวดแก้ว โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อสะท้อนให้เห็นผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้จากทุกขั้นตอน ตั้งแต่การผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ การจัดจำหน่าย และการจัดการหลังการใช้งาน ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับภาคอุตสาหกรรมและผู้บริโภค เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้บรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังช่วยให้การใช้ทรัพยากรเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อมที่ถูกต้องและเหมาะสม

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินและวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ ได้แก่ ขวด PET กล่องเครื่องดื่ม กระป๋องอลูมิเนียม และขวดแก้วใส โดยใช้หลักการของการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต
2. เพื่อเสนอแนวทางการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และวิธีการจัดการของเสียบรรจุภัณฑ์ในแต่ละประเภทที่เหมาะสม

## ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษากระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ ได้แก่ ขวด PET กล่องเครื่องดื่ม กระป๋องอลูมิเนียม และขวดแก้วใส ตั้งแต่การผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุ การจัดจำหน่าย และการจัดการหลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิล การเผาในเตาเผา การฝังกลบ และการใช้ซ้ำ (เฉพาะขวดแก้วใส)
2. เก็บรวบรวมข้อมูลการบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้จากโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ซึ่งไม่รวมการผลิตน้ำผลไม้ และการกระจายสินค้าจากตัวแทนจัดจำหน่าย
3. ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ ได้แก่ ขวด PET กล่องเครื่องดื่ม กระป๋องอลูมิเนียม และขวดแก้วใส โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปไซมาโปร เวอร์ชัน 7.1 โดยวิธี CML 2 baseline 2000 เวอร์ชัน 2.03 ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนี้จะทำการพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ดังนี้ คือ

- การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ (Abiotic depletion)
- การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming)
- การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone layer depletion)
- การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity)
- การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด (Freshwater aquatic ecotoxicity)
- การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล (Marine aquatic ecotoxicity)

- การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทางบก (Terrestrial ecotoxicity)
- การเกิดมลพิษชั้นบรรยากาศจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมี (Photochemical oxidation)
- การก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด (Acidification)
- ภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุล (Eutrophication)
- การใช้พื้นที่ดิน (Land use)

4. กำหนดหน่วยการทำงาน (Functional Unit) คือ บรรจุก๊าซน้ำผลไม้ประเภทต่างๆ ที่มีปริมาตรความจุ 18,000 มิลลิลิตร ดังนั้นจึงใช้ขวด PET ขนาดบรรจุ 300 มิลลิลิตร จำนวน 60 ขวด ก่อตั้งเครื่องดื่มขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร จำนวน 100 ก่อตั้ง ครอบงอมอูมิเนียมขนาดบรรจุ 240 มิลลิลิตร จำนวน 75 ครอบงอม และขวดแก้วใสขนาดบรรจุ 250 มิลลิลิตร จำนวน 72 ขวด โดยขวด PET หนัก 24.87 กรัมต่อขวด ก่อตั้งเครื่องดื่มหนัก 8.39 กรัมต่อก่อกอ ครอบงอมอูมิเนียมหนัก 12.31 กรัมต่อครอบงอม และขวดแก้วใสหนัก 176.11 กรัมต่อขวด

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบรรจุก๊าซน้ำผลไม้ประเภทต่างๆ ได้แก่ ขวด PET ก่อตั้งเครื่องดื่ม ครอบงอมอูมิเนียม และขวดแก้วใส
2. ได้ข้อมูลสนับสนุนในการตัดสินใจเลือกใช้บรรจุก๊าซที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และวิธีการจัดการของเสียบรรจุก๊าซที่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยลง

## การตรวจเอกสาร

### 1. เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมเริ่มเด่นชัดมากขึ้น ความรู้ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน เครื่องมือและเทคนิคในการจัดการและประเมินทางด้านสิ่งแวดล้อมถูกพัฒนาขึ้นจากหลายๆ ประเทศ ปัจจุบันเครื่องมือในการจัดการและประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมีอยู่หลายวิธี เช่น การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment: RA) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment: EIA) การประเมินค่าสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อม (Environmental Performance Evaluation: EPE) เป็นต้น โดยแต่ละวิธีจะมีเป้าหมายและความเหมาะสมในการเลือกใช้ต่างกัน

เทคนิคของการประเมินวัฏจักรชีวิตมีความแตกต่างจากเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ที่มีอยู่ กล่าวคือ การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นกระบวนการประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Product) หรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Function) ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยเน้นผลเชิงปริมาณอย่างชัดเจน จึงทำให้การประเมินวัฏจักรชีวิตมีความซับซ้อนมากกว่าเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เพราะต้องทำการวิเคราะห์ตั้งแต่แหล่งกำเนิดของทรัพยากรที่นำมาใช้ไปจนกระทั่งถึงขั้นตอนการกำจัดผลิตภัณฑ์หลังสิ้นสุดการใช้งาน โดยพิจารณาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในทุกประเด็นที่เกิดขึ้น รวมถึงการใช้ทรัพยากรและสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นการมองถึงผลกระทบในภาพรวมที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อโลก เช่น การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนจากมลสารที่ปล่อยมา มากกว่าที่จะมองเฉพาะผลกระทบของมลสารนั้น ดังนั้นการประเมินวัฏจักรชีวิตจึงเป็นเพียงเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางด้านสิ่งแวดล้อม ไม่ได้แทนที่เครื่องมือวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมชนิดอื่นๆ ที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะอย่าง

อย่างไรก็ตามการประเมินวัฏจักรชีวิต ทำให้ทราบถึงข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำมาพิจารณาประกอบกับข้อมูลในประเด็นอื่นๆ เช่น ต้นทุน ความสะดวกสบาย และความปลอดภัยของผู้บริโภค เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจหรือการกำหนดแนวทางดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อมในอนาคต เช่น การพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงนโยบายของภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบ ทั้งต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค และการกระตุ้นให้เกิดจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น จุดเด่นที่สำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิต คือ

ความสามารถในการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นระหว่างผลิตภัณฑ์หรือบริการมากกว่าหนึ่งชนิดได้ (International Organization for Standardization [ISO], 2006)

## 2. การประเมินวัฏจักรชีวิต

### 2.1 ที่มาของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิต คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่ แปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังจากการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า เป็นการพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย โดยมีการระบุถึงปริมาณ พลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงปริมาณของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะหากระบวนการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย โดยมีที่มาจากวิกฤตการณ์พลังงานในช่วงปี ค.ศ. 1970 (Kimura *et al.*, 2001) ทำให้ประเทศต่างๆ มีนโยบายการประหยัดพลังงาน ซึ่งส่งผลต่อการปลูกจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตจึงถูกพัฒนาขึ้นและขยายรวมถึงการวิเคราะห์ผลกระทบจากการแพร่มลพิษและของเสียที่เกิดขึ้น

### 2.2 ขั้นตอนการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตจะดำเนินงานตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ซึ่งมี 4 ขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 1 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 2.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)

การกำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์ในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ และระบุขอบเขตของการศึกษารวมถึงกำหนดหน่วยการทำงาน เพื่อเป็นการกำหนดหน่วยพื้นฐานในการศึกษา โดยในขั้นตอนนี้มีความสำคัญในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เป้าหมายของการศึกษามีความชัดเจน และการวิเคราะห์สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

### 2.2.2 การจัดทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI)

การทำบัญชีรายการ โดยการรวบรวมข้อมูลต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เช่น พลังงานที่ใช้ แหล่งทรัพยากรที่ใช้ และปริมาณการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม เป็นต้น โดยการจัดหาข้อมูลนั้น เป็นปัญหาที่สำคัญของการทำ LCA เนื่องจากการทำ LCA นั้นจำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งมีความยุ่งยากในการจัดหาและรวบรวมข้อมูล และใช้เวลานานในการศึกษา

### 2.2.3 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากข้อมูลบัญชีรายการที่รวบรวมได้ แล้วทำการแปลผลบัญชีรายการหรือข้อมูลไปสู่ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในประเภทต่างๆ สำหรับการประเมินผลกระทบประกอบด้วย 4 ขั้นตอน โดยแบ่งเป็นส่วนการวิเคราะห์และจำแนกผลกระทบสิ่งแวดล้อม และส่วนเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติมดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### - การจำแนกประเภท (Classification)

ขั้นตอนนี้ทำโดยรวบรวมมลพิษที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมที่รวบรวมได้ จัดเป็นหมวดหมู่ของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น เช่น ภาวะโลกร้อน (Global Warming) การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone Layer Depletion) เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน หรือก๊าซมีเทนอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน และการเกิดมลสารชั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาแสงเคมี (Photochemical Oxidation) เป็นต้น

#### - การกำหนดบทบาท (Characterization)

ขั้นตอนนี้ทำการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างมลสารที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเภทให้อยู่ในหน่วยเดียวกัน เช่น ภาวะโลกร้อน สารต่างๆ ที่จัดว่าเป็นสาเหตุของปัญหานี้จะถูกประเมินเป็นหน่วยกิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ (kg CO<sub>2</sub>-eq.) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$EP_j = \sum(Q_i \times EF_{ij}) \quad (1)$$

เมื่อ	$EP_j$	คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบ $j$ (กิโกรัม, เทียบเท่าสารอ้างอิงของผลกระทบ $j$ )
	$Q_i$	คือ ปริมาณมลสาร $i$ ที่ปล่อยออกมา (กิโกรัมของสาร $i$ )
	$EF_{ij}$	คือ ค่าเทียบเท่าของมลสาร $i$ ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม $j$ (กิโกรัม, เทียบเท่าสารอ้างอิงของผลกระทบ $j$ ต่อกิโกรัมของสาร $i$ )

- การเทียบหน่วย (Normalization)

ขั้นตอนนี้ทำโดยการหาความสำคัญของแต่ละผลกระทบ โดยทำการเปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ต่ออายุการใช้งาน และต่อค่าการให้ขนาดของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้นๆ โดยคำนวณจากสมการที่ (2)

$$NP_{j(\text{Product})} = \frac{EP_j}{(T \times ER_j)} \quad (2)$$

เมื่อ	$NP_j$	คือ ศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม $j$ ที่ถูกปรับค่าแล้วของผลิตภัณฑ์ (Person for target year; Pt.)
	$T$	คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (ปี)
	$ER_j$	คือ ค่าการให้ขนาดของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม $j$ ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (กิโกรัมเทียบเท่าสารอ้างอิงของผลกระทบ $j$ ต่อคนต่อปี)

- การให้น้ำหนัก (Weighting)

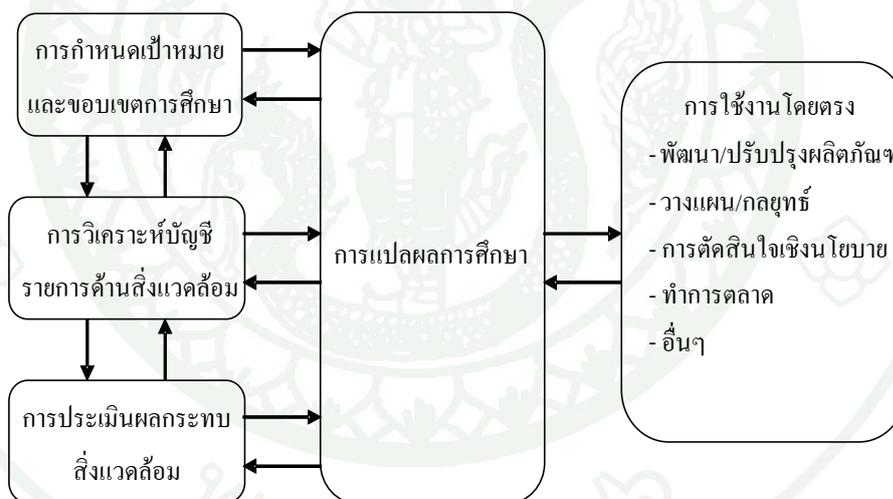
ขั้นตอนนี้ทำการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยนำค่า  $NP_j$  ที่ได้คูณด้วยค่าการให้น้ำหนักที่มีค่าระดับความสำคัญของแต่ละผลกระทบที่แตกต่างกัน เช่น ภาวะโลกร้อนอาจพิจารณาว่ามีค่าสำคัญมากกว่าสถานะฝนกรด โดยให้ค่าน้ำหนักที่อัตราส่วน 1:2 โดยค่าน้ำหนักที่คำนวณได้นี้เป็นค่าสุดท้ายที่ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่วิเคราะห์ หรือคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$WP_j = WF_j \times NP_j \quad (3)$$

- เมื่อ  $WP_j$  คือ ค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม  $j$  หลังการให้ค่าน้ำหนัก  
ความสำคัญแล้ว (Person for target year; Pt.)
- $WF_j$  คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อม  $j$  ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

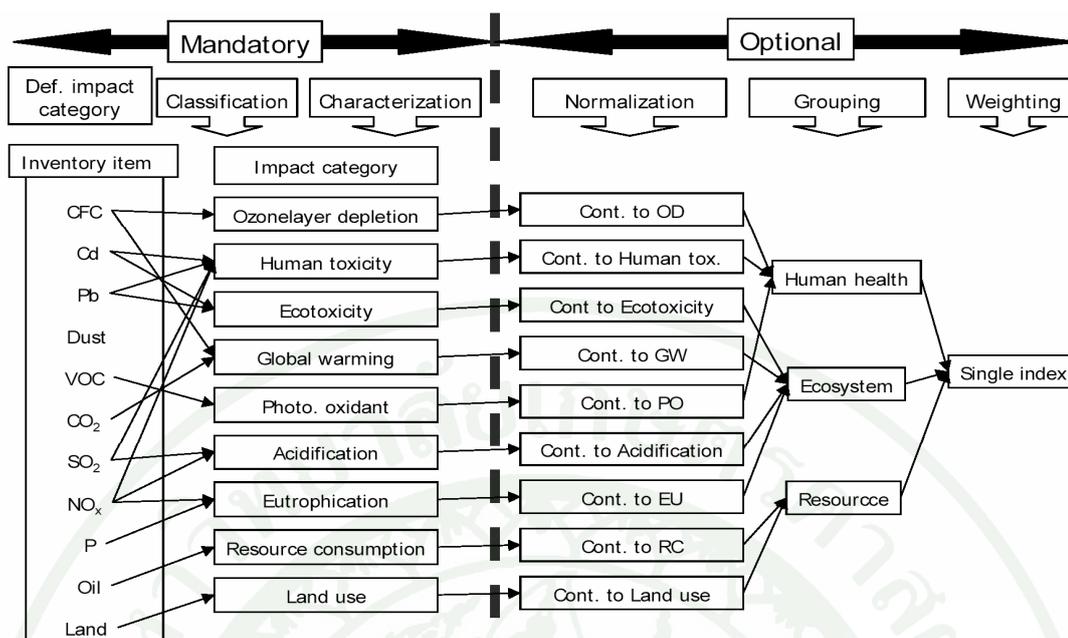
#### 2.2.4 การแปลผลการศึกษา (Interpretation)

การแปลผลและการตีความโดยการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ร่วมกับการทำบัญชีรายการ เพื่อให้ได้ข้อสรุปและข้อเสนอแนะตามวัตถุประสงค์และเป้าหมาย และเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างผลการศึกษาและวัตถุประสงค์การศึกษา



ภาพที่ 1 ขั้นตอนของการประเมินวัฏจักรชีวิต

ที่มา: International Organization for Standardization (2006)



ภาพที่ 2 ส่วนการวิเคราะห์และจำแนกผลกระทบสิ่งแวดล้อมและส่วนเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ที่มา: International Organization for Standardization (2006)

### 3. โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro

โปรแกรม SimaPro เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ได้รับการพัฒนาจาก Pre'Consultants ประเทศเนเธอร์แลนด์ เพื่อใช้ในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ทำการศึกษา เป็นการนำเอาขั้นตอนต่างๆ ของการประเมินวัฏจักรชีวิตมาจัดอย่างเป็นระบบโดยจัดข้อมูลพื้นฐานบางส่วนในโปรแกรมเพื่อที่ผู้ใช้นำไปประยุกต์ใช้ที่เหมาะสม สามารถนำไปใช้กับอุตสาหกรรมทั่วไป ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมมีดังนี้ (โอมฤทธิ, 2547)

- กำหนดขอบเขตและเป้าหมาย: ทำการกำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการประเมินผลการศึกษา

- การรวบรวมข้อมูล: เป็นการอ้างอิงข้อมูลจากข้อมูลพื้นฐานของโปรแกรม หรือข้อมูลเพิ่มเติมพื้นฐานจากกระบวนการนั้น

- การประเมินผลกระทบ: โปรแกรมมีวิธีการประเมินมาตรฐานหลายแบบ เช่น Eco-indicator 95, Eco-indicator 99, CML 92, CML 2 Baseline 2000, Ecopoints 97, EDIP 96, Environments Priority Strategy in product design: EPS 2000 เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี CML 2 Baseline 2000 เวอร์ชัน 2.03 ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความทันสมัยและมีประเภทของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้ โดยการประเมินผลกระทบแต่ละวิธีจะทำการศึกษาในรายละเอียดที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิธีการประเมินวิธีต่างๆ

วิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม	ขั้นตอน				
	การกำหนดบทบาท	การประเมินความเป็นอันตราย	การเทียบหน่วย	การให้นำหนัก	ความสำคัญ
Eco-indicator 95	✓		✓		✓
Eco-indicator 99	✓	✓	✓		✓
CML 92	✓		✓		
CML 2 Baseline 2000	✓		✓		
Ecopoints 97	✓				✓
EDIP 96	✓		✓		✓
EPS 2000	✓	✓			✓

ที่มา: Chomkumsri (2003)

ขั้นตอนในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโปรแกรมนี มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1) การกำหนดบทบาท เป็นการนำข้อมูลปริมาณสารต่างๆ ได้แก่ วัตถุคิบ ทรัพยากรพลังงาน รวมทั้งมลสารต่างๆ ที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นที่ได้จากการ

รวบรวมข้อมูล มาจำแนกตามกลุ่มของผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยทำการแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปตัวเลขที่บอกถึงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2) การประเมินความเป็นอันตราย (Damage assessment) เป็นการแปลงข้อมูลที่ได้จากการกำหนดบทบาทแล้ว ให้อยู่ในรูปของกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลัก 3 ทาง ได้แก่ ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยมนุษย์ (Human health) ผลกระทบต่อระบบนิเวศ (Ecosystem quality) และการเสื่อมสลายของทรัพยากร (Resources depletion) ซึ่งจัดเป็นผลกระทบปลายทางที่เห็นชัดและบุคคลทั่วไปสามารถเข้าใจได้ง่าย

3) การเทียบหน่วย เป็นการหาความสำคัญของศักยภาพของแต่ละผลกระทบว่าผลกระทบแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ จะมีความสัมพันธ์กับผลกระทบสิ่งแวดล้อม ที่เกิดจากกิจกรรมของสังคมในภาพรวม ทั้งระดับโลก ระดับทวีป หรือระดับประเทศอย่างไร มีหน่วยเป็น Pt ซึ่งนิยมใช้เปรียบเทียบเป็นเท่าระหว่าง 2 ผลิตภัณฑ์

4) การให้น้ำหนักความสำคัญ เป็นการให้น้ำหนักความสำคัญของแต่ละรายการหรือกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยนำค่าตัวประกอบความสำคัญ (Weighting factor) มาคูณ ซึ่งในการกำหนดน้ำหนักความสำคัญในแต่ละด้านนั้น ขึ้นอยู่กับเหตุผลและหลักเกณฑ์ในการให้คะแนนความสำคัญของผู้ทำการประเมิน ซึ่งอาจได้จากการทำแบบสอบถาม

5) การแปลความหมายข้อมูล เป็นการนำผลของการรวบรวมบัญชีรายการข้อมูล และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม มาวิเคราะห์และสรุปผลลัพธ์ที่ได้ และเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุง พัฒนาตามขอบเขตและเป้าหมายที่กำหนดไว้

#### 4. วิธีประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมแบบ CML 2 Baseline 2000

วิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมแบบ CML 2 Baseline 2000 พัฒนาโดย CML หรือ Centre of Environmental Sciences มหาวิทยาลัยไลเดน (Leiden) ประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยมีหลักการสำคัญ คือ การคำนึงถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากการปลดปล่อยมลสารสู่สิ่งแวดล้อม (Problem-oriented approach) ซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint) ที่คำนวณจากการมีส่วนร่วมทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของมลสารต่างๆ แล้วนำมารวมกันเป็น

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมรวมของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต รายการผลกระทบที่นำมาพิจารณาได้แก่

4.1 ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ลดลง (Abiotic depletion potential)

เป็นรายการที่พิจารณาถึงผลกระทบที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติ รวมถึงทรัพยากรด้านพลังงาน โดยเป็นกลุ่มทรัพยากรที่สามารถเกิดมีขึ้นใหม่ในช่วงชีวิตของมนุษย์ เช่น น้ำใต้ดิน กลุ่มทรัพยากรที่ไม่สามารถเกิดมีขึ้นใหม่ในช่วงชีวิตของมนุษย์ เช่น เชื้อเพลิงฟอสซิล และทรัพยากรที่ไม่มีวันหมดไป เช่น แสงอาทิตย์ ผลกระทบที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติจะพิจารณาถึงปริมาณทรัพยากรสำรองและอัตราในการสกัดทรัพยากรมาใช้ รายการผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติจะมีความสัมพันธ์กับการใช้สินแร่ (Mineral) และการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel) ดังนั้นตัวประกอบของศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ลดลง (Abiotic Depletion Potential Factor: ADP) จะขึ้นอยู่กับอัตราการสกัดทรัพยากรไปใช้และปริมาณสำรองของทรัพยากรนั้นๆ ทรัพยากรอ้างอิงของรายการผลกระทบนี้ คือ พลวง (Antimony) สมการในการคำนวณ แสดงดังสมการที่ (4)

$$\text{Abiotic Depletion Potential} = \sum_i ADP_i \times m_i \quad (4)$$

เมื่อ  $ADP_i = [DR_i / (R_i)^2] \times [(R_{ref})^2 / DR_{ref}]$

และ  $ADP_i$  คือ ศักยภาพในการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติของสาร  $i$  (กิโกรัม, เทียบเท่าพลวง)

$m_i$  คือ ปริมาณของทรัพยากร  $i$  ที่ถูกสกัดมาใช้ (กิโกรัม)

$R_i$  คือ ปริมาณทรัพยากรสำรอง (กิโกรัม)

$DR_i$  คือ อัตราการสกัดทรัพยากร (กิโกรัมต่อปี)

$R_{ref}$  คือ ปริมาณทรัพยากรอ้างอิงสำรอง (กิโกรัม, พลวง)

$DR_{ref}$  คือ อัตราการสกัดทรัพยากรอ้างอิง (กิโกรัมต่อปี)

#### 4.2 ศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (Global warming potential)

เป็นรายการที่พิจารณาผลกระทบจากสารที่ปล่อยสู่บรรยากาศ แล้วก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารอ้างอิง ศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) คำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$\text{Global Warming Potential} = \sum_i GWP_i \times m_i \quad (5)$$

เมื่อ  $m_i$  คือ ปริมาณสาร  $i$  ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (กิโลกรัม)

$GWP_i$  คือ ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของสาร  $i$  (กิโลกรัม, เทียบเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์)

$$\text{และ } GWP_{i,i} = \left\{ \int_0^T a_i c_i(t) dt \right\} / \left\{ \int_0^T a_{CO_2} c_{CO_2}(t) dt \right\}$$

$a_i$  คือ แรงจากรังสีต่อหน่วยความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก  $i$  (เวเบอร์ต่อตารางเมตรต่อกิโลกรัม)

$c_i(t)$  คือ ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจก  $i$  ที่เวลา  $t$  หลังจากถูกปล่อยออกมา (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

$t$  คือ เวลา (ปี)

#### 4.3 ศักยภาพในการทำให้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง (Ozone depletion potential)

เป็นรายการผลกระทบที่ประเมินการลดลงของสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน โดยใช้สารซีเอฟซี-11 (CFC-11) เป็นสารอ้างอิง ศักยภาพในการทำให้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง (Ozone Depletion Potential: ODP) คำนวณได้จากสมการที่ (6)

$$\text{Ozone Depletion Potential} = \sum_i ODP_i \times m_i \quad (6)$$

เมื่อ  $m_i$  คือ ปริมาณสาร  $i$  ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (กิโลกรัม)

$ODP_i$  คือ ศักยภาพในการทำให้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดลงของสาร  $i$  (กิโลกรัม, เทียบเท่ากับซีเอฟซี-11)

โดย  $ODP_i = \delta[O_3] / \delta[O_3]_{CFC-11}$

และ  $\delta[\text{O}_3]_i$  คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาณ โอโซน อันเนื่องมาจากการปล่อยสาร  $i$  (กิโลกรัมต่อปี)

$\delta[\text{O}_3]_{CFC-11}$  คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาณ โอโซน อันเนื่องมาจากการปล่อยซีเอฟซี-11 (กิโลกรัมต่อปี)

#### 4.4 การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity)

เป็นรายการผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ เนื่องจากสารพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ศักยภาพของความเป็นพิษต่อมนุษย์คำนวณโดยอ้างอิงจากแบบจำลองของการแพร่กระจาย (Fate model) ซึ่งอธิบายถึงการแพร่กระจาย การเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ (Exposure) และผลของอันตรายที่เกิดจากสารพิษในระยะเวลาหนึ่ง และนำการประเมินค่าความเสี่ยงเข้ามาพิจารณาร่วมด้วย ความเป็นพิษต่อมนุษย์ใช้ 1,4 ไดคลอโรเบนซีน (1,4-dichlorobenzene) เป็นสารอ้างอิง โดยคำนวณได้จากสมการที่ (7)

$$\text{Human Toxicity} = \sum_i \sum_{\text{ecomp}} m_{i,\text{ecomp}} \times \text{HTP}_{i,\text{ecomp}} \quad (7)$$

เมื่อ  $m_{i,\text{ecomp}}$  คือ ปริมาณสาร  $i$  ที่ปล่อยสู่ระบบ  $\text{ecomp}$   
 $\text{HTP}_{i,\text{ecomp}}$  คือ ศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ของสาร  $i$  1,000 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อปล่อยสู่ระบบ  $\text{ecomp}$  ( $\text{ecomp}$  พิจารณาถึงอากาศ น้ำ และพื้นที่ดินเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม)

โดย  $\text{HTP}_{i,\text{ecomp}} = [\text{PDI}_{i,\text{ecomp}} \times E_i] / [\text{PDI}_{\text{air},1,4\text{-dichlorobenzene}} \times E_{1,4\text{-dichlorobenzene}}]$

และ  $\text{PDI}_{i,\text{ecomp}}$  คือ ปริมาณคาดคะเนการได้รับสาร  $i$  ที่ปล่อยสู่ระบบ  $\text{ecomp}$

$E_i$  คือ ตัวประกอบผลกระทบจากความเป็นพิษต่อมนุษย์ เนื่องจากสาร  $i$  ที่ได้รับในแต่ละวัน

$\text{PDI}_{\text{air},1,4\text{-dichlorobenzene}}$  คือ ปริมาณคาดคะเนการได้รับ 1,4 ไดคลอโรเบนซีนที่ปล่อยสู่อากาศในแต่ละวัน

$E_{1,4\text{-dichlorobenzene}}$  คือ ตัวประกอบผลกระทบจากความเป็นพิษต่อมนุษย์เนื่องจาก 1,4 ไดคลอโรเบนซีนที่ได้รับในแต่ละวัน

#### 4.5 การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity)

ในรายการผลกระทบนี้ รวมทั้งสารพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ บนบก และระบบนิเวศ แยกเป็นระบบสิ่งแวดล้อม 3 ส่วน ได้แก่ แหล่งน้ำจืด แหล่งน้ำทะเล และระบบนิเวศพื้นดิน ความเป็นพิษอ้างอิงจากแบบจำลองของการแพร่กระจายและผลกระทบจากสารพิษ โดยใช้ไดคอลลอโรเบนซีนเป็นสารอ้างอิง ตัวประกอบการกำหนดบทบาท (Characterization factor) เป็นค่าความเข้มข้นมากที่สุดที่ระบบนิเวศน้ำและดินสามารถทนได้ ซึ่งเป็นข้อมูลจากการทดสอบความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตหลายสปีชีส์ (Multi-species test) รวมถึงอธิบายการแพร่กระจายและการสลายตัวของสารพิษ ทั้งที่เป็นพิษแบบเฉียบพลัน (Acute effect) และเรื้อรัง (Chronic effect) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8)

$$\text{Ecotoxicity} = \sum_i \sum_{\text{ecomp}} m_{i,\text{ecomp}} \times \text{ETP}_{i,\text{ecomp}} \quad (8)$$

- เมื่อ  $m_{i,\text{ecomp}}$  คือ ปริมาณสาร  $i$  ที่ปล่อยสู่ระบบ  $\text{ecomp}$
- $\text{ETP}_{i,\text{ecomp}}$  คือ ศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศของสาร  $i$  1,000 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อปล่อยสู่ระบบ  $\text{ecomp}$  ( $\text{ecomp}$  พิจารณาถึงอากาศ น้ำ และพื้นที่ดินเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม)
- โดย  $\text{ETP}_{i,\text{ecomp}} = \left[ \sum_{\text{fcomp}} F_{i,\text{ecomp},\text{fcomp}} \times E_{i,\text{fcomp}} \right] / \left[ \sum_{\text{fcomp}} F_{\text{refi},\text{refcomp},\text{fcomp}} \times E_{\text{irefi},\text{fcomp}} \right]$
- และ  $F_{i,\text{ecomp},\text{fcomp}}$  คือ ตัวประกอบความเป็นอันตรายของสาร  $i$  ที่ปล่อยสู่ระบบ  $\text{ecomp}$  ไปยังระบบ  $\text{ecomp}$  สุดท้าย
- $E_{i,\text{fcomp}}$  คือ ตัวประกอบผลกระทบต่อความเป็นพิษของระบบนิเวศของสาร  $i$  ในระบบ  $\text{ecomp}$  สุดท้าย
- $F_{\text{refi},\text{refcomp},\text{fcomp}}$  คือ ตัวประกอบความเป็นอันตรายของ 1,4 ไดคอลลอโรเบนซีน ที่ปล่อยสู่ระบบ  $\text{ecomp}$  ไปยังระบบ  $\text{ecomp}$  สุดท้าย
- $E_{\text{refi},\text{fcomp}}$  คือ ตัวประกอบผลกระทบต่อความเป็นพิษของระบบนิเวศของ 1,4 ไดคอลลอโรเบนซีน ในระบบ  $\text{ecomp}$  สุดท้าย

#### 4.6 การออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสงเคมี (Photochemical oxidation)

เป็นการเกิดมลสารทางอากาศจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจากแสงเคมี ซึ่งมีมลสารตัวอื่นเป็นสารตั้งต้นและมีรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โอโซน ฟอรั่มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) เพอรอกซี อะซีติล ไนเตรท (Proxy Acetyl Nitrate: PAN) มลสารที่เกิดขึ้นมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และระบบนิเวศ การประเมินการเกิดมลพิษขั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมี ใช้ศักยภาพการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมีของโอโซน (Photochemical Ozone Creation Potential: POCPs) เป็นตัวประกอบการกำหนดคบทบาท และ ีเอทิลีน (Ethylene) เป็นสารอ้างอิง การเกิดมลพิษขั้นทุติยภูมิสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (9)

$$\text{Photochemical Oxidation} = \sum_i \text{POCP}_i \times m_i \quad (9)$$

เมื่อ	$m_i$	คือ ปริมาณสาร $i$ ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (กิโลกรัม)
	$\text{POCP}_i$	คือ ศักยภาพการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมีของโอโซนของสาร $i$ (กิโลกรัม, เทียบเท่าเอทิลีน)
โดย	$\text{POCP}_i = [a_i/b_i]/[a_{\text{C}_2\text{H}_4}/b_{\text{C}_2\text{H}_4}]$	
และ	$a_i$	คือ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโอโซน อันเนื่องมาจากการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยได้ (Volatile Organic Compound: VOC)
	$b_i$	คือ ปริมาณการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยได้ $i$ ในเวลาหนึ่งที่กำหนด
	$a_{\text{C}_2\text{H}_4}$	คือ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโอโซน อันเนื่องมาจากการปล่อยเอทิลีน
	$b_{\text{C}_2\text{H}_4}$	คือ ปริมาณการปล่อยเอทิลีนในเวลาหนึ่งที่กำหนด

#### 4.7 ศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด (Acidification potential)

เป็นการเกิดขึ้นจากมลสารที่สามารถก่อให้เกิดความเป็นกรด เช่น ออกไซด์ของซัลเฟอร์ ( $\text{SO}_x$ ) ออกไซด์ของไนโตรเจน ( $\text{NO}_x$ ) ศักยภาพความเป็นกรด (Acidification Potential: AP) ประเมินจากความเป็นกรดของสาร โดยใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) เป็นสารอ้างอิง ระดับความรุนแรงของความเป็นกรดขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ ดังนั้นในการ

พิจารณาผลกระทบในด้านนี้จึงควรใช้ตัวประกอบน้ำหนักความสำคัญ (Weighting factor) มาพิจารณาร่วมด้วย ภาวะความเป็นกรดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (10)

$$\text{Acidification Potential} = \sum_i AP_i \times m_i \quad (10)$$

เมื่อ  $m_i$  คือ ปริมาณสาร  $i$  ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (กิโลกรัม)  
 $AP_i$  คือ ศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นกรดของสาร  $i$  (กิโลกรัม, เทียบเท่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์)

โดย  $AP_i = \eta_i / \eta_{SO_2}$   
 และ  $\eta_i$  คือ ปริมาณไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) ที่สามารถเกิดขึ้นจากการปล่อยสาร  $i$   
 $\eta_{SO_2}$  คือ ปริมาณไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) ที่สามารถเกิดขึ้นจากการปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์

#### 4.8 ภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ (Eutrophication)

เป็นการเกิดขึ้นจากความเข้มข้นของธาตุอาหารในน้ำมีสูง โดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ภาวะดังกล่าวนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของประชากรสิ่งมีชีวิตและชีวมวลในแหล่งน้ำและระบบนิเวศ ระดับออกซิเจนในน้ำจึงลดลงอย่างรวดเร็ว การก่อภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุลใช้ฟอสเฟต (Phosphate:  $PO_4^{3-}$ ) เป็นสารอ้างอิงและสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (11)

$$\text{Eutrophication} = \sum_i EP_i \times m_i \quad (11)$$

เมื่อ  $m_i$  คือ ปริมาณสาร  $i$  ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (กิโลกรัม)  
 $EP_i$  คือ ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุลของสาร  $i$  (กิโลกรัม, เทียบเท่าฟอสเฟต)

โดย  $EP_i = [V_i/M_i]/[V_{ref}/M_{ref}]$   
 และ  $V_i$  คือ ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุลของสาร  $i$  จำนวนหนึ่งโมล  
 $M_i$  คือ น้ำหนักของสาร  $i$  (กิโลกรัมต่อ โมล)

- $V_{ref}$  คือ ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุลของฟอสเฟตจำนวนหนึ่งโมล
- $M_{ref}$  คือ น้ำหนักของฟอสเฟต (กิโลกรัมต่อโมล)

#### 4.9 การใช้ที่ดิน (Land use)

ลักษณะของผลกระทบด้านการใช้พื้นที่มี 2 ลักษณะคือ

1. Conversion to continuous urban โดยจะเป็นการพิจารณากิจกรรมทางด้านการทำเหมืองแร่ คือเป็นการนำพื้นที่ที่อยู่ในสภาวะธรรมชาติมาทำเป็นเหมืองแร่ ซึ่งในแต่ละต้นของโลหะที่สกัดได้เป็นการทำให้เกิดหลุมแร่ถือว่าเป็นการทำลายสภาวะของธรรมชาติ
2. Occupation as industrial area เป็นการปรับเปลี่ยนพื้นที่ทางเกษตรกรรมมาเป็นพื้นที่ทางอุตสาหกรรม โดยทั้งสองกรณีจะคิดว่าเป็นสาเหตุให้ความหลากหลายของพืชและสัตว์ลดลงเป็นการทำลายระบบนิเวศวิทยา สำหรับวิธี CML 2 Baseline 2000 กำหนดตัวประกอบการกำหนดบทบาท มีค่าเท่ากับ 1 ในทุกแบบการใช้พื้นที่ (Institute of Environmental Science, 2001) การใช้พื้นที่ที่สามารถคำนวณจากสมการที่ (12)

$$\text{Land Use} = a \times t \times 1 \quad (12)$$

- เมื่อ  $a$  คือ ปริมาณพื้นที่ที่ใช้งาน (ตารางเมตร)
- $t$  คือ ระยะเวลาในการครอบครองหรือใช้พื้นที่ (ปี)

#### 5. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET กล่องเครื่องดื่ม กระป๋องอลูมิเนียม และขวดแก้ว

บรรจุภัณฑ์ (Packaging) ทำหน้าที่ในการปกป้องตัวสินค้าที่อยู่ภายในหรือแสดงข้อมูลสินค้า คำว่าบรรจุภัณฑ์ตามบัญญัติในคำสั่งสหภาพยุโรปว่าด้วยบรรจุภัณฑ์และมูลฝอยบรรจุภัณฑ์ (European Parliament and Council Directive 94/62/EC of 20 December 1994 on Packaging Waste-PPWD) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากวัสดุใดๆ เพื่อใช้บรรจุ ปกป้อง นำส่ง จัดการ และ

นำเสนอสินค้าที่เป็นวัตถุดิบ ไปจนถึงสินค้าสำเร็จรูปจากผู้ผลิตไปถึงมือผู้ใช้หรือผู้บริโภค (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 2)

บรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค (Consumer packaging) หมายถึง วัสดุที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์เพื่อการขนส่งและการโฆษณา เพื่อจำหน่าย และกลายเป็นขยะมูลฝอยตามบ้านเรือนทั่วไป บรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุสินค้าหน่วยเดียวหรือหน่วยย่อย โดยการห่อหรือปิดผนึกเพื่อการขายโดยตรง สามารถนำไปวางจำหน่ายในร้านได้ทันที เช่น ถุงพลาสติก กระจังโลหะ ขวดแก้ว และกล่องกระดาษแข็ง เป็นต้น หน้าที่สำคัญคือ เป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อการขายปลีก จะคุ้มครองสินค้าและอำนวยความสะดวกในการบริโภค รวมถึงทำหน้าที่เป็นผู้ขายด้วย

ในปัจจุบันบรรจุภัณฑ์มีหลายรูปแบบและหลายขนาด เพราะความรุนแรงของการแข่งขันทางการตลาด ผู้ผลิตต้องสร้างทางเลือกที่หลากหลายให้แก่ผู้บริโภค ซึ่งพิจารณาจากฐานของระดับรายได้และรสนิยมของผู้บริโภค

สินค้าที่มีขนาดเล็กหรือมีปริมาตรต่อหน่วยน้อย ราคาจะต่ำลงและเป็นที่ยอมรับในกลุ่มผู้บริโภคระดับล่าง ส่วนผู้บริโภคระดับบนที่กำลังการซื้อส่วนใหญ่นิยมเลือกซื้อสินค้าที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น ทั้งนี้เพราะเมื่อคำนวณราคาต่อหน่วยแล้วจะต่ำกว่าหรือทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าสินค้าที่ขนาดเล็กหรือมีปริมาตรต่อหน่วยต่ำ แต่จำเป็นต้องใช้อยู่ตลอดเวลาจะทำให้ปริมาณขยะที่เกิดจากการบริโภคมากตามไปด้วย ดังนั้นการเลือกขนาดของบรรจุภัณฑ์ให้มีขนาดใหญ่ยิ่งขึ้นจะทำให้ปริมาณขยะที่เกิดจากการบริโภคลดน้อยลงได้

บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในประเทศไทยผลิตจากวัสดุหลัก 4 ประเภท คือ แก้ว โลหะ/อโลหะ กระดาษ และพลาสติก มีผลิตจากไม้และปอบ้าง แต่น้อยมากเมื่อเทียบกับวัสดุ 4 ประเภทหลักดังกล่าว อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ในประเทศไทยจึงจำแนกเป็น 4 กลุ่ม คือ บรรจุภัณฑ์พลาสติก (ประมาณร้อยละ 55) บรรจุภัณฑ์กระดาษ (ประมาณร้อยละ 26) บรรจุภัณฑ์แก้ว (ประมาณร้อยละ 13) และบรรจุภัณฑ์โลหะ/อโลหะ (ประมาณร้อยละ 6) ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2551: 15) โดยประเภทของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ที่งานวิจัยนี้ให้ความสนใจ ได้แก่ ขวด PET กล่องเครื่องดื่มกระจังอลูมิเนียม และขวดแก้วใส ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## 5.1 โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate, PET)

### ข้อมูลทั่วไป

PET เป็นพลาสติกที่มีน้ำหนักเบา ค่อนข้างแข็งและเหนียว มีความต้านทานแรงกระแทกดี ไม่เปราะแตกง่าย และส่วนใหญ่จะใสทำให้มองเห็นผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ภายใน จึงนิยมใช้บรรจุ น้ำดื่ม น้ำมันพืช อาหารสำหรับเตาอบ และเครื่องสำอาง นอกจากนี้ ขวด PET ยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี เนื่องมาจากการจัดเรียงโมเลกุลแบบ Biaxial Orientation ซึ่งเป็นการจัดเรียงโมเลกุลทั้งแนวตั้ง และแนวนอนคล้ายร่างแห จึงนิยมใช้ทำเป็นภาชนะบรรจุน้ำอัดลม (ธนาวดี, 2551)

ขวด PET มีความต้องการในการบริโภคมากขึ้น จึงทำให้อัตราการผลิตสูงตามไปด้วย จากข้อมูลปริมาณขยะของกรุงเทพฯ ในปี พ.ศ. 2550 มีถึงวันละ 13,550 ตัน เป็นขวด PET ประมาณร้อยละ 10 ถ้าหากกำจัดด้วยวิธีการเผาจะทำให้เกิดมลพิษ มีสารไดออกซิน (Dioxine) หรือสารก่อมะเร็งออกมา หากฝังต้องใช้เวลาประมาณ 1,000 ปีในการย่อยสลาย ภาพที่ 3 เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงว่าพลาสติก PET สามารถนำกลับไปแปรสภาพเพื่อการใช้งานใหม่ในรูปแบบอื่น ซึ่งอยู่บริเวณก้นของขวด (สยามรีไซเคิล, 2552)



ภาพที่ 3 สัญลักษณ์ของการรีไซเคิล PET

ที่มา: สยามรีไซเคิล (2552)

### กระบวนการผลิต

ขวด PET เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบควบแน่นสองขั้นตอน คือ ปฏิกิริยาการเตรียมเอสเทอร์ (Esterification) โดยการใช้กรดเทเรพทาติก (Terephthalic acid) และเอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol) เป็นสารตั้งต้น หรือใช้ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ (Transesterification) โดยใช้ไดเมทิลเทเรพทาเลต (Dimethyl terephthalate) ร่วมกับเอทิลีนไกลคอล ที่อุณหภูมิ 275-285 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารไดเอสเทอร์ (Di-ester) แล้วจากนั้นก็ผ่านเข้าสู่กระบวนการการสังเคราะห์พอลิเมอร์ (Polymerization) ให้มีน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมในการขึ้นรูป (ชาณชัย, 2553)

โดยทั่วไปการผลิตขวดพลาสติก PET มักใช้กระบวนการเป่าแบบดึงยืด (Stretch blow moulding) ซึ่งเป็นการผลิต 2 ขั้นตอน โดยเริ่มจากกระบวนการฉีดเม็ดพลาสติกให้เป็นพรีฟอร์ม (ภาพที่ 4) และเป่าพรีฟอร์มให้เป็นขวดน้ำตามลำดับ ขั้นตอนสำคัญของกระบวนการผลิตเริ่มจากการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิประมาณ 160 ถึง 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 6-8 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเม็ด PET และความชื้นที่มีอยู่ในเม็ด PET (รุจน์ ตันหาเศรษฐี, 2552) เนื่องจาก PET มักดูดความชื้นจากอากาศได้สูง (Hygroscopic plastics) โดยปกติเม็ดพลาสติก PET มักมีความชื้นประมาณร้อยละ 0.05 จึงต้องอบไล่ความชื้นในเม็ดพลาสติกให้เหลืออยู่ไม่สูงเกินร้อยละ 0.005 ก่อนถูกทำให้หลอมเพื่อฉีดเป็นพรีฟอร์ม ในขั้นตอนการเปลี่ยนรูปร่างของพรีฟอร์มให้เป็นขวดเริ่มจากการทำให้พรีฟอร์มร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส จนพรีฟอร์มเริ่มนิ่มก่อนนำเข้าสู่กระบวนการเป่าแบบดึงยืดใน 2 ทิศทาง ด้วยลมที่ความดันประมาณ 40 บาร์ เพื่อให้ผนังพรีฟอร์มขยายตัวไปกระทบผนังแม่พิมพ์รูปขวด ขวดที่อยู่ในแม่พิมพ์จะถูกทำให้เย็นลงด้วยน้ำหล่อเย็น ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 8 องศาเซลเซียส เมื่อพลาสติกเย็นตัวลงจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นขวดพลาสติกใสจากนั้นขวด PET จะถูกส่งต่อมายังสายพานลำเลียง และส่งเข้าเครื่องจัดเรียงขวดบนแท่นรองรับ การควบคุมปริมาณผลึกในพรีฟอร์มและขวดเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้ขวดที่มีสมบัติตามต้องการ บริเวณคอและตัวของพรีฟอร์มควรรีและเป็นอสัณฐาน แต่ส่วนที่เป็นจุดที่ฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์จะเป็นส่วนที่ขุ่น และมีผลึกแบบ Spherulitic ภายหลังจากการเป่าแบบดึงยืดต้องทำให้พลาสติกมีปริมาณผลึกสูงสุด เพื่อให้ขวดมีความแข็งแรง การป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซ และทนสารเคมีได้ดี



ภาพที่ 4 เม็ดพลาสติกที่ถูกฉีดให้เป็นพรีฟอร์ม

ที่มา: ธนาวดี (2551)

สารอะซีตาลีไฮด์ หรือ AA เป็นสารที่พบโดยทั่วไปในผลไม้รสเปรี้ยว และอาหารหลายชนิด รวมทั้งสามารถเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตขวด PET โดยเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตขวดขณะเม็ดพลาสติกที่ผ่านการอบแห้งผ่านเข้าสู่กระบวนการหลอมที่อุณหภูมิสูง 260 องศาเซลเซียส เพื่อฉีดขึ้นรูปเป็นพรีฟอร์ม ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิในช่วงเวลาที่เม็ดพลาสติกเกิดการหลอมให้ต่ำที่สุดจะช่วยลดปริมาณการเกิดสาร AA ได้ อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถป้องกันการเกิดสาร AA ได้อย่างสิ้นเชิงซึ่งส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมการผลิตน้ำดื่มที่บรรจุขวด PET เนื่องจาก สาร AA ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตนี้จะติดอยู่ในเนื้อพลาสติกที่ใช้ทำขวด หรือบรรจุภัณฑ์ และสามารถเคลื่อนที่ออกจากเนื้อพลาสติกมีผลทำให้เกิดการปนเปื้อนในอาหารและเครื่องดื่ม ก่อให้เกิดรสชาติที่เปลี่ยนแปลงทำให้กลิ่นและรสชาติของน้ำเปลี่ยนแปลงไป จนผู้บริโภคสามารถรับรู้ได้ ซึ่งบางท่านอาจเคยประสบด้วยตัวเองเมื่อดื่มน้ำจากขวดที่ผลิตจากบางบริษัทและพบว่าน้ำดื่มมีกลิ่นพลาสติกอยู่ด้วย ปริมาณการเคลื่อนที่ของสารออกจากเนื้อพลาสติกขึ้นอยู่กับระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บ อย่างไรก็ตามยังมีวิธีการลดปริมาณสาร AA บางประการเช่น การเลือกเกรดของเม็ดพลาสติกที่เหมาะสม โดยเลือกใช้เม็ดพลาสติกที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับน้ำดื่มโดยเฉพาะ และปัจจุบันมีการเติมสารดูดซับ หรือทำปฏิกิริยากับสาร AA (AA scavenger) ลงในเนื้อพลาสติกก่อนการฉีดขึ้นรูป เพื่อป้องกันไม่ให้สาร AA เคลื่อนที่ออกมาจากเนื้อพลาสติกเข้าสู่อาหาร การเติมสารดังกล่าวข้างต้นสามารถลดปริมาณสาร AA ในพรีฟอร์มได้ถึงร้อยละ 70-80

PET ที่ใช้เป็นวัตถุดิบทั่วไปในอุตสาหกรรมการผลิตขวดพลาสติกมีหลายเกรด เช่น เกรดโฮโมโพลิเมอร์ สังกะราห์จากการใช้สารเอทิลีนไกลคอลและเทรฟทาติกแอซิด เป็นสารตั้งต้น

เท่านั้น เป็นเกรดที่มีปริมาณผลึกและจุดหลอมเหลวสูง และเกรดโคโพลิเมอร์ ซึ่งในการสังเคราะห์มีการใช้โมโนเมอร์ตัวอื่นร่วมด้วยเช่น ไอโซแพททาลิกแอซิดร้อยละ 1.5 ทำให้โพลิเมอร์มีปริมาณผลึก และจุดหลอมเหลวต่ำลง แต่มีความใสเพิ่มขึ้น ในการผลิตขวด PET ส่วนใหญ่จะใช้ชนิดที่เป็นเกรดโคโพลิเมอร์ เนื่องจากสามารถฉีดขึ้นรูปเป็นพรีฟอร์มได้ง่าย เมื่อผ่านเข้าสู่ขั้นตอนการเป่าและดึงยืด จะได้ขวด PET ที่มีความเหนียว ใส และทนแรงกระแทกได้ดี อย่างไรก็ตามผู้ผลิตควรเลือกเกรดที่เหมาะสมกับชนิดของเครื่องตีหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการบรรจุด้วย (ชนาวดี, 2551)

#### การจัดการหลังการใช้งาน

จากข้อได้เปรียบหลายประการของพลาสติก ส่งผลให้บรรจุภัณฑ์พลาสติกเข้ามามีบทบาทเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทั้งในอุตสาหกรรมอาหารและไม่ใช่อาหาร แม้จะเป็นวัสดุที่ย่อยสลายไม่ได้ แต่สามารถแปรใช้ใหม่หรือรีไซเคิลได้ หากจัดการอย่างเหมาะสมปัญหาขยะบรรจุภัณฑ์พลาสติกน่าจะลดลง

บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ใช้เป็นภาชนะเพื่อบรรจุภัณฑ์สินค้าบริโภคจะมีอายุการใช้งานไม่นานนัก กล่าวคือต้องบริโภคให้หมดภายในระยะเวลาอันสั้น ดังนั้นสินค้าบริโภคส่วนใหญ่จึงนิยมผลิตให้มีขนาดเล็ก (ทั้งนี้เพราะข้อจำกัดของอายุผลิตภัณฑ์) กระบวนการนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกกลับมาใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่จะผ่านกลไกการดำเนินงานของผู้บริโภคโดยการนำกลับมาใช้ซ้ำตามความจำเป็น และการนำไปขายให้แก่ซาเล้งและร้านรับซื้อของเก่าเพื่อส่งต่อไปให้โรงงานสำหรับนำกลับมาใช้ซ้ำและรีไซเคิลต่อไป พลาสติกชนิดนี้มีลักษณะใส ราคาซื้อขายในตลาดค้าของเก่าและวัสดุเหลือใช้ค่อนข้างสูงกว่าพลาสติกชนิดอื่นๆ จึงถูกกลไกการเรียกคืนกลับไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างมาก แต่ก็ยังหลงเหลือไปสู่สถานที่กำจัดหรือสถานีขนถ่ายเช่นเดียวกับวัสดุอื่นๆ การนำกลับไปใช้ประโยชน์ไปแปรรูปใช้ใหม่มากกว่าการใช้ซ้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 10)

การรีไซเคิล PET ด้วยการรีไซเคิลเชิงกล (Mechanical recycling) เป็นเทคนิคที่ง่ายและนิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน โดยการเก็บพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาคัดแยกตามประเภทและสี บีบให้แบนแล้วมัดรวมกันเป็นก้อน เพื่อแยกส่งไปยังโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่โรงงาน จากนั้นนำมาบดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วล้างทำความสะอาดในบ่อน้ำขนาดใหญ่ ทำให้แห้งโดยการตากแดดหรือใช้อากาศร้อน ป้ายกระดาษหรือฟิล์มที่ติดมากับชิ้นพลาสติกจะถูกเป่าแยกออกมา จึงสู่ขั้นตอนการหลอม พลาสติกเหลวที่ได้จะถูกส่งผ่านแผ่นกรองที่มีขนาดพอเหมาะ เพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่ยังตกค้างอยู่ ก่อนผ่านเข้าสู่เครื่องอัดรีด (Extruder) ออกมาเป็นเส้น แล้วตัดให้เป็นเม็ด

พลาสติกเกรดสองหรือเม็ดพลาสติกรีไซเคิล เพื่อนำกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยคุณภาพของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลนี้ จะเป็นตัวกำหนดการนำไปใช้งานและปริมาณการผสมที่ต้องการ ปัญหาในกระบวนการรีไซเคิลพลาสติกคือ หลังจากผ่านกระบวนการรีไซเคิลในแต่ละครั้งพลาสติกจะมีคุณภาพต่ำลง ปฏิบัติการขาดของสายโซ่โมเลกุลทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในเกรดประโยชน์สูงสุด และมีราคาถูกลงเรื่อยๆ จนบางครั้งไม่คุ้มต่อการลงทุนสาเหตุที่สำคัญเนื่องจากการปนเปื้อนของสิ่งสกปรก ฉลากเล็กๆ หรือเศษกาวทำให้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีสีเข้มขึ้น หรือมีความใสลดลง นอกจากนี้ความชื้นในพลาสติก และความร้อนที่ใช้ในการหลอมพลาสติกยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการสลายตัว หรือเกิดการขาดของสายโซ่โมเลกุลของโพลิเมอร์ที่ใช้ทำพลาสติก ทำให้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีสีเหลือง และมีสมบัติเชิงกลลดลงด้วย บางครั้งโรงงานจะนำเม็ดพลาสติกใหม่มาผสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติดีขึ้นก่อนนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูป (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550)

ในขั้นตอนของการบดพลาสติกเพื่อให้มีขนาดเล็กลง ไม่ไปอุดตันในกระบวนการรีไซเคิลนั้น จะทำให้พลาสติกรีไซเคิลมีสมบัติความแข็งแรงทางกายภาพลดลง เนื่องจากแรงเฉือนเชิงกล (Mechanical shear) ในเครื่องบดไปทำลายโซ่ของโพลิเมอร์ให้แตกออก ทำให้ความยาวของโมเลกุลและน้ำหนักโมเลกุลลดลง ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพลาสติกลดลง นอกจากนี้เรื่องของความบริสุทธิ์ก็มีความสำคัญต่อสมบัติของพลาสติกแต่ละชนิด ในการเลือกเพื่อนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ หากใช้กระบวนการแยกพลาสติกที่ไม่ดีพอ อาจทำให้ไม่ได้พลาสติกรีไซเคิลที่บริสุทธิ์ (ชนาวดี, 2552)

PET ที่ได้จากการรีไซเคิลใช้ประโยชน์ได้มาก คือ

- นำไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ PET สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้โดยนิยมนำมาผลิตเป็นเส้นใยโพลีเอสเตอร์สำหรับทำเสื้อกันหนาว พรม
- นำไปผลิตเป็นใยฝ้ายเทียมเพื่อใช้ในเครื่องนอน เช่น หมอน พูก ฝ้านวม
- ทำเป็นฟิล์มใสเพื่อห่อสินค้า เช่น ห่อดรัมเทปคาสเซ็ทหรือดรัมวิดีโอ
- กลับไปเป็นขวดหรือภาชนะใส่อาหารอีก

## 5.2 กล่องเครื่องดื่ม

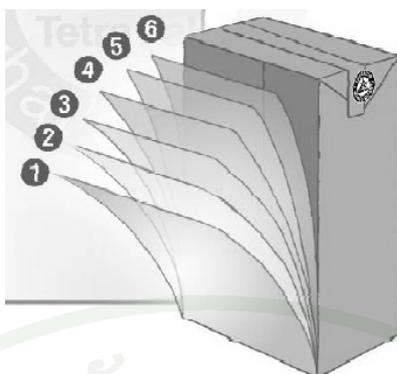
### ข้อมูลทั่วไป

กล่องเครื่องดื่ม คือกล่องที่ใช้บรรจุเครื่องดื่ม หรืออาหารเหลวประเภทนม น้ำผลไม้ ชา กาแฟ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. กล่องยูเอชที มีกระดาษ อลูมิเนียมฟอยล์ และพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีนเป็นส่วนประกอบ ซึ่งช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุสามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่ต้องแช่เย็น
2. กล่องพาสเจอไรซ์ มีส่วนประกอบเป็นกระดาษ และพลาสติกเท่านั้น จึงต้องแช่เย็นเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่เก็บไว้ได้นาน

โดยชั้นทั้งหกของกล่องเครื่องดื่มมีหน้าที่ช่วยปกป้องอาหารและเครื่องดื่มที่อยู่ภายใน จากแสงสว่าง ออกซิเจน และแบคทีเรีย ทำให้เก็บไว้ได้นานโดยไม่ต้องแช่เย็นและไม่ต้องใช้วัตถุกันเสีย ซึ่งชั้นทั้งหกของกล่องเครื่องดื่มประกอบด้วย

1. โพลีเอทิลีน เพื่อป้องกันความชื้นจากภายนอก
2. กระดาษ เพื่อความคงทนแข็งแรงของกล่อง
3. โพลีเอทิลีน เพื่อช่วยผนึกกล่องให้แน่นสนิท
4. อลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อป้องกันผลกระทบจากสภาวะภายนอก ได้แก่ ออกซิเจน แสงสว่าง และแบคทีเรีย
5. โพลีเอทิลีน เพื่อช่วยผนึกกล่องให้แน่นสนิท
6. โพลีเอทิลีน เพื่อช่วยยึดติด และป้องกันการรั่วซึม ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ชั้นทั้งหกของกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

ที่มา: สิ้นชัย (2551)

ปัจจุบันกล่องเครื่องดื่มเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย เพราะกล่องปลอดเชื้อสามารถคงคุณค่าและเก็บความสดใหม่ให้กับเครื่องดื่มได้นานถึง 6 เดือนโดยไม่ต้องใส่วัตถุกันเสีย และไม่ต้องแช่เย็น จึงปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค เมื่อไม่ต้องแช่เย็นก็ไม่ต้องเปลืองค่าไฟ นอกจากนี้น้ำหนักกล่องที่เบายังช่วยประหยัดเชื้อเพลิงในการขนส่ง

กระดาษซึ่งเป็นวัสดุหลักในการผลิตกล่องมาจากสวนป่าที่ปลูกทดแทนต่อเนื่องพร้อมหมุนเวียนมาใช้ใหม่ (Renewable) จึงไม่ต้องทำลายป่าไม้จากธรรมชาติ แต่ก็ต้องยอมรับว่าเป็นการปลูกเชิงเกษตรกรรม ที่ไม่ก่อให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพ

#### กระบวนการผลิต

กระดาษและกระดาษแข็งจัดเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีราคาถูก เมื่อเทียบกับความแข็งแรงความสามารถในการพิมพ์ประชาสัมพันธ์ และภาพลักษณ์ที่ดีในเชิงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากผลิตจากเยื่อไม้ซึ่งสามารถปลูกทดแทนได้และย่อยสลายตามธรรมชาติได้ ขณะเดียวกันกระดาษมีข้อเสียด้านเสียรูปทรงหรือขาดยุ่ยเมื่อเปียกน้ำ จึงต้องเคลือบหรือลามิเนตด้วยพลาสติกหรืออลูมิเนียมฟอยล์ ส่งผลให้กลายเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีแต่จัดการยาก (แยกส่วนรีไซเคิลยาก) โดยอลูมิเนียมฟอยล์เป็นโลหะผสมที่มีสมบัติอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อน สามารถรีดให้มี ความบางเพียง 0.04 มิลลิเมตร ใช้บรรจุอาหารและยาหรือใช้ร่วมกับวัสดุชนิดอื่น เช่น ประกบหรือลามิเนตด้วยพลาสติก เพื่อเพิ่มคุณสมบัติการป้องกันไอน้ำและอากาศ และยืดอายุของอาหารที่บรรจุ

ในการผลิตกระดาษโดยทั่วไปจะผสมเยื่อใยสั้น (Short fiber pulp) ประมาณร้อยละ 67-70 เยื่อใยยาว (Long fiber pulp) ประมาณร้อยละ 10 และแคลเซียมคาร์บอเนตประมาณร้อยละ 18-20 สำหรับเยื่อใยสั้นและแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถผลิตจากวัตถุดิบภายในประเทศ ขณะที่เยื่อใยยาวยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 4-6)

กระบวนการผลิตกล่องเครื่องดื่มของบริษัท เต็ดตรา แพ้ค (Mourad *et al.*, 2007) เริ่มจากการผลิตเซลลูโลสที่ได้จากการปลูกต้นไม้เพื่อนำไปผลิตแผ่นกระดาษ รวมทั้งการผลิตเอทิลีนที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันเพื่อนำไปผลิตโพลีเอทิลีน และการผลิตอลูมินาที่ได้จากการทำเหมืองแร่บอไซด์เพื่อนำไปผลิตอลูมิเนียมฟอยล์ จากนั้นจึงขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด (Extrusion) ที่ประกอบด้วยชั้นของกระดาษแข็งที่ผ่านการพิมพ์ลายแล้ว ตามด้วยชั้นของอลูมิเนียมฟอยล์และโพลีเอทิลีน

#### การจัดการหลังการใช้งาน

พฤติกรรมกรบรีโกลินค้าของคนไทยส่วนใหญ่ ขึ้นอยู่กับรายได้และรสนิยมเป็นสิ่งสำคัญ โดยกล่องเครื่องดื่มถือเป็นภาชนะบรรจุภัณฑ์ซึ่งมีปริมาณต่อหน่วยต่ำหรือมีขนาดเล็ก ผู้บริโภคต้องใช้ต่อเดือนสูง ย่อมก่อให้เกิดขยะบรรจุภัณฑ์สูงตามไปด้วย ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าขยะบรรจุภัณฑ์กล่องเครื่องดื่มมีอัตราการเกิดต่อหน่วยเวลามากที่สุด เพราะประชาชนต้องซื้อและบริโภคอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณมากแต่ขยะบรรจุภัณฑ์กระดาษก็มีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้สูง ยกเว้นที่มีการปนเปื้อนมากทั้งที่ปนเปื้อนสารอันตรายและไม่อันตรายที่ต้องนำไปกำจัดอย่างเดียว (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 14-16)

กระดาษของกล่องเครื่องดื่มทำมาจากเยื่อใยยาวที่ได้จากป่าปลูกหรือสวนป่าเชิงพาณิชย์ที่ได้รับการรับรองจากองค์กรอิสระ และมีการปลูกทดแทนมากกว่าอัตราการนำไปใช้ การรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่มจึงช่วยทดแทนการนำเข้าเยื่อใยยาวจากต่างประเทศ ในประเทศไทยการรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่มร้อยละ 98 เป็นการรีไซเคิลเพื่อแยกเยื่อกระดาษ ซึ่งเริ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2547 โดยบริษัท ไฟเบอร์พัฒนา จำกัด เป็นโรงงานแยกเยื่อกระดาษจากกล่องเครื่องดื่มเพียงแห่งเดียวในประเทศไทย ส่วนอีกร้อยละ 2 เป็นการทำแผ่นไม้อัดจากกล่องเครื่องดื่มของโรงงานกรีนบอร์ด ซึ่งก่อตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2543 โดยบริษัท กรีนบอร์ด (ประเทศไทย) จำกัด และในปี พ.ศ. 2551 มีการจัดตั้งโรงงานชิปบอร์ด (Chip board) โดยบริษัท อ่าพลฟู๊ดส์ โพรเซสซิ่ง จำกัด ซึ่งผลิตแผ่นไม้อัดจากกล่องเครื่องดื่มเช่นเดียวกัน โรงงานรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่มในประเทศไทยมีศักยภาพในการแปรรูป

กล่องเครื่องดื่มน้ำได้เดือนละ 3,000 ตัน โดยมีกล่องเครื่องดื่มน้ำแล้วส่งมาที่โรงงานรีไซเคิลเดือนละ 400 ตัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี (ศูนย์รีไซเคิลกล่องเครื่องดื่มน้ำ, 2552)

ทุกส่วนของเครื่องดื่มน้ำทั้งที่เป็นกระดาษ พลาสติก และอลูมิเนียมฟอยล์ สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้โดยการปั่นแยกเยื่อกระดาษด้วยเครื่องตีเยื่อ การรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่มน้ำ สามารถทำได้สองวิธี คือ การนำไปอัดเป็นแผ่นไม้กระดาน หรือแยกกระดาษที่เป็นวัสดุหลักไปเป็นผลิตภัณฑ์กระดาษต่างๆ เฉลี่ยแล้วกล่องกระดาษ 1 ตัน จะมีเยื่อกระดาษอยู่ประมาณ 600 กิโลกรัม เยื่อกระดาษที่มีเยื่อใยยาวและเยื่อถึงเคมี (CTMP) ที่ไม่เคยใช้งานมาก่อน (Virgin pulp) จะมีความแข็งแรงกว่าเยื่อกระดาษจากกล่องกระดาษเก่า (Old corrugated carton boxes) ที่ผ่านการรีไซเคิลมาหลายครั้ง ดังนั้นเยื่อกระดาษที่ได้มาจากกล่องเครื่องดื่มน้ำ จึงเหมาะที่จะนำมาทำเป็นกระดาษกล่องที่ต้องการความแข็งแรงสูง เช่น สมุด หนังสือ แฟ้ม และกล่องลังนอก ส่วนเศษพลาสติกและอลูมิเนียมฟอยล์ที่เหลือจะผ่านเข้าเครื่องฉีดพลาสติกให้เป็นเส้นแล้วตัดให้เป็นเม็ด ได้ผลิตภัณฑ์พลาสติก เช่น ที่รองแก้ว ที่วางซีดี กระจา กระจาดต้นไม้ ตะกร้า ไม้แขวนเสื้อ ถังใส่น้ำ กะละมัง กล่องดินสอ ไปจนถึงกรวยสีส้อมที่เราเห็นกันอยู่บนท้องถนน และแผ่นหลังคาเขียว (จิราวรรณ, 2552)



ภาพที่ 6 ไม้กระดานที่ได้จากการรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่มน้ำ

ที่มา: เซนจ์ฟิวชั่น (2551ข)

ไม้กระดาน (Green board) คือแผ่นกระดาษอัดที่ได้จากการรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่มน้ำ ประกอบด้วยกระดาษรีไซเคิล 75 โพลีเอทิลีนรีไซเคิล 20 และอลูมิเนียมฟอยล์รีไซเคิล 5 ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งนั้น (ภาพที่ 6) กล่องเครื่องดื่มน้ำที่ใช้แล้วจะถูกนำมาตัดย่อยเป็นชิ้นเล็กๆ ก่อนที่จะนำมาโรยบนแผ่นเหล็กเพื่อขึ้นรูปแผ่นตามความหนาที่ต้องการ จากนั้นจะนำเข้าเครื่องอัดร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เพื่อหลอมพลาสติกที่ปนอยู่ แล้วจึง

นำไปเข้าเครื่องอัดเย็นโดยพลาสติกจะเป็นตัวยึดกระดาษ และอลูมิเนียมฟอยล์ให้ติดเป็นเนื้อเดียวกัน จึงไม่จำเป็นต้องใช้กาวหรือสารเคมีใดๆ ในขั้นตอนการผลิต

#### คุณสมบัติของไม้กระดาน

- 1) มีคุณสมบัติคล้ายไม้เนื้อแข็ง ทนทานแข็งแรงกว่าไม้อัดทั่วไป
- 2) กันน้ำได้ดี เนื่องจากคุณสมบัติของพลาสติกโพลีเอทิลีนและอลูมิเนียมฟอยล์ กันปลวกได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และไม่เป็นผง
- 3) เป็นฉนวนกันความร้อนและเสียงได้อย่างดี
- 4) คัดโค้งและทำเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ตามความต้องการ
- 5) สามารถเลื่อย ตัด ตัด ตัดกาว เจาะ และยึดด้วยตะปูได้ เช่นเดียวกับแผ่นไม้ชนิดอื่นๆ
- 6) ปราศจากสารฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งต่างจาก Particle Board หรือ MDF Board (Medium Density Fiber Board)
- 7) ลักษณะพื้นผิวมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว และมีสีสนิมไม่ซ้ำกัน ขึ้นอยู่กับสีและลวดลายของกล่องเครื่องคัมที่ใช้เป็นวัตถุดิบในแต่ละครั้ง
- 8) ราคาถูก

ไม้กระดานที่ผลิตออกมามีขนาดมาตรฐานเท่ากับแผ่นไม้อัดทั่วไป คือ 1.20×2.40 เมตร และมีความหนาให้เลือกหลากหลายขนาด ได้แก่ 5, 10, 15 และ 19 มิลลิเมตร สามารถนำไปประยุกต์เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะเฟอร์นิเจอร์ไม้แผ่นเรียบทั้งหลาย เฟอร์นิเจอร์ตกแต่งภายใน อาทิ ผนักันห้อง เคนเตอร์ ฝ้าเพดาน โต๊ะ ตู้ เตียง เก้าอี้นักเรียน เครื่องใช้ตกแต่งบ้าน ไม้ป้องกัน เครื่องเขียน กระเบื้องบานเกล็ดกันความร้อน นาฬิกา เป็นต้น (เชนจ์ฟิวชั่น, 2551ข)



ภาพที่ 7 หลังคาที่ได้จากการรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่ม

ที่มา: หลังคาเขียว (2553)

หลังคาเขียว (Green roof) คือแผ่นหลังคาที่ได้จากการรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่มใช้แล้ว โดยทำจากเศษพลาสติกและฟอยล์ที่เหลือจากการแยกเชื้อกระดาษในการรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่ม (ภาพที่ 7) กล่องเครื่องดื่มที่ใช้แล้วประมาณ 2,000 กล่อง จะสามารถนำไปผลิตแผ่นหลังคาขนาด  $0.90 \times 2.40$  เมตร ได้ 1 แผ่น แผ่นหลังคาเขียวมีคุณสมบัติที่โดดเด่นคือ น้ำหนักเบาและทนทานกว่า กระเบื้องหลังคาทั่วไป ซึ่งหลังคาเขียวมีความแตกต่างจากหลังคาอื่นๆ ไปคือ

- 1) ผลิตจากกล่องเครื่องดื่มที่บริโภคแล้ว โดยไม่ต้องมีการใช้สารเคมีประกอบในกระบวนการผลิต
- 2) ริเริ่มผลิตขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศไทย
- 3) ไม่แตกง่าย
- 4) ทนไฟ
- 5) ไม่ต้องใช้โครงสร้างหนัก เนื่องจากไม่ซึมซับน้ำ
- 6) ไม่ดูดซับแสงแดด หรือความร้อน ช่วยประหยัดพลังงาน
- 7) ปลอดภัยจากรังสี
- 8) ซ่อมแซมง่าย (ด้วยการใช้ความร้อนเชื่อมประสาน)

กระบวนการในการผลิตหลังคาเขียวจะเริ่มจากการแยกเชื้อกระดาษออกไป หลังจากนั้นเศษพลาสติกและฟอยล์ที่เหลือจะถูกนำมาตัดย่อยเป็นชิ้นเล็กๆ ก่อนที่จะนำมาโรยบนแผ่นเหล็กเพื่อขึ้นรูปแผ่นตามความหนาที่ต้องการ แล้วนำเข้าเครื่องอัดร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 160 องศาเซลเซียสขึ้นไป เพื่อหลอมพลาสติกที่ปนอยู่แล้วจึงนำไปเข้าเครื่องอัดเย็น ทั้งนี้พลาสติกจะเป็นตัวยึดลুমินีเนียมฟอยล์ให้ติดเป็นเนื้อเดียวกัน โดยไม่ต้องใช้กาวหรือสารเคมีใดๆ แล้วนำมาทับลอน

เหล็กให้เป็นรูปทรงเดียวกับกระเบื้องหลังคา และตัดขอบออกมาเป็นแผ่นตามขนาดที่ต้องการ (หลังคาเขียว, 2553)

การรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่มจำนวน 1 ตันนั้นเทียบเท่ากับการรักษาพื้นที่ป่าได้ 150 ตารางเมตร สามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 900 กิโลกรัม ลดพื้นที่การจัดเก็บขยะได้ 4 ตารางเมตร ในปี พ.ศ. 2549 พบว่าทั่วโลกมีการรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่ม 21,000 ล้านกล่อง ช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 189 ล้านกิโลกรัม ประเทศบราซิลได้มีการใช้พลาสติกเทคโนโลยี ซึ่งเป็นการแยกวัสดุจากกล่องนมแบบครบวงจร แยกเอามาทำกระดาษรีไซเคิล ส่วนเศษพอยล์และอูมิเนียมนำเข้าโรงงานพลาสติกที่จะแยกพลาสติกโดยกลั่นผ่านความร้อนกลายเป็นพาราฟิน ใช้ในอุตสาหกรรมยางและทำเครื่องมือแพทย์ได้ ส่วนในประเทศไทยการรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่มยังมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับกำลังการผลิตในตลาด และยังมีกล่องเครื่องดื่มที่ถูกทิ้งอยู่ในกองขยะกว่า 38,000 ตันต่อปี (เจนจิวชั่น, 2551ก)

### 5.3 กระจกอูมิเนียม

#### ข้อมูลทั่วไป

กระจกอูมิเนียมเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมและใช้แพร่หลายมาก มีแนวโน้มขยายตัวตามการเติบโตของอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม วัตถุดิบที่ใช้ผลิตกระจกอูมิเนียมส่วนใหญ่นำเข้าจากญี่ปุ่น แคนาดา เยอรมนี และสหรัฐอเมริกา สมาคมบรรจุภัณฑ์ไทยคาดการณ์แนวโน้มการตลาด (Market trend) ว่ากระจกอูมิเนียมจะมีแนวโน้มความต้องการสูงขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มเครื่องดื่ม น้ำอัดลม และเบียร์

กระจกมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ อาทิ มีความทนทานต่อความร้อนและความดันสูง จึงสามารถนำเข้ากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (Sterilization) ได้ อีกทั้งมีความแข็งแรงทางกายภาพป้องกันอากาศ ไอน้ำ และแสงสว่างได้ เก็บรักษารสชาติและผลิตภัณฑ์ได้ดี มีความปลอดภัยในการสัมผัสกับอาหาร (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 7) ตกไม่แตก น้ำหนักเบา และเมื่อนำไปแช่เย็นแล้วเครื่องดื่มจะเย็นได้เร็ว (อมรรัตน์, 2553)

กระป๋องอลูมิเนียมประกอบด้วยอลูมิเนียม 2 ชนิดด้วยกันคือ

1. อลูมิเนียม ชนิด 3004: มีส่วนประกอบของ Al-1.2% Mn-1.0%Mg ซึ่งมีคุณสมบัติในการขึ้นรูปง่ายเหมาะสำหรับกระบวนการดึงรีดลึก (Deep drawing process) ใช้สำหรับทำตัวกระป๋อง

2. อลูมิเนียม ชนิด 5182: มีส่วนประกอบของ Al-4.5% Mg ซึ่งมีคุณสมบัติที่แข็งแรงกว่าชนิด 3004 ใช้สำหรับทำฝากระป๋อง (ห้องปฏิบัติการวิจัยทางซีเมนต์และคอนกรีต, 2552)

อลูมิเนียมเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกชนิดหนึ่ง ราคาของอลูมิเนียมปัจจุบันอยู่ที่ 2,500 เหรียญสหรัฐต่อตัน (โครงการพัฒนาความรู้และยุทธศาสตร์ด้านความตกลงพหุภาคีระหว่างประเทศด้านสิ่งแวดล้อม, 2550) มักอยู่ร่วมกับธาตุอื่นๆ และไม่อยู่ในรูปโลหะ ดังนั้นต้องมีการนำอลูมิเนียมออกไซด์ ( $Al_2O_3$ ) ที่อยู่ในสินแร่บอกไซต์ (Bauxite) มาขจัดออกไซด์ด้วยการนำไฟฟ้าก่อน เนื่องจากสินแร่บอกไซต์มีปริมาณอลูมิเนียมถึงร้อยละ 60 อลูมิเนียมในประเทศไทยถูกใช้ประมาณ 600,000 ตันต่อปี แต่ถูกนำมารีไซเคิลเพียง 300,000 ตันต่อปี โดยร้อยละ 5 ได้จากการบริจาคของภาคครัวเรือน ชุมชน และสังคม เพื่อให้กับมูลนิธิขาเทียมของสมเด็จพระเจ้า (รายการกบนอกทะเล, 2552)

#### กระบวนการผลิต

อลูมิเนียมและโลหะผสมอลูมิเนียมนิยมใช้ทำกระป๋อง 2 ชิ้น (Two-piece can) เพื่อบรรจุน้ำอัดลม และเบียร์ รวมถึงทำฝาชนิดห้วงเพื่อให้เปิดง่าย เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 21) กระป๋องชนิด 2 ชิ้น ประกอบด้วยตัวกระป๋องกับฝา 1 ชิ้น โดยตัวกระป๋องจะนำอลูมิเนียมมาปั๊มขึ้นรูป ยืด และรีดให้บางลงจนได้ความสูงตามต้องการ ซึ่งตัวกระป๋องจะไม่มีตะเข็บด้านข้าง และก้นกระป๋องจะเป็นชิ้นเดียวกับกระป๋อง กระป๋องชนิดนี้จะไม่มีปัญหาการแตกร้าวหรือซึมตามรอยตะเข็บ ป้องกันการเสื่อมสภาพของอาหารที่บรรจุอันเกิดจากรอยตะเข็บได้ดี (กิตติวรรณ, 2551: 10)

การผลิตอลูมิเนียมแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ

การทำเหมืองแร่บอกไซต์ เนื่องจากแร่บอกไซต์ส่วนใหญ่อยู่ใกล้ผิวโลก ดังนั้นการทำเหมืองแร่จึงทำในพื้นที่เปิดเป็นสาเหตุให้เกิดฝุ่นขึ้น จากนั้นนำสินแร่เหล็กไปบด ล้าง และร่อนเพื่อขจัดแร่ดินเหนียวและสิ่งสกปรกอื่นๆ ออกไป แล้วนำไปอบให้แห้ง

การผลิตอลูมินา กระบวนการสกัดอลูมินาจากสินแร่บอกไซต์ ทำได้โดยจัดสิ่งปนเปื้อนด้วยปูนขาวและโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อให้อลูมินาละลาย แล้วนำไปกรอง ตกผลึกแยกอลูมิเนียมไนเตรต

การผลิตอลูมิเนียม โดยใช้การนำไฟฟ้าเปลี่ยนอลูมินาเป็นอลูมิเนียมและออกซิเจน สำหรับประเทศไทยยังไม่มีการทำเหมืองแร่บอกไซต์ ผู้ผลิตภาชนะบรรจุจะนำเข้าแผ่นอลูมิเนียมจากต่างประเทศ หรือใช้ก้อนอลูมิเนียมมาเป็นวัสดุเริ่มต้น

การผลิตแผ่นอลูมิเนียมเริ่มจากการหลอมก้อนเหล็กอลูมิเนียมบริสุทธิ์ผสมกับเหล็กอัลลอยด์ และเศษอลูมิเนียมที่อุณหภูมิประมาณ 700 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปหล่อเป็นแท่ง เจียผิวให้เรียบ อบให้เนื้อของอลูมิเนียมแตกตัวอย่างสม่ำเสมอ แล้วทำให้อลูมิเนียมร้อนขึ้นเพื่อให้ขึ้นรูปได้ง่าย ที่อุณหภูมิประมาณ 400-500 องศาเซลเซียส แล้วนำไปอัดรีดแบบร้อนหรือเย็น และนำไปอบอีกครั้งเพื่อลดความเครียดในเนื้ออลูมิเนียม จากนั้นนำไปแปรรูปเป็นกระป๋องตามรูปแบบที่ต้องการ

กระป๋องอะลูมิเนียมบรรจุเครื่องดื่มเป็นกระป๋อง 2 ชั้น คือตัวกับฝา ตัวกระป๋องผลิตจากแผ่นอะลูมิเนียมโดยปั๊มอัดขึ้นรูปเป็นกระป๋องรูปทรงกระบอก แล้วยัดให้มีผนังบาง จากนั้นผ่านไปยังเครื่องตัดให้ได้ขนาดตามต้องการ ล้าง แล้วอบให้แห้ง แล้วทำการเคลือบสีขาวและพิมพ์ภายนอกตามต้องการ เคลือบด้วยวาร์นิชเพื่อป้องกันการขูดขีด แล้วผ่านเข้าเตาอบ ภายในกระป๋องพ่นด้วยแล็คเกอร์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ แล้วนำไปอบให้แห้ง (อมรรัตน์, 2553) ส่วนฝากระป๋องเริ่มจากการนำมวลอลูมิเนียมมาตัดเป็นแผ่น ปั๊มฝากระป๋องตามขนาดที่ต้องการ พร้อมทั้งปั๊มห่วงดึง จากนั้นติดห่วงดึงกับฝา ก็จะได้ฝากระป๋องพร้อมหูดึง (กิตติวรรณ, 2551: 16-17) จากนั้นนำไปประกอบเข้ากับตัวกระป๋อง โดยกระป๋องจะได้รับการทดสอบก่อนนำไปบรรจุ

## การจัดการหลังการใช้งาน

บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตมาจากอลูมิเนียมส่วนใหญ่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม มีขนาดและลักษณะแตกต่างกันหลายรูปแบบ อย่างไรก็ตามขนาดของบรรจุภัณฑ์ซึ่งบรรจุสินค้าที่มีปริมาตรต่อหน่วยต่ำ หากมีความจำเป็นต้องอุปโภคและบริโภคในชีวิตประจำวันย่อมมีแนวโน้มในการเกิดขยะมากกว่าการบริโภคสินค้าซึ่งมีปริมาตรต่อหน่วยสูงกว่า ส่วนใหญ่จะนิยมใช้เป็นภาชนะสำหรับอาหารและเครื่องดื่ม ทั้งนี้เพราะมีข้อจำกัดในเรื่องของอายุสินค้าที่ต้องบริโภคให้หมดโดยเร็ว

การรีไซเคิลบรรจุภัณฑ์อลูมิเนียมเป็นที่นิยมมาก เพราะมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน โดยบรรจุภัณฑ์อลูมิเนียมที่นิยมรีไซเคิล ได้แก่ กระป๋องน้ำอัดลม เครื่องดื่มต่างๆ ราคาขายขึ้นอยู่กับการจัดการก่อนขาย ถ้าหากมีการทบทวนก็จะได้รับราคาแพงกว่าไม่ทบทวน หากพิจารณาจากศักยภาพและความเป็นไปได้ในการนำกลับมาใช้ประโยชน์ในอนาคตแล้ว จะเห็นว่าบรรจุภัณฑ์กระป๋องอลูมิเนียมมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปรีไซเคิลมากเพราะ

1. มีมูลค่า
2. คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ที่สามารถรีไซเคิลได้
3. ความคุ้มค่าในการจัดการ
4. ความสะดวกในการจัดเก็บและรวบรวม
5. การทำความสะอาดสิ่งปนเปื้อนก่อนนำไปรีไซเคิลทำได้ง่าย

จากปัจจัยดังกล่าวแนวโน้มการจัดการบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับกระป๋องอลูมิเนียมคือการรีไซเคิล แม้ว่าการนำไปใช้ซ้ำจะเป็นวิธีการลดปริมาณขยะบรรจุภัณฑ์ได้ดีที่สุด แต่หากพิจารณาจากคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์แล้วจะเห็นว่าบรรจุภัณฑ์โลหะจะมีข้อจำกัดคือสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์เฉพาะเท่านั้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 21)

การนำกระป๋องอลูมิเนียมที่ใช้แล้วไปหลอมและผลิตเป็นกระป๋องนั้นจะประหยัดพลังงานได้ถึงร้อยละ 95 ประหยัดพลังงานความร้อนได้ถึง 20 เท่า และช่วยลดมลพิษทางอากาศ ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_x$  และ  $\text{NO}_x$ ) ได้ถึงร้อยละ 95 และลดมลภาวะทางน้ำได้ถึงร้อยละ 97 ของการผลิตกระป๋องใหม่โดยใช้อลูมิเนียมบริสุทธิ์จากอลูมินา ( $\text{Alumina}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) กล่าวคือพลังงานที่ใช้สำหรับผลิตอลูมิเนียมเพื่อใช้ทำกระป๋อง 1 ใบ จะ เท่ากับพลังงานที่ใช้แปรรูปกระป๋องใช้แล้วได้ถึง 20 ใบ การที่นำ

กระป๋องใช้แล้วมาหลอมผลิตเป็นกระป๋องใหม่ 1 ตัน จะประหยัดแร่บอกไซต์ได้ถึง 5 ตันและพลังงานไฟฟ้า 14,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง (กิตติวรรณ, 2551: 17)

อย่างไรก็ตามการรีไซเคิลกระป๋องเครื่องดื่มที่ทำจากอลูมิเนียม นั้น มีปัญหาทางเทคนิคที่ยุกยากบางประการ เนื่องจากอลูมิเนียมทั้งสองชนิดนี้มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก ดังนั้นหากเรานำกระป๋องที่ได้ไปหลอมทันที ทั้งธาตุแมกนีเซียมและแมงกานีสจะผสมปนกันทำให้ส่วนผสมทางเคมีที่ได้ไม่เหมาะสมกับแต่ละชิ้นส่วน

กระบวนการรีไซเคิลกระป๋องอลูมิเนียม มี 2 กระบวนการดังนี้

กระบวนการที่ 1 การแยกโลหะผสมทั้งสองชนิดออกจากกัน โดยเริ่มจากการตัดกระป๋องเป็นชิ้นเล็กๆ และให้ความร้อนเพื่อละลายแลคเกอร์ที่เคลือบอยู่ จากนั้นจะทำการแยกอลูมิเนียมทั้งสองออกจากกัน โดยใช้อุณหภูมิที่ทำให้อลูมิเนียมชนิด 5182 เริ่มหลอมเหลวและแตกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย ในขณะที่อลูมิเนียมชนิด 3004 จะคงสภาพอยู่เป็นชิ้นใหญ่ๆ ทำให้เราสามารถแยกอลูมิเนียมทั้งสองชนิดนี้ออกจากกันได้ เมื่อแยกได้แล้วจึงนำอลูมิเนียมแต่ละชนิดไปทำการหลอม หล่อ และรีดเป็นวัสดุชุดใหม่ต่อไป

กระบวนการที่ 2 เป็นกระบวนการหลอมกระป๋องโดยตรง โดยในขณะที่ทำการหลอมจะผ่านก๊าซคลอรีนเป็นฟองเข้าไปภายในน้ำโลหะ คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับธาตุแมกนีเซียมได้ง่ายและเกิดเป็นคลอไรด์ ของเหลวที่เหลือจะได้รับการปรับแต่งส่วนผสมให้เป็นอลูมิเนียมชนิด 3004 ต่อไป (ห้องปฏิบัติการวิจัยทางซีเมนต์และคอนกรีต, 2552)

เราสามารถเก็บรวบรวมกระป๋องอลูมิเนียมที่ใช้แล้วกลับมาได้หลายทางด้วยกัน วิธีการหนึ่งคือ ผู้ขายสินค้าคิดค่ามัดจำกระป๋องและคืนเงินให้เมื่อลูกค้านำมาคืน ระบบนี้ในประเทศไทยยังไม่มียุติคนนำมาใช้ แม้ว่าวิธีนี้จะได้ผลมากที่สุด แต่ปัญหาคือค่ามัดจำกระป๋อง ทำให้มูลค่าการรีไซเคิลกระป๋องสูงเกินไป วิธีการที่นิยมกันมากคือโรงงานรีไซเคิลรับซื้อกระป๋องเก่าจากพ่อค้าของเก่า ผู้รับซื้อจะคัดแยก ทำความสะอาด แล้วใช้เครื่องบีบอัดกระป๋องให้แบนรวมกันเป็นก้อนใหญ่เหมาะต่อการขนส่งเพื่อขายต่อให้โรงงานอลูมิเนียม ทั้งนี้มีการกำหนดแรงบีบอัดและขนาดไว้เป็น สเป็คต่างๆ กัน

อุตสาหกรรมรีไซเคิลของสหรัฐอเมริกาที่มีความเข้มแข็งจนสามารถตั้งขึ้นเป็นสถาบัน ชื่อ Institute of Scrap Recycling Industries (ISRI) ซึ่งมีการกำหนดสเปคของการบีบอัดอลูมิเนียม และสเปคของวัสดุรีไซเคิลได้อื่นๆ อีก เช่น กระดาษ พลาสติก พร้อมด้วยข้อมูลเกี่ยวกับมูลค่าของ วัสดุก่อนและหลังรีไซเคิล ซึ่งตามข้อมูลนี้การรีไซเคิลกระป๋องอลูมิเนียมเป็นการรีไซเคิลที่คุ้มค่าที่สุด สเปคของ ISRI จะมีชื่อต่างกันออกไป เช่น Baled UBC, Densified UBC และ Bricked UBC เป็นต้น

เมื่อกระป๋องถึงโรงงานถลุงอลูมิเนียม โรงงานจะตรวจสอบคุณภาพ ถ้าผ่านก่อน อลูมิเนียมจะถูกส่งไปเข้าเครื่องหั่น (Shredder) เพื่อหั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆ เศษอลูมิเนียมที่ได้จากการ หั่นถูกส่งตามสายพานไปยังเตาอบ (De-lacquering oven) เพื่อลอกแลคเกอร์และสีออก และเป็นการ ขจัดความชื้นออกด้วย เตาอบจะทำให้เศษอลูมิเนียมร้อนจัด จากเตาอบก็จะถูกส่งไปยังตะแกรงร้อน เพื่อรอนสิ่งสกปรกออก จากนั้นก็จะเข้าเตาหลอม (Reverbatory furnace) ซึ่งมีอุณหภูมิสูง 650 องศาเซลเซียส เศษกระป๋องอลูมิเนียมก็จะละลายหลอมรวมเข้ากันกับอลูมิเนียมเหลวในเตาหลอม นั่น ที่เตาหลอมนี้มีการขจัดสนิมหรือออกไซด์ของอลูมิเนียมโดยการเติมเกลือและ KFI เพื่อให้สนิมลอย เป็นฝ้าแยกออกมา

ระหว่างที่อลูมิเนียมหลอมเหลวอยู่นี้ จะถูกตรวจสอบและปรับองค์ประกอบทางเคมี ให้เหมาะสม เมื่อได้ตามต้องการแล้วจะถูกเทลงในเบ้าที่เป็นแท่งทรงสี่เหลี่ยม (Rectangular ingot) มีขนาดเล็กจนถึงใหญ่ โดยมีน้ำหนักตั้งแต่ 20 ปอนด์จนถึง 40,000 ปอนด์ต่อแท่ง เมื่อเย็นลงแล้ว แท่งอลูมิเนียมจะแข็ง ด้านบนและด้านล่างของแท่งอลูมิเนียมจะถูกไสหรือขัดจนเรียบเพื่อนำไปรีด เป็นแผ่น ขั้นตอนการขัดด้านบนและด้านล่างให้เรียบนี้เรียกว่า Scalping ในการรีดแท่งอลูมิเนียมจะ ถูกป้อนเข้าไปในระหว่างลูกกลิ้งเหล็กยักษ์ 2 ลูกและถูกบีบออกมาเป็นแผ่น มีการทำซ้ำจนได้ความหนาที่ 1.25 เซนติเมตร หรือ 0.5 นิ้ว ยาว 300 เมตร จากนั้นนำไปอบอ่อน (Annealing) เพื่อให้ เนื้ออ่อนลง แล้วเข้าเครื่องรีดอีกชุดหนึ่งเพื่อให้ได้ความหนาและความแข็งที่ต้องการ สุดท้ายก็จะถูก ตัดขอบแล้วม้วนเพื่อการจัดส่งและจำหน่าย โดยอาจจะมีความยาวในแต่ละม้วนถึง 3 กิโลเมตร

เนื่องจากโรงงานจะต้องผลิตแผ่นอลูมิเนียมที่แข็งแรงแต่บางเฉียบเพื่อนำไปผลิตเป็น กระป๋องอีก ทุกๆ สเปคของ Aluminium UBC (Used Beverage Cans) จึงต้องสะอาดอย่างแท้จริง ไม่มีคราบไขมัน น้ำมัน หรือสิ่งสกปรกใดๆ ปนเปื้อน ดังนั้นก่อนการบีบอัดจึงต้องทำความสะอาด เอาเศษกระดาษ เศษพลาสติก สิ่งสกปรกต่างๆ ออกให้หมด โรงงานหลายแห่งยอมให้มีความชื้นได้

ถึงร้อยละ 4 หากความชื้นสูงกว่านี้ ก็จะถูกหักเงินชดเชยความชื้นทุกๆ ร้อยละ 2 ที่เกินขึ้นไป (เดอะกรีนเคย์ วันสี่เจียวๆ, 2543)

#### 5.4 ขวดแก้ว

##### ข้อมูลทั่วไป

แก้วเป็นวัสดุที่มีผิวราบเรียบ แข็งและใส แต่เปราะบางและแตกร้าวได้ง่าย วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแก้วคือ ทรายแก้ว หินปูน หินโคลโลไมท์ หินฟีนมา เป็นแร่ธาตุในธรรมชาติ ส่วนโซดาแอชรวมถึงสารเคมีต่างๆ ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ (บริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด, 2552) แก้วสามารถหลอมให้เป็นรูปร่างและสีสันทันแปรลกๆ แตกต่างกันได้และไม่ร้าวง่าย จึงนิยมนำแก้วมาทำเป็นภาชนะใส่ของต่างๆ เช่น อาหาร เครื่องดื่มและเครื่องสำอาง ฯลฯ เพราะแก้วไม่ทำปฏิกิริยากับสารใดๆ ที่จะทำให้สารที่ใส่ภาชนะแก้วนั้นๆ ต้องเปลี่ยนคุณสมบัติ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม [กรอ.], 2552ก)

อุตสาหกรรมแก้วและกระจกมีกระจายอยู่ทั่วโลก ทำให้มีการแข่งขันในตลาดโลกค่อนข้างสูง โดยเฉพาะเมื่อมีการเปิดเสรีทางการค้ามากขึ้น โดยมีการลดภาษีและข้อจำกัดต่างๆ อย่างเป็นขั้นตอน ดังนั้นประเทศที่มีแหล่งวัตถุดิบที่ดี มีเทคโนโลยีและกำลังการผลิตที่สูงพอ จะมีความได้เปรียบในเรื่องต้นทุนที่ต่ำกว่าและสามารถแข่งขันกับประเทศที่ด้อยกว่าได้ สำหรับประเทศไทยด้านอุตสาหกรรมแก้วและกระจกจะใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยเป็นส่วนใหญ่ แต่มีปัญหาด้านวัตถุดิบที่มีคุณภาพดีเริ่มหายากและขาดความต่อเนื่อง จากการที่ประเทศไทยมีโรงงานแก้วและกระจกอยู่ทางภาคตะวันออกและภาคกลางรอบๆ กรุงเทพฯ ส่วนวัตถุดิบหลักในการผลิตทรายแก้วจะนำมาจากแหล่งแร่ในภาคตะวันออกทั้งหมด ซึ่งคาดว่าแหล่งแร่ทรายแก้วคุณภาพดีจะหมดไปในไม่ช้า แต่ยังมีแหล่งทรายแก้วคุณภาพต่ำจากชั้นล่าง สามารถนำมาพัฒนาให้มีคุณภาพสูงขึ้นได้ จึงจำเป็นต้องมีการลงทุนพัฒนาเทคโนโลยีในด้านนี้ เพื่อเพิ่มปริมาณสำรองแร่ทรายแก้ว ส่วนวัตถุดิบรองได้แก่ เศษแก้ว คาดว่าจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในอนาคต เนื่องจากมีการบริโภคในประเทศเพิ่มขึ้น จึงควรมีการศึกษาถึงขั้นตอนการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษแก้ว ตั้งแต่ผู้บริโภค ผู้รวบรวมของเก่า โรงงานแปรรูปเศษแก้ว คุณภาพของเศษแก้วและความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในโรงงานแก้วและกระจก ซึ่งจะสามารถทดแทนทรายแก้วจากแหล่งธรรมชาติได้มากต่อไป อุตสาหกรรมแก้วและกระจกเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานสูงกลุ่มหนึ่ง จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2548 ระบุว่าโดยรวมมี

การใช้พลังงานเทียบเท่า 866 ktoe (พีดันเทียบเท่าน้ำมันดิบ) หรือคิดเป็นร้อยละ 3.82 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในทั้งภาคอุตสาหกรรม (กลุ่มอุตสาหกรรมแก้วและกระจก, 2551)

หลังจากที่ขวด PET ได้รับการค้นพบและผลิตใช้ในเชิงพาณิชย์เมื่อประมาณ 30 ปีที่แล้ว ขวดแก้วเริ่มสูญเสียส่วนแบ่งการตลาดตลอดมา โดยเริ่มจากอุตสาหกรรมน้ำอัดลม ขยายสู่อุตสาหกรรมเครื่องชง รวมทั้งอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง แม้ว่าขวด PET จะสามารถเจาะตลาดได้มากขึ้นเรื่อยๆ แต่ในบางวงการ เช่น อุตสาหกรรมเบียร์ ขวด PET ที่บรรจุเบียร์สามารถเจาะตลาดได้เพียงบางส่วนเท่านั้น เช่น เบียร์ที่จำหน่ายในสนามกีฬา เพื่อป้องกันเหตุการณ์ร้ายที่อาจเกิดในสนามกีฬา ในบางประเทศนิยมดื่มเบียร์จากขวดโดยตรง เช่น สหรัฐอเมริกาและอังกฤษ เพราะความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของขวดแก้ว พร้อมทั้งความรู้สึกคุ้นเคยที่ดื่มจากขวดแก้วโดยตรง นอกจากนี้ยังสามารถเก็บความเย็นได้ดีกว่าขวดพลาสติก โดยสรุป บรรจุภัณฑ์แก้วยังคงสามารถรักษาคุณค่าได้ในตลาดบางส่วน และภาพจน์ต่อสิ่งแวดล้อมยังเป็นกลยุทธ์ที่สามารถเจาะตลาดใหม่ๆ ได้ (ว., 2546)

ในแต่ละปีจะมีขวดแก้วที่ผ่านการใช้แล้วไม่ต่ำกว่า 28 พันล้านใบที่ถูกทิ้งให้เป็นขยะออกสู่สิ่งแวดล้อม แก้วบางชนิดใช้แล้วสามารถนำมาล้างทำความสะอาดฆ่าเชื้อโรคแล้วหมุนเวียนนำมาบรรจุใหม่ซ้ำอีกได้อย่างน้อยถึง 30 ครั้ง โดยผู้ผลิตสินค้าประเภทเดิม แก้วบางชนิดผลิตขึ้นเป็นเนื้อแก้วบางเบาเพื่อความสะดวกในการพกพา แต่ไม่สามารถนำมาล้างเพื่อใช้ใหม่ได้ แต่สามารถรวบรวมส่งคืนโรงงานเพื่อเข้าสู่ระบบการผลิตขึ้นใหม่ที่เรียกว่า กระบวนการรีไซเคิลแก้ว ขวดแก้วที่เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลจะถูกทุบและบดให้แตกละเอียดก่อนจะนำไปหลอมในเตาหลอม ร่วมกับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเพื่อเป็นส่วนในการผลิตแก้วใหม่ (กรอ., 2552ข)

ปัจจุบันสัดส่วนการใช้ขวดแก้วในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 30 เครื่องดื่มชูกำลังประมาณร้อยละ 27 อาหารและยาประมาณร้อยละ 11 น้ำอัดลมประมาณร้อยละ 10 เครื่องดื่มเกลือแร่และน้ำผลไม้ประมาณร้อยละ 9 และอุตสาหกรรมอื่นๆ ประมาณร้อยละ 13 ขวดชนิดมดจําคืนขวดจะผ่านขบวนการคัดแยกและเก็บของเก่า ได้แก่ คราวเรือน ร้านค้า คนเก็บของเก่า ซาเล้ง ร้านรับซื้อของเก่า พนักงานประจำรถเก็บขนขยะมูลฝอยของเทศบาล ทั้งนี้ จะมีกลไกการเรียกคืนจากผู้ผลิตอยู่แล้ว ในลักษณะของการมัดจําคืนขวดจากร้านจำหน่ายสินค้า ทำให้ราคาของขวดมีมูลค่าค่อนข้างสูง ซึ่งในบางครั้งสูงเท่ากับราคาผลิตภัณฑ์ ขวดประเภทนี้จะถูกเรียกคืนจากผู้ผลิตเพื่อนำไปใช้ซ้ำโดยผ่านกระบวนการล้างทำความสะอาด ซึ่งมีอายุการใช้ซ้ำไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับ

กับสภาพของขวดที่เรียกคืนได้ หากมีสภาพเก่าตราหรือเครื่องหมายการค้าชัดเจน ก็จะถูกนำไปเป็นวัตถุดิบแปรรูปเพื่อผลิตขวดใหม่

ขวดแก้วใสใช้ครั้งเดียว (One way) หรือที่เรียกกันว่าขวดวันเวย์ กำลังเป็นที่นิยมของผู้ผลิตและผู้บริโภค เนื่องจากมีความสะดวกในแง่ของการจำหน่ายและการบริโภค แต่ในขณะเดียวกันก็เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของการเพิ่มปริมาณขยะมูลฝอย ขวดประเภทนี้ส่วนใหญ่ใช้บรรจุสินค้าประเภทน้ำอัดลม น้ำผลไม้ หรือนมถั่วเหลืองของบริษัทผู้ผลิตสินค้าชั้นนำในประเทศ ขวดวันเวย์หรือขวดใสใช้ครั้งเดียวมีราคาต่ำกว่าขวดกลมหรือขวดแบน และชนิดมัดจกคืนขวด ทำให้การคัดแยกและเก็บรวบรวมจากครัวเรือนและผู้เก็บของเก่าให้ความสำคัญน้อยกว่า จึงหลงเหลือผู้กองมูลฝอยของสถานที่ฝังกลบหรือขนถ่ายมากกว่าชนิดคังกล่าวข้างต้น แต่จะถูกคัดแยกอีกครั้งจากเจ้าหน้าที่หรือคนงานประจำสถานที่คัดแยกขยะ

ขวดแก้วใสทั่วไป ส่วนใหญ่ในตลาดค้าวัสดุเหลือใช้จะซื้อขายเป็นขวดใสรวม ขวดแก้วประเภทนี้พบค่อนข้างมากในสถานที่ขนถ่ายขยะมูลฝอย เนื่องจากเป็นขวดรวมปนกันหลายประเภท ราคาซื้อขายต่ำกว่าขวดกลม ขวดแบน หรือขวดน้ำอัดลมชนิดมัดจกคืนขวด จึงทำให้การคัดแยกและเรียกคืนจากแหล่งกำเนิดและขบวนการเก็บหาของเก่าให้ความสำคัญน้อยกว่า ประกอบกับขวดประเภทนี้มีที่มาจากการบรรจุสินค้าที่หลากหลาย อายุการใช้งานแตกต่างกันออกไป บางครั้งมีการปนเปื้อนหรือความสกปรกสูง โดยเฉพาะขวดเครื่องปรุงอาหารประเภทซอสเต้าเจี้ยว ขวดยาหรือสารเคมี อย่างไรก็ตามขวดประเภทนี้ก็ยังคงเป็นที่ต้องการของโรงงานแปรรูปหรือโรงหลอมแก้ว ซึ่งสุดท้ายก็จะถูกคัดแยกจากเจ้าหน้าที่หรือคนงานประจำสถานที่กำจัดหรือขนถ่ายเพื่อกลับสู่กระบวนการแปรรูปใช้ใหม่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 7-8)

#### กระบวนการผลิต

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแก้ว ส่วนใหญ่เป็นทรัพยากรแร่ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ภายในประเทศเกือบทั้งหมดเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วหมด (Non-renewable resources) ขณะที่ตัวแก้วเองเป็นวัสดุที่สามารถหลอมใช้ใหม่ได้โดยไม่จำกัดจำนวนครั้ง (Renewable material) ประกอบกับแก้วมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าวัตถุดิบมาก การผลิตจากวัสดุรีไซเคิลจึงเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรแร่และอนุรักษ์พลังงานในเวลาเดียวกัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 8)

ในการผลิตแก้วนั้น วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตประกอบด้วย

1. ททราย (Silica) หรือซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ได้มาจากทรายแก้วที่บริสุทธิ์ (Silica sand) มีปริมาณออกไซด์ของเหล็กต่ำและละเอียดเพื่อง่ายต่อการหลอม ประเทศไทยมีมากที่ชายทะเลจังหวัดสงขลา เกาะเสม็ดจังหวัดระยองและที่อื่นๆ ทรายชนิดนี้เมื่อนำมาเผาให้ร้อนจนหลอมละลายจะมีคุณสมบัติในการจับตัวกัน เมื่อทิ้งให้เย็นลงก็จะกลายเป็นแก้วที่มีปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์สูง ทำให้แก้วนั้นมีโครงสร้างที่แข็งแรง ทนต่อความร้อนและสารเคมี แต่ทำการผลิตได้ยากเนื่องจากต้องใช้การหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงขึ้น และขึ้นรูปได้ยากเนื่องจากมีความหนืดสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องผสมวัตถุดิบบางอย่างเพื่อช่วยให้ทรายหลอมละลายได้เร็ว

2. โซดาแอช (Soda ash) หรือ โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) เป็นตัวช่วยให้ทรายหลอมละลายในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าเดิม แต่ถ้าผสมกับโซดาแอชเท่านั้นจะได้แก้วที่เปราะมาก ไม่เหมาะแก่การนำไปใช้งาน ดังนั้นจึงต้องผสมหินปูนเพื่อให้แก้วมีคุณสมบัติเหนียวขึ้น

3. หินปูน (Limestone) หรือแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) หินปูนที่ใช้ต้องบดให้ละเอียด และผสมเข้าไปพร้อมกับทรายและโซดาแอช หินปูนที่ใช้จะอยู่ในรูปของปูนขาว เป็นตัวช่วยให้แก้วมีคุณสมบัติเหนียวขึ้น

ในการผลิตแก้วมีอัตราส่วนโดยประมาณดังนี้ ทรายแก้วร้อยละ 50 หินปูนร้อยละ 15 โซดาแอชร้อยละ 20 หินโคลไรท์ร้อยละ 5 และเศษแก้วร้อยละ 10 จะเห็นว่าวัตถุดิบหลักในการผลิตคือ ทรายแก้วและเศษแก้ว เหตุผลที่ไม่สามารถใช้เศษแก้วเป็นสารตั้งต้นทั้งหมดเนื่องจากเศษแก้วมีปริมาณจำกัด นอกจากนี้ต้องปรับค่าองค์ประกอบทางเคมีให้ได้คุณภาพเพื่อควบคุมการขึ้นรูปให้สม่ำเสมอ นอกจากนี้การใช้เศษแก้วจำเป็นต้องแยกสีออกจากกัน โดยเฉพาะการผลิตขวดแก้วสีใสต้องใช้เศษแก้วสีใสเท่านั้น หากมีสีอื่นปนเข้าไปจะทำให้ใสยาก (สุประดิษฐ์, 2550)

กระบวนการผลิตแก้วมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำเอาวัตถุดิบมาทำความสะอาด แล้วนำไปบดให้ละเอียด ชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่ต้องการแล้วนำมาผสมกัน นำเศษแก้วมาผสมกับวัตถุดิบ ได้แก่ ทรายแก้ว หินฟันม้า โซดาแอช และส่วนผสมอื่นๆ เข้าด้วยกันตามสัดส่วน เพื่อปรับให้องค์ประกอบทางเคมีคงที่ เมื่อนำไปหลอมจะได้น้ำแก้วสม่ำเสมอ

2. ลำเลียงวัตถุดิบเข้าเตาหลอมที่อุณหภูมิ 1,500-1,600 องศาเซลเซียส เตาหลอมส่วนใหญ่จะใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในการหลอมละลาย ส่วนผสมทั้งหมดจะละลายเป็นของเหลวที่เรียกว่าน้ำแก้ว ใช้เวลาประมาณ 10 ชั่วโมงจึงจะหมดฟองอากาศ

3. เมื่อหลอมละลายจนได้ที่น้ำแก้วจะผ่านเข้าสู่คอกเตา และตัดเป็นก้อนตามขนาดและน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ หลังจากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปตามแบบพิมพ์ โดยแบ่งได้สองแบบคือ ขวดปากกว้าง เช่น ขวดบรรจุอาหาร ยา และขวดปากแคบสำหรับบรรจุเครื่องดื่ม

4. นำเข้าสู่เตาอบ ซึ่งงานที่ผลิตแล้ว การเย็นตัวถ้าเร็วเกินไปอาจจะทำให้ชิ้นงานชำรุดแตกร้าว ดังนั้นจึงต้องปล่อยให้การเย็นตัวเป็นไปอย่างช้าๆ โดยให้ชิ้นงานเคลื่อนผ่านเตาอบ ซึ่งปกติจะยาวประมาณ 20 เมตร โดยมีอุณหภูมิที่หัวเตาประมาณ 600 องศาเซลเซียส และที่ปลายเตาอบจะมีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส

5. เมื่อบรรจุภัณฑ์เข้าสู่อุณหภูมิปกติก็จะเป็นขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพ โดยเฉพาะจุดที่ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ เช่น ปากขวด ลำตัว ก้น เพื่อคุณภาพในการบรรจุสินค้าและปลอดภัยต่อผู้บริโภค กระทบตราโดยการเคลือบสีหรือการเจียรนัย

6. บรรจุหีบห่อเพื่อป้องกันการแตกและความสกปรก จากนั้นนำเข้าคลังสินค้าเพื่อรอจัดส่งลูกค้าต่อไป

แก้วสามารถปรับปรุงให้มีคุณสมบัติต่างๆ ได้ตามต้องการ โดยการเติมสารต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. เศษแก้วแตก (Broken glass) มีชื่อทางการค้าว่าคัลเลท (Cullet) มีคุณสมบัติในการหลอมละลายเร็ว จึงช่วยให้ส่วนผสมหลอมละลายได้ง่ายในอุณหภูมิที่ต่ำลง

2. ตะกั่ว (Pb) เป็นตัวที่จะทำให้แก้วมีเนื้อใสมัน มีความแวววาวมากขึ้น แต่มีข้อเสียคือจะทำให้แก้วมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ตะกั่วที่ใส่อยู่ในรูปของตะกั่วออกไซด์

3. โพแทสเซียมคาร์บอเนต ( $K_2CO_3$ ) เป็นตัวที่ใช้แทนโซดาแอชได้ แก้วที่ใช้โพแทสเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิในการหลอมตัวจะสูงกว่าแก้วที่ใช้โซดาแอช ส่วนข้อดีคือทำให้สัมประสิทธิ์

การขยายตัวของแก้วต่ำลง ไม่เกิดฟองอากาศ เนื้อแก้วจะใสกว่าแก้วที่ผสมด้วย โซดาแอช ราคาแก้ว จึงแพงกว่า

4. บอเร็ทซ์ ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) หรือน้ำประสานทองเมื่อผสมลงในแก้วจะทำให้สัมประสิทธิ์ การขยายตัวต่ำที่สุด มีการยืดหดตัวน้อยมาก ทนกรดต่างได้ดี ไม่เกิดฟองอากาศ เป็นแก้วที่มีเนื้อแข็ง ที่สุด อุณหภูมิในการหลอมสูง ต้องใช้เชื้อเพลิงในการหลอมจำนวนมาก ราคาจึงสูง

5. สารทำให้แก้วเกิดสี เป็นตัวที่ใช้ผสมลงในแก้วเพื่อให้แก้วมีสีต่างๆ ตามต้องการ ตัว ที่ทำให้เกิดสีส่วนใหญ่ได้แก่ ออกไซด์ของโลหะต่างๆ เช่น

- ทองแดงออกไซด์ ( $\text{CuO}$ ) ให้สีเขียว
- โคบอลต์ออกไซด์ ( $\text{CoO}$ ) ให้สีน้ำเงิน
- ทองแดงซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) ให้สีฟ้า
- ถ่าน (C) กำมะถัน (S) เหล็กออกไซด์ ( $\text{FeO}$ ) ให้สีชา (สุประดิษฐ์, 2550)

#### การจัดการหลังการใช้งาน

การนำบรรจุภัณฑ์แก้วกลับมาใช้ประโยชน์เป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เพราะ แก้วมีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ทั้งในด้านมูลค่า คุณลักษณะ ความคุ้มค่าในการ ลงทุน รวมถึงเทคโนโลยีในการรีไซเคิล ความแตกต่างของการใช้ประโยชน์แก้วที่ปรากฏให้เห็น อย่างชัดเจนคือ หากเป็นแก้วที่คงสภาพไม่แตกหัก แม้จะมีการเปื้อนสิ่งสกปรกก็ยังสามารถนำ กลับมาใช้ซ้ำได้ แต่ถ้าหากแตกหักก็จะนำไปรีไซเคิล อย่างไรก็ตามบรรจุภัณฑ์แก้วบางประเภทแม้ ไม่แตกหักหรือชำรุดก็มีการนำไปรีไซเคิลแต่ต้องทุบให้แตกก่อนนำเข้าสู่กระบวนการหลอมต่อไป การรีไซเคิลบรรจุภัณฑ์แก้วที่ใช้แล้ว โดยการใช้เศษแก้วเป็นวัตถุดิบร่วมในกระบวนการผลิต นอกจากช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อวัตถุดิบบริสุทธิ์ ยังสามารถลดต้นทุนในด้านพลังงานได้ กล่าวคือหากเพิ่มเศษแก้วขึ้นร้อยละ 10 ของปริมาณวัตถุดิบทั้งหมดจะสามารถลดการใช้พลังงานใน การหลอมลงได้ประมาณร้อยละ 1.5-4

การใช้ซ้ำโดยผู้ผลิตซึ่งส่วนใหญ่จะมีระบบการเรียกคืนบรรจุภัณฑ์ เช่น การใช้ระบบ มัดจาสินค้าเรียกคืนขวดน้ำอัดลม ขวดโซดา เพื่อนำไปผ่านกระบวนการล้างทำความสะอาดและนำ บรรจุภัณฑ์ไปบรรจุสินค้าใหม่ หรือในบางครั้งแม้ไม่มีระบบมัดจำ แต่ผู้ผลิตจะเรียกคืนบรรจุภัณฑ์

ผ่านร้านรับซื้อของเก่า เช่น อุตสาหกรรมเบียร์และเครื่องดื่มชูกำลังจะรับซื้อขวดบรรจุภัณฑ์ของตนจากร้านรับซื้อของเก่าเพื่อนำมาบรรจุสินค้าใหม่ต่อไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 13)

บรรจุภัณฑ์ที่เป็นขวดหรือโหลแก้ว เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และสามารถนำกลับมารีไซเคิลหรือใช้ในการผลิตใหม่ซ้ำๆ ได้ไม่รู้จักโดยยังมีคุณสมบัติเหมือนเดิม 100 เปอร์เซ็นต์ โดยการรีไซเคิลแก้วนั้นใช้เชื้อเพลิงในการหลอมแก้วน้อยกว่าการผลิตแก้วจากวัตถุดิบโดยตรง การรีไซเคิลขวดแก้ว 1 ใบสามารถประหยัดพลังงานเพียงพอที่จะให้ความสว่างกับหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ได้ถึง 4 ชั่วโมง หรือประหยัดไฟฟ้าเท่ากับการชมโทรทัศน์ 1 ชั่วโมงครึ่ง (กรอ., 2552ก) ผลพลอยได้จากการใช้พลังงานที่น้อยลง คือการลดมลภาวะทางอากาศจากไอเสียในการหลอมด้วยอีกทางหนึ่ง ดังนั้นปัญหาขยะมากมายในประเทศไทย ถ้ามีการแยกเศษแก้วออกจากขยะอื่นๆ แล้วนำกลับมาหลอมใหม่ ก็ย่อมเป็นการลดปัญหาได้ส่วนหนึ่ง (บริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด, 2552) ผลิตภัณฑ์แก้วบางชนิดไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้ เนื่องจากการเติมสารบางอย่างลงไปในกระบวนการผลิตเพื่อวัตถุประสงค์บางประการ เช่น แก้วเจียรนัย จะมีสารจำพวกตะกั่วออกไซด์ปนอยู่ ซึ่งจะทำให้การหักเหของแสงในแก้วชนิดนี้มีมากกว่าแก้วชนิดอื่น แก้วจึงมีความแวววาวสวยงาม นอกจากนี้หลอดไฟและกระจกเงา ไม่สามารถรีไซเคิลได้ เนื่องจากมีสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ เช่น สารฟลูออเรสเซนซ์ และปรอทเคลือบอยู่ โดยในการรีไซเคิลแก้วนั้นต้องแยกแก้วสีชา และแก้วสีเขียวออกจากแก้วใสด้วย (กรอ., 2552ก)

## 6. ของเสียบรรจุภัณฑ์และการจัดการ

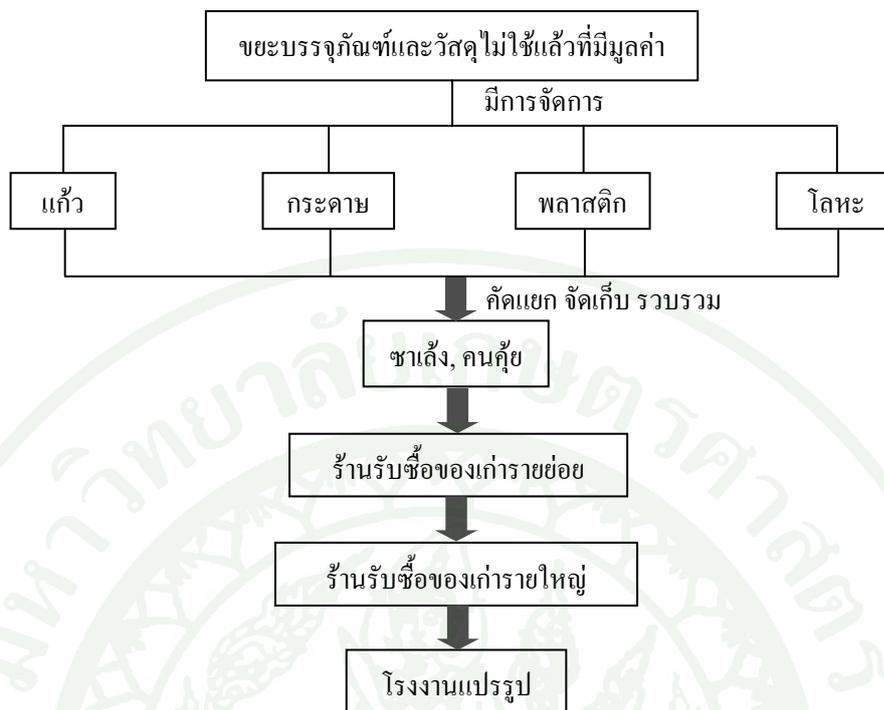
### 6.1 ปริมาณและประเภทของเสียบรรจุภัณฑ์

ข้อมูลรายงานสถานการณ์มลพิษปี พ.ศ. 2545 โดยกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งให้เห็นว่าตลอดทั้งปีมีปริมาณของเสียบรรจุภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ที่ถูกคัดแยก เรียกคืน และนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ประมาณร้อยละ 48 โดยของเสียประเภทเหล็กมีการเรียกคืนนำกลับมาใช้ประโยชน์สูงสุดร้อยละ 82 รองลงมาเป็นของเสียประเภทแก้ว อลูมิเนียม และกระดาษ ดังแสดงในตารางที่ 2 รายละเอียดโดยสรุปดังนี้

ตารางที่ 2 ปริมาณการใช้ประโยชน์ของเสียในภาคอุตสาหกรรมปี พ.ศ. 2545

ประเภทอุตสาหกรรม	ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น (ตัน)	ปริมาณการใช้ประโยชน์ของเสีย ในภาคอุตสาหกรรม		วิธีการ
		ตัน	ร้อยละ	
กระดาษ	2,955,600	953,600	32	แปรรูปใช้ใหม่
แก้ว	1,738,700	759,400	44	แปรรูปใช้ใหม่
		207,100	12	ใช้ซ้ำ
พลาสติก	2,848,400	710,600	25	แปรรูปใช้ใหม่
เหล็ก	3,175,900	2,603,900	82	แปรรูปใช้ใหม่
อลูมิเนียม	302,700	159,700	53	แปรรูปใช้ใหม่
ยาง	344,300	52,300	15	แปรรูปใช้ใหม่
		20,300	6	ใช้ซ้ำ
<b>รวม</b>	<b>11,365,600</b>	<b>5,466,900</b>	<b>48</b>	

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2548)



ภาพที่ 8 การจัดการขยะบรรจุภัณฑ์โดยองค์กรที่ไม่มีกฎหมายรองรับ

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2548)

## 6.2 การจัดการของเสียบรรจุภัณฑ์

### 1) การคัดแยกและนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่

ในด้านการคัดแยกและใช้ประโยชน์ของเสียบรรจุภัณฑ์นั้น ขบวนการเรียกคืนและคัดแยกของเสีย ในปัจจุบันส่วนใหญ่ดำเนินการโดยกลุ่มองค์กรที่ไม่มีกฎหมายรองรับ การจัดการโดยหน่วยงานเอกชน และการดำเนินการโดยองค์กรที่มีกฎหมายรองรับ ซึ่งมีรายละเอียดการดำเนินงานที่แตกต่างกันดังนี้

## 2) การดำเนินการโดยองค์กรที่ไม่มีกฎหมายรองรับ

ขยะบรรจุภัณฑ์ที่มีการจัดการ โดยองค์กรที่ไม่มีกฎหมายรองรับในปัจจุบัน ส่วนใหญ่เป็นขยะบรรจุภัณฑ์ที่มีมูลค่า ซึ่งองค์กรที่ไม่มีกฎหมายรองรับดังกล่าวคือ กลุ่มผู้ประกอบการอาชีพเก็บและรับซื้อของเก่า ได้แก่ ซาเล้ง คนคู่ขยะ และร้านรับซื้อของเก่า และภาคเอกชนที่เรียกเก็บบรรจุภัณฑ์คืนเอง โดยองค์กรที่ไม่มีกฎหมายรองรับ ในส่วนของกลุ่มผู้ประกอบการอาชีพเก็บและรับซื้อของเก่านั้นจะมีบทบาทและความสำคัญสูง ต่อการเป็นผู้นำขยะบรรจุภัณฑ์ที่มีมูลค่าออกจากกองขยะสาธารณะและแหล่งกำเนิดขยะ ได้แก่ ชุมชน บ้านเรือน และสถานประกอบการต่างๆ กลับเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลในรูปแบบของการดำเนินการทางธุรกิจค้าของเก่า ซึ่งมีกระบวนการซื้อและการขายเป็นทอดๆ ให้กับผู้รับซื้อของเก่าตั้งแต่ซาเล้ง ร้านรับซื้อของเก่าย่อย ร้านรับซื้อของเก่ารายใหญ่ จนถึงโรงงานแปรรูปเป็นลำดับสุดท้าย เพื่อนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ด้วยการนำขยะบรรจุภัณฑ์และวัสดุไม่ใช่แล้วไปเป็นวัตถุดิบรีไซเคิล ดังแสดงในภาพที่ 8

## 3) การดำเนินการโดยองค์กรที่มีกฎหมายรองรับ

การจัดการขยะบรรจุภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ ที่ดำเนินการโดยราชการส่วนท้องถิ่นในปัจจุบันเป็นการจัดการรวมกับการจัดการขยะมูลฝอยทั่วไป ที่รวบรวมได้จากแหล่งกำเนิดที่เป็นที่พักอาศัย อาคารสำนักงาน หน่วยงาน และสถานบริการต่างๆ ตลอดจนแหล่งทิ้งขยะสาธารณะทั่วไป ซึ่งรูปแบบของการจัดการจะขึ้นอยู่กับนโยบายของราชการส่วนท้องถิ่นที่มีหน้าที่รับผิดชอบด้านการจัดการขยะในท้องถิ่นๆ ได้แก่ องค์การบริหารส่วนจังหวัด (อบจ.) เทศบาล กรุงเทพมหานคร เมืองพัทยา และองค์การบริหารส่วนตำบล (อบต.) สำหรับหน่วยงานราชการส่วนท้องถิ่นที่มีการดำเนิน โครงการและกิจกรรมด้านการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้อย่างมีประสิทธิภาพในปัจจุบันมีอยู่ 2 ส่วนที่สำคัญ คือ เทศบาลและกรุงเทพมหานคร โดยการดำเนินการของหน่วยงานทั้งสองส่วนมีดังนี้

- เทศบาล การดำเนินการด้านการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์ของเทศบาลมีความแตกต่างกัน ขึ้นกับนโยบายที่กำหนดไว้ภายใต้แผนปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมเมือง 5 ปี โดยเทศบาลที่มีนโยบายที่ชัดเจนในด้านการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ (ขยะรีไซเคิล/ขยะยังใช้ได้) ได้แก่ เทศบาลนครพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก เทศบาลนครสงขลา จังหวัดสงขลา เทศบาลเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย เทศบาลนครนครปฐม จังหวัดนครปฐม เทศบาลตำบลแสนสุข จังหวัดชลบุรี และเทศบาลตำบลชะอำ จังหวัดเพชรบุรี เป็นต้น ซึ่งมีลักษณะและรูปแบบของการดำเนินงานโดยวิธีการ

รณรงค์และจัดกิจกรรมให้ประชาชนได้มีส่วนร่วมในการคัดแยกขยะในระดับชุมชน เพื่อนำขยะที่ยังใช้ได้ไปใช้ประโยชน์ รวมทั้งการให้องค์กรที่ไม่มีกฎหมายรองรับเข้ามามีส่วนร่วมในการคัดแยกและรับซื้อขยะที่ประชาชนคัดแยกไว้ด้วย

- กรุงเทพมหานคร เป็นองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นรูปแบบพิเศษที่มีการกำหนดแนวทางการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ ในโครงการส่งเสริมการลดและการแยกมูลฝอยอย่างมีประสิทธิภาพของกรุงเทพมหานคร โดยสำนักงานเขตทั้ง 50 เขตของกรุงเทพมหานครได้จัดเจ้าหน้าที่หรือบุคลากรที่มีความรู้ความชำนาญด้านการจัดการขยะ เพื่อร่วมรณรงค์และจัดกิจกรรมขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ในการให้ความรู้แก่ประชาชนในด้านการคัดแยกขยะและเห็นประโยชน์ของขยะรีไซเคิล นำไปสู่การปฏิบัติจริง รวมทั้งร่วมกับองค์กรเอกชนด้านสิ่งแวดล้อม เช่น สมาคมสร้างสรรค์ไทย เป็นต้น นอกจากนี้บางสำนักงานเขตได้มีการจัดตั้งศูนย์วัสดุรีไซเคิลขึ้นเพื่อเป็นจุดศูนย์กลางในการรับซื้อขยะรีไซเคิล ที่เจ้าหน้าที่เก็บขนขยะของกรุงเทพมหานครและประชาชนคัดแยกไว้ ได้แก่ ศูนย์รับขยะยังใช้ได้ กรุงเทพมหานคร

### 6.3 การกำจัด

ในปัจจุบันการกำจัดขยะบรรจุภัณฑ์หรือขยะโดยทั่วไป ได้แก่ การเผา การหมักปุ๋ย และการฝังกลบ ซึ่งยังคงมีปัญหาในด้านงบประมาณที่จะใช้ในการกำจัดบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ใช้แล้วดังกล่าว โดยการฝังกลบดูเหมือนจะเป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายต่ำสุด จากการใช้เทคโนโลยีที่ไม่สูงมากนัก และสามารถดำเนินงานได้ง่ายโดยบุคลากรทั่วไป แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงราคาที่ดินกับที่ตั้งของสถานที่กำจัดขยะ กรณีที่ชุมชนในพื้นที่ใกล้เคียงต่อต้านเพราะเกิดปัญหาด้านกลิ่น ส่วนการเผาขยะในเตาเผาต้องนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศที่มีราคาแพงมาก และยังต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายอื่นๆ อีก เช่น ค่าเชื้อเพลิง ค่าดำเนินการในการดำเนินการให้เป็นไปตามระบบ ค่าดูแลซ่อมแซม อีกทั้งขยะที่เผาเรียบร้อยแล้วกลายเป็นขี้เถ้าก็ต้องทำการฝังกลบเช่นกัน การหมักปุ๋ยนั้นจำเป็นต้องมีการคัดแยกขยะ มีพื้นที่รองรับ และต้องมีตลาดสำหรับปุ๋ยที่ผลิตได้ การกำจัดบรรจุภัณฑ์จำพวกพลาสติก เมื่อทำการฝังกลบจะขัดขวางการเคลื่อนและบดขยะ เมื่อใช้เครื่องมือในการคลุกและบดอัดขยะ

## 7. โครงการการจัดการบรรจุภัณฑ์หลังการใช้งานในประเทศไทย

การจัดการบรรจุภัณฑ์และของเสียบรรจุภัณฑ์ในประเทศไทยที่ผ่านมา มีหลายหน่วยงาน และองค์กรร่วมกันดำเนินการ ในลักษณะของการจัดกิจกรรมรณรงค์ส่งเสริมให้มีการคัดแยก และนำของเสียบรรจุภัณฑ์กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ภายหลังการบริโภค พร้อมทั้งได้มีการศึกษา มาตรการแนวทางการจัดการของเสียบรรจุภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในอนาคต โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

### 7.1 การดำเนินงานร่วมกันระหว่างภาคเอกชนและหน่วยงานของรัฐบาล

ในปี พ.ศ. 2551 สภาอุตสาหกรรม เดินหน้าลดขยะบรรจุภัณฑ์ทั่วประเทศจากร้อยละ 31 ให้เหลือร้อยละ 19 ภายใน 3 ปี โดยการจัดตั้งธนาคารขยะ ซึ่งมีภาคเอกชน 18 รายให้การสนับสนุน จากกลุ่มอุตสาหกรรม 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมพลาสติก กลุ่มอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ กลุ่มอุตสาหกรรมแก้วและกระจก และสมาคมบรรจุภัณฑ์โลหะไทย มีการใช้งบประมาณ 9 ล้านบาทเพื่อดำเนินการในโครงการต่างๆ ได้แก่

- 1) โครงการธนาคารขยะรับซื้อขยะบรรจุภัณฑ์ในชุมชนเพื่อนำไปรีไซเคิล ปัจจุบันมีการดำเนินการไปแล้ว 86 ชุมชนทั่วประเทศ
- 2) โครงการธนาคารขยะรับซื้อขยะบรรจุภัณฑ์ในมหาวิทยาลัย ปัจจุบันมีการดำเนินโครงการที่มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์อยู่แล้ว
- 3) โครงการจัดตั้งระบบการคัดเก็บและจัดตั้งโรงคัดแยกขยะรีไซเคิลในระดับเทศบาล
- 4) โครงการตั้งสหกรณ์รับซื้อขยะบรรจุภัณฑ์จากผู้ประกอบการชาเล็ง (ฐานเศรษฐกิจ, 2552)

ชมรมผู้ผลิตกล่องเครื่องดื่มก่อตั้งขึ้น โดยความร่วมมือของผู้ผลิตกล่องสำหรับบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม ได้แก่ บริษัท เต็ดตรา แพ้ค (ประเทศไทย) จำกัด และ SIG Combibloc โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการสนับสนุน ส่งเสริม และผลักดันให้เกิดการรวบรวมและคัดแยกกล่องเครื่องดื่มใช้แล้วจากผู้บริโภคอย่างเป็นระบบ จนสามารถนำไปรีไซเคิลเพื่อเป็นวัตถุดิบใหม่ ผ่านกิจกรรมหลากหลายรูปแบบ อาทิ การจัดนิทรรศการ การจัดอบรมให้บุคลากรในหน่วยงานต่างๆ กิจกรรมค่าย การอบรมสัมมนา เป็นต้น เริ่มมีการรณรงค์ในช่วงปลายปี พ.ศ. 2548 โดยปัจจุบันมีโรงเรียนในเขตกรุงเทพฯ สมุทรปราการ นนทบุรี และปทุมธานี เข้าร่วมเป็นเครือข่ายแล้วกว่า 800

โรงเรียน รวมทั้งหน่วยงาน บริษัทต่างๆ และเครือข่ายส่วนบุคคลจากทางบ้าน (ชมรมผู้ผลิตกล่องเครื่องคั้ม, 2552)

นอกจากนี้โครงการหลังคาเขียวโดยบริษัท เต็ดตรา แพ้ค (ประเทศไทย) จำกัด ร่วมกับบริษัท บิ๊กซี ซูเปอร์เซ็นเตอร์ จำกัด (มหาชน) โดยความร่วมมือกับมูลนิธิอาสาเพื่อนพึ่ง (ภาฯ) ยามยาก สภากาชาดไทย และมีผู้สนับสนุนโครงการ คือศูนย์รีไซเคิลกล่องเครื่องคั้ม โดยบริษัท ไฟเบอร์พัฒนา จำกัด และกรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มีระยะเวลาการดำเนินโครงการ 3 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2553-2555 ซึ่งกล่องเครื่องคั้มจะถูกนำไปผ่านกระบวนการรีไซเคิลและผลิตเป็นแผ่นหลังคามอบให้กับทางมูลนิธิฯ เพื่อช่วยเหลือด้านที่อยู่อาศัยให้แก่ผู้ประสบอุทกภัย และชุมชนต่างๆ ในโครงการของมูลนิธิฯ (หลังคาเขียว, 2553)

โครงการเรียกคืนวัสดุอลูมิเนียมเพื่อจัดทำขาเทียมพระราชทาน โดยกรมควบคุมมลพิษ ร่วมกับมูลนิธิขาเทียมในสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี โดยสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ ทรงดำรงตำแหน่งเป็นประธานมูลนิธิฯ ซึ่งบริษัท บางกอกแคน แมนูแฟคเจอร์ จำกัด และบริษัท ไทยเบเวอเรจแคน จำกัด เป็นผู้รวบรวมวัสดุอลูมิเนียมส่งให้กับทางมูลนิธิฯ นำไปจัดทำอุปกรณ์ขาเทียม ได้แก่ เบ้า แคน หน้าแข้ง เท้าเทียม และไม้เท้าพระราชทาน มอบให้กับผู้พิการขาขาดที่ยากไร้และด้อยโอกาส โดยนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546-2550 กรมควบคุมมลพิษได้จัดกิจกรรมรณรงค์ประชาสัมพันธ์ และมอบถังรองรับวัสดุอลูมิเนียมให้แก่หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน โรงงานอุตสาหกรรม และสถาบันการศึกษาในส่วนกลางและส่วนภูมิภาค ทำให้สามารถเรียกคืนวัสดุอลูมิเนียมได้จำนวน 894.26 ตัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2551: 46)

## 7.2 การดำเนินงานของภาคเอกชน

การจัดการขยะบรรจุภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้โดยหน่วยงานเอกชน ในปัจจุบันเป็นการดำเนินการโดยบริษัทผู้ผลิตสินค้าแบ่งเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ การใช้ระบบมัดจำ การจัดจ้างบริษัทเอกชนจัดเก็บ และการเรียกคืนบรรจุภัณฑ์โดยผู้ผลิตสินค้า ซึ่งวัตถุประสงค์ของการดำเนินการคือนำไปใช้ซ้ำและนำไปรีไซเคิล บรรจุภัณฑ์ที่มีการดำเนินการดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุสินค้าประเภทเครื่องคั้ม เช่น น้ำคั้ม น้ำอัดลม เบียร์ และโซดา ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ขวดแก้วเป็นต้น นอกจากนี้การเรียกคืนซากบรรจุภัณฑ์ ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อกระตุ้นยอดขายสินค้าของบริษัทผู้ผลิตสินค้าด้วย โดยอาศัยวิธีทางการตลาดเป็นสิ่งจูงใจให้ประชาชนนำบรรจุภัณฑ์มาคืน

เช่น แลกรับของรางวัล และการชิงโชค เป็นต้น ซึ่งการเรียกคืนของเสียดังกล่าวโดยกลุ่มผู้ประกอบการ ถือว่าเป็นกลไกที่สำคัญที่สุดที่จะได้วัสดุรีไซเคิลที่มีคุณภาพ และมีปริมาณมากพอสำหรับโรงงานแปรรูป นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดขบวนการคัดแยกขยะรีไซเคิลในชุมชน เนื่องจากการที่ผู้ประกอบการเรียกคืนบรรจุภัณฑ์ของตนภายหลังจากการบริโภคของประชาชน จะก่อให้เกิดมูลค่าในบรรจุภัณฑ์หรือสินค้าอื่นๆ ส่งผลให้มีการคัดแยกและนำกลับคืนของเสียบรรจุภัณฑ์เข้าสู่ระบบมากขึ้น โดยกลุ่มผู้คัดแยกซื้อขายขยะในชุมชน ซึ่งการนำบรรจุภัณฑ์กลับมาใช้ซ้ำหรือแปรรูปใช้ใหม่ นอกจากจะทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้แล้ว ยังเป็นการเสริมสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้แก่สินค้าหรือผลิตภัณฑ์นั้นๆ ด้วย

### 7.3 การดำเนินงานของกรุงเทพมหานครและรัฐส่วนท้องถิ่น

ในส่วนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นซึ่งรับผิดชอบโดยตรงในการจัดการขยะมูลฝอย ซึ่งรวมถึงของเสียบรรจุภัณฑ์จะทำหน้าที่ในการเก็บรวบรวม คัดแยก และกำจัด โดยการฝังกลบหรือเผา อย่างไรก็ตามปัจจุบันกระแสตื่นตัวด้านสิ่งแวดล้อมทำให้เทศบาลต่างๆ เริ่มเห็นคุณค่าและให้ความสำคัญในการคัดแยกและใช้ประโยชน์ขยะมูลฝอยมากขึ้น ทำให้มีของเสียบรรจุภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้จำนวนมาก ถูกคัดแยกและขายให้กับผู้ประกอบการซื้อ-ขาย ขยะรีไซเคิลในชุมชน โดยอาศัยกิจกรรมการส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการคัดแยกขยะดังกล่าวในชุมชน อาทิ กิจกรรมธนาคารขยะตลาดนัดขยะรีไซเคิล ผ้าป่ารีไซเคิล และศูนย์วัสดุรีไซเคิลชุมชน เป็นต้น โดยเทศบาลต้นแบบที่ดำเนินกิจกรรมดังกล่าวและประสบผลสำเร็จดียิ่ง ได้แก่ เทศบาลเมืองพิษณุโลก เทศบาลเมืองระยอง เทศบาลตำบลด่านขุนทด เทศบาลเมืองขอนแก่น เป็นต้น

### 7.4 การดำเนินงานของภาครัฐส่วนกลาง

สำหรับภาครัฐส่วนกลาง กรมควบคุมมลพิษเป็นหน่วยงานหลักที่วิจัยพัฒนา และกำหนดแนวทางในการลด คัดแยก และใช้ประโยชน์ขยะมูลฝอย ซึ่งรวมถึงของเสียบรรจุภัณฑ์โดยมีโครงการที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- การศึกษายกร่างกฎหมายการจัดการของเสียบรรจุภัณฑ์

การศึกษายกร่างกฎหมายการจัดการของเสียบรรจุภัณฑ์นี้ มีการจัดทำแผนยุทธศาสตร์เชิงบูรณาการด้านการจัดการบรรจุภัณฑ์และของเสียบรรจุภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพ ตั้งแต่ขั้นตอนการ

ออกแบบ การผลิต การบริโภค การบำบัด และกำจัด เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการบรรจุภัณฑ์และของเสียบรรจุภัณฑ์นำไปปฏิบัติ และมีร่างกฎหมายการจัดการบรรจุภัณฑ์และของเสียบรรจุภัณฑ์

แผนยุทธศาสตร์เชิงบูรณาการสำหรับการจัดการบรรจุภัณฑ์และของเสียบรรจุภัณฑ์ แบ่งออกเป็นยุทธศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง 4 กลุ่ม ดังนี้

- 1) ผู้ออกแบบ ผู้ผลิต ผู้นำเข้า ผู้บรรจุ
- 2) ผู้ขนส่ง ผู้จัดจำหน่าย
- 3) ผู้ใช้ ผู้บริโภค
- 4) ผู้เก็บรวบรวม ขนส่ง และกำจัด

การเสนอแนะการปรับปรุงกฎหมาย และการยกร่างกฎหมาย ได้เสนอแนะให้มีการปรับปรุงกฎหมายที่จะนำไปใช้สนับสนุนแผนยุทธศาสตร์ตามประเด็นต่างๆ และเสนอแนะแนวทางการยกร่างกฎหมายว่าด้วยการกำหนดอัตราค่าธรรมเนียมในการเก็บขน และกำจัดมูลฝอยขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ซึ่งออกตามความในพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติการสาธารณสุขฉบับใหม่ และประเด็นที่สำคัญในการออกกฎหมายเกี่ยวกับการจัดการบรรจุภัณฑ์และของเสียบรรจุภัณฑ์โดยตรง จากการดำเนินงานที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า ประเทศไทยยังไม่มีกฎหมาย กฎระเบียบเฉพาะ สำหรับนำมาบังคับใช้ในการจัดการของเสียบรรจุภัณฑ์เช่นเดียวกับต่างประเทศ ทำให้ไม่สามารถนำมาตราการใช้ให้เกิดการจัดการที่มีประสิทธิภาพได้ อาทิ มาตรการด้านภาษี ค่าธรรมเนียม มาตรการที่ผู้ประกอบการเป็นผู้รับผิดชอบ (Producer responsibility) เป็นต้น อย่างไรก็ตามการนำระบบการจัดการของเสียบรรจุภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ของต่างประเทศมาใช้ในประเทศทั้งหมดนั้นคงเป็นไปได้ เนื่องจากโครงสร้างของสังคมไทย ทั้งในด้านการจัดการขยะมูลฝอย องค์กร กฎหมายที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งพฤติกรรมและการดำรงชีวิตของประชาชนแตกต่างจากกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้ว ดังนั้นแนวทางการจัดการของเสียบรรจุภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย ควรเริ่มจากการณรงค์ประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนช่วยกันลดและคัดแยกขยะ เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ การส่งเสริมปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพกลุ่มองค์กรเอกชน กลุ่มผู้คัดแยกนอกระบบ และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ให้สามารถดำเนินการคัดแยกและนำกลับคืนขยะรีไซเคิลเพื่อใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด การส่งเสริมให้เอกชนรวมตัวกันเรียกคืนซากผลิตภัณฑ์ของตน โดยใช้มาตรการจูงใจด้านภาษีและการสนับสนุนด้านเทคโนโลยี ซึ่งภายหลังหากภาคประชาชน เอกชน และรัฐบาล สามารถดำเนินการจัดการของเสีย

บรรจุภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว การประยุกต์ใช้มาตรการ แนวทาง และวิธีการของต่างประเทศ ก็จะเป็นไปได้อย่างสูง (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 40-46)

## 8. กฎระเบียบเกี่ยวกับการจัดการบรรจุภัณฑ์ในต่างประเทศ

สหภาพยุโรปมีปริมาณขยะบรรจุภัณฑ์ประมาณร้อยละ 17 ของปริมาณขยะมูลฝอยโดยน้ำหนัก และมีสัดส่วนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับในวัสดุบางชนิด เช่น วัสดุประเภทแก้วมีปริมาณขยะบรรจุภัณฑ์ร้อยละ 70 วัสดุพลาสติกร้อยละ 60 และกระดาษร้อยละ 40 จากปัญหาขยะภาชนะบรรจุที่มากขึ้น กลุ่มประเทศสหภาพยุโรปจึงมีกฎระเบียบเพื่อจัดการปัญหาขยะภาชนะที่เกิดขึ้น เช่น ปี 1994 สหภาพยุโรปได้กำหนด European Directive 94/62/EC on Packaging and Packaging Waste ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อลดผลกระทบจากบรรจุภัณฑ์และขยะบรรจุภัณฑ์ต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการลดปริมาณขยะบรรจุภัณฑ์โดยการนำไปใช้ใหม่ (Recycling) และการฟื้นฟูสภาพกลับไปใช้ใหม่ (Recovery) รวมถึงลดปริมาณ (Reduce) การทิ้งของภาชนะบรรจุให้น้อยที่สุด กฎระเบียบนี้ครอบคลุมถึงบรรจุภัณฑ์ทุกชนิดที่มีการขายในตลาดยุโรป รวมทั้งของเสียบรรจุภัณฑ์ทุกชนิดที่ใช้ และปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม ร้านค้าจำหน่าย หรือสำนักงาน บ้านเรือน ผู้ที่ต้องมีส่วนรับผิดชอบ คือผู้ที่ทำให้เกิดภาชนะบรรจุของสินค้าที่ซื้อขายในตลาด ได้แก่ ผู้ผลิตสินค้า ผู้ค้าปลีก ร้านค้า ผู้ผลิตภาชนะบรรจุ และผู้ผลิตวัสดุสำหรับผลิตภาชนะบรรจุ ประเทศสมาชิกมีแนวทางปฏิบัติคือ ต้องกำหนดระบบการเรียกคืน หรือการเก็บรวบรวมบรรจุภัณฑ์ใช้แล้วให้เป็นตามเป้าหมาย นอกจากนี้จากปัญหาที่ขยะมีปริมาณมากจนทำให้สหภาพยุโรปประสบปัญหาเกี่ยวกับพื้นที่ในการฝังกลบขยะลดลง จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดกฎระเบียบ Landfill Directive 99/31/EC ที่มีแนวทางเพื่อการหลีกเลี่ยงและลดปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเป็นผลจากการฝังกลบขยะมูลฝอย ซึ่งมีผลบังคับใช้ทันทีที่ถูกพิมพ์ลงในวารสาร และระบุให้ประเทศสมาชิกจะต้องกำหนดแผนแม่บทแห่งชาติ และนำกฎหมายระเบียบและบทบัญญัติเกี่ยวกับการบริหารที่มีความจำเป็นต่อการปฏิบัติตามแนวทางนี้ โดยแบ่งประเภทของหลุมฝังกลบขยะไว้ 3 ประเภท คือ หลุมฝังกลบขยะเป็นพิษ หลุมฝังกลบขยะไม่เป็นพิษ และหลุมฝังกลบขยะเฉื่อย และให้ดำเนินการลดปริมาณของเสียที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่จะเข้าสู่หลุมฝังกลบ โดยอาศัยวิธีการต่างๆ เช่น การนำกลับมาใช้ใหม่ การหมัก การผลิตก๊าซชีวภาพ หรือการนำวัสดุหรือพลังงานกลับมาใช้ใหม่ เช่นเดียวกับประเทศไต้หวันที่ประสบปัญหาเกี่ยวกับขยะบรรจุภัณฑ์ ภาครัฐจึงได้จัดตั้งกฎหมายเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์เช่นกัน The Resource Recycling and Reuse Act on 3 July 2002 on packaging materials เพื่อลดการเพิ่มปริมาณของเสียบรรจุภัณฑ์ในสิ่งแวดล้อม (กิตติวราณ, 2551: 21-22)

ประเทศญี่ปุ่นได้ประกาศใช้กฎหมายเกี่ยวกับการคัดแยก และการรีไซเคิลบรรจุภัณฑ์โดยบังคับใช้มาตั้งแต่ เมษายน พ.ศ. 2540 กฎหมายฉบับนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของหลักการความรับผิดชอบของผู้ผลิต (Extended Producer Responsibility-EPR) โดยกฎหมายนี้ครอบคลุมภาชนะบรรจุ (Container) และสิ่งห่อหุ้ม (Wrapping) โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ประกอบการ ต้องรับผิดชอบในการรีไซเคิลซากบรรจุภัณฑ์ประเภทแก้ว ขวด PET กระจกและกระจกห่อ พลาสติก พลาสติกแรป และถาดโฟม ตามสัดส่วนความรับผิดชอบของผู้ผลิต/ผู้ใช้แต่ละราย (มีสูตรคำนวณ) โดยรัฐบาลจะประกาศเป้าหมายการรีไซเคิลสำหรับบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทเป็นปีๆ ไป กฎหมายบรรจุภัณฑ์ของญี่ปุ่นไม่ครอบคลุมกระป๋องเหล็ก กระป๋องอลูมิเนียม กล่องเครื่องดื่มทำจากกระจก กระจกหลอดฟลูออโรสโคป เนื่องจากมีอัตราการรีไซเคิลที่สูง และเป็นกลุ่มวัสดุที่มีมูลค่าในตลาดอยู่แล้ว (เครือข่ายสมัครใจ ThaiRoHS, 2550) กฎหมายนี้มีความมุ่งหวังให้ราคารับซื้อคืนของเสียบรรจุภัณฑ์สูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณรับซื้อบรรจุภัณฑ์สูงขึ้นร้อยละ 27 จาก 1.25 ล้านตันในปี พ.ศ. 2540 เป็น 1.59 ล้านตันในปี พ.ศ. 2543 (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 36)

## 9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการสำรวจข้อมูลทุติยภูมิพบว่าประเทศไทยยังไม่มีงานวิจัยและพัฒนาเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ อย่างเป็นระบบ แต่ในต่างประเทศได้มีการทำการศึกษาโดยพิจารณาตัวแปรที่หลากหลาย ซึ่งงานวิจัยที่จะได้ยกตัวอย่างนี้เน้นการจัดการหลังการใช้งานของบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงร้อยละการจัดการหลังการใช้งาน การศึกษาผลและประสิทธิภาพของการจัดการในแต่ละวิธีการ การหาพลังงานที่ใช้และปลดปล่อยจากการรีไซเคิลขวด PET เป็นต้น

Madival *et al.* (2009) ศึกษาการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) จากการใช้บรรจุภัณฑ์เทอร์โมฟอร์มประเภทโพลีแลคติก แอซิด (PLA) เปรียบเทียบกับโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) และโพลิสไตรีน (PS) ที่ใช้ในการบรรจุผลสดเบอร์รี่ โดยจะให้ความสำคัญกับการเปรียบเทียบช่วงชีวิตสุดท้าย (End-of-life) ของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันออกไป พบว่า PET มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด รองลงมาคือ PS นอกจากนี้ยังพบว่าการรีไซเคิลบรรจุภัณฑ์ 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าการจัดการของเสียรูปแบบอื่น ส่วนการจัดการด้วยวิธี 50% เผา/50% ฝังกลบ และ 23.5% เผา/76.5% ฝังกลบ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับพอลิเมอร์ทั้งสามประเภทมากที่สุดตามลำดับ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้สังเกตเห็นว่าการเพิ่มปริมาณการฝังกลบจะ

ช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับพอลิเมอร์ทั้งสามประเภทได้ เนื่องจากการจับ (Capture) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยออกมา

Arena *et al.* (2003) ศึกษากระบวนการรีไซเคิลขยะบรรจุภัณฑ์ของเหลวประเภทพลาสติก PE และ PET ภายในอิตาลีจนถึงปี 2001 โดยใช้วิธี Basket of products เพื่อทำการเปรียบเทียบการใช้ทรัพยากรและมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการขยะพลาสติก 6 วิธีดังต่อไปนี้

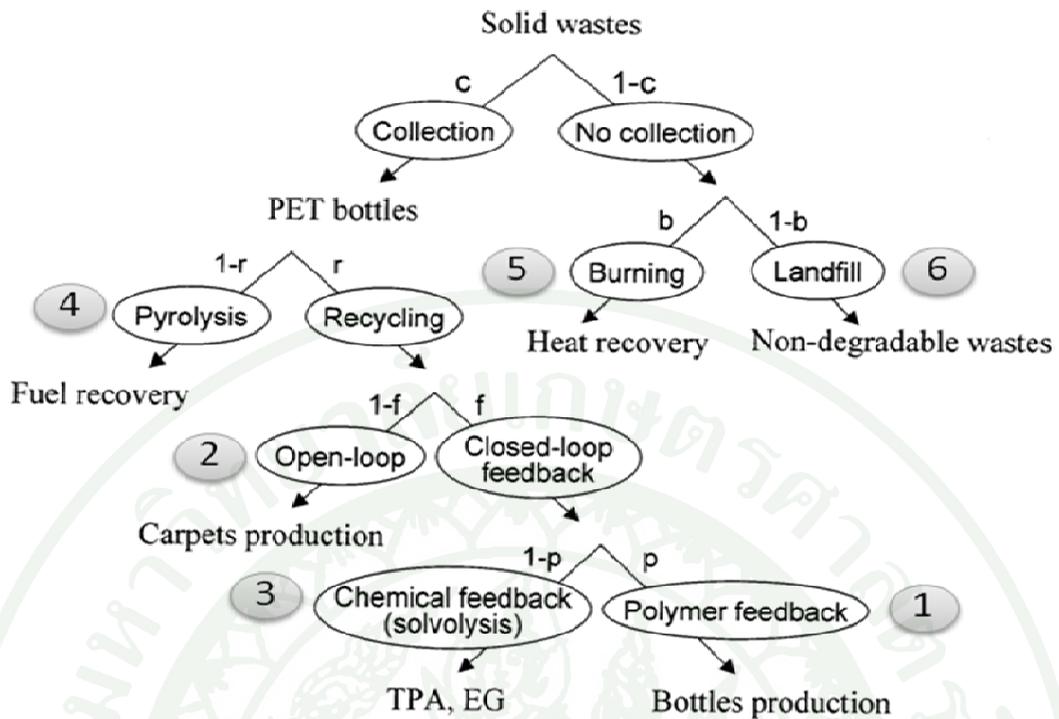
- 1) ไม่มีการรีไซเคิล กำจัดโดยการฝังกลบทั้งหมด
- 2) ไม่มีการรีไซเคิล ฝังกลบร้อยละ 50 ที่เหลือนำไปเผาเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงาน
- 3) ไม่มีการรีไซเคิล นำไปเผาเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานทั้งหมด
- 4) นำไปรีไซเคิลเชิงกลทั้งหมด ส่วนของเสียจากกระบวนการ กำจัดโดยการฝังกลบ
- 5) นำไปรีไซเคิลเชิงกลทั้งหมด ส่วนของเสียจากกระบวนการ กำจัดโดยการฝังกลบร้อยละ 50 ที่เหลือนำไปเผาเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงาน
- 6) นำไปรีไซเคิลเชิงกลทั้งหมด ส่วนของเสียจากกระบวนการนำไปเผาเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานทั้งหมด

ซึ่งจากการประเมินพบว่าวิธีที่ 4, 5 และ 6 มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกค่อนข้างน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีที่ 1, 2 และ 3 หากเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่ 1 และ 4 พบว่าการรีไซเคิลเชิงกลช่วยลดค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ร้อยละ 88 และหากเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่ 4 และ 6 พบว่าการเปลี่ยนเป็นพลังงาน เป็นการเพิ่มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 53 แต่ช่วยลดการเกิดของเสียได้ถึงร้อยละ 91

Gatti *et al.* (2008) ใช้เทคนิค LCA ประเมินศักยภาพทางสิ่งแวดล้อมของกระป๋องอะลูมิเนียม โดย CETEA (Packaging Technology Center) มีการเก็บข้อมูลในช่วงปี 2000-2006 งานวิจัยนี้เน้นที่อัตราการรีไซเคิลที่สนใจ 3 ค่าได้แก่ ร้อยละ 0, 36 และ 89 ซึ่งอัตราการรีไซเคิลที่ร้อยละ 36 (w/w) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการรีไซเคิลอะลูมิเนียมกับการบริโภคอะลูมิเนียมปฐมภูมิภายในประเทศบราซิลปี 2004 ส่วนอัตราการรีไซเคิลที่ร้อยละ 89 (w/w) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของกระป๋องอะลูมิเนียมที่ถูกรีไซเคิลกับปริมาณของกระป๋องที่ถูกผลิตในบราซิลปี 2003 จากผลการประเมินพบว่ายิ่งเพิ่มอัตราการรีไซเคิลจะยิ่งช่วยลดการปลดปล่อยมลภาวะทางอากาศ ได้แก่ CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, VOC, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> และอนุภาคนาโนเล็ก

Mourad *et al.* (2007) ประยุกต์ใช้ LCA เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน กับอัตราการรีไซเคิลกล่องนม Tetra Brik ขนาด 1 ลิตร โดยทั่วไปการรีไซเคิลกล่องนมในประเทศบราซิลจะได้เป็นแผ่นกระดาษนำมาใช้ในการผลิตกล่องนมใหม่ และมีอัตราการรีไซเคิลเป็นร้อยละ 22 ในปี 2004 งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงที่อัตราการรีไซเคิลร้อยละ 2, 22, 30, 40 และ 70 ซึ่งมี 2 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 ทำการรีไซเคิลเฉพาะส่วนกระดาษของกล่อง พบว่าหากเพิ่มอัตราการรีไซเคิลเป็นร้อยละ 70 ช่วยลดผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนได้ร้อยละ 48 หรือคิดเป็น 90 กิโลกรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่า โดยมีเทนมปริมาณการลดลงมากที่สุด เนื่องจากกระบวนการผลิตกระดาษและการฝังกลบ ส่วนรูปแบบที่ 2 ทำการรีไซเคิลทุกส่วนของกล่อง โดยกล่องนมมีส่วนประกอบของโพลีเอทิลีนและอลูมิเนียมพอยล์คิดเป็นร้อยละ 25 โดยมวล พบว่าที่อัตราการรีไซเคิลร้อยละ 70 จะช่วยลดผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนได้ร้อยละ 56 หรือคิดเป็น 106 กิโลกรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่า จะเห็นได้ว่ารูปแบบที่ 1 และ 2 ให้ผลของการลดผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากส่วนประกอบของกล่องเป็นกระดาษถึงร้อยละ 75 อย่างไรก็ตามข้อดีที่สำคัญของการรีไซเคิลกล่องนมคือ ลดการใช้วัสดุบริสุทธิ์ นอกจากนั้นยังช่วยลดการปลดปล่อยมลภาวะทางอากาศ จากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในหลุมฝังกลบ

Song and Hyun (1999) ศึกษาเปรียบเทียบการจัดการของเสียที่เป็นขวด PET ด้วยวิธีการต่างๆ โดยใช้วิธี LCA ทำการคำนวณและพลังงานเพื่อหาพลังงานที่ใช้ และการปลดปล่อยในแต่ละขั้นตอนของการผลิต รวมทั้งการจัดการของเสีย เพื่อให้ได้โมเดลทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการแสดงค่าพลังงานและของเสียจากการจัดการของเสียหลากหลายวิธี ดังภาพที่ 9 โดยรูปแบบที่ (1) ขวด PET จะถูกรีไซเคิลเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตพอลิเมอร์หรือการผลิตขวด ด้วยกระบวนการทำซ้ำโดยผ่านการหลอมในเครื่องปั่นหลอม (Melt extrusion) และการกรอง (Filtration) รูปแบบที่ (2) ไปยังกระบวนการอื่นๆ เช่น การผลิตพรม รูปแบบที่ (3) การรีไซเคิลทางเคมี ขวด PET จะถูกรีไซเคิลด้วยวิธี Depolymerization หรือ Solvolysis (เช่น Hydrolysis) เพื่อให้ได้สารเคมีไว้ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต Terephthalic Acid (TPA) และ Ethylene Glycol (EG) รูปแบบที่ (4) การรีไซเคิลทางความร้อน ขวด PET จะถูกรีไซเคิลด้วยวิธี Degradation หรือ Pyrolysis เป็นเชื้อเพลิงหรือวัตถุดิบ หรือรูปแบบที่ (5) เป็นการรีไซเคิลด้วยวิธีการเผาแล้วนำเอาพลังงานความร้อนกลับมาใช้ใหม่ สุดท้ายรูปแบบที่ (6) ขวด PET ถูกทิ้งในหลุมฝังกลบ



ภาพที่ 9 แผนภาพการตัดสินใจโดยลำดับขั้น

ที่มา: Song and Hyun (1999)

Plastic Waste Management Institute, Japan (2004) ได้ทำการศึกษาการรีไซเคิลบรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติก (ยกเว้นขวด PET) ด้วยวิธี LCA โดยใช้ 3 วิธีในการรีไซเคิลตามกฎหมายการรีไซเคิลบรรจุภัณฑ์ และการกำจัดด้วยการฝังกลบหลังจากที่เทศบาลได้ทำการคัดแยกประเภทของขยะ ดังนี้

- 1) การรีไซเคิลเชิงกล (Mechanical recycling)
- 2) การรีไซเคิลเป็นวัตถุดิบตั้งต้น (Feedstock recycling) โดยใช้เป็นวัตถุดิบในเตาเผาซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ (Reducing agent)
- 3) นำไปเปลี่ยนเป็นพลังงาน (Energy recovery) ใช้ในการเผาเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าโดยมีค่าประสิทธิภาพร้อยละ 20
- 4) การฝังกลบ

โดยมีการประเมินผลกระทบต่อประเทศญี่ปุ่น 3 จุดคือ 1) ภาระการปลดปล่อย CO<sub>2</sub> ต่อสิ่งแวดล้อม 2) การกำจัดขั้นสุดท้าย 3) ประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรปิโตรเลียม เช่น การ

เปลี่ยนเป็นพลังงาน ซึ่งผลของการประเมิน ในด้านประสิทธิภาพของแหล่งทรัพยากรพบว่าวิธีการรีไซเคิลทั้ง 3 วิธี มีการเปลี่ยนเป็นพลังงาน แต่การฝังกลบไม่ได้มีการเปลี่ยนเป็นพลังงาน ในด้านการปลดปล่อย CO<sub>2</sub> พบว่าทั้งการฝังกลบและการรีไซเคิลทั้ง 3 วิธี มีผลต่อค่าการปลดปล่อย CO<sub>2</sub> โดยเฉพาะการเปลี่ยนเป็นพลังงานซึ่งมีค่าค่อนข้างมาก แต่ค่าดังกล่าวสามารถลดลงได้เนื่องจากได้ผลผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าจากการเผา ในด้านการกำจัดขั้นสุดท้ายพบว่า การฝังกลบมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด การรีไซเคิลเชิงกลก็เช่นกัน เนื่องจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่เก็บได้นั้นมีความบริสุทธิ์ต่ำและมีสารที่มาจากต่างประเทศอยู่ในระดับสูง ดังนั้นเมื่อผ่านการรีไซเคิลเชิงกลแล้วร้อยละ 50 ของขยะจะถูกกำจัดโดยการฝังกลบ จากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีการจัดการทั้งหมดของญี่ปุ่น จะเห็นได้ว่าวิธีการเปลี่ยนเป็นพลังงานมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

RDC Environment (2008) ได้ทำการศึกษา LCA ของบรรจุภัณฑ์เบียร์ 4 ประเภท ได้แก่ ขวดแก้ว ขวด PET กระจ้ออลูมิเนียม และกระจ้อเหล็ก แต่ละบรรจุภัณฑ์มีปริมาตร 500 มิลลิลิตร เพื่อหาค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภท รวมทั้งปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลกับผลกระทบเหล่านั้น โดยกำหนดหน่วยการทำงานเป็นการผลิตและบรรจุเบียร์ 100 ลิตร (รวมการผลิตเบียร์) ซึ่งเบลเยียมเป็นพื้นที่ในการผลิตเบียร์และทำการบรรจุ ส่วนสหราชอาณาจักรเป็นผู้ขนส่ง บริโภค และกำจัด พบว่าค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านพลังงาน สักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน การก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด และการใช้น้ำ ของกระจ้อเหล็กมีค่าน้อยที่สุด ส่วนขวด PET และกระจ้ออลูมิเนียม มีค่าใกล้เคียงกับกระจ้อเหล็ก และแก้วมีค่าผลกระทบมากที่สุด อัตราการรีไซเคิลภายในสหราชอาณาจักร ได้แก่ ขวด PET ร้อยละ 20 แก้ว กระจ้ออลูมิเนียม และกระจ้อเหล็กมากกว่าร้อยละ 40 นำไปสู่การประมาณว่าการรีไซเคิลขวด PET และกระจ้อเหล็กจะทำให้ลดค่าผลกระทบได้ 15,000 กรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่า/100 ลิตร (ระหว่างการรีไซเคิลร้อยละ 0 ถึง 100) โดยเฉพาะกระจ้ออลูมิเนียมสามารถลดได้ถึง 50,000 กรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่า/100 ลิตร และพบว่าหากมีอัตราการรีไซเคิลกระจ้ออลูมิเนียม กระจ้อเหล็ก และขวด PET ร้อยละ 80 โดยประมาณจะสามารถลดค่าผลกระทบได้ โดยผลที่สรุปนี้จะมีความแตกต่างกันมากสำหรับแต่ละประเทศหรือพฤติกรรมของผู้บริโภค ซึ่งหากผู้บริโภคมีพฤติกรรมการรีไซเคิล 100 เปอร์เซ็นต์ จะนิยมใช้กระจ้ออลูมิเนียมและกระจ้อเหล็กเป็นอันดับแรก ตามด้วยขวด PET และขวดแก้วเป็นลำดับสุดท้าย

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### 1. ฮาร์ดแวร์

1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ Toshiba ฮาร์ดแวร์ Intel Centrino2 Inside ระบบปฏิบัติการ Microsoft Vista

#### 2. ซอฟต์แวร์

2.1 โปรแกรม Microsoft Word 2003 และ 2007

2.2 โปรแกรม Microsoft Excel 2003 และ 2007

2.3 โปรแกรม SimaPro เวอร์ชัน 7.1

#### 3. เครื่องมือวัด

3.1 เครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง (Analytical balance) ผลิตโดย Mettler Toledo รุ่น PR 503

### วิธีการ

#### การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้โปรแกรมไซมาโปร 7.1 ซึ่งวิธีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต ดำเนินการตามวิธีการที่กำหนดไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 (ISO 14040: Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principle and Framework) ซึ่งแบ่งขั้นตอนในการประเมินวัฏจักรชีวิตออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

## 1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition)

### 1.1 เป้าหมายของการศึกษา

1.1.1 เพื่อประเมินและวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ ได้แก่ ขวด PET ก่องเครื่องดื่ม กระป๋องอลูมิเนียม และขวดแก้วใส โดยใช้หลักการของการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

1.1.2 เพื่อให้ได้ข้อมูลสนับสนุนในการตัดสินใจเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเสนอแนะวิธีการจัดการของเสียบรรจุภัณฑ์ที่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยลง

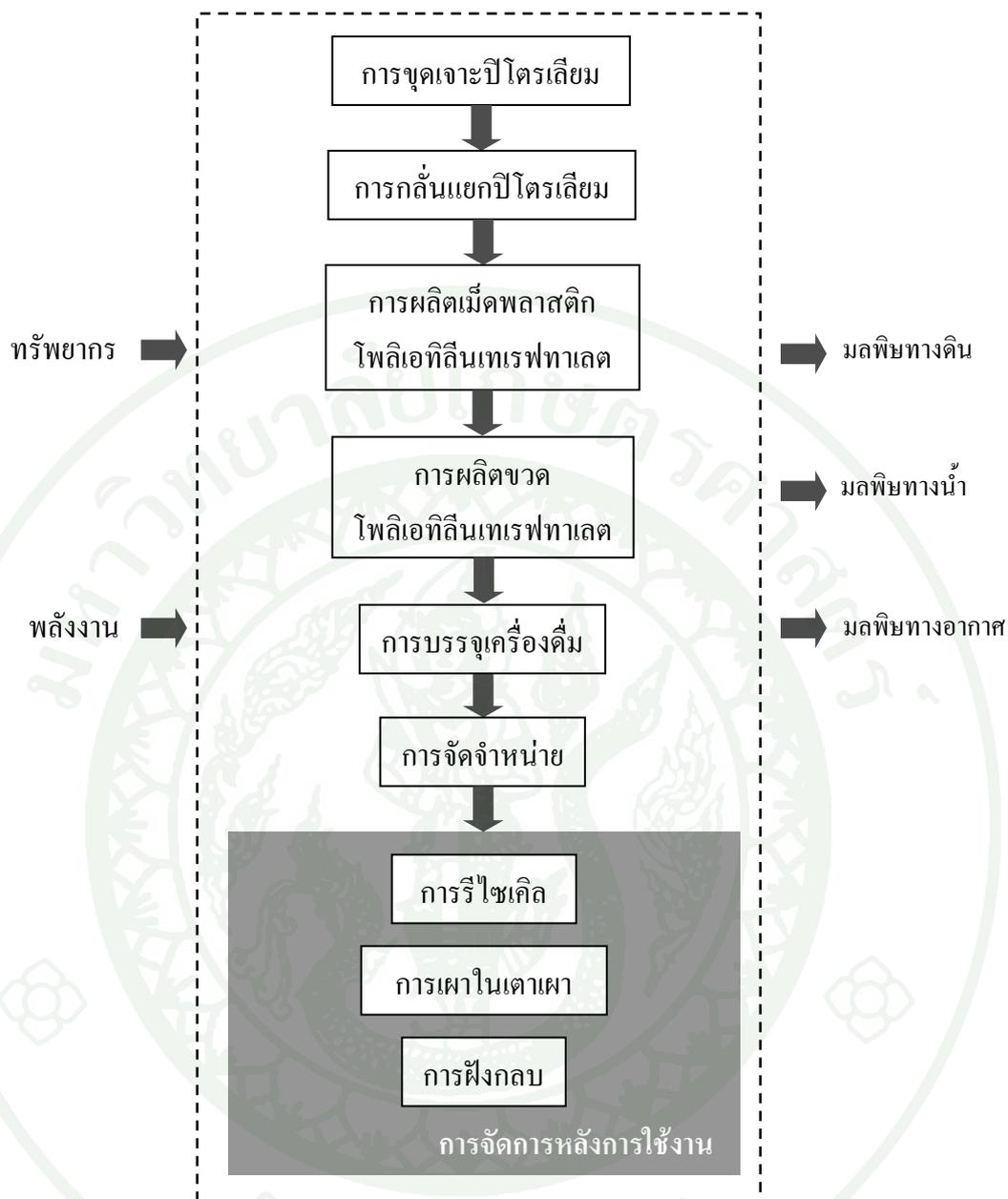
### 1.2 หน่วยการทำงาน (Functional unit)

กำหนดหน่วยการทำงาน คือ บรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ ที่มีปริมาตรความจุ 18,000 มิลลิลิตร ดังนั้นจึงใช้ขวด PET ขนาดบรรจุ 300 มิลลิลิตร จำนวน 60 ขวด ก่องเครื่องดื่มขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร จำนวน 100 ก่อง กระป๋องอลูมิเนียมขนาดบรรจุ 240 มิลลิลิตร จำนวน 75 กระป๋อง และขวดแก้วใสขนาดบรรจุ 250 มิลลิลิตร จำนวน 72 ขวด โดยขวด PET หนัก 24.87 กรัมต่อขวด ก่องเครื่องดื่มหนัก 8.39 กรัมต่อก่อง กระป๋องอลูมิเนียมหนัก 12.31 กรัมต่อกระป๋อง และขวดแก้วใสหนัก 176.11 กรัมต่อขวด

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา (Scope and system boundary)

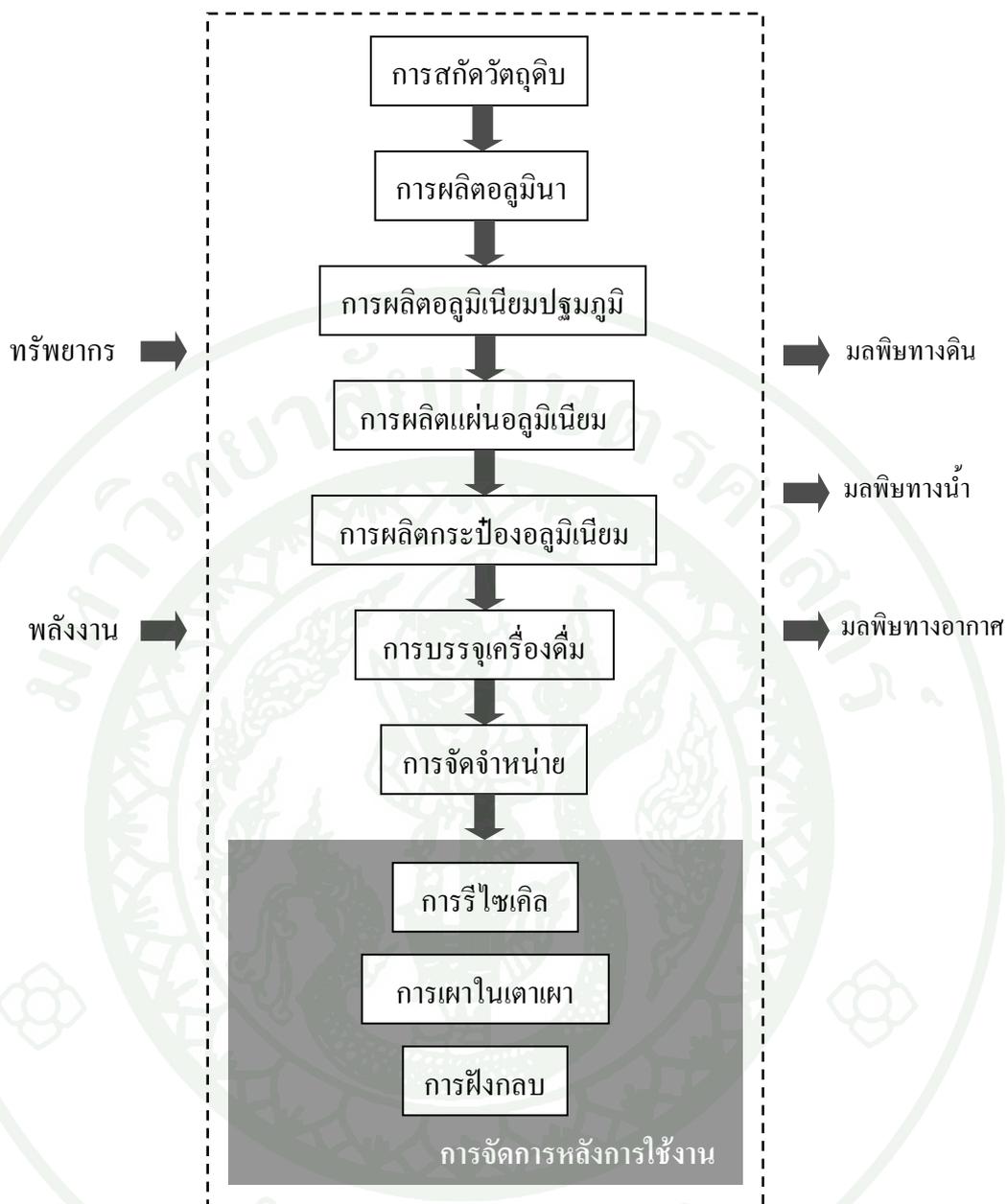
งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ ได้แก่ ขวด PET ก่องเครื่องดื่ม กระป๋องอลูมิเนียม และขวดแก้วใส โดยจะพิจารณาตั้งแต่การผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุเครื่องดื่ม การจัดจำหน่าย และการจัดการหลังการใช้งาน

ขอบเขตการศึกษาของขวด PET ก่องเครื่องดื่ม กระป๋องอลูมิเนียม และขวดแก้วใส แสดงดังภาพที่ 10-13 ตามลำดับ

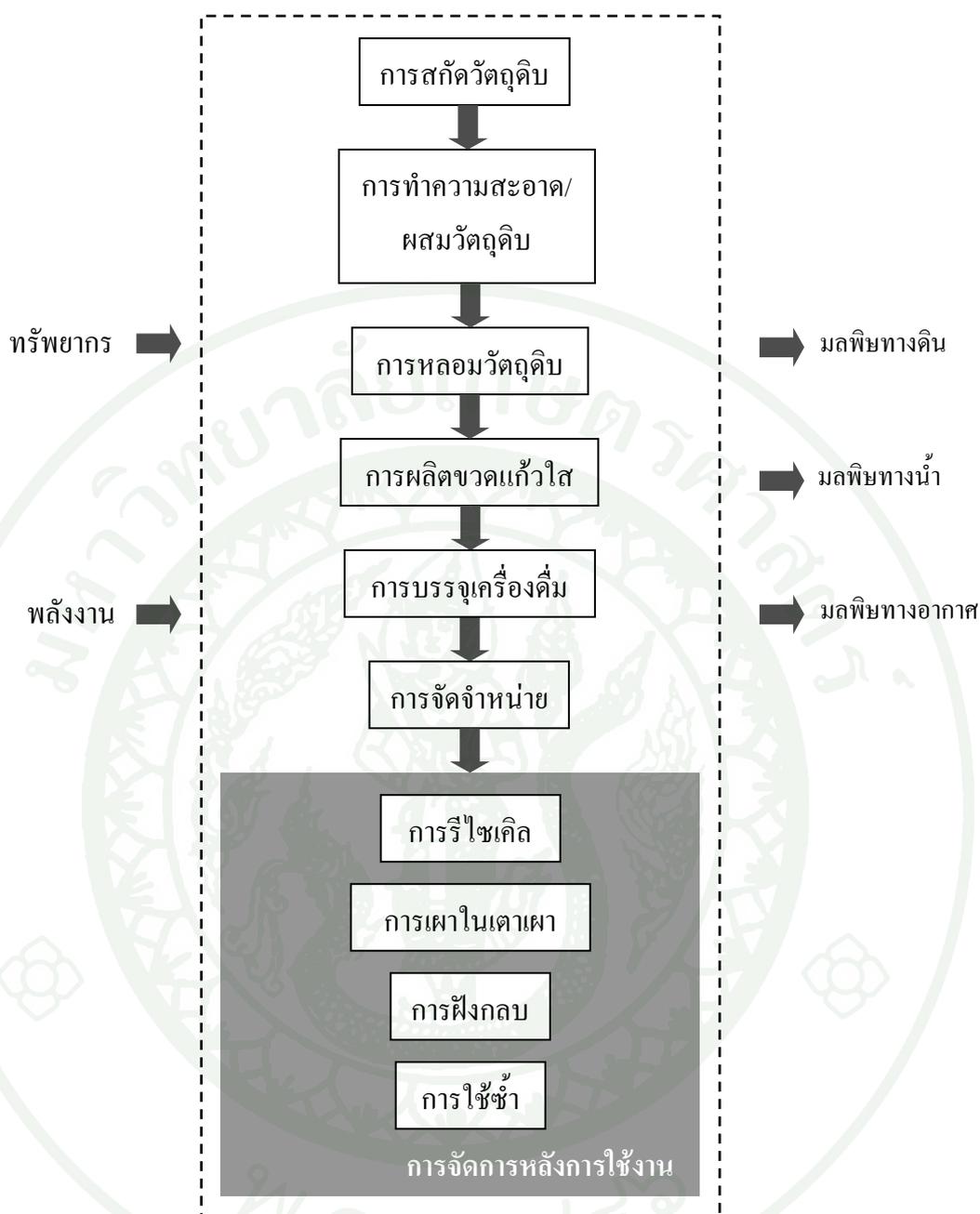


ภาพที่ 10 ขอบเขตการศึกษาของบรรจุภัณฑ์ขวด PET





ภาพที่ 12 ขอบเขตการศึกษาของบรรจุภัณฑ์กระป๋องอลูมิเนียม



ภาพที่ 13 ขอบเขตการศึกษาของบรรจุภัณฑ์ขวดแก้วใส

#### 1.4 การตั้งสมมติฐานและข้อจำกัดในงานวิจัย (Assumption and limitation)

1.4.1 ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ ได้แก่ ขวด PET ก่อสร้างเครื่องดื่ม กระป๋องอลูมิเนียม และขวดแก้วใส เนื่องจากข้อมูลบางส่วนประเทศไทยยังไม่มีรวบรวมไว้ จึงจำเป็นต้องใช้ฐานข้อมูลของต่างประเทศจากโปรแกรม

สำเร็จรูปโซมาโปร 7.1 แต่ใช้ข้อมูลการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยปี พ.ศ. 2552 จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

1.4.2 งานวิจัยนี้ไม่ได้พิจารณาช่วงการใช้งานของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ โดยตั้งสมมติฐานให้ค่าผลกระทบในช่วงการใช้งานของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ทุกประเภทมีค่าไม่ต่างกัน

1.4.3 ข้อมูลการจัดการหลังการใช้งานในประเทศไทยของบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ ได้มาจากแหล่งข้อมูลในแต่ละปีแตกต่างกันไป เช่น ข้อมูลองค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลทั่วประเทศจากกรมควบคุมมลพิษปี พ.ศ. 2547 จำนวนขยะบรรจุภัณฑ์ที่ถูกนำมารีไซเคิลภายในประเทศจากกรมควบคุมมลพิษปี พ.ศ. 2548 และข้อมูลของกรมศุลกากรปี พ.ศ. 2552 แสดงสถิติการส่งออกปริมาณขยะมูลฝอยประเภทต่างๆ เป็นต้น

1.4.4 สำหรับขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET ไม่รวมถึงการผลิตฝาขวดและฉลาก ส่วนบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใสไม่รวมการผลิตฝาขวดเช่นกัน เนื่องจากไม่มีข้อมูลการขึ้นรูปของวัสดุเหล่านี้

## 2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life cycle inventory analysis)

หลังจากที่กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาแล้ว ขั้นตอนถัดมาคือ การจัดทำบัญชีรายการ ซึ่งเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ทรัพยากร พลังงาน และการปล่อยมลพิษออกสู่น้ำ อากาศ และดิน ของกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ ได้แก่ ขวด PET ถังเครื่องดื่ม กระจังอะลูมิเนียม และขวดแก้วใสที่มีปริมาตรความจุ 18,000 มิลลิลิตร แล้วทำบัญชีรายการสารขาเข้าและออกจากระบบ โดยการเก็บข้อมูลแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

### ข้อมูลปฐมภูมิ

- ข้อมูลกระบวนการบรรจุน้ำผลไม้ และการขนส่งบรรจุภัณฑ์เปล่า จากโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา

- ข้อมูลการขนส่งบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการบรรจุน้ำผลไม้แล้วไปยังร้านค้าส่งและร้านค้าปลีก ได้จากการสอบถามข้อมูลผู้ที่ทำการขนส่ง

### ข้อมูลทุติยภูมิ

- ข้อมูลการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยปี พ.ศ. 2552 จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

- ข้อมูลการผลิตวัตถุดิบและการขนส่งวัตถุดิบ การผลิตบรรจุภัณฑ์ การผลิตและใช้เชื้อเพลิงในการขนส่ง การผลิตน้ำ การจัดการหลังการใช้งาน โดยการรีไซเคิล การเผาในเตาเผา การฝังกลบ และการใช้ซ้ำ จากโปรแกรมไซมาโปร 7.1

- ข้อมูลปริมาณการจัดการบรรจุภัณฑ์หลังการใช้งาน จากกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

- ข้อมูลปริมาณการขนส่งขยะบรรจุภัณฑ์ไปยังต่างประเทศ จากกรมศุลกากร

- ข้อมูลระยะทางการขนส่งภายในประเทศ จากกรมทางหลวง

### 3. การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle impact assessment)

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมไซมาโปร 7.1 ร่วมกับวิธี CML 2 Baseline 2000 เวอร์ชัน 2.03 วิธีนี้เน้นผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม 11 รายการ แสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งแต่ละผลกระทบมีหน่วยของการกำหนดบทบาทเป็นกิโลกรัมเทียบเท่า และใช้ตัวประกอบการเทียบหน่วยในระดับโลก (ปี 1995) (Institute of Environmental Science, 2001) นอกจากนี้ Guinee *et al.* (2001) ได้พัฒนาวิธีการให้น้ำหนักความสำคัญซึ่งสามารถนำมาใช้กับวิธี CML ซึ่งวิธีการให้น้ำหนักความสำคัญนี้ได้จากการพิจารณาโดยประเทศเนเธอร์แลนด์

ตารางที่ 3 รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตัวประกอบการเทียบหน่วย และตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญของวิธี CML 2 Baseline 2000

รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม	หน่วยของการกำหนดบทบาท	ตัวประกอบการเทียบหน่วย (person×year/kg eq.)	ตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญ
Abiotic depletion	kg Sb eq.	6.39E-12	25.86
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq.	6.41E-14	20.00
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	1.94E-09	4.04
Human toxicity	kg 1,4-DB eq.	1.75E-14	10.51
Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	4.90E-13	4.85
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	1.95E-15	6.46
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	3.72E-12	12.93
Photochemical oxidation	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	1.04E-11	4.04
Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq.	3.11E-12	6.46
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.	7.56E-12	4.85
Land use	m <sup>2</sup> .year	8.06E-15	10.60

#### 4. การแปลผล (Interpretation)

การแปลผล และการตีความโดยการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมร่วมกับการทำบัญชีรายการเพื่อให้ได้ข้อสรุปและข้อเสนอแนะตามวัตถุประสงค์ และเป้าหมาย เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างผลการศึกษาและวัตถุประสงค์การศึกษา

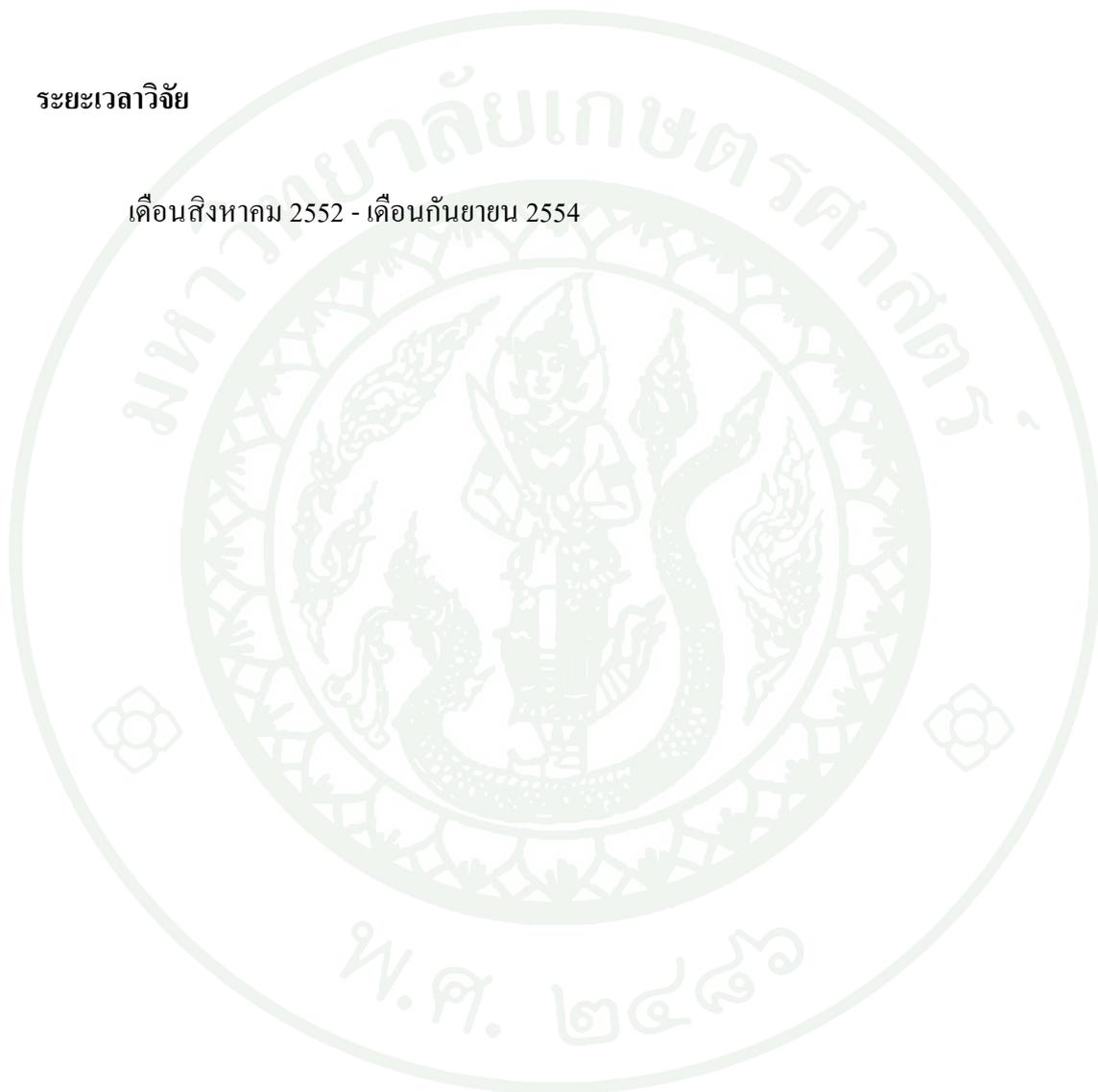
## สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

### สถานที่วิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

### ระยะเวลาวิจัย

เดือนสิงหาคม 2552 - เดือนกันยายน 2554



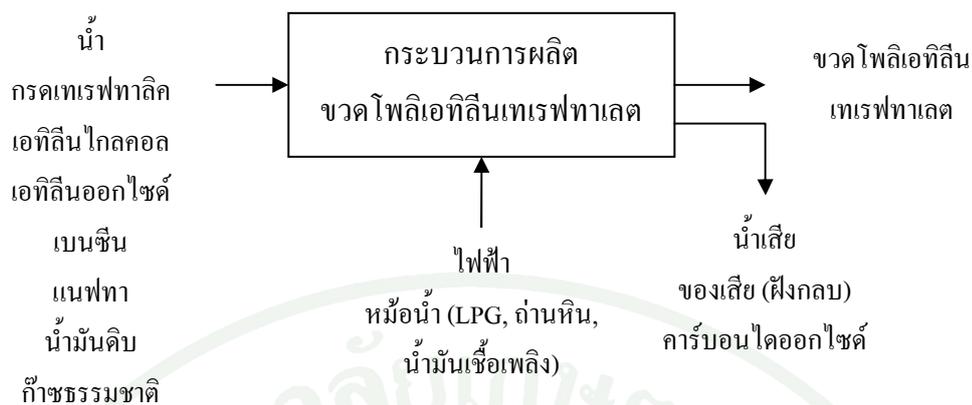
## ผลและวิจารณ์

### 1. การทำบัญชีรายการ

การทำบัญชีรายการเป็นการรวบรวมข้อมูล โดยแสดงรายละเอียดของสารขาเข้า (วัตถุดิบ และพลังงาน) และสารขาออก (ผลิตภัณฑ์ ของเสีย มลสารที่ปล่อยออกสู่น้ำ อากาศ และดิน) ของกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ ได้แก่ ขวด PET ก่อเครื่องดื่ม กระจ้อองลูมึนึยม และขวดแก้วใส โดยกำหนดหน่วยการทำงาน (Functional unit) คือ บรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ ที่มีปริมาตรความจุ 18,000 มิลลิลิตร ดังนั้นจึงใช้ขวด PET ขนาดบรรจุ 300 มิลลิลิตร จำนวน 60 ขวด ก่อเครื่องดื่มขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร จำนวน 100 ก่อ กระจ้อองลูมึนึยมขนาดบรรจุ 240 มิลลิลิตร จำนวน 75 กระจ้ออง และขวดแก้วใสขนาดบรรจุ 250 มิลลิลิตร จำนวน 72 ขวด การใช้ฐานข้อมูลการผลิตบรรจุภัณฑ์จากโปรแกรมไซมาโปร จะเลือกข้อมูลที่ยังไม่กระจาย (Cradle to gate) เนื่องจากจะทำให้ทราบว่าผลกระทบมาจากขั้นตอนใด และเลือกฐานข้อมูลที่ใกล้เคียงกับบรรจุภัณฑ์ตัวอย่างมากที่สุด ซึ่งแบ่งการประเมินเป็นช่วงการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ การจัดจำหน่าย และช่วงการจัดการหลังการใช้งาน ตามประเภทของบรรจุภัณฑ์ ดังต่อไปนี้

#### 1.1 การผลิตบรรจุภัณฑ์ขวด PET

ข้อมูลบัญชีรายการของกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET ใช้ข้อมูลจากโปรแกรมไซมาโปร 7.1 ฐานข้อมูล FAL (IDEMAT) และใช้ข้อมูลการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยปี พ.ศ. 2552 จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ภาพที่ 14 แสดงวัตถุดิบและพลังงานหลักที่ใช้ รวมทั้งของเสียจากกระบวนการผลิต



ภาพที่ 14 การผลิตบรรจุภัณฑ์ขวด PET

## 1.2 การผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องเครื่องดื่ม

ข้อมูลบัญชีรายการของกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่ม ใช้ข้อมูลจากโปรแกรมไซมาโปร 7.1 ฐานข้อมูล RER (Ecoinvent 2.0) และใช้ข้อมูลการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยปี พ.ศ. 2552 จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ภาพที่ 15 แสดงวัตถุดิบและพลังงานหลักที่ใช้ รวมทั้งของเสียจากกระบวนการผลิต

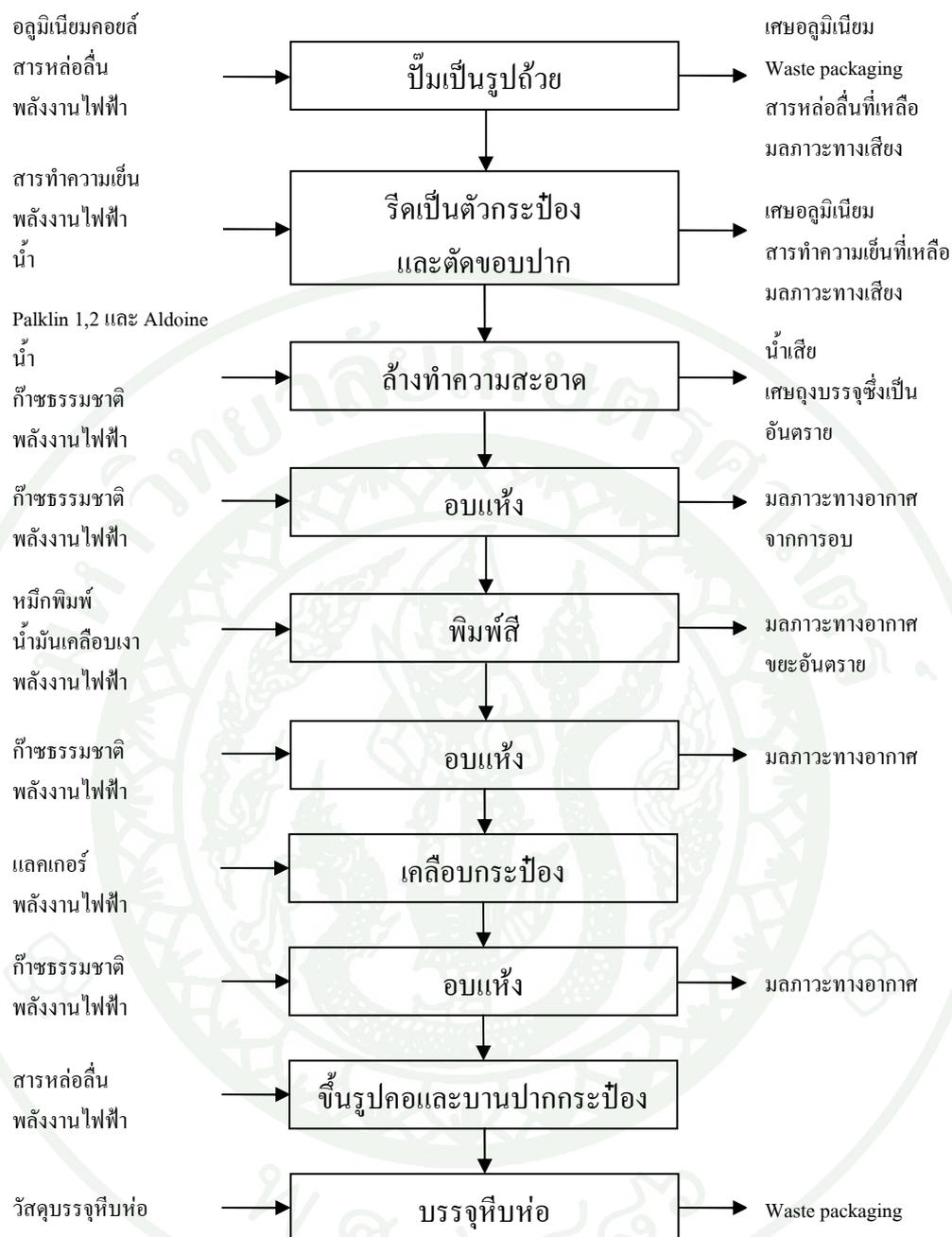


ภาพที่ 15 การผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องเครื่องดื่ม

### 1.3 การผลิตบรรจุภัณฑ์กระป๋องอลูมิเนียม

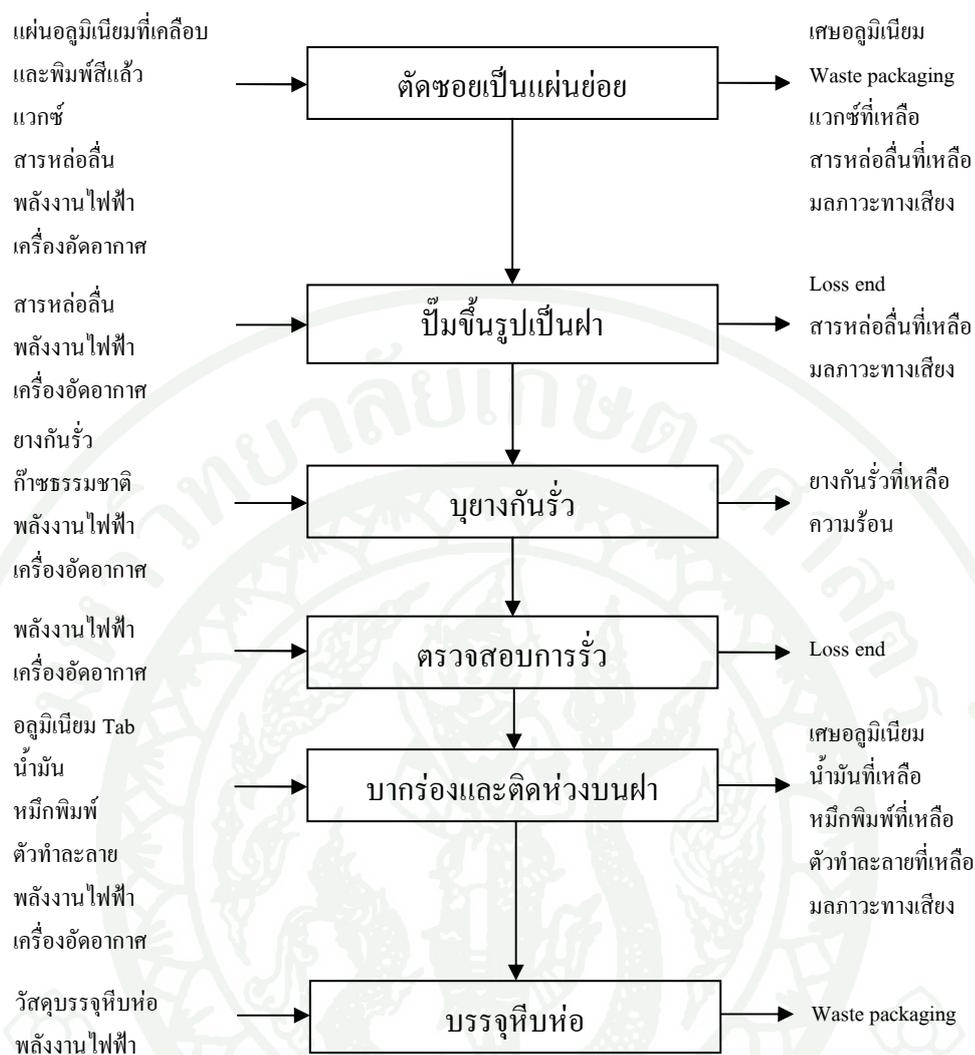
ข้อมูลบัญชีรายการของกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องอลูมิเนียม ใช้ข้อมูลจากโปรแกรมโซลมาโปร 7.1 ฐานข้อมูล FAL (IDEMAT) และใช้ข้อมูลการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยปี พ.ศ. 2552 จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ แผนภาพการขึ้นรูปกระป๋องอลูมิเนียมด้วยวิธีการรีดเย็น รวมทั้งการขึ้นรูปฝากระป๋องและการประกอบชิ้นส่วน แสดงดังภาพที่ 16 และ 17 ตามลำดับ





ภาพที่ 16 การขึ้นรูปกระป๋องอลูมิเนียม (การรีดเย็น)

หมายเหตุ Waste packaging ได้แก่ กระดาษ พลาสติก ไม้ และโลหะ

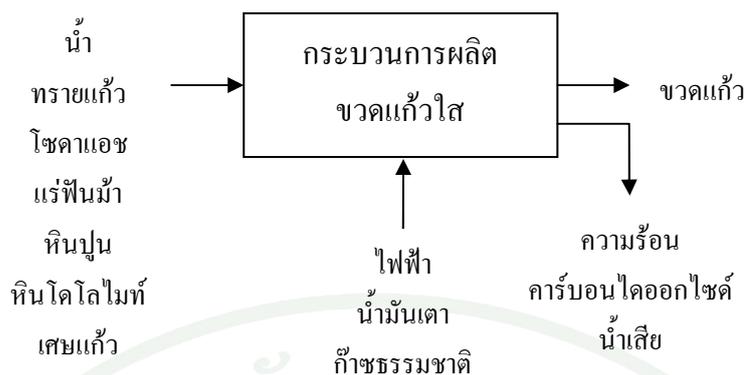


ภาพที่ 17 การขึ้นรูปฝากระป๋องและการประกอบชิ้นส่วน

หมายเหตุ Waste packaging ได้แก่ กระดาษ พลาสติก ไม้ และโลหะ

#### 1.4 การผลิตบรรจุภัณฑ์ขวดแก้วใส

ข้อมูลบัญชีรายการของกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส ใช้ข้อมูลจากโปรแกรมไซมาโปร 7.1 ฐานข้อมูล RER (Ecoinvent 2.0) โดยใช้ข้อมูลการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยปี พ.ศ. 2552 จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ภาพที่ 18 แสดงวัตถุดิบและพลังงานหลักที่ใช้ รวมทั้งของเสียจากกระบวนการผลิต



ภาพที่ 18 การผลิตบรรจุภัณฑ์ขวดแก้วใส

### 1.5 การบรรจุน้ำผลไม้

การทำบัญชีรายการเป็นการรวบรวมข้อมูล โดยแสดงรายละเอียดของสารขาเข้า และสารขาออกของกระบวนการบรรจุน้ำผลไม้

ข้อมูลบัญชีรายการของกระบวนการบรรจุน้ำผลไม้ ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจาก โรงงานบรรจุน้ำผลไม้ โครงการสวนพระองค์ สวนจิตรลดา พระราชวังดุสิต กรุงเทพมหานคร โดย น้ำผลไม้บรรจุขวด PET ก่อตั้งเครื่องดื่ม กระจ่างออลูมิเนียม และขวดแก้วใส มีกำลังการผลิตที่ 80,000 108,000 104,000 และ 100,000 หน่วย/เดือน ตามลำดับ ในที่นี้ขอยกตัวอย่างกระบวนการบรรจุน้ำผลไม้กระป๋อง เริ่มจากการใช้เครื่องจักรเพื่อปล่อยกระจ่างลงมาจากที่เก็บ และบรรจุน้ำผลไม้ลงสู่กระจ่าง จากนั้นทำการพ่นฝักกระจ่าง และล้างภายนอกกระจ่างเพื่อเข้าสู่มาเชื้อ ทำให้กระจ่างเย็นโดยน้ำหล่อให้เย็นและนำขึ้นเก็บในอุณหภูมิห้อง

ข้อมูลบัญชีรายการของกระบวนการบรรจุน้ำผลไม้จำนวน 18,000 มิลลิลิตร แสดงดังตารางที่ 4 โดยการเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- ข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่ ข้อมูลในกระบวนการบรรจุน้ำผลไม้ จากโครงการสวนพระองค์ สวนจิตรลดา
- ข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากฐานข้อมูลของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ปี 2552 และข้อมูลการผลิตน้ำจากโปรแกรมไซมาโปร เวอร์ชัน 7.1

ตารางที่ 4 ข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้ากระบวนการบรรจุน้ำผลไม้ของบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ  
จำนวน 18,000 มิลลิลิตร

บรรจุภัณฑ์	น้ำ (ลูกบาศก์เมตร)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)
ขวด PET	$9.00 \times 10^{-2}$	3.54
กล่องเครื่องดื่ม	$1.11 \times 10^{-1}$	4.37
กระป๋องอลูมิเนียม	$8.65 \times 10^{-2}$	3.40
ขวดแก้วใส	$8.64 \times 10^{-2}$	3.40

ขั้นตอนการขนส่งสำหรับกระบวนการบรรจุน้ำผลไม้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- การขนส่งบรรจุภัณฑ์เปล่าจากโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทมายังโรงงานบรรจุน้ำผลไม้ที่กรุงเทพมหานคร โดยแสดงชนิดและระยะทางในการขนส่งดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ชนิดและระยะทางในการขนส่งสำหรับกระบวนการบรรจุน้ำผลไม้ จำนวน 18,000 มิลลิลิตร

วัตถุดิบ	แหล่งที่มา	ชนิดของพาหนะ	น้ำหนักบรรทุก (กก.)	ระยะทาง (ก.ม.)
<b>การบรรจุน้ำผลไม้</b>				
ขวด PET	สมุทรปราการ - กทม	รถบรรทุก ขนาดใหญ่ 6 ล้อ	1.49	29.00
กล่องเครื่องดื่ม	ชลบุรี - กทม	รถบรรทุก ขนาดใหญ่ 6 ล้อ	$8.39 \times 10^{-1}$	81.00
กระป๋องอลูมิเนียม	ปทุมธานี - กทม	รถบรรทุก ขนาดใหญ่ 6 ล้อ	$9.23 \times 10^{-1}$	46.00
ขวดแก้วใส	ปทุมธานี - กทม	รถบรรทุก ขนาดใหญ่ 6 ล้อ	12.68	46.00

## 1.6 การจัดจำหน่าย

เนื่องจากบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดมีความแตกต่างทางด้านรูปร่าง ทำให้มีความแตกต่างในด้านปริมาณการขนส่ง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ข้อมูลการขนส่งน้ำผลไม้ที่ผ่านการบรรจุแล้ว ได้แก่ ชนิดของพาหนะที่ใช้ขนส่ง และน้ำหนักบรรทุก ได้จากการสอบถามข้อมูลจากผู้ที่ทำการขนส่ง
- ข้อมูลการขนส่งจากโรงงานบรรจุน้ำผลไม้ที่กรุงเทพมหานคร ไปยังศูนย์กระจายสินค้าในแต่ละภาค ไปที่ร้านค้าส่งและร้านค้าปลีกแล้วไปสู่ผู้บริโภคนั้น คัดจากร้อยละของปริมาณการขนส่งจากโรงงานบรรจุไปยังแต่ละภาคของประเทศ แล้วนำไปหาค่าระยะทางเฉลี่ย (กิตติวรรณ, 2551) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ชนิดและระยะทางในการจัดจำหน่ายน้ำผลไม้ จำนวน 18,000 มิลลิลิตร

วัตถุดิบ	ชนิดของพาหนะ	น้ำหนักบรรทุก (กก.)	ระยะทาง (ก.ม.)
<u>การจัดจำหน่าย</u>			
น้ำผลไม้บรรจุขวด PET	รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ	19.50	311
น้ำผลไม้บรรจุกล่อง	รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ	18.80	311
น้ำผลไม้บรรจุกระป๋อง	รถบรรทุกขนาดกลาง 6 ล้อ	18.90	311
น้ำผลไม้บรรจุขวดแก้ว	รถบรรทุกขนาดใหญ่ 6 ล้อ	30.67	311

## 1.7 การจัดการหลังการใช้งาน

การจัดการขยะมูลฝอยมีวิธีกำจัดได้หลายวิธี เช่น การกองทิ้งบนพื้น (Dumping on land) การนำไปทิ้งลงทะเล (Dumping at sea) การนำไปเป็นอาหารสัตว์ (Animal feeding) การคอมโพสท์ (Composting) การเผากลางแจ้ง (Open burning) การเผาในเตาเผา (Incineration) หรือการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill) อย่างไรก็ตามวิธีการกำจัดขยะมูลฝอยที่ถูกหลักสุขลักษณะและเป็นวิธีที่นิยมใช้มีอยู่ 3 วิธี ได้แก่ การเผาในเตาเผา การคอมโพสท์ และการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (พัชรินทร์, ม.ป.ป.)

จากข้อมูลของกรมศุลกากรปี พ.ศ. 2552 แสดงสถิติการส่งออกปริมาณขยะมูลฝอยประเภทต่างๆ โดยขยะจะผ่านการทำความสะอาด และบีบอัดเพื่อให้ง่ายในการขนส่ง โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติกจะถูกสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ (กรมศุลกากร, 2553) จึงได้เป็นปริมาณขยะบรรจุภัณฑ์ที่เหลือภายในประเทศ จากการสำรวจและวิเคราะห์ห้องค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลทั่วประเทศโดยกรมควบคุมมลพิษปี พ.ศ. 2547 ทำการสำรวจและวิเคราะห์ห้องค์ประกอบขยะมูลฝอยครอบคลุมแหล่งกำเนิด ได้แก่ บ้านเรือน อาคารพาณิชย์ และแหล่งกำเนิดอื่นๆ รวมถึงสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย ทั้งถุศุณและถุศุณแล้้ง โดยเน้นเฉพาะบรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติก แก้ว และกระดาษในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ประกอบด้วย เทศบาลนครนครปฐม เทศบาลตำบลสามพราน เทศบาลนครสมุทรสาคร เทศบาลตำบลอ้อมน้อย เทศบาลนครนนทบุรี เทศบาลนครปากเกร็ด เทศบาลนครสมุทรปราการ เทศบาลเมืองปทุมธานี สถานีขนถ่ายมูลฝอยอ่อนนุช สถานีขนถ่ายมูลฝอยหนองแขม สถานีขนถ่ายมูลฝอยท่าแร้งจะได้องค์ประกอบของขยะบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภท และจากข้อมูลรายงานสถานการณ์มลพิษปี พ.ศ. 2545 แสดงปริมาณการใช้ประโยชน์ของเสียในภาคอุตสาหกรรมดังตารางที่ 2 โดยแสดงถึงจำนวนขยะบรรจุภัณฑ์ที่ถูกนำมารีไซเคิลภายในประเทศ ซึ่งแก้วเป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) ส่วนข้อมูลจากศูนย์รีไซเคิลกล่องเครื่องดื่มปี พ.ศ. 2552 พบว่ามีกล่องเครื่องดื่มใช้แล้วกลับเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลประมาณร้อยละ 13.5 ของปริมาณกล่องทั้งหมดในการบริโภค นอกจากนี้ประเทศไทยมีระบบเตาเผา 3 แห่งคือ เทศบาลเมืองลำพูน (10 ตันต่อวัน) เทศบาลนครภูเก็ต (250 ตันต่อวัน) เทศบาลตำบลเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี (75 ตันต่อวัน) (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

จากข้อมูลข้างต้น การศึกษานี้จึงพิจารณาแบบจำลอง (Scenarios) ให้แต่ละวิธีการกำจัดขยะบรรจุภัณฑ์คิดเป็นร้อยละ 100 เพื่อให้เห็นความแตกต่างของค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยแบ่งเป็นการรีไซเคิล การเผาในเตาเผา การฝังกลบ และการใช้ซ้ำ (สำหรับขวดแก้วใส) โดยไม่มีการคอมโพสิต์เนื่องจากบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ นอกจากนี้ยังแสดงค่าผลกระทบจากปริมาณการจัดการหลังการใช้งานในประเทศไทยในแต่ละบรรจุภัณฑ์ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณการจัดการหลังการใช้งานในประเทศไทยของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้แต่ละประเภท  
จำนวน 18,000 มิลลิลิตร

บรรจุภัณฑ์	ปริมาณ (กิโลกรัม)			
	การรีไซเคิล	การเผาในเตาเผา	การฝังกลบ	การใช้ซ้ำ
ขวด PET	3.21E-01	2.18E-05	9.59E-01	-
กล่องเครื่องดื่ม	1.13E-01	6.68E-05	7.25E-01	-
กระป๋องอลูมิเนียม	3.88E-01	5.05E-05	3.44E-01	-
ขวดแก้วใส	5.35	1.46E-03	5.34	1.46

การขนส่งบรรจุภัณฑ์หลังการใช้งานไปยังสถานที่กำจัดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- การรีไซเคิล จะแบ่งตามประเภทของบรรจุภัณฑ์ โดยจากฐานข้อมูลโรงงานแปรรูปบรรจุภัณฑ์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) เลือกโรงงานที่มีกำลังการผลิตสูงสุดมาทำการพิจารณา โดยกำหนดระยะทางจากสถานที่คัดแยกขยะในกรุงเทพฯ ไปยังโรงงานแปรรูป ได้แก่ บริษัท ไดนามิก โอเออร์แพค จำกัด อ.กระทุ่มแบน จ.สมุทรสาคร ทำการแปรรูปพลาสติก คิดเป็นระยะทาง 36.95 กิโลเมตร บริษัท ฝาจีบ จำกัด (มหาชน) อ.ชัยบุรี จ.ปทุมธานี ทำการแปรรูปโลหะ คิดเป็นระยะทาง 47.23 กิโลเมตร และบริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด อ.ชัยบุรี จ.ปทุมธานี ทำการแปรรูปแก้ว คิดเป็นระยะทาง 47.23 กิโลเมตร ข้อมูลจากศูนย์รีไซเคิลกล่องเครื่องดื่มนั้น บริษัท ไฟเบอร์พัฒนา จำกัด อ.บางเสาธง จ.สมุทรปราการ ทำการแปรรูปกล่องเครื่องดื่มเพื่อแยกเชื้อกระดาษ คิดเป็นระยะทาง 29 กิโลเมตร และใช้รถบรรทุกขนาดใหญ่ 6 ล้อในการขนส่ง

- การเผาในเตาเผา เนื่องจากประเทศไทยมีระบบเตาเผาเพียง 3 แห่งคือ เทศบาลเมืองลำพูน เทศบาลนครภูเก็ต และเทศบาลตำบลเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยเป็นการจัดการขยะมูลฝอยในเขตเทศบาล จึงคิดระยะทางจากอำเภอที่อยู่ใกล้กับเขตเทศบาลของแต่ละจังหวัดแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยได้ 25.39 กิโลเมตร และใช้รถบรรทุกขนาดใหญ่ 6 ล้อในการขนส่ง

- การฝังกลบ สถานที่ฝังกลบ 3 แห่งคือ อ.เมือง จ.ชลบุรี อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม และ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ โดยคิดระยะทางจากเทศบาล 11 แห่งในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ประกอบด้วย เทศบาลนครนครปฐม เทศบาลตำบลสามพราน เทศบาลนครสมุทรสาคร

เทศบาลตำบลอ้อมน้อย เทศบาลนครนนทบุรี เทศบาลนครปากเกร็ด เทศบาลนครสมุทรปราการ เทศบาลเมืองปทุมธานี สถานีขนถ่ายมูลฝอยอ่อนนุช สถานีขนถ่ายมูลฝอยหนองแขม สถานีขนถ่ายมูลฝอยท่าแร่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) ไปยังสถานที่ฝังกลบทั้ง 3 แห่ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยได้ 27.47 กิโลเมตร และใช้รถบรรทุกขนาดใหญ่มาก 6 ล้อในการขนส่ง

- การใช้ซ้ำ จากการสำรวจและวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลทั่วประเทศของกรมควบคุมมลพิษ ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) พบว่าแก้วเป็นบรรจุภัณฑ์หนึ่งที่สามารถนำกลับมาทำความสะอาดหมุนเวียนใช้ซ้ำได้ 30 ครั้ง (กรอ., 2552ข) แต่จากข้อมูลของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาพบว่าในระหว่างการล้างจะมีการแตกของขวดแก้วร้อยละ 7 กำหนดให้บริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด อ.ชัยบุรี จ.ปทุมธานี เป็นสถานที่ในการแปรรูปแก้วจากสถานที่คัดแยกขยะในกรุงเทพฯ คิดเป็นระยะทาง 47.23 กิโลเมตร และใช้รถบรรทุกขนาดใหญ่มาก 6 ล้อในการขนส่ง

การจัดการหลังการใช้งานของบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภท ได้แก่ การรีไซเคิล การเผาในเตาเผา การฝังกลบ และการใช้ซ้ำ (สำหรับขวดแก้วใส) จะใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมไซมาโปร

## 2. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมในหัวข้อที่ผ่านมา เป็นการรวบรวมข้อมูลจากกระบวนการต่างๆ ตามเป้าหมายและขอบเขตที่กำหนดไว้ แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะช่วยให้ทราบว่าระบบผลิตภัณฑ์มีการใช้วัตถุดิบ พลังงาน และปล่อยมลสารสู่สิ่งแวดล้อมมากเท่าใด ขั้นตอนถัดไปคือการจำแนกข้อมูลเหล่านั้นตามรายการผลกระทบ (Classification) แล้วจึงแปลงค่าข้อมูลดังกล่าวให้อยู่ในรูปของผลกระทบสิ่งแวดล้อม หรือการกำหนดบทบาท (Characterization) โดยเทียบกับศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของสารอ้างอิง หลังจากนั้นเป็นขั้นตอนการหาขนาดผลกระทบ (Normalizaiton) โดยเทียบกับผลกระทบสิ่งแวดล้อมในระดับประเทศ ระดับทวีป หรือระดับโลก และขั้นตอนการให้น้ำหนัก (Weighting) สุดท้ายจะได้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ซึ่งคะแนนเชิงเดี่ยวสามารถเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมระหว่างผลิตภัณฑ์ได้ เรียกขั้นตอนการดำเนินการทั้งหมดนี้ว่า การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Impact Assessment)

ในการศึกษานี้ใช้วิธี CML 2 Baseline 2000 ประเมินผลสิ่งแวดล้อม โดยแยกพิจารณาเป็น 2 ช่วงคือ 1) การผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่าย 2) การจัดการหลังการใช้งาน การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ ที่มีปริมาตรความจุ 18,000 มิลลิลิตร มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่าย

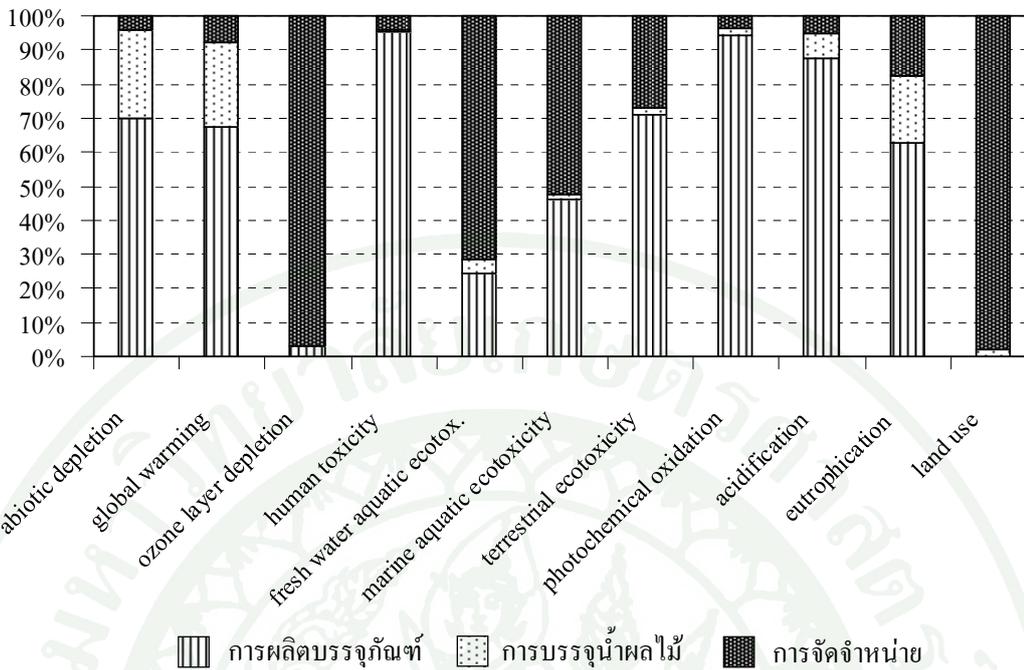
ในส่วนนี้จะพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมตั้งแต่การผลิตบรรจุภัณฑ์ ซึ่งรวมเอาการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบไปยังโรงงานผลิตวัตถุดิบ การผลิตวัตถุดิบ และการขนส่งวัตถุดิบไปยังโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ ซึ่งรวมเอาการขนส่งบรรจุภัณฑ์เปล่าไปยังโรงงานบรรจุ และการจัดจำหน่ายน้ำผลไม้ไปยังผู้บริโภค

#### 2.1.1 ขวด PET

ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละรายการในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET และการจำแนกข้อมูลตามรายการผลกระทบในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET แสดงดังตารางที่ 8 และภาพที่ 19 ตามลำดับ พบว่าในแต่ละรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมเกิดจากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์เป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล และการใช้พื้นที่ดิน ที่เกิดจากขั้นตอนการจัดจำหน่ายเป็นส่วนใหญ่

ตารางที่ 8 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละรายการในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET

รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม	หน่วย	การผลิตบรรจุภัณฑ์	การบรรจุน้ำผลไม้	การจัดจำหน่าย	รวม
Abiotic depletion	kg Sb eq.	7.26E-02	2.68E-02	4.52E-03	1.04E-01
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq.	5.49	1.99	6.47E-01	8.12
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	3.17E-09	2.79E-10	1.01E-07	1.04E-07
Human toxicity	kg 1,4-DB eq.	2.47	1.15E-02	1.10E-01	2.59
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq.	7.64E-03	1.27E-03	2.22E-02	3.11E-02
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	42.44	1.17	48.22	91.83
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	3.28E-03	7.63E-05	1.26E-03	4.62E-03
Photochemical oxidation	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	2.99E-03	7.13E-05	1.17E-04	3.17E-03
Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq.	5.89E-02	4.93E-03	3.50E-03	6.73E-02
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.	2.65E-03	8.25E-04	7.55E-04	4.23E-03
Land use	m <sup>2</sup> ×yr	0.00	9.89E-05	4.89E-03	4.99E-03



**ภาพที่ 19** การจำแนกข้อมูลตามรายการผลกระทบในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET

ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่าย ในแต่ละรายการผลกระทบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ สาเหตุหลักเกิดจากการใช้น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน จากการใช้น้ำมันดิบเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซโบรมไตรฟลูออโรมีเทน (Halon 1301) จากการจัดจำหน่ายน้ำผลไม้ด้วยรถบรรทุกที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซเอทิลีนออกไซด์ สารโลหะหนักจำพวกนิกเกิล และสารหนู (อโลหะ) จากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยไอออนของสารโลหะหนักจำพวกวานาเดียม นิกเกิล และสังกะสี จากการจัดจำหน่ายน้ำผลไม้ด้วยรถบรรทุกที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยแบคทีเรีย แบเรียม และวานาเดียมไอออน จากการจัดจำหน่ายน้ำผลไม้ด้วยรถบรรทุกที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทางบก สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยสารจำพวกปรอท นิกเกิล และสารหนู จากการใช้น้ำมันดิบและถ่านหินเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดมลพิษชั้นบรรยากาศจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมี สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยสารซัลเฟอร์ออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และเอทิลีนไกลคอล จากการใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยสารซัลเฟอร์ออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากการใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุล สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยสารไนโตรเจนออกไซด์ และแอมโมเนีย จากการใช้ก๊าซธรรมชาติเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า ในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการใช้พื้นที่ดิน สาเหตุหลักเกิดจากการถางป่าเพื่อครอบครองพื้นที่ในการตั้งโรงงานและทำเหมืองแร่เพื่อผลิตถ่านหินในขั้นตอนการจัดจำหน่ายน้ำผลไม้

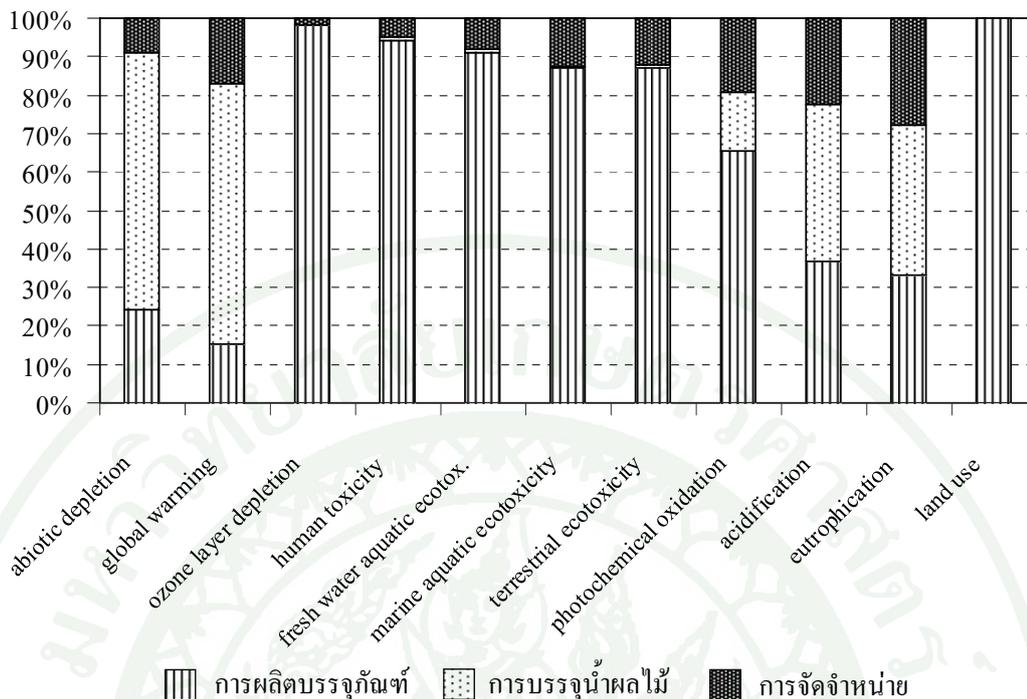
จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET พบว่ามลสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากการใช้น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า ในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

### 2.1.2 ก่อสร้างเครื่องดื่มน้ำ

ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละรายการในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่ม และการจำแนกข้อมูลตามรายการผลกระทบในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่ม แสดงดังตารางที่ 9 และภาพที่ 20 ตามลำดับ พบว่าในแต่ละรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมเกิดจากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์เป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน การก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด และภาวะขาดอาหารในน้ำกินสมมูล ที่เกิดจากขั้นตอนการบรรจุน้ำผลไม้เป็นส่วนใหญ่

ตารางที่ 9 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละรายการในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่ม

รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม	หน่วย	การผลิตบรรจุภัณฑ์	การบรรจุน้ำผลไม้	การจัดจำหน่าย	รวม
Abiotic depletion	kg Sb eq.	1.20E-02	3.30E-02	4.36E-03	4.94E-02
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq.	5.53E-01	2.45	6.23E-01	2.85
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	5.38E-06	3.43E-10	9.73E-08	5.48E-06
Human toxicity	kg 1,4-DB eq.	2.00	1.42E-02	1.06E-01	2.12
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq.	2.37E-01	1.56E-03	2.14E-02	2.60E-01
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	324.73	1.44	46.49	372.66
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	8.73E-03	9.42E-05	1.21E-03	1.00E-02
Photochemical oxidation	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	3.81E-04	8.80E-05	1.13E-04	5.81E-04
Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq.	5.53E-03	6.08E-03	3.37E-03	1.50E-02
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.	8.75E-04	1.02E-03	7.28E-04	2.62E-03
Land use	m <sup>2</sup> ×yr	5.75	1.22E-04	4.72E-03	5.76



ภาพที่ 20 การจำแนกข้อมูลตามรายการผลกระทบในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบริจจน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่ม

ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่ม การบริจจน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่าย ในแต่ละรายการผลกระทบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ สาเหตุหลักเกิดจากการนำก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และน้ำมันดิบ มาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้ในขั้นตอนการบริจจน้ำผลไม้

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้ในขั้นตอนการบริจจน้ำผลไม้

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซโบรโมไตรฟลูออโรมีเทน (Halon 1301) และไตรคลอโรฟลูออโรมีเทน (CFC-11) จากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAH) รวมทั้งโลหะหนักจำพวกโครเมียม (VI) และวานเดียมไอออน จากการนำลุมิเนียมมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตอลูมิเนียมฟอยล์ สำหรับขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยไอออนของสารโลหะหนักจำพวกวานเดียม นิกเกิล และทองแดง จากการนำลุมิเนียมมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตอลูมิเนียมฟอยล์ สำหรับขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยวานเดียมไอออน วานเดียม (ในอากาศ) และเบริลเลียม จากการนำลุมิเนียมมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตอลูมิเนียมฟอยล์ สำหรับขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทางบก สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยสารโลหะหนักจำพวกโครเมียม (VI) วานเดียม และปรอท จากการใช้กระแสไฟฟ้าในการผลิตอลูมิเนียมเหลวเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้น สำหรับขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดมลพิษชั้นบรรยากาศจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมี สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ (จากเชื้อเพลิงฟอสซิลและเชื้อเพลิงชีวภาพ) จากการนำลุมิเนียมมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตอลูมิเนียมฟอยล์ สำหรับขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดภาวะความเป็นกรด สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากการใช้กระแสไฟฟ้าในขั้นตอนการบรรจุผลไม้

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะขาดอาหารในน้ำเกินสมดุล สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ จากการใช้กระแสไฟฟ้าในขั้นตอนการบรรจุผลไม้

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการใช้พื้นที่ดิน สาเหตุหลักเกิดจากการตัดต้นไม้เพื่อนำใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

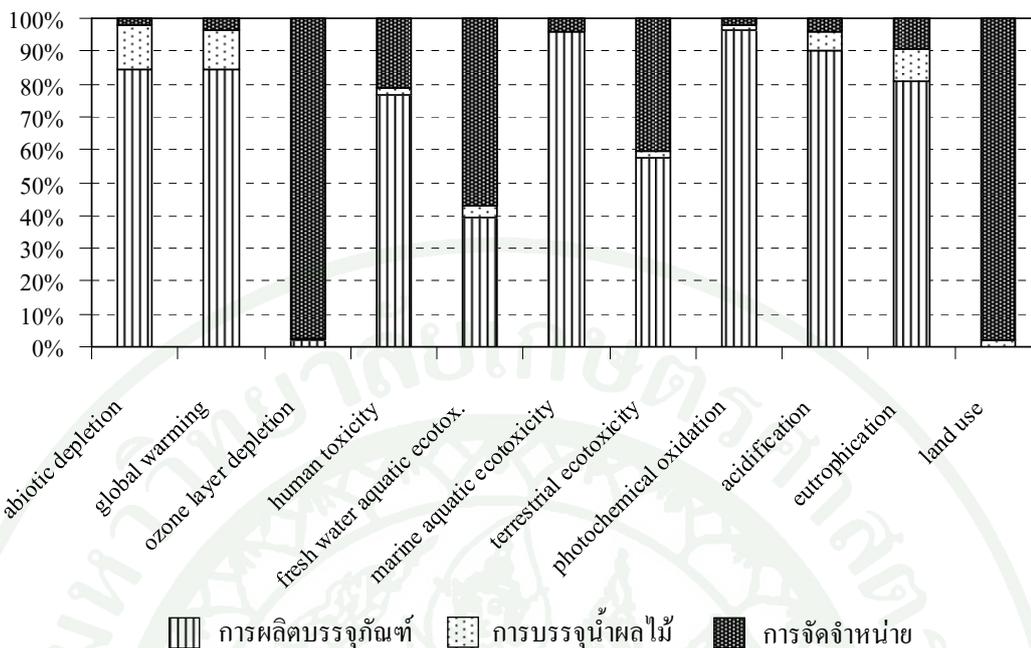
จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่ม พบว่ามลสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากการนำอลูมิเนียมมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตอลูมิเนียมฟอยล์ สำหรับขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

### 2.1.3 ระวังอลูมิเนียม

ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละรายการในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทระวังอลูมิเนียม และการจำแนกข้อมูลตามรายการผลกระทบในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทระวังอลูมิเนียม แสดงดังตารางที่ 10 และภาพที่ 21 ตามลำดับ พบว่าในแต่ละรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมเกิดจากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์เป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด และการใช้พื้นที่ดิน ที่เกิดจากขั้นตอนการจัดจำหน่ายเป็นส่วนใหญ่

ตารางที่ 10 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละรายการในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุ  
น้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องออลูมิเนียม

รายการผลกระทบ สิ่งแวดล้อม	หน่วย	การผลิต บรรจุภัณฑ์	การบรรจุ น้ำผลไม้	การจัด จำหน่าย	รวม
Abiotic depletion	kg Sb eq.	1.62E-01	2.57E-02	4.38E-03	1.92E-01
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq.	14.02	1.91	6.27E-01	16.56
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	2.20E-09	2.68E-10	9.78E-08	1.00E-07
Human toxicity	kg 1,4-DB eq.	3.87E-01	1.11E-02	1.07E-01	5.05E-01
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq.	1.49E-02	1.22E-03	2.16E-02	3.77E-02
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	1,065.27	1.12	46.73	1,113.13
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	1.74E-03	7.33E-05	1.22E-03	3.03E-03
Photochemical oxidation	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	4.88E-03	6.85E-05	1.13E-04	5.06E-03
Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq.	7.64E-02	4.73E-03	3.39E-03	8.45E-02
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.	6.35E-03	7.92E-04	7.32E-04	7.88E-03
Land use	m <sup>2</sup> ×yr	0.00	9.50E-05	4.74E-03	4.84E-03



**ภาพที่ 21** การจำแนกข้อมูลตามรายการผลกระทบในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องอลูมิเนียม

ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องอลูมิเนียม การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่าย ในแต่ละรายการผลกระทบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ สาเหตุหลักเกิดจากการนำก๊าซธรรมชาติและถ่านหินมาเป็นเชื้อเพลิง ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้หลอมอลูมิเนียม จากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้หลอมอลูมิเนียม จากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซโบรโมไตรฟลูออโรมีเทน (Halon 1301) จากการจัดจำหน่ายน้ำผลไม้ด้วยรถบรรทุกที่ใช้ไนมันติเซลเป็นเชื้อเพลิง

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนฟลูออไรด์ ในโตรเจนออกไซด์ และนิกเกิล จากการใช้น้ำมันดิบเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยไอออนของสารโลหะหนักจำพวกวานาเดียม นิกเกิล และสังกะสี จากการจัดจำหน่ายน้ำผลไม้ด้วยรถบรรทุกที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนฟลูออไรด์ จากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทางบก สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยสารปรอท (ในอากาศและน้ำ) และนิกเกิล จากการใช้น้ำมันดิบเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดมลพิษชั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมี สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากการใช้ก๊าซธรรมชาติเพื่อให้พลังงานกับหม้อน้ำ สำหรับขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากการใช้ก๊าซธรรมชาติเพื่อให้พลังงานกับหม้อน้ำ สำหรับขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุล สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ ฟอสเฟต และซีโอดีในน้ำเสีย จากการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้หลอมอลูมิเนียม สำหรับขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการใช้พื้นที่ดิน สาเหตุหลักเกิดจากการครอบครองพื้นที่ในการตั้งโรงงานและท่าเหมืองแร่เพื่อผลิตรถบรรทุกในขั้นตอนการจัดจำหน่ายน้ำผลไม้

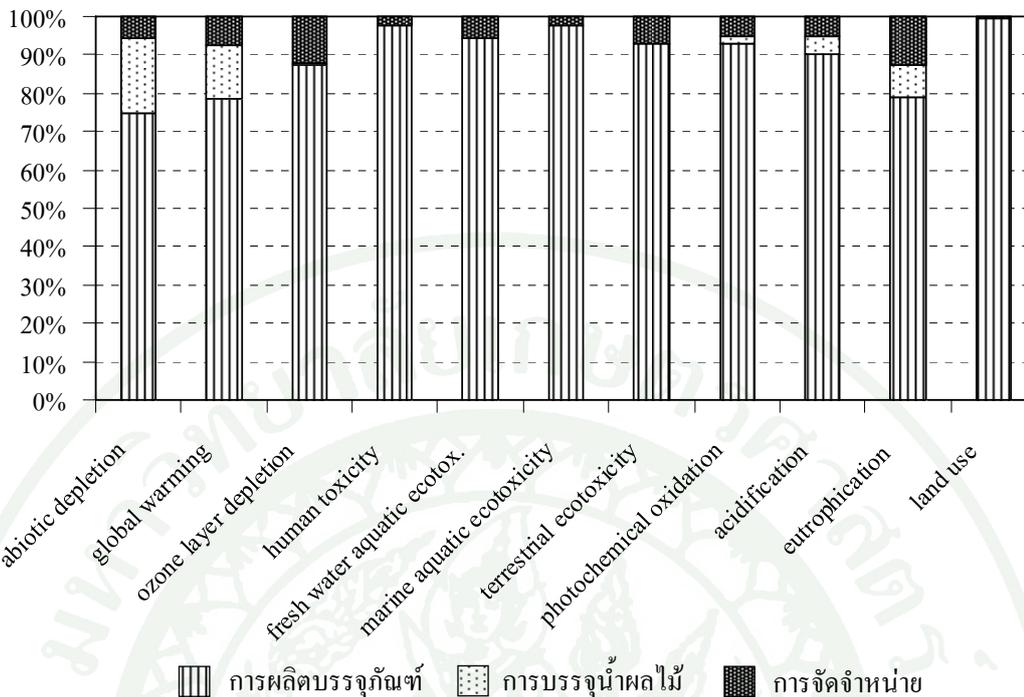
จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องอลูมิเนียม พบว่ามลสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้หลอมอลูมิเนียม ในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

#### 2.1.4 ขวดแก้วใส

ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละรายการในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส และการจำแนกข้อมูลตามรายการผลกระทบในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส แสดงดังตารางที่ 11 และภาพที่ 22 ตามลำดับ พบว่าในแต่ละรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมเกิดจากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์เป็นส่วนใหญ่

ตารางที่ 11 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละรายการในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุ  
น้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส

รายการผลกระทบ สิ่งแวดล้อม	หน่วย	การผลิต บรรจุภัณฑ์	การบรรจุ น้ำผลไม้	การจัด จำหน่าย	รวม
Abiotic depletion	kg Sb eq.	9.69E-02	2.57E-02	7.12E-03	1.30E-01
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq.	10.63	1.91	1.02	13.55
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	1.12E-06	2.74E-10	1.59E-07	1.28E-06
Human toxicity	kg 1,4-DB eq.	7.07	1.11E-02	1.73E-01	7.26
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq.	5.99E-01	1.22E-03	3.50E-02	6.35E-01
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	3,096.48	1.13	75.91	3,173.52
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	2.63E-02	7.34E-05	1.98E-03	2.84E-02
Photochemical oxidation	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	3.45E-03	6.85E-05	1.84E-04	3.70E-03
Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq.	9.39E-02	4.73E-03	5.50E-03	1.04E-01
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.	7.49E-03	7.92E-04	1.19E-03	9.47E-03
Land use	m <sup>2</sup> ×yr	3.25	9.52E-05	7.70E-03	3.26



ภาพที่ 22 การจำแนกข้อมูลตามรายการผลกระทบในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส

ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่าย ในแต่ละรายการผลกระทบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ สาเหตุหลักเกิดจากการผลิตกระแสไฟฟ้าและการใช้ก๊าซธรรมชาติเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (จากเชื้อเพลิงฟอสซิลและเชื้อเพลิงชีวภาพ) จากการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซโบรโมไตรฟลูออโรมีเทน (Halon 1301) และโบรโมคลอโรฟลูออโรมีเทน

(Halon 1211) จากการผลิตกระแสไฟฟ้าและการใช้ก๊าซธรรมชาติเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยสารซีลีเนียม สารหนู และโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAH) จากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ ซึ่งต้องใช้ทองแดงเป็นตัวโครงสร้างของโรงงานผลิต

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยไอออนของสารโลหะหนักจำพวกนิกเกิล วาเนเดียม และทองแดง จากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ ซึ่งต้องใช้เหล็กกล้าเป็นตัวโครงสร้างของโรงงานผลิต

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยสารซีลีเนียม แบโรท์ และวาเนเดียมไอออน จากการผลิตกระแสไฟฟ้าและการใช้ก๊าซธรรมชาติเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทางบก สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยสารโลหะหนักจำพวกปรอท ซีลีเนียม และวาเนเดียม จากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ ซึ่งต้องใช้เหล็กกล้าเป็นตัวโครงสร้างของโรงงานผลิต

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดมลพิษชั้นบรรยากาศจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมี สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ (จากเชื้อเพลิงฟอสซิล) จากการผลิตกระแสไฟฟ้าและการใช้ก๊าซธรรมชาติเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดภาวะความเป็นกรด สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และแอมโมเนีย จากการใช้น้ำมันดิบในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

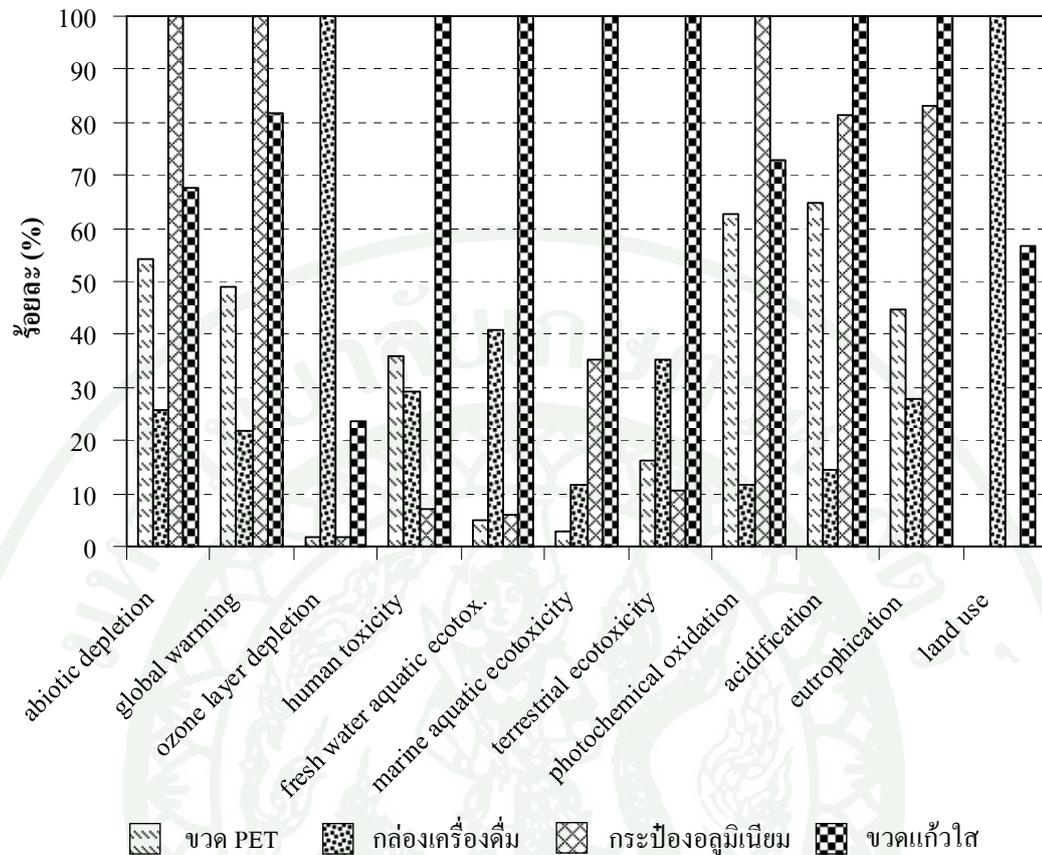
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะขาดอาหารในน้ำกินสมดุ สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ซีโอดีในน้ำเสีย และฟอสเฟต จากการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการใช้พื้นที่ดิน สาเหตุหลักเกิดจากการทำอุตสาหกรรมตัดไม้เพื่อใช้ในการทำกระดาษลังบรรจุขวดแก้วใส จากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์

จากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส พบว่ามลสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากการผลิตกระแสไฟฟ้าและการใช้ก๊าซธรรมชาติเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ คือสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

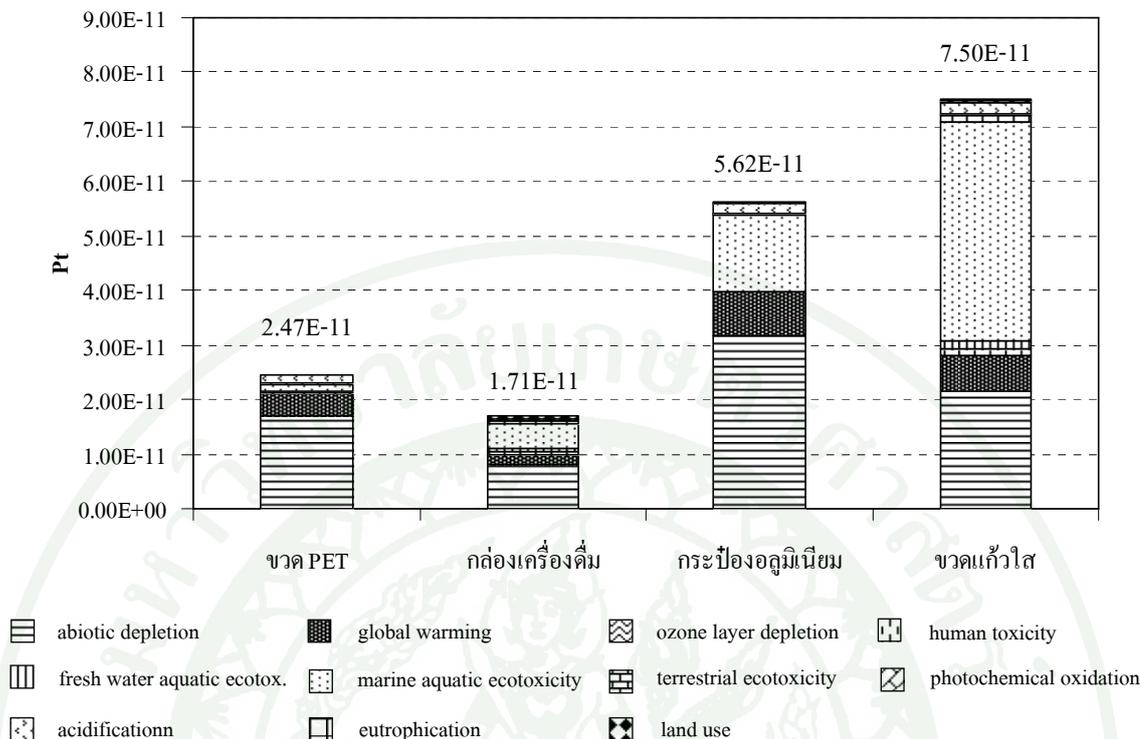
2.1.5 การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่าย ของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ

การเปรียบเทียบแต่ละรายการผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่าย ของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ แสดงดังภาพที่ 23 ผลการเปรียบเทียบพบว่า กล้องเครื่องคั้นมีค่าผลกระทบทางด้านการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ และการใช้พื้นที่ดิน มากกว่าบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่น เนื่องจากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์และการตัดต้นไม้เพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษ ส่วนกระป๋องอลูมิเนียมมีค่าผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน และการเกิดมลพิษชั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมี มากกว่าบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่น เนื่องจากการนำก๊าซธรรมชาติและถ่านหินมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้หลอมอลูมิเนียม รวมทั้งการใช้ก๊าซธรรมชาติเพื่อให้พลังงานกับหม้อน้ำ ขวดแก้วใสมีค่าผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทางบก การก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด และภาวะขาดอาหารในน้ำเกินสมดุล มากกว่าบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่น เนื่องจากใช้ทองแดงและเหล็กกล้าเป็นตัวโครงสร้างของโรงงานผลิต การใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง การใช้สารเคมีชนิดอนินทรีย์ รวมทั้งการผลิตกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 23 การเปรียบเทียบแต่ละรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่าย ของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ

การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่าย ของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ แสดงดังภาพที่ 24 พบว่าค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากมากไปน้อย ได้แก่ ขวดแก้วใส กระป๋องอลูมิเนียม ขวด PET และกล่องเครื่องดื่ม โดยขวดแก้วใสมีผลกระทบทางด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเลมากที่สุด รองลงมาคือการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ ส่วนบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องอลูมิเนียมและกล่องเครื่องดื่ม มีผลกระทบทางด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้มากที่สุด รองลงมาคือการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล และขวด PET มีผลกระทบทางด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้มากที่สุด รองลงมาคือการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน



ภาพที่ 24 การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่าย ของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ

## 2.2 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งาน

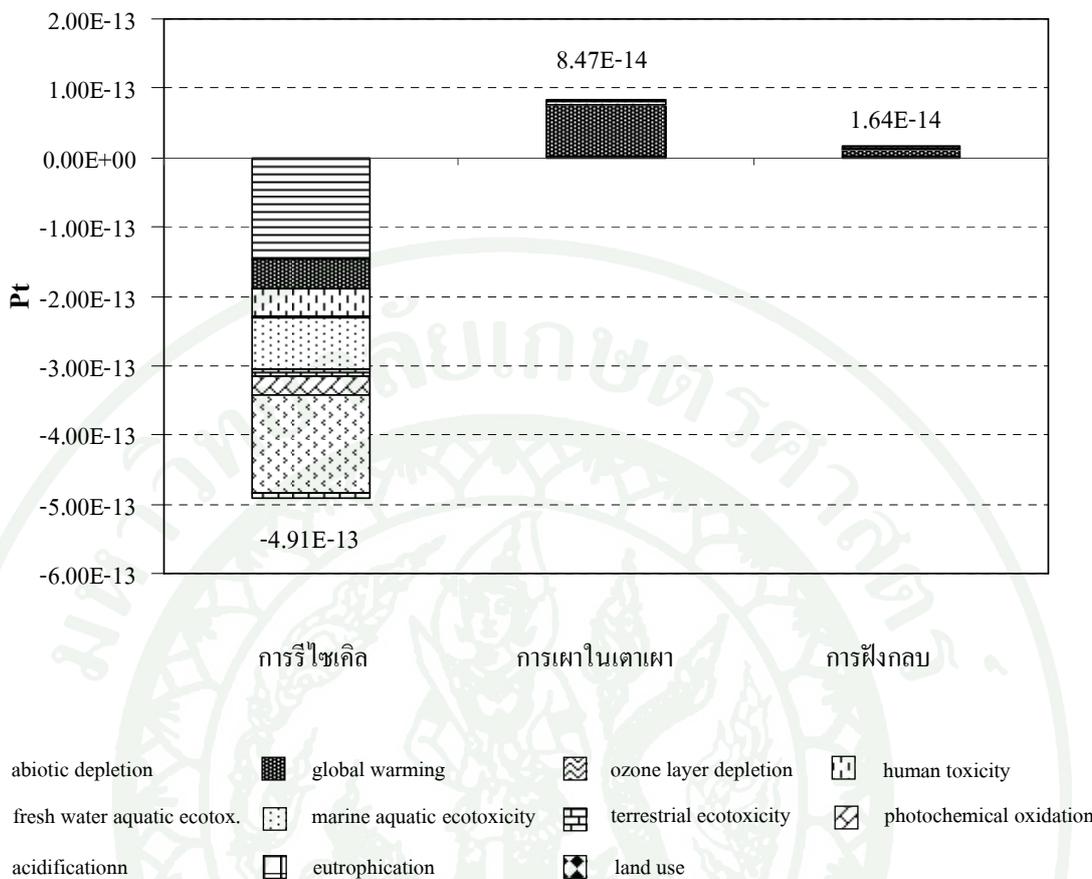
การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งาน จะพิจารณาการขนส่งขยะแต่ละประเภทไปยังสถานที่กำจัดด้วย

### 2.2.1 ขวด PET

การจัดการหลังการใช้งานของขวด PET ในประเทศไทยมี 3 วิธี ได้แก่ การรีไซเคิล การเผาในเตาเผา และการฝังกลบ โดยใช้ข้อมูลบัญชีรายการจากฐานข้อมูลของโปรแกรมไซมาโปร 7.1 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของขวด PET โดยวิธีการต่างๆ มีปริมาณในแต่ละรายการผลกระทบดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของขวด PET โดยวิธีการต่างๆ

รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม	หน่วย	การรีไซเคิล	การเผาในเตาเผา	การฝังกลบ
Abiotic depletion	kg Sb eq.	-2.28E-02	1.56E-04	1.35E-04
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq.	-1.78	3.07	4.60E-01
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	-2.86E-09	1.28E-08	1.79E-08
Human toxicity	kg 1,4-DB eq.	-2.21	4.90E-02	2.98E-03
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq.	-6.70E-03	1.68E-03	5.37E-04
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	-38.18	2.26	1.12
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	-2.86E-03	9.68E-05	9.63E-06
Photochemical oxidation	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	-2.58E-03	2.02E-05	9.11E-05
Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq.	-4.52E-02	7.04E-04	2.10E-04
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.	-1.07E-03	1.13E-04	3.87E-05
Land use	m <sup>2</sup> ×yr	1.74E-08	1.20E-08	1.29E-08



ภาพที่ 25 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของขวด PET โดยวิธีการต่างๆ

การจัดการหลังการใช้งานของขวด PET ด้วยการรีไซเคิลช่วยลดผลกระทบเกือบทุกด้านยกเว้นการใช้พื้นที่ดิน เนื่องจากการขนส่งขยะด้วยรถบรรทุกที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง โดยรายการผลกระทบที่ลดลงได้มากคือการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ การก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด และการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล เนื่องจากช่วยทดแทนการใช้ทรัพยากรในการผลิตเม็ดพลาสติกขึ้นมาใหม่

การจัดการหลังการใช้งานของขวด PET ด้วยการเผาในเตาเผา มีรายการผลกระทบที่สำคัญคือการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน เนื่องจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในระหว่างการเผาไหม้ ส่วนผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล เนื่องจากการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนฟลูออไรด์ แบริยม และไอออนของทองแดง ในระหว่างการเผาไหม้และจากการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ในหลุมฝังกลบ และผลกระทบด้านการก่อให้เกิด

ภาวะความเป็นกรด เนื่องจากการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในระหว่างการเผาไหม้

การจัดการหลังการใช้งานของขวด PET ด้วยการฝังกลบ มีรายการผลกระทบที่สำคัญคือการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน เนื่องจากการปล่อยก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ จากการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ ส่วนผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล เนื่องจากการปล่อยสารแบเรียม และไฮโดรเจนฟลูออไรด์ ไปกับน้ำชะมูลฝอยในหลุมฝังกลบปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน และผลกระทบด้านการเกิดมลพิษชั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมี เนื่องจากการปล่อยก๊าซมีเทน จากการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ

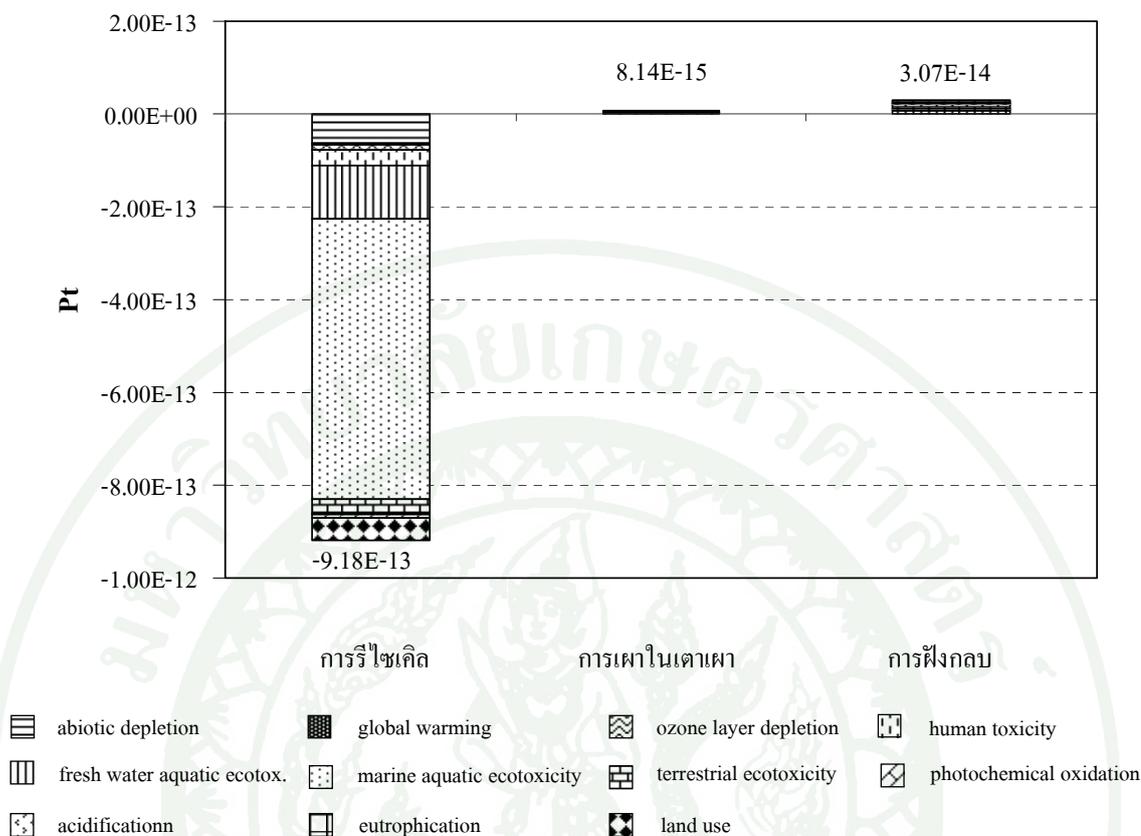
จากภาพที่ 25 เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของขวด PET โดยวิธีการต่างๆ พบว่าการรีไซเคิล เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการกำจัดบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET เนื่องจากมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด แม้ว่าวิธีการฝังกลบและการเผาในเตาเผาจะมีต้นทุนในการดำเนินการต่ำกว่า จึงควรมีการพัฒนาเทคโนโลยีในการรีไซเคิลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานและมลสารที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

### 2.2.2 กล่องเครื่องดื่ม

การจัดการหลังการใช้งานของกล่องเครื่องดื่ม ในประเทศไทยมี 3 วิธี ได้แก่ การรีไซเคิล การเผาในเตาเผา และการฝังกลบ โดยใช้ข้อมูลบัญชีรายการจากฐานข้อมูลของโปรแกรมไซมาโปร 7.1 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของกล่องเครื่องดื่ม โดยวิธีการต่างๆ มีปริมาณในแต่ละรายการผลกระทบดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของกล่องเครื่องดื่ม  
โดยวิธีการต่างๆ

รายการผลกระทบ สิ่งแวดล้อม	หน่วย	การรีไซเคิล	การเผาในเตาเผา	การฝังกลบ
Abiotic depletion	kg Sb eq.	-9.64E-03	1.09E-04	1.09E-04
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq.	-2.17E-01	1.72E-02	1.68E-02
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	-5.20E-06	8.32E-09	1.24E-08
Human toxicity	kg 1,4-DB eq.	-1.95	2.48E-02	3.71E-03
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq.	-2.31E-01	3.21E-04	1.06E-02
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	-310.58	6.93E-01	2.59
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	-8.26E-03	7.66E-04	3.36E-03
Photochemical oxidation	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	-2.57E-04	1.40E-05	4.55E-05
Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq.	-1.72E-03	4.87E-04	1.20E-03
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.	-3.40E-04	7.40E-05	3.46E-04
Land use	m <sup>2</sup> ×yr	-5.75	5.02E-09	5.45E-09



ภาพที่ 26 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของกล่องเครื่องดื่ม โดยวิธีการต่างๆ

การจัดการหลังการใช้งานของกล่องเครื่องดื่มด้วยการรีไซเคิล ช่วยลดผลกระทบในทุกด้าน โดยรายการผลกระทบที่ลดลงได้มากที่สุดคือการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด และการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ เนื่องจากช่วยทดแทนการใช้ทรัพยากรเพื่อนำไปผลิตกระดาษ อลูมิเนียมฟอยล์ และพลาสติก

การจัดการหลังการใช้งานของกล่องเครื่องดื่มด้วยการเผาในเตาเผา มีรายการผลกระทบที่สำคัญคือการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทางบก เนื่องจากการปล่อยสารปรอท และโลหะไม่ระบุชนิด ในระหว่างการเผาไหม้และจากการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ในหลุมฝังกลบ ส่วนผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด เนื่องจากการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ออกไซด์ ในระหว่างการเผาไหม้ และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล เนื่องจากการปล่อยสารแบเรียม

และโลหะไม่ระบุชนิด ในระหว่างการเผาไหม้และจากการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ในหลุมฝังกลบ

การจัดการหลังการใช้งานของกล่องเครื่องดื่มด้วยการฝังกลบ มีรายการผลกระทบที่สำคัญคือการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทางบก เนื่องจากการปล่อยสารปรอท ส่วนผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด เนื่องจากการปล่อยไอออนของทองแดงและสังกะสี และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล เนื่องจากการปล่อยไอออนของทองแดง และแบเรียม ไปกับน้ำชะมูลฝอยในหลุมฝังกลบ ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน

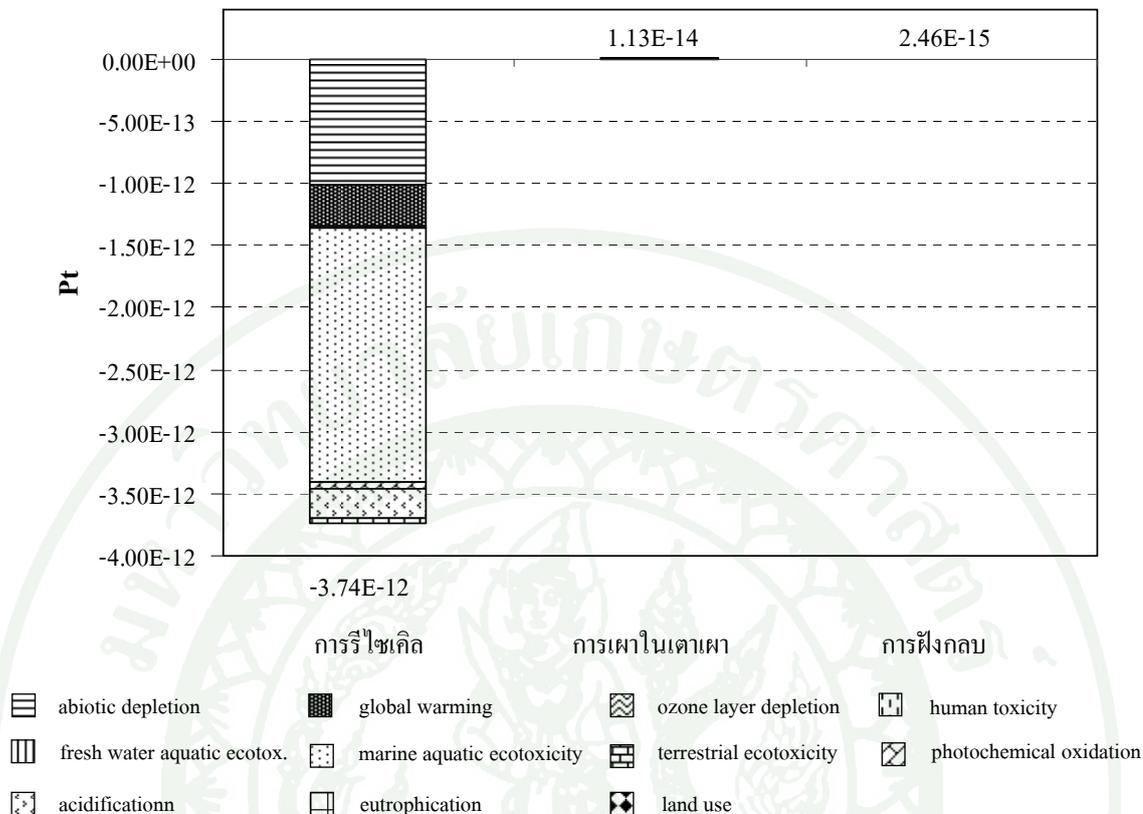
จากภาพที่ 26 เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของกล่องเครื่องดื่ม โดยวิธีการต่างๆ พบว่าการรีไซเคิลเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการกำจัดบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่ม เนื่องจากมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งการรีไซเคิลช่วยลดการใช้วัตถุดิบและพลังงานในการผลิตกล่องเครื่องดื่มขึ้นมาใหม่ จึงนับเป็นการช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ทางหนึ่ง

### 2.2.3 กระจ่บองอูมเนียม

การจัดการหลังการใช้งานของกระจ่บองอูมเนียม ในประเทศไทยมี 3 วิธี ได้แก่ การรีไซเคิล การเผาในเตาเผา และการฝังกลบ โดยใช้ข้อมูลบัญชีรายการจากฐานข้อมูลของโปรแกรมไซมาโปร 7.1 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของกระจ่บองอูมเนียม โดยวิธีการต่างๆ มีปริมาณในแต่ละรายการผลกระทบดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของกระป๋อง  
อลูมิเนียมโดยวิธีการต่างๆ

รายการผลกระทบ สิ่งแวดล้อม	หน่วย	การรีไซเคิล	การเผาในเตาเผา	การฝังกลบ
Abiotic depletion	kg Sb eq.	-1.59E-01	3.56E-04	8.20E-05
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq.	-13.63	5.45E-02	1.30E-02
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	8.31E-08	4.10E-08	1.10E-08
Human toxicity	kg 1,4-DB eq.	-3.53E-01	2.91E-02	1.71E-03
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq.	-1.11E-02	8.49E-04	1.97E-04
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	-1,050.66	1.91	4.56E-01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	-1.20E-03	3.99E-05	5.15E-06
Photochemical oxidation	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	-4.81E-03	1.36E-05	2.83E-06
Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq.	-7.43E-02	5.68E-04	1.13E-04
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.	-6.24E-03	1.21E-04	2.37E-05
Land use	m <sup>2</sup> ×yr	2.81E-09	1.52E-09	1.64E-09



ภาพที่ 27 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของกระป๋องอลูมิเนียมโดยวิธีการต่างๆ

การจัดการหลังการใช้งานของกระป๋องอลูมิเนียมด้วยการรีไซเคิล ช่วยลดผลกระทบเกือบทุกด้านยกเว้นการใช้พื้นที่ดิน เนื่องจากการขนส่งขยะด้วยรถบรรทุกที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง โดยรายการผลกระทบที่ลดลงได้มากที่สุดคือการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ และการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน เนื่องจากช่วยทดแทนการใช้อลูมิเนียมอินกอต

การจัดการหลังการใช้งานของกระป๋องอลูมิเนียมด้วยการเผาในเตาเผา มีรายการผลกระทบที่สำคัญคือการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล เนื่องจากการปล่อยสารแบเรียม ในระหว่างการเผาไหม้และจากการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ในหลุมฝังกลบ ส่วนผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ เนื่องจากการใช้น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะ

ความเป็นกรด เนื่องจากการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ออกไซด์ ในระหว่างการเผาไหม้

การจัดการหลังการใช้งานของกระป๋องอลูมิเนียมด้วยการฝังกลบ มีรายการผลกระทบที่สำคัญคือการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล เนื่องจากการปล่อยสารแบเรียม ไปกับน้ำชะมูลฝอยในหลุมฝังกลบ ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ส่วนผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ เนื่องจากการใช้น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด เนื่องจากการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ออกไซด์ จากการใช้พลังงานในกระบวนการฝังกลบ

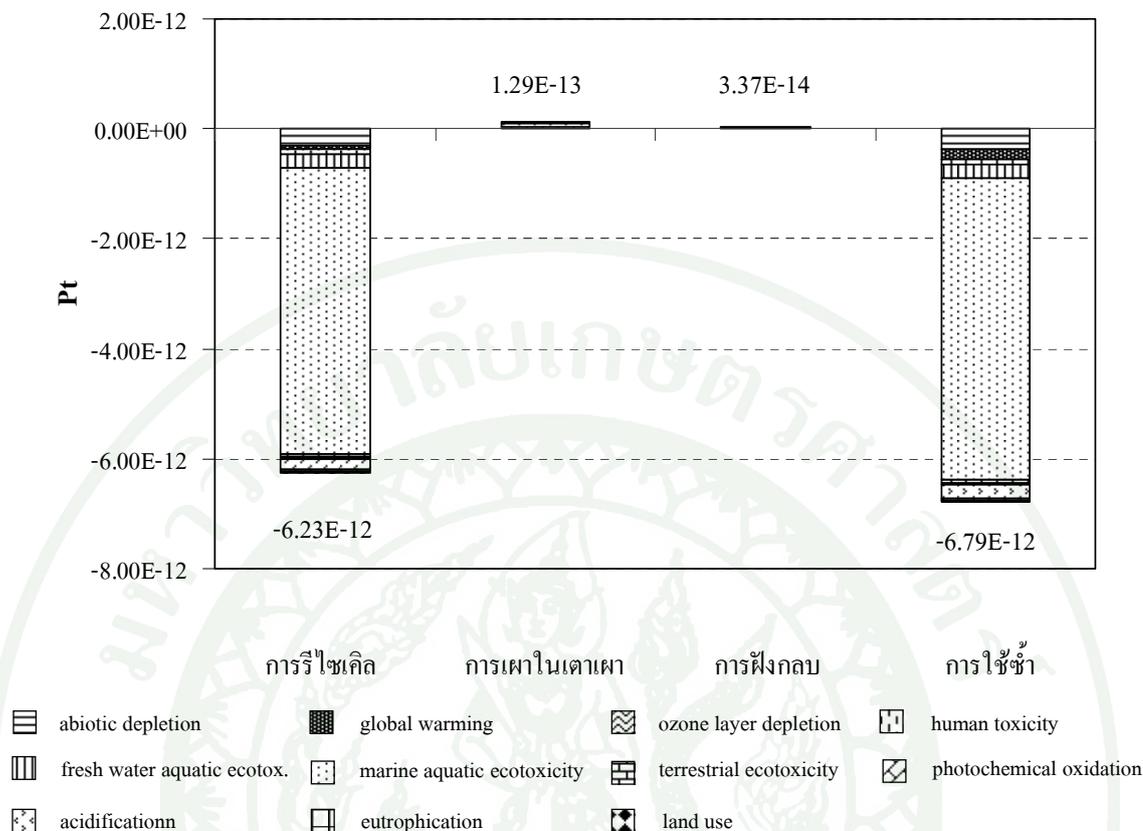
จากภาพที่ 27 เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของกระป๋องอลูมิเนียม โดยวิธีการต่างๆ พบว่าการรีไซเคิล เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการกำจัดบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องอลูมิเนียม เนื่องจากมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยการรีไซเคิลจะช่วยทดแทนการใช้อลูมิเนียมอินกอต ลดการใช้วัตถุดิบและพลังงาน ซึ่งนับเป็นการช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างดี

#### 2.2.4 ขวดแก้วใส

การจัดการหลังการใช้งานของขวดแก้วใส ในประเทศไทยมี 4 วิธี ได้แก่ การรีไซเคิล การเผาในเตาเผา การฝังกลบ และการใช้ซ้ำ โดยใช้ข้อมูลบัญชีรายการจากฐานข้อมูลของโปรแกรมไซมาโปร 7.1 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของขวดแก้วใส โดยวิธีการต่างๆ มีปริมาณในแต่ละรายการผลกระทบดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของขวดแก้วใส  
โดยวิธีการต่างๆ

รายการผลกระทบ สิ่งแวดล้อม	หน่วย	การรีไซเคิล	การเผาใน เตาเผา	การฝังกลบ	การใช้ซ้ำ
Abiotic depletion	kg Sb eq.	-4.55E-02	4.05E-03	1.13E-03	-5.85E-02
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq.	-3.04	6.14E-01	1.79E-01	-7.02
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	4.96E-06	4.52E-07	1.51E-07	-7.65E-07
Human toxicity	kg 1,4-DB	-5.88	3.82E-01	2.35E-02	-6.38
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq.	-4.82E-01	9.37E-03	2.70E-03	-5.21E-01
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	-2,672.32	21.58	6.27	-2,800.00
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	-1.56E-02	5.11E-04	7.08E-05	-2.24E-02
Photochemical oxidation	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	-2.84E-03	1.57E-04	3.89E-05	-2.98E-03
Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq.	-6.33E-02	6.41E-03	1.55E-03	-7.77E-02
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.	-2.37E-03	1.35E-03	3.26E-04	-5.02E-03
Land use	m <sup>2</sup> ×yr	-3.25	3.06E-07	3.31E-07	-3.01



ภาพที่ 28 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของขวดแก้วใสโดยวิธีการต่างๆ

การจัดการหลังการใช้งานของขวดแก้วใสด้วยการรีไซเคิล ช่วยลดผลกระทบเกือบทุกด้านยกเว้นการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยรายการผลกระทบที่ลดลงได้มากที่สุดคือการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ และการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด เนื่องจากช่วยทดแทนการใช้วัตถุดิบและพลังงานในการผลิตขวดแก้วขึ้นใหม่

การจัดการหลังการใช้งานของขวดแก้วใสด้วยการเผาในเตาเผา มีรายการผลกระทบที่สำคัญคือการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล เนื่องจากการปล่อยสารแบเรียม ในระหว่างการเผาไหม้และจากการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ในหลุมฝังกลบ ส่วนผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ เนื่องจากการใช้น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะ

ความเป็นกรด เนื่องจากการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ออกไซด์ ในระหว่างการเผาไหม้

การจัดการหลังการใช้งานของขวดแก้วใสด้วยการฝังกลบ มีรายการผลกระทบที่สำคัญคือการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล เนื่องจากการปล่อยสารแบเรียม ไปกับน้ำชะมูลฝอยในหลุมฝังกลบ ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ส่วนผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ เนื่องจากการใช้น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด เนื่องจากการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ออกไซด์ จากการใช้พลังงานในกระบวนการฝังกลบ

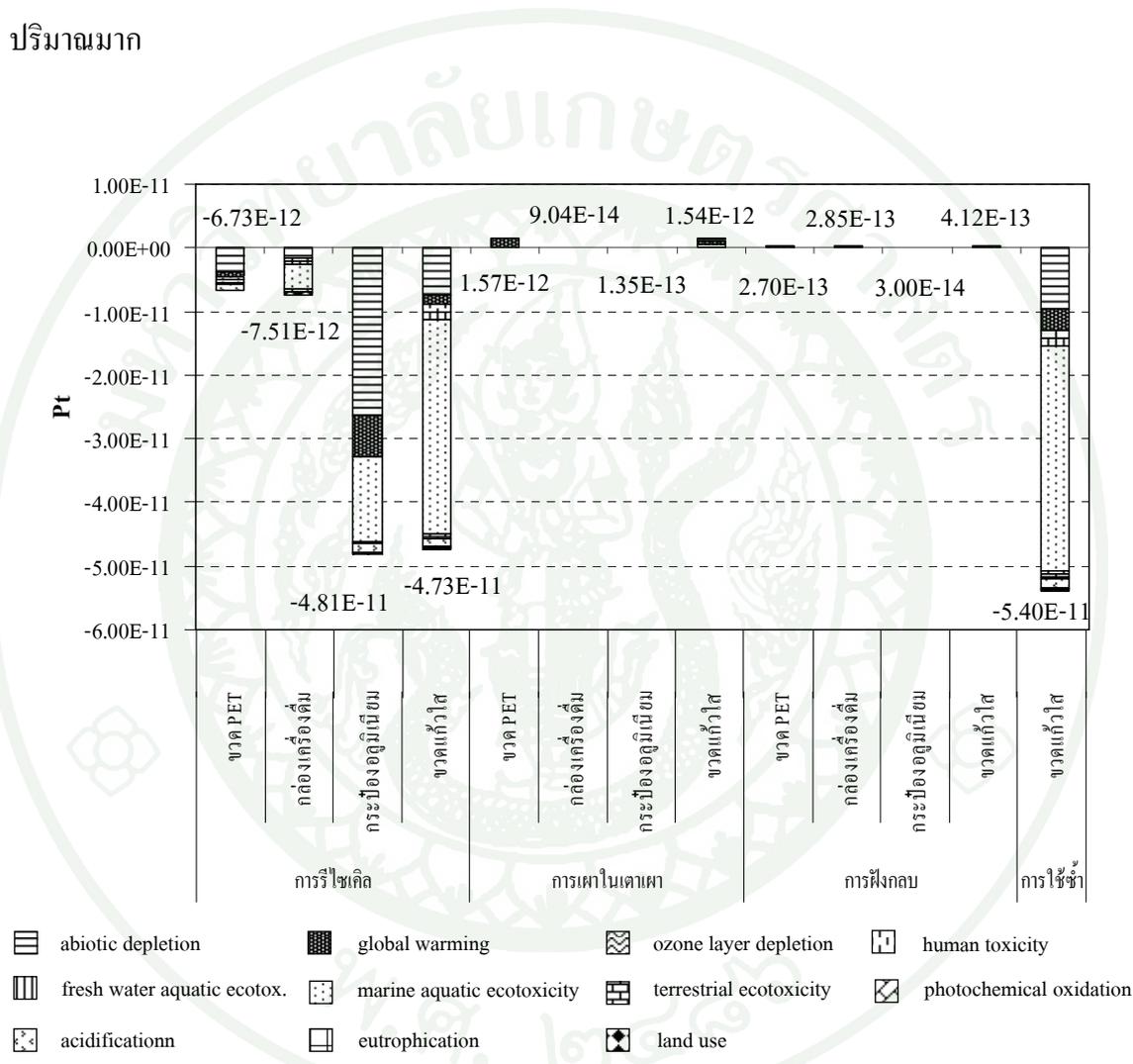
การจัดการหลังการใช้งานของขวดแก้วใสด้วยการใช้ซ้ำ ช่วยลดผลกระทบในทุกด้าน โดยรายการผลกระทบที่ลดลงได้มากคือการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ และการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด เนื่องจากช่วยทดแทนการใช้วัตถุดิบและพลังงานในการผลิตขวดแก้วขึ้นใหม่

จากภาพที่ 28 เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของขวดแก้วใส โดยวิธีการต่างๆ พบว่าการใช้ซ้ำเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการจัดการบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส เนื่องจากมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยการใช้ซ้ำจะช่วยประหยัดการใช้วัตถุดิบและพลังงานได้มากกว่าการรีไซเคิล อีกทั้งยังช่วยลดมลสารที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้มากกว่า

2.2.5 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ

ข้อมูลปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละรายการ ในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ สามารถสร้างแผนภาพเพื่อเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ดังภาพที่ 29 พบว่าการจัดการหลังการใช้งานของขวดแก้วใสด้วยการใช้ซ้ำมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยช่วยลดผลกระทบในทุกด้าน ได้แก่ การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล การก่อให้เกิดความเป็นพิษ

ต่อระบบนิเวศทางบก การเกิดมลพิษชั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมี การก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด ภาวะขาดอาหารในน้ำเกินสมดุล และการใช้พื้นที่ดิน รองลงมาคือการจัดการหลังการใช้งานของกระป๋องอะลูมิเนียมและขวดแก้วใส ด้วยการรีไซเคิล ส่วนจัดการหลังการใช้งานของขวด PET ด้วยการเผาในเตาเผามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด เนื่องจากพลาสติกประกอบด้วยร้อยละของคาร์บอนจำนวนมาก เมื่อกำจัดด้วยการเผาจึงมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณมาก



ภาพที่ 29 การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้แต่ละประเภทโดยวิธีการต่างๆ

### 2.3 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ

หลังจากพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทแยกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่าย เพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอน และระบุขั้นตอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งาน เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการกำจัดบรรจุภัณฑ์ด้วยวิธีการต่างๆ พบว่าบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่ม มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายน้อยที่สุด แต่ในขณะเดียวกันการจัดการหลังการใช้งานของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใสด้วยการใช้ซ้ำ มีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด การพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตจึงช่วยชี้ชัดได้ว่าบรรจุภัณฑ์ประเภทใดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ แสดงดังตารางที่ 16 และการจำแนกข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET กล่องเครื่องดื่ม กระป๋องอลูมิเนียม ขวดแก้วใส แสดงดังภาพที่ 30-33 ตามลำดับ พบว่าการจัดการบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทด้วยการรีไซเคิล รวมทั้งการจัดการขวดแก้วใสด้วยการใช้ซ้ำ ช่วยลดปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่ายลงได้

ตารางที่ 16 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ

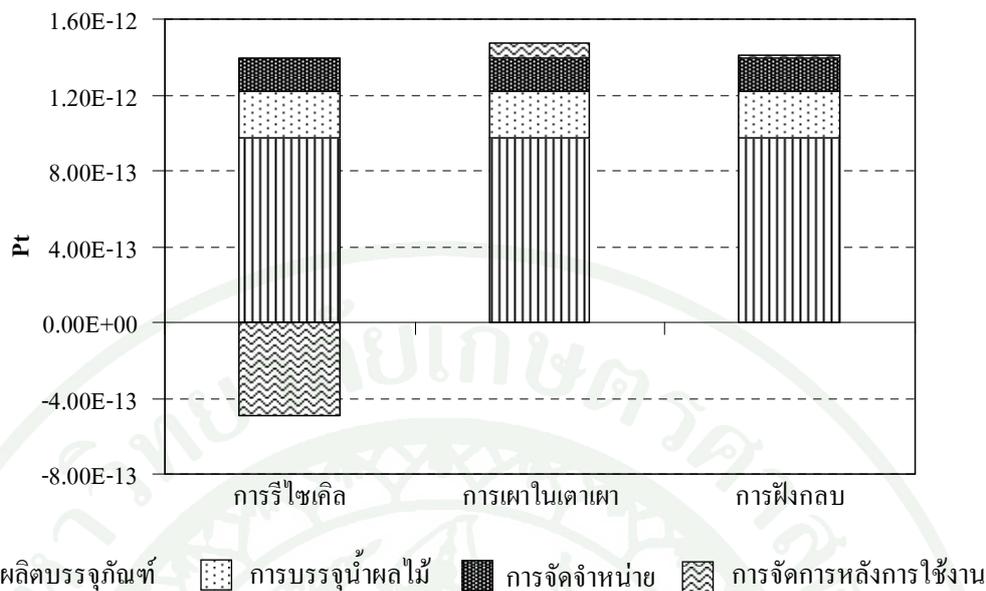
รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม	หน่วย	การรีไซเคิล			
		ขวด PET	กล่องเครื่องดื่ม	กระป๋องอลูมิเนียม	ขวดแก้วใส
Abiotic depletion	kg Sb eq.	8.11E-02	3.98E-02	3.31E-02	8.42E-02
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq.	6.34	3.41	2.93	10.51
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	1.01E-07	2.79E-07	1.83E-07	6.25E-06
Human toxicity	kg 1,4-DB eq.	3.81E-01	1.69E-01	1.52E-01	1.38
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq.	2.44E-02	2.87E-02	2.66E-02	1.54E-01
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	53.65	62.08	62.47	501.20
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	1.75E-03	1.77E-03	1.83E-03	1.27E-02
Photochemical oxidation	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	5.99E-04	3.24E-04	2.57E-04	8.61E-04
Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq.	2.21E-02	1.33E-02	1.02E-02	4.08E-02
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.	3.16E-03	2.28E-03	1.64E-03	7.10E-03
Land use	m <sup>2</sup> ×yr	4.99E-03	4.84E-03	4.84E-03	7.80E-03

ตารางที่ 16 (ต่อ)

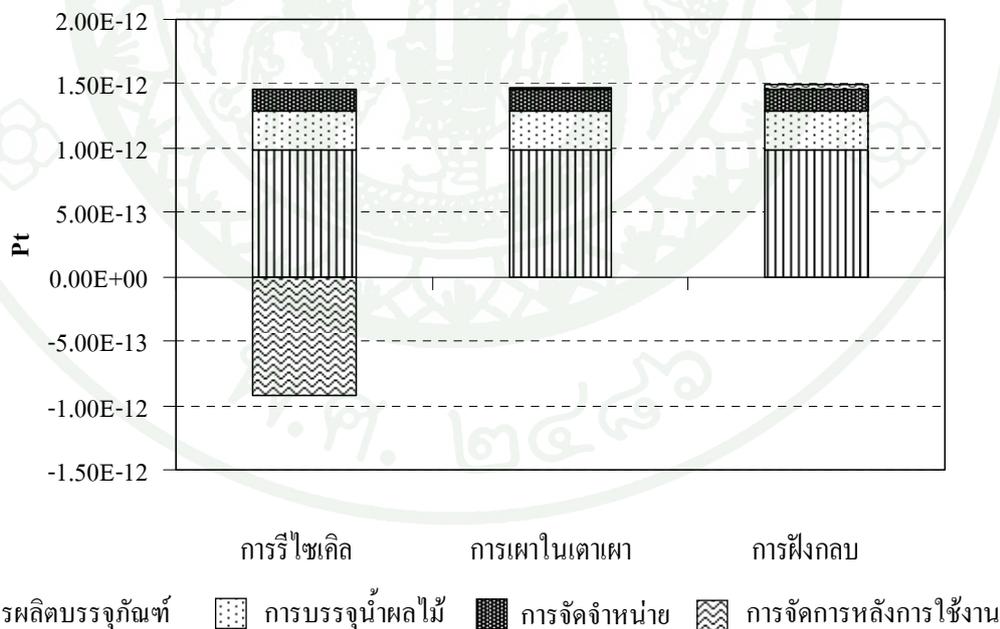
รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม	หน่วย	การเผาในเตาเผา			
		ขวด PET	กล่องเครื่องดื่ม	กระป๋องอลูมิเนียม	ขวดแก้วใส
Abiotic depletion	kg Sb eq.	1.04E-01	4.95E-02	1.92E-01	1.34E-01
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq.	11.19	3.65	16.61	14.17
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	1.17E-07	5.49E-06	1.41E-07	1.74E-06
Human toxicity	kg 1,4-DB eq.	2.64	2.14	5.34E-01	7.64
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq.	3.28E-02	2.60E-01	3.85E-02	6.45E-01
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	94.10	373.35	1,115.03	3,195.10
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	4.71E-03	1.08E-02	3.07E-03	2.89E-02
Photochemical oxidation	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	3.19E-03	5.95E-04	5.08E-03	3.86E-03
Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq.	6.80E-02	1.55E-02	8.51E-02	1.11E-01
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.	4.34E-03	2.70E-03	8.00E-03	1.08E-02
Land use	m <sup>2</sup> ×yr	4.99E-03	5.76	4.84E-03	3.26

ตารางที่ 16 (ต่อ)

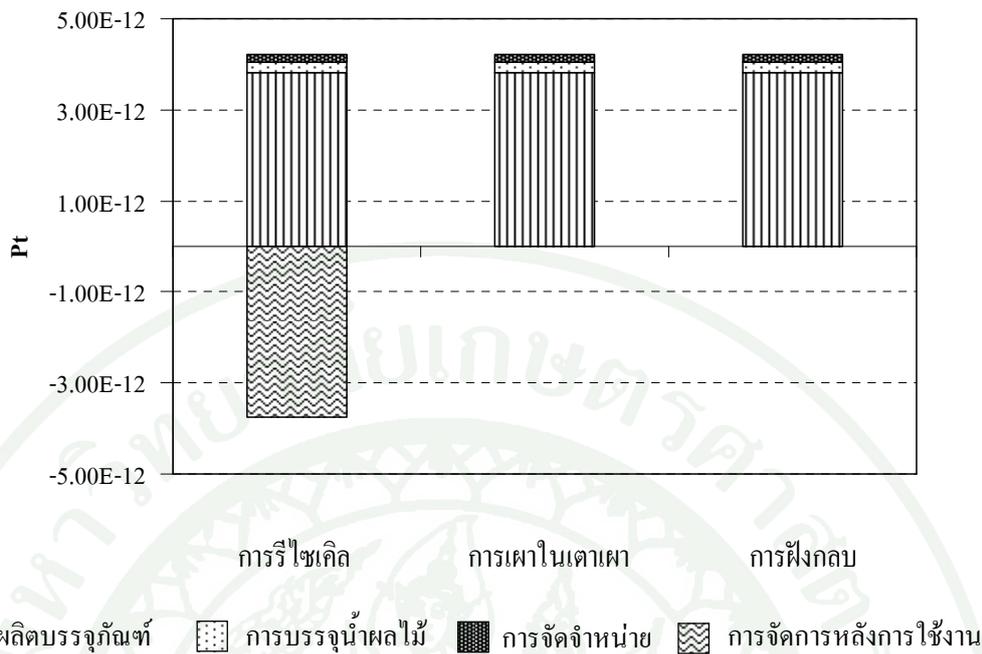
รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม	หน่วย	การฝังกลบ			การใช้ซ้ำ	
		ขวด PET	กล่องเครื่องดื่ม	กระป๋องอลูมิเนียม	ขวดแก้วใส	ขวดแก้วใส
Abiotic depletion	kg Sb eq.	1.04E-01	4.95E-02	1.92E-01	1.31E-01	7.12E-02
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq.	8.58	3.65	16.57	13.73	6.53
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	1.22E-07	5.49E-06	1.11E-07	1.44E-06	5.18E-07
Human toxicity	kg 1,4-DB eq.	2.60	2.12	5.06E-01	7.28	8.73E-01
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq.	3.17E-02	2.71E-01	3.79E-02	6.38E-01	1.15E-01
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	92.96	375.25	1,113.59	3,179.79	373.51
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	4.63E-03	1.34E-02	3.03E-03	2.84E-02	5.91E-03
Photochemical oxidation	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	3.27E-03	6.27E-04	5.07E-03	3.74E-03	7.16E-04
Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq.	6.75E-02	1.62E-02	8.46E-02	1.06E-01	2.64E-02
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.	4.27E-03	2.97E-03	7.90E-03	9.79E-03	4.44E-03
Land use	m <sup>2</sup> ×yr	4.99E-03	5.76	4.84E-03	3.26	2.42E-01



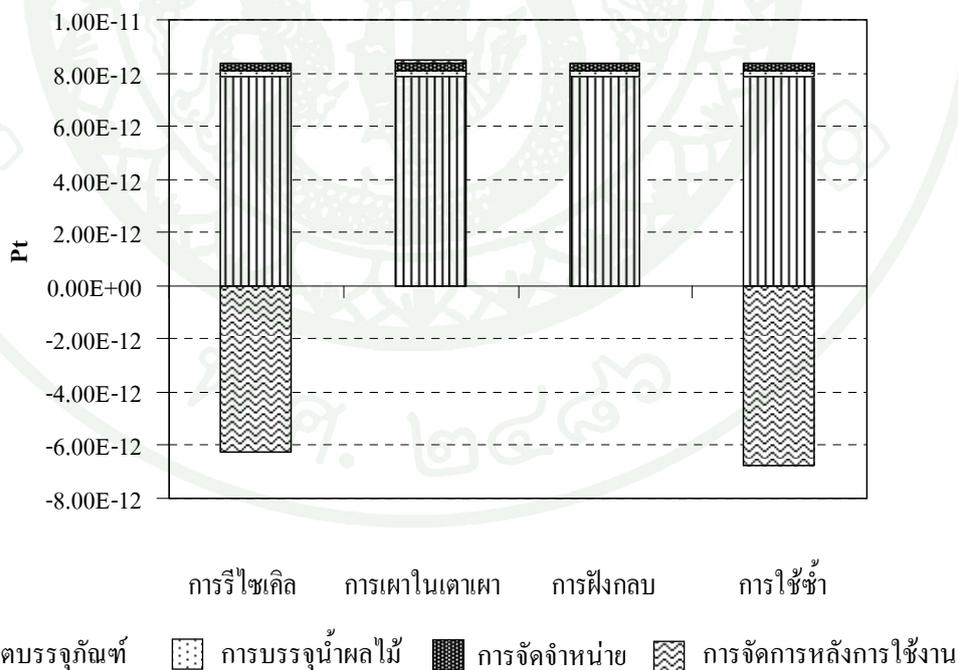
ภาพที่ 30 การจำแนกข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET



ภาพที่ 31 การจำแนกข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่ม

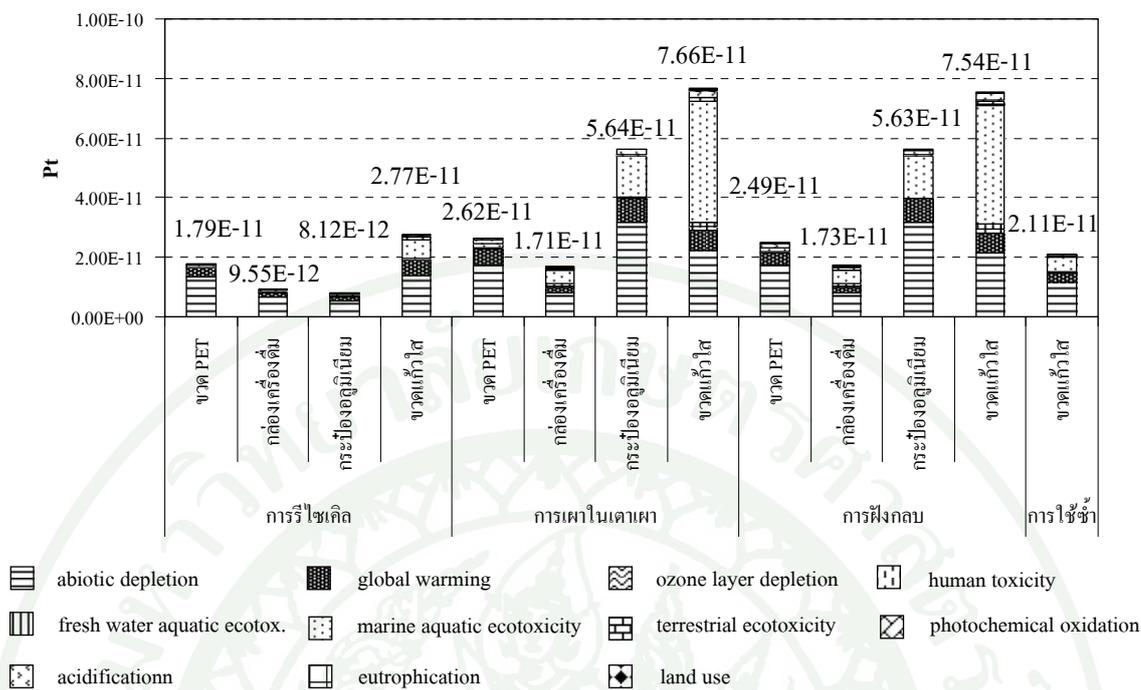


ภาพที่ 32 การจำแนกข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องอูมิเนียม



ภาพที่ 33 การจำแนกข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส

การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ แสดงดังภาพที่ 34 พบว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส่ที่จัดการหลังการใช้งานด้วยวิธีการเผาในเตาเผามีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ลำดับต่อมาคือการฝังกลบ บรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องอลูมิเนียมที่จัดการหลังการใช้งานด้วยการเผาในเตาเผา และการฝังกลบ บรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส่ที่จัดการหลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิล บรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET ที่จัดการหลังการใช้งานด้วยการเผาในเตาเผา การฝังกลบ บรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส่ที่จัดการหลังการใช้งานด้วยการใช้ซ้ำ บรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET ที่จัดการหลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิล บรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่มที่จัดการหลังการใช้งานด้วยการฝังกลบ การเผาในเตาเผา และการรีไซเคิล และบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องอลูมิเนียมที่จัดการหลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิลมีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เนื่องจากช่วยลดผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ปริมาณมาก โดยค่าตัวประกอบความสำคัญของผลกระทบด้านนี้มีค่ามาก ส่วนการจัดการด้วยการฝังกลบและการเผาในเตาเผา กล่องเครื่องดื่มมีค่าผลกระทบน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากกล่องเครื่องดื่มมีคะแนนเชิงเดี่ยวที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การจัดจำหน่าย และการจัดการหลังการใช้งานน้อยที่สุด เมื่อรวมกับคะแนนเชิงเดี่ยวจากการฝังกลบและการเผาในเตาเผาที่มีค่าค่อนข้างน้อย ทำให้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวตลอดวัฏจักรชีวิตที่ได้มีค่าน้อยที่สุด ทั้งนี้ควรรหาแนวทางในการลดค่าผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมกับสถานการณ์ของไทย ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป



ภาพที่ 34 การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทต่างๆ

#### 2.4 การเปรียบเทียบร้อยละการจัดการหลังการใช้งาน

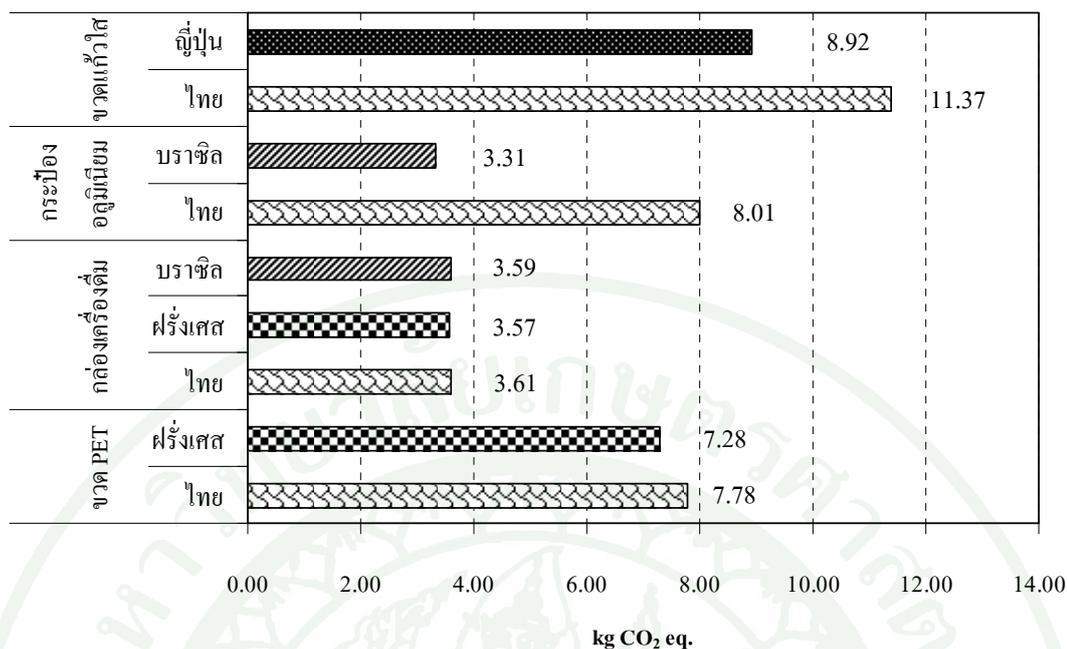
การเปรียบเทียบร้อยละการจัดการหลังการใช้งานของประเทศไทยกับต่างประเทศ มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์แนวทางในการจัดการหลังการใช้งานของบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ และประโยชน์ที่ได้จากการเพิ่มร้อยละการรีไซเคิล ในเชิงปริมาณของค่าผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนและคะแนนเชิงเดี่ยวตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากผลการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า การรีไซเคิลบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET กล่องเครื่องดื่ม และกระป๋องอลูมิเนียม มีคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตน้อยที่สุด ส่วนการใช้ซ้ำบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส มีคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตน้อยที่สุด โดยประเทศที่เลือกนำร้อยละการรีไซเคิลมาพิจารณาเปรียบเทียบ ได้แก่ ฝรั่งเศส (Bio Intelligence Service, 2007) และบราซิลจากงานวิจัยของ Gatti *et al.* (2008) และ Mourad *et al.* (2007) และประเทศที่เลือกนำร้อยละการใช้ซ้ำมาพิจารณาเปรียบเทียบคือญี่ปุ่น (Japan for sustainability, 2008) โดยตั้งสมมติฐานให้ร้อยละการเผาในเตาเผา มีค่าเท่าเดิม ตารางที่ 17 แสดงร้อยละการจัดการหลังการใช้งานของบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ

ตารางที่ 17 ร้อยละการจัดการหลังการใช้งานของบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ ในประเทศไทยและต่างประเทศ

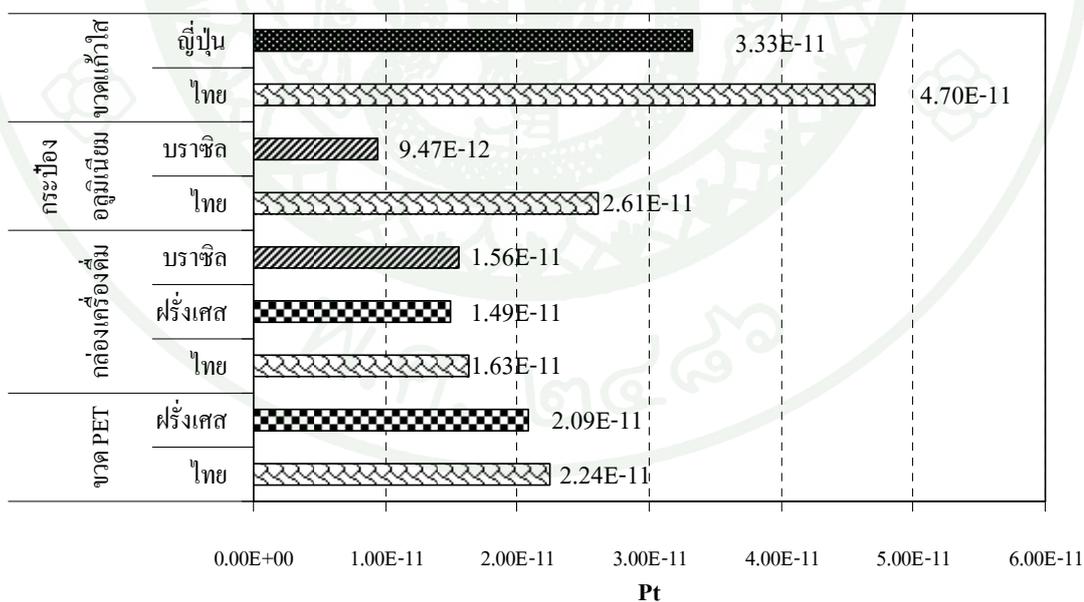
ประเทศ	ประเภทของบรรจุภัณฑ์	การรีไซเคิล	การเผาในเตาเผา	การฝังกลบ	การใช้ซ้ำ
ไทย	ขวด PET	25.07	1.70E-03	74.93	-
	กล่องเครื่องดื่ม	13.48	7.97E-03	86.51	-
	กระป๋องอลูมิเนียม	52.98	6.90E-03	47.01	-
	ขวดแก้วใส	44.03	1.02E-02	43.94	12.02
ฝรั่งเศส	ขวด PET	51.00	1.70E-03	48.99	-
	กล่องเครื่องดื่ม	31.00	7.97E-03	68.99	-
บราซิล	กล่องเครื่องดื่ม	22.00	7.97E-03	77.99	-
	กระป๋องอลูมิเนียม	96.50	6.90E-03	3.49	-
ญี่ปุ่น	ขวดแก้วใส	20.02	1.02E-02	19.97	60.00

หมายเหตุ การใช้ซ้ำของขวดแก้วใส ในระหว่างการล้างจะมีการแตกของขวดแก้วร้อยละ 7

ค่าผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทจากประเทศฝรั่งเศส บราซิล และญี่ปุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศไทยมีค่าลดลงดังแสดงในภาพที่ 35 โดยเมื่อเพิ่มร้อยละการรีไซเคิลหรือการใช้ซ้ำ พบว่าบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องอลูมิเนียมมีค่าผลกระทบลดลงมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 58.68 รองลงมาคือบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส ขวด PET และกล่องเครื่องดื่ม ซึ่งบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่มมีร้อยละการลดลงของผลกระทบด้านนี้ค่อนข้างน้อย ส่วนคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทจากประเทศฝรั่งเศส บราซิล และญี่ปุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศไทย แสดงดังภาพที่ 36 พบว่าพบว่าบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องอลูมิเนียมมีคะแนนเชิงเดี่ยวลดลงมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 63.65 รองลงมาคือบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส กล่องเครื่องดื่ม และขวด PET โดยการนำเปอร์เซ็นต์การรีไซเคิลของประเทศฝรั่งเศสมาใช้จัดการกล่องเครื่องดื่มจะช่วยลดคะแนนเชิงเดี่ยวได้มากกว่าขวด PET



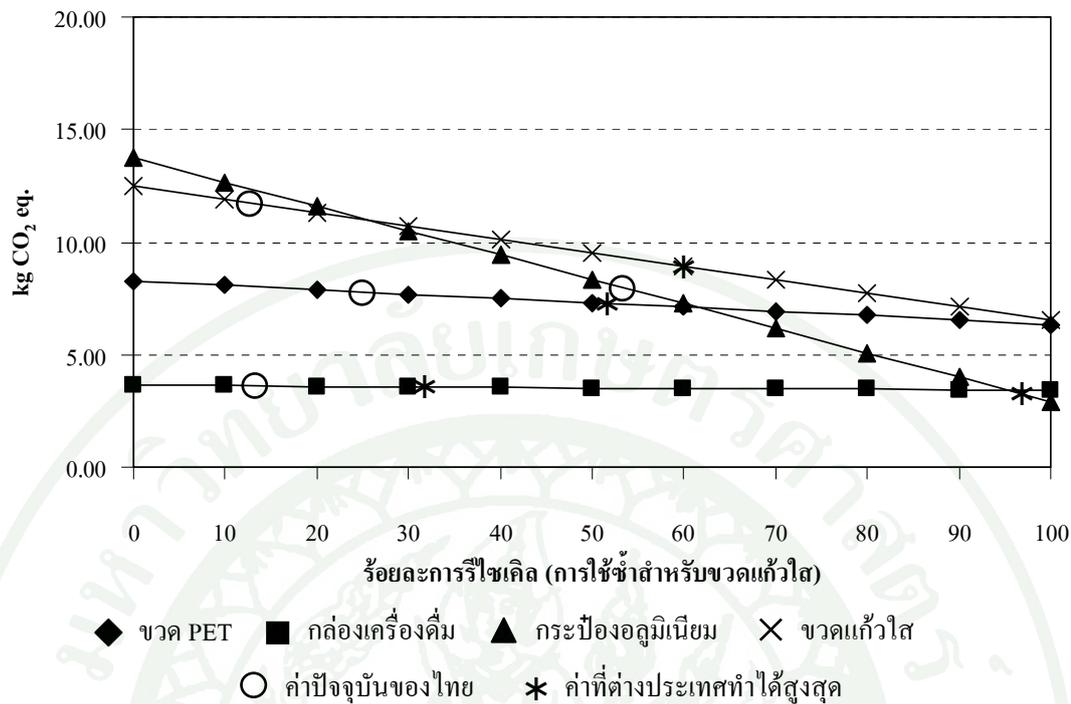
ภาพที่ 35 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตระหว่างบรรจุภัณฑ์ประเทศไทยกับต่างประเทศ เมื่อเปลี่ยนแปลงร้อยละการจัดการหลังการใช้งาน



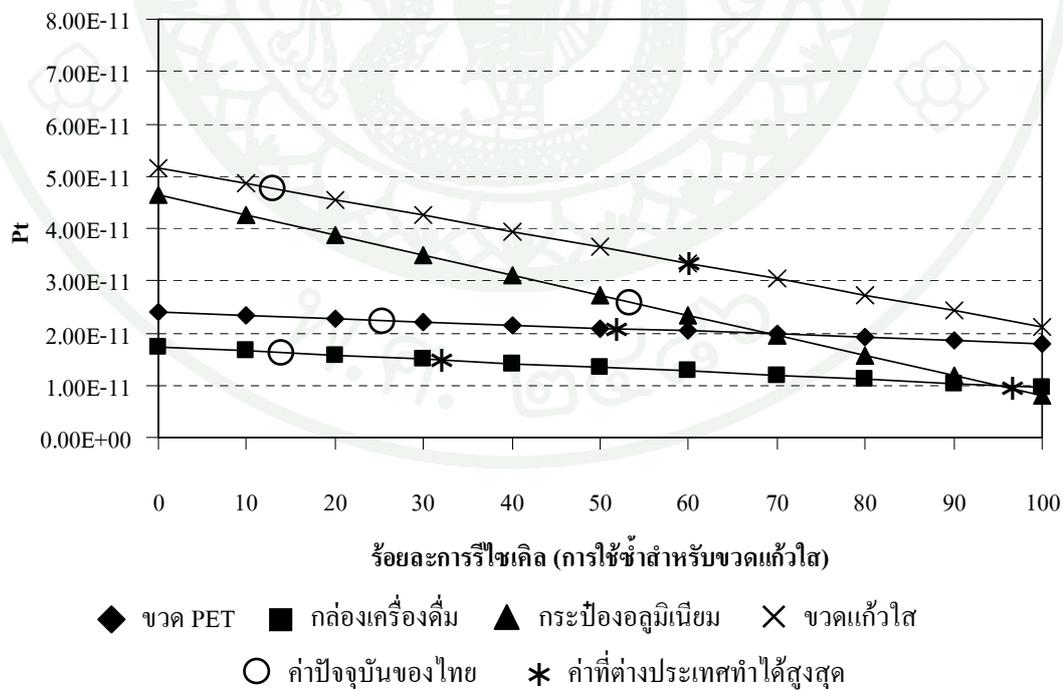
ภาพที่ 36 การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตระหว่างบรรจุภัณฑ์ประเทศไทยกับต่างประเทศ เมื่อเปลี่ยนแปลงร้อยละการจัดการหลังการใช้งาน

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงร้อยละการรีไซเคิลหรือการใช้ซ้ำ เพื่อศึกษาผลที่มีต่อผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตดังแสดงในภาพที่ 37 พบว่าระหว่างการรีไซเคิลตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 100 กระป๋องอลูมิเนียม และขวดแก้วใส จะลดค่าผลกระทบได้ 10.82 และ 5.98 กิโลกรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่า ตามลำดับ ส่วนขวด PET และกล่องเครื่องดื่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าค่อนข้างน้อย โดยเมื่อร้อยละการรีไซเคิลของกระป๋องอลูมิเนียมเพิ่มขึ้นเป็น 25 60 และ 95 จะทำให้ผลกระทบนี้มีค่าเท่ากับขวดแก้วใส ขวด PET และกล่องเครื่องดื่มตามลำดับ ซึ่งบริเวณที่วงกลมคือร้อยละการรีไซเคิลหรือการใช้ซ้ำในปัจจุบันของไทย และบริเวณที่ดอกจันร้อยละการรีไซเคิลหรือการใช้ซ้ำของต่างประเทศที่ทำได้ดีที่สุด ส่วนผลที่มีต่อคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต แสดงดังภาพที่ 38 พบว่าระหว่างการรีไซเคิลตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 100 กระป๋องอลูมิเนียม และขวดแก้วใส จะลดค่าผลกระทบได้ 3.82E-11 และ 3.05E-11 Pt ตามลำดับ โดยเมื่อร้อยละการรีไซเคิลของกระป๋องอลูมิเนียมเพิ่มขึ้นเป็น 70 และ 95 จะทำให้คะแนนเชิงเดี่ยวนี้มีค่าเท่ากับขวด PET และกล่องเครื่องดื่มตามลำดับ

หากสนับสนุนให้มีการนำกระป๋องอลูมิเนียมกลับมารีไซเคิลมากขึ้น โดยกำหนดเป้าหมายจากเดิมร้อยละ 52.98 เป็น 96.50 ตามสัดส่วนการรีไซเคิลของประเทศบราซิล ซึ่งจากจำนวนขยะกระป๋องอลูมิเนียมภายในประเทศทั้งหมด 89,832.67 ตันต่อปี จะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม 457.4 ล้านกิโลกรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่าต่อปี หรือเทียบได้กับการไม่ใช้รถยนต์ส่วนบุคคล 139,250 คันเป็นเวลาหนึ่งปี เช่นเดียวกับขวดแก้วใส หากมีการสนับสนุนให้นำไปใช้ซ้ำมากขึ้น โดยกำหนดเป้าหมายจากเดิมร้อยละ 12.02 เป็น 60.00 ตามสัดส่วนการใช้ซ้ำของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งจากจำนวนขยะประเภทขวดแก้วใสภายในประเทศทั้งหมด 160,795.13 ตันต่อปี จะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม 31.1 ล้านกิโลกรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่าต่อปี หรือเทียบได้กับการไม่ใช้รถยนต์ส่วนบุคคล 9,458 คันเป็นเวลาหนึ่งปี (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2553)



ภาพที่ 37 ผลของการเปลี่ยนแปลงร้อยละการรีไซเคิลหรือการใช้ซ้ำ ที่มีต่อผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ



ภาพที่ 38 ผลของการเปลี่ยนแปลงร้อยละการรีไซเคิลหรือการใช้ซ้ำ ที่มีต่อคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ

## 2.5 การลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์

นอกจากการเปลี่ยนแปลงร้อยละการจัดการหลังการใช้งานแล้ว การลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์โดยที่บรรจุภัณฑ์นั้นยังคงคุณสมบัติในการบรรจุเครื่องดื่มได้เหมือนเดิม ย่อมจะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการใช้วัตถุดิบและพลังงานในการผลิตลงได้ ตลอดจนช่วยลดภาระด้านการขนส่งและการจัดการหลังการใช้งานลงอีกด้วย โดยจากข้อมูล FoodBevdotcom (2010) พบว่ามีการลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET ลงได้ร้อยละ 32.60 จากน้ำหนักเดิมเมื่อแปดปีก่อน ด้วยการปรับปรุงโครงสร้างของเม็ดพลาสติกให้มีความแข็งแรงมากขึ้น และจากข้อมูลของ กาญจนา (2553) ได้มีการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ขวดแก้วให้น้ำหนักเบาลงและแข็งแรงขึ้น โดยการใช้กระบวนการ narrow-neck press and blow (NNPB) ซึ่งสามารถลดน้ำหนักของขวดแก้วลงประมาณร้อยละ 20 โดยรูปทรงและขนาดของขวดมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และคงคุณภาพด้านความแข็งแรงของขวดไว้ได้ ส่วนบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องอลูมิเนียมในปัจจุบันมีน้ำหนักเบากว่า 25 ปีที่แล้วประมาณร้อยละ 30 ซึ่งน้ำหนักของกระป๋องอลูมิเนียมในงานวิจัยนี้มีค่าน้อยเพียงพอแล้ว (The Aluminium Can Group, 2006) เช่นเดียวกับบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่ม

จากข้อมูลข้างต้นจะได้น้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ที่ลดลง ซึ่งน้ำหนักของขวด PET จาก 24.87 ลดลงเป็น 16.76 กรัมต่อขวด และน้ำหนักของขวดแก้วใส จาก 176.11 ลดลงเป็น 140.89 กรัมต่อขวด ผลของการลดน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ต่อผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิต แสดงดังตารางที่ 18 พบว่าขวด PET และขวดแก้วใสสามารถลดค่าผลกระทบได้ร้อยละ 21.59 และ 17.06 ตามลำดับ ส่วนผลต่อคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต พบว่าขวด PET และขวดแก้วใสสามารถลดค่าผลกระทบได้ร้อยละ 21.73 และ 19.68 ตามลำดับ

จากจำนวนขยะประเภทขวด PET ภายในประเทศทั้งหมด 23,953.42 ตันต่อปี จะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม 27 ล้านกิโลกรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่าต่อปี หรือเทียบได้กับการไม่ใช้รถยนต์ส่วนบุคคล 8,222 คันเป็นเวลาหนึ่งปี เช่นเดียวกับขวดแก้วใส จากจำนวนขยะประเภทขวดแก้วใสภายในประเทศทั้งหมด 160,795.13 ตันต่อปี จะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม 24.6 ล้านกิโลกรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่าต่อปี หรือเทียบได้กับการไม่ใช้รถยนต์ส่วนบุคคล 7,489 คันเป็นเวลาหนึ่งปี (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2553) ถือเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงการรีไซเคิลหรือการใช้ซ้ำ

ตารางที่ 18 ผลของการลดน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ต่อผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน และ  
คะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

ค่าผลกระทบ	ขวด PET		ขวดแก้วใส	
	งานวิจัยนี้	ลดน้ำหนัก 32.6%	งานวิจัยนี้	ลดน้ำหนัก 20%
ด้านการก่อให้เกิดภาวะ โลกร้อน (kg CO <sub>2</sub> eq.)	7.78	6.10	11.37	9.43
คะแนนเชิงเดี่ยว (Pt)	2.24E-11	1.75E-11	4.70E-11	3.78E-11

## 2.6 การเพิ่มร้อยละการจัดการหลังการใช้งานและลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์

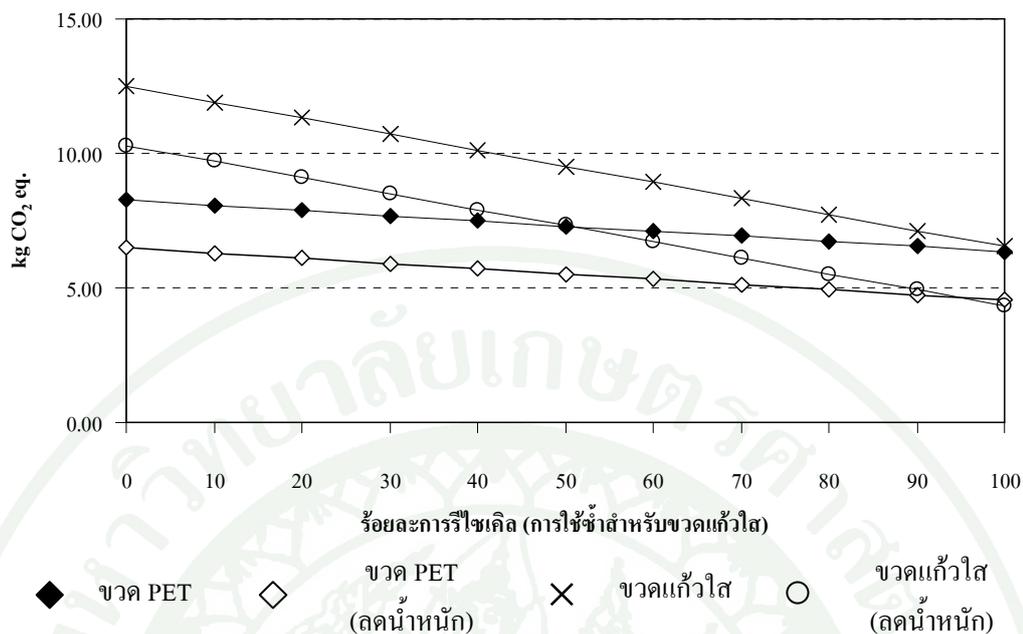
จากผลก่อนหน้านี้จะเห็นได้ว่าการเพิ่มร้อยละการรีไซเคิลหรือการใช้ซ้ำ รวมทั้งการลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ ช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ลงได้ ดังนั้นจึงได้รวมมาตรการทั้งสองแบบไว้ด้วยกัน ผลของการเพิ่มร้อยละการจัดการหลังการใช้งาน ร่วมกับการลดน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ต่อผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิต แสดงดังตารางที่ 19 พบว่าขวด PET และขวดแก้วใสสามารถลดค่าผลกระทบได้ร้อยละ 29.31 และ 40.99 ตามลำดับ ส่วนผลต่อคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต พบว่าขวด PET และขวดแก้วใสสามารถลดค่าผลกระทบได้ร้อยละ 31.84 และ 58.21 ตามลำดับ

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงร้อยละการรีไซเคิลหรือการใช้ซ้ำร่วมกับการลดน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ โดยเปรียบเทียบกับผลก่อนหน้าที่ยังไม่ได้มีการลดน้ำหนัก เพื่อศึกษาผลที่มีต่อผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตดังแสดงในภาพที่ 39 พบว่าระหว่างการใช้รีไซเคิลตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 100 ขวด PET และขวดแก้วใส จะลดค่าผลกระทบได้ 1.93 และ 5.98 กิโลกรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่า ตามลำดับ โดยเมื่อร้อยละการใช้ซ้ำของขวดแก้วใสเพิ่มขึ้นเป็น 50 และ 95 จะทำให้ผลกระทบนี้มีค่าเท่ากับขวด PET ที่ยังไม่ได้ลดน้ำหนักและขวด PET ที่ลดน้ำหนักแล้วตามลำดับ ส่วนผลที่มีต่อคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต แสดงดังภาพที่ 40 พบว่าระหว่างการใช้รีไซเคิลตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 100 ขวด PET และขวดแก้วใส จะลดค่าผลกระทบได้ 6.01E-12 และ 3.05E-11 Pt ตามลำดับ

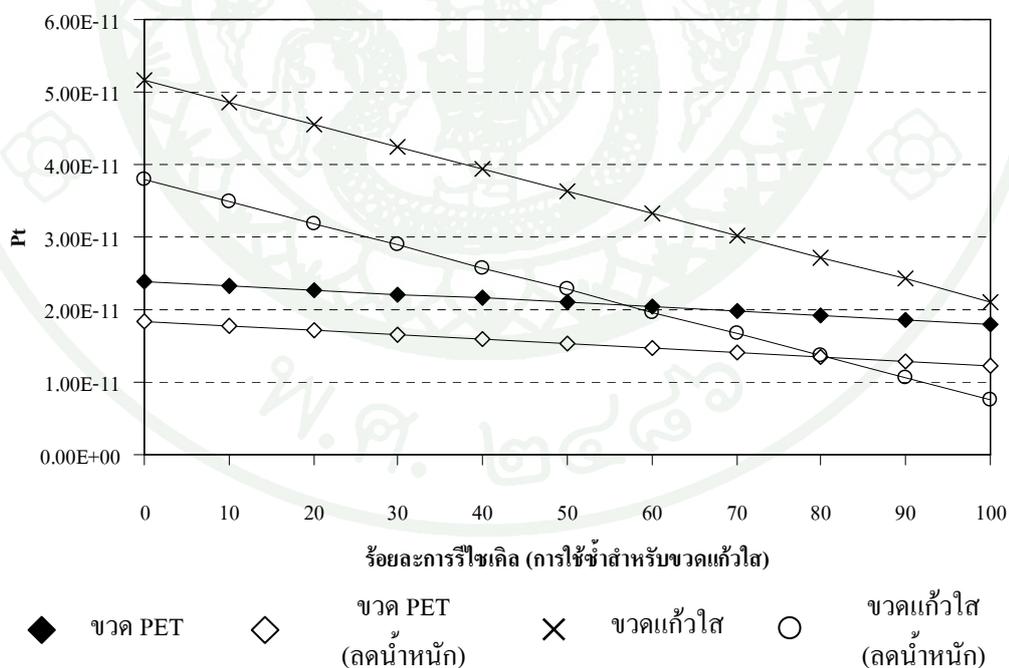
หากมีการสนับสนุนให้นำขวด PET กลับมารีไซเคิลมากขึ้น โดยกำหนดเป้าหมายจากเดิมร้อยละ 25.07 เป็น 51 ตามสัดส่วนการรีไซเคิลของประเทศฝรั่งเศส ร่วมกับการลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ จากจำนวนขยะประเภทขวด PET ภายในประเทศทั้งหมด 23,953.42 ตันต่อปี จะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม 36.7 ล้านกิโลกรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่าต่อปี หรือเทียบได้กับการไม่ใช้รถยนต์ส่วนบุคคล 11,158 คันเป็นเวลาหนึ่งปี เช่นเดียวกับขวดแก้วใส หากมีการสนับสนุนให้นำไปใช้ซ้ำมากขึ้น โดยกำหนดเป้าหมายจากเดิมร้อยละ 12.02 เป็น 60.00 ตามสัดส่วนการใช้ซ้ำของประเทศญี่ปุ่น ร่วมกับการลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ จากจำนวนขยะประเภทขวดแก้วใสภายในประเทศทั้งหมด 160,795.13 ตันต่อปี จะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม 59.1 ล้านกิโลกรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่าต่อปี หรือเทียบได้กับการไม่ใช้รถยนต์ส่วนบุคคล 17,989 คันเป็นเวลาหนึ่งปี (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2553) จะเห็นได้ว่าการรวมมาตรการทั้งสองแบบไว้ด้วยกันช่วยลดค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้มากขึ้น

**ตารางที่ 19** ผลของการเพิ่มร้อยละการจัดการหลังการใช้งานและลดน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ต่อผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน และคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

ค่าผลกระทบ	ขวด PET		ขวดแก้วใส	
	งานวิจัยนี้	เพิ่มร้อยละการรีไซเคิลและลดน้ำหนัก	งานวิจัยนี้	เพิ่มร้อยละการใช้ซ้ำและลดน้ำหนัก
ด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (kg CO <sub>2</sub> eq.)	7.78	5.50	11.37	6.71
คะแนนเชิงเดี่ยว (Pt)	2.24E-11	1.53E-11	4.70E-11	1.69E-11



ภาพที่ 39 ผลของการเปลี่ยนแปลงร้อยละการรีไซเคิลหรือการใช้ซ้ำและลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ ที่มีต่อผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิต

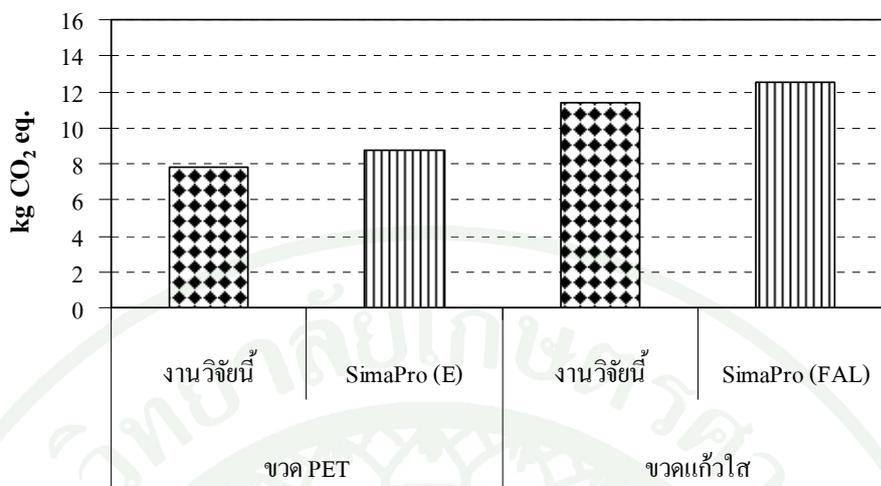


ภาพที่ 40 ผลของการเปลี่ยนแปลงร้อยละการรีไซเคิลหรือการใช้ซ้ำและลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ ที่มีต่อคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

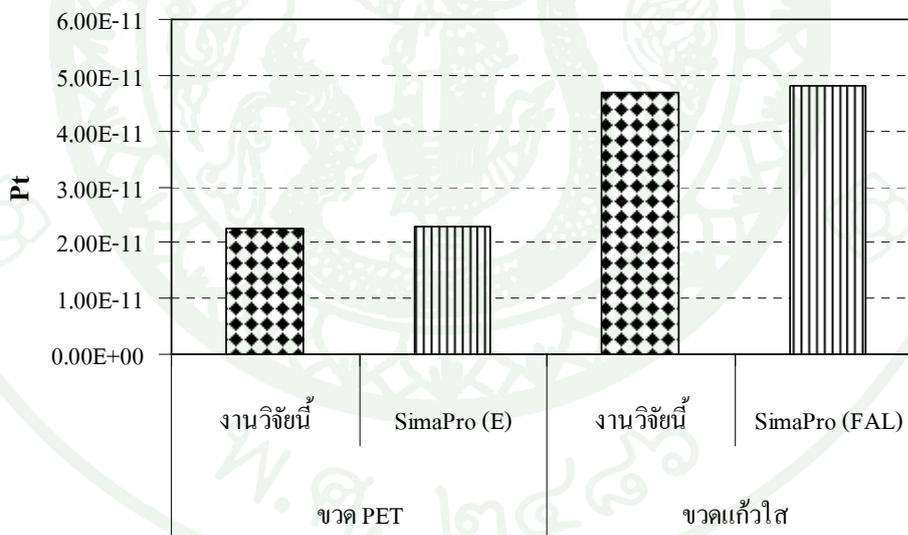
## 2.7 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูล

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูล เป็นการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ ที่อาจมีผลต่อผลลัพธ์และบทสรุปที่ได้จากการศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลและผลสรุปของการศึกษา โดยความอ่อนไหวของผลสรุปของการศึกษาอาจเกิดจากความไม่แน่นอนของข้อมูล การตรวจสอบความอ่อนไหวทำได้โดย การตรวจสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการศึกษารวมทั้งได้จากการเปลี่ยนแปลงสมมติฐานและข้อมูลให้แตกต่างกันไป จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้จากสมมติฐาน และข้อมูลที่ต่างกันดังกล่าวมาเปรียบเทียบกัน โดยงานวิจัยนี้จะทำการเปลี่ยนแปลงฐานข้อมูลการผลิตบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากผลที่ผ่านมาพบว่า ค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่เกิดจากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ โดยใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมโชม่าโปรที่ยังไม่ได้เลือกมาใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ขวด PET (ฐานข้อมูล E) และขวดแก้วใส (ฐานข้อมูล FAL) ซึ่งเดิมขวด PET ใช้ฐานข้อมูล FAL และขวดแก้วใสใช้ฐานข้อมูล RER เนื่องจากเป็นฐานข้อมูลที่ยังไม่กระจาย

ผลของการเปลี่ยนแปลงฐานข้อมูลการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่มีต่อผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตของขวด PET และขวดแก้วใส แสดงดังภาพที่ 41 พบว่าการเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.60 และ 9.94 ตามลำดับ สำหรับขวด PET เนื่องจากปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าผลกระทบในด้านนี้เพิ่มขึ้น สำหรับขวดแก้วใสเนื่องจากปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าและการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ส่วนผลที่มีต่อคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของขวด PET และขวดแก้วใส แสดงดังภาพที่ 42 พบว่าการเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.32 และ 2.53 ตามลำดับ เนื่องจากผลกระทบด้านต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงค่าก่อนข้างน้อย ดังนั้นการเลือกฐานข้อมูลที่แตกต่างกันไม่ทำให้ผลการศึกษเปลี่ยนแปลงไปมากนัก



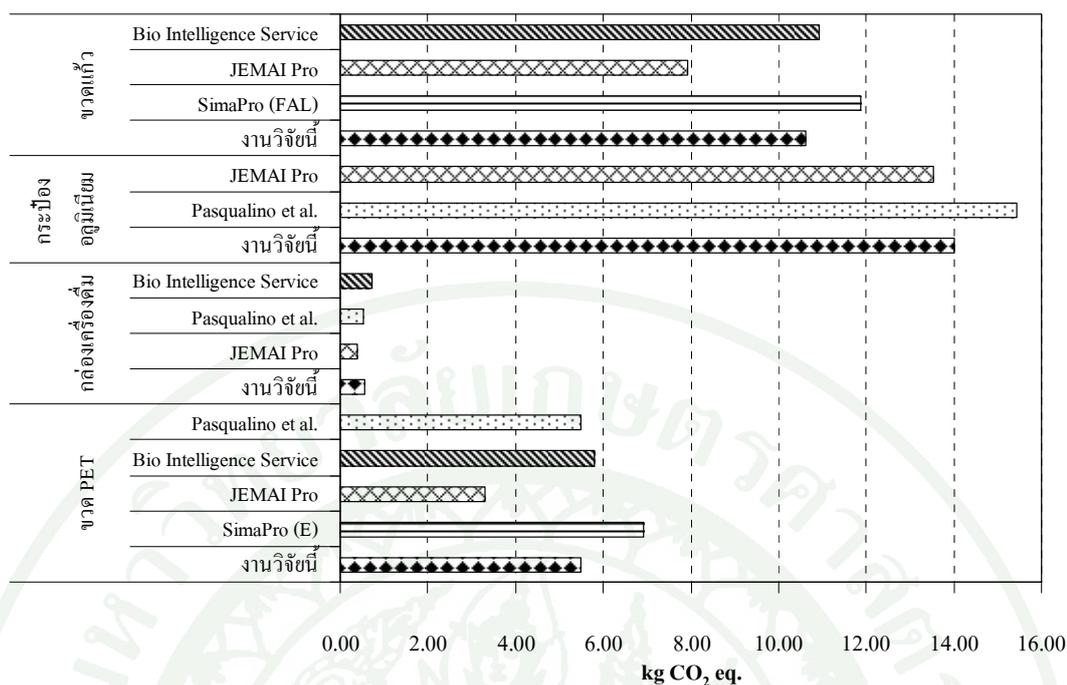
ภาพที่ 41 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET และขวดแก้วใส เมื่อเปลี่ยนแปลงฐานข้อมูลการผลิตบรรจุภัณฑ์



ภาพที่ 42 การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET และขวดแก้วใส เมื่อเปลี่ยนแปลงฐานข้อมูลการผลิตบรรจุภัณฑ์

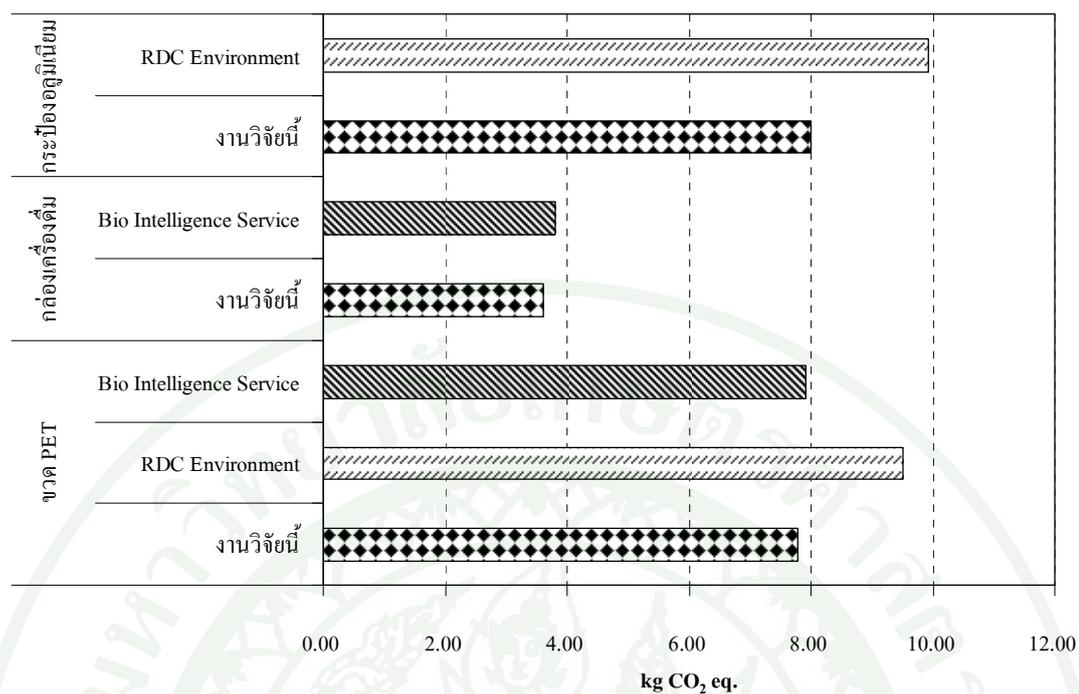
## 2.8 การสอบทวนความถูกต้องของข้อมูล

การสอบทวนความถูกต้อง ทำได้โดยการเปรียบเทียบผลการศึกษาในงานวิจัยนี้กับข้อมูลจากแหล่งอื่นๆ เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลเทียบเท่าหน่วยงานทำงานของบรรจุภัณฑ์ที่มีปริมาตรความจุ 18,000 มิลลิลิตร โดยฐานข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบ ได้แก่ ข้อมูลการผลิตบรรจุภัณฑ์จากโปรแกรมไซมาโปร 7.1 ซึ่งเป็นฐานข้อมูลอื่นที่ไม่ได้เลือกมาใช้ในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ยังมีข้อมูลการผลิตวัสดุจากโปรแกรมเจไมโปร ซึ่งเป็นฐานข้อมูลของประเทศญี่ปุ่น ส่วนงานวิจัยที่นำมาเปรียบเทียบ ได้แก่ Bio Intelligence Service (2007) RDC Environment (2008) และ Pasqualino *et al.* (2011) ซึ่งผลการศึกษาแสดงดังต่อไปนี้ ภาพที่ 43 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ พบว่าบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET ค่าผลกระทบของงานวิจัยนี้ (ฐานข้อมูล FAL จากโปรแกรมไซมาโปร) อยู่ระหว่างแหล่งข้อมูลอื่น เช่น ฐานข้อมูล E จากโปรแกรมไซมาโปร (ทวีปยุโรป) และเจไมโปร (ข้อมูลการผลิตเม็ดพลาสติก PET) เป็นต้น เช่นเดียวกับบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่ม ค่าผลกระทบของงานวิจัยนี้ (ฐานข้อมูล RER จากโปรแกรมไซมาโปร) อยู่ระหว่างแหล่งข้อมูลอื่น เช่น โปรแกรมเจไมโปร (ข้อมูลการผลิตกระดาษ) เป็นต้น และเช่นเดียวกับบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใส ค่าผลกระทบของงานวิจัยนี้ (ฐานข้อมูล RER จากโปรแกรมไซมาโปร) อยู่ระหว่างแหล่งข้อมูลอื่น เช่น FAL จากโปรแกรมไซมาโปร (ประเทศสหรัฐอเมริกา) และเจไมโปร (ข้อมูลการผลิตแผ่นกระจกใส) เป็นต้น ส่วนบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องอลูมิเนียม ค่าผลกระทบของงานวิจัยนี้ (ฐานข้อมูล FAL จากโปรแกรมไซมาโปร) มากกว่าค่าของเจไมโปร เนื่องจากเป็นเพียงข้อมูลการผลิตอลูมิเนียมอินกอต (ปฐมภูมิ) เท่านั้น แต่น้อยกว่าค่าของ Pasqualino *et al.* โดยงานวิจัยของ Bio Intelligence Service ใช้ฐานข้อมูลของประเทศฝรั่งเศส ส่วน Pasqualino *et al.* ใช้ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากประเทศสเปน รวมถึงใช้โมเดลการขนส่งและการผลิตน้ำจากยุโรป



ภาพที่ 43 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ของแต่ละฐานข้อมูล

การเปรียบเทียบผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิต แสดงดังภาพที่ 44 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Bio Intelligence Service พบว่าค่าผลกระทบของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET และกล่องเครื่องดื่มจากงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่า เนื่องจากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ RDC Environment พบว่าค่าผลกระทบของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET และกระจกป้องกันอลูมิเนียมจากงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่า เนื่องจาก RDC Environment รวมขั้นตอนการผลิตเบียร์เอาไว้ด้วย ทั้งนี้บรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใสไม่สามารถนำงานวิจัยอื่นมาเปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากไม่ได้รวมการใช้ซ้ำไว้ในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งาน



ภาพที่ 44 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตของแต่ละฐานข้อมูล

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ประเภทขวด PET กล่องเครื่องดื่ม กระป๋องอลูมิเนียม และขวดแก้วใส ที่มีปริมาตรความจุ 18,000 มิลลิลิตร ดังนั้นจึงใช้ขวด PET ขนาดบรรจุ 300 มิลลิลิตร จำนวน 60 ขวด กล่องเครื่องดื่มขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร จำนวน 100 กล่อง กระป๋องอลูมิเนียมขนาดบรรจุ 240 มิลลิลิตร จำนวน 75 กระป๋อง และขวดแก้วใสขนาดบรรจุ 250 มิลลิลิตร จำนวน 72 ขวด โดยใช้โปรแกรมไซมาโปรเวอร์ชัน 7.1 และวิธี CML 2 baseline 2000 ตามอนุกรมมาตรฐานไอเอสโอ 14040

#### 1. ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่าย

ค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากมากไปน้อย ได้แก่ ขวดแก้วใส กระป๋องอลูมิเนียม ขวด PET และกล่องเครื่องดื่ม ซึ่งเกิดจากขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์เป็นส่วนใหญ่ โดยขวดแก้วใสส่วนใหญ่เกิดจากการผลิตกระแสไฟฟ้าและการใช้ก๊าซธรรมชาติเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตบรรจุภัณฑ์ กระป๋องอลูมิเนียมส่วนใหญ่เกิดจากการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้หลอมอลูมิเนียมในการผลิตบรรจุภัณฑ์ ขวด PET ส่วนใหญ่เกิดจากการใช้น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ และกล่องเครื่องดื่มส่วนใหญ่เกิดจากการนำอลูมิเนียมมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตอลูมิเนียมฟอยล์สำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์

#### 2. ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งาน

วิธีการจัดการหลังการใช้งานของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET และกระป๋องอลูมิเนียมมีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากมากไปน้อยคือ การเผาในเตาเผา การฝังกลบ และการรีไซเคิล โดยการรีไซเคิลจะช่วยทดแทนการใช้ทรัพยากรในการผลิตเม็ดพลาสติกขึ้นมาใหม่ และทดแทนการใช้วัตถุดิบและพลังงานในการผลิตอลูมิเนียมอินกอตตามลำดับ วิธีการจัดการบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่มมีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากมากไปน้อยคือ การฝังกลบ การเผาในเตาเผา และการรีไซเคิล โดยการรีไซเคิลช่วยทดแทนการใช้ทรัพยากรเพื่อนำไปผลิตกระดาษ อลูมิเนียมฟอยล์ และพลาสติกในการผลิตกล่องเครื่องดื่มขึ้นมาใหม่ วิธีการจัดการบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใสมีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากมากไปน้อยคือ การเผาในเตาเผา การฝังกลบ การรีไซเคิล และการใช้ซ้ำ

โดยการใช้ซ้ำจะช่วยประหยัดการใช้วัตถุดิบและพลังงานได้มากกว่าการรีไซเคิล และลดมลสารที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้มากกว่า

### 3. ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์นำผลไม้มัประเภตต่างๆ

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใสที่จัดการหลังการใช้งานด้วยวิธีการเผาในเตาเผา มีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ลำดับต่อมาคือการฝังกลบบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องอลูมิเนียมที่จัดการหลังการใช้งานด้วยการเผาในเตาเผา และการฝังกลบบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใสที่จัดการหลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิล บรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET ที่จัดการหลังการใช้งานด้วยการเผาในเตาเผา การฝังกลบ บรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วใสที่จัดการหลังการใช้งานด้วยการใช้ซ้ำ บรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET ที่จัดการหลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิล บรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องเครื่องดื่มที่จัดการหลังการใช้งานด้วยการฝังกลบ การเผาในเตาเผา และการรีไซเคิล และบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องอลูมิเนียมที่จัดการหลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิล มีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เนื่องจากช่วยลดผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้เป็นปริมาณมาก โดยค่าตัวประกอบความสำคัญของผลกระทบด้านนี้มีค่ามาก

### 4. การเสนอแนวทางลดค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อม

#### 4.1 การเพิ่มร้อยละการจัดการหลังการใช้งาน

ระหว่างการใช้ตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 100 กระป๋องอลูมิเนียม และขวดแก้วใส จะลดค่าผลกระทบได้ 10.82 และ 5.98 กิโลกรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่า ตามลำดับ ส่วนขวด PET และกล่องเครื่องดื่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าค่อนข้างน้อย ดังนั้นหากมีการสนับสนุนให้นำกระป๋องอลูมิเนียมกลับมารีไซเคิลมากขึ้น โดยกำหนดเป้าหมายจากเดิมร้อยละ 52.98 เป็น 96.50 ตามสัดส่วนการรีไซเคิลของประเทศบราซิล ซึ่งจากจำนวนขยะกระป๋องอลูมิเนียมภายในประเทศทั้งหมด 89,832.67 ตันต่อปี จะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม 457.4 ล้านกิโลกรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่าต่อปี หรือเทียบได้กับการไม่ใช้รถยนต์ส่วนบุคคล 139,250 คันเป็นเวลาหนึ่งปี เช่นเดียวกับขวดแก้วใส หากมีการสนับสนุนให้นำไปใช้ซ้ำมากขึ้น โดยกำหนดเป้าหมายจากเดิมร้อยละ 12.02 เป็น 60.00 ตามสัดส่วนการใช้ซ้ำของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งจากจำนวนขยะประเภทขวดแก้วใสภายในประเทศทั้งหมด 160,795.13 ตันต่อ

ปี จะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม 31.1 ล้านกิโลกรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่าต่อปี หรือเทียบได้กับการไม่ใช้รถยนต์ส่วนบุคคล 9,458 คันเป็นเวลาหนึ่งปี

#### 4.2 การลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์

เมื่อทำการลดน้ำหนักของขวด PET ลงร้อยละ 32.60 จาก 24.87 ลดลงเป็น 16.76 กรัมต่อขวด และลดน้ำหนักของขวดแก้วใสลงร้อยละ 20 จาก 176.11 ลดลงเป็น 140.89 กรัมต่อขวด พบว่าขวด PET และขวดแก้วใสสามารถลดค่าผลกระทบต่อร้อยละ 21.59 และ 17.06 ตามลำดับ ซึ่งคิดจากผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิต จากจำนวนขยะประเภทขวด PET ภายในประเทศทั้งหมด 23,953.42 ตันต่อปี จะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม 27 ล้านกิโลกรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่าต่อปี หรือเทียบได้กับการไม่ใช้รถยนต์ส่วนบุคคล 8,222 คันเป็นเวลาหนึ่งปี เช่นเดียวกับขวดแก้วใส จากจำนวนขยะประเภทขวดแก้วใสภายในประเทศทั้งหมด 160,795.13 ตันต่อปี จะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม 24.6 ล้านกิโลกรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่าต่อปี หรือเทียบได้กับการไม่ใช้รถยนต์ส่วนบุคคล 7,489 คันเป็นเวลาหนึ่งปี

#### 4.3 การเพิ่มร้อยละการจัดการหลังการใช้งานและลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์

ระหว่างการใช้เกิดขึ้นตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 100 ขวด PET และขวดแก้วใส จะลดค่าผลกระทบต่อได้ 1.93 และ 5.98 กิโลกรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่า ตามลำดับ ดังนั้นหากมีการสนับสนุนให้นำขวด PET กลับมารีไซเคิลมากขึ้น โดยกำหนดเป้าหมายจากเดิมร้อยละ 25.07 เป็น 51 ตามสัดส่วนการรีไซเคิลของประเทศฝรั่งเศส ร่วมกับการลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ จากจำนวนขยะประเภทขวด PET ภายในประเทศทั้งหมด 23,953.42 ตันต่อปี จะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม 36.7 ล้านกิโลกรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่าต่อปี หรือเทียบได้กับการไม่ใช้รถยนต์ส่วนบุคคล 11,158 คันเป็นเวลาหนึ่งปี เช่นเดียวกับขวดแก้วใส หากมีการสนับสนุนให้นำไปใช้ซ้ำมากขึ้น โดยกำหนดเป้าหมายจากเดิมร้อยละ 12.02 เป็น 60.00 ตามสัดส่วนการใช้ซ้ำของประเทศญี่ปุ่น ร่วมกับการลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ จากจำนวนขยะประเภทขวดแก้วใสภายในประเทศทั้งหมด 160,795.13 ตันต่อปี จะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม 59.1 ล้านกิโลกรัม CO<sub>2</sub> เทียบเท่าต่อปี หรือเทียบได้กับการไม่ใช้รถยนต์ส่วนบุคคล 17,989 คันเป็นเวลาหนึ่งปี

## ข้อเสนอแนะ

### 1. ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยต่อ

- ในการประเมินวัฏจักรชีวิตมีการใช้ฐานข้อมูลของต่างประเทศ จึงควรใช้ข้อมูลบัญชีรายการที่เป็นของประเทศไทย และข้อมูลองค์ประกอบขยะควรมีการปรับปรุงข้อมูลให้มีความทันสมัย
- ในการประเมินวัฏจักรชีวิต ควรใช้ข้อมูลปฐมภูมิให้มากที่สุดเพื่อให้ได้ค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมจริงของบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภท
- ควรมีการศึกษาบรรจุภัณฑ์ประเภทเดียวกันที่มีขนาดแตกต่างกันเพิ่มเติม เพื่อนำเสนอว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าผลกระทบมากน้อยเพียงใด
- ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านสังคมและเศรษฐศาสตร์ของบรรจุภัณฑ์นำผลไม้ประเภทต่างๆ ควบคู่กับการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้ข้อมูลพัฒนาอุตสาหกรรมระดับประเทศได้

### 2. ข้อเสนอแนะสำหรับภาคอุตสาหกรรม

- การนำผลการศึกษาและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงไปใช้ เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตหรือออกแบบผลิตภัณฑ์ให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

### 3. ข้อเสนอแนะต่อสังคม และประเทศ

- เลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และคัดแยกขยะก่อนทิ้ง

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2548. รายงานหลัก การจัดทำกลไกการเรียกคืนซากบรรจุภัณฑ์และผลิตภัณฑ์  
เล่มที่ 2/2.

\_\_\_\_\_. 2551. สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2550. 66 หน้า.

กรมศุลกากร. 2553. สถิติการนำเข้า-ส่งออก. แหล่งที่มา:

<http://www.customs.go.th/Statistic/Index.jsp>, 15 มิถุนายน 2553.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2552ก. กระบวนการการรีไซเคิลแก้ว. Waste  
knowledge. แหล่งที่มา: [http://www.thaiwasteexchange.net/list\\_bracket.php](http://www.thaiwasteexchange.net/list_bracket.php), 29 มกราคม  
2553.

\_\_\_\_\_. 2552ข. การรีไซเคิลแก้ว. Waste knowledge. แหล่งที่มา:

[http://www.thaiwasteexchange.net/list\\_bracket.php](http://www.thaiwasteexchange.net/list_bracket.php), 29 มกราคม 2553.

กาญจนา ทুমมานนท์. 2553. ขวดแก้วเพื่อสิ่งแวดล้อม. แหล่งที่มา:

[http://www.paktho.ac.th/science\\_new/file4/14-24.htm](http://www.paktho.ac.th/science_new/file4/14-24.htm), 5 เมษายน 2554.

กิตติวรรณ กิจปกรณ์สันติ. 2551. การประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเชิง  
สิ่งแวดล้อมของกระป๋องโลหะกับรีทอร์ตแพซในอุตสาหกรรมทูน่ากระป๋อง. วิทยานิพนธ์  
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กลุ่มอุตสาหกรรมแก้วและกระจก. 2551. โครงการศึกษาประสิทธิภาพพลังงาน: อุตสาหกรรม  
อโลหะ. แหล่งที่มา: [http://ftiweb.off.fi.or.th/industrialgroup/glass/news\\_dt.asp?id=240](http://ftiweb.off.fi.or.th/industrialgroup/glass/news_dt.asp?id=240),  
6 ธันวาคม 2553.

เครือข่ายสมัครใจ ThaiRoHS. 2550. กฎหมายบรรจุภัณฑ์ของญี่ปุ่น. แหล่งที่มา:

[http://www.thairohs.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=231&Itemid=131](http://www.thairohs.org/index.php?option=com_content&task=view&id=231&Itemid=131), 16 กันยายน 2552.

โครงการพัฒนาความรู้และยุทธศาสตร์ด้านความตกลงพหุภาคีระหว่างประเทศด้านสิ่งแวดล้อม.

2550. บางกอกแคนท่อม 800 ล้านผลิตกระป๋องที่รักษ์สิ่งแวดล้อม. บทความทั่วไป.

แหล่งที่มา: [http://www.measwatch.org/autopage/show\\_page.php?t=20&s\\_id=358&d\\_id=357](http://www.measwatch.org/autopage/show_page.php?t=20&s_id=358&d_id=357), 30 มกราคม 2553.

จิราวรรณ เดียขุนทด. 2552. นวัตกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่จากกล่องเครื่องดื่ม: เยื่อกระดาษรีไซเคิลและแผ่นกรีนบอร์ดวัสดุทดแทนไม้. ข่าวประชาสัมพันธ์. แหล่งที่มา:

[http://ftiweb.off.fti.or.th/research/news\\_detail.asp?id=56](http://ftiweb.off.fti.or.th/research/news_detail.asp?id=56), 28 ตุลาคม 2552.

ชมรมผู้ผลิตกล่องเครื่องดื่ม. 2552. ประวัติชมรม. แหล่งที่มา:

<http://www.thaibcg.com/index02.html>, 29 มกราคม 2553.

ชาญชัย สิริเกษมเลิศ. 2553. การผลิตเส้นใยและสิ่งทอจากขวด PET รีไซเคิล. แหล่งที่มา:

<http://www.ttistextiledigest.com/articles/technology/item/1870-การผลิตเส้นใยและสิ่งทอจากขวด-pet-รีไซเคิล.html>, 11 เมษายน 2554.

เจนจ้ฟิวชั่น. 2551ก. กล่องเครื่องดื่มใช้แล้วอย่างอื่นมีค่ามากกว่าเศษขยะนะจ๊ะ. แหล่งที่มา:

<http://www.green.in.th/blog/business/1345>, 16 กันยายน 2552.

\_\_\_\_\_. 2551ข. กรีนบอร์ด วัสดุทดแทนไม้จากกล่องเครื่องดื่มรีไซเคิล. แหล่งที่มา:

<http://www.green.in.th/blog/design/1530>, 28 ตุลาคม 2552.

ฐานเศรษฐกิจ. 2552. ส.อ.ท.ลุยแก้ปัญหาขยะบรรจุภัณฑ์ ดึงชุมชนเทศบาลตั้งรกรังรีไซเคิล.

สำนักพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ, กรุงเทพฯ.

เดอะกรีนเดย์ วันสีเขียวๆ. 2543. การรีไซเคิล. แหล่งที่มา:

[http://www.thegreenday.cc.cc/slp\\_Travel\\_195093](http://www.thegreenday.cc.cc/slp_Travel_195093), 28 ตุลาคม 2552.

ไทยแลนด์ อินดัสเทรียล ทูเดย์. 2551. **5 เทรนด์บรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มระดับโลก**. การตลาดและการจัดการ. แหล่งที่มา:

[http://www.foodindustrythailand.com/v17/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1022&Itemid=130](http://www.foodindustrythailand.com/v17/index.php?option=com_content&view=article&id=1022&Itemid=130), 12 กุมภาพันธ์ 2554.

ธนาวดี ลีจังกษย์. 2551. **PET พลาสติกใสใส่น้ำดื่ม**. แหล่งที่มา:

<http://www.vcharkarn.com/varticle/38232>, 28 สิงหาคม 2552.

\_\_\_\_\_. 2552. **กระบวนการรีไซเคิลพลาสติก**. Waste knowledge. แหล่งที่มา:

[http://www.thaiwasteexchange.net/list\\_bracket.php](http://www.thaiwasteexchange.net/list_bracket.php), 28 ตุลาคม 2552.

บริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด. 2552. **การรีไซเคิล**. สร้างจิตสำนึกต่อสังคม. แหล่งที่มา:

<http://www.bgiglass.com/Recycle.php?Lang=th>, 5 ธันวาคม 2552.

ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2546. แนวโน้มบรรจุภัณฑ์ เพื่อพัฒนาศักยภาพในการแข่งขันทางการค้า. **อุตสาหกรรมวารสาร** 46 (4): 30-37.

พัชรินทร์ พันธุ์แน่น. ม.ป.ป. **ขยะมูลฝอย**. เอกสารประกอบการสอนสาขาวิชานโยบายและการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกริก.

มูลนิธิโลกสีเขียว. 2553. **การใช้รถในกรุงเทพฯ**. แหล่งที่มา:

<http://www.greenworld.or.th/relax/statistic>, 5 กรกฎาคม 2554.

รุจน์ ตันทศวรรษฉี. 2552. **ขวด PET**. แหล่งที่มา: <http://sci4fun.com/thaiwaterrocket/pet.html>, 28 ตุลาคม 2552.

รายการกบนอกกะลา. 2552. **ขยะัญจร**. (ซีดีรอมวีดิทัศน์). บริษัท ทีวีบูรพา จำกัด (ผู้ผลิต).

ศูนย์รีไซเคิลกล่องเครื่องดื่ม. 2552. โครงการหลังคาเขียวฯ. แหล่งที่มา:

<http://www.greenroof.in.th/project>, 10 เมษายน 2553.

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2550. พลาสติกรีไซเคิล. Waste knowledge. แหล่งที่มา:

[http://www.thaiwasteexchange.net/list\\_bracket.php](http://www.thaiwasteexchange.net/list_bracket.php), 29 มกราคม 2553.

\_\_\_\_\_. 2552. โครงการจัดทำฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศ.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. กรุงเทพฯ.

สยามรีไซเคิล. 2552. สัญลักษณ์ของการรีไซเคิลพลาสติก. แหล่งที่มา:

[http://www.nppointasia.com/siamrecycle/recycle\\_logo.htm](http://www.nppointasia.com/siamrecycle/recycle_logo.htm), 10 ธันวาคม 2552.

สินชัย เทียนศิริ. 2551. กล่องเครื่องดื่มในมุมมองใหม่. บริษัท เต็ดตรา แพ้ค (ประเทศไทย) จำกัด.

สุประดิษฐ์ วังพฤกษ์. 2550. Glass process. แหล่งที่มา:

<http://www.supradit.com/contents/engineer/glass%20process.htm>, 6 ธันวาคม 2553.

หลังคาเขียว. 2553. ถาม-ตอบเกี่ยวกับโครงการฯ. แหล่งที่มา: <http://greenroof.in.th/project/faq>,

30 ตุลาคม 2553.

ห้องปฏิบัติการวิจัยทางซีเมนต์และคอนกรีต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2552. การรีไซเคิลโลหะ.

แหล่งที่มา: <http://www.physics.science.cmu.ac.th/cement/matal%20recycle.ppt>,

15 ธันวาคม 2552.

อมรรัตน์ สวัสดิ์พิพัฒน์. 2553. กระป๋องอะลูมิเนียมบรรจุเครื่องดื่ม. แหล่งที่มา:

[http://www.tistr.or.th/t/publication/page\\_area\\_show\\_bc.asp?i1=85&i2=33](http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=85&i2=33), 28 เมษายน 2553.

โอมฤทธิ์ หาระบุตร. 2547. การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของ

คอมพิวเตอร์แบบหมุนโดยใช้โปรแกรมไมโคร 5.1 และโปรแกรมกาบี 4.0.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Arena, U., M.L. Mastellone and F. Perugini. 2003. Life cycle assessment of a plastic packaging recycling system. **Int J LCA** 8(2): 92-98.

Bio Intelligence Service. 2007. **Comparative life cycle assessment of Tetra Pack packaging synthesis.** Environment and social report. Available Source: [http://www.tetrapak.com/se/Documents/TetraPak\\_ACV\\_Synthese\\_UK\\_vf\\_2007%5B1%5D.pdf](http://www.tetrapak.com/se/Documents/TetraPak_ACV_Synthese_UK_vf_2007%5B1%5D.pdf), December 15, 2010.

Chomkumsri, K. 2003. **Life cycle assessment of electricity generating (Thermal and Hydro power plant) of Thailand using SimaPro 5.0.** M. Eng Thesis, Kasetsart University.

FoodBevdotcom. 2010. **Weight of PET water bottles decreasing.** Available Source: <http://www.foodbev.com/report/weight-of-pet-water-bottles-decreasing>, April 5, 2011.

Gatti, J.B., G.C. Queiroz and E.E.C. Garcia. 2008. Recycling of aluminum can in terms of life cycle inventory (LCI). **Int J LCA** 13 (3): 219-225.

Guinee, J., M. Gorree, R. Heijungs, G. Huppes, R. Kleijn and A. Koning. 2001. **Life cycle assessment, an operational guide to the ISO standards, part 1 and 2a.** Final report. the Netherlands: Centre of Environmental Science, Leiden University (CML).

Institute of Environmental Science. 2001. **Guide on environmental assessment.** Available Source: <http://www.leidenuniv.nl/cml/lca2/index.html>, December 15, 2007.

International Organization for Standardization. 2006. **ISO 14040: Environmental management-life cycle assessment-principle and framework.**

Japan for Sustainability. 2008. **Efforts for reuse of glass bottles expanding in Southern Kyushu.** Available Source: <http://www.japanfs.org/en/pages/028576.html>, March 20, 2011.

- Kimura, Y., S. Kato, N. Maruyama, Y. Sadamishi, A. Widiyanto and Y. Joukaku. 2001. Ecological improvement of the vending machine using LCA method. **International symposium on environmentally conscious design and inverse manufacturing. 2:** 341.
- Madival, S., R. Auras, S.P. Singh and R. Narayan. 2009. Assessment of the environmental profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology. **Journal of Cleaner Production** 17: 1183-1194.
- Mourad, A.L., E.E.C. Garcia, G.B. Vilela and F.V. Zuben. 2007. Influence of recycling rate increase of aseptic carton for long-life milk on GWP reduction. **Resources, Conservation and Recycling** 52: 678-689.
- Pasqualino, J., M. Meneses and F. Castells. 2011. The carbon footprint and energy consumption of beverage packaging selection and disposal. **Journal of Food Engineering** 103: 357-365.
- Plastic Waste Management Institute, Japan. 2004. **An introduction to plastic recycling.** Source: <http://www.pwmi.or.jp>, October 28, 2009.
- RDC Environment. 2008. **Life Cycle Assessment (“LCA”) of four beer packaging options: glass bottle, PET bottle, aluminium can & steel can.** TNO Built Environment and Geosciences-Business unit Environment, Health and Safety.
- Song, H.S. and J.C. Hyun. 1999. A study on the comparison of the various waste management scenarios for PET bottles using the life-cycle assessment (LCA) methodology. **Resources, Conservation and Recycling** 27: 267-284.
- The Aluminium Can Group. 2006. **Facts.** Available Source: <http://www.aluminium-cans.com.au/Facts.html>, April 5, 2011.



ภาคผนวก



## การคำนวณการขนส่ง

เนื่องจากการบรรทุกของรถบรรทุก จะบรรทุกได้ไม่เต็มคัน จึงต้องมีการคูณ Percent loading factor กับปริมาตรของพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

### 1. หาจำนวนเที่ยวที่ใช้ในการขนส่ง

$$\text{จำนวนเที่ยว} = \frac{\text{น้ำหนักวัสดุที่บรรทุก}}{\text{ปริมาตรพาหนะ} \times \text{Percent loading factor} \times \text{พาหนะ} \times \text{Bulk density วัสดุ}}$$

### 2. หาระยะทางที่ใช้ในการขนส่ง

$$\text{ระยะทาง} = \text{จำนวนเที่ยว} \times \text{ระยะทางต้นทางถึงปลายทาง}$$

### 3. นำน้ำหนักที่บรรทุกคูณระยะทางในหน่วย ตัน×กิโลเมตร ไปใช้ในโปรแกรมไซมาโปร



ภาคผนวก ข  
การคำนวณระยะทางการจัดจำหน่าย

### การคำนวณระยะทางการจัดจำหน่าย

1. ระยะทางจากสถานที่บรรจุคือโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ไปยังศูนย์กระจายสินค้าในแต่ละภาคของประเทศ รวมทั้งร้อยละปริมาณการขนส่งแสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางผนวกที่ ข1 ระยะทางและร้อยละปริมาณการขนส่งในการจัดจำหน่ายน้ำผลไม้

แหล่งที่มา	ระยะทาง (km)	ร้อยละปริมาณ การขนส่ง	ระยะทาง×ร้อยละ
กทม - ภาคกลาง	36	30	1,080
กทม - ภาคเหนือ	377	20	7,540
กทม - อีสาน	449	20	8,980
กทม - ภาคใต้	644	10	6,440
กทม - ตะวันออก	81	10	810
กทม - ตะวันตก	128	10	1,280
Total		100	26,130

2. หาระยะทางเฉลี่ย

$$\text{ระยะทางเฉลี่ย} = \frac{\sum(\text{distance} \times \text{quantity})}{\sum \text{quantity}} = \frac{26,130}{100} = 261 \text{ กิโลเมตร}$$

3. ระยะทางจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังร้านค้าปลีก/ร้านค้าส่ง และผู้บริโภค = 50 กิโลเมตร

4. เพราะฉะนั้นระยะทางการจัดจำหน่าย = 261+50 = 311 กิโลเมตร



ภาคผนวก ค  
การคำนวณการจัดการหลังการใช้งานในประเทศไทย

## การคำนวณการจัดการหลังการใช้งานในประเทศไทย

### 1. การคำนวณร้อยละการจัดการหลังการใช้งาน

- การเผาในเตาเผาแบบไม่ได้พลังงานกลับคืน ประเทศไทยมี 3 แห่งด้วยกันคือ เทศบาลนครภูเก็ต (250 ตัน/วัน) เทศบาลต.เกาะสมุย จ.สุราษฎร์ธานี (75 ตัน/วัน) และเทศบาลเมืองลำพูน (10 ตัน/วัน) ดังนั้นจะได้ค่าเฉลี่ยกำลังการเผาเท่ากับ 111.67 ตัน/วัน แล้วเทียบเป็นร้อยละการเผาในเตาเผาจากองค์ประกอบขยะ เช่น กระจังออลูมิเนียมมีปริมาณร้อยละ 0.77 ของปริมาณขยะทั้งหมด ดังนั้นจะได้ร้อยละการเผาในเตาเผาของกระจังออลูมิเนียมเท่ากับ  $6.90E-03$

- การฝังกลบได้จากการนำ 100 ลบด้วยร้อยละการรีไซเคิลและการเผาในเตาเผาของบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภท เช่น กระจังออลูมิเนียมมีร้อยละการรีไซเคิลเท่ากับ 52.98 ร้อยละการเผาในเตาเผาเท่ากับ  $6.90E-03$  ดังนั้นจะได้ร้อยละการฝังกลบเท่ากับ 47.01

### 2. การคำนวณปริมาณการจัดการหลังการใช้งาน

ในที่นี้ขอยกตัวอย่างการคำนวณของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET

ขวด PET หนัก 24.87 กรัมต่อขวด ใช้ขวด PET ขนาดบรรจุ 300 มิลลิลิตร จำนวน 60 ขวด หน่วยการทำงานคือบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ปริมาตรความจุ 18,000 มิลลิลิตร ดังนั้นจึงได้น้ำหนักรวมของขวด PET เท่ากับ 1.49 กิโลกรัม

ซึ่งขวด PET มีการส่งออกไปยังต่างประเทศเป็นปริมาณ 4,014,575 กิโลกรัมต่อปี จะได้ปริมาณขยะขวด PET ที่เหลือภายในประเทศเท่ากับ 1.28 กิโลกรัมเทียบเท่าหน่วยการทำงาน

จากร้อยละการจัดการหลังการใช้งานของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET ในประเทศไทย ด้วยวิธีการรีไซเคิล การเผาในเตาเผา และการฝังกลบ เท่ากับร้อยละ 25.07,  $1.70E-03$  และ 74.93 ตามลำดับ จะได้ปริมาณการจัดการหลังการใช้งานในประเทศไทยเท่ากับ  $3.21E-01$ ,  $2.18E-05$  และ  $9.59E-01$  กิโลกรัมเทียบเท่าหน่วยการทำงาน

### 3. การคำนวณระยะทางการขนส่งไปจัดการหลังการใช้งาน

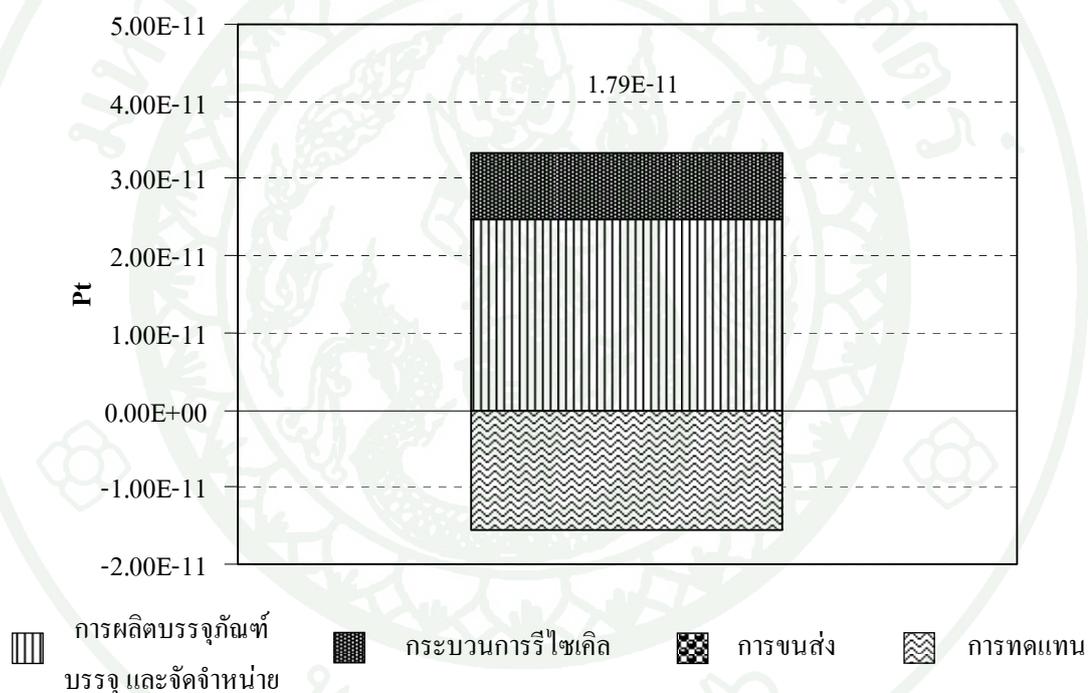
- การเผาในเตาเผาคิดระยะทางจากอำเภอที่อยู่ใกล้กับเขตเทศบาลของแต่ละจังหวัดที่มีเตาเผา ประเทศไทยมี 3 แห่งด้วยกันคือ ภูเก็ต (18.38 ก.ม.) สุราษฎร์ธานี (10.10 ก.ม.) และลำพูน (47.70 ก.ม.) ดังนั้นจะได้ระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 25.39 ก.ม.

- การฝังกลบคิดจากระยะทางเฉลี่ยภายในเขตเทศบาล 11 แห่ง ได้แก่ เทศบาลนครนครปฐม (31.50 ก.ม.) เทศบาลตำบลสามพราน (22.68 ก.ม.) เทศบาลนครสมุทรสาคร (23.90 ก.ม.) เทศบาลตำบลอ้อมน้อย (37.57 ก.ม.) เทศบาลนครนนทบุรี (29.01 ก.ม.) เทศบาลนครปากเกร็ด (35.86 ก.ม.) เทศบาลนครสมุทรปราการ (27.47 ก.ม.) เทศบาลเมืองปทุมธานี (26.33 ก.ม.) สถานีขนถ่ายมูลฝอยอ่อนนุช (17.88 ก.ม.) สถานีขนถ่ายมูลฝอยหนองแขม (31.32 ก.ม.) และสถานีขนถ่ายมูลฝอยท่าแร่ (19.05 ก.ม.) ไปยังสถานที่ฝังกลบทั้ง 3 แห่งคือ อ.เมือง จ.ชลบุรี อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม และ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ ดังนั้นจะได้ระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 27.47 ก.ม.



### การคำนวณคะแนนเชิงเดี่ยวตลอดวัฏจักรชีวิต

ในที่นี้ขอยกตัวอย่างการคำนวณคะแนนเชิงเดี่ยวตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET ที่มีการจัดการหลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิล จากภาพจะเห็นได้ว่าการรีไซเคิลช่วยทำให้ค่าผลกระทบจากการผลิตบรรจุภัณฑ์ การบรรจุน้ำผลไม้ และการจัดจำหน่าย มีค่าลดลงจากเดิม  $2.47\text{E-}11$  เป็น  $1.79\text{E-}11$  Pt เนื่องจากช่วยทดแทนการผลิตเม็ดพลาสติกชิ้นใหม่คิดเป็น  $-1.55\text{E-}11$  Pt โดยในระหว่างกระบวนการรีไซเคิลต้องมีการใช้ไฟฟ้าดังนั้นจึงมีค่าผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการนี้เท่ากับ  $8.77\text{E-}12$  Pt และจากการขนส่งเพื่อไปยังสถานที่รีไซเคิลซึ่งมีค่าน้อยมากคือ  $6.77\text{E-}18$  Pt



ภาพผนวกที่ ๑1 คะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด PET ที่มีการจัดการหลังการใช้งานด้วยการรีไซเคิล



**ภาคผนวก จ**

การสำรวจและวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียบรรจุภัณฑ์

## การสำรวจและวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียบรรจุภัณฑ์ในพื้นที่ศึกษา

ตามข้อกำหนดการศึกษาได้กำหนดพื้นที่ศึกษาในโครงการจัดทำกลไกการเรียกคืนซากบรรจุภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ของกรมควบคุมมลพิษ ได้แก่ กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ดังนั้น การสำรวจสถานการณ์และองค์ประกอบของเสียบรรจุภัณฑ์จึงได้เน้นเฉพาะพื้นที่ศึกษาเท่านั้น โดยศึกษาทั้งข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) ซึ่งเป็นผลจากการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ และการสำรวจโดยตรงภาคสนามของที่ปรึกษาหรือข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) ทั้งนี้ผลจากการสำรวจองค์ประกอบทางกายภาพจะเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่จะใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกบรรจุภัณฑ์เพื่อการเรียกคืน กล่าวคือ บรรจุภัณฑ์ ยี่ห้อ ชนิดและประเภทใดที่สำรวจพบมากในพื้นที่ศึกษา แสดงให้เห็นถึงการเรียกคืนและการนำกลับไปใช้ประโยชน์ยังมีน้อย ส่งผลให้เป็นภาระต่อการจัดการของหน่วยงานตั้งแต่การคัดแยก เก็บขน และการกำจัด

### ผลการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษ

กรมควบคุมมลพิษได้มอบหมายให้ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดำเนินโครงการสำรวจและวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลทั่วประเทศปี พ.ศ. 2547 โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ทราบข้อมูลองค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลทั่วประเทศไทย โดยมีพื้นที่สำรวจ ได้แก่ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในระดับเทศบาลที่เป็นตัวแทนข้อมูลทางสถิติของเทศบาลทุกระดับในทุกภูมิภาคทั่วประเทศไทย โดยทำการสำรวจและวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอยครอบคลุมแหล่งกำเนิด ได้แก่ บ้านเรือน อาคารพาณิชย์และแหล่งกำเนิดอื่นๆ รวมถึงสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยทั้งฤดูฝนและฤดูแล้งในองค์ประกอบของขยะมูลฝอยทางกายภาพที่ทำการสำรวจพบส่วนหนึ่งเป็นของเสียบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ ได้แก่ พลาสติก แก้ว กระดาษ โลหะ ซึ่งในการศึกษาโครงการจัดทำกลไกการเรียกคืนซากบรรจุภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ในครั้งนี้ได้เน้นเฉพาะบรรจุภัณฑ์ประเภทเฉพาะพลาสติก แก้ว และกระดาษในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ดังนั้น ในที่นี้จึงจะสรุปเฉพาะข้อมูลเฉพาะประเภทบรรจุภัณฑ์ในเขตเทศบาลพื้นที่ศึกษาเท่านั้น ในที่นี้ประกอบด้วยเทศบาลนครนครปฐม เทศบาลตำบลสามพราน เทศบาลนครสมุทรสาคร เทศบาลตำบลอ้อมน้อย เทศบาลนครนนทบุรี เทศบาลนครปากเกร็ด เทศบาลนครสมุทรปราการ เทศบาลเมืองปทุมธานี สถานีขนถ่ายมูลฝอยอ่อนนุช สถานีขนถ่ายมูลฝอยหนองแขม สถานีขนถ่ายมูลฝอยท่าแร้ง

องค์ประกอบของของเสียบรรจุภัณฑ์และผลิตภัณฑ์จากการสำรวจโดยศูนย์ปฏิบัติการ  
วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อมของเทศบาลในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล สรุปได้ใน  
ตารางผนวกที่ จ1 และ จ2 (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: 47-49)



ตารางผนวกที่ ๑1 องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (สำรวจครั้งที่ 1)

จังหวัด	องค์ประกอบทางกายภาพ	เศษอาหารและอินทรีย์สาร	กระดาษขาว A4/สมุด	หนังสือพิมพ์	หนังสือ/กระดาษแข็ง	กระดาษถูกพูกัดน้ำตา	กล่องนม/น้ำผลไม้	PP/(ถุง/ขวด)	PET	PVC	PS	EPS	HDPE (ถุง/ขวด)	LDPE (ถุง/ขวด)	แก้วสีจาว			
นครปฐม	ทน. นครปฐม	76.90	0.00	2.65	0.53	0.82	0.64	3.90	0.00	0.11	0.04	0.68	0.00	7.66	0.07	1.19	0.00	0.35
	ทต. สามพราน	67.80	0.30	1.23	0.27	0.00	1.36	0.27	0.00	0.09	0.31	2.08	0.40	10.64	0.00	0.13	0.00	1.24
สมุทรสาคร	ทน. สมุทรสาคร	67.45	0.21	2.26	1.74	0.23	0.17	3.47	0.00	0.07	0.24	1.56	0.30	6.95	0.14	1.74	0.00	0.63
	ทต. อ้อมน้อย	62.20	1.94	0.54	0.81	0.41	0.54	3.20	0.07	0.20	0.09	0.16	0.41	10.63	0.32	0.32	0.81	1.07
นนทบุรี	ทน. นนทบุรี	63.55	0.24	1.24	1.91	1.16	0.31	3.74	0.00	0.64	0.96	0.28	0.56	7.14	0.00	1.12	0.00	3.87
	ทน. ปากเกร็ด	67.80	0.31	1.24	0.27	0.00	1.37	0.27	0.00	0.09	0.30	2.08	0.40	10.64	0.00	0.13	0.00	1.23
สมุทรปราการ	ทน. สมุทรปราการ	74.43	0.50	1.13	0.47	0.68	0.29	0.99	0.00	0.21	0.10	0.08	0.12	12.13	0.00	0.12	0.00	2.68
ปทุมธานี	ทม. ปทุมธานี	68.98	0.50	1.11	3.07	0.18	1.60	2.18	0.00	0.09	1.80	0.27	0.04	8.02	0.00	0.58	0.00	2.63
กรุงเทพฯ	อ่อนนุช	71.51	0.01	1.60	0.53	0.06	1.07	2.08	0.19	0.17	0.07	0.92	0.47	9.89	0.09	6.09	0.04	0.47
	หนองแขม	73.50	0.20	3.03	0.46	0.62	1.61	1.73	0.29	0.61	0.69	1.05	0.44	7.61	0.20	2.02	0.24	0.98
	ท่าแร้ง	69.12	0.06	2.10	1.26	1.06	3.80	0.88	0.42	0.23	0.06	0.52	0.97	8.10	0.26	3.31	0.15	0.42
เฉลี่ย		<b>69.39</b>	<b>0.39</b>	<b>1.65</b>	<b>1.03</b>	<b>0.47</b>	<b>1.16</b>	<b>2.06</b>	<b>0.09</b>	<b>0.23</b>	<b>0.42</b>	<b>0.88</b>	<b>0.37</b>	<b>9.04</b>	<b>0.10</b>	<b>1.52</b>	<b>0.11</b>	<b>1.42</b>

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

จังหวัด	องค์ประกอบทางกายภาพ	แก้วสีชา	แก้วสีเขียว	อคูมินิยม	เหล็ก/เหล็กเคลือบ	ทองแดง/ทองเหลือง	ไม้ (ลัง ไม้/กิ่ง ไม้)	ยาง	ผ้า	หนัง	ถ่าน/เบตเตอรี	หลอดไฟ/ประป๋องสารเคมี	อื่นๆ	รวม (ร้อยละ)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
นครปฐม	ทน. นครปฐม	0.00	0.11	0.06	0.91	0.00	1.82	0.00	0.91	0.00	0.00	0.05	0.60	100.00	171.40
	ทต. สามพราน	2.96	0.00	0.58	0.40	0.00	0.00	0.71	0.57	0.00	0.44	0.27	7.95	100.00	171.43
สมุทรสาคร	ทน. สมุทรสาคร	0.04	0.00	0.80	0.30	0.00	0.36	0.35	6.25	0.08	0.13	0.02	4.51	100.00	224.00
	ทต. อ้อมน้อย	2.07	0.00	1.16	1.31	0.02	0.00	0.00	3.28	0.00	0.02	0.00	8.42	100.00	117.62
นนทบุรี	ทน. นนทบุรี	6.14	0.20	0.48	1.12	0.00	0.84	0.32	2.07	0.00	0.00	0.04	2.07	100.00	194.96
	ทน. ปากเกร็ด	2.96	0.00	0.58	0.40	0.00	0.00	0.70	0.57	0.00	0.44	0.27	7.95	100.00	183.80
สมุทรปราการ	ทน. สมุทรปราการ	1.65	0.02	0.08	0.08	0.00	0.45	0.04	10.67	0.00	0.00	0.08	2.00	100.00	204.29
ปทุมธานี	ทม. ปทุมธานี	2.90	0.00	2.63	0.31	0.00	0.00	0.36	20.72	0.00	0.00	0.09	1.20	100.00	190.86
กรุงเทพฯ	อ่อนนุช	0.76	0.00	0.78	0.74	0.00	0.41	0.13	0.08	0.38	0.00	0.00	1.46	100.00	158.58
	หนองแขม	0.32	0.00	0.82	0.48	0.00	0.00	0.38	0.00	1.06	0.08	0.18	1.40	100.00	149.53
	ท่าแร้ง	0.29	0.00	1.37	1.00	0.00	0.01	0.62	2.66	0.11	0.03	0.04	1.15	100.00	185.72
<b>เฉลี่ย</b>		<b>1.83</b>	<b>0.03</b>	<b>0.85</b>	<b>0.64</b>	<b>0.00</b>	<b>0.35</b>	<b>0.33</b>	<b>4.34</b>	<b>0.15</b>	<b>0.10</b>	<b>0.09</b>	<b>3.52</b>	<b>100.00</b>	<b>177.47</b>

ตารางผนวกที่ ๑๒ องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (สำรวจครั้งที่ 2)

จังหวัด	องค์ประกอบทางกายภาพ	เศษอาหารและอินทรีย์สาร	กระดาษขาว A4/สมุด	หนังสือพิมพ์	หนังสือ/กระดาษแข็ง	กระดาษถูกพุงกึ่งน้ำตาล	กล่องนม/น้ำผลไม้	PP/(ถุง/ขวด)	PET	PVC	PS	EPS	HDPE (ถุง/ขวด)	LDPE (ถุง/ขวด)	แก้วสีขาว			
นครปฐม	ทน. นครปฐม	70.01	2.97	1.61	1.81	1.97	0.39	1.80	0.97	0.10	0.97	0.97	0.59	4.97	0.40	3.16	0.07	0.05
	ทต. สามพราน	64.76	0.11	2.34	1.64	0.05	0.25	0.90	0.68	0.10	0.05	0.64	0.72	8.69	1.80	5.74	0.00	2.60
สมุทรสาคร	ทน. สมุทรสาคร	63.27	0.11	2.14	0.93	0.24	0.51	2.16	0.29	0.16	0.57	0.64	0.22	12.24	0.29	7.34	0.35	1.62
	ทต. อ้อมน้อย	58.84	3.83	2.77	2.77	0.35	0.69	1.38	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	12.46	0.00	4.15	0.00	1.04
นนทบุรี	ทน. นนทบุรี	62.77	1.12	1.97	1.24	0.12	0.76	2.23	0.08	0.00	0.61	0.68	0.75	10.70	0.53	4.21	0.07	0.63
	ทน. ปากเกร็ด	61.85	0.15	0.40	0.16	1.13	1.52	2.29	0.78	0.03	0.21	0.60	0.70	13.17	0.27	8.13	0.14	0.22
สมุทรปราการ	ทน. สมุทรปราการ	67.16	0.33	2.04	3.59	0.05	0.30	2.86	1.05	0.15	0.15	0.60	0.44	10.17	0.45	4.50	0.09	0.04
ปทุมธานี	ทม. ปทุมธานี	63.36	0.23	0.77	0.57	0.63	0.37	4.16	0.25	0.07	0.00	0.79	0.71	11.83	0.11	6.11	0.22	0.62
กรุงเทพฯ	อ่อนนุช	67.21	1.20	2.41	2.59	0.83	0.74	1.37	0.13	0.06	0.00	0.07	0.52	8.05	0.06	4.25	0.00	1.14
	หนองแขม	70.77	0.81	0.90	1.06	0.93	0.82	2.24	0.01	0.51	0.00	0.88	0.28	8.21	0.51	4.71	0.03	0.68
	ท่าแร้ง	63.45	0.57	20.15	1.50	0.47	0.44	2.21	0.36	0.11	0.00	0.11	0.50	10.99	0.57	5.67	0.05	0.86
เฉลี่ย		<b>64.86</b>	<b>1.04</b>	<b>3.41</b>	<b>1.62</b>	<b>0.62</b>	<b>0.62</b>	<b>2.15</b>	<b>0.45</b>	<b>0.15</b>	<b>0.26</b>	<b>0.58</b>	<b>0.53</b>	<b>10.13</b>	<b>0.45</b>	<b>5.27</b>	<b>0.09</b>	<b>0.86</b>

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

จังหวัด	องค์ประกอบทางกายภาพ	แก้วสีชา	แก้วสีเขียว	อลูมิเนียม	เหล็ก/เหล็กเคลือบ	ทองแดง/ทองเหลือง	ไม้ (ลังไม้/กิ่งไม้)	ยาง	ผ้า	หนัง	ถ่าน/แบตเตอรี่	หลอดไฟ/กระป๋องสารเคมี	อื่นๆ	รวม (ร้อยละ)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
นครปฐม	ทน. นครปฐม	2.34	0.00	0.59	0.53	0.00	0.10	0.39	1.20	0.00	0.00	0.00	2.58	100.00	167.62
	ทต. สามพราน	0.87	0.00	0.36	0.28	0.00	0.18	0.03	1.18	0.13	0.00	0.03	5.87	100.00	161.38
สมุทรสาคร	ทน. สมุทรสาคร	0.43	0.00	1.04	0.67	0.00	0.51	0.00	0.31	0.00	0.05	0.00	3.91	100.00	180.95
	ทต. อ้อมน้อย	1.04	0.00	0.35	0.69	0.00	0.00	1.36	2.08	0.00	0.00	0.00	4.45	100.00	176.67
นนทบุรี	ทน. นนทบุรี	0.53	0.23	0.52	0.65	0.00	0.41	0.45	2.06	0.00	0.00	0.00	6.57	100.00	179.52
	ทน. ปากเกร็ด	0.28	0.00	0.49	0.65	0.00	0.25	0.06	1.15	0.11	0.00	0.00	5.26	100.00	173.81
สมุทรปราการ	ทน. สมุทรปราการ	0.60	0.05	0.98	0.75	0.11	0.60	0.75	1.36	0.02	0.06	0.30	0.45	100.00	200.95
ปทุมธานี	ทม. ปทุมธานี	0.47	0.00	0.60	0.96	0.00	0.89	0.39	2.32	0.00	0.39	0.00	3.18	100.00	157.62
กรุงเทพฯ	อ้อมนุช	0.26	0.00	1.03	0.70	0.00	0.35	0.60	3.33	0.00	0.02	0.07	3.01	100.00	176.37
	หนองแขม	0.96	0.00	1.03	0.00	0.00	0.62	0.00	0.55	0.00	0.00	0.02	3.47	100.00	145.23
	ท่าแร้ง	1.93	0.00	0.55	1.93	0.00	0.50	0.26	2.36	0.00	0.00	0.07	2.39	100.00	160.94
	<b>เฉลี่ย</b>	<b>0.88</b>	<b>0.03</b>	<b>0.69</b>	<b>0.71</b>	<b>0.01</b>	<b>0.40</b>	<b>0.39</b>	<b>1.63</b>	<b>0.02</b>	<b>0.05</b>	<b>0.04</b>	<b>3.74</b>	<b>100.00</b>	<b>171.01</b>

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวศาดพร ศรีดาวทอง
เกิดวันที่	19 สิงหาคม 2529
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (เคมี) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (2551)
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้ศูนย์ความเป็นเลิศ แห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมี และวัสดุขั้นสูง สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา